

深圳市工程建设地方标准

SJG

SJG 121 – 2022

**轨道交通车辆基地上盖建筑结构
设计标准**

Standard for Design of Rail Transit Depot Superstructure

2022-07-08 发布

2022-08-01 实施

深圳市住房和城乡建设局 发布

深圳市工程建设地方标准

轨道交通车辆基地上盖建筑结构设计标准

Standard for Design of Rail Transit Depot Superstructure

SJG 121 - 2022

2022 深 圳

前 言

根据《深圳市住房和建设局关于发布 2020 年深圳市工程建设标准制订修订计划项目（第一批）的通知》（深建标〔2020〕2 号），本标准由深圳地铁置业集团有限公司联合深圳千典建筑设计事务所有限公司等有关单位共同编制。

编制组对国内外轨道交通车辆基地上盖开发进行了深入调研，对关键技术开展了专题研究和部分试验研究，总结了深圳、广州在实践中的先进经验，考虑了我市的经济条件和工程实践，并在全省范围内广泛征求了相关单位意见，经反复讨论、修改、充实和试设计，完成送审文件。

本标准的主要技术内容是：1 总则；2 术语和符号；3 基本规定；4 结构设计；5 全框支厚板转换结构；6 车辆基地上盖隔震设计；7 基础设计；8 预留要求。

本标准由深圳市住房和建设局批准发布，由深圳市住房和建设局业务归口，并组织深圳千典建筑设计事务所有限公司等编制单位负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见和建议，请寄送深圳千典建筑设计事务所有限公司（地址：深圳市南山区粤海街道高新区南区科技南十二路 18 号长虹科技大厦 2101，邮编：518057）。

本标准主编单位：深圳千典建筑设计事务所有限公司
深圳地铁置业集团有限公司

本标准参编单位：广东省建筑设计研究院
广东勘设建筑技术服务中心
广州大学
广州地铁设计研究院股份有限公司
深圳市市政设计研究院有限公司
哈尔滨工业大学（深圳）
香港华艺设计顾问（深圳）有限公司
深圳机械院建筑设计有限公司
深圳市电子院设计顾问有限公司
华南理工大学土木与交通学院
深圳大学建筑设计研究院有限公司
深圳市联博建筑工程技术有限公司

本标准主要起草人员：刘维亚 李武雄 陈 星 李 恒 梁鹏飞 汝 振
白力更 黎少峰 郭 明 罗赤字 孙立德 陈洋洋
汪大洋 王亚平 邓睿康 赵群昌 滕 军 李祚华
陈日飙 唐增洪 王传甲 韩小雷 刘 畅 李玉楼
黄 煜

本标准主要审查人员：周福霖 任庆英 刘琼祥 孙占琦 郑建东 薛锡芝
张自太

本标准主要指导人员：王宝玉 闫冬梅 张 希 刘俊跃 陈天子

目 次

1 总则	1
2 术语和符号	2
2.1 术语	2
2.2 符号	2
3 基本规定	5
4 结构设计	6
4.1 一般规定	6
4.2 结构布置	7
4.3 荷载、作用和结构计算	8
5 全框支厚板转换结构	10
5.1 一般规定	10
5.2 截面设计及构造	10
6 车辆基地上盖隔震设计	16
6.1 一般规定	16
6.2 隔震结构设计	16
6.3 隔震装置	17
7 基础设计	18
8 预留要求	20
附录 A 性能设计	21
本标准用词说明	24
引用标准名录	25
附：条文说明	26

Contents

1	General Provisions.....	1
2	Terms and Symbols.....	2
2.1	Terms.....	2
2.2	Symbols.....	2
3	General Requirements	5
4	Design of Structural	6
4.1	General	6
4.2	Structural Layout and Arrangement	7
4.3	Loads, Actions and Structural Analysis	8
5	Frame Support Transfer Plate Structure.....	10
5.1	General Requirements.....	10
5.2	Strength Design and Detailing	10
6	Seismic Isolation Design for Depot Superstructure.....	16
6.1	General Requirements.....	16
6.2	Design of Seismic Isolation	16
6.3	Seismic Isolator	17
7	Design of Foundation	18
8	Reservation Requirements.....	20
	Appendix A Seismic Performance Design.....	21
	Explanation of Wording in This Standard.....	24
	List of Quoted Standards	25
	Addition: Explanation of Provisions	26

1 总 则

1.0.1 为使车辆基地上盖建筑结构设计施工做到安全适用、技术先进、经济合理、施工便利、节能环保，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于深圳地区（含深汕特别合作区）新建、改建和扩建的车辆基地上盖建筑结构设计。

1.0.3 车辆基地上盖建筑结构设计宜采用结构抗震性能设计方法进行分析和论证。

1.0.4 车辆基地上盖建筑结构设计除应符合本标准外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 轨道交通 rail transit

轨道交通是指运营车辆需要在特定轨道上行驶的一类交通工具或运输系统。包括国家铁路系统、城际轨道交通和城市轨道交通三大类。

2.1.2 全框支转换结构 frame support transfer structure

转换层及以下为框架及框支框架，转换层以上为其它结构形式的转换结构。包括全框支框架-核心筒结构、全框支剪力墙结构、全框支框架-剪力墙结构、全框支厚板转换结构等。

2.1.3 全框支-剪力墙结构 frame support shear-wall structure

转换层及以下为框架及框支框架，转换层以上为剪力墙的结构。

2.1.4 全框支厚板转换结构 frame support transfer plate structure

转换层及以下为框架及框支框架，转换层以上为其它结构形式的转换结构，其转换结构构件为楼板。

2.1.5 车辆基地 base for the vehicle, depot

轨道交通系统的车辆停修和后勤保障基地，通常包括车辆段（停车场）、综合维修中心、物资总库、培训中心等部分，以及相关的生活设施。工程上习惯统称为“车辆段（depot）”。

2.1.6 限界 gauge

限定车辆运行及轨道区周围构筑物超越的轮廓线，分车辆限界、设备限界和建筑限界。

2.1.7 上盖建筑 superstructure

利用车辆基地上部空间建造的建（构）筑物，有时也简称为“上盖”。

2.1.8 盖板 top slab floor

通常指车辆基地与其上部建筑之间的分隔楼板，区别于白地（与车辆基地上部空间同时出让的周边其它土地），是车辆基地上方建造的、承载上盖建筑的分界面。

2.1.9 上盖地坪 upper cover platform

盖板上方能够满足人员疏散等要求的室外地坪。

2.1.10 轨行区 track area

列车运行轨道周围所需的区域，在这个区域内的建筑物和安装的设备均不得侵入相应的限界，相邻轨道上运行的列车之间也应确保两列车交会时的行车安全。

2.2 符号

2.2.1 材料性能

C40——立方体抗压强度标准值为 40N/mm² 的混凝土强度等级；

f_a ——型钢（钢板）抗拉强度设计值、地基承载力特征值；

f_{aE} ——地基抗震承载力特征值；

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值；

f_t ——混凝土轴心抗拉强度设计值；

f_y 、 f'_y ——普通钢筋抗拉、抗压强度设计值；

f_{yv} ——横向钢筋的抗拉强度设计值。

2.2.2 作用和作用效应

F_l ——局部荷载设计值或集中反力设计值；

M ——弯矩设计值；

M_{ux} 、 M_{uy} ——分别为 y 向板带绕 x 轴、x 向板带绕 y 轴的正截面受弯承载力设计值；

M_x 、 M_y ——分别为 y 向板带绕 x 轴、x 向板带绕 y 轴的正截面弯矩设计值；

N ——轴向力设计值；

V ——剪力设计值；

V_j ——板柱节点核芯区组合的剪力设计值；

V_{ux} 、 V_{uy} ——分别为沿 x 向、y 向板带斜截面受剪承载力设计值

V_{wj} ——剪力墙水平施工缝处剪力设计值；

V_x 、 V_y ——分别为 x 向、y 向板带斜截面剪力设计值；

τ_{xz} ——单元体 x 面上沿 z 轴方向的剪应力设计值；

τ_{yz} ——单元体 y 面上沿 z 轴方向的剪应力设计值；

τ_0 ——厚板斜截面、受冲切截面主剪应力设计值；

τ ——混凝土的剪应力。

2.2.3 几何参数

a'_s ——板受压钢筋合力点至受压边缘的距离；

A ——构件截面面积；

A_j ——节点核芯区有效截面面积；

A_{sbu} ——与呈 45°冲切破坏锥体斜截面相交的全部弯起钢筋截面面积；

A_{svj} ——核芯区有效验算宽度范围内同一截面验算方向箍筋的总截面面积；

A_{svu} ——与呈 45°冲切破坏锥体斜截面相交的全部拉筋截面面积；

A_{sh} ——单根圆形箍筋的截面面积；

A_s 、 A'_s ——受拉区、受压区纵向普通钢筋的截面面积；

b ——矩形截面宽度，T 形、I 形截面的腹板宽度；

b_w ——墙肢截面厚度；

h ——截面高度；

h_0 ——截面有效高度；

h_c ——框支柱截面高度；

h_s 、 h_{s0} ——厚板截面的厚度及有效高度；

h_w ——型钢腹板高度；

l_{ab} 、 l_a ——纵向受拉钢筋的基本锚固长度、最小锚固长度；

l_{abE} 、 l_{aE} ——抗震设计时纵向受拉钢筋的基本锚固长度、最小锚固长度；

l_0 、 l_n ——计算跨度或计算长度、净跨；

s ——沿构件轴线方向上横向钢筋的间距、螺旋筋的间距或箍筋的间距；

t_w ——型钢腹板厚度；

u_m ——临界截面的周长，取距离局部荷载或集中反力作用面积周边 $h_0/2$ 处。

2.2.4 计算系数及其他

K_s ——抗滑移稳定安全系数；

α ——弯起钢筋与板底面的夹角；

β_c ——混凝土强度影响系数；

β_h ——截面高度影响系数；
 γ ——荷载分项系数、作用调整系数；
 γ_{e2} ——转换层下部结构与上部结构的等效侧向刚度比；
 γ_{Fc} ——以设计工作年限为重现期的多遇地震调整系数；
 γ_{Lc} ——楼面和屋面活荷载考虑设计工作年限的调整系数；
 γ_w ——风荷载分项系数；
 γ_{wc} ——以设计工作年限为重现期的基本风压调整系数；
 γ_{Rc} ——以设计工作年限为重现期的罕遇地震调整系数；
 γ_{RE} ——承载力抗震调整系数；
 η ——冲切承载力调整系数；
 η_j ——厚板约束影响系数；
 ζ_a ——地基抗震承载力调整系数；
 φ ——钢筋混凝土构件的稳定系数。

3 基本规定

3.0.1 车辆基地与上盖建筑宜统一规划，优先将二者作为整体建筑进行设计。分段设计时，车辆基地布置宜为上盖建筑功能布局提供灵活性；上盖建筑布局宜为车辆基地空间提供自然采光和自然通风的条件。

3.0.2 车辆基地与上盖建筑各自功能应合理布局，互不干扰，相对独立。上盖建筑的布置不应影响车辆基地的使用功能和运营安全，土建工程和机电设备布置应满足车辆基地正常使用的限界要求。

3.0.3 车辆基地与上盖建筑的设计工作年限可根据实际开发过程和使用要求分段确定，车辆基地的设计工作年限不得低于上盖建筑设计工作年限与分期开发滞后年限之和。

3.0.4 车辆基地设计应考虑车辆基地运营产生的振动和噪声对上盖建筑的影响，并应采取有效的减振降噪方案。当车辆基地的减振降噪措施无法满足上盖建筑使用要求时，上盖建筑设计应根据实际条件采取隔振、隔声屏障等阻断传播途径的措施，或采取其他有效的减振降噪措施。

3.0.5 车辆基地盖板的防水等级宜取一级，应采用防水混凝土，抗渗等级不应低于 P6。当上盖建筑开发时间预期将在车辆基地屋面防水完成的五年之内时，盖板的防水等级可取二级。

3.0.6 车辆基地与上盖建筑的机动车、人行出入口应合理布局，相互避让，其数量、宽度、坡度应满足各自消防及疏散要求。各出入口与城市道路系统衔接的引道可共用。

3.0.7 连接地面与盖板、地面与上盖地坪的机动车匝道，应满足城市交通及消防要求。匝道宜作为结构整体的一部分，参与结构的计算分析。

3.0.8 盖板、上盖地坪的人行交通应考虑上盖建筑和周边人群经轨道交通出行的双向需求，合理设置直达城市地面的人员专用垂直交通设施。垂直交通设计可采用坡道、楼梯、垂直电梯、扶梯等设施，并应满足无障碍通行的要求。自动扶梯和电梯不应作为安全疏散设施。

3.0.9 盖板、上盖地坪与车辆基地相邻的临空部位应设置防止车辆或人员坠入、防止攀爬等安全防护措施；与轨行区相邻的临空部位还应设置防高空抛物措施。车辆可到达区域的护栏应符合现行行业标准《公路桥涵设计通用规范》JTG D60 和《公路交通安全设施设计规范》JTG D81 的有关规定。

3.0.10 上盖建筑的人民防空工程建设应在区域规划中总体平衡，统筹考虑。当人民防空工程按要求易地修建时，应符合现行国家标准《人民防空工程设计规范》GB 50225、《人民防空地下室设计规范》GB 50038 的有关规定。

4 结构设计

4.1 一般规定

4.1.1 车辆基地上盖建筑结构体系的选用应符合下列规定：

1 在满足工艺和建筑需求的前提下，应综合考虑开发时序、建设成本、结构合理性、施工便利性等因素；

2 落地竖向构件布置应满足车辆基地各限界的规定；

3 设计选用的结构体系在地震作用下应当具有合理的屈服机制；

4.1.2 车辆基地上盖混凝土结构可采用框架结构、托柱转换结构、部分框支-剪力墙结构、全框支转换结构、层间隔震等结构体系；钢结构应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定。

4.1.3 全框支转换结构设计应采用结构抗震性能设计方法对预设的结构抗震性能目标进行验证，并应对罕遇地震作用下结构的屈服机制进行论证。抗震性能设计可按附录 A 的规定设计。

4.1.4 全框支转换结构在遭遇罕遇地震时的屈服机制应符合下列规定：

1 转换层以上结构应具有良好的弹塑性耗能能力；

2 转换构件应具有适宜的承载能力；

3 转换层以上部分的结构屈服应先于底部框支框架；

4 不应发生影响生命安全的破坏。

4.1.5 车辆基地的抗震设防类别应按现行国家标准《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223 的规定确定，且不应低于其上盖建筑的抗震设防类别。

4.1.6 车辆基地设计采用的材料强度及延性要求应与上盖开发要求相匹配，且应满足现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定。当上盖建筑为高层建筑时，尚应满足现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 或《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 的有关规定。

4.1.7 车辆基地上盖建筑结构的适用高度宜符合现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 或《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 的有关规定，全框支转换结构的适用高度可按部分框支剪力墙结构或上盖建筑的结构类型确定。

4.1.8 车辆基地上盖建筑结构的抗震等级可根据上盖结构类型确定，框支框架的抗震等级不应低于部分框支剪力墙结构中框支框架的抗震等级。当塔楼范围相邻楼层竖向构件抗震等级相差超过一级时，应设置过渡层。过渡层层数不应少于 2 层，其竖向构件的抗震等级应提高一级。

4.1.9 对于全框支转换结构，其剪力墙底部加强部位的范围应符合下列规定：

1 底部加强部位的高度应从转换层板顶算起；

2 底部加强部位的高度可取至转换层以上两层且不宜小于被转换墙体总高度的 1/10。

4.1.10 车辆基地的岩土工程勘察应在搜集上盖建筑预留荷载、功能特点、结构类型、基础形式、埋置深度和变形限制等方面资料的基础上进行，且应满足现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的有关规定。当上盖建筑为高层建筑时，尚应满足现行行业标准《高层建筑岩土工程勘察标准》JGJ/T 72 的有关规定，宜适当增加控制性勘探点的数量。

4.1.11 车辆基地结构的耐久性设计应根据设计工作年限区分构件的使用、环境等条件，按现行国家标准《混凝土结构耐久性设计标准》GB 50476 的有关规定采取有针对性的防护措施。对于设

计工作年限大于 50 年的混凝土结构，当缺少可靠工程经验时，可按设计工作年限 100 年进行结构耐久性设计。

4.1.12 车辆基地盖板及承重构件的耐火极限不应低于 3.00h，盖板梁、板底部钢筋及梁侧面钢筋的混凝土保护层厚度不宜小于 45mm。

4.2 结构布置

4.2.1 上盖建筑的剪力墙、框架柱宜沿车辆基地抗侧力构件的两个主轴方向正交布置。

4.2.2 当车辆基地及其上盖建筑共同形成多塔结构时，各塔楼结构单元宜简单、规则。塔楼布置相对裙房宜对称、均匀。当塔楼偏置无法避免时，应采取有效措施加强弱侧边跨结构，提高底盘整体的抗扭刚度。

4.2.3 当车辆基地结构超长时应进行温度应力分析。在考虑了温度应力对结构的不利影响，并采取有效的构造、施工措施减小温度和混凝土收缩对结构影响的条件下，结构伸缩缝间距可按 200m 控制，不宜超过 250m。

4.2.4 上盖建筑与车辆基地竖向构件宜上、下连续贯通；当上部竖向构件无法贯通落地时，可利用盖板或上盖地坪设置结构转换层。转换层不宜设置在上盖地坪的上层塔楼内。

4.2.5 转换构件宜采用梁式转换，也可采用厚板转换或其它转换体系。

4.2.6 上盖建筑电梯间剪力墙筒体的尺寸及布置宜与车辆基地柱网布置相适配。上盖建筑的电梯基坑底面标高不宜低于盖板框架梁底。

4.2.7 抗震设计时，车辆基地及上盖高层建筑相邻楼层的侧向刚度比可采用现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 规定的方法进行计算和判别。车辆基地与其相邻上层结构的侧向刚度比值不宜小于 0.35。

4.2.8 当车辆基地同一楼层刚度和承载力变化同时不满足现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 的有关规定时，该楼层的受剪承载力不宜小于相邻上一楼层的 40%。对应于地震作用标准值的楼层剪力宜根据性能目标要求相应地乘以 2.0~2.9 的增大系数。

4.2.9 车辆基地上盖全框支转换层上、下结构的等效侧向刚度比宜以单塔计算结果为准，宜采用图 4.2.9 所示的计算模型按下列公式计算转换层下部结构与上部结构的等效侧向刚度比 γ_{e2} 。 γ_{e2} 宜接近 1，不应小于 0.8。

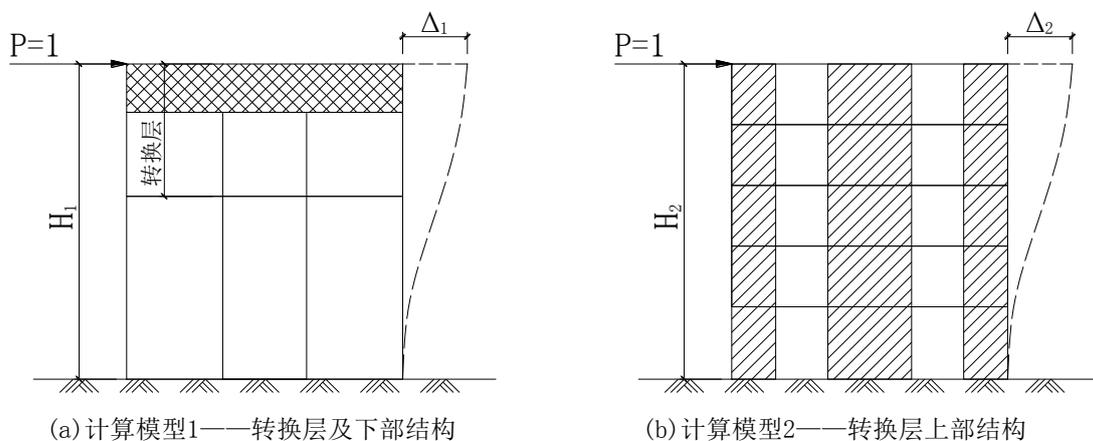


图 4.2.9 转换层上、下等效侧向刚度计算模型

$$\gamma_{e2} = \frac{\Delta_2 H_1}{\Delta_1 H_2} \quad (4.2.9)$$

式中： γ_{e2} ——转换层下部结构与上部结构的等效侧向刚度比；
 H_1 ——转换层及其下部结构（计算模型 1）的高度；
 Δ_1 ——转换层及其下部结构（计算模型 1）的顶部在单位水平力作用下的侧向位移；
 H_2 ——转换层上部若干层结构（计算模型 2）的高度，其值应等于或接近计算模型 1 的高度 H_1 ，且不大于 H_1 ；
 Δ_2 ——转换层上部若干层结构（计算模型 2）的顶部在单位水平力作用下的侧向位移。

- 4.2.10 车辆基地盖板的厚度不宜小于 200mm。
- 4.2.11 转换层楼盖宜采用正梁（楼板在转换梁上翼缘位置）的布置方式，楼板厚度不宜小于 180mm，转换区域楼板厚度宜适当加厚。当转换梁腹板两侧楼板高差较大时，可采取梁腹加腋等加强措施，保证水平力的有效传递。
- 4.2.12 全框支转换结构的框支柱截面尺寸不宜小于 1400mm × 1400mm。
- 4.2.13 全框支转换结构的框支柱在车辆基地楼层的纵筋配筋宜在计算配筋面积的基础上增加 10%。
- 4.2.14 钢筋混凝土框支结构及剪力墙底部加强区应采用现浇结构。

4.3 荷载、作用和结构计算

- 4.3.1 车辆基地上盖建筑的荷载、作用应根据开发时序、设计工作年限等不同条件，按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的有关规定及相关厂房工艺要求确定。
- 4.3.2 考虑非标准设计工作年限的车辆基地，其可变荷载设计工作年限调整系数可根据现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的有关规定进行调整，具体如下：

1 楼面和屋面活荷载考虑设计工作年限的调整系数 γ_{Lc} 应按表 4.3.2-1 的规定确定。

表 4.3.2-1 楼面和屋面活荷载考虑设计工作年限的调整系数 γ_{Lc}

结构设计工作年限（年）	50	75	100
γ_{Lc}	1.0	1.050	1.100

注：1 当设计工作年限不为表中数值时，调整系数 γ_{Lc} 可按线性内插确定。

2 对于荷载标准值可控制的活荷载，设计工作年限调整系数 γ_{Lc} 取 1.0。

2 以设计工作年限 R 为重现期的基本风压值 x_R 宜按下式确定，也可用设计工作年限 50 年为重现期的基本风压值乘以表 4.3.2-2 规定的基本风压调整系数确定。

$$x_R = x_{10} + (x_{100} - x_{10}) (\ln R / \ln 10 - 1) \quad (4.3.2)$$

式中： R ——设计工作年限；
 x_R ——重现期为 R 年时的基本风压值；
 x_{10} ——重现期为 10 年时的基本风压值；
 x_{100} ——重现期为 100 年时的基本风压值。

表 4.3.2-2 以设计工作年限为重现期的基本风压调整系数 γ_{Wc}

结构设计工作年限（年）	50	75	100
γ_{Wc}	1.0	1.125	1.200

注：当设计工作年限不为表中数值时，调整系数 γ_{Wc} 可按线性内插确定。

4.3.3 考虑非标准设计工作年限的车辆基地，其截面抗震设计的地震作用取值调整系数可取预

估设计工作年限与 50 年重现期的地震作用的比值，具体如下：

表 4.3.3 不同设计工作年限与 50 年重现期的地震作用的比值系数

结构设计工作年限（年）	60	75	100
多遇地震调整系数 γ_{Fc}	1.10	1.25	1.45
罕遇地震调整系数 γ_{Rc}	1.05	1.15	1.30

注：当设计工作年限不为表中数值时，调整系数 γ_{Fc} 、 γ_{Rc} 可近似按线性内插确定。

4.3.4 当上盖塔楼与裙房有斜交抗侧力构件，且相交角度大于 15° 时，应分别按塔楼、裙房抗侧力构件方向计算水平地震作用。进行结构时程分析时，宜考虑最不利地震作用方向的影响。

4.3.5 对上盖塔楼主迎风面与车辆基地不同的高层建筑，宜考虑风向角的影响。当上盖多栋高层建筑相互间距较近时，宜考虑风力相互干扰的群体效应。一般可将单栋建筑的体型系数乘以相互干扰增大系数，该系数可参考类似条件的试验资料确定；必要时宜通过风洞试验确定。

4.3.6 按弹性方法计算的风荷载或多遇地震标准值作用下的楼层层间位移角及罕遇地震作用下的弹塑性层间位移角，其限值可根据车辆基地上盖建筑的结构类型确定，宜符合现行国家及地方标准的有关规定。其中全框支转换结构的框支柱在各层的弹性层间位移角不宜超过 $1/2000$ ；在罕遇地震作用下，弹塑性层间位移角不宜大于 $1/200$ ，不应大于 $1/150$ 。

4.3.7 采用全框支转换结构的车辆基地上盖建筑应采用时程分析法进行多遇地震作用下的补充计算。计算时可取三组加速度时程曲线输入，计算结果宜取时程法的包络值和振型分解反应谱法的较大值。

4.3.8 车辆基地上盖建筑的结构分析模型应根据研究目的、结构受力等实际情况，分别选取能较准确地反映结构整体、局部或构件实际受力状况的结构单元分析计算。

4.3.9 采用全框支转换结构的车辆基地上盖建筑，应采用至少两个不同力学模型的结构分析软件进行整体计算，其中一个软件宜为国际通用成熟软件。不同软件的计算结果应能互相验证。

4.3.10 车辆基地上盖全框支转换结构在进行重力荷载作用效应分析时，柱、墙、斜撑等构件的轴向变形宜采用适当的计算模型考虑施工过程的影响。

4.3.11 车辆基地上盖全框支转换结构进行弹塑性计算分析时，应采用动力时程分析方法。地面运动加速度时程的选取、预估罕遇地震作用时的峰值加速度取值应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定。

4.3.12 结构构件的弹塑性性能可依据现行广东省标准《建筑工程混凝土结构抗震性能设计规程》DBJ/T 15 - 151 或现行团体标准《建筑结构抗倒塌设计规范》CECS 392 所规定的判别标准和方法进行复核。

4.3.13 大底盘多塔楼结构，宜按整体模型和各塔楼分开模型分别计算，整体模型计算应分析多塔对大底盘部分的影响，分塔计算应分析塔楼高振型地震反应的影响，并按现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 的有关规定采取相应的抗震加强措施。分塔模型的裙房结构宜取塔楼范围外扩 1~2 跨。

4.3.14 全框支转换结构应计算竖向地震作用。其他类型结构的竖向地震作用计算应符合现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 的有关规定。

4.3.15 当车辆基地与上盖建筑分段建设时，应根据不同使用条件分别进行计算分析，并应采用较不利的结果进行结构设计。上盖建筑的结构设计还应对已建结构的承载力和变形能力进行复核。

5 全框支厚板转换结构

5.1 一般规定

- 5.1.1 全框支厚板转换结构在整体计算分析时应考虑厚板面外刚度影响，其面外刚度宜采用有限元方法计算。也可将厚板划分为交叉梁系进行整体分析。
- 5.1.2 转换厚板的平面尺寸应根据盖板上、下部结构布置，荷载分布及相关范围内建筑功能、标高要求等因素确定。转换厚板与普通楼板的交界处可加腋或设置暗梁。
- 5.1.3 转换厚板的混凝土强度等级不应低于 C35，不宜超过 C60。当厚板混凝土强度等级低于上部竖向构件时，应验算厚板顶面的局部受压承载力。
- 5.1.4 转换厚板的厚度可由抗弯、抗剪、抗冲切截面验算确定，并应满足承载力和变形的要求。
- 5.1.5 当转换厚板采用有限元分析结果进行设计时，可根据应力设计值的分布特点划分板带，并应基于板带的内力结果配置受力钢筋。
- 5.1.6 转换厚板板面开洞时宜避开框支柱顶冲切破坏锥体范围，及沿主要抗侧力方向与其相邻框支柱连线之间的板带。板带宽度不宜大于框支柱截面宽度与转换板厚度的较小值。
- 5.1.7 当抗震设防烈度为 7 度时，全框支厚板转换结构设置转换层的位置不宜超过 3 层。

5.2 截面设计及构造

- 5.2.1 转换厚板承载能力极限状态设计的作用组合效应应满足现行国家标准《建筑结构可靠性设计统一标准》GB 50068 和现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 的有关规定。
- 5.2.2 在地震作用下，厚板的受剪截面应满足下列条件：

- 1 未配置抗剪钢筋的厚板区域，其受剪截面应满足：

$$\tau_0 \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} 0.42\beta_h\beta_c f_t \quad (5.2.2-1)$$

$$\beta_h = \left(\frac{800}{h_0}\right)^{1/4} \quad (5.2.2-2)$$

$$\tau_0 = \sqrt{\tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2} \quad (5.2.2-3)$$

- 2 配置抗剪钢筋的厚板区域，其受剪截面应满足：

$$\tau_0 \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} 0.20\beta_c f_c \quad (5.2.2-4)$$

- 3 配置抗剪钢板（型钢剪力架）的厚板区域，其受剪截面应满足：

$$\tau_0 \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} 0.3\beta_c f_c \quad (5.2.2-5)$$

$$\frac{f_a t_w h_w}{\beta_c f_c b h_0} \geq 0.10 \quad (5.2.2-6)$$

式中： τ_0 ——厚板斜截面主剪应力设计值；

τ_{xz} 、 τ_{yz} ——单元体 x 面、y 面上沿 z 轴方向的剪应力设计值；

β_h ——截面高度影响系数：当 h_0 小于 800mm 时，取 800mm；当 h_0 大于 2000mm 时，取 2000mm；

β_c ——混凝土强度影响系数：当混凝土强度等级不超过 C50 时， β_c 取 1.0；当混凝土强度等级为 C80 时， β_c 取 0.8；其间按线性内插法确定；

γ_{RE} ——承载力抗震调整系数，可取 0.85；

f_a ——型钢（钢板）抗拉强度设计值；

t_w ——型钢腹板厚度；

h_w ——型钢腹板高度。

5.2.3 厚板斜截面受剪承载力可根据划分的交叉板带分别计算，并应符合下列公式规定：

$$V_x \leq V_{ux} \quad (5.2.3-1)$$

$$V_y \leq V_{uy} \quad (5.2.3-2)$$

式中： V_x 、 V_y ——分别为 x 向、y 向板带斜截面剪力设计值；

V_{ux} 、 V_{uy} ——分别为沿 x 向、y 向板带斜截面受剪承载力设计值，可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 及相关规范规定计算。

5.2.4 厚板正截面受弯承载力可根据划分的交叉板带分别计算，并应符合下列公式规定：

$$M_x \leq M_{ux} \quad (5.2.4-1)$$

$$M_y \leq M_{uy} \quad (5.2.4-2)$$

式中： M_x 、 M_y ——分别为 y 向板带绕 x 轴、x 向板带绕 y 轴的正截面弯矩设计值；

M_{ux} 、 M_{uy} ——分别为 y 向板带绕 x 轴、x 向板带绕 y 轴的正截面受弯承载力设计值，可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 及相关规范要求计算。

5.2.5 转换厚板受冲切截面及受冲切承载力验算应包括板上墙、柱对厚板，框支柱对厚板的冲切验算及冲切破坏锥体范围以外截面的抗冲切承载力验算。在地震组合下，配置拉筋或抗剪钢板的板柱节点应符合下列规定：

1 受冲切截面

$$\tau_0 \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} 1.2f_t\eta \quad (5.2.5-1)$$

2 当抗冲切钢筋采用拉筋和弯起钢筋时

$$\tau_0 \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} \left[0.3f_t\eta + 0.8 \frac{f_{yv}A_{svu}}{u_m h_0} + 0.8 \frac{f_y A_{sbu}}{u_m h_0} \sin \alpha \right] \quad (5.2.5-2)$$

3 配置抗冲切钢筋的冲切破坏锥体范围以外的斜截面承载力验算应满足：

$$\tau_0 \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} 0.42f_t\eta \quad (5.2.5-3)$$

式中： τ_0 ——混凝土受冲切截面主剪应力设计值；

η ——冲切承载力调整系数，按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 相关规定取值；

γ_{RE} ——承载力抗震调整系数，可取 0.85；

α ——弯起钢筋与板底面的夹角；

A_{svu} ——与呈 45°冲切破坏锥体斜截面相交的全部拉筋截面面积；

A_{sbu} ——与呈 45°冲切破坏锥体斜截面相交的全部弯起钢筋截面面积；

u_m ——临界截面的周长，取距离局部荷载或集中反力作用面积周边 $h_0/2$ 处板垂直截面的最不利周长。

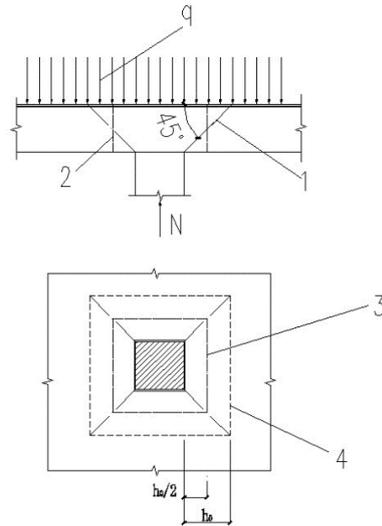


图 5.2.5 板受冲切承载力计算

1——冲切破坏锥体的斜截面；2——临界截面；

3——临界截面的周长；4——冲切破坏锥体的底面线

5.2.6 在地震组合下，当考虑板柱节点临界截面上的剪应力传递不平衡弯矩时，其考虑抗震等级的等效集中反力设计值 $F_{l,eq}$ 可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 附录 F 的规定计算，此时， F_l 为板柱节点临界截面所承受的竖向力设计值。由地震组合的不平衡弯矩在板柱节点处引起的等效集中反力设计值应乘以增大系数，对特一、一、二级抗震等级的板柱节点，该增大系数可分别取 1.9, 1.6, 1.3。受冲切承载力计算的抗震调整系数可取 0.85。

5.2.7 转换厚板的板柱节点核芯区截面抗震验算应符合下列规定：

1 板柱节点核芯区组合的剪力设计值应按下式确定：

$$V_j = \frac{1.15 \sum M_{bua}}{h_{s0} - a'_s} \left(1 - \frac{h_{s0} - a'_s}{H_c - h_s} \right) \quad (5.2.7-1)$$

2 节点核芯区组合的剪力设计值，应符合下列要求：

$$V_j \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} (0.30 \eta_j f_c A_j) \quad (5.2.7-2)$$

3 矩形柱节点核芯区截面抗震受剪承载力，应采用下列公式验算：

$$V_j \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} \left(0.9 \eta_j f_t A_j + f_{yv} A_{svj} \frac{h_{s0} - a'_s}{s} \right) \quad (5.2.7-3)$$

4 圆柱节点核芯区截面抗震受剪承载力，应采用下列公式验算：

$$V_j \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} \left(1.2 \eta_j f_t A_j + 1.57 f_{yv} A_{sh} \frac{h_{s0} - a'_s}{s} + f_{yv} A_{svj} \frac{h_{s0} - a'_s}{s} \right) \quad (5.2.7-4)$$

式中： V_j ——板柱节点核芯区组合的剪力设计值；

h_{s0} ——厚板截面的有效高度；

a'_s ——板受压钢筋合力点至受压边缘的距离；

H_c ——柱的计算高度，可采用节点和下柱反弯点之间的距离

h_s ——厚板截面的厚度；

$\sum M_{bua}$ ——节点左右穿过柱截面宽度范围板带反时针或顺时针方向实配的正截面抗震受弯承载

力所对应的弯矩之和，可根据实配钢筋面积和材料强度标准值确定；

A_j ——节点核心区有效截面面积，矩形柱可采用柱截面面积，圆柱可取 $0.8D^2$ ， D 为圆柱直径；

A_{svj} ——核心区有效验算宽度范围内同一截面验算方向箍筋的总截面面积，对于圆柱为同一截面验算方向的拉筋和非圆形箍筋的总截面面积；

γ_{RE} ——承载力抗震调整系数，可采用 0.85；

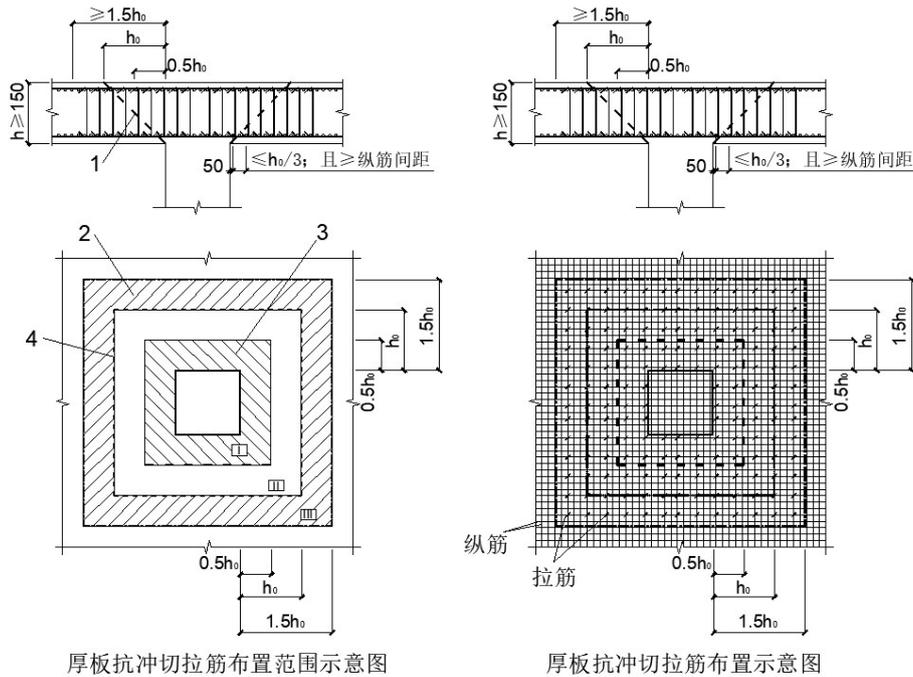
η_j ——厚板约束影响系数，中柱可取 1.25，边柱和角柱宜取 1.0；

A_{sh} ——单根圆形箍筋的截面面积。

5.2.8 转换厚板设计应符合下列规定：

1 受弯纵向钢筋应双（多）层双向配置，且每个方向的配筋率不宜小于 0.25%；钢筋间距不宜小于 150mm，不宜大于 250mm。

2 厚板抗冲切可采用拉筋、弯起钢筋、锚栓或型钢剪力架等多种元件。拉筋应按计算所需的截面面积配置在与 45° 冲切破坏锥体的斜截面相交的范围内，且从柱截面边缘向外的分布长度不应小于 $1.5h_0$ 。拉筋的间距不应大于 $h_0/3$ ，其中距柱截面边缘向外 $0.5h_0$ 范围内拉筋总面积占比不应少于 20%， $0.5h_0 \sim 1.0h_0$ 范围内拉筋总面积占比不应少于 40%。



1—冲切破坏锥体的斜截面 2—外延 $0.5h_0$ 范围
3—距柱边 $0.5h_0$ 范围 4—冲切破坏锥体的底面线

图 5.2.8 厚板抗冲切拉筋布置

3 厚板外周边应设置暗梁，其构造应符合下列规定：

- 1) 截面宽度不宜小于板厚的 1/4；
- 2) 上、下部纵向钢筋的配筋率不宜小于 0.40%；
- 3) 抗剪拉筋面积配筋率不宜小于 0.45%；
- 4) 腰筋间距不宜大于 200mm，直径不应小于 12mm；

5) 当暗梁通过框支柱时, 其截面宽度不宜小于柱截面宽度的 1/2, 不应大于柱截面宽度; 其配筋应满足柱上板带抗弯及抗剪的要求。

4 厚板板厚中间部位应设置双向钢筋网, 其直径不宜小于 12mm, 间距不应大于 300mm。

5 厚板纵向钢筋接头宜采用机械连接, 同一连接区段内接头钢筋截面面积不宜超过全部纵筋截面面积的 50%, 接头位置应避开上部墙体开洞部位、板上托柱部位和受力较大部位。

6 穿过框支边柱、角柱的纵向钢筋应在节点区可靠锚固, 水平段应伸至柱边, 且不小于 $0.4l_{aE}$, 板上部第一排纵向钢筋应向柱内弯折锚固, 且应延伸过板底不小于 l_{aE} ; 当板上部配置多排纵向钢筋时, 其内排钢筋锚入柱内的长度可适当减小, 但水平段长度和弯下段长度之和不应小于钢筋锚固长度 l_{aE} 。

5.2.9 框支柱在上部墙体范围内的纵向钢筋应伸入上部墙体内不少于一层, 其余柱纵筋应伸至厚板顶部, 从板底边计算的锚固长度不小于 l_{aE} 。

5.2.10 特一、一、二级板柱节点核心区配箍特征值分别不宜小于 0.15、0.12 和 0.10, 且箍筋体积配箍率不宜小于 0.8%、0.6% 和 0.5%。框支柱剪跨比不大于 2 的节点核心区体积配箍率不宜小于下柱端体积配箍率。

5.2.11 当转换厚板上部结构抗侧力构件主轴方向与矩形框支柱主轴 x 方向夹角 θ 在 $10^\circ \sim 80^\circ$ 之间时, 矩形截面柱宜按双向受剪构件进行截面承载力计算。

5.2.12 转换厚板上部墙体及框架柱的竖向钢筋宜伸至厚板底部, 不应小于 l_{aE} ; 当板厚小于 l_{aE} 时, 最小直锚长度不应小于 20d, 弯折段长度不应小于 150mm。

5.2.13 转换厚板上部一层墙体的配筋宜按下列规定进行校核:

1 柱上墙体的端部竖向钢筋面积 A_s :

$$A_s = h_c b_w (\sigma_{01} - f_c) / f_y \quad (5.2.13-1)$$

2 柱边 $0.2l_n$ 宽度范围内竖向分布钢筋面积 A_{sw} :

$$A_{sw} = 0.2l_n b_w (\sigma_{02} - f_c) / f_{yw} \quad (5.2.13-2)$$

3 转换板上部 $0.2l_n$ 高度范围内墙体水平分布钢筋面积 A_{sh} :

$$A_{sh} = 0.2l_n b_w \sigma_{xmax} / f_{yh} \quad (5.2.13-3)$$

式中: l_n ——转换板净跨度 (mm);

h_c ——框支柱截面高度 (mm);

b_w ——墙肢截面厚度 (mm);

σ_{01} ——柱上墙体 h_c 范围内考虑风荷载、地震作用组合的平均压应力设计值 (N/mm^2);

σ_{02} ——柱边墙体 $0.2l_n$ 范围内考虑风荷载、地震作用组合的平均压应力设计值 (N/mm^2);

σ_{xmax} ——转换板与墙体交接面上考虑风荷载、地震作用组合的水平拉应力设计值 (N/mm^2)。

有地震作用组合时, 公式 (5.2.13-1) ~ (5.2.13-3) 中的 σ_{01} 、 σ_{02} 、 σ_{xmax} 均应乘以 γ_{RE} , γ_{RE} 可取 0.85。

5.2.14 转换厚板上部墙体抗震等级为一级或特一级时, 水平施工缝的抗滑移应符合下式要求:

$$V_{wj} \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} (0.6f_y A_s + 0.8N) \quad (5.2.14)$$

式中: V_{wj} ——剪力墙水平施工缝处剪力设计值;

A_s ——水平施工缝处剪力墙腹板内竖向分布钢筋和边缘构件中的竖向钢筋总面积 (不包括两侧翼墙), 以及在墙体中有足够锚固长度的附加竖向插筋面积;

f_y ——竖向钢筋抗拉强度设计值;

N ——水平施工缝处考虑地震作用组合的轴向力设计值，压力取正值，拉力取负值。

5.2.15 转换厚板的最大挠度应按荷载的准永久组合，并应考虑荷载长期作用的影响进行计算，其计算值不应超过计算跨度的 $1/400$ ；对于悬臂段，其计算值不应超过伸臂段长度的 $1/200$ 。转换厚板的挠度计算不宜考虑起拱的有利影响。

6 车辆基地上盖隔震设计

6.1 一般规定

6.1.1 车辆基地上盖建筑可采用层间隔震技术进行设计,宜按现行国家标准《建筑隔震设计标准》GB/T 51408 的相关规定进行设防地震、罕遇地震计算;也可按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的相关规定分别进行多遇地震、设防地震、罕遇地震计算。

6.1.2 当车辆基地上盖建筑层间隔震采用现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 设计时,应按本标准附录 A 的规定采用抗震性能设计方法进行补充分析与论证。

6.1.3 车辆基地上盖建筑所采用的隔震(振)装置,当仅考虑地震作用的隔震设计时,可选用天然橡胶支座(LNR)、铅芯橡胶支座(LRB)、高阻尼橡胶支座(HDR)、弹性滑板支座(ESB)和摩擦摆隔震支座(FPS)。当考虑振震双控设计时,可选用具有竖向隔振和水平隔震的三维隔震支座,并应经专门研究。

6.1.4 车辆基地上盖建筑所采用的隔震装置应符合现行国家标准《橡胶支座第 3 部分:建筑隔震橡胶支座》GB 20688.3、《橡胶支座第 5 部分:建筑隔震弹性滑板支座》GB 20688.5、《建筑摩擦摆隔震支座》GB/T 37358 的有关规定。

6.1.5 车辆基地上盖建筑隔震结构的地震作用计算应采用振型分解反应谱法,并应采用时程分析法进行补充计算。车辆基地上盖建筑隔震(振)结构的交通环境振动作用计算应采用时程分析法。计算所采用的分析模型应能合理反映结构的地震响应和环境振动响应。

6.1.6 隔震结构分析模型应为包含隔震层上部结构、隔震层和隔震层下部结构的整体结构。隔震层下部结构的范围宜取上盖塔楼结构投影,并应至少向外延伸一跨。

6.2 隔震结构设计

6.2.1 对于层高较高、跨度较大的架修库区域,其隔震层宜设置在架修库屋面层或架修库屋面上层。当隔震层设置在架修库屋面上层时,可将架修库屋面及其上一层形成的桁架、空腹桁架、混合空腹桁架作为立体桁架屋盖进行分析。在多遇地震作用下,作为桁架屋盖的楼层其层间位移角不应超过 1/2000。

6.2.2 车辆基地上盖隔震建筑的抗倾覆验算,应符合下列规定:

1 抗倾覆验算应包括上部结构整体抗倾覆验算和隔震支座承载力验算。

2 结构整体抗倾覆验算应按罕遇地震作用计算倾覆力矩,并按上部结构重力荷载代表值计算抗倾覆力矩,其安全系数不宜小于 1.5。

3 橡胶支座在罕遇地震作用下的拉应力不应大于 1Mpa,且出现拉应力的支座数量不宜超过支座总数的 30%;当不能满足时,应对隔震层采取相应的抗倾覆措施,使结构抗倾覆安全系数不小于 1.5。

6.2.3 车辆基地上盖建筑隔震层的抗风承载力应符合下式要求:

$$\gamma_w V_{wk} \leq V_{Rw} \quad (6.2.3)$$

式中: V_{Rw} ——隔震层抗风承载力设计值。隔震层抗风承载力由抗风装置和隔震支座的屈服力构成,按屈服强度设计值确定;

γ_w ——风荷载分项系数,取 1.5;

V_{wk} ——风荷载作用下隔震层的水平剪力标准值。

6.3 隔震装置

6.3.1 隔震层中的隔震支座选用应符合现行国家标准《建筑隔震设计标准》GB/T 51408 的相关规定。可采用经专门研究的三维隔震（振）支座。

6.3.2 隔震层采用的隔震支座产品应通过型式检验和出厂检验，并应符合国家标准的相关规定。检验确定的产品性能应满足设计要求。出厂检验报告只对采用该产品的项目有效，不得重复使用。

6.3.3 隔震层中的隔震支座应在安装前进行出厂检验，出厂检验数量应符合下列规定：

- 1 重点设防类建筑，每种规格产品抽样数量应为 100%；
- 2 标准设防类建筑，每种规格产品抽样数量不应少于总数的 50%；有不合格试件时，应 100% 检测；
- 3 每项工程抽样总数不应少于 20 件，每种规格的产品抽样数量不应少于 4 件；当产品少于 4 件时，应全部进行检验。

7 基础设计

7.0.1 上盖拟建高层建筑的车辆基地的地基基础设计等级应为甲级。

7.0.2 车辆基地上盖高层建筑基础的埋置深度应满足地基承载力、变形和稳定性要求。位于岩石地基上的车辆基地上盖高层建筑，其基础埋深应满足抗滑移稳定性要求。

7.0.3 当基础埋置深度无法满足现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 和现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 的相关要求时，应在常规设计的基础上补充考虑抗震性能设计后设防烈度地震作用下的地基承载力验算及抗倾覆稳定性验算。荷载组合可采用重力荷载代表值与设防水平地震标准值组合，分项系数应取 1.0。具体验算应符合下列规定：

1 天然地基可按下列公式验算：

在轴心竖向力作用下：

$$p_k \leq f_{aE} \quad (7.0.3-1)$$

$$f_{aE} = \zeta_a f_a \quad (7.0.3-2)$$

在偏心竖向力作用下，除应符合式（7.0.3-1）的要求外，尚应符合下式规定：

$$p_{kmax} \leq 1.2f_{aE} \quad (7.0.3-3)$$

式中： p_k ——设防地震作用效应标准组合时，基础底面的平均压力；

f_{aE} ——地基抗震承载力特征值；

ζ_a ——地基抗震承载力调整系数，按表 7.0.3 采用；

f_a ——深宽修正后的地基承载力特征值；

p_{kmax} ——设防地震作用效应标准组合时，基础底面边缘的最大压力。

表 7.0.3 地基承载力调整系数

岩土名称和性状	ζ_a
岩石，密实的碎石土，密实的砾、粗、中砂， $f_{ak} \geq 300\text{kPa}$ 的黏性土和粉土	1.9
中密、稍密的碎石土，中密和稍密的砾、粗、中砂，密实和中密的细、粉砂， $150\text{kPa} \leq f_{ak} < 300\text{kPa}$ 的黏性土和粉土，坚硬黄土	1.6
稍密的细、粉砂， $100\text{kPa} \leq f_{ak} < 150\text{kPa}$ 的黏性土和粉土，可塑黄土	1.4
淤泥、淤泥质土，松散的砂，杂填土，新近堆积黄土及流塑黄土	1.0

2 基桩承载力可按下列公式验算：

在轴心竖向力作用下：

$$N_{Ek} \leq 1.6R \quad (7.0.3-4)$$

在偏心竖向力作用下，除应符合式(7.0.3-4)的要求外，尚应符合下式要求：

$$N_{Ekmax} \leq 2.0R \quad (7.0.3-5)$$

在水平力作用下：

$$H_{iEk} \leq 1.7R_h \quad (7.0.3-6)$$

当基桩受拉时，应符合下式要求：

$$T_{iEk} \leq 2.0R_{ta} \quad (7.0.3-7)$$

式中： N_{Ek} ——设防地震作用效应和重力荷载效应标准组合下，基桩或复合基桩的平均竖向力；

N_{Ekmax} ——设防地震作用效应和重力荷载效应标准组合下，基桩或复合基桩的最大竖向力；

R ——基桩或复合基桩竖向承载力特征值；

H_{iEk} ——设防地震作用效应组合下，作用于基桩 i 桩顶处的水平力；

R_h ——单桩基础或群桩中基桩的水平承载力特征值,对于单桩基础,可取单桩的水平承载力特征值 R_{ha} ;

T_{iEk} ——设防地震作用效应组合下,作用于基桩*i*桩顶处的上拔力;

R_{ta} ——单桩基础或群桩中基桩的抗拔承载力特征值。

3 倾覆力矩可近似取中震等效弹性分析结果,抗倾覆稳定系数不宜小于 2.0,不应小于 1.5。

4 基础底面与地基之间零应力区面积不宜超过基础底面积的 20%。

7.0.4 地基抗滑移稳定性验算应在确定地基破坏模式的基础上进行,可根据地基岩土特性采用圆弧滑动法或平面滑动法。最危险的滑动面上的抗力与作用之比应符合下式要求:

$$R_s/S_s \geq K_s \quad (7.0.4)$$

式中: S_s ——滑移力(kN)或滑动力矩(kN·m);

R_s ——抗滑力(kN)或抗滑力矩(kN·m)。

K_s ——抗滑移稳定安全系数。当滑动面为圆弧滑动面时,取 1.2;当滑动面为平面滑动面时,取 1.3;设防地震组合可取 1.1。

7.0.5 采用桩基设计的车辆基地柱下宜设置多桩承台。当承台之间沿两个主轴方向设置连系梁时,应采取有效措施减少车辆运行振动对上盖使用环境的影响;当垂直轨道方向无法设置连系梁时,可按 7.0.3 条的规定,补充验算设防地震作用下的桩基承载力。

7.0.6 连系梁设计应符合下列要求:

1 连系梁的截面宽度不宜小于 250mm,高度可取承台中心距的 1/10~1/15,且不宜小于 400mm;

2 连系梁应能传递柱底剪力设计值;

3 连系梁的正截面轴心受压承载力应符合下列规定:

$$N \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} 0.9\varphi (f_c A + f'_y A'_s) \quad (7.0.6-1)$$

4 连系梁的正截面轴心受拉承载力应符合下列规定:

$$N \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} f_y A_s \quad (7.0.6-2)$$

式中: N ——作用于连系梁端的轴力设计值,可取柱底剪力设计值或柱轴力设计值的 1/10;

φ ——钢筋混凝土构件的稳定系数,可取 0.9;

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值;

A ——构件截面面积;

A_s 、 A'_s ——全部纵向受拉、受压钢筋的截面面积;

f_y 、 f'_y ——钢筋抗拉、抗压强度设计值;

γ_{RE} ——承载力抗震调整系数,可取 0.75。

7.0.7 承台周围应采用水泥石粉渣、级配砂石、压实性较好的素土回填,并分层夯实,也可采用素混凝土回填;当承台周围为可液化土或地基承载力特征值小于 40kPa(或不排水抗剪强度小于 15kPa)的软土,且桩基水平承载力不满足水平荷载作用验算要求时,可将承台外每侧 1/2 承台边长内的土进行加固。

8 预留要求

- 8.0.1** 车辆基地上盖预留设计应结合上位规划和法定图则的基础条件，在保证满足车辆基地功能及运营安全的基础上，充分考虑未来上盖开发强度及灵活布置的需求，结合经济性要求确定预留条件。
- 8.0.2** 车辆基地设计应为近、远期上盖开发预留必要的交通接驳或设备配套条件，并应满足上盖与车辆基地自成体系、分开设置、相对独立的功能及使用要求。
- 8.0.3** 车辆基地的结构预留宜根据拟建上盖建筑的类别及高度等条件初步确定结构体系，选用适宜整体结构的抗震性能目标，并应采取满足底部框架预期抗震性能目标的抗震措施。后期实施的结构整体设计，其耗能机制及能力应与预留设计相当。
- 8.0.4** 车辆基地的荷载预留宜根据上盖荷载分布及竖向构件受力的集中程度区别对待。上盖预留设计应提出对底部框架及基础的承载要求，含性能目标、构件最小尺寸及构造要求等。
- 8.0.5** 车辆基地上盖预留设计应考虑车辆基地的实际设计工作年限，并应按本标准的有关规定调整相关荷载和作用的取值。
- 8.0.6** 车辆基地上盖预留垂直电梯时，电梯坑设计应考虑电梯竖向撞击荷载，其标准值可取电梯总重力荷载的（4~6）倍。荷载偶然组合的效应设计值应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的有关规定采用。
- 8.0.7** 盖板、上盖地坪与车辆基地相邻的临空部位，其防车辆坠入等安全防护结构应考虑汽车撞击荷载。荷载取值可根据通行车辆的载重、上盖通行限速等条件，按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 及行业标准《公路桥涵设计通用规范》JTG D60 的相关规定设计。
- 8.0.8** 车辆基地基础设计应根据上盖开发结构的特点，采取相关构造措施，预留必要条件，满足整体结构基础埋深、地基承载力、变形及稳定性要求。
- 8.0.9** 车辆基地上盖所有竖向构件的纵筋、型钢，上盖可能增设构件的埋件等均应在盖板施工阶段进行预留，并应采取有效措施进行保护。
- 8.0.10** 车辆基地盖板设计应考虑预留上盖建筑的施工荷载，包括施工堆载、施工电梯、塔吊、重车通行、转换层支模等，荷载取值不宜小于 10kN/m²。
- 8.0.11** 上盖结构和车辆基地分段施工时，上盖施工应采取可靠的防护措施，避免上盖施工对车辆基地正常运营产生不利影响。

附录 A 性能设计

A.0.1 结构抗震性能设计应明确抗震性能目标。

A.0.2 车辆基地上盖建筑的抗震性能目标可根据结构整体方案及上盖、车辆基地各自结构体系的特点分别设置。按现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ3 的有关规定，结构抗震性能目标分为 A、B、C、D 四个等级，结构抗震性能分为 1、2、3、4、5 五个水准，每个性能目标均与一组在指定地震地面运动下的结构抗震性能水准相对应。不同抗震性能水准的结构可按现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ3 的有关规定进行设计，并应采取满足预期抗震性能目标的措施。

A.0.3 车辆基地上盖主要结构体系中各类构件的抗震性能目标可按表 A.0.3-1~表 A.0.3-6 选用。

表 A.0.3-1 全框支剪力墙结构抗震性能目标

结构构件（性能目标）		多遇地震 （性能水准）	设防烈度地震 （性能水准）	预估的罕遇地震 （性能水准）
关键构件	框支柱（B）	弹性（1 水准）	弹性（2 水准）	抗弯不屈服，抗剪弹性（3 水准）
	转换梁（B）	弹性（1 水准）	弹性（2 水准）	抗弯不屈服，抗剪弹性（3 水准）
	塔楼范围及外扩一跨 框架柱（B）	弹性（1 水准）	弹性（2 水准）	抗弯不屈服，抗剪弹性（3 水准）
	底部加强部位剪力墙 （C）	弹性（1 水准）	抗弯不屈服，抗剪弹性 （3 水准）	个别抗弯屈服，抗剪不屈服 （4 水准）
普通竖向 构件	除关键构件外的剪力 墙、框架柱（C）	弹性（1 水准）	抗弯不屈服，抗剪弹性 （3 水准）	部分抗弯屈服，满足截面抗剪 （4 水准）
耗能构件	转换层塔楼范围及外 扩一跨框架梁（B）	弹性（1 水准）	抗弯不屈服，抗剪弹性， （2 水准）	部分抗弯屈服，抗剪不屈服 （3 水准）
	其它框架梁、连梁 （C）	弹性（1 水准）	部分抗弯屈服，抗剪不屈服 （3 水准）	大部分抗弯屈服，满足截面抗剪 （4 水准）
竖向构件 变形要求	转换层以上	$\leq 1/800$	-	$\leq 1/120$
	转换层/裙房	$\leq 1/2000$	-	$\leq 1/200$

注：表中量词“个别”、“部分”和“大部分”可分别按 10%、20%和 50%左右控制（以下同）。

表 A.0.3-2 托柱框架结构抗震性能目标

结构构件（性能目标）		多遇地震 （性能水准）	设防烈度地震 （性能水准）	预估的罕遇地震 （性能水准）
关键构件	托柱转换柱 （C）	弹性（1 水准）	抗弯不屈服，抗剪弹性（3 水准）	抗弯不屈服，抗剪不屈服（4 水准）
	转换梁（C）	弹性（1 水准）	抗弯不屈服，抗剪弹性（3 水准）	抗弯不屈服，抗剪不屈服（4 水准）
普通竖向 构件	除关键构件外 框架柱（C）	弹性（1 水准）	抗弯不屈服，抗剪弹性，（3 水准）	部分抗弯屈服，满足截面抗剪 （4 水准）
耗能构件	框架梁（C）	弹性（1 水准）	部分抗弯屈服，抗剪不屈服 （3 水准）	大部分抗弯屈服，满足截面抗剪 （4 水准）
竖向构件变形要求		$\leq 1/500$	-	$\leq 1/50$

表 A.0.3-3 全框支框架-剪力墙结构抗震性能目标

结构构件（性能目标）		多遇地震 （性能水准）	设防烈度地震 （性能水准）	预估的罕遇地震 （性能水准）
关键构件	框支柱（B）	弹性（1水准）	弹性（2水准）	抗弯不屈服，抗剪弹性（3水准）
	转换梁（B）	弹性（1水准）	弹性（2水准）	抗弯不屈服，抗剪弹性（3水准）
	转换层以下塔楼范围框架柱（B）	弹性（1水准）	弹性（2水准）	抗弯不屈服，抗剪弹性（3水准）
	底部加强部位剪力墙（C）	弹性（1水准）	抗弯不屈服，抗剪弹性（3水准）	个别抗弯屈服，抗剪不屈服（4水准）
普通竖向构件	除关键构件外的剪力墙、框架柱（C）	弹性（1水准）	抗弯不屈服，抗剪弹性（3水准）	部分抗弯屈服，满足截面抗剪（4水准）
耗能构件	转换层塔楼范围框架梁（B）	弹性（1水准）	抗弯不屈服，抗剪弹性，（2水准）	部分抗弯屈服，抗剪不屈服（3水准）
	其它框架梁、连梁（C）	弹性（1水准）	部分抗弯屈服，抗剪不屈服（3水准）	大部分抗弯屈服，满足截面抗剪（4水准）
竖向构件变形要求	转换层以上	$\leq 1/650$	-	$\leq 1/100$
	转换层/裙房	$\leq 1/2000$	-	$\leq 1/200$

表 A.0.3-4 全框支框架-核心筒结构抗震性能目标

结构构件（性能目标）		多遇地震 （性能水准）	设防烈度地震 （性能水准）	预估的罕遇地震 （性能水准）
关键构件	框支柱（B）	弹性（1水准）	弹性（2水准）	抗弯不屈服，抗剪弹性（3水准）
	转换梁（B）	弹性（1水准）	弹性（2水准）	抗弯不屈服，抗剪弹性（3水准）
	转换层以下塔楼范围框架柱（B）	弹性（1水准）	弹性（2水准）	抗弯不屈服，抗剪弹性（3水准）
	底部加强部位剪力墙（C）	弹性（1水准）	抗弯不屈服，抗剪弹性（3水准）	个别抗弯屈服，抗剪不屈服（4水准）
普通竖向构件	除关键构件外的筒体剪力墙、框架柱（C）	弹性（1水准）	抗弯不屈服，抗剪弹性（3水准）	部分抗弯屈服，满足截面抗剪（4水准）
耗能构件	转换层塔楼范围框架梁（B）	弹性（1水准）	抗弯不屈服，抗剪弹性，（2水准）	部分抗弯屈服，抗剪不屈服（3水准）
	其它框架梁、连梁（C）	弹性（1水准）	部分抗弯屈服，抗剪不屈服（3水准）	大部分抗弯屈服，满足截面抗剪（4水准）
竖向构件变形要求	转换层以上	$\leq 1/650$	-	$\leq 1/100$
	转换层/裙房	$\leq 1/2000$	-	$\leq 1/200$

表 A.0.3-5 全框支厚板转换结构抗震性能目标

结构构件（性能目标）		多遇地震 （性能水准）	设防烈度地震 （性能水准）	预估的罕遇地震 （性能水准）
关键构件	框支柱（B）	弹性（1水准）	弹性（2水准）	抗弯不屈服，抗剪弹性（3水准）

续表 A.0.3-5

结构构件（性能目标）		多遇地震 （性能水准）	设防烈度地震 （性能水准）	预估的罕遇地震 （性能水准）	
关键构件	转换厚板（B）	弹性（1水准）	弹性（2水准）	抗弯不屈服，抗冲切、抗剪弹性 （3水准）	
	塔楼范围及外扩一跨框架柱（B）	弹性（1水准）	弹性（2水准）	抗弯不屈服，抗剪弹性（3水准）	
	底部加强部位剪力墙（C）	弹性（1水准）	抗弯不屈服，抗剪弹性（3水准）	个别抗弯屈服，抗剪不屈服（4水准）	
普通竖向构件	除关键构件外的剪力墙、框架柱（C）	弹性（1水准）	抗弯不屈服，抗剪弹性（3水准）	部分抗弯屈服，满足截面抗剪（4水准）	
耗能构件	框架梁、连梁（C）	弹性（1水准）	部分抗弯屈服，抗剪不屈服（3水准）	大部分抗弯屈服，满足截面抗剪（4水准）	
竖向构件变形要求	转换层以上	剪力墙结构	$\leq 1/800$	-	$\leq 1/120$
		框架-剪力墙结构 框架-核心筒结构	$\leq 1/650$	-	$\leq 1/100$
	转换层/裙房		$\leq 1/2000$	-	$\leq 1/200$

表 A.0.3-6 隔震框支剪力墙结构抗震性能目标

结构构件（性能目标）		多遇地震 （性能水准）	设防烈度地震 （性能水准）	预估的罕遇地震 （性能水准）	
隔震层下部结构	关键构件	塔楼范围及外扩一跨框架柱（B）	弹性（1水准）	弹性（2水准）	抗弯不屈服，抗剪弹性（3水准）
		塔楼范围及外扩一跨框架梁（B）	弹性（1水准）	弹性（2水准）	抗弯不屈服，抗剪弹性（3水准）
	普通竖向构件	除关键构件外的框架柱（C）	弹性（1水准）	抗弯不屈服，抗剪弹性（3水准）	抗弯不屈服，抗剪不屈服（4水准）
	耗能构件	转换桁架支撑（B）	弹性（1水准）	弹性（2水准）	部分抗弯屈服，抗剪不屈服（3水准）
	竖向构件变形要求		$\leq 1/1000$	$\leq 1/500$	$\leq 1/200$
隔震层上部剪力墙结构	关键构件	底部加强区重要剪力墙（C）	弹性（1水准）	抗弯不屈服，抗剪弹性（3水准）	抗弯不屈服，抗剪不屈服（4水准）
	普通竖向构件	除关键构件外的剪力墙（C）	弹性（1水准）	抗弯不屈服，抗剪弹性（3水准）	部分抗弯屈服，满足截面抗剪（4水准）
	耗能构件	框架梁、连梁（C）	弹性（1水准）	部分抗弯屈服，抗剪不屈服（3水准）	大部分抗弯屈服，满足截面抗剪（4水准）
	竖向构件变形要求		$\leq 1/800$	$\leq 1/400$	$\leq 1/200$
隔震层	关键构件	转换梁（B）	弹性（1水准）	弹性（2水准）	抗弯不屈服，抗剪弹性（3水准）
		支墩（B）	弹性（1水准）	弹性（2水准）	抗弯不屈服，抗剪弹性（3水准）
	变形要求		-	-	$\leq \text{Min}(0.55D, 3Tr)$

注：表 A.0.3-6 中的 D 为橡胶隔震支座的有效直径，T_r 为橡胶隔震支座内部橡胶的总厚度。

本标准用词说明

- 1 为了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”或“不得”；
 - 3) 表示允许稍有选择，在条件许可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 条文中指明应按其他有关的标准、规范执行的写法为“符合……的规定”或“应按……执行”；非必须按所指定的标准和规范执行的写法为“可参照……执行”。

引用标准名录

- 1 《声环境质量标准》 GB 3096
- 2 《建筑地基基础设计规范》 GB 50007
- 3 《建筑结构荷载规范》 GB 50009
- 4 《混凝土结构设计规范》 GB 50010
- 5 《建筑抗震设计规范》 GB 50011
- 6 《建筑设计防火规范》 GB 50016
- 7 《钢结构设计标准》 GB 50017
- 8 《岩土工程勘察规范》 GB 50021
- 9 《建筑抗震鉴定标准》 GB 50023
- 10 《人民防空地下室设计规范》 GB 50038
- 11 《建筑结构可靠性设计统一标准》 GB 50068
- 12 《地铁设计规范》 GB 50157
- 13 《建筑工程抗震设防分类标准》 GB 50223
- 14 《人民防空工程设计规范》 GB 50225
- 15 《混凝土结构耐久性设计标准》 GB 50476
- 16 《地铁设计防火标准》 GB 51298
- 17 《电梯制造与安装安全规范》 GB 7588
- 18 《橡胶支座第 1 部分：隔震橡胶支座试验方法》 GB 20688.1
- 19 《橡胶支座第 3 部分：建筑隔震橡胶支座》 GB 20688.3
- 20 《橡胶支座第 5 部分：建筑隔震弹性滑板支座》 GB 20688.5
- 21 《建筑摩擦摆隔震支座》 GB/T 37358
- 22 《建筑隔震设计标准》 GB/T 51408
- 23 《高层建筑混凝土结构技术规程》 JGJ 3
- 24 《无粘结预应力混凝土结构技术规程》 JGJ 92
- 25 《建筑桩基技术规范》 JGJ 94
- 26 《高层民用建筑钢结构技术规程》 JGJ 99
- 27 《公路桥涵设计通用规范》 JTG D60
- 28 《公路交通安全设施设计规范》 JTG D81
- 29 《地铁限界标准》 CJJ/T 96
- 30 《建筑隔震橡胶支座》 JG/T 118
- 31 《建筑消能阻尼器》 JG/T 209
- 32 《高层建筑岩土工程勘察标准》 JGJ/T 72
- 33 《城市轨道交通引起建筑物振动与二次辐射噪声限值及其测量方法标准》 JGJ/T 170
- 34 《建筑结构抗倒塌设计规范》 CECS 392
- 35 《建筑工程混凝土结构抗震性能设计规程》 DBJ/T 15 - 151
- 36 《深圳市地基基础勘察设计规范》 SJG 01
- 37 《城市轨道交通上盖建筑设计标准》 DG/TJ 08 - 2263

深圳市工程建设地方标准

轨道交通车辆基地上盖建筑结构设计标准

SJG 121 - 2022

条文说明

目 次

1 总则.....	28
2 术语和符号.....	29
2.1 术语.....	29
2.2 符号.....	29
3 基本规定.....	31
4 结构设计.....	33
4.1 一般规定.....	33
4.2 结构布置.....	35
4.3 荷载、作用和结构计算.....	38
5 全框支厚板转换结构.....	41
5.1 一般规定.....	41
5.2 截面设计及构造.....	41
6 车辆基地上盖隔震设计.....	42
6.1 一般规定.....	42
6.2 隔震结构设计.....	42
6.3 隔震装置.....	43
7 基础设计.....	44
8 预留要求.....	46
附录 A 性能设计.....	47

1 总 则

1.0.3 多数情况下，车辆基地上盖建筑结构存在多项不规则，表现为不能完全符合抗震概念设计的要求，需要采用抗震性能设计方法进行分析论证；结构比较规则，完全符合抗震概念设计要求时，可采用常规抗震设计方法，不进行抗震性能设计。

1.0.4 本标准是对现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011、行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ3 等标准、规范和规程的补充，重点关注车辆基地及其上盖建筑结构设计中的疑难问题的解决和相关新技术的应用，为实现车辆基地上盖使用的特殊要求提供设计依据。所涉及的结构形式、计算方法均经过深入研究和试验论证。现行标准、规范、规程有明确规定的条文，本标准一般不重复表述。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.5 关于“车辆基地”的名称，原国家标准《地下铁道设计规范》GB 50157 - 92 曾采用“车辆段及其他基地”，《地铁设计规范》GB 50157 - 2003 改用“车辆段与综合基地”，《地铁设计规范》GB 50157 - 2013 则根据多年来地铁工程建设实践，基于本“基地”是以车辆检修和日常维修为主体，集约车辆段（停车场）、综合维修中心、物资总库、培训中心及相关设施而形成的综合性生产单位，并考虑到国内现行相关标准和规范的现实，统一名称为《车辆基地》。《车辆基地》是包括上述多个单位在内的综合体总称，在工程设计中，通常可用相应的车辆段或停车场命名，必须明确设有车辆段的基地是车辆基地，仅设停车场的基地也是车辆基地，两者只是规模不同而已。国际上采用较多的英文词汇为“depot”。

2.1.7~2.1.9 车辆基地上盖开发一般以盖板为界，上盖建筑、盖板、上盖地坪的相对剖面关系如图 1 所示。

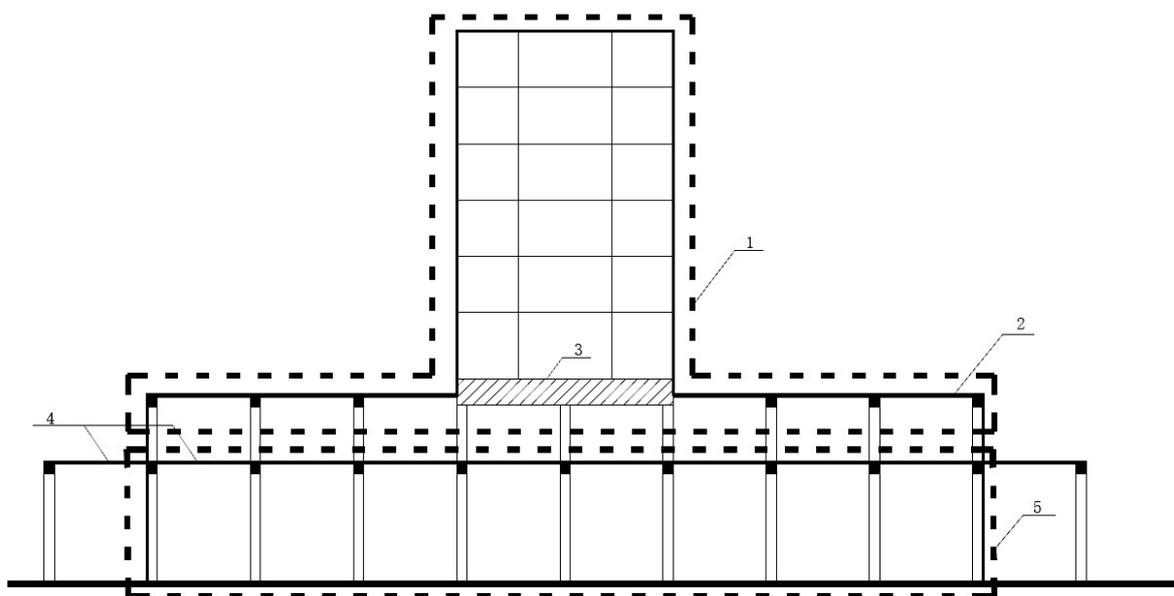


图 1 车辆基地上盖剖面示意

1——上盖建筑； 2——上盖地坪； 3——转换层； 4——盖板； 5——车辆基地

2.2 符号

2.2.2 作用和作用效应

单元体在一般空间应力状态下有 6 个独立的应力分量： σ_x ， σ_y ， σ_z ， τ_{xy} ， τ_{yz} ， τ_{zx} ，相关定义如图 2 所示。

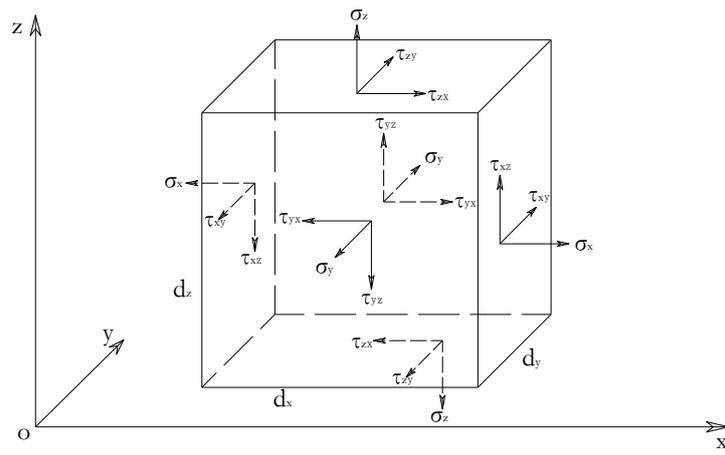


图 2 单元体空间应力示意图

3 基本规定

3.0.1 根据工程实践，上盖建筑开发与车辆基地建设存在土地确权、规划、开发时序无法同步的现实情况，使得整体设计在操作上具有一定的难度，但并非没有可能，可通过对开发流程的协调或创新来实现。

从节能及生产人员健康考虑，车辆基地内检修库的双周月检库、定修、临修、大修、架修等检修位置，静调和转向架位置，消防车道位置，可以开设采光井，以提供自然采光和自然通风的条件。

3.0.2 作为带上盖开发车辆基地的设计原则，现行国家标准《地铁设计规范》GB 50157 的条文说明具体规定如下：

- 1 车辆基地物业开发，首先应明确开发内容、性质和规模，避免其盲目性，造成废弃工程；
- 2 总平面布置应在保证车辆基地的规模和功能的基础上，对站场布置、房屋建筑、供电、通风与空调、给排水及消防环境保护等设备、设施和物业开发的内容进行统一规划，避免相互干扰；
- 3 综合考虑车辆基地与物业开发之间内、外道路的合理衔接，并明确车辆基地和物业开发工程接口划分；
- 4 做好相关市政配套设施的规划；
- 5 按设计阶段做好投资估算、概算及资金来源和筹措，并进行技术经济比较和经济、社会效应分析；

根据上盖开发的工程实践，为提高车辆基地上盖建筑开发的品质，本标准建议上盖建筑和车辆基地设计应共同遵守此原则。

3.0.3 结构可靠性与结构的设计工作年限长短有关，是结构安全可靠、经济合理、可持续发展的基本要求。对于考虑上盖建筑开发的车辆基地，其设计工作年限具有一定的不确定性。设计时应结合开发和使用的具体情况，分别确定车辆基地和上盖建筑的设计工作年限。当上盖建筑开发时间迟于车辆基地投入运营时间时，应适当延长车辆基地的设计工作年限，上盖建筑设计工作年限不需延长。当上盖建筑开发滞后年限超出预留设计工作年限时，应按现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》GB 50023 等对车辆基地结构可继续工作年限进行鉴定，必要时应采取如加固、减震等可靠措施，确保车辆基地的工作年限可以满足上盖建筑的设计工作年限要求。

3.0.4 噪声与振动控制对上盖建筑开发有重要影响，涉及环保、建筑、城市规划、新型材料等多个领域的配合，需要上盖建筑和车辆基地设计共同解决。目前我国还没有具体的轨道交通减振降噪国家标准与设计规范，一般依据现行国家标准《地铁设计规范》GB 50157、《声环境质量标准》GB 3096、行业标准《城市轨道交通引起建筑物振动与二次辐射噪声限值及其测量方法标准》JGJ/T 170 等的有关规定设计。

在国内外轨道交通工程中应用比较普遍，对控制和减缓轨道交通列车噪声、振动具有明显效果的减振降噪措施主要有：金属弹簧浮置减振道床、橡胶浮置板减振道床、轨道减振器、各种弹性扣件以及各种形式的声屏障等。

当上述措施不能完全满足上盖声环境质量要求时，应从车辆、轨道结构、振动噪音传播、结构分离等多角度出发，采取更加有效的措施，实现减振降噪。对于隔震方案，宜和轨道交通振动的减振措施综合考虑，可采用既隔地震作用，也隔车辆振动作用的复合型隔震（振）技术，实现“震振双控”。

3.0.5 当上盖建筑与车辆基地分段实施时，盖板作为临时屋面，其防水应保持完整性和连续性。

虽然分段实施过程中可能铲除盖板保温层和防水层等建筑做法，但任何情况下都不应因渗漏影响车辆基地的正常使用。

上盖建筑内有水用房、商业配套设施，如厕所、茶水间、暖通机房、消防泵房、隔油池、污水池、餐饮商铺的厨房等不应贴邻车辆基地的变电所、配电间等重要电气机房正上方设置。目的是为了防止上盖建筑内相关有水设备用房因漏水影响下方车辆基地变电所、配电间等重要电气机房的安全使用，造成运营事故。

盖板防水等级降低的范围仅限于未来有上盖建筑的区域。

由于车辆基地盖板面积较大，屋面排水设计宜采用结构找坡的方式。

3.0.6 “各出入口与城市道路系统衔接的引道可共用”系参考现行上海市标准《城市轨道交通上盖建筑设计标准》DG/TJ 08 - 2263 - 2018 的有关规定。

3.0.7 上盖板的匝道通常是盖板出让的交地条件之一，是上盖建筑与地面联系的重要通道。

3.0.9 为确保车辆基地运营安全应采用必要的防护措施。防护措施应满足国家、行业、广东省有关标准及地铁集团运营管理要求。为避免汽车冲出上盖车库或上盖地坪，造成次生灾害，车辆可到达区域的护栏，应考虑汽车的撞击作用，并按《公路桥涵设计通用规范》JTG D60 和《公路交通安全设施设计规范》JTG D81 的有关规定设计。

4 结构设计

4.1 一般规定

4.1.1 本条为选择车辆基地上盖建筑结构体系时需要遵循的基本原则。车辆基地上盖结构体系的选择不只是单一的结构合理性问题，同时要考虑盖板上部空间土地出让迟滞对结构整体设计的影响、后续施工对车辆基地运营的影响、基地建设投资与上盖开发回报的平衡等一系列问题，是一个综合的技术经济问题，应全面考虑确定。

4.1.2 成熟结构体系是在长期工程实践基础上形成的，有利于保证设计质量。根据车辆基地上盖开发工程实践，框架结构、托柱转换结构、部分框支-剪力墙结构、全框支转换结构、层间隔震等结构体系均有使用。托柱转换结构本质上是框架结构，其被转换的竖向构件是柱。单独列出是因为工程设计中存在将托柱转换与框支转换混淆的情况。当车辆基地允许上盖剪力墙落地时，可采用部分框支-剪力墙结构。

由于车辆基地多为大跨单层框架结构，上盖建筑多为高层剪力墙结构，导致结构整体存在刚度突变、竖向构件不连续性等不规则问题，是结构抗震设计需要解决的首要问题。全框支转换、层间隔震等结构体系在地震作用下具有合理的屈服机制，对车辆基地结构布置及使用影响最小，同时又能满足上盖建筑在规划、功能等方面的需求，属于适合车辆基地上盖建筑的结构抗震体系。当上盖建筑传给车辆基地的地震作用超过预留设计时，可考虑采用消能减震（振）的设计方法。

4.1.3~4.1.4 本条文为全框支转换结构的设计原则。同济大学、广州大学已完成了多个全框支转换结构振动台试验，包括梁式、厚板转换等。试验结果证明了按上述原则设计的结构屈服机制合理，可实现全框支转换结构在地震作用下的抗震性能目标。

4.1.5 车辆基地的主要厂房停车库、列检库等抗震设防类别多为标准设防类，其中含控制中心、变电所、通信信号用房的结构单元为重点设防类。当上盖建筑（如学校、幼儿园、医院、养老机构、儿童福利机构、应急指挥中心、应急避难场所、广播电视等）的抗震设防类别不低于重点设防时，车辆基地相关区域抗震设防类别需要相应提高，且不应低于上盖建筑的抗震设防类别。相关区域可取上盖建筑结构单元投影范围竖向支承构件围合区域。分段设计时，由于上盖建筑开发相对滞后，车辆基地设计阶段应对上盖建筑的业态分布有所考虑，并应提高车辆基地相关区域结构的抗震设防类别。

4.1.7 建筑高度从车辆基地室外地面开始计算。关于钢筋混凝土结构的适用高度，本标准参照现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 和现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 执行，全框支转换结构的适用高度可参照上盖建筑的结构类型执行。主要原因如下：

1 现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 解释为“从安全和经济诸方面综合考虑”。对比国家标准《建筑抗震设计规范》GBJ 11 - 89、《建筑抗震设计规范》GB 50011 - 2001、《建筑抗震设计规范》GB 50011 - 2010（2016年版）等的有关规定，对现浇钢筋混凝土房屋适用的最大高度除板柱-抗震墙结构在《建筑抗震设计规范》GB 50011 - 2001 有过较大调整，其它各类结构调整微小。而我们国家的经济发展与 30 年前已不可同日而语。

2 2002、2010、2015 年先后颁布了《超限高层建筑工程抗震设防管理规定》（建设部令 111 号），《超限高层建筑工程抗震设防审查技术要点》（建质 [2010] 109 号）、（建质 [2015] 67 号）等设计规定和指导意见，在工程实践中广泛执行。适用高度在高层建筑工程超限判断中处于最重要地位，只要结构高度超过现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定，就应当专门

研究，进行专项审查，在工程实践中已形成完善的设计、审查流程。

3 随着我国工程技术的发展，经济实力的增强，结构设计、试验水平有了长足的进步。以住宅发展为例，二十一世纪初期住宅多采用剪力墙结构或部分框支剪力墙结构，高度一般在 100m 左右；经过二十年的发展，采用部分框支剪力墙结构的住宅高度多在 150m~180m 左右，甚至更高。

4 对于车辆基地特有的全框支转换结构，除在转换层位置有内力、刚度突变外，其上部结构地震响应更接近各自结构类型的特点，故可参考上盖结构类型确定结构适用高度。

5 本标准提出适用高度主要是便于设计人员确定结构高度的合理性，是现阶段建设或研究证明比较适宜实施的高度。通常由于存在较多竖向不规则，这类结构实施中均需进行超限高层建筑工程抗震专项审查，适用高度不是控制结构超限的最主要因素。

为方便建筑方案设计，车辆基地上盖全框支转换钢筋混凝土乙类和丙类高层建筑的最大适用高度可按表 1 规定取值。

表 1 全框支转换钢筋混凝土高层建筑的最大适用高度 (m)

结构体系	A 级高度	B 级高度
全框支剪力墙	100	120
全框支框架-剪力墙	100	120
全框支框架-核心筒	110	160
全框支厚板转换（剪力墙）	100	120
层间隔震框支剪力墙结构	100	120

注：房屋高度指室外地面到主要屋面板板顶的高度。

4.1.8 当因局部提高下部结构竖向构件抗震等级导致塔楼范围相邻楼层竖向构件抗震等级相差超过一级时，为避免结构沿竖向抗侧力承载力变化过大，导致构件应力过于集中，造成严重震害，应设置过渡层。

4.1.10 鉴于大部分上盖建筑属于高层建筑且总平面布置具有一定的不确定性，车辆基地岩土勘察应根据项目整体情况制定勘察方案，钻孔的数量和深度应满足上盖设计不确定性需求及现行行业标准《高层建筑岩土工程勘察标准》JGJ/T 72 的有关要求。

4.1.11 拟开发上盖车辆基地多为开敞结构，与一般民用建筑的室内环境有较大差别，外围构件通常处于日晒雨淋，干湿交替的状态，环境影响较为复杂，其结构耐久性需要单独考虑。如美国 ACI 设计规范要求室外淋雨环境的梁柱外侧钢筋（箍筋或分布筋）保护层最小设计厚度为 50mm（钢筋直径不大于 16mm 时 38mm），英国 BS 8110 设计标准（60 年设计工作年限）为 40mm（C40）或 30mm（C45）。

当车辆基地与上盖建筑分阶段开发时，车辆基地屋面具有屋面和未来临时施工作业面等不同的使用、环境条件，其耐久性设计应同时满足每种环境作用要求。

4.1.12 根据现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 的有关规定，上盖民用建筑的火灾危险性与车辆基地有较大差别，一般需独立建造。当将二者空间组合在同一座建筑内时，需在水平与竖向采取防火分隔措施分隔，并使各自的疏散设施相互独立，互不连通。现行国家标准《地铁设计防火标准》GB 51298 为了确保上盖建筑的安全及车辆基地在火灾时能保持较高的耐火性能，要求车辆基地的顶盖（即本标准的盖板）和车辆基地内建筑的承重结构的耐火极限至少要达到 3.00h，其它功能区间建筑楼板的耐火极限可根据耐火等级确定。

车辆基地单体建筑具体功能及耐火等级可参考表 2。

表 2 车辆基地单体建筑功能及耐火等级

建筑物名称	主要功能	火灾危险性类别	耐火等级
检修库	临修、定修、大架修、静调和转向架、辅助检修区等	丁类	一级
运用库	停车列检、周月检库等	戊类	一级
调机车库	调机、轨道车及工程车的检修	丁类	一级
物资库	机械仪器表存放、立体仓储区	丁类	一级
	大件存放区	戊类	一级
综合维修	综合维修中心、工区	丁类	一级
镟轮库	镟轮	丁类	一级
吹扫库/清扫库	车辆吹扫/清扫	戊类	一级
洗车库	洗车	戊类	一级
工程车库（电力牵引）	工程车停放、检修	丁类	一级
牵引降压所	牵引供电及变配电	丁类	一级
试车线用房	列车调试配套用房	戊类	一级

注：杂品库、劳保用房等丙类及以上库房不应设置在盖板之下；物资库内存放物均为难燃或不燃物品，同时满足可燃包装重量不大于存放物品本身重量的 1/4 或可燃包装体积不大于存放物品体积的 1/2；表中未涉及的其余生产用房的火灾危险性分类应按现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 的第 3.1.1 条执行。

提高钢筋混凝土构件的耐火极限通常采用以下方法：

- 1 增加钢筋混凝土构件截面尺寸；
- 2 增加钢筋混凝土构件的钢筋保护层厚度。

根据现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 条文附录，可以确定：

180 mm 厚钢筋混凝土实体承重墙耐火极限可达 3.50h，截面 300 × 300（mm）的钢筋混凝土柱耐火极限可达 3.00h，说明竖向承重构件在截面足够的情况下，可不考虑混凝土保护层厚度的影响。

对于简支的钢筋混凝土梁，混凝土保护层厚度 40mm 和 50mm 对应的耐火极限分别为 2.90h 和 3.50h，本标准偏于安全地取 45mm 作为耐火极限 3.00h 的钢筋混凝土梁保护层厚度限值。

对于现浇的整体式梁板，截面厚度不小于 120mm，混凝土保护层厚度 10mm 和 20mm 对应的耐火极限分别为 2.50h 和 2.65h，本标准根据深圳地铁相关工程实践，偏于安全地取 45mm 作为耐火极限 3.00h 的钢筋混凝土板保护层厚度限值，当有可靠工程依据时，可适当减小楼板的混凝土保护层厚度。

本条文主要目的是帮助上盖结构设计单位对下部结构构件的基本要求有一个了解，在进行设计预留或对车辆基地结构复核时，保证结构设计参数的一致性。

4.2 结构布置

4.2.1 对于采用梁式转换的上盖建筑，当其柱网与车辆基地柱网斜交布置，会导致较多超过 3 次的结构转换，转换梁之间支承关系欠清晰，地震力传递复杂，施工困难。

车辆基地是城市轨道交通车辆停放和检修的主要场所，上盖建筑的结构体系设计应以车辆基地的安全使用为前提条件。独立设置的结构柱、承重墙、高层建筑核心筒等盖板上部结构竖向构件不应伸入轨行区车辆安全行驶的限界范围内，不应影响火灾工况下消防设施的正常使用。出入段线、试车线和咽喉区柱网应符合现行国家标准《地铁设计规范》GB 50157 和现行行业标准《地铁限界标准》CJJ/T 96 的有关规定。

4.2.2 车辆基地上盖建筑一般以车辆基地为大底盘，形成多塔结构，属于复杂高层建筑，其竖向布置存在较多不规则项目，减少平面不规则项目可以降低结构的复杂程度，提高项目的经济性及可靠性。这里的“塔楼偏置”是指《超限高层建筑工程抗震设防审查技术要点》（建质 [2015] 67号）表 3a 所列不规则项目“单塔或多塔与大底盘的质心偏心距大于底盘相应边长 20%”，在车辆基地的咽喉区设计中表现得比较突出，设计中应采取有效措施，并加以充分论证。

4.2.3 减少车辆基地的结构伸缩缝可以增加车辆基地平面整体性和转换层下部结构的侧向刚度。同时为上盖建筑灵活布置预留空间，是解决车辆基地屋面防水和防火最有效的手段。

根据《广州地铁十三五新线超长盖板设计标准专题研究报告》的研究成果，综合上盖建筑使用，车辆基地防火、防水要求，抗震设计及经济性等多项因素，建议结构伸缩缝以 200m 左右为限。对于上盖塔楼高度相差悬殊，布置不均匀、不对称的区域，允许减小结构伸缩缝间距，使每个塔楼形成一个独立的结构单元。由于有些车辆基地盖板长度刚好接近 250m，按 200m 间距设缝会将结构底盘拆分成较小的两部分，与大底盘概念设计要求相悖，因此本标准建议结构伸缩缝间距不宜超过 250m。当伸缩缝间距超过 250m 时，应作专门研究，并采取有针对性的措施。

4.2.4-4.2.5 部分框支剪力墙结构在车辆基地上盖建筑设计中仍较多使用。当上盖建筑设计条件明确且车辆基地允许相关剪力墙落地时，可采用部分框支剪力墙结构。当转换层设置在上盖地坪的上层塔楼时，存在立面收进、框支底盘偏小、高振型对结构内力影响更为突出等抗震不利条件，当无法避免时，应充分论证，并采取更加有效的抗震措施。

4.2.6 通过对昂鹅、塘朗等车辆基地上盖建筑全框支转换的研究可以发现，昂鹅车辆基地运用库标准柱网为 12m×8m，塘朗车辆基地列检库标准柱网为 13.3m×6m，研究住宅户型核心筒尺寸约为 12.65m×8.9m。如果可以调整车辆基地柱网尺寸或核心筒尺寸，比较容易实现核心筒剪力墙的直接转换，避免诸如核心筒等重要剪力墙二次转换、框支柱中柱上方设置门洞等不利结构布置，使转换层传力更直接，受力更合理。

4.2.7 刚度的分布影响结构层间弹性位移分布，在以小震设计为主的线弹性设计中，将刚度比控制在相对规则的范围内，可以简化抗震设计。对于车辆基地上盖建筑这类复杂高层建筑，车辆基地与其相邻上层刚度突变无法避免，存在明显的软弱层，按现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 相关规定，结构薄弱层在地震作用标准值作用下的剪力应乘以 1.25 的增大系数。车辆基地上盖建筑结构实践表明，按此放大系数进行小震设计很难实现预期的性能目标，因此按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 和现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 严格控制车辆基地与其相邻上层结构的侧向刚度比意义不是很大。

本标准保留侧向刚度比限值要求是为了与现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011、现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 及超限高层建筑工程抗震设防审查接轨。深圳、广州已完成的多个车辆基地上盖项目的超限审查或预审表明：在裙房层间弹性位移角不超过 1/2000、弹塑性位移角不超过 1/200 的条件下，各项目车辆基地与其相邻上层侧向刚度比均不小于 0.35，同时可以满足上盖开发强度提升的要求。为避免出现更加严重的刚度不规则方案，有必要对车辆基地与其相邻上层刚度比限值适当约束，本标准建议取值 0.35。

4.2.8 车辆基地首层层高较高，计算高度通常大于相邻上层层高的 1.5 倍，易出现侧向刚度不规则。当结构在二层转换时，框支柱的配筋通常会直接延伸至首层，易出现受剪承载力小于相邻上一楼层的 65% 的情形。同一楼层刚度和承载力变化同时出现不规则对结构抗震很不利。

现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50010 关于相邻楼层抗剪承载力之比的计算仅反映了相邻楼层抗剪承载力的相对强弱，并不能直接反映结构抗剪最薄弱的楼层位置。魏珺在《中国建筑结构抗震设计方法发展若干问题分析》中指出，薄弱层可通过楼层屈服强度系数来进行判断，

重点验算该系数最小的楼层（部位）和相对较小的楼层，一般不超过 2~3 处，进行弹塑性位移验算。楼层屈服强度系数可由按钢筋混凝土构件实际配筋和材料强度标准值计算的楼层受剪承载力与按照大震等效弹性计算得到的楼层弹性地震剪力相比得到。从设计实践可以发现，按照本标准设计的车辆基地全框支结构，其底层及转换层的屈服强度系数均大于 1.5，且大于转换层以上的各楼层，并非最薄弱楼层。近年广州大学、同济大学所做多个全框支剪力墙结构振动台试验证明，当裙房弹塑性位移角不超过 1/200 时，以“转换层以上部分的结构屈服先于底部框支框架”为屈服机制的全框支转换结构不会发生底框薄弱层竖向构件屈服。

为了与现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011、现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 及超限高层建筑工程抗震设防审查接轨，本标准保留薄弱层受剪承载力限值要求。深圳、广州已完成的多个车辆基地上盖项目的超限审查或预审表明：在裙房层间弹性位移角不超过 1/2000、弹塑性位移角不超过 1/200 的条件下，各项目车辆基地楼层受剪承载力一般不小于相邻上一楼层的 40%，同时可以满足上盖开发强度提升的要求。为避免出现更加严重的薄弱层方案，有必要对车辆基地楼层与相邻上一楼层受剪承载力比值加以约束，本标准建议取值 40%。

工程实践表明，车辆基地极易出现同一楼层刚度和承载力变化同时不规则的情形，按现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 规定的薄弱层地震剪力放大系数偏小，按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的设计原则，需要乘以更大的放大系数。由于这类结构需要进行性能设计，而采用中震弹性或中震不屈服设计时，材料强度取值、荷载分项系数取值均有所不同，因此需采用不同的地震作用放大系数。此外，现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 和现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 通过“强剪弱弯”、“强柱弱梁”内力调整及抗震构造加强措施已使框架（框支）柱承载力超强，但是框架梁的抗弯能力没有调整。一般的地震作用放大系数对柱配筋无影响，对梁受弯配筋来说又不足，需要将内力放大到与中震作用相当，才能满足性能设计的要求。本条可作为方案设计阶段控制构件截面的一个参考条件。

4.2.9 对于转换层上、下部刚度比的算法工程实践中存在一些不同的声音。部分意见认为当转换层设置在 2 层时，现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 近似采用转换层与其相邻上层结构的等效剪切刚度比表示转换层上、下结构刚度的变化，其计算结果失真，低估了转换层下部结构的侧向刚度。对比行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 的修订历史可以发现：转换层设置在二层时，《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 - 2010 采用剪切刚度比表征侧向刚度变化，《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 - 2002 则采用等效刚度（俗称剪弯刚度）比表征侧向刚度变化。行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 - 2002 背景资料（《复杂高层建筑结构设计》）指出，随转换层位置的提高，等效刚度比加大（剪切刚度比不变），因此对框支层数大于 1 层的带转换层剪力墙结构，等效刚度比更能反映其刚度变化情况。全框支转换结构框支柱截面普遍较大（在 2 米左右，甚至更大），按杆单元计算低估了此类“大柱”的真实刚度，本标准建议采用等效刚度算法，即行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 - 2002 算法。

根据现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 的相关要求，下部与上部的等效刚度比 γ_{e2} 直接近于 1，但是在实际设计中，由于薄弱层计算地震剪力放大、构件设计内力放大等原因， γ_{e2} 通常大于 1。行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 - 2002 曾经限制此值不应大于 1.3，《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 - 2010 则取消了此限制，在一定程度上说明了由于要重点保护下部结构安全，在采用了现行规范的相关抗震措施后，转换结构的下部结构具有相当的安全储备。对于车辆基地这类采用性能设计的结构，可通过提高转换结构性能目标来实现下部结构“超强”， γ_{e2} 大于 1.3 属于正常结果。

对于多塔全框支转换结构，除了提高转换层下部结构的整体刚度外，尚需避免局部刚度不足

导致应力集中，因此转换层上、下结构等效侧向刚度比宜以单塔计算结果作为控制条件。由于车辆基地柱网跨度普遍较大，单塔设计时，裙房范围通常可以考虑塔楼及外延一跨框架范围（跨度较小时，例如不超过 9m 时，可考虑外延两跨）。

4.2.10 本条考虑因素有：

1 防火要求。按现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 规定，现浇整体式梁、板，当板厚 120mm，保护层厚度为 20mm 时，不燃性耐火极限为 2.65h。深圳地铁相关工程实践以 45mm 作为盖板底面保护层厚度；

2 结构受力要求。由于车辆基地上盖结构通常在二层转换，首层作为转换层相邻楼层和薄弱层，地震内力相应放大，应采取加强措施；

3 结构耐久性要求。作为上盖建筑施工的作业面，受力条件及使用环境与地下室顶板类似，故建议楼板厚度不宜小于 200mm。

4.2.11 由于剪力墙相对全框支转换梁多为偏心布置，增加转换区域楼板厚度有助于协调变形，使上部剪力墙墙体不至于过厚。考虑车辆基地上盖地坪通常有覆土要求，结构转换区域与非转换区域通常存在较大高差，影响水平力的传递。当相邻楼盖结构高差不小于较薄楼板厚度时，可判别为高差较大；当相邻楼盖高差超过梁高范围时，宜按错层结构考虑。结构中仅局部存在错层构件的不属于错层结构，但这些错层构件的设计应符合现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 的有关规定。

4.2.12 由于车辆基地轨行区有限界要求，跨轨道方向柱截面大小受到限制。本条给出截面最小尺寸要求，便于方案阶段控制框支柱截面尺寸。

4.2.13 广州大学对全框支剪力墙厚板转换结构（二层转换）进行了拟静力试验，模型比例 1:5，试验表明弯曲裂缝首先出现在上部剪力墙根部，然后出现在首层柱的上端，证明首层框支柱比其上一层更弱，有必要适当加强。建议将框支柱在车辆基地楼层段纵筋配筋率在计算结果的基础上适当放大。

4.2.14 转换层上部剪力墙底部加强区为潜在塑性铰区，需要具有良好的延性，应采用现浇混凝土结构。

4.3 荷载、作用和结构计算

4.3.1 当车辆基地与上盖建筑分段开发时，可根据不同使用阶段分别设计，应综合考虑设计工作年限及受荷条件。

4.3.2 车辆基地作为上盖建筑的底盘，其可靠性对结构整体安全至关重要。根据结构可靠性要求，非标准设计工作年限的活荷载及风荷载应加以修正。此调整系数仅针对分段开发的车辆基地设计，上盖结构设计无特别工作年限要求时，可不必调整。本条有关系数及公式均根据现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 - 2012 的有关规定确定。

荷载标准值可控制的活荷载基本包括三类：（1）以储物重量为主的楼面活荷载，如书库、档案库、贮藏室等；（2）以车辆重量为主的、按等效均布方法确定的汽车通道及停车库活荷载；（3）以设备重量为主的、按等效均布方法确定的工业楼面活荷载。其他如吊车荷载等以设备核定参数为主确定的活荷载也属于此类荷载。

应该特别注意的是，设计工作年限调整系数 γ_{Lc} 取 1.0 隐含两层意思，即此类活荷载既不会随设计工作年限的增加而增加，也不会随设计工作年限的减小而减小，这一点对厂房设计中的吊车荷载尤为重要。

基本风压也可以通过实际统计结果确定。

4.3.3 由于我国的地震动参数的区划图仅给出了 50 年超越概率的地震作用水准，对于设计工作年限不同于 50 年的结构，其地震作用需要作适当调整。按照现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的条文说明，得到有关设计工作年限地震作用取值的比例关系。此比值系数应用于分段开发的车辆基地设计，上盖建筑设计无特别工作年限要求时，可不调整。

4.3.4 当地震沿不同的方向作用时，结构地震反应的大小一般也不相同。

4.3.5 由于裙房柱网与塔楼柱网斜交，导致车辆基地与上盖建筑迎风面及风向角有所不同，设计时应采取有效措施，保证风载传递的准确性。

4.3.6 弹性层间位移角是控制构件截面大小，刚度大小的宏观指标；弹塑性层间位移角是控制弹塑性变形的指标。这里限制弹性层间位移角不超过 1/2000 不是为了控制层间开裂，其意义在于按此位移角控制框支柱刚度的全框支转换结构，通过抗震性能设计可以将罕遇地震作用下框支柱的弹塑性层间位移角控制在 1/250 之内。按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定，结构竖向构件破坏状态对应“中等破坏”的控制目标，高于“不严重破坏”的控制目标，与提高下部结构性能水准的设计目标一致。现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 给出了若干结构类型变形最大的楼层中竖向构件最大位移角限值，如表 2 所示。

表 3 结构竖向构件对应于不同破坏状态的最大层间位移角参考控制目标

结构类型	完好	轻微破坏	中等破坏	不严重破坏
钢筋混凝土框架	1/550	1/250	1/120	1/60
结构类型	完好	轻微破坏	中等破坏	不严重破坏
钢筋混凝土剪力墙、筒中筒	1/1000	1/500	1/250	1/135
钢筋混凝土框架-剪力墙、板柱-剪力墙、框架-核心筒	1/800	1/400	1/200	1/110
钢筋混凝土框支层	1/1000	1/500	1/250	1/135

全框支转换结构属于现行国家标准中没有的新型结构体系，总结深圳、广州近年来的工程实践，参考现行国家标准对部分框支剪力墙的设计要求，结合专项试验结果，列出相关设计建议。对于全框支转换结构，从严控制底框各薄弱楼层的弹塑性变形。

4.3.7 研究发现，采用振型分解反应谱法进行分析时，全框支剪力墙结构的高振型参与质量系数占比较大，有些结构第（7~10）阶（单塔）或以上（多塔）的单阶振型参与质量系数可达 25% 以上。时程分析时，天然波强烈变化的短周期成分对上部结构的抗震设计影响较大，由于研究样本有限，暂时无法揭示其规律，设计时应特别留意，给予重视。时程分析应尽量采用与场地类别和设计地震分组接近的天然波。

4.3.8 有时软件对不同结构单元、连接的处理不能准确反应结构整体、局部或构件实际受力状况，在全框支转换这类复杂结构的设计过程中，有必要根据设计目标，选择合适的结构单元，进行有针对性地设计。

4.3.11 车辆基地上盖全框支转换结构通常存在竖向体型收进不规则。在地震作用下，与底盘周期相近的短周期振型参与质量占比较大，采用静力弹塑性分析具有一定的局限性。

4.3.12 结构构件的弹塑性损伤描述可基于材料应变或构件的转角。现行广东省标准《建筑工程混凝土结构抗震性能设计规程》DBJ/T 15 - 151 给出了钢筋混凝土和型钢混凝土构件（梁、柱、剪力墙）承载能力-变形大小-损坏程度的对应关系，可通过大震作用下结构弹塑性计算得到的构件变形预测构件的损坏程度；现行团体标准《建筑结构抗倒塌设计规范》CECS 392 则分别给出了压弯破坏的钢筋混凝土结构构件基于应变和基于转角的抗震破坏等级判别标准，可用于复核结构的抗震性能目标。

4.3.13 塔楼在底盘平面上布置的均匀性对地震作用在裙房结构中地传递与分配影响较大，应通过整体模型分析；立面收进塔楼高振型参与质量占比较大，有时整体分析无法反映此影响，因此分塔设计主要考虑高振型影响。

4.3.15 当车辆基地与上盖分段建设时，通常需要考虑的使用条件有：单纯车辆基地的使用阶段、上盖建筑开发的施工阶段、整体建筑完工后的使用阶段等。各阶段设计均需保证车辆基地的正常使用与安全。

分段开发时，对已建结构（包括基础）承载力和变形能力的复核宜根据结构现状或竣工图。

5 全框支厚板转换结构

5.1 一般规定

5.1.1 面外刚度是厚板结构传力的关键，上部结构主要通过厚板面外刚度改变传力途径，将荷载传递到下部竖向构件中。结构整体分析时，厚板平面内可以按无限刚考虑。

5.1.5 厚板与一般无梁楼盖的区别在于：无梁楼盖平面外通常以承受均布荷载为主，即便有集中荷载，其量级也无法与承托数层结构的厚板相比。厚板设计时，可根据应力分布的不同，对局部应力较大区域划分单独板带。

5.2 截面设计及构造

5.2.2 斜截面抗剪是转换厚板厚度控制的重要条件，这里斜截面指的是主剪应力 τ_0 所在的斜截面。

基于有限元分析得到的 τ_0 、 τ_{xz} 、 τ_{yz} 可根据单元分布，适当“削峰”，从而在板的特定区域内得到较为均匀的应力结果。

配置抗剪钢板的厚板，其型钢剪力架的设计和构造可按照现行行业标准《无粘结预应力混凝土结构技术规程》JGJ 92的有关规定。

5.2.5 本条为现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010有关公式的应力表达，方便有限元分析结果使用。配置抗剪钢板时，其型钢剪力架的设计和构造可按现行行业标准《无粘结预应力混凝土结构技术规程》JGJ 92的有关规定执行。

当厚板内同时配置有抗剪拉筋和抗冲切拉筋时，应以抗剪验算或抗冲切验算之最不利控制结果布置拉筋，不应叠加。

5.2.6 对于由地震组合的不平衡弯矩在转换厚板的板柱节点处引起的等效集中反力设计值，按现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3对转换构件内力计算的规定进行放大。

5.2.7 根据强节点设计要求，应进行节点核心区受剪承载力验算。

5.2.8 抗冲切钢筋布置参考了香港标准《混凝土结构作业守则》Cop_SUC2013的有关规定。香港厚板设计要求抗冲切钢筋应在与冲切破坏锥体斜截面相交的范围内均匀排布。

在水平荷载作用下，厚板平面内会产生一定的面内轴向力，简化设计时通常通过在板顶及板底适当增加纵筋来抵抗此轴力。因为厚板本身厚度远大于普通楼板，轴力属于全截面受力，适当分配部分抗拉钢筋到板的中面，配筋更合理。编制组对全框支厚板转换结构进行了动力弹塑性时程分析，结果表明采用实体单元的厚板的中部截面存在拉力，并在广州大学完成的厚板拟静力试验中得到证实。在板中设置钢筋网有助于抵抗上述拉力，也便于厚板施工。

5.2.11 考虑到现有软件地震作用计算多考虑正交方向，而厚板转换可能存在转换层上下结构抗侧力构件斜交的情况，容易出现矩形截面柱双向受剪的情形。本标准建议按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010的规定对柱截面进行承载力验算。

5.2.12 可将转换厚板视为上部结构的基础。伸至板底的墙、柱插筋亦可作为厚板分层浇筑形成的施工缝的抗剪钢筋。

6 车辆基地上盖隔震设计

6.1 一般规定

6.1.1 采用层间隔震技术是解决车辆基地上盖建筑构件间断、刚度突变、尺寸突变等不规则项的重要技术手段。

在 7 度设防地区，采用层间隔震技术不一定能够实现使隔震层上部结构抗震措施降低一度的目标，但是可以减小隔震层上部结构和下部结构承受的地震作用，使车辆基地的抗震性能相对提高，实现预设的抗震性能目标。层间隔震设计方案应综合考虑技术、经济和使用条件来确定，并宜符合现行国家标准《建筑隔震设计标准》GB/T 51408 的相关规定。

现行国家标准《建筑隔震设计标准》GB/T 51408 基本设防目标是：当遭受相当于本地区设防烈度的设防地震时，隔震建筑基本完好；当遭受罕遇地震时，可能发生损坏，经修复后可继续使用；当遭受极罕遇地震时，不致倒塌或发生危及生命的严重破坏。本标准适用的车辆基地上盖建筑为重点设防类和一般设防类建筑，故不对极罕遇地震设计做出要求，对于特殊设防类建筑，宜进行专门研究。

由于车辆基地上盖建筑多采用大底盘多塔结构，而现阶段在同一底盘上多个塔楼均采用隔震设计的结构方案比较罕见，因此当车辆基地同一结构单元内既有隔震结构，又有抗震结构时，上盖建筑隔震设计也可按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定进行设计。层间位移角等控制指标应按本标准相关规定执行。

设计时不应将两种标准混合使用。

6.1.3 车辆基地上盖建筑的隔震层装置和部件，宜选用成熟的产品。成熟的产品是指已有国家或行业相关标准、并具有合格的第三方型式检验和出厂检验报告的产品。具有竖向隔振和水平隔震的多功能支座，是指通过合理设计支座竖向刚度和水平刚度，实现对交通环境振动作用和水平地震作用的部分隔离，达到降低结构地震响应、提高舒适度的目的。对于这类特殊型式的隔震（振）产品，在没有对应的国家或行业标准前，应经专门研究论证和试验验证。

6.1.4 对于具有振震双控功能的隔震支座，其支座的水平隔震性能应满足现行国家标准《橡胶支座第 3 部分建筑隔震橡胶支座》GB 20688.3、《橡胶支座第 5 部分建筑隔震弹性滑板支座》GB 20688.5、《建筑摩擦摆隔震支座》GB/T 37358 的有关规定；其支座的竖向隔振性能，应经专门研究和试验，并充分考虑支座竖向和水平性能的相互影响，预留服役过程的检修和更换条件。

6.1.5 由于振幅尺度不同，结构在地震作用下的动力特性如阻尼比等与结构在环境振动下是不同的，不可一概而论。此时，应分别选择相符的结构力学模型和动力特性参数进行分析。

6.1.6 采用振震双控的结构隔震（振）层，计算模型应考虑其竖向刚度对结构整体地震响应的影响。对于大底盘上设置多隔震塔楼的结构，宜补充大底盘多塔楼整体模型的时程分析。

6.2 隔震结构设计

6.2.1 架修库通常跨度大于 18m，层高约 16m，其层高一般会超过上一层结构 3 倍以上。框架梁做为上部隔震层支座时需增加截面高度，或增设桁架来转换隔震层的支墩。当两层之间位移角很小时，可将桁架、空腹桁架、混合空腹桁架形成的立体桁架视为架修库的刚性楼盖。研究发现，在多遇地震作用下，桁架层层间位移角一般不会超过 1/3000。由于裙房多为大底盘，为了与结构整体变形条件协调，变形控制值取 1/2000。

6.2.2 抗倾覆安全系数取 1.5，比现行国家标准《建筑隔震设计标准》GB/T 51408 的建议值 1.1 大，比现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 关于挡土墙抗倾覆稳定安全系数 1.6 略小，相当于上部结构底面零应力区面积不超过 50%。隔震层可通过采用抗拉装置或具有抗拉功能的隔震支座来实现抗倾覆安全系数的提高。此外，对于具有振震双控的支座，罕遇地震作用下不宜出现拉应力。

6.3 隔震装置

6.3.2~6.3.3 隔震支座产品应满足结构设计要求，且应符合现行国家标准《橡胶支座第 1 部分：隔震橡胶支座试验方法》GB 20688.1、《橡胶支座第 3 部分：建筑隔震橡胶支座》GB 20688.3、《橡胶支座第 5 部分：建筑隔震弹性滑板支座》GB 20688.5，以及行业标准《建筑隔震橡胶支座》JG/T 118 的规定。检验所得的参数误差不应大于上述标准的相关限值，检验通过的极限性能不应低于相应的极限性能设计值。当采用厚叠层橡胶支座或其它具有振震双控功能的支座时，每种规格产品出厂检验的抽样数量应为 100%。

7 基础设计

7.0.1 车辆基地上盖高层建筑属于复杂高层建筑，对地基承载力和变形有较高要求。根据上盖建筑的复杂程度，按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的相关规定可以判断地基基础设计等级为甲级或乙级。受开发时序影响，现阶段车辆基地上盖建筑开发具有不确定性，本标准适当提高要求。车辆基地与其上盖高层建筑存在分段设计、施工的可能，因此车辆基地设计阶段需考虑整体结构基础设计等级对地基承载力（包括地基强度及变形）的要求。

7.0.2~7.0.3 由于中国现行规范地基基础抗震设计形式上是小震设计，实际以中震设防为目标，通过概念设计和采取必要的构造措施来实现大震不倒的设防目标，因此在基础抗震设计中控制埋置深度是必要的。增加基础埋置深度在一定条件下是提高地基承载力的一种措施，有助于控制地基的变形和稳定性。中国现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 对基础埋深的取值有许多限定条件，其实质是要满足地基承载力的要求。对于车辆基地上盖这类基础埋深较浅，受水平力较大的高层、超高层建筑，当其基础埋深或构造无法满足现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 的常规要求时，有必要补充设防烈度地震作用下的地基承载力验算。

由于设防烈度地震作用下，本标准抗震性能设计允许结构在满足抗震性能目标的基础上有一定的损伤，耗散部分能量，因此中震基础承载力验算可以采用考虑性能设计后的地震作用进行复核。参照现行广东省标准《高层建筑混凝土结构技术规程》DBJ/T 15 - 92 地基抗震承载力调整系数较小震组合提高约 25%（淤泥、淤泥质土等地基静承载力特征值小于 80kpa 的软土除外），不超过地基的极限承载力。

桩基水平承载力特征值取决于桩的材料强度、截面刚度、入土深度、土质条件、桩顶水平位移允许值和桩顶嵌固情况等因素，一般取单桩水平静载试验的临界荷载的 75% 作为单桩水平承载力特征值，因此可取该临界荷载 100% 作为单桩水平承载力弹性极限值，约为特征值的 1.33 倍。考虑到设防烈度地震发生概率远小于小震，抗震承载力调整系数较小震组合提高约 25%，取 1.7。

通过抗倾覆验算基本可以控制基底压应力不超过地基承载力的极限，同时也可控制应力较小一端的应力状态。

根据现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 的相关背景资料《高层建筑混凝土结构技术规程理解与应用》（徐培福），高层建筑抗倾覆验算的假定是基础及地基均具有足够刚度，基底反力呈线性分布。得到基础底面零应力区比例与抗倾覆安全度的近似关系如下表所示：

表 4 基础底面零应力区与结构整体倾覆

抗倾覆安全度	3.0	2.308	1.5	1.3	1.0
零应力区比例	0（全截面受压）	15%	50%	65.4%	100%
备注	（H/B>4 高层建筑） JGJ 3——2002 规定值	（H/B≤4 高层建筑） JGJ 3——2002 规定值	JZ 102——79 规定值	JGJ 3——91 规定值	基址点临界平衡

7.0.4 地基滑移失稳有不同的模式，不同失稳模式的计算假定不同，安全系数也不同。本标准抗滑移稳定安全系数取值参考现行深圳市标准《地基基础勘察设计规范》SJG 01 的相关规定，当地基滑移失稳模式设计假定与本标准不一致时，其安全系数应根据相应的破坏理论修正。

当地基可能出现平面滑动失稳时，抗滑力计算可考虑基底、地基梁等与土体的摩擦力，土对建筑物基底的摩擦系数取值，可通过试验或参考下表：

当基础埋深范围为填土时，填土被动土压力不计入基础滑移稳定验算的有利条件。

表 5 岩土对基底的摩擦系数

岩土类别		摩擦系数 μ
黏性土	可塑	0.25~0.30
	硬塑	0.30~0.35
	坚硬	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 对易风化的软质岩和塑性指数 I_p 大于 22 的黏土，基底摩擦系数应通过试验确定。

2 对碎石土，可根据其密实程度、填充物状况、风化程度等确定。当基础埋深范围为填土时，填土被动土压力不计入基础滑移稳定验算的有利条件。

7.0.5 采取措施将结构与振源分离是车辆基地减振降噪的重要手段。由于停车位下有不小于 1m 深的检修沟，导致基础间连系梁埋藏较浅，与上盖建筑减振降噪需求存在矛盾，有时需取消跨轨道方向的连系梁。采用多桩承台，有利于改善地震作用下桩基的受力。

7.0.6 按本标准设计的连系梁，其跨高比一般小于 15，混凝土构件的稳定性系数近似取 0.9。

7.0.7 本条是桩基抗震设计的原则，对抵抗各类水平荷载作用均适用。对于车辆基地上盖高层项目实践中遇到类似问题，建议参考本条处理。

对承台周边软弱土体加固，可以约束承台下土体流动，增强对承台的侧限，增加桩基水平承载力，减小建筑物水平位移。承台外侧土体加固示意如图 3。为减少轨道交通运行振动对上部建筑的影响，承台间拉梁或周边土体加固部分应与轨道基础或检修沟间采用柔性连接。

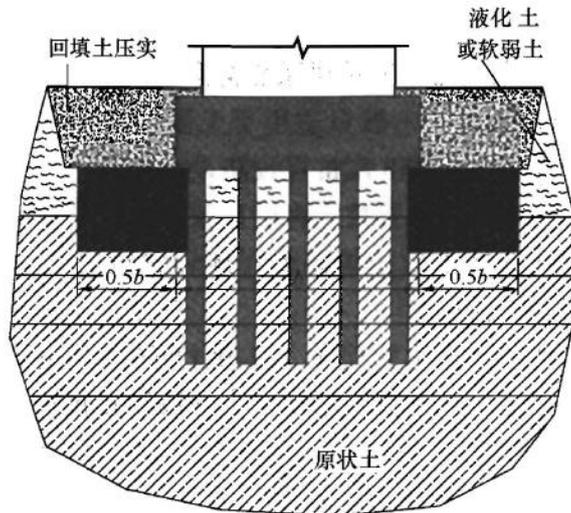


图 3 承台外侧土体加固示意图

8 预留要求

8.0.1 本节内容针对上盖建筑与车辆基地非一体化设计。通常上盖开发滞后于车辆基地的设计和施工数年，甚至十年以上。在上盖建筑开发存在诸多变数的条件下，上位规划和法定图则是车辆基地上盖预留的最根本依据。开发方可根据规划意向，有针对性地进行结构预留设计，提高项目整体的经济性。

8.0.2 车辆基地上盖预留是一项系统工程，盖板上下自成体系。先期建设的车辆基地需为后期上盖实现相对独立的使用功能预留条件，如垂直交通的接驳，给排水计量与分流、通风系统的协调、安全防护设置等。

8.0.3 由于上盖开发的滞后性导致盖板上、下竖向构件有可能无法对位，需要进行必要的结构转换。加上车辆基地的特殊使用要求，这类结构涉及到《超限高层建筑工程抗震设防专项审查技术要点》（建质〔2015〕67号）规定的较多不规则项目，需要进行超限高层建筑工程抗震设防专项审查。在上部结构未确定的条件下，这个程序在车辆基地设计阶段无法进行。结构预留必须保证盖板下竖向构件的截面及构造可以满足预设的抗震性能目标，是这类项目荷载、构件截面及构造预留的重点。

8.0.4 上盖建筑条件的确定性对项目的经济性有着很大的影响，因此车辆基地预留应尽可能与一体化设计的结构条件接近。上盖建筑塔楼区域和裙房区域荷载差别很大，塔楼区域中柱的荷载有时是边柱的（3~4）倍，因此荷载预留应综合考虑荷载的分布情况，适当预留，避免浪费或不足。

带上盖车辆基地整体结构的复杂性远远高于车辆基地设计：上盖建筑竖向荷载传递需要车辆基地竖向构件具有足够的支承能力；上盖建筑抗侧力设计需要车辆基地结构提供足够的抗侧刚度。这些要求直接影响车辆基地构件、基础等的截面尺寸、材料强度等，因此上盖荷载预留需明确对底部框架的承载要求，车辆基地设计应满足车辆基地在各工况条件下的正常使用与安全。

8.0.6 考虑到车辆基地上盖电梯底坑下部空间为人或列车可以通达区间，从安全角度考虑，底坑设计需考虑电梯竖向撞击荷载。根据现行国家标准《电梯制造与安装安全规范》GB 7588的相关规定，轿厢缓冲器和对重（或平衡重）缓冲器支座下底坑应能承受4倍的满载轿厢静载、对重（或平衡重）静载等作用力。本条文按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009相关规定取值，也可根据厂家提供的设计参数取值。

8.0.7 从安全防护角度对上盖结构可能遇到的车辆撞击荷载提出设计要求，应采取综合措施进行防护设计。对于直接承受车辆撞击的结构构件，可根据现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009及行业标准《公路桥涵设计通用规范》JTG D60的有关规定进行设计预留。

8.0.8 车辆基地结构通常为跨度较大的框架，对地基变形比较敏感。当由于上盖开发高大建筑可能导致车辆基地柱基础发生不均匀沉降时，应采取必要措施减小差异沉降对上部结构的影响。对于分段开发的车辆基地上盖，还应通过施工模拟合理安排加载时序，保证结构在各使用阶段的正常使用与安全。

附录 A 性能设计

A.0.2 车辆基地上盖建筑抗震性能设计的关键是选择一个合理的，动力特性可行的塑性铰机构。当上盖与车辆基地结构体系不同时，可根据各自的破坏模式及对整体结构安全的重要性加以区别，分别选定抗震性能目标。对于特别重要的关键构件亦可采用这种技术方法，设定相应的抗震性能目标。

现行国家标准《建筑隔震设计标准》GB/T 51408、广东省标准《建筑工程混凝土结构抗震性能设计规程》DBJ/T 15 - 151 等关于性能目标和性能水准的分类与现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 不完全相同，本标准按行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 的有关规定设计。

A.0.3 本标准所建议的抗震性能目标在近年在深圳、广州地区工程实践中采用较多，可作为设计依据。当业主有特别要求时，在保证结构屈服机制合理的基础上可进行适当调整。