



T/CECS ***-2021

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

(征求意见稿)

中国建筑工业出版社

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

T/CECS XXX - 2021

主编单位：同济大学

上海市隧道工程轨道交通设计研究院

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：XXXX 年 X 月 X 日

中国建筑工业出版社

2021 北 京

目 次

1	总 则.....	1
2	术语和符号.....	2
2.1	术 语.....	2
2.2	符 号.....	3
3	基本设计规定.....	4
3.1	一般规定.....	4
3.2	结构布置.....	5
3.3	分期实施与预留.....	7
3.4	材料.....	7
4	荷载与作用.....	8
4.1	一般规定.....	8
4.2	城市轨道交通荷载.....	8
4.3	盖上结构荷载.....	9
4.4	风荷载.....	10
4.5	其他荷载与作用.....	11
5	非隔震结构抗震设计.....	12
5.1	一般规定.....	12
5.2	盖下结构抗震设计.....	13
5.3	盖上结构抗震设计.....	13
5.4	转换层结构抗震设计.....	14
5.5	全框支剪力墙结构抗震设计.....	14
6	隔震结构抗震设计.....	16
6.1	一般规定.....	16
6.2	地震和车辆运行振动作用.....	17
6.3	隔震层设计.....	18
6.4	隔震层以下结构设计.....	19
6.5	叠层厚橡胶支座设计.....	20
6.6	组合三维隔震（振）支座设计.....	22
7	舒适度评价.....	24
7.1	一般规定.....	24
7.2	计算方法.....	24
7.3	指标评价.....	25
8	基础设计.....	26

8.1 一般规定.....	26
8.2 结构基础设计.....	26
附录 A.....	28
附录 B.....	30
附录 C.....	41
本标准用词说明.....	43
条文说明.....	44

CONTENTS

Chapter 1	General	1
Chapter 2	Terms and Symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols.....	3
Chapter 3	Basic Requirements of Design	4
3.1	General.....	4
3.2	Structural Configuration	5
3.3	Staged Construction and Reservation	7
3.4	Materials	7
Chapter 4	Loads and Action	8
4.1	General.....	8
4.2	Urban Rail Transit Load	8
4.3	Loads on Structures above Top Cover Plane	9
4.4	Wind Load	10
4.5	Other Loads and Action	11
Chapter 5	Seismic Design for Non-isolated Structures	12
5.1	General.....	12
5.2	Seismic Design for Structures under Top Cover Plane	13
5.3	Seismic Design for Structures above Top Cover Plane	13
5.4	Seismic Design for Transfer Story.....	14
5.5	Seismic Design for Frame Supporting Shear Wall Structures.....	14
Chapter 6	Seismic Design of Isolated Structures.....	16
6.1	General.....	16
6.2	Earthquake Action and Vibration Caused by Rail Transit.....	17
6.3	Design for Isolation Layer	18
6.4	Design for Substructure of Isolation Layer.....	19
6.5	Design for Laminated Rubber Bearings with Thick Rubber Layers	20
6.6	Design for Combined Three-Dimensional Isolation Bearings.....	22
Chapter 7	Comfortability Evaluation.....	24
7.1	General.....	24
7.2	Calculation Methods	24
7.3	Index Evaluation	25
Chapter 8	Design for Foundation.....	26
8.1	General.....	26
8.2	Design for Structural Foundation.....	26
Appendix A	28
Appendix B	30
Appendix C	41

Explanantion of Wording in This Standard	43
Additon: Explanation of Provisions.....	44

1 总 则

1.0.1 为规范城市轨道交通上盖结构设计，确保上盖结构安全可靠、经济合理和满足振动舒适度要求，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。上盖结构的改建、扩建工程，可参照本标准执行。

1.0.3 城市轨道交通上盖结构应进行抗震设计，宜优先采用减隔震（振）技术。

1.0.4 城市轨道交通上盖结构设计除应符合本标准的规定外，尚应符合国家及行业现行有关标准的规定。

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

板地以下的结构。

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其以下竖向结构构件。

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（含疏散通道）顶板层及以下各层在车站平面范围内和水平相邻跨的结构，含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

一种带转换的非隔震结构形式，其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一跨。

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

通过增加单层橡胶层厚度，而形成的第一形状系数较小（介于4~16）、第二形状系数基本不变（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，对处于该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。

2.1.11 极罕遇地震 very rare earthquake

在设计基准期内年超越概率为 10^{-4} 的地震动。

2.2 符 号

2.2.1 隔震结构设计

$\varphi_1(z)$ ——基础隔震结构的一阶振型；

u_o ——隔震层的振型位移；

$\phi_1(z)$ ——非隔震结构的一阶振型；

B_z ——脉动风荷载的背景分量因子；

V_{Rw} ——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；

K_{100} ——隔震支座在水平剪切应变 100%时的水平等效刚度；

T_r ——隔震支座内部橡胶总厚；

V_{Rw} ——风荷载设计值。

2.2.2 舒适度评价

VL_z ——Z 振级；

VL_{Zmax} ——Z 振级最大值；

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

a_w ——频率计权均方根加速度；

a_i ——第 i 个三分之一倍频程的均方根加速度；

W_i ——第 i 个三分之一倍频程带的计权因数；

VDV_z ——竖向四次方振动剂量值；

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

T ——昼间或夜间时间长度。

3 基本设计规定

3.1 一般规定

3.1.1 城市轨道交通上盖结构应符合现行建筑结构设计标准的相关规定，盖下结构设计尚应符合现行城市轨道交通结构设计标准的相关规定。

3.1.2 盖上结构与盖下结构应一体化设计，进行整体建模分析，并应进行施工模拟分析。

3.1.3 盖上结构宜与盖下结构同期建设。不能同期建设时，应考虑分期施工的荷载影响，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的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。

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规定，盖下结构单元安全等级不应低于对应盖上结构；

2 除另有规定外，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使用年限应符合下列规定：

1 盖上结构使用年限应符合现行国家标准规定，盖下结构单元设计使用年限不应低于对应盖上结构；

2 车辆基地及盖板设计使用年限为 50 年，含控制中心的结构单元设计使用年限为 100 年；

3 车站结构关联范围设计使用年限为 100 年；

4 盖下结构的耐久性设计应满足设计使用年限 100 年的要求。

3.1.6 盖下结构的防火及耐久性设计应同时符合现行建筑结构设计标准及城市轨道交通结构相关标准的规定。盖上结构的防火及耐久性设计应符合现行建筑结构设计标准的规定。

3.1.7 结构体系应根据抗震设防类别、结构安全等级、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。盖上结构与盖下结构应统筹考虑，满足城市轨道交通的运营和维护保养需求。

3.1.8 盖下结构宜采用钢筋混凝土框架或框架-剪力墙结构体系，盖上结构可采用钢筋混凝土框架、剪力墙、框架-剪力墙、钢框架、钢框架-支撑等结构体系。

3.1.9 盖上结构宜采用隔震（振）和消能减震技术。

3.1.10 直接承受列车荷载的构件应进行疲劳验算。

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 车辆基地盖下结构布置宜与线路正交，两主轴方向动力特性宜相近，盖上结构宜与盖下结构正交布置；

2 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轨道交通相关要求。盖下结构设置剪力墙时，不应影响车辆基地的正常使用；

3 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，可设置转换层进行转换；

4 高架车辆基地的试车线结构宜与其他盖下结构设缝分离，其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 车站结构关联范围的结构设计应同时符合现行城市轨道交通结构设计和建筑结构设计标准的相关规定；

2 车站结构关联范围外的结构设计应符合现行建筑结构设计标准的相关规定；

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 盖上结构布置宜符合下列规定：

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 城市轨道交通上盖非隔震与隔震结构的最大适用高度应符合下列规定，超过表内高度的房屋，应进行专门研究和论证，采取有效的加强措施：

1 当转换层（隔震层）以上结构为钢筋混凝土结构时，应符合表 3.2.4-1 规定：

表 3.2.4-1 转换层以上钢筋混凝土结构适用的最大高度（m）

结构类型	烈度				
	6	7(0.10g, 0.15g)	8 (0.20g)	8 (0.30g)	9

框架	60	50	40	35	24*
框架-剪力墙	130	120	100	80	50
部分框支剪力墙	120	100	80	50	不应采用
框架-核心筒	150	130	100	90	70

注：1. 房屋高度指室外地面到主要屋面板板顶的高度（不包括局部突出屋顶部分）；

2. *表示该高度仅用于盖上结构采用隔震技术时。

2 当转换层（隔震层）以上结构为钢结构时，应符合表 3.2.4-2 规定：

表 3.2.4-2 转换层以上钢结构适用的最大高度（m）

结构类型	烈度				
	6, 7(0.10g)	7(0.15g)	8(0.20g)	8(0.30g)	9
框架	110	90	90	70	50
框架-中心支撑	220	200	180	150	120
框架-偏心支撑（延性墙板）	240	220	200	180	160

注：1. 房屋高度指室外地面到主要屋面板板顶的高度（不包括局部突出屋顶部分）；

2. 表中结构类型指盖上钢结构的结构类型。

3 对全框支剪力墙结构，应进行超限设计审查，其最大高度尚不宜大于表 3.2.4-3 要求。

表 3.2.4-3 转换层以上全框支剪力墙结构适用的最大高度（m）

结构类型	烈度				
	6, 7(0.10g)	7(0.15g)	8(0.20g)	8(0.30g)	9
全框支剪力墙	120	100	80	专门研究	不应采用

注：1. 房屋高度指室外地面到主要屋面板板顶的高度（不包括局部突出屋顶部分）。

4 当转换层（隔震层）以上结构为除表 3.2.4-1~3.2.4-3 以外的结构类型时，应进行专门的研究和论证，以确定结构适用的最大高度。

3.2.5 城市轨道交通上盖结构规则性应满足现行《建筑抗震设计规范》GB 50011 的相关规定。

3.2.6 转换层布置符合下列规定：

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，质量、刚度和承载力分布宜均匀；

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

3 设置转换层的位置不宜超过 3 层；

4 转换层及其以下结构的转换柱宜采用型钢混凝土柱等具有较好延性的构件形式。

3.2.7 应结合车辆段功能分区、盖上开发建筑布置、结构的规则性等原则，通过设置结构缝合理划分结构单元，且宜减少结构缝的数量。结构缝缝宽应满足现行《建筑抗震设计规范》GB 50011 规定。

3.2.8 超长结构应进行温度应力分析，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。

3.2.9 基础布置宜符合下列规定：

- 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要求；
- 2 盖下结构宜采取措施控制盖上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及抗滑移、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交限界、工艺、建筑设计、施工工艺等要求外，还应考虑施工误差、测量误差、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。

3.3.4 板地结构缝宜采用梁板对挑形式，避免双柱贴缝。

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《混凝土耐久性设计标准》GB/T 50476 及现行《钢结构设计标准》GB 50017 的规定，地下结构部分的材料还应符合现行《地下工程防水技术规范》GB 50108 的规定。

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，采用的材料应当符合城市轨道交通结构相关国家和地方标准的规定。

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

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《建筑结构荷载规范》GB 50009 及现行《地铁设计规范》GB 50157 的规定。

4.1.2 结构设计时应根据盖上盖下结构施工和投入使用的实际情况，针对不同阶段、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和地震作用应按 100 年设计使用年限取值。车站结构关联范围的设计荷载组合应符合现行《地铁设计规范》GB 50157 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及设备荷载标准值及其组合值系数、频遇值系数和准永久系数应根据工艺要求、设备参数、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。具体取值也不应低于表 4.2.1-1 的规定。

表 4.2.1-1 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
及其组合值、频遇值和准永久值系数

项次	类别	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	6.0	0.9	0.9	0.8	不包含设备自重
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，4.2.2 条所述楼面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，折减系数取 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、预留机房权属专业需求取值。轨道交通预留阶段，楼面活荷载标准值尚不宜低于表 4.3.1-1 的规定。

表 4.3.1-1 上盖开发楼面活荷载标准值及其组合值、频遇值和准永久值系数

项次	类别	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	机动车库（小汽车）	4.0 / 2.5	0.7	0.7	0.6	
2	盖上绿化	5.0	0.7	0.6	0.5	
3	消防控制室、泵房	10.0	0.9	0.9	0.8	
4	电力设备用房	20.0	0.9	0.9	0.8	
5	其他设备机房	8.0	0.9	0.9	0.8	

注：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。

4.3.2 消防车荷载取值应按符合现行《建筑结构荷载规范》GB 50009 的规定，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《城市桥梁设计规范》CJJ 11 规定，且尚应符合现行《建筑结构荷载规范》GB 50009 中通行消防车汽车通道的荷载取值规定。

4.3.4 盖上消防水池、雨水池等储水结构荷载应按最高水位取值，荷载分项系数可取 1.3。

4.3.5 绿化屋面覆土重度应按饱和容重取值。

4.3.6 绿化屋面种植的高大乔木的荷载，应根据景观专业提资按集中荷载取值。

4.3.7 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、盖板支模等荷载。

4.3.8 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；施工荷载分项系数取 1.0，组合值系数取 0.9，频遇值系数和准永久值系数取 0；

2 盖板均布施工荷载，取值不应小于 10kN/m²，计算楼面梁、墙、柱、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 施工塔吊布置在盖板上时，宜直接布置在结构柱顶，并按集中荷载取值。

4.4 风荷载

4.4.1 风荷载标准值 ω_k 、基本风压 ω_0 、风压高度变化系数 μ_z 以及风荷载体型系数 μ_s 取值应符合现行《建筑结构荷载规范》GB 50009 规定。对受到显著干扰效应的结构，其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 ω_k 时，计算位置距离地面高度应自盖下室外地坪开始计算。

4.4.3 城市轨道交通上盖非隔震结构的顺风向风振和风振系数、横风向和扭转风振以及风振系数，应按现行《建筑结构荷载规范》GB 50009 计算。

4.4.4 城市轨道交通上盖隔震结构顺风向 z 高度处的风振系数采用现行《建筑结构荷载规范》GB 50009 的相关规定，即附录 A 中的 A.0.1-1。一般而言，隔震结构一阶模态可近似从图 4.4.4-1 中获取，相应的脉动风荷载的背景分量因子为：

$$B_z = (-0.431\mu_0 + 1)kH^{\alpha} \rho_x \rho_z \frac{\varphi_1(z)}{\mu_z} \quad (4.4.4-1)$$

式中隔震结构的一阶振型 $\varphi_1(z)$ 表示为：

$$\varphi_1(z) = u_o + (1 - u_o)\phi_1(z) \quad (4.4.4-2)$$

其中 u_o 为隔震层的振型位移， $\phi_1(z)$ 为非隔震结构的一阶振型。

更精确的背景分量因子则由附录 A 中 A.0.1-2 确定。脉动风荷载的共振分量因子可采用附录 A 中 A.0.1-3。

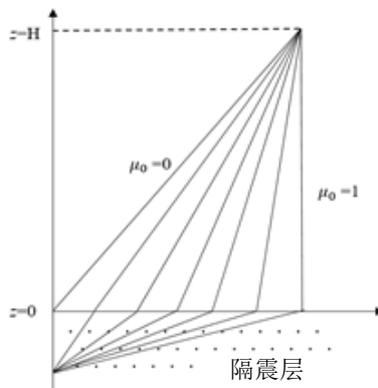


图 4.4.4-1 隔震结构一阶振型

4.4.5 隔震结构顺风向加速度计算见附录 A。

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本标准第 5 章规定。

4.5.2 各类上盖结构的车辆运行振动作用，应符合下列规定：

- 1 应计算城市轨道交通上盖结构内地铁竖向振动作用；
- 2 当有大跨度楼板时，应计算楼板中心的地铁振动作用。

4.5.3 各类城市轨道交通上盖结构的车辆运行振动作用计算应采用时程分析法，按建筑场地类别、轨道类型和车速选用实际地铁振动记录或人工模拟的加速度时程曲线，进行分析，本标准附录 B 列出了实际地铁振动记录的时程曲线，对于不同类型上盖结构，其加速度最大值可按表 4.5.3-1 的规定确定（轨道基础类型，车速，柱轨距为考虑因素），当取三组加速度时程曲线输入时，计算结果宜取时程法的包络值；当取七组及七组以上的时程曲线时，计算结果可取时程法的平均值。

表 4.5.3-1 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 (m/s)	柱轨距 (m)	时程最大值 (m/s ²)
短柱	<30	<2	0.5
		2-5	0.3
		5-10	0.1
地面铺设	<30	<2	1.0
		2-5	0.8
		5-10	0.6

5 非隔震结构抗震设计

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《建筑抗震设计规范》GB 50011 及其他相关国家和地方标准规定，车站结构关联范围抗震设计尚应符合现行《城市轨道交通抗震设计规范》GB 50909 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规定，盖下结构单元抗震设防类别不应低于对应盖上结构；

2 车站结构关联范围的抗震设防类别为乙类；

3 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抗震设防类别为乙类。

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，同时不应低于国家标准要求。

5.1.4 设防烈度大于 7 度时，城市轨道交通上盖结构中的转换结构构件以及大跨度、长悬臂结构尚应考虑竖向地震作用。

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

5.1.6 城市轨道交通上盖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，以及采用隔震或消能减震技术的，应进行抗震性能化设计。

5.1.7 对需要进行抗震性能化设计的城市轨道交通上盖结构，应按现行《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 和《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 中的要求进行结构性能目标评价，并满足以下要求：

1 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；

2 转换层及转换层以下的结构抗震性能目标不应低于 D 级；对框支剪力墙结构，转换层相关范围及其以下结构抗震性能目标尚不应低于 C 级；

3 转换层的转换构件性能目标宜不低于以下要求：设防烈度地震作用下受剪截面承载力满足弹性设计要求、正截面承载力满足不屈服设计要求；罕遇地震作用下抗震承载力满足不屈服要求。

5.1.8 剪力墙布置及计算应符合下列要求：

- 1 剪力墙宜双向布置；
- 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 宜采用 T、L、I 形截面或带端柱的剪力墙，不宜采用一字形截面的剪力墙；
- 4 对具有短肢剪力墙的部分框支剪力墙结构，应将短肢剪力墙分别按剪力墙和考虑内力调整的框架柱建模，进行包络设计。

5.2 盖下结构抗震设计

5.2.1 板地结构层与其相邻上层楼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该层楼板宽度的 60%，开洞总面积不宜大于该层楼面面积的 25%，且在塔楼四周不宜开设大洞。

5.2.3 盖下结构水平位移限值应满足以下规定：

- 1 在多遇地震或风荷载作用下，弹性层间位移角不宜大于 1/1000；在罕遇地震作用下，弹塑性层间位移角不宜大于 1/100；

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

5.2.4 多塔楼结构，宜按整体模型和单塔模型分别计算，进行包络设计，并按现行《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 规定采取相应的抗震加强措施。单塔模型取塔楼相关范围。

5.2.5 计算分析时塔楼相关范围与确定抗震性能及抗震构造措施时的相关范围应统一，不宜小于塔楼投影范围外扩一跨。

5.2.6 除各转换类构件外，位于各塔楼相关范围内的盖下结构，其竖向构件的纵向钢筋最小配筋率宜比现行《建筑抗震设计规范》GB 50011 中的规定值提高 0.1%，箍筋宜全高加密。

5.3 盖上结构抗震设计

5.3.1 转换层以上结构的水平位移限值应符合现行《建筑抗震设计规范》GB 50011 及现行《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 的规定。

5.3.2 板地结构层以上、转换层及以下结构尚应满足以下要求：

- 1 转换层与相邻上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，转换层以上结构综合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，其底部加强区范围应符合下列要求：

1 部分框支剪力墙结构底部加强区范围应自基础顶算起，至转换层以上结构高度 1/10 且不小于 2 层为止。

2 全框支剪力墙结构底部加强区范围应自转换层楼面算起，至转换层以上结构高度 1/10 且不小于 2 层为止。

5.4 转换层结构抗震设计

5.4.2 转换层结构布置不应采用单跨结构。

5.4.3 部分框支剪力墙结构及全框支剪力墙结构的转换构件计算应符合下列要求：

1 应考虑竖向地震作用，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；

2 不宜考虑梁墙共同作用。

5.4.4 转换层塔楼相关范围内框架结构抗震构造措施，应满足现行规范中不低于乙类设防结构的相关要求。

5.4.5 转换层的构件设计应符合现行《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 的相关规定。当转换构件采用钢与混凝土组合结构柱时，尚应符合现行《组合结构设计规范》JGJ 138 的规定。

5.5 全框支剪力墙结构抗震设计

5.5.1 全框支结构设置转换层的位置，7 度及以上抗震设防区不宜大于 3 层。

5.5.2 转换层的结构布置宜尽可能使传力路径直接，不宜采用多次转换设计，必要时可采用厚板转换。

5.5.3 转换层以下框架、框支框架应进行罕遇地震弹塑性时程分析，验证结构是否满足预设的性能目标，并对结构的屈服机制进行论证，确保底部框支框架晚于转换层以上部分结构屈服。

5.5.4 对超长结构，应进行温度应力计算，并采取有效措施，减少温度应力对结构的影响。

5.5.5 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。

5.5.6 转换层及以下框架和框支框架应满足以下构造要求：

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

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 钢筋混凝土框架柱和框支柱配筋率：8 度抗震设防区按特一级构造，竖向钢筋配筋率不小于 1.6%；柱端箍筋加密区最小配箍特征值比《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定大 0.03，且箍筋体积配箍率不小于 1.6%；7 度抗震设防区按一级构造，竖向钢筋配筋率不小于 1.4%；6 度抗震设防区按二级构造，竖向钢筋配筋率不小于 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 0.65；7 度抗震设防的框支柱轴压比不宜大于 0.65，框架柱轴压比不宜大于 0.75；6 度抗震设防的框支柱轴压比不宜大于 0.75，框架柱轴压比不宜大于 0.85。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；双层双向配筋，每向配筋率不小于 0.25%；

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

7 转换层以上结构的抗震等级：抗震性能目标为 D 级时为一级，抗震性能目标为 C 级时为二级，抗震性能目标为 B 级时为三级。

6 隔震结构抗震设计

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，应根据设防烈度地震下隔震层位移控制以及振动舒适度要求，设置适当的隔震（振）装置。

6.1.3 城市轨道交通上盖隔震（振）结构所采用的隔震（振）装置主要包括但不限于：

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、叠层橡胶支座与钢弹簧/碟簧组合的三维隔震（振）支座、以及摩擦摆支座与钢弹簧/碟簧组合、摩擦摆与叠层厚橡胶支座组合的三维摩擦摆隔震（振）支座。

6.1.4 上盖隔震结构尚应符合下列要求：

1 隔震层以上结构高宽比宜小于 4，且不应大于相关规范规程对非隔震结构的具体规定，高宽比大于 4 的结构采用隔震设计时，应进行专门研究；

2 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%；

3 隔震层应提供必要的竖向承载力、侧向刚度和阻尼；

4 采用三维隔震/隔振方案时，还应满足竖向隔震/振的位移需求；

5 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。

6.1.5 隔震装置的产品要求除满足本标准相关要求外，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 的相关要求，对于无相关标准要求的，在工程中使用应进行专项论证。

6.1.6 城市轨道交通上盖隔震结构的地震作用计算应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。

6.1.7 城市轨道交通上盖振震双控结构的车辆运行振动作用计算，应采用时程分析法。

6.1.8 隔震结构分析模型应为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宜取为隔震层以上结构投影并向外延伸一跨范围。

6.1.9 隔震层以上结构的构件截面设计和结构变形验算，应符合国家现行《建筑隔震设计标准》GB/T 51408 相关规定。

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

6.1.11 对于盖上预留隔震结构的上盖结构，进行上盖隔震结构设计时，整体模型中应包括原有盖下结构模型，并通过整体结构模型验算盖下结构变形满足 6.4 节规定，若不满足，则应通过加固盖下结构，使其满足盖下结构变形验算要求。

6.2 地震和车辆运行振动作用

6.2.1 城市轨道交通上盖结构的地震作用，应将隔震层以上结构、隔震层和隔震层以下结构进行整体分析，其中隔震层的非线性可按等效线性化的迭代方式考虑。计算地震作用和作用效应，应按现行《建筑隔震设计标准》GB/T 51408 规定的计算方法。

6.2.2 隔震结构自振周期、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，对应不同地震烈度作用时的隔震层水平位移值计算，可按不同烈度作用时的设计反应谱进行等效线性化法计算确定，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，上盖结构体系分析模型应符合下列规定：

1 当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；在罕遇地震或极罕遇地震作用下，隔震层以上结构和隔震层以下结构均宜采用弹塑性模型；

3 当上盖结构体系除考虑地震作用外，还需考虑车辆运行振动时，分析模型除满足第 1 点的规定外，还应考虑竖向振动刚度、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 当上盖结构进行振震双控时，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，隔震层应采用隔震产品提供的水平向性能滞回模型，除符合第 3 条

的规定外，采用叠层厚橡胶支座和叠层橡胶支座与钢弹簧/碟簧组合隔震（振）支座时，竖向性能滞回模型还应符合本标准 6.5 节和 6.6 节的相关规定。

5 当上盖结构进行振震双控时，时程分析计算模型应考虑楼板构件，建立楼板薄壳单元，分析测点应选取楼板中心作为振动输出结果进行评价。

6.2.4 当采用时程分析法时，选用的地震动时程数量应符合现行《建筑抗震设计规范》GB 50011 的相关规定；选用的车辆运行振动数量宜符合 4.5.3 条相关规定。

6.2.5 采用振型分解反应谱法和时程分析法同时计算时，地震作用应取两者的包络值。

6.2.6 采用隔震的上盖结构体系，竖向地震作用标准值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时，其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 6.2.3 条相关规定。

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，亦可单独设置；

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基本恢复原位，在罕遇地震作用下其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%，超过 3%时应考虑结构扭转变形；

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；当隔震层的隔震装置处于不同标高时，应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；

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，应符合下式要求：

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

式中： V_{Rw} ——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；

V_{wk} ——风荷载作用下隔震层的水平剪力标准值（kN）；

γ_w ——风荷载分项系数，可取 1.4。

6.3.4 隔震层的弹性恢复力验算，应符合下列要求：

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

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 ——隔震支座内部橡胶总厚（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下、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 要求。

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获得，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 0.55 倍和橡胶层总厚度的 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 0.75 倍；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 0.85 倍。

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，应采用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 隔震层以下结构中直接与隔震支座相连接的支墩、支柱等构件，应采用在罕遇地震下

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 隔震层以下结构中直接支撑隔震层以上结构及其相邻一跨的相关构件，应满足设防地震烈度下的抗震承载力要求，并按罕遇地震进行抗剪承载力验算。

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 6.4.5-1 规定。

表 6.4.5-1 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
钢筋混凝土框架结构	1/400
钢筋混凝土框架-抗震墙结构、框架-核心筒	1/500
钢结构	1/250

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 6.4.6-1 规定。

表 6.4.6-1 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
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	1/200
钢结构	1/100

6.4.7 隔震层以下结构在极罕遇地震下层间位移角限值应符合表 6.4.7-1 规定。

表 6.4.7-1 隔震层以下结构在极罕遇地震下层间位移角限值

结构类型	罕遇地震
钢筋混凝土框架结构	1/60
钢筋混凝土框架-抗震墙结构、框架-核心筒	1/130
钢结构	1/60

6.5 叠层厚橡胶支座设计

6.5.1 本节适用于城市轨道交通上盖振震双控结构隔震层的第一形状系数介于 4~16、第二形状系数大于 3 的叠层厚橡胶支座设计。

6.5.2 叠层厚橡胶支座的性能，应符合下列规定：

1 应严格控制叠层厚橡胶支座的压应力设计值，应小于其竖向极限压应力的 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，应包括支座稳定性验算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其竖向极限压应力和极限拉应力，其中竖向极限压应力应不小于国家标准《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，极限拉应力应不小于 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，应大于其有效直径的 0.55 倍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、阻尼特性变化不超过初期值的 20%；徐变量不超过支座内部橡胶总厚度的 5%。

6.5.3 叠层厚橡胶支座的型式检验除了提供橡胶支座的型式检验指标外，尚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，轴压应力 $(1 \pm 10\%) \sigma_0$ (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作为竖向隔振刚度。

2 竖向基准压缩变形，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，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，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。

6.5.4 每项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了提供叠层橡胶支座的出厂检验指标外，尚应增加竖向隔振刚度、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。

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

1 振震双控结构的隔震设计时，叠层厚橡胶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》的竖向压缩刚度。

2 振震双控结构的隔震设计时，为控制隔震层水平变形，可设置水平向减震装置。

3 振震双控结构的隔振设计时,叠层厚橡胶支座的竖向刚度应取 6.5.3 条中的竖向隔振刚度。

6.6 组合三维隔震(振)支座设计

6.6.1 本节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/碟簧组合为竖向隔震构件的组合三维隔震(振)支座设计。

6.6.2 组合三维隔震(振)装置在结构内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。

6.6.3 组合三维隔震(振)装置,应符合下列规定:

1 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 的相关要求。

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 的相关要求。

3 竖向隔振单元有多个钢弹簧或多个碟簧组并联组成时,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 0.75 倍碟簧内锥高时的承载力,并联后碟簧组合的设计承载力应不小于叠层橡胶支座设计承载力;碟簧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承载后性能设计或时程分析后变形需求确定。

6.6.4 组合三维隔震(振)装置性能,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满足现行国家现行标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的相关要求。

2 钢弹簧/碟簧组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

的力学性能、外观和耐久性应满足与相关国家标准的要求。

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相互影响应不显著。

6.6.5 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，轴压应力（ $1\pm 10\%$ ） σ_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作为竖向隔振刚度。

2 竖向基准压缩变形，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，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。

6.6.6 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）支座的出厂检验除了提供叠层橡胶支座或摩擦摆支座的出厂检验指标外，尚应增加竖向隔振刚度、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。

6.6.7 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%至 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《碟形弹簧》GB/T 1972 中的相关规定。

6.6.8 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的设计，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 振震双控结构的隔震设计时，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 20688.1 的竖向压缩刚度；

3 振震双控结构的隔振设计时，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，在地震作用下该组合支座不应出现拉应力，对于可能出现拉应力的情况，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 的相关要求，钢弹簧的拉应力不应超过钢弹簧受拉设计承载力。

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的振动单值评价量，应采用铅垂向 Z 振级评价，宜附加采用竖向四次方振动剂量值评价。

7.1.2 城市轨道交通上盖建筑物室内二次辐射噪声的评价可参考附录 C。

7.1.3 当城市轨道交通上盖建筑物内铅垂向 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。

7.1.4 本章昼间和夜间的时间应符合当地人民政府的有关规定。当无规定时，昼间宜取 6 时至 22 时，夜间宜取 22 时至次日 6 时。

7.2 计算方法

7.2.1 铅垂向 Z 振级应按现行国家标准《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 进行计权（1Hz~200Hz），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 Z 振级最大值（ VL_{Zmax} ）。Z 振级应按下式计算：

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

式中： VL_Z ——Z 振级（dB）；

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

a_w ——频率计权均方根加速度（ m/s^2 ），按下式计算：

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

式中： a_i —— a_i 为第 i 个三分之一倍频程的均方根加速度；

W_i ——第 i 个三分之一倍频程带的计权因数。

7.2.2 竖向四次方振动剂量值应按下式计算：

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

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

$a_{zw}(t)$ ——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 进行计权的瞬时竖向加速度（ m/s^2 ）；

T ——昼间或夜间时间长度 (s)。

7.3 指标评价

7.3.1 城市轨道交通上盖建筑物室内 Z 振级限值，应按表 7.3.1 的规定确定。

表 7.3.1 城市轨道交通上盖建筑物室内 Z 振级限值 (dB)

建筑物功能类型	昼间	夜间
振动严格工作区	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 的规定确定。

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

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	0.2
车间办公区	0.8	0.4

7.3.3 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、车轮和轨面状态、行车速度、昼间和夜间列车通过数量、隧道埋深、隧道断面；
- 2 轮轨荷载及其对工程场地和盖下、盖上结构的影响应由实测确定；
- 3 工程场地条件；
- 4 上盖建筑物结构类型、建筑结构图、室内是否采用吸声。

7.3.4 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，上盖结构应根据实际条件采取隔振减噪等传播途径措施，或上盖结构减振降噪措施。

8 基础设计

8.1 一般规定

8.1.1 城市轨道交通上盖结构的基础设计等级应根据现行《建筑地基基础设计规范》GB50007确定，且不应低于乙级。

8.1.2 城市轨道交通上盖结构基础设计应满足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的要求等。基础的承载力计算和稳定性、变形验算除应符合现行标准《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。

8.1.3 城市轨道交通上盖结构的基础设计安全等级、结构设计使用年限均不应低于对应盖下结构或关联结构。

8.1.4 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，再实施上盖结构基础。若工序上无法满足此要求，需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。上盖结构基础施工宜在铺轨之前完成，否则应评估其对轨道的影响。

8.2 结构基础设计

8.2.1 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，满足基础间变形协调的要求。

8.2.2 轨道交通上盖结构基础埋深，宜满足《建筑地基基础设计规范》GB50007的要求。当不能满足埋深要求时，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。

8.2.3 结构抗倾覆稳定性验算时，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。在竖向荷载与风荷载标准组合下，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，基础零应力区不宜大于15%。

8.2.4 结构抗滑移稳定性验算时，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。竖向荷载与风荷载标准组合的抗滑移安全系数 $K \geq 1.3$ ；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 $K \geq 1.2$ 。

8.2.5 当采用无地下室的桩基础时，应验算桩基的水平承载力。验算时，可考虑桩承台侧向水平土抗力的有利作用。

8.2.6 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，必要时应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。

8.2.7 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 在已投入运营的轨道交通线路上进行上盖结构施工，应对施工造成的沉降和变形影响作专题评估。

附录 A

A.0.1 顺风向风振和风振系数应符合下列规定：

1 隔震结构高度大于 30 m 且高宽比大于 1.5，以及基本自振周期 T_1 大于 0.25 s 时，应考虑风压脉动对其产生顺风向风振的影响。顺风向风振响应计算应按结构随机振动理论进行。对于一般体型规则的隔震高层建筑，可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与现行《建筑结构荷载规范》GB 50009 中相同的形式计算：

$$\beta_z = 1 + 2I_{10}gB_z\sqrt{1+R_1^2} \quad (\text{A.0.1-1})$$

其中，除了背景分量因子 B_z 和共振分量因子 R_1 不同外，其余参数均与上述规范一致。

注：结构的自振周期应考虑隔震层动力特性按结构动力学计算。

2 脉动风荷载的背景分量因子按下式计算：

$$B_z = \frac{m(z)\sqrt{\int_0^B \int_0^B coh_y(y_1, y_2) dy_1 dy_2 \int_0^H \int_0^H [\mu_z(z_1)\varphi_1(z_1)\bar{I}_z(z_1)][\mu_z(z_2)\varphi_1(z_2)\bar{I}_z(z_2)] coh_z(z_1, z_2) dz_1 dz_2}}{B \int_0^H m(z)\varphi_1^2(z) dz} \frac{\varphi_1(z)}{\mu_z(z)} \quad (\text{A.0.1-2})$$

式中： $\varphi_1(z)$ ——包含隔震层的整体结构一阶振型，振型位移；

$m(z)$ ——包含隔震层的沿高度分布质量；

coh_y, coh_z ——为与频率无关的竖向和水平相关系数，取值为 $coh_z(z_1, z_2) = \exp(-\frac{|z_1 - z_2|}{60})$ 和

$coh_y(y_1, y_2) = \exp(-\frac{|y_1 - y_2|}{50})$ ；

$\bar{I}_z(z)$ ——沿高度变化的湍流度，取值为 $\bar{I}_z(z) = (z/10)^{-\alpha}$ ， α 为风剖面指数，按不同取值；

B, H ——隔震建筑迎风面宽度和总高度。

脉动风荷载的共振分量因子按下式计算：

$$R_1 = \sqrt{\frac{\pi}{6\zeta_1} \frac{x_1^2}{(1+x_1^2)^{4/3}}} \quad (x_1 = \frac{30f_1}{\sqrt{k_w w_0}}) \quad (\text{A.0.1-3})$$

式中： f_1 和 ζ_1 ——隔震结构的一阶自振频率和阻尼比。

3 对于一般体型规则的隔震高层建筑，可仅考虑结构第一振型的影响，隔震结构顺风向 z 高度处的风振加速度与现行《建筑结构荷载规范》GB 50009 中非隔震结构有相同的计算形式：

$$a_D(z) = \frac{2gw_0 I_{10} \mu_s \mu_z B_z B}{m} \eta_a \quad (\text{A.0.1-4})$$

其中，背景分量因子 B_z 取值与 A.0.1-1 式相同；加速度脉动系数 η_a 与隔震结构一阶频率和阻尼比有关，按《建筑结构荷载规范》GB 50009 表 J.1.2 取值；其余参数均与《建筑结构荷载规范》GB 50009 一致。

附录 B

B.0.1 归一化的车辆运行振动作用计算时程信息，如图 B.1-图 B.21 所示，图中分别给出了车辆运行振动作用的功率谱密度、反应谱和时程曲线。进行时程分析输入时，通过表 4.5.3-1 确定峰值加速度后，对图中加速度调幅，并使用三向时程输入的方式开展时程分析。

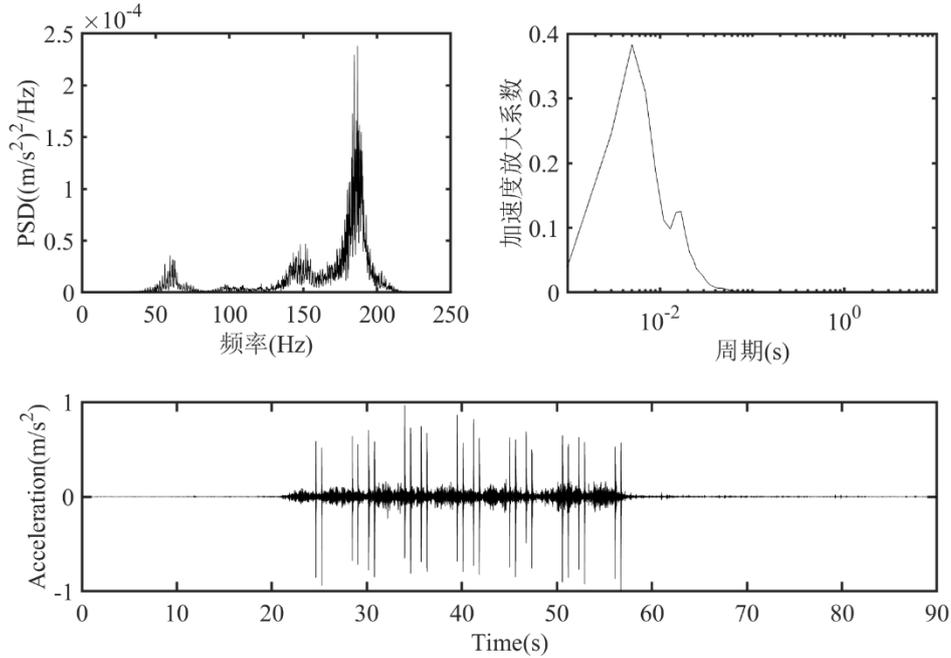


图 B 1 时程 1-X 向（测试时轨道类型为地面铺设）

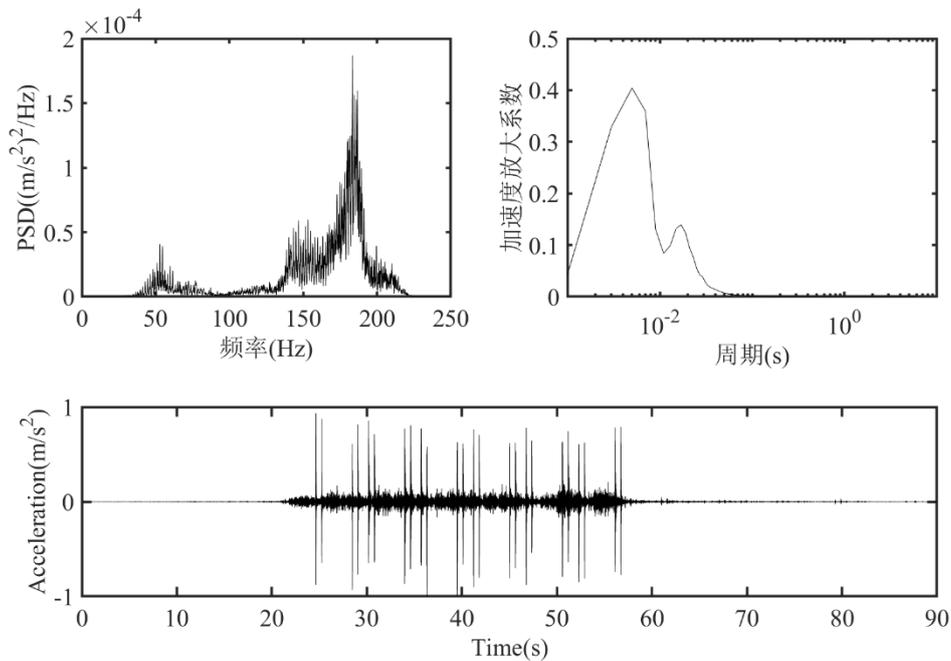


图 B 2 时程 1-Y 向（测试时轨道类型为地面铺设）

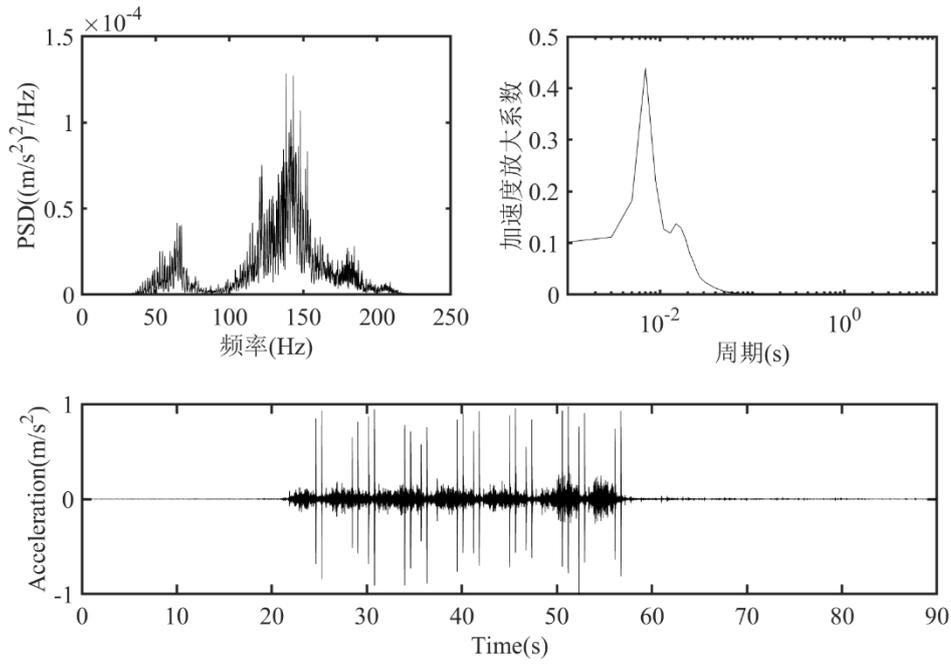


图 B 3 时程 1-Z 向（测试时轨道类型为地面铺设）

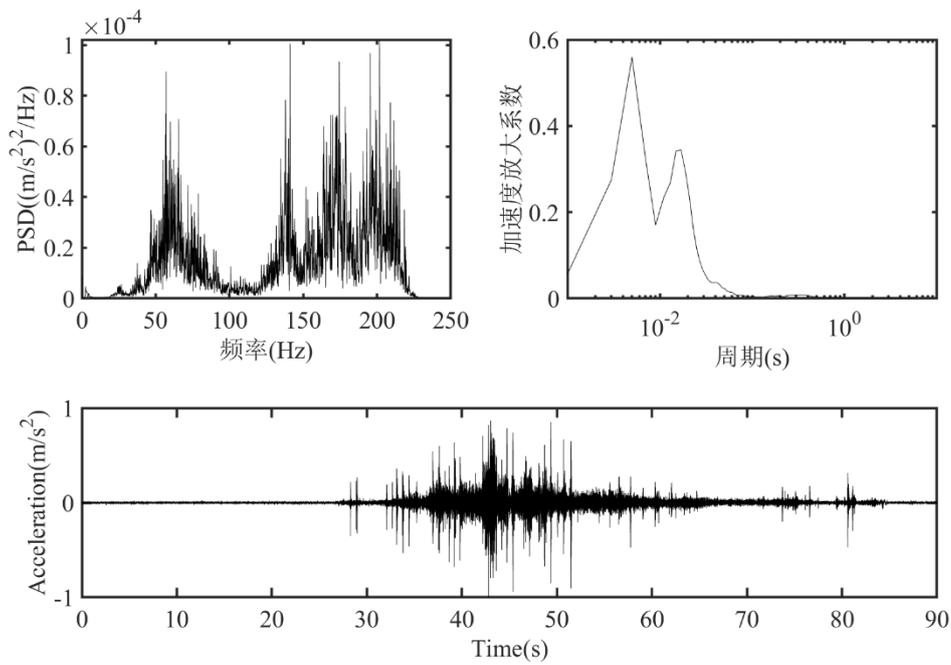


图 B 4 时程 2-X 向（测试时轨道类型为短柱）

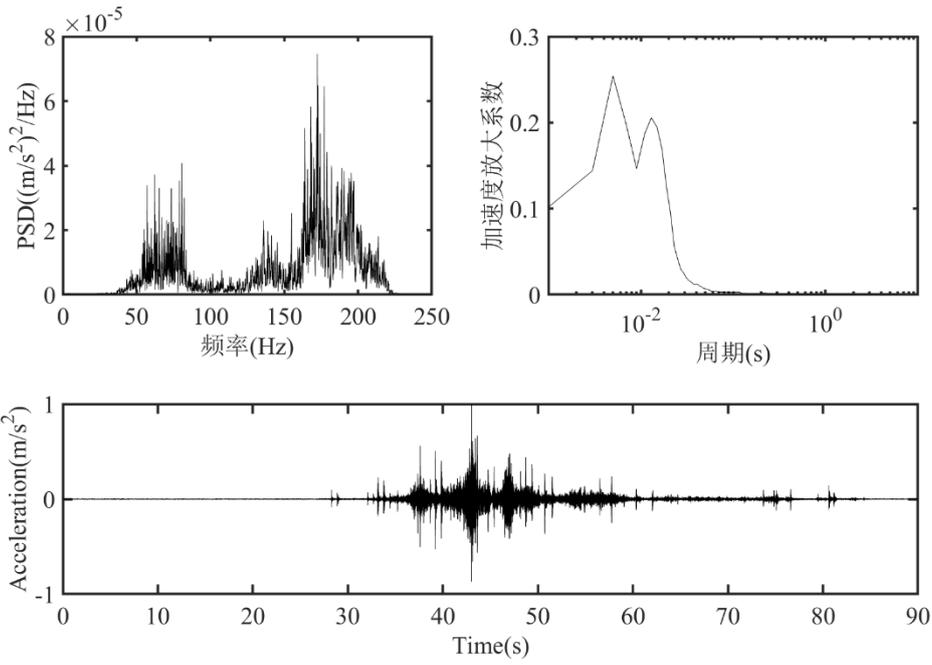


图 B 5 时程 2-Y 向（测试时轨道类型为短柱）

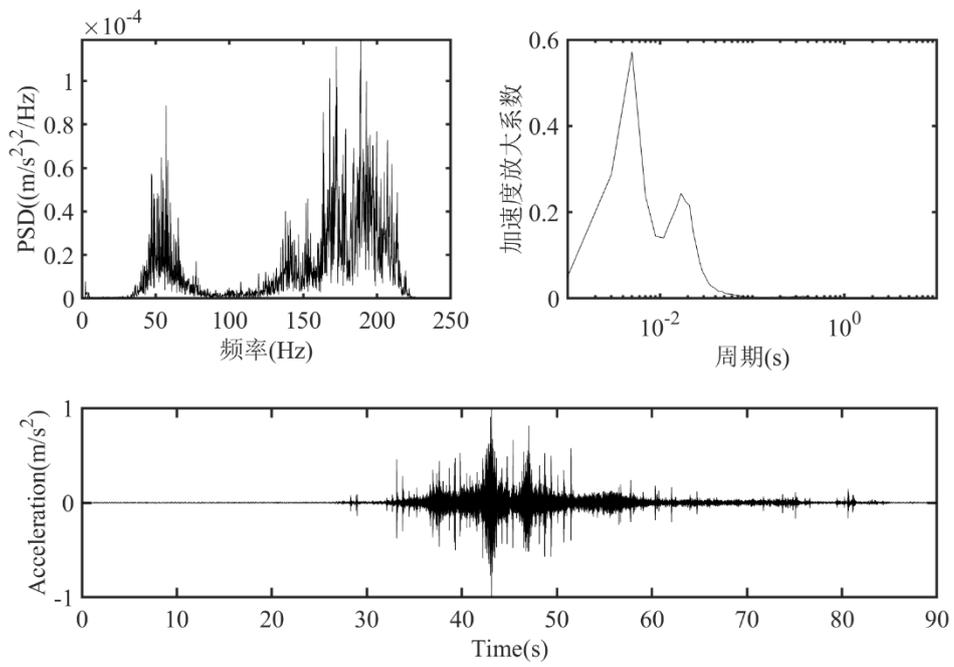


图 B 6 时程 2-Z 向（测试时轨道类型为短柱）

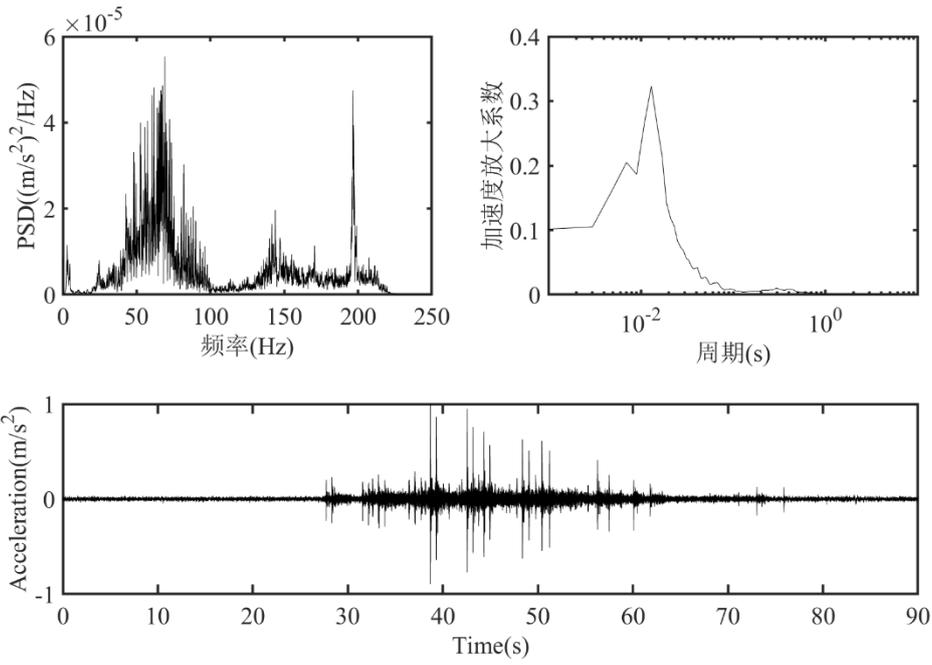


图 B 7 时程 3-X 向（测试时轨道类型为短柱）

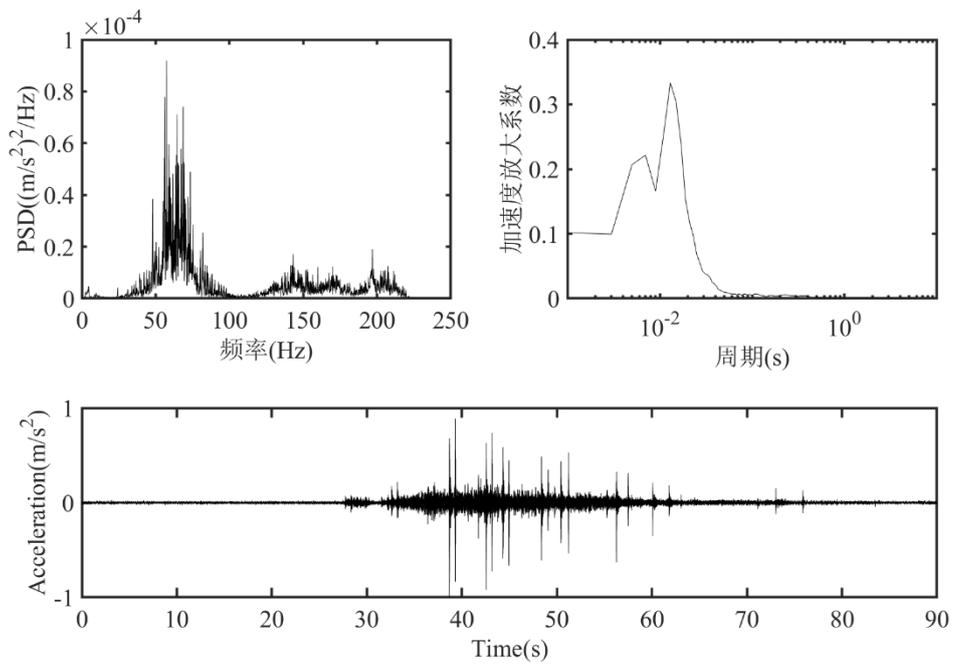


图 B 8 时程 3-Y 向（测试时轨道类型为短柱）

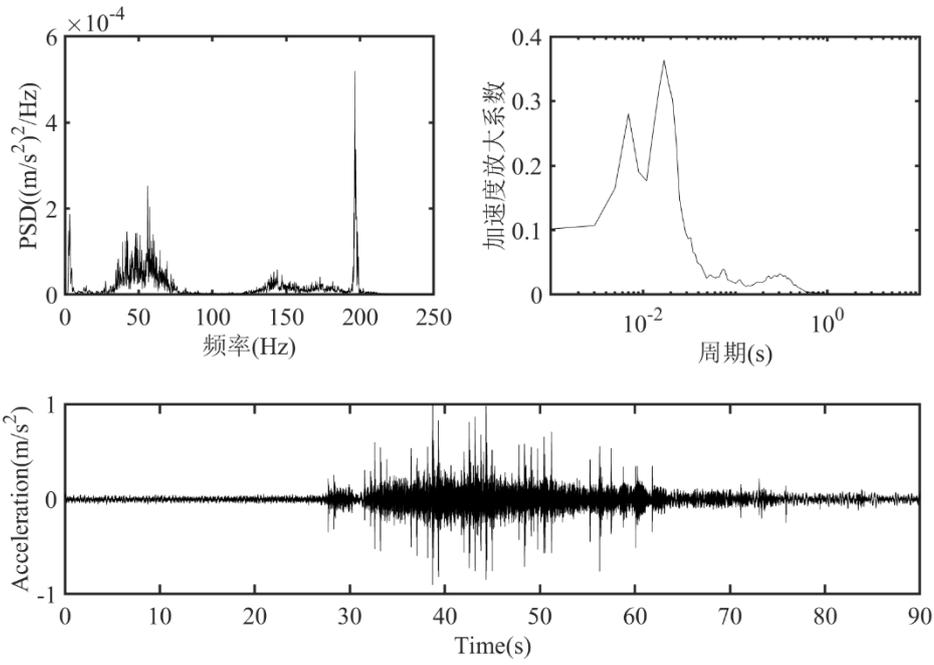


图 B 9 时程 3-Z 向（测试时轨道类型为短柱）

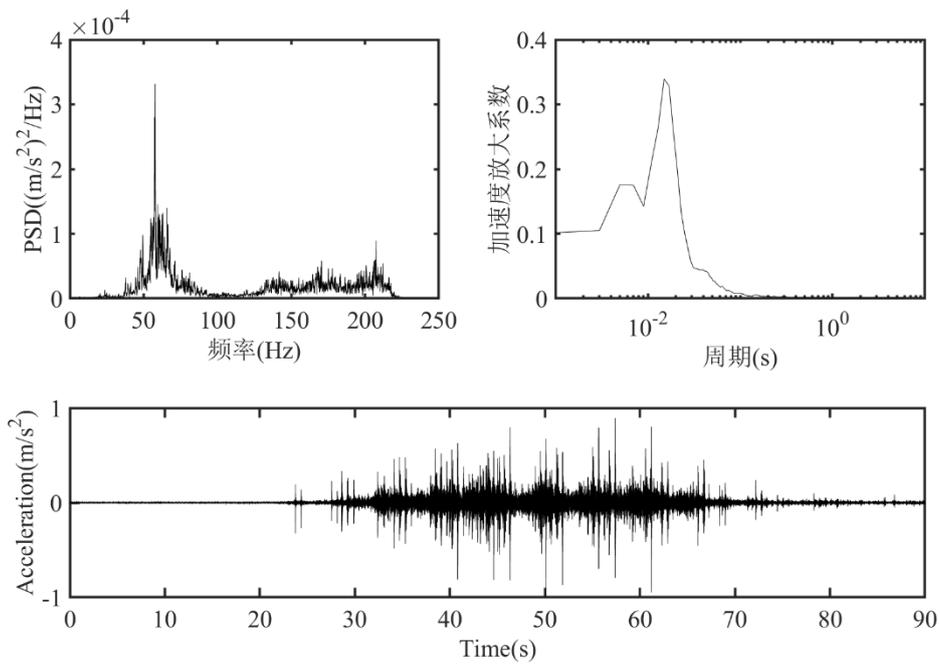


图 B 10 时程 4-X 向（测试时轨道类型为短柱）

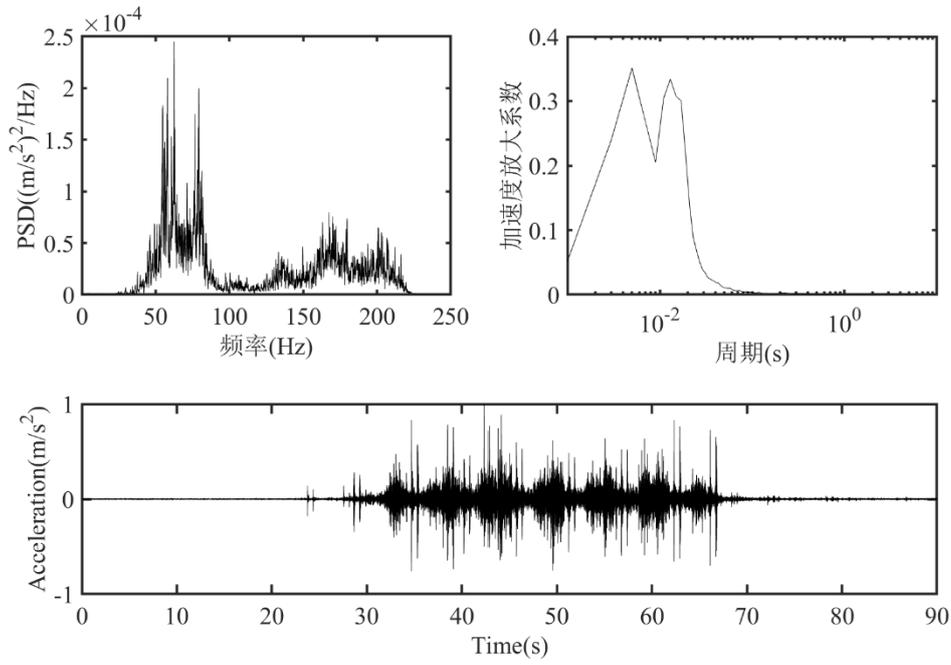


图 B 11 时程 4-Y 向 (测试时轨道类型为短柱)

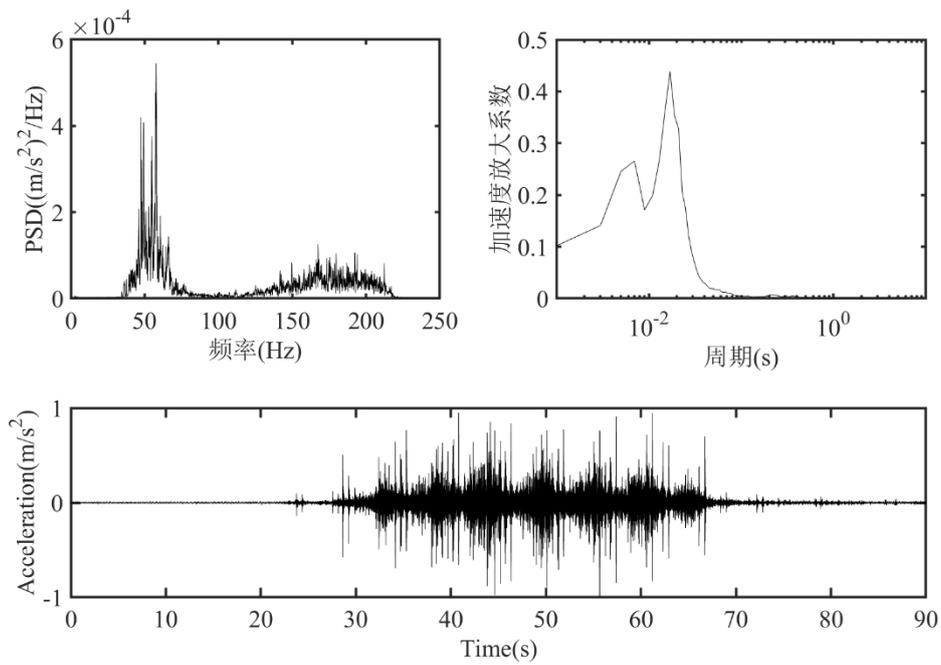


图 B 12 时程 4-Z 向 (测试时轨道类型为短柱)

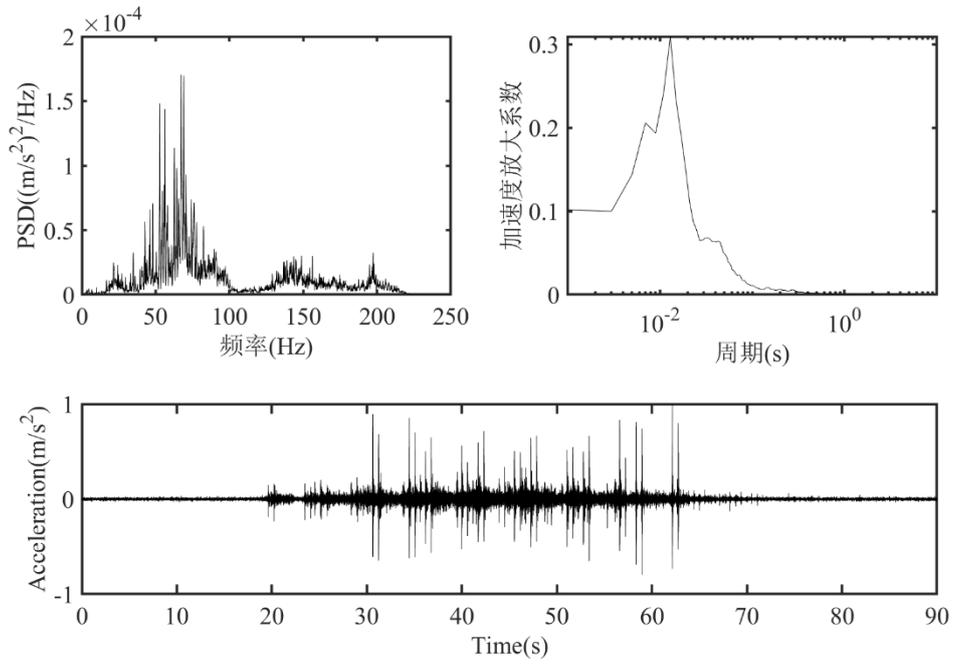


图 B 13 时程 5-X 向 (测试时轨道类型为短柱)

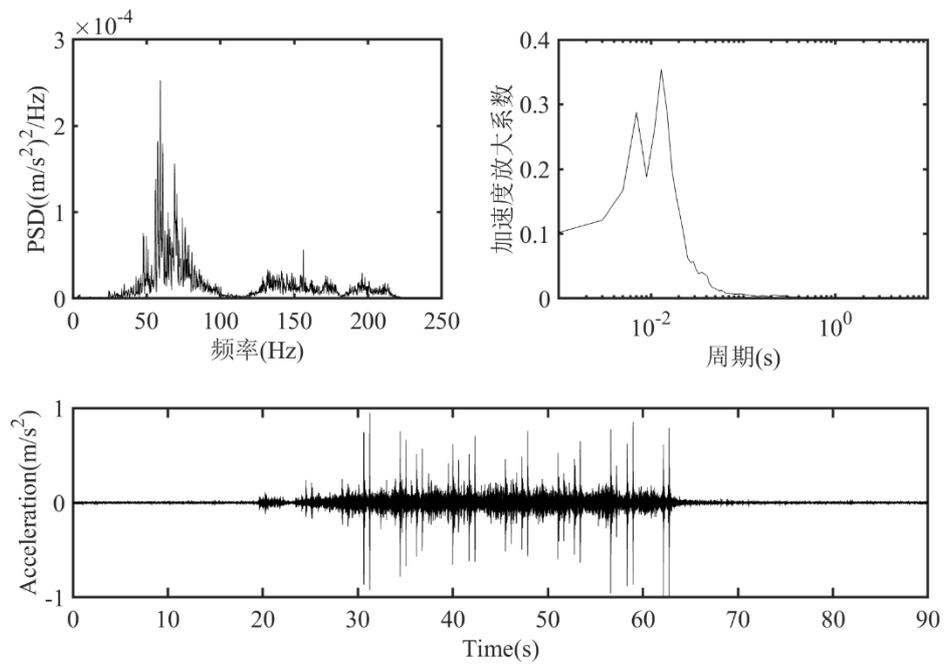


图 B 14 时程 5-Y 向 (测试时轨道类型为短柱)

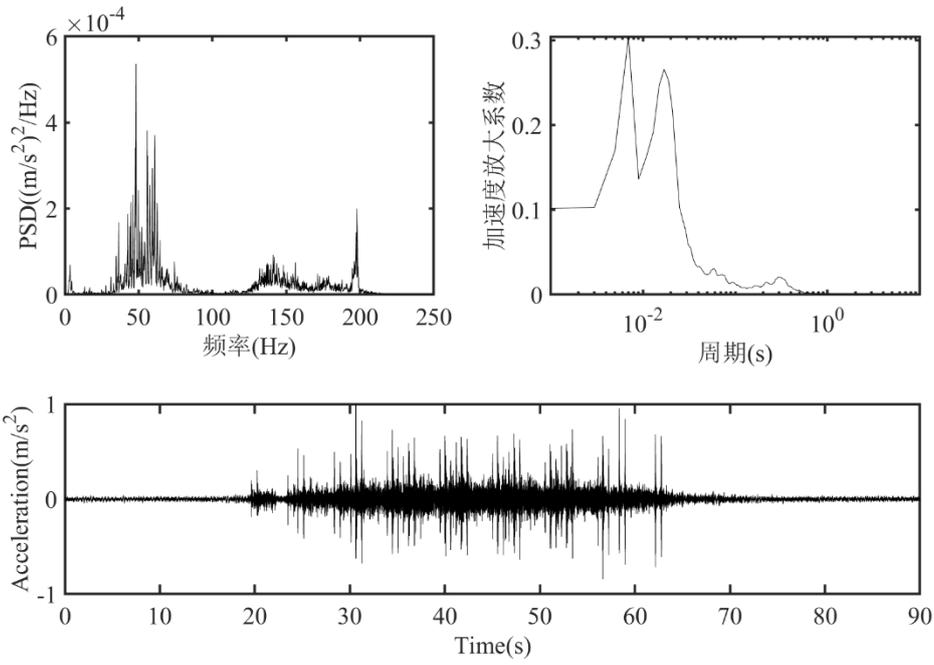


图 B 15 时程 5-Z 向 (测试时轨道类型为短柱)

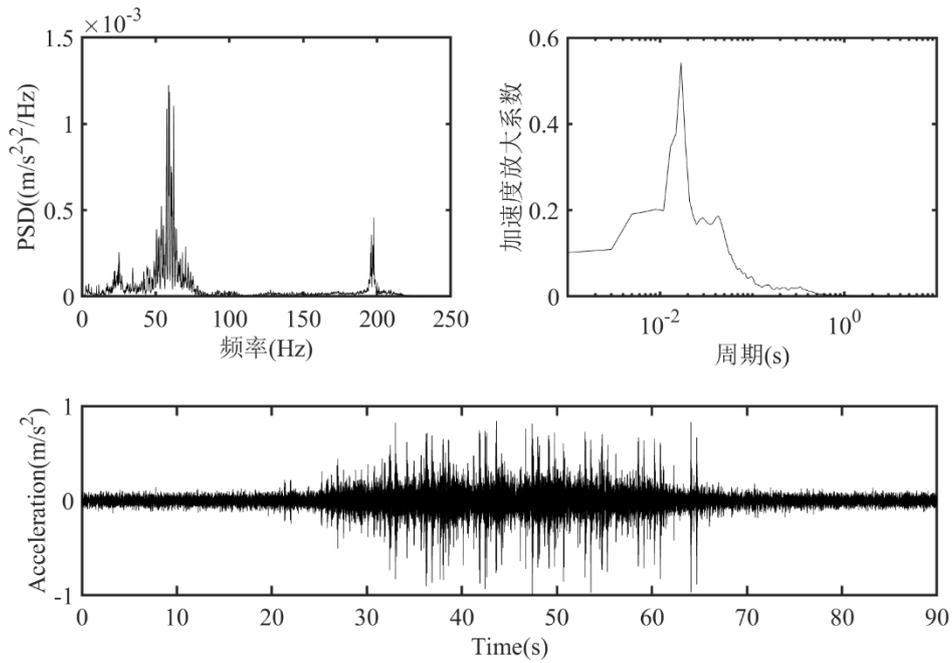


图 B 16 时程 6-X 向 (测试时轨道类型为短柱)

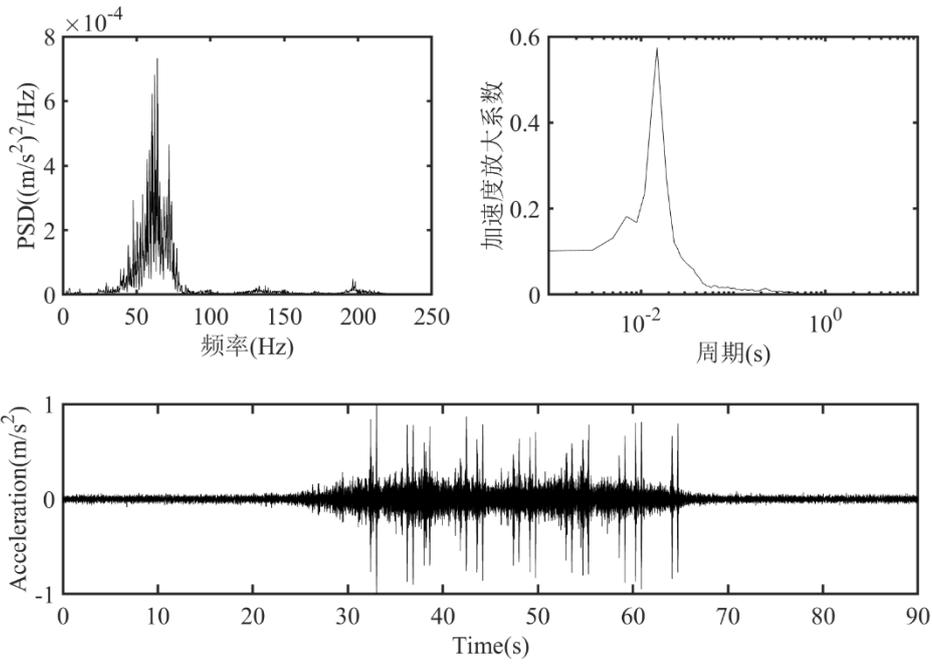


图 B 17 时程 6-Y 向 (测试时轨道类型为短柱)

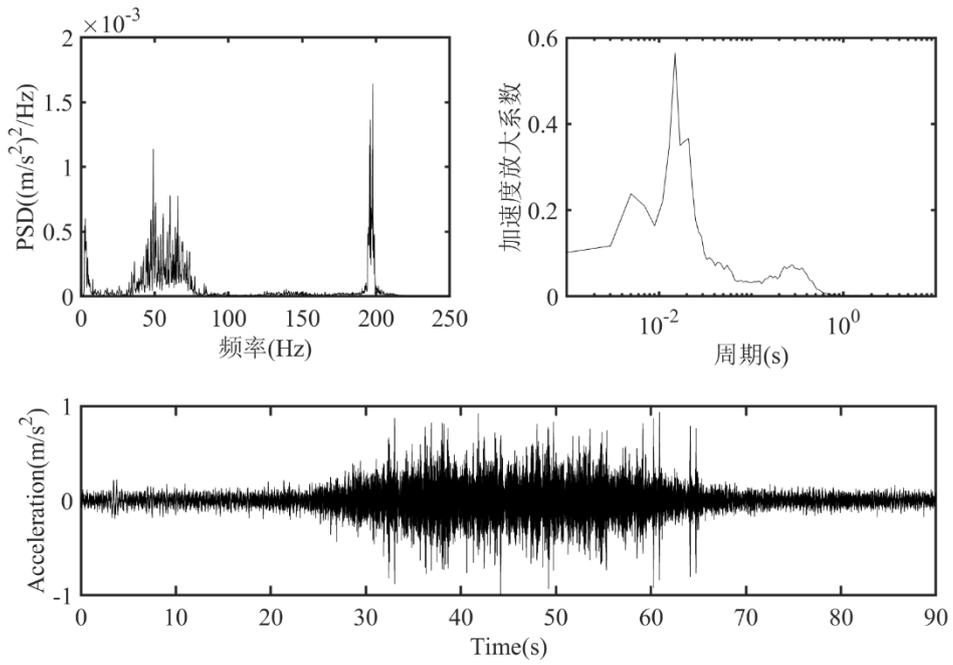


图 B 18 时程 6-Z 向 (测试时轨道类型为短柱)

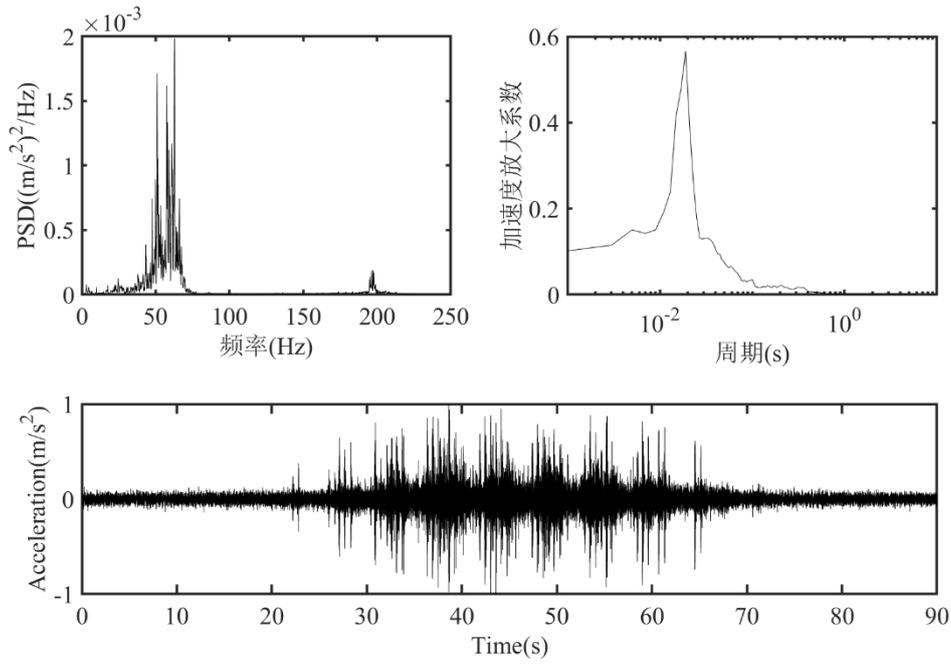


图 B 19 时程 7-X 向 (测试时轨道类型为短柱)

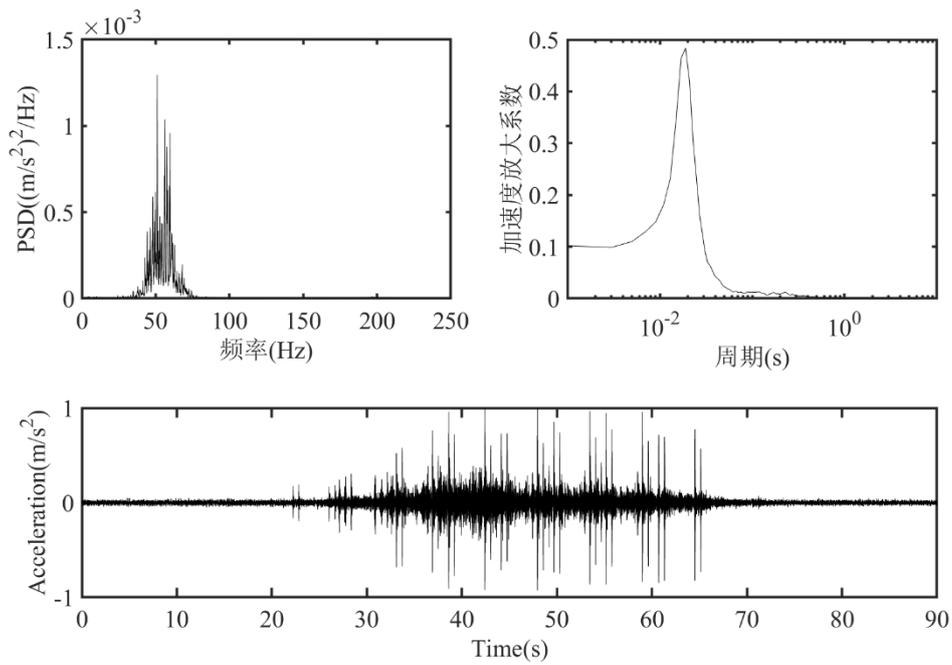


图 B 20 时程 7-Y 向 (测试时轨道类型为短柱)

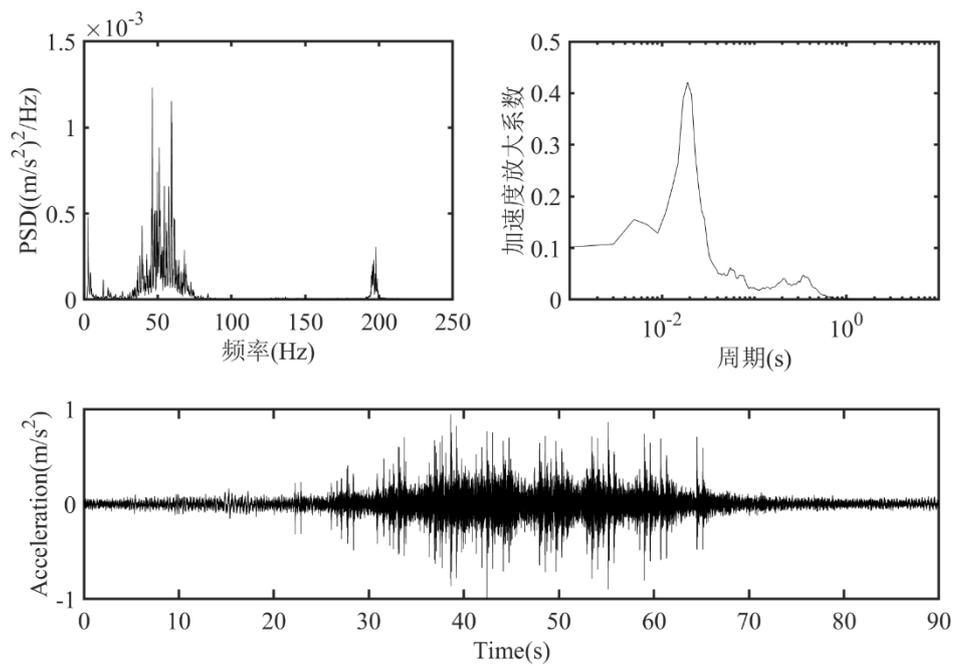


图 B 21 时程 7-Z 向 (测试时轨道类型为短柱)

附录 C

C.0.1 城市轨道交通上盖建筑物室内二次噪声评价量，应采用中心频率 31.5Hz~250Hz 的 1/1 倍频程等效声级 ($L_{eq,f}$)。

C.0.2 城市轨道交通上盖建筑物振动和二次噪声影响的位置和严重程度，应采用舒适度评价，综合振动单值评价量和二次噪声评价量。

C.0.3 城市轨道交通上盖建筑物室内二次噪声，应分别计算昼间和夜间的等效声压级。应找出最大 A 声级、第一次到达最大 A 声级以下 10dB 时对应的起始时间 t_1 、最后到达最大 A 声级以下 10dB 时对应的终止时间 t_2 ，并应计算 t_1 至 t_2 时间段内，中心频率为 31.5Hz、63Hz、125Hz、250Hz 的 1/1 倍频程等效声级 ($L_{eq,f}$)。在测量时段内，昼间和夜间的等效声压级应按下列式计算：

$$L_{eq,i} = 10 \lg \left(\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} 10^{0.1L_{p,i}} dt \right) \quad (\text{A.0.1-4})$$

式中： $L_{eq,i}$ ——昼间或夜间第 i 列列车通过时，测点的二次噪声声压级 (dB)；

t_1 ——第 i 列列车通过时，第一次到达最大 A 声级以下 10dB 时对应的起始时间；

t_2 ——第 i 列列车通过时，最后到达最大 A 声级以下 10dB 时对应的终止时间；

$L_{p,i}$ ——第 i 列列车通过时，某时刻 t 的瞬时声压级 (dB)。

C.0.4 城市轨道交通上盖建筑物内二次噪声限值应符合表 C.0.4 的规定。

表 C.0.4 城市轨道交通上盖建筑物室内二次噪声限值 (dB)

建筑物功能类型	房间名称	时段	限值等级	1/1 倍频程中心频率			
				31.5Hz	63Hz	125Hz	250Hz
居住	卧室	昼间	一级	76	59	48	39
			二级	79	63	52	44
		夜间	一级	69	51	39	30
			二级	74	57	45	37
	起居室	全天	一级	76	59	48	39
			二级	79	63	52	44
商业和商务办公		全天	二级	79	63	52	44
车间办公区		全天	二级	79	63	52	44

注：1. 一级限值应为适宜达到的限值；

2. 二级限值应为不得超过的限值。

C.0.5 上盖结构建成之后，宜完成项目的振动噪声舒适度评价报告，报告宜包含以下内容：

1 上盖结构建造前的振动二次噪声级；

2 结构设计阶段评估的振动噪声敏感位置及振动二次噪声级；

3 采用的减振降噪措施；

4 周边环境噪声水平已经严重受到交通噪声的影响，上盖结构建成后的振动二次噪声级，有条件的提供居民感受报告。

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

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：

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”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

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 XXX-2021

条文说明

目 次

1	总 则.....	46
2	术语和符号.....	47
2.1	术 语.....	47
3	基本规定.....	49
3.1	一般规定.....	49
3.2	结构布置.....	50
3.3	分期实施与预留.....	52
4	荷载与作用.....	53
4.1	一般规定.....	53
4.2	城市轨道交通荷载.....	53
4.3	盖上结构荷载.....	53
4.4	风荷载.....	55
4.5	其他荷载.....	57
5	非隔震结构抗震设计.....	58
5.1	一般规定.....	58
5.2	盖下结构抗震设计.....	58
5.4	转换层抗震设计.....	59
5.5	全框支剪力墙结构抗震设计.....	59
6	隔震结构抗震设计.....	60
6.1	一般规定.....	60
6.2	地震和车辆运行振动作用.....	60
6.3	隔震层设计.....	60
6.4	隔震层以下结构设计.....	61
6.5	叠层厚橡胶支座设计.....	62
6.6	组合三维隔震（振）支座设计.....	63
7	舒适度评价.....	64
7.1	一般规定.....	64
7.2	计算方法.....	64
8	基础设计.....	67
8.2	结构基础设计.....	67

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。标准的主要内容即为规定设计中如何考虑上盖开发结构与轨道交通结构之间的相互影响，进行上盖结构设计。对于城市轨道交通工程建设时对上盖开发未考虑或考虑不足，后期额外增加上盖开发的项目，可以参照本标准进行上盖结构设计。

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亦适用。此处的紧邻的范围，为轨道交通相关保护区。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1~2.1.3 按城市轨道交通上盖开发，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，其中板地、盖下结构、盖上结构的剖面示意图 2.1.1-1~2.1.1-2。从上盖结构设计出发，城市轨道交通上盖结构可分为上盖非隔震结构（图 2.1.1-1）和上盖隔震结构（图 2.1.1-2），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。

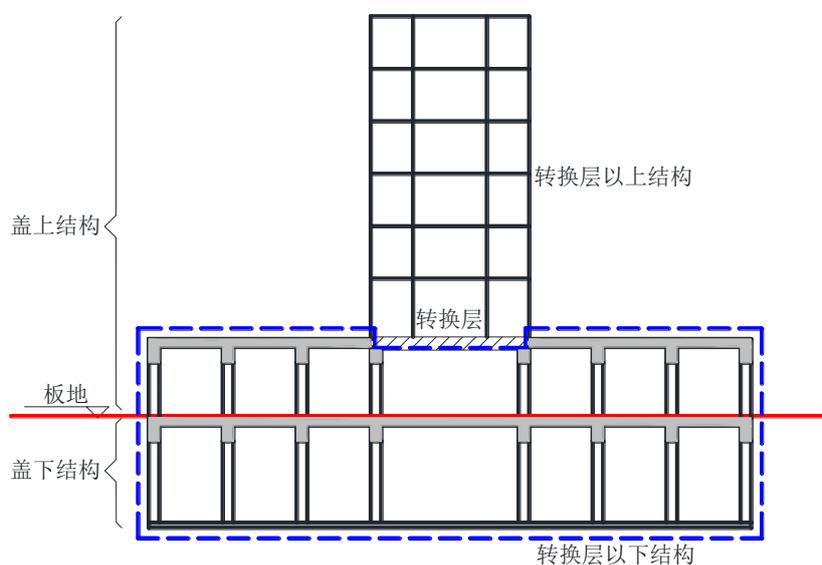


图 2.1.1-1 城市轨道交通上盖非隔震结构剖面示意

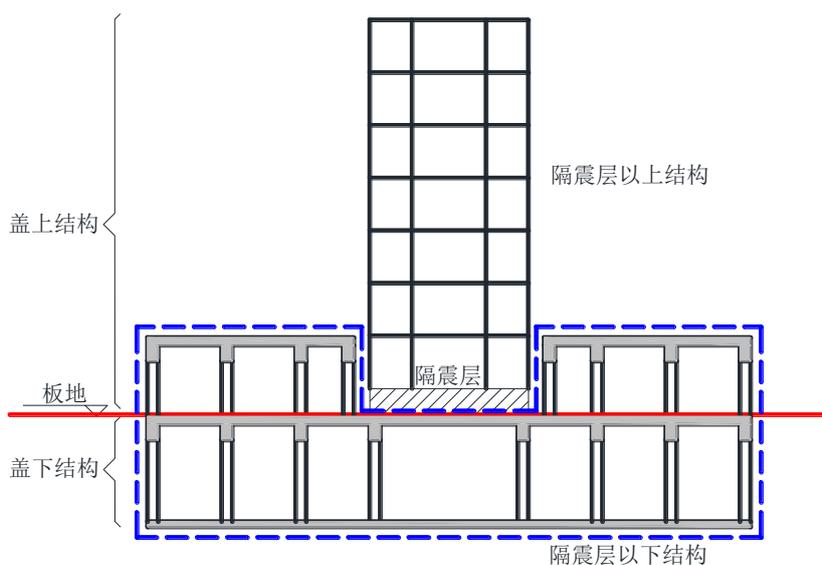


图 2.1.1-2 城市轨道交通上盖隔震结构剖面示意

当车站结构与上盖结构设缝时，两者以结构缝分界。当车站结构与上盖结构未设缝时，车站结构关联范围按图 2.1.1-3 确定。其中阴影为车站范围，外部虚线框表示车站结构关联范围。

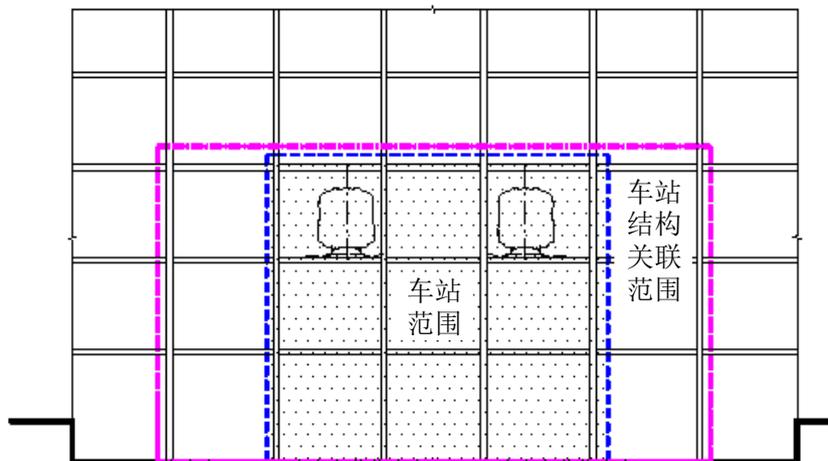


图 2.1.1-3 车站结构关联范围示意

2.1.7 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。本标准参考行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》（JGJ3），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。

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和规范与一般工民建有较大差异，体现在设计方法、荷载、设计指标及构造要求等方面。轨道交通上盖开发结构类型仍属于建筑结构范围，因此，结构设计应遵循现行的建筑结构相关规范。盖下结构作为直接服务于轨道交通的结构，应同时满足城市轨道交通相关规范中要求，目前城市轨道交通设计规范中与车辆基地上盖开发有关的规范主要有：《地铁设计规范》GB50157、《城市轨道交通结构抗震设计规范》GB50909等，本规范编制过程中也借鉴了地方标准的有关内容，如广东省标准《高层建筑混凝土结构技术规程》DBJ/T 15-92-2021、《上海市城市轨道交通上盖建筑设计标准》DG/T J08-2263、《深圳地铁车辆基地上盖建筑结构设计指南》等。

3.1.2 从建筑结构的角度看，上盖结构仍然是常见的结构形式，并不因其为轨道交通和上盖开发而形成新的结构类型，只是由于其与轨道交通相结合，需要满足轨道交通相应的使用功能，而具有结构的特殊性。结构设计应在满足轨道交通特殊要求（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，与上述各专业配合，确定兼顾各方的结构方案。近年来由于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，部分设计人对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，没有充分考虑到轨道交通的特点，将盖上、盖下完全割裂，尤其是在进行盖上建筑布局时，完全忽视了为满足下部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，使得结构造价提高等。因此，结构设计时应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。

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、层高亦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，也常应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，均应按此原则设计。

3.1.3 分期建设时，盖下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 《地铁设计规范》规定车辆基地的地面建筑设计使用年限为50年，而上盖开发建筑一般为普通住宅、办公或商业建筑，设计使用年限相同，因此，开发后结构设计使用年限一般可按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，设计使用年限取100年。结构设计使用年限50年和100年对结构的影响较大，对工程造价影响也很大，在确定采用设计使用年限100年时应格外慎重。

由于地铁车辆基地与盖上开发功能不同，其物理分界面对防火有特殊要求，盖上建筑消防疏散要求。目前一般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。结构设计应根据耐火极限要求，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，但应进行经济比较。

3.1.7~3.1.9 地铁车辆基地上盖开发前期投资巨大，与不开发的车辆基地相比较，仅一层上盖（含基础）造价比不开发的车辆基地高3~5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，选择合适的结构形式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。结构形式应在进行充分比较的前提下确定。

目前，地铁车辆基地上盖开发项目普遍存在以下问题：项目前期结构专业参与不够，前期方案确定过程中对结构方案考虑不足，从业主、项目负责人到车辆基地工艺专业对上盖开发结构特殊性所带来的结构专业的需求了解不深，常常未针对项目的具体特点进行具有针对性的结构方案预留，当结构专业参与工作时，前期方案已经过多轮评审、审批等过程，场站、工艺、规划等专业条件已基本固定，“不能更改”；从而形成结构专业只能在“既有”条件下“将就”，失去了与各专业配合形成更合理方案的最好机会。

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。

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。

2 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、柱轴力及地质条件确定柱距，必要时可以加密。但在垂直于轨道方向，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竖向构件截面尺寸及布置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应留有足够的余地。

检修库区跨度大（一般最小 15m~21m 左右），层高大（一层层高可达 12m~14m），并不适宜进行高强度开发，宜作为盖上绿化、运动场地或低矮建筑布置，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。

咽喉区盖上一般作为绿化和低矮建筑开发区域。盖下结构柱网不规则，但并非无规律可循，一般靠近库区范围垂直于轨道方向可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，股道之间有常出现较大的空隙，因此，在布置盖上建筑时应充分了解咽喉区柱网的布置特点，合理来利用可起到少转换、节省投资的效果。

3 盖上开发建筑投影范围内布置足够的盖下竖向构件（框架转换柱、剪力墙），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，结构布置时应尽量避免，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。以一个典型的运用库盖上开发住宅结构为例，转换层以上结构一个一梯两户的住宅单元范围内直接支撑盖上结构框架柱不宜少于6根。

4 试车线运行速度高，列车振动作用明显，且振动对物业开发影响大，应设缝分离。

3.2.7 轨道交通车辆基地上盖开发盖下结构平面尺寸大，不同功能的区域盖下结构的层高、跨度差别较大，尤其是运用库和检修库之间，因此，应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应分开，咽喉区与出入段线之间也应分开。盖上建筑布置也应有此分区概念，盖上建筑一般不应跨区布置。以运用库为例，平面尺寸依然很大，应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，但分缝数量不宜过多，一般以1~2道变形缝将运用库分为2~3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。

塔楼范围以外裙楼对上部塔楼可以很好的嵌固形成整体，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受力反而不利。

3.2.8 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，应采取相应的措施。对于超长结构，当长度较小时，一般可采取设置后浇带、配置温度分布筋的方式；当长度较大时，可增加预应力钢筋，以控制楼盖内的混凝土拉应力值。除此之外，还应对施工提出相应的要求，如：结构合拢温度、混凝土材料、分段跳仓施工以及混凝土养护等。同时，应考虑温度、收缩变形对竖向构件的附加应力。

3.2.9 由于地铁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，而地铁运营对沉降变形要求很高，一般情况下当盖下结构一层结构完成后较短的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。为了减小结构由于后期沉降变形的附加应力，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 由于地铁车辆基地上盖开发结构一般不能同期施工，尤其是盖下结构一层、二层，往往作为上部开发结构的施工场地，其中，一层楼盖结构常常由施工阶段工况控制，因此，结构设计应考虑施工阶段的验算。为了尽可能减少施工荷载的影响，有条件时应与施工单位配合，提前确定施工场地安排。

3.3.3 对钢筋和型钢可采用低标号混凝土进行包裹保护，对预埋件可涂刷防腐蚀涂层保护。

3.3.4 车辆基地防水要求在板地接缝处板下设通长下挂水沟，故缝边双柱后退，设置挑板留出沟安装空间，避免水沟被柱打断。

4 荷载与作用

4.1 一般规定

4.1.1 对楼面和屋面活荷载应按《建筑结构荷载规范》GB 50009考虑使用年限的调整系数 γ_L 进行调整；对雪荷载、风荷载和地震作用，应取重现期为设计使用年限，按有关规范直接采用。

盖上机动车道路的级别应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理要求确定。当公共通道无法确保仅开行小汽车和消防车时，则应按市政道路考虑车辆荷载。

4.2 城市轨道交通荷载

4.2.2~4.2.3 盖下工艺生产和设备用房的荷载应以相关专业的提资为准。考虑到设备在使用期内可能存在检修、改造的可能，条文表格中给出了最低限值。

各种设备用房和工艺生产用房中荷载参考《建筑结构荷载规范》GB 50009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系数偏小。

4.3 盖上结构荷载

4.3.1 表格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，宜满足条文表格要求，二期上盖正式实施阶段，所有建筑方案均已稳定情况下，可只按实际取值

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，并应得到当地消防部门认可。

现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009-2012中消防车荷载取值并不包含此类车辆。广东省《建筑结构荷载规范》DBJ 15-101-2014中针对530kN消防车荷载及550kN车辆荷载进行包络考虑，确定了该荷载对应不同板跨的荷载值。其车辆荷载，如图4.3.2-1所示。

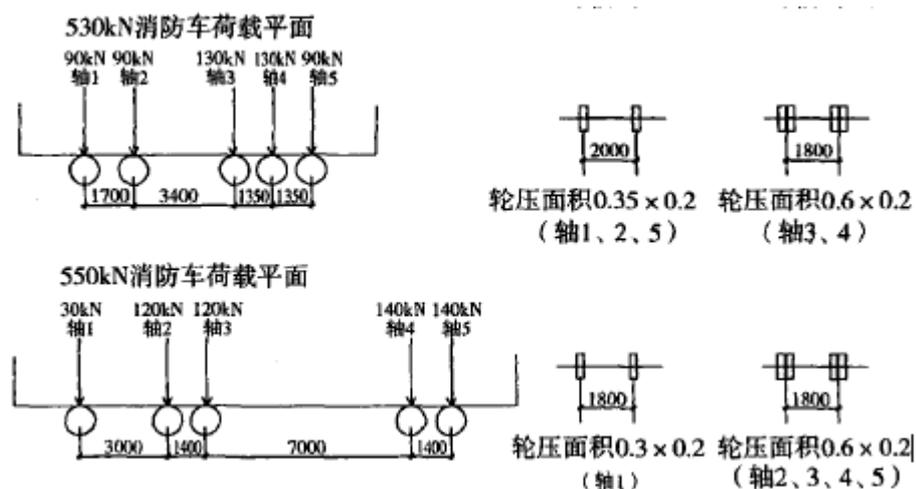


图 4.3.2-1 车辆荷载图

该规范附录B给出的有限元分析计算得到的结果如下：

表4.3.2-1 单向板楼盖消防车活荷载标准值 (kN/m²)

板跨	板跨度			
	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4.3.2-2 双向板楼盖消防车活荷载标准值 (kN/m²)

板跨	板跨度				
	2.5x2.5	3x3	4x4	5x5	6x6
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4.3.2-1及表4.3.2-2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国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009一致，550kN级消防车荷载相对300kN消防车荷载的放大系数均未超过1.20。故本标准统一按《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。

国内也出现更大型的消防车，如101m登高平台消防车，该类消防车主要技术参数，见表4.3.2-3和表4.3.2-4。

表 4.3.2-3 101m 登高平台消防车主要技术参数

项目	参数	项目	参数
满载总重	62 t	转弯半径(墙对墙半径)	14.25 m
发动机功率	309 kW	最大工作高度	101 m
驱动型式	12 × 4	最大工作外伸	28 m
长宽高	17.1 m × 2.5 m × 3.95 m	水平面下工作深度	7.8 m
载水量	-	安全工作负载	400 kg
水泵流量	4000 L/min	回转范围	360°
水炮射程	70 m		

表 4.3.2-4 101m 登高平台轮胎主要技术参数

项目	轴一	轴二	轴三	轴四	轴五	轴六
轮胎尺寸	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 (bar)	9.0	9.0	8.0	8.5	8.5	9.0
轴距 (m)		1.94	2.605	1.355	1.355	1.305

4.3.4 消防车实际操作时，消防车支腿需垫防滑胶片约1.2 m × 1.2 m的木质垫板，每个支腿可承受的最大荷载为300 kN。最高水位指最不利情况下的水位。对无顶盖的储水结构，算至侧墙顶；对有顶盖的储水结构，算至顶盖板底。

4.3.7 板地作为上盖结构施工场地，可能承受较大的施工荷载，主要来源包括支模、堆载、工程器械、运输车辆等。此荷载与使用阶段活荷载性质有明显不同，不宜两者直接取最大值用于盖板设计。

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

施工荷载需结合盖板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一般高层建筑相同，作用在结构上的风压是基

于准定场假设，不考虑结构振动产生的自激力。因此，风荷载标准值 w_k 计算表达形式与荷载规范相同，基本风压 w_0 、风压高度变化系数 μ_z 以及结构体型系数 μ_s 均沿用荷载规范给出的结果。

4.4.4 本标准风振分析假定隔震层位于弹性状态。需要顺风向风振响应计算的基底隔震建筑结构参考《建筑结构荷载规范》GB 50009 的 8.4.1 进行。

背景分量因子是理论式(A.0.1-2)简化后的结果。由于结构底部置入了相对软弱的隔震层，结构的振型形状在隔震层部位有相对滑移，这与非隔震结构大有不同。该模态可以由图 4.4.4-1 近似确定。与原荷载规范中给出的非隔震加建结构的背景分量因子相比，公式前添加了一个由振型影响的修正系数。对楼层质量沿高度非均匀变化，特别是当隔震层质量与上部结构质量不一致的情况，应该采用理论式(A.0.1-2)。在计算中还需考虑由于迎风面和背风面风压相关性带来的经验折减系数 0.7 来计算。

风荷载谱采用 Davenport 经验式，共振分量因子的计算表达式与原规范相同。当结构隔震后，与非隔震结构相比结构频率降低，隔震层上部结构整体滑移，结构整体阻尼减小，当隔震层设置较大的附加阻尼时，整体结构的阻尼主要来源隔震层附加阻尼。所以结构振动一阶频率和阻尼需采用结构隔震后的结果，而不是非隔震的结果。

隔震结构的一阶动力参数（包括频率、振型、阻尼比）可以根据非隔震结构的动力参数确定按下式近似确定：

$$f_1 = \text{Im}(1/\lambda_1)/(2\pi) \quad (4.4.4-1)$$

$$\zeta_1 = -\text{Re}(1/\lambda_1)/\text{abs}(1/\lambda_1) \quad (4.4.4-2)$$

$$\Theta_1 = \left(\begin{array}{c} 1 \\ \mathbf{r} + \text{abs} \left(\frac{\omega_b^{-2} + (2\zeta_b \omega_b^{-1} + \lambda_1)\lambda_1}{\omega_b^{-2} S} \right) \phi_1 \end{array} \right) \quad (4.4.4-3)$$

λ_1 是以下行列式方程的根按实部降序排列的第一个根（方程的根是复数）：

$$\begin{vmatrix} \omega_b^{-2} + (2\zeta_b \omega_b^{-1} + \lambda_1)\lambda_1 & \omega_b^{-2} \sum_{i=1}^n \phi_{i1} m_i / (m_b + m) \\ \omega_{01}^{-2} \sum_{i=1}^n \phi_{i1} m_i / \sum_{i=1}^n \phi_{i1}^2 m_i & \omega_{01}^{-2} + (2\zeta_{01} \omega_{01}^{-1} + \lambda_1)\lambda_1 \end{vmatrix} = 0 \quad (4.4.4-4)$$

其中， $\omega_b = \sqrt{k_b / (m_b + m)}$ 为隔震层的名义圆频率； m_b 、 k_b 和 ζ_b 分别为隔震层楼板质量、隔震层刚度和隔震层阻尼比； m_i 和 m 分别为上部各楼层质量和上部结构总质量； $\omega_{01} = 2\pi f_{01}$ 、 ζ_{01} 和 $\phi_1 = [\phi_{11}, \phi_{21}, \dots, \phi_{n1}]^T$ 为非隔震结构的圆频率、阻尼比和一阶振型，它们的取值可以直接参考《建筑结构荷载规范》。分析中，根据离散振型 Θ_1 插值可得到隔震结构沿着高度连续的振型 $\varphi_1(z)$ 。

隔震建筑结构的横风向和扭转风振以及风振系数研究暂不成熟，故未列入本标准。

4.5 其他荷载

4.5.3 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。

4.5.4 根据现场测试获得振动时程，宜采用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。

5 非隔震结构抗震设计

5.1 一般规定

5.1.1 按照《建筑抗震设防分类标准》GB 50223和《城市轨道交通抗震设计规范》GB 50909，地铁车辆基地抗震设防类别为标准设防类（丙类），而盖上开发一般为住宅、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，尚没有相关明确的依据。

根据《建筑抗震设防分类标准》，建筑各区段重要性有显著不同时，可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，而根据多个当前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。

当盖上开发有中小学、幼儿园、大型商业或其他规范规定属于重点设防类的建筑时，其对应的盖下结构也应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或设计使用年限或抗震设防类别的功能时，宜在盖下单独形成结构与主体上盖结构分开或基础以上分开，形成标准较高独立的结构，否则，主体上盖开发结构相关范围内的设计标准应予提高。

5.1.4 对超出现行标准适用高度、结构体系的结构，应对关键梁、柱节点进行罕遇地震作用下的结构分析，还宜选择整体结构模型、结构构件、节点模型进行必要的抗震性能试验研究，结构模型及试验应能够真实反映结构的动力特性。

5.1.7 结构抗震性能目标应根据抗震设防类别、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。

5.2 盖下结构抗震设计

5.2.1 地铁车辆基地上盖开发项目由于其特殊性，层刚度差别很大，往往不能满足规范要求的层刚度比限值。以运用库为例：一层（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，一般层高约在8.5m~9.5m之间，考虑基础埋深，结构计算高度约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，一般层高约4.5m~5.5m。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，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《建筑抗震设计规范》GB 50011附录E。

5.4 转换层抗震设计

框支框架除竖向荷载外，还承担大部分风荷载、地震作用引起的剪力和弯矩，故截面尺寸不宜太小，待积累更多的经验再做改进；由于转换层有刚性楼板，框架和框支框架按其侧向刚度分配地震剪力，转换层非框支柱也需有必要的延性和承载力。

5.5 全框支剪力墙结构抗震设计

本节是参照广东省标准《高层建筑混凝土结构技术规程》DBJ/T 15-92的相关规定，结合城市轨道交通上盖结构的特点拟定的。与广东省标准的定义不同，本标准中全框支剪力墙结构不包括采用隔震转换的情形；采用隔震转换时应参照第6章有关规定执行。

6 隔震结构抗震设计

6.1 一般规定

6.1.3 上盖隔震结构隔震装置的设计需考虑地震安全性要求，隔振装置的设计需考虑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。

6.1.4 高宽比是控制结构抗倾覆能力的重要参数，一般情况下，隔震结构的适用高宽比应满足相应抗震结构的要求，当突破规范限值时应做详尽的论证工作，并采用诸如增设支座抗拉装置等措施，确保隔震结构具有抗倾覆的安全裕度。

6.1.5 盖上隔震装置有可能不是标准化的产品，所以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使用年限比建筑结构要低得多，因此需考虑未来更换的可能性。

6.1.6 本标准上盖隔震结构隔震设计推荐采用现行国家标准《建筑隔震设计标准》GB/T 51408，因此隔震设计目标相对于抗震结构有所提高，当业主愿意通过适当增加投资来提高进一步隔震结构的性能时，推荐采用性能化的设计。

6.2 地震和车辆运行振动作用

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 隔震设计方法，其中振型反应谱法是基于考虑阻尼矩阵的复振型分解的反应谱方法计算，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是一致的，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 上盖结构振震双控设计时，应采用时程分析，由于车辆运行振动作用，人体感知区域主要位于楼板上，因此计算模型应考虑楼板构件的作用，不推荐采用刚性楼板假定，在建立楼板构件时，推荐采用壳单元，可承受任何力和弯矩，通过合理的网格剖分，在分析中能够考虑其平面内以及平面外刚度、质量对结构的贡献，并且能够得到面单元自身的应力、应变等情况。同时，当面对象的厚度小于其边长 $1/10$ 时，横向剪应力对变形的影响可以忽略，一般采用薄壳单元来模拟。

6.3 隔震层设计

6.3.1 隔震层支座平面布置应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，使隔震层在合理承受上部结构竖向荷载的同时，总水平刚度尽量低且具有适

当的复位能力，从而保证减震效果。隔震支座应设置在受竖向力较大的位置，间距不宜过大，其规格、数量和分布应根据竖向承载力、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，宜将铅芯橡胶支座布置在外围，同一隔震层中选用多种类型规格的隔震装置时，每种隔震装置的承载力和水平变形能力应能充分发挥，并保证隔震装置的竖向变形基本一致。

6.3.2 对于城市轨道交通上盖结构，隔震层宜布置在隔震层以上结构底部，隔震支座的平面布置宜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（柱）不对齐时，应采取结构转换措施，如厚板转换，同时应开展专项分析，进行厚板正截面验算，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，应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，可将安装及维修隔震层所预留的空间做成地下室，隔震装置可放置在地下室的柱顶部位。隔震支座布置宜规则且对称，以保证隔震结构的质心和刚心尽可能重合，一般要求隔震结构偏心率不大于3%。隔震装置平面布置宜与上部结构和下部结构中的竖向受力构件的平面位置应保持一致，当位置无法保持一致时，应采用结构转换措施进行处理。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，风荷载作用下的传统结构的水平向响应较小，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，导致风致振动也会更加明显。在隔震层支座选择时，需要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风振动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 对于隔震结构，隔震层以下结构应具有较高的高度。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，在极罕遇地震作用下，盖下结构宜采用更加严格的弹塑性层间位移角限值，以提高隔震结构体

系的整体稳定性和安全性。

隔震层以下结构中直接支撑隔震层以上结构，及其相邻一跨的相关构件，应为关键构件，盖下结构其他竖向构件可取为普通竖向构件。

6.5 叠层厚橡胶支座设计

6.5.1 叠层橡胶支座的第一形状系数均大于 20，一般地，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，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，并通过数值模拟验证了较普通橡胶支座具有更好的竖向隔振效果。因此这里给出第一形状系数小于 16 的设计区间，而第二形状系数采用《橡胶支座第 3 部分 建筑隔震橡胶支座》GB 20688.3 第二形状系数的要求，大于 3.0，供隔振设计选择。

6.5.2 为确保叠层厚橡胶支座应用的安全稳定性，设计面压是关键参数，根据工程实际经验，竖向设计压应力应根据极限压应力的 1/3 取值，并根据规范对叠层橡胶支座设计压应力的限值，取二者较小值。

6.5.3 《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。本标准定义了竖向隔振刚度，推荐采用 10% 的加载幅值。基于课题组前期多次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 $F=ma$ ，代入，可认为车辆运行时给结构施加的力约为 0.1 倍 m ，因此推荐采用 10% 的设计面压作为加载幅值。

考虑到叠层厚橡胶支座的橡胶层较厚，型式检验时应给出设计面压下的竖向压缩变形，为控制各橡胶支座的变形差。

竖向极限压应力的给出，主要为了控制设计面压，使其更符合设计要求。

基于现有的叠层厚橡胶支座试验研究，结果表明现有规范对叠层厚橡胶支座力学性能指标计算误差较大，因此叠层厚橡胶支座的设计应基于试验性能参数。同时，在支座设计时，应通过试验获取支座极限压应力和拉应力，供设计参考，并获悉其稳定性，防止支座应用过程中失稳。

6.5.5 采用叠层厚橡胶支座的城市轨道交通上盖抗震双控结构的设计，应采用时程分析计算，

在计算地震作用时，应输入竖向压缩刚度作为竖向计算刚度；在计算车辆运行作用时，应输入竖向隔振刚度作为竖向计算刚度。

6.6 组合三维隔震（振）支座设计

6.6.1 叠层橡胶支座或摩擦摆支座与钢弹簧/碟簧串并联组合，并通过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。

6.6.4 叠层橡胶支座或摩擦摆支座的选用与布置应主要考虑地震作用，叠层橡胶支座与钢弹簧/碟簧隔震（振）装置水平向设计时应考虑隔震（振）装置的整体水平力学特性，设计方法可参考现行国家标准《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应主要考虑对竖向环境振动，对竖向部分进行性能设计时，应考虑隔震（振）装置的整体竖向力学特性。

隔震（振）装置的水平 and 竖向力学性能应根据试验测试得到，试验测试方法可参考测试叠层橡胶支座水平和竖向力学性能的相关标准。

6.6.5 参考上述叠层厚橡胶支座描述，叠层橡胶支座或摩擦摆支座与钢弹簧/碟簧串并联组合隔震（振）装置也应提供竖向隔振刚度，作为振震双控设计计算模型输入。

7 舒适度评价

7.1 一般规定

7.1.1 参考《住宅建筑室内振动限值及其测量方法标准》GB/T 50355-2018，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，因此采用铅垂向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，振动源是从上盖建筑物下穿经过的城市轨道交通线路引起的，测量点位移上盖建筑物室内，测量值为铅垂向的振动加速度。

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级数据，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，相应的限值应较国家标准《城市区域环境振动标准》GB 10070-88所规定的限值提高3dB。

本标准将上盖建筑物功能类型分为居住、商业和商务办公、市政和交通设施，对应于《城市区域环境振动标准》GB 10070-88的区域类型居住和文教区、混合区和商业中心区、铁路干线两侧，因此相应此三类区域的限值提高3dB。

7.1.2 国际标准《Mechanical vibration and shock-evaluation of human exposure to whole-body vibration-Part 1: General requirements》ISO 2631/1: 1997和英国标准《Guide to evaluation of human exposure to vibration in buildings》BS 6472: 1984指出在以下情况下应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或大于6；波峰因数不大于9或不大于6，但包含有间歇振动、偶然性冲击振动、瞬态振动。参考《建筑工程容许振动标准》GB 50868-2013，交通振动对建筑物内人体舒适度影响的评价应附加竖向四次方振动剂量值。本标准规定，对于城市轨道上盖建筑物室内的评价，在铅垂向Z振级最大值的基础上，也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，依据英国标准《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。

7.1.3 结构噪声一般为低频窄带噪声，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，低估了低频噪声对人的影响，因此规定分频噪声限值更为合理。

7.2 计算方法

7.2.1 用于计算的振动及二次噪声数据，其测试范围应符合下列规定：

轨道交通项目建设或运营过程中产生的结构振动及室内二次噪声影响测试范围：距轨道交通线路中心线两侧 50 米范围内的工程场地，以及与地铁上盖结构直接相连的建筑物，并宜根据建设项目工程实际需要、临近是否有特殊建筑保护需求以及环境影响的程度适当扩大或缩小（例如：地铁地下线平面圆曲线半径 ≤ 500 m 或岩石和坚硬土地质条件下的室内二次结构噪声评价范围扩大到线路中心线两侧 60 m）。

7.2.2 测试条件应符合下列规定：

振动及二次结构噪声现场测试时段应覆盖轨道交通运营早晚高峰期和昼夜间正常运行期，测量时段不应小于 1h。昼间测量时，应选择行车高峰时段；夜间测量时间内应有不少于上下行各 5 列车通过。振动评价采用竖向四次方振动剂量值时，昼间测量时段为 6 时至 22 时，夜间测量时段为 22 时至次日 6 时；

测量过程中，轨道交通之外的其他环境因素不应对振动和二次噪声测量产生干扰。

7.2.3 振动测量测点选择和拾振器安装应符合下列规定：

沿建筑高度的振动测点布置，宜包括地铁上盖结构基础顶部、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；

同一楼层内测点的布置，应以到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宜少于 3 个；建筑物室内振动测点位置宜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，可设在建筑物的基础距外墙 0.5m 范围内的振动敏感处；

对面积不大于 20 m^2 的房间，应至少选取 1 个测点，测点应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，测点宜选在室内地面中央；

对面积大于 20 m^2 的房间，应至少选取 3 个测点，测点应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，测点应在室内地面均匀分布；

拾振器应安装在平坦、坚实的地面上，且应安装牢固，不得置于地毯、地胶、草地、沙地等松软或弹性地面上；

拾振器灵敏度主轴方向应为铅垂向。

7.2.4 结构二次噪声测点选择应符合下列规定：

室内二次噪声测点宜分别布置在上部建筑首层、1/3、1/2、2/3 楼层高度处及建筑顶层代表性房间内；

同一楼层内二次噪声测点应选取大、中、小三个不同尺寸的房间设置。对面积不大于 20 m^2 的房间，应至少选取 1 个测点，测点应设置于距地面约 1/3 层高并位于距墙体 1/3 跨度的位

置，当该位置无法测量时，可选在房间中央；对面积大于 20 m^2 的房间，应至少选取 3 个测点，测点应选在结构噪声敏感位置，当振动敏感位置无法确定时，测点应均匀分布；

测点距地面高度应为 $1.2\text{m}\sim 1.6\text{m}$ ；距房间墙壁距离不应小于 0.5m ；测点周围 0.5m 内不应有声反射物，各测点之间距离不应小于 1.5m ；

测量时，测点所在房间门窗应紧闭，测量房间所在套型外门窗应紧闭。

7.2.5 数据处理应符合下列规定：

记录每次列车通过的铅垂向 Z 振级 ($VL_{z\max}$)，每个测点连续测量不少于 10 次列车；若两小时内列车次数不足十次的，应按两小时内实际通过车数测量，以测量值的算数平均值为评价量；

当采用铅垂向 Z 振级 ($VL_{z\max}$) 进行振动评价时，振动引起的二次噪声应与振动同步测量；

通过实测数据确定轨道交通运营二次噪声强度时，在排除其他噪声源的情况下，测量值与室内背景噪声的声级差小于 3dB(A) 时，测量无效。此时，如果室内背景噪声小于限值，则可以认为轨道交通运营对被测建筑物室内二次噪声没有影响，否则应分析室内背景噪声超标的原因。

8 基础设计

8.2 结构基础设计

8.2.1 基础联系梁的截面尺寸及配筋可按以下方法确定：以柱底部剪力或相邻柱较大重力荷载设计值的10%（7度0.1g及以下）或20%（7度0.15g及以上）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，可设置配筋混凝土刚性地坪，厚度不宜小于150mm，单层双向配筋，配筋率不宜小于0.25%。

8.2.3 当零应力区超出相关限值时，应采用抗拔桩、抗拔锚杆等措施承担基础底面全部拉应力。

8.2.4 对于软土地区桩基础，水平抗滑移力宜全部由桩基承担。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，可考虑承台（或扩展基础）侧向水平土抗力的有利作用。

8.2.7 上盖建筑开发体量大，由此造成的基础沉降对轨道交通线路和轨道的沉降影响不可忽视。本条文针对不同的道床结构形式，提出了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，对于故铺轨后的基础沉降量也作了相应要求。