



T/CECS 1035-2022

中国工程建设标准化协会标准

城市轨道交通上盖结构设计标准

Standard for structural design of urban over-track buildings

目 次

1	总则	(1)
2	术语和符号	(2)
2.1	术语	(2)
2.2	符号	(3)
3	基本规定	(4)
3.1	一般规定	(4)
3.2	结构布置	(5)
3.3	分期实施与预留	(8)
3.4	材料	(9)
4	荷载与作用	(10)
4.1	一般规定	(10)
4.2	城市轨道交通荷载	(10)
4.3	盖上结构荷载	(11)
4.4	风荷载	(13)
4.5	其他荷载与作用	(13)
5	非隔震结构设计	(15)
5.1	一般规定	(15)
5.2	盖下结构设计	(16)
5.3	盖上结构设计	(17)
5.4	转换层结构设计	(17)
5.5	全框支剪力墙结构设计	(18)
6	隔震结构设计	(20)
6.1	一般规定	(20)
6.2	计算要点	(21)
6.3	隔震层设计	(23)
6.4	隔震层以下结构设计	(25)

7 舒适度评价	(27)
7.1 一般规定	(27)
7.2 计算方法	(27)
7.3 指标评价	(28)
8 地基基础设计	(30)
附录 A 某软土地区城市轨道交通上盖结构实测振动 加速度时程曲线	(32)
附录 B 叠层厚橡胶支座设计要求	(45)
附录 C 组合三维隔震/振支座设计要求	(47)
用词说明	(50)
引用标准名录	(51)
附：条文说明	(53)

Contents

1	General provisions	(1)
2	Terms and symbols	(2)
2.1	Terms	(2)
2.2	Symbols	(3)
3	Basic requirements	(4)
3.1	General requirements	(4)
3.2	Structural configuration	(5)
3.3	Staged construction and reservation	(8)
3.4	Materials	(9)
4	Loads and action	(10)
4.1	General requirements	(10)
4.2	Urban rail transit load	(10)
4.3	Loads on structures above top cover plane	(11)
4.4	Wind load	(13)
4.5	Other loads and action	(13)
5	Design for non-isolated structures	(15)
5.1	General requirements	(15)
5.2	Design for structures under top cover plane	(16)
5.3	Design for structures above top cover plane	(17)
5.4	Design for transfer story	(17)
5.5	Design for frame supporting shear wall structures	(18)
6	Design of isolated structures	(20)
6.1	General requirements	(20)
6.2	Essentials in calculation	(21)
6.3	Design for isolation layer	(23)
6.4	Design for structures under isolation layer	(25)

7	Comfortability evaluation	(27)
7.1	General requirements	(27)
7.2	Calculation methods	(27)
7.3	Index evaluation	(28)
8	Design for foundation	(30)
Appendix A	Measured vibration acceleration time history curves of urban over-track buildings in some soft soil area	(32)
Appendix B	Design requirements for laminated rubber bearings with thick rubber layers	(45)
Appendix C	Design requirements for three-dimensional combination isolators	(47)
	Explanation of wording	(50)
	List of quoted standards	(51)
	Addition; Explanation of provisions	(53)

1 总 则

1.0.1 为规范城市轨道交通上盖建筑设计的基本原则、设计方法和技术要求，做到上盖建筑结构的安全可靠、经济合理、技术先进，确保质量的要求，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于城市轨道交通车辆基地、车站上盖开发的新建工程。

1.0.3 城市轨道交通上盖结构设计除应符合本标准规定外，尚应符合国家现行有关标准和现行中国工程建设标准化协会有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 城市轨道交通上盖结构 urban over-track buildings

利用城市轨道交通车辆基地、车站上部空间开发建造的建筑结构的总称，包括盖上结构和盖下结构，两者以板地为界。

2.1.2 板地 top cover plane

在城市轨道交通车辆基地、车站上方建造的可承载盖上结构的楼盖，板地的板顶面是城市轨道交通结构与上方开发结构的分界面。

2.1.3 盖下结构 structures under top cover plane

板地及以下不含基础的结构。

2.1.4 盖上结构 structures above top cover plane

板地以上的结构。

2.1.5 转换层 transfer story

转换结构构件所在的楼层，包括水平结构构件及以下竖向结构构件。

2.1.6 车站结构关联范围 area directly related to the station structures

当车站结构与城市轨道交通上盖结构未设缝脱开时，直接影响城市轨道交通车站结构安全的结构范围；包括车站层顶板、疏散通道及以下各层在车站平面投影范围内和相邻跨的结构、基础和水平相邻跨的竖向构件。

2.1.7 全框支剪力墙结构 frame supporting shear wall structures

一种带水平转换构件的非隔震结构形式，转换层及以下采用框架结构，转换层以上采用剪力墙或框架-剪力墙结构。

2.1.8 塔楼相关范围 area directly related to the superstructure

受转换层以上单个塔楼影响的结构范围，取塔楼投影范围外扩 2 跨，且不小于 20m。

2.1.9 叠层厚橡胶支座 laminated rubber bearing with thick rubber layers

通过增加单层橡胶厚度而形成的第一形状系数介于 4~16、第二形状系数大于 3 的叠层橡胶支座。

2.1.10 舒适度评价 comfortability evaluation

由于城市轨道交通运行振动的影响，对处于此环境下人们的生理与心理方面所感受到的满意程度进行的综合评价。

2.2 符 号

2.2.1 隔震结构设计：

K_{100} —— 隔震支座在水平剪切应变 100% 时的水平等效刚度；

T_r —— 隔震支座橡胶总厚；

V_{Rw} —— 隔震层抗风装置的水平承载力设计值；

V_{wk} —— 风荷载作用下隔震层的水平剪力标准值；

γ_w —— 风荷载分项系数。

2.2.2 舒适度评价：

a_i —— 第 i 个 1/3 频段带的均方根加速度；

a_w —— 计权均方根加速度；

$a_{zw}(t)$ —— 按基本频率计权 W_k 进行计权的瞬时竖向加速度；

a_0 —— 基准加速度；

T —— 昼间或夜间时间长度；

VL_Z —— 竖向 Z 振级；

VL_{Zmax} —— Z 振级最大值；

W_i —— 第 i 个 1/3 频段带的计权因数；

VDV_Z —— 竖向四次方振动剂量值。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 城市轨道交通上盖结构应符合国家现行建筑结构设计有关标准的规定，盖下结构设计应符合国家现行城市轨道交通结构设计有关标准的规定。

3.1.2 盖上结构与盖下结构宜一体化设计，进行整体建模分析，并宜进行施工模拟分析。

3.1.3 盖上结构宜与盖下结构同期建设。不能同期建设时，应考虑分期施工的影响，盖下结构设计应按照盖下结构先期施工和盖上结构后续，获取各种工况进行包络设计，同时应做好盖下结构监测和盖上结构预留部分保护工作。盖上结构调整时，应对盖下结构的承载力和变形能力进行复核。

3.1.4 城市轨道交通上盖结构安全等级应符合下列规定：

1 盖上结构安全等级应符合现行国家标准《工程结构通用规范》GB 55001 的有关规定，盖下结构安全等级不应低于对应盖上结构；

2 车辆基地盖下结构含控制中心、变电所、通信信号用房的结构安全等级为一级，其余结构安全等级为二级；

3 车站结构关联范围安全等级为一级。

3.1.5 城市轨道交通上盖结构设计工作年限应符合下列规定：

1 盖上结构设计工作年限应符合现行国家标准《工程结构通用规范》GB 55001 的有关规定，盖下结构设计工作年限不应低于对应盖上结构；

2 车辆基地及板地设计工作年限为 50 年，含控制中心的结构设计工作年限为 100 年；

3 车站结构关联范围设计工作年限为 100 年；

4 盖下结构的耐久性设计应满足设计工作年限 100 年的要求。

3.1.6 盖下结构的防火及耐久性设计应符合国家现行建筑结构设计及城市轨道交通结构设计有关标准的规定。盖上结构的防火及耐久性设计应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 和《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 的有关规定。

3.1.7 盖上结构与盖下结构宜统筹考虑。结构体系应根据抗震设防类别、结构安全等级、抗震设防烈度、轨道交通工艺要求、建筑高度、场地及施工条件等因素确定。

3.1.8 盖下结构宜采用框架或框架-剪力墙结构体系，盖上结构可采用框架、剪力墙、框架-剪力墙和框架-支撑等结构体系，宜采用隔震/振及消能减震技术。

3.2 结构布置

3.2.1 车辆基地盖下结构布置应符合下列规定：

1 车辆基地盖下结构应结合盖上开发建筑功能及结构形式布置，垂直于轨道方向柱距宜按两线一跨布置。咽喉区柱网布置应满足城市轨道交通有关要求。

2 车辆基地盖上结构与盖下结构的竖向构件宜连续贯通；当上部竖向构件无法贯通落地时，应采取转换措施。

3 高架车辆基地试车线的主体结构宜与其他盖下结构设变形缝分离，上部不宜设置上盖开发建筑。

3.2.2 车站盖下结构布置应符合下列规定：

1 车站结构关联范围内的结构设计应符合国家现行建筑结构设计有关标准及城市轨道交通结构设计有关标准的规定；

2 车站结构关联范围外的结构设计应符合国家现行建筑结构设计有关标准的规定；

3 车站盖上结构与盖下结构的竖向构件宜连续贯通，减少转换；

4 地下车站主体结构内不宜设置变形缝；

5 高架车站盖下结构设缝应满足城市轨道交通工艺和建筑布置等要求。

3.2.3 盖上结构布置应符合下列规定：

1 高层建筑宜选用抗风有利的形体；

2 盖上结构单个塔楼长宽比宜控制在 4.0 以下。

3.2.4 城市轨道交通上盖结构适用的最大高度应符合下列规定：

1 当转换层（隔震层）以上结构为现浇钢筋混凝土结构时，对非隔震结构，应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定；对隔震结构，应符合表 3.2.4-1 的规定。

表 3.2.4-1 现浇钢筋混凝土结构适用的最大高度（m）

隔震层以上结构类型	抗震设防烈度				9 度
	6 度	7 度	8 度		
			0.20g	0.30g	
框架	60	50	40	35	24
框架-剪力墙、剪力墙 (不包括全框支剪力墙)	120	100	80	50	40
框架-核心筒	150	130	100	90	70

注：房屋高度指室外地面到主要屋面的高度，不包括局部突出屋顶部分。

2 当转换层（隔震层）以上结构为钢结构时，对非隔震结构，应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定；对隔震结构，应符合表 3.2.4-2 的规定。

表 3.2.4-2 钢结构适用的最大高度 (m)

隔震层以上 结构类型	抗震设防烈度					
	6 度	7 度		8 度		9 度
		0.10g	0.15g	0.20g	0.30g	
框架	110	110	90	90	70	50
框架-中心支撑	220	220	200	180	150	120
框架-偏心支撑 框架-延性墙板	240	240	220	200	180	160

注：房屋高度指室外地面到主要屋面的高度，不包括局部突出屋顶部分。

3 对全框支剪力墙结构，应进行专门研究和论证，适用的最大高度应符合表 3.2.4-3 的规定。

表 3.2.4-3 全框支剪力墙结构转换层以上适用的最大高度 (m)

转换层以上 结构类型	抗震设防烈度					
	6 度	7 度		8 度		9 度
		0.10g	0.15g	0.20g	0.30g	
框架-剪力墙、剪力墙	120	120	100	80	专门研究	不应采用

注：房屋高度指室外地面到主要屋面的高度，不包括局部突出屋顶部分。

4 当转换层（隔震层）以上结构为表 3.2.4-1、表 3.2.4-2 以外的结构类型时，应进行专门研究和论证。

3.2.5 转换层布置应符合下列规定：

1 转换层结构应有足够的刚度、强度和整体性，转换层平面形状宜简单、规则、对称，转换层质量、刚度和承载力分布宜均匀；

2 转换层结构布置宜使传力路径直接，不宜采用多次转换的形式；对于多、高层建筑结构，转换构件可采用转换梁、桁架、空腹桁架、斜撑、箱形转换结构、厚板等形式；

3 转换层不宜布置在 3 层以上；

4 转换层及以下结构的转换柱宜采用型钢混凝土柱、钢管

混凝土柱等具有较高承载力和较好延性的构件类型。

3.2.6 设置结构缝合理划分结构单元时，应综合考虑车辆段功能分区、盖上开发建筑布置、结构的规则性等因素，且宜减少结构缝的数量。结构缝缝宽应满足现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 关于防震缝宽度的有关规定，尚应考虑当地季节温差对城市轨道交通上盖结构缝宽变化的不利影响。

3.2.7 超长结构应进行温度应力分析，宜考虑基础刚度对上部结构温度应力的影响，并采取相应的措施，减小温度应力及混凝土收缩应力的影响。

3.2.8 基础布置应符合下列规定：

1 基础应采用整体性好、可减小不均匀沉降的基础形式，满足地基承载力和容许变形的要求；

2 盖下结构宜采取措施控制盖上结构单体荷载差异引起的不均匀沉降；

3 高层建筑不能设置地下室时，应验算基础水平承载力、抗滑移及抗倾覆稳定性。

3.3 分期实施与预留

3.3.1 盖下结构的净空尺寸除应满足轨道交通限界、轨道交通工艺、建筑设计、施工工艺等要求外，还应考虑施工误差、结构变形及后期沉降的影响。

3.3.2 盖下结构设计应根据工程筹划，进行施工工况验算。当盖上结构施工晚于城市轨道交通开通运营时，尚应验算盖上结构施工及使用工况，控制后期沉降的不利影响。

3.3.3 盖上结构与盖下结构分期建设时，应在盖下结构施工时预留盖上结构相关构件的钢筋、型钢及预埋件等，并提出有针对性的保护措施。

3.4 材 料

3.4.1 城市轨道交通上盖结构采用的材料应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 和《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 的有关规定，地下结构部分的材料还应符合现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108 的有关规定。

3.4.2 承受列车荷载的构件以及车站结构关联范围内的构件，采用的材料应符合国家现行城市轨道交通结构有关标准的规定。

3.4.3 结构位于腐蚀性环境时，采用的材料应符合现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046 的有关规定。

4 荷载与作用

4.1 一般规定

4.1.1 城市轨道交通上盖结构设计荷载应满足现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 和《工程结构通用规范》GB 55001 的有关规定。

4.1.2 结构设计时应根据盖上结构和盖下结构施工和投入使用的实际情况，针对不同阶段和不同工况确定荷载取值及荷载组合。

4.1.3 盖上结构传至车站结构关联范围的荷载应按 100 年设计工作年限取值，地震作用应按 50 年设计工作年限取值。车站结构关联范围的设计荷载组合应符合现行国家标准《地铁设计规范》GB 50157 的有关规定。

4.2 城市轨道交通荷载

4.2.1 城市轨道交通工艺生产用房、设备用房楼面均布活荷载和设备荷载标准值及组合值系数、频遇值系数和准永久值系数应根据工艺要求、设备参数及设备权属专业要求取值。设备用房楼面均布活荷载的组合值系数和频遇值系数不应低于 0.9，准永久值系数不应低于 0.8；工艺生产用房均布活荷载的组合值系数和频遇值系数不应低于 0.7，准永久值系数不应低于 0.6；当按实际设备荷载和布置情况采用时，组合值系数、频遇值系数及准永久值系数均取 1.0。具体取值不应低于表 4.2.1 的规定。

表 4.2.1 城市轨道交通工艺生产用房、设备用房楼面均布活荷载标准值和设备荷载标准值及组合值、频遇值、准永久值系数

项次	类别	楼面均布活荷载标准值 (kN/m ²)	组合值系数 ψ_c	频遇值系数 ψ_f	准永久值系数 ψ_q	备注
1	变电所用房、动照机房	10.0	0.9	0.9	0.8	不包含变压器
2	UPS 电源室	10.0	0.9	0.9	0.8	—
3	通信、信号设备用房	8.0	0.9	0.9	0.8	不包含电源室
4	消防控制室、泵房	10.0	0.9	0.9	0.8	—
5	环控机房	8.0	0.9	0.9	0.8	—
6	设备检修间	4.0	0.7	0.7	0.6	—
7	检修平台	一层 2.5、 二层 4.0	0.7	0.7	0.6	—
8	气瓶间	15.0	0.9	0.9	0.8	—
9	物资仓库、备品间	6.0	0.9	0.9	0.8	—

4.2.2 在计算楼面梁、墙、柱及基础时，本标准第 4.2.1 条规定的楼面均布活荷载标准值可进行折减。设计楼面梁时，当楼面梁从属面积超过 50m² 时，折减系数可取 0.9；墙、柱及基础折减系数同楼面梁；当按实际设备荷载和布置情况采用时，折减系数可取 1.0。

4.3 盖上结构荷载

4.3.1 上盖开发荷载应根据建筑上盖开发方案，考虑预留建筑功能、覆土厚度及预留机房权属专业需求取值。城市轨道交通预留阶段，楼面均布活荷载标准值及组合值、频遇值和准永久值系数不宜低于表 4.3.1 的规定。

表 4.3.1 上盖开发楼面均布活荷载标准值及组合值、
频遇值和准永久值系数

项次	类别		楼面均布 活荷载 标准值 (kN/m ²)	组合值 系数 ψ_c	频遇值 系数 ψ_f	准永久值 系数 ψ_q
1	机动车库 (小汽车)	单向板楼盖 ($2m \leq \text{板跨} L$)	4.0	0.7	0.7	0.6
2		双向板楼盖 ($3m \leq$ 板跨短边 $L < 6m$)	5.5— 0.5L	0.7	0.7	0.6
3		双向板楼盖 ($6m \leq$ 板跨短边 L)、 无梁楼盖 (柱网 不小于 $6m \times 6m$)	2.5	0.7	0.7	0.6
4	盖上绿化		5.0	0.7	0.6	0.5
5	消防控制室、泵房		10.0	0.9	0.9	0.8
6	电力设备用房		20.0	0.9	0.9	0.8
7	其他设备机房		8.0	0.9	0.9	0.8

注：1 盖上市政道路的路灯、信号灯立杆、护栏、声屏障等附属设施荷载，应按相关专业要求取值；

2 活荷载不包括花圃土石等材料自重，覆土厚度按实计算。

4.3.2 消防车荷载取值应符合现行国家标准《工程结构通用规范》GB 55001 的有关规定；当考虑特种消防车时，应按实际荷载取值。

4.3.3 盖上结构范围内通行市政车辆的道路，车辆荷载取值应符合现行行业标准《城市桥梁设计规范》CJJ 11 的有关规定，还应符合现行国家标准《工程结构通用规范》GB 55001 中通行汽车通道荷载取值的规定。

4.3.4 板地应根据盖上施工的具体筹划考虑施工荷载，包括施工装备、施工堆载及板地支模等荷载。

4.3.5 预留施工荷载应符合下列规定：

1 施工荷载按临时荷载考虑，不与使用阶段活荷载及消防车荷载叠加，不参与地震组合；组合值系数取 0.9，频遇值系数和准永久值系数取 0；

2 板地均布施工荷载取值应按实际施工可能情况考虑，且不应小于 10kN/m^2 ，计算楼面梁、墙、柱及基础时不折减；

3 施工道路可结合消防车道进行布置，重载施工车辆荷载应按实际考虑，且荷载取值不应小于 35kN/m^2 。

4.4 风 荷 载

4.4.1 城市轨道交通上盖结构风荷载计算时，基本风压、风压高度变化系数及风荷载体型系数取值应符合现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的有关规定。对受到显著干扰效应的结构，风荷载宜通过风洞试验或数值模拟确定。

4.4.2 计算城市轨道交通上盖结构风荷载标准值 w_k 时，高度起算位置应为盖下室外地坪。

4.4.3 城市轨道交通上盖结构顺风向风荷载计算、横风向和扭转风振的等效风荷载计算，应符合现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的有关规定。在计算上盖隔震结构风荷载时，可考虑屈服前弹性状态的动力特性计算顺风向风荷载。

4.5 其他荷载与作用

4.5.1 地震作用的取值及计算方法应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定。温度荷载、偶然作用的计算应符合现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的有关规定。

4.5.2 城市轨道交通上盖结构的车辆运行振动作用，宜选用实测城市轨道交通振动时程曲线输入，或按建筑场地类别、轨道类型和车速等实际情况模拟城市轨道交通振动加速度时程曲线输

入，输入位置应为盖下结构的柱底。本标准附录 A 给出归一化处理后的某软土地区城市轨道交通上盖结构实测振动加速度时程曲线，可作为同类场地条件下的设计输入，对不同类型的城市轨道交通上盖结构加速度输入最大值，应考虑轨道基础类型、柱轨距等因素进行调幅，幅值可按表 4.5.2 取值。当取 3 组加速度时程曲线输入时，计算结果宜取时程法的包络值；当取 7 组及 7 组以上加速度时程曲线时，计算结果可取时程法的平均值。

表 4.5.2 时程分析车辆运行振动加速度时程最大值

轨道基础类型	车速 (km/h)	柱轨距 l^* (m)	加速度时程最大值 (m/s^2)
柱式检查坑	<30	$l \leq 2$	0.5
		$2 < l \leq 5$	0.3
		$5 < l \leq 10$	0.1
整体道床	<30	$l \leq 2$	1.0
		$2 < l \leq 5$	0.8
		$5 < l \leq 10$	0.6

注：* 柱轨距指轨道至盖下结构柱的最近距离。

5 非隔震结构设计

5.1 一般规定

5.1.1 城市轨道交通上盖结构抗震设计应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 和《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002 的有关规定，车站结构关联范围抗震设计应符合现行国家标准《城市轨道交通结构抗震设计规范》GB 50909 的有关规定。

5.1.2 城市轨道交通上盖结构抗震设防分类应符合下列规定：

1 盖上结构抗震设防类别应符合现行国家标准《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223 的有关规定，盖下结构抗震设防类别不应低于对应盖上结构；

2 车站结构关联范围，车辆基地盖下结构含控制中心、变电所、通信信号用房的结构单元为重点设防类。

5.1.3 对已进行工程场地地震安全性评价的城市轨道交通上盖结构，宜按批准的评价结果确定地震作用，同时不应低于现行国家标准《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223 的有关规定。

5.1.4 抗震设防烈度为 7 度（0.15g）、8 度和 9 度的转换结构构件、大跨度结构、长悬臂结构，抗震设防烈度为 9 度的高层建筑结构，应考虑竖向地震作用。

5.1.5 宜选用规则性好的结构布置；不规则的结构应按规定采取加强措施；特别不规则的结构应进行专门研究和论证，采取特别的加强措施；严重不规则的结构不应采用。

5.1.6 特别不规则或高度超过本标准第 3.2.4 条规定的城市轨道交通上盖结构，宜进行抗震性能化设计。

5.1.7 需要进行抗震性能化设计的城市轨道交通上盖结构，在确定抗震性能目标时，塔楼相关范围、转换层及以下框架、框支框架的抗震性能目标应比转换层以上结构提高一级。

5.1.8 剪力墙的布置及计算应符合下列规定：

1 剪力墙应双向布置；

2 剪力墙宜布置在塔楼投影范围之内，并与塔楼剪力墙对齐，减少转换；

3 剪力墙宜采用 T 形、L 形、I 形截面或带端柱的截面，不宜采用一字形截面；

4 盖下结构不宜布置短肢剪力墙；对具有较多短肢剪力墙的城市轨道交通上盖结构，应将短肢剪力墙按剪力墙和考虑内力调整的框架柱分别建模，进行包络设计。

5.2 盖下结构设计

5.2.1 塔楼相关范围内，板地结构层与相邻上一层侧向刚度比不宜小于 0.5。

5.2.2 板地楼板开洞后有效楼板宽度不宜小于本层楼板宽度的 60%，开洞总面积不宜大于本层楼面面积的 25%。

5.2.3 盖下结构水平位移限值应符合下列规定：

1 在多遇地震或风荷载作用下，盖下结构弹性层间位移角不宜大于 1/1000；在罕遇地震作用下，盖下结构弹塑性层间位移角不宜大于 1/120；

2 对全框支剪力墙结构，尚应满足在多遇地震作用下的最大弹性层间位移角不宜大于 1/2000，罕遇地震作用下的最大弹塑性层间位移角不宜大于 1/250 的要求。

5.2.4 设计多塔楼城市轨道交通上盖结构时，宜按整体模型和单塔模型分别计算。整体模型用于施工图设计，单塔模型用于考察结构的扭转位移比等指标。

5.2.5 计算分析时的塔楼相关范围，应与确定抗震性能、抗震

构造措施时的塔楼相关范围相统一，不宜小于塔楼投影范围外扩 2 跨，且不宜小于 20m。

5.2.6 除各类转换构件外，位于塔楼相关范围内的其他盖下结构竖向构件的纵向钢筋最小配筋率，宜比现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 中的有关规定限值提高 0.1%。

5.3 盖上结构设计

5.3.1 转换层以上结构的水平位移限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。

5.3.2 板地与转换层（含）之间的结构应满足下列规定：

1 转换层与相邻上一层侧向刚度比不宜小于 0.5；

2 在多遇地震或风荷载作用下，弹性层间位移角不宜大于 1/800；在罕遇地震作用下，弹塑性层间位移角不宜大于 1/100。

5.3.3 城市轨道交通上盖结构的各转换层以上结构平面布置宜分布均匀，层数、平面尺寸和刚度宜接近。高层建筑转换层以上结构质心与转换层以下结构质心的距离不宜大于板地相应边长的 20%。

5.3.4 转换层以上结构采用剪力墙或框架-剪力墙结构时，结构底部加强区范围应自地下室顶板算起，至转换层以上结构高度 1/10 处且不小于 2 层为止。

5.4 转换层结构设计

5.4.1 转换层结构布置不应采用单跨结构。

5.4.2 对偏心支承上部剪力墙的转换梁，计算模型应考虑偏心荷载的影响，并采取相应的抗扭加强措施。

5.4.3 城市轨道交通上盖结构的转换构件考虑竖向地震作用时，竖向地震可按竖向地震系数法、反应谱法和时程分析结果包络设计。

5.4.4 转换层结构构件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。当采用钢与混凝土组合结构时，尚应符合现行行业标准《组合结构设计规范》JGJ 138 的有关规定。

5.5 全框支剪力墙结构设计

5.5.1 全框支剪力墙结构应进行罕遇地震弹塑性时程分析，屈服机制应满足转换层以上部分结构先于底部框支框架屈服。

5.5.2 转换层以上结构的抗震等级宜按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 关于部分框支剪力墙结构的有关规定确定。

5.5.3 转换层及以下框架和框支框架结构应满足下列构造要求：

1 8度及以上抗震设防区框支柱宜采用型钢混凝土柱、钢管混凝土柱或内置圆钢管混凝土的叠合柱。采用型钢混凝土柱时截面含钢率不宜小于4%，纵向钢筋最小配筋率不宜小于1.2%。

2 框支柱截面尺寸不宜小于1400mm×1400mm。

3 8度抗震设防区钢筋混凝土框架柱和框支柱宜为特一级构造，竖向钢筋配筋率不宜小于1.6%，柱端箍筋加密区最小配箍特征值宜比现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定增大0.03，且箍筋体积配箍率不宜小于1.6%；7度抗震设防区钢筋混凝土框架柱和框支柱宜为一级构造，竖向钢筋配筋率不宜小于1.4%；6度抗震设防区钢筋混凝土框架柱和框支柱宜为二级构造，竖向钢筋配筋率不宜小于1.2%。

4 8度抗震设防的框支柱轴压比不宜大于0.55，框架柱轴压比不宜大于0.60；7度抗震设防的框支柱轴压比不宜大于0.60，框架柱轴压比不宜大于0.65；6度抗震设防的框支柱轴压比不宜大于0.70，框架柱轴压比不宜大于0.75。计算轴压比时，应采用重力荷载代表值作用下柱的轴压力设计值。

5 转换层楼板厚度不宜小于180mm，混凝土强度等级不宜低于C40；宜双层双向配筋，每向配筋率不宜小于0.25%。

6 转换层楼板不宜开洞。需要开较大洞口时，洞口应设置配筋加强带或边梁。配筋加强带或边梁宽度不宜小于2倍板厚，总配筋率不宜小于1%。

6 隔震结构设计

6.1 一般规定

6.1.1 上盖隔震结构的设计方案,应根据抗震设防类别、设计地震动参数、场地条件、建筑结构方案和使用要求,综合考虑技术、经济和使用条件来确定。

6.1.2 上盖隔震结构设计时,应根据罕遇地震作用下的隔震层位移控制要求以及城市轨道交通车辆运行振动作用下的振动舒适度要求,合理布置隔震/振装置。

6.1.3 上盖隔震结构为特别不规则建筑或高度超过本标准第3.2.4条规定的,宜按现行国家标准《建筑隔震设计标准》GB/T 51408的有关规定进行抗震性能化设计。

6.1.4 城市轨道交通上盖隔震/振结构可采用下列隔震/振装置:

1 当仅考虑地震作用隔震设计时,可选用天然橡胶支座、铅芯橡胶支座、高阻尼橡胶支座、摩擦摆隔震支座、弹性滑板支座等;

2 当考虑振震双控设计时,可选用叠层天然厚橡胶支座、铅芯叠层厚橡胶支座、叠层橡胶与钢弹簧/碟簧组合的三维隔震/振支座,以及摩擦摆与钢弹簧/碟簧组合的三维隔震/振支座、摩擦摆与叠层厚橡胶支座组合的三维隔震/振支座。

6.1.5 上盖隔震结构应符合下列规定:

1 风荷载和其他非地震作用的水平荷载标准值产生的总水平力不宜超过结构总重力荷载代表值的10%;

2 隔震层应提供必要的竖向承载力、侧向刚度和阻尼;

3 穿过隔震层的设备配管、配线,应采用柔性连接或其他有效措施以适应隔震层的罕遇地震水平位移。

6.1.6 采用振震双控设计时，叠层厚橡胶支座和组合三维隔震/振支座设计，应符合本标准附录 B 和本标准附录 C 的规定。

6.1.7 隔震装置的产品除满足本标准的有关规定外，尚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 和《建筑摩擦摆隔震支座》GB/T 37358 的有关规定。对于无相关标准规定的，在工程中使用应进行专项论证。

6.1.8 城市轨道交通上盖隔震结构的地震作用计算可采用振型分解反应谱法；对于隔震层以上高度大于 60m 的上盖隔震结构，或采用组合隔震装置的上盖隔震结构，尚应采用时程分析法进行补充计算。

6.1.9 隔震结构分析模型应包含隔震层以上结构、隔震层和隔震层以下结构，隔震层以下结构的范围不宜小于塔楼相关范围。

6.1.10 隔震层以上结构的构件截面设计和结构变形验算，应符合现行国家标准《建筑隔震设计标准》GB/T 51408 的有关规定。

6.1.11 城市轨道交通上盖隔震结构相关连接构造和变形缝要求，应符合现行国家标准《建筑隔震设计标准》GB/T 51408 的有关规定。

6.1.12 不能采用一体化设计的城市轨道交通上盖结构，进行上盖隔震结构设计时，应通过整体结构模型验算盖下结构的变形和承载力是否满足本标准第 6.4 节的有关规定；不满足时，应对盖下结构进行加固，满足盖下结构变形和承载力验算要求。

6.2 计算要点

6.2.1 城市轨道交通上盖结构的地震作用和作用效应计算，应符合现行国家标准《建筑隔震设计标准》GB/T 51408 的有关规定，其中隔震层的非线性可按等效线性化的迭代方式考虑。

6.2.2 隔震结构的自振周期、等效刚度和等效阻尼比，应根

据隔震层中隔震装置及阻尼装置经试验所得滞回曲线对应不同烈度地震作用时的隔震层水平位移值计算，可按不同地震烈度下的设计反应谱进行迭代计算确定，也可采用时程分析法计算确定。

6.2.3 当采用时程分析法时，城市轨道交通上盖结构体系分析模型应符合下列规定：

1 当城市轨道交通上盖结构体系仅考虑地震作用时，分析模型宜考虑结构杆件的空间分布、弹性楼板假定、隔震支座的位置、隔震结构的质量偏心、在水平方向平动和扭转、隔震层的非线性阻尼特性以及荷载-位移关系；

2 在设防地震作用下，隔震层以上结构和隔震层以下结构均可采用线弹性模型，隔震层应采用隔震产品提供的滞回模型，并按非线性阻尼特性以及非线性荷载-位移关系特性进行分析；在罕遇地震作用下，隔震层以上结构和隔震层以下结构宜采用弹塑性模型；

3 当城市轨道交通上盖结构体系除考虑地震作用外，还需考虑车辆运行振动作用时，分析模型除应满足本条第1款的规定外，还应考虑竖向隔振刚度、隔震层竖向阻尼特性以及隔震层竖向荷载-位移关系特性；

4 当城市轨道交通上盖结构进行振震双控设计时，在车辆运行振动作用下，隔震层以上结构和隔震层以下结构均可采用线弹性模型，隔震层在水平向宜采用隔震产品提供的水平向性能滞回模型，在竖向除符合本条第3款的规定外，采用叠层厚橡胶支座和组合三维隔震/振支座时，竖向性能滞回模型还应符合本标准附录B和本标准附录C的规定。

6.2.4 当采用时程分析法时，选用的地震动加速度时程曲线数量应符合现行国家标准《建筑隔震设计标准》GB/T 51408的有关规定；选用的车辆运行振动加速度时程曲线数量宜符合本标准第4.5.2条的规定。

6.2.5 采用振型分解反应谱法和时程分析法同时计算时，地震作用效应应取两者的较大值。

6.2.6 城市轨道交通上盖结构体系竖向地震作用的计算应符合下列规定：

1 对于仅考虑地震作用的上盖隔震结构体系，竖向地震作用采用振型分解反应谱法计算时，竖向地震影响系数可取为水平向地震影响系数的 65%；

2 对于考虑振震双控的上盖隔震结构体系，竖向地震作用的计算宜采用时程分析法，分析模型隔震层设置应符合本标准第 6.2.3 条的规定。

6.3 隔震层设计

6.3.1 隔震层设计应符合下列规定：

1 阻尼装置、抗风装置、限位装置等可与隔震支座合为一体，也可单独设置。

2 同一建筑隔震层选用多种类型、规格的隔震装置时，每个隔震装置的承载力和水平变形能力应能充分发挥。所有隔震装置的竖向变形应保持一致，在重力荷载代表值作用下的竖向变形值与平均变形值的允许偏差不宜大于 30%。

3 当隔震层采用隔震支座和阻尼器时，应确保隔震层在地震后恢复原位，在罕遇地震作用下总水平弹性恢复力与总水平摩阻力之比不应小于 1.2。

6.3.2 隔震层的布置应符合下列规定：

1 隔震层刚度中心宜与质量中心重合，偏心率不宜大于 3%。

2 当隔震层以上结构与隔震层以下结构柱平面位置不对齐时，应采用结构转换措施。

3 隔震支座底面宜布置在相同标高位置上。当隔震支座处于不同标高时，应保证隔震支座共同工作，在罕遇地震作用下，

不同标高相邻隔震层的层间剪切位移角不应大于 1/1000。

4 同一支承处采用多个隔震支座时，隔震支座之间的净距不应小于安装和更换所需的空间尺寸。

5 宜在建筑中合理布置隔震层的阻尼装置或抗风装置。

6.3.3 隔震层抗风装置的水平承载力设计值应满足下式要求：

$$V_{Rw} \geq \gamma_w V_{wk} \quad (6.3.3)$$

式中： V_{Rw} ——隔震层抗风装置的水平承载力设计值（kN），当抗风装置是隔震支座的组成部分时，可取隔震支座的水平屈服荷载设计值；当抗风装置单独设置时，可取抗风装置的水平承载力，按材料屈服强度设计值确定；

γ_w ——风荷载分项系数，可取 1.4；

V_{wk} ——风荷载作用下隔震层的水平剪力标准值（kN）。

6.3.4 隔震层的弹性恢复力验算应满足下式要求：

$$K_{100} T_r \geq 1.40 V_{Rw} \quad (6.3.4)$$

式中： K_{100} ——隔震支座在水平剪切应变 100% 时的水平等效刚度（kN/mm）；

T_r ——隔震支座橡胶总厚（mm）。

6.3.5 隔震层的橡胶隔震支座、弹性滑板支座和摩擦摆隔震支座在重力荷载代表值、罕遇地震作用下压、拉应力应符合现行国家标准《建筑隔震设计标准》GB/T 51408 的有关规定。

6.3.6 隔震层的水平位移幅值应采用振型分解反应谱法结合迭代的方法计算，或采用整体结构时程分析法结果。

6.3.7 罕遇地震作用下，叠层橡胶支座和叠层厚橡胶支座的水平位移幅值应小于支座直径的 55% 和橡胶层总厚度的 3.0 倍二者的较小值，弹性滑板支座的水平位移幅值应小于产品水平极限位移的 75%，摩擦摆隔震支座的水平位移幅值应小于产品水平极限位移的 85%。

6.3.8 城市轨道交通上盖隔震结构，应进行整体抗倾覆验算，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，抗倾覆力矩与倾覆力矩之比不应小于1.1。

6.4 隔震层以下结构设计

6.4.1 隔震层以下结构宜在隔震支座下方布置竖向构件，直接承受隔震支座传递的竖向荷载。无法直接在隔震支座下方布置竖向构件时，应采取可靠的结构转换措施，承受隔震支座传递的竖向荷载。

6.4.2 隔震层以下结构的承载力验算，应考虑上部结构传来的轴力、弯矩、水平剪力以及由隔震层水平变形产生的附加弯矩。

6.4.3 隔震层支墩、支柱及相连构件，应采用罕遇地震作用下隔震支座底部的竖向力、水平力和弯矩进行承载力验算。隔震支墩应满足抗弯不屈服、抗剪弹性的性能目标。

6.4.4 直接支撑隔震层以上结构及相邻1跨的隔震层以下结构相关构件，应满足抗震设防烈度下的抗震承载力要求。

6.4.5 隔震层以下结构在设防地震下层间位移角限值应符合表6.4.5的规定。

表 6.4.5 隔震层以下结构在设防地震下层间位移角限值

结构类型	设防地震下层间位移角限值
钢筋混凝土框架结构	1/500
钢筋混凝土框架-抗震墙结构、框架-核心筒结构	1/600
钢结构	1/300

6.4.6 隔震层以下结构在罕遇地震下层间位移角限值应符合表6.4.6的规定。

表 6.4.6 隔震层以下结构在罕遇地震下层间位移角限值

结构类型	罕遇地震下层间位移角限值
钢筋混凝土框架结构	1/100
钢筋混凝土框架-抗震墙结构、框架-核心筒结构	1/200
钢结构	1/100

7 舒适度评价

7.1 一般规定

7.1.1 城市轨道交通上盖建筑物车辆运行振动作用下,结构竖向振动响应计算应采用时程分析法,计算结果用于舒适度评价。

7.1.2 城市轨道交通上盖建筑物的振动单值评价量应采用竖向 Z 振级评价,宜附加采用竖向四次方振动剂量值评价。

7.1.3 城市轨道交通上盖建筑物室内结构噪声的评价方法和限值,应符合现行国家标准《住宅建筑室内振动限值及其测量方法标准》GB/T 50355 的有关规定。

7.1.4 当城市轨道交通上盖建筑物内竖向 Z 振级或室内二次辐射噪声的评价不满足限值要求时,应开展专项研究,并采取相应措施进行控制。

7.2 计算方法

7.2.1 竖向 Z 振级计算应按现行国家标准《机械振动与冲击 人体暴露于全身振动的评价 第 1 部分:一般要求》GB/T 13441.1 规定的基本频率计权 W_k (1Hz~200Hz) 进行计权,时间常数取 1s,测量时长覆盖一个完整振动周期,最后取振动周期内竖向 Z 振级最大值 (VL_{Zmax})。竖向 Z 振级应按下列公式计算:

$$VL_Z = 20\lg(a_w/a_0) \quad (7.2.1-1)$$

$$a_w = \left[\sum (W_i a_i)^2 \right]^{1/2} \quad (7.2.1-2)$$

式中: VL_Z ——竖向 Z 振级 (dB);

a_w ——计权均方根加速度 (m/s^2);

a_0 ——基准加速度，取 $1 \times 10^{-6} \text{ m/s}^2$ ；

W_i ——第 i 个 1/3 频段带的计权因数；

a_i ——第 i 个 1/3 频段带的均方根加速度 (m/s^2)。

7.2.2 竖向四次方振动剂量值应按式计算：

$$VDV_z = \left\{ \int_0^T a_{zw}^4(t) dt \right\}^{1/4} \quad (7.2.2)$$

式中： VDV_z ——竖向四次方振动剂量值 ($\text{m/s}^{1.75}$)；

T ——昼间或夜间时间长度 (s)；

$a_{zw}(t)$ ——按基本频率计权 W_k 计权的瞬时竖向加速度 (m/s^2)。

7.3 指标评价

7.3.1 城市轨道交通上盖建筑物室内竖向 Z 振级限值，应按表 7.3.1 取值。

表 7.3.1 城市轨道交通上盖建筑物室内竖向 Z 振级限值 (dB)

建筑物功能类型	昼间	夜间
振动控制要求严格的工作区	68	65
居住	73	70
商业和商务办公	78	75
车间办公区	78	75

7.3.2 城市轨道交通上盖建筑物内容许竖向四次方振动剂量值，宜按表 7.3.2 取值。

表 7.3.2 城市轨道交通上盖建筑物内容许竖向四次方振动剂量值 ($\text{m/s}^{1.75}$)

建筑物功能类型	昼间	夜间
居住	0.2	0.1
商业和商务办公	0.4	0.4
车间办公区	0.8	0.8

7.3.3 城市轨道交通上盖结构振动噪声舒适度设计、检测和评估时，应取得下列资料：

1 城市轨道交通车辆悬挂参数、车轮类型和状态、轨面类型和状态、行车速度、昼间和夜间列车通过数量、隧道埋深和断面；

2 实测轮轨荷载及对工程场地和盖下、盖上结构的影响；

3 工程场地条件；

4 上盖建筑物建筑结构图、室内是否采用吸声材料等信息。

7.3.4 城市轨道交通上盖结构振动噪声控制应遵循“源-传播途径-上盖结构”的顺序实施。当轨道减振降噪措施不能达到相应标准要求时，城市轨道交通上盖结构应根据实际条件采取隔振减噪等传播途径措施，或采取城市轨道交通上盖结构减振降噪措施。

8 地基基础设计

8.0.1 城市轨道交通上盖结构的地基基础设计等级应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定确定，且不应低于乙级。

8.0.2 城市轨道交通上盖结构基础设计应满足城市轨道交通上盖结构的承载力及变形控制、开发时序性、轨道交通设备及路基等的要求。地基的承载力、稳定性和变形验算除应符合国家现行标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 和《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定外，还应满足车辆基地和车站的基础变形控制等要求。

8.0.3 城市轨道交通上盖结构的基础设计安全等级、设计工作年限均不应低于对应盖下结构或关联结构。

8.0.4 考虑路基沉降对上盖结构基础的影响，宜先实施路基及地基加固，再实施城市轨道交通上盖结构基础施工。若施工工序无法满足要求，应对路基施工及地基加固方案做专项研究，避免对房建基础产生不利影响。城市轨道交通上盖结构基础施工宜在铺轨之前完成，否则应评估对轨道的影响。

8.0.5 当无地下室时，宜双向设置基础联系梁，基础联系梁应有足够的刚度和强度。当垂直于轨道方向设置基础联系梁时，宜考虑轨道道床的不利影响。

8.0.6 城市轨道交通上盖结构基础埋深，宜符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定。当不能满足埋深要求时，天然地基上浅基础应进行地震及风荷载作用下基础的抗倾覆稳定性及抗滑移稳定性验算，取竖向荷载与风荷载、竖向荷载与设防烈度地震作用标准组合分别进行验算，并应符合下列

规定：

1 结构抗倾覆稳定性验算时，在竖向荷载与风荷载标准组合下，浅基础不宜出现零应力区；在竖向荷载与设防烈度地震作用标准组合下，浅基础零应力区不宜大于 20%；

2 结构抗滑移稳定性验算时，竖向荷载与风荷载标准组合的抗滑移安全系数宜取 $K \geq 1.3$ ；竖向荷载与设防烈度地震作用标准组合的抗滑移安全系数宜取 $K \geq 1.1$ ，计算时可考虑基础侧土水平抗力的有利作用。

8.0.7 当采用无地下室的桩基础时，应验算桩基的水平承载力。当承台侧回填土质量较好时，可在验算时考虑基础侧土水平抗力的有利作用。

8.0.8 当基础采用除岩石地基外的浅基础或端承型桩基础以外的其他基础形式时，应对基础进行变形验算，分别预估建筑物在施工期间和使用期间的地基变形值、预留建筑物有关部分之间的净空，选择合理的连接方法和施工顺序。

8.0.9 城市轨道交通上盖结构的基础沉降控制应符合下列规定：

1 有砟轨道线路范围的基础总沉降量不应大于 100mm，无砟轨道线路范围的基础总沉降量不应大于 50mm，过渡段沉降造成的路基折角不应大于 1/1000；

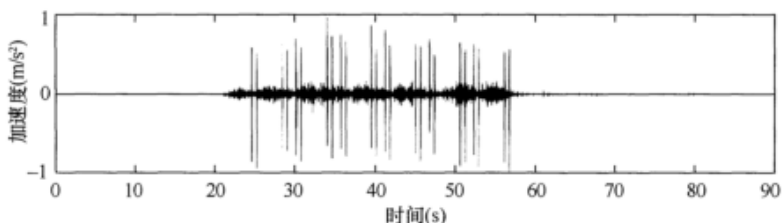
2 车站铺轨后的基础沉降量不应大于 15mm，车辆基地铺轨后的基础沉降量应符合扣件调整能力，铺轨后的差异沉降不宜大于 1/2500；

3 在已投入运营的城市轨道交通线路上进行城市轨道交通上盖结构施工，应对施工造成的沉降和变形影响做专题评估。

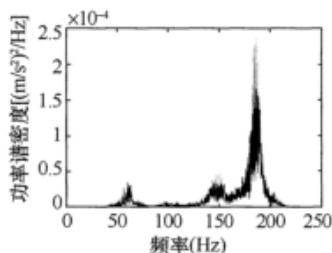
附录 A 某软土地区城市轨道交通上盖 结构实测振动加速度时程曲线

A. 0. 1 本附录给出了归一化处理后的某软土地区城市轨道交通上盖结构不同轨道类型的实测振动加速度时程曲线，测试车速约 20km/h；对试车线区域轨道交通车速超过 30km/h 的，应以实际测试数据输入为准。时程分析时，振动输入的加速度最大值应通过本标准表 4. 5. 2 确定，实际输入为调幅后的加速度时程曲线，并应使用三向时程输入的方式开展时程分析。

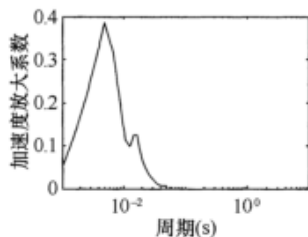
A. 0. 2 本条给出轨道类型为整体道床的实测振动加速度时程以及对应的功率谱密度和反应谱（图 A. 0. 2-1~图 A. 0. 2-6），其中，



(a) 加速度时程

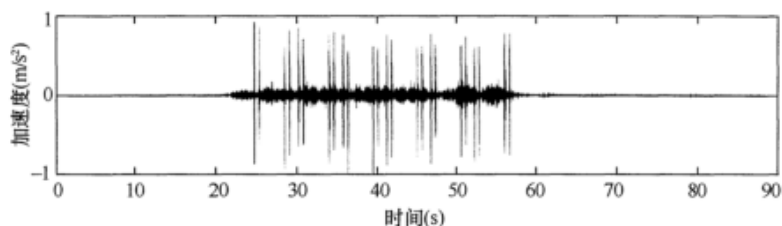


(b) 功率谱密度

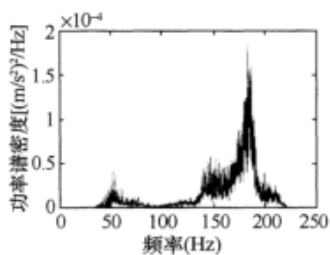


(c) 反应谱

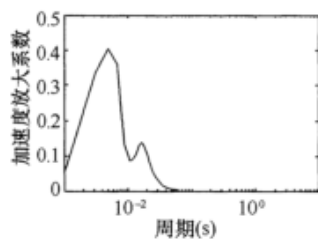
图 A. 0. 2-1 时程 1-X 向



(a) 加速度时程

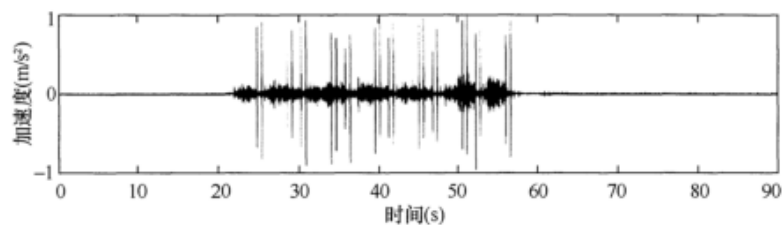


(b) 功率谱密度

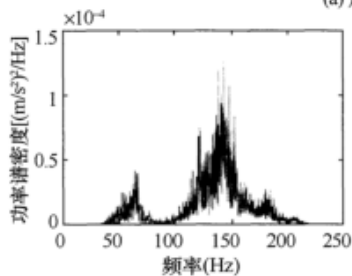


(c) 反应谱

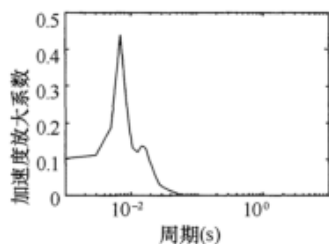
图 A. 0. 2-2 时程 1-Y 向



(a) 加速度时程

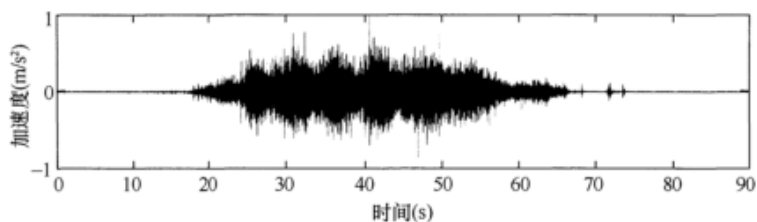


(b) 功率谱密度

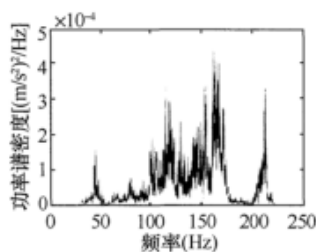


(c) 反应谱

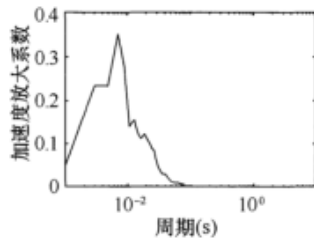
图 A. 0. 2-3 时程 1-Z 向



(a) 加速度时程

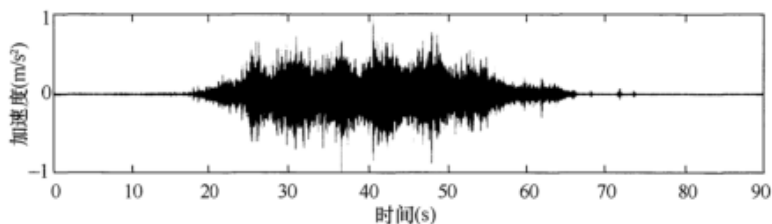


(b) 功率谱密度

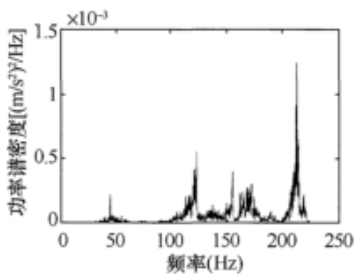


(c) 反应谱

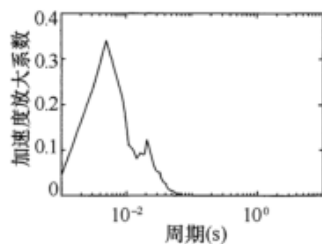
图 A.0.2-4 时程 2-X 向



(a) 加速度时程



(b) 功率谱密度



(c) 反应谱

图 A.0.2-5 时程 2-Y 向

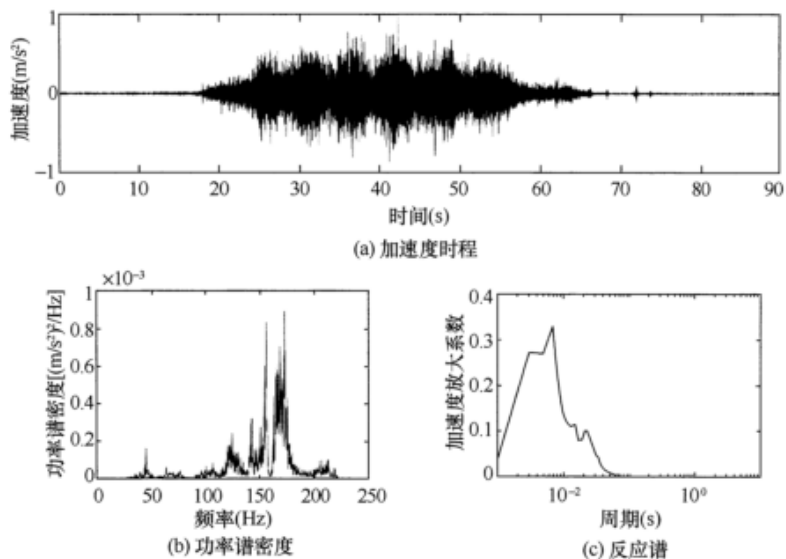
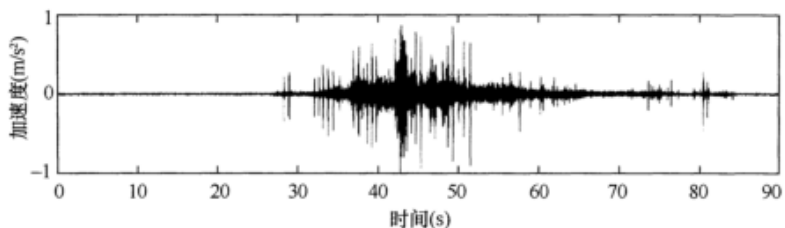


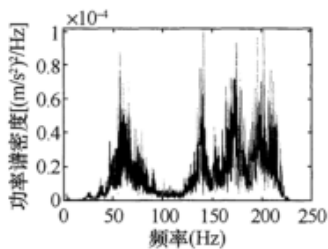
图 A.0.2-6 时程 2-Z 向

X 向为顺轨方向，Y 向为垂直轨方向，Z 向为竖向。时程 1 和时程 2 分别是某运营年代较久和某新投入运营的车辆基地实测振动加速度时程，由于二者轨道交通运行速度、入库刹车情况和轨道不平顺差异较大，导致加速度时域测试结果差别较大，但二者竖向加速度频域的主要频段均在 50Hz 和 150Hz 附近。

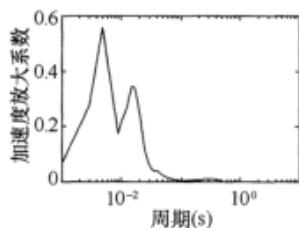
A.0.3 本条给出轨道类型为柱式检查坑的实测振动加速度时程以及对应的功率谱密度和反应谱（图 A.0.3-1~图 A.0.3-18），其中，X 向为顺轨方向，Y 向为垂直轨方向，Z 向为竖向。时程 3~时程 8 是同一车辆基地实测振动加速度时程，各时程主要区别在于测点与轨道交通入库轨道距离的不同，各时程竖向加速度频域的主要频段均在 50Hz 和 150Hz 附近，随着与轨道交通入库轨道距离的增大，竖向振动在 150Hz 频段的成分呈现衰减趋势。



(a) 加速度时程

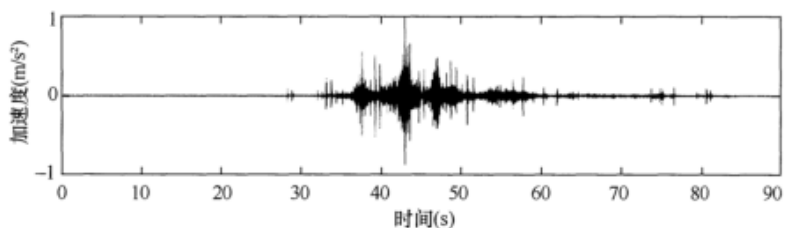


(b) 功率谱密度

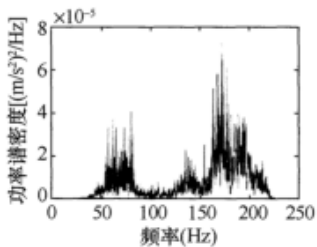


(c) 反应谱

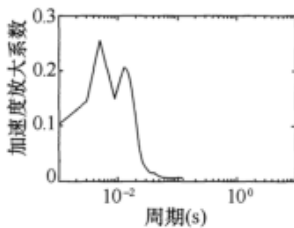
图 A. 0. 3-1 时程 3-X 向



(a) 加速度时程

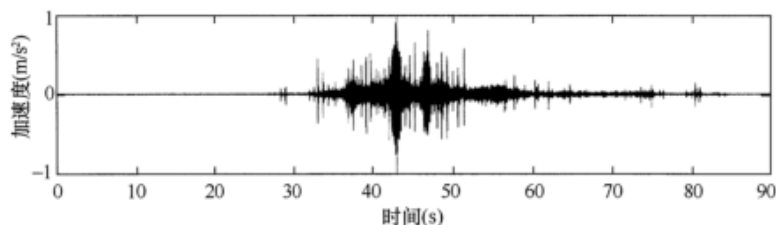


(b) 功率谱密度

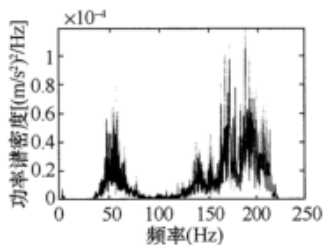


(c) 反应谱

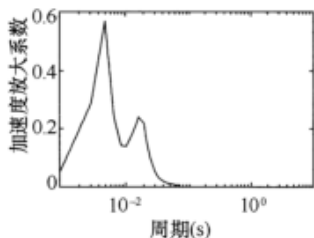
图 A. 0. 3-2 时程 3-Y 向



(a) 加速度时程

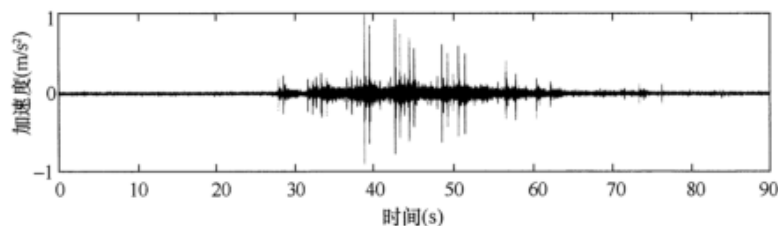


(b) 功率谱密度

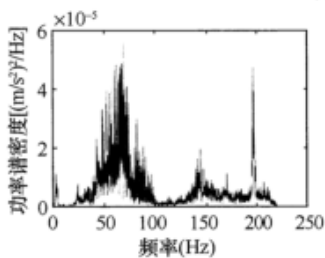


(c) 反应谱

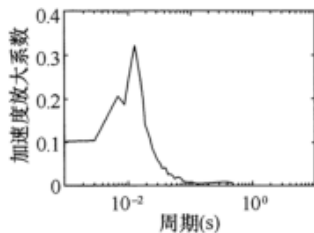
图 A. 0. 3-3 时程 3-Z 向



(a) 加速度时程

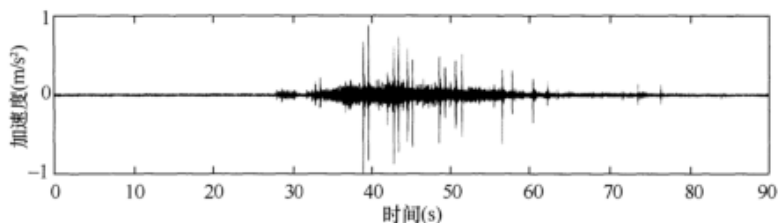


(b) 功率谱密度

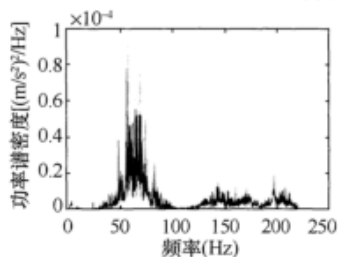


(c) 反应谱

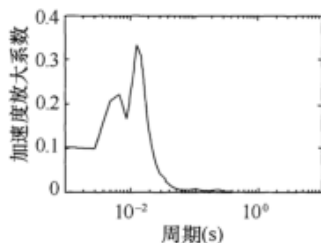
图 A. 0. 3-4 时程 4-X 向



(a) 加速度时程

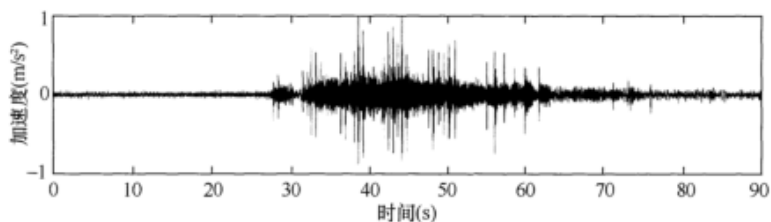


(b) 功率谱密度

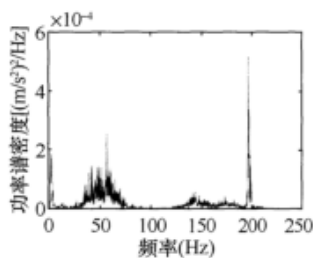


(c) 反应谱

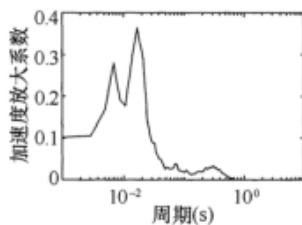
图 A. 0. 3-5 时程 4-Y 向



(a) 加速度时程

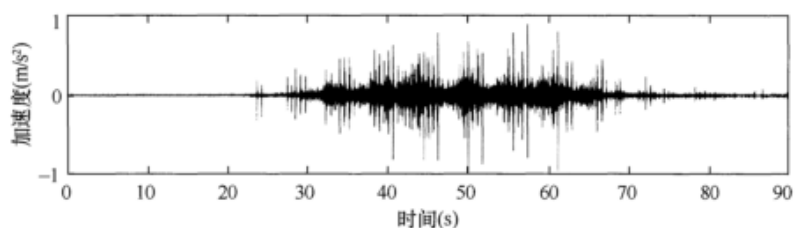


(b) 功率谱密度

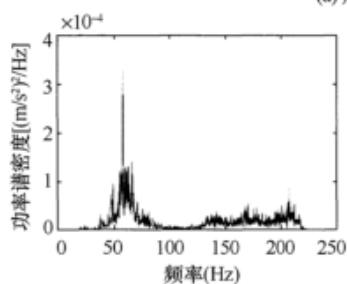


(c) 反应谱

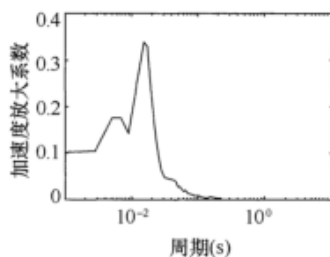
图 A. 0. 3-6 时程 4-Z 向



(a) 加速度时程

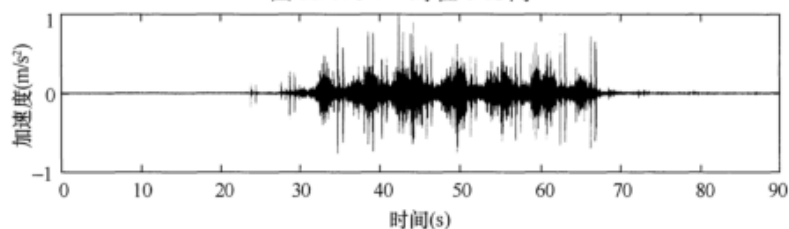


(b) 功率谱密度

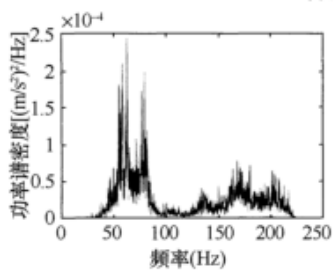


(c) 反应谱

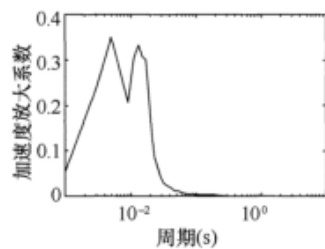
图 A.0.3-7 时程 5-X 向



(a) 加速度时程

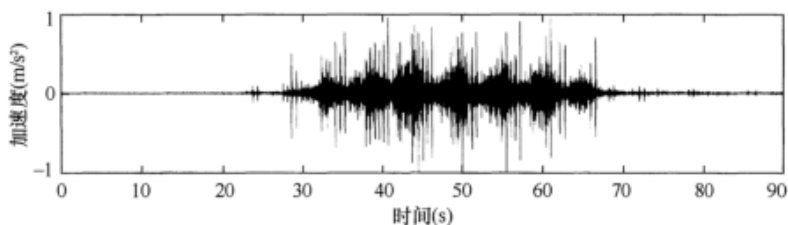


(b) 功率谱密度

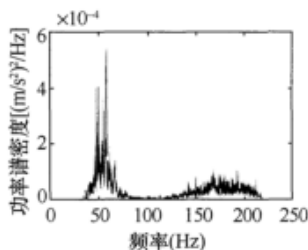


(c) 反应谱

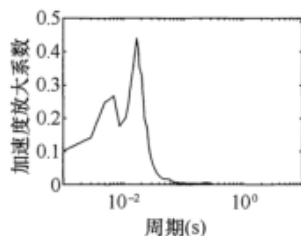
图 A.0.3-8 时程 5-Y 向



(a) 加速度时程

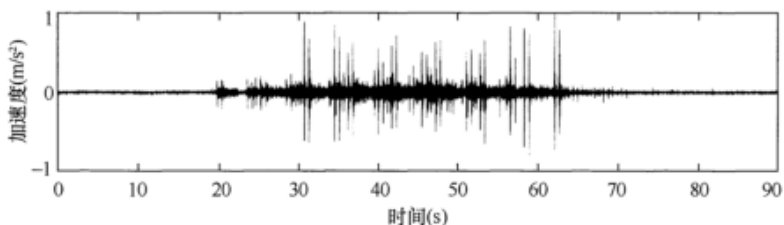


(b) 功率谱密度

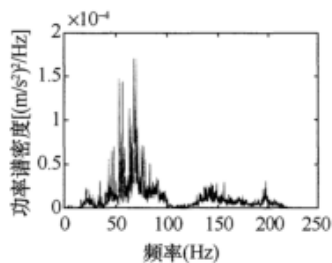


(c) 反应谱

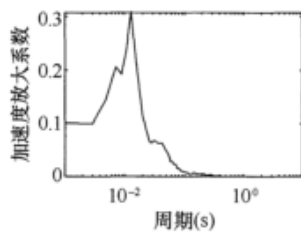
图 A. 0. 3-9 时程 5-Z 向



(a) 加速度时程

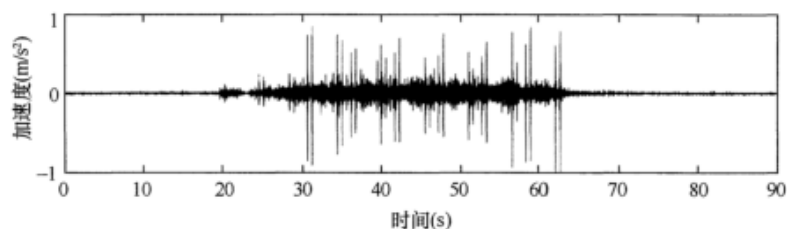


(b) 功率谱密度

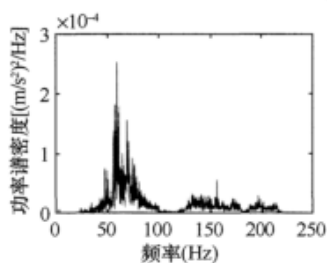


(c) 反应谱

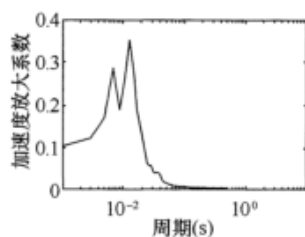
图 A. 0. 3-10 时程 6-X 向



(a) 加速度时程

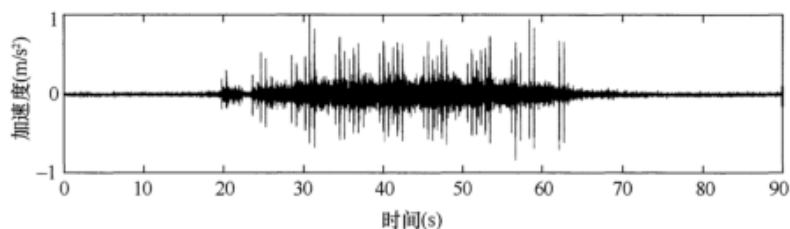


(b) 功率谱密度

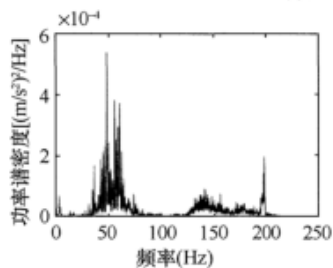


(c) 反应谱

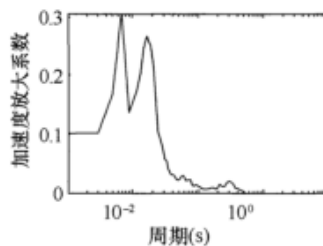
图 A.0.3-11 时程 6-Y 向



(a) 加速度时程

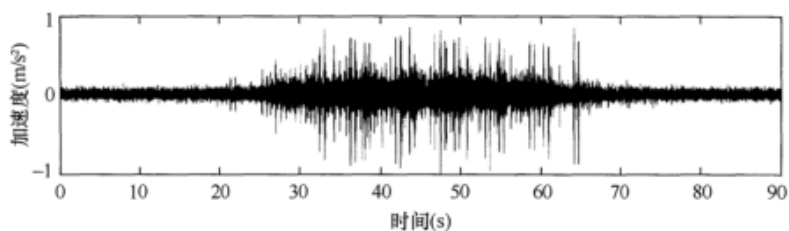


(b) 功率谱密度

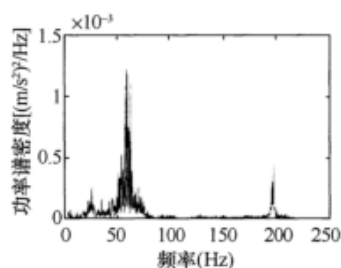


(c) 反应谱

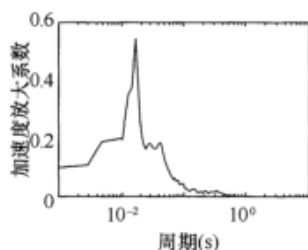
图 A.0.3-12 时程 6-Z 向



(a) 加速度时程

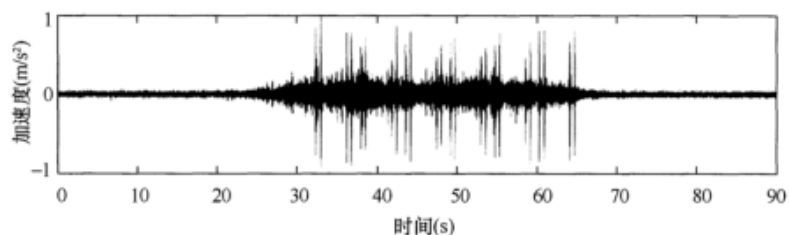


(b) 功率谱密度

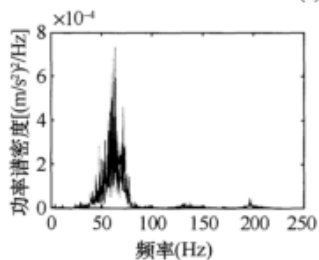


(c) 反应谱

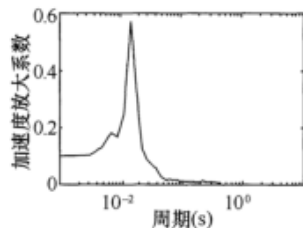
图 A. 0. 3-13 时程 7-X 向



(a) 加速度时程

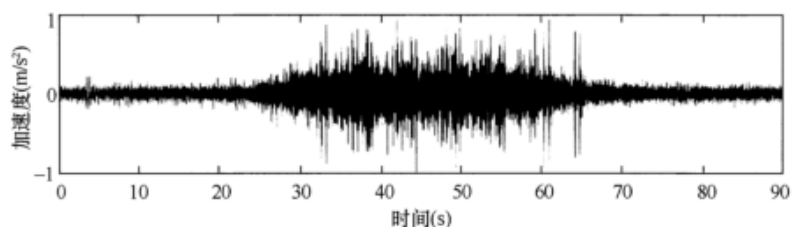


(b) 功率谱密度

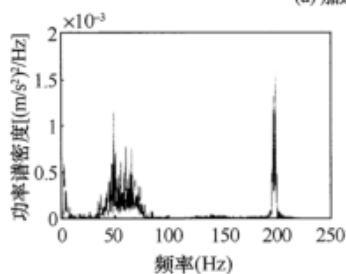


(c) 反应谱

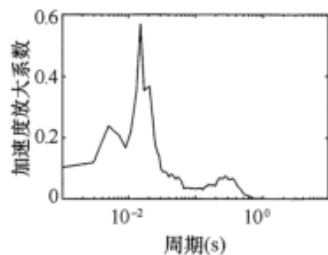
图 A. 0. 3-14 时程 7-Y 向



(a) 加速度时程

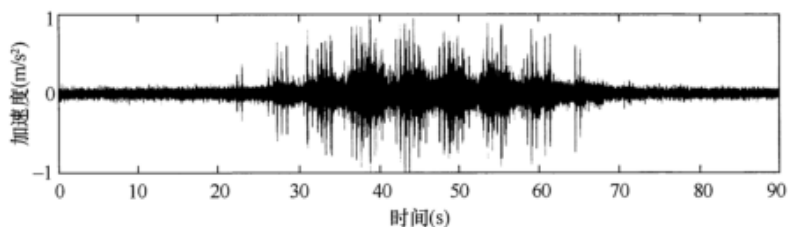


(b) 功率谱密度

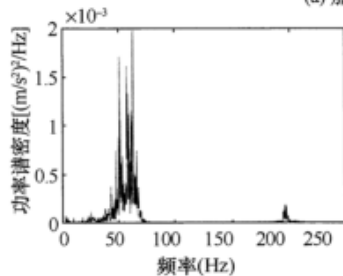


(c) 反应谱

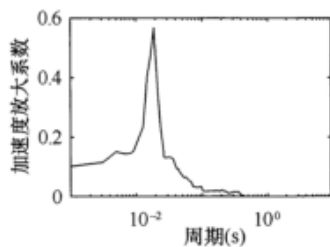
图 A.0.3-15 时程 7-Z 向



(a) 加速度时程

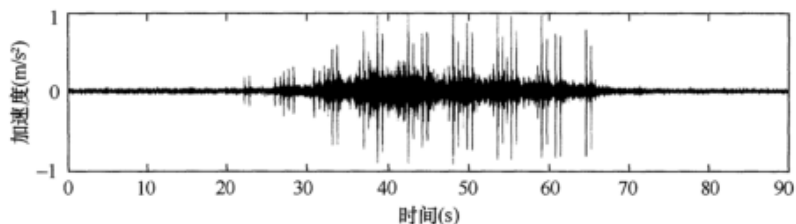


(b) 功率谱密度

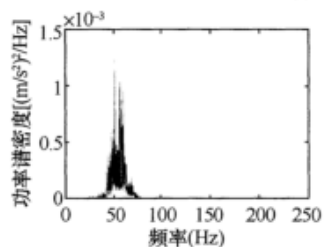


(c) 反应谱

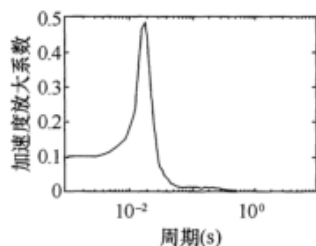
图 A.0.3-16 时程 8-X 向



(a) 加速度时程

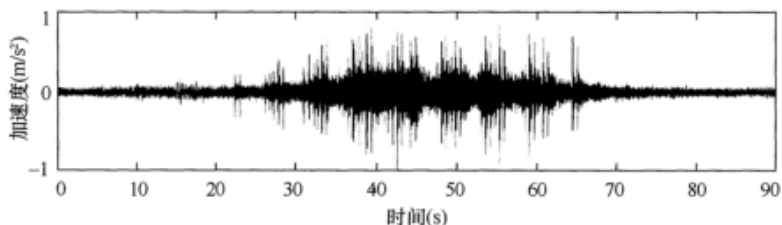


(b) 功率谱密度

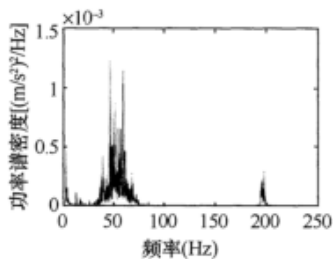


(c) 反应谱

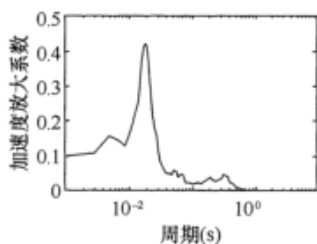
图 A. 0. 3-17 时程 8-Y 向



(a) 加速度时程



(b) 功率谱密度



(c) 反应谱

图 A. 0. 3-18 时程 8-Z 向

附录 B 叠层厚橡胶支座设计要求

B.0.1 本附录适用于城市轨道交通上盖振震双控结构隔震层中第一形状系数介于 4~16、第二形状系数大于 3 的叠层厚橡胶支座设计。

B.0.2 叠层厚橡胶支座的性能应符合下列规定：

1 叠层厚橡胶支座的压应力设计值应小于竖向极限压应力的 1/3 和现行国家标准《建筑隔震设计标准》GB/T 51408 规定的隔震支座设计压应力限值二者的较小值；

2 叠层厚橡胶支座极限性能，应包括支座稳定性和支座极限水平变位；

3 叠层厚橡胶支座稳定性验算应明确竖向极限压应力和极限拉应力，其中竖向极限压应力不应小于现行国家标准《建筑隔震设计标准》GB/T 51408 规定的隔震支座罕遇地震作用下最大竖向压应力限值，极限拉应力不应小于 1.0MPa；

4 叠层厚橡胶支座在设计压应力和无侧移下，各橡胶层应均匀凸出，支座不应发生如 “)” “(” “S” 或反 “S” 形整体侧向屈曲；

5 在设计压应力下叠层厚橡胶支座的极限水平变位，应大于支座有效直径的 55% 和支座内部橡胶总厚度 3 倍二者的较大值；

6 在经历相应设计基准期的耐久性试验后，叠层厚橡胶支座刚度、阻尼特性变化不应超过初期值的 20%，徐变量不应超过支座内部橡胶总厚度的 5%。

B.0.3 叠层厚橡胶支座的型式检验应提供下列性能指标：

1 竖向隔振刚度，试验方法为水平变位为 0，按轴压应力

为 1.1 倍设计轴压应力，往复加载 3 次，取第 3 次加载的荷载最大值和最小值点连线的斜率作为竖向隔振刚度；

2 竖向基准压缩变形，即竖向设计压应力下对应的竖向压缩变形；

3 竖向极限压应力，即在水平变位为 0 的条件下，竖向单调加载时支座仍保持稳定的最大压应力值；

4 竖向极限压缩变形，即竖向极限压应力下对应的竖向压缩变形；

5 叠层橡胶支座所有型式检验项目的性能指标。

B.0.4 城市轨道交通上盖振震双控工程所采用的叠层厚橡胶支座的出厂检验除应提供叠层橡胶支座的出厂检验指标外，尚应提供竖向隔振刚度、竖向基准压缩变形、竖向极限压应力和竖向极限压缩变形四项性能指标。

B.0.5 采用叠层厚橡胶支座的城市轨道交通上盖振震双控结构设计，应符合下列规定：

1 隔震设计时，叠层厚橡胶支座的竖向刚度应采用现行国家标准《橡胶支座 第 1 部分：隔震橡胶支座试验方法》GB/T 20688.1 规定的竖向压缩刚度；

2 隔振设计时，叠层厚橡胶支座的竖向刚度应取本标准附录 B.0.3 条中的竖向隔振刚度；

3 可设置水平向减震装置控制隔震层水平变形。

附录 C 组合三维隔震/振支座设计要求

C.0.1 本附录适用于城市轨道交通上盖振震双控结构中以叠层橡胶支座或摩擦摆支座为水平隔震构件，以钢弹簧/碟簧组合为竖向隔振构件的组合三维隔震/振支座设计。

C.0.2 组合三维隔震/振装置在结构中的布置应符合下列规定：

1 需要控制结构整体的竖向振动响应时，组合三维隔震/振装置可在一个装置内同时实现水平隔震和竖向隔振，并应集中布置于结构的隔震/振层；

2 仅需要控制一部分子结构区域的竖向振动响应时，叠层橡胶支座或摩擦摆支座与钢弹簧/碟簧可分别布置；叠层橡胶支座或摩擦摆支座应布置于结构的隔震层，钢弹簧/碟簧可布置于需竖向隔振的子结构和结构主体的连接处。

C.0.3 组合三维隔震/振装置的设计应符合下列规定：

1 叠层橡胶支座的设计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的有关规定；

2 摩擦摆支座的设计应满足现行国家标准《建筑摩擦摆隔震支座》GB/T 37358的有关规定；

3 竖向隔振单元由多个钢弹簧或多个碟簧并联组成时，应确保所有竖向承载部件在荷载作用下协同工作，变形相互协调；并联的竖向承载部件的刚度中心宜与形心重合；

4 叠层橡胶支座或摩擦摆支座与碟簧串、并联组合时，碟簧的并联数量应根据叠层橡胶支座的设计承载力确定，单碟簧的设计承载力宜取变形小于等于 $3/4$ 碟簧内锥高时的承载力，并联后碟簧组合的设计承载力不应小于叠层橡胶支座设计承载力；碟簧的串联数量应根据隔振性能设计或时程分析时的变形需求

确定；

5 叠层橡胶支座或摩擦摆支座与钢弹簧组合时，钢弹簧设计承载力应大于叠层橡胶支座或摩擦摆支座设计承载力；钢弹簧的变形能力应根据性能设计或时程分析后隔震/振层的变形需求确定。

C.0.4 组合三维隔震/振装置的性能应符合下列规定：

1 叠层橡胶支座或摩擦摆支座的水平剪切性能、水平极限变形能力应符合现行国家标准《建筑隔震设计标准》GB/T 51408 的有关规定；

2 钢弹簧/碟簧组合在结构承载力极限状态和罕遇地震作用下均应保持弹性，钢弹簧/碟簧组合的力学性能、外观和耐久性应符合现行国家标准《碟形弹簧》GB/T 1972 和《螺旋弹簧疲劳试验规范》GB/T 16947 的有关规定；

3 设置解耦装置的组合三维隔震/振装置在设计竖向压力和设计水平位移范围内，组合三维隔震/振装置竖向和水平向性能之间不宜相互影响。

C.0.5 组合三维隔震/振装置产品的型式检验应提供下列性能指标：

1 竖向隔振刚度，试验方法为水平变位为 0，按轴压应力为 1.1 倍设计轴压应力，往复加载 3 次，取第 3 次加载的荷载最大值和最小值点连线的斜率作为竖向隔振刚度；

2 竖向基准压缩变形，即竖向设计压应力下对应的竖向压缩变形；

3 竖向极限压缩变形，即竖向极限压应力下对应的竖向压缩变形；

4 叠层橡胶支座或摩擦摆支座所有型式检验项目的性能指标。

C.0.6 每项城市轨道交通上盖振震双控工程所采用的组合三维隔震/振支座的出厂检验除应提供叠层橡胶支座或摩擦摆支座的

出厂检验指标外，尚应提供竖向隔振刚度、竖向基准压缩变形、竖向极限压应力和竖向极限压缩变形 4 项性能指标。

C.0.7 以钢弹簧为竖向隔振单元的隔震/振装置，钢弹簧的疲劳性能应满足在轴压应力设计值的 80%~120% 间循环 200 万次而钢弹簧刚度保持稳定且不发生破坏。以碟簧为竖向隔振单元的竖向隔振装置疲劳性能应符合现行国家标准《碟形弹簧》GB/T 1972 的有关规定。

C.0.8 采用组合三维隔震/振支座的城市轨道交通上盖振震双控结构设计，应符合下列规定：

1 采用叠层橡胶支座或摩擦摆支座与钢弹簧/碟簧串、并联组合的多维振动控制设计时，应进行隔震/振装置整体水平向隔震设计和隔震/振装置整体竖向振动控制性能设计；

2 隔震设计时，支座的竖向刚度应取现行国家标准《橡胶支座 第 1 部分：隔震橡胶支座试验方法》GB/T 20688.1 规定的竖向压缩刚度；

3 隔振设计时，支座的竖向刚度应取竖向隔振刚度；

4 叠层橡胶支座或摩擦摆支座与碟簧串、并联组合时，在地震作用下组合支座不应出现拉应力，对出现拉应力的情况，应在碟簧串、并联组合部分的角部设置抗拉装置；

5 叠层橡胶支座或摩擦摆支座与钢弹簧组合时，在地震作用下叠层橡胶支座拉应力应符合现行国家标准《建筑隔震设计标准》GB/T 51408 的有关规定，钢弹簧的拉应力不应超过钢弹簧受拉设计承载力。

用词说明

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：
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：
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：
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，采用“可”。

引用标准名录

本标准引用下列标准。其中，注日期的，仅对该日期对应的版本适用于本标准；不注日期的，其最新版适用于本标准。

《建筑地基基础设计规范》GB 50007

《建筑结构荷载规范》GB 50009

《建筑抗震设计规范》GB 50011

《建筑设计防火规范》GB 50016

《钢结构设计标准》GB 50017

《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046

《地下工程防水技术规范》GB 50108

《地铁设计规范》GB 50157

《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223

《住宅建筑室内振动限值及其测量方法标准》GB/T 50355

《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476

《城市轨道交通结构抗震设计规范》GB 50909

《建筑隔震设计标准》GB/T 51408

《工程结构通用规范》GB 55001

《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002

《碟形弹簧》GB/T 1972

《机械振动与冲击 人体暴露于全身振动的评价 第1部分：一般要求》GB/T 13441.1

《螺旋弹簧疲劳试验规范》GB/T 16947

《橡胶支座 第1部分：隔震橡胶支座试验方法》GB/T 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

- 《建筑摩擦摆隔震支座》GB/T 37358
- 《城市桥梁设计规范》CJJ 11
- 《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3
- 《建筑桩基技术规范》JGJ 94
- 《组合结构设计规范》JGJ 138

中国工程建设标准化协会标准

城市轨道交通上盖结构设计标准

T/CECS 1035 - 2022

条文说明

制定说明

本标准制定过程中，编制组进行了城市轨道交通上盖非隔震结构和上盖隔震结构性能研究，开展了振震双控装置调查研究，以及对比了舒适度评价方法，总结了我国工程建设中城市轨道交通上盖结构设计的实践经验，同时参考了国外先进技术法规、技术标准，通过城市轨道交通上盖多塔和单塔结构、大比例上盖全框支剪力墙结构振动台试验及相关分析，科学地探究了城市轨道交通上盖结构设计指标。

为便于广大技术和管理人员在使用本标准时能正确理解和执行条款规定，《城市轨道交通上盖结构设计标准》编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明，对条款规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项等进行了说明。本条文说明不具备与标准正文及附录同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目 次

1	总则	(57)
2	术语和符号	(58)
2.1	术语	(58)
3	基本规定	(61)
3.1	一般规定	(61)
3.2	结构布置	(63)
3.3	分期实施与预留	(66)
4	荷载与作用	(67)
4.1	一般规定	(67)
4.2	城市轨道交通荷载	(67)
4.3	盖上结构荷载	(67)
4.4	风荷载	(71)
4.5	其他荷载与作用	(73)
5	非隔震结构设计	(74)
5.1	一般规定	(74)
5.2	盖下结构设计	(75)
5.5	全框支剪力墙结构设计	(76)
6	隔震结构设计	(77)
6.1	一般规定	(77)
6.2	计算要点	(78)
6.3	隔震层设计	(78)
6.4	隔震层以下结构设计	(80)
7	舒适度评价	(81)
7.1	一般规定	(81)
7.2	计算方法	(83)
7.3	指标评价	(83)
8	地基基础设计	(85)

1 总 则

1.0.2 本标准适用于在城市轨道交通工程建设时同期考虑上盖开发的工程。标准针对城市轨道交通上盖结构设计，主要规定了设计中如何考虑盖上结构与盖下结构之间的相互影响。对于上盖开发未考虑或考虑不足的、后期额外增加上盖开发的项目，使用者要根据工程建设的实际情况，判断是否可以采用本标准进行城市轨道交通上盖结构设计。

本标准中提出的如何考虑上盖开发结构与轨道交通结构之间相互影响的内容，对于紧邻既有车站和区间的工程也适用。此处紧邻的范围为城市轨道交通相关保护区。

本标准针对城市轨道交通类上盖建筑结构编制，城际轨道交通参考本标准时，尚需满足对应行业领域工程建设实际情况的要求和有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1~2.1.6 根据城市轨道交通上盖开发模式，城市轨道交通上盖结构包括以板地为界的盖下结构和盖上结构，综合 6 条术语解释给出了板地、盖下结构、盖上结构的剖面示意。从城市轨道交通上盖结构设计出发，城市轨道交通上盖结构分为上盖非隔震结构（图 1）和上盖隔震结构（图 2），其中上盖非隔震结构包括转换层以下结构、转换层、转换层以上结构。上盖隔震结构包括隔震层以下结构、隔震层、隔震层以上结构；其中，隔震层的位置根据盖上结构的设计需求灵活布置。

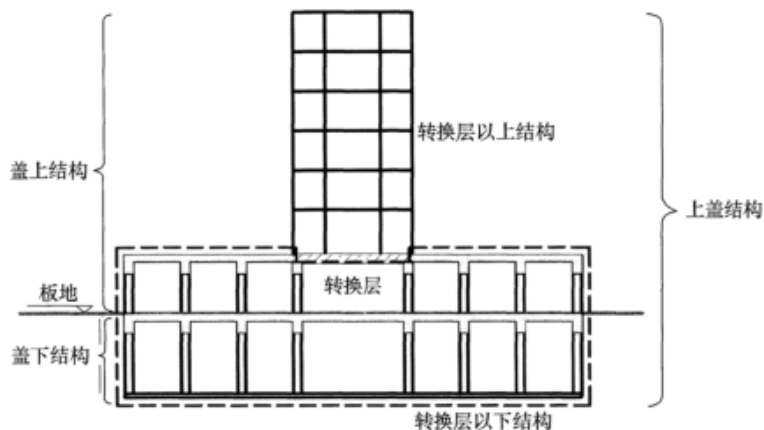


图 1 城市轨道交通上盖非隔震结构剖面示意

当车站结构与城市轨道交通上盖结构设变形缝时，两者以变形缝分界；当车站结构与城市轨道交通上盖结构未设变形缝时，

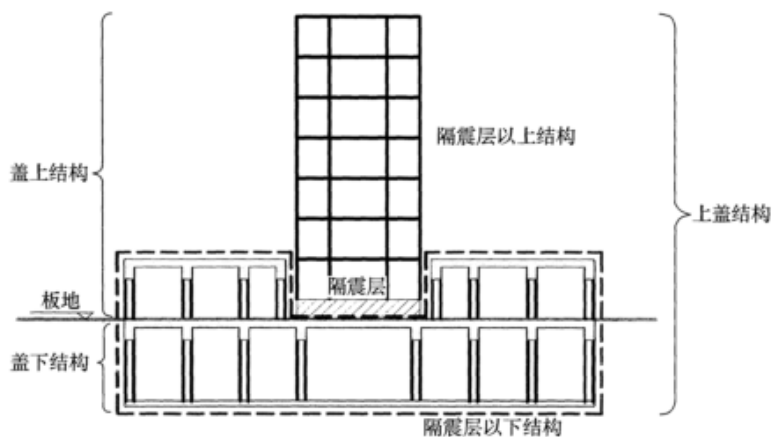


图2 城市轨道交通上盖隔震结构剖面示意

确定车站结构关联范围（图3）。其中阴影为车站范围，外部虚线框为车站结构关联范围。

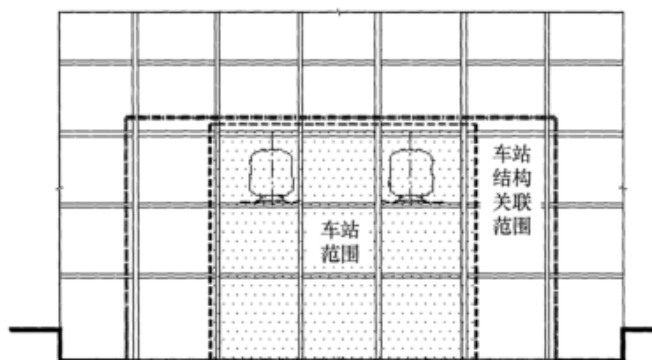


图3 车站结构关联范围示意

2.1.8 城市轨道交通上盖结构通常为下部大底盘、上部多栋塔楼的结构形式。

板地以下的结构，塔楼范围内大底盘支承塔楼，其结构布置与承受荷载与塔楼关系密切；塔楼范围外大底盘则为多层车库。

两者重要性不同，对于塔楼的计算影响也不一样。本标准参考现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 的有关规定，提出相关范围概念，用于单塔结构计算、选取性能目标、确定抗震等级。

当两塔楼距离较近，按本标准确定的相关范围有重叠时，按最多共用单排框架柱的原则划分。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 城市轨道交通属于市政工程，其结构设计所依据的标准与一般建筑工程有较大差异，体现在设计方法、荷载、设计指标及构造要求等方面。城市轨道交通上盖开发结构仍属于建筑结构范围，因此，结构设计需遵循现行的建筑结构相关标准。盖下结构作为直接服务于轨道交通的结构，尚应符合现行城市轨道交通相关标准的有关规定，目前城市轨道交通设计标准与车辆基地上盖开发有关的标准主要有：现行国家标准《地铁设计规范》GB 50157 和《城市轨道交通结构抗震设计规范》GB 50909 等。本标准编制过程中也借鉴了地方标准的有关内容，如现行地方标准《高层建筑混凝土结构技术规程》DBJ/T 15 - 92、《上海市城市轨道交通上盖建筑设计标准》DG/TJ 08 - 2263 等。

3.1.2 从建筑结构的角度看，城市轨道交通上盖结构仍然是常见的结构形式，并非新的结构类型，只是由于与城市轨道交通相结合，需要满足城市轨道交通相应的使用功能，而具有特殊性。结构设计需在满足城市轨道交通特殊要求，如限界、轨道、路基、信号、工艺等，并在保证结构安全，同时兼顾经济性的前提下，与轨道交通各专业配合，确定兼顾各方的结构方案。近年来，由于城市轨道交通上盖开发大规模开展，参与此种类型建筑设计的人员越来越多，部分设计人员对城市轨道交通的特点不了解，仍然以普通民用建筑的设计思路进行设计，没有充分考虑到城市轨道交通的特点，将盖上结构与盖下结构完全割裂；尤其是在进行盖上建筑布局时，完全忽视了为满足城市轨道交通功能而形成的结构特点，造成了结构的诸多不合理、结构造价提高等不

良后果。因此，结构设计时需与建筑专业充分沟通，尤其是在前期阶段，充分考虑地块条件、业主要求、分期实施、工期及造价等因素，在满足城市轨道交通功能的前提下，满足盖上开发的建筑功能，并尽可能采用对结构抗震、结构造价、可实施性更有利的结构方案。

城市轨道交通上盖结构往往为大底盘多塔楼结构，塔楼的位置、规模、结构形式对盖下结构布置有直接的影响；盖下结构的柱网布置、结构分跨、层高也会影响盖上结构的计算与分析。由于种种原因，盖上结构与盖下结构常由不同设计单位进行设计，即使为同一设计单位，也常因上盖开发的滞后性而将两者先后分别设计。由此带来了上下结构布置割裂、计算分析不合理、上盖项目实施难度大、预留不合理造成浪费等问题。

盖上结构和盖下结构进行一体化设计，核心为对上下结构进行整体建模计算，这需要盖上开发有具体的方案。无论盖上开发是否与盖下建设同期实施，均按此原则设计。

3.1.3 分期建设时，盖下城市轨道交通通常已投入运营，应当按照既有轨道交通结构的要求进行保护，包括沉降变形监测、振动控制、施工风险源的管控等。

3.1.5 现行国家标准《地铁设计规范》GB 50157 规定车辆基地的地面建筑设计工作年限为 50 年，而上盖开发建筑一般为普通住宅、办公或商业建筑，设计工作年限也为 50 年。因此，结构设计工作年限一般可取 50 年。当为地下车辆基地上盖开发时，考虑到维修的困难程度，设计工作年限取 100 年。

耐久性设计满足设计工作年限 100 年要求，主要针对的是混凝土材料的相关要求、保护层厚度等构造措施，可以按照现行国家标准《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 的有关规定执行。

3.1.6 由于城市轨道交通车辆基地与盖上开发功能不同，盖上结构对消防疏散有要求，盖上结构与盖下结构物理分界面对防火

也有特殊要求。一般而言，盖下一层楼盖的耐火等级按 3h 考虑，也有个别地区按 4h 考虑，这主要根据当地消防部门的要求确定。结构设计需根据耐火极限要求，采取相应措施，一般通过增加楼板厚度和构件保护层厚度解决，必要时也可附加防火涂层达到要求。

3.1.7 城市轨道交通车辆基地上盖开发前期投资巨大，仅一层包含基础的上盖造价比不开发的车辆基地高 3 倍~5 倍，根据所在地区、抗震设防烈度的高低、地质条件以及盖上开发形式等的差别，其投资也有较大差别，在所增加的造价中，结构造价占有较大的比例，而结构造价与结构形式关系密切，因此，选择合适的结构体系对控制工程投资有决定性的作用，有时甚至决定了项目的成立与否。结构体系需在进行充分比较的前提下确定。

3.1.8 目前，车辆基地上盖开发整体结构形式主要有框转框、框转墙和部分框支剪力墙等几种。对盖下结构而言，主要是框架结构和框架-剪力墙结构。对高烈度设防区，优先采用隔震及消能减震技术；对有振动舒适度要求的，优先采用隔振技术。

3.2 结构布置

3.2.1 本条规定了车辆基地盖下结构布置的基本要求。

1 车辆基地上盖开发结构的特点决定了盖下结构两个主轴方向的刚度差别较大，而且可调整的余地很小，但结构布置时还是可以通过加大垂直于轨道方向的竖向构件尺寸、利用附属用房设置剪力墙等措施，缩小结构两方向的刚度差别，从而减小盖下结构的扭转效应。车辆基地开发主要由运用库上盖、检修库上盖和咽喉区上盖三大部分组成。其中，运用库上盖由于其平面规则、柱网布置规则，是盖上开发的主要区域，整个开发的结构柱网布置也以运用库为基础。由于线路的要求，在满足限界的前提下，平行于线路方向的竖向构件尺寸及布置比较灵活，一般结合盖上开发结构布置、停车位布置、柱轴力及地质条件等因素确定

柱距，必要时可以加密。但在垂直于轨道方向的结构竖向构件布置受到线路限制，因此，车辆基地上盖开发盖下结构主要需解决垂直于轨道方向构件截面尺寸和布置，在与相关专业配合时需留有足够的余地。

检修库区跨度大，一般最小为 15m~21m，一楼层高可达 12m~14m，并不适宜进行高强度开发，而适合盖上绿化、运动场地或布置低矮建筑，可以选择在可布置剪力墙和框架柱的检修库附属建筑位置进行多、高层的盖上开发。

咽喉区柱网不规则，但并非无规律可循，一般靠近库区范围垂直于轨道方向平行沿用运用库的轴线，而另一方向轴线一般沿着弯曲的轨道方向布置，此时两方向柱网还比较均匀，但在道岔区域，受道岔的影响，柱布置受限制较多，往往形成较大的跨度；而在某些区域，股道之间又常出现较大的空隙。因此，在布置盖上建筑时需充分了解咽喉区柱网的布置特点，咽喉区盖上一般作为绿化和低矮建筑开发区域，合理利用能起到少转换、节省投资的效果。

2 盖上开发建筑投影范围内布置足够的框架转换柱、剪力墙等盖下竖向构件，以使得盖上结构竖向构件荷载能直接传至盖下结构竖向构件，或减小转换构件的传力距离，避免出现整栋盖上建筑下无竖向构件或很少竖向构件的情况。检修库大跨度上盖开发容易发生这样的问题，结构布置时尽量避免。本款通过这项要求对大跨度盖下结构上部开发作出一定的限制。

3 试车线列车运行速度高，振动作用明显，且振动对地产开发影响大，需设变形缝分离。

3.2.6 城市轨道交通车辆基地盖下结构平面尺寸大，不同功能的区域盖下结构层高、跨度差别较大，尤其是运用库和检修库之间。因此，需采用变形缝将位于不同功能分区的盖下结构分开，如运用库与检修库及咽喉区之间均需分开，咽喉区与出入段线之间也需分开。盖上建筑布置也有此分区的概念，盖上建筑不宜跨

区布置。以运用库为例，平面尺寸依然很大，需结合盖上建筑布置并以结构单元规则性为原则设置变形缝，但变形缝数量不宜过多，一般以1道~2道变形缝将运用库分为2个~3个结构单元为宜。变形缝过多会影响盖下结构的整体刚度，也会增加水渗漏的风险。

塔楼范围以外的裙楼对上部塔楼可以起到嵌固作用形成整体，而车辆基地上盖开发的结构缝将结构单元切块过小对抗震反而不利。

3.2.7 城市轨道交通车辆基地上盖开发盖下结构超长是目前的普遍现象。超长结构会因温度变化、混凝土收缩、徐变等作用产生附加应力。尤其是车辆基地上盖开发盖下结构，许多结构无围护墙封闭，直接与大气环境连通，受温度变化的影响较大。北方地区温差大，影响更明显，根据结构单元长度的不同，温度变化产生的楼盖内的拉应力能达到4MPa以上。因此，需采取相应的措施。对于超长结构，当长度较小时，一般采取设置后浇带、配置温度分布筋的方式；当长度较大时，增加预应力钢筋，以控制楼盖内的混凝土拉应力。

3.2.8 由于城市轨道交通车辆基地上盖开发盖下结构与盖上结构往往不能同时实施，而地铁运营对控制沉降变形的要求很高，一般情况下当盖下结构一层结构完成后的较短时间内地铁就通车运营了，大部分情况下，此时盖上结构尚未施工。由于盖下一层楼盖是车辆基地功能与开发功能的物理分隔，不可能通过常规的设置沉降后浇带的方法调整后期施工的附加沉降，因此，需要由已形成的整体结构抵抗附加沉降变形。

整体性好的基础形式，即对差异变形有较强抵抗能力的基础形式，包括箱形、筏形基础或双向设置拉梁的柱下独基或柱下独立承台桩基础等。

为了减小结构由于后期沉降变形产生的附加应力，可以通过减小盖上结构对应部位基础的绝对沉降量的方法来控制最终差异

沉降量。

3.3 分期实施与预留

3.3.2 由于城市轨道交通车辆基地上盖开发结构一般不能同期施工，盖下结构一层、二层往往作为上部开发结构的施工场地，其中，一层楼盖结构设计往往由施工阶段工况控制。因此，结构设计需考虑施工阶段的验算。为了尽可能减少施工荷载的影响，有条件时与施工单位配合，提前安排施工场地。

3.3.3 对钢筋和型钢采用低强度等级混凝土进行包裹保护，对预埋件涂刷防腐涂层进行保护。

4 荷载与作用

4.1 一般规定

4.1.1 对楼面和屋面活荷载需按现行国家标准《工程结构通用规范》GB 55001 考虑设计工作年限的调整系数进行调整；对雪荷载、风荷载和地震作用，取重现期为设计工作年限，按有关规范直接采用。

4.1.3 本条是针对车站结构关联范围的规定，在设计车站关联范围结构时，盖上结构传递给车站结构关联范围的荷载按 100 年设计工作年限取值，车站关联范围外的结构，仍按 50 年设计工作年限进行设计。对风、雪等荷载，直接按 100 年一遇标准值；对其他活荷载，在设计组合中考虑设计工作年限调整系数；对地震作用，根据现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 中对于 100 年设计工作年限建筑地震作用的有关规定进行取值。

4.2 城市轨道交通荷载

4.2.1、4.2.2 盖下工艺生产和设备用房的荷载需以相关专业所提供的资料为准。考虑到设备在使用期内可能存在检修、改造的可能，本条表格中给出了最低限值。

各种设备用房和工艺生产用房的荷载参考现行国家标准《工程结构通用规范》GB 55001 中设备房和工业建筑楼面的相关系数进行取值。这是因为这些房间活荷载的性质与普通民用建筑楼面活荷载显著不同，按普通房间考虑时荷载偏小。

4.3 盖上结构荷载

4.3.1 表 4.3.1 中电力设备用房预留荷载适用于 10kV 及以下

变电所等设备用房，其余类型的电力设备用房按实际考虑。上盖开发在一期预留时，满足本条要求；二期上盖正式实施阶段，在所有建筑方案均已稳定情况下，只按实际取值。其中，绿化屋面覆土重度需按饱和容重取值；绿化屋面种植的高大乔木的荷载，需由景观专业提供、按集中荷载取值；盖上消防水池、雨水池等储水结构荷载需按最高水位取值，荷载分项系数取 1.3。

4.3.2 随着社会发展，特种消防车辆日益常见，成为不可忽略的荷载样式。城市轨道交通上盖开发结构上开行何种级别的消防车，需要根据上盖开发的建筑规模、高度、性质等确定，并需得到当地消防部门认可。

现行国家标准《工程结构通用规范》GB 55001 中消防车荷载取值并不包含特种消防车辆。广东省标准《建筑结构荷载规范》DBJ 15-101-2014 中针对 530kN 消防车荷载及 550kN 消防车荷载（图 4）进行包络考虑，确定了消防车荷载对应不同板跨的荷载值。

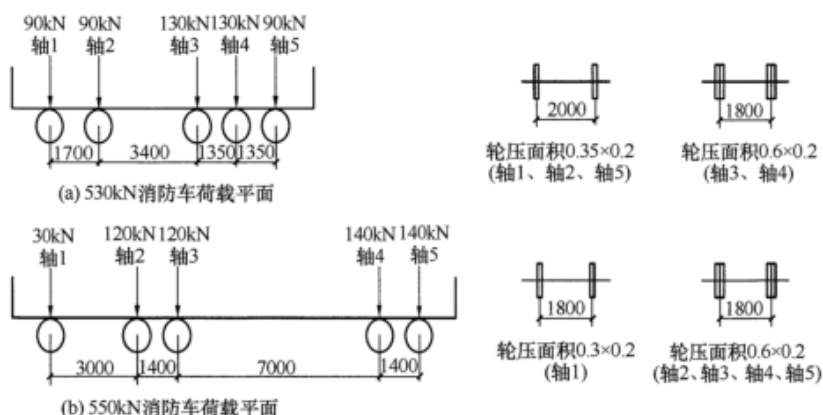


图 4 消防车荷载图

由该规范附录 B 给出的有限元分析计算得到的单向板、双向板楼盖消防车活荷载标准值分别见表 1、表 2。

表 1 单向板楼盖消防车活荷载标准值 (kN/m²)

板跨 (m)	2	2.5	3	4
300kN 级	35.0	32.5	30.0	25.0
550kN 级	42.0	38.5	35.0	28.0
放大系数	1.20	1.18	1.17	1.12

表 2 双向板楼盖消防车活荷载标准值 (kN/m²)

板跨 (m)	2.5×2.5	3×3	4×4	5×5	6×6
300kN 级	40.0	35.0	30.0	25.0	20.0
550kN 级	47.0	42.0	36.0	30.0	24.0
放大系数	1.18	1.20	1.20	1.20	1.20

由表 1、表 2 可见,在各种常规跨度单向板和双向板楼盖中,300kN 级消防车荷载取值与现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 一致,550kN 消防车荷载相对 300kN 消防车荷载的放大系数均未超过 1.20。故表中统一按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 取值乘以 1.20 放大系数作为 550kN 级消防车荷载。需要注意的是,1.20 放大系数对应为 550kN 级消防车,对高于此级别的消防车并不适用。

国内也出现了更大型的消防车,如 101m 登高平台消防车,消防车和消防车轮胎的主要技术参数分别见表 3、表 4。

表 3 101m 登高平台消防车主要技术参数

项目	参数
满载总重	62t
发动机功率	309kW
驱动形式	12×4
长宽高	17.10m×2.50m×3.95m
载水量	—
水泵流量	4000L/min

续表 3

项目	参数
水炮射程	70.00m
转弯半径(墙对墙半径)	14.25m
最大工作高度	101.00m
最大工作外伸	28.00m
水平面下工作深度	7.80m
安全工作负载	400kg
回转范围	360°

表 4 101m 登高平台消防车轮胎主要技术参数

项目	轴 1	轴 2	轴 3	轴 4	轴 5	轴 6	
轮胎规格	2×385/ 55R22.5	2×385/ 55R22.5	2×385/ 55R22.5	2×315/ 70R22.5	2×315/ 70R22.5	2×445/ 65R22.5	
接地面积 (cm ²)	2×725	2×693	2×756	2×738	2×738	2×962	
胎压 (kPa)	900	900	800	850	850	900	
轴距 (m)	—	1.940	2.605	1.355	1.355	1.305	—

101m 登高平台消防车实际操作时,消防车支腿需垫约 1.2m×1.2m 的木质垫板,每个支腿能承受的最大荷载为 300kN。

4.3.3 盖上机动车道路的级别需根据规划和建筑的具体要求确定。各种级别的城市道路均需要考虑市政车辆荷载;对于公共通道,则按具体的使用情况和管要求确定。当公共通道无法确保仅开行小汽车和消防车时,则需按市政道路考虑车辆荷载。

4.3.5 板地作为城市轨道交通上盖结构施工场地,承受较大的施工荷载,主要来源包括支模、堆载、工程器械及运输车辆等。

此荷载与使用阶段活荷载性质有明显不同，不应当两者直接取最大值用于板地设计。

施工荷载作为短期临时荷载，不参与地震荷载组合，也不参与正常使用极限状态的荷载组合。

施工荷载需结合板地实际的施工工序来确定。板地常有较大的室外覆土厚度，当有可靠措施保证板地覆土在晚于上部结构施工时，施工荷载不与覆土自重叠加，此时施工荷载工况不再是板地设计控制工况。

4.4 风 荷 载

4.4.1 基底隔震高层建筑风荷载的计算理论与传统高层建筑相同，作用在结构上的风压是基于准定常假设，不考虑结构振动产生的自激力。因此，顺风向风荷载标准值计算表达形式与现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的有关规定相同，基本风压、风压高度变化系数以及结构体型系数均沿用现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的有关规定给出的结果。

4.4.2 对于上盖非隔震结构，计算风荷载标准值 w_k 时，高度起算位置为盖下室外地坪。对于上盖隔震结构，由于盖下大底盘结构抗侧刚度很大，将隔震层和隔震层以上结构看作基底隔震结构，高度起算位置为隔震层底面；但计算隔震层以下结构风荷载时，考虑盖上隔震结构的风荷载传力，高度起算位置为盖下室外地坪。

4.4.3 城市轨道交通上盖隔震结构风振分析时，需假定隔震层处于屈服前的弹性状态。其顺风向风荷载、横风向和扭转风振的等效风荷载计算，需符合现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的有关规定。

但是如果隔震层的置入造成了结构频率、结构振型和阻尼比与非隔震结构有较大差异时，隔震结构顺风向 z 高度处的风振系数和风振加速度按下列规定计算：

(1) 隔震结构高度大于 30m 且高宽比大于 1.5, 需考虑风压脉动产生顺风向风振的影响。顺风向风振响应计算需按结构随机振动理论进行。

(2) 对体型和质量沿高度均匀分布的上盖隔震结构, 仅考虑结构第一振型的影响, 隔震结构顺风向 z 高度处的风振系数按国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009-2012 中式 (8.4.3) 计算。但在计算脉动风荷载的共振分量因子时, 结构自振频率 f_1 和阻尼比 ζ_1 为隔震结构屈服前的一阶自振频率和阻尼比, 而脉动风荷载的背景分量因子 B_z 按下列公式计算:

$$B_z = (-0.43u_0 + 1)kH^{a_1}\rho_x\rho_z \frac{\varphi_1(z)}{\mu_z} \quad (1)$$

$$\varphi_1(z) = u_0 + (1 - u_0)\phi_1(z) \quad (2)$$

式中: B_z ——脉动风荷载的背景分量因子;

u_0 ——隔震层的一阶振型系数;

k ——系数, 按国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009-2012 中表 8.4.5-1 取值;

H ——结构总高度 (m);

a_1 ——系数, 按国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009-2012 中表 8.4.5-1 取值;

ρ_x ——脉动风荷载水平方向相关系数;

ρ_z ——脉动风荷载竖直方向相关系数;

$\varphi_1(z)$ ——隔震结构顶部归一化的一阶振型;

μ_z ——风压高度变化系数;

$\phi_1(z)$ ——对应非隔震结构顶部归一化的一阶振型系数。

(3) 对体型和质量沿高度均匀分布的上盖隔震结构, 顺风向 z 高度处的风振加速度计算表达式与国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009-2012 中附录 J 的式 (J.1.1) 相同。但式 (J.1.1) 中脉动风荷载的背景风量因子 B_z 按本条式 (1) 计算; 式 (J.1.1) 中顺风向风振加速度的脉动系数需根据隔震结构阻尼比

ζ_1 ，按附录 J 的表 J.1.2 确定。

尽管上盖隔震结构频率、振型和阻尼比与非隔震结构有较大差异，但上盖隔震结构横风向和扭转风振的相关研究暂不成熟，故未列入，建议专项研究。

4.5 其他荷载与作用

4.5.2 城市轨道交通上盖结构的车辆运行振动作用计算，若设计阶段无法获取实测数据，采用建筑场地类别、轨道类型和车速等相似情况的实测数据，作为时程分析输入。城市轨道交通上盖结构所承受的列车振动为高频振动，且以竖向振动为主。根据现场测试获得振动时程，采用 1:1:1 三向时程输入。进行时程分析时，鉴于不同时程输入下时程分析结果不同，本条规定一般可以根据小容量的计算结果来估计地铁振动作用效应，选用多组时程在统计意义上具有更高的保证率。

表 4.5.2 给出了柱式检查坑和整体道床两类轨道基础类型。其中，柱式检查坑是指采用细石混凝土浇筑接线柱，接线柱高出地面约 1m，接线柱上部安装轨道；整体道床是指轨道下部没有接线柱，轨道直接铺设在混凝土地面上。

5 非隔震结构设计

5.1 一般规定

5.1.2 按照现行国家标准《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223和《城市轨道交通结构抗震设计规范》GB 50909的有关规定，城市轨道交通车辆基地抗震设防类别为标准设防类（丙类），而盖上新开发一般为住宅、办公等，其抗震设防类别一般也为标准设防类（丙类），但当两种不同功能的建筑叠放在同一个结构单元中时，其抗震设防类别如何确定，尚没有明确的依据。

根据现行国家标准《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223，建筑各区段重要性有显著不同时，可以按区段划分抗震设防类别，且位于下部的抗震设防类别不低于上部；不同行业的相同建筑，当所处地位和地震破坏所产生的影响不同时，其抗震设防类别可以不同。因此，将上盖开发结构抗震设防类别确定为标准设防类也是合理的。

在车辆基地上盖开发结构中主要是盖下结构的抗震设防类别不明确，考虑到上盖开发项目一般都存在超限问题，需要进行结构抗震性能化设计，而根据当前多个项目超限审查的结论，盖下结构的抗震性能目标都会提高，因此，没有必要再在此基础上提高抗震设防类别，“层层加码”也会造成盖下结构构件截面尺寸和用钢量加大，提高本已很高的盖下结构造价，不利于此类开发项目的推进。

当盖上新开发有中小学、幼儿园、大型商业或其他标准规定属于重点设防类的建筑时，对应的盖下结构也需按照重点设防类考虑。

当盖下包含变电所、信号机房和控制中心等有较高安全等

级、设计工作年限或抗震设防类别的结构单元时，需在盖下单独形成结构，与城市轨道交通上盖结构主体分开或基础以上分开，形成标准较高的独立结构，否则，主体上盖开发结构相关范围内的设计标准需要整体提高。

5.1.4 竖向地震作用计算，需符合现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 的有关规定。

5.1.6 特别不规则的超限工程指房屋高度不超过规定，但建筑结构布置属于国家现行标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 和《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 规定的特别不规则的高层建筑工程。

5.1.7 结构抗震性能目标需根据抗震设防类别、设防烈度、场地条件、结构类型和不规则性、建筑使用功能和附属设施功能的要求、投资大小、震后损失和修复难易程度等因素确定。

5.1.8 本条具有较多短肢剪力墙的盖下结构是指在规定的水平地震作用下，短肢剪力墙承担的底部倾覆力矩不小于结构底部总地震倾覆力矩的 30% 的盖下结构。

5.2 盖下结构设计

5.2.1 城市轨道交通车辆基地上盖开发项目由于其特殊性，层刚度差别很大，往往不能满足相关国家标准要求的层刚度比限值。以运用库为例：一层的车辆基地工艺层层高往往较大，根据车型的差别及结构梁截面高度计算，一般层高在 8.5m~9.5m 之间，考虑基础埋深，结构计算高度在 10.5m~11.5m 之间，而二层一般作为小汽车库，考虑转换结构的高度，一般层高在 4.5m~5.5m 之间。层高的巨大差别带来层侧向刚度的差别大，且在车辆基地上盖开发这类结构中很难调整，有些项目通过加大一层框架柱的方法来达到规范要求，虽然刚度比指标满足了规范要求，但带来了构件尺寸的突变，而形成新的薄弱环节。因此，这种不恰当的方法一味追求计算指标的满足，反而造成结构的不

安全。实际工程超限审查过程中对上述指标有所放松，当然，前提条件是保证结构的破坏模式不会出现整体屈服。

等效剪切刚度比的计算方法按现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 附录 E 的有关规定执行。

5.2.4 采用单塔模型验算时，单塔模型中转换层以下结构的范围不小于塔楼相关范围。

5.5 全框支剪力墙结构设计

5.5.1 从结构抗震概念来看，若全框支层具有比其上部剪力墙更高的承载力，则全框支剪力墙结构的抗震性能由上部剪力墙结构的抗震性能控制，全框支层不占主导地位。故本条对验证全框支剪力墙结构的合理屈服机制提出要求。

5.5.3 框支框架除竖向荷载外，还承担大部分风荷载、地震作用引起的轴力、剪力和弯矩，故截面尺寸不能太小。当框支层以上建筑物层数不多，框支梁跨度不大时，框支柱截面尺寸可以适当减小，但不建议小于 $1200\text{mm} \times 1200\text{mm}$ 。非框支柱的轴力较小，截面尺寸可以适当减小，但不建议小于 $800\text{mm} \times 800\text{mm}$ 。

6 隔震结构设计

6.1 一般规定

6.1.4 上盖隔震/振结构隔震/振装置的设计需考虑地震安全性要求和车辆运行振动舒适度的要求，三维隔震/振装置的设计需综合考虑地震安全性和车辆运行振动舒适度的要求。考虑到三维隔震/振装置需具有水平和竖向解耦功能，故具有水平隔震功能的支座和竖向隔振功能的支座需为串联组合。

6.1.6 叠层橡胶支座的第一形状系数均大于 20，而一般工程应用的叠层橡胶支座第一形状系数为 30 左右。为减小竖向刚度，减小橡胶支座第一形状系数，形成“叠层厚橡胶支座”。日本采用了第一形状系数为 5~13 的叠层厚橡胶支座进行核电厂竖向隔震和轨道竖向隔振设计。由于叠层厚橡胶支座竖向设计面压随第一形状系数的减小而减小，因此为平衡竖向设计面压和第一形状系数，并考虑到竖向隔震/振效果，同济大学课题组开展了相关叠层厚橡胶支座试验，其中第一形状系数为 4~16，第二形状系数采用现行国家标准《橡胶支座 第 3 部分：建筑隔震橡胶支座》GB 20688.3 中第二形状系数大于 3.0 的要求，并通过数值模拟验证了叠层厚橡胶支座较普通橡胶支座具有更好的竖向隔振效果，供隔振设计选择。

组合三维隔震/振支座，通过串并联组合叠层橡胶支座或摩擦摆支座与钢弹簧/碟簧，以运动解耦达到振震双控的效果，其中叠层橡胶支座为水平隔震构件，钢弹簧/碟簧串并联装置为竖向隔振构件，二者共同工作，通过设置解耦装置实现水平和竖向运动解耦。叠层橡胶支座或摩擦摆支座的选用与布置主要考虑地震作用，叠层橡胶支座与钢弹簧/碟簧隔震/振装置水平向设计时

考虑隔震/振装置的整体水平力学特性，设计方法参考现行国家标准《建筑隔震设计标准》GB/T 51408；钢弹簧/碟簧串并联部分的选型和配置主要考虑对竖向环境振动控制时的隔振装置整体竖向力学特性。

6.1.7 当盖上隔震装置为非标准化的产品时，其性能参数需经试验确定。隔震层中有的部件，如弹簧或油阻尼器等其设计工作年限比建筑结构要低得多，因此需考虑未来更换的可能性。

6.2 计算要点

6.2.1 本标准推荐采用现行国家标准《建筑隔震设计标准》GB/T 51408 的隔震设计方法，其中振型分解反应谱法是基于考虑阻尼矩阵的复振型分解反应谱方法，基本公式的形式与不考虑阻尼矩阵的振型分解反应谱方法的形式是一致的，但区别在于振型参与系数和振型耦联系数的计算公式。

6.2.3 目前，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 给出橡胶支座“竖向压缩刚度”试验方法为水平变位为0，轴压应力 $(1 \pm 30\%) \sigma_0$ (σ_0 为产品的设计轴压应力)，3次往复加载，取第3次加载的荷载最大值和最小值点连线的斜率。而本标准定义了“竖向隔振刚度”，推荐采用10%的加载幅值。基于编制组前期多次开展的城市轨道交通上盖结构振动测试，车辆运行振动作用幅值多数约 10cm/s^2 ，根据 $F = ma$ ，认为车辆运行时给结构施加的力约为 $0.1m$ ，因此推荐采用10%的设计面压作为加载幅值。

6.3 隔震层设计

6.3.1 隔震层支座平面布置需综合考虑隔震支座的竖向承载能力、变形能力、刚度、耗能能力等力学性能，使隔震层在承受上部结构竖向荷载的同时，总水平刚度低且具有良好的复位能力，从而保证隔震效果。隔震支座需设置在竖向受力较大的位置，间

距不能过大，其规格、数量和分布需根据竖向承载力、侧向刚度和阻尼的要求计算确定。当铅芯橡胶支座和天然橡胶支座共同使用时，将铅芯橡胶支座布置在外围。

6.3.2 对于城市轨道交通上盖结构，隔震支座的平面布置需与隔震层以上结构和隔震层以下结构中竖向受力构件的平面位置对应。当竖向受力构件不对齐时，需采取结构转换措施，同时需开展专项分析，进行截面验算，包括中震弹性验算和大震不屈服验算。

当隔震层的隔震装置处于不同标高处时，需保证隔震装置共同工作。在罕遇地震作用下，不同标高的相邻隔震层的层间剪切位移角不应大于 $1/1000$ 。对建筑功能而言，为有效利用隔震层，将安装及维修隔震层所预留的空间做成地下室，隔震装置放置在地下室的柱顶部位。隔震支座布置需规则且对称，以保证隔震结构的质心和刚心重合，隔震结构偏心率不大于 3% 。当同一支承位置采用多个隔震支座时，隔震支座之间的净距不应小于安装和更换所需的尺寸。

6.3.3 对于传统结构而言，由于其抗侧刚度较大，风荷载作用下的水平向响应较小，不需要重点关注。但对于隔震结构，由于隔震层刚度较小，隔震结构自振周期较大，风致振动也会更加明显。在隔震层支座选择时，需使隔震支座和阻尼器的屈服力高于风荷载设计值，通过阻尼器和隔震支座的初始刚度保证结构抗风时需要的隔震层水平刚度。随着隔震结构高宽比与迎风面积的增加，为避免风致振动使隔震支座屈服，可以在隔震层内增加抗风装置，抗风装置可以是隔震支座的一部分也可以是单独的构件。通常情况下隔震支座提供抗风抵抗力，因此对抗风装置的验算实际上是验算隔震层的总初始刚度是否能够抵抗风荷载的作用。

6.3.8 抗倾覆力矩的计算可以计入隔震层抗拉装置的作用。

6.4 隔震层以下结构设计

6.4.3 隔震层以下结构中直接支撑隔震层以上结构，与相邻一跨的相关构件构成关键构件，盖下结构其他竖向构件取为普通竖向构件。

6.4.5、6.4.6 对于隔震结构，隔震层以下结构具有较高的刚度。在设防地震和罕遇地震作用下，上部结构一般具有明显的隔震效果，而下部结构的减震效果相对不明显，在罕遇地震作用下，对下部结构的弹塑性层间位移角限值要求与隔震层以上结构相当，是一种比较合理的设计思路。

7 舒适度评价

7.1 一般规定

7.1.1 城市轨道交通上盖结构进行时程分析时，计算模型需考虑楼板构件，建立楼板薄壳单元，分析测点选取楼板中心输出振动结果。

振动作用计算测点选择，包括城市轨道交通上盖结构基础顶部、上盖大平台顶面、转换层以上结构首层或隔震层上下、转换层以上结构 1/3、1/2、2/3 楼层高度处及顶层位置。

振动作用采用现场实测时，振动测量测点选择和拾振器安装的要点点如下：

(1) 沿建筑高度的振动测点布置，包括城市轨道交通上盖结构基础顶部、上盖大平台顶面、转换层以上结构首层或隔震层上下、转换层以上结构 1/3、1/2、2/3 楼层高度处及顶层位置；

(2) 同一楼层内测点的布置，以到达城市轨道交通线路中心线的距离远近为控制尺度，由近及远均匀布置测点，兼顾被评估结构的刚度中心和几何边界端点，同一楼层内测点数量不少于 3 个；建筑物室内振动测点位置布置在靠近房间几何中心 1/3 跨度范围内地面上，当室内布设条件不允许时，设在建筑物的基础距外墙 0.5m 范围内的振动敏感处；

(3) 对面积不大于 20m^2 的房间，需至少选取 1 个测点，测点选在人员主要活动区域地面振动敏感位置，当振动敏感位置无法确定时，测点选在室内地面中央；

(4) 对面积大于 20m^2 的房间，需至少选取 3 个测点，测点选在人员主要活动区域地面振动敏感位置，当振动敏感位置无法确定时，测点需在室内地面均匀分布；

(5) 拾振器需安装在平坦、坚实的地面上，且安装需牢固，不能置于地毯、地胶、草地、沙地等松软或弹性地面上；

(6) 拾振器灵敏度主轴方向为竖向。

7.1.3 城市轨道交通振动会引起上盖建筑物内的地板、墙体振动，并产生结构噪声，也称城市轨道交通引起的二次辐射噪声。结构噪声一般为低频窄带噪声，空气路径传播噪声的降噪措施对于此类噪声基本无效，在振动源及振动传播路径上采取减振措施才有较好效果。为了上盖建筑的居住者和使用者有良好的居住和工作条件，上盖建筑开发设计时需考虑室内结构噪声的影响。

对于城市轨道交通引起的建筑物室内结构噪声，目前有现行行业标准《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，噪声评价的频率范围为 16Hz~200Hz，采用等效连续 A 声压级，2 类区昼间限值为 41dB，2 类区夜间限值为 38dB；3 类区限值各加 4dB。地方标准《城市轨道交通（地下段）列车运行引起的住宅建筑室内结构振动与结构噪声限值及测量方法》DB 31/T 470-2009 中，噪声评价的频率范围为 20Hz~20000Hz，采用列车昼夜运行时段的等效 A 声级和夜间时段的最大 A 声级。对于 2 类~4 类区，昼间限值为 45dB，夜间等效 A 声级限值为 35dB、最大 A 声级限值为 45dB。

人对低频噪声的主观感受更为敏感，A 计权对低频噪声有较大的衰减，已有越来越多的研究表明 A 计权低估了低频噪声对人的影响，因此现行国家标准《住宅建筑室内振动限值及其测量方法标准》GB/T 50355 规定了分频噪声限值，采用了中心频率 31.5Hz~250Hz 的 1/1 倍频程等效声级，对于卧室的昼夜和起居室全天制定了适宜达到和不得超过两级限值。考虑到上盖建筑的建筑功能还可能有商业和商务办公以及车间办公区，对于这两类功能类型可以参照起居室的噪声限值进行控制。

7.1.4 城市轨道交通上盖建筑的振动噪声舒适性受到车辆类型、编组、运行速度、轨道类型、城市轨道交通上盖结构基础、轨道

与城市轨道交通上盖结构联结等多种因素的影响,不能确定上盖建筑振动噪声满足限值要求时,需开展专项研究。

7.2 计算方法

7.2.2 振动评价采用竖向四次方振动剂量值时,昼间和夜间的时间需符合当地人民政府的有关规定。当无规定时,昼间取6时至22时,夜间取22时至次日6时。

7.3 指标评价

7.3.1 参考现行国家标准《住宅建筑室内振动限值及其测量方法标准》GB/T 50355,城市轨道交通引起的振动若采用Z振级等效值会因振动事件之间的间隔计入积分时长,导致数值偏低,因此采用竖向Z振级作为评价量。

本标准振动评价对象是城市轨道交通上盖建筑物,振动是由上盖建筑物下穿经过的城市轨道交通线路引起的,测量点位于上盖建筑物室内,测量值为竖向的振动加速度。

对大量振动实测数据进行统计分析表明:对于同一振动加速度数据,现行国家标准《机械振动与冲击 人体暴露于全身振动的评价 第1部分:一般要求》GB/T 13441.1规定的基本频率计权 W_k 计权得到的Z振级较W计权得到的提高3dB。因此,本标准采用 W_k 计权,相应的限值较国家标准《城市区域环境振动标准》GB 10070-1988所规定的限值提高3dB。

本标准将上盖建筑物功能类型分为振动控制要求严格的工作区、居住、商业和商务办公、车间办公区4类,对应于国家标准《城市区域环境振动标准》GB 10070-1988的区域类型特殊住宅、居住和文教区、混合区和商业中心区、铁路干线两侧4类,因此相应此4类区域的限值提高3dB。

7.3.2 国际标准《Mechanical vibration and shock-evaluation of human exposure to whole-body vibration-Part 1: General re-

quirements》ISO 2631/1: 1997 和英国标准《Guide to evaluation of human exposure to vibration in buildings》BS 6472: 1984 指出在以下情况下需采用四次方振动剂量值等方法替代基本评价方评价: 波峰因数大于 9, 或包含有间歇振动、偶然性冲击振动、瞬态振动。参考现行国家标准《建筑工程容许振动标准》GB 50868, 交通振动对建筑物内人体舒适度影响的评价需附加竖向四次方振动剂量值。因此本标准规定, 对于城市轨道上盖建筑物室内的评价, 在竖向 Z 振级最大值的基础上, 附加竖向四次方振动剂量值。

数据处理按基本频率计权对竖向加速度进行 1Hz~80Hz 频率范围内计权。根据建筑物功能类型, 参考英国标准《Guide to evaluation of human exposure to vibration in buildings》BS 6472: 2008, 给出不同类型的容许竖向四次方振动剂量值。

8 地基基础设计

8.0.5 基础联系梁的截面尺寸及配筋按以下方法确定：7 度 0.10g 及以下和 7 度 0.15g 及以上分别以柱底部剪力或相邻柱较大重力荷载设计值的 10% 和 20% 作为拉压力作用于梁端，与基础梁上竖向荷载叠加，计算确定梁截面与配筋。

当受建筑使用功能所限，一个方向无法布置基础联系梁时，设置配筋混凝土刚性地坪，厚度不小于 150mm，单层双向配筋，配筋率不小于 0.25%。

当基础连系梁从下方穿越轨道道床结构时，需要采取可靠措施，减小道床荷载对基础联系梁的不利影响，减少车辆行驶振动传递到上部结构。

塔楼范围盖下柱底弯矩往往较大，设置至少 3 桩以上的承台，利用基桩竖向承载力抵抗柱底弯矩。

8.0.6 根据以往震害发生情况和工程实践，基础埋深满足现行规范要求的结构，罕见因基础失稳而发生破坏的情形，故此时不进行验算。但对埋深不能满足规范要求的浅基础，需验算对应荷载工况下的稳定性。由于本标准中结构通常进行性能设计，故提出了按满足设防地震作用下进行稳定性验算的要求。验算方法参考现行地方标准《高层建筑混凝土结构技术规程》DBJ/T 15-92 的有关规定。桩基础的稳定性计算，荷载取值参照本标准，但验算地震作用时桩的抗力取值需专门研究。

8.0.7 对于软土地区桩基础，水平抗滑移力全部由桩基承担。当承台或扩展基础下部地基土较好，承台或扩展基础侧面回填土压实系数大于 0.94 时，可以考虑承台或扩展基础侧向水平土抗力的有利作用。

基桩的水平承载力特征值需通过试验确定，群桩及其承台的水平承载力特征值通过试验确定。

8.0.9 上盖建筑开发体量大，由此造成的基础沉降对城市轨道交通线路和轨道的沉降影响不可忽视。本条针对不同的道床结构形式，提出了城市轨道交通上盖结构的基础总沉降量控制要求，考虑到轨道结构标高调节的能力有限，故对于铺轨后的基础沉降量也作了相应要求。

轨道线路范围是指自道床边两侧向下 45° 扩散角的范围，若基础底面位于此范围内，则需按本条要求控制沉降。