

深圳市住房和建设局文件

深建标〔2020〕1号

深圳市住房和建设局关于发布 《岩土锚固技术标准》的通知

各有关单位：

现批准《岩土锚固技术标准》为深圳市工程建设标准，编号为 SJG73-2020，自 2020 年 9 月 1 日起实施。

特此通知。

深圳市住房和建设局
2020 年 5 月 11 日

深圳市工程建设标准

SJG73—2020

岩土锚固技术标准

Technical Standard for Ground Anchorage

2020-5-11发布

2020-9-1实施

深圳市住房和建设局发布

深圳市工程建设标准

岩土锚固技术标准

Technical Standard for Ground Anchorage

SJG73—2020

2020 深圳

前 言

本标准根据深圳市住房和建设局有关要求，由深圳市工勘岩土集团有限公司会同岩土工程专业公司、建筑（结构）及市政工程相关设计公司、大学、科研单位、监测与质检及监督机构、总承包企业、设备制造商、产品经销商等共 24 家单位共同编制完成，编制组成员涵盖了勘察、岩土、结构、市政、建筑、设计、材料、施工、检测、监测、试验、信息化、机械设备、产品等岩土锚固技术所涉及的专业领域。

本标准在编制过程中，编制组经广泛调查研究，认真总结深圳市实践经验，学习市外的先进技术，吸纳成熟的新成果与新技术，参考国外先进标准，与国内相关标准协调，并在广泛征求意见的基础上，最后经审查定稿。

本标准共分 13 章和 6 个附录，主要内容包括：总则、术语和符号、基本规定、材料与构件、锚杆与锚座设计、锚杆施工、边坡锚固、基坑锚固、基础与抗浮锚固、浅埋隧道与地下洞室锚固、既有挡墙锚固、喷射混凝土、锚杆荷载试验、检测与验收、锚杆监测与维护等。

本标准由深圳市住房和建设局提出并业务归口，深圳市住房和建设局批准发布。深圳市工勘岩土集团有限公司负责具体技术内容的解释。执行本标准过程中如有意见或建议，请寄送至深圳市工勘岩土集团有限公司地方标准《岩土锚固技术标准》管理组（地址：深圳市南山区科技南八路工勘大厦 15 楼，邮编：518063），以供今后修订时参考。

本标准主编单位、参编单位、主要起草人和主要审查人：

主 编 单 位：深圳市工勘岩土集团有限公司

参 编 单 位：深圳市勘察测绘院（集团）有限公司

深圳市市政设计研究院有限公司

深圳市岩土工程有限公司

铁科院（深圳）研究设计院有限公司

深圳市建筑设计研究总院有限公司

深圳市水务规划设计院股份有限公司

深圳市勘察研究院有限公司

深圳市市政工程总公司

铁科院（深圳）检测工程有限公司

深圳市水务工程检测有限公司

深圳市长勘勘察设计有限公司

苏州市能工基础工程有限责任公司

深圳地质建设工程公司

悉地国际设计顾问（深圳）有限公司

中交第二航务工程局有限公司

无锡市安曼工程机械有限公司
深圳大学土木与交通工程学院
深圳市南山区建设工程质量监督检验站
深圳市建设工程质量检测中心
深圳市勘察设计行业协会
中国岩石力学与工程学会技术咨询工作委员会
广东省岩土与地下空间工程技术研究中心
深圳市地质环境研究院有限公司

主要起草人：付文光 李爱国 刘建国 饶运东 王志人
平 扬 高 翔 王贤能 强小俊 周保生
刘 毅 左人宇 刘 臣 耿光旭 李建伟
文建鹏 孔令新 陈梦鸥 石洋海 高明显
李 强 张道修 杜明祥 刘其宁 范少峰
包小华 吴文鑫 江一舟 张兴杰 李红波
孟照辉 杨少红 李新元 刘 强 马君伟
主要审查人：莫海鸿 杨光华 杨志银 彭卫平 黄俊光
李广平 徐 钢

本标准业务归口单位主要指导人员：高尔剑 王宝玉 闫冬梅

目 次

1	总 则	1
2	术语与符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	3
3	基本规定	6
4	材料与构件	7
5	锚杆与锚座设计	8
5.1	一般规定	8
5.2	作用与作用效应	8
5.3	锚杆结构与类型	9
5.4	锚杆受拉承载力与自由段长度	10
5.5	锚杆构造	12
5.6	锚座	14
5.7	锚固节点	15
5.8	锚杆刚度系数与锁定力	16
5.9	防腐	17
6	锚杆施工	20
6.1	一般规定	20
6.2	钻孔、扩体与清孔	20
6.3	杆体制作安装	21
6.4	制浆与注浆	21
6.5	养护及锁定	22
6.6	拆筋与回收	22
6.7	安全、环保及文明施工	23
6.8	施工记录	23
7	边坡锚固工程	25
7.1	一般规定	25
7.2	设计与构造	25
7.3	施工与检验	27
8	基坑锚固工程	28
8.1	一般规定	28
8.2	设计与构造	28
8.3	施工与检验	29
9	基础与抗浮锚固工程	30
9.1	一般规定	30
9.2	设计与构造	30
9.3	施工与检验	32
10	浅埋隧道与地下洞室锚固工程	33

10.1	一般规定	33
10.2	设计与构造	33
10.3	施工与检验	34
11	既有挡墙锚固加固工程.....	36
11.1	一般规定	36
11.2	设计与构造	36
11.3	施工与检验	38
12	锚杆荷载试验	39
12.1	一般规定	39
12.2	张拉、试验装置及操作要求	39
12.3	适应试验	40
12.4	验收试验	42
12.5	蠕变试验	43
12.6	提离试验	44
13	锚杆质量检测、验收、监测与维护.....	46
13.1	一般规定	46
13.2	质量检验项目与验收合格标准	46
13.3	锚杆拉力监测	47
13.4	检查与维护	48
附录 A	喷射混凝土.....	50
A.1	一般规定	50
A.2	设计、材料与构造.....	50
A.3	施工与检验	51
附录 B	锚固节点锚座承载力验算方法	53
附录 C	锚固板强度验算方法.....	56
附录 D	锚杆防腐技术要求.....	58
附录 E	极限试验要点	60
附录 F	锚杆承载力取值方法	63
	本标准用词说明	64
	引用标准名录	65
	条文说明	66

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	3
3	General Rules	6
4	Materials and Components	7
5	Design of Anchor and Anchorage Structure	8
5.1	General Requirements	8
5.2	Action and Effect	8
5.3	Anchor Type	9
5.4	Tensile Capacity and Free Length of Anchor	10
5.5	Anchor Structure	12
5.6	Anchorage Structure	14
5.7	Anchoring Joint	15
5.8	Stiffness of Anchor and Initial Prestress	16
5.9	Anti-Corrosion Protection	17
6	Anchor Execution	20
6.1	General Requirements	20
6.2	Drilling, Enlarge and Cleaning	20
6.3	Fabrication and Installation of Anchor Tendon	21
6.4	Mixing and Injection	21
6.5	Curing and Lock-off	22
6.6	Remove and Recycle Tendon	22
6.7	Safe, Environmental and Civilized Construction	23
6.8	As-built Records	23
7	Slope Anchorage Engineering	25
7.1	General Requirements	25
7.2	Structural Design	25
7.3	Execution and Quality Inspection	27
8	Deep Excavation Anchorage Engineering	28
8.1	General Requirements	28
8.2	Structural Design	28
8.3	Execution and Quality Inspection	29
9	Anchorage Engineering of Foundation and Anti-floating	30
9.1	General Requirements	30
9.2	Structural Design	30
9.3	Execution and Quality Inspection	32
10	Anchorage Engineering of Shallow Tunnel and Underground Cavern	33
10.1	General Requirements	33
10.2	Structural Design	33
10.3	Execution and Quality Inspection	34
11	Reinforcement Engineering of Existing Retaining Wall by Anchorage	36
11.1	General Requirements	36
11.2	Structural Design	36

11.3	Execution and Quality Inspection	38
12	Anchor Load Test.....	39
12.1	General Requirements.....	39
12.2	Stressing, Test Equipment and Operation Requirement	39
12.3	Investigation Test.....	40
12.4	Suitability Test	42
12.5	Acceptance Test	43
12.6	Lift Off Test	44
13	Quality Inspection, Acceptance, Monitoring and Maintenance of Anchor	46
13.1	General Requirements.....	46
13.2	Quality Inspection Items and Acceptance Criteria.....	46
13.3	Anchor Load Monitoring	47
13.4	Inspection and Maintenance	48
Appendix A	Shotcrete	50
A.1	General Requirements.....	50
A.2	Structural Design	50
A.3	Execution and Quality Inspection.....	51
Appendix B	Calculation Method for Bearing Capacity of Anchorage Joint in Structural.....	53
Appendix C	Strength Calculation Method for Anchorage Head of Rebar.....	56
Appendix D	Technical Requirements on Corrosion Protection of Anchor	58
Appendix E	Key Point for Investigation Test	60
Appendix F	Test Data Processing of Anchor Bearing Capacity	63
	Explanation of Wording in This Technical Standard	64
	List of Quoted Standards	65
	Explanation of Provisions.....	66

1 总 则

1.0.1 为了在深圳地区岩土锚固工程中贯彻执行国家的技术经济政策，做到安全适用、技术先进、经济合理、确保质量和保护环境，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于边坡、基坑、基础与抗浮、浅埋隧道与地下洞室、既有挡墙加固等工程中岩土锚固及喷射混凝土工程相关的勘察、设计、施工、试验、检验、监测、验收与维护。

1.0.3 岩土锚固工程应综合考虑场地周边环境、工程地质与水文地质条件等，坚持因地制宜、节约资源、合理选择设计与施工参数、强化质量控制与管理、信息化施工。

1.0.4 岩土锚固工程除应遵守本标准外，尚应符合国家、行业、省、市现行有关规范及技术标准的规定。

2 术语与符号

2.1 术语

2.1.1 岩土锚杆 ground anchor

安设于岩土体中并将拉力向周边岩土体传递的细长受拉构件，简称锚杆，其中锚筋采用钢绞线时也称为锚索，采用钢筋时也称为锚筋锚杆，采用钢管时也称为钢管锚杆，采用钢丝绳时也称为锚绳。

2.1.2 岩土锚固 ground anchorage

采用岩土锚杆等构件以维持岩土体及结构稳定的土木工程技术。

2.1.3 长期锚杆 permanent anchor

设计使用年限超过 5 年的锚杆。

2.1.4 短期锚杆 temporary anchor

设计使用年限不超过 5 年的锚杆。

2.1.5 浆体 grout body

锚杆中水泥浆、水泥砂浆及细石混凝土等水泥系胶结材料的合称。

2.1.6 锚杆筋体 tendon

锚杆中用于传递拉力的纵向钢筋、钢绞线、钢管及钢丝绳等构件，简称锚筋。

2.1.7 锚固段 fixed anchor length

通过固结体或机械部件将锚杆拉力传递给周边岩土体的那部分锚杆。

2.1.8 自由段 free anchor length

位于锚固段近端与锚头之间的那部分锚杆。

2.1.9 锚头 anchor head

位于地表外的那部分锚杆。

2.1.10 锚筋粘结段 tendon bond length

与固结体粘结并传递拉力给固结体的那部分锚杆筋体，简称粘结段。

2.1.11 锚筋自由段 tendon free length

位于锚具与粘结段近端之间或锚具与受压件之间、受力后能够自由伸长产生拉应力的那部分锚杆筋体。

2.1.12 锚筋张拉段 tendon external length

位于锚具以外用于锚杆张拉的那部分锚杆筋体，简称张拉段。

2.1.13 承压件 compression element

位于压力型锚杆的杆体底端、承受锚筋应力并传递给锚固体的构件，主要有承载体、承载盘、固定端锚具及自解锁锚具等形式。

2.1.14 锚垫板 bearing plate

锚杆中安装在锚座表面将锚具荷载分散传递到锚座的金属板。

2.1.15 粘结锚杆 bonded anchor

指依靠浆体、树脂、水泥卷、水泥土等胶结材料与岩土体粘结而获得抗拔力的锚杆。

2.1.16 摩擦锚杆 friction anchor

指主要依靠杆体与岩土体之间的摩阻而获得抗拔力的锚杆。

2.1.17 可回收锚杆 removable anchor

可通过预先安置在杆体上的特定装置自行使锚筋脱离后拆除回收的锚杆。

2.1.18 自解锁锚具 removable tendon anchorage

可回收锚杆中位于杆体底端、可自行解锁与锚筋脱离的锚具。

2.1.19 锁定力 lock-off load

预应力锚杆锁定后锚筋立即持有的拉力。

2.1.20 锚杆受拉承载力 anchor ultimate resistance

锚杆在拉力作用下达到破坏状态前或出现不适于继续承载的变形所对应的最大轴向拉力，为锚杆抗拔承载力、锚筋抗拉断承载力、锚筋抗拉脱承载力、锚固体局部受压承载力及浆体芯抗拔承载力等各种承载力中的最小值。

2.1.21 极限试验 investigation test

测试锚杆承载力极限值及工作性能的锚杆静荷载试验。2.

1.22 适应试验 suitability test

某岩土层中锚杆大面积施工前验证其力学性能是否符合设计要求的锚杆静荷载试验。

2.1.23 提离试验 lift off test

通过重新张拉方式检测锚筋持有拉力的锚杆静荷载试验，也称提离检查。

2.1.24 表观筋体自由长度 apparent tendon free length

利用锚杆荷载试验获得的荷载—弹性位移曲线计算得到的筋体自由段的理论长度。

2.2 符号

2.2.1 作用和作用效应

N_k	——	锚杆轴向拉力标准值；
N_{wk}	——	地下水浮力标准值；
P_a	——	初始试验荷载；
P_p	——	预定最大试验荷载；
P_r	——	持有拉力；
P_0	——	锁定力；
Q_k	——	作用标准组合时作用在结构上的荷载；
S_k	——	倾覆力矩、荷载等作用标准组合。

2.2.2 抗力和材料性能

c	——	岩土体粘聚力；
E_s	——	锚筋材料弹性模量；
$F_{p0.2}$	——	钢绞线 0.2%屈服力；
G_k	——	岩土体、挡墙或结构重力；
R_{lk}	——	岩体抗拉力标准值；
R_k	——	抗力标准值，其中锚杆受拉承载力取特征值；
R_{uk}	——	锚杆极限承载力标准值；
f_{mk}	——	锚固体与岩土体之间粘结强度标准值；
μ	——	岩土体对结构基底的摩擦系数；
φ	——	岩土体内摩擦角。

2.2.3 几何参数

A	——	假定破裂面面积；
A_s	——	锚杆单根筋体截面积；
A_w	——	计算单元面积；
D	——	锚固体直径或扩体锚杆原孔锚固体直径；
L	——	钻孔长度；
L_a	——	锚固段长度；
L_{app}	——	表观锚筋自由长度；
L_{ak}	——	扩体锚固段长度；
L_{as}	——	原孔锚固段长度；
L_e	——	张拉段长度；
L_f	——	自由段长度；
L_{tf}	——	锚筋自由段长度；
L_{tb}	——	锚筋粘结段长度；
d	——	单根筋体直径；
β	——	土压力与水平面的夹角；
θ	——	锚杆俯角；
δ	——	锚杆轴向与作用方向的夹角。

2.2.4 计算系数

K	——	岩土锚固结构稳定安全系数；
K_a	——	锚杆承载力安全系数；
K_h	——	抗滑移稳定安全系数；
K_t	——	抗倾覆稳定安全系数；

- n —— 单根锚杆中的锚筋数量；
- k_a —— 作用方向的锚杆抗拉刚度系数设计值；
- k_R —— 锚杆轴向抗拉刚度系数设计值；
- k_{RT} —— 根据荷载试验得到的锚杆轴向抗拉刚度系数；
- α —— 蠕变率。

3 基本规定

3.0.1 岩土锚固工程的结构安全等级、重要性等级、设计等级、勘察等级、防水等级等的划分应按相关标准执行。

3.0.2 岩土锚固工程的勘察、设计、施工、检测、监测方案应根据工程需求及本地工程建设特点编制。

3.0.3 岩土锚固工程应根据荷载特征、工程条件、本地区经验、锚固结构形式及受力和变形要求、施工可行性等因素，分别按施工阶段及使用阶段的最不利工况进行设计。

3.0.4 岩土锚固工程的施工工况应保持与设计工况一致。

3.0.5 岩土锚固工程设计与施工前应查明下列情况：

- 1 工程地质条件及水文地质条件；
- 2 锚固工程的周边环境及应用条件；
- 3 场地周边土地规划与利用情况及锚杆建设许可情况；
- 4 场地施工条件。

3.0.6 工程勘察资料应包括下列内容：

- 1 对岩土体开挖及锚固效果有较大影响的软弱夹层（带）特性和不同剪切条件下抗剪强度指标；
- 2 对锚固工程有较大影响的水文地质条件；
- 3 地下水、土的腐蚀性；
- 4 岩土体与锚杆间的粘结强度、摩阻强度、端阻强度等岩土物理力学参数指标。

3.0.7 锚杆按设计使用年限可分为长期锚杆及短期锚杆，按功能及作用机理可分为锚固类、加固类及构造类锚杆，按受拉承载力大小可分为高承载力、中承载力及低承载力锚杆。

3.0.8 深圳市无工程应用成功经验的锚杆、采用新技术的锚杆、拟用于特殊地层或特殊环境的锚杆、单根受拉承载力极限值超过 2000kN 的锚杆以及施工过程中可能会对周边建构筑物造成损伤的锚杆，工程应用前应进行专项技术研究。

3.0.9 喷射混凝土的设计、施工及检验宜按附录 A 执行。

4 材料与构件

4.0.1 材料及构件的性能应符合设计要求及相关标准规定。

4.0.2 材料及构件之间不应有不良反应，用于永久结构时尚应满足耐久性要求。

4.0.3 钢筋筋体宜采用锚杆用热轧带肋钢筋、预应力混凝土用螺纹钢筋或环氧涂层钢筋，钢绞线筋体宜采用预应力混凝土用钢绞线、环氧涂层钢绞线或无粘结钢绞线，钢管筋体可采用无缝钢管或焊接钢管。

4.0.4 锚筋采用非金属材料以及高承载力锚杆筋体采用涂层或防腐材料时，宜进行锚筋与浆体粘结强度试验及锚具夹持试验。

4.0.5 锚筋接头及锁定螺母的受拉承载力不应低于锚筋的受拉承载力。

4.0.6 浆体拌制宜采用硅酸盐类早强水泥。

4.0.7 浆体中石粒径不宜大于 16mm，砂粒径不宜大于 1.25mm。

4.0.8 浆体不应采用缓凝类及引气类外加剂，不宜采用无机盐类早强剂，采用外加剂时应事先进行配比试验。

4.0.9 浆体中氯离子最大含量不宜超过胶凝材料总质量的 0.2%，含碱量不应超过 3.0kg/m^3 。

4.0.10 护套、波纹管、过渡管、注浆管、排废管、排气管等各种管材应符合下列规定：

1 管材在设计使用条件下应具有良好的物理及化学性能；

2 管材宜采用高密度聚乙烯、聚氯乙烯或聚丙烯材料；除重复使用的一次注浆管，其余管材不宜采用金属材料；

3 锚杆现场制作时杆体护套厚度不应小于 2.0mm，波纹管壁厚度不应小于 2.5mm，过渡管壁厚不应小于 5.0mm，锚筋自由段宜采用 PVC 管作为护套；

4 一次注浆管能承受的压力不应小于 1.0MPa，二次注浆管及分段高压注浆管能承受的压力不应小于 5.0MPa 及最大注浆压力的 1.2 倍。

4.0.11 定位架、端帽、束线环或绑扎线、止浆塞、锚具罩等配件及材料应符合下列规定：

1 定位架宜兼具隔离与对中功能，宜采用非金属材料，形状及结构应能够满足锚筋最小保护层要求，开孔率应较高以不影响浆液在钻孔内的流动；

2 束线环及绑扎线宜采用非金属材料；

3 止浆塞宜采用橡胶或塑料等材料；

4 锚具罩宜采用钢板、钢管、铸铁、塑料复合钢板、塑料等材料，端帽宜采用塑料、橡胶、塑料复合钢板、钢板或铸铁等材料。

5 锚杆与锚座设计

5.1 一般规定

5.1.1 锚杆与锚座设计内容除应满足工程具体需求，尚应对施工、试验与检验、质量验收及监测等提出技术指标或要求。

5.1.2 锚杆设计使用年限应与相应的工程结构设计使用年限一致。

5.1.3 本章适用于长度不小于 3.0m 的锚固类及隧道与地下洞室工程以外的加固类锚杆。

5.2 作用与作用效应

5.2.1 锚固结构设计应采用极限状态设计法。

5.2.2 锚固结构设计所采用的作用效应组合与相应抗力除应符合《工程结构可靠性设计统一标准》GB50153 及《混凝土结构设计规范》GB50010，尚应符合下列规定：

1 按单根锚杆承载力确定锚杆数量和布置锚杆时，传至锚座的作用效应应按正常使用极限状态作用标准组合，相应的抗力应采用锚杆受拉承载力特征值；

2 计算锚座结构变形时，作用效应应按正常使用极限状态作用准永久组合，不应计入风荷载及地震作用，相应的上限值应为锚座结构变形允许值；

3 在确定锚座结构的内力、配筋、材料强度时，作用效应应按承载能力极限状态作用基本组合并应符合下式规定：

$$\gamma_0 S \leq R \quad (5.2.2)$$

式中：S —— 作用基本组合的效应设计值；

R —— 锚座抗力设计值；

γ_0 —— 结构重要性系数，取值应符合相关标准规定。

5.2.3 岩土锚固结构稳定性验算宜采用单一安全系数法并宜符合下式规定：

$$\sum R_k / \sum S_k \geq K \quad (5.2.3)$$

式中：R_k —— 抗力标准值，锚杆取受拉承载力特征值或持有拉力；

S_k —— 作用标准组合的效应；

K —— 岩土锚固结构稳定安全系数，取值应符合各相关标准规定。

5.2.4 锚杆轴向拉力值宜按下列公式计算：

$$N_k = N_{ak} / \cos \delta \quad (5.2.4-1)$$

$$N_d = 1.35 N_k \quad (5.2.4-2)$$

式中：N_k —— 作用标准组合时的锚杆轴向拉力标准值（kN）；

N_{ak} —— 作用标准组合时作用方向的锚杆拉力标准值（kN）；

δ —— 锚杆轴向与作用方向的夹角（°）；

N_d —— 作用基本组合时的锚杆轴向拉力设计值（kN）。

5.3 锚杆结构与类型

5.3.1 锚固类锚杆结构可划分为粘结段、锚筋自由段及张拉段，按与外界环境的传力特征可划分为锚固段、自由段及锚头段（图 5.3.1）。

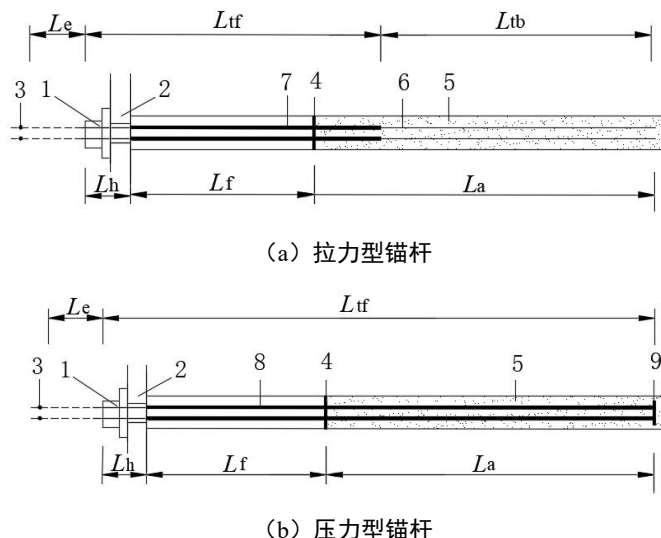


图 5.3.1 采用钻孔注浆工艺形成的预应力锚杆结构原理

1—锚具及锚垫板；2—锚座；3—千斤顶夹持点；4—止浆塞；5—浆体；6—锚筋；7—护套；8—无粘结锚筋；9—承压件； L_{tb} —粘结段； L_{tf} —锚筋自由段； L_e —张拉段； L_a —锚固段； L_f —自由段； L_h —锚头段

5.3.2 深圳市常用锚杆可分为拉力型锚杆、压力型锚杆、压力分散锚杆、扩体锚杆、囊袋锚杆、全粘结锚杆、钢管锚杆、自钻锚杆、自进锚杆、可回收锚杆、对拉锚杆及端头锚固型锚杆等类型，可按是否具备施加预应力条件分为预应力锚杆及非预应力锚杆两大类。

5.3.3 锚杆选型应根据结构要求、地质条件、锚杆承载力、锚杆长度限制条件、使用环境、地下水分布、施工方法及本地工程经验等因素，本着安全适用、经济合理的原则进行，初步设计时可符合下表规定：

表 5.3.3 深圳市常用锚杆选型建议表

序号	锚杆工作条件	适用锚杆类型
1	反复荷载变动频繁且幅度较大，或工程对变形要求严格	预应力锚杆
2	设计承载力高	压力分散锚杆、囊袋锚杆、拉力型锚杆
3	设计承载力较高且锚杆长度受限	囊袋锚杆、扩体锚杆
4	锚固段所在土层较软弱	压力分散锚杆、囊袋锚杆、扩体锚杆、自进锚杆
5	岩土体容易塌孔	自钻锚杆、自进锚杆、钢管锚杆
6	需要快速形成支护能力	钢管锚杆、自钻锚杆、端锚型锚杆
7	地下不允许遗留锚杆筋体	可回收锚杆
8	两组开挖面之间距离较近或夹角较小	对拉锚杆
9	长期工程及腐蚀性土层	拉力型锚杆、压力型锚杆、压力分散锚杆、囊袋锚杆、全粘结锚杆

注：1 使用条件没有在表中注明时，通常多种类型锚杆均适用；

2 非预应力锚杆及自进锚杆适用于设计承载力较低、对变形要求不严格且荷载变化频率较低工程；

3 压力集中锚杆不适用于黏性土层、破碎岩层及地下水丰富的岩层。

5.4 锚杆受拉承载力与自由段长度

5.4.1 锚固类锚杆受拉承载力应按下列公式计算：

$$R_k \geq N_k \quad (5.4.1-1)$$

$$R_{uk} / K_a \geq R_k \quad (5.4.1-2)$$

式中： R_k —— 锚杆受拉承载力特征值（kN）；

R_{uk} —— 锚杆抗拔力、锚筋抗拉断力、锚筋抗拉脱力、锚固体抗局压力及浆体芯抗拔力等极限承载力标准值（kN），应由锚杆试验确定，初步设计时也可按 5.4.2~5.4.10 条估算；

K_a —— 锚杆承载力综合安全系数，宜按表 5.4.1 取值。

表 5.4.1 锚固类锚杆承载力综合安全系数建议值

工程安全等级	一级	二级	三级
长期锚杆	2.2 (2.1)	2.1 (2.0)	2.0 (1.9)
短期锚杆	1.9 (1.7)	1.7 (1.7)	1.5 (1.5)

注：1 基坑、边坡、危岩、抗浮、基础、加固等工程的结构安全等级应按相应标准划分，其中长期基础锚杆及长期抗浮锚杆安全系数宜按一级计取；

2 括号外数值适用于锚杆抗拔力、锚筋抗拉脱力、锚固体抗局压力及浆体芯抗拔力安全系数；括号内数值适用于锚筋抗拉断安全系数；

3 锚筋抗拆力安全系数宜取 1.3。

5.4.2 锚筋抗拉断力可按下列公式估算：

$$R_{ul,k} = n A_s R_{eL} \quad (5.4.2-1)$$

$$R_{ul,k} = n F_{p0.2} \quad (5.4.2-2)$$

式中： $R_{ul,k}$ —— 锚筋抗拉断极限承载力标准值（kN）；

A_s —— 单根锚筋的截面积（m²）；

n —— 单根锚杆中的锚筋数量；

R_{eL} —— 钢筋屈服强度特征值（kPa），取值应符合《锚杆用热轧带肋钢筋》YB/T 4364 或《预应力混凝土用螺纹钢筋》GB/T 20065 的规定；

$F_{p0.2}$ —— 钢绞线 0.2% 屈服力（kN），取值应符合《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224 的规定。

5.4.3 等截面粘结锚杆抗拔力可按下列公式估算：

$$R_{uf,k} = \pi D \sum f_{mk,i} L_{a,i} \quad (5.4.3)$$

式中： $R_{uf,k}$ —— 锚杆抗拔极限承载力标准值（kN）；

D —— 锚固体直径（m），宜取钻孔直径；

$f_{mk,i}$ —— 锚固体与第 i 层岩土层之间粘结强度标准值 (kPa)，可按本地经验初定；

$L_{a,i}$ —— 锚固段在第 i 层岩土层中的长度 (m)。

5.4.4 粘结锚杆锚筋抗拉脱力可按式估算：

$$R_{ub,k} = n\pi d L_{tb} f_b \quad (5.4.4)$$

式中： $R_{ub,k}$ —— 锚筋抗拉脱极限承载力标准值 (kN)；

d —— 单条锚筋直径 (m)；

L_{tb} —— 锚筋粘结段长度 (m)；

f_b —— 锚固体与锚筋之间的粘结强度标准值 (kPa)，可按本地经验初定。

5.4.5 压力型锚杆及压力分散型单元锚杆的锚固体底端抗局压力可按式估算：

$$R_{up,k} = \eta A_{ln} f_{ck} \quad (5.4.5)$$

式中： $R_{up,k}$ —— 锚固体局部受压极限承载力标准值 (kN)；

η —— 锚固体局部抗压强度增大系数，可按本地经验初定；

A_{ln} —— 锚固体受压净面积 (m²)，为承压件与锚固体的接触面积扣除锚筋孔洞横截面积之后的面积；

f_{ck} —— 浆体边长为 70.7mm 的立方体抗压强度标准值 (kPa)。

5.4.6 摩擦锚杆抗拔力可按式估算：

$$R_{uf,k} = \pi D' \sum f_{fk,i} L_{a,i} \quad (5.4.6)$$

式中： D' —— 锚杆杆体表面直径 (m)，可按本地经验取值；

$f_{fk,i}$ —— 杆体与第 i 层岩土层之间摩阻强度标准值 (kPa)，可按本地经验初定。

5.4.7 扩体锚杆抗拔力可按式估算：

$$R_{ue,k} = \pi f_{mk} (D L_{as} + D_k L_{ak}) + \pi (D_k^2 - D^2) f_{ak} / 4 \quad (5.4.7)$$

式中： $R_{ue,k}$ —— 扩体锚杆抗拔极限承载力标准值 (kN)；

D 、 D_k —— 分别为原孔锚固段及扩体锚固段的锚固体直径 (m)；

L_{as} 、 L_{ak} —— 分别为原孔锚固段长度及扩体锚固段长度 (m)；

f_{ak} —— 扩体锚固段端面端岩土层端阻强度标准值 (kPa)，可按本地经验初定。

5.4.8 设置有浆体芯粘结段的扩体锚杆，浆体芯抗拔力可按式估算：

$$R_{us,k} = \pi D_s (f_{mk} L_{as} + f_{sk} L_{ak}) \quad (5.4.8)$$

式中： $R_{us,k}$ —— 浆体芯抗拔极限承载力标准值 (kN)；

D_s —— 浆体芯直径 (m)；

f_{sk} —— 浆体芯与水泥土之间粘结强度标准值 (kPa)，可按本地经验初定。

5.4.9 压力分散锚杆抗拔承载力可取考虑了各单元锚杆锚固体之间的应力叠加效应后的各单元锚杆抗拔力之和。

5.4.10 加固类锚杆承载力宜按下式计算：

$$R_{uk} / K_a \geq N_k \quad (5.4.10)$$

式中： R_{uk} —— 锚杆受拉极限承载力标准值（kN），应由锚杆荷载试验确定，初步设计时也可按第 5.4.11 条估算；

N_k —— 加固类锚杆轴向拉力标准值（kN），宜取不同破坏模式相对应的稳定验算公式中锚杆历经的最大荷载与锚杆荷载试验最大荷载中的较大值；

K_a —— 锚杆承载力安全系数，长期锚杆宜取 1.6，短期锚杆宜取 1.4。

5.4.11 加固类锚杆承载力估算宜符合下列规定：

- 1 锚筋抗拉断力宜按式（5.4.2-1）估算；
- 2 全粘结锚杆抗拔力宜按式（5.4.3）估算；
- 3 摩擦锚杆抗拔力宜按式（5.4.6）估算。

5.4.12 可回收锚杆的锚筋抗拆力应由锚杆试验确定，初步设计时可按 $0.85R_{ul,k}$ 估算。

5.4.13 锚固类锚杆自由段长度宜按下式计算：

$$L_f \geq L_{fc} + L_{fs} \quad (5.4.13)$$

式中： L_f —— 锚杆自由段长度（m）；

L_{fc} —— 岩土体假定破裂面至锚杆孔口的距离（m），宜按整体滑动稳定验算所选用的分析模型确定；

L_{fs} —— 锚杆自由段穿过假定破裂面的长度（m），扩体锚杆不宜少于 3.0m，其它类型锚杆不宜少于 1.5m。

5.5 锚杆构造

5.5.1 锚固类及加固类注浆锚杆钻孔直径不宜小于 90mm，其中预应力锚杆不宜小于 110mm；构造类注浆锚杆孔径不宜小于 50mm，其中土层锚杆不宜小于 90mm；锚绳孔径不宜于钢丝绳直径的 2.5 倍。

5.5.2 锚杆各部位长度宜符合下表规定：

表 5.5.2 锚杆长度经验值（m）

序号	锚杆类型	部位	最小长度	最大长度
1	岩体基本质量级别I~III级的预应力岩层锚杆	锚固段	3.0	6.0
2	岩体基本质量级别IV~V级的预应力岩层锚杆	锚固段	6.0	18.0
3	预应力土层锚杆	锚固段	10.0	—
4	岩层拉力型锚杆	粘结段	3.0	—
5	土层拉力型锚杆	粘结段	8.0	—
6	基础、抗浮及锁脚预应力锚杆	锚筋自由段	4.0	—
7	第 6 项以外的其它预应力锚杆	锚筋自由段	5.0	—

8	扩体锚杆	原孔段	7.0	—
9	锚固类非预应力锚杆	全长	3.0	—
10	加固类锚杆	全长	3.0	—
11	构造类锚杆	全长	0.5	12.0

注：1 岩体基本质量级别分级方法应按《岩土工程勘察规范》GB 50021 执行，下同；

2 “—”表示无建议值；

3 表中数值不适用于兼对锚固段所在岩土体起加固作用的锚杆锚固段最大长度。

5.5.3 锚固类锚杆锚固段应符合下列规定：

1 锚固段宜置于岩层、稍密~密实的碎石土层及砂土层、可塑~坚硬状的黏性土层及相应性状的粉土层，设置在其它地层时应采取相应对策；

2 长期锚杆的锚固段不应设置在新近填土层及液限大于 50% 的土层，不得设置在未经有效处理的下列地层：老填土层、有机质土层及相对密度小于 0.33 的砂层等；

3 锚固段计算长度超过有效长度时应采取相应措施；

4 锚固体与相邻地下结构的距离及锚杆彼此间距不宜小于锚固体设计直径的 3 倍且不宜小于 1.5m；

5 非预应力锚杆锚固段上覆土层最小厚度不宜小于 2.0m，预应力锚杆不宜小于 4.0m；非预应力锚杆锚固段上覆岩层最小厚度不宜小于 1.0m，预应力锚杆不宜小于 2.0m；

6 扩体锚杆的原孔长度与扩体直径之比不应小于 11。

7 对位移要求严格的工程，锚固段的应力不应传递至假定破裂面上。

5.5.4 单根应力集中锚索的钢绞线数量不宜少于 3 条。

5.5.5 注浆锚杆尚应符合下列规定：

1 长期锚杆保护层厚度不宜小于 25mm，短期锚杆不宜小于 15mm，锚筋之间净距不应小于 10mm；

2 锚固类锚杆钢筋筋体直径不宜小于 20mm，加固类不宜小于 16mm，构造类不宜小于 12mm；

3 锚杆俯角不宜小于 10°。

5.5.6 钢管锚杆尚应符合下列规定：

1 底端宜加工成封闭式尖锥形；

2 宜设置出浆孔，出浆孔直径、间距及布置方式应能有效增加锚杆与岩土体的摩阻强度且注浆均匀；

3 出浆孔外宜设置保护倒刺并焊接牢固。

5.5.7 自钻锚杆尚应符合下列规定：

1 底端宜加工成封闭式尖锥形；

- 2 杆体宜采用定型产品；
- 3 地质条件较差时宜在管壁上设置出浆孔并注浆。

5.5.8 锚杆浆体应符合下列规定：

1 注浆锚杆一次注浆材料可采用水泥净浆、水泥砂浆或细石混凝土，二次注浆应采用水泥浆；钢管锚杆、自钻锚杆及自进锚杆宜采用水泥浆；

2 锚固类锚杆浆体及扩体锚杆的浆体芯抗压强度等级不应小于 25MPa，其中压力型锚杆不应小于 30MPa；其它类型锚杆浆体抗压强度不应小于 20MPa；土层中浆体抗压强度不宜高于 35MPa；

3 浆体配合比应满足可灌性及强度需要。

5.5.9 锚杆注浆量宜根据现场工艺试验确定，初步设计时可按本地经验估算。

5.5.10 采用机械扩体法及水力扩体法形成的扩体型长期锚杆应设置浆体芯。

5.5.11 每根压力分散锚杆单元锚杆数量不宜超过 3 个，每个单元锚杆不宜超过 2 条锚筋。

5.6 锚座

5.6.1 锚座为混凝土结构时根据不同需求可采取墩、单向梁、格构梁及板等不同形式，为钢结构时宜采用单向矩形梁。

5.6.2 锚座及锚座下岩土体应有足够的强度、刚度及稳定性，设计除应符合《建筑地基基础设计规范》GB50007、《混凝土结构设计规范》GB50010 及《钢结构设计标准》GB50017 规定，尚应符合下列规定：

1 素混凝土墩宜按无筋扩展基础设计；

2 独立的板宜按扩展基础设计；

3 单向连续梁宜按条形基础设计，可根据实际约束条件按连续梁或简支梁计算，梁上集中荷载可取锚杆拉力设计值；

4 当地质条件较好且梁高不小于 1/6 锚墩间距时，反力可按直线分布考虑，梁内力可按连续梁计算，边跨跨中弯矩及第一内支座的弯矩宜乘以 1.2 的系数；当不满足以上条件时宜按弹性地基梁计算。十字形或 T 字形梁宜按变刚度的连续梁进行计算；

5 格构梁宜按双向条形基础设计，交点上的抗拔力可按静力平衡条件及变形协调条件进行分配，内力可按上述规定分别进行计算；

6 肋板宜按梁式筏板基础设计；

7 双向连续的板宜按平板式筏板基础设计；

8 中高承载力锚杆宜验算或试验验证锚座地基土的承载力或稳定性；

9 锚座外端面宜与锚杆轴向垂直；

10 锚座混凝土强度等级不应低于 C20。

5.6.3 锚座或锚座下为桩、墙等竖向结构时，应考虑预应力锚杆俯角较大时对其下拉作用的影响，必要时采取应对措施。

5.7 锚固节点

5.7.1 锚杆与锚座的锚固或连接节点设计时宜考虑结构削弱影响，承载力较高时应按《混凝土结构设计规范》GB50010 等标准验算施工及使用阶段最不利工况组合下的节点受冲切承载力及局部受压承载力，验算方法可按附录 B 执行。

5.7.2 预应力锚杆节点锚固形式选型应符合下列规定：

- 1 锚索宜采用夹片锚具；
- 2 压力型锚索承压件宜采用挤压锚具、承载体或自解锁锚具；
- 3 可回收锚杆宜采用自解锁锚具；
- 4 钢筋锚杆宜采用螺母锚具；
- 5 环氧涂层锚筋及锚筋敷涂环氧涂层后应采用专用锚具。

5.7.3 非预应力锚杆节点锚固形式选型应符合下列规定：

1 直段锚固长度（投影长度）达不到最小锚固长度时，预应力螺纹钢筋应采用锚固板形式，大直径钢筋及高强钢筋宜采用锚固板形式，其余钢筋可采用弯钩或机械锚固形式；

2 土钉与喷射混凝土结构的节点锚固形式可按本地经验选用。

5.7.4 采用弯钩或机械锚固形式时，钢筋应伸至锚座厚度的一半以上再弯折或加板，直段锚固长度不应小于 $0.4l_{ab}$ ，锚固长度、基本锚固长度 l_{ab} 、锚固长度修正系数、弯钩或机械锚固形式及保护层厚度等应符合《混凝土结构设计规范》GB50010 规定。

5.7.5 锚固板设计及构造应符合《钢筋锚固板应用技术规程》JGJ 256 的规定，其中钢筋强度等级超过 500 级或直径超过 40mm 时锚固板及锚座尚应符合下列规定：

- 1 钢材牌号不应低于 Q355B；
- 2 用于抗浮锚杆时应采用圆形，用于其它锚杆时可采用圆形或方形；
- 3 直段锚固长度不小于 $0.4l_{ab}$ 时可采用部分锚固板，小于 $0.4l_{ab}$ 时应采用全锚固板；
- 4 穿筋孔应采用圆形，孔径宜大于钢筋外轮廓 1.0mm~1.5mm；
- 5 应采用螺母与锚筋固定，螺母应采用与钢筋配套产品，锚筋宜凸出锁定螺母顶面不小于 1 个螺距；
- 6 锚固板施工阶段应采取可靠措施固定，避免下滑或歪斜；
- 7 板厚不应小于锚筋直径的 0.8 倍，全锚固板外径或边长不应小于锚筋直径的 3 倍，部分锚固板外径或边长不应小于锚筋直径的 2.25 倍；
- 8 1 个锚固板只宜设置在 1 条锚筋上；
- 9 锚固板应进行抗拉强度验算，验算方法可按附录 C 执行；
- 10 锚座混凝土强度等级不应低于 C35。

5.7.6 锚垫板宜选用定型产品也可现场制作，现场制作时宜符合下列规定：

- 1 宜采用正方形；
- 2 用于预应力锚杆时边长不宜少于 200mm，厚度不宜小于 0.8 倍钢筋锚筋直径且不宜少于 20mm，牌号不宜低于 Q355B；
- 3 用于非预应力锚杆时边长不宜少于 100mm，厚度不宜少于 10mm；
- 4 锚垫板穿筋孔孔径宜大于锚杆杆体外径 10mm~20mm 且不宜大于钻孔直径，采用螺母锚具时宜取小值；
- 5 用于高承载力锚杆时锚垫板宜进行强度验算，验算方法可参照附录 C 执行。

5.7.7 锚座穿筋孔宜设置过渡管护壁，孔位及角度应按与杆体同轴原则设置，孔径宜大于锚杆杆体外径 10mm~30mm 且不宜大于钻孔直径，采用螺母锚具时宜取小值，过大时应采取加强措施以防止锚杆张拉过程中边角损伤及锚垫板曲翘变形。

5.7.8 锚固类锚杆锚垫板下宜设置找平层，可采用砂浆或细石混凝土，强度应比锚座混凝土高至少一个强度等级，也可采用钢楔。

5.8 锚杆刚度系数与锁定力

5.8.1 锚杆轴向抗拉刚度系数宜根据荷载试验结果按式（5.8.1-1）计算，初步设计时也可按式（5.8.1-2）估算：

$$k_R = \lambda_R k_{RT} \quad (5.8.1-1)$$

$$k_R = n E_s A_s / l_{fd} \quad (5.8.1-2)$$

式中： k_R —— 锚杆轴向抗拉刚度系数设计值（MN/m）；
 λ_R —— 刚度系数的折减系数，可按本地经验取值；
 k_{RT} —— 根据荷载试验得到的锚杆轴向抗拉刚度系数（MN/m）；
 E_s —— 锚筋弹性模量（MPa）；
 l_{fd} —— 锚筋传力计算长度（m），应符合 5.8.2 条规定。

5.8.2 锚筋传力计算长度 l_{fd} 应符合下列规定：

- 1 拉力型锚杆在岩体基本质量等级 I~IV 级的岩层中取锚筋自由段长度，在岩体基本质量等级 V 级的岩层及土层中取粘结段长度的三分之一与锚筋自由段之和；
- 2 全粘结锚杆在岩体基本质量等级 I~III 级的岩层中取锚筋非粘结段长度，在岩体基本质量等级 IV~V 级的岩层及土层中取粘结段长度的三分之一；
- 3 粘结段长度取值不超过有效锚固长度；
- 4 压力型锚杆取锚筋自由段长度。

5.8.3 压力分散锚杆的轴向抗拉刚度系数初步设计时可按式（5.8.1-2）取各单元锚杆轴向抗拉刚度系数之和，宜经试验最终确定。

5.8.4 预应力锚杆应张拉锁定，设计锁定力 P_0 应符合下列规定：

- 1 随着荷载增加，锚杆的变形量不应影响到被锚固结构的安全，也不应导致结构变形超出

允许值，应以此作为锁定力设计原则；

- 2 结构变形要求不明确时 P_0 宜取轴向拉力标准值 N_k ；
- 3 确定有荷载将导致锚筋拉力增大时 P_0 可低于 N_k ，但宜使增大后的最大拉力达到 N_k 。

5.9 防腐

5.9.1 锚杆防腐设计应综合考虑设计使用年限、工作环境类别、环境作用等级等因素。

5.9.2 锚杆防腐设计内容应包括材料性能及耐久性指标、构造措施、施工要求等，必要时应包括跟踪检查及维修要求等。

5.9.3 地层对金属锚筋及承压件的腐蚀等级可分为微、弱、中、强四级，锚杆相应防腐等级应符合下表规定：

表 5.9.3 地层腐蚀等级及锚杆最低防腐等级

腐蚀等级	微	弱	中	强
地层对锚筋的腐蚀	O	O	O	O
地层对金属承压件的腐蚀	O	O	O	O
电流（直流、交流）干扰	—	O	O	O
长期锚杆防腐等级	II	II	I	I*
短期锚杆防腐等级	无要求	III	II	I

注：1 “O”表示该腐蚀项目存在相应的腐蚀等级，“—”表示不存在；

2 地层对锚筋的腐蚀性评价、对金属承压件及锚具的腐蚀性评价宜分别执行《岩土工程勘察规范》GB 50021 中水和土对钢筋混凝土中钢筋的腐蚀性评价、土对钢结构腐蚀性评价的有关规定，评价项目宜为 pH、视电阻率及氧化还原电位；

3 电流对锚筋腐蚀性评价宜按《电力工程地下金属构筑物防腐技术导则》DL/T 5394 执行；

4 I*表示该 I 级防腐应经过专项技术研究；

5 锚头长期受到水浸泡或润湿作用时，至少应进行 III 级防腐。

5.9.4 水泥品种选用应符合下表规定：

表 5.9.4 不同环境类别可选用的水泥品种

环境类别及防腐等级	可选用的硅酸盐类水泥品种
(1) 一般环境中锚杆 II 级及 III 级防腐	P.O、P.I、P.II、P.S、P.F、P.C
(2) 化学腐蚀环境	P.MSR、P.HSR、P.O*
(3) 除 (1)、(2) 外的其余情况	P.O、P.I、P.II

注：1 《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T50476—2019 规定：一般环境指无冻融、氯化物和其它化学腐蚀物质作用，腐蚀机理为防护层混凝土碳化引起钢筋锈蚀；化学腐蚀环境腐蚀机理为硫酸盐等化学物质对混凝土的腐蚀。

2 《通用硅酸盐水泥》GB 175—2007 规定通用硅酸盐水泥代号分别为：P.O—普通硅酸盐水泥，P.I、P.II—硅酸盐水泥，P.S—矿渣硅酸盐水泥，P.F—粉煤灰硅酸盐水泥，P.C—复合硅酸盐水泥；《抗硫酸盐硅酸盐水

泥》GB 748—2005 规定，抗硫酸盐硅酸盐水泥代号分别为：P.MSR—中抗硫酸盐硅酸盐水泥，P.HSR—高抗硫酸盐硅酸盐水泥。

3 《工业建筑防腐蚀设计规范》GB 50046-2019 规定：中、高抗硫酸盐硅酸盐水泥分别适用于硫酸根离子含量不大于 2500mg/L 及 8000mg/L 液态介质环境。

4 氯盐环境不宜使用抗硫酸盐硅酸盐水泥；硫酸盐环境中宜使用抗硫酸盐硅酸盐水泥；表中*表示硫酸盐环境中使用 P.O 水泥时应加入适量的抗硫酸盐外加剂；

5 选用火山灰质硅酸盐水泥拌制砂浆时，宜通过可泵性试验确定配合比。

5.9.5 锚杆不宜采用裂缝控制方法防腐。

5.9.6 锚筋防腐层宜为护套加防腐润滑脂、防腐涂料或浆体。

5.9.7 防腐等级为 II 级时防腐层不应少于 1 层，为 I 级时不应少于 2 层，技术要求宜符合附录 D 规定。

5.9.8 环氧涂层防腐应符合下列规定：

1 应在工厂或相当于工厂环境喷涂制作；

2 应先对钢材表面除锈处理，方法及处理质量等级应按《涂覆涂料前钢材表面处理—表面清洁度的目视评定—第一部分：未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的腐蚀等级和处理等级》GB/T 8923.1 相关规定执行，处理质量等级不应低于 Sa2 或 St3；

3 防腐等级 I 级时涂层固化后的厚度不应少于 220 μ m，II 级时不应少于 180 μ m；

4 锚筋环氧涂层伸入锚座内的长度不应小于 50mm。

5.9.9 杆体安装前应检查防腐层完整性，对破损处进行修补，无法修补时应增加一层。

5.9.10 浆体的防腐应按《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T50476 及本标准第 4 章的规定执行，锚具、锚垫板及承压件等金属构件的防腐涂装应按《建筑钢结构防腐蚀技术规程》JGJ/T 251 的规定执行。

5.9.11 长期锚杆、防腐等级为 I 级及 II 级的短期锚杆应封锚，宜符合下列规定：

1 锚筋张拉段切除后，基础锚杆、抗浮锚杆及工程安全等级三级时，钢绞线保留段长度不宜少于 50 mm、钢筋不宜少于 30mm；工程安全等级一、二级时钢绞线保留段长度不宜少于 150mm、锚筋锚杆保留段长度不宜少于 60mm；拉力监测锚杆的保留段长度应从传感器上表面起算；

2 防腐等级 I、II 级锚杆，封锚前应采用微膨胀水泥浆或防腐润滑脂把过渡管、锚垫板及锚具中的孔隙充填饱满，微膨胀水泥浆强度宜高出锚座结构一个强度等级且不低于 30MPa；

3 宜采用带喇叭管的锚垫板，否则两者之间应焊接，焊缝应饱满；

4 钢绞线锚具宜多出 1 个锚孔以灌注浆液或润滑脂，钢筋锚具宜预加工一个注浆孔；

5 润滑脂宜分别在锚具罩安装之前及之后各灌注一次；

6 基础锚杆及抗浮锚杆封锚形式宜采用全埋式，其余锚固工程封锚可采用外凸式，也可采用全埋式；

7 封锚混凝土强度等级不宜低于 C25，尺寸应使锚筋及构件保护层厚度不少于 20mm，

应配置抗裂钢筋，宜与锚座结构凿毛、润湿、植筋连接；

8 永久预应力锚杆宜验收合格且整体提离检查后再切割张拉段及封锚。

6 锚杆施工

6.1 一般规定

6.1.1 锚杆施工前应综合设计要求、岩土性状、现场及周边环境、场地施工条件、技术水平、经济性及效率等因素，选择适宜的机械设备、钻具及施工工艺，制定相应施工方案。

6.1.2 各种原材料、半成品及构件等进场后应进行检验，合格后方可使用。

6.1.3 施工机械设备及计量装置等进场后应进行调配、检查与试运行。

6.2 钻孔、扩体与清孔

6.2.1 钻孔所选用的钻具规格应能确保终孔直径不小于设计孔径。

6.2.2 钻孔底部应设置足够长度的沉渣段以收集沉渣。

6.2.3 钻孔作业过程中应采取有效措施控制钻孔的偏斜。

6.2.4 应根据地质条件、设计要求、场地等条件选择适合的锚杆扩体工艺、扩体段分布形式及施工机械设备，并根据现场扩体工艺试验确定适合的施工参数。

6.2.5 水力扩体工艺尚宜符合下列规定：

- 1 施工机械应具有自动记录功能；
- 2 输送扩体介质的管路不宜过长；
- 3 扩体介质宜选用水泥浆，浆液水灰比可按经验初定、应根据工艺试验结果最终确定；
- 4 喷嘴旋转及行进速率、喷射压力、喷射遍数及顺序等施工参数，应能使扩体段固结体均匀连续且强度及最小直径符合设计要求；
- 5 分段扩体时上下段搭接长度不应小于 0.1m；
- 6 长期锚杆应先进行扩体施工，待水泥土终凝后再按注浆锚杆工艺形成浆体芯。

6.2.6 机械扩体工艺尚宜符合下列规定：

- 1 扩体钻具使用前应在地面进行调试；
- 2 扩体时机、铰刀旋转及行进速率、扩体遍数、辅助注浆等施工参数及措施，应能使扩体段固结体均匀连续且强度及直径符合设计要求；
- 3 长期锚杆应先进行扩体施工，待水泥土终凝后再按注浆锚杆工艺形成浆体芯。

6.2.7 囊袋锚杆尚宜符合下列规定：

- 1 杆体安装之前应检查确认膨胀挤压筒组件正常，杆体与膨胀挤压筒的装配符合设计几何尺寸与构造要求；
- 2 囊内水泥浆配制时宜使用添加剂，流动度宜为 200mm~240mm，注浆压力宜为 0.5MPa~1.5MPa，充盈度宜为 1.05~1.10。

6.2.8 钻孔及扩体过程中遇到异常情况时应及时查明原因并采取相应措施。

6.2.9 锚杆杆体安装前应清孔，干钻孔孔内泥浆、粉尘、碎屑、沉渣等各种杂物及积水应清除

干净，水下钻孔孔内泥浆相对密度不宜大于 1.10、含砂率不宜大于 4%、粘度不宜大于 22s。

6.2.10 锚杆孔位放线误差不应大于 20mm，机械定位误差不应大于 50mm，其余施工误差应符合 13.2 节规定。

6.3 杆体制作安装

6.3.1 锚杆杆体制作宜符合下列规定：

- 1 杆体下料及组装等作业应在清洁场所进行；
- 2 锚筋切断作业不应导致锚筋力学性能降低；
- 3 杆体宜通过定位架及束线环等配件组装为整体，不宜焊接组装；锚索除了用于修复及加固作业，筋体不应接长；
- 4 钢筋锚杆接长应符合《钢筋机械连接通用技术规程》JGJ 107 及《钢筋焊接及验收规程》JGJ18 有关规定；
- 5 除自钻锚杆及钢管锚杆，锚筋应采用定位架及束线环等彼此隔离及定位，并使最小保护层厚度满足设计要求；
- 6 预应力锚杆及有多条锚筋的非预应力锚杆的杆体底端应设置端帽；
- 7 注浆管、止浆塞及排气管等应与锚筋组装成整体，各构件安装位置及注浆孔的设置应有利于注浆；
- 8 杆体各构件之间应连接牢靠，平行顺直；
- 9 张拉段长度应能满足千斤顶张拉作业要求；
- 10 压力分散锚杆各单元锚杆的外露端应作出明显标记并加以保护。

6.3.2 杆体安装前应进行腐蚀及完整性检查，在制作、存放、搬运、安装过程中应防止损伤及附着泥土或油渍等不洁物质，不应产生不可接受的残余变形。

6.3.3 杆体应采用适合的安装工艺，安装应及时、平稳。

6.3.4 杆体制作与安装质量应符合下列规定：

- 1 锚筋粘结段长度允许偏差为 $\pm 100\text{mm}$ ；
- 2 自由段套管长度允许偏差为 $\pm 100\text{mm}$ ；
- 3 定位架间距误差不大于 $\pm 100\text{mm}$ ；
- 4 锚筋净距不小于保护层厚度；
- 6 钢管锚杆出浆孔定位允许偏差为 $\pm 100\text{mm}$ ；
- 7 钢管锚杆及自钻锚杆的表观外径允许偏差为 $\pm 10\text{mm}$ 。

6.4 制浆与注浆

6.4.1 浆液拌制及储备应采用专用机械设备随用随制备，在初凝前用完。

6.4.2 注浆锚杆注浆宜符合下列规定：

- 1 应综合注浆工艺、浆体种类、输送距离、设计注浆压力、连续注浆量等因素选用适合的

注浆机械设备及装置；

2 应根据锚杆设计承载力及地质条件等因素选用适合的注浆工艺，二次注浆尚应选择适宜的注浆时机；

3 注浆应及时、连续，应采取有效措施使注浆饱满；

4 孔口宜设有钻进止浆措施和拔套管后防止浆体返流或溢出措施；

5 注浆过程中应记录注浆量，发现异常情况应及时采取有效措施处理。

6.4.3 钢管锚杆及自钻锚杆应根据相关经验选用适合的注浆形式及注浆压力。

6.5 养护及锁定

6.5.1 对锚杆成品应及时有效地进行保护。

6.5.2 锚杆浆体的标准养护期应为 28d，锚固结构最短养护期应根据地质条件、工程特点及设计施工参数等条件综合确定。

6.5.3 预应力锚杆的张拉与锁定作业应符合下列规定：

1 应达到最短养护期；

2 应根据锚筋类型及设计锁定力选择适合的张拉加载装置；

3 张拉装置及操作要求应符合第 12 章规定；

4 工程安全等级较高时应测定拉力锁定损失及放张荷载；

5 进行了验收试验且合格的锚杆，可直接加载到放张荷载后锁定，否则张拉加载程序应符合 6.5.4 条规定；

6 基础及抗浮锚杆锁定时间应根据现场条件、地质条件、结构荷载和地基基础变形完成情况综合确定。

6.5.4 张拉荷载宜分为 $0.1N_k$ 、 $0.5N_k$ 、 $0.75N_k$ 、 $1.0N_k$ 及 $1.25N_k$ 共 5 级，前 4 级每级荷载观测时间可为 1min，第 5 级荷载观测时间宜为 15min；第 5 级荷载下锚杆第 5min~15min 位移不大于 0.95mm 时应判定为锚杆承载力合格，应加载或卸载至放张荷载后锁定，大于 0.95mm 时应按异常情况处理。

6.5.5 压力分散锚杆应对各单元锚杆实行等荷载张拉及锁定。

6.5.6 除非设计另外规定，宜将预应力锚杆持有拉力减少量超过 $0.3P_0$ 或增加量超过 $0.1P_0$ 作为异常情况，发生后应进行研判并采取必要的处理措施。

6.6 拆筋与回收

6.6.1 应根据地质条件、设计要求、场地环境、回收条件等因素，选择适合的可回收锚杆类型及拆筋回收工艺。

6.6.2 可回收锚杆应分层拆除，拆除前应确认拆除条件满足设计要求及拆除后的支护结构具有足够的稳定性。

6.6.3 可回收锚杆施工应符合下列规定：

- 1 不应有拉拔、反旋、击入等误解锁动作；
- 2 基坑开挖及使用期间不应损伤外锚头、钢绞线及辅助解锁的绳索管线等用具；
- 3 锚筋护套不应破损，浆液、泥浆不应漏入护套及自解锁锚具内；
- 4 张拉段锚筋切割后的保留段长度应能满足回收操作需求；
- 5 应根据不同回收工艺设置适合的作业平台；
- 6 应对回收设备采取防坠落及防飞出措施。

6.6.4 工程相关各责任主体单位应为拆筋作业留有充足时间。

6.6.5 应对回收失败的锚杆进行综合评估，必要时可采取措施强行拆除。

6.6.6 采用自钻自锁类锚杆或套取锚固体拆筋工艺时，宜把拆筋后的孔洞注浆填实。

6.7 安全、环保及文明施工

6.7.1 施工开挖过程中应密切观察地质情况，判断可能与设计不符或异常变化时，应及时通报有关人员处理。

6.7.2 岩土锚固工程施工安全应符合下列规定：

1 施工作业面应平整，宽度应大于钻机底盘宽度不少于 2m，承载力应满足钻机稳定性要求；周边有边坡时应事先确认其稳定性，地下水位较高场地应做好降水或隔水措施，地层软弱场地应做好地基处理工作；采用水排渣时，应沿着工作面走向挖设尺寸适宜的排水槽并在合适位置设置蓄水坑；

2 锚杆钻机等机械设备应安放平稳，施工过程中不发生倾斜、移位；应在开工前确认机械设备及电气装置完好、正常、可靠并应进行试运行，施工中应随时检查运转是否正常；钻机工作时操作手不应离开钻机控制台；工作过程中如出现异常情况应立即停机检查，排除故障后方可使用；钻机班组成员均应掌握如何紧急停机；作业完毕后应切断电源；

3 张拉及拆筋作业时相关人员不应站在千斤顶的正面及上下方。

6.7.3 岩土锚固工程环境保护及文明施工应符合下列规定：

1 应选择对周边环境及岩土体扰动小的施工方法；

2 施工现场应积极采取降噪隔声措施，应使用低噪声低振动的施工机械设备，对噪音控制要求较高的区域应采取隔声措施以防噪声扰民；

3 施工作业产生的泥浆、废浆、污水等，未经处理不应直接排放。

6.8 施工记录

6.8.1 施工时应如实做好施工记录及检查表。

6.8.2 钻孔记录宜包括日期、天气、机械型号、锚杆型号及编号、锚杆部位、孔长（扩体长度）、孔径（扩体直径）、钻孔倾角、进尺起止时间、套管跟进深度、地层类别、钻孔异常情况要素。

6.8.3 杆体制安记录宜包括制作日期、锚杆型号、锚筋材料及规格、锚筋条数、粘结段长度、

锚筋自由段长度、张拉段长度、定位架间距、安装日期、锚杆部位、入孔深度等要素。

6.8.4 注浆记录宜包括注浆日期、注浆设备型号、锚杆型号及编号、锚杆部位、浆体材料及规格、配合比、注浆工艺、浆压、注浆起止时间、注浆量、两次注浆间歇时间、注浆异常情况要素。

6.8.5 张拉锁定记录宜包括张拉日期、张拉设备型号、压力测量及位移测量仪器型号、锚杆型号及编号、锚杆部位、养护时间、各级张拉荷载、压力表读数、各级荷载位移观测起止时刻、锚杆位移、蠕变量、设计锁定力、放张荷载、张拉异常情况等因素。

6.8.6 锚筋拆除回收记录包括回收日期、可回收锚杆类型、锚杆型号及编号、锚杆部位、锚筋数量、拆筋起止时间、锚筋设计长度及拆出长度、回收异常情况要素。

7 边坡锚固工程

7.1 一般规定

7.1.1 边坡锚固工程可因地制宜采用锚杆与桩、梁、板、柱、墩、喷射混凝土、柔性防护网等构件组合支护形式。

7.1.2 边坡锚固工程应根据边坡高度、工程地质和水文地质条件、周边环境、使用要求等因素，结合施工及使用过程中的稳定性和环境保护等需求进行专业设计。

7.2 设计与构造

7.2.1 边坡锚固工程应采用适宜方法进行稳定性分析。

7.2.2 边坡稳定性分析验算及支护设计应符合下列规定：

- 1 宜按分层开挖分层施工及分级开挖分级施工工况分别进行分析验算及设计；
- 2 分析验算时应计入为满足施工作业面需求而进行的超挖深度；
- 3 锚杆锁定前的短暂工况边坡稳定安全系数可适当降低；
- 4 暴雨工况时应考虑最高地下水位和表层浸润的情况，水下岩土体的重度应取浮重度；边坡有地下水时应考虑地下水对边坡的作用。

7.2.3 边坡锚固工程稳定分析时应计入锚杆的抗力作用，宜符合下列规定：

- 1 采用不同分析方法进行稳定分析验算时，宜将锚杆抗力或锁定力分解为沿假定破裂面的法向分力及切向分力分别计入稳定验算公式；
- 2 危岩体以及沿斜面滑动的坡体（图 7.2.3），不考虑水及地震作用时整体滑动稳定性验算宜按下式计入锚杆抗力：

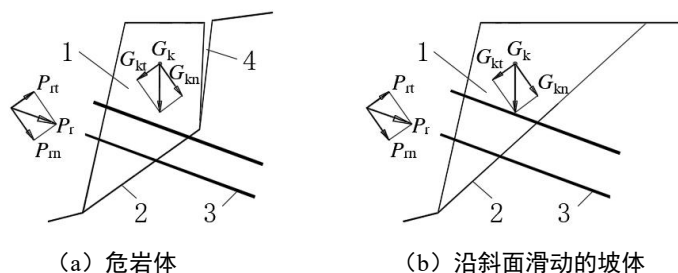


图 7.2.3 危岩体及边坡锚杆加固示意图

1—危岩体；2—结构面；3—锚杆；4—张拉裂缝

$$[cA + fG_{kn} + \sum (fP_{m,i} + P_{rt,i})] / G_{kt} \geq K_s \quad (7.2.3)$$

式中： c —— 岩土体结构面（假定破裂面，下同）的粘聚力（kPa）；

A —— 结构面面积（m²）；

f —— 岩土体结构面在第 i 根锚杆位置的摩擦系数，应由试验确定，可按相关经验或 $\tan\varphi$ 初定， φ 为假定破裂面的岩土体内摩擦角；

G_k 、 G_{kn} 及 G_{kt} —— 分别为危岩体或假定破裂区内岩土体的重力、重力在结构面垂直分力

及切向分力（kN）；

P_{ri} —— 锚杆抗力，对变形要求严格时宜取第 i 根预应力锚杆持有拉力，不严格时可取第 i 根锚杆受拉承载力特征值 R_k ；

$P_{m,i}$ 及 $P_{rt,i}$ —— 分别为锚杆抗力在结构面的垂直分力及切向分力（kN）；

K_s —— 整体滑动稳定安全系数目标值，可按相关标准取值，也可按相关标准取危岩所在边坡的安全等级。

3 锚杆受拉承载力及长度可根据经验预估，最终应通过相应的稳定分析后确定。

7.2.4 边坡锚固工程应根据边坡形态、地质条件、临时稳定情况、环保要求及挖填需求等因素选用适宜的锚固结构。

7.2.5 边坡高度大于 10m 时宜分级，每级坡高宜为 6m~10m，土质边坡及软质岩边坡分级高度宜适当降低；设置锚杆挡墙时每级高度不宜大于 8m；分级平台宽度不宜小于 1.5m，平台上宜设置截排水措施。

7.2.6 锚杆布置应符合下列规定：

1 锚固类锚杆间距宜为 2m~4m；

2 危岩加固锚杆轴向宜与主结构面垂直；

3 存在不利结构面时锚杆长度宜穿过结构面并锚入其后稳定岩土体不少于 4m，结构面与坡面倾角大致平时锚固段宜错落布置；

4 岩体破碎区域加固宜采取多排全粘结锚杆呈梅花状布设，横向间距及纵向垂直间距宜为 1.5m~2.5m，长度不宜小于 6m；

5 有格构梁时锚杆宜设置在格构梁节点处；

6 柱板式挡墙中的锚杆轴向宜垂直于边坡走向或平行于可能破坏的主滑方向，锚头宜设置在立柱上；

7 锚固区内有建构筑物基础传递较大荷载时，应适当加长锚杆并宜长短相间设置；

8 岩质边坡锚杆布设时应考虑爆破可能造成的浅层松动现象。

7.2.7 锚座构造应符合下列规定：

1 板宜现浇形成，厚度不宜小于 200mm；

2 格构梁纵横间距宜为 2m~4m，纵向间距不宜大于横向间距；断面边长宜为 300mm~600mm；土层边坡宜在格构梁顶部及两侧设置边梁形成封闭结构；

3 柱板式锚杆挡墙立柱间距宜为 2m~6m，立柱截面边长不宜小于 300mm；

4 锚座底端应置于稳定岩土体内，梁、柱、板等构件必要时宜设置基础；

5 梁板连续时宜每隔 30m~50m 设置 1 条伸缩缝，缝宽宜为 20mm~30mm。

7.2.8 柔性防护网锚固设计应符合下列规定：

1 宜根据危岩崩落分布选择主动防护网、被动防护网或引导防护网；

2 防护网锚固宜采用全粘结锚绳，锚杆受拉承载力较大时应进行强度验算；

3 与支撑绳、拉锚绳等钢丝绳类构件端部相连接的锚杆宜采用锚头有连接环套的柔性锚杆；

4 柔性锚杆的锚头连接环套内应嵌套套环，连接环套钢绞线段应套装套管；

5 主动网的锚杆轴向宜垂直于坡面；被动网的锚杆轴向宜平行于拉力方向，基础锚杆的轴向与基础中心线夹角不宜超过 15° ；

6 锚杆深度应综合考虑危岩卸荷发育深度及风化带深度，主动网及被动网的固定锚杆长度不应小于 1.5m，基础锚杆长度不应小于 0.6m；

7 钢丝绳注浆锚杆的钻孔直径不应小于钢丝绳公称直径的 2.5 倍；锚筋保护层厚度不应小于 10mm，杆体全长采取防腐措施时不应小于 6mm。

7.2.9 危岩体锚固结构选型及构造宜符合下列规定：

1 滑移式及倾倒式危岩体规模较大、主控结构面开度较宽时宜采用预应力锚杆，坠落式危岩体积较大且后缘无裂隙时宜采用预应力锚杆或全粘结锚杆；

2 整体性较好的危岩体加固宜采用锚墩或锚杆格构梁结构，整体性较差时宜采用锚杆肋板结构；

3 加固倾倒破坏危岩体的锚杆安设角度宜与主控结构面垂直，加固滑移破坏危岩体的锚杆安设角度应能够充分发挥锚杆的抗滑作用；

4 相邻锚杆不宜等长设计，锚固段宜根据岩体强度和完整性交错布置。

7.3 施工与检验

7.3.1 土石方开挖及锚固结构施工层级划分应符合设计工况，土质及软质岩边坡宜分段施工。

7.3.2 分层分级开挖时，为满足工作面需求而进行的超挖深度不应大于设计值，设计无具体要求时不宜大于 0.5m。

7.3.3 岩质边坡锚杆钻孔宜采用干成孔工艺。

7.3.4 岩质边坡爆破开挖时应控制好爆破参数，不应影响到设计开挖面以内的岩体稳定性及已完成锚固结构。

7.3.5 搭设脚手架时应考虑锚杆成孔机械可能产生的冲击荷载。

7.3.6 安全等级为一级的边坡封锚前应检查锚杆持有拉力，低于设计要求时应采取处理措施。

7.3.7 锚杆质量检测可分级、分区、分批进行。

8 基坑锚固工程

8.1 一般规定

- 8.1.1** 基坑锚固工程可因地制宜采用锚杆与桩、墙、梁和喷射混凝土等构件形成组合支护形式。
- 8.1.2** 基坑锚固工程应根据基坑深度、地质条件、周边环境、使用要求等因素，结合施工及使用过程中的稳定性和环境保护等需求，进行专业设计。
- 8.1.3** 采用可回收锚杆时，地下室肥槽宽度宜符合下列规定：基坑深度不超过 13m 时不宜少于 1.2m，超过后不宜少于 1.5m，采用免千斤顶拆筋工艺时可适当减少。

8.2 设计与构造

- 8.2.1** 基坑锚固工程稳定性及变形分析以及支护设计宜符合下列规定：

- 1 分析验算时宜按 7.2.3 条规定计入锚杆抗力作用；
- 2 分析验算时应计入为满足施工作业面需求而进行的超挖深度；
- 3 锚杆锁定前的短暂工况基坑稳定安全系数可适当降低；
- 4 桩撑锚混合支护结构应综合考虑撑锚实施空间、刚度协调及拆撑工况变形等要求。

- 8.2.2** 锚杆与吊脚桩（墙）组合支护结构设计宜符合下列规定：

- 1 基坑中下部为稳定性较好的岩层时可采用吊脚桩（墙）结构，吊脚桩（墙）底端应嵌入稳定岩层不少于 0.5m；
- 2 桩（墙）底端宜设置锁脚平台，平台宽度不宜小于 0.5m；
- 3 桩（墙）底端与上一层锚杆或支撑间距较大时宜设置锁脚锚杆，锁脚锚杆距离桩（墙）底端不宜大于 2m；锁脚锚杆宜采用预应力锚杆，设计中高承载力时锚筋宜选用钢绞线。

- 8.2.3** 基坑锚固工程应根据地质及水文地质条件、基坑形态及环保要求等因素选用适宜的锚固结构类型。

- 8.2.4** 锚杆布置宜符合下列规定：

- 1 土钉纵横间距宜为 1.0m~2.0m，坡率大时宜取较大值，土质差时应取小值且局部可小于 1.0m；注浆土钉成孔俯角宜为 10°~25°，钢管土钉、自钻锚杆及自进锚杆俯角宜为 5°~35°；
- 2 预应力锚杆与土钉混用时，锚杆长度宜为相邻土钉长度的 1.5~2.0 倍；
- 3 地连墙及不设置腰梁的支护桩上宜预留锚杆施工孔；
- 4 基坑阳角区域锚杆锚固段应错落布置、避免交叉现象，有条件时宜采用对拉锚杆或背拉梁板替代；
- 5 岩质基坑局部锚杆的布设应在开挖阶段结合现场地质调查情况进行。

- 8.2.5** 锚座设计及构造宜符合下列规定：

- 1 腰梁及冠梁可采用钢筋混凝土梁或型钢组合梁；
- 2 混凝土梁面宜设计为与锚杆轴向垂直的梯形截面，也可设计为锚头部位梯形截面、其余

部位矩形截面的异形梁；

3 钢梁可选用双槽钢或双工字钢组合并加焊肋板，型钢间净距应不小于锚杆杆体直径 1.2 倍，宜采用钢垫块或台座确保梁面与锚杆轴线垂直；

4 疏桩土钉墙中支护桩间距宜为 4m~6m。

8.3 施工与检验

8.3.1 基坑锚固工程宜分层开挖分层施工。

8.3.2 分层开挖时，为满足施工需求而进行的超挖深度不应大于设计值，设计无具体要求时不宜大于 0.5m。

8.3.3 吊脚桩（墙）底端岩层开挖等作业时，不应破坏锁脚平台。

8.3.4 预应力锚杆的张拉段在地下室回填前不宜切除。

8.3.5 锚杆质量检测可分层、分区、分批进行。

9 基础与抗浮锚固工程

9.1 一般规定

9.1.1 基础与抗浮工程的锚杆设计及施工方案应根据上浮力大小、岩土工程条件、本地锚杆工程经验、主体结构基础形式及受力和变形要求等综合确定。

9.1.2 设计时宜考虑循环荷载及动荷载对抗浮锚杆及基础锚杆的不利影响。

9.2 设计与构造

9.2.1 基础与抗浮锚杆工程应根据结构形式、上部荷载分布、地下水控制条件和场地周边情况等，按施工、使用阶段的最不利工况组合分别进行整体稳定与局部稳定设计与验算，位于坡地的基础锚固工程尚应验算边坡的稳定性。

9.2.2 锚固结构设计宜符合下列规定：

1 宜根据上部结构荷载分布、上拔力或地下水浮力、上部结构及基础刚度、锚杆承载力及抗拉刚度、地基承载力及刚度等，考虑结构荷载平衡及变形控制，按上部结构—基础—地基—锚杆共同协调作用进行设计；

2 主体结构采用桩基础时，桩刚度应按相关标准取值；采用天然基础或浅基础时，地基土刚度宜采用文克尔地基模型的土刚度，不宜计取锚杆的抗压刚度；

3 全粘结锚杆锚固体直径较大时，宜考虑最不利工况下其刚度对底板的不利影响；

4 计算单元内各锚杆受力应接近，难以调整时个别锚杆拉力标准值 N_k 可大于受拉承载力特征值 R_k ，但超出部分不应大于 $0.1R_k$ 且不应大于 $50kN$ ；

5 验算地基土承载力时荷载中应计入预应力锚杆持有拉力作用。

9.2.3 锚固结构抗浮稳定性验算时宜按下式（图 9.2.3）计入锚杆的抗力作用：

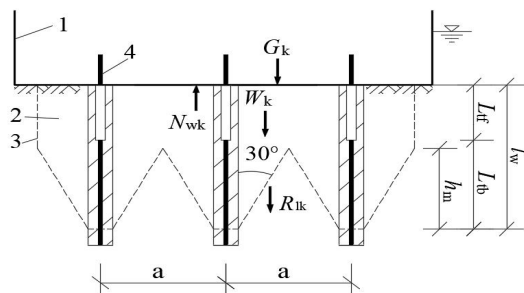


图 9.2.3 锚固结构抗浮稳定性验算简图

1—结构；2—岩土体；3—假定破裂面；4—锚杆

$$(W_k + G_k + R_{lk}) / N_{wk} \geq K_w \quad (9.2.3)$$

式中： W_k —— 计算单元假定破裂体内岩土体的自重（kN）；

G_k —— 折算到计算单元内的结构自重与作用在其上的永久荷载标准值之和

(kN)。

- R_{lk} —— 岩体抗拉力标准值 (kN)，可按 9.2.4 条规定执行；
- N_{wk} —— 作用于计算单元基础底面的地下水浮力标准值 (kN)；
- K_w —— 抗浮稳定安全系数，一般可取 1.05，特别重要工程可取 1.1，也可按相关标准取值；
- a —— 锚杆间距 (m)；
- h_m —— 假定破裂体锥尖计算长度 (m)，取值不应超过 l_w ；
- l_w —— 锚杆抗浮稳定计算长度 (m)，宜取 $L_{tr}+L_{tb}$ ，其中拉力型锚杆及全粘结锚杆 L_{tb} 取值不应超过锚固段有效长度。

9.2.4 岩体抗拉力标准值 R_{lk} 可按下式估算：

$$R_{lk} \leq A_w f_{lk} / K_{Rl} \quad (9.2.4)$$

- 式中： A_w —— 计算单元面积 (m²)；
- f_{lk} —— 岩体抗拉强度标准值 (kPa)，可由试验确定，也可按本地经验取值，岩层如爆破开挖取值时应考虑爆破的不利影响；
- K_{Rl} —— 岩体抗拉力分项安全系数，可取 2.50。

9.2.5 承受剪切荷载的锚固结构基础抗滑移稳定性验算时 (图 9.2.4)，宜分别按式 (9.2.4-1) 或式 (9.2.4-2) 计入预应力锚杆或非预应力锚杆的抗力作用：

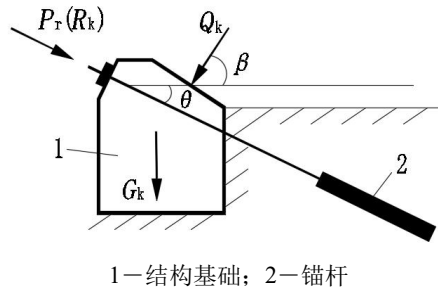


图 9.2.4 承受剪切荷载的锚固结构基础抗滑移稳定性验算简图

$$[\mu(Q_k \sin \beta + P_r \sin \theta + G_k) + P_r \cos \theta] / Q_k \cos \beta \geq K_h \quad (9.2.4-1)$$

$$[\mu(Q_k \sin \beta + G_k) + R_k \cos \theta] / Q_k \cos \beta \geq K_h \quad (9.2.4-2)$$

- 式中： μ —— 岩土体对结构基底的摩擦系数，应由试验确定，也可按相关标准取值；
- Q_k —— 作用标准组合时作用在结构基础上的荷载 (kN)；
- β —— 荷载与水平面的夹角 (°)；
- G_k —— 折算到基础上的结构自重 (kN)；
- K_h —— 基础抗滑移稳定安全系数，可取 1.30 或按相关标准取值。

9.2.6 应根据结构要求、地质条件、锚杆长度及承载力、使用环境、地下水位分布和施工方法等综合进行锚杆选型。

9.2.7 锚杆布置宜符合下列规定：

1 抗浮锚杆应垂直布置，高耸结构基础锚杆宜垂直布置，重力式挡墙的基础锚杆无抗滑稳定需求时宜垂直于基础底面布置，大跨度结构拱脚等承受水平力的基础锚杆俯角宜为 $15^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 且有利于锚杆施工；

2 锚杆的平面布置应有利于通行及荷载试验；

3 岩体水平层理发育时，相邻锚杆的锚固段宜错落置放。

9.2.8 预应力基础锚杆及抗浮锚杆应张拉锁定后再封闭锚头。

9.2.9 抗浮锚杆锚固节点防水除应符合《地下工程防水技术规范》GB 50108 等标准规定，尚应符合下列规定：

1 防水等级不应低于相应地下结构防水等级；

2 应根据防水等级、锚杆类型及锚固节点形式等选用适合的防水措施，防水措施选用应符合表 9.2.9 规定；

3 锚杆防水涂料层与底板防水层平面搭接宽度不应小于 150mm，厚度不应小于 2.0mm；

4 遇水膨胀止水环（胶、条）厚度不应小于 5mm，环宽不应小于 15mm，7 天净膨胀率不宜大于最终膨胀率的 60%，最终膨胀率不宜小于 300%，高温流淌性（ $80^{\circ}\text{C}\times 5\text{h}$ ）应无流淌；

5 钢板止水环宽度不应小于 50mm，厚度不应小于 2mm，应与金属锚筋或套管满焊；

6 预应力锚杆节点防水时，宜采用微膨胀浆体把过渡管、锚垫板及锚具中的孔隙充填饱满，浆体强度应高出锚座结构至少一个强度等级，宜采用高强微膨胀专用灌浆料；

7 预应力锚杆穿透防水等级一级的结构底板时，宜在结构底板面上留置排渗层等疏排渗漏水的条件。

9.3 施工与检验

9.3.1 防水施工应符合下列规定：

1 施工前应清除基层上的泥土、粉尘等杂物，用清水冲洗干净，基面不应有明水；

2 采用涂料防水时，锚杆端头应剔凿至锚杆浆体密实处，并用聚合物水泥防水砂浆找平至设计要求标高；

3 涂刷水泥基渗透结晶型防水涂料应连续、均匀，待表层涂料呈半干状态后开始喷水养护，养护时间不宜少于 3d；

4 止水胶条宜采用自粘式遇水缓膨胀型，成品应及时采取措施保护，不应出现破损。

9.3.2 锚固节点防腐施工应结合防水施工同时进行。

9.3.3 预应力锚杆锁定后应及时封闭锚头；需调整预应力的锚杆锚头应安装钢质可拆卸锚具罩，罩内应充满防腐润滑脂。

9.3.4 锚杆质量检验宜在基础结构施工之前进行。

10 浅埋隧道与地下洞室锚固工程

10.1 一般规定

10.1.1 浅埋隧道及地下洞室锚固工程应按《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB 50086 和铁路、公路、市政、水务等不同工程领域技术标准进行围岩评价与围岩分级。

10.1.2 宜采用喷锚构筑法进行设计、施工及监测，以喷射混凝土、锚杆及钢架为主要支护手段，及时支护、及时封闭，使围岩成为支护体系的重要组成部分。

10.2 设计与构造

10.2.1 喷锚法设计原则应符合下列规定：

- 1 以工程类比法为主，并与监控量测相结合；
- 2 对于大跨度、高边墙的隧道和地下洞室，尚宜辅以稳定性分析复核；
- 3 对于复杂的大型地下洞室群，可用地质力学模型试验验证；
- 4 特殊区段应适当加强；
- 5 特殊地质区段设计前应进行专门试验或研究。

10.2.2 喷锚法设计步骤应符合下列规定：

1 设计阶段，应根据相关标准确定的围岩级别和隧道与地下洞室尺寸选定喷锚支护类型和设计参数；

2 施工阶段，应根据开挖过程揭示的地质条件详细划分围岩级别，并应通过监控量测结果的综合分析修正设计；

3 地质条件复杂多变时宜分段设计。

10.2.3 围岩锚固设计选型应符合下列规定：

1 应根据围岩类别、功能需求和效果合理选型；

2 IV~V级围岩宜设置超前锚杆，其尾端应支撑在开挖面后方的已施作初期支护钢架上以共同形成超前支护体系；

3 IV~V级围岩的土质地段宜设置小导管或小钢管，其中地下水量较小的砂石土、砂砾卵石层、断层破碎带、软弱围岩及浅埋等地段宜采用小导管，地质条件较差但又不需要注浆或不宜注浆的地段宜采用小钢管；

4 在不易成孔且钢管难以直接顶入的松散碎石土地段，可采用自钻锚杆；

5 地层软弱、稳定性差的浅埋围岩可采用地表砂浆锚杆进行预加固。

10.2.4 系统锚杆及局部锚杆设计应符合下列规定：

1 围岩级别为III~V级时宜按系统锚杆设计；

2 系统锚杆宜沿隧道洞室周边径向呈矩形或梅花形布置，安设角度宜与洞室开挖壁面

垂直；岩体主结构面产状对洞室稳定不利时，应将锚杆与结构面呈较大角度设置；结构面或岩层面明显时，锚杆宜以较大夹角贯穿岩体主结构面或岩层面；

3 系统锚杆杆体直径不宜小于 22mm；

4 隧洞宽度小于 15m 时系统锚杆长度宜为 2m~3m，不小于 15m 时宜为 2m~4m；

5 锚杆间距不宜大于长度的 1/2，I~III级围岩中不应大于 1.5m，IV~V级围岩中宜为 0.5m~1.0m 且不应大于 1.25m，围岩较差、地应力较高或洞室开挖尺寸较大时应适当加密，较密时宜长短锚杆交错布置；

6 局部锚杆布置方向在拱腰以上时应有利于锚杆受拉，在拱腰以下及边墙时应有利于锚杆受剪切；

7 应设置锚垫板，锚垫板宜采用 Q235 钢，尺寸不宜小于 150 mm×150 mm×6 mm。

10.2.5 超前锚杆、小导管、小钢管、自钻锚杆及地表砂浆锚杆设计尚应符合下列规定：

1 注浆宜采用水泥净浆，水灰比可为 0.5~1.0；

2 为永久构件时尚应符合本标准防腐有关规定；

3 尚应符合《公路隧道设计细则》JTG/T D70 规定。

10.3 施工与检验

10.3.1 隧道与地下洞室锚固工程开挖方法应根据地质条件、断面大小、结构形式、机械配备、周边环境等因素综合确定，应有利于保护围岩的自承能力并与喷锚支护方法协调一致，喷锚支护应采用有利于缩小围岩裸露面积和缩短裸露时间的施工方法及程序。

10.3.2 喷锚支护施工应符合下列规定：

1 应及时进行施工现场监控量测、根据围岩及喷锚面变形情况调整支护方案及参数；

2 支护作业应紧跟工作面进行并采用早强措施，必要时采取喷射混凝土封闭掌子面、超前支护及封闭仰拱措施；

3 宜按照初喷混凝土、安装短锚杆、铺设钢筋网及钢架、复喷混凝土、安装长锚杆顺序进行；

4 松散、软弱、破碎等稳定性差的围岩中喷射作业完成 4h、锚杆安装完成 8h 及监测仪器埋设 1h 后方可进行下一循环的开挖作业。

5 地下水发育地段，可预先集中导水或灌浆，开挖后应立即喷射防水型早强混凝土封闭开挖面，再设置钢架、钢筋网、锚杆等其它综合性支护措施。

6 在易风化、吸水膨胀、失水剥落等围岩中开挖或出现可能塌落或滑动危石时，开挖后应立即用喷射混凝土封闭开挖面，大面积危石应根据先锚后挖或边挖边锚原则逐层施工。

10.3.3 锚杆施工应符合下列规定：

1 在层理结构明显或存在滑动面的围岩中，锚杆方向宜根据地层节理走向适当调整，使锚杆轴线与岩体主结构面或滑移面成较大角度相交以利于围岩稳定；

2 仰斜注浆锚杆孔口应设置密封装置，钻孔孔壁较为光滑时注浆方式可自下而上，注浆管口距孔口宜为 150~200mm；孔壁较为粗糙或岩体较为破碎时可自上而下，一般裂隙岩体可不单独设排气管，致密岩体中应设置排气管；

3 锚杆安装后外露长度不宜超过 100mm 并应采用喷射混凝土覆盖。

10.3.4 锚杆质量检测项目应包括锚杆原材料及构件、拉伸性能、浆体强度、预应力、安装参数、注浆饱和度、锚杆抗拔力等，其中锚杆抗拔力为主控项目，其余为一般项目。

10.3.5 锚杆原材料及构件检测项目应包括锚杆杆体、钢架、连接器、锚头（垫板、螺母或锚具）、树脂卷和快硬水泥卷锚固剂、水泥浆材料（水泥、矿物掺合料、拌合水、细骨料及外加剂）和水泥浆强度等。

10.3.6 检测项目抽样数量应符合下列规定：

1 锚杆杆体及连接器组装件拉伸性能应按进场批次随机抽样，数量不应少于锚杆总数的 1%且不少于 6 根；

2 锚杆孔距、钻孔深度及孔径、杆体插入深度检测数量不少于锚杆总数的 5%且分别不少于 6 根；

3 水泥浆材料及强度检测宜符合第 14 章规定，其余检测项目应符合相关专业标准规定。

11 既有挡墙锚固加固工程

11.1 一般规定

11.1.1 有下列情况之一且不宜拆除重建的既有挡墙应进行加固：

- 1 出现失稳迹象、支护结构及构件出现明显开裂及变形的挡墙；
- 2 使用条件有重大变化或改造可能影响安全的挡墙；
- 3 遭受灾害及已发生安全事故的挡墙工程。

11.1.2 加固后的挡墙使用年限不应低于挡墙工程服务对象的使用年限。

11.1.3 加固后的挡墙应进行正常维护，用途和使用条件改变时应进行安全性评估。

11.2 设计与构造

11.2.1 应根据挡墙加固条件选用适宜的加固方法。

11.2.2 应综合分析计算单元中原有及新增支护结构构件的有效抗力，共同作用形成整体受力体系，其中有下列情况之一时不宜考虑原支护结构构件的有效抗力：

- 1 支护结构基础位于潜在滑移面以内、挡墙整体失稳时；
- 2 墙体变形、倾斜、开裂严重，浆砌重力式挡墙墙体松散；
- 3 无法查明挡墙结构和地基条件的老旧挡墙。

11.2.3 重力式挡墙加固设计宜符合下列规定：

- 1 采用格构式锚杆挡墙加固时，锚杆应设置在格构梁交叉点并宜设置基础；
- 2 采用肋板式锚杆挡墙加固时，锚杆宜设置在竖肋上并宜设置基础；
- 3 采用喷锚加固时，锚杆穿墙应采取防护措施，喷射混凝土面层厚度不宜小于 120mm；
- 4 采用桩锚加固时，宜架设横梁或采用钢筋混凝土对墙面分区包封；排桩或微型桩宜设置在墙前或墙后，只能设置在墙中时应保证成桩过程中的施工安全及挡墙稳定。

11.2.4 钢筋混凝土挡墙加固宜符合下列规定：

- 1 挡墙变形较大或需要严格控制变形以及需要增加较大抗力时，可采用预应力锚杆；
- 2 锚头处应增设现浇钢筋混凝土梁、柱或墩，截面及配筋应满足锚头的传力、构造和整体受力要求。

11.2.5 锚杆挡墙加固设计宜符合下列规定：

- 1 锚杆挡墙整体稳定、锚杆承载力、锚杆挡墙肋柱承载力等不足时，可在肋柱上或肋柱间增设锚杆、现浇钢筋混凝土面板、肋梁或挂钢筋网喷射混凝土面板；
- 2 锚杆挡墙肋柱外倾位移较大时，可在肋柱上加设预应力锚杆；
- 3 采用桩锚加固时，排桩宜设于肋柱中间并应设置可靠的传力构件，或紧贴挡板原位浇筑；预应力锚杆宜布设在挡墙中上部位。

11.2.6 采用桩锚、锚杆格构梁、土钉墙或复合土钉墙支护结构的既有边坡工程或既有基坑工程，可在桩间、格构梁间设置预应力锚杆加固，锚固节点处宜增设钢筋混凝土梁、柱或墩。

11.2.7 锚固法设计及构造尚应符合下列规定：

- 1 新增锚杆的承载力、数量及间距应根据挡墙整体稳定性、支护结构抗滑移、抗倾覆稳定性、支护结构及构件的强度等计算确定；
- 2 锚杆的布置位置及方向应根据墙后岩土体滑移模型、支护结构抗滑移、抗倾覆和构件强度等要求确定，并考虑挡墙作用力分布形态；
- 3 加固后的挡墙抗水平滑移稳定性分析验算宜参照 10.2.4 条规定计入锚杆抗力作用；
- 4 新增锚杆与原支护结构中的可利用锚杆的间距不宜小于 1m，难以避开时可通过调整新增锚杆长度或角度等参数以将锚固段错开布置；
- 5 有条件时宜对原支护结构损坏处进行修补；
- 6 封锚作法宜执行第 8 章。

11.2.8 加固后的挡墙抗倾覆稳定性及抗滑移稳定性验算时，宜按下列公式（图 11.2.8）计入锚杆的抗力作用：

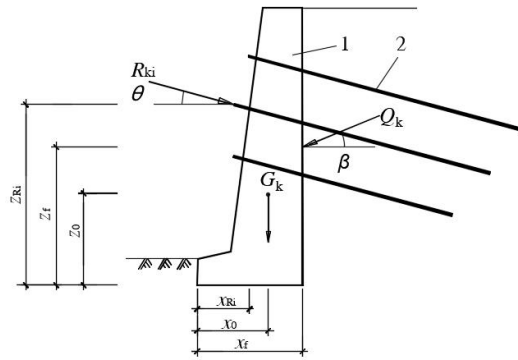


图 11.2.8 重力式挡墙锚固法加固后稳定验算简图

1—挡墙；2—锚杆

$$(G_k \cdot x_0 + Q_k \sin \beta \cdot x_f + \sum R_{ki} \sin \theta \cdot x_{Ri} + \sum R_{ki} \cos \theta \cdot z_{Ri}) / Q_k z_f \cos \beta \geq K_t \quad (11.2.8-1)$$

$$[\mu(Q_k \sin \beta + G_k) + \sum R_{ki} \cos \theta] / Q_k \cos \beta \geq K_h \quad (11.2.8-2)$$

- 式中： R_{ki} —— 折算到挡墙计算单元的第 i 根锚杆受拉承载力特征值（kN）；
 G_k —— 计算单元挡墙自重（kN）；
 Q_k —— 作用到计算单元挡墙上的包括了附加荷载的土压力（kN）；
 β —— 考虑了土对挡墙墙背的摩擦角后的土压力与水平面的夹角（°）；
 K_t —— 挡墙抗倾覆稳定安全系数，可取 1.6 或按相关标准取值；
 x_0 、 z_0 —— 分别为挡墙重心距墙趾的水平距离及距墙底的高度（m）；
 x_f 、 z_f —— 分别为土压力作用点距墙趾的水平距离及距墙底的高度（m）；
 x_{Ri} 、 z_{Ri} —— 分别为第 i 根锚杆作用点距墙趾的水平距离及距墙底的高度（m）。

11.3 施工与检验

11.3.1 施工前应应对既有挡墙周边建构筑物、地下管线和道路进行调查，做好记录。

11.3.2 施工前应迁移或者修剪施工范围内的树木，迁改或停用墙体附近明敷的管线、架空管线，迁改或专项保护施工范围内的地下管线。

11.3.3 施工应符合下列规定：

1 宜分段施工；

2 加固过程中可能出现大变形或滑塌的挡墙，应先实施堆载反压或临时预加固措施再实施永久性加固措施；

3 锚杆成孔不宜采取冲击式机械设备，宜采取回转钻进方式成孔；带水成孔可能引发挡墙变形增大、稳定性降低时应采用干钻成孔；

4 锚杆穿墙时，较薄挡墙宜采用开孔器开孔；

5 既有重力式挡墙加固施工前宜先分区浇筑面板护面；

6 加固施工不应损伤原支护结构、构件和邻近建筑物基础；

7 在墙面施工钢筋混凝土梁、柱、墩时宜在墙体中植筋固定；

8 应做好排水工作。

11.3.4 应进行挡墙及周边环境监测，锚杆张拉时应应对既有挡墙不间断安全巡查。

11.3.5 锚杆质量检测可分层分区分批进行，工程规模较小时也可一次性完成。

12 锚杆荷载试验

12.1 一般规定

- 12.1.1** 锚杆荷载试验应根据试验目的及条件选择极限试验、适应试验、验收试验、蠕变试验及提离试验中的一种或几种。
- 12.1.2** 试验前应收集相关资料，制定试验方案。
- 12.1.3** 预计最大试验荷载 P_p 对应的锚筋拉应力不应大于杆体材料抗拉强度设计值。
- 12.1.4** 初始试验荷载 P_a 宜为 $0.1P_p$ 且不宜大于 50kN。
- 12.1.5** 荷载分散锚杆宜采用多个千斤顶对各单元锚杆同步张拉。
- 12.1.6** 试验过程中锚筋及固结体应与垫层、锚座及反力装置等一直处于有效隔离状态。
- 12.1.7** 利用工程锚杆进行的适应试验及蠕变试验由第三方完成且符合有关质量监督程序时，试验成果可用作验收依据，但数量不应超过同类型锚杆验收试验数量。
- 12.1.8** 锚杆试验报告应能全面反映出试验与检测情况并符合试验目的。
- 12.1.9** 极限试验宜符合附录 E 规定。

12.2 张拉、试验装置及操作要求

- 12.2.1** 张拉及试验用的仪器设备应在检定或校准有效期内，应处于良好工作状态。
- 12.2.2** 验收试验应采用、其它试验宜采用、张拉锁定可采用带自动稳压装置的液压泵、液压千斤顶及自动位移测量设备等组成的自动化控制系统，千斤顶额定负荷宜为 $1.2P_p \sim 2.0P_p$ ，采用两台及以上同步工作时型号及规格应相同。
- 12.2.3** 传感器及仪器仪表应符合下列规定：
- 1 力类传感器的准确度等级不应低于 0.5 级；
 - 2 压力表类仪表的精确度等级不应低于 0.4 级；
 - 3 位移传感器的准确度等级不应低于 0.5 级，全程最大示值误差不应大于 0.1mm；位移测量仪器的分度值不宜低于 0.01mm；
 - 4 温度计的分度值不宜低于 0.5℃；
 - 5 秒表的分度值不宜低于 0.5s；
 - 6 宜将测量值控制在满量程的 25%~80%。
- 12.2.4** 反力装置应符合下列规定：
- 1 可采用支梁式、支凳式或压板式等独立反力装置，其中采用支凳式或压板式时墙、梁、板、柱、桩、撑等锚座结构可作为反力装置的一部分；
 - 2 支梁式反力装置不应与试验锚杆、锚头各组配件及锚固结构接触，支座底边缘与岩石锚杆中心距离不宜小于 0.75m，与等截面土层锚杆不宜小于 1.5m，与扩体锚杆中心距离

不宜小于 3 倍扩体锚固段设计直径；

3 支凳式、压板式反力装置不应与试验锚杆接触，且进行提离试验时不得与既有锚具接触；

4 反力装置提供的反力不应小于最大加载值的 1.2 倍，施加于地基的压应力不宜大于地基承载力特征值的 1.5 倍，结构及组件应满足承载力和位移的要求；

5 对试验结果有异议时应以支梁式反力装置试验结果为准。

12.2.5 位移测量仪器仪表宜采用基准梁及基准桩方式固定，基准桩与锚杆的中心距离宜符合 12.2.4 条第 2 款对支座距离的规定。

12.2.6 荷载测量宜采用安装在千斤顶上的力类传感器直接测定；采用并联于千斤顶油路的压力表或压力传感器测定液压时，应根据千斤顶率定曲线进行荷载换算。

12.2.7 锚杆位移测量应符合下列规定：

1 宜采用位移传感器或大量程位移测量仪表；

2 单根锚杆锚筋数量为 1 条时宜安装 1 个位移测量仪表，为多条时宜安装 2 个，取 2 个的平均值作为位移实测值；压力分散锚杆每个单元锚杆应安装至少 1 个位移测量仪；

3 位移测量点宜设置在孔口处的杆体上；条件不允许时也可设置在千斤顶锚具夹持点附近的杆体上；

4 位移测量仪表的基座应稳固，应避免受到锚杆、反力装置、千斤顶、液压泵、油管等的影响；

5 仪器仪表及传感器，以及固定和支撑测量仪表的夹具、基准梁及基座等，应避免受到太阳照射、气温、振动等外界因素的影响。

12.2.8 张拉系统安装及操作应符合下列规定：

1 张拉应有序进行，张拉顺序应能避免邻近锚杆相互影响；

2 千斤顶、反力装置及锚杆的中心线应重合，锚座的承压面应平整且与锚杆轴线方向垂直，不垂直时应采取处理措施；

3 系统安装后应采用试张拉等方式对系统有效性及仪器仪表灵敏度进行测试检查；

4 宜取 $0.2P_p \sim 0.3P_p$ 荷载预张拉 2~3 次，使杆体平直，各部位接触紧密；

5 加卸载速率宜为 $1\text{kN/s} \sim 10\text{kN/s}$ ，荷载变化应均匀、连续、无冲击，每级加卸载宜在 60s 内完成；

6 峰值荷载持载期间荷载变化幅度不应超过该峰值荷载的 1% 及该级增减量的 10%；

7 加载至最大荷载时液压泵及油管的压力不应超过额定工作压力的 80%。

12.2.9 试验时应采取必要的安全措施。

12.3 适应试验

12.3.1 锚杆工程均应进行适应试验，除非已进行过极限试验或蠕变试验且获得了充分数据。

12.3.2 试验应获得下列成果：

- 1 锚杆维持最大试验荷载 P_p 的能力；
- 2 锚杆的蠕变特性；
- 3 预应力锚杆的表观锚筋自由长度 L_{app} ；
- 4 锚杆刚度系数 k_{RT} 。

12.3.3 试验锚杆宜在同类型工程锚杆施工最早的几根中选取，也可专门施作。

12.3.4 试验前锚杆养护期应按设计要求且不少于最短养护期，对试验结果有异议时应以锚杆标准养护期的试验结果为准。

12.3.5 同类型锚杆试验数量不应少于 3 根。

12.3.6 适应试验 P_p 应与验收试验相一致。

12.3.7 试验加卸载宜采用多循环法，非预应力锚杆作为加固类锚杆时也可采用单循环法，分级荷载宜为 N_k 的 0.5、0.75、1.0、1.25、1.5、1.75 及 2.0 倍。

12.3.8 位移观测期、记录及稳定判定指标应符合下列规定：

1 加载时每循环峰值（每级）荷载的锚杆位移常规观测期宜为 60min，其中最短观测期不宜少于 15min；每级卸载过程荷载观测期宜为 1min；

2 最短观测期宜按 1 次/1min、之后宜按 1 次/5min、卸载时每级过程荷载观测期宜按 1 次/1min 自动化测读并记录锚杆位移；

3 加载时每级荷载第 5min~15min 蠕变量不大于 0.5mm 应判定为蠕变稳定；否则应继续观测 45min，45min 内蠕变量不大于 1.2mm 或蠕变率 α 不大于 2.0mm 应判定为蠕变稳定， α 计算方法应符合附录 E 规定。

12.3.9 出现下列情况之一时应判定锚杆达到承载能力极限状态并应中止加载：

- 1 锚杆筋体断裂；
- 2 非预应力锚杆累计位移量大于 100mm；
- 3 常规观测期结束时不满足稳定指标。

12.3.10 应整理试验数据并绘制荷载—位移（ $P-s$ ）、荷载—弹性位移（ $P-s_e$ ）、荷载—塑性位移（ $P-s_p$ ）、位移—时间对数（ $s-lgt$ ）、蠕变量—时间对数（ $\Delta s-lgt$ ）、蠕变率—荷载（ $\alpha-P$ ）等曲线。

12.3.11 同时符合下列规定时应判定锚杆性能符合设计要求，否则应判定不符合：

- 1 加载至 P_p 时锚杆未出现 12.3.9 条规定的应中止加载情况；
- 2 预应力锚杆 L_{app} 符合附录 E 规定的上下限指标。

12.3.12 不符合设计要求锚杆应按下列规定处理：

- 1 宜取破坏荷载的前一级荷载与 α 为 2.0mm 对应荷载中的较小值作为承载力检测值；
- 2 L_{app} 大于上限指标时，可进行蠕变试验并用 α 不大于 2.0mm 替代 L_{app} 作为判定指标；
- 3 L_{app} 小于下限指标时，宜再进行 1 遍循环试验，仍不符合时则宜按第 4 款执行；

4 分析原因,采取调整设计施工参数、提高组件及施工质量等相应处理措施,必要时可降低承载力设计值及调整相应验收指标。

12.3.13 锚杆刚度系数计算宜符合附录 E 规定。

12.4 验收试验

12.4.1 工程锚杆应进行验收试验。

12.4.2 锚杆承载力验收试验数量及验收荷载应符合下列规定:

1 锚固类非预应力锚杆验收试验数量不应少于锚杆总数的 5%且不少于 6 根,预应力锚杆验收试验数量不应少于锚杆总数的 4%且不少于 6 根;

2 加固类长期锚杆验收试验数量不应少于锚杆总数的 2%且不少于 6 根,短期锚杆不应少于锚杆总数的 1%且不少于 6 根;

3 锚杆总数较多时验收试验数量可相应降低;

4 锚固类基础及抗浮长期锚杆验收荷载可为 $2.0N_k$,短期锚杆在锚固工程安全等级为三级时宜为 $1.25N_k$,其余情况及其它类型的锚杆宜为 $1.5N_k$;

5 加固类锚杆验收荷载宜为 $1.25N_k$,也可按设计要求。

12.4.3 预应力锚杆应进行提离试验作为验收依据,宜在锚杆锁定 7d 后进行,试验数量宜为锚杆总数的 5%且不少于 6 根, P_p 宜取设计锁定力的 1.25 倍。

12.4.4 验收锚杆样本选取应符合判断抽样与随机抽样相结合原则,判断抽样数量不宜超过总样本的一半且应符合下列抽样条件之一,其中用作验收依据的适应试验及蠕变试验锚杆宜作为判断抽样样本:

1 对施工质量有怀疑的锚杆;

2 地质条件复杂多变部位的锚杆;

3 重要部位的锚杆。

12.4.5 验收试验应采用标准养护期。工程相关责任各方同意后养护期可适当减短,但不应短于最短养护期,对试验结果有异议时应以标准养护期的试验结果为准。

12.4.6 验收试验应采用与适应试验或蠕变试验相同的加卸载方法,条件具备时也可采用快速法。

12.4.7 位移观测期、记录及稳定判定指标应符合下列规定:

1 加载时每循环峰值(每级)荷载的锚杆位移常规观测期应为 60min,其中最短观测期为 15min;每级加卸载过程荷载观测期为 1min;

2 最短观测期宜按 1 次/1min、之后宜按 1 次/5min、加卸载时每级过程荷载观测期宜按 1 次/1min 自动化测读并记录锚杆位移;

3 加载时每级荷载第 5min~15min 蠕变量不大于 0.5mm 应判定为蠕变稳定;否则应继续观测 45min,45min 内蠕变量不大于 1.2mm、蠕变率 α 不大于 2.0mm 或蠕变率 α 不大于蠕变

试验所确定的蠕变率时应判定为蠕变稳定， α 计算方法应符合附录 E 规定。

12.4.8 出现下列情况之一时应判定锚杆达到承载力极限状态并应中止加载：

- 1 锚杆筋体断裂；
- 2 非预应力锚杆累计位移量大于 100mm；
- 3 常规观测期结束时不满足稳定指标。

12.4.9 宜整理试验数据并绘制锚杆 $P-s$ 、 $P-s_e$ 、 $P-s_p$ 及 $s-\lg t$ 曲线。

12.4.10 同时符合下列规定时应判定锚杆性能符合设计要求，否则应判定不符合：

- 1 P_p 加载至验收荷载时锚杆未出现第 12.4.8 条规定的应中止加载情况；
- 2 预应力锚杆 L_{app} 符合附录 E 规定的上下限指标；
- 3 P_r 为设计锁定力的 0.7~1.1 倍。
- 4 非预应力锚杆累计位移不大于设计允许值，设计未做要求时不大于 20mm。

12.4.11 P_r 不合格时应调整放张荷载重新张拉锁定，再次进行提离试验，如果合格则应作为正常验收依据，如果不合格则应执行第 13.2 节规定。

12.5 蠕变试验

12.5.1 有下列情况之一的锚固类锚杆，设计人判断有必要时宜进行专项蠕变试验：

- 1 泥质岩类以及节理裂隙发育张开且充填有黏性土的岩层；
- 2 塑性指数大于 20 或液限大于 50% 的土层以及新近填土；
- 3 水泥土锚杆；
- 4 粘结段锚筋采用了环氧涂层或波纹管等防腐措施；
- 5 如果适应试验最短观测期内蠕变不稳定，宜选取相邻 2 条锚杆进行蠕变试验。

12.5.2 试验锚杆宜专门制作，也可利用工程锚杆，数量不应少于 3 条。

12.5.3 试验前锚杆养护期应按设计要求且不少于最短养护期，对试验结果有异议时应以锚杆标准养护期的试验结果为准。

12.5.4 P_p 应与同类型锚杆验收荷载一致， P_p 达到验收荷载后试验即可终止。

12.5.5 试验加卸载宜采用多循环法，非预应力锚杆作为加固类锚杆时也可采用单循环法，每循环峰值（每级）锚杆位移常规观测期宜如下表规定，加卸载过程荷载的观测期宜为 1min：

表 12.5.5 蠕变试验常规观测期

荷载等级	$0.5N_k$	$0.75N_k$	$1.0N_k$	$1.25N_k$	$1.5N_k$	$1.75N_k$	$2.0N_k$
常规观测期(min)	60	60	60	60 (300)	300	60	60

注：表中括号内的 300min 适用于 P_p 为 $1.25N_k$ 时。

12.5.6 位移观测期、记录及稳定判定指标应符合下列规定：

1 锚杆位移常规观测期前 15min 宜按 1 次/1min、之后 45min 宜按 1 次/5min、延长观测期宜按 1 次/10min、加卸载过程荷载宜按 1 次/1min 自动化测读并记录位移；

2 常规观测期结束且蠕变稳定后方可进行下一级试验，否则宜延长观测 240min（1.5 N_k 级及以后可不延长），延长观测期内如果蠕变稳定随时可进行下一级试验，否则宜试验至延长观测期结束。

3 宜采用 α 不大于 2.0mm 作为蠕变稳定判定指标，有经验时也可采用 α 不大于 5.0mm 的其它指标； α 计算方法应符合附录 E 规定。

12.5.7 出现下列情况之一时应判定锚杆达到承载力极限状态并应中止加载：

- 1 锚杆筋体断裂；
- 2 非预应力锚杆累计位移量大于 100mm；
- 3 延长观测期结束时不满足稳定指标。

12.5.8 应整理试验数据并绘制 $P-s$ 、 $P-s_e$ 、 $P-s_p$ 、 $s-lgt$ 、 $\Delta s-lgt$ 及 $\alpha-P$ 等曲线。

12.5.9 同时符合下列规定时应判定锚杆性能符合设计要求，否则应判定不符合：

- 1 加载至 P_p 时锚杆未出现 12.5.7 条规定的应中止加载情况；
- 2 预应力锚杆 L_{app} 符合附录 E 规定的上下限指标。

12.5.10 不符合设计要求锚杆处理应符合下列规定：

- 1 宜取破坏荷载的前一级荷载与按 12.5.6 条确定的蠕变率指标对应荷载中的较小值作为承载力检测值；
- 2 L_{app} 小于下限指标时，宜再进行 1 遍循环试验，仍不符合时宜按第 3 款执行；
- 3 分析原因，采取调整设计施工参数、提高组件及施工质量等相应处理措施，必要时可降低承载力设计值及调整相应验收指标。

12.6 提离试验

12.6.1 预应力锚杆提离试验宜根据不同目的在锚杆锁定后不同时期进行。

12.6.2 提离试验数量应符合下列规定：

- 1 用作验收依据时数量应符合第 12.4 节规定；
- 2 用作质量鉴定时应按承载力划分为不同类型，试验数量不宜少于该类型锚杆数量的 1%且不少于 6 根；
- 3 其余情况应按设计要求且不宜少于 6 根。

12.6.3 预估最大试验荷载 P_p 宜取 1.25 倍设计锁定力或验收试验最大荷载，两者都不明确时宜取锚筋抗拉断力设计值。

12.6.4 试验加卸载应采用分级单循环法，分级荷载不大于 0.5 P_p 时宜为 0.1 P_p ，大于 0.5 P_p 时宜为 0.05 P_p 。

12.6.5 每级荷载均应测读并记录一次锚杆位移，观测时间宜为 1min。

12.6.6 应整理试验数据并绘制 $P-s$ 曲线。

12.6.7 判断发生提离现象后应继续加载 3~5 级但不宜超过 P_p ，每级持载时间宜为 15min，

宜按 1 次/1min 测读并记录锚杆位移，蠕变量如大于 2.0mm 则随时中止加载。

12.6.8 卸载后宜按 N_k 重新锁定， N_k 不明确时可锁定至原持有拉力。

12.6.9 持有拉力 P_r 取值应符合下列顺序，情况复杂难以判断时可重复一遍试验，并结合 $P-s$ 理论曲线的误差范围等因素综合判断：

- 1 $P-s$ 曲线两拟合直线拐点所对应的荷载；
- 2 $P-s$ 曲线上两拟合直线延长线交叉点所对应的荷载；
- 3 锚具或锚垫板明显松动时的前一级荷载。

12.6.10 可根据随适应试验进行的提离试验结果调整锁定力设计值及相应验收指标。

13 锚杆质量检测、验收、监测与维护

13.1 一般规定

13.1.1 岩土锚杆分项工程应按设计要求和质量合格条件进行质量检验和验收。

13.1.2 利用工程锚杆进行的适应试验由第三方完成且符合有关质量监督程序时，试验成果可用作验收依据，但数量不应超过同类型锚杆验收试验数量。

13.1.3 隧道与地下洞室工程的锚杆、构造类锚杆及长度短于 3m 的锚杆可参照本章执行，其它类型锚杆应遵照本章执行。

13.1.4 岩土锚杆应在施工过程中及施工后一定时期内进行监测及必要的维护。

13.2 质量检验项目与验收合格标准

13.2.1 原材料、构件及半成品检验应符合相关标准规定，由第三方质量检验的项目应包括水泥、锚筋材料及接头，必要时可包括锚具、连接器、砂、外加剂等。

13.2.2 锚杆质量检验项目与验收合格指标应符合下表规定：

表 13.2.2 锚杆质量检验项目及验收合格指标

项目	序号	检验项目	合格指标及允许偏差	检查检验方法
主控项目	1	受拉承载力	不低于设计要求	验收试验
	2	表观锚筋自由长度	误差范围符合验收合格标准	验收试验
一般项目	1	持有拉力	误差范围符合验收合格标准	提离试验
	2	锚固体或浆体强度	不低于设计值	制作试件，送检
	3	锚筋长度 (L_0)	误差范围符合验收合格标准	TDR 法或磁测法
	4	锚筋下料长度	负偏差为 $0.01L_0$ 与 50mm 中的较大值	钢尺量测
	5	防腐层	符合设计要求	现场检查
	6	囊袋锚杆膨胀挤压筒	不漏气	抽气检测方法
	7	钻孔位置	偏差为 100mm	钢尺量测
	8	钻孔直径	负偏差为 10mm	钢尺量测
	9	钻孔或杆体倾斜度	偏差为 2°	量测钻杆或杆体
	10	钻孔长度 (L)	负偏差为 $0.02L$ 与 100mm 中的较大值	量测钻杆
	11	钻孔外露锚筋长度	正偏差为 $0.02L$ ，负偏差为 0	钢尺量测

注：1 一般项目的第 1~3 项及主控项目应由第三方检验；

2 锚固体或浆体强度指边长为 70.7mm 的立方体试件无侧限抗压强度，宜压力型及压力分散锚杆每 30 根、其余锚固类锚杆每 60 根、加固类长期锚杆每 100 根制作 1 组试件，每组 3 块，宜采用从孔口收集的返浆制作试件，试件制作、试验及每组强度代表值确定方法等应执行《建筑砂浆基本性能试验方法标准》JGJ/T

70，检验批强度评定应按《混凝土强度检验评定标准》 GB/T 50107 执行；

3 钻孔注浆锚杆宜量测锚杆倾斜度，摩擦锚杆宜量测杆体倾斜度；

4 检验方法及数量在标准中已明确时宜按本标准执行，未明确时宜按相关标准执行。

13.2.3 表 13.2.2 中主控项目验收不合格时，应按不合格锚杆数量的 2 倍扩大抽检，如扩大检验结果全部合格则可评定验收合格，否则应分析原因并根据不同情况可采取增补、更换、修复、降低设计标准及让步接收等方法处理。

13.2.4 表 13.2.2 中一般项目验收不合格时，本标准已明确了处理方法的应执行本标准，没有明确的可按相关标准执行或由设计者复核，复核后认为对工程的安全、正常使用及耐久性影响程度可以接受时可不进行技术处理，否则应根据不同情况分别采取增补、加强、更换、修复及降低设计标准等让步接收等方法处理。

13.2.5 锚杆工程验收资料应能全面反映出工程质量情况并满足验收需求。

13.3 锚杆拉力监测

13.3.1 预应力锚杆应进行拉力监测。

13.3.2 每个独立工程锚杆拉力监测点数量宜符合下表规定：

表 13.3.2 预应力锚杆拉力监测数量表

锚杆总数（根）	拉力监测锚杆数量占锚杆总数的比例	
	长期锚杆	短期锚杆
≤200	5%且不少于 10 根	3%且不少于 6 根
200~1000	3.5%且不少于 10 根	2%且不少于 6 根
≥5000	2%	1%

13.3.3 长期锚杆监测时长应为锚杆工程竣工后不少于 2 年，短期锚杆监测时长应至工程结束；监测频率可参照相关工程技术标准执行，数据异常时应适当加密，数据稳定时宜适当降低。

13.3.4 监测点布置应符合下列规定：

- 1 工程重要地段、具有严重腐蚀介质地段、地质条件复杂地段等；
- 2 对于多层锚杆支挡式结构，宜在同一剖面的每层锚杆设置测点；
- 3 锚杆拉力和变形监测点宜布置在同一监测断面。

13.3.5 监测仪器设备宜符合下列规定：

- 1 可采用振弦式、电阻应变式、光纤光栅式等传感器或自测力锚杆；
- 2 应具有耐久、实用、稳定、可靠、环境适应性强、现场安装方便等特性；
- 3 满足观测精度和量程要求，宜使测量值在传感器全量程 25%~80%之间；
- 4 传感器选型时应考虑便于实现监测自动化；
- 5 应经过校准或标定，且校核记录和标定资料齐全，并应在规定的校准有效期内使用。

13.3.6 仪器设备安装应符合下列规定：

- 1 应尽量使仪器设备受力方向与锚杆轴线重合以避免过大偏心荷载；
- 2 环形锚杆测力计应安装在工作锚与锚垫板之间，锚垫板表面应平整，不应有焊疤、焊渣及其它异物，应具有足够厚度以满足刚度要求；
- 3 振弦式、电阻应变式、光纤光栅式等应力应变传感器应安装在钢筋或钢管锚筋上；
- 4 自测力锚杆施工工艺及施工参数应与同类型工程锚杆相同。

13.3.7 拉力测量应符合下列规定：

- 1 预应力锚杆张拉锁定后应测读锁定力，作为锚杆持有拉力的第一次测读数据；
- 2 非预应力锚杆锚固注浆体终凝后即宜进行第一次测读数据；
- 3 测量读数应稳定，每次测量时应重复测量 1 次，取平均值作为最终观测值；
- 4 监测锚杆需重新张拉时，张拉前后应分别记录测力计的观测值；
- 5 每次观测时应量测测力计的环境温度，并记录工程现场施工和运行情况。

13.3.8 自动化监测系统应符合下列规定：

- 1 地质条件复杂、重大锚固工程及人工监测难以胜任的项目，宜根据实际情况部分或全部采用自动化监测系统；
- 2 自动化监测仪器设备准确度应不低于人工监测准确度要求；
- 3 应做到监测数据实时采集、传输及快速处理；
- 4 监测成果应做到按要求时间输出，输出结果应由自动化监测系统平台自动生成，宜采用图、表及文字综合表述，表述方式及内容宜与人工监测输出成果相一致；
- 5 监测系统应具有人工输入数据功能，方便在系统出现故障无法实现自动采集情况下能够实现人工补测数据的输入；
- 6 监测系统应具有自动报警功能，可通过短信、网络等方式自动发送报警信息给相关单位及责任人；
- 7 监测系统应具有运行日志、故障日志记录功能；
- 8 监测系统应具有较强的环境适应性，具备防雷、防潮、防锈蚀、防鼠、抗震、抗电磁干扰等性能。

13.3.9 监测结果及监测报告应符合下列规定：

- 1 监测结果应及时反馈给委托方及相关单位；
- 2 达到设计规定的报警值时应及时报警；
- 3 锚杆监测报告应能全面反映监测情况及达到预警报警目的。

13.4 检查与维护

13.4.1 岩土锚固工程宜对锚固结构范围内及周边区域进行如下现场检查工作：

- 1 工程截排水设施是否能正常工作，有无局部乃至全面失效或破坏；

- 2 是否存在引起锚杆腐蚀的介质或杂散电流环境;
- 3 锚头腐蚀及变形状况;
- 4 邻近是否有对锚杆安全不利的开挖、爆破和震动等危险因素;
- 5 建构筑物、管线及岩土体等是否有异常的开裂、掉块、变形、渗漏等异常迹象。

13.4.2 腐蚀环境中的锚杆腐蚀状况检查宜符合下列规定:

- 1 锚头混凝土出现开裂、剥落等异常情况时, 应进行锚杆腐蚀状况的检查分析;
- 2 检查数量和频率可根据锚杆工作环境、锚头变形和持有拉力变化情况相应调整;
- 3 现场检查应着重于检查锚头处的腐蚀状况, 有条件时应包括锚头下一定范围内的锚

筋自由段。

13.4.3 岩土锚固工程可根据监测、检测以及现场检查情况进行以下维护工作:

- 1 积极排除不利于工程安全的危险源;
- 2 锚杆持有拉力或变形超出设计范围时, 应根据设计要求、监测数据及安全评估结果等采取重复张拉、卸荷、增补锚杆等相应措施;
- 3 锚杆防腐体系存在缺陷或失效时, 应根据设计要求采取修补防腐措施, 并根据腐蚀情况进行补强处理。

附录 A 喷射混凝土

A.1 一般规定

A.1.1 喷射混凝土适用于隧道与地下洞室工程的围岩支护，隧道、地下洞室、边坡、基坑及既有挡墙等工程的岩土体或结构的表层防护，以及地面硬化与施工垫层等施工措施。

A.1.2 喷射混凝土设计强度等级用于围岩支护时不应低于 C25，用于表层防护时不宜低于 C20，用于施工措施时不宜低于 C15。

A.1.3 用于施工措施的喷射混凝土的设计与构造、施工与检验可参照本章表层防护的有关规定执行。

A.2 设计、材料与构造

A.2.1 喷射混凝土设计内容应包括选型、施工工艺、材料要求、混合料配合比、喷射厚度、强度等级、钢筋网参数及施工程序等。

A.2.2 隧道及地下洞室工程宜采用湿喷法，边坡、基坑及既有挡墙加固工程以及施工措施宜采用湿喷法及潮喷法，作业环境对粉尘控制要求不高时也可采用干喷法。

A.2.3 喷射混凝土材料应符合下列规定：

- 1 石粒径不宜大于 16mm，砂粒径不宜大于 1.25mm；
- 2 混合料中氯离子最大含量不应超过胶凝材料总质量 0.1%，含碱量不应超过 $3.0\text{kg}/\text{m}^3$ ；
- 3 用于设计使用年限超过 5 年的喷射混凝土工程时，骨料宜采用连续级配，细骨料细度模数宜大于 2.5。

A.2.4 喷射混凝土构造设计应符合下列规定：

- 1 龄期 1d 的抗压强度用于表层防护时不宜低于 5.0MPa，用于围岩支护时不宜低于 10.0MPa；
- 2 混凝土厚度素喷时不应小于 50mm，有钢筋网时及用于含水岩层时不应小于 80mm；
- 3 用于围岩支护时应进行配合比试验；用于表层防护时可根据经验初定、现场试喷后最终确定，其中水泥用量不宜小于 $300\text{kg}/\text{m}^3$ ；
- 4 有抗渗要求时抗渗等级不应低于 P6；
- 5 掺速凝剂时初凝时间不宜大于 5min，终凝时间不宜大于 10min。

A.2.5 钢筋网构造设计应符合下列规定：

- 1 现场制安时宜采用 HPB300 钢筋，直径宜为 6mm~12mm，间距宜为 150mm~250mm；
- 2 成品铁丝网铁丝直径不宜小于 2.3mm，间距宜为 50mm~100mm；
- 3 钢筋保护层厚度不应小于 20mm；
- 4 网片搭接长度不应小于 150mm 且不应少于 1 个网格；
- 5 喷射混凝土厚度超过 150mm 时宜设置双层钢筋网。

A.3 施工与检验

A.3.1 喷射机、空压机、输料管、供水设施、胶带输送机等机械设备的性能宜符合《水电水利工程锚喷支护施工规范》DL/T 5181 规定。

A.3.2 混合料拌制宜符合下列规定：

1 干喷法及潮喷法采用强制式搅拌机时搅拌时间不应少于 60s，采用自落式或滚筒式搅拌机时不应少于 120s；湿喷法宜采用商品混凝土，坍落度宜为 80mm~120mm；

2 混合料应随拌随用，应在初凝前使用完毕，存放时间不宜超过 2h，环境温度超过 30℃ 时不宜超过 1h；

3 采用粉状速凝剂时宜在喷射机料斗中加入，采用液态速凝剂时宜在喷头加入；加入速凝剂后应立即喷射作业，存放时间不应超过 10min；

4 混合料应按质量计量，围岩支护工程胶凝材料及外加剂质量允许偏差宜为 2%，表层防护工程宜为 3%；围岩支护工程骨料质量允许偏差宜为 3%，表层防护工程宜为 5%。

A.3.3 喷射作业宜符合下列规定：

1 应做好现场施工准备工作，埋设好控制喷射混凝土厚度的标钉或标线等标志；

2 开挖后应及时喷射，应自下而上分片、分段、分层、连续作业，分段长度不宜大于 10m，搭接处不应漏喷；每层喷射厚度宜为 30mm~70mm，采用速凝剂时可增加 30mm~50mm；分层喷射时后层喷射应在前层混凝土终凝后进行，并应在喷射前用风或水清洗前层表面并保持受喷面湿润；喷嘴与受喷面的垂直度偏差宜不大于 15°，距离不宜大于 3m；干喷及潮喷作业时应控制好水灰比，保持混凝土表面平整，呈湿润光泽，无干斑及滑移流淌现象；潮喷法在拌和混合料时宜加入全部用水量的 8%~10%。

3 应控制好回弹率，干喷法及潮喷法当工作面侧向时宜小于 15%，仰拱时宜小于 25%；湿喷法当工作面侧向时宜小于 12%，仰拱时宜小于 22%；

4 利用回弹料时应随掉落随收集随装入喷射机重新喷射；

5 作业过程中应及时对蜂窝、疏松、空隙、分层、漏筋及砂囊等缺陷进行处理；

6 永久性喷射混凝土作业环境温度宜为 5℃~35℃，混合料温度宜为 10℃~30℃；

7 作业时应做好防尘措施；

8 混凝土终凝后 3h 内不应进行新工作面炸药爆破作业；

9 喷射混凝土应进行养护，宜终凝 2h 后喷水养护。永久工程养护时间不应少于 14d，临时支护工程不宜少于 7d，临时防护工程不应少于 3d。

A.3.4 钢筋网喷射混凝土作业尚应符合下列规定：

1 钢筋使用前应清除污锈、调直；

2 钢筋网宜在初喷后铺设，与开挖面间距宜为 30mm~50mm；

3 钢筋网应与锚杆或插筋连接牢固，喷射混凝土时不应晃动；

4 采用双层钢筋网时，第二层钢筋网应在第一层被混凝土覆盖后铺设；

5 应调整好喷头与受喷面的距离及角度使回弹率尽量小；

6 应及时清除脱落的混凝土及被钢筋网架住的回弹料；

7 钢筋网合格标准应为：每延米钢筋数量符合设计要求，钢筋间距允许偏差 30mm。

A.3.5 喷射混凝土质量检测宜符合 A.3.6~A.3.9 条规定，也可按相关专业技术标准执行。

A.3.6 喷射混凝土质量检测项目应包括喷射混凝土厚度、强度、表观质量、钢筋网等，用于围岩支护时喷射混凝土厚度及抗压强度为主控项目，其余为一般项目；用于表层防护及施工措施时均为一般项目。

A.3.7 喷射混凝土用于围岩支护及表层防护时，应采用目测法检查表观质量，表观应平整且无裂缝、脱落、漏喷、露筋、空鼓、干斑、夹泥、洞穴、夹层、砂包、蜂窝等质量缺陷，渗漏水点应已经处理好或经各相关责任方确认无需处理。

A.3.8 喷射混凝土厚度检验宜符合下列规定：

1 用于临时表层防护时可根据预先埋设的标钉或标线进行厚度检查，也可结合钻孔法进行检测，用于围岩支护及永久表层防护时尚应结合钻孔法进行检测；

2 标志点检查密度每 100m² 不宜少于 1 个点且总数不应少于 3 个点；用于表层防护时钻孔密度每 500m² 不宜少于 1 个点且总数不应少于 3 个点；用于围岩支护时钻孔密度每 200m² 不宜少于 1 个点且总数不应少于 3 个点；

3 没有埋设标志点时宜采用钻孔法替代，岩层中也可采用针探法替代，针探检测宜在喷射混凝土终凝前完成；

4 厚度合格标准应为：

1) 标志点厚度均符合设计值；

2) 钻孔法检测结果中，用于表层防护的喷射混凝土厚度不小于设计值的孔数不少于总数的 70%，同时平均值不小于设计值且最小值不小于设计值的 70%；用于围岩支护的喷射混凝土厚度不小于设计值的孔数不少于总数的 80%，同时平均值不小于设计值且最小值不应小于设计值的 80%；

3) 对标志点厚度检查结果有异议时应以钻孔法检测结果为准。

A.3.9 喷射混凝土抗压强度检验宜符合下列规定：

1 试件制作宜采用现场取芯法或向试验盒内喷射混凝土法，也可采用向混凝土抗压试模内喷射混凝土法；

2 用于围岩支护时试件数量每 50m³ 混合料不应少于 1 组且总数不应少于 3 组；用于表层防护时试件数量每 100m³ 混合料不应少于 1 组且总数不应少于 3 组；每组试件不应少于 3 个；

3 试件宜采用边长为 150mm 立方体试块，养护、试验及强度评定方法应符合《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107 的规定。

附录 B 锚固节点锚座承载力验算方法

B.0.1 锚座在锚固板或锚垫板压力作用下受冲切承载力验算应符合下列规定（图 B.0.1）：

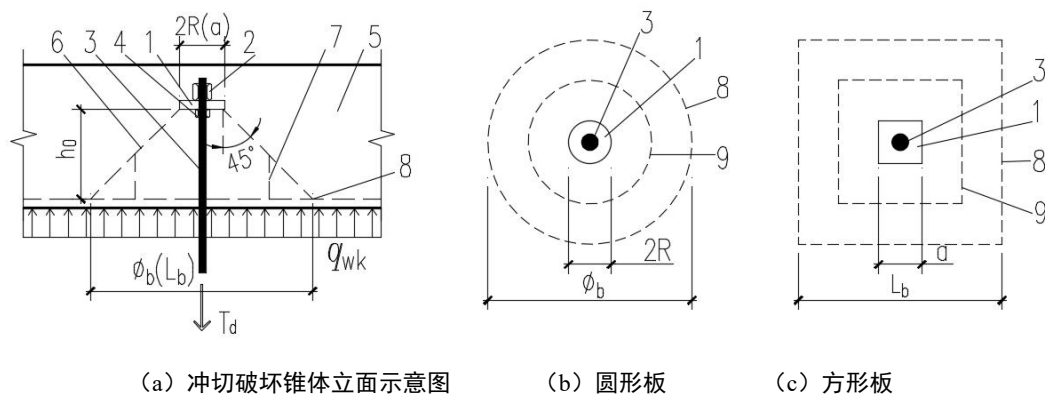


图 B.0.1 锚座受冲切承载力计算简图

1—锚固板；2—锁定螺母；3—锚筋；4—定位螺母；5—锚座；6—冲切破坏锥体的斜截面；7—计算截面；8—冲切破坏锥体底面线；9—计算截面的周长

1 锚座混凝土不配置箍筋或弯起钢筋时，受冲切承载力可按下列式验算：

$$T_d - p_{sk} A_{bt} \leq 0.7 \beta_h f_t u_m h_0 \quad (\text{B.0.1-1})$$

$$\text{对于圆形板} \quad u_m = (2R + h_0) \pi \quad (\text{B.0.1-2})$$

$$\text{对于方形板} \quad u_m = 4(a + h_0) \quad (\text{B.0.1-3})$$

式中： T_d —— 作用于板的集中力设计值（kN），宜取 $1.1N_d$ 与 $1.5R_k$ 中的较大值；

p_{sk} —— 作用于冲切破坏锥体底面单位面积的地基反力标准值（kPa），用于抗浮锚杆时为单位面积的水浮力标准值；

A_{bt} —— 冲切破坏锥体底面线围成的底面面积（mm²）；

β_h —— 截面高度影响系数；当截面高度 h 不大于 0.8m 时 β_h 取 1.0，当 h 不小于 2.0m 时 β_h 取 0.9，其间按线性内插法取值；

f_t —— 混凝土轴心抗拉强度设计值（MPa）；

u_m —— 计算截面的周长（mm），取距离板边缘 $h_0/2$ 处的锚座底面垂直截面的最不利周长；

R —— 圆形锚固板外半径（mm）；

a —— 方形锚固板边长（mm）；

h_0 —— 截面有效高度（mm）。

2 锚座受冲切承载力不满足第 1 款规定且板厚受到限制时，可配置箍筋或弯起钢筋并按《混凝土结构设计规范》GB50010—2010 第 6.5.3 条及下列式验算：

$$T_d - p_{sk} A_{bt} \leq 1.2 f_t u_m h_0 \quad (\text{B.0.1-4})$$

B.0.2 长期锚杆的锚座在锚固板压力作用下，满足下列条件时可不进行受冲切承载力验算：

1 锚筋抗拉断承载力安全系数符合 5.3.1 条规定；

- 2 用于受冲切承载力验算的集中力设计值不大于 $1.5R_k$;
- 3 锚固板直径不小于 3 倍锚筋直径 d ;
- 4 锚杆间距不大于 $3m \times 3m$;
- 5 锚座不同混凝土强度等级时锚筋锚入锚座的直线锚固长度不小于下表规定。

表 B.0.2 锚筋锚入锚座的直线锚固长度

钢筋牌号或代号	HRB400	HRB500	PSB785	PSB930	PSB1080
d (mm)	25~36	25~36	32~40	32~40	32~40
C25	$11d$	$12d$	/	/	/
C30	$10d$	$11d$	$13d$	$14d$	$15d$
C35	$10d$	$11d$	$12d$	$13d$	$14d$
C40	$9d$	$10d$	$12d$	$13d$	$14d$

注：钢筋直径满足上述规定而计划选用更大直径时，直线锚固长度可按原直径计算。

B.0.3 锚座在锚固板或锚垫板压力作用下局部受压承载力验算应符合下列规定：

- 1 板下混凝土不配置间接钢筋时，混凝土局部受压承载力可按下列公式验算：

$$T_d \leq 0.85 \sqrt{A_b / A_l} f_c A_{ln} \quad (\text{B.0.3})$$

式中： A_b —— 局部受压计算底面积 (mm^2)；

A_l —— 混凝土局部受压面积 (mm^2)；

A_{ln} —— 混凝土局部受压净面积 (mm^2)，即在混凝土局部受压面积中扣除板下锚筋（锚固板）或穿筋孔（锚垫板）截面积后的面积；

f_c —— 混凝土轴心抗压强度设计值 (MPa)。

2 板底混凝土局部受压承载力不满足第 1 款规定时，可按《混凝土结构设计规范》GB50010—2010 第 6.6.3 条规定配置方格网式或螺旋式间接钢筋并进行验算。

B.0.4 长期锚杆的锚座在锚固板压力作用下，满足下列条件时可不进行局部受压承载力验算：

- 1 锚筋承载力安全系数符合 5.3.1 条规定；
- 2 用于局部受压承载力验算的集中力设计值不大于 $1.5R_k$ ；
- 3 不同锚座混凝土强度等级时锚固板最小直径及螺旋箍筋符合下表规定（图 B.0.4）。

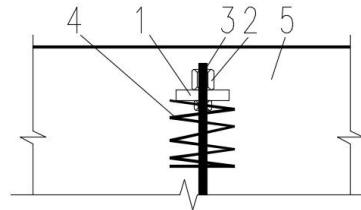


图 B.0.4 锚固板下螺旋式配筋示意图

1—锚固板；2—锁定螺母；3—锚筋；4—螺旋筋；5—锚座

表 B.0.4 锚固板最小直径及螺旋箍筋要求

钢筋牌号或代号		HRB400	HRB500	PSB785	PSB930	PSB1080
d (mm)		25~36	25~36	32~40	32~40	32~40
C25	D_b	$3d$	$3d$	/	/	/
	螺旋式配筋	$\Phi 6@60$	$\Phi 8@60$	/	/	/
	螺旋筋圈数	4	4	/	/	/
C30	D_b	$3d$	$3d$	$3.4d$	$3.6d$	$4.0d$
	螺旋式配筋	$\Phi 6@60$	$\Phi 6@60$	$\Phi 10@45$	$\Phi 10@45$	$\Phi 10@45$
	螺旋筋圈数	4	4	5	5	5
C35	D_b	$3d$	$3d$	$3.2d$	$3.4d$	$3.6d$
	螺旋式配筋	0	$\Phi 6@50$	$\Phi 10@50$	$\Phi 10@50$	$\Phi 10@45$
	螺旋筋圈数	0	4	4	5	5
C40	D_b	$3d$	$3d$	$3d$	$3.2d$	$3.4d$
	螺旋式配筋	0	0	$\Phi 10@40$	$\Phi 10@40$	$\Phi 10@40$
	螺旋筋圈数	0	0	5	6	5

注：1 表中 d 为钢筋直径， D_b 为锚固板直径，螺旋筋牌号为 HPB300；

2 $D_s=1.2D_b$ ， D_s 为螺旋圈直径（螺旋筋中心距），单位为 mm。

附录 C 锚固板强度验算方法

C.0.1 锚固板应进行抗拉强度验算，并宜符合下式：

$$1.1M/W \leq f \quad (\text{C.0.1})$$

式中： M —— 锚固板弯矩设计值（ $\text{N}\cdot\text{mm}$ ），可按 C.0.2 条及 C.0.3 条计算；

W —— 锚固板的截面受拉弹性抵抗矩（ mm^3 ）；

f —— 锚固板钢材抗拉强度设计值（ MPa ），取值应执行《钢结构设计标准》GB50017 有关规定。

C.0.2 圆形锚固板弯矩 M 和截面受拉弹性抵抗矩 W 可根据下列公式（图 C.0.2）计算：

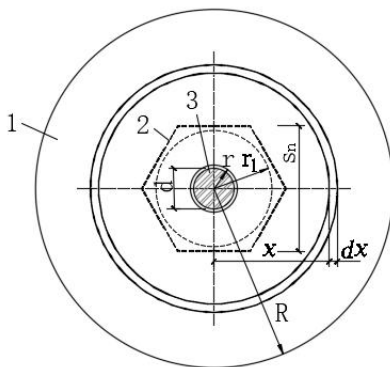


图 C.0.2 圆形锚固板弯矩计算简图

1—圆形锚固板；2—六角螺母；3—锚筋

$$M = 2\pi p_d (R^3/3 - R^2 r_1/2 + r_1^3/6) \quad (\text{C.0.2-1})$$

$$W = \pi r_1^2 t / 3 \quad (\text{C.0.2-2})$$

$$p_d = 0.25 d^2 f_{py} / (R^2 - r^2) \quad (\text{C.0.2-3})$$

$$r_1 = 0.5 s_n - \delta_1 \quad (\text{C.0.2-4})$$

$$r = 0.5 d + h_n + \delta_2 + \delta_3 \quad (\text{C.0.2-5})$$

式中： p_d —— 锚固板单位反力设计值（ MPa ）；

t —— 锚固板厚度（ mm ）；

R —— 锚固板外半径（ mm ）；

r_1 —— 锚固板应力控制点半径（ mm ），取值不宜大于锁定螺母与锚固板实际接触面半径；

s_n —— 六角形螺母对边宽度（ mm ）；

δ_1 —— 螺母倒角尺寸（ mm ），应按螺母规格取值，也可按 2mm 初定。

d —— 锚筋直径（ mm ）；

f_{py} —— 预应力螺纹钢筋强度设计值（ MPa ），采用普通钢筋时为 f_y （ MPa ），取值应执行《混凝土结构设计规范》GB50010 有关规定；

r —— 锚固板内半径（ mm ）；

- h_n —— 预应力螺纹钢筋的螺纹高度或普通热轧带肋钢筋的肋高 (mm) ;
- δ_2 —— 螺纹高允许正偏差 (mm) , 采用普通热轧带肋钢筋时取 0;
- δ_3 —— 锚固板孔壁与锚筋外皮之间空隙 (mm) , 宜取 0.75mm。

C.0.3 方形锚固板弯矩 M 可按下列公式计算 (图 C.0.3) , W 可按式 C.0.2-2 计算:

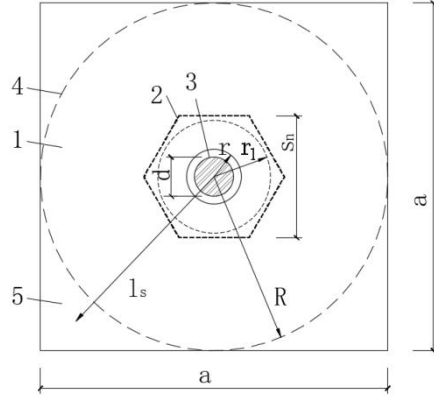


图 C.0.3 方形锚固板弯矩计算简图

1—方形锚固板; 2—六角螺母; 3—锚筋; 4—内接圆; 5—内接圆外的角部;

$$M = M_1 + M_2 \quad (C.0.3-1)$$

$$M_1 = 2\pi p_d (a^3 / 24 - a^2 r_1 / 8 + r_1^3 / 6) \quad (C.0.3-2)$$

$$M_2 = S_1 p (l_s - r_1) \quad (C.0.3-3)$$

$$S_1 = 0.21a^2 \quad (C.0.3-4)$$

$$l_s = 0.55a \quad (C.0.3-5)$$

$$p_d = 0.25\pi d^2 f_{py} / (a^2 - \pi r^2) \quad (C.0.3-6)$$

式中: M_1 —— 锚固板内接圆内的弯矩 (N·mm) ;

M_2 —— 锚固板内接圆外四个角部的弯矩 (N·mm) ;

a —— 方形锚固板边长 (mm) ;

S_1 —— 锚固板内接圆外四个角部面积 (mm²) ;

l_s —— 锚固板内接圆外角部形心至螺栓中心的距离 (mm)

C.0.4 P_d 不大于锚筋设计承载力且锚固板直径及厚度不小于下表规定时, 可不验算锚固板强度:

表 C.0.4 锚固板最小直径及最小厚度 (mm)

钢筋代号		PSB785			PSB930			PSB1080		
d (mm)		32	36	40	32	36	40	32	36	40
锚固板直径		$3.2d$	$3.2d$	$3.2d$	$3.4d$	$3.4d$	$3.4d$	$3.6d$	$3.6d$	$3.6d$
锚固板 钢级	Q355	28	32	38	34	38	44	38	44	50
	Q390	26	30	36	32	38	42	36	40	48

附录 D 锚杆防腐技术要求

表 D.0.1 锚杆防腐技术要求

防腐等级	锚杆类型	杆体材料	锚头段	锚筋自由段	粘结段/承压件
III 级		无要求	对锚头段及张拉段锚筋涂刷水泥浆或防腐涂料,对锚座穿筋孔灌水泥浆	无要求	无要求
II 级	压力型	无粘结钢绞线	护套延伸至锚具底,过渡管内注润滑脂或微膨胀浆体	护套	锚具或钢承压件敷涂防腐材料,注浆,或增设囊袋
		预应力螺纹钢筋	同上	加设护套,护套内注润滑脂	锚具敷涂防腐材料,注浆,或增设囊袋
	拉力型	无粘结钢绞线	同上	同上	剥除护套,洗净润滑脂,波纹管内外注浆
		环氧涂层筋体	护套延伸至锚具底	同上	注浆
		普通钢绞线	波纹管或护套延伸至锚具底,过渡管内注润滑脂或微膨胀浆体	延伸波纹管,或加设护套、护套内注润滑脂,或锁定后注浆	波纹管内外注浆
		热轧带肋钢筋或预应力螺纹钢筋	同上	同上	同上,或敷涂环氧涂料后注浆
	非预应力型	热轧带肋钢筋或预应力螺纹钢筋	敷涂环氧涂料,或过渡管内注润滑脂或微膨胀浆体	--	敷涂环氧涂料后注浆
		环氧涂层钢筋	修补破损涂层	--	注浆
I 级	压力型	无粘结钢绞线	锚垫板带喇叭管,护套延伸至锚具底,过渡管内注润滑脂或微膨胀浆体	护套外注浆,或加设一层护套、护套内注润滑脂	锚具或钢承压件敷涂防腐材料,注浆,或加设囊袋
		预应力螺纹钢筋	同上	加设护套,护套内注润滑脂、护套外注浆;或双层护套,护套内注润滑脂	锚具敷涂防腐材料,注浆,或加设囊袋
		环氧涂层筋体	护套延伸至锚具底,过渡管内注润滑脂或微膨胀浆体	护套外注浆,或加设一层护套、护套内注润滑脂	同上
	拉力型	无粘结钢绞线	锚垫板带喇叭管,护套延伸至锚具底,过渡管内注润滑脂或微膨胀浆体	加设护套,护套内注浆或润滑脂	剥除护套、洗净润滑脂,波纹管预注浆,管外注浆
		环氧涂层筋体	护套延伸至锚具底,过渡管内注润滑脂或微膨胀浆体	同上,或锁定后注浆	波纹管内外注浆
		普通钢绞线	锚垫板带喇叭管;内护套延伸至锚具底,过渡管内注润滑脂或微膨胀浆体,或过渡管内锁定后注浆	内护套内预注浆或润滑脂、外护套内注润滑脂或浆,或护套内注润滑脂、锁定后注浆	波纹管预注浆,管外注浆
		热轧带肋钢筋或预应力螺纹钢筋	同上	同上,或敷涂环氧涂料后护套内注润滑脂,或敷涂环氧涂料后、锁定后注浆	同上,或敷涂环氧涂料后,波纹管内外注浆
	非预应力型	热轧带肋钢筋或预应力螺纹钢筋	波纹管或环氧涂层进入基础结构不少于 50mm,过渡管内注微膨胀浆体	--	波纹管预注浆,管外注浆;或敷涂环氧涂料后波纹管内外注浆
		环氧涂层钢筋	波纹管进入结构不少于 50mm,或过渡管内注微膨胀浆体	--	波纹管内外注浆

注:

- 1 经验足够时,可敷涂其它防腐材料替代环氧树脂防腐涂料,可采用缓凝浆体替代锁定后注浆,非预应力注浆锚杆在微腐蚀地层且防腐等级 II 级时可采用腐蚀裕量法;
- 2 采用腐蚀裕量法时,锚筋应采用普通钢筋,直径不应小于 20mm,钢筋保护层厚度不应小于 30mm。腐蚀速率宜根据试验结果取值,初步设计时热轧带肋钢筋的单面腐蚀率水位以上可取 0.05mm/y,水位以下可取 0.03mm/y,水位波动区可取 0.1mm/y~0.3mm/y;
- 3 锚筋自由段采用双层套管时,内护管不应共用,外护管应该共用;
- 4 波纹管内预注浆应在工厂条件(或相当于工厂条件)下进行,浆体保护层厚度不应小于 20mm;不注明预注浆时指的是现注浆。
- 5 有足够经验时,可采用 PVC 管、变形管、带肋管或囊袋替代锚固段波纹管;
- 6 内护套也可采用波纹管、变形管、带肋管等;
- 7 采用树脂替代浆体时,可作为 I 级防腐;
- 8 电流干扰环境腐蚀等级为中等时,应采用至少一层护套防腐;
- 9 I 级防腐时应采用混凝土加锚具罩封锚,II 级防腐时应至少采用一层混凝土封锚。

附录 E 极限试验要点

E.0.1 符合下列条件之一时应进行锚杆极限试验：

- 1 新型锚杆，包括新材料、新施工工艺、新组配件等；
- 2 无锚固相关经验的地层；
- 3 拟设计承载力高于既有经验。

E.0.2 试验宜获得下列成果：

1 粘结锚杆岩土体—锚固体界面粘结力、拉力型锚杆锚筋—锚固体界面粘结力、锚筋抗拉断力、压力型锚杆锚固体抗局压力、摩擦锚杆岩土体—杆体界面摩阻力、扩体锚杆锚固体面端端阻力、扩体锚杆浆体芯—水泥土界面粘结力、粘结段设置波纹管时波纹管—锚固体界面粘结力等其中的一项或几项；

- 2 预应力锚杆表观锚筋自由长度 L_{app} ；
- 3 蠕变特性。

E.0.3 极限试验锚杆应符合下列规定：

- 1 极限试验锚杆应专门施作，不应在工程锚杆上进行；
- 2 极限试验目的为获取固结体与岩土体粘结强度时，宜设置止浆塞等分隔装置；
- 3 试验锚杆的材料、组配件、施工工艺及参数、所处的工程地质及水文地质条件等应与同类型工程锚杆基本相同；除为满足某一特定目标而设定的设计参数，其它设计参数应与同类型工程锚杆基本相同；
- 4 试验前锚杆应达到最短养护期，宜达到标准养护期；
- 5 试验后不得用于永久工程，没有破坏的锚杆有条件时可用于临时工程；
- 6 有条件时宜挖出检查。

E.0.4 同类型锚杆试验数量不应少于 6 根。

E.0.5 有条件时宜在锚固段或承压件上安装传感器，测试锚筋或锚固体的应力或荷载分布及测量锚固段位移。

E.0.6 试验加卸载应采用多循环法，循环次数宜为 6~8 次，承载力高时取高值、反之取低值；循环次数为 7 次时分级荷载宜为预估最大试验荷载 P_p 的 0.3、0.5、0.6、0.7、0.8、0.9 及 1.0 倍。

E.0.7 位移观测期、记录及稳定指标应符合下列规定：

- 1 每循环峰值荷载的位移常规观测期宜为 60min，其中最短观测期不宜少于 15min；延长观测期不宜少于 240min；每级加卸载过程荷载观测期宜为 1min；
- 2 最短观测期宜按 1 次/1min、之后宜按 1 次/5min、延长观测期宜按 1 次/10min、每级加卸载过程荷载观测期宜按 1 次/1min 自动化测读并记录锚杆位移。
- 3 无 12.5.1 条规定情况时，每循环加载至峰值荷载下，最短观测期内蠕变量不大于 2.0mm 宜判断为蠕变稳定；否则应继续观测 45min，45min 内蠕变量不大于 1.2mm 宜判断为

蠕变稳定；否则宜进入延长观测期继续观测，如 α 不大于 2.0mm 应判定为蠕变稳定、随时可进入下一循环试验，否则宜观测至延长观测期结束。

4 有 12.5.1 条规定情况之一时，不应设置最短观测期，常规观测期宜如下表所示；每循环加载至峰值荷载下，常规观测期内应蠕变稳定；否则宜进入延长观测期继续观测（ $0.7P_p$ 级可不延长），如蠕变稳定随时可进入下一循环试验，否则宜至延长观测期结束；宜采用 α 不大于 2.0mm 作为蠕变稳定判定指标，有经验时也可采用 α 不大于 5.0mm 的其它指标。

表 E.0.7 判断可能会发生较大蠕变情况时常规观测期

荷载等级	$0.3P_p$	$0.5P_p$	$0.6P_p$	$0.7P_p$	$0.8P_p$	$0.9P_p$	$1.0P_p$	$>1.0P_p$
常规观测期(min)	60	60	60	300	60	60	60	60

E.0.8 出现下列情况之一时应判定锚杆达到承载力极限状态并应中止加载：

- 1 锚杆筋体断裂；
- 2 非预应力锚杆累计位移量大于 100mm；
- 3 延长观测期结束时不满足稳定指标。

E.0.9 加载至 P_p 后如未出现 E.0.8 条规定的中止加载情况，则应继续分级循环加载试验直至破坏，每级荷载增量宜取 $0.05P_p$ 。

E.0.10 应整理试验数据并绘制 $P-s$ 、 $P-s_e$ 、 $P-s_p$ 、 $s-\lg t$ 、 $\Delta s-\lg t$ 及 $\alpha-P$ 等曲线。

E.0.11 宜根据下式计算蠕变率 α ：

$$\alpha = (s_2 - s_1) / (\lg t_2 - \lg t_1) \quad (\text{E.0.11})$$

式中： α —— 蠕变率（mm）；

s_2 、 s_1 —— t_2 、 t_1 时刻所测读的锚头位移（mm）；

t_2 、 t_1 —— 计算时间对数周期的终、始时刻（min），其中 t_1 不宜小于第 5min， t_2 宜大于 t_1 至少 10min，有 12.5.1 条规定情况之一时 t_2 宜取观测期末时刻。

E.0.12 锚杆承载力检测值宜取下列规定中的最小值：

- 1 破坏荷载的前一级荷载；
- 2 按 E.0.7 条确定的蠕变率指标对应的荷载；
- 3 实际最大试验荷载。

E.0.13 根据试验结果计取锚杆承载力方法应符合附录 F 规定。

E.0.14 预应力锚杆应计算表观锚筋自由长度 L_{app} ，宜按下式计算，其中压力分散锚杆宜按每个单元锚杆单独计算：

$$L_{app} = n A_s \Delta s_e E_s / (P_p - P_a) \quad (\text{E.0.14})$$

式中： L_{app} —— 表观锚筋自由长度（m）；

Δs_e —— 相应于 P_a 至 P_p 的锚筋弹性位移（mm），为锚头总位移 s 与总塑性位移 s_p 之差；

E_s —— 锚筋弹性模量（MPa）。

E.0.15 拉力型锚杆及压力型锚杆 L_{app} 上下限指标应分别符合式（E.0.15-1）及式（E.0.15-2）

规定，其中位移测量点设置在锚杆孔口处的杆体上时 L_e 应取 0。

$$0.8L_{tf} + L_e \leq L_{app} \leq L_{tf} + L_e + L_{tb} / 2 \quad (\text{E.0.15-1})$$

$$0.8L_{tf} + L_e \leq L_{app} \leq 1.1L_{tf} + L_e \quad (\text{E.0.15-2})$$

式中： L_{tf} —— 锚筋自由段长度（m）；

L_e —— 张拉段长度（m）。

E.0.16 L_{app} 如不满足上下限指标，应分析原因并采取测试锚筋摩阻损失等对策后重新试验或在适应试验时重新验证，如仍不满足，原因明确时可调整上下限指标作为工程验收指标。

E.0.17 锚杆刚度系数宜按下式计算：

$$k_{RT} = (P_2 - P_1) / (s_2 - s_1) \quad (\text{E.0.17})$$

式中： k_{RT} —— 通过锚杆试验获得的锚杆刚度系数（kN/mm）；

P_2 、 P_1 —— P - s 曲线上的特定荷载（kN），取值方法宜符合 E.0.18 条规定；

s_2 、 s_1 —— P_2 、 P_1 所对应的锚杆位移（mm）。

E.0.18 P_2 、 P_1 及 k_{RT} 取值宜符合下列规定：

1 P_2 宜取锚杆轴向拉力标准值 N_k ， P_1 宜取 P_a ；数据离散性小且经验丰富时预应力锚杆的 P_1 也可取锁定力 P_t ；

2 地质条件复杂或数据离散性较大时 k_{RT} 宜分不同区域分别统计取值；

3 各锚杆 k_{RT} 极差不超过平均值的 30% 时可取平均值，超过 30% 时可按相关经验处理。

E.0.19 对某种破坏形式的承载力统计计算采用其它破坏形式获得的成果有争议时宜重新试验。

E.0.20 极限试验获得的锚杆性能应用于工程锚杆时应考虑适用条件。

附录 F 锚杆承载力取值方法

F.0.1 锚杆荷载试验数量不少于 6 个时宜按下列公式计算承载极限承载力标准值：

$$R_{um} = \sum_{i=1}^m R_{u,i} / m \quad (\text{F.0.1-1})$$

$$\sigma_f = \sqrt{[\sum_{i=1}^m R_{u,i}^2 - (\sum_{i=1}^m R_{u,i})^2 / m] / (m-1)} \quad (\text{F.0.1-2})$$

$$\delta_m = \sigma_f / R_{um} \quad (\text{F.0.1-3})$$

$$\gamma_s = 1 - (1.704 / \sqrt{m} + 4.678 / m^2) \delta_m \quad (\text{F.0.1-4})$$

$$R_{uk} = \gamma_s R_{um} \quad (\text{F.0.1-5})$$

式中： R_{uk} —— 承载力标准值（kN）；
 R_{um} —— 承载力检测值的平均值（kN）；
 m —— 试验数量；
 $R_{u,i}$ —— 第 i 个试验承载力检测值（kN）；
 σ_f —— 标准差；
 δ_m —— 变异系数；
 γ_s —— 统计修正系数。

F.0.2 锚杆荷载试验数量少于 6 个时宜按下列方法计取承载力标准值：

- 1 极差不超过平均值的 30% 时取试验结果中的最小值；
- 2 极差超过平均值的 30% 时分析原因后综合确定，原因不能明确时增加试验数量后重新统计。

F.0.3 锚杆受拉承载力特征值应取极限试验获得的各承载力标准值除以第 5.4 节规定的相应安全系数后的最小值，其中非预应力锚杆受拉承载力特征值不应大于锚杆位移设计允许值所对应的荷载，设计无明确要求时不应大于锚杆累计位移 20mm 所对应的荷载。

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”。

3) 表示允许稍有选择，在条件允许时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2 条文中指明应按其它有关标准或其它条款执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

另外，部分条文的书写格式为“……应符合下列规定”、“……应符合下列规定”等，其下再分为多款，这是标准编写格式要求，条中的“应、宜、可”为承上启下连接用语，与该条各款中表示严格程度的用词“必须、应、宜、可”有时会有所不同，不同时各款用词表示条款的严格程度。

引用标准名录

- 1 《建筑地基基础设计规范》 GB 50007
- 2 《混凝土结构设计规范》 GB 50010
- 3 《钢结构设计标准》 GB 50017
- 4 《建筑结构可靠性设计统一标准》 GB50068
- 5 《岩土锚杆与喷射混凝土工程技术规范》 GB 50086
- 6 《地下工程防水技术规范》 GB 50108
- 7 《工程结构可靠性设计统一标准》 GB50153
- 8 《预应力混凝土用螺纹钢筋》 GB/T 20065
- 9 《混凝土结构耐久性设计规范》 GB/T 50476
- 10 《混凝土强度检验评定标准》 GB/T 50107
- 11 《预应力混凝土用钢绞线》 GB/T 5224
- 12 《涂覆涂料前钢材表面处理—表面清洁度的目视评定—第一部分：未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的腐蚀等级和处理等级》 GB/T 8923. 1
- 13 《钢筋锚固板应用技术规程》 JGJ 256
- 14 《建筑砂浆基本性能试验方法标准》 JGJ/T 70
- 15 《建筑钢结构防腐蚀技术规程》 JGJ/T 251
- 16 《锚杆用热轧带肋钢筋》 YB/T 4364
- 17 《水电水利工程锚喷支护施工规范》 DL/T 5181
- 18 《电力工程地下金属构筑物防腐技术导则》 DL/T 5394

深圳市工程建设标准

岩土锚固技术标准

SJG 73-2020

条文说明

编制说明

为便于勘察、设计、施工、检测、监测、监理、监督、科研、学校等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定，编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明，对条文规定的目的、依据、执行方法、有关注意事项、本标准与国家现行《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》等技术标准中的相关条款的差别以及深圳市提高相关等级标准的原因和注意事项进行了说明，以便更好地指导工程实践。本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

技术标准的正文（包括附录）均具备不同程度的约束性。岩土锚固工程作为岩土工程的一个分支，不确定性很强，极为复杂，同一个问题往往会有多种解决方案，不可能均被列入标准；如果选择其中一种或几种放入条文，其就具备了约束属性，可能会阻碍其它解决方案的应用发展及更多更新技术的诞生；且大多数解决方案都是经验性或半经验性的，具有局限性及适用性，并非放之四海而皆准，具备约束性时容易造成误用及滥用。鉴于此，本标准部分条文采用了功能性模式编写，即条文规定了应达到的目标、功能或技术要求但不具体规定如何达到，在条文说明中提供了本地经验作为相应解决方案供使用者参考采用，这些解决方案包括了方法、理论、计算公式、基本数据等，在条文说明中用“本标准建议”进行明示。

另外，非常感谢下列深圳市内外专家为本标准审稿，特别是前 20 位专家，还给予了当面指导：

常 璐 陈云彬 程良奎 范景伦 金亚兵 林华国 刘国楠 刘 钟 柳建国 马 华
南建林 齐瑞忱 涂兵雄 魏建华 徐光明 徐名彬 徐祯祥 杨 立 杨志银 章广成
蔡巧灵 陈俊生 陈 锐 陈水平 陈晓丹 丁 锐 高 伟 耿 培 谷爱民 顾问天
韩一波 何其诚 黄力平 黄小平 黄 新 江 鸿 江辉煌 李亮辉 李良胜 梁月英
廖建三 林国威 刘吉波 刘秀军 骆以道 马 驰 毛广陵 齐明柱 王克勤 王云辰
王志权 吴曙光 肖 兵 徐 钢 杨红坡 叶帅华 张加粮 张 俊 张文华 张先亮
张欣海 赵崇基 赵行立 赵 辉 郑大洪 周 凯 朱文祥 朱珍德 卓志飞 邹学琴

目 次

1 总 则	69
2 术语与符号	70
3 基本规定	73
4 材料与构件	75
5 锚杆与锚座设计	78
5.1 一般规定	78
5.2 作用与作用效应	78
5.3 锚杆结构与选型	78
5.4 锚杆受拉承载力与长度	84
5.5 锚杆构造	93
5.6 锚座	95
5.7 锚固节点	96
5.8 锚杆刚度系数与锁定力	98
5.9 防腐	98
6 锚杆施工	103
7 边坡锚固工程	110
8 基坑锚固工程	113
9 基础与抗浮锚固工程	114
10 浅埋隧道与地下洞室锚固工程	119
11 既有挡墙锚固加固工程	122
12 锚杆荷载试验	123
12.1 一般规定	123
12.2 张拉、试验装置及操作要求	124
12.3 适应试验	126
12.4 验收试验	127
12.5 蠕变试验	129
12.6 提离试验	130
13 锚杆质量检验、验收、监测与维护	132
附录 A 喷射混凝土	134
附录 C 锚固板强度验算方法	136
附录 E 极限试验要点	137

1 总 则

1.0.2 本标准作为岩土锚固工程专项标准，用于边坡、基坑、基础与抗浮、浅埋隧道与地下洞室、既有挡墙加固等工程。本标准建议了如何在稳定验算等公式中计入锚杆抗力作用，基本不涉及荷载计算及稳定性验算模型，以便与相关标准相协调；另外，涉及到锚杆荷载试验的内容需与《深圳市锚杆试验与检测技术标准》配套使用。

1.0.4 引用标准名录及本条文说明中例举了本标准应执行或参照执行的标准，采用其它标准条款时应注意考察其适用性。本标准基于深圳本地的工程实践，并吸取了国内外的先进技术及经验，少量条款与现行相关标准（包括规范及技术标准）规定存在一些差异，使用时应注意区分，并建议本标准未尽之处再执行其它标准。

本标准参考的国际标准主要有：

- 1) BS 8081:1989, British Standard Code of practice for Ground anchorages;
- 2) BS 8081:2015, Code of practice for grouted anchors;
- 3) DIN 1054/A1-2012, Subsoil - Verification of the Safety of Earthworks and Foundations - Supplementary Rules To Din En 1997-1:2010; Amendment A1:2012;
- 4) DIN 50 929. Corrosion of metals — Probability of corrosion of metallic materials when subject to corrosion from the outside — Part3: Buried and underwater pipelines and structural components[S]. DIN: 1985;
- 5) EN206-1:2013. Concrete - Specification, performance, production and conformity;
- 6) EN 14490:2010, Execution of special geotechnical works - Soil Nailing;
- 7) EN 1997-1:2004, Eurocode 7: Geotechnical design - Part1: General rules;
- 8) EN 1537:2013, Execution of special geotechnical works - Ground anchors;
- 9) FHWA0-IF-03-017. Geotechnical Engineering Circular No.7: Soil Nail Walls. FHWA, 2003;
- 10) FHWA-IF-99-015, Geotechnical Engineering Circular No.4: Ground Anchors and Anchored Systems;
- 11) FHWA-SA-97-070, Micropile design and construction guidelines;
- 12) ISO/DIS 22477-5:2016, Geotechnical investigation and testing - Testing of geotechnical structures - Part 5: Testing of grouted anchors;
- 13) JGS4101-2012, グラウンドアンカー—設計・施工基準、同解説;
- 14) PTI DC35.1-14. Recommendations for Prestressed Rock and Soil Anchors;
- 15) М.И.Максимова.ГОСТ9.602-2005. ЕСЗКС. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии. Филиал ФГУП «Стандартинформ»。

条文说明中将上述欧盟、欧洲各国、欧盟与 ISO 合作完成的标准统称欧标，美国标准简称美标，日本标准简称日标。

2 术语与符号

2.1.1 岩土锚杆简称锚杆，也称地锚。国内“锚杆”通常英译为“anchor”，但概念与欧、美、日、港、ISO 及 CEN 等发达国家、地区及组织的锚杆相关标准（以下简称国际标准）中的“anchor”并不完全相同，最新国际标准中，“anchor”专指锚固体为浆体或树脂等粘结材料的预应力锚杆。另外，本标准中的“岩土体”为岩体与土体的合称。

2.1.2 用于支承锚头及扩散应力的梁、墙、板、柱、墩、承台、桩等结构构件统称为锚座，也称为锚座结构、支承结构或承载结构，通常采用钢筋混凝土材料，有时也采用钢或素混凝土；岩土锚固结构狭义上指锚杆及锚座，广义上指锚杆与各种构件组成的岩土体及结构物稳定体系；与岩土锚固结构及岩土体稳定相关的土木工程技术称为岩土锚固技术。

2.1.3~2.1.4 业界通常把设计使用年限 2 年以内的锚杆称为临时锚杆、大于 2 年的称为永久锚杆。不少基坑、临时边坡、挡墙加固、隧道及地下洞室等工程，锚杆设计使用年限及实际使用年限均超过了 2 年，如果按永久锚杆设计则造成浪费，故编制组将设计使用年限大于 5 年的定义为长期锚杆（为避免矛盾及误解，本标准不采用“永久锚杆”一词），不大于 5 年的定义为短期锚杆、即临时锚杆。《建筑结构可靠性设计统一标准》GB50068—2018、《工程结构可靠性设计统一标准》GB50153—2008 及《民用建筑设计通则》GB50352—2019 等标准规定，设计使用年限不超过 5 年的结构为临时性的，本定义符合这一原则，美标 PTI DC35.1—2014 亦将长期锚杆的设计使用年限定义为不少于 5 年。另外，本标准建议设计使用年限从锚杆杆体安装到岩土体之日起算。

2.1.5 浆体、固结体、锚固体及浆体芯的概念分别为：“浆体”狭义上指水泥浆，广义上为水泥净浆、水泥砂浆及细石混凝土等预拌制的水泥系胶结材料的统称；浆体、水泥卷、水泥土或树脂等胶结材料凝固后形成固结体；远离锚头并用于为锚杆提供抗拔承载力的固结体称为锚固体；固结体通常沿锚杆全长连续，靠近锚头的那部分往往位于不稳定岩土体中、不应为锚杆提供抗拔力，锚杆抗拔力主要依靠远离锚头的那部分固结体、即锚固体提供；扩体锚杆的扩体内通常为水泥土，与锚筋的粘结强度较低且几乎不能为锚筋提供腐蚀防护功能，往往需要重新钻孔注浆，在水泥土固结体内形成浆体芯。

2.1.6 锚杆筋体与杆体的概念分别为：“筋体”专指钢绞线、钢筋、钢管、钢丝绳等主筋，是“杆体”组成部分，而“杆体”由锚筋与护套、防腐体、定位架、束线环、端帽、承压件等构件组装而成，其中护套指包裹在锚筋及防腐润滑脂外围用于防止锚筋与固结体粘结及锚筋防腐的塑料套管。

2.1.7~2.1.12 “锚固”对于粘结锚杆而言指的是固结体与岩土体的粘结，对于摩擦锚杆而言指的是杆体与岩土体的摩擦，对于端头锚固型锚杆而言指的是杆体底端与岩土体的固定，对于粘结端承锚杆而言指的是固结体与岩土体的粘结及端承；锚头指位于地表外的那段锚杆，一般由锚具、锚垫板、锚固板、过渡管、连接筋、加强筋、防腐体等构件中的几种与锚筋组

成。锚筋自由段在锚杆张拉前不与固结体产生粘结，张拉后可以不粘结，也可以通过后注浆方式产生粘结。另外，由于翻译原因，术语中的“段”与国际标准中英文“length”并不完全对应。

2.1.13 承压件位于压力型锚杆杆体底端或压力分散锚杆单元锚杆杆体底端，承受锚筋拉力并将之以压力形式传递给锚固体。承压件有 5 种常用形式：（1）固定端锚具，用于常规压力型锚杆，通常为挤压锚；（2）用于可回收锚杆带有 U 型槽的承载体；（3）用于可回收锚杆的自解锁锚具；（4）预制粘结段；（5）囊袋锚杆的承载盘等。

2.1.14 锚垫板与锚固板的概念分别为：锚垫板设置在锚座表面，承受锚具传递的荷载并分散传递到锚座，也称为钢垫板或承压板等；锚固板指设置于钢筋端部、用于将钢筋锚固在混凝土结构内的金属板，直接承受钢筋传递的荷载，可用于锚筋锚杆的锚固，也可用于其它用途钢筋的锚固。

2.1.15~2.1.16 粘结锚杆可为预应力锚杆及非预应力锚杆，摩擦锚杆一般指非预应力锚杆。

2.1.17~2.1.18 可回收锚杆也称为可拆芯锚杆、可拆卸锚杆等，可通过预先安装在杆体上的自解锁锚具等特定装置自行使锚筋拆分脱离，自解锁锚具与锚筋解除力学关联的行为称为解锁。锚筋解锁、拆除、回收后一般会在地下遗留有固结体及承压件等。

2.1.19 锁定力、持有拉力与放张荷载：预应力锚杆因受荷载作用而在锚筋上产生的拉力称为持有拉力，也称持有力、持有荷载、驻留荷载、有效预应力、张拉力、预紧力等；锚筋因张拉锁定而立即持有的拉力称为锁定力，也称初始持有拉力、锁定荷载、初始预应力等。预应力锚杆张拉锁定时，千斤顶放张瞬间对锚筋施加的荷载称为放张荷载，也称为超张拉力。锚索随着千斤顶卸载放张，锚筋回缩，带动夹片移动楔紧锚具，锚筋及锚夹具回缩变形等原因导致拉力产生损失，称为拉力锁定损失；为使锁定力恰好达到设计值，理论上应将放张荷载设定为设计锁定力与锁定损失之和。

2.1.20 锚杆受拉后可能会产生多种模式破坏，包括注浆锚杆锚固体或摩擦锚杆杆体从岩土体中拔出破坏、锚筋拉断破坏、锚筋从固结体中拉脱破坏、压力型锚杆底端锚固体局部受压破坏、扩体锚杆的浆体芯从扩体混凝土中拔出破坏、可回收锚杆锚筋回收失效无法拆除等，不同破坏模式都对应着不同承载力。本标准中采用的各种承载力名词解释如下：

1 锚杆抗拔承载力指在拉力作用下，注浆锚杆的锚固体或摩擦锚杆的杆体与岩土体界面达到破坏状态前或出现不适于继续承载的变形时所对应的最大轴向拉力，简称抗拔力，也称锚杆锚固力，其中注浆锚杆抗拔力也称为锚固体抗拔力；

2 锚筋抗拉脱承载力指在拉力作用下，注浆锚杆的锚筋与固结体界面达到破坏状态前所对应的最大轴向拉力，简称抗拉脱力，也称锚筋抗拔承载力；

3 锚筋抗拉断承载力指在拉力作用下，锚筋达到破坏状态前或出现不适于继续承载的变形时所对应的最大轴向拉力，简称抗拉断力，也称为破断力；

4 锚固体局部受压承载力指压力型锚杆在底端承压件的局部压力作用下，锚固体达到破

坏状态前或出现不适于继续承载的变形时所对应的最大轴向拉力，简称抗局压力；

5 浆体芯抗拔承载力指在拉力作用下，扩体锚杆浆体芯与扩体混凝土及岩土体界面达到破坏状态前或出现不适于继续承载的变形时所对应的最大轴向拉力，简称芯体抗拔力。锚筋从浆体芯中的抗拉脱承载力亦为锚筋抗拉脱力；

6 锚筋抗回收承载力：可回收锚杆在拉力作用下，因自解锁锚具变形过大等原因导致解锁失效（锚筋不能自行拆除回收）时所对应的最大轴向拉力，简称锚筋抗拆力。锚筋抗拆力往往要小于材料破断力或 0.2%屈服力，对于具体某种自解锁锚具产品而言通常为定值。可回收锚杆在设计使用年限内除应保持良好的结构安全性能，尚应能正常解锁拆除锚筋。

2.1.21~2.1.22 国际标准中，锚杆试验主要分为探究试验、适应试验及验收试验三大类，其中探究试验欧标目前普遍采用 investigation test 一词。国内标准中的基本试验相当于适应试验兼探究试验但更接近于前者，最大试验荷载通常为 2 倍设计预期值，很难发生极限破坏，故几乎不能测定锚杆受拉承载力极限值及粘结强度，很难起到探究作用。本标准参照国际标准，把基本试验细分为极限试验和适应试验，极限试验参照探究试验加载至破坏，从而获得锚杆的承载力极限值与变形特性，为锚杆设计提供依据，可视为试验至破坏状态的基本试验；适应试验为验证性试验，在同类型锚杆大面积施工前进行，通过试验获得锚杆实际承载力与变形特性，与设计要求进行对比验证，故主要目的不是为设计提供依据而是事先验证设计参数及施工工艺，为验收试验提供依据，可视为降低了最大试验荷载的基本试验；极限试验比适应试验严格、造价高，应用机会较少，工程中应以适应试验为主。

2.1.23 提离试验也称持有荷载试验、持有拉力试验、剥离试验等。除了提离试验，还有应变监测、自测力、频率检测等检测锚杆持有拉力的其它办法，为避免混淆，本标准采用“提离试验”术语。国际标准普遍认为，采用锚索测计力等其它方法存在着造价高、耐久性差、监测率低、结果不准确等缺陷，故把提离试验作为测试锚筋持有应力的普查手段，应用广泛；国内近几年来开始工程应用，目前基坑锚杆应用较多。

2.1.24 表观锚筋自由长度是国际上通用的评价锚杆变形性能的参数，与“弹性变形”的作用基本相同。因弹性变形的传统计算方法存在着一定缺陷且为了与国际标准接轨，本标准采用了“表观锚筋自由长度”这一概念。

3 基本规定

3.0.1 “相关标准”指基坑、边坡、地基基础、勘察、抗浮、结构等专业的相关标准。

3.0.3 大多数岩土工程事故是在施工过程中发生的,设计方案应保证锚固结构在实施过程中及使用阶段可能出现的最不利工况下仍应有一定的安全裕度。

3.0.4 岩土工程实践性很强,设计方案应便于施工;同时,施工工况应全程符合设计预期,出现不符合情况时应及时取得设计处理意见。

3.0.5 岩土锚固工程实施前根据不同需求应查明的情况如:(1)工程地质及水文地质条件;(2)场地邻近建构筑物的结构和基础形式,地下管线的种类、特性埋深及状况,地铁等地下空间的建筑情况等周边环境条件;锚杆受力或影响区域是否发育有土洞或溶洞等不良地质,地面或地下是否有动荷载等锚固工程应用条件;(3)政府对岩土锚固工程建设许可相关规定,锚杆出红线时相关各方协商处理情况;(4)施工装备与机具的进出场条件,施工用水、电、材料的供应条件,周边环境防振动、防噪声要求,锚固工程与其它分部分项工程施工配合顺序等场地环境与施工条件。这些资料如果在设计前不能获取,在施工前应获取。

3.0.6 岩土锚固工程勘察时,本标准建议:(1)涉及土石方开挖的工程重点查明大致与锚杆轴线平行及垂直的层理及构造带特性,及其在不同剪切条件下的抗剪强度;(2)有强透水层、地下暗河、充水溶洞等地下水体时查明其流动性状;(3)有充分依据判定场地水和土腐蚀性等级为微腐蚀时可不再取样进行腐蚀性评价,否则执行《岩土工程勘察规范》GB50021有关规定;(4)岩土工程勘察报告宜提供粘结强度、摩阻强度、端阻强度等岩土物理力学参数建议值;设计人有异议时,可请勘察人复核调整,也可根据勘察报告中相关数据及设计人相关经验等进行调整,必要时试验验证;(5)勘察范围不能满足岩土锚固工程需求时应扩大范围,不具备勘察条件时采用调查等方法进行补充。

3.0.7 本标准建议锚固类、加固类及构造类锚杆概念分别为:(1)锚固类锚杆指锚固段位于稳定岩土体、由锚头承受荷载并将荷载通过锚固段传递到周边稳定岩土体的锚杆,主要包括各类工程中的预应力锚杆、抗浮锚杆、基础锚杆等荷载主要施加在锚头处的锚杆。锚固类锚杆每根锚杆个体都比较高重要,设计承载力较高,设计时应考虑整体稳定,施工质量要求较高;(2)加固类锚杆指主要依靠群体通过加筋、注浆、挤压、锚固等作用使岩土体得到改良加固的锚杆,通常为杆体全长粘结或全长摩擦的非预应力锚杆及端头锚固型锚杆,主要包括土钉墙、复合土钉墙、锚喷等工程中的钢筋土钉、钢管土钉及自钻锚杆,隧道及地下洞室工程中的各种短锚杆等。与锚固类锚杆相比,加固类锚杆荷载不一定主要作用在锚头上,也可能直接作用在杆体或固结体上,通常依靠群体而起作用,设计承载力较低,个体锚杆作用相对较弱;(3)构造类锚杆指在锚固结构中起构造或辅助作用的锚杆,主要包括边坡表面起防护作用的格构梁的固定锚杆、固定柔性网的锚杆及用于喷射混凝土的挂网钢筋等。构造类锚杆通常可按构造设计、不需要计算,施工质量以过程控制为主,大多无需进行第三方质

量检验。

把锚杆承载力划分出不同等级主要是为了工程应用方便，如何划分没有严格界定，设计人可根据工程具体情况自行确定。就深圳地区锚杆应用水平而言，本标准建议：一般情况下锚杆受拉承载力极限值不大于 400kN 或特征值不大于 200kN 为低承载力，受拉承载力极限值大于 1000kN 或特征值大于 500kN 为高承载力，介于两者之间的为中承载力。

3.0.8 本标准建议应对锚杆进行专项技术研究的情况包括：（1）拉力分散锚杆、FRP（纤维增强复合材料）锚杆、玄武岩纤维锚杆、碳纤维锚杆、搅拌锚杆、端承锚杆、缝管锚杆、楔缝锚杆、水胀锚杆等在深圳地区尚缺少工程成功应用经验的锚杆类型；（2）特殊地层，指严重影响到锚固结构稳定、耐久性以及施工难度很大地层，如深厚的不良地层（填土填石层、淤泥层、破碎岩层及欠固结地层等）以及高应力岩层、承压水地层、强腐蚀性地层、蠕变性很强地层及上述地层的混合地层等；（3）特殊环境，指强电流干扰环境、气态介质腐蚀环境、辐射环境、高频振动环境等；（4）新技术，包括了新技术、新材料、新设备、新工艺、新型锚固节点等；（5）极限受拉承载力超过 2000kN 或特征值超过 1000kN 的锚杆；（6）与周边地铁、地下管线、基础、建构筑物等距离很近，锚杆施工时可能会造成其损伤。这些情况下锚杆应进行专项技术研究，研究项目一般包括承载力、荷载损失、蠕变性能、荷载~位移特性等力学性能，岩土体的可钻性、可注性及是否需要特殊工艺等施工可行性，防腐体系有效性及耐久性，经济性，可采取的改善措施等。从深圳市工程的必要性、安全性、经济性、风险性、施工难度等多方面权衡，本标准不建议单条锚杆受拉承载力极限值超过 2000kN。锚杆拟设计承载力超过自己以往的经验但极限值没超过 2000kN 时可进行极限试验，不一定需要专项技术研究。

3.0.9 喷射混凝土狭义上不属于岩土锚固技术，但工程中两者密不可分，故本标准涵盖了喷射混凝土内容。

4 材料与构件

4.0.1 本章应执行的相关标准主要有：

1 热轧带肋钢筋、预应力混凝土用螺纹钢筋及环氧涂层钢筋应执行《锚杆用热轧带肋钢筋》YBT 4364、《预应力混凝土用螺纹钢筋》GB/T 20065 或《钢筋混凝土用环氧涂层钢筋》GB/T 25826；

2 预应力混凝土用钢绞线、环氧涂层钢绞线及无粘结钢绞线时应执行《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224、《环氧涂层七丝预应力钢绞线》GB/T 21073、《填充型环氧涂层钢绞线》JT/T 737 或《无粘结预应力钢绞线》JGJ 16；

3 无缝钢管及焊接钢管应执行《结构用无缝钢管》GB8162 或《一般结构用焊接钢管》SY/T5768；

4 锚垫板、锚固板及金属承压件应执行《碳素结构钢》GB/T 700、《优质碳素结构钢》GB/T 699 或《低合金高强度结构钢》GB/T 1591；

5 砂、石应执行《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52、《建设用砂》GB/T 14684 及《建设用卵石、碎石》GB/T 14685；

6 水应执行《混凝土用水标准》JGJ 63；

7 水泥应执行《通用硅酸盐水泥》GB 175 及《抗硫酸盐硅酸盐水泥》GB 748；

8 外加剂应执行《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119、《混凝土外加剂》GB 8076 及《钢筋阻锈剂应用技术规程》JGJ/T 192；

9 波纹管应执行《预应力混凝土桥梁用塑料波纹管》JT/T 529；

10 润滑脂及护套应执行《无黏结预应力筋用防腐润滑脂》JG/T 430；

11 金属构件防腐涂料应执行《建筑钢结构防腐技术规程》JGJ/T 251 及《建筑用钢结构防腐涂料》JG/T 224；

12 粉煤灰应执行《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596；

13 矿渣粉应执行《用于水泥和混凝土中粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046；

14 硅灰应执行《砂浆和混凝土用硅灰》GB/T 27690；

15 防水材料应执行《地下工程防水技术规范》GB 50108。

另外，本标准建议锚夹具宜符合《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370—2015 及《预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程》JGJ 85—2014 规定，其中自解锁锚具可参照该两部标准规定。编制组认为该两部标准均非针对岩土锚杆编制的，尤其不适用于自解锁锚具，岩土锚杆不宜完全遵照执行。

4.0.2 材料及构件彼此之间不应产生物理化学反应，性能不应因受到相互影响而劣化。

4.0.3 预应力混凝土用螺纹钢筋也称预应力螺纹钢筋或精轧螺纹钢筋，环氧涂层钢绞线及环氧涂层钢筋合称为环氧涂层锚筋，无粘结钢绞线及包裹了护套的筋体合称为无粘结锚筋。自

钻锚杆筋体一般采用无缝钢管制作，钢管土钉筋体一般采用焊接钢管制作。

4.0.4 非金属锚筋及涂敷了环氧或防腐材料的金属锚筋，与浆体的粘结强度及锚夹片的夹持力会明显降低，业界经验尚不多，使用前宜进行相关试验取得数据。

4.0.5 锁定螺母指钢筋锚杆中用于锁定锚垫板或锚固板的螺母。

4.0.6 锚杆浆体宜采用早强水泥以提高早期强度，有利于保证固结体质量及加快工期。

4.0.7 浆体中骨料粒径越小越利用灌注。

4.0.8 锚杆通常部分或全部位于地下水位以下，地下水会造成浆液稀释，浆液凝结时间越长越不利，故不应加入缓凝类外加剂（对锚筋自由段后注浆时可以采用）且宜采用早强水泥或加入早强剂；预应力锚杆锚固段加入引气类外加剂后可能会加大徐变造成应力损失，拉力型锚杆及非预应力锚杆的粘结段通常处于受拉状态易产生拉裂缝，引气类外加剂可能会降低粘结段的抗拉强度、使裂缝加大导致锚杆耐久性能劣化，故不应采用引气类外加剂；在水的作用下，无机盐类早强剂中的有害离子易在浆体中迁移，使得这些离子在浆体结构中分布不均，容易导致浆体性能的劣化及加剧锚筋的锈蚀，故不宜采用无机盐类早强剂。

4.0.9 本条规定参考了《混凝土结构设计规范》GB50010-2010（2015 年版）。浆体混合料中氯离子最大含量应为浆液中水泥、砂、石、外加剂、矿物掺合料及水等各组成材料中氯离子的总含量，以氯离子与胶凝材料质量的百分率计。本标准中锚杆防腐要求已经考虑了氯离子的不良影响，故对浆体中氯离子含量要求无需太高。浆体中碱集料反应直接影响锚杆耐久性。引起碱集料反应具备三个条件：一是水泥中有一定数量的碱性物质，二是砂中有一定数量的碱活性骨料，三是潮湿或水环境，故对浆体中含碱量（水溶碱，等效 Na_2O 当量）进行了限制。

4.0.10~4.0.11 本标准建议各种管材及配件性能宜符合下列经验：（1）在设计使用温度范围及使用期内，物理及化学稳定性应良好，对周围材料无侵蚀作用；（2）应具有足够的强度、抗磨及柔韧性，在加工和安装过程中不损坏；（3）应具有较好的防水性能；（4）注浆管应外壁光滑，应有足够的强度保证注浆时不开裂破坏；（5）没有证据表明锚杆中聚氯乙烯材料会释放出对防腐不利的氯离子，国际标准均允许使用；（6）粉状和再生原料制造的塑料管性能和耐久性较差，可能含有易产生腐蚀的有害物质且难以检验，应禁止使用；（7）锚杆孔洞直径较小，采用波纹管后，波纹管与孔壁间隙很小，注浆很难密实、易产生气孔及无保护层现象，波纹管如果为金属材料容易锈蚀，目前工程应用很少，尚缺乏足够经验；（8）某些环境下锚筋与直接接触的构配件之间可能会产生双金属锈蚀，故构配件不宜采用金属材料制作；（9）一次注浆管可采用金属管以回收重复使用；二次注浆管通常会留置在锚固体中，不应使用金属管；（10）金属过渡管在杆体安装时容易对杆体造成损伤，不宜采用；（11）抗浮锚杆等部分锚杆锚具罩有强度及密封要求，使用塑料制品不太容易满足，可采用金属制作，但应按本标准所规定的原则防腐。拉力型锚杆端帽也可采用金属材料，同样要防腐；（12）定位架（包括隔离架、对中架等）的穿筋孔外边缘与定位架边缘的距离不应小于锚筋最小保

护层厚度，开孔率不宜低于 40%；（13）工程实践中发现锚筋自由段护套如采用波纹管容易磨损破坏，宜优先采用 PVC 管；（14）承压件除了采用金属制作，也可根据具体需求采用聚酯纤维增强塑料或聚酯纤维载体与铁铸头组合体等；（15）润滑脂在设计使用温度范围及使用期内物理及化学稳定性应良好，高温不流淌、附着能力强，低温不变脆变硬，抗氧化稳定性好，张拉过程中不开裂；不透水、不吸湿、防水防潮性能良好；防腐蚀性能良好；润滑性能良好，摩擦系数小，不对杆体的自由变形产生限制和不良影响。

5 锚杆与锚座设计

5.1 一般规定

5.1.2 锚杆及锚座设计内容一般包括选型和布置、锚杆承载力、锁定力、杆体材料及断面、粘结材料及性能、各部分长度、构造、构件及配件、施工工艺、防腐、锚座、锚固节点等。

5.1.3 本章不完全适用于长度小于 3.0m 的锚固类、长度小于 3.0m 的加固类锚杆、构造类锚杆、隧道与地下洞室工程中的非预应力锚杆等，这些锚杆设计时可参考本章执行。

5.2 作用与作用效应

5.2.1~5.2.2 《建筑结构可靠性设计统一标准》GB50068—2018 规定结构极限状态分为承载能力极限状态、正常使用极限状态及耐久性极限状态，本标准建议锚固结构相应的极限状态分别为：（1）承载能力极限状态，即达到了最大承载能力、系统失效、稳定破坏或发生不适于继续承载的变形；（2）正常使用极限状态，即达到正常使用所规定的变形限值；（3）耐久性极限状态，即因材料性能劣化影响了承载能力及正常使用，如防腐或防水失效，或因结构变形、裂缝等影响了耐久性能。《工程结构可靠性设计统一标准》GB50153—2008 规定结构极限状态分为承载能力极限状态及正常使用极限状态，正常使用极限状态包含了 GB50068—2018 中的耐久性极限状态。

5.2.4 《建筑结构可靠性设计统一标准》GB50068—2018 不区分设计使用年限，永久作用效应对承载力不利时分项系数为 1.3，可变作用效应对承载力不利时分项系数为 1.5，基础锚杆及抗浮锚杆工程中传到基础底面的轴力永久作用的占比一般为 60~80%，基坑工程及边坡工程等情况类似，故本标准锚杆拉力设计值不区分设计使用年限均取 1.35 倍标准值。

5.3 锚杆结构与选型

5.3.1 业界传统上按锚杆与外界环境之间力的作用关系把锚固类预应力锚杆全长划分为锚固段、自由段及锚头 3 部分，各部分功能为：锚固段置于稳定岩土体提供抗拔力，自由段将锚固段置于稳定岩土体、远离假定破裂面，锚头段承受千斤顶张拉荷载或土侧压力等荷载并通过锚筋传递给锚固段。本标准参考国际标准，增加了一种锚杆结构划分方法，即把锚杆按内部构造划分为粘结段、锚筋自由段及张拉段，各部分功能为：张拉段将千斤顶施加的荷载传递给锚筋自由段；锚筋自由段通过弹性变形产生预应力，并将应力传递给拉力型锚杆的粘结段或压力型锚杆的承压件；拉力型锚杆的粘结段将锚筋拉力主要以剪力形式传递给锚固体，压力型锚杆主要通过承压件以压力形式将锚筋拉力传递给锚固体。压力型锚杆没有粘结段，钻孔内全长为锚筋自由段，固结体分为自由段及锚固段；拉力型锚杆的锚筋自由段与锚杆自由段并不等同，锚固段与粘结段也不等同；全粘结锚杆没有锚筋自由段，固结体分为自由段及锚固段。

原则上，锚杆抗拔力应该完全由锚固段提供，即自由段不提供，那么，自由段最好不与岩土体产生粘结或摩擦。为达此目的，对于粘结锚杆，自由段内最好没有浆体填充，例如可以通过设置止浆塞等措施把锚固段与自由段进行物理隔离，如图 5.3.1 所示；此时即便自由段内有浆体，也因为止浆塞的弹性物理隔离，使自由段的浆体与锚固段的浆体相互独立而不相连，避免了应力从锚固段向自由段的回传，即自由段不提供抗拔力。但是，止浆塞施工不便、增加成本、容易影响注浆质量及成熟适用的产品不多，实际工程中极少使用。不设置止浆塞时，锚杆自由段内也充满了浆体，与锚固段连续形成一体，原则上此时宜以假定破裂面为自由段与锚固段的分界线，如下图所示：

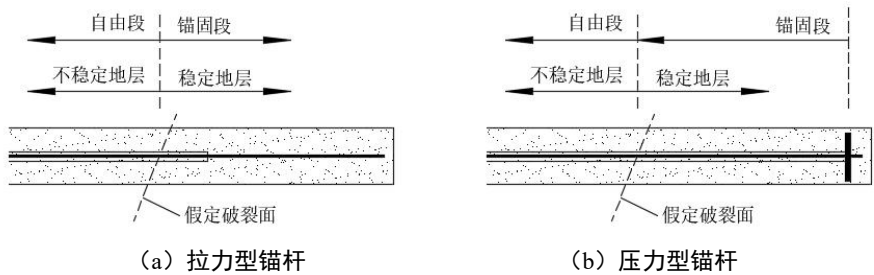


图 1 粘结锚杆无止浆塞时的固结体实际状况

5.3.2 深圳市常用锚杆类型如下。

1 拉力型锚杆，一般先钻孔后注浆形成，胶结材料为水泥浆、水泥砂浆、树脂等；锚筋自由段因弹性变形产生预应力并被锚具锁定，粘结段承受锚筋拉力并将拉力传递到周边岩土体，典型结构如下图所示：

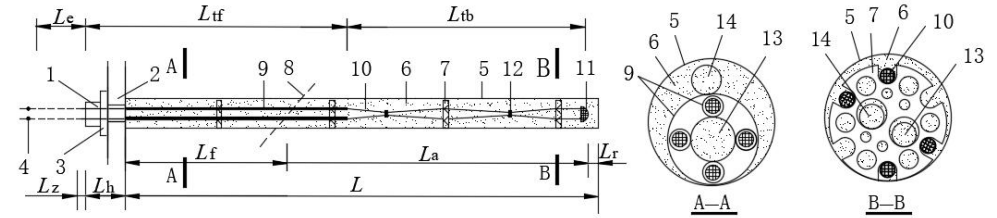


图 2-1 典型拉力型锚杆结构

1—锚具；2—锚座；3—锚垫板；4—千斤顶夹持点；5—孔壁；6—浆体；7—定位架；8—假定破裂面；9—护套；10—锚筋；11—导向帽；12—束线环；13—二次注浆管；14—一次注浆管； L_{tb} —粘结段； L_{tf} —锚筋自由段； L_c —张拉段； L_a —锚固段； L_f —自由段； L_h —锚头段； L_r —沉渣段； L_z —保留段； L —钻孔长度；

2 压力型锚杆，一般先钻孔后注浆形成，胶结材料为水泥浆、水泥砂浆、树脂等；锚筋自由段因弹性变形产生预应力并被锚具锁定，承压件承受锚筋拉力并转化为压力传递到锚固体，锚固体再将之传递到周边岩土体，典型结构如下图所示：

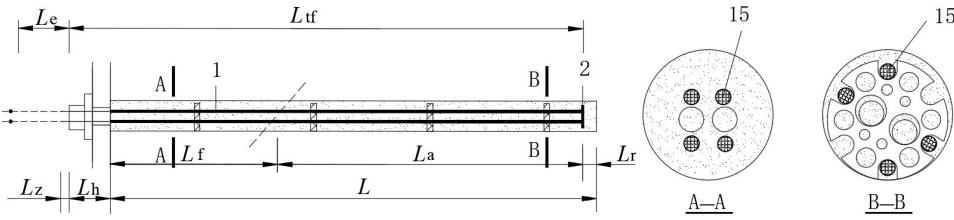


图 2-2 典型压力型锚杆结构

1—无粘结锚筋；2—承载体

3 压力分散锚杆，因压力型锚杆对承压件下的浆体质量要求较高，工程中较难保证，黏性土层、破碎岩层及地下水丰富的岩层通常改善为压力分散锚杆，一般由 2~3 个压力型单元锚杆组成，典型结构如下图所示（相对应力的，压力型锚杆也称为压力集中锚杆）；

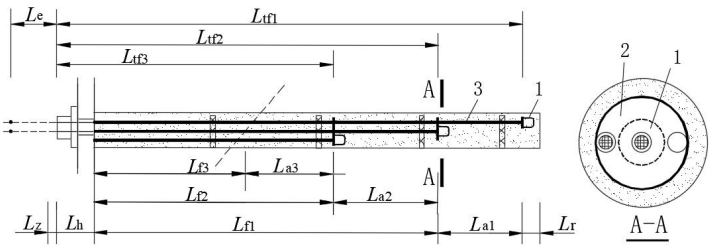


图 2-3 典型压力分散锚杆结构

1—承压件；2—承压件底板；3—无粘结锚筋； L_{tf1} —单元锚杆 1 锚筋自由段； L_{a1} —单元锚杆 1 锚固段； L_{f1} —单元锚杆 1 自由段； L_{tf2} —单元锚杆 2 锚筋自由段； L_{a2} —单元锚杆 2 锚固段； L_{f2} —单元锚杆 2 自由段； L_{tf3} —单元锚杆 3 锚筋自由段； L_{a3} —单元锚杆 3 锚固段； L_{f3} —单元锚杆 3 自由段

4 扩体锚杆，通过采用机械扩刀或水力扩体等方法将等截面锚杆的部分锚固段扩大截面而成，水力扩体通常采用单管、双管或三管高压喷射注浆法；仅扩大钻孔底部也称为扩底锚杆或扩大头锚杆，典型结构如下图所示；

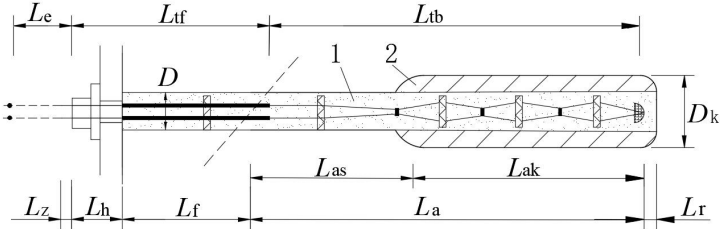


图 2-4 典型长期拉力型扩体锚杆结构

1—浆体芯；2—扩体； D —原孔直径； D_k —扩体直径； L_{ak} —扩体锚固段； L_{as} —原孔锚固段

5 囊式扩体锚杆，通过机械或水力扩体后在扩体段安放囊袋或不扩体直接安放囊袋并在囊内注浆形成，简称囊袋锚杆，可为拉力型、压力型或全粘结型，典型结构如下图所示；

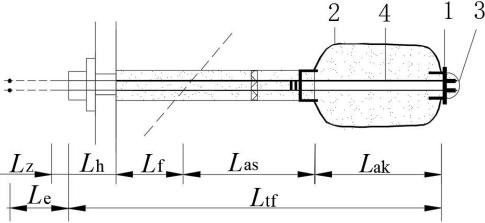


图 2-5 典型压力型囊袋锚杆结构

1—承载盘；2—囊袋；3—承载盘保护罩；4—无粘结锚筋

6 全粘结锚杆，一般钻孔后置入胶结材料及杆体形成，除了孔口处因防腐、防水、荷载试验等功能需求可能设置很短的锚筋自由段外，杆体应全长与固结体粘结。胶结材料一般为浆体，杆体材料一般为钢筋。全粘结锚杆可作为锚固类及加固类锚杆使用，作为土钉使用时典型结构如下图所示；

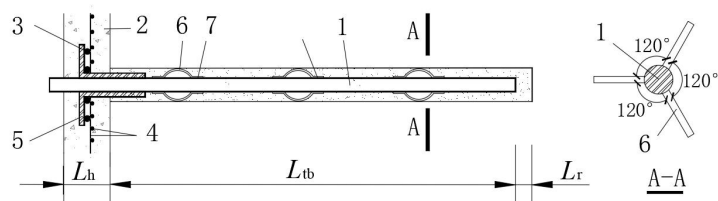


图 2-6 典型钢筋土钉结构

1—钢筋杆体；2—喷射混凝土；3—加强筋；4—钢筋网；5—锚筋连接件；6—钢筋对中架；7—焊缝

7 钢管锚杆，通常在钢管壁上预先加工出数个出浆孔，出浆孔外设置倒刺以防止在钢管击入岩土体过程中出浆孔堵塞及增强锚杆摩阻力；可直接击入或压入岩土体而无需预先钻孔；钢管兼注浆管，宜灌注水泥浆，也可灌注水泥砂浆。钢管锚杆通常作为土钉使用，典型结构如下图所示：

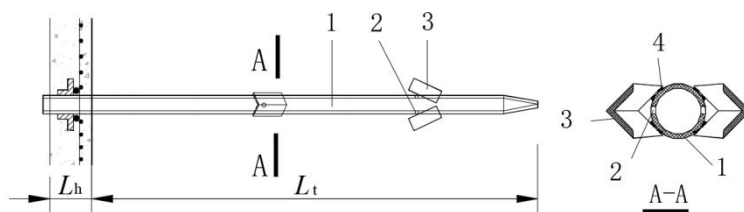


图 2-7 典型钢管土钉结构

1—钢管；2—出浆孔；3—倒刺；4—焊缝； L_t —杆体长度

8 自钻锚杆，一般为非预应力锚杆，螺纹可全长设置或部分设置，在工厂加工好，采用旋转方式拧入岩土体而无需预先钻孔，利用钻杆作为锚筋，集钻进、注浆及锚固于一体；用于围岩加固时也称为自钻注浆锚杆、钻锚注锚杆；用于基坑工程时杆体或螺纹上可设置出浆孔灌注水泥浆，也可不设置。无出浆孔的自钻锚杆典型结构如下图所示：

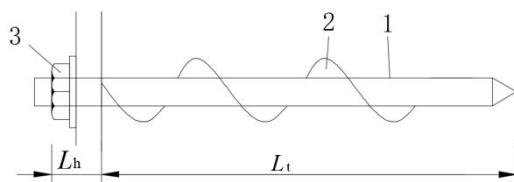


图 2-8 典型自钻锚杆结构

1—杆体；2—螺纹；3—螺母锚具

9 自进锚杆，锚筋通常为钢绞线，钻进时利用一次性钻头把锚筋同步带入岩土体内而无需预先钻孔，钻杆退出时将钻头留在孔底，钻进及退杆时从杆内注浆，形成的固结体为水泥土，锚杆受拉承载力较低，典型结构如下图所示：

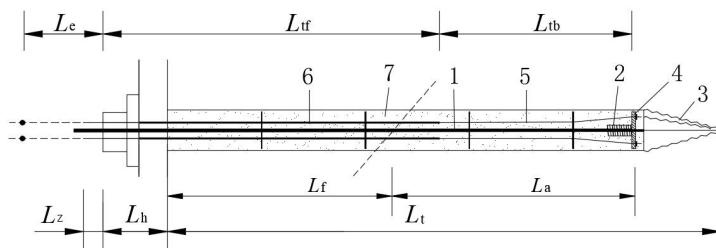


图 2-9 典型自进锚杆结构

1—中空钻杆；2—卡环；3—一次性钻头；4—分线板；5—钢绞线；6—护套；7—水泥土

10 可回收锚杆，有多种类型，基坑工程常用的为自解锁类及锚筋回转类，锚筋通常采用无粘结钢绞线，为压力型锚杆或压力分散锚杆，均为短期锚杆。（1）自解锁锚杆一般由锚筋、自解锁锚具、锚固体及锚头组成。深圳市常用的自解锁锚具有机械锁型及热熔型两类：机械锁锚具通常采用楔块、螺纹、插销等机械方式与锚筋连接固定，拆筋时对锚筋采取拉拔、顶推、旋转等行为或复合行为使之与自解锁锚具解锁脱开，之后拉出拆除；热熔型锚具在自解锁锚具内装有热熔材料，回收时通电加热，热熔材料熔化，使锚筋与锚具内的夹片解锁脱开，之后拉出拆除；（2）锚筋回转类可回收锚杆，也称 U 型锚，一般由锚筋、杆体底端带有 U 形槽的承载体、锚固体及锚头组成，杆体组装时每根锚筋都绕承载体回转 180° 后形成一对，成对张拉锁定，拆除时拉住其中一端强力拉出。自解锁类及锚筋回转类可回收锚杆通用结构如下图所示：

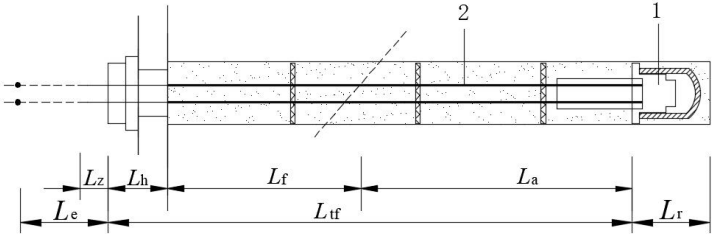


图 2-10 可回收锚杆通用结构

1—U 型承载体或自解锁锚具；2—无粘结锚筋

11 端头锚固型锚杆，简称端锚型锚杆，指采用胶结材料或机械装置将杆体底端锚固在岩体中并张拉锁定的锚杆，主要用于隧道及地下洞室工程的围岩加固，深圳市常用类型有树脂锚杆、水泥卷锚杆及胀壳锚杆等，均为低承载力锚杆，通用结构如下图所示：

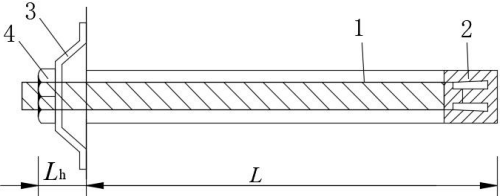


图 2-11 典型端头锚固型锚杆结构图

1—杆体；2—树脂、水泥卷等锚固剂或膨胀壳；3—拱形锚垫板；4—螺母锚具

12 对拉锚杆，一般采用无粘结锚筋，开孔侧设置为张拉端用以张拉锁定，另一端设置为固定端预先把锚筋固定好，孔内宜填充注浆，用于基坑等临时工程时也可不注浆，典型结构如下图所示。需要指出，对拉锚杆可归类于岩土锚固技术但严格意义上不属于岩土锚杆，不宜完全按岩土锚杆进行设计、试验、检测和验收。

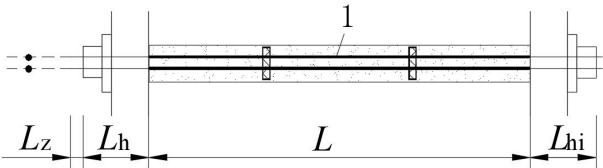


图 2-12 典型对拉锚杆结构

1—锚筋；L_{hi}—固定端锚头段

各图中：（1）定位架指使锚筋之间及锚筋与钻孔孔壁之间保持一定距离的构件，也称限位架、对中架、对中分隔架或对中器等；（2）千斤顶夹持点指千斤顶张拉时工具锚对锚筋的夹持点；（3）端帽为导向帽、保护罩等的统称；（4）沉渣段用于收集钻孔内的沉渣碎屑等杂质；（5）保留段指锚杆张拉锁定后张拉段筋体切除大部分后余留的那段筋体；（6）原孔指扩体锚杆未经扩体的原状钻孔。

另外，业界关于锚杆的名词术语较多，为便于理解与应用，归类如下：

表 1 不同分类条件下的锚杆类型

分类条件	锚杆类型
按是否具备施加预应力条件	预应力锚杆、非预应力锚杆
预应力锚杆按锚固段受力类型	拉力型锚杆、压力型锚杆、拉压型锚杆
预应力锚杆按锚固段应力分布形态	应力集中锚杆、应力分散锚杆
拉力型锚杆按锚固段应力分布形态	拉力集中锚杆、拉力分散锚杆、粘结端承锚杆
压力型锚杆按锚固段应力分布形态	压力集中锚杆、压力分散锚杆、粘结端承锚杆
应力集中锚杆按锚固段受力类型	拉力集中锚杆、压力集中锚杆、拉压集中锚杆
应力分散锚杆按锚固段受力类型	拉力分散锚杆、压力分散锚杆、拉压分散锚杆
按锚固体抗力获得形式	粘结锚杆、摩擦锚杆、粘结端承锚杆、对拉锚杆、端头锚固型锚杆
按锚固体横截面形状及材料	等截面锚杆、扩体锚杆
按锚固体所处地层	岩层锚杆、土层锚杆、岩土混层锚杆
扩体锚杆按工艺形式	机械扩体锚杆、水力扩体锚杆、囊袋锚杆
按胶结材料	注浆锚杆、树脂锚杆、水泥卷锚杆、水泥土锚杆、水泥土注浆锚杆
水泥土锚杆按施工工艺	旋喷锚杆、旋喷搅拌锚杆、搅拌锚杆、自进锚杆
水泥土锚杆按应力分布形态	拉力型锚杆、压力型锚杆、拉压型锚杆、全粘结锚杆
端头锚固型锚杆按固定方式	机械固定锚杆、树脂锚杆、水泥卷锚杆
预应力锚杆按注浆工艺	一次注浆锚杆、二次注浆锚杆、分段注浆锚杆
非预应力锚杆按注浆条件	中空注浆锚杆、钻孔注浆锚杆
摩擦锚杆按杆体安装方式	打入型锚杆、压入型锚杆、自钻锚杆
按锚筋材料	锚索、锚绳、钢筋锚杆、钢管锚杆、型钢锚杆、FRP 锚杆
按锚杆杆体轴向与水平向夹角	竖向锚杆、俯斜锚杆、仰斜锚杆、水平锚杆、倾斜锚杆
按锚杆所服务工程类型	基坑锚杆、边坡锚杆、抗浮锚杆、基础锚杆、隧道锚杆、挡墙加固锚杆
低承载力锚杆按工艺形式	粘结锚杆、摩擦锚杆、端头锚固型锚杆、自进锚杆、自钻锚杆
按锚杆是否预先布设	系统锚杆、局部锚杆
锚索按杆体安装形式	钻孔锚杆、自进锚杆、自钻锚杆
按锚筋可否自行拆除回收	可回收锚杆、常规锚杆
可回收锚杆按拆筋回收工艺	锚筋回转锚杆、自解锁锚杆、自钻自锁锚杆

表中：

1 预应力锚杆指设置了锚筋自由段并能够利用其弹性伸长产生预应力的锚杆，如：（1）拉力型锚杆，指受力时锚固段处于拉剪状态的预应力锚杆；（2）压力型锚杆，指受力时锚固段处于压剪状态的预应力锚杆；（3）拉压型锚杆，指受力时锚固段处于拉压剪复合状态的预应力锚杆；（4）拉力分散（或压力分散）锚杆，指由置放于同一个钻孔、共用同一锚头、锚固段位置不同的多组拉力型（或压力型）锚杆组成的复合预应力锚杆，其中的个体锚杆称为单元锚杆，单元锚杆只有 1 组时也称为拉力集中（或压力集中）锚杆；（5）拉力型

（或压力型）锚杆，狭义上指拉力集中（或压力集中）锚杆，广义上为拉力集中（或压力集中）锚杆与拉力分散（或压力分散）锚杆的统称；（6）应力集中锚杆，也称荷载集中锚杆，为压力集中锚杆、拉力集中锚杆及拉压集中锚杆的合称；（7）预应力钢管锚杆，指用于锚固类的施加预应力的钢管锚杆，简称为锚管；（8）扩体锚杆，为机械扩体锚杆、水力扩体锚杆及囊袋锚杆的合称，需要严格区分时特指机械扩体及水力扩体锚杆。预应力锚杆的最大特点是可预先施加应力，在结构不发生或发生很小变形时预先提供抗力，体现了主动制约机制，尤其适用于荷载变化频率及幅度较大以及在设计基准期内变形要求严格的工程。

2 非预应力锚杆指没有设置锚筋自由段的锚杆，如：（1）钢管锚杆，指锚筋采用钢管、置入岩土体后可从管壁上预设的数个出浆孔向外注浆的锚杆，用于基坑工程时也称为花管土钉、钢管土钉；用于围岩加固时也称为管式注浆锚杆，规格较小时也称为小导管，不需注浆时也称为小钢管；（2）自钻锚杆；（3）摩擦锚杆，指钢管锚杆、自钻锚杆、缝管锚杆、水胀锚杆等，其中钢管锚杆、自钻锚杆等部分种类的锚杆有时也注浆；（4）土钉，指基坑工程中全粘结锚杆、摩擦锚杆及钢管锚杆等的合称。非预应力锚杆是被动受力构件，在锚固结构或岩土体达到一定的变形量后承载力才能够充分发挥，变形主要为不可恢复的塑性变形，承受较大的反复荷载时易产生较大累计变形，造成结构变形较大甚至破坏，这种情况下应比较严格限制其荷载水平和变形值。

3 粘结锚杆包括：（1）钻孔注浆锚杆，指胶结材料为浆体的锚杆，简称为注浆锚杆或砂浆锚杆；（2）树脂锚杆，指胶结材料为树脂的锚杆；（3）水泥卷锚杆，指胶结材料为水泥锚固卷的锚杆；（4）水泥土锚杆，指胶结材料为旋喷、搅拌、旋喷搅拌、自进等方法形成的锚固体为水泥土的锚杆；（5）水泥土注浆锚杆，指设置了浆体芯的水泥土锚杆。

4 粘结端承锚杆指扩底锚杆、囊袋锚杆等依靠粘结及端阻共同获得抗拔力的扩体锚杆。

5 岩层锚杆严格意义上指全长位于岩层中的锚杆，广义上指锚固段位于岩层中的锚杆，岩体基本质量级别一般为I~IV级，岩体分级方法执行《岩土工程勘察规范》GB 50021（下同）；土层锚杆指全长位于其它地层（岩体基本质量级别V级及土层）中的锚杆；岩土混层锚杆指部分位于岩层部分位于其它地层的锚杆。

6 系统锚杆指岩土体开挖前按一定规律预先布设的锚杆；局部锚杆指岩土体开挖后根据实际条件对局部开挖面增设的锚杆，也称随机锚杆。

7 仰斜锚杆指锚杆底端高于孔口标高的锚杆；俯斜锚杆指锚杆底端低于孔口标高、轴线与水平面夹角不大于45°的锚杆，倾斜锚杆指锚杆底端低于孔口标高、锚杆轴线与水平面夹角大于45°的锚杆。

5.4 锚杆受拉承载力与长度

5.4.1 国内外相关技术标准中锚杆承载力安全系数的取值各不相同。本标准主要按深圳市实践经验进行取值，体现了以下原则：（1）锚筋抗拉断力及抗拆力的数据离散性较小，目标

安全系数可以稍低一些；（2）锚筋抗拉断力安全系数应高于普通钢筋混凝土中的，理由见后；（3）锚杆抗拔力、锚筋抗拉脱力、锚固体抗局受力、浆体芯抗拔力的可靠性均与岩土体性状、成孔条件及锚固体强度等因素相关，数据离散性较大，安全系数应较高；从荷载试验结果中很难区别出这些不同抗力的安全程度，为简单起见安全系数统一取值；（4）基础锚杆及抗浮锚杆承受动荷载及反复荷载的幅度通常较大，安全系数应更高一些；（5）长期工程的安全系数要高一些；（6）工程安全等级越高安全系数越高。

以锚固体抗拔安全系数为例：相应于支护结构安全等级一、二、三级的安全系数，《建筑基坑支护技术规程》JGJ120—2012 及《深圳市基坑支护技术规范》SJG05—2011 中分别为 1.8、1.6、1.4；《建筑边坡工程技术规范》GB50330—2013 中临时性锚杆分别为 2.0、1.8 及 1.6，永久性锚杆分别为 2.6、2.4 及 2.2；《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB50086—2015 中临时性锚杆分别为 1.8、1.6 及 1.5，永久性锚杆分别为 2.2、2.0 及 2.0。对比可知，表 5.4.1 中安全系数比 GB50086—2015 及 JGJ120—2012 均高一些。本标准表 5.4.1 中安全系数与 GB50330—2013 相比有高有低，但数据离散程度理论上会小一些。

5.4.2 锚索由多根锚筋组成时，各锚筋之间受力存在着不均匀现象。30 余组现场试验结果表明，常规施工质量的锚索，约 40%左右存在着锚筋受力严重不均匀现象（以锚筋受力的变异系数达到 0.15，或相对极差大于 30%且偏离度大于 20%作为受力严重不均匀判定指标），明显降低了锚筋承载能力。各锚筋受力严重不均匀现象主要与岩土工程隐蔽、恶劣的施工环境相关，编制组认为，与锚杆露出地表外的部位（即锚头及锚座等）相关的承载力、强度及稳定性设计计算主要应采用结构设计方法，而与置于岩土体内的部位相关的承载力及强度宜采用岩土设计方法，故锚筋抗拉断力设计计算采用了岩土工程中应用广泛的单一安全系数法，认为比采用结构设计方法中的筋材抗拉强度及分项系数法更能直观地反映这一现象。另外，采用锚筋抗拉断力指标更容易与荷载试验时最大试验荷载取值相协调。

为方便应用，从本条所列标准中摘录深圳市常用锚筋材料主要物理力学指标如下：

表 3-1 锚杆用热轧带肋钢筋主要物理力学指标表

牌号	推荐公称直径 (mm)	屈服强度特征值 R_{eL} (MPa)	抗拉强度 R_m (MPa)	断后延伸率 A (%)	弹性模量 E_s (MPa)
MG400	18、20、22、25	400	540	20	2.00×10^5
MG500		500	630	20	
MG600		600	750	18	

表 3-2 预应力螺纹钢筋主要物理力学指标表

级别	推荐公称直径 (mm)	屈服强度特征值 R_{eL} (MPa)	抗拉强度 R_m (MPa)	断后延伸率 A (%)	弹性模量 E_s (MPa)
PSB785	25、32、40	785	980	8	2.00×10^5
PSB930		930	1080	7	
PSB1080		1080	1230	6	

表 3-3 钢绞线主要物理力学指标表

种类	公称抗拉强度 R_m (MPa)	公称直径 (mm)	公称横截面积 (mm ²)	整根钢绞线最大力 F_m (kN)	0.2%屈服力 $F_{p0.2}$ (kN)
1×7 (7股)	1720	9.50	54.8	94	83
		11.10	74.2	128	113
		12.70	98.7	170	150
		15.20	140.0	241	212
		17.80	191.0	327	288
	1860	9.50	54.8	102	90
		11.10	74.2	138	121
		12.70	98.7	184	162
		15.20	140.0	260	229
		17.80	191.0	355	311
		18.90	220.0	409	360
		21.60	285.0	530	466
	1960	9.50	54.8	107	94
		11.10	74.2	145	128
		12.70	98.7	193	170
		15.20	140.0	274	241

注：钢绞线弹性模量 E_s 一般取 195GPa，必要时可采用实测值。

另外：（1）钢筋屈服强度特征值 R_{eL} 在《混凝土结构设计规范》GB50010—2010（2015年版）中用屈服强度标准值 f_{yk} （普通锚筋）及 f_{pyk} （预应力螺纹钢筋）表示；（2）钢绞线无明显屈服强度，《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224 规定以产生 0.2%残余变形的应力值为其屈服极限，称为条件屈服强度，对应的拉力称为钢绞线 0.2%屈服力。

5.4.3 粘结锚杆存在着有效锚固长度，锚固段长度超过有效长度后提高抗拔力的作用有限，故设计时不应通过设置过长的锚固段以提高抗拔力。有效锚固长度主要与地层性状相关，国际标准普遍建议预应力锚杆的合理锚固段长度为 3.0m~10.0m，标准编制组建议分别以 6.0m、12.0m、18.0m 作为岩体基本质量级别 I~II 级、III~IV 级、V 级及土层的锚固段有效长度，并建议抗拔力设计计算时锚固段长度不宜超过有效长度。深圳地区的锚杆试验及工程经验表明，花岗岩残积土等黏性土中，在锚固段有效长度内，可近似认为锚杆抗拔极限承载力与长度成正比。

本标准建议锚杆浆体与岩土体之间界面粘结强度及锚固体端阻强度按下表选取（对端阻强度的有关说明见后文）：

表 4 浆体与岩土体之间粘结强度及锚固体端阻强度标准值（kPa，经验值）

岩土类别	岩土性状		粘结强度标准值	端阻强度标准值
素填土	—		15~30	100~600
淤泥质土	软塑		10~30	100~300
黏性土	可塑	软塑	15~50	200~400
		$0.50 < I_L \leq 0.75$	35~60	300~700
		$0.25 < I_L \leq 0.50$	40~80	650~1200
	硬塑		45~100	900 - 1300
	坚硬		70~140	1100~1400
粉土	稍密		20~55	250~600

	中密		30~80	500~700
	密实		50~120	600~1000
砂土	松散		20~50	200~500
	稍密		30~100	450~900
	中密		50~200	700~1200
	密实		80~300	900~2000
碎石土	松散		40~150	300~1000
	稍密		60~200	900~1500
	中密		80~250	1200~2200
	密实		100~350	1400~3000
花岗岩残积土	可塑	$0.5 < I_L \leq 0.75$	40~90	350~900
		$0.25 < I_L \leq 0.5$	50~110	700~1400
	硬塑		60~130	1100 - 1600
	坚硬		70~160	1200~1900
岩体	极软岩		100~300	800~1800
	软岩		200~600	1200~2400
	较软岩		400~1000	—
	较硬岩		600~1600	—
	坚硬岩		800~2000	—

注：1 表中粘结强度值为一次注浆及简易二次注浆的拉力型及全粘结锚杆的经验值；采用二次分段注浆工艺时可提高 1.1~1.5 倍，岩体中提高倍数较小；

2 对于黏性土层，干钻成孔、套管护壁、洗孔干净、等待注浆时间较短、注浆压力大、浆体强度高、地下水不丰富等工况下粘结强度取较高值；反之取较低值；

3 对于砂土，除上述第 2 点因素外，在密实度相同情况下，粉细砂层取粘结强度较低值，中粗砂层取中值，砾砂层取较高值；粉细砂含量超过总质量的 30%时取较低值；

4 对于粉土，除上述第 2 点因素外，在密实度相同情况下含水量越大粘结强度取值越低；

5 对于有机质含量为 5%~10%的有机质土，粘结强度取较低值；

6 对于岩体，孔壁粗糙、洗孔干净、地下水不丰富、结构面不发育等工况下粘结强度取高值；反之取较低值；

7 表中粘结强度值适用于浆体锚固体。锚固体为水泥土时取表中的中低值，其中砂层粗颗粒多、粒径大取中值，黏性土层取低值；

8 压力型扩体锚杆初步设计时软弱地层中原孔段与岩土体间的粘结强度宜取 0；

9 摩擦锚杆的摩阻强度可按上表取值，锚杆注浆时或位于地下水位以上时取高值，反之宜取中低值；

10 水力扩体及机械扩体工艺形成的扩体锚固段端阻强度宜取中低值，囊袋锚杆可取高值；

11 压力型锚杆可取中高值，拉力型锚杆及全粘结锚杆宜取中低值；

12 岩土类别划分执行《岩土工程勘察规范》GB50021， I_L 为黏性土的液性指数。

上表中建议的粘结强度用于初步设计时估算锚固体抗拔力,实际工程中应根据锚杆荷载试验成果进行验证。可根据试验结果采用更长的锚固段,但试验锚杆锚固段如果短于工程锚杆锚固段,通过试验得到的抗拔力反算得到的粘结强度用于工程锚杆锚固段设计时可能需要适当折减;另外需要指出,不应将粘结段与锚固段混用。

国内外相关标准中锚固体与岩土体之间的界面粘结强度建议值都是以岩土体类别为界限的,黏性土以土的状态、砂性土以密实度、岩石以坚硬强度(或围岩的级别)为依据划分区间范围。国内标准中,粘结强度随岩土体类型单调变化,例如密实砂的粘结强度一定比中密的要高,硬塑黏土的一定比可塑的高;这同时造成了每类岩土体的建议值区间范围比较窄,上下限之间差别不大。以国内标准 CECS 22: 2005 及美标 PTI DC35.1—2014 为例:中标建议中密砂性土粘结强度 150kPa~250kPa,密实的为 250kPa~300kPa;美标建议中粗砂中密时粘结强度 110kPa~660kPa,密实~极密时为 250kPa~970kPa。可见:(1)中标建议区间值的上下限相差 1.2~1.7 倍,而美标相差 4~6 倍;(2)中标岩土体不同状态之间无缝对接,美标则建议了很大的数据重叠区(250kPa~660kPa)。

岩土体类别固然最为重要,但影响粘结强度的因素实际上非常多,如:(1)岩土体的弹性模量、剪切模量、泊松比、抗剪强度、含水量等力学性状;(2)成孔及清孔工艺、孔壁粗糙及不规则程度、孔径、偏心度、孔内残留物等钻孔的质量与性状;(3)锚筋材料类型、杆体刚度、杆体及压力型锚杆承载体的居中程度等杆体的设计及施工参数;(4)浆体强度、配合比、注浆压力及注浆间歇时间等注浆参数;(5)锚固体长度及直径、地下水、锚杆荷载水平、成孔后的置放时间;(6)根据荷载试验结果反算粘结强度时分级荷载因为不连续而产生的影响等。故把岩土体类别在各种影响因素中占据支配性地位、而其它因素的影响只局限在类别之内的作法过于理想化及片面化,客观性不足。例如:按 CECS 22,标贯击数 29 的干燥中粗砂中密时粘结强度可取 240kPa,标贯击数 31 的饱和粉细砂密实时粘结强度可取 260kPa,但实际上前者粘结强度显然会高于后者。再如,重庆大学某专项试验成果表明:在岩石强度较高、岩层整体性和均匀性均相对较好情况下,锚固体与岩层粘结强度主要取决于钻孔孔壁的粗糙程度而不仅是岩石抗压强度,因为钻头成孔时的抖动会导致孔壁出现不规则的坑槽、即凹凸不平,不平整度与岩石强度相关,硬岩的强度高,抵抗钻头横向冲击的能力强,形成的坑槽浅、数量少、孔壁较为光滑,与锚固体的粘结强度较低;而软岩正好相反,孔壁较为粗糙,与锚固体的粘结强度反而较高。也就是说,岩石达到一定强度后,难以再提高粘结强度。基于以上原因,广泛参考了国内外相关标准及最新试验研究成果后,本标准建议了粘结强度经验值如上表所示。

5.4.4 各标准建议的注浆锚杆锚筋与固结体之间界面粘结强度值差异很大,如《岩土锚杆(索)技术规程》CECS 22: 2005 建议浆体(强度等级 M25~M40 的水泥砂浆及水泥浆)与

钢绞线粘结强度标准值 3.0MPa~4.0MPa, 与螺纹钢筋的为 2.0MPa~3.0MPa; GB50330—2013 建议水泥砂浆(强度等级 M25~M35)与钢绞线粘结强度设计值 2.75MPa~3.4MPa, 与螺纹钢筋的 2.1MPa~2.7MPa; GB50086—2015 建议永久锚杆浆体(强度等级 M25~M40)与钢绞线及普通钢筋粘结强度设计值 0.8MPa~1.0MPa, 与螺纹钢筋的 1.2MPa~1.6MPa; 英标 BS 8081: 2015 建议不同外形的锚筋粘结强度分别为 1.0MPa~5.0MPa。对国内外各标准的规定或建议可总结如下: (1) 都认为粘结强度与锚筋外形有关, 但有的标准认为螺纹钢筋比钢绞线的粘结强度高, 有的则正好相反; 有的标准认为普通钢筋与钢绞线的粘结强度基本相同, 有的认为不同; (2) 都认为粘结强度随着浆体强度提高(不超过 40MPa 时)而明显提高; (3) 都没有提及粘结强度与地质条件、锚筋安装质量、成锚条件等因素有关。国内标准均没有提及标准中建议值的来源, 英标 BS 8081 则指出, 锚杆的不少经验都是来源于混凝土, 浆筋粘结强度亦如此。另外, 从《混凝土结构设计规范》GB50010—2010 中对锚筋锚固长度(长度较短时)的规定可以推算出, 混凝土与钢筋粘结强度大致为 2.0MPa~3.0MPa, 与钢绞线大致为 1.5MPa~2.5MPa。

然而, 锚杆与常规混凝土构件有很大不同: (1) 常规混凝土构件浇灌时工作环境通常较好, 混凝土干净无杂质, 能够振捣密实, 坍落度及水灰比较小且可控, 能够养护良好, 故可获得较高及稳定的强度; 而锚杆在钻孔内灌浆时的工作环境较差, 孔内积水、泥土或岩屑等杂质很难排除干净, 土层钻孔内有时还会存留有泥浆, 浆体中难免夹有泥土岩屑等杂质, 洗孔不干净时浆体甚至可能局部为水泥土, 水灰比为了容易泵送通常比较大, 且可能还被孔内积水在不同程度上稀释, 钻孔、下锚(即杆体安装)、注浆等主要工序均在隐蔽状态下进行难以保证质量, 又无法振捣, 浆体养护条件也不好, 这些不良因素导致浆体实际强度较低且变异性较大; (2) 常规混凝土构件中的钢筋通常处于干净干燥状态, 而锚筋置放到孔洞中时表面通常粘附着水、泥、粉屑等杂质, 注浆时很难被置换干净, 可能导致锚筋表面局部附着泥渣或泥皮而降低粘结强度; 孔壁松软时锚筋甚至会陷入孔壁, 或因钻孔不直、下锚偏斜及钢绞线弹性弯曲等原因紧贴孔壁, 导致局部无浆液包裹; (3) 钢筋混凝土构件中通常配有横向钢筋, 限制了径向裂缝的发展, 提高了粘结强度; 而锚杆中没有横向配筋; (4) 常规混凝土构件中混凝土可为钢筋提供适当的保护层厚度及钢筋净间距, 而对锚筋较难做到, 等等, 这些因素导致了锚筋与浆体的粘结强度远低于常规混凝土构件中钢筋与混凝土的。总之, 锚杆的实际工作环境要恶劣及复杂得多, 成果与基于混凝土的经验有较大差别。

实际上, 浆体强度对粘结强度的影响几乎无法现场验证。测试粘结强度时, 应该先钻取浆体实际芯样制作试件测试抗压强度, 但浆体在钻孔内难以取出、体形小难以制取试件, 实际强度测试数据极少。工程中均采用浆体试块替代实际芯样, 通过试块抗压强度来推算浆体

实际强度，但两者是否一致、是否与设计强度一致不能肯定。锚杆浆体试块制作环境与常规混凝土构件施工环境相仿，而锚杆浆体实际形成时受钻孔内各不良因素干扰，工作环境比试块的要恶劣及复杂得多，浆体实际强度显然更低，低多少业界并不清楚，例如对浆体强度影响重大的水灰比，浆液制备时可按设计值，但灌注到钻孔后，不可避免地要受钻孔内积水的稀释作用，实际值是多少不可确知；且由于每个钻孔内不良因素的干扰程度不可确知，导致每孔浆体实际强度的变异程度也不可确知；浆体强度随养护时间而增长的程度也不可确知；除了刻意而为的专项试验，工程中不太可能去开挖出浆体取样实测，故浆体实际强度是多少、能不能与设计强度相一致不知道，也就评估不出浆体强度对粘结强度的影响。不仅浆体，水泥土等其它材料固结体强度对粘结强度的影响同样无法验证。进一步的，钢筋外形因素对粘结强度的影响也无法验证。根据混凝土的经验，浆筋粘结强度取决于锚筋外形因素+浆体因素，两者同时产生影响，有一个明确之后才能推算出另一个的作用，但因为锚杆浆体强度对粘结强度的影响无法验证、不能确知，锚筋外形对粘结强度的影响也就无法验证、不能确知。故混凝土与钢筋粘结强度的经验不适用于锚杆，锚杆浆筋粘结强度只能通过现场制作锚杆、现场荷载试验获得。编制组主要根据在深圳地区进行的 3 项锚杆工程 60 余组土层锚杆足尺试验及重庆大学 80 余个岩层锚杆缩尺试验成果等相关经验，得到以下结论及建议：

1 浆筋粘结强度与岩土体性状（含水量、重度、强度、液塑限、孔隙比等）基本无关，与清孔质量相关，锚筋粘结长度 3.0m~6.0m 时浆筋粘结强度标准值为 0.66MPa~0.74MPa，远低于基于钢筋混凝土的经验值，主要原因即受钻孔内泥、水影响所致，孔内及杆体洁净、无积水时强度高；相对于土层锚杆，岩层锚杆孔内比较洁净，粘结强度相对较高；

2 浆筋粘结强度与成孔及注浆工艺等因素基本无关，与下锚工艺相关，采用在套管内下锚及边拔套管边注浆工艺时，因杆体相对洁净，粘结强度会有较大提高；

3 现场试验验证不出浆筋粘结强度与浆体设计强度等级的对应关系，无法定量验证受浆体实际强度的影响程度，但定性证实了浆体实际强度越高则粘结强度越高，且推论出在浆体常规设计强度范围内（20MPa~40MPa）粘结强度差异不大；锚筋外形对浆筋粘结强度的影响程度亦无法验证，但推论出带肋钢筋、螺纹钢筋及钢绞线的粘结强度差异不大。故从工程实用角度，本标准建议不需考虑浆体强度等级及锚筋外形对浆筋粘结强度的影响；

4 锚筋粘结长度在 8.0m 以内时，浆筋粘结强度的发挥程度随着锚筋粘结长度的增加而略有下降。粘结长度不超过 8.0m 的土层锚杆发生锚筋拔脱破坏的风险较高；

5 试验结果表明，浆筋粘结强度与单根锚杆中的锚筋数量基本无关。但该结论与一些技术标准的建议有些不同，如 GB50330—2013 认为：（1）当采用 2 根钢筋点焊成束做法时，粘结强度应乘 0.85 折减系数；（2）当采用 3 根钢筋点焊成束做法时，粘结强度应乘 0.7 折减系数；（3）成束钢筋的根数不应超过 3 根，钢筋截面总面积不应超过锚孔面积的 20%；

(4) 当锚固段钢筋和注浆材料采用特殊设计并经试验验证锚固效果良好时,可适当增加锚筋用量。编制组分析认为,多根锚筋筋体成束时浆体不易密实、与锚筋之间的粘结不充分等因素可能会影响锚固性能,粘结强度可按 GB50330—2013 的规定适当折减。

故本标准建议:(1)锚固体为强度等级 20MPa~40MPa 的浆体且锚筋为钢绞线、螺纹钢或带肋钢筋时,土层中浆筋粘结强度可取 0.5MPa~1.0MPa,岩层中可取 0.8MPa~3.0MPa,岩土混层锚杆取值则应介于两者之间;浆体强度高、钻孔及锚筋洁净、孔内无积水时取高值,反之取低值;用于锚筋为多根钢筋的锚杆时可取低值,根数越多取值宜越低;(2)固体为强度等级 0.5MPa~2.0MPa 的水泥土时可取 0.15MPa~0.6MPa,水泥土强度高时取高值,反之取低值。

5.4.5 锚固体局压破坏是压力型锚杆主要破坏模式之一。锚固体是在有侧限条件下工作的,侧限提高了锚固体抗局压力,故式(5.4.5)中引入了锚固体局部抗压强度增大系数 η 。 η 主要取决于锚固体所受侧限大小,与锚固体强度及均匀性、岩土体性状及锚固段埋置深度等因素相关。本标准编制组及《囊式扩体锚杆技术标准》编制组总结了 200 多项囊式扩体锚杆工程实践及专项试验结果,表明在锚固段具有一定埋置深度时、标准贯入击数 7~8 击以上的地层可以提供不小于 1400kN 的极限抗拔力,淤泥质土等软弱地层提供的承载力也不小于 800kN,据此反算 η 在较好地层中不小于 4.0、在软弱地层中不小于 2.0,且上限值业界尚不清楚。同时,经验表明,常规施工工艺形成的锚固体实际强度往往不高,水下注浆时大多不大于 20MPa,机械扩体及水力扩体工艺形成的锚固体强度更低,单个承压件提供的承载力极限值约为 300kN~600kN。

另外,式(5.4.5)直接采用浆体立方体抗压强度标准值,与采用强度设计值相比计算更简单易行、准确度更高。

5.4.6 本标准建议:(1)深圳市实践经验表明,摩擦锚杆(包括带倒刺的钢管锚杆及自钻锚杆)杆体与岩土体间的摩阻强度可按注浆锚杆粘结强度计取,建议按表 4 取值;同时,钢管锚杆倒刺对摩阻强度的影响较大,倒刺焊接质量较差时在锚杆打入过程中容易脱落,杆体表面直径宜取钢管外径;倒刺焊接质量较好时可取计入倒刺后的外径,如果只计取钢管外径偏于保守;自钻锚杆宜取计入螺纹后的外径;(2)摩擦锚固段也存在着长度效应,即摩阻强度随着杆体长度的增加而发挥程度降低,但业界目前相关经验尚不多,根据相关试验结果及经验建议杆体计算长度不超过 18.0m。

5.4.7 扩体锚杆抗拔力估算方法较多,本标准采用了形式较为简单的式(5.4.7)。本标准建议:(1)囊袋锚杆锚固体与岩土体的粘结强度及扩体锚固段的端阻强度可按表 4 取值,表中端阻强度数据主要参考了本标准编制组及《囊式扩体锚杆技术标准》编制组提供的经验值;(2)水力扩体及机械扩体工艺形成的扩体锚固段前端面与岩土体容易局部接触不良,端阻

强度取表中的中低值；（3）压力型扩体锚杆在较软土层中，可能会在扩体段前端面发生土体沿某个锥面的剪切破坏，此时原孔段的界面可能不发生破坏，故初步设计时在软弱地层中原孔段与岩土体间的粘结强度取 0。另外，考虑锚固段有效长度时，应取原孔锚固段与扩体锚固段长度之和。

5.4.8 本标准建议浆体芯与水泥土界面粘结强度标准值 f_{sk} 按下列经验取值：取水泥土无侧限抗压强度标准值的 0.1~0.15 倍，岩土体中粗颗粒多且粒径大、水泥土强度均匀且胶结性较好取高值，反之取低值。 f_{sk} 系通过水泥土无侧限抗压强度摩尔圆反算得来：水泥土的摩擦系数约 $20^{\circ}\sim 30^{\circ}$ ，反算水泥土的 C 值约为无侧限抗压强度的 0.28~0.35 倍，考虑现场施工的离散性较大，本标准建议取 0.1~0.15 倍，与水泥土抗拉强度相当。

5.4.9 压力分散锚杆在张拉锁定后，如果再受力变形，因各单元锚杆抗拉刚度不同等原因，不可能同时达到承载力极限值，所以承载力不应简单相加；但实际工作拉力一般远小于承载力极限值，极限值更多的是体现一种安全储备，工程中可以接受这样计算带来的偏差。

5.4.10~5.4.11 加固类锚杆与锚固类锚杆的作用机理有很大不同。以土钉为例，实践表明，土钉墙、复合土钉墙及喷锚中的单根土钉所受拉力并不与其位置或附近的主动土压力一一对应，其受力随着岩土体的开挖而变化，不同标高处的土钉受力既可能增大也可能减少，其提供的抗拔力也是变化值，既可能增大也可能减少，因与受力不一一对应，单根土钉的抗拔安全系数也就无法计算。通过各种稳定验算方法得到的土钉“有效抗拔力”，指的是土钉在“稳定区”的抗拔力；土钉抗拔力需要通过现场荷载试验来检验，荷载只能施加在土钉的头部，由于土钉全长粘结，故荷载试验得到的抗拔力是土钉全长与土体粘结产生的，“有效抗拔力”只是其中的一部分。即使将土钉长度的一部分作成非粘结段，也同样无法认定试验结果就是“有效抗拔力”，因为如前所述，每根土钉拉力及抗力随着岩土体开挖都在变化，“有效抗拔力”是多大都不能确定，也就无从检验。也就是说，土钉所谓的“有效抗拔力”只是一个虚拟概念，既无法计算得到，也无法通过实践检验。但图纸中还应该设计有抗拔力，荷载试验也应该做，因为目前没有比荷载试验更好的方法来检验土钉的施工质量；检验荷载也应该为预先设定值、即设计值，否则检验就失去应有意义。单根土钉抗力分析或整体稳定性分析中的“有效抗拔力”只计取了一部分土钉长度，即假定破裂面至土钉尾部的长度，实际工程中设计人要根据土钉直径、长度、与岩土体的粘结强度等参数计算出土钉全长可产生的抗拔力，荷载试验检测的是土钉全长抗拔力，如果检验结果达到了预期，则认为自动满足了“有效抗拔力”的要求。因此，土钉的“拉力标准值”实际上表现为检验荷载。

与锚固类锚杆承载力安全系数类似，各标准对加固类锚杆承载力安全系数的规定各不相同，《建筑基坑支护技术规程》JGJ120—2012 等标准规定的最小抗拔安全系数为 1.4，本标准的建议值与之相当。

5.4.12 经验表明，国内可回收锚杆锚筋抗拆力大致为锚筋材料破断力（或 0.2%屈服力）的 75%~95%，应在设计施工前通过锚杆试验确定。

5.4.13 不同整体滑动稳定分析模型所确定的假定破裂面不同，典型如下图所示。当锚座为有一定嵌固深度（穿过开挖面的深度）的排桩及地下连续墙等结构时，初步设计时可按图 3（c）及式（2）估算假定破裂面至锚杆孔口的距离 L_{fc} ：

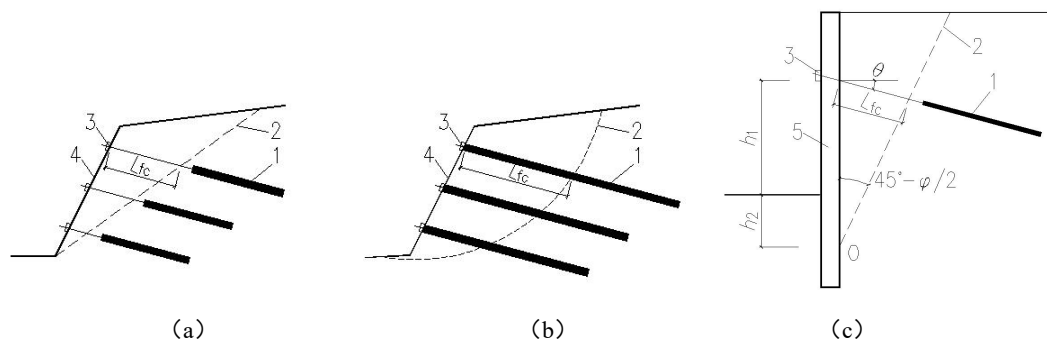


图 3 锚杆自由段长度计算简图

1—锚杆；3—锚具；2—假定破裂面；4—梁柱板等无嵌固构件；5—排桩及地下连续墙等有嵌固深度构件

$$L_{fc} = (h_1 + h_2) \sin(45^\circ - \varphi/2) / \sin(45^\circ + \varphi/2 + \theta) \quad (1)$$

式中： L_{fc} —— 岩土体假定破裂面至锚杆孔口的距离（m）；

h_1 —— 锚杆孔口至岩土体开挖底面的距离（m）；

h_2 —— 岩土体开挖底面至排桩或地下连续墙土压力零点的距离（m）；

θ —— 锚杆俯角（°）；

φ —— 土压力零点以上各土层按厚度加权的内摩擦角平均值（°）；

图 3（c）所示假定破裂面模型广泛应用于土层及破碎岩层，经验表明其用于淤泥等软弱地层时容易造成锚杆自由段偏短、使锚固段置于不稳定岩土体，从而降低了锚固体系的安全度，通常需要在整体稳定分析计算时进行校核。

扩体锚杆端面抗力较大，为尽量避免应力回传至假定破裂面，前端面与假定破裂面距离应比普通锚杆更长。

5.5 锚杆构造

5.5.1 注浆锚杆钻孔直径锚固类一般为 110mm~250mm，加固类一般为 90mm~150mm，构造类一般为 50mm~130mm。

5.5.2 表中数值为编制组对深圳市及市外工程实践经验的总结。为了便于施加预应力及减少应力损失，锚筋自由段长度不宜太短，一般不宜短于 5m、不应短于 4m。锁脚锚杆在开挖面岩体质量较好时可采用非预应力锚杆，爆破开挖面质量不佳时宜采用预应力锚杆，使锚固段有一定的埋置深度，避开表面松动岩层。

5.5.3 锚固类锚杆的锚固段应能够有效地提供抗拔力，设计时应注意如下事项：

1 工程实践中，一些短期锚杆锚固段设置在了填土、淤泥、松散砂层等软弱地层，或计算得到的锚固段长度超过了有效长度，此时不宜一味加长锚固段，本标准建议采取相应改善措施，如：（1）降低设计承载力；（2）采用荷载分散锚杆，采取改善锚固段岩土体性状、压力注浆及多次注浆、扩大锚固体直径、加长自由段或调整锚杆角度使锚固段避开软弱地层、增设囊袋、压力型锚杆在承压件下配置螺旋筋等措施以提高承载力；（3）采取提高锁定力、拉力松弛后重新张拉等措施以减少变形。

2 锚杆如果设置在新近填土等未固结地层中，地层固结沉降时会带动锚杆下沉、弯曲变形，可能会降低锚杆承载力及耐久性，严重时甚至可能造成锚杆失效。

3 锚杆锚固段应有一定厚度的上覆地层，否则抗拔力难以保证且容易受到地表动荷载及地表水的不良影响；

4 常规锚杆锚固体直径 D 为 100mm~200mm，大多数国内外相关标准建议锚杆间距不超过 1.5m 时可不考虑群锚效应。深圳地区锚杆试验成果表明，锚杆间距不小于 $3D$ 时可不考虑群锚效应。

5 研究表明，扩体锚杆具有浅埋的整体剪切破坏和深埋的局部剪切破坏这两种破坏模式，深埋具有更好的承载力学性能。上百个囊式扩体锚杆足尺试验与理论研究表明，扩体锚杆可采用 $(L_f+L_{as}) h_k/D_k$ 为 8~10 作为深埋与浅埋的分界点，为工程安全起见，本标准建议取 11，同时 5.5.2 条要求扩体锚杆原孔段长度（即 L_f+L_{as} ）不应小于 7.0m（即扩体段埋置深度不小于 7.0m），两个条件均满足时视为深埋扩体锚杆，反之则视为浅埋扩体锚杆；工程中各种角度锚杆均应采用深埋锚杆。

6 如前所述，实际工程中很少设置止浆塞，固结体充满孔内，位移要求严格时需采取加长锚筋自由段等措施，使锚固段的应力不会回传到假定破裂面上。

5.5.4 单根锚索钢绞线数量为 1 条时效率低、性价比不好，为 2 条时普遍存在着较严重的受力不均匀现象，故不宜为 1~2 条。

5.5.5 锚杆筋体保护层厚度的主要目的之一是保证与锚筋的粘结效果，过薄可能会导致界面粘结强度的下降。注浆锚杆俯角小于 10° 时注浆不易饱满。

5.5.6 钢管锚杆注浆有利于提高受拉承载力。本标准建议参照以下经验：（1）钢花管底端加工成尖锥形或扁锥形以利于击入岩土体中；（2）钢管出浆孔直径过大可能会导致部分浆孔无浆，过小则易堵塞，一般为 4mm~10mm；（3）为了尽量使每个出浆孔都能出浆，出浆孔面积总和宜为钢管空腔截面积的 0.4~0.6 倍，以使管内有一定浆压；（4）为注浆均匀，出浆孔宜围绕管壁呈螺旋状每 $90^\circ\sim180^\circ$ 布置 1 个或一对，间距为 0.5m~1.0m，锚杆较长时应为大间距及小孔径；（5）为防止因外覆土层过薄而导致孔口冒浆，距离孔口一定范围内不

应设置出浆孔，该范围依据具体岩土体性状及经验确定，一般为锚杆长度的 $1/3 \sim 1/2$ 且不少于 $2\text{m} \sim 4\text{m}$ ；（6）出浆孔宜设置保护倒刺并焊接牢固，可采用角钢或钢片制作，除了保护出浆孔在锚杆击入过程中免遭堵塞还可大幅增加锚杆的摩阻力。

5.5.7 自钻锚杆利用钢管空腔作为注浆通道，将锚杆钻孔、下锚、注浆、锚固在一个过程中一次完成，适合卵石、砾砂、杂填土和淤泥等难以钻成孔的地层，通常为加固类锚杆。本标准建议自钻锚杆杆体选用符合下列条件的定型产品：（1）中空，壁厚不小于 4mm ；（2）钢管外径不小于 20mm ，计入螺纹后杆体外径不小于 35mm ；（3）螺纹高度不小于 5mm ，可连续设置、断续设置或在尖端一定范围内连接设置；（4）单节长度宜为 $3\text{m} \sim 9\text{m}$ ，需要拆除回收时宜为 $1\text{m} \sim 2\text{m}$ 。设置出浆孔时，可执行钢管锚杆技术要求及建议。

5.5.8 水泥砂浆及细石混凝土灌注困难，尤其是细石混凝土，实际工程中很少采用。锚杆主要受施工条件影响，土层中浆体强度很难超过 35MPa 。浆体配合比设计应主要考虑可灌性及浆体强度需求，本标准建议参照以下经验：（1）注浆锚杆采用水泥浆时，一次注浆水灰比宜为 $0.45 \sim 0.55$ ，二次及多次注浆水灰比宜为 $0.5 \sim 0.7$ ；（2）采用水泥砂浆时，灰砂比宜为 $1:0.5 \sim 1:1.0$ ，水灰比宜为 $0.45 \sim 0.55$ ；（3）采用囊袋时，囊内应注无泌水水泥浆，水灰比宜为 $0.4 \sim 0.45$ ；（4）采用细石混凝土时，宜按《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 执行；（5）钢管锚杆、自钻锚杆及自进锚杆水泥浆的水灰比宜为 $0.5 \sim 0.6$ ；（6）灰砂比和水灰比均为质量比。

5.5.9 单位水泥用量是保证锚杆抗拔力的重要因素，但不同地层及不同注浆压力下差异很大，本标准建议参照以下经验：（1）注浆锚杆一次注浆量一般为钻孔容积的 $1.5 \sim 3.0$ 倍，二次注浆量为一次注浆量的 $0.5 \sim 1.5$ 倍，岩层越破碎或土层越松散用量越大。通常，钻孔直径为 100mm 的注浆锚杆按全长平均，一次注浆量不宜少于 35kg/m ，一、二次注浆量之和不少于 50kg/m ；（2）外径为 48mm 的钢管土钉，水泥用量不少于 30kg/m 。

5.5.10 机械扩体及水力扩体锚杆，因锚固体中往往夹杂着泥渣碎屑等杂物，性状通常不宜视为浆体而宜视作水泥土，从耐久性、蠕变性能及筋浆粘结强度等多方面考虑，不宜作为长期锚杆使用。

5.5.11 单元锚杆数量过多会影响注浆质量，从而影响承载力；每个单元锚杆锚筋数量不宜过多以避免使用效率降低。

5.6 锚座

5.6.1 锚座为混凝土构件时，根据不同需求可采取如下图所示墩或独立板（图 4（a）~（d））、单向梁（图 4（e）~（g））、格构梁（图 4（h）~（i））及连续板（图 4（j））等不同形式，其中矩形梁（图 4（e））也可采用钢结构：

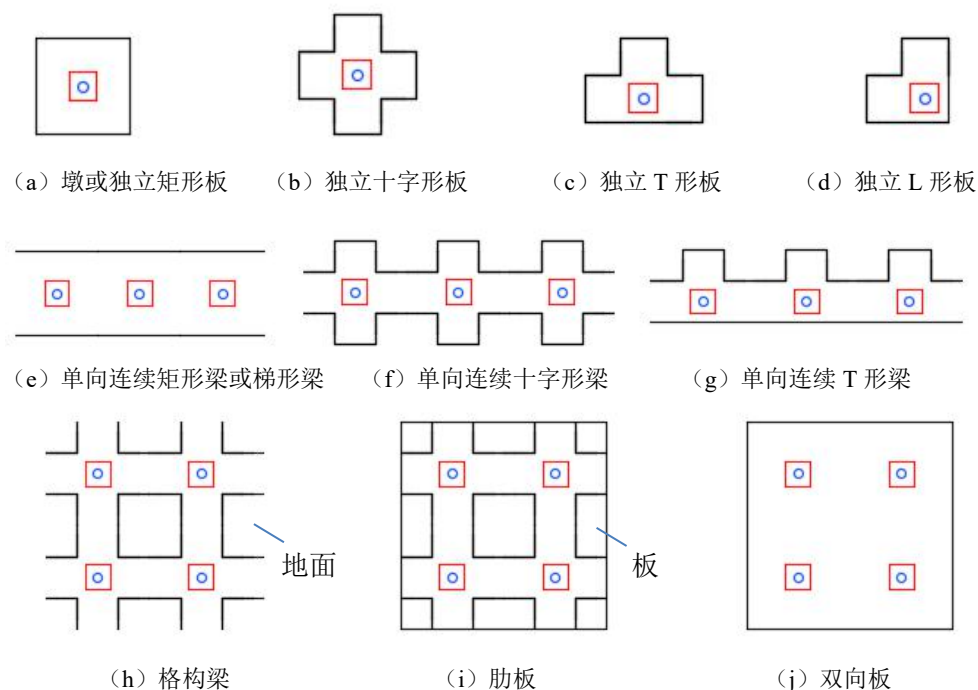


图4 混凝土锚座的不同形式简图

5.6.2 以往工程中，锚座参数、地基承载力及稳定性等大多依据经验或构造设计，破坏现象时有发生，故本标准要求进行设计计算。岩土体产生荷载作用在锚座上，锚杆提供支点抗力，按此作用机理锚座设计计算会涉及岩土体的主动土压力及锚杆支点刚度等问题，比较复杂；本标准建议把锚杆设计拉力视作集中荷载，把锚座视为岩土体上的独立、条形或筏板基础，岩土体提供承载力，简单方便，计算精度可满足工程实际需求。

5.6.3 预应力锚杆俯斜对锚座下拉作用的大小与锚杆承载力等因素相关，俯角大于 $30^{\circ}\sim 35^{\circ}$ 时通常就要考虑可能造成的不良影响，必要时应采取提高锚座竖向承载力的措施。

5.7 锚固节点

5.7.1 锚座在锚固节点处强度及承载力因设置穿筋孔及混凝土浇捣质量不易保证等原因会有一定程度降低，故应验算节点承载性能。为便于实施，本标准建议：（1）低承载力锚杆可按构造或经验设计；（2）高承载力锚杆、预应力锚杆及预应力螺纹钢锚杆进行设计验算；（3）其余情况根据具体情况决定是否进行验算。钢筋直径满足 B.0.3 条及 B.0.4 规定后，如因加大安全系数或增加腐蚀裕量等原因选用更大直径的钢筋时，直线锚固长度、锚固板最小直径及螺旋箍筋等取值仍可相应于原钢筋直径。

5.7.3 锚座较薄时，可能会因厚度不足使锚筋无法采取竖直或斜弯形式以满足最小锚固长度需求，宜在锚筋端部采取弯钩或锚固板等机械锚固方式。

锚杆与喷射混凝土结构中，锚杆锚头受力较小，本标准建议锚固节点参照以下经验按构造设计（图 5）：（1）锚头钢筋热弯形成 90° 弯钩；（2）在锚筋一侧或两侧贴焊 L 形钢筋、角钢等钢材；常用贴焊材料有直径 16mm~20mm 的 400 级带肋钢筋及边宽 45mm~63mm、厚

度 4mm~6mm 的等边角钢；采用 L 筋时，筋的一翼应与加强钢筋压紧后焊接，一般单面焊接长度不小于 100mm 或双面焊接长度不小于 50mm；锚筋与贴焊材料不应点焊及绑扎连接；

（3）穿孔焊塞井字形钢筋或钢板；（4）需要加设少量预应力时可采用螺栓螺母及锚垫板；

（5）在喷射混凝土面层内锚头处设置通长加强筋，直径不小于 16mm，数量不少于 2 根，与面层内的钢筋网绑扎或焊接；（6）弯钩或贴焊材料应压住加强筋，长度宜超出加强筋不少于 2 倍加强筋直径；（7）面层内不设置加强筋时，钉头筋可采用 4 根钢筋呈“井”字型压紧钢筋网片，网片应局部加强以增加混凝土局部抗压强度。

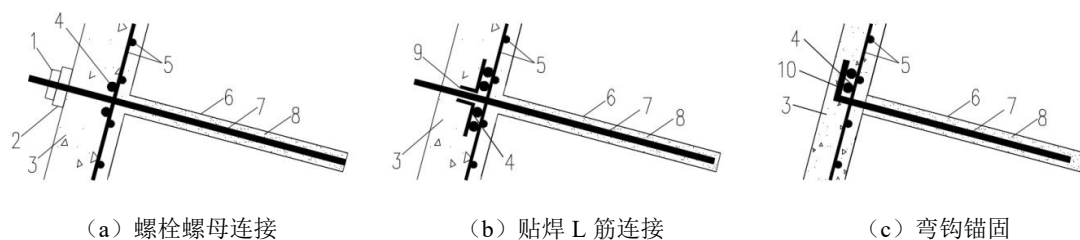


图 5 土钉与喷射混凝土面层连接构造示意图

1—螺母锚具；2—锚垫板；3—喷射混凝土；4—加强筋；5—钢筋网；6—孔壁；7—锚筋；8—浆体；9—L 形连接筋；10—弯钩

5.7.4 钢筋应伸至锚座厚度的中上部再弯折或加板，以避免锚固段大部分位于钢筋混凝土底板受拉区。《混凝土结构设计规范》GB50010 规定弯钩或机械锚固时最小锚固长度（投影长度）为 $0.6l_{ab}$ ，考虑到锚杆主要承受静荷载、锚筋实际承载力与锚杆承载力特征值的比值较大且大于常规钢筋混凝土构件的相应比值，为便于工程应用本标准根据经验取 $0.4l_{ab}$ 。

5.7.5 本标准建议锚固板参照以下经验实施：（1）除了设计，锚固板的材料、施工及质量检测验收等均宜执行《钢筋锚固板应用技术规程》JGJ 256；（2）锚固板强度不宜低，否则板厚将增大；（3）锚杆承载力较大时锚固板可能会向下位移与上覆混凝土脱开，抗浮锚杆底板结构对变形开裂要求较高，锚固板应具备足够的刚度以控制翘曲变形防止将上覆混凝土顶起开裂。锚固板圆形与方形相比，控制四周翘曲能力强，适用于抗浮锚杆，国际标准中预应力螺纹钢锚筋均建议采用圆形锚固板；方形板加工方便、板下混凝土利用效率高，可在边坡工程、对变形开裂要求不高的基础工程等其它情况下应用；（4）《钢筋锚固板应用技术规程》JGJ 256 把锚固板分为部分锚固板及全锚固板，全锚固板不考虑锚固长度范围内钢筋与混凝土的粘结作用，部分锚固板考虑了锚固段钢筋与混凝土的粘结作用以减小锚固板尺寸；（5）因为计入了肋高，钢筋外轮廓大于钢筋直径；（6）基于施工质量考虑，钢筋强度等级 500 级以上及直径大于 40mm 时不应与锚固板焊接；（7）预应力螺纹钢锚筋配套螺母规格，不同厂家产品尺寸略有不同。例如 PSB930 钢筋配套螺母，本标准建议规格如下表所示，选用时宜取 s_n 较小值用以计算锚固板厚度、取 m 较大值用以确定锚固板下混凝土的受冲切高度；（8）锚固板在浇筑混凝土时易沿着锚筋下滑或歪斜，可采取点焊或在板下安装定位螺母等有效方式固定；（9）板厚不应小于锚筋直径的 0.8 倍、全锚固板外径或边长不应小于锚筋直径的 3 倍这一规定源自《囊式扩体锚杆技术标准》编制组现场试验成果；（10）为

便于施工及减少安装误差，锚固板不宜共用；（11）锚筋顶面距锚座顶面之间的混凝土保护层应符合《混凝土结构设计规范》GB50010 规定。

表 5 PSB930 预应力螺纹钢筋部分配套螺母规格

螺纹公称直径 d_a (mm)	25	32	36	40
螺母高度 m (mm)	65、60	72、70	72	100、80
螺母对边宽度 s_n (mm)	50	58、60	65	70、72

5.7.6 高承载力锚杆对锚垫板的要求比较高，现场制作时应进行设计计算，对定型产品有异议时宜设计复核。

5.7.7 锚座穿筋孔直径过小容易挤压锚筋及导致锚筋弯曲，过大容易造成锚垫板受锚具作用力后翘曲。为施工方便，穿筋孔通常设置过渡管进行护壁。

5.7.8 锚座混凝土在锚杆节点处容易因支模质量不好产生较多缺陷，安装锚垫板前通常要用砂浆找平，尤其是锚杆承载力较高时。

5.8 锚杆刚度系数与锁定力

5.8.1 刚度系数设计值的折减应遵守偏于结构安全的原则，即计算结果对锚固结构有利时则折减，不利时则不折减，本标准建议按以下经验取值：长期岩层锚杆及长期土层锚杆分别取 0.7~0.9 及 0.5~0.7，短期岩层锚杆及短期土层锚杆分别取 0.9~1.0 及 0.7~0.9；岩体基本质量等级高、土层坚硬或密实取高值，反之取低值。对于注浆粘结锚杆，刚度系数主要取决于浆体周边岩土体的剪切模量，但业界缺少这方面经验，故式（5.8.1-2）用锚筋刚度系数以替代，由于未考虑浆体对锚筋的约束作用，估算结果通常偏于保守，实测最大值可高出 2~3 倍。

本标准建议作用方向与锚杆轴向夹角较小时作用方向的锚杆抗拉刚度系数按下式估算：

$$k_a = k_{rc} \cos^2 \delta \quad (2)$$

式中： k_a —— 作用方向的锚杆抗拉刚度系数设计值（MN/m）；

δ —— 锚杆轴向与作用方向的夹角（°），大于 45°后宜取 90°。

锚杆对径向变形的约束能力较弱，上式仅在 δ 较小时近似成立， δ 越大计算误差越大。目前业界在这方面的相关经验并不丰富。

5.8.4 通常，结构变形允许值是基于拉力标准值对应的锚杆变形值的，如果锚杆持有拉力达不到拉力标准值，甚至具备施加预应力的条件而不施加，随着荷载增加，锚杆变形增加，荷载增加到拉力标准值时，锚杆可能已经产生了锚固结构难以接受的变形。

5.9 防腐

5.9.3 锚杆如果不采取任何防腐措施，锚头段锚筋容易锈蚀，对于短期锚杆，尽管不一定会危及到承载力，但可能会影响到以后的二次张拉、锚筋拆除回收等工作，且观感不佳容易造成对锚杆安全甚至工程结构安全的误判断，故本标准提出了Ⅲ级防腐等级。

5.9.4 本条规定主要参照《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476 等标准。水泥是决定抗浮锚杆防腐性能的重要因素之一,主要应根据地层及地下水对混凝土及筋体的腐蚀性选用不同品种的水泥,而强度等级通常不是主要因素。《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476 认为,硅酸盐水泥抗硫酸盐及酸类物质的化学腐蚀的能力较差。硅酸盐水泥水化产物中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 不论在强度上还是化学稳定性上都很弱,几乎所有的化学腐蚀都与之有关,在压力水、流动水尤其是软水作用下易被溶析,是浆体结石抗腐蚀的薄弱环节,不应在化学腐蚀环境单独使用,应根据化学腐蚀种类选择加入适合的及适量的矿物掺合料。水泥强度较高时锚杆干缩较大,对耐久性不利,不宜太高。采用早强水泥有利于施工工期。火山灰质硅酸盐水泥拌制的砂浆可泵性相对差一些,故无经验时应通过可泵性试验确定砂浆配合比。

5.9.5 《混凝土结构设计规范》GB50010 及《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62 等技术标准提供了混凝土裂缝宽度计算公式,控制指标一般为 $0.1\text{mm}\sim 0.3\text{mm}$ 。编制组认为:(1) 这些计算公式基于混凝土,而锚杆几乎都采用水泥浆或砂浆,与混凝土的力学及物理性能有一定差异;(2) 计算公式适用于普通钢筋,用于验算钢绞线或预应力螺纹钢筋时计算结果裂缝宽度通常远大于 $0.1\text{mm}\sim 0.3\text{mm}$,即公式不适用于钢绞线及预应力螺纹钢筋等高强材料;(3) 锚杆通常不配备抗裂钢筋。故不建议采用裂缝控制作为防腐方法。全粘结锚杆视为微型桩时可执行《建筑桩基技术规范》JGJ94 等相关标准。

5.9.6 本标准建议防腐层分为 3 类:(1) 护套防护,包括无粘结钢绞线以及护套、波纹管 and 过渡管等各种隔离管,护套内应充填润滑脂、浆体或树脂等材料;(2) 防腐涂料防护,包括环氧涂层钢筋及钢绞线,以及锚筋、锚具、锚垫板、金属承压件及端帽等金属构件表面敷涂的防腐涂料;(3) 浆体防护,包括波纹管内的预注浆体、压力型锚杆的浆体以及锚筋自由段锁定后注浆体或锁定前预注缓凝浆体。需要指出,防腐层可能会影响到锚杆承载力,必要时宜采用荷载试验验证。

5.9.7 双层防腐目的是用外层保护内层,即外层防护提供了额外保障,内层被外层保护以防锚筋在组装及安装过程中受损伤。可靠的单层防腐通常能够满足 I 级防腐需求,但顾虑到目前施工质量有时不太可靠,本标准要求 I 级防腐时采用双层。

1 锚筋防腐目标及原则是把金属锚筋完全装入不透水的防护层内以阻止环绕在锚杆周围的地下水及潮湿气体的侵入。防护原则对锚杆杆体的各部分均适用,但在粘结段、锚筋自由段及锚头处的细节处理有所差别。

2 粘结段浆体受到拉应力作用后容易产生裂缝,完整性不能得到保证,故通常不能单独作为防腐层,但在注浆质量(主要指完整性)能够得到保证且裂缝宽度较小(一般认为不超过 $0.1\text{mm}\sim 0.2\text{mm}$)时,可作为防腐层。本标准建议:(1) 锚筋自由段如果设置了止浆塞使其没有被浆体包裹,可在锚筋张拉锁定后进行后注浆防腐,此时浆体可作为防腐层。有经验时也可张拉之前在锚筋自由段注入缓凝浆体替代后注浆;(2) 压力型锚杆的浆体通常处于受压状态,不产生裂缝,可作为防腐层;(3) 欧美标准认为,波纹管包封内的带肋钢筋能

够控制结石裂缝的出现频率及裂缝宽度小于 0.1mm，有学者认为钢绞线也可达到此效果，故在这种情况下浆体可作为一层防腐层。但波纹管注浆应在工厂或相当于工厂的环境下预先注入，因为现场注浆质量难以保证。国外规范中预注浆体厚度一般为 5mm~10mm。囊袋内注浆可在现场进行。

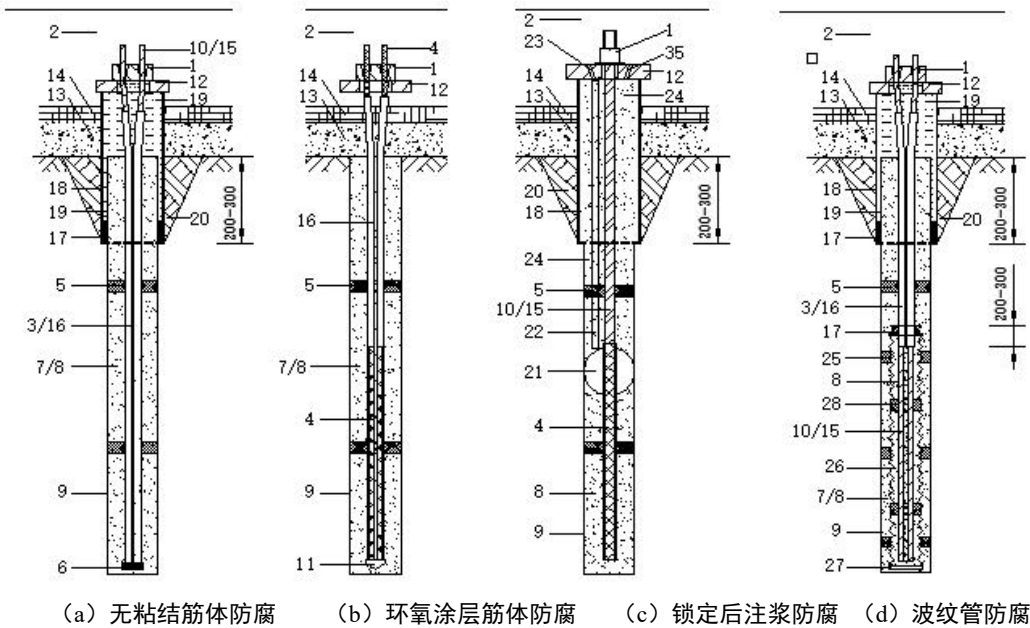
3 润滑脂等非硬化液体材料作为防腐介质有一定局限性，如容易干缩、长期稳定性不好确定、容易泄漏等，其本身就要受到保护，所以不能单独作为防腐层；同时，护套也不能单独作为防腐层，护管内应填充这类材料或浆体、树脂等以阻止地下水或水汽的侵入，故两者结合起来才能作为一层完整的防腐层。

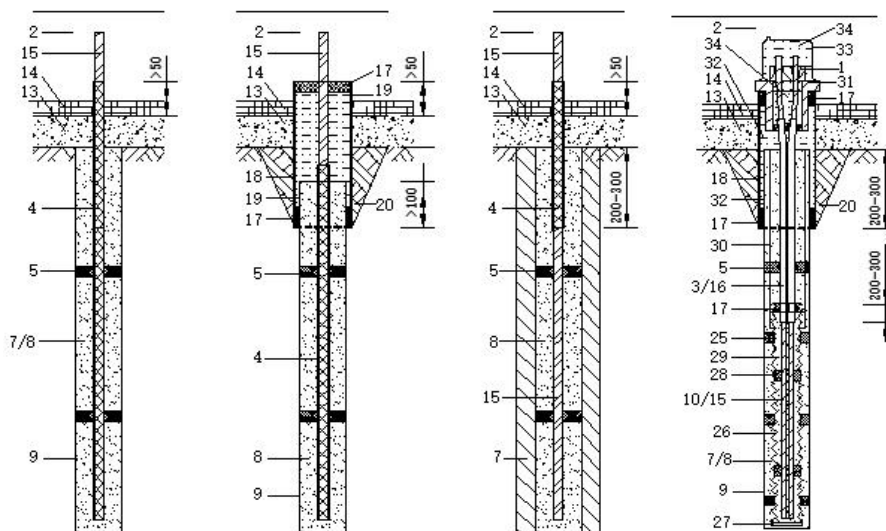
4 锚筋上的点腐蚀分布不均匀、开展迅速且优先在局部凹穴或表面不规则处展开，而锚杆属于“一点溃而全局崩”的构件，存在这类点蚀时腐蚀裕量提供不了太大作用，故本标准对预留腐蚀裕量防腐方法设定了较为严格的限制条件。

5 树脂锚杆可用于 I 级防腐的作法源于国际相关标准。

6 采用无粘结钢绞线时，通常需要将锚头一定区段长度的护套剥除、洗净润滑脂，避免锚筋张拉伸长后带润滑脂的锚筋被夹片锁定从而降低夹具效率，这样，往往就需要设置过渡管把锚筋与浆体隔离，锁定后再注浆或注入润滑脂等充满，锚垫板的中孔及锚孔的空隙均应充满。

7 防腐等级为 I、II 级时的典型作法如下图所示：





(e) 锚杆防腐涂料防腐 (f) 孔口过渡管防腐 (g) 非预应力扩体锚杆浆体芯防腐 (h) 预制粘结段防腐

图6 锚杆防腐作法示意图

1—锚具；2—锚座结构或封锚混凝土；3—无粘结筋体；4—环氧涂层筋体或钢筋敷涂环氧防腐涂料；5—定位架；6—外涂防腐涂料的金属载体或锚具，或非金属载体，外罩保护罩；7—水泥土；8—浆体；9—孔壁；10—钢绞线；11—塑料端帽或外涂防腐涂料的金属端帽；12—锚垫板；13—素混凝土或砂浆垫层；14—防水层；15—钢筋；16—套管（内充润滑脂）；17—遇水膨胀止水胶（条）等防水密封材料；18—过渡管；19—内充微膨胀浆体或润滑脂；20—埋置过渡管凹坑（填充浆体或填土击实）；21—止浆塞；22—后注浆管；23—注浆孔；24—锁定后注浆；25—外定位架；26—波纹管；27—波纹管端帽；28—内定位架；29—预制粘结段；30—共用外套管（管内注浆或润滑脂）；31—带喇叭管锚垫板；32—预注微膨胀浆体或润滑脂（带喇叭管的锚垫板放置时注入）；33—外涂防腐涂料钢锚具罩或塑料复合钢板锚具罩（与锚垫板之间密封）；34—润滑脂（锚具罩置放后从多余锚具孔注入）；35—排废孔

5.9.8 环氧涂层现场涂敷质量很难得到保证，不宜单独作为防腐层。锚筋材料为环氧涂层钢绞线或环氧涂层钢筋时，在制作、运输、安装及注浆等施工过程中，环氧涂层可能会受到损伤且不易被发觉，应用前要仔细检查。

5.9.10 本标准建议浆体拌制时参照下列经验选用外加剂及掺合料：（1）硝酸盐、亚硝酸盐、碳酸盐可能会引起锚筋的应力腐蚀和晶格腐蚀，不宜使用；（2）对锚杆孔口充填注浆及封闭锚头时可使用膨胀剂；（3）采用早强剂时宜采用减水早强剂；（4）混凝土中的氯离子渗透到钢筋表面，会导致混凝土结构中的钢筋发生电化学锈蚀，进而导致结构的膨胀破坏；硝酸盐、亚硝酸盐、碳酸盐可能会引起筋体的应力腐蚀和晶格腐蚀，故拉力型锚杆等浆体与锚筋直接接触的锚杆，不应使用这两类外加剂；（5）氯盐环境和化学腐蚀环境可使用粉煤灰、矿渣粉及硅灰等矿物掺合料。矿物掺合料可改善浆体结石的性能，提高耐久性，但给施工带来不便，大多数工程环境采用矿物掺合料的必要性不大。

5.9.11 本标准建议按《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476 及参照以下经验封闭锚头（图7）：（1）基础锚杆及抗浮锚杆，可在基础结构预留锚杆张拉锁定作业坑后一次性整体浇灌，之后张拉锁定锚杆，浇灌封锚混凝土；也可把锚头设置在基础结构表面，锚杆张拉

锁定后安装锚具罩，之后施工填充找平层；（2）外凸式封锚混凝土形状可为长方体、圆柱或圆台；（3）锚座较厚、微膨胀浆液或润滑脂灌注量较大时，可在浇筑锚座时预留一个注浆孔，预先灌注部分水泥浆以填充孔隙，但浆面应低于锚筋护套顶面不少于 50mm；（4）工程安全等级较高的锚固工程，锚杆服役一定时期后有时需要进行持有拉力检测及再张拉，保留段应留置足够长度以便接长，一般钢绞线不少于 150mm、钢筋不少于 60mm。

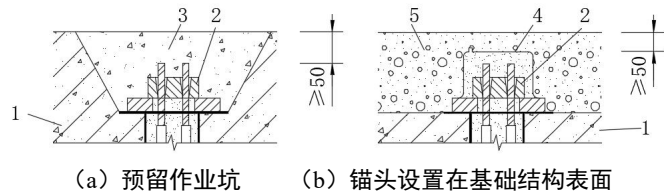


图 7-1 基础锚杆及抗浮锚杆埋入式封锚典型作法示意图

1—基础结构；2—锚具；3—封锚混凝土；4—锚具罩；5—填充找平层

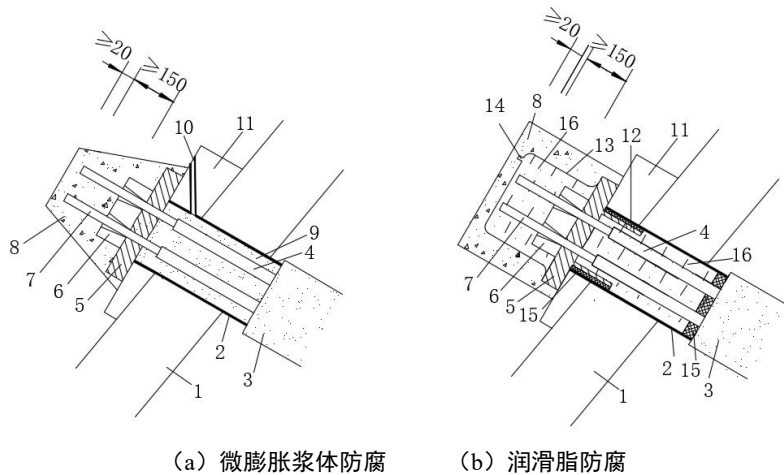


图 7-2 锚杆外凸式封锚典型作法示意图

1—锚座；2—过渡管；3—锚杆浆体；4—护套；5—锚垫板；6—锚具；7—锚筋；8—封锚混凝土；9—微膨胀浆体；10—预留注浆孔；11—找平层；12—喇叭管；13—锚具罩；14—油嘴；15—遇水膨胀止水环；16—防腐润滑脂

6 锚杆施工

6.1.1 锚杆工程为隐蔽性很强的地下工程，施工方案应对主要施工环节有明确技术要求，确定施工方法、材料、机械、部署、进度计划、质量管理、安全管理等事项。

锚杆通用施工工艺流程为：

定位→钻孔（扩体锚杆扩体）→杆体制作→清孔→制备浆体→预注浆→杆体安装（囊袋锚杆安装囊袋）→注浆→养护→制作锚座→预应力锚杆张拉锁定/非预应力锚杆锚固→锚固结构施工→可回收锚杆拆筋回收。

本标准建议锚杆成孔作业参照以下经验：

1 地层单一时可按下表建议选择钻机、钻具及钻进工艺，地层复杂时可采用不同钻具及钻进方式分步钻进；

2 可根据土层及地下水性状选择螺旋钻进、回转钻进、冲击钻进、冲击回转钻进、自钻等成孔或钻进工艺，防止施工过程中出现位移、塌孔、卡钻、埋钻等现象；

3 砂土、粉土、碎石土、填土、淤泥等软土、破碎及极破碎岩体等易塌孔、掉块或缩孔地层，地下水有承压性或流动性的地层，可回收锚杆、土层中的压力型锚杆，地层受扰动后导致水土流失会危及邻近周边建筑物或公用设施的稳定时，均应采用套管护壁钻进工艺，套管护壁工艺指在钻孔全部或部分长度内设置套管进行护壁的钻进工艺；

4 泥浆护壁时应控制好清孔泥浆参数，防止塌孔。中高承载力锚杆不应采用泥浆护壁，低承载力锚杆采用泥浆护壁时应采取二次注浆等措施减弱孔壁附着泥皮的不利影响；

5 条件许可时应优先选用螺旋钻进方法，利用螺旋钻杆排渣；

6 含水量丰富地层或环保要求较高时不宜采用气排渣工艺；

7 裂隙发育岩层及含水量低且孔隙率较大土层，可能影响到地层稳定性或锚杆承载力时不宜采用水排渣工艺。

8 钻机应具有良好的导向性能与稳定性，钻机参数应具有一定的调节范围以满足施工要求且留有余量；宜为履带式结构，最大扭矩不宜小于 $4\text{kN}\cdot\text{m}$ ，应具备夹持卸扣功能，履带接地比压（指履带单位接地面积所承受的垂直荷载）不宜大于 50kPa ，爬坡角度不宜小于 25° ，行程不宜小于 3 米，应能够进行套管加钻杆施工，钻机推进导轨应可以与履带呈垂直状态；有卵石层或硬夹层时钻机应具备顶部冲击功能，冲击频率不宜小于 $2000\text{次}/\text{min}$ ，冲击功不宜小于 $600\text{N}\cdot\text{m}$ ；需要在脚手架上工作时，钻机宜为分体结构，拆分最大运输单元质量不宜大于 50kg ，给进力不宜大于 40kN 或者可调，导轨部分应有与脚手架连接的接口。

表 6 钻具及驱动方式选型建议表

地层	方式一		方式二	
	钻具及组合	钻进方式	钻具及组合	钻进方式
不易塌孔的软土层	螺杆钻具	回转钻进	钻杆	回转钻进
易塌孔的软土层	管钻， 或管钻+套管	回转钻进	钻杆+套管， 或钻杆+水泥	回转钻进

			浆护壁	
砂卵石、夹石土等软硬互层地层	钻杆+套管	回转+顶驱	套管+钻杆	偏心跟管或同心跟管
岩层	杆钻	回转+潜孔冲击	钻杆	回转

注：1 钻具指锚杆钻孔时工作在岩土体内的器具，为钻杆、钻头、套管及连接件等的合称；

2 管钻指内径较大、能够从管内空腔下锚的管状钻杆；

3 杆钻指内径较小或实心、不能从管内空腔下锚的杆状钻杆；

4 套管指套在钻杆外用以隔离钻孔孔壁的管状器具，也称为钢套管。

6.2.1 本标准建议套管及钻杆外径不小于下表规定，软弱黏性土地层尚应考虑缩孔对终孔孔径影响：

表 7 套管及钻杆外径选用表（mm）

钻孔孔径	90~110	110~130	130~140	140~150	150~180	180~200	200~220	220~250
套管外径	89	108	127	127/133	146	168	194	219
钻杆外径	73	73	73	73	89	102	114	114

6.2.2 土层中水下成孔时孔底沉渣通常较厚，尤其是竖向锚杆且长度较长时。下锚前应清除干净沉渣，可采用风吹、气举反循环等清孔方法。因通常很难清理干净，故本标准要求钻孔设置沉渣段以在孔底收集沉渣。根据不同地层及钻进方式，本标准建议沉渣段长度：岩层中为 0.2m~0.5m，土层中 0.3m~2.0m，竖向锚杆为 0.5~3.0m，地层较好、粗颗粒含量少、干成孔、锚杆俯角较小等条件下沉渣较薄，取较小值，反之则取大值。

6.2.3 可采用对钻机固定、确保开孔精度、增加钻具刚度和增设扶正器、采用合理钻进工艺参数等措施以控制钻孔偏斜。

6.2.4 扩体锚杆可在锚杆底部扩体、分段扩体及全长扩体，深圳地区目前仅有底部扩体一种形式，采用机械扩体、水力扩体及囊袋压浆扩体等扩体技术，扩体施工宜参照《囊式扩体锚杆技术标准》，其中水力扩体施工尚宜参照《建筑地基处理技术规范》旋喷桩相关规定执行。

1 机械扩体按扩体原理主要分为液压张开式、压张式及弹簧扩张式 3 类：液压张开式通过钻杆内循环水加压使扩孔钻具张开，弹簧扩张式扩孔钻具在弹簧辅助下依靠离心力张开，均适用于水下钻孔及较软地层；压张式通过钻杆加压使扩孔钻具张开，适用于较硬土层。

2 水力扩体通常采用高压喷射注浆法扩大孔径，也称旋喷扩体锚杆或旋喷锚杆，近些年来国内应用较为广泛，比较适合软弱土层或一般黏性土，主要缺点是扩体效果不稳定，孔径大小不易掌握。扩体段内通常为水泥土，强度及固结龄期因土层不同而差别较大。

3 囊袋锚杆通常在水力法或机械法形成的扩体段增设囊袋而形成，在软弱松散土层中也可在原孔内安装囊袋、在囊袋内高压注浆形成，抗拔力更大、质量更稳定、防腐能力更强。

本标准建议参照以下经验：（1）可塑~坚硬的黏性土、中密~密实的砂土及全~强风化岩层采用机械扩体工艺，软塑~可塑的黏性土、松散~中密的砂土及碎石土采用水力扩体工艺，其余土层机械扩体及水力扩体后宜增设囊袋形成囊袋锚杆；（2）扩体工艺试验包括试

验实施及效果检查两个环节，宜开挖检验扩体效果，不具备开挖条件时应根据注浆量等施工参数按相关经验估计扩体效果。

6.2.5 本标准建议水力扩体施工参照以下经验：（1）施工机械宜安装全过程监测及自动记录钻进深度、行速、转速、介质压力及流量等数据的装置；（2）输送扩体介质的管路长度不宜大于 50m，以免产生较大压力损失从而影响到扩体效果及易于堵塞；（3）扩体水泥浆液水灰比不宜太浓，初定时可取 1.0~1.5；（4）扩体作业时喷嘴应匀速旋转及行进，转速宜为 5r/min~20r/min，行速宜为 0.1m/min~0.3m/min；喷射压力不宜小于 20MPa；宜采用先低压后高压的喷浆方式，在钻孔内上下往返扩体不少于 2 遍；喷浆量宜为 75L/min~110L/min；（5）目前机械设备喷管长度一般不超过 2m，扩体长度大于 2m 时通常需要分段扩体、适当搭接；（6）长期锚杆成锚宜符合以下步骤：采用管钻或套管护壁钻进至设计深度→将喷嘴从管钻或套管内下放至指定扩体位置→旋转并上下移动喷嘴进行高压喷射扩体→扩体完成后拔出喷嘴→拔出管钻或套管→水泥土终凝→按注浆锚杆进行钻孔、下锚、注浆，形成浆体芯。短期锚杆也可不形成浆体芯，在拔出管钻或套管之前下锚，然后注浆。

6.2.6 本标准建议机械扩体施工参照以下经验：（1）铰刀能否顺利受控张开与闭合、能否达到设计直径尺寸是关系锚杆施工质量的关键因素，调试时应测量钻具张开直径及行程，确保铰刀能够顺利受控张开及闭合；（2）宜下行扩体；（3）扩孔钻具下放到孔底后，宜在钻杆上标明扩体前位置及扩体所需行程，之后再再将钻具逐渐张开进行扩体作业；（4）扩孔钻具旋转应匀速，转速及行速应根据岩土体性状确定，进尺初定速率可为 0.1m/min~0.4m/min；（5）钻具进尺时应严格控制行程，确保扩体直径达到设计要求；（6）往返切割搅拌不宜少于 2 遍，地层坚硬时可分层扩体；（7）机械铰刀切割搅拌土体时，也可以 0.5MPa~1.5MPa 的压力同步注浆。

6.2.7 囊袋锚杆应确保膨胀挤压筒的质量与密封完好，本标准建议采用抽气检测方法对不少于总量 5% 的膨胀挤压筒进行抽检，如有破损应进行修补或更换。本条未详尽之处宜执行《囊式扩体锚杆技术标准》。

6.2.8 钻孔过程中出现难以进尺或地下水突然涌出、水力扩体过程中出现喷射压力突变、机械扩体过程中出现钻机摆动或转速突变等情况时应停机查明原因，采取必要的应对措施，确认正常后再恢复施工。

6.2.9 水下钻孔如果在锚杆杆体安装前已经置放了较长时间，往往需要二次清孔，对于土层锚杆及地下水丰富的岩层锚杆，如果置放时间超过 2h~4h，应重新清孔。

6.3.1 本标准建议锚杆杆体制作参照以下经验：（1）工厂、车间、施工现场作业棚内的台架等可作为清洁场所；（2）锚筋不应使用电弧切断，以防作业时产生的高温影响锚筋力学性能；下料宜采用砂轮锯或切断机切断，不宜采用氧气—乙炔焰；张拉段切除时宜采用砂轮锯，也可采用氧气—乙炔焰，但切割点距锚具较近时应应对锚具采用水冷等降温措施；（3）预应力锚筋不宜接长及焊接组装，否则容易影响力学性能；（4）锚筋采用预应力螺纹钢筋

时应采用专用接头接长；采用直径大于 22mm 的普通钢筋时应采用机械连接，不大于 22mm 时可焊接接长；钢管土钉接长可采用不少于 3 条、直径不小于 16mm 的钢筋双面帮条焊，帮条长度不宜少于 2 倍钢管直径；（5）定位架及束线环的主要作用就是使位于定位架之间的锚筋最小保护层厚度满足设计要求，锚固类及加固类锚杆定位架的外径宜小于孔径 4mm~6mm；波纹管内径宜大于内定位架外径 4mm~6mm；定位架宜沿杆体轴线方向每 1.0~2.5m 设置一个，土层锚杆、长期锚杆及锚筋较多的锚杆定位架间距应取小值；（6）压力型锚杆端帽可起到导向兼保护受压件及预应力锚筋的作用，拉力型锚索及有多条锚筋的端帽主要起导向作用；（7）一次注浆管应较长，管底宜超出锚筋尾端及端帽 50~100mm 以尽量消除孔底沉渣的影响；二次注浆管管底宜与锚筋尾端齐平，不宜超出以避免从孔底跑浆浪费；二次注浆管的出浆孔应设置逆止构造以避免一次注浆时浆液进入；（8）杆体一般采用绑扎线与定位架固定，定位架之间应采用绑扎线或束线环把杆体拉紧并产生一定刚度；锚筋、注浆管及辅助拆筋的绳索管线等应平行顺直，不应相互交叉、扭曲；钢管锚杆的倒刺应与钢管焊牢，不应在击入土体过程中脱落；（9）张拉段锚筋长度一般不宜小于 1.0m；（10）无粘结钢绞线使用前锚头应清洗除油。

6.3.2 本标准建议杆体安装前进行腐蚀及完整性检查，尤其是各种套管及环氧涂层，如有损伤应修补或替换，其中波纹管及环氧涂层轻微损伤处可采用外包防水聚乙烯胶带进行修补。

6.3.3 本标准建议锚杆安装参照以下经验：（1）采用套管护壁的钻孔注浆锚杆宜先下锚后拔管；（2）钢管锚杆及自钻锚杆可采用击入、压入或旋转等方式安装；（3）注浆锚杆成孔后应及时清孔、安装杆体及注浆，以尽量避免产生塌孔、降低锚杆抗拔力、造成水土流失等不良影响；（4）杆体安装时应避免扭压或过度弯曲。

6.4.1 浆液拌制及储备时要防止杂质混入浆液中，使用前如果出现泌水现象应重新拌和并对配合比、泵送设备及工艺等进行检查，采取相应处理措施。

6.4.2 本标准建议注浆参照以下经验：（1）预应力土层锚杆应采用二次注浆；（2）岩层锚杆及岩土混层锚杆宜采用二次注浆；（3）地质条件较差且设计高承载力时宜采用二次高压分段注浆；（4）其余情况可采用一次注浆。一次注浆指钻孔内为形成锚固段的注浆，利用自身流动性从下而上逐渐充满钻孔，也称常压注浆；高压注浆一般指注浆压力不小于 2.5MPa 的注浆；劈裂注浆指利用水力劈裂原理对岩土体进行的高压注浆；二次高压分段注浆指逐段对锚固段周边岩土体进行的劈裂注浆，简称二次分段注浆；简易二次高压注浆指对锚固段周边岩土体不分段进行的高压注浆，简称简易二次注浆；本标准建议二次注浆时宜优先采用二次高压分段注浆；补充注浆指正常注浆完成后为补偿孔口浆面下沉而进行的填充注浆，简称补浆；后注浆指预应力锚杆张拉锁定后对锚杆自由段进行的充填注浆。

本标准建议采用如下措施使注浆饱满：（1）俯角大于 10°的钻孔注浆，一次注浆管应插至距孔底 200mm~500mm 处，随浆液灌注而匀速或分段拔出，直至孔口溢出等浓度浆液后方可停止注浆，注浆及拔管过程中注浆管口应始终埋入注浆液面内；（2）后注浆或注缓

凝浆的预应力锚杆及用于极限试验的预应力锚杆宜设置止浆塞并及在止浆塞下安装排废管，排废管应将锚固段的气、水及废弃浆液直接排出孔口，不应流入自由段；（3）仰斜钻孔及俯角小于 10° 的钻孔注浆，应设置止浆塞等密封装置并将排气管端头置于孔底，待排气管或中空锚杆空腔出浆时方可停止注浆；（4）压力型锚杆可将二次注浆管管口置放在承压件下方间歇多次注浆，确保该处浆体中不夹杂黏粒、粉末、碎屑、泥渣、泥浆等杂质及不窝水；（5）长期锚杆的孔口浆体液面下沉时应及时补浆；（6）采用套管护壁时，宜在套管内下锚注浆后再拔出套管；（7）锚杆周边的地下水有流动性或锚杆施工的同时场地进行降水作业时，可能会造成浆液稀释及流失从而影响到锚杆承载力及耐久性，应先停止降水或采取降排水措施疏干后再进行注浆作业。

本标准建议二次注浆参考以下经验：（1）分段注浆应采用袖阀管、马歇管等带密封装置的注浆设备，依次由孔底向孔口分段注浆，分段长度不宜超过 0.5m ，一般 $0.3\text{m}\sim 0.5\text{m}$ ；注浆时机应在一次浆体强度达到约 5.0MPa 时进行，开环压力不应低于 2.0MPa 。袖阀管注浆设备主要由袖阀管、两端带止浆阀的注浆枪、密封环等组成，袖阀管大多采用 PVC 管，沿轴线方向每隔 $0.3\text{m}\sim 0.5\text{m}$ 设置一对出浆孔、管外套着起逆止作用的密封环。袖阀管注浆工艺较复杂，可实现分段注浆及多次注浆，注浆效果较好。（2）二次注浆应在一次注浆后水泥结石体强度达到 5.0MPa 左右时进行，强度过高或过低都难以实现高压劈裂注浆。注浆后多久水泥结石强度能够达到 5.0MPa ，与浆体设计强度、水泥特性、水灰比、浆液有何种外加剂、温度等多种因素相关，应根据工艺试验确定，一般可控制为 $18\text{h}\sim 24\text{h}$ 。（3）简易二次注浆可在初次浆体终凝前进行，开环压力不宜低于 1.0MPa 。

本标准建议把注浆量超出设计用量 3 倍左右作为异常情况，出现后应停注，检查是否有浆液冒出地表、渗入地下管道或空洞等流失现象，排除后采用先浓浆后稀浆、间歇注浆、改注砂浆或加设囊袋等处理措施。

6.4.3 利用钢管空腔注浆有两种常用形方式：一是将注浆管直接插到钢管空腔中，注浆管周边填塞软布等材料密封，工艺简单，能承受的注浆压力较低；二是将注浆管与钢管通过专用注浆阀连接，可获得较高的注浆压力及注浆量，注浆效果较好。本标准建议：钢管锚杆及自钻锚杆采用内插管时的注浆压力为 $0.4\text{MPa}\sim 0.6\text{MPa}$ ，采用注浆阀时为 $0.8\text{MPa}\sim 3.0\text{MPa}$ 。

6.5.1 本标准建议锚杆成品保护措施有：（1）锚杆杆体安装注浆后至浆体终凝前不应受到爆破、开挖、降水或回灌等扰动；（2）不应锚杆有撞击、敲击、悬挂物品等行为；（3）岩土体开挖等机械施工作业时不应造成锚头等部位损伤。

6.5.2 混凝土、水泥土等固结材料强度增长与设计强度、施工质量、温度、养护条件等多种因素相关。本标准规定的锚杆养护期包括了锚固体材料的养护期及岩土体的休止时间。锚杆施工不可避免对周边岩土体造成扰动，往往会使岩土体强度降低，随着休止时间的增加，岩土体强度逐渐恢复，锚杆的抗拔承载力也逐渐增加并稳定。锚杆锚固体及锚座混凝土的标准养护龄期通常均为 28d ，但工程中通常很难等到 28d 后再进行荷载试验、张拉锁定及岩土体

开挖，尤其是短期锚杆，故本标准从工程实际出发建议了最短养护期，一般情况达到最短养护期后即可进行上述作业。本标准建议最短养护期可按以下经验初定：（1）锚固类锚杆锚固体为浆体时，岩层及非黏性土地层中为 5~7d，软塑~流塑状的淤泥及淤泥质土中为 15~21d，其它地层中为 10~15d，其中非黏性土指没有黏性土夹层的碎石土及砂土；（2）加固类锚杆锚固体为浆体时，长期锚杆为 3~5d，短期锚杆为 1~2d；（3）水泥石锚杆非黏性土中为 10~15d，黏性土中为 15~21d；（4）喷射混凝土的最短养护期与锚杆相同，其它用于短期锚杆的混凝土构件的最短养护期为 3~5d，用于长期锚杆的为 5~7d；（5）锚杆承载力越高、岩土体性状越差最短养护期应越长；（6）锚杆锚固体为树脂、水泥卷等材料时养护期应符合相关标准规定。

6.5.3~6.5.4 本标准建议参照以下经验进行预应力锚杆张拉锁定：（1）预应力锚杆锚筋为钢绞线时应采用千斤顶张拉加载，为锚筋及钢管时高承载力锚杆应采用千斤顶，中低承载力锚杆也可采用扭力扳手；（2）按本条规定进行的张拉加载程序可视为自验收试验，出现异常情况（通常指承载力或变形不合格）时可按验收试验的相关程序或设计要求处理；（3）对于土层及软弱岩层中的基础锚杆及抗浮锚杆，主体结构荷载施加上去后会对地基土产生压缩变形，使锚杆产生卸载效应、持有拉力降低，故一般宜在主体结构达到一定高度后再进行张拉锁定。

本标准建议工程安全等级为一、二级时，锚索、高承载力的钢筋及钢管锚杆大面积锁定前，按下列步骤测定同类型锚杆的拉力锁定损失及放张荷载：（1）安装工作锚、限位板、千斤顶及工具锚，经验不足时工作锚夹片可采用工具锚夹片替代以免因重复使用而损坏；（2）加载到 1.1~1.2 倍设计锁定力或其它经验值，千斤顶放张，锚杆锁定；（3）安装支架式或支凳式反力装置，进行提离试验，测量实际锁定力；（4）计算拉力锁定损失，应为放张荷载与实际锁定力之差；（5）调整放张荷载，令其为设计锁定力与拉力锁定损失之和，之后重新张拉锁定；（6）重复步骤 3~5，直到实际锁定力达到设计值。中高承载力锚杆实际锁定力允许偏差宜为 5%，低承载力锚杆允许偏差宜为 10kN；（7）用于测试的锚杆数量不少于 6 根；（8）取 6 个数据的平均值作为同类型锚杆的拉力锁定损失及放张荷载，供锚杆大面积张拉锁定采用。

本标准建议工程安全等级为一、二级时，中低承载力的钢筋及钢管锚杆按下列步骤测定同类型锚杆的拉力锁定损失及放张荷载：（1）安装锁定螺母；（2）用扭力扳手转动锁定螺母至预设扭矩，该扭矩理论上可使锚筋拉力达到设计锁定力；（3）安装支架式或支凳式反力装置，安装千斤顶、工具螺母及垫块，进行提离试验，测量实际锁定力；（4）计算拉力锁定损失，应为放张荷载与实际锁定力之差；（5）调整放张荷载，令其为设计锁定力与拉力锁定损失之和，之后转动锁定螺母至调整后的扭矩，该扭矩可使锚筋拉力达到放张荷载；（6）~（8）同上述。

张拉时，如果第 5min~15min 位移大于 0.95mm，可延长观测期、以蠕变率不大于 2.0mm

作为承载力合格判定标准再次判定，也可采取其它措施。

6.5.5 压力分散锚杆在一个钻孔中安装多个单元锚杆，每个单元锚杆都有独自の锚筋自由段，张拉时因为锚筋自由段长度不同，若对每个单元锚杆施加的荷载相同则单元锚杆之间的位移不同，即存在着位移差；若每个单元锚杆的位移相同则承担的荷载不同，即存在着荷载差。荷载分散锚杆的张拉方法，国内有同步张拉法、补偿张拉法、单拉单锁法、整拉整锁法、整拉单锁法等多种，其中前 3 种应用最多：（1）同步张拉法即采用多个千斤顶对各单元锚杆等荷载同步张拉，不需考虑位移差或荷载差，操作亦简单；（2）补偿张拉法原理为：按先长后短顺序依次张拉单元锚杆，逐次预先补偿在相同荷载作用下因锚筋自由段长度不等引起的弹性位移差，再整体张拉并锁定；（3）单拉单锁法即采用一个千斤顶对各单元锚杆依次张拉锁定，应按先短后长顺序，如果先长后短，后张拉的单元锚杆对前面已锁定的单元锚杆有一定的卸载效应，会导致最后张拉的最短单元锚杆受力最大，从而使锚杆安全风险加大。这 3 种张拉方法理论上都能使单元锚杆受力相等，但后 2 种实际操作时很难保证，国际标准中仅建议采用同步张拉法，认为其它方法均不够准确；国内近些年来多千斤顶等荷载同步张拉及锁定法工程应用越来越多，业界已经积累了丰富的经验，已经可以大面积推广使用。

6.5.6 必要的处理措施如补张拉、卸载、加固等。

6.6.2 应确认可回收锚杆每层拆除后支护结构的稳定性，宜采用短暂工况的安全系数目标值，必要时可采取换撑或回填地下室肥槽等措施。

6.6.3 锚杆回收作业平台一般位于锚头以上 0.5m、以下 1.5m 范围内，宽度一般不少于 1.5m，作业平台要承受作业人员及千斤顶等设备荷载，应搭设牢靠。回收设备一般要采用安全绳索固定以防坠落及飞出。

6.6.4 每层锚杆回收都需要有一定的作业时间，建设方及总承包方等责任方应预先做好工期安排。

6.6.5 强行拆筋措施包括从孔口套取锚筋或锚固体、用大型机械从地面钻孔拉出、暗挖等。

6.7.2 场地地基承载力不满足钻机稳定性要求时可采取换填、铺设砖渣或垫板、地基处理等措施。排水槽宽度一般不大于 0.5m，深度一般 0.2m~0.5m。

7 边坡锚固工程

7.1.1 本标准不包含加筋土、锚定板挡墙等填筑挡墙的锚固。从适用性角度出发,编制组建议本标准未尽之处优先执行广东省标准《建筑边坡工程技术规范》。

7.2.1 比较常用的边坡稳定性分析方法为刚体极限平衡法及数值分析法。基于刚体极限平衡原理的分析方法较多,如瑞典圆弧法、毕肖普(Bishop)法、简布(Janbu)法、萨尔玛(Sarma)法、摩根斯坦—普莱斯(Morgenstern-Price)法、斯宾塞(Spencer)法、不平衡推力法等。这些方法中,摩根斯坦—普莱斯法是国际上应用最为广泛的其中一种,被认为计算结果最接近实际,但计算较为复杂,须借助专业软件,以前在国内应用较少,目前根据该法编制的软件国内应用已较为普遍,本标准推荐使用。本标准建议:(1) 边坡稳定性分析可采用刚体极限平衡法;对结构复杂的岩质边坡,可结合极射赤平投影法、实体比例投影法或块体平衡法;边坡破坏机理复杂时可采用数值分析法;(2) 较破碎~极破碎岩质边坡、极软岩边坡、土质边坡等可能产生圆弧滑动的边坡,可采用简化毕肖普法、摩根斯坦—普莱斯法等刚体极限平衡法,也可采用瑞典条分法;多级边坡及非均质边坡,宜多次试算全面分析位于不同位置的滑裂面稳定性;(3) 可能产生直线及折线滑动的边坡,宜采用不平衡推力隐式解法、摩根斯坦法和萨尔玛法分析沿结构面的稳定性;(4) 岩质边坡局部稳定性分析宜采用赤平投影法或块体平衡法。局部稳定是指因地质条件变异较大或存在于非连续支护结构之间的坡体稳定,比如局部岩块稳定及锚杆间的土质坡面稳定等。

7.2.2 边坡工程分层开挖指每层土石方开挖厚度不超过该层锚杆的竖向间距的开挖方法;分级开挖指每级坡体一次性开挖到位的土石方开挖方法;分层施工指每层锚杆等主要分项工程作业完成后进行下一层作业的施工方法,锚杆分层钻孔、下锚、注浆,但如果没有张拉锁定或锚固即开挖下一层土石方则不能视为分层施工;分级施工指每级坡体内锚杆等主要分项工程全部作业完成后进行下一级的施工方法,如果该级锚杆没有张拉锁定或锚固即开挖下一级土石方则不能视为分级施工而是多级施工;边坡工程如果土石方分级开挖,每级坡体内锚杆逐层施工,此种方法称为锚杆分级施工,并非分层施工。层、级划分如下图所示:

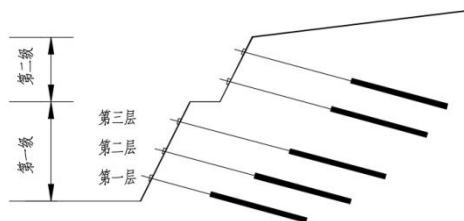


图 8 边坡、基坑等工程级层划分示意图

基于稳定性角度考虑,通常都要求岩土锚固工程分层开挖分层施工,但这种方法工序较为繁琐、费工、费时,也不利于格构梁等竖向结构搭接,实际工程中普遍采用分级开挖分级施工方法,除非地质条件极差等特殊情况下才分层开挖分层施工。本标准强调岩土设计为施工服务这一理念,建议由设计方案考虑分级施工而不是由施工方案考虑,这种才能更好地保证

工程安全；同时不建议多级开挖多级施工，特殊情况下一性开挖深度超过一级时，应事先得到设计单位许可或经过专项技术论证。

不管分级施工还是分层施工，边坡开挖后直至锚杆锁定前的短暂工况时边坡的稳定安全系数都会有所降低，但不能过低。不同行业中不同稳定分析方法对应的短暂工况稳定安全系数目标值有所不同，以圆弧滑动法整体稳定验算为例，本标准建议：（1）边坡一般工况整体稳定安全系数目标值不小于 1.30 时，短暂工况稳定安全不宜小于 1.15、最不利工况（例如此时恰逢暴雨）不宜小于 1.10；（2）边坡一般工况整体稳定安全系数目标值小于 1.30 时，短暂工况稳定安全不宜小于 1.10、最不利工况不宜小于 1.05；（3）如果达不到上述最小目标值，则应采取调整施工层级等措施；（4）计算短暂工况稳定安全系数时，不宜考虑坡面新覆填土的有利影响，除非已经采取了有效加固措施。

降雨入渗使得非饱和土浸水湿润，含水量增加，基质吸力降低乃至消失，土体抗剪强度大幅下降，进而诱发边坡变形甚至破坏。这种破坏多为表层破坏，是深圳地区多雨季节常见的边坡破坏形式。表层浸润如何影响边坡稳定尚无成熟成果，一般在设计时采用降低浸润岩土体强度参数的方法。

7.2.3 不同稳定分析方法依据的破坏模式不同，假定破裂面形状不同，计入锚杆抗力作用的方法亦不同，原理大同小异：（1）预应力锚杆的抗力主要以持有拉力方式发挥作用，稳定验算时宜取持有拉力而不宜取受拉承载力；通常将预应力锚杆持有拉力分解为沿假定破裂面的垂直分力与切向分力，切向分力直接发挥抗力作用，垂直分力乘以摩擦系数后发挥作用，稳定分析采用力矩平衡法时再乘以作用力臂；（2）非预应力锚杆被动受力，假定破裂面（岩体结构面）的垂直分力 R_{kn} 并不能产生摩阻力，即 fR_{kn} 一项理论上应为 0；但非预应力锚杆抗剪强度通常比较大，可通过提供抗剪切力以帮助岩土体稳定，由于稳定验算公式如果计入抗剪切力则公式比较复杂且国内尚缺少相关经验，故本标准建议按式（7.2.3）计入非预应力锚杆抗力作用，理论上虽不严谨，但能满足工程需求且试算结果表明因 $fR_{kn}+R_{kt}$ 通常小于抗剪切力而偏于安全。摩擦系数大小与假定破裂面两侧岩土体或结构物的强度、粗糙度以及结构面的充填物性状（矿物成分、颗粒成分、含水状态等）等因素相关，应根据现场剪切试验确定，也可按相关技术标准中建议值或按 $\tan\varphi$ 初定， φ 为假定破裂面的岩土体内摩擦角，也可按工程类比、反算分析及经验等方法综合分析初定，有异议时应由现场试验确定。本标准建议，采用平面滑动法、圆弧等各种曲面滑动法进行各种岩土锚固工程整体滑动稳定性验算时均采用该式。

本标准建议：不稳定岩体安全系数应按相关标准取值，也可取不稳定岩体所属工程对应的安全系数，如边坡安全等级为一级、安全系数为 1.35，则不稳定岩体安全系数也宜取 1.35。

7.2.4 本标准建议锚固结构参照以下经验选型：（1）锚杆格构梁结构适用于坡度 $35^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 的边坡；（2）锚杆单向梁结构适用于较稳定且坡面较平整的岩质边坡；（3）锚墩结构适用于局部加固、坡面不平整的岩质边坡、较稳定的边坡；（4）锚喷结构适用于易风化、节理

裂隙发育、坡面不平整、局部破碎严重的及强度较高的全~强风岩质边坡；（5）坡度超过70°的土质边坡、极软岩边坡、较破碎~极破碎的岩质边坡宜采用桩锚结构；（6）水土流失要求较高时可采用锚板结构；（7）需要少量填方时可采用柱板式锚杆挡墙结构。锚喷支护主要作用即增加浅表层岩体的整体性，维护和提高岩块间的镶嵌、咬合效应，阻止局部岩块滑落，防止坡面受雨水冲刷及入渗，以维护边坡浅表层岩土体的稳定性，由于表观效果欠佳，工程应用越来越少。

7.2.6 本标准建议锚杆布置参照以下经验：（1）系统锚杆宜行列式布置，也可梅花形布置；（2）坡面易受雨水冲刷且施工期间为雨季时，可设置短锚杆护面；（3）坡面可能局部失稳时，可采取增设局部锚杆或构造锚杆、减小锚杆间距、设置防护网或刚性混凝土坡面等措施；（4）柱板式挡墙锚杆宜尽量设置在中下部的原状土中，不应全长布置在新近填土中；必须要设置在填土中时，应先回填、分层密实，之后再施工锚杆，且位于填土中的长度应尽量短；（5）锚固区内有建构筑物基础传递较大荷载时，锚杆宜长短相间设置并应加长部分锚杆以提高整体稳定性及防止意外风险能力；（6）预应力锚杆与非预应力锚杆混用时，非预应力锚杆通常为加固类锚杆，密度较大；预应力锚杆通常为锚固类锚杆，主要起结构加强及控制变形作用，为充分发挥其作用，锚固段宜与非预应力锚杆的错开布置以尽量避免群锚效应，故长度不宜太短；但也不宜太长，越长效率越低，长度为相邻非预应力锚杆长度的1.5~3.0倍为宜；同时强度及刚度不宜太大，越大则越难以与非预应力锚杆起到复合支护作用。

7.2.7 现场安装模板和浇灌混凝土的条件通常较差，为保证混凝土施工质量，本标准建议现浇挡土板的厚度不小于200mm。

7.2.8 本标准建议柔性防护网锚固设计参照以下经验：（1）柔性防护网适用于整体稳定的剥离式危岩带或需要对危岩体采用主动加固的危岩破碎带，可采用工程类比法设计；（2）防护网可设置混凝土基础采用基础锚杆锚固，也可直接与锚杆连接。柔性锚杆包括了由单根钢绞线弯折而成的钢丝绳锚杆和由钢绞线弯折而成的柔性锚头。

7.3.1 龙岗、横岗等地存在的侏罗系、泥盆系及石炭系软质岩边坡工程出现过多次险情或事故，锚固工程应采取减小分级高度、分层施工、分段施工、加强坡面防水等措施。

7.3.4 爆破影响评估应执行《爆破安全规程》GB 6722。

7.3.5 本标准建议脚手架扫地杆采用机械方式连接到已完成锚头上以增强稳定性。

7.3.6 结构安全等级为一级的边坡封锚前应对锚杆持有拉力进行检查，一般可检查锚杆的拉力监测成果，拉力监测数量不足或对监测成果有异议时可采用提离试验方法进行补充或复核。

7.3.7 为更好的配合施工，锚杆质量检测宜分级、分区、分批进行，检测条件较好时也可一次性完成。

8 基坑锚固工程

8.1.3 不同类型可回收锚杆拆筋回收需要的作业面宽度不同,本标准规定的肥槽宽度是基于使用千斤顶拆除作业需要的最低要求,已经考虑了腰梁高度及基坑可能发生的较大位移对作业空间的不良影响。免千斤顶拆筋工艺肥槽宽度可为 0.5m。

8.2.1 随着基坑开挖,支护结构受力产生侧向位移,该位移几乎不可逆,最终位移基本上为各层开挖时的位移累计。全量法及增量法是目前较为常用的基坑位移分析方法,全量法按最终工况一次性加载方式计算结构内力和位移,增量法考虑每层开挖的荷载增量产生的结构内力和位移,再与上一工况的累计,得到当前工况累计结构内力与变形。增量法原理更符合实际工况,计算结果通常比全量法更合理,本标准建议优先选用。

不同行业中不同稳定分析方法对应的基坑短暂工况稳定安全系数目标值有所不同,以圆弧滑动法整体稳定验算为例,本标准建议:(1)一般工况整体稳定安全系数不小于 1.30 时,短暂工况稳定安全不宜小于 1.15;(2)基坑一般工况整体稳定安全系数小于 1.30 时,短暂工况稳定安全不宜小于 1.10。

8.2.2 本标准建议:(1)锚杆与吊脚桩(墙)组合支护结构可采用弹性支点法按锚杆承担全部水土压力设计计算;(2)锁脚锚杆为低承载力时锚筋宜采用钢筋。

8.2.3 本标准建议锚固结构按以下经验选型:(1)土质基坑及自稳性较差的直立岩质基坑宜设置搅拌桩、旋喷桩、注浆、竖向超前注浆钢花管或微型桩等形式超前支护或预加固,也可对侧壁一定范围内及坑底被动区土体进行整体加固;(2)地面或坑底高差较大、地质条件差异较大等原因导致基坑支护结构受力不均衡时,可采用上撑下锚或上锚下撑的混合支护结构;(3)相邻基坑距离较近及基坑阳角区域锚索设计长度不足时,可采取对拉锚杆,对拉锚杆长度小于 $(1/2 \sim 2/3)h$ (h 为基坑深度)时可采用有限宽度主动土压力设计计算分析,方法可参考北京地方标准《建筑基坑支护技术规程》DB 11/489 规定;(4)岩质基坑尚宜参照执行第 8.2 节规定。

8.2.4 锚杆直接锚固在桩墙上时,最好在桩墙上为锚杆施工预留孔洞,现场开孔容易损伤桩墙的受力钢筋。背拉梁板指设置在竖向支护结构上背向基坑一侧的梁板。

8.2.5 为解决土钉墙底部为软土时易出现滑移及隆起破坏、土钉墙稳定性沿基坑边不均匀性等现象,可采用疏桩土钉墙结构。本标准建议参照以下经验:(1)疏桩土钉墙一般采用直立形式,疏桩直径宜为 0.6m~1.0m,间距宜 4m~6m,桩端宜进入坑底下方并穿透软土层一定深度以确保嵌固能力;(2)计算分析可采用土钉墙支护体系,疏桩作为超前支护构件提高了土钉墙稳定性;也可按土钉墙与疏桩荷载分担原则;(3)可不设置腰梁,锚杆直接锚固在桩上。

8.3.4 不少基坑锚杆可能需要在服役期间进行持有拉力检测及再张拉,故张拉段不宜切除;如果切除,保留段长度不应少于 200mm 且不应损伤以便于以后接长。

9 基础与抗浮锚固工程

9.1.2 深圳地区降雨频繁且临海,部分区域地下结构承受的水浮力呈现为低频大变幅循环荷载,导致抗浮锚杆承载力降低、刚度降低、位移增大、防腐及防水材料易破坏,故设计应根据抗浮锚杆、特别是非预应力锚杆的受力特点,考虑循环荷载不利影响。但地下水位变动频率及幅度与地质及水文条件等众多因素相关,很难提出定量指标,锚杆如何进行量化设计还有一定难度,目前业界在这方面的研究工作尚不足,本标准建议的解决方法是在锚杆试验时采用多循环加卸载法,尽量模拟抗浮锚杆的实际工作环境。高耸建构筑物承受风荷载等动荷载时基础锚杆会产生类似现象。

9.2.1 施工阶段结构荷载尚未全部施加,如果地下水控制不力可能就会造成地下结构上浮变形甚至破坏,近年来这类工程事故时有发生。

9.2.2 本标准建议锚固结构设计按以下经验进行:

1 整体稳定性分析验算。(1)裙楼与塔楼的地下结构之间设置沉降缝时,宜按竖向受力构件单元分别进行;(2)两者之间刚性连接且基础为整体设计时,宜按整体进行;(3)两者之间刚性连接,基础采用不同形式或刚度变化较大时,宜分别按整体和局部进行;(4)两者之间设置后浇带时,施工期间宜分别进行;(5)地下结构范围大、形状不规则、上部荷载分布差异较大时,应针对不同的结构单元分别进行;(6)宜采用数值法分析计算;

2 锚杆刚度。非预应力锚杆固结体较大直径时(如 $D>180\text{mm}$)具备一定的抗压刚度,正常使用条件下锚杆可能出现受压工况(例如无水浮力作用时),计算地基土刚度时不宜考虑其有利影响,基础结构设计时应考虑其不利影响,必要时可在锚杆顶部与底板之间设置一定厚度材料压缩层以避免对底板产生不良作用;

3 锚杆布置形式。抗浮锚杆一般包括两类布置形式:(1)集中式布置,主要来自抗浮桩的理念,即将锚杆集中布设在墙柱下及其周围,其优点是可利用柱下及墙下基础进行锚杆荷载传递,锚固节点可靠,受力路径简单,同时可兼顾抗压工况的承载力要求;但基础底板柱间跨中区域上浮荷载需靠基础底板传递,底板受力及局部挠曲变形较大,造成底板厚度及配筋加大,故适合结构物自重不大、地下水浮力不大、抗浮锚杆数量少的情况,特别是有抗压要求的情况。(2)分布式布置,即将抗浮锚杆均匀布置,或布置在墙柱范围以外的板下,其优点是可以根据基础底板上部有利自重荷载的分布,利用抗浮锚杆进行荷载合理平衡,达到抗浮稳定要求并使底板受力更小和更为均匀、变形及裂缝控制更为理想,预应力锚杆这种布置形式变形控制效果尤为明显,施加预应力作业也较为方便;

4 初步设计时计算单元内锚杆数量 m 可按下式估算:

$$m \geq (N_{wk} - 0.9G_k) / R_k \quad (3)$$

5 采用整体计算时,跨中竖向向上变形大的锚杆受力大,离柱基础近竖向向上变形小的锚杆受力小,考虑底板变形协调和局部区域锚杆的内力重分置,允许少量锚杆拉力超出其

抗拉承载力特征值。

9.2.3~9.2.4 本标准建议锚固结构抗浮稳定验算按以下经验进行：

1 图 9.2.3 所示假定破裂体计算模型中，计算单元内抗浮锚杆纵横间距相等时，单根锚杆的假定破裂体可视为上半部分正方体、下半部分圆锥体，半锥角宜取 30°；纵横间距不相等时可视为上半部分长方体、下半部分椭圆锥体。本标准建议的抗浮稳定验算模型及公式与传统公式相比做了一点改进，即计取了假定破裂面上的岩体抗拉力作为抗浮力。国内外标准一般都要求预应力锚杆间距不小于 1.5m、自由段不少于 4m~5m，此时预应力锚杆仅采用破裂体内的岩土体重力抗浮基本上就能够满足稳定安全要求，编制组试算了几十例岩土层预应力锚杆，表明安全系数通常都较大。但岩层中的全粘结锚杆情况不同：编制组选取了几十例岩层抗浮锚杆工程进行了试验，结果表明，如果只把破裂体内的岩土体浮重力作为抗浮力，其中有 25 例浮重力小于净上浮力（净上浮力即上浮力与结构自重之差），如下表中 K_{wk} 项所示（安全系数小于 1.0），但实际上仅有 3 例（例 3、4、5）发生了上浮事故，其余均没有上浮。由于公式中有安全系数、假定破裂面未必准确等原因，浮重力小于净上浮力并不意味着结构物一定会上浮，但从计算公式的角度而言，结构物安全稳定但安全系数计算结果小于 1.0 这种现象过多总归是不妥当的。本标准推荐的公式计取了破裂面上的部分抗拉力，计算结果如表中 K_F 项所示，只有 5 例抗浮力小于上浮力，其中 3 例为前述的上浮事故，另 2 例（例 1、2）则锚杆间距太密、明显不合理，这表明公式较为合理，能够对工程实践起到较强的指导作用。

表 8 全粘结岩层锚杆抗浮稳定试算成果汇总表

案例 编号	锚杆间距 (m) a	长度 b (m)	锚固体所处地层	重度 γ_k (kN/m^3)	N_{wk} (kN)	l_w (m)	f_{lk} (kPa)	h_m (m)	W_k (kN)	R_{lk} (kN)	K_{Rl} R_{lk}/N_{wk}	K_{wk} W_k/N_{wk}	K_F $K_{Rl}+K_{wk}$
1	0.60	0.60	10.00	中、强风化砂质灰岩	19.0	225	10.00	250	0.52	31.2	0.16	0.14	0.30
2	0.60	0.60	8.00	中、强风化石英砂岩	22.0	225	8.00	250	0.52	32.9	0.16	0.15	0.31
3	1.50	1.50	4.00	中风化泥质页岩	21.0	320	4.00	100	1.29	75.4	0.28	0.24	0.52
4	2.67	2.67	3.00	强风化花岗岩	22.0	470	3.00	100	2.30	111.6	0.61	0.24	0.84
5	1.50	1.50	3.00	微风化泥质页岩	21.0	320	3.00	250	1.29	50.7	0.25	0.16	0.41
6	1.50	1.50	10.00	强风化花岗岩	19.5	260	10.00	90	1.29	193.4	0.81	0.31	1.12
7	1.20	1.20	3.50	中风化花岗岩	21.0	360	3.50	600	1.03	43.4	0.96	0.12	1.08
8	2.70	2.80	3.80	强风化钙岩	20.0	280	3.80	50	2.37	155.3	0.54	0.55	1.09
9	1.00	1.00	4.05	中风化煌斑岩	20.0	175	4.05	400	0.86	34.2	0.91	0.20	1.11
10	2.70	2.80	4.60	强风化钙岩	20.0	300	4.60	50	2.37	215.8	0.50	0.72	1.22
11	1.50	1.50	8.00	中、强风化花岗岩	22.0	260	8.00	150	1.29	190.3	0.52	0.73	1.25
12	1.20	1.20	2.80	微风化花岗岩	25.0	360	2.80	900	1.03	44.0	1.44	0.12	1.56
13	2.80	2.80	5.50	中风化泥岩	19.0	320	5.50	80	2.41	262.6	0.78	0.82	1.60
14	2.10	2.10	6.00	中风化板岩	21.0	270	6.00	120	1.81	226.4	0.78	0.84	1.62
15	1.00	1.00	3.25	微风化煌斑岩	21.0	175	3.25	700	0.86	28.8	1.60	0.16	1.76
16	2.10	2.10	4.20	中风化钙岩	22.0	225	4.20	150	1.81	151.7	1.18	0.67	1.85
17	1.90	1.90	3.50	中风化花岗岩	21.0	360	3.50	400	1.63	91.1	0.77	0.25	1.02
18	2.00	2.00	8.00	微、中风化花岗岩	25.0	800	8.00	700	1.72	403.8	1.12	0.50	1.62
19	2.40	2.40	5.20	中风化板岩	21.5	255	5.20	110	2.06	243.5	0.99	0.95	1.95
20	1.50	1.60	5.30	中风化花岗岩	21.0	260	5.30	500	1.33	113.9	0.80	0.44	1.24
21	1.90	1.90	2.80	微风化花岗岩	22.0	360	2.80	750	1.63	69.0	1.08	0.19	1.27
22	1.50	1.60	3.50	微风化花岗岩	23.0	260	3.50	800	1.33	78.5	0.95	0.30	1.25
23	2.05	2.05	4.05	中风化煌斑岩	21.5	175	4.05	350	1.76	132.8	0.87	0.76	1.63
24	2.50	2.50	1.50	微风化泥质砂岩	23.0	155	1.50	400	2.15	45.7	1.00	0.29	1.29
25	2.05	2.05	3.25	微风化煌斑岩	22.0	175	3.25	650	1.76	98.3	1.02	0.56	1.58

2 如何计取岩体抗拉力，业界尚缺少相关经验。一般认为，岩土体的抗拉强度与粘聚力 c 正相关，但研究成果同样很少，有限的研究成果表明岩石的抗拉强度约为 $0.6c\sim 0.9c$ 。

本标准建议按下表取值，表中数值系以《工程岩体分级标准》GB/T50218-2014 中提供的岩体抗剪断峰值强度粘聚力 c 值的一半为基础根据试算结果向下进行了适当调整。试算结果表明，V 级岩层锚杆及土层锚杆因长度较长，假定破裂面内岩土体浮重力较大，计取岩土体抗拉强度与否几乎不对设计计算产生实质性影响；

表 9 岩体抗拉强度标准值（经验值）

岩体基本质量级别	II	III	IV	V
岩体抗拉强度 f_{tk} (kPa)	900~700	700~250	250~100	100~0

注：1 岩体水平层理发育时岩体抗拉强度应取表中较低值，极软岩、极破碎岩及土层宜取 0；

2 编制组尚缺少岩体基本质量级别为 I 级时的经验数据。

3 考虑到岩体抗拉强度的变异性大且经验不多，式 9.2.4 中设置了较大的抗拉力分项安全系数 2.50：

4 特别重要工程指对底板上浮变形敏感的重要工程，如地下室底板上放置了对变形敏感的高精度仪器的医院等；

5 锚固段长度超过了有效长度后有效抗力迅速减弱，稳定破坏模式可能不再如图 9.2.4 所示，故本标准规定了锚杆抗浮计算长度上限；

6 采用其它抗浮稳定验算模型时，也宜按式（9.2.3）~式（9.2.4）计入锚杆底端岩体的抗拉力；

7 岩层爆破开挖时通常会对基底岩层造成松动，选用岩体抗拉强度时应加以考虑。

9.2.5 拱结构基础、位于斜坡上的结构基础等通常要受到倾斜荷载的剪切作用，本标准参照常用技术标准中挡墙抗水平滑移稳定性相关规定，建议抗滑移稳定安全系数不少于 1.30，并建议工程安全等级较高时宜适当增大。

参照《建筑地基基础设计规范》GB50007-2011，本标准建议岩土体对结构基底及挡土墙基底的摩擦系数 μ 如下表所示。

表 10 岩土体对结构基底及挡土墙基底的摩擦系数 μ

土的类型	摩擦系数 μ
可塑状黏性土	0.25~0.30
硬塑状黏性土	0.30~0.35
坚硬状黏性土	0.35~0.45
粉土	0.30~0.40
中砂、粗砂、砾砂	0.40~0.50
碎石土	0.40~0.60
软质岩	0.40~0.60
表面粗糙的硬质岩	0.65~0.75

注：1 易风化的软质岩和塑性指数 I_p 大于 32 的黏性土应通过试验确定；

2 碎石土可根据其密度程度、填充物状况及风化程度等确定。

9.2.6 本标准建议参照下列经验进行锚杆选型：（1）全长置于岩层或岩层上覆非软弱地层时可采用全粘结锚杆，否则宜采用预应力锚杆；（2）既有建筑基础加固或抗浮加固时宜采用预应力锚杆；（3）低承载力锚杆锚筋材料宜采用锚杆用热轧带肋钢筋，中高承载力锚杆宜采用预应力螺纹钢筋或钢绞线，囊袋锚杆及压力型锚杆也可采用无粘结钢绞线；（4）全粘结锚杆适用于荷载较低及基础底板位于岩层或坚硬地层、对变形控制相对宽松、荷载变化频率较低情况，设计长度不宜过长。

9.2.7 岩体水平层理发育地层应调查研究层状破坏机理，锚杆宜部分倾斜设置或长短不一设置使锚固段错开以防止地层发生层状稳定破坏。为方便锚杆荷载试验及地下结构施工，锚杆平面布置时不宜满堂红密布，宜尽量分片布置，片与片之间留出较大距离以作为通行道路。

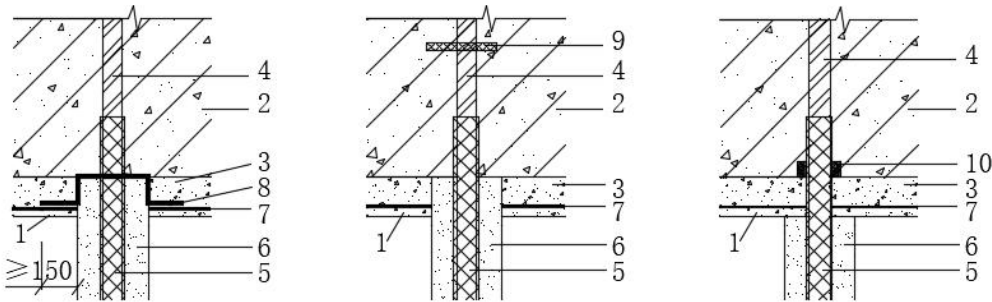
9.2.9 防水材料应符合《地下工程防水技术规范》GB 50108、《非固化橡胶沥青防水涂料》JC/T 2428 及《高分子防水材料 第 3 部分 遇水膨胀橡胶》GB18173.3 等标准规定。

深圳地区夏季施工时锚筋在爆晒下温度很高，遇水膨胀止水环（胶、条）易发软变形甚至流淌与锚筋分离，防水材料应具有较好的耐热性能。需要穿过地下结构底板的预应力锚杆，在高水位条件下，仅仅依靠锚固节点的防水措施常难以完全满足一级防水等级要求，必要时可在结构底板面之上设置排水层、排渗沟及集水井等疏排渗漏水。

本标准建议锚固节点防水措施按下表选用，节点构造如下图所示：

表 11 抗浮锚杆锚固节点防水等级及防水措施

锚杆类型	非预应力锚杆	预应力锚杆
防水措施	1 遇水膨胀止水环 2 钢板止水环 3 加强柔性防水层 4 锚杆涂料防水层	1 遇水膨胀止水环 2 钢板止水环 3 加强柔性防水层 4 排渗层（沟）
防水等级一级	选 2~3 道防水措施	选 2~3 道防水措施
防水等级二级	选 2 道防水措施	选 2 道防水措施
防水等级三级	选 1~2 道防水措施	选 1~2 道防水措施



(a) 锚杆涂料或加强柔性防水层 (b) 钢板止水环 (c) 遇水膨胀止水环

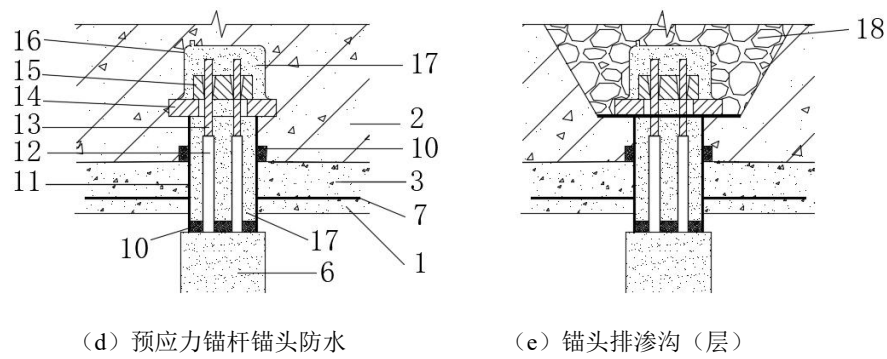


图9 锚杆锚固节点防水构造简图

1—砂浆或细石混凝土垫层及找平层；2—基础结构；3—细石混凝土保护层；4—钢筋筋体；5—环氧涂层；6—锚杆浆体；7—底板防水层；8—锚杆涂料防水层或加强柔性防水层；9—钢板止水环；10—遇水膨胀止水环；11—过渡管；12—锚筋护套；13—锚筋；14—锚垫板；15—锚具；16—锚具罩；17—微膨胀灌浆料；18—透水材料（排渗沟）

9.3.3 预应力锚杆需锁定于基础结构内部或上表面，在结构施工至特定阶段时进行张拉锁定，并按相应耐久性要求及时对锚头进行封闭以免被损伤；有后期监测维护要求的则需要在锚头部位设置可开启装置以便于后期监测与维护。

10 浅埋隧道与地下洞室锚固工程

10.1.1 浅埋隧道及地下洞室锚固工程进行围岩评价及分级时，铁路工程宜参照《铁路工程水文地质勘察规程》TB 10049，公路工程宜参照《公路工程地质勘察规范》JTG C20，市政工程宜参照《城市轨道交通岩土工程勘察规范》GB 50307，水务工程宜参照《水利水电工程水文地质勘察规范》SL373，本章执行《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB 50086。

10.1.2 浅埋隧道及地下洞室工程除采用盾构机械法和明挖暗埋法施工外，一般采用暗挖喷锚构筑法（简称喷锚法）进行设计、施工及监控量测。

10.2.1~10.2.2 本标准建议浅埋隧道及地下洞室锚固工程设计参照以下经验进行：

1 喷锚法设计应根据围岩级别及隧洞开挖跨度等因素按工程类比法确定支护类型和参数，根据围岩自身稳定状态，因地制宜，充分发挥围岩自承能力，正确有效加固围岩；

2 设计内容应包括监控量测要求；施工过程中应对围岩和支护体系持续观察、量测和试验，及时核对围岩级别，必要时进行修正及调整锚固设计参数；

3 围岩整体稳定性验算可采用数值分析法或解析解法，局部可能失稳的围岩块体稳定性验算可采用块体极限平衡方法；

4 大型洞室（群）：（1）应自上而下分层开挖，分层高度宜为 6m~8m，高地应力区应减小分层高度；（2）顶部开挖宜采用先导洞后扩挖的方法，导洞的位置及尺寸可根据地质条件和施工方法确定，导洞开挖后应立即施作喷锚支护；（3）中下部岩体宜分层开挖，宜采用两侧预裂、中间拉槽的爆破开挖方式；（4）采用上下或两侧结合、中间预留岩埂的开挖方式时，应先做好已开挖部位围岩的锚喷支护措施，然后对预留岩埂采用分段开挖边挖边支的开挖方式，应避免岩埂应力集中释放导致洞室失稳或位移突变；（5）平行布置的洞室，应按时空错开原则开挖；（6）采用对拉锚杆时，相邻洞室的错开步距应有利于对拉锚杆的及时施工；（7）洞室交叉部位宜采用“小洞贯大洞，先洞后墙”的开挖方式。

5 地质条件复杂或周边条件复杂等特殊区段：（1）隧洞洞口段、洞室交叉口洞段、断面变化处、洞室轴线变化洞段等特殊部位，均应加强支护结构；（2）围岩较差地段的支护结构宜向围岩较好地段延伸不少于 10m；（3）断层、破碎带或不稳定块体应进行局部加固；（4）遇到岩溶时应进行处理或局部加固；（5）可能发生软岩大变形需对围岩提供较大支护力时宜采用预应力锚杆加强；（6）隧道洞室开挖跨度大于 20m 且高跨比大于 1.2 时，边墙支护参数应根据具体情况予以加强；（7）高跨比大于 2.0 时边墙支护应采用长度不小于边墙高度 0.3 倍的预应力锚杆予以加强；（8）洞室群中间岩柱视其厚度予以加强或采用对拉锚杆支护；

6 特殊地质区段包括：（1）泥岩、膨胀岩土及未胶结的松散岩体；（2）有较厚填土层；（3）大面积渗水地段；（4）沿海区域可能引起严重腐蚀的地段。

10.2.3 本标准建议参照以下经验进行围岩加固设计选型：（1）围岩自稳时间大于 24h 时，可不采用超前措施；（2）围岩自稳时间 12h~24h 时，V 级围岩宜采用钢管；（3）围岩自稳时间 3h~12h 时，V~VI 级围岩宜采用小导管；（4）围岩自稳时间小于 3h 时，地下水较丰富的 VI 级围岩宜采用预注浆等措施；（5）浅埋及软弱围岩，可沿隧道洞室周边采取锚杆、小导管注浆、管棚、管幕及水平旋喷桩等超前措施，其中涌水、涌泥或塌方严重地段，砂层等富水地段，因地下水位变化造成的岩土体变形可能会影响到周边重要构筑物安全的地段，地下水十分丰富的断层破碎带等地段，宜采用帷幕注浆；（6）地层非常松散破碎、易发生大规模坍塌或失稳、埋深较浅且有条件时可进行地表注浆加固措施，淤泥、淤泥质土、黏性土、粉土、黄土、砂土、人工填土和碎石土等围岩可采用水平高压喷射注浆法加固，地下水流速度过大、浆液无法在注浆管周围凝固或无填充物的岩溶地段以及对混凝土有严重腐蚀的围岩等不宜采用高压喷射注浆法；（7）地质条件较差且地下水较为丰富的地段应采用洞内注浆止水措施；（8）在隧道地质条件较差的洞口段及坍塌后可能产生严重后果的洞身地段，宜采用长管棚；（9）在设置超前支护的地段应设置钢架作为锚杆、小导管及大管棚等尾端支点；（10）加固岩土体或堵水注浆时可采用水泥—水玻璃双液注浆，不透水的黏土层宜采用高压劈裂注浆，每孔注浆量达到设计注浆量或注浆压力达到最高设计注浆压力并保持 10min 以上时可结束注浆。钢架、长管棚、水平高压喷射注浆、地表注浆及超前帷幕注浆设计尚应符合《公路隧道设计细则》JTG/T D70 及《管幕预筑法施工技术规范》JGJ/T 375 规定。

本标准建议参照以下经验进行钢架支护选型及设计：

1 支护选型。有下列情况之一时宜采用钢架喷射混凝土支护，在特别软弱破碎、开挖成洞困难的地质地段宜采用锚杆加钢架喷射混凝土支护：（1）围岩自稳时间很短，在喷射混凝土或锚杆的支护作用发挥以前就要求工作面稳定时；（2）大断面 IV、V 级围岩；（3）高挤压大流变岩体、断层带、卸荷带、节理密集带等软弱地质地段；（4）土质隧道及地下洞室。

2 钢架设计。（1）可采用型钢架或钢筋焊成的格栅拱架，主筋直径不应小于 20mm；（2）钢架间距宜为 0.5m~1.5m，围岩较稳定时可取大值，铺设范围应延伸至较好岩体不少于 5m；（3）钢架应与围岩面或喷射混凝土面紧贴，拱脚底部应支撑在未受扰动的岩体上；如拱脚与岩体之间有空隙，需采用不低于喷射混凝土设计强度的砼块进行支垫；岩体较为软弱时可在拱腰及拱脚部位增设锁脚锚杆；（4）钢架之间应设置纵向联系筋或与喷射混凝土中的钢筋网相连接以增强稳定性；（5）覆盖钢架的喷射混凝土厚度不宜小于 40mm。

3 锚杆设计。（1）在掌子面顶拱沿掘进方向布置锚杆，锚杆方向可与洞轴线成不大于 15° 的交角，间距宜为 300mm~400mm，长度宜按钢架间距确定，直径不宜小于 22mm；（2）锚杆外端应与钢架连接；（3）采用梅花形布置时，每榀钢架不应小于 3 根。

10.2.4 隧道与地下洞室工程系统锚杆及局部锚杆一般采用全粘结锚杆，深圳地区经验表明

锚杆长度 2.0m~4.0m、直径 38mm~42mm 较为适宜。

10.3.1 开挖作业应尽量减少对围岩的扰动，保持开挖轮廓圆顺。

10.3.2 本标准建议钢架喷射混凝土施工参照下列经验进行：（1）钢架使用前应清除污锈；（2）宜根据设计图并考虑可能发生的超挖分 3~4 段制成半成品以便运输及快速拼装；（3）钢架应及时快速制安，安装后应立即布设钢筋网并喷射混凝土，厚度不应小于 70mm；（4）喷射混凝土时应先把钢架与围岩面或混凝土初喷面之间充填密实，后喷射钢架之间；（5）除了可缩性钢架的可缩节点部位，钢架应被喷射混凝土全面覆盖；（6）钢架加工允许偏差为 30mm，安装允许偏差横向间距及高程为 50mm，垂直度为 2°。

10.3.6 本标准建议各检测项目符合下列相关专业标准：（1）钢架喷射混凝土、砂浆锚杆、水泥卷锚杆、树脂锚杆、管式注浆锚杆、自钻锚杆的施工与检测宜符合《水电水利工程锚喷支护施工规范》DL/T 5181 规定；（2）全粘结锚杆、小导管、超前锚杆、管棚、预注浆、钢纤维及合成纤维喷射混凝土、钢架的施工与检测宜符合《铁路隧道工程施工技术指南》TZ204 规定；（3）树脂锚杆宜符合《树脂锚杆 第 1 部分：锚固剂》MT 146.1 及《树脂锚杆 第 2 部分：金属杆体及其附件》MT 146.2 规定；（4）水泥卷锚杆宜符合《水泥锚杆 杆体》MT218 及《水泥锚杆 卷式锚固剂》MT219 规定。

11 既有挡墙锚固加固工程

11.1.1 本章所指的既有挡墙包括重力式挡墙、悬臂式挡墙、扶壁式挡墙、锚杆挡墙、桩锚、锚杆格构梁、土钉墙、复合土钉墙等支挡结构。

11.2.1 挡墙加固设计时应综合考虑加固目的、可靠性、预定效果、施工难易程度和条件、对邻近建筑和环境的影响、工期和造价等因素，充分分析设计资料，合理选用锚固加固法、加大截面法、抗滑桩（墩）加固法、削坡减载法等方法。本标准建议参照以下经验选用锚固加固法：（1）本法适用于挡墙稳定性不足、变形较大或支护结构强度不足等情况；（2）挡墙背后没有足够空间或施工锚杆对周边环境的影响较大时不宜采用，锚杆不宜伸到邻近建筑物基础下；如确实需要，则应事先评估锚杆在成孔、注浆过程中及成锚后对邻近建筑物的影响，采取必要的应对措施；（3）加固方案应综合考虑景观及环保要求，做到美化环境、保护生态。另外，挡墙加固设计资料包括：（1）排查报告、应急调查报告、安全性鉴定报告、安全评估报告等挡墙安全评价相关报告；（2）变形监测报告；（3）原有勘察、设计、施工、竣工及维护资料，必要时可补充岩土工程勘察；（4）邻近建筑物、地下工程和管线等环境资料；（5）现状地形图等。

11.2.2 深圳城中村很多浆砌石挡墙未经正规设计和施工，出现过多次垮塌事故，十余年来政府进行了持续专项加固治理行动，积累了丰富的经验，本条即为经验总结。

11.2.3 对墙面采用钢筋混凝土包封时，宜分区封闭，区片留有裂缝以利于排水。

11.2.8 因为没有考虑地基承载力及变形等因素，式（11.2.8）对较软弱地层不一定适用。

11.3.1~11.3.2 既有挡墙前后一般埋设或明敷有大量管线，且时有建筑物直接坐落在挡墙上，施工环境极为复杂，施工前应实地核查或者专门进行补充调查，影响加固施工的应进行迁改或者制定专门保护措施。

11.3.3 在既有挡墙墙脚开挖桩孔或者基槽时，宜采取堆砌砂土袋临时反压等安全措施。加固施工前宜对挡墙进行护面以避免墙体开孔时发生漏风漏浆现象。

11.3.4 施工期间应重点对既有挡墙变形、周边建筑物及地面沉降等进行监测。

12 锚杆荷载试验

12.1 一般规定

12.1.1 锚杆静荷载拉拔试验（简称锚杆荷载试验）常用试验方法及目的如下表所示，具体方法应执行深圳市《锚杆试验与检测技术标准》：

表 12 锚杆荷载试验方法及目的

试验方法	试验主要目的
极限试验	测试试验锚杆各种承载力极限值及力学性能，为设计提供依据
适应试验	测试不同类型锚杆力学性能，事先验证是否达到设计预期目标，为设计改进、施工工艺改进及验收试验提供依据
验收试验	测试工程锚杆力学性能是否符合设计要求，作为工程验收依据
蠕变试验	测试特定情况下锚杆力学性能，事先验证是否达到设计预期目标，为设计改进、施工工艺改进及验收试验提供依据
提离试验	测试预应力锚杆持有拉力，为判断锚杆工作状态及验收提供依据

12.1.2 编制锚杆试验方案需要收集的资料包括：岩土工程勘察及调查资料、设计文件、施工方案、原材料及构部件的检验检测报告、施工记录、施工工艺、施工异常情况等。需要指出，锚杆极限试验方案在国内尚没有受到充分重视。极限试验的主要目的是为锚杆设计提供依据，应由设计人编写或提出技术要求，和设计试桩作法类似。

12.1.3 张拉试验时通常控制最大荷载下锚筋应力不大于 0.85~0.9 倍屈服强度或条件屈服强度以保证锚筋安全，同时为满足正常使用极限要求，锚筋为钢筋时控制应力不大于 0.7~0.75 倍屈服强度，为钢绞线时不大于 0.55~0.6 倍条件屈服强度。本标准规定锚杆试验时最大张拉应力不大于杆体材料抗拉强度设计值，能够同时满足这两个要求。

12.1.4 本条规定参照了国际标准。为了提高试验准确性，试验初始荷载应尽量低，故设定了 50kN 这一上限。

12.1.5 压力分散锚杆对荷载试验要求相对较高，应采用等荷载同步张拉法以提高准确度。

12.1.6 注浆锚杆一般会注浆到孔口返浓浆后才停注，孔内均为浆体，张拉时如果反力装置压在孔口上，可能会抵触到浆体而消耗掉一部分张拉荷载，导致张拉荷载不能全部施加到锚杆上，故张拉过程中锚固体及锚筋应独自受力，不应受到干扰。专门制作的试验锚杆容易做到这点，但工程锚杆的适应试验及验收试验有时比较困难，例如锚杆格构梁支护的边坡工程，大多都在格构梁制安之后再进行锚杆试验，可能会发生这种现象。有几种解决办法：（1）在锚座制安之前试验。例如基础锚杆及抗浮锚杆，宜在底板结构施工前进行验收试验，试验时需要设置单独的反力装置；（2）在锚杆注浆后锚座制安前选定试验锚杆，凿除孔口浆体 50mm~100mm，长期锚杆安装过渡管、短期锚杆可不安装，之后制作安装锚座及试验，试验后过渡管内注浆或润滑脂。采用这种方法时应多选定几根试验锚杆以备不合格时扩大抽

检；（3）锚座制安后，从穿筋孔中凿除孔口浆体。这种方法比较少采用。

12.1.7 本标准建议适应试验主要利用工程锚杆完成。适应试验及蠕变试验通常比验收试验更严格，利用工程锚杆试验且程序合法时可替代验收试验，避免浪费，这是国际标准通用作法，《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106—2014 对工程试桩也有类似建议。本标准建议的方法具体为：（1）某同类型锚杆的适应试验或蠕变试验成果均符合合格标准时才计入该同类型锚杆的验收依据；（2）某同类型锚杆有试验成果不符合合格标准时均不应计入、不能只计入合格试验成果，并应对该同类型锚杆进行设计处理，只将验收试验成果作为该同类型锚杆验收依据；（3）为保证验收样本的随机性，适应试验及蠕变试验替代比例不应超过验收依据总量的 50%，即至少仍有一半试验为验收试验。同类型锚杆指主要地层等环境条件、主要设计参数（锚杆类别、材料、锚固体截面尺寸、设计承载力等）、施工工艺及主要施工参数等基本相同的锚杆，锚杆长度、角度等参数可能会略有差别。同类型锚杆随试验目的不同而不同，主要应由设计人判别。

12.1.8 本标准建议锚杆试验报告主要包括下列内容：（1）委托方名称，工程名称、地点，建设、勘察、设计、监理、施工、监督、试验单位，基础、结构形式，设计要求，试验目的、依据、数量，试验日期、时间、温度等，试验与检测人员信息；（2）试验方法、仪器设备及反力装置；（3）地层描述及典型地质柱状图；（4）锚杆的设计参数及大样图，锚杆施工工艺、编号、位置图、相关施工记录及异常情况记录；（5）试验过程叙述及异常情况描述；（6）试验记录数据与相关表格；（7）相应试验主要技术参数的实测数据，计算分析曲线、表格和结果汇总；（8）与试验内容相应的结论，必要时可评价是否符合设计要求；（9）极限试验的破坏形式；（10）第三方验收试验报告结论页上应有主要试验与检测人员、报告编写人员、审核人、批准人的签字，加盖检测单位的检测专用章。

试验报告通常需要根据试验目的、方法和内容出具相应的结论，但判断锚杆质量合格与否则有时比较复杂，需要具有丰富经验的专业人士综合分析后做出判断。本标准建议报告编制时注意：（1）位移测量点设置在千斤顶锚具夹持点附近的杆体上时，位移读数中包括了从孔口至夹持点之间的张拉段锚筋的变形，这对锚筋自由段较短的预应力锚杆、尤其是非预应力锚杆产生较大的影响，数据处理时应予以考虑；（2）试验因锚座或地基土破坏、地基土发生不适于继续试验的较大变形、试验仪器设备损坏、天气不良等外界原因中止时，试验数据不宜作为正常成果进行统计及利用，需要利用时应加以说明；（3）气温对试验结果有较大影响时应予以修正；（4）试验数据异常时应及时查找原因，必要时应增加试验数量。

12.2 张拉、试验装置及操作要求

12.2.4 支梁式反力装置一般采用钢梁作为千斤顶底座主梁，主梁两端下设置混凝土梁或钢梁作为支座支承在地基上；支墩式反力装置一般为板凳状或厚筒状钢构件；压板式反力装置一般为钢或混凝土构件。各种反力装置结构如下图所示：

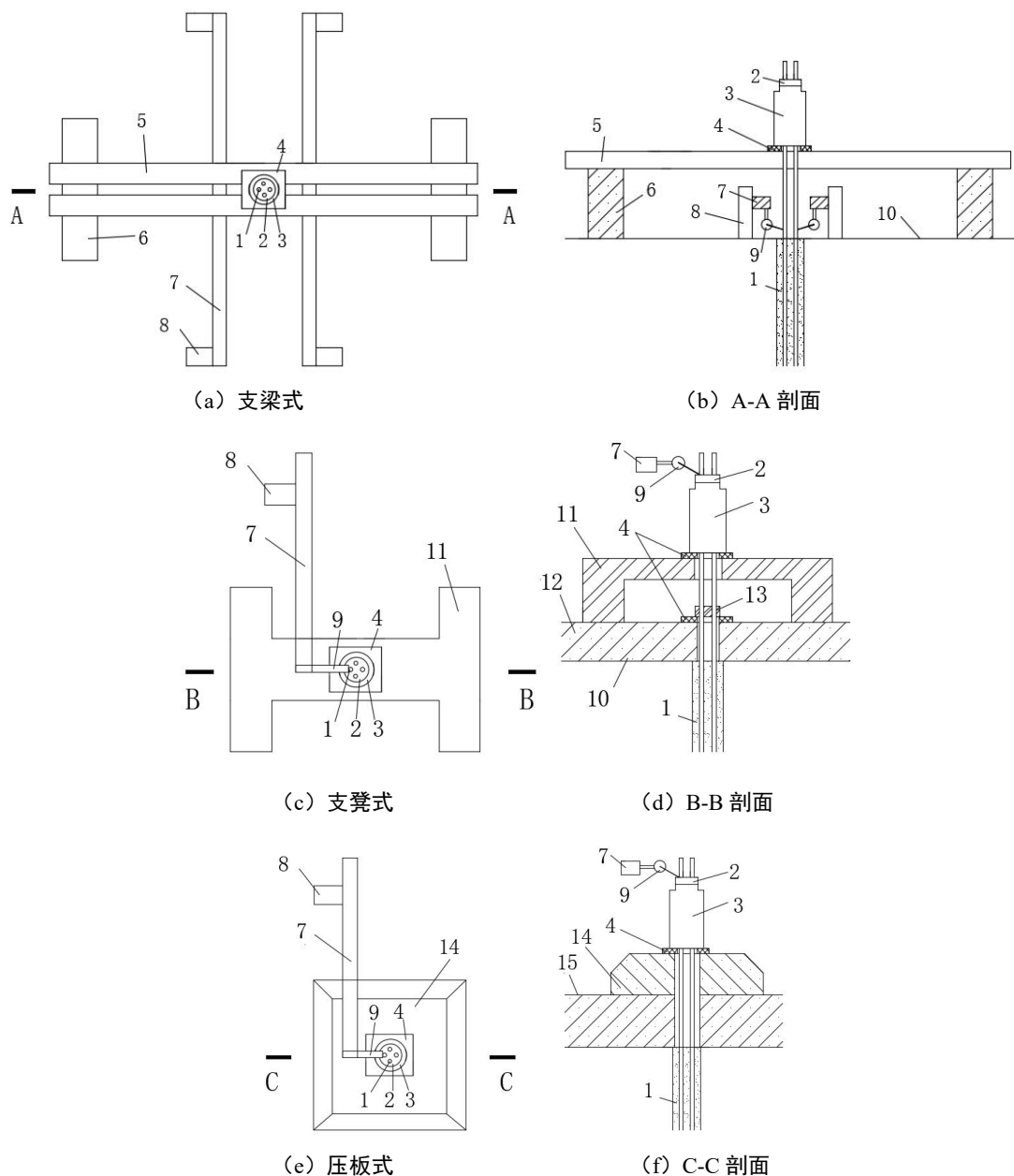


图 10 锚杆荷载试验各种反力装置示意图

1—试验锚杆；2—工具锚；3—千斤顶；4—钢垫板；5—主梁；6—支座；7—基准梁；8—基准桩；9—测量位移仪表；10—地面；11—支凳；12—锚座；13—既有锚具；14—压板；15—锚座或地基

12.2.8 锚座的承压面与锚杆轴线方向垂直度偏差一般不宜大于 5° ，超过时应采用水泥砂浆、斜钢垫板或混凝土斜垫板等材料或构件找平，使千斤顶与锚杆同轴。编制组数十组拉力型锚索试验成果表明：取 $0.1P_p \sim 0.3P_p$ 预张拉 1~2 次很难消除各钢绞线之间的受力不均匀现象，加大到 $0.3P_p \sim 0.5P_p$ 时效果也不是很显著，最好是采用多个千斤顶对各根钢绞线单独且同步张拉。

12.2.9 为了试验人员和设备的安全，试验时应采取必要的安全措施，例如在试验锚杆和设备上安装安全绳、在试验点与人员活动区域之间安装防护网等，尤其是进行极限试验时。

12.3 适应试验

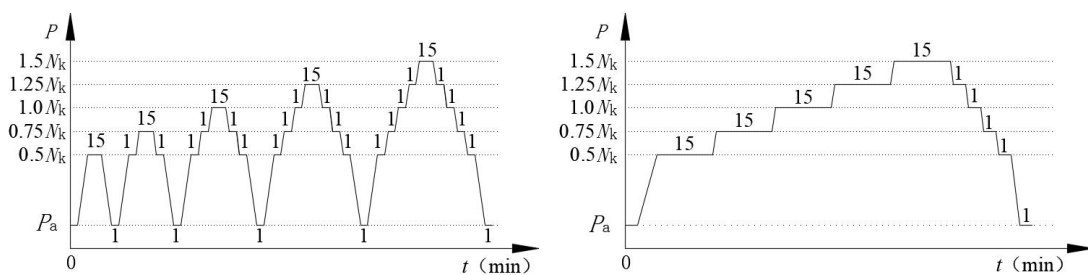
12.3.1 如果极限试验或蠕变试验取得的数据已经足够多，能够为设计、施工及验收提供充分依据，适应试验可以不做，除此外均应进行适应试验。

12.3.2 适应试验的主要目的即全面检验设计参数、锚杆组配件、施工工艺及验收指标等。

12.3.3 本标准建议适应试验：（1）一般应包括同类型工程锚杆至少最早施工的 3 条。适应试验中同类型锚杆分类条件可以比极限试验更为细致，例如可以包括俯角、垂直度及长度在内的几何尺寸等；（2）当主要地层不同或同一地层但主要设计参数（如锚杆长度、锚固体直径及承载力等）不同时，均应有代表性的试验锚杆；（3）试验过程中宜对锚杆全程监测。

12.3.6 国际标准大多建议适应试验 P_p 与验收试验相一致。

12.3.7 本标准建议 P_p 为 $1.5N_k$ 时的多循环法及单循环法加卸载程序如下图所示， P_p 为 $2.0N_k$ 或 $1.25N_k$ 时则相应调整。



(a) 多循环法适应试验

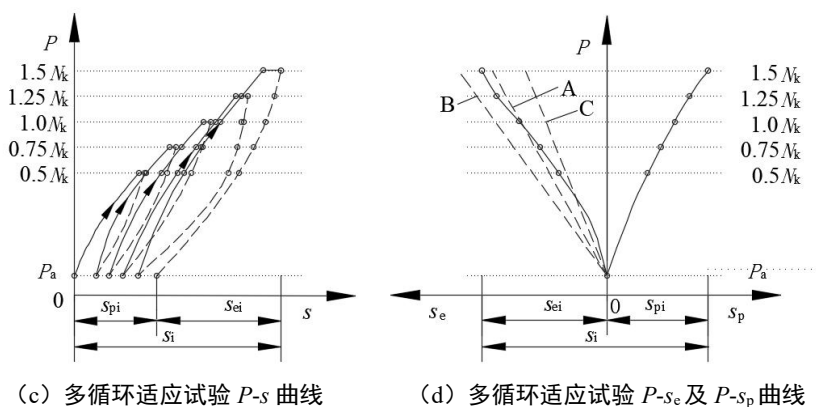
(b) 单循环法适应试验

图 11 适应试验加卸载程序示意图

12.3.8~12.3.9 适应试验一般不需试验至破坏状态，达到设计预期的承载力即可。

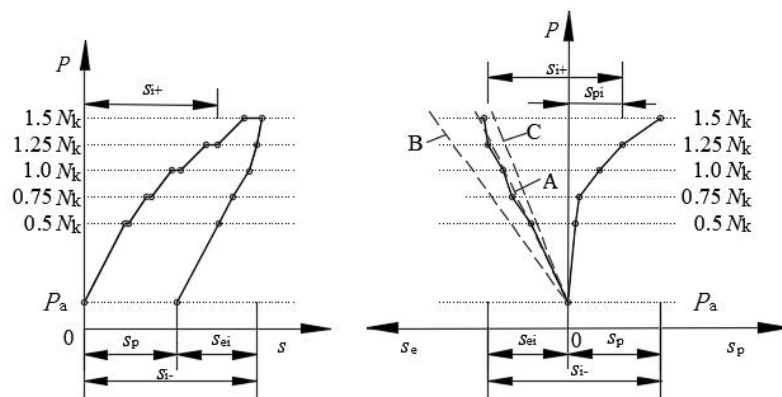
100mm 是《建筑基桩检测技术规范》JGJ106-2014 中抗拔桩位移极限指标，考虑到锚杆与抗拔桩作用相同且时有共同工作，故本标准对非预应力锚杆采用该指标。

12.3.10 本标准建议按下图所示绘制锚杆多循环适应试验及单循环适应试验 $P-s$ 、 $P-s_e$ 及 $P-s_p$ 曲线， P_p 为 $2.0N_k$ 或 $1.25N_k$ 时应相应调整，图中 A、B、C 分别为 L_{app} 在设计长度、上限指标及下限指标时按式 (D.0.11) 反算得到的线段：



(c) 多循环适应试验 $P-s$ 曲线

(d) 多循环适应试验 $P-s_e$ 及 $P-s_p$ 曲线



(e) 单循环适应试验 P - s 、 P - s_e 及 P - s_p 曲线

图 12 锚杆适应试验成果示意图

12.4 验收试验

12.4.1 验收试验应由具有相应检测资质的第三方进行。

12.4.2 验收试验最大试验荷载与抽检率问题很复杂，与工程安全等级、结构设计使用年限、样本绝对数量、检测方法、检测费用及时间、习惯作法等多种因素相关。（1）锚杆验收最大检验荷载与拉力标准值的倍数简称检验倍数，通常工程安全等级越高及设计使用年限越长检验倍数越大。（2）承载力验收试验本质上为抽样检验，目的是通过检测少量被抽取样本的质量来估计和推断全部样品的质量合格情况，通常假定锚杆承载力呈正态分布，此时样本数量越大，允许检测水平（检验倍数）则越低；反之，样本数量越小，检验倍数越高，两者休戚相关。但检验倍数不是样本的安全系数，承载力验收检验的目的也不应是安全系数而只是合格与否，即施工质量是否符合设计指标，检验倍数主要作为评估施工质量符合设计指标的概率参数。安全系数体现的是工程抗风险能力，工程重要性不同则安全系数不同，只有施工质量符合设计指标时，安全系数之间才具有比较意义，并不是安全系数小的工程，允许施工质量不符合设计指标的概率就可以高。故检验倍数主要应基于抽样率。桩基相关标准通常规定抽样率为 1%、检验倍数为 2.0，如果以之为参照，锚杆验收试验的抽样率大于 1% 时检验倍数可以低于 2.0。但为了与上层标准相一致，本条中锚固类长期基础锚杆及长期抗浮锚杆的抽样率为 4%~5% 但检验倍数仍取 2.0，设计人可根据实际情况适当调整。（3）对于预应力锚杆锚固工程来说，锚杆持有拉力对工程的结构安全及变形的作用至关重要，但目前在国内还没有得到应有的重视。国际标准中，均把锚杆持有拉力作为工程验收指标，本标准参照这一作法，将之列入了验收指标，部分替代承载力试验；为使检测试验工作量相当，预应力锚杆适当降低了验收试验抽样率。（4）基于费用及时间等因素，验收试验绝对数量不宜太多，锚杆数量较多时检测比例宜适当下调，本标准建议参照表 13.2.2 中“长期锚杆”一栏执行。

加固类锚杆承载力性质与锚固类锚杆有很大不同，编制组认为抽样率 1%~2% 及检验倍数 1.25 可以被工程所接受，也与相关标准中的指标大体一致。

12.4.3 岩土锚固工程中，往往不是因为锚杆承载力而是锚杆持有拉力达不到设计要求而导致结构变形较大甚至事故或险情发生，故本标准增加了锚杆持有拉力检测验收。经验表明，锚杆锁定后的 1~3d 内拉力损失较大，群锚效应越严重损失越大；不同地层的拉力损失期不同，一般为 3~7d，之后基本趋于稳定。

12.4.4 判断抽样凭抽样者的意愿、经验和知识进行，主观性较强，抽样者往往是工程现场人员，有时样本很难全面的反映总体及实际情况，故本标准建议判断抽样比例不超过总样本的一半，其余由检测人员、质量监督机构等第三方在现场随机抽样。

12.4.5 锚杆标准养护期为 28d。如果施工单位等工程相关责任方同意可以减短。

12.4.6 本标准建议验收试验快速法加卸载程序如下图所示，最大试验荷载为 $2.0N_k$ 或 $1.25N_k$ 时相应调整，位移记录等应符合第 12.4.7 条规定。快速法可明显节省试验时间，有利于恶劣作业环境下的工程进展，但实施时应具备以下这些条件：（1）快速法试验结果与循环法存在一定偏差，需要在适应试验阶段与循环法进行试验对比，事先校准；（2）由于不分级持载，当某级荷载的位移不稳定时，很难查清从哪级荷载开始的，故一旦试验结果不合格，几乎只能判定其承载力实测值为 0 且不能降低承载力使用，故本法需工程各方同意后方可实施。本标准建议：快速法无事先校准数据时，第 5min~15min 的蠕变量不超过 0.5mm 可判定蠕变稳定；否则应继续观测 45min，45min 内蠕变量不大于 1.2mm 应判定为蠕变稳定，否则应判定为位移不稳定。

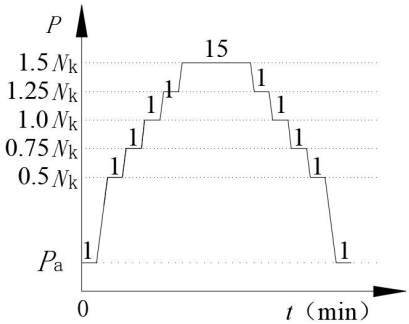


图 13 锚杆快速法验收试验加卸载程序

12.4.7 本标准稳定指标用于单循环法时与欧标相比偏于严格，用于多循环法时与欧美标准基本相同。

12.4.8 本标准建议验收试验按照适应试验相应方法绘制 $P-s$ 、 $P-s_e$ 及 $P-s_p$ 曲线。

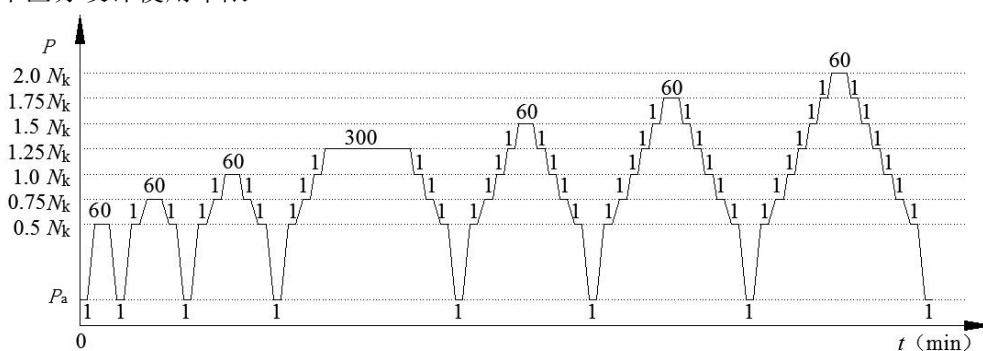
12.4.9~12.4.10 锚杆 L_{app} 不合格时的处理方法主要参照了国际标准。验收试验与适应试验结果相差很大时，有可能是岩土体性状变异造成的，宜选择不合格锚杆的 2 条相邻锚杆进行适应试验以查明原因，必要时可调整相应验收指标。

锚杆位移过大时很难约束被锚固结构物的变形，锚固作用大大减弱甚至消失，但正常使用极限状态位移值的大小与多种因素相关，很难统一。本标准参照《抗浮锚杆技术规程》YB T 4659-2018，推荐非预应力锚杆位移 25mm 对应着正常使用极限状态。

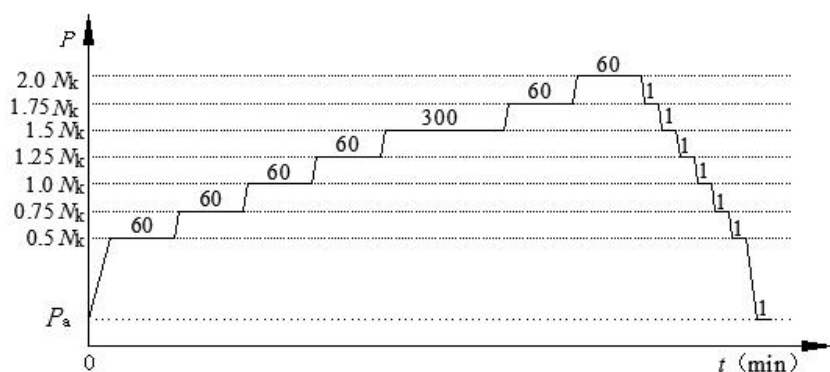
12.5 蠕变试验

12.5.1 国内外标准对蠕变试验的看法及要求不太一致。美标认为蠕变试验是适应试验的一种特殊形式，在某些特定条件下实施：将观测期 60min 以内的试验均称为短期蠕变试验，全风化岩层、泥质岩层、塑性指数大于 20 或液限大于 50% 的土层等一些特定地层需进行观测期较长的试验，称为延长蠕变试验。欧标认为所有地层都产生蠕变，并不进行专项蠕变试验，而是将各种试验中每级荷载观测时间均设置较长，按黏性土、非黏性土、岩层等地层设置不同的观测期，而且根据蠕变率稳定状况还可延长。考虑到业内习惯，本标准将观测期较长的专项蠕变试验仍称为“蠕变试验”。编制组认为，从工程实际出发，深圳地区的花岗岩、凝灰岩及砂岩等一般不需要进行蠕变试验。本标准中常规观测期内的蠕变稳定指标在欧标的基础上适当进行了简化，比美标略严格一些，建议事先对岩土层及锚杆的蠕变特性有所预判，然后有针对性地进行蠕变试验以节省时间。如果有些地层事先没有了解清楚或认为不需要测试蠕变性能，但锚杆施工或者试验过程中认为需要，例如适应试验在最短观测期内不稳定，则可以补做蠕变试验，以确定更合理的设计参数（主要是设计承载力）及了解地层的实际蠕变特性。近些年来在珠三角地区，锚杆越来越多地应用于软土基坑工程，在淤泥质土、淤泥、新近填土等软弱地层中旋喷锚杆、旋喷搅拌锚杆、囊袋锚杆、自进锚杆等都有若干工程案例，基坑变形普遍较大甚至有些出现险情或事故，有些锚杆短短数日持有拉力即损失过半，分析与地层蠕变关联性较大，故本标准要求这些地层中的锚杆以及水泥锚杆应进行专项蠕变试验。另外，长期锚杆的粘结段锚筋如果采用了环氧涂层或波纹管等防腐措施也会加大蠕变，业界这方面的经验还很少，也需要进行专项蠕变试验。

12.5.4~12.5.5 蠕变试验加卸载程序如下所示。考虑到：（1）为与验收试验加卸载方法保持一致，本标准增加了单循环法；（2）为满足软弱地层基坑工程对蠕变试验的需求，观测期不区分设计使用年限。



(a) 多循环法



(b) 单循环法

图 14 蠕变试验加卸载程序

12.5.6 一般情况下都可以采用 α 为 2.0mm 作为判稳指标，但经验表明，有第 12.5.1 条所示情况时这个指标可能偏于严格，可根据工程具体情况适当放宽，但不能大于 5.0mm。

12.5.8 蠕变试验宜参照适应试验绘制试验曲线。

12.6 提离试验

12.6.1 本标准建议有下列情况之一时采用：

- 1 锚杆锁定后即进行，检验持有拉力 P_r 及锁定力损失；
- 2 锚杆锁定一段时间后进行，检验 P_r 以确定荷载短期损失；
- 3 长期锚杆全部或分区锁定后进行，检验 P_r 以确定群锚拉力损失；
- 4 锚杆服役数月或数年之后进行，检验 P_r 以确定荷载长期损失；
- 5 锚杆工作条件达到设计预定时进行，检验 P_r 是否达到设计预定；
- 6 锚杆服役期超过设计使用年限后进行，检验 P_r 以判断结构安全性能；
- 7 结构物或岩土体发生了坍塌或大变形等环境条件改变后进行，测试 P_r 以判断锚杆安全性能；
- 8 锚杆锁定一段时间后进行，检验 P_r 是否符合设计要求，为验收提供依据；
- 9 对锚杆施工质量有争议或质量事故鉴定时进行，检验 P_r 以判断锚杆施工质量是否满足设计要求；
- 10 采用新型锚具组件时进行，测试 P_r 以测定锁定损失。

12.6.3 锚筋抗拉断力设计值即锚筋材料抗拉强度设计值与锚筋总截面积的乘积。

12.6.4~12.6.6 本标准建议提离试验加卸载程序及成果曲线如下图所示：

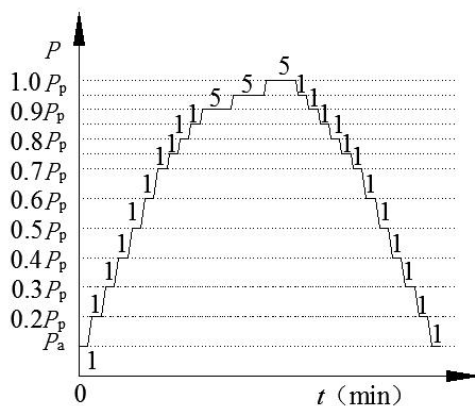


图 14-1 提离试验加卸载程序

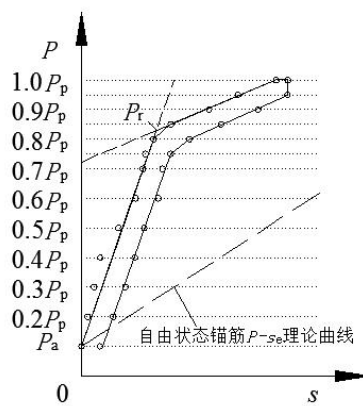


图 14-2 提离试验 $P-s$ 曲线

12.6.7 提离试验中锚具或锚垫板被提起现象能够清晰可见时即可判定为发生提离现象，肉眼不好判断锚具或锚垫板是否松动时可通过插入厚度 $0.1\text{mm}\sim 1.0\text{mm}$ 的薄钢片辅助判断。实践发现，有时现场判断起来比较困难，为避免误判断，在疑似发生提离现象后再加载 3~5 级、或在确定发生提离现象后至少再加载 3 级或加载至 P_p 以便通过 $P-s$ 曲线准确测定 P_r 。

12.6.10 由于比较复杂的原因，锚杆锁定力往往达不到设计要求。可以在适应试验同时采用提离方法进行锁定力损失测定，根据测定结果调整放张荷载，必要时还可调整锁定力设计值及相应的验收指标。

13 锚杆质量检验、验收、监测与维护

13.1.2 本标准建议适应试验主要利用工程锚杆完成。适应试验通常比验收试验更严格，利用工程锚杆试验且程序合法时可替代验收试验，避免浪费，这是国际标准通用作法，《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106—2014 对工程试桩也有类似建议。本标准建议的方法具体为：（1）某同类型锚杆的适应试验成果均符合合格标准时才可计入该同类型锚杆的验收依据；（2）某同类型锚杆有试验成果不符合合格标准时均不应计入、不能只计入合格试验成果，并应对该同类型锚杆进行设计处理，只将验收试验成果作为该同类型锚杆验收依据；（3）为保证验收样本的随机性，适应试验替代比例不应超过验收依据总量的 50%，即至少仍有一半试验为验收试验。

13.1.4 在锚杆施工过程及工后运营阶段进行监测和维护有利于及时发现锚固工程异常情况，对锚固工程的安全状态作出科学准确的判断。

13.2.2 质量检验按实施主体主要分为第三方检测机构完成的第三方检验及现场相关责任方完成的非第三方检验。本标准建议：（1）一般项目的第 1~3 项及主控项目应进行第三方检验；（2）一般项目的第 1~2 项及主控项目检验方法及数量宜执行本标准；（3）锚筋长度可按《深圳市锚杆试验与检测技术标准》等相关标准采用 TDR 法或磁测法检测，其中全粘结锚杆及全摩擦锚杆的锚杆长度不大于 5m 时也可按《锚杆锚固质量无损检测技术规程》JGJ/T182 等标准采用声波反射法检测，检验方法及数量按相应标准规定；（4）一般项目的其余检验项目可进行非第三方检查检验，方法应符合本标准规定，数量宜为 100%。

13.2.3 让步接收是在锚杆质量及锚固工程安全基本能够得到保证的前提下（如锚固结构安全系数低于原设计预期，但能达到较低工程安全等级及临时工况下的最小安全系数），对部分质量缺陷有限制有评审的验收与接收，包括降低设计标准。让步接收通常会导致费用及工期索赔。

13.2.5 本标准建议锚杆工程验收资料主要包括下列内容：（1）工程勘察设计文件；（2）材料及成品的质量合格证及质量检验试验报告；（3）施工记录；（4）隐蔽工程检查验收记录；（5）锚杆试验记录与检测报告；（6）工程重大问题处理文件；（7）监测资料；（8）竣工报告及竣工图。

13.3.1 预应力锚杆持有拉力会随着时间及周边环境的变化而变化。持有拉力下降过多会降低锚固效果导致工程偏于不安全，增加过多会加大锚杆受拉破坏风险，故应对锚杆拉力进行监测，用以评价工程安全运行情况以及作为动态设计与信息化施工依据。实际工程中，锚杆拉力的变化往往伴随着锚头变形的发生，两者可相互验证，必要时可结合锚固结构对锚头变形进行监测。

13.3.3 长期锚杆监测时间应至少持续 2 个水文年。长期锚杆监测频率在工程竣工后可逐步降低，在出现气象条件或周边环境对工程稳定性不利、以及现场监测结果出现明显异常时，宜适当进行加密监测，具体监测频率可参照相关工程技术标准的规定执行。

13.3.5 工程中通常将环形锚杆测力计安装在锚头段测量锚筋自由段拉力值，简单方便。锚杆杆体为钢筋或钢管时，也可将振弦式、电阻应变式、光纤光栅式等应力应变传感器焊接或粘接在锚筋自由段，测量锚筋应力应变再换算为拉力值。自测力锚杆是自带测力装置的压力型锚杆，是新技术，简单、方便、可靠、准确率高，可推广使用。

13.3.9 本标准建议锚杆监测报告主要包括下列内容：（1）监测内容、相关技术资料；（2）监测依据；（3）监测点布置图；（4）监测传感器安装记录；（5）具有与时间及现场实际工况对应关系的锚杆拉力与变形曲线、变化速率曲线以及对应数据表；（7）数据处理依据和分析过程；（7）异常数据的原因分析及处理记录；（8）监测结论；（9）预警及报警。

13.4.1~13.4.3 岩土锚固工程会经常受到暴雨、荷载增加、爆破、开挖、震动及周围出现腐蚀条件等不利因素影响，造成锚杆工作荷载增加及性能降低。通过对工程日常检查、维护和管理，可及时发现安全隐患，掌握工程在设计使用年限内的安全状态，为及时采取相关措施提供依据，如发现不利于工程安全的危险源应积极排除，如修复、完善或增设防排水设施，隔绝杂散电流环境影响等。对于腐蚀环境中的长期锚杆，有必要对锚头的腐蚀状况进行定期检查。

附录 A 喷射混凝土

A.1.1 有些情况下地面硬化及施工垫层等现浇混凝土难以施工，采用喷射混凝土更为方便。

A.1.4 本标准建议参照以下经验：（1）喷射混凝土用于围岩支护时通常需要进行结构计算，抗压强度、抗拉强度、抗弯强度、与基底间的粘结强度、体积密度、弹性模量等参数的取值宜符合《岩土锚杆与喷射混凝土工程技术规范》GB 50086 或《水利水电工程锚喷支护技术规范》SL 377 的有关规定；（2）用于表层防护时通常按构造设计、不需计算；（3）用于施工措施时可参照本标准对用于表层防护时的规定执行，也可不参照本标准、按合约或设计另行规定；（4）开挖后呈现明显塑性流变或高应力易发生岩爆的岩体、受采动影响、高速水流冲刷或矿石冲击磨损的浅埋隧道及地下洞室，宜按《水电水利工程锚喷支护施工规范》DL/T 5181 的有关规定采用钢纤维或合成纤维喷射混凝土。

A.2.2 干喷法指混合料搅拌时不加水、只在喷头处加水的喷射混凝土施工方法；湿喷法指混合料搅拌时加入设计配合比的全部用水的喷射混凝土施工方法；潮喷法指混合料在拌和过程中先加入适量水、再在喷头处加上剩余用水的喷射混凝土施工方法。3 种方法中干喷法粉尘污染最大，潮喷法次之，湿喷法最小，从保护环境及作业人员角度宜优先选用湿喷法。

A.2.3 本标准建议喷射混凝土骨料连续级配时符合下表规定：

表 13 喷射混凝土骨料通过各筛孔的累计质量百分率（%）

骨料粒径(mm)	0.16	0.315	0.63	1.25	2.5	5.0	10.0	16.0
级配优	5~7	10~15	17~22	23~31	35~43	50~60	73~82	100
级配良	4~8	5~22	13~31	18~41	26~54	40~70	62~90	100

A.2.4 本标准建议喷射混凝土按以下经验进行配合比设计：（1）胶凝材料总量不小于 $400\text{kg}/\text{m}^3$ ；（2）干喷法及潮喷法的水泥与骨料质量比为 1:4~1:5，湿喷法为 1:3.5~1:4.5；（3）干喷法及潮喷法的砂率为 45%~55%，湿喷法为 50%~60%；（4）干喷法及潮喷法的水胶比为 0.4~0.45，湿喷法为 0.4~0.5。

A.2.5 铁丝直径不小于 2.3mm 对应着规格型号不大于 13 号。坡面较陡或仰拱时钢筋或钢丝的直径宜取大值、间距宜取小值。

A.3.2 应防止水、石、土等杂物混入混合料中。潮喷法在拌和混合料时宜加入全部用水量的 8%~10%。

A.3.3 本标准建议喷射作业现场做好如下准备工作：（1）拆除作业面障碍物，清除开挖面的浮石、泥浆、回弹物及岩渣堆积物等杂物；（2）对受喷岩面宜采用高压水冲洗干净，对遇水易潮解、泥化的岩层及土层宜采用高压风清扫；（3）作业区应具有良好的通风条件和足够的照明设施；（4）对水、风、电、料的管线及机械设备等进行全面检查及试运转，使喷射作业时水压、风压及供料保持稳定；（5）受喷面有水渗漏时应做好引流截流等预处理工作；（6）大面积喷射作业前先对岩面上出露的空洞、凹穴和较宽张开裂隙进行喷射预充

填。

本标准建议喷射作业参照以下经验：（1）回弹料可以再利用，但不能直接摊铺在工作面上，应通过喷射机重新拌和喷射；（2）收集回弹料时不应夹杂土、石块、植物等杂物；（3）喷射作业完毕或因故中断时，应将喷射机及输料管内的积料清除干净。

本标准建议喷射混凝土作业时采取如下防尘措施：（1）干喷法可增加骨料含水量；（2）干喷及潮喷时可在输料管距喷头 3m~4m 处增设一个水环加水；（3）可在喷射机及混合料搅拌处设置除尘器；（4）可在粉尘浓度较高区域设置除尘水幕；（5）宜加强作业区的局部通风；（6）可采用增粘剂等外加剂。

A.3.9 喷射混凝土抗压强度试验所需试件严格意义上应从现场成品中切割或钻芯取样制作，但由于现场喷射混凝土往往厚度不足等原因很难取样，故一般采用向试验盒内喷射或向混凝土抗压试模内喷射混凝土的方法代替。向试模（尺寸一般为 150mm×150mm×150mm）内喷射混凝土形成的试块容易产生蜂窝、麻面、掉角等质量缺陷，本标准建议：（1）优先采用试验盒法，且对试模法结果有异议时应以试验盒法结果为准；（2）试验盒制作材料不限定，尺寸不宜小于 1000mm×500mm×180mm；（3）应采用与工程施工相同的工艺向试验盒内喷射混凝土；（4）喷射完成后混凝土表面应刮抹平整；（5）在标准养护条件下养护 28d；（6）盒边 120mm 范围内不宜取样制作试件。

附录 C 锚固板强度验算方法

C.0.1 锚固板验算基于“强节点、弱构件”的设计原则并控制板的翘曲变形，将锚固板承受的反力设计值提高 1.1 倍。计算锚固板单位面积底面压力 σ 时假设：锚筋设计拉力值全部由锚固板（扣除开孔部分）承担，且锚固板底面反力均匀分布。

C.0.2 图 C.0.2 将 r_1 至 R 范围内的锚固板底面反力对 r_1 位置的圆周取矩，并计算该圆周截面的受弯，保证锚固板的最大拉应力不超过锚固板钢材的受拉设计强度指标。

C.0.4 为便于工程应用，在表 C.0.4 中列入了锚固板最小直径及厚度按 C.0.1 条及 C.0.2 条的验算结果。锚固板抗弯承载力满足要求时，受剪承载力也可以满足要求，一般无需另外做受剪承载力验算。

附录 E 极限试验要点

E.0.1 应采用极限试验的锚杆新组配件包括但不限于杆体、承压件、止浆塞、传递应力的防腐涂层或护套、新型锚具等。

E.0.2 锚杆极限试验不同目的对应着不同破坏模式，希望试验得到其中一种破坏模式时，尽量不要产生其它模式破坏、应加大相应安全储备。本标准建议可采取下列措施：（1）为获得锚筋—锚固体界面粘结力，可采用抗拉强度更高的锚筋、各条锚筋单独且同步张拉，必要时可增大锚筋直径或缩短锚筋粘结段长度；（2）为获得岩土体—锚固体界面粘结力，可采用抗拉强度更高的锚筋、增大锚筋直径或增加锚筋数量，压力型锚杆采取螺旋筋等增加锚固体底端抗局压力的措施，必要时可缩短锚固段长度；同时预应力锚杆应在锚固段顶部设置止浆塞等分隔装置以避免荷载从锚固段向自由段固结体传递；（3）为获得锚固体底端抗局压力，可采取增加锚固体抗拔力、锚筋抗拉断力及抗拉脱力的措施；（4）为获得锚筋抗拉断力，可采取增加锚固体抗拔力及抗拉脱力的措施，必要时可增加锚固体强度；（5）为获得扩体锚杆锚固体面端端阻力，可采取减少锚固体抗拔力、锚固体抗局压力、锚筋抗拉断力及抗拉脱力的措施；同时宜在原孔与扩体交界处设置止浆塞等分隔装置以避免荷载从扩体段向原孔段固结体传递。

E.0.3 本标准建议极限试验锚杆符合下列经验：（1）极限试验通常会造成锚筋拉断或拔出、锚固体破坏等，不应在工程锚杆上进行；（2）为测试锚固体极限抗拔力，应加设止浆塞等分隔装置，以使锚固段长度可控、可知；（3）专门制作的试验锚杆的设计及施工参数，如设计承载力、杆体材料、锚固体截面尺寸、施工工艺、所处地层等条件应与拟建工程锚杆基本相同，但为满足某一特定目标而设定的设计参数例外，例如为了不发生拉断破坏而加多了锚筋条数等。工程锚杆可以根据极限试验结果进行改进，改进后可根据具体情况决定是否再进行极限试验。不少工程忽略了施工工艺这个决定了锚杆抗拔力的重要条件，极限试验或适应试验时采用某种施工工艺，工程施工时改成了另外一种，导致了试验结果对工程指导作用有限；（4）不同目的的极限试验对锚固结构强度要求不同，不必都满足 28d 标准养护期再开始试验，通常达到最短养护期即可；（5）试验后没有破坏的锚杆，性能适当折减后如果条件具备可用于临时工程；（6）试验后有条件时应尽量挖出检查以全面了解锚杆性能。

E.0.4 本标准中的极限试验相应于国际标准中的探究试验。锚杆试验数量不少于 6 个的规定主要参照了《建筑地基基础设计规范》GB50007 对岩石锚杆的规定及国际惯例，主要目的是为了便于数理统计、更准确地使用试验结果。

E.0.5 目前锚杆荷载试验中，通常以锚头位移及千斤顶荷载来推测锚固段的应力及位移性能，有条件时可采用传感器安装在锚固段或承压件上的自测力锚杆。

E.0.6 本标准建议预应力锚杆及非预应力锚杆极限试验采用多循环法，单循环法有可能测量不到卸载位移从而导致试验不能完整测出锚杆的变形特性。多循环法加卸载程序如下图所示，循环次数可根据承载力高低适当增减 1 次。承载力较高时循环次数宜较多，试验结果可

更精确，但试验时间及造价也越高。国际标准普遍认为，过程荷载观测时间无需过长，能够测读出位移即可，通常为 1min；峰值荷载观测时间不应过短，否则会产生较大试验误差，欧标认为不应短于 15min。另外，确定发生了蠕变稳定破坏后，卸载时的分级荷载的观测时间宜延长至 5min 以观测锚杆残留承载力。

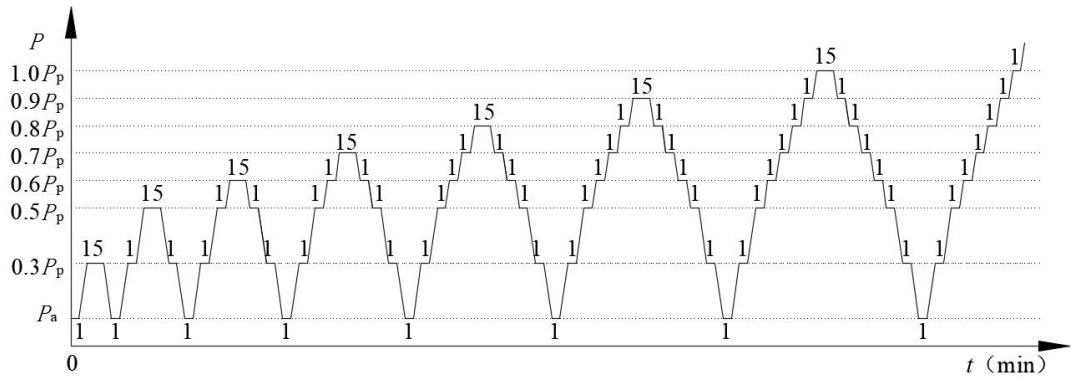


图 15 锚杆多循环法极限试验加卸载程序示意图

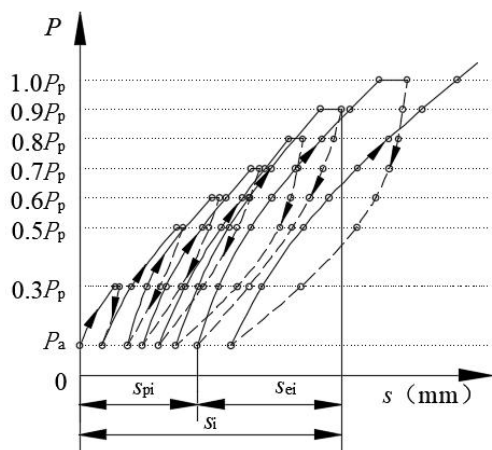
E.0.7 国内外标准广泛以锚杆蠕变率作为锚杆稳定判定方法，但稳定指标相差较大：欧日标准按地层及锚杆设计使用年限采用了不同的指标，复杂且偏于严格；美标相对简单且一直被国内大多数标准所采纳，故本标准多循环试验稳定指标以美标为基础、参考了欧标的一些建议确定，简单程度与美标相似，严格程度偏严一些。进入延长观测期后，如判断蠕变稳定则可中断当级荷载而进入下一级，不必等到观测期满。

本标准不建议采用人工记录位移，特殊情况需要采用时，建议：常规观测期内宜按时刻 1、2、3、4、5、7、10、15、20、30、45、60min 测读并记录，延长观测期内宜按 1 次/20min，这种时刻次序有利于稳定判断且次数较少，适用于极限试验、适应试验、验收试验及蠕变试验。

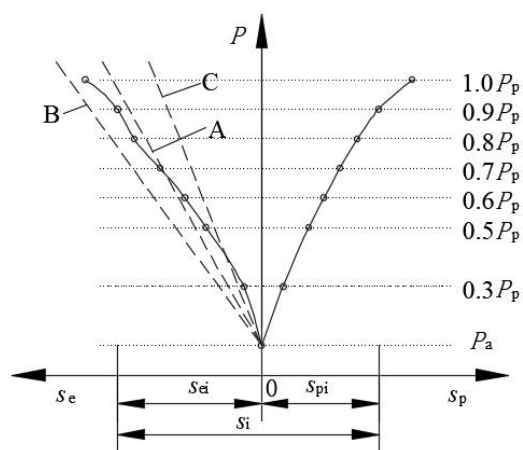
E.0.8 岩土体—锚固体界面粘结力、拉力锚杆锚筋—锚固体界面粘结力、压力锚杆锚固体抗局压力、摩擦锚杆岩土体—杆体界面摩阻力、扩体锚杆锚固体面端端阻力、浆体芯—水泥土界面粘结力、波纹管—锚固体界面粘结力等破坏形式通常为塑性破坏，试验中主要体现为蠕变不稳定。

E.0.9 锚杆极限试验的主要目标就是要测试承载力极限值，应尽量做到极限破坏。

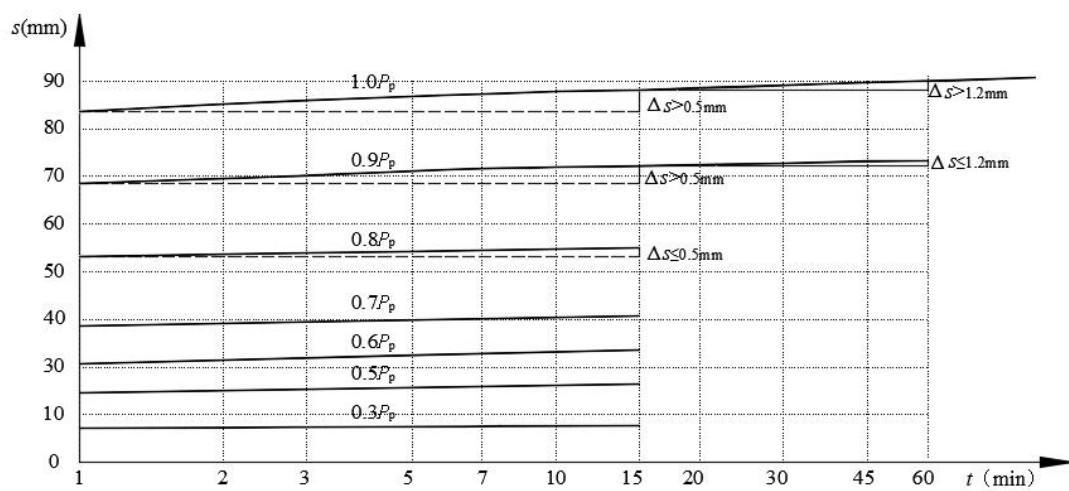
E.0.10 在常规观测期以内时宜绘制 $s-\lg t$ 曲线，进入蠕变观测期及蠕变试验时宜绘制 $\Delta s-\lg t$ 及 $\alpha-P$ 曲线。各种曲线如下图所示，图中 A、B、C 分别为 L_{app} 在设计长度、上限指标及下限指标时按式（E.0.11）反算得到的线段：



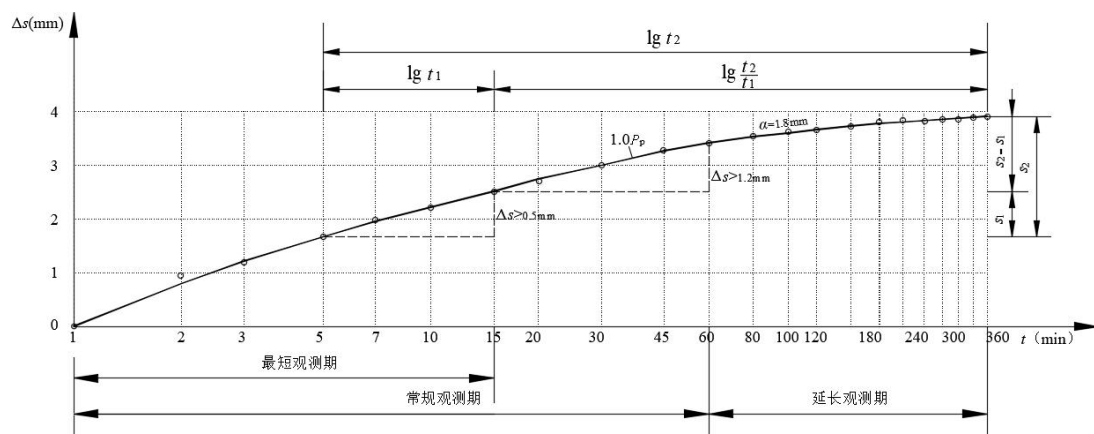
(a) 锚杆多循环极限试验 $P-s$ 曲线



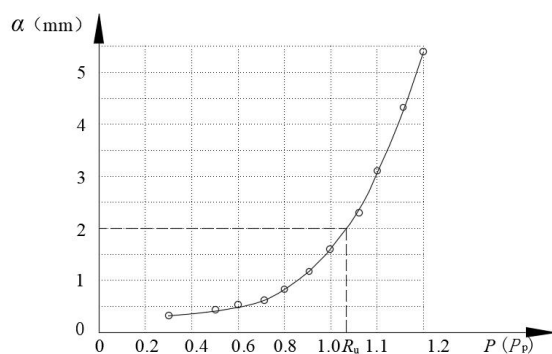
(b) 锚杆多循环极限试验 $P-s_e$ 及 $P-s_p$ 曲线



(c) $s-lgt$ 曲线



(d) $\Delta s-lgt$ 曲线



(c) $\alpha-P$ 曲线

图 16 锚杆极限试验成果曲线示意图

E.0.11 经验表明： t_1 在 5min 以内时的位移数值不容易稳定；为了计算准确， t_2 宜大于 t_1 至少 10min。

E.0.12~E.0.13 锚杆承载力检测值指通过试验等方法得到的个体锚杆的承载力极限值，对检测值进行数理统计后的承载力称为标准值。检测值通过试验获取，标准值一般应通过数理统计方法确定。承载力检测值与标准值的概念适用于锚固体抗拔力、锚筋抗拉断力、锚筋抗拉脱力、锚固体抗局部力、浆体芯抗拔力及锚筋抗拆力等各种承载力。

业界有把位移突变作为判断锚杆达到承载能力极限状态的一项指标的作法。编制组认为，位移突变现象没有对应的破坏模式或极限状态，可能是锚筋自由段夹杂异物等一些特殊原因引发的，故参照国际标准不采用这一作法。

E.0.14~E.0.16 国际标准均把 L_{app} 作为预应力锚杆最重要的性能指标之一。极限试验中计算 L_{app} 的主要目的是为了验证极限抗拔承载力的可靠性及为工程验收提供对比依据，适应试验及验收试验中计算 L_{app} 的主要目的是为了检验锚杆性能参数，为工程验收提供依据。 L_{app} 如不符合上下限指标，说明锚杆长度或锚筋自由段与粘结段的分配比例可能不符合设计，意味着锚杆承载力安全储备可能不足。国际标准认为：（1） L_{app} 小于下限指标通常意味着锚杆的实际锚筋自由段及自由段长度不足导致荷载传递到了自由段，不过也可能是因为张拉设备不同轴或锚头内的锚筋摩擦造成的；（2）以前假定荷载沿锚固段的传播速率均匀，故设定了 L_{app} 上限，但实际上粘结应力沿锚固段可能并非均匀分布，故 L_{app} 上限误差较大，如果不满足，随后仍可进行蠕变试验以最终验收。本标准 L_{app} 的上下限指标参照了最新国际标准，国内外早期标准建议下限指标为 $0.9L_{tf}$ ，实践证明偏于严格了。一些特殊情况，例如工程中发现采用某些施工工艺及设计参数的囊袋锚杆， L_{app} 的上下限指标可能不符合本标准规定，如果此时锚杆尚未破坏，可重新张拉一两次以便分析查找原因；原因如果明确，也可将极限试验或适应试验时确定的 L_{app} 上下限指标作为工程验收依据。锚筋与孔道摩擦产生拉力损失，导致部分荷载没有施加到锚固段上，锚杆越长摩阻损失越大，宜适当考虑。

E.0.17~E.0.18 理论上预应力锚杆 P_1 取锁定力 P_0 计算结果会更准确一些，但 P_0 往往不可确知且离散性较大，使用不便。 k_{RT} 离散性通常较大，分区统计及分区使用会容易一些。各锚杆 k_{RT} 极差超过平均值的 30% 时，为安全起见，本标准建议：可将数据从大到小排列，取

后 1/2 的平均值作为被锚固结构的弹性支点刚度系数，取前 1/2 的平均值作为锚杆杆体设计依据。

E.0.19 常见情况如测试锚固体极限抗拔力时发生了锚筋断裂破坏，通常作法是取锚筋断裂时的荷载作为极限抗拔力，但这样则低估了锚固段极限抗拔力，对此有争议时可以重新试验。

E.0.20 本标准建议按以下经验将极限试验获得的锚杆性能应用于工程锚杆：（1）采用较短的锚固段在岩土体—锚固体界面产生破坏获得的粘结强度，用于较长锚固段时应计取粘结强度随锚固长度的发挥系数；（2）钻孔直径或扩体直径不同时，获得的岩土体—锚固体界面粘结强度不宜直接通用；（3）采用较短的粘结段以在锚筋—锚固体界面产生破坏时，获得的粘结强度用于较长粘结段时应计取粘结强度随粘结段长度的发挥系数；（4）锚筋截面形状或面积不同时，获得的锚筋—锚固体界面粘结强度不宜直接通用；（5）钻孔或扩体直径、锚固体强度或锚固体底端承压件规格不同时，获得的锚固体抗局压力不宜直接通用。