

DB

深圳市工程建设标准

SJG ××-2021

备案号 J XXXXX-20XX

锚杆试验与检测技术标准

Technical Standard for Test and Inspection of Ground Anchor

(征求意见稿)

20××-××-×× 发布

20××-××-×× 实施

(本规范不涉及专利)

深圳市住房和建设局 发布

深圳市工程建设标准

锚杆试验与检测技术标准

Technical Standard for Test and Inspection of Ground Anchor

SJG ××-2021

(征求意见稿)

住房和城乡建设部备案号：

主编单位：深圳市建设工程质量检测中心

深圳市工勘岩土集团有限公司

批准部门：深圳市住房和建设局

施行日期：2021 年 月 日

XXX 出版社

2021 XX

前 言

本标准根据深圳市住房和建设局《2019年深圳市工程建设标准制订修订计划项目一览表》（深建设[2019]40号），由深圳市建设工程质量检测中心、深圳市工勘岩土集团有限公司会同建设工程质量监督机构、检测机构及单位、检测试验室、大学、工程技术研究中心等科研单位、设计公司、专业施工公司、仪器设备研究所、设备及产品厂商等27家单位共同编制完成，编制单位来自住建、市政、交通、城市轨道交通、水务、港口等行业，编制组成员涵盖了勘察、岩土、结构、市政、设计、材料、施工、检测、监测、试验、信息化、机械设备、产品等岩土锚杆试验与检测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7章和4个附录，主要内容包括：总则、术语和符号、基本规定、锚杆荷载试验、锚杆长度检测、其它试验与检测、远程数据传输等。

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。深圳市建设工程质量检测中心及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，请寄送至深圳市建设工程质量检测中心地方标准《锚杆试验与检测技术标准》管理组（地址：深圳市南山区铁二路南山建工村工程质量大厦，邮编：518051）或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：深圳市建设工程质量检测中心

深圳市工勘岩土集团有限公司

参编单位：深圳市建筑工程质量安全监督总站

深圳市市政工程质量安全监督总站

深圳市南山区建设工程质量监督检验站

深圳市福田区建设工程质量监督站

深圳市福田区建设工程质量检测中心

深圳市宝安区工程质量检测中心

深圳市龙岗区工程质量监督检验站

深圳市光明区建设工程质量安全监督站

深圳市交通工程质量监督站

深圳市交通工程试验检测中心有限公司

深圳市水务工程质量安全监督站

深圳市水务工程检测有限公司
铁科院（深圳）研究设计院有限公司
铁科院（深圳）检测工程有限公司
徐州建科仪器有限公司
武汉岩海工程技术有限公司
苏州市能工基础工程有限责任公司
深圳市蛇口招商港湾工程有限公司
深圳市瑞利源工程技术有限公司
深圳华力岩土工程有限公司
深圳市盐田港建筑工程检测有限公司
深圳市勘察测绘院（集团）有限公司
深圳地质建设工程公司
深圳市岩土综合勘察设计有限公司
深圳市地质环境研究院有限公司
天津大学建筑工程学院
广东省岩土与地下空间工程技术研究中心

主要起草人：付文光、张道修等

主要审查人：

本标准业务归口单位主要指导人员：

目 次

1	总则	7
2	术语与符号	9
2.1	术语	9
2.2	符号	13
3	基本规定	16
3.1	一般规定	16
3.2	试验与检测方法选择	17
3.3	试验与检测技术要求	21
3.4	验收项目及不合格项处理	26
3.5	试验与检测报告	27
4	锚杆荷载试验	29
4.1	一般规定	29
4.2	仪器设备与操作	30
4.3	极限试验及数据处理	32
4.4	适应试验	36
4.5	蠕变试验	37
4.6	验收试验	38
4.7	提离试验与锁紧试验	39
4.8	疲劳试验	40
4.9	群锚试验	41
5	锚杆长度检测	42
5.1	一般规定	42
5.2	时域反射法	42
5.3	磁测井法	45
5.4	声波反射法	49
6	其它试验与检测	52
6.1	回收试验	52
6.2	锁紧试验	53
6.3	浆体强度试验	54
6.4	自测力锚杆法测试	55
6.5	分布式光纤法测试	56
7	远程数据传输	60
7.1	一般规定	60
7.2	仪器设备	60
7.3	信息采集与传输	60
附录 A	锚杆结构原理与类型（资料性附录）	62
附录 B	反力装置类型（资料性附录）	64

附录 C 锚杆试验加卸载程序（资料性附录）	65
附录 D 锚杆荷载试验曲线（资料性附录）	68
本标准用词说明.....	72
引用标准名录.....	73
编制说明.....	75

Contents

1	General Provisions.....	7
2	Terms and Symbols.....	9
2.1	Terms.....	9
2.2	Symbols.....	13
3	General Rules.....	16
3.1	General Requirements.....	16
3.2	Selection of Test and Inspection Methods.....	17
3.3	Technical Requirements for Testing and Inspecting.....	22
3.4	Acceptance Items and Non-conformities Handling.....	26
3.5	Reports about Test and Inspection.....	28
4	Anchor Load Test	29
4.1	General Requirements.....	29
4.2	Instruments, Equipments and Operations.....	30
4.3	Investigation Test and Data Processing.....	32
4.4	Suitability Test.....	36
4.5	Creep Test.....	37
4.6	Acceptance Test.....	38
4.7	Lift Off Test and Tension Lock-loss Test.....	39
4.8	Oscillate Test.....	40
4.9	Group-effect Anchor Test.....	41
5	Inspection with Anchor Length.....	42
5.1	General Requirements.....	42
5.2	Time Domain Reflectometry.....	42
5.3	Magnetic Method.....	45
5.4	Soundwave Reflection Method.....	49
6	Other Tests and Inspection.....	52
6.1	Anchor Removing Test.....	52
6.2	Anchorage Locking Test.....	53
6.3	Grout Strength Test.....	54
6.4	Self-measuring Force Anchor Test.....	55
6.5	Distributed Optical Fiber Test.....	56
7	Remote Data Transfer.....	60
7.1	General Requirements.....	60
7.2	Instruments and Equipments.....	60
7.3	Information Collection and Transmission.....	60
	Appendix A Structure Principle and Types of Anchor (Informative Annex).....	62
	Appendix B Types of Reaction Device for Load Test (Informative Annex).....	64
	Appendix C Loading and Unloading Procedure for Anchor.....	65
	Appendix D Load Test Curves for Anchor	68
	Explanation of Wording in This Technical Standard.....	72
	List of Quoted Standards.....	73
	Explanation of Provisions.....	75

1 总则

1.0.1 为在岩土锚杆试验与检测工作中规范化方法及指标，做到技术合理、检测范围全面、数据及评价准确、为设计及施工验收提供依据，制订本标准。

【条文说明】【岩土锚杆广泛地应用于建筑、市政、水利水电、矿业、交通、能源、港口、人防等领域的边坡、基坑、基础与抗浮、隧道与地下洞室、既有挡墙加固及地灾治理等工程，起着不可或缺的作用。锚杆试验与检测工作对锚固工程的质量、结构安全、投资及技术水平的提高等至关重要，近些年来随着城市建设的迅猛发展，试验与检测的方法与手段日益成熟、完善及先进。为满足锚固工程的实际需求、统一检测标准以结束目前的混乱状态、提高试验与检测技术以达到国际先进水平，标准编制组基于深圳本地的工程实践并总结吸取了国内外的先进技术及经验，在深圳市住房和建设局指导下编制了本标准。

1.0.2 本标准适用于深圳市建筑工程、市政工程、交通工程、轨道交通工程、水务工程、港口工程和人防工程的岩土锚杆试验与检测。

【条文说明】【本标准适用于房建、地铁、公路、市政、水利、港口、隧道与地下空间等工程领域。深圳市尚未有水利水电、混凝土坝、矿山井巷等领域的锚固工程案例。】

1.0.3 锚杆试验与检测应考虑工程地质条件、施工质量可靠性、使用要求、锚杆类型等因素，合理选择搭配检测方法、确定检测数量，正确评价检测结果。

【条文说明】【各种试验与检测方法都应充分了解勘察、设计、施工的全过程，了解设计条件（地质条件、周边环境、使用功能及锚杆类型）及施工因素（施工工艺、质量控制的可靠性、便利性及工期等）对锚杆质量的影响，了解本地的工程经验。锚杆工程是隐蔽工程，应因地制宜、因锚制宜、因时制宜选择试验与检测的方法与数量，既达到准确评价的目的，又兼顾经济合理性。】

1.0.4 锚杆检测除应符合本标准规定外，尚应符合国家、省、市的现行有关技术标准的规定。

【条文说明】【引用标准名录及本条文说明中列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工程实践，并吸取了国内外先进技术及经验，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 8081:2015, Code of practice for grouted anchors;
- 2) EN 14490:2010, Execution of special geotechnical works - Soil Nailing;
- 3) EN 1997-1:2004, Eurocode 7: Geotechnical design - Part1: General rules;
- 4) EN 1537:2013, Execution of special geotechnical works - Ground anchors;
- 5) FHWA-IF-99-015, Geotechnical Engineering Circular No.4: Ground Anchors and Anchored Systems;
- 6) ISO/DIS 22477-5:2016, Geotechnical investigation and testing - Testing of geotechnical

structures - Part 5: Testing of grouted anchors;

- 7) JGS4101-2012, グラウンドアンカー—設計・施工基準、同解説;
- 8) PTI DC35.1-14, Recommendations for Prestressed Rock and Soil Anchors。】

2 术语与符号

2.1 术语

2.1.1 岩土锚杆 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。

【条文说明】【岩土锚杆也称地锚，锚筋采用钢绞线时也称为锚索，采用钢筋时也称为钢筋锚杆，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 长期锚杆 permanent anchor

设计使用年限超过 5 年的锚杆。

2.1.3 短期锚杆 temporary anchor

设计使用年限不超过 5 年的锚杆。

【条文说明】【2.1.2~2.1.3 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，故编制组引用深圳市《岩土锚固技术标准》SJG73-2020，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。】

2.1.4 锚固体 fixed body

钻孔注浆锚杆孔内的浆体、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那部分固结体称为锚固体。

2.1.5 锚固类锚杆 anchorage type anchor

锚固体位于稳定岩土体、由锚头承受荷载并将荷载通过锚固体传递到周边稳定岩土体的锚杆。

【条文说明】【锚固类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。】

2.1.6 加固类锚杆 reinforcement type anchor

主要依靠群体作用通过加筋、注浆、挤压、锚固等方式使岩土体得到改良加固的锚杆。

【条文说明】【2.1.5~2.1.6 加固类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。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,属于锚固类锚杆中的一类;而加固类锚杆通常称为 soil nail (可译为土钉)、dead man (锚定件)、screw anchor (螺旋锚)、deadman anchorage (锚定锚)、rock dowel (岩钉)及 rock bolt (岩栓)等。】

2.1.7 自测力锚杆 self-test tension anchor

可通过杆体上自带的测力传感器自行测试锚筋拉力的锚杆。

2.1.8 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。

2.1.9 适应试验 suitability test

某地层中的锚杆大面积施工前验证其实际力学性能是否符合设计指标的静荷载试验。

【条文说明】【2.1.8~2.1.9 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,有的也称 proving test、basic test、preproduction test、predesign test、trial anchor test、pre-contract test 等,日标称为“基本调查试验”。国内传统的基本试验相当于适应试验兼探究试验但更接近于前者,本标准参照国际标准,将之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,通常新材料、新施工工艺、新组配件等新型锚杆,无锚固相关经验的地层及拟设计承载力高于既有经验时应进行极限试验。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,与设计指标进行对比验证,不需试验至破坏,主要目的不是为设计提供依据而是事先验证设计参数、施工机械设备及工艺、材料及构件性能等,为验收试验提供依据。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。】

2.1.10 蠕变试验 extended creep test

在某些特定条件下实施的、测试锚杆在不同等级荷载作用下位移随时间变化规律的试验。

【条文说明】【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,本标准按业界习惯仍称为蠕变试验。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。】

2.1.11 提离试验 lift off test

通过重新张拉方式检测预应力锚杆锚筋持有拉力的静荷载试验,也称提离检查。

【条文说明】【提离试验也称持有拉力试验、持有拉力试验、剥离试验、提离检查(lift-off check)等。预应力锚杆因荷载作用使锚筋产生的拉力称为持有拉力,因张拉锁定使锚筋上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。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。随着千斤顶卸载放张，锚筋、锚夹具回缩及锚座回弹变形等原因导致预加拉力产生损失，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。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，国际标准普遍认为，采用锚索测力计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拉力的普查手段，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。】

2.1.12 拉力锁定损失试验 tension lock-loss test

预应力锚杆锁定后即通过提离检查测定锚筋拉力从而计算拉力锁定损失的试验，简称锁损试验。

【条文说明】【国际标准中普遍把锁损试验作为一种检测手段以提高锁定拉力的准确度，国内工程应用尚不多。】

2.1.13 疲劳试验 oscillate test

测试锚杆在交变荷载下疲劳性能的荷载试验。

【条文说明】【疲劳试验在国际标准中较为常用，国内较为少见。抗浮锚杆、高耸构筑物的基础锚杆及道路下的基坑锚杆等特定场所的锚杆会受到交变荷载作用，可能会影响承载性能。疲劳试验加卸载程序应尽量模拟这些锚杆的实际工作环境。】

2.1.14 群锚效应试验 group-effect anchor test

测试锚杆群锚效应的试验，简称群锚试验。

【条文说明】【群锚效应指锚杆相距较近时，应力在地层中扩散后应力场重叠导致锚杆承载力降低或蠕变量增加等性能劣化现象，一般认为锚杆间距小于3倍锚固体直径时会发生。群锚试验国内外均为少见。】

2.1.15 回收试验 anchor removing test

检验可回收锚杆按预定方式回收锚筋的能力的现场试验。

【条文说明】【回收试验是可回收锚杆独有的现场试验，以检验锚筋自回收能力为目的。】

2.1.16 锚具锁紧试验 anchorage locking test

测试预应力锚索锚具锁紧钢绞线能力的试验，简称锁紧试验。

【条文说明】【锚具（锚板及夹片）锁住钢绞线后，用千斤顶等加载设备对锚具—锚筋组件施加荷载，测量钢绞线与夹片的相对位移，观察组件的损伤情况，从而判定锚具的锁紧能力。本锁紧试验与《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370等技术标准中的静载锚固性能试验有所不同，后者主要目的是测试锚具效率系数。】

2.1.17 多循环加卸载法 multi-cycle loading and unloading method

锚杆静荷载试验中以多循环方式分级加卸载的方法，简称多循环法。

2.1.18 单循环加卸载法 singel cycle loading and unloading method

锚杆静荷载试验中以单调递增及递减形式分级加载及卸载的方法，简称单循环法。

2.1.19 快速加卸载法 rapid loading and unloading method

锚杆静荷载试验中快速加载至峰值荷载的加卸载方法，简称快速法。

【条文说明】【2.16~2.18 多循环法是国内外标准中锚杆试验应用最为广泛的加卸载方法，单循环法国际标准中有一定应用、国内应用较少，快速法是一种新的试验方法，国际标准中应用较少、尚未见诸于国内相关标准。】

2.1.20 时域反射法 Time domain reflectometry

在锚杆中预埋金属导线，采用专业仪器实测高频电子信号在导线与金属锚筋中的传播时间，分析和判断锚筋长度的检测方法，简称 TDR 法。

【条文说明】【TDR 技术是对高频率电子脉冲信号在一对平行电缆中传播时间的测量方法，当脉冲沿着传输线路行进时，电缆的任何不连续面都将产生反射，可在示波器上接收到反射波，根据反射波的传输时间、波幅及相位等特性，分析计算出故障的位置和特性。TDR 技术近些年来在国内外开始用于锚杆长度测量，在锚杆杆体上预安装导线，与金属锚筋组成平行电缆，发射脉冲，在锚筋底端产生反射波，测量发射脉冲与反射脉冲之间的时间差及波速，从而计算出锚杆长度。】

2.1.21 磁测井法 magnetic method

在锚杆旁边钻测试孔，放入专业仪器测试地球磁场在锚杆附近的变化，分析和判断锚筋长度的检测方法。

【条文说明】【磁测井法是一种以磁性体磁场的数学理论为基础，通过研究磁性体周围磁场变化的空间分布特征和分布规律，对磁性体空间分布做出判断的方法。锚杆安置在岩土体中，岩土体一般由无磁性或弱磁性物质组成，可认为背景磁场为某一常值。锚杆筋体一般采用钢绞线或钢筋，是铁磁性物质，在地磁场中磁化而产生磁异常，锚筋底部是铁磁性物质和无磁性物质的界面，磁场强度通常会有较大变化，超过界面再向下则逐渐变为稳定的背景场，故实测磁场强度有一定变化幅度时可认为有锚筋存在，对磁异常的测点进行形态分析，从而推算出锚筋底部位置及锚杆长度。】

2.1.22 声波反射法 soundwave reflection method

在锚头施加激振声波信号，采用专业仪器实测加速度或速度回应曲线，分析和判断锚杆长度的检测方法。

【条文说明】【锚杆声波法检测理论模型为一维弹性杆件，依据一维弹性杆体应力波传播规律，杆体与周围介质的波阻抗差异越大，与理论模型越接近。在锚杆杆体外端发射一个声波脉冲，沿锚筋向前传播，到达锚筋底端后反射，在杆体外端接收反射波，测量发射脉冲与反射脉冲之间的时间差及波速，从而计算出锚杆长度。】

2.1.23 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。

【条文说明】【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地层中拔出破坏、锚筋拉断破坏、锚筋从浆体中拉脱破坏、压力型锚杆底端浆体局部受压破坏或承压件破坏等，不同破坏模式都对应着不同承载力，受拉承载力为其中的最小值。通过试验方法得到的个体锚杆的受拉承载力极限值称为检测值，对检测值进行数理统计后称为标准值，标准值除以规定的安全系数后称为特征值。】

2.1.24 抗回收承载力 tendon removal resistance

可回收锚杆在拉力作用下，因解锁装置变形过大等原因导致解锁失效时所对应的最大轴向拉力，简称锚筋抗拆力。

【条文说明】【可回收锚杆也称为可拆芯锚杆、可拆卸锚杆等，属于新型锚杆，近些年来在国内基坑工程中应用较多，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离，不需采取套打、开挖等手段强行拆除。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，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。解锁装置与锚筋解除力学关联的行为称为解锁，解锁失效意味着锚筋不能自行拆除回收，但并不意味着达到了锚杆承载能力极限。锚筋抗拆力对应着解锁装置、亦即可回收锚杆正常使用极限状态，通常低于材料破断力（或 0.2%屈服力）及锚杆抗拔力、亦即低于锚杆极限承载力，对于具体某种自解锁锚具产品而言通常为定值。】

2.1.25 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。

【条文说明】【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。】

2.1.26 验收荷载 acceptance load

验收试验前拟定的最大试验荷载。

2.2 符号

2.2.1 抗力及材料性能

N_k	——	锚杆轴向拉力标准值；
N_u	——	试块破坏荷载；
P_0	——	锁定拉力；
$P_1、P_2$	——	$P-s$ 曲线上的特定荷载；
P_a	——	初始试验荷载；
P_d	——	设计锁定力；
P_p	——	最大试验荷载；
P_r	——	持有拉力；
ΔP_f	——	摩阻力；
$Q(z)$	——	深度 z 处锚筋轴力。

2.2.2 作用及作用效应

C_c	——	试块抗压强度检测值；
E_s	——	锚筋材料的弹性模量；
$F_{p0.2}$	——	钢绞线 0.2%屈服力；
R_{uk}	——	承载力标准值；
R_{um}	——	承载力检测值的平均值；
R_{ui}	——	第 i 个试验锚杆承载力检测值；
Z_1 、 Z_2	——	上、下测点的磁场强度垂直分量。
$f_m(z)$	——	深度 z 处锚固体与周边岩土层的粘结强度；
$v_0(z)$	——	初始状态下深度 z 处光纤的初始布里渊散射光频移量；
$v_i(z)$	——	在第 i 级荷载下深度 z 处光纤的初始布里渊散射光频移量；
$\varepsilon_i(z)$	——	在第 i 级荷载下深度 z 处锚筋或锚固体应变；
dZ/dL_v	——	磁场强度垂直分量梯度；

2.2.3 几何参数

A	——	所有锚筋横截面积之和；
A_0	——	试块承压面积；
C_m	——	同类型锚杆波速；
C_i	——	第 i 根校准锚杆的波速；
L_0	——	锚筋底端深度；
L_{app}	——	表观锚筋自由长度；
L_c	——	受检锚杆固结体计算长度；
L_e	——	张拉段长度；
L_h	——	水平投影长度；
L_i	——	第 i 根校准锚杆的固结体长度；
L_{iw}	——	第 i 根校准锚杆的锚筋外露长度；
L_r	——	受检锚杆接收传感器到锚杆杆体底端的长度；
L_{ri}	——	第 i 根校准锚杆接收传感器至锚杆杆底距离；
L_{tf}	——	锚筋自由段长度；
L_{tb}	——	锚筋粘结段长度；
L_w	——	受检锚杆的锚筋外露长度；
s_1 、 s_2	——	t_1 、 t_2 时刻所测读的锚头位移；
u	——	锚固体周长；
V_0	——	空气中的脉冲传播速度；
V_m	——	校准波速；

V_i	——	第 i 根校准锚杆的脉冲传播速度；
Z	——	磁场强度垂直分量；
Z_0	——	垂直分量背景磁场强度；
Δf	——	受检锚杆杆底相邻谐振峰之间的频差；
Δf_i	——	第 i 根校准锚杆杆底相邻谐振峰之间的频差；
Δl_v	——	上、下测点垂直间距；
Δs_e	——	相应于 P_a 至 P_p 的锚筋弹性位移
Δt	——	受检锚杆发射脉冲与反射脉冲的时间差；
Δt_e	——	受检锚杆杆底反射波时差。
Δt_{ei}	——	第 i 根校准锚杆杆底反射波时差；
Δt_i	——	第 i 根发射脉冲与反射脉冲的时间差；

2.2.4 计算系数

C_s	——	光纤布里渊散射光的频移量与应变的比例系数；
m	——	试验数量；
k_{RT}	——	通过锚杆试验获得的锚杆轴向刚度系数；
t_1 、 t_2	——	计算时间对数周期的始、终时刻；
α	——	蠕变率。

2.2.5 其它

σ_f	——	标准差；
δ_m	——	变异系数；
γ_s	——	统计修正系数。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 采用本标准规定的各种锚杆试验与检测方法，结果可作为锚固工程设计、施工、质量验收及工程质量问题处理的依据。

【条文说明】【锚杆试验与检测结果按锚固工程所处的阶段，可在施工前为设计提供依据、在施工过程中为质量安全控制提供依据、在施工后为验收提供依据、为安全运营提供依据及发生质量安全事故后为查明技术原因提供依据。】

3.1.2 作为验收依据的试验与检测，其从业机构和人员应具有规定的资质资格，试验与检测行为应符合现行法律、法规和章程的规定。

【条文说明】【试验与检测成果作为验收依据时，从事相关工作的机构与人员的资质资格应符合政府相关规定。】

3.1.3 锚杆试验与检测工作程序宜包括接受委托、收集资料、制定方案、准备仪器设备及人员、实施检测与试验现场工作、复检、分析数据、评价成果、出具报告等环节，需收集的资料宜包括岩土工程勘察报告及调查资料、设计文件、试验类型、施工方案、施工记录、施工工艺、施工异常情况和原材料检测报告等。

3.1.4 应根据试验与检测目的、现场条件、实施可行性等条件编制试验与检测方案，方案主要内容宜包括：

- 1 工程概况、地质条件、周边环境、编制依据、设计要求、施工工艺等基本情况；
- 2 试验与检测的目的、方法、受检锚杆选取原则、锚杆数量、仪器设备等工作要点；
- 3 工作程序、工作人员、进度安排、配套机械设备及人员、安全管理等程序性及辅助性工作。

【条文说明】【锚杆试验与检测方案在国内尚没有受到充分重视。锚杆极限试验、疲劳试验、蠕变试验、群锚试验以及自测力锚杆法、分布式光纤法等主要目的是为设计提供依据，应由设计人编写或提出试锚技术要求，与设计试桩作法类似。】

3.1.5 用于锚杆试验与检测的仪器及传感器应符合下列规定：

- 1 具有信号自动采集、储存、分析处理功能，实时显示时程曲线功能，与计算机等外部设备数据交换功能等；
- 2 具有防止试验与检测过程意外中断时的应急装置；
- 3 具有防高温、防水、防雷电、防电磁干扰装置；
- 4 在计量检定或校准有效期内；
- 5 试验成果作为验收依据的荷载试验仪器设备尚应具备远程数据实时传输功能及自动补压功能。

【条文说明】【实践证明，采用具有数据远程实时传输功能的仪器设备可有效提高检测水平，为保证工程质量提供了重要的基础条件。】

3.1.6 各种原材料、构件、成品及半成品检验应符合相关标准规定。

【条文说明】【锚杆工程所采用的原材料、构件、成品及半成品包括但不限于：①钢绞线、钢筋、钢管、对中架、连接器、束线环等杆体材料；②水泥、树脂卷、水泥卷、外加剂、水、砂等注浆材料；③防腐润滑脂、护套、环氧树脂、防水涂料、遇水膨胀止水环等防腐防水材料；④锚垫板、螺母、锚板、夹片、承压件等锚固构件；⑤浆体试块等。】

3.1.7 本章未详尽之处尚应执行《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300、《建筑地基基础工程质量验收标准》GB 50202 及深圳市《岩土锚固技术标准》SJG73。

3.2 试验与检测方法选择

3.2.1 锚杆试验与检测方法宜根据主要目的及适用条件按表 3.2.1 合理选择，在工程不同阶段进行实施。

表 3.2.1 锚杆试验与检测方法

类型	方法	主要目的及适用条件	实施阶段
荷载试验	极限试验	测试锚杆各种承载力极限值及工作性能，为设计提供依据	设计
	适应试验	测试各类型锚杆工作性能，事先验证是否达到设计预期目标，为设计、施工及验收提供依据	设计、施工
	蠕变试验	测试锚杆特定条件下工作性能，事先验证是否达到设计预期目标，为设计及验收提供依据	设计
	验收试验	检测工程锚杆工作性能是否符合设计指标，为验收提供依据	验收
	提离试验	检测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	验收、运维
	锁损试验	采用提离法测试预应力锚杆拉力锁定损失，为设计及施工提供依据	设计、施工
	疲劳试验	测试锚杆交变荷载下工作性能，为设计提供依据	设计
	群锚试验	测试锚固类锚杆是否存在群锚效应，为设计提供依据	设计
长度检测	时域反射法	检测钻孔注浆类锚杆长度，为验收提供依据	验收
	磁测井法	检测周边无铁磁性物体干扰的竖向锚杆长度，为验收提供依据	验收
	声波反射法	检测较短的锚筋锚杆或钢管锚杆长度，为验收提供依据	验收
成品、半成品及构件检测	锁紧试验	检测预应力锚索锚板、夹片与钢绞线的锁紧能力，为验收提供依据	施工、验收
	回收试验	测试可回收锚杆锚筋自回收能力，为设计及施工提供依据	设计、施工
	浆体强度	检测浆体试块强度，为验收提供依据	验收
其它	自测力锚杆法	测试新打设的压力型及压力分散锚索的持有拉力及长度，为设计、施工及验收提供依据，也可用于锚索拉力监测	设计、施工、运维
	分布式光纤法	测试新打设的钻孔注浆类锚杆的锚筋及（或）浆体的应变及锚筋长度，为设计及验收提供依据，也可用于锚索拉力监测	设计、施工、运维

【条文说明】【为合理使用各种试验与检测方法，本条列举了各方法主要目的及适用条件，具体选择时尚应考虑设计要求、检测条件、工程地质状况、施工因素、工程重要性等级、经济性、工期要求等因素。另外，本标准将国内传统的基本试验细分为极限试验和适应试验。】

3.2.2 有下列情况之一时应进行锚杆极限试验（锚杆类型参见附录 A）：

- 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。

【条文说明】【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。可回收锚杆应进行极限试验。极限试验要达到下列目的：（1）获得粘结锚杆岩土体—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—水泥石界面粘结力、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。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；⑥通常，承压件都应该有较大的承载力，不应发生破坏。（2）获得锚杆蠕变特性；（3）获得预应力锚杆表观锚筋自由长度 L_{app} 及锚杆轴向刚度系数 k_{RT} 。】

3.2.3 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。

3.2.4 有下列情况之一且设计人认为有必要时宜进行蠕变试验：

- 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 水泥石锚杆；
- 4 粘结段锚筋采用了环氧涂层或波纹管等防腐措施；
- 5 如果适应试验常规观测期内蠕变不稳定，宜选取 2 条锚杆进行蠕变试验。

【3.2.3~3.2.4 条文说明】【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。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，也需要进行蠕变试验。适应试验及蠕变试验应达到下列目的：①验证锚杆维持最大试验荷载的能力；②获得锚杆蠕变特性；③获得 L_{app} 及 k_{RT} 。实践表明，深圳市的花岗岩、凝灰岩及砂岩等一般不需要进行蠕变试验。】

3.2.5 工程锚杆均应进行验收试验。

3.2.6 宜采用提离试验测试预应力锚杆的持有拉力。

【条文说明】【提离试验可达到以下目的：

1 锚杆锁定后即进行，检验持有拉力 P_r 及锁定力损失，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的验收指标；

2 锚杆锁定一段时间后进行，检验 P_r 以测试荷载短期损失，为调整锁定荷载提供依据；

3 锚杆锁定一段时间后进行，检验 P_r 是否符合设计指标，为验收提供依据；

4 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；

5 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；

6 锚杆工作荷载达到设计预定时进行，检验 P_r 是否达到设计预定；

7 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；

8 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；

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指标；

10 采用新型锚具组件时进行，测试 P_r 以测定锁定损失。】

3.2.7 预应力锚杆大面积锁定前宜进行锁损试验。

【条文说明】【由于比较复杂的原因，锚杆锁定力较难达到设计指标，可采用提离等方法进行锁损试验，根据测定结果调整放张荷载，以使锁定力达到设计指标，还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的验收指标。】

3.2.8 有下列情况之一时宜进行疲劳试验：

1 锚杆所承受的交变荷载平均值低于承载力特征值但最大荷载超过了承载力特征值的 1.2 倍；

2 预应力锚杆所承受的交变荷载平均值低于设计锁定荷载但最大荷载超过了设计锁定荷载的 1.2 倍；

3 锚固段位于对交变荷载敏感的地层。

4 怀疑会发生明显疲劳现象的其它情况。

【条文说明】【疲劳试验可独立进行，也可在适应试验或蠕变试验完成之后进行。】

3.2.9 锚固类锚杆有下列情况之一时宜进行群锚试验：

- 1 锚固段中心距小于 1.2m；
- 2 锚固段中心距小于锚固体直径或扩体直径的 3 倍；
- 3 锚固体埋深较浅且所处地层为土层或层理发育的岩层、对锚群整体稳定性有怀疑时；
- 4 怀疑会发生群锚效应的其它情况。

【条文说明】【工程中通常限制锚杆中心距而避免群锚效应，但在一些特定场所尚宜进行群锚试验加以验证。群锚试验宜与适应试验相结合，也可单独进行。】

3.2.10 工程锚杆均应进行长度检测及验收。

【条文说明】【随着各种锚杆长度检测方法的成熟，目前已可将锚杆长度检测结果纳入验收范围，为利于市场接受，本标准规定了较低的检测数量。】

3.2.11 可回收锚杆应进行回收试验。

【条文说明】【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。自解锁锚杆一般由锚筋、自解锁锚具、锚固体及锚头组成，厂商通常提供整套产品。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。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，因回收率较低等原因，深圳市《岩土锚固技术标准》SJG73 不推荐采用。影响锚杆回收锚杆能力的主要因素有：①锚杆长度。一般来说，锚杆越长，越难拆筋；②设计承载力及预应力水平。承载力及预应力水平越高，越难拆筋；③地质条件。地质条件越复杂、越差，越难拆筋；④使用时间。使用时间越长，锚具发生锈蚀的概率及锈蚀程度越大，拆筋越难，甚至会被锈死；⑤地层腐蚀性。地层如果有腐蚀性可能会导致锚具腐蚀失效或损坏，难以拆筋；⑥温度。温度过低，如零度以下，可能会影响拆筋。不同厂商不同类型产品对不同因素的适应能力不同，大面积施工前必须要通过回收试验检验。】

3.2.12 按本标准进行的回收试验可替代相应的适应试验。

【条文说明】【本标准规定的可回收锚杆的回收试验已经包含了适应试验内容，可替代同类型锚杆的适应试验。】

3.2.13 预应力锚索应进行锚具锁紧试验。

【条文说明】【工程中发现，不少锚固工程预应力锚索变形较大都是因为锚具没有锁紧钢绞线、钢绞线相对滑移造成的，严重时甚至会发生钢绞线“缩进”了锚板、夹片飞出等现象，主要原因即锚板及夹片质量不佳、两者不配套或与钢绞线不配套等，而这些问题很难通过锚板、夹片及钢绞线独立进行的质量检测以及静载锚固性能试验等方法解决，故本标准规定了锁紧试验以解决这些问题。】

3.2.14 工程锚杆应进行浆体强度的检测及验收。

3.2.15 自测力锚杆法适用于下列情况：

- 1 锚杆荷载试验；
- 2 压力型及压力分散锚杆的锚筋摩阻力试验；
- 3 锚杆长度及表观锚筋自由长度检测；
- 4 锚杆拉力监测。

【条文说明】【预应力锚索锚固体的受力状态直接表征了锚索的工作荷载及承载性能。工程界以往几乎没有方法直接测试锚固体的受力、而是通过间接方法来推断，即测试锚头荷载并将之等同于锚固体所受荷载。因锚筋与孔道的弯曲、扭转及摩擦，锚座、锚筋及锚固体的塑性变形，锚筋材料的长期应力松弛等原因，锚头荷载并不能完全传递到锚固体上，锚固体所受荷载小于锚头荷载，即沿锚杆长度有荷载损失，损失较大时可能会影响到锚固结构的稳定性，但业界以往并不清楚具体损失多少。自测力锚也称数字锚，是国内外首创新产品，通过直接测试锚筋末端承压件对锚固体的压力，可得到传递到锚索尾端的荷载及荷载损失，全面、及时、准确地了解锚索承载性能及工作荷载，既可用于锚杆荷载试验，也可用于锚杆拉力监测，为判断锚索及锚固结构的受力状态及长期工作性能提供了基础条件。另外，由于其自带激光打码长度标识，也可用于长度检测。】

3.2.16 分布式光纤法适用于下列情况：

- 1 拉力型及拉力分散锚索的有效锚固长度测试；
- 2 全粘结型、拉力型及拉力分散锚杆的锚筋及锚固体的应变及应力测试；
- 3 压力型及压力分散锚杆的锚筋摩阻力试验；
- 4 锚杆长度及锚筋自由段长度检测；
- 5 锚筋及锚固体应变长期监测。

【条文说明】【分布式光纤测试法是一种在锚杆内布设传感光缆、实现一维多物理参量连续性测试技术，具有质量轻、抗电磁干扰、耐腐蚀、精度高、便于远程控制等优点，近些年来得到了越来越多的工程应用。通过采用分布式光纤测试锚筋及锚固体的应变，可进一步推算锚杆应力及应力沿全长的分布，有助于全面了解锚体的工作状态、锚固体的裂缝形态及锚固结构的安全程度，提高锚杆的设计质量。】

3.2.17 按本标准进行了锁紧试验及提离试验且锚具锁紧性能及锚筋持有拉力合格时，锚索拉力监测数量可适当减少。

【条文说明】【锚固工程一般按锚杆总数的 5%进行拉力监测。按本标准进行的锁紧试验及提离试验结果合格时，可判定锚头锚固效率满足工程需求，锚杆监测数量可减少 20%~50%。】

3.3 试验与检测技术要求

3.3.1 试验锚杆的制作应符合下列规定：

- 1 极限试验及回收试验锚杆应专门制作，不应采用工程锚杆；
- 2 蠕变试验、疲劳试验及群锚试验锚杆宜专门制作，也可采用工程锚杆；

3 适应试验锚杆宜在同类型工程锚杆施工最早的几根中选取，也可专门制作；

4 提离试验及锁损试验应采用工程锚杆。

【条文说明】【①极限试验及回收试验为破坏性试验，不应采用工程锚杆；②蠕变试验、疲劳试验及群锚试验为非破坏性试验，条件具备时可采用工程锚杆；③适应试验锚杆一般应包括同类型工程锚杆至少最早施工的 3 根，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。适应试验过程中宜全程锚杆监测；④为反映实际工程情况，提离试验及锁损试验应选用工程锚杆。

同类型锚杆指主要地层等环境条件、主要设计参数（锚杆类型、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、偏斜度等参数可能会有所差别。同类型锚杆随试验目的不同而划分标准不同，主要应由设计人综合工程各方意见后判别，可参考以下经验：①极限试验宜划分为多种类型；②适应试验及验收试验分类条件宜比极限试验更为细致，在其分类基础上可增加角度、偏斜度及长度在内的几何尺寸等；③蠕变试验、疲劳试验、回收试验、提离试验、锁损试验、群锚试验等可按设计承载力分类甚至不分类。】

3.3.2 作为验收依据的受检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 50%且应符合下列抽样条件之一：

- 1 工程相关责任方对施工质量怀有疑虑的锚杆；
- 2 其它项目检测结果存疑的锚杆；
- 3 地质条件复杂多变部位及有软弱地层分布的锚杆；
- 4 重要部位的锚杆。

【条文说明】【本条抽样原则适用于承载力、长度及持有拉力的试验与检测。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宜超过总样本的一半。样本一般由建设、勘察、设计、施工及监理等五方责任主体共同确定，有异常情况时随机样本也可由设计人员、检测人员或质量监督机构等在现场随机选取。先进行的其它项目检测结果有疑点时，有条件时可采取另外的检测方法加以验证，例如先进行的荷载试验结果对表观锚筋自由长度存疑，后面可采取磁测井法加以验证；对先进行的长度检测结果存疑，后面可采取荷载试验加以验证。】

3.3.3 预应力锚杆的表观锚筋自由长度（或非预应力锚杆的位移量）及锚杆承载力符合验收合格条件的适应试验及蠕变试验结果，可作为判断抽样样本替代验收试验作为验收依据，每 2 个合格的试验结果宜作为 1 个验收依据。

【条文说明】【符合验收合格条件（不包含持有拉力）的适应试验及蠕变试验结果作为验收依据是国际标准的通用作法，为安全起见，本标准建议折半使用。适应试验及蠕变试验的锚杆承载力作为验收依据时，宜为常规观测期内的判稳结果，即延长观测期内的判稳结果不宜作为验收依据。】

3.3.4 锚杆荷载验收试验数量应符合下列规定：

- 1 锚固类锚杆受检数量宜符合表 3.3.4 规定；

2 加固类长期锚杆受检数量不应少于同类型锚杆总数的 2%，加固类短期锚杆受检数量不应少于同类型锚杆总数的 1%；

3 受检锚杆数量不应少于 6 根。

表 3.3.4 锚固类锚杆验收试验比例

锚杆总数量 n	$n \leq 200$	$200 < n \leq 1000$	$1000 < n \leq 5000$	$n > 5000$
受检非预应力锚杆数量 m	$0.05n$	$10 + 0.04(n - 200)$	$42 + 0.03(n - 1000)$	$162 + 0.025(n - 5000)$
受检预应力锚杆数量 m	$0.04n$	$8 + 0.03(n - 200)$	$32 + 0.02(n - 1000)$	$112 + 0.015(n - 5000)$

【条文说明】【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。大多数技术标准规定荷载试验受检锚杆为总数的 5%，本标准增加了锚杆长度检测及预应力锚杆持有拉力检测，承载力检测比例适当下调仍可保证整体检测水平及结构安全。】

3.3.5 除荷载验收试验以外的其它试验锚杆数量应符合下列规定：

- 1 极限试验同类型试验锚杆数量不宜少于 6 根，其中可回收锚杆的不宜少于 3 根；
- 2 适应试验、蠕变试验、疲劳试验及回收试验的同类型试验锚杆数量不宜少于 3 根；
- 3 用作质量鉴定的提离试验的数量宜为同类型锚杆总数的 2%且不应少于 6 根，其余情况应按设计要求且不宜少于 6 根；
- 4 锁紧试验锚杆数量不宜少于 6 根；
- 5 群锚试验不宜少于 2 组，每组试验锚杆数量不宜少于 3 根；
- 6 自测力锚杆及光纤法试验锚杆的数量不宜少于 3 根。

【条文说明】【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。本标准要求可回收锚杆还需进行至少 3 根锚杆的回收试验，其具有适应试验的性质，故可回收锚杆极限试验数量可减少为 3 根。】

3.3.6 锚杆验收荷载应符合下列规定：

- 1 锚固类的基础及抗浮长期锚杆验收荷载宜为锚杆轴向拉力标准值 N_k 的 2.0 倍，其余长期锚杆宜为 $1.5N_k$ ，短期锚杆宜为 $1.25N_k$ ；
- 2 加固类锚杆验收荷载宜为 $1.25N_k$ ，也可按设计要求。

【条文说明】【验收荷载与抽检率问题很复杂，在各相关标准中与样本绝对数量、检测方法、检测费用及时间、习惯作法、工程安全等级、结构设计使用年限等多种因素相关。①锚杆验收荷载与拉力标准值的倍数简称检验倍数。验收试验本质上为抽样检验，目的是通过检测少量受检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。检验倍数主要用于评估施工质量符合设计指标的概率，不是样本的安全系数，验收试验检验的也不应是安全系数；安全系数体现的是工程抗风险能力，工程重要性等级不同则安全系数不同，只有施工质量均符合设计指标时，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，与工程重要性等级及安全系数不直接相关。②桩基相关标准通常规定受检桩抽样率为 1%、检验倍数为 2.0，如果以之为参照，本标准中锚固类长期基础锚杆及长期抗浮锚杆的最大抽样率为 5%，检验倍数经测算可为 1.75，本条采用 2.0 主要是因为业界习惯。③锚固类长期锚杆主要指边坡锚杆，最大抽样率为 5%，检验倍数为 1.5，与相关标准中的指标大体一致。④锚固类短期锚杆主要指基坑锚杆，各相关标准中检验倍数部分为 1.2，部分随基坑安全等级变化而取 1.2~1.4；本条建议为 1.25，不随安全等级而变化，因本标准中增加了锚杆长度检测及持有拉力检测，1.25 可保证整体检测水平及结构安全。⑤加固类锚杆抽样率 1%~2%及检验倍数 1.25 与相关标准中的指标大体一致。】

3.3.7 各类荷载试验最大试验荷载 P_p 应符合下列规定：

- 1 极限试验的 P_p 宜能够导致锚杆破坏；
- 2 验收试验的 P_p 应为验收荷载；
- 3 适应试验及蠕变试验的 P_p 宜与同类型锚杆验收荷载一致；
- 4 提离试验的 P_p 宜取设计锁定力 P_d 的 1.25 倍或取验收荷载，两者都不明确时宜取锚筋抗拉断力设计值；
- 5 群锚试验及疲劳试验的 P_p 宜取 $1.5N_k$ ；
- 6 回收试验的 P_p 宜取 $1.25N_k$ ；
- 7 锁紧试验的 P_p 宜取为钢绞线 0.2%屈服力的 0.8 倍。

【条文说明】【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。】

3.3.8 荷载试验开始时间应符合下列规定：

- 1 极限试验时锚固体及锚座结构强度应达到设计强度且不宜低于 25MPa，适应试验、蠕变试验、提离试验、疲劳试验、群锚试验及回收试验时不宜低于设计强度的 80%且不宜低于 20MPa；
- 2 宜达到标准养护期；
- 3 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；
- 4 持有拉力作为验收依据的提离试验宜在锚杆锁定 7d 后进行。

【条文说明】【本条中的非黏性土层指粉土、砂土及碎石土。锚杆施工过程中不可避免对周边地层造成扰动，随着锚固体养护期及地层休止时间增加，锚杆抗拔承载力也逐渐增加并稳定。实际工程中受周边环境或工期限制，往往不允许等到锚杆完工并达到标准养护期（28d）、锚固体及锚座结构的混凝土强度达到设计指标后再开始试验，考虑到这种实际情况，试验开始时间可适当放宽，通常达到最短养护期即可，但有争议时仍应采用标准养护期，本条中的“养护期”包含了锚固体养护期及锚固体与岩土层粘结力恢复所需的休止时间。最短养护期以设计者工程经验优先，可参考以下经验：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 7~15d；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水泥土锚杆非黏性土中为 10~15d，黏性土中为 15~21d；④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；⑤锚杆承载力越高及岩土体性状越差，最短养护期应越长。另外，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。⑥最短养护期可由工程责任各方根据地层条件、施工状况及同条件养护的试块抗压强度等条件综合确定。】

3.3.9 作为验收依据的持有拉力受检锚杆数量不应少于锚杆总数的 2%且不少于 6 根。

3.3.10 锚杆长度检测宜采用 TDR 法，条件适合时也可采用声波反射法或磁测井法。

【条文说明】【①TDR 法在香港等地区应用较为广泛，深圳市以往已有若干工程应用案例。本标准编制组经过一年多的专项研究及系统的对比试验，认为其可作为一种成熟技术应用于锚杆长度检测，检测结果可靠，准确度较高，受干扰较少，成本低，宜优先采用。但因需要事先埋设导线，抽样的随机性不足，故采用加大导线安装比例的方式加以弥补。②锚杆长度较短时 TDR 法检测相对误差较大，此时可采用声波反射法。声波反射法十多年前国内已经发布了相关技术标准，但深圳市总体应用不多。编制组经过一年多的专项研究，认为该法锚杆长度较长或地层较硬时声波衰减严重，直径发生变化或直径较小时检测信号复杂，采集到的波形数据质量不高，经常会出现错判和漏判的现象，故通常只能有效测量较短的锚杆，可应用于长度不超过 5m 的岩层锚杆及长度不超过 10m 的土层锚杆，且锚筋宜为钢筋或钢管、不宜为钢绞线。③磁测井法在国内较多应用于测试灌注桩钢筋笼长度，编制组经过一年多的专项研究，认为可用于那些符合测试条件的锚杆的长度检测，取得了可靠的经验，并经过了一些工程的验证。但该方法受干扰因素较多，难以大面积使用。对于斜向锚杆，长度越长传感器下放越困难、测试孔与锚杆的偏差越大、测量误差越大，目前成熟经验尚不多。】

3.3.11 锚杆长度检测数量应符合下列规定：

1 采用 TDR 法时受检锚固类长期锚杆的比例不应少于总数的 10%，锚固类短期锚杆的比例不应少于总数的 5%，加固类的比例不应少于总数的 2.5%，预埋导线的锚杆数量不宜低于受检锚杆数量的 3 倍；

2 采用磁测井法时受检锚固类锚杆比例不应少于总数的 1%，加固类的比例不应少于总数的 0.5%；

3 采用声波反射法时受检锚固类锚杆的比例不应少于总数的 5%，加固类的比例不应少于总数的 2.5%；

4 按上述方法计算得到的受检锚杆数量少于 6 根时应取 6 根。

【条文说明】【本条规定的锚杆长度检测数量兼顾了检测水平、费用、方法的可靠性及市场可接受水平。】

3.3.12 锚筋长度检测开始时间宜为锚杆浆体终凝后。

3.3.13 锁紧试验受检锚具数量每批次不应少于 1 组，每组数量应为 3 套。

3.3.14 浆体抗压强度试块数量应符合下列规定：

- 1 压力型及压力分散锚杆每 30 根、其余锚固类锚杆每 60 根不少于 1 组；
- 2 加固类长期锚杆每 100 根、短期锚杆每 200 根不少于 1 组；
- 3 每组数量应为 3 个。

3.3.15 浆体试块标准养护期应为 28d。

3.4 验收项目及不合格项处理

3.4.1 工程锚杆应进行如下项目的试验、检测及验收：

- 1 主控项目：锚固类锚杆承载力，锚杆长度及预应力锚索的锚具锁紧性；
- 2 一般项目：加固类锚杆承载力，浆体强度及持有拉力。

【条文说明】【①承载力是锚杆最重要的性能参数；②本标准要求长度检测与验收的锚杆包括了非预应力锚杆及预应力锚杆；③浆体强度在国内锚杆相关标准中一般均列为验收项目；④预应力锚杆持有拉力对工程的结构安全及变形的作用至关重要，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指标而导致结构变形较大甚至事故或险情发生，但持有拉力检测及验收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；⑤锚索的锚具能否锁紧钢绞线，既有构件质量问题，也有施工质量及管理问题，对锚固工程变形控制甚至结构安全很重要，应引起业界的高度重视；⑥除了锚杆长度、锚固类锚杆的承载力及预应力锚索的锚具锁紧性外，加固类锚杆的承载力、压力型锚杆的浆体强度、预应力锚杆的持有拉力等参数，均对锚固工程的结构安全起着重要作用，在《建筑地基基础工程质量验收标准》GB 50202-2018 等技术标准中作为了主控项目。编制组认为，这些试验与检测方法理论上均存在着一定缺陷或与工程实际相符性较差，例如加固类锚杆的检测受力与工程实际受力的形式不相符、浆体试块强度并非实际强度、持有拉力的变异性较大及时间稳定性较差等，导致成果的准确度通常会有较大的不确定性，或难以委托第三方检测机构实施及复检，深圳市工程实践表明如果以之作为施工质量评定依据容易引发争议及纠纷，故本标准将这些参数列为一般项目。】

3.4.2 主控项目试验及检测结果与设计指标的符合率为 100%、一般项目的符合率不低于 80%时应评定为该受检项目验收合格。

【条文说明】【本条规定参照了《建筑地基基础工程质量验收标准》GB 50202。】

3.4.3 出现验收不合格项后，建设单位应组织有关各方分析原因，根据综合质量评估和质量问题处理的需要制定处理方案，必要时可进行专家论证。

【条文说明】【作为工程验收依据的试验与检测工作，仅对受检项目个体及检验批做出合格与否的评定，整体锚固工程的合格评定与验收，尚应按相关技术标准及政府规章制度进行。】

3.4.4 处理方案应符合下列规定：

- 1 检验批合格时，设计方复核后认为个体不合格项对工程的安全、正常使用及耐久性影响程度可以接受时，经工程主体责任方共同确认后可不进行技术处理或复检；

2 检验批不合格时，可复检、技术处理或不处理；

3 复检时应确定扩大抽检、验证检测及（或）重新检测的数量及部位等，检测单位完成后宜给出该受检项目的评定结果；

4 技术处理时应确定技术方案，可采取增补、更换及修复锚杆等方法；

5 设计方复核后认为不合格程度对工程的安全、正常使用及耐久性影响程度可以接受，经工程主体责任方共同确认可降低设计标准及让步接收、不进行技术处理及复检。

【条文说明】【建设方应对处理方案承担首责，非责任主体但工程相关方宜提供数据或参考建议。复检后检测单位应给出该受检项目是否符合设计指标的评定结论。本标准中的受检项目指承载力、长度、浆体强度、持有拉力等锚杆参数，并非指工程项目。】

3.4.5 锚杆承载力及长度不合格复检时宜扩检，结果全部合格则应评定为该检验批合格；扩检仍有不合格项时可二次扩检，结果全部合格则应评定该检验批合格，否则应评定为验收不合格或继续扩检；扩检锚杆数量不应少于不合格个体数量的 2 倍。

3.4.6 持有拉力不合格复检时可对原锚杆按调整放张荷载、张拉、锁定及提离试验的程序重新检测一次，如果结果合格则应评定为验收合格，否则应评定为不合格，不合格时应参照 3.4.5 条规定进行扩检。

3.4.7 浆体强度验收不合格复检时可采用承载力验收试验进行验证检测，如果结果全部合格则应评定为检验批合格，否则应评定为不合格；验证试验数量不应少于该浆体强度不合格检验批的锚杆总数的 1%且不应少于 3 个。

3.4.8 锚具锁紧性不合格复检时宜按不合格样本的数量的 2 倍扩大抽检，如果均合格则应评定为验收合格，否则应评定为验收不合格、退场处理。

3.4.9 增补、更换及修复的锚杆原则上应进行检测验收。

3.5 试验与检测报告

3.5.1 作为验收依据的工程锚杆，试验与检测报告中应提供承载力、长度及持有拉力的成果是否满足设计指标的结论。

【条文说明】【试验与检测报告通常需要根据目的、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。】

3.5.2 报告应准确、详细和客观地报告每一项试验与检测的结果。

3.5.3 报告宜包含以下内容：

1 委托单位，委托日期，工程名称、地点，建设（及代建）、勘察、设计、监理和施工单位，基础（支护）结构型式等设计概况，试验与检测目的、依据、数量，日期、时间、温度，试验人员信息等；

2 地层描述及典型地层地质柱状图；

3 试验与检测方法、仪器设备及反力装置；

4 受检锚杆类型、设计参数（孔径、长度、倾角、杆体材质规格、锚筋自由段及粘结段

长度等) 及大样、编号、位置、锚杆布置平面图、相关施工记录及施工异常情况记录;

5 试验与检测过程、异常情况及破坏情形描述;

6 实测数据及记录图表;

7 分析计算曲线、表格和汇总结果;

8 和试验与检测内容相应的结论。

3.5.4 试验因锚座结构或地基土破坏或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使用, 需要利用时应加以说明。

3.5.5 气温及太阳照射对试验结果有较大影响时应予以修正。

3.5.6 报告结论页上应有主要试验与检测人员、报告编写人、审核人及批准人签字, 加盖检测单位的检测章。

3.5.7 检测报告应用词规范, 对容易混淆的术语和概念应以本标准为准。

4 锚杆荷载试验

4.1 一般规定

4.1.1 除了极限试验时的锚筋规格及数量，试验锚杆的设计参数、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。

【条文说明】【为了具有代表性，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、所处地层条件等应与拟建工程锚杆基本相同。当地层条件不同或同一地层条件下设计参数（例如锚杆直径和承载力）不同时，均应有代表性的试验锚杆。】

4.1.2 荷载分散锚杆宜采用多个千斤顶对各单元锚杆同步张拉。

【条文说明】【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可能产生卸载效应，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（各单元锚杆荷载相等或不相等均可）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。】

4.1.3 设计最大试验荷载 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，材料抗拉强度设计值应符合《混凝土结构设计规范》GB50010 的规定。

【条文说明】【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。】

4.1.4 初始试验荷载 P_a 宜为 $0.1P_p$ 且不宜大于 50kN。

【条文说明】【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。】

4.1.5 试验过程中锚筋及固结体应与垫层、锚座、荷载反力装置及千斤顶等一直处于有效隔离状态。

【条文说明】【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注润滑脂。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。这种方法较少采用。】

4.1.6 数据处理时应消除地基及反力装置变形等原因产生的影响。

【条文说明】【反力装置通常会因地基沉降、主梁挠曲变形等原因产生塑性变形、弹性变形及蠕变，试验荷载越大变形越大，数据处理时应扣除反力装置的变形，否则容易产生较大的测量误差。】

4.2 仪器设备与操作

4.2.1 千斤顶额定负荷宜为 $1.2P_p \sim 1.5P_p$ ，采用多台同步工作时型号及规格应相同。

4.2.2 传感器及仪器仪表除应符合下列规定外，尚应符合《压力传感器系列型谱》JB/T6172、《精密压力表》GB/T 1227、《线位移传感器校准规范》JJF 1305 及《指示表》GB/T 1219 等规定：

1 压力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 宜采用位移传感器或大量程位移测量仪表；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用于蠕变试验、锁紧试验、群锚试验等准确度要求较高的试验时不应大于 0.01mm，用于其它荷载试验时不应大于 0.1mm；

4 温度计的分度值不宜大于 0.5℃；

5 秒表的分度值不宜大于 0.5s；

6 最大测量值宜为满量程的 50%~80%。

4.2.3 反力装置（参见附录 B）应符合下列规定：

1 可采用支梁式、支墩式或压板式等独立反力装置，其中采用支墩式或压板式时墙、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 支墩式、压板式反力装置不应与试验锚杆及锚头各组配件接触；

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；

6 反力装置应采用成品或进行专项设计，专项设计时应符合《建筑地基基础设计规范》

GB50007、《混凝土结构设计规范》GB50010 或《钢结构设计标准》GB50017 等规定。

【条文说明】【实践中发现，不少极限试验是现浇混凝土锚座先发生破坏的，故采用这类锚座作为反力装置时宜由设计人进行专项设计。】

4.2.4 位移测量仪器仪表宜采用基准梁及基准桩方式固定，基准桩与锚杆及反力装置的中心距离不宜小于 4.2.3 条第 2 款支座与锚杆距离的规定。

4.2.5 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。

4.2.6 位移测量应符合下列规定：

1 锚筋数量为 1 条时应安装至少 1 个位移测量仪表，为多条时应安装至少 2 个、对称安装、取平均值作为位移实测值；荷载分散锚杆每个单元锚杆应安装至少 1 个位移测量仪表；反力装置上应安装至少 1 个位移测量仪表；

2 锚杆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；

3 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；

4 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，应避免受到振动影响。

4.2.7 张拉系统安装及操作应符合下列规定：

1 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；

2 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；

3 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；

4 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；

5 峰值荷载不小于 100kN 时在持载期间的变化幅度不应大于该峰值荷载的 1% 且不大于 10kN，峰值荷载小于 100kN 时变化幅度不应大于 1kN；

6 加载至最大荷载时液压泵及油管的压力不应超过其额定工作压力的 80%。

【条文说明】【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、斜锚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。另外，编制组数十组拉力型锚索试验成果表明：锚筋较长及数量较多时取 $0.2P_p \sim 0.3P_p$ 预张拉 1~2 次有时难以消除各钢绞线之间的受力不均匀现象，加大到 $0.4P_p \sim 0.5P_p$ 效果有时也不是很显著，此时最好采用多个千斤顶对各根钢绞线单独且同步张拉。】

4.2.8 试验时应采取必要的安全措施。

【条文说明】【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。】

4.3 极限试验及数据处理

4.3.1 极限试验锚杆宜符合下列规定：

- 1 试验目的为获取固结体与岩土体粘结强度时，施工时宜设置止浆塞等分隔浆体装置；
- 2 试验锚杆的材料、组配件、机械设备、施工工艺及参数、所处的工程地质及水文地质条件等应与工程锚杆基本相同；除非为了满足某一特定目标而设定的设计参数，其它设计参数应与工程锚杆基本相同；
- 3 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；
- 4 有条件时宜在锚筋、锚固段及（或）承压件上安装应力应变类及（或）位移传感器，测试锚筋及（或）锚固体的应力应变分布及（或）锚固段位移；
- 5 有条件时宜挖出检查。

【条文说明】【本标准建议：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；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，准确度有待提高，有条件时宜采用传感器或自测力锚杆直接测试；⑥试验后有条件时应尽量挖出检查以全面了解锚杆性能。】

4.3.2 试验加卸载应采用多循环法（参见附录 C），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，为 8 次时可增加 $0.4P_p$ 级，为 6 次时可将 $0.3P_p$ 级及 $0.5P_p$ 级合并为 $0.4P_p$ 级。

【条文说明】【本标准要求预应力锚杆及非预应力锚杆极限试验采用多循环法，单循环法有可能因极限破坏等原因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。多循环法加卸载循环次数一般分为 7 级，可根据承载力高低适当增减 1 级。承载力较高时循环次数宜较多，试验结果可更精确，但试验时间也越长、造价也越高。】

4.3.3 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；卸载时前两级过程荷载的观测期宜为 5min，其余加卸载过程荷载的观测期宜为 1min；

2 最短观测期宜按 1 次/1min、之后 45min 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 3.2.4 条所列情况时，每循环加载至峰值荷载下，第 5~15min 蠕变量不大于 1.0mm 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 3.2.4 条所列情况之一时，不应设置最短观测期，观测期宜如表 4.3.3 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，否则宜至最长观测期结束；

表 4.3.3 判断可能会发生较大蠕变情况时观测期

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

5 观测期超过 1h 后可采用蠕变率 α 不大于 2.0mm~5.0mm 之间的某个数值作为蠕变稳定判定指标。

【条文说明】【①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，否则可能会产生较大试验误差，一般不宜短于 15min；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前两级宜延长至 5min 以观测锚杆残留承载力。②国内外标准广泛以锚杆蠕变率 α 作为锚杆稳定判定方法：欧洲、日本及英国标准按地层及锚杆设计使用年限采用了不同的量化指标，复杂且偏于严格；美国标准相对简单且一直被国内大多数标准所采纳，故本标准以美标为基础、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；国际标准均采用蠕变率 α 为 2.0mm 对应的荷载作为判稳指标，本标准将之用于常规观测期，并量化为第 5~15min 蠕变量不大于 1.0mm 及 45min 内蠕变量不大于 1.2mm 以便于现场操作。③极限试验具有探究性质，为了更加全面准确的了解锚杆承载特性，宜采用更宽松的判稳指标，有经验时可采用一个不大于 5.0mm 数值。另外，进入延长观测期后，如能判断蠕变稳定则随时可中断当级荷载而进入下一级，不必等到观测期满。】

4.3.4 出现下列情况之一时宜判定锚杆达到承载能力极限状态并中止加载：

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

【条文说明】【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。另外，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。另外，100mm 是《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106-2014 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。】

4.3.5 加载至 P_p 后如未出现 4.3.4 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 $0.05P_p$ 。

【条文说明】【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。】

4.3.6 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（ $s-\lg t$ ）、蠕变量—时间对数（ $\Delta s-\lg t$ ）、蠕变率—荷载（ $\alpha-P$ ）等曲线（参见附录 D）。

4.3.7 宜根据下式计算蠕变率 α ：

$$\alpha = (s_2 - s_1) / (\lg t_2 - \lg t_1) \quad (4.3.7)$$

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，观测期在 1h 之内时 t_2 宜大于 t_1 至少 10min，超出 1h 时至少 20min。

【条文说明】【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，进入延长观测期后至少大于 20min。】

4.3.8 锚杆承载力检测值宜按下列规定计取：

1 $\alpha \geq 2.0\text{mm}$ 时取 2.0mm 对应的荷载，有 3.2.4 条所列情况之一时也可取 α 在 2.0mm~5.0mm 之间的某一数值所对应的荷载；

2 $\alpha < 2.0\text{mm}$ 且锚杆达到承载能力极限状态时取破坏荷载的前一级荷载；

3 $\alpha < 2.0\text{mm}$ 且锚杆未达到承载能力极限状态时取实际最大试验荷载；

4 非预应力锚杆取值不得大于累计位移量为 100mm 所对应的荷载。

4.3.9 锚杆承载力计取方法应符合下列规定：

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：

$$R_{um} = \sum_{i=1}^m R_{u,i} / m \quad (4.3.9-1)$$

$$\sigma_f = \sqrt{[\sum_{i=1}^m R_{u,i}^2 - (\sum_{i=1}^m R_{u,i})^2 / m] / (m-1)} \quad (4.3.9-2)$$

$$\delta_m = \sigma_f / R_{um} \quad (4.3.9-3)$$

$$\gamma_s = 1 - (1.704 / \sqrt{m} + 4.678 / m^2) \delta_m \quad (4.3.9-4)$$

$$R_{uk} = \gamma_s R_{um} \quad (4.3.9-5)$$

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 个试验锚杆承载力检测值 (kN) ;
 σ_f —— 标准差;
 δ_m —— 变异系数;
 γ_s —— 统计修正系数。

2 锚杆荷载试验数量少于 6 个时, 极差不超过平均值的 30%时取试验结果中的最小值, 极差超过平均值的 30%时分析原因, 结合施工工艺、地层条件等工程具体情况综合确定, 原因不能明确时面增加试验数量后重新统计。

4.3.10 对某种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。

【条文说明】【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前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。】

4.3.11 极限试验获得的锚杆性能参数应用于工程锚杆时应考虑适用条件。

【条文说明】【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考虑粘结强度随锚固长度的发挥程度; 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可能不宜直接通用; 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考虑粘结强度随粘结段长度的发挥程度; 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。】

4.3.12 预应力锚杆应计算表观锚筋自由长度 L_{app} , 宜按下式计算, 其中荷载分散锚杆宜按每个单元锚杆单独计算:

$$L_{app} = nA_s \Delta s_e E_s / (P_p - P_a) \quad (4.3.12)$$

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 与塑性位移 s_p 之差;
 E_s —— 锚筋材料的弹性模量 (MPa) 。
 P_a —— 初始试验荷载 (kN) ;
 P_p —— 设计最大试验荷载 (kN) 。

4.3.13 拉力型锚杆及压力型锚杆 L_{app} 上下限指标应分别符合式 (4.3.13-1) 及式 (4.3.13-2) 规定:

$$0.8L_{tf} + L_e \leq L_{app} \leq L_{tf} + L_{tb}/2 + L_e \quad (4.3.13-1)$$

$$0.8L_{tf} + L_e \leq L_{app} \leq 1.1L_{tf} + L_e \quad (4.3.13-2)$$

式中: L_{tf} —— 锚筋自由段长度 (m) ;
 L_e —— 张拉段长度 (m), 位移测量点设置在孔口处的杆体上时取 0。

L_{lb} —— 锚筋粘结段长度 (m)；

4.3.14 L_{app} 如不符合上下限指标，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。

【条文说明】【4.3.12~4.3.14 国际标准均把 L_{app} 作为预应力锚杆重要性能指标之一。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筋与孔道间摩阻力太大造成的。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} 上限误差通常较大，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 $0.9L_u$ ，实践证明偏于严格了。③ 锚筋与孔道间摩阻力可采用自测力锚杆测试。】

4.3.15 锚杆刚度系数宜按下式计算：

$$k_{RT} = (P_2 - P_1) / (s_2 - s_1) \quad (4.3.15)$$

式中： k_{RT} —— 通过锚杆试验获得的锚杆轴向刚度系数 (kN/mm)；

P_2 、 P_1 —— P - s 曲线上的特定荷载 (kN)，取值方法宜符合 4.3.16 条规定；

s_2 、 s_1 —— P_2 、 P_1 所对应的锚杆位移 (mm)。

4.3.16 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_0 ；

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。

【条文说明】【4.3.15~4.3.16 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。】

4.4 适应试验

4.4.1 适应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（参见附录 C）。

4.4.2 位移观测期、记录及稳定判定指标应符合下列规定：

1 观测期宜符合 4.3.3 条第 1 款规定；

2 位移记录频率宜符合 4.3.3 条第 2 款规定；

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 应判定为蠕变稳定；否则宜进入延长观测期继续观测，如蠕变率 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，否则宜至最长观测期结束。

【条文说明】【4.4.1~4.4.2 适应试验的主要作用之一就是“预验收”，正常情况下除了最长持载观测期外，两者试验参数及验收指标等均应基本相同。本条规定适应试验初次判稳的量化指标为第 5min~15min 蠕变量不大于 0.5mm，与极限试验相比严格不少，严格程度与国际标准相当，这是因为适应试验最大荷载低于极限试验的，最大荷载下的蠕变率也相应低，初次判稳指标宜与之大致相适应，故相对严格。】

4.4.3 出现 4.3.4 条所列情况之一时应判定锚杆达到承载能力极限状态并中止加载。

4.4.4 应整理试验数据，计算 α 、 L_{app} 及 k_{RT} 等参数，绘制 $P-s$ 、 $P-s_e$ 、 $P-s_p$ 、 $s-lgt$ 、 $\Delta s-lgt$ 、 $\alpha-P$ 等曲线（参见附录 D）。

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

- 1 加载至 P_p 时锚杆未出现 4.3.4 条规定的应中止加载情况；
- 2 预应力锚杆 L_{app} 符合上下限指标；
- 3 非预应力锚杆在 N_k 时的位移量不大于设计允许值，设计未做要求时不大于 20mm。

4.4.6 不符合设计指标锚杆应按下列规定处理：

1 宜取 α 为 2.0mm 时对应的荷载作为承载力检测值， α 小于 2.0mm 时宜取破坏荷载的前一级荷载；

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。

【条文说明】【①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 L_{app} 上下限指标、承载力等验收指标。②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。本标准根据本地经验及工程统计结果，推荐非预应力锚杆位移 20mm 对应着正常使用极限状态。③锚杆发生缓变型破坏时可清晰地判别出 α 值，发生突变型破坏时有时破坏荷载的前一级荷载的 α 小于 2.0mm。】

4.5 蠕变试验

4.5.1 蠕变试验加卸载方式及分级荷载宜符合 4.4.1 条规定。

4.5.2 位移观测期应符合下列规定：

- 1 每循环峰值荷载的位移常规观测期宜为 60min，延长观测期不宜少于 240min；卸载时前两级过程荷载的观测期宜为 5min，其余加卸载过程荷载的观测期宜为 1min；
- 2 荷载等级为 $1.5N_k$ （或 $1.25N_k$ ）时宜直接进入延长观测期，如表 4.5.2 所示。

表 4.5.2 蠕变试验观测期

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

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

【条文说明】【蠕变试验与验收试验加卸载方法应保持一致。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。】

4.5.3 位移记录及稳定判定指标应符合下列规定：

- 1 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 自动化测读并记录锚杆位移；
- 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（荷载达到 $1.5N_k$ 级以后可不延长），延长观测期内如果蠕变稳定随时可进行下一级试验，否则宜试验至最长观测期结束；
- 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。

【条文说明】【一般情况下蠕变试验都可以采用 α 为 2.0mm 作为判稳指标，但经验表明，有 3.2.4 条所示情况时这个指标有时会偏于严格，可根据工程具体情况适当放宽，但不宜大于 5.0mm，否则发生蠕变破坏的概率极高。】

4.5.4 出现 4.3.4 条所列情况之一时应判定锚杆达到承载力极限状态并中止加载。

4.5.5 试验数据整理应符合 4.4.4 条规定。

4.5.6 锚杆性能符合设计指标的判定应符合 4.4.5 条规定。

4.5.7 不符合设计指标锚杆处理应符合下列规定：

- 1 宜取按 4.5.3 条确定的蠕变率指标对应的荷载作为承载力检测值，未达到该指标时宜取破坏荷载的前一级荷载；
- 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。

4.6 验收试验

4.6.1 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（参见附录 C）。

【条文说明】【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

宜具备以下条件：（1）快速法试验结果与循环法有时存在一定偏差，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，故本法需工程各方同意后方可实施。】

4.6.2 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 或 α 不大于蠕变试验所确定的蠕变率时应判定为蠕变稳定；快速法也可采用与适应试验数据校准后得到的判稳指标。

【条文说明】【本稳定指标用于单循环法及快速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。第 5min~15min 蠕变量不大于 0.5mm 是偏于严格的判稳指标，在较短的判稳时间内采用较严格的指标是为了更好地保证工程结构安全。如果蠕变试验表明蠕变率 α 为 2.0mm 作为验收判稳指标偏于严格时，也可采取宽松一些的验收指标。】

4.6.3 出现 4.3.4 条所列情况之一时应判定锚杆达到承载能力极限状态并中止加载。

4.6.4 应整理试验数据，计算 α 及 L_{app} ，必要时绘制 $P-s$ 、 $P-s_e$ 、 $P-s_p$ 、 $s-lgt$ 、 $\Delta s-lgt$ 、 $\alpha-P$ 等曲线（参见附录 D）。

【条文说明】【试验结果符合验收条件时也可不绘制相关曲线，不符合时应绘制。】

4.6.5 同时符合下列规定时应判定锚杆承载性能符合设计指标，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 4.3.4 条规定的应中止加载情况；

2 预应力锚杆 L_{app} 符合上下限指标；

3 非预应力锚杆在 N_k 时的位移量不大于设计允许值，设计未做要求时不大于 20mm。

【条文说明】【 L_{app} 不符合 4.3.13 条规定的上下限指标时，应符合极限试验、适应试验或蠕变试验确定的上下限指标。】

4.7 提离试验与锁损试验

4.7.1 试验加卸载应采用单循环法（参见附录 C），分级荷载不大于 $0.7P_p$ 时宜为 $0.1P_p$ ，大于 $0.7P_p$ 后宜为 $0.05P_p$ 。

4.7.2 每级荷载均应测读并记录一次锚杆位移，观测时间宜为 1min。

【条文说明】【提离试验的主要目的即查明锚筋的持有拉力，一般不需测试变形性能，每级荷载观测时间 1min、能够稳定地测读出锚头位移即可。】

4.7.3 判断发生提离现象后应继续加载 2~3 级但不宜超过 P_p 。

【条文说明】【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 0.1mm~1.0mm 的塞尺辅助判断。实践发现,有时现场判断起来比较困难,肉眼判断的误差有时较大,为准确测定 P_r 及了解提离后的锚杆承载特性,在判断发生提离现象后应再加载 2~3 级或加载至 P_p 。】

4.7.4 判断发生提离现象后每级持载时间宜为 15min,宜按 1 次/1min 测读并记录锚杆位移,蠕变率大于 2.0mm 后可随时中止加载。

【条文说明】【试验荷载超过持有拉力后,宜执行适应试验时间以测试锚固体承载能力。】

4.7.5 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。

4.7.6 应整理试验数据,绘制 P - s 曲线(参见附录 D),计算 L_{app} 等参数。

4.7.7 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 曲线上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。

4.7.8 锚杆 P_r 为设计锁定力 P_d 的 0.7~1.1 倍时应判定为持有拉力符合设计指标,否则应判定为不符合。

4.7.9 锚索锁损试验应符合下列步骤:

- 1 安装工作锚、限位板、千斤顶及工具锚;
- 2 加载到 $1.1P_d$ ~ $1.2P_d$ 力或其它经验值,千斤顶放张,锚索锁定;
- 3 安装支架式或支墩式反力装置、千斤顶及工具锚等;
- 4 进行提离试验,测量实际锁定力;
- 5 计算拉力锁定损失,应为放张荷载与实际锁定力之差;
- 6 调整放张荷载,令其为 P_d 与 1.1~1.3 倍的拉力锁定损失之和,之后重新张拉锁定;
- 7 重复步骤 4~6,直到实际锁定力达到 P_d 。

4.7.10 钢筋锚杆及锚管锚杆锁损试验应符合下列步骤:

- 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 P_d ;
- 3 安装支架式或支墩式反力装置,安装千斤顶、工具螺母及垫块等;
- 4 进行提离试验,测量实际锁定力;
- 5 计算拉力锁定损失,应为放张荷载与实际锁定力之差;
- 6 调整放张荷载,令其为 P_d 与 1.1~1.3 倍拉力锁定损失之和,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;
- 7 重复步骤 4~6,直到实际锁定力达到 P_d 。

4.8 疲劳试验

4.8.1 试验加卸载应采用分级多循环法,上限荷载宜分为 $0.75N_k$ 、 $1.0N_k$ 、 $1.25N_k$ 及 $1.5N_k$ 四

级，下限荷载宜为交变荷载设计下限值且不高于同级上限荷载的 0.5 倍（参见附录 C）。

4.8.2 宜先快速加载到 $1.5N_k$ ，之后再反复加卸载。

4.8.3 每级荷载循环次数宜为 20~30 次。

【条文说明】【4.8.1~4.8.3 参考了日标及 ISO 标准并根据深圳市经验进行了调整。ISO 标准认为，一般情况下循环 20 次锚杆位移即可稳定。】

4.8.4 每级荷载均应测读及记录锚头位移，每循环峰值荷载的观测期最后一遍不宜少于 15min、其余宜为 1min，每级过程荷载的观测期宜为 1min。

【条文说明】【峰值荷载观测期不少于 15min 以利于判稳。】

4.8.5 应整理试验数据，计算 α ，绘制 $P-s$ 、 $s-lgt$ 及位移—循环次数（ $\Delta s-n$ ）曲线（参见附录 D），必要时绘制 $\alpha-lgt$ 曲线。

4.8.6 位移收敛于渐近线时应判定锚杆性能符合设计指标，上、下限荷载对应的位移渐近线可分别作为交变荷载下锚头最大位移及最小位移；位移不收敛时宜取最后一组收敛荷载作为锚杆疲劳荷载。

4.9 群锚试验

4.9.1 试验可在相邻 3 根锚杆上进行，试验锚杆可呈正三角形或一字型布置。

4.9.2 每条锚杆均应设置独立的反力装置及张拉系统，反力装置应采用支梁式。

4.9.3 试验时对各条主梁均应进行竖向位移监测。

【条文说明】【4.9.2、4.9.3 群锚试验时反力装置彼此之间的距离很难满足 4.2.3 条规定，因各主梁距离较近，支座可能因地基土应力场重叠而彼此干扰导致沉降或隆起，故应进行竖向位移监测以消除因此产生的测量误差。】

4.9.4 试验程序应符合下列规定：

13 根锚杆分别进行适应试验；

2 锚杆 a(一字型布置时中间的锚杆为 a)按快速法加载到 P_p ， P_p 观测期不宜少于 15min；

3 锚杆 b 按快速法加载到 P_p ， P_p 观测期不宜少于 15min，加载及持载期间，锚杆 a 荷载维持在 P_p ；

4 锚杆 c 按快速法加载到 P_p ， P_p 观测期不宜少于 15min，加载及持载期间，锚杆 a、b 荷载维持在 P_p ；

5 按锚杆 c、b、a 的顺序卸载至 P_a ，卸载时的过程荷载观测期宜为 1min；

6 改变锚杆 b、c 顺序，重复上述步骤；

7 按 1 次/min 记录锚杆 a、b、c 位移。

4.9.5 可先选择水平间距较小的一组锚杆进行试验，证实有群锚效应时再试验其它组锚杆。

4.9.6 先加载锚杆受后加载锚杆影响发生蠕变量异常增加或异常掉压现象时，可判断产生了群锚效应。

5 锚杆长度检测

5.1 一般规定

5.1.1 TDR 法及磁测井法检测时锚杆筋体应与锚座钢筋无导电连接，声波反射法检测时锚杆应与锚座无连接。

5.1.2 数据分析时应首先分析各种干扰因素对测试结果的不良影响并估计影响程度，消除人为疏忽或仪器设备故障等造成的粗差。

5.2 时域反射法

5.2.1 仪器设备宜符合下列规定：

- 1 波速调节范围宜为 60~300mm/ns；
- 2 应可发射不少于 2 种宽度的脉冲，脉冲宽度宜为 2ns~40ns，。

【条文说明】【锚筋与导线之间脉冲传播速度在不同的介质下是不同的，编制组实测空气中脉冲传播速度约为 220~240mm/ns，纯水泥浆中脉冲传播速度约为 80~100mm/ns，为测得不同介质下的脉冲传播速度，仪器的波速调节范围应覆盖以上波速范围。脉冲宽度较小时分辨率较高、高频信号衰减较快、锚杆底部的同向反射波幅亦较小，适用于短锚杆；脉冲宽度较大时分辨率较低、低频信号衰减较慢、锚杆底部的同向反射波幅亦较大，适用于长锚杆，长度检测时宜采用不同宽度的脉冲进行测试以获得最佳质量信号。】

5.2.2 导线规格及埋设宜符合下列规定：

1 宜埋设导线，导线宜为单芯单股铜芯绝缘硬线，规格宜为 1.5mm²、2.5mm² 或 4mm²，锚杆越长导线截面积宜越大；

- 2 导线末端应与锚筋底端平齐；
- 3 导线末端应与锚筋无导电接触，宜采用电胶布包裹；
- 4 导线应预先绑扎在锚筋侧并保持顺直状态，宜每 1.5m~2.0m 用绝缘材料固定 1 次；
- 5 导线应与锚筋一起安放至钻孔内后注浆；
- 6 施工过程中应注意保护导线，避免断裂及外部绝缘套破损。

【条文说明】【TDR 法不埋设导线也可测试锚筋长度，但反射信号较弱较模糊，需调整 TDR 仪器及需要较高的测试技术水平。锚杆越长导线被损伤的风险越大，导致截面积也应越大。】

5.2.3 校准锚杆宜专门制作，也可采用工程锚杆作为校准锚杆。

【条文说明】【测试经验不丰富时最好专门制作校准锚杆，目的是为了长度准确、注浆质量可控，以尽量减少测试误差。】

5.2.4 校准锚杆及测试宜符合下列规定：

- 1 同类型锚杆的校准锚杆数量不宜少于 3 根；
- 2 长度应已知；
- 3 长度宜在同类型锚杆中最长；
- 4 同类型锚杆的导线种类应相同；

5 测试时宜改变脉冲宽度以获取最佳测试信号。

【条文说明】【TDR 法宜以锚杆直径、锚筋品种、锚筋规格及浆体种类等作为同类型锚杆分类条件。每种类型锚杆均应有校准锚杆。不同种类的导线对测试结果有影响，不能混用。】

5.2.5 测试前应清除锚筋及导线表面附着的浆体及氧化物等杂质，保证导电性能良好。

5.2.6 应测量并记录锚筋外露长度。

5.2.7 信号采集和筛选宜符合下列步骤：

1 信号采集前应调试仪器，确保仪器与线路的连接正常，可采用 2 个测试夹短路的方式初步确定起始光标的位置；

2 应采用 2 个不同宽度的发射脉冲进行信号采集，选择锚杆底部同向反射明显或波幅较大的典型波形用于波速及锚杆长度计算，不选择具有明显反向反射波形、在主脉冲反射之前存在明显波形、无明显反射波形等作为非典型波形用于计算；

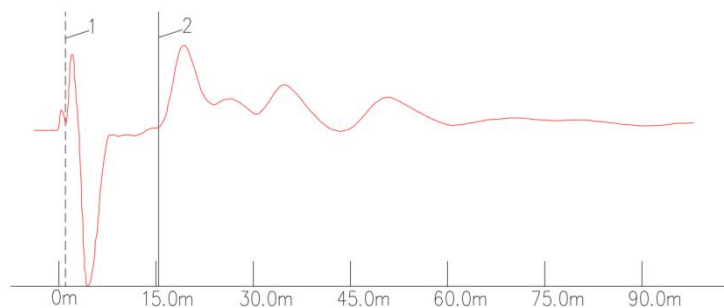
3 信号记录时间不宜少于 2 次发射脉冲在锚杆两端往返所需时间；

4 检测中应随时检查信号质量，选择具有明显反射的信号进行存储；

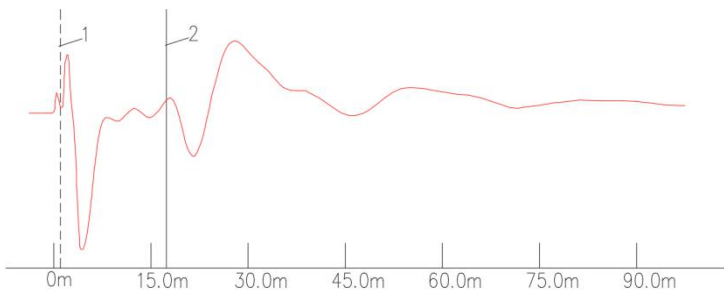
5 宜将 2 个测试夹相互碰触时波形发生反转的起始上升位置作为测试夹与锚筋接触位置、即锚杆端头位置，将最大波幅的同向反射波形起始上升位置作为锚杆末端位置；

6 可将起始光标移至锚杆端头位置及将结束光标移至锚杆末端位置，光标之间的时长作为发射脉冲与反射脉冲的时间差。

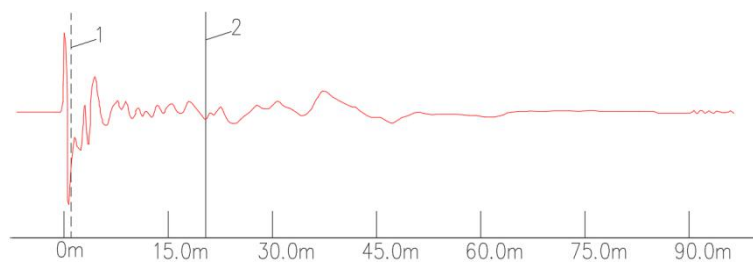
【条文说明】【波形通常先显示出许多振幅较小的脉冲，再是振幅较大的脉冲，结束光标应移至振幅最大的那一条，如图 1（a）所示。非典型波形如图 1（b）~（d）所示。



（a）典型波形



（b）有明显反向反射波形



(c) 信号紊乱，无明显反射波形



(d) 在主脉冲反射之前存在明显波形

图 1 TDR 典型及非典型脉冲信号

1—起始光标；2—结束光标】

5.2.8 校准锚杆的波速计算宜符合下列步骤：

- 1 采用 1 个脉冲宽度测量第 i 根校准锚杆的脉冲时间差；
- 2 按式 5.2.8 计算校准锚杆的波速；
- 3 采用另 1 个脉冲宽度重复测量；
- 4 取 2 个脉冲宽度波速的平均值作为第 i 根校准锚杆的波速；
- 5 取所有校准锚杆波速平均值作为脉冲传播校准速度 V_m (mm/ns)。

$$V_i = \frac{2L_i}{\Delta t_i - 2L_{iw}/V_0} \quad (5.2.8)$$

式中： V_0 —— 空气中的脉冲传播速度，可取 230 mm/ns；

V_i —— 第 i 根校准锚杆的脉冲传播速度 (mm/ns)；

L_{iw} —— 第 i 根校准锚杆的锚筋外露长度 (mm)；

L_i —— 第 i 根校准锚杆的固结体长度 (mm)；

Δt_i —— 第 i 根发射脉冲与反射脉冲的时间差 (ns)。

【条文说明】【部分 TDR 测试仪器界面上显示的锚杆长度，是根据选定的波速及测得的时间自动计算得出的，因为计算时未考虑锚筋的外露长度及锚筋中脉冲波速的变化，该长度只能作为现场测试时的粗判不能直接采用，否则可能产生较大的误差。另外，一些 TDR 仪器会考虑脉冲的传播时间，面板显示的时间实际上对应着 1 个锚杆长度，此时式 (5.2.8) 需相应调整。】

5.2.9 受检锚杆长度计算宜符合下列步骤：

- 1 采用 1 个脉冲宽度测量该锚杆的脉冲时间差；
- 2 按式 5.2.9 计算该锚杆长度；

- 3 采用另 1 个脉冲宽度重复测量；
- 4 取 2 个计算长度的平均值作为该锚杆实测固结体长度 L 。

$$L_c = V_m(\Delta t - 2L_w/V_0)/2 \quad (5.2.9)$$

式中： L_c —— 受检锚杆固结体计算长度（mm）；
 V_m —— 校准波速（mm/ns）；
 L_w —— 受检锚杆的锚筋外露长度（mm）；
 Δt —— 受检锚杆发射脉冲与反射脉冲的时间差（ns）。

5.2.10 有明显反向反射波形及无明显反射波形时，不宜对锚杆长度进行判定。

5.2.11 钻孔内锚筋长度不超过 10m 时检测允许误差不应大于 1.5m，超过 10m 时不应大于钻孔内锚筋长度的 15%。

【条文说明】【试验表明，介质为水泥浆时，同一场地同批次施工的锚杆测试波速一般为 80~100 mm/ns，无校准测试时平均波速可取 90 mm/ns。影响波速的因素包括介质（注浆体质量的差异）及脉冲宽度（不同脉冲宽度测得的波速略有差别）等，锚筋长度测试误差通常不大于 1.0m，但试验中波速最大测试误差、亦即锚筋长度误差可能达到 12%，故本标准允许偏差取 15%。】

5.2.12 锚杆实测长度在允许误差之内时应判定符合设计指标，否则宜判定为不符合。

5.3 磁测井法

5.3.1 仪器及磁场传感器宜符合下列规定：

- 1 测量深度不宜小于 100m；
- 2 磁感应强度测试范围宜为-99999nT~99999nT；
- 3 磁感应强度分度值宜小于 10nT，精度宜优于 50nT；
- 4 磁场传感器在 1.5MPa 水压下不应渗水；
- 5 测试深度分度值宜小于 50mm，深度误差宜小于 0.5m。

【条文说明】【①珠三角地区最长锚杆已达到近 70m，传感器应具备相应的测试能力。②每一观测点的磁场是由该点地磁场和磁性介质磁化场叠加的结果，仪器测量范围在 -99999nT~99999nT 能满足我国任一地区磁测工作要求。③磁敏元件灵敏度和精度是保证磁测工作精度的基本要求。④测点的深度步距对后期磁场梯度计算影响较大，因此要求检测设备具有较高的深度分辨力。⑤磁测井法属于孔内作业，磁场传感器的工作环境温度 and 耐压性能是检测工作的基本保证。⑥为了确保测试工作顺利进行，避免重复进退场，要求现场采集仪对采集数据应具有实时监控和初步分析处理功能。】

5.3.2 检测前应移除受检锚杆附近的机械设备、钢材等铁磁性较大物体。

【条文说明】【施工现场的机械设备、钢筋、钢绞线、钢管等铁磁性物体受地磁场磁化作用，在其周围会形成较强的磁化场。锚杆长度检测时，锚杆磁化形成的磁化场是测量研究的对象，其他铁磁性物体等形成的磁化场是干扰场，干扰场强度比锚杆磁化场强度更强时，锚杆磁化

场的分布特征会被干扰场掩盖，需要事先移除。】

5.3.3 测试孔布置应符合下列规定：

- 1 距离锚杆不宜超过 1.0m；
- 2 应尽量与锚杆轴线平行，竖向开孔时垂直度偏差不应大于 1%；
- 3 孔深宜超过锚杆底端不小于 5m；
- 4 孔径宜为 90mm~120mm；
- 5 钻孔宜采用 PVC 管等非磁性材料护壁，管内径宜为 60mm~90mm，管深度宜超过锚杆底端不小于 5m，磁场传感器应能在孔内自由升降；
- 6 测试完成后应封孔。

【条文说明】【①为减少测试误差，测试孔开孔方向应尽量与锚杆轴线平行且贴近锚杆，竖向开孔时钻机立轴、天轮中心与孔口中心应在同一铅锤线上，钻进过程中应经常对钻机立轴进行纠偏。②测试孔是磁场传感器的通道，常用传感器直径在 40mm 左右，为保证传感器在测试孔内顺畅通行，测试孔孔径不应小于 60mm。③为获得稳定背景场 Z_0 ，测试深度应超过锚杆深度 5m。④测试孔为斜孔时传感器不易下放至孔底，可采取在传感器上安装滑轮、钻机辅助下放等辅助措施。】

5.3.4 现场检测应符合下列步骤：

- 1 将设备安装好、传感器置入孔底后，匀速提升传感器，提升速率宜为 0.1m/s~0.15m/s；
- 2 采集磁场强度数据，测点间距宜为 0.05m~0.1m，在锚杆底端附近应取小值；
- 3 记录测试曲线并实时判断是否正常；
- 4 有效曲线不应少于 3 条；
- 5 测试曲线一致性较差时应分析原因、增加检测次数，必要时可充磁及将磁铁调转方向后重新测试；
- 6 初步判定实测长度不符合设计长度时应进行复测。

【条文说明】【①支好管口拉线滑轮及计数滑轮，连接计数电缆、传感器数据线及电源线，将磁场传感器放入测试孔底，之后提升测试。人工拉线要尽量保证缓慢匀速，拉线过快会导致某些特定点磁场读数为 0，容易误判。②为了突出受检锚杆，可对受检锚杆充磁以改变其周围感应场。③应采集多条实测曲线以消除人为或仪器设备等因素造成的偏离数据。④锚杆底部以下实测背景磁场值平滑稳定、锚杆筋体底部应磁反应明显则可判断信号正常。⑤锚杆底端位置与设计不符、出现异常实测曲线或实测曲线一致性较差时，应分析原因，排除影响测试的不良因素，必要时将磁铁反向后重新测试。】

5.3.5 垂直方向测试数据的分析与判定应符合下列规定：

- 1 绘制充磁前垂直深度—磁场强度垂直分量 (L_v-Z) 曲线，依据曲线下端平滑稳定的 Z 值判定测区垂直分量背景磁场强度 Z_0 ，当 Z 值相对 Z_0 有明显变化（高于或低于）时应判定有锚筋存在；

2 宜按式 (5.3.5) 计算磁场强度垂直分量梯度 dZ/dL_v ，综合 L_v-Z 及垂直深度—垂直分量梯度 (L_v-dZ/dL_v) 曲线初步判定锚筋底端深度 L_0 ， L_0 宜取 L_v-Z 曲线底部 Z 值由小于 Z_0 的极小值转成大于 Z_0 的拐点或 L_v-dZ/dL_v 曲线底部最深的极值点对应的深度位置；

$$\frac{dZ}{dL_v} = \frac{Z_2 - Z_1}{\Delta L_v} \quad (5.3.5)$$

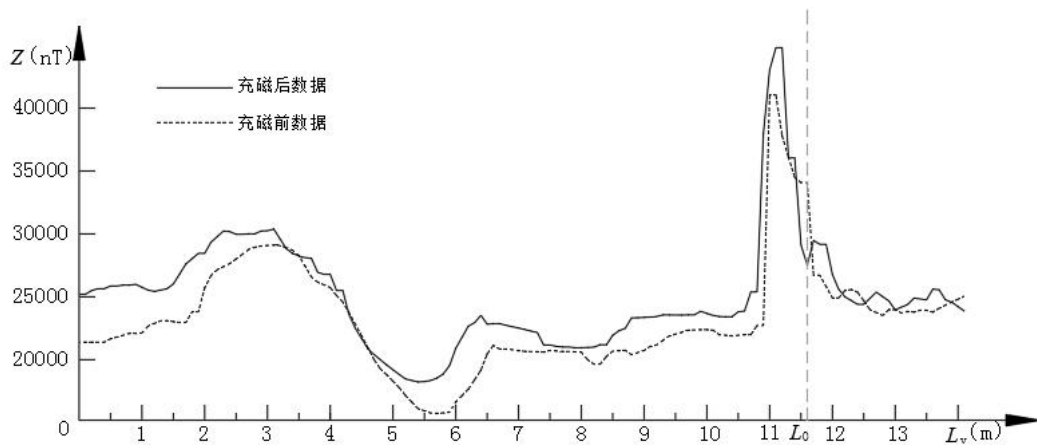
式中： dZ/dL_v —— 磁场强度垂直分量梯度 (nT/m)；

Z_1 、 Z_2 —— 上、下测点的磁场强度垂直分量 (nT)；

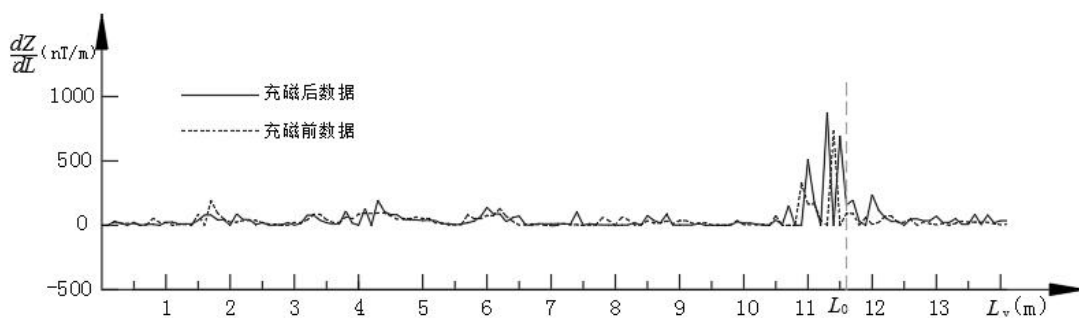
ΔL_v —— 上、下测点垂直间距。

3 绘制充磁后 L_v-Z 曲线，以充磁前的 Z 值作为背景场 Z_0 ，充磁后的数据消除 Z_0 后得到 L_v-Z 曲线及 L_v-dZ/dL_v 曲线，结合充磁前数据的初判结果，综合判定锚筋底端位置 L_0 。

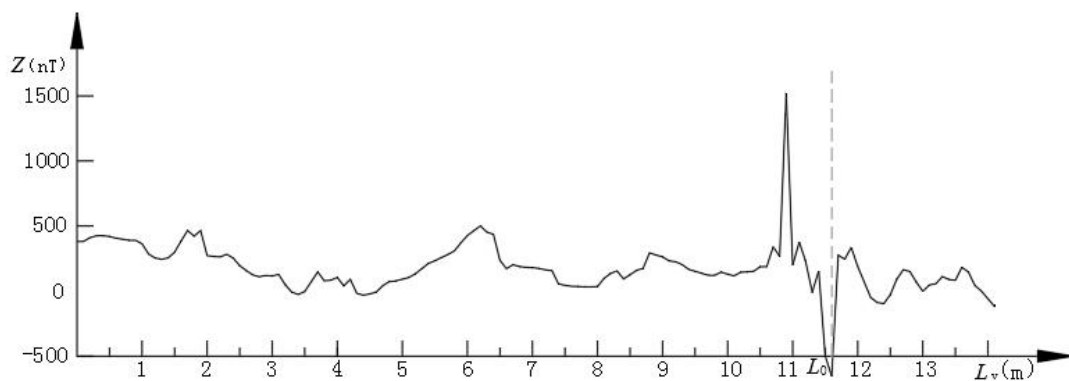
【条文说明】垂直方向磁测井法相关曲线如图 2 所示。锚筋在地磁场的作用下产生磁化场，锚筋底部为磁介质分界面，界面上部为铁磁性物质，下部为无磁性或弱磁性物质，界面向下逐渐变为稳定的背景场，锚筋底部位置磁场发生剧烈波动， Z 分量强度急剧变化，出现由极小值转变成大于背景场的拐点（斜率最大处），相应的 Z 分量强度梯度曲线出现极值点，可分辨出锚杆的存在。试验表明，对于锚杆而言， L_v-Z 曲线的 Z 分量拐点位置判读难度较大，而 dZ/dL_v 的灵敏度较高，故应结合 L_v-Z 曲线和 L_v-dZ/dL_v 曲线综合判定。同时，对锚筋出露地表段进行充磁，改变锚杆的磁场，以充磁前的磁场为背景场数据处理后求得充磁引发的磁场变化，绘制 L_v-Z 曲线和 L_v-dZ/dL_v 曲线，结合充磁前、后磁场数据进行综合判定，可判得较准确结果。



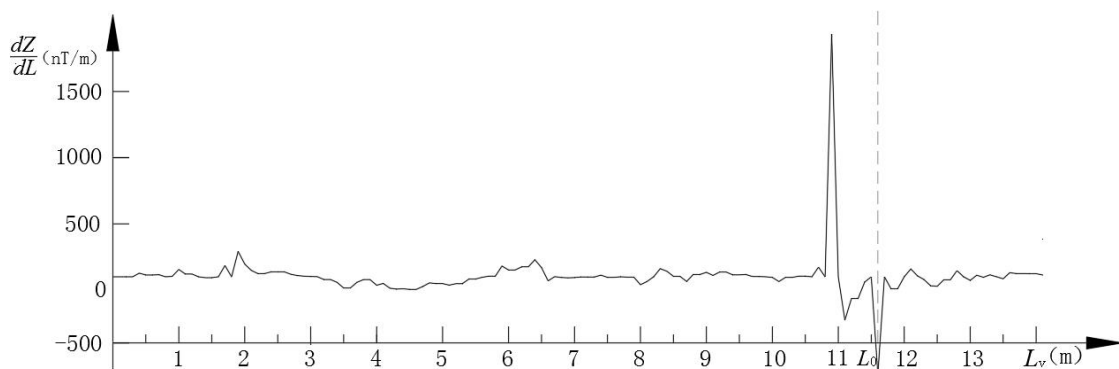
(a) L_v-Z 曲线



(b) $L_v - dZ/dL_v$ 曲线



(c) 以充磁前数据为背景场的 $L_v - Z$ 曲线



(d) 以充磁前数据为背景场的 $L_v - dZ/dL_v$ 曲线

【图 2 磁测井法测试曲线】

【条文说明】【垂直方向测试时，磁感应传感器在提升过程中晃动或转动，对水平分量影响比较大，测试误差较大，进而影响到磁场强度 T ，故以垂直分量 Z 为主要判据，水平分量和磁场总量仅作参考。倾斜或水平测试时，由于仪器测试的垂直及水平分量方向发生改变，与实际不同，故需要综合垂直分量、水平分量和磁场总量来判定。倾斜方向测试数据的分析与判定应符合下列规定：①绘制充磁前长度—磁场强度、垂直深度—磁场强度垂直分量及水平投影长度—磁场强度水平分量曲线，依据曲线下端平滑稳定的磁场强度判定测区背景场，磁场强度及各分量相对背景场有明显变化（高于或低于）时应判定有锚筋存在；②计算磁场强度梯度、垂直分量梯度及水平分量梯度，综合各曲线初步判定锚筋底端位置；③绘制充磁后曲线，以充磁前的数据作为背景场，充磁后的数据消除背景场后得到各种曲线，结合充磁前数据的初判结果，综合判定锚筋底端位置。】

5.3.7 钻孔内锚筋长度不超过 20m 时检测允许误差不应大于 1.0m，超过 20m 时不应大于钻孔内锚筋长度的 5%；测试孔与锚杆轴线不平行时宜计入因此产生的测量误差。

【条文说明】【试验表明，测试孔与锚杆轴线基本平行时，测试误差通常不超过 1.0m；不平行时，夹角越大带来的测试误差越大，测试结果中宜计入因此产生的误差。】

5.3.8 锚杆实测长度在允许误差之内时应判定符合设计指标，否则宜判定为不符合。

5.4 声波反射法

5.4.1 声波反射法有效检测的锚杆长度宜根据现场试验确定且不宜大于 10m。

【条文说明】【本节规定主要参照了《水电水利工程锚杆无损检测规程》DL/T 5424-2009 及《锚杆锚固质量无损检测技术规程》JGJ/T 182-2009，根据深圳经验进行了适当调整。声波反射法有效检测的锚杆长度与地层、锚杆直径、固结体种类及质量、锚筋种类及规格等多种因素相关，需根据具体情况现场试验后确定。】

5.4.2 仪器设备及传感器宜符合下列规定：

- 1 振源宜采用超磁激振器，激振频率应涵盖被检测锚杆的主频，宜为 10Hz~50kHz；
- 2 激振器激振端直径不宜大于锚杆直径的 1/4；
- 3 激振脉冲宽度宜为 0.5ms~1.0ms；
- 4 信号接收宜采用加速度传感器，频率响应宜为 10Hz~20kHz；
- 5 传感器接收面直径宜小于 16mm；
- 6 在线性响应范围内，加速度传感器的电荷灵敏度宜为 $10\text{pC}/(\text{m}\cdot\text{s}^{-2}) \sim 20\text{pC}/(\text{m}\cdot\text{s}^{-2})$ ，电压灵敏度宜为 $50\text{mV}/(\text{m}\cdot\text{s}^{-2}) \sim 300\text{mV}/(\text{m}\cdot\text{s}^{-2})$ 。

【条文说明】【激振器发射的激振信号在锚杆主频范围内锚杆的响应较好。随着锚杆长短及围岩软硬等条件改变，振源及激振频率应随之调整，故为了检测各种类型及条件下的锚杆，有必要配备多种振源及激振频率。传感器的灵敏度仅为参考，使测试信号满足采集仪量程及波形识别要求即可。】

5.4.3 仪器设备安装及测试操作宜符合下列规定：

- 1 接收传感器宜与锚杆端面磁性固定；
- 2 传感器接收面应与锚杆轴向垂直；
- 3 传感器不应安装在有托板锚杆的托板上，不应安装在空心锚杆的空腔内；
- 4 实心杆体的激振点宜选在杆体端面靠近中心位置，空心杆体的激振点宜选在靠近接收传感器一侧的管壁上；
- 5 磁激振器与激振点应接触紧密；
- 6 宜通过现场试验选择合适的激振力；
- 7 激振器激发时不应触及传感器；
- 8 信号记录时间不宜少于杆底 2 次反射所需时间；
- 9 应测量并记录锚杆外露长度、描述孔口段注浆情况。

【条文说明】【端发端收法采集的信号较好，应优先采用，空心锚杆不得已才采用侧发侧收法。振源激振方向应与锚杆轴线平行。】

5.4.4 受检锚筋端面应平整，外露段长度不宜超过 0.2m。

【条文说明】【声波反射法对测量端头要求严格，需要现场对锚杆端头截面进行磨平处理，才能将超声波耦合进锚杆。外露段较长时，环境存在振动或激振力过大会导致杆体自振产生干扰，影响有效信号的识别、判断及分析。】

5.4.5 宜专门制作校准锚杆，也可采用工程锚杆作为校准锚杆。

【条文说明】【测试经验不丰富时最好专门制作校准锚杆，目的是为了长度准确、注浆质量可控，以尽量避免误判断。】

5.4.6 校准锚杆的设置与测试应符合下列规定：

- 1 同类型锚杆的校准锚杆数量不宜少于 5 条；
- 2 长度应已知；
- 3 浆体养护期宜与工程锚杆基本相同；
- 4 宜选在易于开挖验证的位置；
- 5 测试时宜改变激振方式、激振力、采样频率、仪器频率等以获取最佳测试参数。

5.4.7 锚杆杆底反射信号识别宜以时域反射波为主、幅频域频差法为辅，信号微弱难以辨认时可采用瞬时分析法、小波分析法及能流分析法等方法进行识别。

5.4.8 校准锚杆的波速分析计算应符合下列步骤：

- 1 测量第 i 根校准锚杆的杆底反射波时长；
- 2 重复测试，直到符合 5.4.9 条规定的波形不少于 3 个；
- 3 按式 (5.4.8) 计算校准锚杆的波速；
- 4 取 3 个波速的平均值作为第 i 根校准锚杆的波速；
- 5 取所有校准锚杆波速平均值作为该同类型锚杆波速 C_m (m/s)。

$$C_i = 2L_{ri}/\Delta t_{ei} \quad (5.4.8-1)$$

$$\text{或 } C_i = 2L_{ri}\Delta f_i \quad (5.4.8-2)$$

式中： C_i —— 第 i 根校准锚杆的波速 (m/s)；

L_{ri} —— 第 i 根校准锚杆接收传感器至锚杆杆底距离 (m)；

Δt_{ei} —— 第 i 根校准锚杆杆底反射波时差 (s)。

Δf_i —— 第 i 根校准锚杆杆底相邻谐振峰之间的频差 (Hz)。

【条文说明】【杆底反射波与杆端入射首次波波峰间的时间差即为杆底反射时长，若有多次杆底反射信号，则应取各次时间的平均值。】

5.4.9 第 i 根校准锚杆的波速 C_i 与该同类型锚杆波速 C_m 相对偏差大于 5% 时不应作为有效波形计入 C_m 。

5.4.10 受检锚杆长度测试及计算应符合下列步骤：

- 1 测量受检锚杆的杆底反射波时长；
- 2 重复测试，直到符合 5.4.9 条规定的波形不少于 3 个；
- 3 必要时可对孔口缺浆段补浆后再进行测试；
- 4 杆底反射谐振信号的识别应以杆底谐振峰排列基本等间距、其相邻频差的相对误差不大于 5%为依据；
- 5 杆底反射时间差宜采用多个杆底谐振峰的平均值计算；
- 6 按式 5.4.10 计算该锚杆长度；
- 7 取所有计算长度的平均值作为该锚杆的实测长度。

$$L_r = 0.5C_m \Delta t_e \quad (5.4.10-1)$$

$$\text{或} \quad L_r = 0.5C_m / \Delta f \quad (5.4.10-2)$$

式中： L_r —— 受检锚杆接收传感器到锚杆杆体底端的长度（m）；

C_m —— 同类型锚杆波速（m/s）；

Δt_e —— 受检锚杆杆底反射波时差（s）；

Δf —— 受检锚杆杆底相邻谐振峰之间的频差（Hz）。

【条文说明】【锚杆孔口段缺浆对反射波信号影响较大，影响有效信号的识别、判断及分析，必要时可补满浆体后再进行测试。】

5.4.11 实测信号复杂、无规律时，不宜进行锚杆长度判定。

5.4.12 锚杆长度在 10m 以内时检测允许误差不应大于 1.5m。

5.4.13 锚杆实测长度在允许误差之内时应判定符合设计指标，否则宜判定为不符合。

6 其它试验与检测

6.1 回收试验

6.1.1 试验锚杆可在地表附近挖操作坑制作，技术要求应符合下列规定：

- 1 长度、锁定及承载力应取所有工程锚杆中的最大值；
- 2 基坑下半部分地层与地表附近相差较大时应补充 3 根；
- 3 材料、组配件、机械设备、施工工艺及参数等应与工程锚杆基本相同；
- 4 宜设置锚座，锚座可采用钢梁、混凝土墩或梁，承载力较大时应进行专项设计或采用成品，承载力较小时也可采用钢板。

【条文说明】【由于地层差异等原因，最大长度、锁定力及设计承载力不一定同时集中在某一工程锚杆上，可取最大长度、承载力及锁定力分别制作试验锚杆，也可令同一试验锚杆的长度、承载力及锁定力同时最大，后者较节约造价。有的基坑上半部分不存在、下半部分存在着淤泥等软弱地层，在地表附近进行的回收试验很难验证这种地层中锚杆回收能力，故应补充试验。回收试验锚杆一般设置锚座以利于张拉、锁定及回收作业，也可采用附录 B 所示各种反力装置。】

6.1.2 试验锚杆施工及保护应符合下列规定：

- 1 不应有拉拔、反旋、击入等误解锁动作；
- 2 不应损伤锚头、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、泥浆等杂物不应漏入护套及自解锁锚具内；
- 4 张拉段长度应能满足试验及回收操作需求；
- 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。

6.1.3 试验程序应符合下列规定：

- 1 按多循环法进行适应试验；
- 2 进行锁损试验，宜按所有工程锚杆设计锁定力中的最大值的 1.25 倍锁定；
- 3 持载时间宜为 1d~3d；
- 4 进行提离试验，测试持有拉力；
- 5 拆除锚具，解锁，回收锚筋。

【条文说明】【随着基坑开挖，基坑锚杆受力越来越大，锚筋持有拉力大于设计锁定力的现象时有发生，可回收锚杆在这种情况下应能保持自回收能力，故本条规定按最大设计锁定力的 1.25 倍锁定。试验锚杆持有拉力随着时间而减少，为了能够在较高应力水平体现锚杆回收能力，持载时间不宜大于 3d。】

6.1.4 同时符合下列规定应判定为试验合格：

- 1 适应试验结果符合验收条件；
- 2 持有拉力符合设计指标；

3 回收率 100%。

【条文说明】【回收试验回收率达不到 100%的可回收锚杆产品不得用于实际工程。】

6.2 锁紧试验

6.2.1 锁紧试验宜在实验室内进行，也可在现场进行。

6.2.2 试验用锚板及夹片应在进场验收后的成品中随机抽样，配套使用。

6.2.3 试验用钢绞线应在进场验收后的成品钢绞线上直接截取，长度根据试验设备确定；宜采用砂轮锯或切断机切断，不应采用氧气—乙炔焰及电弧切断，以防作业时产生的高温影响锚筋力学性能。

【条文说明】【氧气—乙炔焰及电弧切断作业时产生的高温可能会影响钢绞线力学性能。】

6.2.4 试验装置宜由受检锚板、夹片、钢绞线、锚垫板、千斤顶、荷载传感器及工具锚等组装而成（图 6.2.4），其中锚垫板应从现场随机选取。

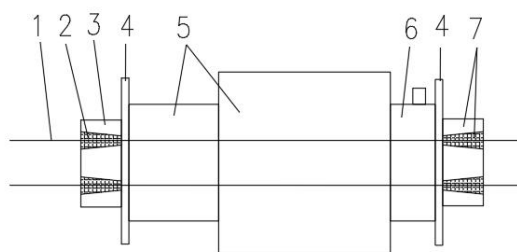


图 6.2.4 锁紧试验装置组装示意

1—钢绞线；2—夹片；3—锚板；4—锚垫板；5—千斤顶；6—荷载传感器；7—工具锚

【条文说明】【工具锚不需受检。必要时可在工具锚与千斤顶之间加设锚垫板。】

6.2.5 千斤顶、荷载传感器及位移测量仪器应符合 4.2 节规定。

6.2.6 测试程序应符合下列步骤：

1 装组各组件，夹片宜人工楔紧；

2 加载，张拉到钢绞线 0.2%屈服力 $F_{p0.2}$ 的 0.1 倍进行预紧， $F_{p0.2}$ 取值应符合《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224 规定；

3 检查各组件预紧状况，必要时可卸载重新组装；

4 按 $F_{p0.2}$ 的 0.4、0.5、0.6、0.7 及 0.8 倍分级加载，加载速率宜为 1kN/s~10kN/s；

5 前四级加载每级持载观测时间宜为 2min~5min，最后一级应为 60min；

6 卸载至 $0.4F_{p0.2}$ ；

7 加载至 $0.8F_{p0.2}$ ，持载观测时间宜为 2min~5min；

8 重复步骤 6、7，循环 20 次；

9 观测时间为 60min 时按 1 次/15min 的频率测量相对位移，为 2min~5min 时测量 1 次；

10 试验过程中如发现组件有损伤可随时中止试验。

6.2.7 各级荷载持载期的测试及观察应符合下列规定：

1 测量各条钢绞线的相对位移 Δs_a ；

2 测量各片夹片的相对位移 Δs_b ;

3 观察锚板、夹片及钢绞线的损伤部位与形式。

6.2.8 同时符合下列规定时应判定锚具锁紧性能合格，否则应判定为不合格：

1 Δs_a 及 Δs_b 在 $0.8F_{p0.2}$ 持载期及循环持载期无明显变化；

2 锚板无裂纹、无明显残余变形；

3 夹片无断裂、无横向裂纹、无斜向裂纹、无明显纵向裂纹；

4 钢绞线无断裂，或断裂部件不在夹片处附近。

【条文说明】【锁紧试验破坏形式只能是钢绞线破坏，如果锚板或夹片损伤破坏，说明要么锚具质量不佳，要么说明配套程度不佳。 Δs_a 及 Δs_b 可能会随荷载增加而增加，但在 $0.8F_{p0.2}$ 持载期及循环持载期应无明显变化，如不能保持稳定，说明锚具已失去锁紧钢绞线的能力。夹片允许有轻微纵向裂纹，受钢绞线破断的剧烈冲击引起的破坏断裂属于正常情况。】

6.2.9 试验过程中应采取安全措施防止夹片飞出伤人。

6.3 浆体强度试验

6.3.1 浆体为水泥砂浆时可执行本标准或《建筑砂浆基本性能试验方法标准》JGJ/T 70，为水泥净浆时应执行本标准。

【条文说明】【现有技术标准对水泥砂浆及混凝土强度试验有具体规定，但没有对水泥净浆强度试验及强度评定方法的规定。本标准弥补了这一空白。】

6.3.2 浆体强度评定应采用 70.7mm 立方体试块。

6.3.3 试验仪器设备应符合下列规定：

1 试模应为 70.7mm×70.7mm×70.7mm 的带底试模，应符合现行标准《混凝土试模》JG237 规定，应具有足够的刚度并拆装方便。试模的内表面应机械加工，平整度应为每 100mm 不超过 0.05mm，组装后各相邻面的不垂直度不应超过 $\pm 0.5^\circ$ ；

2 压力试验机准确度应为 1%，试块破坏荷载宜不小于压力机量程的 20%且不宜大于全量程的 80%；

3 压力试验机上、下压板及试块之间可垫钢垫板，垫板的尺寸应大于试块的承压面，平整度应为每 100mm 不超过 0.02mm。

【条文说明】【除试块制作及强度代表值确定外，试验所需仪器设备、试块养护、试验步骤及试块强度计算均参照了《建筑砂浆基本性能试验方法标准》JGJ/T 70。】

6.3.4 试块制作及养护应符合下列规定：

1 试块宜采用从孔口收集的返浆制作，也可从锚杆固结体上取样制作；

2 采用返浆制作时宜取锚杆停注前的返浆，收集返浆时应避免收集泥浆、土块、石屑、砂石、草木、垃圾等杂质；

3 采用返浆制作时应采用黄油等密封材料涂抹试模的外接缝，试模内应涂刷薄层机油或隔离剂，将拌制好的注浆材料一次性装满试模；

4 试块制作后应在温度为 $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ 的环境下静置 $24\pm 2\text{h}$ ，之后对试块进行编号、拆模。当气温较低或者凝结时间大于 24h 时可适当延长时间，但不应超过 2d 。试块拆模后应及时放入温度为 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为 90% 以上的标准养护室中养护。养护期间，试块彼此间隔不得小于 10mm ，试块上面应覆盖，防止有水滴在试块上。

【条文说明】【用孔口返浆制作的试块更接近于锚杆锚固体实际强度。】

6.3.5 抗压强度试验应符合下列规定：

- 1 试块从养护地点取出后应及时进行试验；
- 2 试验前应将试块表面擦拭干净、测量尺寸并检查其外观，当实测尺寸与公称尺寸之差不超过 1mm 时可按照公称尺寸计算试块的承压面积；
- 3 应将试块安放在试验机的下压板或下垫板上，试块承压面应与成型时的顶面垂直，试块中心应与试验机下压板或下垫板中心对准；
- 4 开动试验机，当上压板与试块或上垫板接近时，应调整球座使接触面均衡受压；
- 5 试验应连续且均匀加载，加载速率应为 $0.25\text{kN/s}\sim 1.5\text{kN/s}$ ，试块强度较低时宜取下限；
- 6 当试块接近破坏而开始迅速变形时，应停止调整试验机油门直至试块破坏，然后记录破坏荷载。

6.3.6 试块抗压强度检测值宜按式（6.6.6）计算：

$$C_c = N_u / A_0 \quad (6.6.6)$$

式中： C_c —— 试块抗压强度检测值（MPa），应精确至 0.1MPa ；

N_u —— 试块破坏荷载（N）；

A_0 —— 试块承压面积（ mm^2 ）。

6.3.7 每组试块抗压强度代表值确定方法应符合下列规定：

- 1 应以 3 个试块抗压强度检测值的平均值作为该组试块的抗压强度代表值；
- 2 当 3 个检测值中的最大值或最小值中有一个与中间值的差值超过中间值的 20% 时，应取中间值作为该组试块的抗压强度代表值；
- 3 当 3 个检测值中的最大值及最小值与中间值的差值均超过中间值的 20% 时，可取中间值作为该组试块的抗压强度代表值或认定该组试验结果无效。

【条文说明】【试块强度不可避免地会受到收集到的返浆中的杂质干扰，离散性较大，统计结果表明，差值 20% 是一个较为合适的分选指标。返浆试块与原浆试块的对比试验结果表明，返浆试块强度可低至原浆试块强度的 70% 。】

6.3.8 浆体试块强度代表值符合设计强度时应判定为强度合格。

【条文说明】【本节规定的锚杆浆体试块的制作、重要性、责任方等均不同于混凝土，可不采用混凝土强度评定方法。】

6.4 自测力锚杆法测试

6.4.1 自测力锚杆产品应符合下列规定：

- 1 传感器的准确度等级不应低于 0.5 级，分度值不宜低于 1.0kN；
- 2 传感器的量程宜分级设置，最小量程不宜低于 300kN；
- 3 传感器及导线的防渗能力宜分级设置，最低等级宜为 0.5MPa 水压下不渗水；
- 4 导线应具有较强的适应变形能力，可采用高松驰材料导线；
- 5 钢绞线应在外端头采用激光打码机标记钢绞线长度，且标记位置不宜少于两处；
- 6 应在工厂内完成组装。

【条文说明】【锚杆受力后产生变形，锚筋自由段越长变形值越大，导线应具有适应较大变形的能力以防拉断，尤其是在极限试验时。钢绞线长度标记的主要目的是为了避免出错及长度检测。】

6.4.2 采用自测力锚杆的试验锚杆数量不应少于 3 根。

6.4.3 自测力锚杆的设计参数宜由设计人确定。

6.4.4 自测力锚杆的施工机械设备、施工工艺及参数等应与其它工程锚杆基本相同。

6.4.5 施工及试验过程中不得损伤导线。

6.4.6 现场测试程序应符合下列步骤：

- 1 在锚杆浆体终凝 3d 内即进行首次测试，检查传感器及线路是否完好；
- 2 试验前测读初始压力值；
- 3 按加卸载程序逐级加载至 P_p ，在每循环（级）峰值荷载下按 1 次/5min 频率测读压力峰值；
- 4 卸载到 P_a ，测读压力谷值；
- 5 重复步骤 3、4，直到相邻两次压力峰值的相对差小于 5%。

【条文说明】【重复测试的目的是了解摩阻力的影响程度。重复次数越多，摩阻力消除量越大。】

6.4.7 测试结果应与千斤顶荷载对比，两者之差即为该级荷载下锚杆的摩阻损失。

6.4.8 可将提离试验获得的表观锚筋自由长度与标识长度进行对比，检测结果可作为表观锚筋自由长度验收依据。

6.5 分布式光纤法测试

6.5.1 传感光缆及光纤解调设备应符合下列规定：

- 1 光缆应变范围宜为 $\pm 10000\mu\epsilon$ ，
- 2 光缆抗拉强度及耐磨损性应满足现场施工和拉拔测试环境的要求；
- 3 宜采用单模光缆；
- 4 宜采用金属基索状应变传感光缆；
- 5 光纤解调设备最小空间分辨率不宜大于 0.5m，最小采样间隔不宜大于 0.1m；
- 6 设备测量准确度不应低于 $40\mu\epsilon$ ，测量重复性宜优于 $50\mu\epsilon$ ；
- 7 设备的数据采集时间不宜大于 5min。

【条文说明】【为避免测试过程中仪器采集影响锚索试验进度，要求仪器采集时间不大于

5min。锚索试验过程中最大应变通常在 2000 $\mu\epsilon$ 以上，要求仪器应变测量准确度不低于最大应变量的 1/50 即 40 $\mu\epsilon$ ，原则上尽可能选择精度较高的光纤解调设备。为避免光缆在运输和安装过程中损坏，光缆应具有一定的抗拉强度及耐磨损性。】

6.5.2 光缆布设应符合下列规定：

- 1 进行光缆选型及确定布设方案；
- 2 检查光缆应变系数和温度系数，有条件时可采用光纤解调设备进行系数标定；
- 3 检查光缆断点及损耗，损耗宜不大于 10dB；
- 4 光缆可布设在锚筋上或（及）固结体中，布设工艺宜符合 6.5.4 条规定；
- 5 光缆宜沿锚筋外侧呈对称形状布设，底部穿过隔离架时弯曲半径应不小于 20 倍光缆直径，宜对称穿过隔离架，有条件时可布设 2 条回路。
- 6 光缆布设前宜在一端连接跳线；
- 7 光缆引线宜固定在锚索顶部并做好保护措施；
- 8 锚杆杆体放进钻孔后应重新拉紧光缆并进行固定，宜再次检测断点和损耗；
- 9 传感光缆布设时应加强传感光缆布设过程的质量控制，避免传感光缆出现损伤和断裂。

【条文说明】不同的光纤解调设备标定的光缆系数不同，有条件时可利用试验光纤仪器设备进行系数标定。光缆断点及损耗检查可借助红光笔、光功率计和 OTDR（光时域反射技术）进行。双端测量光纤解调设备允许损耗为 20dB~25dB，单端测量光纤解调设备允许损耗为 30 dB，考虑拉拔过程中光纤拉伸损耗增大，实际布设光缆本身损耗不宜大于 10dB。光缆引线即为钻孔外光缆，锚索制作时通常预留约 1.2m 进行相关试验，光缆引线宜大于 4m。光缆沿锚筋外侧对称布设，一方面可对两侧数据进行对比分析以及平均计算，另一方面光缆出现断点时可从两端采集数据，确保试验的完整性。光缆弯曲引起损耗增大，光缆对称穿过隔离架可形成较大弯曲半径，有效降低弯曲损耗。】

6.5.3 光纤布设宜符合下列步骤：

- 1 将光缆沿着锚筋方向放开，穿过各种对中架和束线环；
- 2 将光缆一端固定，另一端用力拉紧光缆（或利用锁线器拉紧）后绑紧固定；
- 3 光缆附着在锚筋上时，宜在拉伸两点间用尼龙扎带或胶带绑扎固定，逐点拉伸固定，固定点间距宜为 0.5m~1.0m；
- 4 光缆埋设在固结体中时，宜先在头尾两端拉伸后用胶带绑扎固定，中间部分用尼龙扎带宽松地绑扎在锚杆杆体的定位架上，绑扎点间距宜为 1.2m~1.5m；
- 5 在光缆弯曲及出露地表位置，宜松套套管保护，防止光缆折断。

6.5.4 测试操作应符合下列规定：

- 1 测试前应进行仪器调试并根据测试得到的布里渊频谱、光损和应变等确定合理的光纤解调仪测试参数，同一锚杆每次测试参数应保持一致；
- 2 测试前应选取光缆特征点进行定位，确定锚索内光缆起始位置及长度，光缆长度发生变化时应重新定位；

- 3 在锚杆荷载试验加载前,应采集 3 次光纤有效测试数据并取平均值作为试验初始读数;
- 4 试验加载过程中,应在本级荷载加载完成且锚杆位移稳定后进行数据采集;
- 5 每级数据采集完成后,应进行数据检查,发现光纤测试数据异常、测试信号信噪比较低时,应检查光路、测试参数设置并重新测试;

6 测试时宜对光纤解调仪的测试参数、测试次数、测试时间、数据异常以及现场出现的问题或故障进行记录。

【条文说明】【分布式光纤应变监测系统的性能取决于测试参数的设置,应根据测量精度和采集时间选择最优仪器参数设置。锚杆在各级荷载作用下的应变分布均为相对于初始状态的应变差值,为便于光纤应变计算分析,对同一锚杆应采用相同的空间分辨率、采样间隔、扫描频率步长等测试参数。光纤定位是将测试光纤的距离与锚杆的空间位置进行匹配,可采用如下方法:①温度标识法。在锚杆端部采用热水、发热袋、热吹风等方法使得 0.5m~1m 长度范围的光纤发生明显温度变化,测试前后数据,根据温度引起的应变异常部位来定位;②微弯法。在锚杆端部弯曲光缆,通过仪器的 OTDR 功能来对弯曲位置进行定位;③实际测量法。利用钢尺测量光纤从仪器到锚杆端部的实际长度来定位。试验加载前采集数据作为测量基准,测试范围内 3 次数据的应变极差应小于仪器的重复性误差,取 3 次测试数据的算术平均值作为初始值。数据采集完成后,应检查文件是否保存、布里渊频谱是否完整平滑、光谱能量是否正常,待检查无误后加载下一级。测试发现断点或损耗较大时宜拔出锚索,重新布设光缆。】

6.5.5 数据处理应符合下列规定:

1 数据处理前,应将光缆特征点位置与锚杆空间位置对应以进行数据定位,宜根据数据定位结果选取测试目标范围内的光纤测试频率值进行计算分析;

2 锚杆有效锚固长度宜取长度—应变曲线上两个应变零点之间的距离;

3 锚杆应变可按式 (6.5.5-1) 计算:

$$\varepsilon_i(z) = [v_i(z) - v_0(z)] \times C_s \quad (6.5.5-1)$$

式中: $\varepsilon_i(z)$ —— 在第 i 级荷载下深度 z 处锚筋或锚固体应变;

$v_0(z)$ —— 初始状态下深度 z 处光纤的初始布里渊散射光频移量 (MHz);

$v_i(z)$ —— 在第 i 级荷载下深度 z 处光纤的初始布里渊散射光频移量 (MHz);

C_s —— 光纤布里渊散射光的频移量与应变的比例系数 ($\mu\varepsilon/\text{MHz}$)。

4 拉力型及全粘结锚杆锚筋轴力可按式 (6.5.5-2) 计算:

$$Q(z) = \varepsilon(z)EA \quad (6.5.5-2)$$

式中: $Q(z)$ —— 深度 z 处锚筋轴力 (N);

E —— 锚筋材料弹性模量 (MPa);

A —— 所有锚筋横截面积之和 (mm^2)。

5 拉力型及全粘结锚杆粘结强度可按式 (6.5.5-3) 计算:

$$f_m(z) = \frac{dQ(z)}{udz} \quad (6.5.5-3)$$

式中： $f_m(z)$ —— 深度 z 处锚杆摩阻力（MPa）；

u —— 锚固体周长（mm）。

6 压力型锚杆宜取光缆末端有信号处作为锚杆杆底，相应长度亦为锚筋自由段长度；拉力型锚杆宜取光缆末端随着荷载增加但信号位置不变处作为锚杆杆底，宜取信号从孔口开始明显衰减处为锚筋自由段底端；

7 可参照本条 3~5 点测试压力型及压力分散锚杆的锚杆杆体应变及计算锚筋摩阻力。

【条文说明】【完成数据定位后，将测试数据进行分割提取，选取锚杆长度范围内的测试数据进行计算分析，以锚杆深度为坐标重新定义数据的 X 轴，其中光纤由锚杆底部向顶部方向的数据需要进行上下倒转。】

7 远程数据传输

7.1 一般规定

7.1.1 用于工程验收的锚杆试验与检测应具备、用于其它目的的宜具备远程数据传输系统。

【条文说明】【锚杆试验与检测的远程数据传输系统，指基于无线/有线网络，能够对试验及检测数据、报警及状态等信息进行远程实时采集、传输、存储、处理的系统。】

7.1.2 用于工程验收的锚杆试验与检测应实时传输数据至相关机构的远程监控平台。

7.1.3 用于数据远程传输的锚杆试验与检测信息宜包括：

- 1 实时数据及数据修正、时间修正、手动记录、暂停试验等试验过程中出现的异常情况；
- 2 检测项目的辅助信息（文本信息及图像信息）；
- 3 前期准备及检测过程中关键节点与状态的图像及视频信息；
- 4 受检工程及受检锚杆的地理位置信息。

7.1.4 本章未尽之处宜执行《地基基础检测与监测远程监控技术规程》DBJ/T15-158。

7.2 仪器设备

7.2.1 数据自动采集及远程传输系统的仪器设备宜符合下列规定：

- 1 应能自动采集受检工程及对象等的地理位置信息，水平定位误差宜小于 15m；
- 2 应能够实时同步采集及存储数据，并应具有无线及有线传输功能；
- 3 应具有文本、图像及视频等信息实时传输功能，并应具有数据加密及传输因故中断后断点续传功能；
- 4 应具备操控/显示屏，应能现场操作、显示并输出原始记录表及数据汇总表等数据；
- 5 应支持 NTP/SNTP 协议校时，实现时间同步；
- 6 应具有人工记录数据功能；
- 7 应有故障自动及人工报警、数据自动备份、运行日志自动记录等功能；
- 8 外壳防护等级不宜低于 IP65；
- 9 用于荷载系统时应具有自动及手动加卸载保护功能；
- 10 采集及接口软件不应提供二次操作采集数据功能，不应提供修改原始数据功能。

7.3 信息采集与传输

7.3.1 试验与检测开始前，可采集下列信息：

- 1 工程名称及位置等工程信息；
- 2 受检锚杆位置、编号、设计承载力等锚杆信息；
- 3 试验类型、最大试验荷载、反力装置类型及加载方式等试验参数信息；
- 4 千斤顶等加载装置、荷载测量及位移测量的仪表及校准情况等试验用仪器设备信息；
- 5 上岗证等检测人员信息等；

6 试验采用的技术标准等试验依据信息。

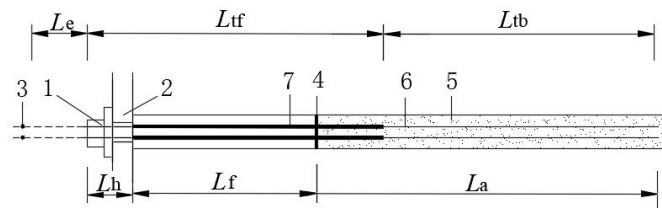
7.3.2 锚杆的地理位置信息宜在锚头或锚头对应的地面采集。

7.3.3 试验与检测过程中，可采集的下列关键节点与状态信息：

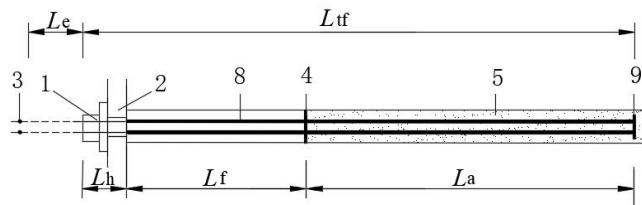
- 1 加载反力装置、锚杆及基准桩等的平面位置关系；
- 2 初始荷载、最大试验荷载、终止试验时的加载装置、荷载及位移测量仪器；
- 3 加载及位移测量仪器重新安装的过程；
- 4 试验破坏状态；
- 5 现场出现的异常情况。

附录 A 锚杆结构原理与类型（资料性附录）

A.0.1 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，典型结构原理如下图所示。其中：锚垫板指安装在锚座表面将锚具荷载分散传递到锚座的钢板；锚座指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；浆体狭义上指水泥净浆，广义上为水泥浆、水泥砂浆及细石混凝土等水泥系胶结材料的合称；锚杆筋体指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；承压件指位于压力（分散）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；锚固段指通过固结体或机械部件将锚杆拉力传递给周边地层的那部分锚杆；自由段指位于锚固段近端与锚头之间的那部分锚杆；锚头指位于地表的那部分锚杆；锚筋粘结段指与固结体粘结并传递拉力给固结体的那部分锚筋，简称粘结段；锚筋自由段指位于锚具与粘结段近端或锚具与承压件之间、受力后能够自由伸长产生拉应力的那部分锚筋；锚筋张拉段指位于锚具以外用于锚杆张拉的那部分锚筋，简称张拉段。



(a) 拉力型锚杆



(b) 压力型锚杆

图 A.0.1 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

A.0.2 本标准中涉及的锚杆类型及名词如下：

1 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称为预应力锚杆，主要类型有：（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）荷载分散锚杆；

2 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（压力）型锚杆组成的复合预应力锚杆称为荷载分散锚杆，其中的个体锚杆称为单元锚杆；荷载分散锚杆分为

拉力分散锚杆及压力分散锚杆两类，单元锚杆只有 1 组时也称为拉力（压力）集中锚杆，简称为拉力（压力）型锚杆；

3 没有设置锚筋自由段的锚杆称为非预应力锚杆，主要类型有：（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钢花管土钉、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；钢管锚杆也可不注浆；（2）摩擦锚杆，指钢管锚杆、自钻锚杆、缝管锚杆、水胀锚杆等主要依靠全长与地层的摩擦获得抗拔力的锚杆；（3）全粘结锚杆，指钻孔后注浆及置入杆体形成、除了孔口处可能设置很短的锚筋自由段外、杆体全长粘结的锚杆，杆体材料一般为钢筋，胶结材料可为浆体、树脂、水泥卷、水泥石等；（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；

4 钻孔注浆锚杆指采用先钻孔后注浆工艺形成的胶结材料为浆体的锚杆；

5 严格意义上全长位于岩层、广义上锚固段位于岩层中的锚杆称为岩层锚杆，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；全长位于其它地层（岩体基本质量级别 V 级及土层）中的锚杆称为土层锚杆；

6 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石的锚杆称为水泥石锚杆；

7 采用机械扩体、水力扩体及囊袋等形式对锚固体截面局部扩大的锚杆称为扩体锚杆，扩体锚杆可设置为预应力锚杆及非预应力锚杆；扩体锚杆的扩体内通常为水泥石，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，在水泥石固结体内形成浆体芯；

8 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称为可回收锚杆；

9 自测力锚指通过预装在承压件上的压力传感器可自行测量锚固体底端所承受压力的压力型及压力分散锚索，也称为数字锚；

10 所服务工程对象不同的锚杆可分别称为基坑锚杆、边坡锚杆、抗浮锚杆、基础锚杆、隧道锚杆、挡墙加固锚杆等。

附录 B 反力装置类型（资料性附录）

B.0.1 锚杆荷载试验常用反力装置可分为支架式、支凳式及压板式，如图 B.0.1 所示。

B.0.2 支架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，如图 B.0.1（a）及 B.0.1（b）所示。

B.0.3 支凳式反力装置一般为板凳状或厚筒状钢构件，如图 B.0.1（c）及 B.0.1（d）所示。

B.0.4 压板式反力装置一般为钢或混凝土构件，如图 B.0.1（e）及 B.0.1（f）所示。

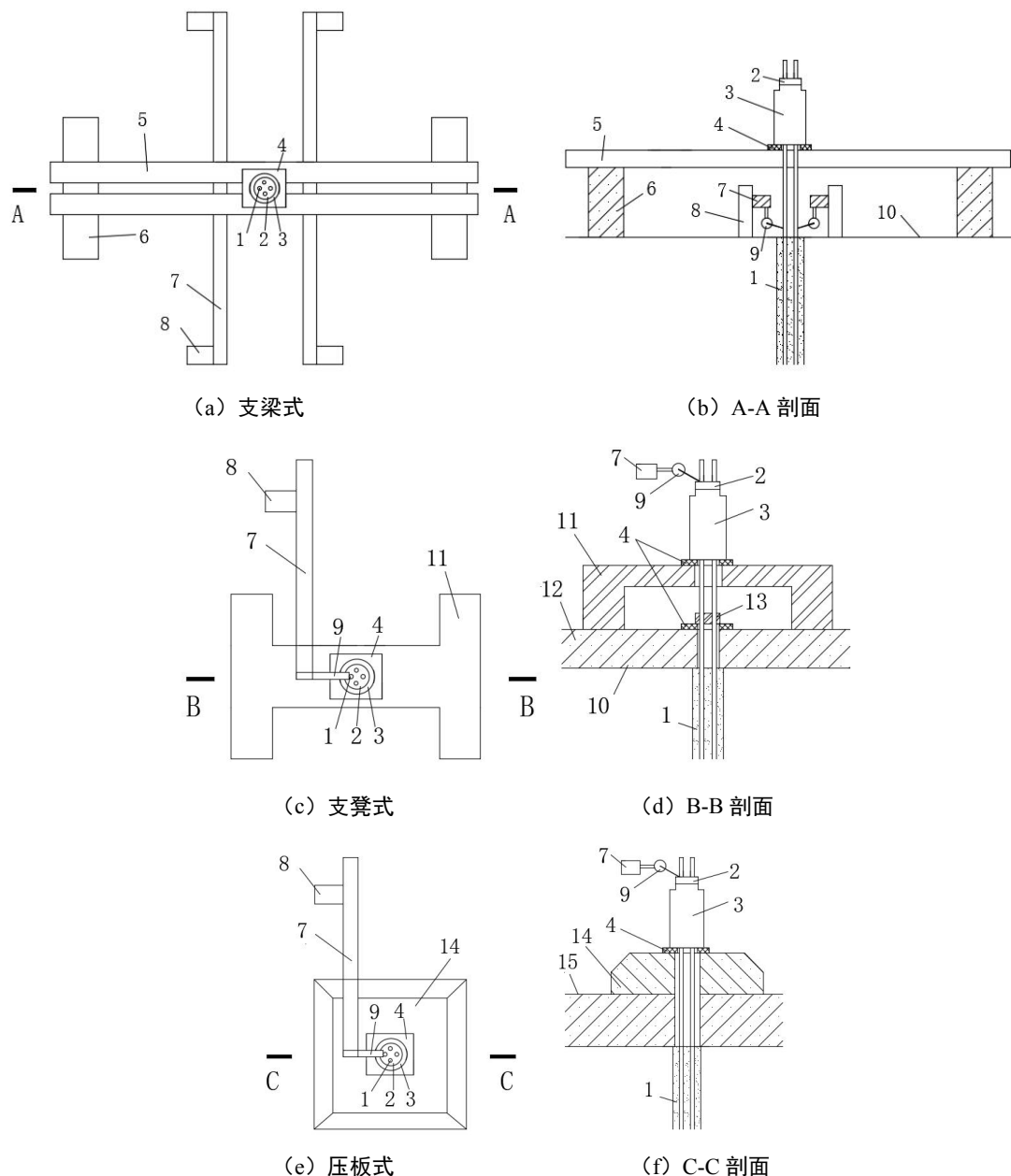


图 B.0.1 锚杆荷载试验各种反力装置示意图

1—试验锚杆；2—工具锚；3—千斤顶；4—锚垫板；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

附录 C 锚杆试验加卸载程序（资料性附录）

C.0.1 锚杆荷载试验常用加卸载程序可分为多循环法、单循环法及快速法三类。

C.0.2 用于极限试验的 7 级多循环法加卸载程序如图 C.0.2 所示。

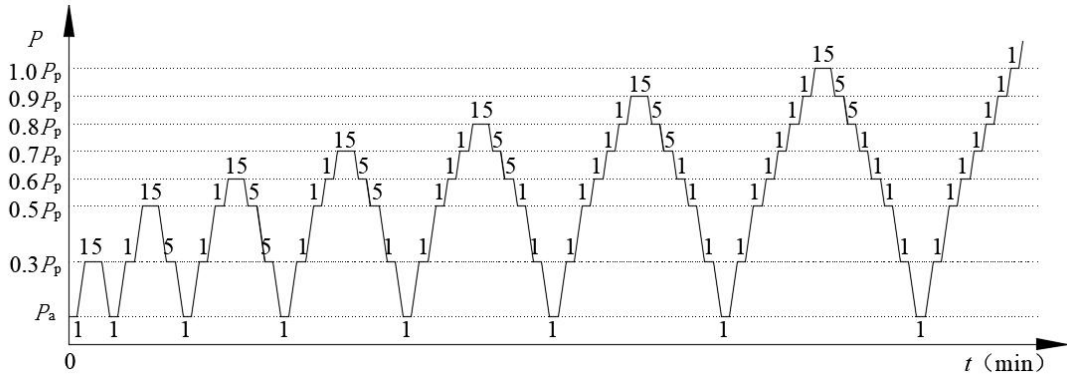
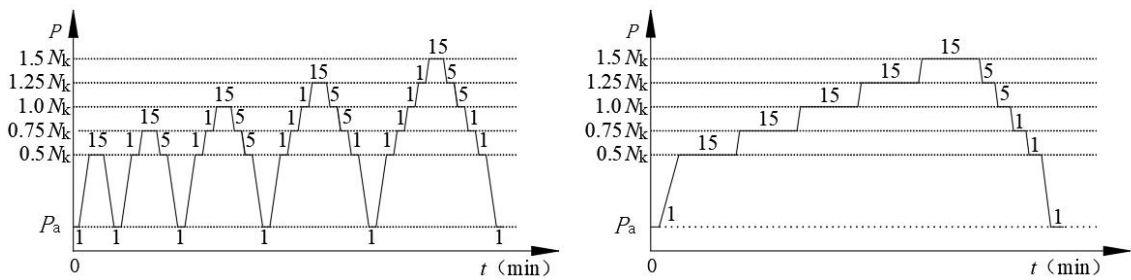


图 C.0.2 多循环法极限试验加卸载程序

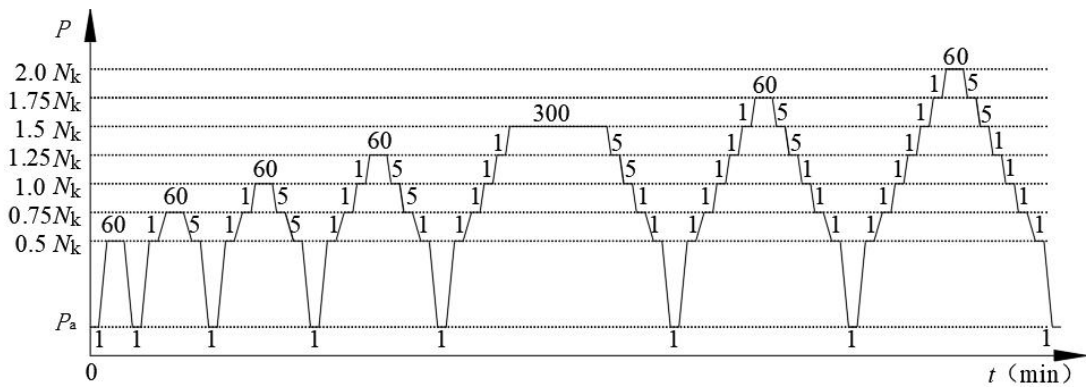
C.0.3 用于适应试验的 P_p 为 $1.5N_k$ 时的多循环法及单循环法加卸载程序如图 C.0.3 所示， P_p 为 $2.0N_k$ 或 $1.25N_k$ 时则需相应调整。



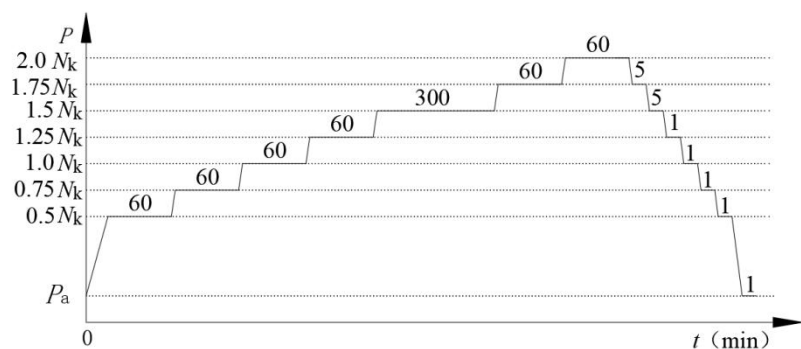
(a) 多循环法 (b) 单循环法

图 C.0.3 适应试验加卸载程序

C.0.4 用于蠕变试验的 P_p 为 $2.0N_k$ 时的多循环及单循环加卸载程序如图 C.0.4 所示， P_p 为 $1.5N_k$ 或 $1.25N_k$ 时则需相应调整。



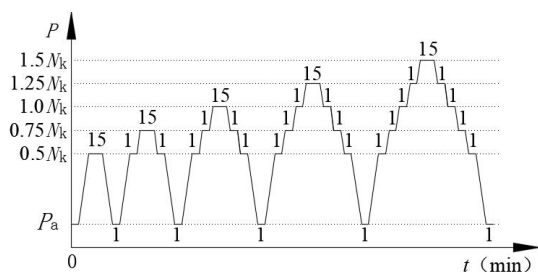
(a) 多循环法



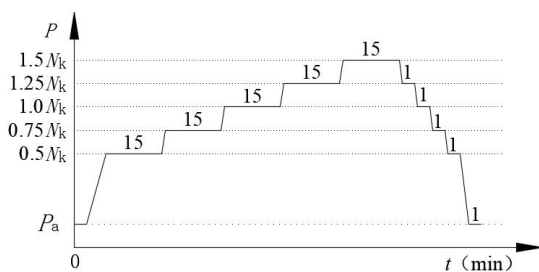
(b) 单循环法

图 C.0.4 蠕变试验加卸载程序

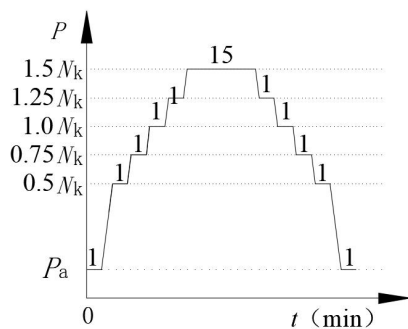
C.0.5 验收试验 P_p 为 $1.5N_k$ 时的加卸载程序如图 C.0.5 所示, P_p 为 $2.0N_k$ 或 $1.25N_k$ 时则需相应调整。



(a) 多循环法



(b) 单循环法



(c) 快速法

图 C.0.5 锚杆验收试验加卸载程序

C.0.6 提离试验加卸载程序如图 C.0.6 所示, 提离现象发生前观测期为 1min, 判断发生提离现象后为 15min。

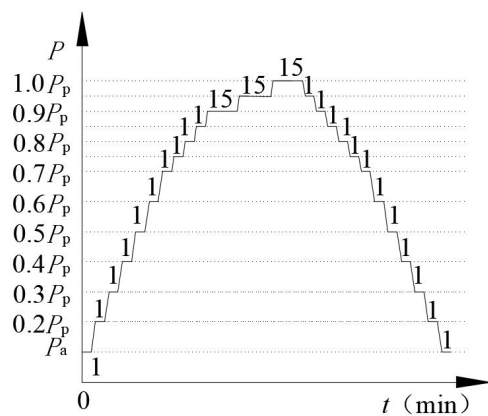


图 C.0.6 提离试验加卸载程序

C.0.7 疲劳试验加卸载程序如图 C.0.7 所示。

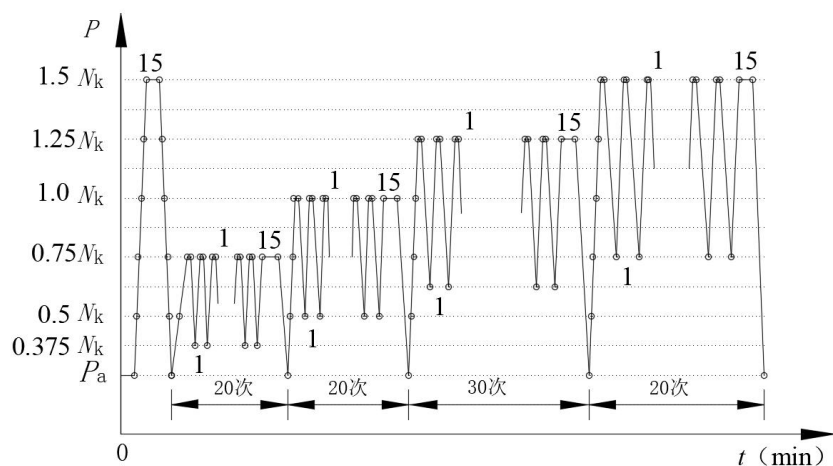


图 C.0.7 疲劳试验加卸载程序

C.0.8 锁紧试验加卸载程序如图 C.0.8 所示。

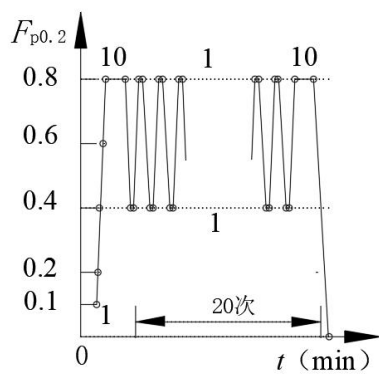


图 C.0.8 锁紧试验加卸载程序

附录 D 锚杆荷载试验曲线（资料性附录）

D.0.1 锚杆多循环极限试验荷载—位移（ $P-s$ ）、荷载—弹性位移（ $P-s_e$ ）及荷载—塑性位移（ $P-s_p$ ）曲线如图 D.0.1（a）~（b）所示，多循环适应试验、蠕变试验及验收试验 $P-s$ 、 $P-s_e$ 及 $P-s_p$ 曲线如图 D.0.1（c）~（d）所示，图中 A、B 及 C 分别为 L_{app} 在设计长度、上限指标及下限指标时按式（4.3.16）反算得到的线段（下同）：

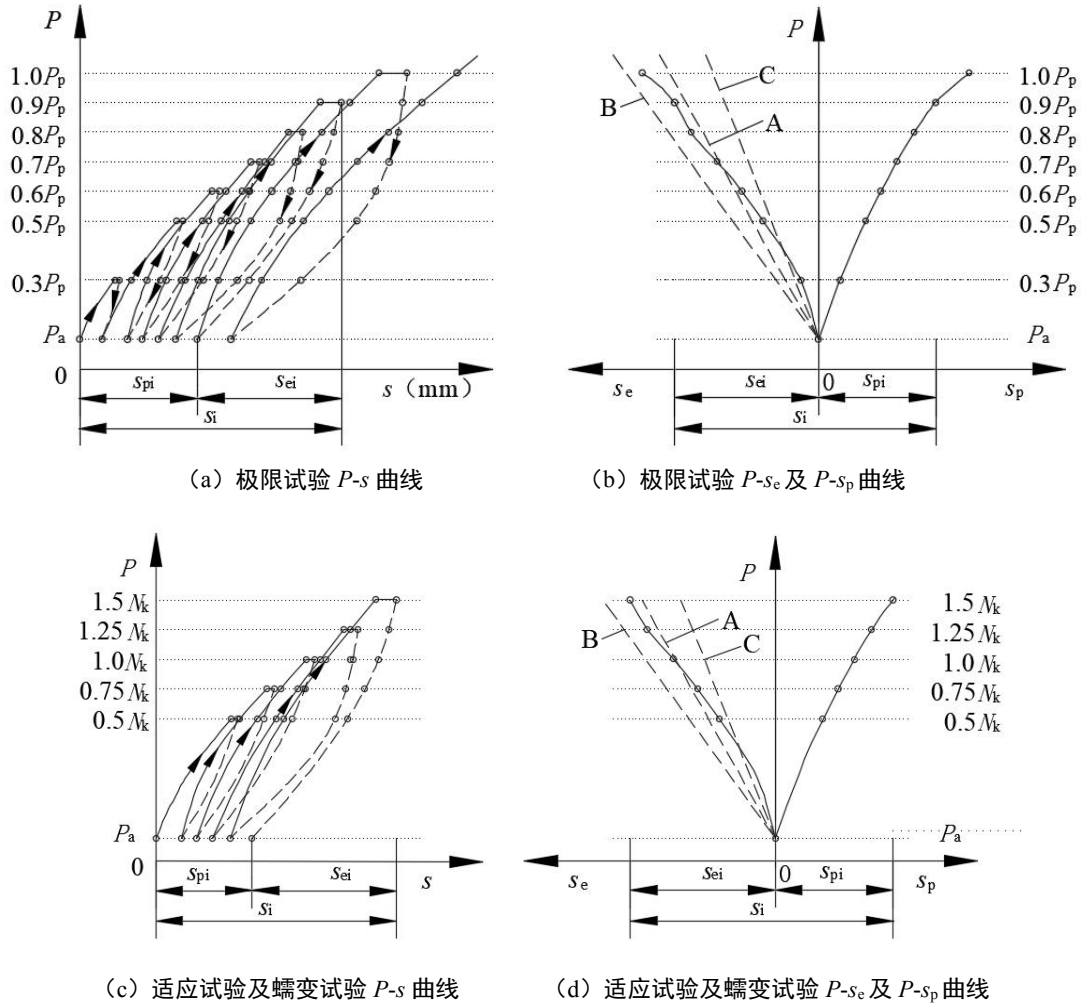
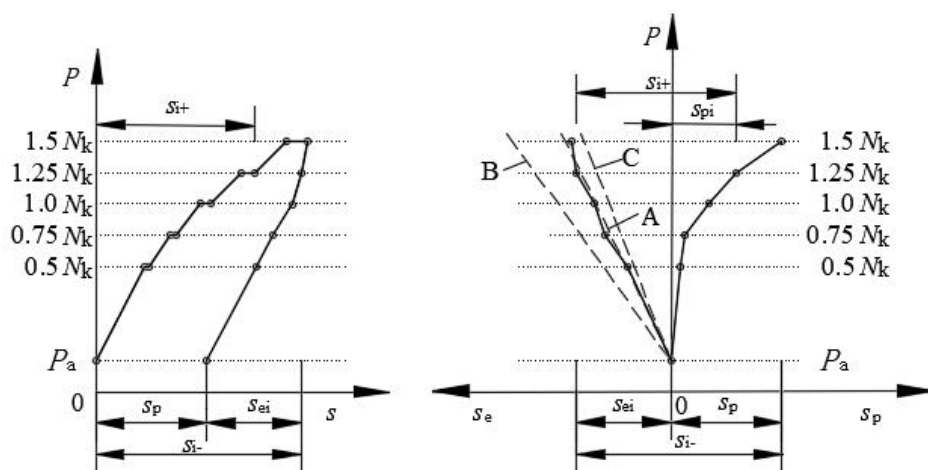


图 D.0.1 多循环试验荷载—位移曲线

D.0.2 锚杆单循环适应试验、蠕变试验、验收试验及快速法验收试验 $P-s$ 、 $P-s_e$ 及 $P-s_p$ 曲线如图 D.0.2 所示：



(a) $P-s$ 曲线 (b) $P-s_e$ 及 $P-s_p$ 曲线

图 D.0.2 单循环及快速法试验荷载一位移曲线

D.0.3 锚杆试验位移—时间对数 ($s-\lg t$) 曲线如图 D.0.3 所示:

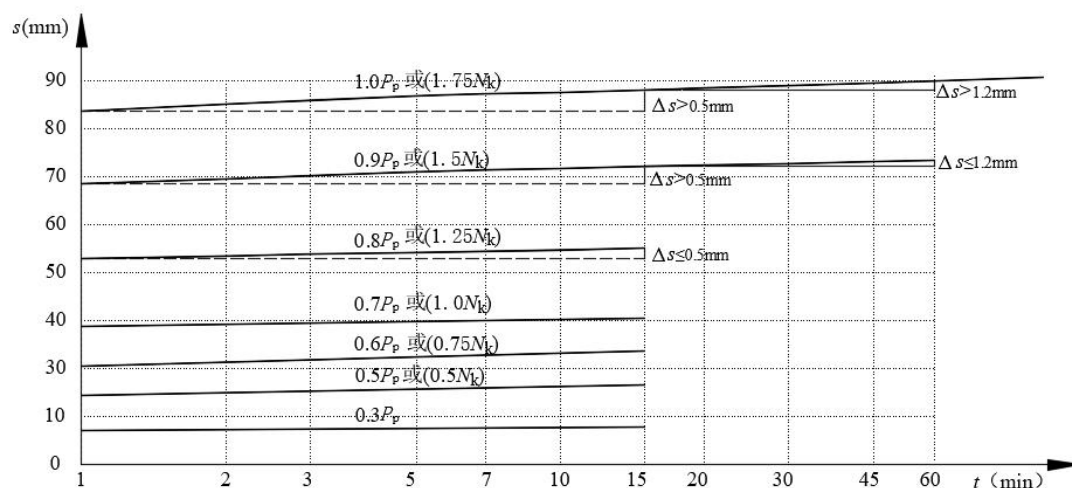


图 D.0.3 锚杆试验 $s-\lg t$ 曲线

D.0.4 锚杆试验蠕变量—时间对数 ($\Delta s-\lg t$) 曲线如图 D.0.4 所示:

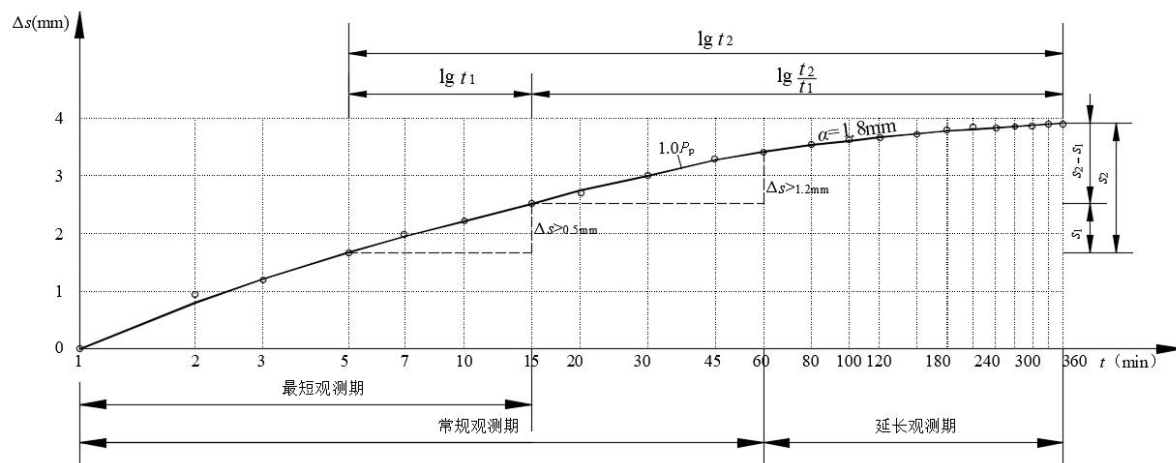


图 D.0.4 锚杆试验 $\Delta s-\lg t$ 曲线

D.0.5 锚杆试验蠕变率—荷载 (α — P) 曲线如图 D.0.5 所示:

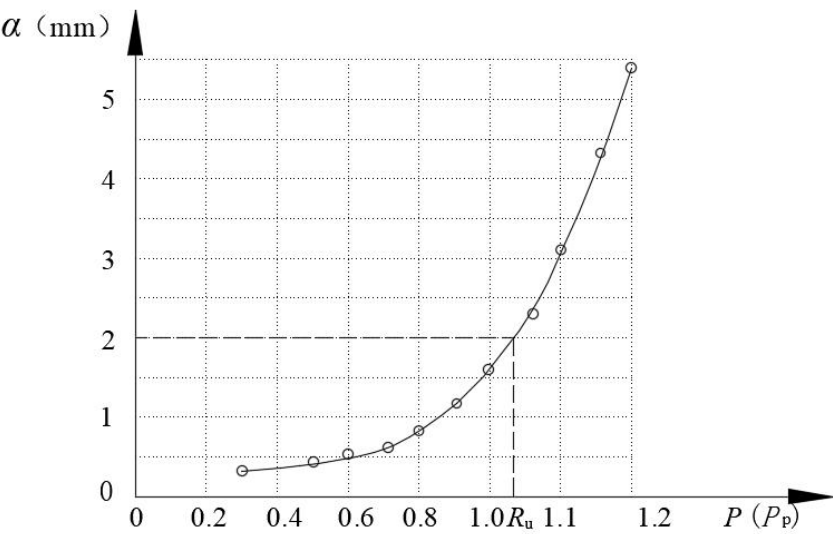


图 D.0.5 锚杆试验 α — P 曲线

D.0.6 锚杆提离试验 P - s 曲线如图 D.0.6 所示:

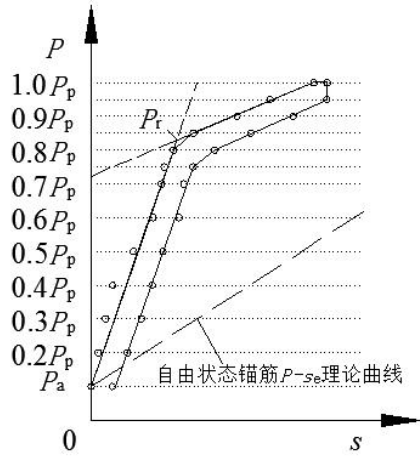
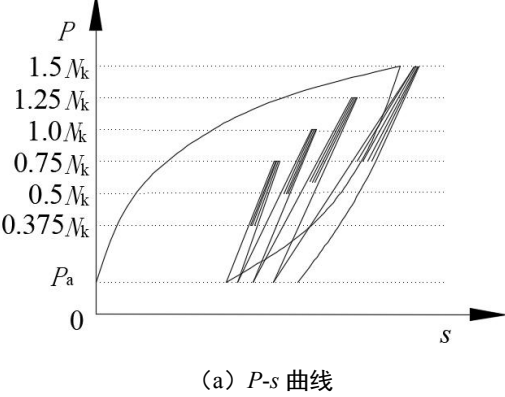
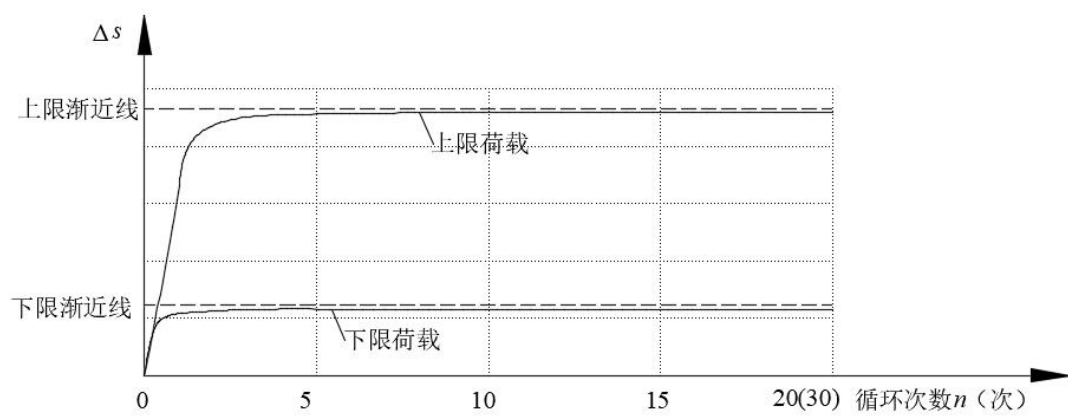


图 D.0.6 提离试验 P - s 曲线

D.0.7 锚杆疲劳试验 P - s 曲线及蠕变量—循环次数 (Δs — n) 曲线如图 D.0.7 所示:



(a) P - s 曲线



(b) $\Delta s-n$ 曲线

图 D.0.7 疲劳试验曲线

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，不同时由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》 GB50007
- 2 《混凝土结构设计规范》 GB50010
- 3 《钢结构设计标准》 GB50017
- 4 《建筑地基基础工程质量验收标准》 GB 50202
- 5 《建筑工程施工质量验收统一标准》 GB 50300
- 6 《指示表》 GB/T 1219
- 7 《精密压力表》 GB/T 1227
- 8 《外壳防护等级（IP 代码）》 GB/T 4208
- 9 《预应力混凝土用钢绞线》 GB/T 5224
- 10 《混凝土试模》 JG 237
- 11 《建筑砂浆基本性能试验方法标准》 JGJ/T 70
- 12 《地基基础检测与监测远程监控技术规程》 DBJ/T15-158
- 13 《压力传感器系列型谱》 JB/T 6172
- 14 《线位移传感器校准规范》 JJF 1305
- 15 《岩土锚固技术标准》 SJG73

深圳市工程建设标准

锚杆试验与检测技术标准

SJG **-2021

条文说明

编制说明

为便于设计、施工、检测、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、本标准与现行《锚杆检测与监测技术规程》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。

本标准编制过程中进行了以深圳坪山锚杆大型综合试验项目（简称深坪锚杆试验）为主的大量现场试验。深坪锚杆试验是一项采用多种方法以测试岩土锚杆力学特性、长度及试验方法为主要目的的大型综合性试验。试验以深圳市建筑、市政、城市轨道交通、水务、交通等行业的主要工程建设质量检测及监督机构为主体，邀请了市内外工程技术研究中心、检测实验室、大学、仪器设备研究所、设备及产品厂商、设计单位、勘察单位、施工单位等在内的 20 余家单位，在深圳市坪山新区锦绣东路，自 2019 年 11 月开始历经 9 个月完成。试验种类按目的分为 6 大类：①检验锚杆力学特性新理论；②检验锚杆荷载试验新技术；③检验锚杆长度检测新技术；④检验锚杆应力测试新技术；⑤检验加卸载新设备及新操作系统；⑥检验可回收锚杆及自测力锚杆新产品等，试验成果成为了本技术标准的重要技术依据。试验锚杆共 182 条，分为全粘结型、拉力型、压力型、二次注浆型、拉力扩体型、压力扩体型、压力分散型、拉力分散型及超长可回收型计 9 类 14 小类；锚杆荷载试验类型分为多循环极限、多循环适应、单循环适应、快速法、多循环蠕变、单循环蠕变、荷载损失、疲劳、群锚、提离、回收、锁紧等十余种；长度测试分为 TDR 法、磁测井法及声波反射法、光纤法等 4 种；应力测试采用分布式光纤；加卸载采用新型伺服系统及数据无线传输；可回收锚杆采用热熔型。试验规模国际上有锚杆史以来最大。深坪锚杆试验应用了大量新理论、新技术、新设备、新产品，采集各种数据近 500 组，取得大量科技成果，群锚试验、疲劳试验、快速试验、回收试验、TDR 法、磁测井法、锁紧试验、自测力锚杆法、分布光纤法等试验与检测方法等为国内甚至国际首创，检验了自动化加卸载设备、伺服系统、自测力锚杆、磁测仪等新设备及新产品，众多成果达到国际先进甚至领先水平。另外，本标准中所规定的各种新方法，除了深坪锚杆试验外，还通过了十几个工程项目的实践验证。