

DB 3502

厦 门 市 地 方 标 准

DB 3502/T 146—2024

轨道交通工程人防设计标准

Design Criteria of Civil Air Defence for Urban Rail Transit

2024 - 10 - 12 发布

2024 - 10 - 12 实施

厦门市市场监督管理局 发 布

前 言

根据《厦门市市场监督管理局关于下发 2023 年厦门市地方标准制定项目计划的通知》（厦市监标准〔2023〕3 号）要求，标准编制组经广泛调查研究，总结国内实践经验，参考有关国内规范、标准，结合厦门市城乡建设发展需求，在广泛征求意见的基础上，制订本标准。

本标准主要内容是：1. 总则；2. 术语；3. 基本规定；4. 建筑；5. 结构；6. 防护设备与消波系统；7. 通风；8.给排水；9. 电气；10. 预埋穿墙（板）管线的防护密闭处理；11. 防淹与防洪；附录。

本标准由厦门市国防动员办公室负责管理，由厦门轨道建设发展集团有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中，如有意见和建议，请寄送至厦门市国防动员办公室工程处（地址：厦门市石泉路 15 号，邮政编码：361013；联系电话：0592-2120158），以供今后修订时参考。

本标准起草单位： 厦门轨道建设发展集团有限公司
厦门市国防动员办公室
上海民防建筑研究设计院有限公司
中铁第一勘察设计院集团有限公司
中铁二院工程集团有限责任公司
中国铁路设计集团有限公司
中铁第四勘察设计院集团有限公司

主要起草人： 杨海杰 陈 勇 陈卫文 刘志超 万国辉 王永明 张俊波 刘继明 鲁 辉
周 敏 王 姝 张竹清 李明洪 弓瑞强 温敏健 熊树森 梁 骁 刘剑春
黄 军 薛 佳 石端文 石建刚 陈 焘 韩 冰 刘 浩

主要审查人： 林文耕 贾建华 蔡许鑫 陈建设 解 峰

目 次

1 总则..... 1

2 术 语..... 2

3 基本规定..... 5

3.1 一般规定..... 5

3.2 设防等级与设防标准..... 5

3.3 平战功能转换..... 5

3.4 管线布置与管孔防护密闭处理..... 6

4 建筑..... 7

4.1 一般规定..... 7

4.2 防护单元划分..... 7

4.3 口部..... 7

4.4 口部的防护密闭..... 9

4.5 房间及装修..... 9

5 结构..... 11

5.1 一般规定..... 11

5.2 材料..... 11

5.3 结构动力计算..... 12

5.4 常规武器作用计算的一般规定..... 14

5.5 常规武器非直接命中时的结构荷载计算..... 15

5.6 常规武器在出入口外爆炸时的结构荷载计算..... 19

5.7 核爆炸地面空气冲击波及土（岩）体压缩波参数..... 21

5.8 核爆作用下明挖法施工工程结构荷载..... 23

5.9 核爆作用下暗挖法施工工程结构荷载..... 25

5.10 核爆作用下防倒塌棚架、口部、临空墙结构荷载..... 28

5.11 相邻防护单元之间的隔墙和楼板的荷载..... 28

5.12 截面设计..... 28

5.13 防护设备门框墙的设计与计算..... 31

5.14 构造规定..... 35

6 孔口防护设备与消波系统..... 38

6.1 一般规定 38

6.2 荷载 38

6.3 扇体结构计算 39

6.4 消波系统 41

6.5 孔口防护设备的配置要求 43

7 通 风 44

8 给排水 45

9 电气 46

10 预埋穿墙（板）套管的防护密闭处理 48

11 防淹与防洪 49

11.1 一般规定 49

11.2 扇体结构计算 50

11.3 启闭机及控制系统 54

11.4 止水装置 55

附录 A 钢筋混凝土板柱结构设计要点 56

A.1 一般规定 56

A.2 承载能力计算 56

A.3 构造要求 57

A.4 反托板的设计要点 58

附录 B 钢管混凝土柱的设计要点 61

B.1 承载能力计算 61

B.2 构造要求 61

附录 C 钢筋混凝土反梁设计要点 63

C.1 承载能力计算 63

C.2 构造要求 63

本标准用词说明 64

条文说明 65

1 总则

1.0.1 为使轨道交通工程的人防设计符合一类人民防空重点设防城市的战略定位和“交通运营为主、兼顾人民防空”的功能定位，做到安全、适用、经济、合理，依据《中华人民共和国人民防空法》、《人民防空工程战术技术要求》和《福建省人民防空条例》制定本标准。

1.0.2 本标准适用于厦门市域内的新建、续建、改（扩）建轨道交通工程和技术条件类似的城际铁路工程。

1.0.3 轨道交通人防工程设计必须贯彻“长期准备、重点建设、平战结合”的建设方针，并应符合厦门市人防建设与城市建设相结合的有关规划。

1.0.4 轨道交通人防工程属于甲类人防工程，应符合战时对核武器、常规武器、化学武器和生物武器的防护要求。

1.0.5 新建轨道交通工程，应统一规划、同步设计，充分利用轨道交通工程平时的设备设施完善战时的防护功能，并应纳入城市人民防空防护体系；轨道交通人防工程的设施和设置方式，应充分兼顾平时防灾。

1.0.6 轨道交通工程的人防设计除应符合本标准外，尚应符合《轨道交通工程人防设计规范》RFJ02、《人民防空工程设计规范》GB50225、《工程结构通用规范》GB55001、《混凝土结构通用规范》GB5508、《建筑防火通用规范》GB55037、《城市轨道交通工程项目规范》GB55033等国家现行规范和标准的规定。

1.0.7 独立于轨道交通工程正线以外的辅助工程如停车场、车辆段、车辆基地、主变电所等应按福建省有关法律法规政策依据《人民防空地下室设计规范》GB50038开展设计。

2 术 语

2.0.1 平时 peacetime

和平时期的简称。国家或地区既无战争，又无明显战争威胁的时期。

2.0.2 战时 wartime

战争时期的简称。国家或地区自开始转入战争状态直至战争结束的时期。

2.0.3 临战 imminence of war

临战时期的简称。国家或地区从转入战争状态至战争爆发或战役、战斗即将进行的时期。

2.0.4 主体 main part

人防工程中能满足战时防护和主要功能要求的部分。如有人员掩蔽要求的人防工程最里一道密闭门以内的部分。

2.0.5 口部 gateway

人防工程主体与地表面或与其它地下建筑的连接部分。对于有防毒要求的人防工程，口部一般包括竖井、扩散室、防毒通道、密闭通道、洗消间或简易洗消间、预滤室、滤毒室和出入口最外一道防护门或防护密闭门以外的通道等。

2.0.6 孔口 opening

人防工程主体与外部空间相通的孔洞。包括出入口、通风口、排烟口、天线竖井等。

2.0.7 主要出入口 main entrance

战时人员或车辆进出有保障，且使用方便的出入口。

2.0.8 垂直式出入口 vertical entrance

口部通道中有竖井的出入口。

2.0.9 穿廊式出入口 porch entrance

口部通道出入端从两个方向通至地面的出入口。

2.0.10 直通式出入口 straight entrance

口部通道在水平方向上没有转折通至地面的出入口。

2.0.11 单向式出入口 entrance with turning

口部通道在水平方向上经转折，并从一侧通至地面的出入口。

2.0.12 防护密闭门 airtight blast door

既能阻挡冲击波，又能阻挡毒剂进入的门。

2.0.13 密闭门 airtight door

能阻挡毒剂，但不能阻挡冲击波进入的门。

2.0.14 密闭通道 airtight passage

出入口相邻的防护密闭门与密闭门或相邻的两道密闭门之间，靠密闭来阻挡毒剂等侵入工程内部的通道。该通道在工程外染毒情况下，不允许人员出入。

2.0.15 防护单元 protective unit

人防工程中防护设施和内部设备均能自成体系的使用空间。

2.0.16 冲击波 shock wave

空气冲击波的简称。核爆炸或常规武器爆炸在空气中形成的具有空气参数强间断面的纵波。

2.0.17 冲击波超压 positive pressure of shock wave

冲击波压缩区内超过周围环境大气压的压力值。

2.0.18 消波系统 attenuating shock wave system

由消波设备、设施组成，具有削弱冲击波功能的系统。

2.0.19 消波率 attenuating shock wave ratio

通过消波系统后，降低的冲击波超压与进入消波系统前的冲击波超压的百分比。

2.0.20 扩散室 room for reducing shock wave

利用内部空间来降低由通风口或排烟口进入的冲击波超压的房间。

2.0.21 防爆波活门 blast valve

简称活门。设置在通风口或排烟口处，在冲击波到来时能迅速关闭的防冲击波设备，如悬摆式防爆波活门、胶管式防爆波活门等。

2.0.22 防护密闭隔墙 protective airtight partition wall

简称防护密闭墙。既能抗御预定的爆炸冲击波作用，又能隔绝毒剂的隔墙。一般采用整体浇筑钢筋混凝土结构。

2.0.23 密闭隔墙 airtight partition wall

简称密闭墙。能隔绝毒剂的隔墙。一般采用整体浇筑钢筋混凝土结构。

2.0.24 临空墙 blastproof partition wall

一侧直接承受空气冲击波作用，另一侧不接触岩、土的墙。

2.0.25 防倒塌棚架 collapse-proof shed

设置在出入口敞开段上方，用于防止口部堵塞的棚架。棚架能在预定的冲击波和地面建筑物倒塌荷载作用下不致坍塌。

2.0.26 荷载 load

作用于结构上的外力。按作用力的变化情况分为静荷载和动荷载。

2.0.27 静荷载 static load

简称静载，其作用力变化引起结构振动的惯性力可以忽略不计的荷载。

本标准所指静荷载，主要是土(岩)体压力、回填材料自重、地下水静压力、永久设备重量及结构自重等。

2.0.28 动荷载 dynamic load

简称动载，其作用力变化引起结构振动的惯性力必须加以考虑的荷载。

本标准所指动荷载，主要是核爆炸或常规武器爆炸所产生的冲击波荷载、压缩波荷载。

2.0.29 等效静载 equivalent static load

与动荷载对结构产生的效应相当的静荷载。

2.0.30 直接命中 direct hit

防护结构受到常规武器直接打击威胁。

2.0.31 非直接命中 indirect hit

防护结构未受到常规武器直接打击威胁。通常考虑常规武器在结构外墙外侧一定距离处地面爆炸，结构只承受爆炸动荷载作用。

2.0.32 防爆波地漏 blastproof floor drain

战时能防止冲击波和毒剂由排水管进入工程内部的地漏。

2.0.33 防爆波清扫口 blastproof floor meatus

能防止排水管外部的冲击波和毒剂由排水管进入工程内部，打开后可以清扫、排水的口。

2.0.34 防淹门 flood gate

设置于线路下穿江、河、湖等水域区段两端，用以阻挡水下隧道破损后的水流入相邻车站的设备，常与人防区间隔断门合并设置。

2.0.35 平战转换 exchange between peacetime and wartime

平时向战时或战时向平时的转换，特指平战结合工程平时功能与人防功能之间的转换。

3 基本规定

3.1 一般规定

- 3.1.1 轨道交通工程战时在拟定武器袭击和袭击后的城市次生灾害作用下，应具有保障人员安全交通、转移和物资运输的功能，车站宜作为紧急人员掩蔽部或物资中转、储备场所使用。
- 3.1.2 轨道交通工程地下区段的设防应与运营功能相协调。
- 3.1.3 轨道交通工程地下设防区段应自然连续。
- 3.1.4 轨道交通工程设防车站战时使用的出入口、风井口，应远离加油站、加气站等易燃易爆易污染场所，并应有可靠的防洪排涝措施。
- 3.1.5 轨道交通工程与附近地下工程相连通时，不得减弱或破坏轨道交通工程的既有设防标准和设防功能，并应考虑二者防洪标准的一致性。
- 3.1.6 轨道交通工程设防区段结构不得凸出地面。
- 3.1.7 轨道交通工程的运营指挥中心应设置防空警报系统接口，用以接收和发布有关防空、防灾信号。
- 3.1.8 轨道交通工程宜与附近重要人防工程和人防主干道、支干道相连通，暂时不能连通时，应根据人防建设规划预留连通口。
- 3.1.9 由于规划调整等原因须对既有轨道交通人防工程实施改造时，应维持原防护标准和功能要求。

3.2 设防等级与设防标准

- 3.2.1 轨道交通工程正线设防区段的抗力等级应按防核武器 6 级和防常规武器 6 级、防化等级丁级设计。
- 3.2.2 轨道交通工程设防车站公共区宜作为战时紧急人员掩蔽区域使用，1 个标准防护单元（单线车站加区间）掩蔽人数按 1000 人设计，多线换乘车站按每增加一条线路增加 500 人最多不超过 3000 人设计。
- 3.2.3 平战功能紧急转换时限为 3 天。

3.3 平战功能转换

- 3.3.1 轨道交通人防工程中下列项目不得预留临战施工：
 - 1 所有出入口、通风口、排烟口、隧道出入线口、区间隔断等处的人防孔口防护设备；
 - 2 钢筋混凝土浇筑的结构或构件；
 - 3 清洁式通风相关设备；
 - 4 防爆地漏、防护闸阀；

5 人防设备、人防兼防淹/防洪设备的供配电，通向防护区外照明回路的熔断保护等；

6 预埋穿墙（板）管孔的防护密闭处理。

3.3.2 轨道交通人防工程中下列项目宜在 3 天紧急转换时限之前的战争准备期间设置或完成到位：

1 商用桶装饮用水、饮水机及饮水用具、清洁式进风密闭通道冲洗用水及贮水、增压器具、管路材料等；

2 干厕构筑材料包括隔断、干马桶、垃圾袋等；

3 个别管孔封堵材料和封堵工器具；

4 出入口防护段内影响门扇启闭的装修、装饰移除；

5 所有孔口防护设备的启闭调试、清洁式通风相关设备的调试、防护闸阀的维护检查等；

6 必备的单人防化装备。

3.3.3 轨道交通人防工程中下列项目宜在 3 天紧急转换时限内设置或完成到位：

1 商用桶装饮用水、饮水机及饮水用具、清洁式进风密闭通道冲洗用水及贮水、增压器具、管路等布置、安装；

2 干厕布置、构筑；

3 空调系统冷媒管的拆除、封堵，冷凝水管短管拆除、盲板封堵；

4 做好随时关闭孔口防护设备、通风模式转换、防护闸阀关闭等项目的准备。

3.3.4 平战功能转换应包括防护功能转换、使用功能转换、内部设备及系统的转换等内容。平战功能转换设计宜采用标准化、定型化的防护转换设备和构件。

3.4 管线布置与管孔防护密闭处理

3.4.1 穿越人防门框墙、临空墙、防护密闭隔墙、人防结构外墙的给排水、电气等管缆均应从预埋穿墙套管内通过，穿越施工完成后由专业单位按本标准第 10 章的规定实施防护密闭处理措施。

3.4.2 通风、排烟管路（含超长通道消防排烟管路等）不应穿越设防出入口部位的临空墙、人防门框墙、防护密闭隔墙，且不宜穿越设防其它区域内的临空墙、人防门框墙、防护密闭隔墙。

3.4.3 排油烟管路应从专设人防门洞而非墙洞内穿越，并设置成方便拆卸形式，为关闭人防门而拆卸的时间应与关门处于同一时长等级；卫生间排气管路不宜穿越临空墙、人防门框墙，必须穿越时，应选配合适的防护设备。

3.4.4 与线路运营无关的管道不应穿越地铁人防工程。

4 建筑

4.1 一般规定

- 4.1.1 除由于区间隔断或防淹设置需要的构造性空间外，非换乘车站、独立的区间不应分区域划入不同的防护单元；车站运营区及其投影范围内地下部分的物业或商业区域，宜完整划入车站所属防护单元。
- 4.1.2 区间隔断、防淹、出入线口部防护兼防洪设备，应布置在低速或极低速运营区段，且宜就近布置在车站长度范围以内的站端线路平直区段，并宜避开小半径线路、大坡度区段。
- 4.1.3 出入口通道、消防疏散口和风井口等出地面口部设置的孔口防护设备，应当兼顾防洪涝灾害，防洪水头应不低于口外百年一遇洪涝水位与门槛标高的差值加 1.5 米。
- 4.1.4 相邻地下工程有连通需求的，应将连通道和口部防护设备一次设计、施工安装到位。当所连通地下工程防洪标准低于轨道交通工程防洪标准时，防护设备应具有应急防洪功能，并按手、电两用且可远控的方式设置。
- 4.1.5 处于地面以下的工程结构，可不验算早期核辐射的防护层厚度。
- 4.1.6 出入口通道内装修装饰的设置应尽可能排除对防护设备启闭的影响，其平战转换时间应与防护设备的启闭时间处于同一时长等级；设置有电动应急防洪设备的通道，设备启闭范围内不得装修。
- 4.1.7 工程口部通道内各专业管线、吊支架等的布置不得影响防护设备的正常启闭。

4.2 防护单元划分

- 4.2.1 一座车站与一个相邻区间宜划分为一个防护单元，一个防护单元内的车站数量不得超过 1 座，一个防护单元内所含区间数量不应大于 2 段；
- 4.2.2 换乘车站宜分线划分防护单元，当建筑空间不可分隔或分隔将导致运营功能严重受损时，换乘车站宜合并划分为一个独立的防护单元。
- 4.2.3 区间隔断的设置，除应符合本标准第 4.2.2 条规定外，尚应结合设备对线路、轨道、限界的适应能力，对车站两端的输入条件资料（线路坡度和曲率半径、限界的超宽、轨道的超高等）作对比分析，选用适当的设备类型和规格。
- 4.2.4 附属于轨道交通线路以外，独立设置的轨道交通附属地下工程，宜单独划分防护单元。

4.3 口部

- 4.3.1 战时人员出入口和战时通风道应与平时的出入口和通风道兼用设置。
- 4.3.2 战时人员出入口的设置应符合下列规定：
- 1 每个防护单元战时人员出入口的数量不应少于 2 个（不含连通口和竖井式出入口），并应有不少

于 1 个直通室外地面,战时人员出入口宜设置成不同朝向,各战时人员出入口之间的距离不宜小于 15m。

2 直通室外地面的主要人员出入口宜设置在地面建筑倒塌范围之外,当不能设置在倒塌范围之外时,口部应有防倒塌堵塞措施。地面建筑倒塌范围按表 4.3.2 取值。

3 战时人员出入口宜结合地铁的平时出入口设置。

表 4.3.2 地面建（构）筑物倒塌范围

地面建筑结构类型	砌体结构	钢筋混凝土结构、钢结构
倒塌范围	0.5 倍建筑高度	5m

注： 1. 表中“钢筋混凝土结构”系指剪力墙和框架结构；
2. 表中“建筑高度”系指室外地面至地面建筑檐口或女儿墙顶部的高度。

4.3.3 垂直电梯宜设置于防护区以外的部位；不得不直通防护区时，应设置一道防护密闭门实施临战封堵。

4.3.4 出入口通道的宽度和门洞尺寸，应按平时和战时的用途、功能要求、建筑效果和对非标准设备型号数量的适当控制等因素综合确定。出入口门洞尺寸宜按表 4.3.4-1 取值，消防疏散口门洞尺寸宜按表 4.3.4-2 取值。

表 4.3.4-1 出入口通道人防门洞尺寸（m）

门洞净宽度 W	门洞净高度 H
2.5	2.5
3.0~4.0	2.6
4.5~6.5	2.8
7.0~9.0	3.0

注： 1 门洞净宽度应以 0.5m 为模数；
2 单、双扇形式应根据建筑方案和设备设计基础条件共同确定。

表 4.3.4-2 消防疏散口通道人防门洞尺寸（m）

门洞净宽度 W	门洞净高度 H
1.0, 1.2, 1.3, 1.5, 1.8, 2.0	≥ 2.1

注：消防疏散口门洞高度宜全线统一。

4.3.5 战时通风口的设置应符合下列规定：

1 战时通风口应设置在地面建筑物倒塌范围之外,当不能设置在倒塌范围之外时,口部应有防倒塌堵塞措施。

- 2 战时进、排风口宜设置在车站的两端,进风口宜设置在上风口；
- 3 战时通风口不应设置在战时人员出入口内；
- 4 战时通风竖井应采取防雨、防洪、防堵塞等措施。

4.3.6 通风道的宽度和门洞尺寸，应按建筑方案、过风面积、均衡投资控制、对设备的成品保护和对非标准设备型号数量的适当控制等因素综合确定。通风道门洞尺寸宜按表 4.3.6 取值。

表 4.3.6 通风道人防门洞尺寸（m）

门洞净宽度 W	门洞净高度 H
2.0~8.0	3.0, 3.5, 4.0

注： 1 门洞净宽度应以 0.5m 为模数，门洞高度应主要以过风面积、均衡投资控制、结构安全等因素选取；
2 单双扇形式应根据建筑方案和设备设计基础条件共同确定。

4.3.7 轨行区防护单元间隔断、防淹、出入线口部防护设备的门洞尺寸，应根据线路坡度、曲率半径、行车速度、隧道活塞效应、接触网高度、限界超宽和轨道超高等因素综合确定。

4.4 口部的防护密闭

4.4.1 战时人员出入口通道、战时通风道、出入线内应设置防护密闭门、密闭门各一道，并应位于出入口、通风道的水平地段，出入线防护设备宜位于线路平直地段或设备可以适应线路坡度的地段。

4.4.2 区间隔断和防护单元间连通口部位应设置一道双向承载的防护密闭门，且宜向车站方向开启。

4.4.3 战时不用的工程出地面口部各通道应设置防护密闭门一道，并应位于通道内的水平地段。

4.4.4 各口部防护密闭门不宜设置在受常规武器破片直接命中的部位，必须设置时应采取防破片措施，并应严格控制平战转换工程量。

4.4.5 各口部防护密闭门不得承受冲击波侧向或切向作用。当因土建条件限制无法完全避免时，应设置结构挡墙或挡梁等补充措施。

4.4.6 出入口通道防护设备宜靠近车站主体布置；通风道防护设备宜靠近竖井布置，防护密闭门门洞与竖井的相互位置关系，应在保证平时过风面积和路由顺畅的前提下，使得门扇处于平时开启状态和战时关闭状态下其上任一点至上方井口投影的距离均不小于 0.2m。

4.4.7 工程口部防护密闭门、密闭门的开启方向应符合下列要求：

- 1 防护密闭门应向外开启；
- 2 密闭门宜向外开启；

4.4.8 密闭通道的轴线长度宜不大于 5 倍的门扇开启所需的最小长度。

4.5 房间及装修

4.5.1 战时干厕、盥洗室宜与平时车站的公共厕所、工作人员厕所和盥洗室结合设置。当平时厕位数量不足时，可使用冲洗间、垃圾临时存放间等具有排风口的房间布置。宜采用制式干马桶和简易折叠式屏风隔断。男女人数比例可按 1:1 确定，男厕位宜按每 50 人一个厕位、女厕位宜按每 40 人一个厕位设计。

4.5.2 战时饮水间宜结合平时车站的饮水间设置，也可与饮用水贮存间一起设置在站厅层、站台层的贴墙位置。

4.5.3 车站公共区内的装修应选用防火、防潮材料，并满足防腐、抗震、环保及其它特殊功能的要求。车站各层顶板不应采用抹灰做法，可采用薄刮水泥腻子后喷涂或直接在混凝土面上喷涂。

4.5.4 车站人防结构中预埋或裸露的铁、木构件，应采取防锈、防腐措施。

4.5.5 设置应急防洪设备的部位，设备启闭范围内不得设置装修或其它影响远程启闭的构件、装饰等。

4.5.6 出入口通道人防防护段长度范围宜自然作为人防宣传窗口，可不做装修或挂装型装饰；必须设置装修时，达到关门条件的装修移除时间宜控制在 10min 以内。

5 结构

5.1 一般规定

5.1.1 轨道交通人防工程结构设计，应根据防护要求和受力情况，做到结构各个部位抗力相协调。

5.1.2 轨道交通人防工程结构构件承载力，应分别按平时（包括施工期间）使用极限状态和战时使用极限状态进行计算，并应取其中最不利结果进行设计。

5.1.3 平时使用极限状态下的结构设计荷载，应包括土（岩）体压力、水压力、结构自重等静荷载，防淹、防洪水头压力等偶然荷载，以及汽车压力等活荷载。平时使用状况的荷载确定和荷载效应组合，应按照现行国家有关标准执行。

5.1.4 战时使用状况的结构设计荷载，应包括规定的武器一次作用（动荷载）以及土（岩）体压力、水压力、结构自重等静荷载。战时使用状况的荷载效应组合应符合以下两款规定：

- 1 常规武器爆炸动荷载和静荷载同时作用；
- 2 核武器爆炸动荷载和静荷载同时作用。

5.1.5 当工程结构底板位于地下水位以下时，应进行平时使用状况下的结构漂浮验算；必要时，尚应进行平时使用状况下的结构倾覆及滑移验算。

5.2 材料

5.2.1 结构材料选择，应符合下列要求：

- 1 就地取材，采用坚固耐久、符合环保和防火要求的建筑材料；
- 2 与岩（土）体相接触的结构，采用钢筋混凝土；
- 3 当与侵蚀性介质接触时，材料采取防腐蚀措施；
- 3 采用耐久性混凝土，并满足现行混凝土结构耐久性设计标准要求；
- 4 承受动荷载作用的结构，混凝土强度等级不低于 C30，并应满足现行《混凝土结构通用规范》的要求；
- 5 钢纤维混凝土强度等级不低于 CF70，钢纤维的体积含量为 3%~4%。

5.2.2 静荷载作用下，材料强度标准值、设计值、弹性模量、泊松比等物理力学指标，应按《混凝土结构通用规范》（GB 55008）、《钢结构设计规范》（GB 50017）、《钢纤维混凝土》（JG/T 3064）的有关规定采用。

5.2.3 在动荷载作用时，材料强度设计值可按下列公式计算：

$$f_d = \gamma_d f \quad (5.2.3)$$

式中： f_d ——材料在动荷载作用下的强度设计值，N/mm²；

f ——材料在静荷载作用下的强度设计值， N/mm^2 ；
 γ_d ——动荷载作用下材料强度综合提高系数，可按表 5.2.3 选用。

表 5.2.3 动荷载作用下材料强度综合提高系数

材 料		r_d
普通钢筋	HPB300	1.40
	HRB400、HRBF400、RRB400	1.20
	HRB500、HRBF500	1.10
钢材	Q235 钢	1.50
	Q345 钢	1.35
	Q390 钢	1.25
	Q420 钢	1.20
混凝土	$\leq\text{C}55$	1.50
	C60~C80	1.40
钢纤维混凝土	$\geq\text{CF}70$	1.40

注：1. 同一材料的综合调整系数，可适用于拉、压、弯、剪、扭等不同受力状态；
2. 对于采用蒸气养护或掺入早强剂的混凝土，表中 r_d 值应乘以 0.90 的折减系数。

5.2.4 动载作用下，混凝土、钢纤维混凝土的弹性模量可取静荷载作用下的 1.2 倍，钢材的弹性模量和各种材料的泊松比可取静荷载作用时的数值。

5.3 结构动力计算

5.3.1 人防工程结构动力计算，可采用等效静荷载法，并可按单自由度体系，进行弹性或弹塑性工作阶段的计算。必要时也可按多自由度体系进行计算。

5.3.2 当采用等效静荷载计算结构内力时，可将复杂结构简化为基本结构或构件，分别计算出等效静荷载标准值后，按静荷载作用下结构内力的计算方法，计算原结构的内力。

5.3.3 对砌体结构或构件，允许延性比 $[\beta]$ 值应取 1.0；对钢筋混凝土结构或构件，允许延性比 $[\beta]$ 取值应按表 5.3.3 采用。

表 5.3.3 钢筋混凝土结构或构件的允许延性比 $[\beta]$ 值

使用要求	动荷载类别	受力状态			
		受弯	大偏心受压	小偏心受压	轴心受压
密闭、防水要求高的 结构或构件	核武器爆炸动荷载	1.0	1.0	1.0	1.0
	常规武器爆炸动荷载	2.0	1.5	1.2	1.0

续表 5.3.3 钢筋混凝土结构或构件的允许延性比 $[\beta]$ 值

使用要求	动荷载类别	受力状态			
		受弯	大偏心受压	小偏心受压	轴心受压
密闭、防水要求一般的结构或构件	核武器爆炸动荷载	3.0	2.0	1.5	1.2
	常规武器爆炸动荷载	4.0	2.5	1.5	1.2
战时无人员掩蔽且无密闭和防水要求的结构或构件	核武器爆炸动荷载、常规武器爆炸动荷载	5.0	3.0	1.5	1.2

5.3.4 结构或构件的动力系数 K_d ，应根据结构或构件的工作状态、等效单自由度体系自振圆频率 ω 和荷载的波形确定。

- 1 当核爆动荷载的波形简化为无升压时间的三角形时，动力系数 K_d 应按下列公式计算：

$$K_d = \frac{2[\beta]}{2[\beta]-1} \quad (5.3.4-1)$$

式中 $[\beta]$ ——结构或构件的允许延性比。

- 2 当核爆动荷载的波形简化为有升压时间的三角形时，动力系数 K_d 可按下列公式计算：

$$K_d = \frac{[\beta] + \sqrt{[\beta]^2 - (2[\beta]-1)(1-\varepsilon^2)}}{2[\beta]-1} \quad (5.3.4-2)$$

当 $\omega t_{0h} \leq \pi$ 时

$$\varepsilon = \frac{2 \sin\left(\omega t_{0h} \cdot \frac{90^\circ}{\pi}\right)}{\omega t_{0h}} \quad (5.3.4-3)$$

当 $\omega t_{0h} > \pi$ 时

$$\varepsilon = \frac{2}{\omega t_{0h}} \quad (5.3.4-4)$$

式中： K_d ——结构或构件的动力系数；当 $K_d < 1.05$ 时，应取 $K_d=1.05$ ；

t_{0h} ——核爆土中压缩波升压时间（s）。

- 3 当常规武器爆炸动荷载的波形简化为无升压时间的三角形时，动力系数 \bar{K}_d 应按下列公式计算：

$$\bar{K}_d = \left[\frac{2\sqrt{2[\beta]-1}}{\omega t_0} + \frac{2[\beta]-1}{2[\beta]} \cdot \frac{\omega t_0}{\omega t_0+4} \right]^{-1} \quad (5.3.4-5)$$

式中 t_0 ——动荷载等效作用时间（s）。

- 4 当常规武器爆炸动荷载的波形简化为有升压时间的三角形时，动力系数 K_d 可按下列公式计算：

$$K_d = \bar{\xi} \cdot \bar{K}_d \quad (5.3.4-6)$$

$$\bar{\xi} = \frac{1}{2} + \frac{\sqrt{[\beta]}}{\omega t_r} \sin\left(\frac{\omega t_r}{\sqrt{[\beta]}} \cdot \frac{90^\circ}{\pi}\right) \quad (5.3.4-7)$$

式中 t_r ——动荷载等效升压时间（s）；

$\bar{\xi}$ ——动荷载升压时间对结构动力响应的影响系数，当 $\bar{\xi} < \frac{2[\beta]-1}{2[\beta]}$ 时，应取 $\bar{\xi} = \frac{2[\beta]-1}{2[\beta]}$ ；

\bar{K}_d ——无升压时间三角形动荷载作用下的结构动力系数，应按公式（5.3.4-5）计算。

5.3.5 对于明挖工程结构，顶盖覆土厚度不大于结构不利覆土厚度 h_m （按表 5.8.3 取值）的两倍时，核爆荷载作用下钢筋混凝土结构各部构件的动力系数 K_d 可按表 5.3.5 采用。

表 5.3.5 动力系数 K_d

结构部位	允许延性比 $[\beta]$				
	1.5	2.0	2.5	3.0	5.0
顶盖	1.50 ~ 1.40	1.33 ~ 1.20	1.25 ~ 1.15	1.20 ~ 1.05	1.11 ~ 1.00
外墙	1.35 ~ 1.26	1.20 ~ 1.08	1.13 ~ 1.04	1.08 ~ 1.00	1.00
底板	1.20	1.00	1.00	1.00	1.00

- 注： 1 当顶盖覆土厚度为 0 时，顶盖和外墙的动力系数应取大值；
- 2 当顶盖覆土厚度为不利覆土厚度的两倍时，顶盖和外墙的动力系数应取小值；
- 3 当顶盖覆土厚度小于不利覆土厚度的两倍时，顶盖和外墙的动力系数可取线性内插值。
- 5.3.6 结构等效单自由度体系的自振圆频率的计算应符合下列规定：
- 1 自振圆频率的计算，可不计入土（岩）体的质量；
 - 2 计算自振圆频率时，其振型可取与动荷载峰值分布相似的静荷载作用下的挠度曲线。

5.4 常规武器作用计算的一般规定

5.4.1 轨道交通人防工程防常规武器应按非直接命中打击方式、整体破坏作用计算。

5.4.2 常规武器爆炸空气冲击波作用在结构受爆面上的超压波形，可按等冲量简化为无升压时间的三角形（图 5.4.2）。紧邻下沉广场的临空墙结构，其受爆面上的反射超压峰值 $\Delta P_r = 0.95\text{MPa}$ ，反射冲击波按等冲量突加线性衰减荷载等效的超压作用时间 $t_0 = 4.04 \times 10^{-3}\text{s}$ 。

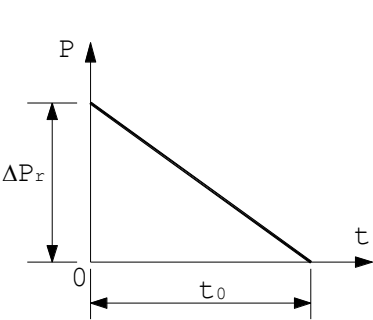


图 5.4.2 常规武器爆炸空气冲击波超压简化波形

ΔP_r —超压峰值（MPa）； t_0 —超压等效作用时间（s）

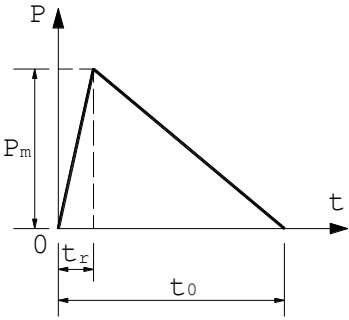


图 5.4.3 土中结构动荷载简化波形

P_m —动荷载峰值（MPa）； t_r —动荷载等效升压时间（s）； t_0 —动荷载等效作用时间（s）

5.4.3 常规武器爆炸地冲击作用在土中结构上的动荷载波形可按等冲量简化为有升压时间的三角形（图 5.4.3）。

5.5 常规武器非直接命中时的结构荷载计算

5.5.1 常规武器在地面爆炸时产生的地面冲击波超压参数可按下列公式计算：

当 $2.919 \leq L_i \leq 46.922$ 时

$$\Delta P_i = 154.63 L_i^{-3.0} + 4.0 L_i^{-1.5} \quad (5.5.1-1)$$

$$\tau_i = 1.959 \times 10^{-3} \Delta P_i^{-0.5} \quad (5.5.1-2)$$

式中 ΔP_i ——常规武器地面爆炸时，距装药中心水平距离为 L_i 处的地面冲击波超压值（MPa）；

L_i ——装药中心至计算点的水平距离（m）；

τ_i ——地面冲击波波形按等冲量突加线性衰减荷载等效的超压作用时间（s）。

5.5.2 当常规武器非直接命中地面爆炸时（图 5.5.2），作用在土中结构上的均布等效静荷载标准值可按下列公式计算：

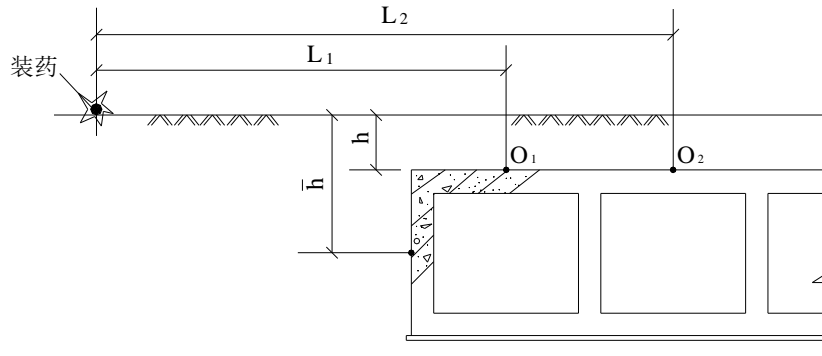


图 5.5.2 常规武器非直接命中示意图

1 平顶结构顶盖计算板块上的均布等效静荷载标准值，可按下列公式计算：

$$q_1 = C_a K_{d1} K_r P_h \quad (5.5.2-1)$$

$$P_h = \Delta P_i \exp \left(-n_1 \cdot \sqrt[3]{\frac{h}{1000 \tau_i}} \right) \quad (5.5.2-2)$$

$$t_r = (\gamma_c - 1) \frac{h}{c_0} \quad (5.5.2-3)$$

$$t_0 = t_r + \theta \tau_i \quad (5.5.2-4)$$

式中 q_1 ——顶盖计算板块的均布等效静荷载标准值（N/mm²）；

C_a ——土体拱效应系数，可按表 5.5.2-1 采用；

K_{d1} ——顶盖计算板块的动力系数，可按本标准第 5.3.4 条确定；

K_r ——顶盖的综合反射系数，当覆土厚度 $h = 0$ 时，可取 $K_r = 1.0$ ；当 $h \geq 2.0$ m 时，可取 $K_r = 1.5$ ；

当 $0 < h < 2$ m 时， K_r 可取线性内插值；

P_h ——计算板块中心处的土中压缩波峰值压力（MPa）；

ΔP_i ——计算板块中心在地表投影点处的地面冲击波超压值（MPa），可按本标准公式（5.5.1-

1) 计算;

n_1 ——感生地冲击在覆土介质中的衰减系数,当无实测资料时,可按表 5.5.2-2 采用;

h ——顶盖覆土厚度 (m);

τ_i ——计算板块中心处的地面冲击波按等冲量突加线性衰减荷载等效的超压作用时间 (s),

可按本标准公式 (5.5.1-2) 计算;

t_r ——顶盖土中压缩波等效升压时间 (s);

c_0 ——覆土介质的起始压力波速 (m/s),当无实测资料时,可按本标准第 5.7.2 条确定;

γ_c ——波速比,当无实测资料时,可按本标准第 5.7.2 条确定;

θ ——土中压缩波正压作用时间延长系数,当 $0 \leq h \leq 2\text{m}$ 时,可取 $\theta = 1.0 + 0.5h$; 当 $h > 2\text{m}$ 时,可取 $\theta = 2.0$;

t_0 ——作用在顶盖上的动荷载等效作用时间 (s)。

表 5.5.2-1 土体拱效应系数 C_a

允许延性比 $[\beta]$	土体内摩擦角 (°)		
	40	30	20
≤ 1.5	1.00	1.00	1.00
2、 2.5、 3	0.85	0.90	0.95
5	0.70	0.80	0.90

注: 1 本表为顶盖覆土大于或等于结构计算跨度时的拱效应系数值,当覆土厚度小于 0.2 倍计算跨度时,可取 1.0; 当覆土厚度为 (0.2~1.0) 倍结构计算跨度时,拱效应系数可取线性内插值;

2 饱和土的拱效应系数可取 1.0。

表 5.5.2-2 感生地冲击在覆土介质中的衰减系数 n_1

土类	碎石土、砂土	粉土、粘性土	饱和土 ($\alpha_1=4\%$)	饱和土 ($\alpha_1=1\%$)	饱和土 ($\alpha_1=0\%$)
n_1	2.0~2.5	1.5~2.0	1.5	1.0	0.5

注: 1 α_1 为饱和土的含气量,可根据饱和度 S_r 和孔隙比 e ,按 $\alpha_1 = e(1 - S_r)/(1 + e)$ 计算确定;当无实测资料时,可取 $\alpha_1 = 1\% \sim 1.5\%$,地下水位常年稳定时,宜取小值;

2 当饱和土的 α_1 为中间值时,其 n_1 可取线性内插值;

3 碎石土、砂土土体密实时, n_1 宜取小值;

4 粉土、粘性土为坚硬状态时, n_1 宜取小值。

2 拱形结构顶拱的均布等效静荷载标准值可取平顶结构均布等效静荷载标准值的 0.9 倍;

3 外墙的均布等效静荷载标准值可按下列公式计算:

$$q_2 = K_{a2} \xi P_{\bar{h}} \quad (5.5.2-5)$$

$$P_{\bar{h}} = 0.28 \cdot \exp \left(-n_1 \cdot \sqrt[3]{\frac{\bar{h}}{3.7}} \right) \quad (5.5.2-6)$$

$$t_r = (\gamma_c - 1) \frac{\bar{h}}{c_0}$$
 (5.5.2-7)

$$t_0 = t_r + 0.0074$$
 (5.5.2-8)

式中 q_2 ——外墙的均布等效静荷载标准值 (N/mm²);
 K_{d2} ——外墙的动力系数, 可按本标准第 5.3.4 条确定;
 ξ ——土的侧压系数, 当无实测资料时, 可按本标准表 5.8.1 取值;
 t_r ——作用在外墙上的动荷载等效升压时间 (s);
 t_0 ——作用在外墙上的动荷载等效作用时间 (s);
 \bar{h} ——外墙中点处的覆土厚度 (m);

4 底板的均布等效静荷载标准值可按下列公式计算:

$$q_3 = K_{d3} \eta \frac{q_1}{K_{d1}}$$
 (5.5.2-9)

$$K_{d3} = \frac{\zeta_1(\omega_3 t_0)^{\zeta_2}}{\zeta_3 \zeta_2 + (\omega_3 t_0)^{\zeta_2}}$$
 (5.5.2-10)

式中 q_3 ——底板的均布等效静荷载标准值 (N/mm²);
 K_{d3} ——底板的动力系数, 按式 (5.5.2-10) 计算;
 η ——底压系数, 非饱和土可取 0.7~0.8 (覆土厚度小或多层结构时, 取小值), 饱和土可取 0.8~1.0 (含气量 $\alpha_1 \leq 0.1\%$ 时, 取大值);
 q_1 ——顶盖中心板块的均布等效静荷载标准值 (N/mm²);
 K_{d1} ——顶盖中心板块的动力系数。
 ω_3 ——底板的自振圆频率 (1/s);
 t_0 ——常规武器爆炸地冲击作用在顶盖上的动荷载等效作用时间 (s);
 ζ_1 、 ζ_2 、 ζ_3 ——与允许延性比、底板辐射阻尼系数有关的拟合系数, 按表 5.5.2-3 取值。

表 5.5.2-3 拟合系数 ζ_1 、 ζ_2 、 ζ_3

[β]	系数 ζ	η_3					
		≤ 0.5	1.0	2.0	4.0	6.0	≥ 8.0
1.0	ζ_1	1.3090	1.6630	1.8591	1.9367	1.9502	1.9593
	ζ_2	1.3449	1.3081	1.3083	1.3052	1.3011	1.3021
	ζ_3	2.7012	2.5508	2.4084	2.3302	2.3046	2.2986
2.0	ζ_1	0.9854	1.1595	1.2577	1.2945	1.3004	1.3059
	ζ_2	1.2410	1.2650	1.2734	1.2647	1.2719	1.2698
	ζ_3	3.5605	3.1437	2.8955	2.7907	2.7564	2.7414

续表 5.5.2-3 拟合系数 ζ_1 、 ζ_2 、 ζ_3

[β]	系数 ζ	η_3					
		≤ 0.5	1.0	2.0	4.0	6.0	≥ 8.0
3.0	ζ_1	0.9537	1.0718	1.1386	1.1638	1.1683	1.1749
	ζ_2	1.1874	1.2312	1.2391	1.2428	1.2400	1.2339
	ζ_3	4.4183	3.7346	3.4589	3.3211	3.2755	3.3111
4.0	ζ_1	0.9463	1.0755	1.0880	1.1094	1.1127	1.1136
	ζ_2	1.1812	1.0412	1.2217	1.2138	1.2246	1.2301
	ζ_3	5.1395	4.4586	3.9924	3.8370	3.8384	3.8002
5.0	ζ_1	0.9385	1.0162	1.0615	1.0813	1.0754	1.0764
	ζ_2	1.1639	1.1909	1.1970	1.1986	1.2194	1.2251
	ζ_3	5.6878	4.7842	4.4344	4.3536	4.2336	4.2123

注： $\eta_3 = \rho' c'_1 / (\bar{m} \omega_3)$ 为底板的辐射阻尼系数。式中 ρ' 为地基土的质量密度 (kg/m^3)； c'_1 为地基土的峰值压力波速 (m/s)，当无实测资料时，可按本标准第 5.7.2 条确定； \bar{m} 为结构单位面积的质量 (kg/m^2)，可由结构总质量除以底板总面积计算得到； ω_3 ——底板自振圆频率 ($1/\text{s}$)。

5.5.3 设置下沉式广场的人防工程，当常规武器非直接命中时（图 5.5.3），爆炸空气冲击波作用在临空墙上的均布等效静荷载标准值应按下列公式计算：

$$q_c = \bar{K}_d \Delta P_r \tag{5.5.3}$$

式中 q_c ——常规武器爆炸空气冲击波作用在临空墙上的均布等效静荷载标准值 (N/mm^2)；
 \bar{K}_d ——临空墙的动力系数，可按本标准第 5.3.4 条确定；
 ΔP_r ——常规武器爆炸空气冲击波作用在临空墙上的反射超压峰值 (MPa)，按本标准第 5.4.2 条规定取值。

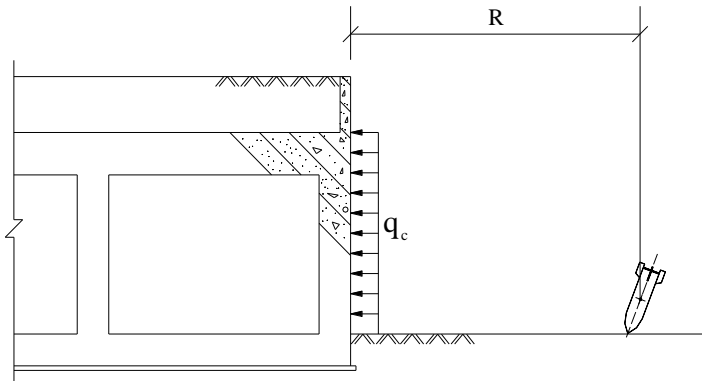


图 5.5.3 常规武器爆炸作用在临空墙上的荷载

5.6 常规武器在出入口外爆炸时的结构荷载计算

5.6.1 当常规武器在出入口外爆炸时，爆炸冲击波作用在第一道防护设备及其门框墙上的均布等效静荷载标准值可按下列公式计算：

$$q_f = \bar{K}_{df} \Delta P_r \quad (5.6.1-1)$$

$$q_e = \bar{K}_{de} \Delta P_r \quad (5.6.1-2)$$

式中 q_f ——常规武器爆炸空气冲击波作用在第一道防护设备上的均布等效静荷载标准值（N/mm²）；
 \bar{K}_{df} ——第一道防护设备的动力系数，可按本标准第 5.3.4 条确定，其中，平板防护密闭门的 $[\beta]$ 可取 1.5，活门的 $[\beta]$ 可取 3.0；

q_e ——爆炸空气冲击波直接作用在第一道防护设备门框墙上的均布等效静荷载标准值（N/mm²）；
 \bar{K}_{de} ——第一道防护设备门框墙的动力系数，可按本标准第 5.3.4 条确定，其中，防护密闭门门框墙的 $[\beta]$ 可取 1.0；

ΔP_r ——常规武器爆炸空气冲击波作用在第一道防护设备及其门框墙上的反射超压峰值（MPa）。

5.6.2 当常规武器在垂直式出入口外爆炸时（图 5.6.2），空气冲击波作用在第一道防护设备及其门框墙上的反射超压峰值 ΔP_r 可按 0.15MPa、按等冲量突加线性衰减荷载等效作用时间 t_0 可按 10.9×10^{-3} s取值。

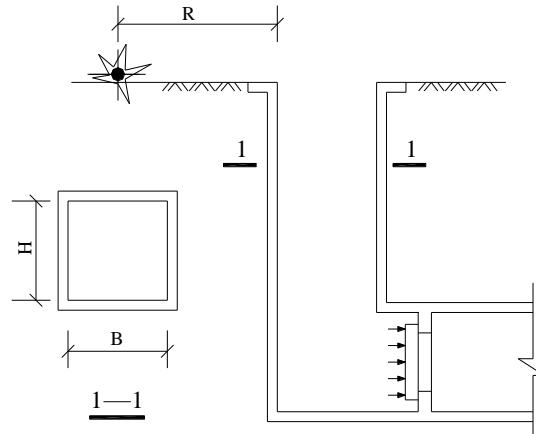


图 5.6.2 常规武器在垂直式出入口外爆炸

5.6.3 当常规武器在直通式、单向式或穿廊式出入口外爆炸时，空气冲击波作用在第一道防护设备及其门框墙上的反射超压峰值及作用时间可按下列公式计算：

$$\Delta P_r = \left(2 + \frac{6\Delta P}{0.7 + \Delta P} \right) \Delta P \quad (5.6.3-1)$$

$$t_0 = \left(\frac{1 + 0.86\Delta P^{1.63}}{1 + 1.58\Delta P^{1.63}} \right) \cdot t_{0i} \quad (5.6.3-2)$$

式中 ΔP_r ——常规武器爆炸空气冲击波作用在第一道防护设备及其门框墙上的反射超压峰值（MPa）；
 ΔP ——常规武器在出入口外爆炸时，第一道防护设备所在位置的入射冲击波超压峰值（MPa）；
 t_0 ——反射冲击波按等冲量突加线性衰减荷载等效的超压作用时间（s）；

t_{0i} ——入射冲击波按等冲量突加线性衰减荷载等效的超压作用时间 (s)。

5.6.4 当常规武器在出入口外爆炸时 (图 5.6.4), 作用在第一道防护设备及其门框墙上的入射冲击波超压峰值 ΔP 及作用时间 t_{0i} 可按下列公式计算:

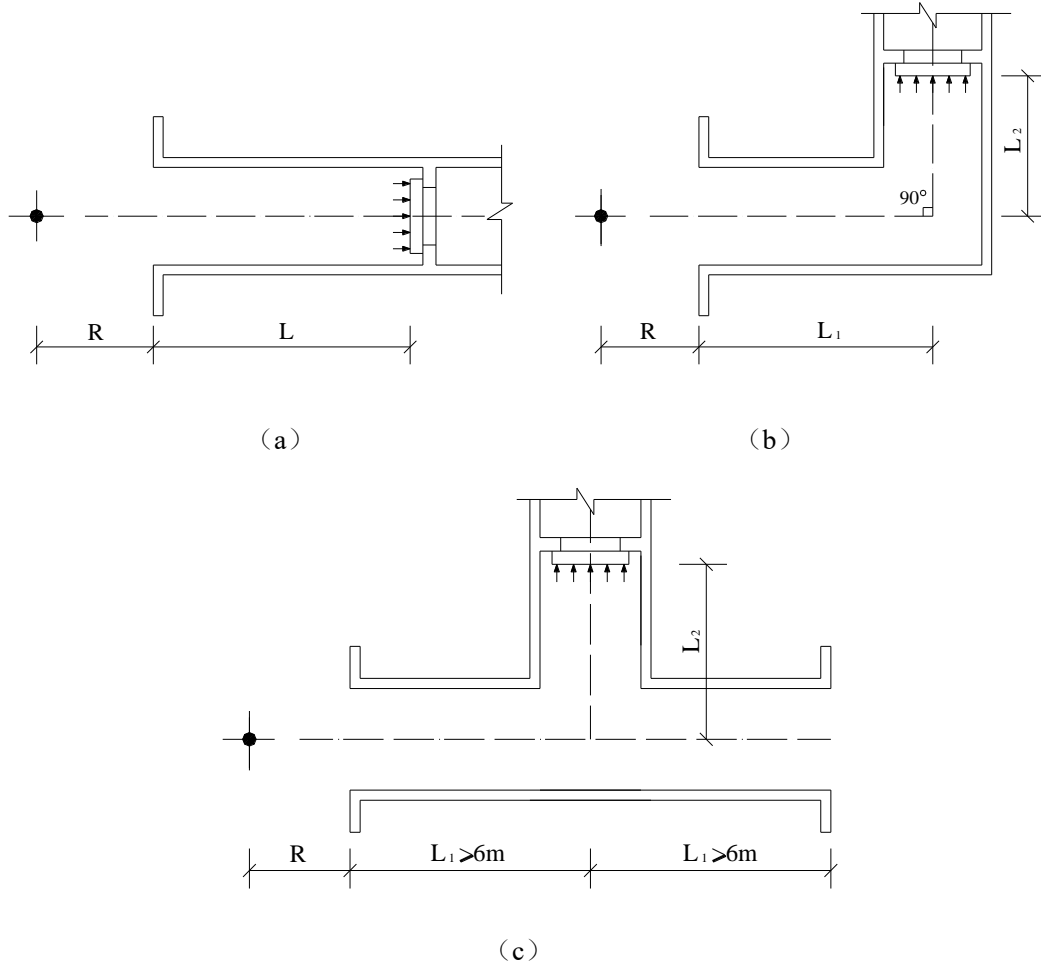


图 5.6.4 常规武器在出入口外爆炸

(a) 直通式; (b) 单向式; (c) 穿廊式

$$\text{直通式} \quad \begin{cases} \Delta P = \frac{0.539}{F_0^{0.085} L^{0.48}} \\ t_{0i} = 2.349 \times 10^{-3} F_0^{0.21} L^{0.6} \end{cases} \quad (5.6.4-1)$$

$$\text{单向式} \quad \begin{cases} \Delta P = \frac{0.399}{F_0^{0.215} L^{0.35}} \\ t_{0i} = 2.222 \times 10^{-3} F_0^{0.295} L^{0.215} \end{cases} \quad (5.6.4-2)$$

$$\text{穿廊式} \quad \begin{cases} \Delta P = \frac{0.289}{F_0^{0.29} L^{0.33}} \\ t_{0i} = 1.748 \times 10^{-3} F_0^{0.5} L^{0.4} \end{cases} \quad (5.6.4-3)$$

式中 ΔP ——常规武器在出入口外爆炸时, 第一道防护设备所在位置的入射冲击波超压峰值 (MPa);

t_{0i} ——入射冲击波按等冲量突加线性衰减荷载等效的超压作用时间 (s);

L ——第一道防护设备至出入口的轴线距离（m）。

5.6.5 当常规武器在出入口外爆炸时，作用在第一道防护设备上的等效超压可按下列公式计算：

$$\Delta \bar{P}_c = \frac{2[\beta]-1}{2[\beta]} \cdot q_f \tag{5.6.5}$$

式中 $\Delta \bar{P}_c$ ——作用在第一道防护设备上的等效超压（MPa）；

$[\beta]$ ——第一道防护设备的允许延性比，应与计算 q_f 所采用的允许延性比一致；

q_f ——常规武器爆炸空气冲击波作用在第一道防护设备上的均布等效静荷载标准值（N/mm²），应按本标准公式（5.6.1-1）计算确定。

5.7 核爆炸地面空气冲击波及土（岩）体压缩波参数

5.7.1 核爆炸地面空气冲击波超压波形，可取在峰值压力处按切线或按等冲量简化成无升压时间的三角形（图 5.7.1），对于轨道交通工程，其主要设计参数可按表 5.7.1 采用。

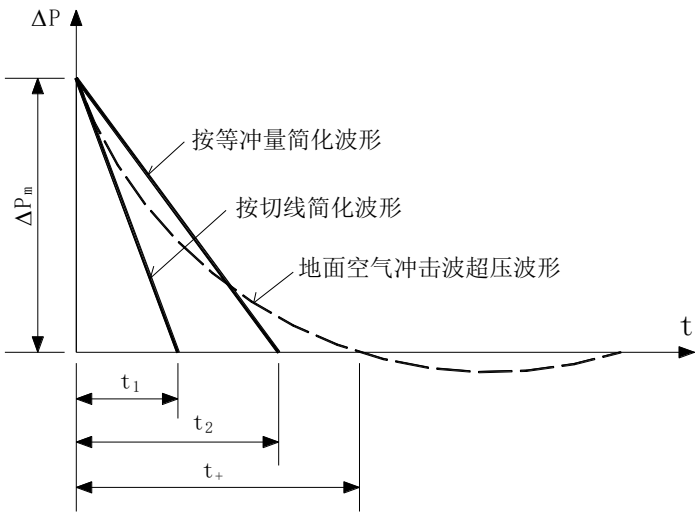


图 5.7.1 核爆炸地面空气冲击波波形及简化波形

表 5.7.1 核爆炸地面空气冲击波主要设计参数

地面峰值(MPa)	负压峰值(MPa)	正压作用时间 t_+ (s)	按等冲量简化等效正压作用时间 t_2 (s)	按切线简化等效正压作用时间 t_1 (s)
0.05	0.010	1.42	1.04	0.70

5.7.2 土（岩）体的物理力学参数应按实测资料确定，当无实测资料时，可按下列规定确定：

- 1 非饱和土的物理力学参数可按表 5.7.2-1 采用；
- 2 岩体的物理力学参数可按表 5.7.2-2 采用；
- 3 饱和土的物理力学参数可按表 5.7.2-3 采用。

表 5.7.2-1 非饱和土的物理力学参数

土的分类		起始压力波速 c_0 (m/s)	波速比 γ_c	应变恢复比 δ
碎石土	卵石、碎石	300~500	1.2~1.5	0.9
	圆砾、角砾	250~350	1.2~1.5	0.9
砂土	砾砂	350~450	1.2~1.5	0.9
	粗砂	350~450	1.2~1.5	0.8
	中砂	300~400	1.5	0.5
	细砂	250~350	2.0	0.4
	粉砂	200~300	2.0	0.3
粉土		200~300	2.0~2.5	0.2
粘性土 (粉质粘土、 粘土)	硬塑	300~400	2.0	0.1
	可塑	150~250	2.0	0.1
	软塑	300~500	2.0	0.1
老粘性土		300~400	1.5~2.0	0.3
红粘土		150~250	2.0~2.5	0.2
湿陷性黄土		200~300	2.0~3.0	0.1
淤泥质土		120~150	2.0	0.1

注：1 粘性土：坚硬状态下 c_0 可取硬塑状态的大值， γ_c 、 δ 同硬塑状态；流塑状态下 c_0 可取 1500m/s， γ_c 可取 1， δ 可取 1；2 碎石土、砂土土体密实时， c_0 应取大值， γ_c 应取小值。

表 5.7.2-2 岩体的物理力学参数

围岩级别	起始压力波速 c_0 (m/s)	波速比 γ_c	应变恢复比 δ
I	> 5000	1.0	1.0
II	3700~5200	1.1	0.9
III	3000~4500	1.2	0.9
IV	2000~3500	1.3	0.8
V	< 2000	1.4	0.8

表 5.7.2-3 饱和土的物理力学参数

含气量 α_1 (%)	4	1	0.1	0.05	0.01	0.005	< 0.001
起始压力波速 c_0 (m/s)	150	200	370	640	910	1200	1500

注：1 α_1 为饱和土的含气量，可根据饱和度 S_r 、孔隙比 e ，按 $\alpha_1 = e(1 - S_r)/(1 + e)$ 计算确定，当无实测资料时，

可取 $\alpha_1 = 1\% \sim 1.5\%$ ，地下水位常年稳定时，宜取小值；

2 $320\alpha_1 \geq 1.0$ 时， c_0 可取表中值， γ_c 可取 1.5； δ 同非饱和土；

3 $400\alpha_1 \leq 1.0$ 时， c_0 可取 1500 (m/s)， γ_c 可取 1， δ 可取 1；

4 $320\alpha_1 < \Delta P_m < 400\alpha_1$ 时， c_0 、 γ_c 、 δ 可取线性内插值。

5.7.3 土（岩）体中压缩波波形，可简化成有升压时间的三角形（图 5.7.3）。峰值压力及升压时间可按下列公式计算：

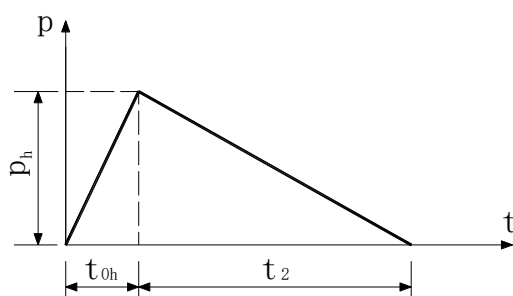


图 5.7.3 土中压缩波简化波形

$$P_h = \frac{1}{20} \left[1 - \frac{h}{1.04c_1} (1 - \delta) \right] \quad (5.7.3-1)$$

$$t_{0h} = (\gamma_c - 1) \frac{h}{c_0} \quad (5.7.3-2)$$

$$\gamma_c = \frac{c_0}{c_1} \quad (5.7.3-3)$$

式中 P_h ——压缩波峰值压力 (MPa)；

h ——土(岩)体的计算深度 (m)；计算顶板时，应取顶板的覆土厚度；计算外墙时，可取各层外墙的中点至地表的深度；

c_0 ——土的起始压力波速 (m/s)；

c_1 ——土的峰值压力波速 (m/s)；

γ_c ——波速比；

δ ——土的应变恢复比；

t_{0h} ——压缩波升压时间 (s)。

5.8 核爆作用下明挖法施工工程结构荷载

5.8.1 当采用等效静荷载设计人防工程结构时，周边等效静荷载宜按同时作用设计，其标准值可按下列公式计算：

$$q_1 = K_{d1} K P_h \quad (5.8.1-1)$$

$$q_2 = K_{d2} \xi P_{\bar{h}} \quad (5.8.1-2)$$

$$q_3 = K_{d3}\eta \frac{q_1}{K_{d1}} \tag{5.8.1-3}$$

式中 q_1 、 q_2 、 q_3 ——分别为结构顶盖、外墙、底板的均布等效静荷载标准值（N/mm²）；
 K_{d1} 、 K_{d2} 、 K_{d3} ——分别为结构顶盖、外墙、底板的动力系数，应按本标准第 5.3.4 条和第 5.3.5 条确定；
 P_h ——顶盖复土深度 h 处压缩波峰值压力（MPa），应按本标准公式（5.7.3-1）计算；
 $P_{\bar{h}}$ ——各层外墙中点处压缩波峰值压力（MPa），应按本标准公式（5.7.3-1）计算；
 K ——顶盖综合反射系数；
 ξ ——土的侧压系数，可按表 5.8.1 采用；
 η ——底压系数。非饱和土可取 0.7~0.8（覆土厚度小或多层结构时，取小值），饱和土可取 0.8~1.0（含气量 $\alpha_1 \leq 0.1\%$ 时，取大值）。

表 5.8.1 土的侧压系数 ξ

土的类别		侧压系数 ξ
碎石土		0.15~0.25
砂土	地下水位以上	0.25~0.35
	地下水位以下	0.70~0.90
粉土		0.33~0.43
粘性土	坚硬、硬塑	0.20~0.40
	可塑	0.40~0.70
	软塑、流塑	0.70~1.00
老粘性土		0.20~0.33
红粘土		0.30~0.45
湿陷性黄土		0.25~0.40
淤泥质土		0.70~0.90

注： 1 碎石土及非饱和砂土：密实、颗粒粗的宜取小值；
2 非饱和粘性土：液性指数低的宜取小值；
3 饱和土：含气量 $\alpha_1 \leq 0.1\%$ 时宜取大值。

5.8.2 顶盖综合反射系数可按下列规定确定：

- 1 覆土厚度 h 为 0 时， $K = 1.0$ ；
- 2 覆土厚度 h 等于或大于结构不利覆土厚度 h_m 时，非饱和土的 K 值可按下列公式计算：
箱形、筏形、壳体基础 $K = 1.489 - 0.033h - 0.007h^2 + 8.333 \times 10^{-4}h^3 \tag{5.8.2-1}$
条形或独立基础 $K = 1.596 - 0.203h + 0.030h^2 - 0.002h^3 \tag{5.8.2-2}$

对于双层及多层结构，计算结果应乘以 1.05 的系数；对于非平顶结构，计算结果应乘以 0.9

的系数，但其终值不应小于 1.0。

3 覆土厚度 h 等于或大于结构不利覆土厚度 h_m 时，饱和土的 K 值可按下列规定确定：

当 $P_h \geq 20\alpha_1$ ，平顶结构可取 $K = 2.0$ ，非平顶结构可取 $K = 1.8$ ；

当 $P_h \leq 16\alpha_1$ 时， K 值可按非饱和土确定；

当 $16\alpha_1 < P_h < 20\alpha_1$ 时， K 值可按线性内插确定。

4 覆土厚度 h 小于结构不利覆土厚度 h_m 时， K 值可按线性内插确定。

5.8.3 结构不利覆土厚度，可按表 5.8.3 采用。

表 5.8.3 工程结构不利覆土厚度 h_m (m)

土的类别	l_0 (m) \ [β]	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	5.0
粘性土	≤ 2.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	3.0	1.06	1.14	1.28	1.32	1.46	1.80
	4.0	1.18	1.42	1.64	1.76	1.98	2.40
	5.0	1.30	1.70	2.00	2.20	2.50	3.00
	6.0	1.60	1.93	2.34	2.63	2.88	3.72
	7.0	1.80	2.19	2.63	2.94	3.25	4.15
	8.0	2.00	2.44	2.91	3.25	3.63	4.58
	≥ 9.0	2.20	2.70	3.20	3.60	4.00	5.00
砂 土 碎石土 饱和土	≤ 2.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	3.0	1.10	1.26	1.42	1.50	1.64	2.40
	4.0	1.30	1.58	1.86	2.10	2.32	3.20
	5.0	1.50	1.90	2.30	2.70	3.00	4.00
	6.0	1.82	2.23	2.65	2.97	3.38	4.72
	7.0	2.05	2.49	2.93	3.32	3.75	5.15
	8.0	2.28	2.74	3.22	3.66	4.13	5.58
	≥ 9.0	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	6.00

注：1 l_0 为顶板净跨，对双向板和壳体结构应取短方向净跨，对多跨结构应取最大短边净跨；

2 [β]为顶盖允许延性比。

5.9 核爆作用下暗挖法施工工程结构荷载

5.9.1 土体卸荷拱的成拱厚度和最小安全防护层厚度应符合表 5.9.1 的规定。

表 5.9.1 土体卸荷拱的成拱厚度、最小安全防护层厚度

土的类别	毛洞跨度 L (m)	成拱厚度	最小安全防护层厚度
碎石土 (中密、密实)	2.5~5.0	$2.6L$	$2.6L$
粉土 (密实)	≤ 2.5	$7.5L$	/
粉质粘土 (坚硬、硬塑)	2.5~5.0	$4.0L$	$5.6L$
粘土 (坚硬、硬塑)	2.5~5.0	$3.0L$	$3.9L$

5.9.2 当地道、坑道式人防工程毛洞拱顶以上土层厚度小于成拱厚度时, 结构荷载应按本标准第 5.8 节的有关规定确定。

5.9.3 工程毛洞拱顶以上土层厚度不小于最小安全防护层厚度时, 衬砌可只按静荷载作用进行设计。土压力标准值可按表 5.9.3 计算确定。

表 5.9.3 土压力标准值 (N/mm^2)

土的类别	竖向压力标准值	水平压力标准值
碎石土	$(0.32 \sim 0.40) (L + H/2) \gamma \times 10^{-3}$	$(0.26 \sim 0.30) q$
粉土	$(0.70 \sim 1.20) (L + H/2) \gamma \times 10^{-3}$	$(0.50 \sim 0.70) q$
粉质粘土 (坚硬、硬塑)	$(0.55 \sim 0.65) (L + H/2) \gamma \times 10^{-3}$	$0.40q$
粘土 (坚硬、硬塑)	$(0.40 \sim 0.50) (L + H/2) \gamma \times 10^{-3}$	$0.30q$

注: 1 L 为毛洞跨度 (m); H 为毛洞高度 (m); γ 为土的重力密度 (kN/m^3); q 为竖向压力标准值 (N/mm^2);
 2 同类土中土质较好时宜取小值;
 3 土压力未包括超挖回填物的自重。

5.9.4 当地道、坑道式人防工程毛洞拱顶以上土层厚度不小于成拱厚度, 且小于最小安全防护层厚度时, 衬砌荷载可按下列规定确定:

1 顶拱竖向等效静荷载标准值可按下列公式计算:

$$q_1 = K_{d1} K (P_h - q_m / k_{dy}) \quad (5.9.4-1)$$

$$q_m = \frac{f_v \tan(45^\circ - \phi_k/2) (h - h_1) - W \times 10^{-3}}{l} \quad (5.9.4-2)$$

$$\phi_k = \arctan \left[\frac{1}{2} \tan \phi + \frac{1}{2} \sqrt{\tan^2 \phi + \frac{8c}{3(1 - \sin \phi)}} \right] \quad (5.9.4-3)$$

$$h_1 = \frac{L + 2H \tan(45^\circ - \phi_k/2)}{2 \tan \phi_k} \quad (5.9.4-4)$$

$$l = L + (2H + h) \tan(45^\circ - \phi_k/2) \quad (5.9.4-5)$$

$$W = \gamma \left\{ lh - \frac{2}{3} h_1 [L + 2H \tan(45^\circ - \phi_k/2)] \right\} \quad (5.9.4-6)$$

当 $h \leq 15\text{m}$ 时

$$k_{dy} = 2 - 0.053h \quad (5.9.4-7)$$

当 $h > 15\text{m}$ 时

$$k_{dy} = 1.2 \quad (5.9.4-8)$$

式中 q_1 ——顶拱的竖向等效静荷载标准值 (N/mm^2);

K_{d1} ——结构顶拱的动力系数, 应按本标准第 5.3.4 条确定;

K ——顶拱综合反射系数, 可取 1.0~1.2;

P_h —— h 米深处压缩波超压峰值 (MPa), 应按本标准第 5.7.3 条确定;

k_{dy} ——卸荷拱荷载动力系数;

q_m ——卸荷拱承载力 (N/mm^2);

f_v ——动荷载作用下土体极限抗压强度 (N/mm^2), 可取 $f_v = 3 \tan \phi_k$;

ϕ_k ——土体的计算摩擦角;

ϕ ——土体的内摩擦角;

c ——土体的内聚力 (N/mm^2);

h ——毛洞拱脚以上土体厚度 (m);

h_1 ——卸荷拱高度 (m);

W ——卸荷拱的自重 (kN/m);

l ——卸荷拱的跨度 (m);

L ——毛洞跨度 (m);

H ——毛洞高度 (m);

γ ——土的重力密度 (kN/m^3)。

2 外墙及顶拱水平等效静荷载标准值可按下列公式计算:

$$q_2 = \xi \frac{K_{d2}}{K_{d1}} q_1 \quad (5.9.4-9)$$

式中 q_2 ——外墙及顶拱的水平等效静荷载标准值 (N/mm^2);

ξ ——侧压系数, 应按本标准表 5.8.1 采用;

K_{d2} ——外墙及顶拱的动力系数, 应按本标准第 5.3.4 条确定。

3 底板的等效静荷载标准值, 应根据基础形式按下列规定确定:

1) 整体基础底板的等效静荷载可按下列公式计算:

$$q_3 = \eta \frac{K_{d3}}{K_{d1}} q_1 \quad (5.9.4-10)$$

式中 q_3 ——底板的等效静荷载标准值 (N/mm^2);

η ——底压系数, 应按本标准第 5.8.1 条确定;

K_{d3} ——底板的动力系数, 应按本标准第 5.3.4 条确定。

2) 当为条形基础时, 可不计入底部压力的作用。

5.10 核爆作用下防倒塌棚架、口部、临空墙结构荷载

5.10.1 对于开敞式防倒塌棚架，由核爆空气冲击波动压产生的水平等效静荷载标准值可按 $q = 0.0122\text{N/mm}^2$ 取值，由房屋倒塌产生的垂直等效静荷载标准值可取 0.05N/mm^2 ，二者应按不同时作用计算。

5.10.2 防护密闭门以外的出入口通道结构荷载应按下列规定确定：

- 1 有顶板的通道结构应按承受土中压缩波产生的等效静荷载作用计算，可不计入内压力的作用；
- 2 无顶板敞开段通道结构可不计入土中压缩波作用；边墙宜按挡土墙确定的荷载进行验算。

5.10.3 出入口的多跑式楼梯踏步和休息平台的荷载，应按构件正面和反面不同时受荷分别计算，作用方向与构件表面垂直，其等效静荷载标准值分别 0.06N/mm^2 和 0.03N/mm^2 取值。

5.10.4 作用于防护密闭门上的核爆空气冲击波超压 ΔP_c ，对于穿廊式或垂直式出入口应按 0.1MPa 取值，对于直通式或单向式出入口应按 0.12MPa 取值，对应的等效静荷载标准值可按 $1.5\Delta P_c$ 计算；附属于防护密闭门门扇上活门的荷载以其附着主体上的荷载计。

5.10.5 密闭门可不考虑承受核爆冲击波作用。

5.10.6 核爆空气冲击波超压直接作用在防护密闭门门框墙上的等效静荷载标准值应按 $q_e = 2.0\Delta P_c$ 计算确定。

5.10.7 临空墙的等效静荷载标准值应按下列公式计算：

$$q_b = K_d \Delta P_c \quad (5.10.7)$$

式中 q_b ——临空墙的等效静荷载标准值 (N/mm^2)；

K_d ——临空墙的动力系数，应按本标准第 5.3.4 条确定；

ΔP_c ——作用在临空墙上的空气冲击波超压 (MPa)，同防护密闭门上的空气冲击波超压，应按本标准第 5.10.4 条采用。

5.10.8 扩散室与工程内部相连隔墙上的等效静荷载标准值应按 $q_r = 1.30\Delta P_y$ 计算确定， ΔP_y 为扩散室的余压 (MPa)。

5.11 相邻防护单元之间的隔墙和楼板的荷载

5.11.1 轨道交通人防工程相邻防护单元之间的隔墙、楼（隔）板，其法向等效静荷载标准值应按 0.05N/mm^2 计取，钢筋砼墙（板）结构厚度不应小于 250mm 。

5.11.2 轨道交通人防工程与就近民用结建人防工程相连时，二者相邻防护单元之间的隔墙、楼（隔）板，其法向等效静荷载标准值按《人民防空工程设计规范》GB50225 规定计算。

5.12 截面设计

5.12.1 平时使用状况下的结构或构件承载力计算，应按国家现行有关标准执行。

5.12.2 战时使用状况下的结构或构件承载力计算，应符合下列表达式的要求：

$$\gamma_0(\gamma_G S_{GK} + \gamma_Q S_{QK}) \leq R \quad (5.12.2-1)$$

$$R = R(f_{cd}, f_{yd}, a_k \cdots) \quad (5.12.2-2)$$

式中 γ_0 ——结构重要性系数，可取 1.0；

γ_G ——永久荷载分项系数，当其作用效应对结构承载不利时，可取 1.3，有利时可按不大于 1.0 取值；

S_{GK} ——永久荷载效应标准值；

γ_Q ——等效静荷载分项系数，可取 1.0；

S_{QK} ——等效静荷载效应标准值；

R ——结构构件的承载力设计值；

$R(\cdot)$ ——结构构件的承载力函数；

f_{cd} ——在动荷载作用下混凝土轴心抗压强度设计值；

f_{yd} ——在动荷载作用下钢筋的抗拉强度设计值；

a_k ——几何参数的标准值。

5.12.3 当采用钢筋混凝土板柱结构、钢管混凝土柱或钢筋混凝土反梁时，设计中除应符合现行国家现行标准的有关规定外，尚应分别符合本标准附录 A、附录 B 或附录 C 的规定。

5.12.4 当板的周边支座横向伸长受到约束时，梁板体系中板的跨中截面计算弯矩值可乘以折减系数 0.7，板柱结构中板的跨中截面计算弯矩值可乘以折减系数 0.9；如在板的计算中已计入了轴力作用时，则不应再乘以折减系数。

5.12.5 当按等效静荷载进行梁、柱斜截面受剪承载力验算时，混凝土及砌体在动荷载作用下的强度设计值应乘以折减系数 0.8。

5.12.6 当按等效静荷载进行墙、柱正截面受压承载力验算时，混凝土及砌体在动荷载作用下的轴心抗压强度设计值应乘以折减系数 0.8。

5.12.7 当按等效静荷载法进行钢筋混凝土受弯构件斜截面承载力验算时，应符合下列规定：

1 矩形、T 形和 I 形截面的受弯构件，其受剪截面应符合下列条件：

当 $h_w/b \leq 4$ 时

$$V \leq 0.25\beta_c\beta_k f_{cd} b h_0 \quad (5.12.7-1)$$

当 $h_w/b \geq 6$ 时

$$V \leq 0.2\beta_c\beta_k f_{cd} b h_0 \quad (5.12.7-2)$$

当 $4 < h_w/b < 6$ 时，可按线性内插法确定。

式中 V ——构件斜截面上的最大剪力设计值 (N)；

β_c ——混凝土强度影响系数：当混凝土强度等级不超过 C50 时，应取 $\beta_c=1.0$ ；当混凝土强度等级

为 C80 时, 应取 $\beta_c=0.8$; 其间可按线性内插法确定;

β_k ——动荷载效应影响系数: 当构件动力系数 $K_d \geq 1.0$ 时, 可取 $\beta_k = 1.0$; 当构件动力系数 $K_d < 1.0$ 时, 可取 $\beta_k = (4K_d)/(3K_d + 1)$;

f_{cd} ——动荷载作用下混凝土轴心抗压强度设计值(N/mm^2), 应按本标准第 5.12.5 条的规定取值;

b ——矩形截面宽度、T 形和 I 形截面的腹板宽度 (mm);

h_0 ——截面有效高度 (mm);

h_w ——截面的腹板高度 (mm): 对矩形截面, 应取有效高度; 对 T 形截面, 应取有效高度减去翼缘高度; 对 I 形截面, 应取腹板净高。

2 不配置箍筋和弯起钢筋的一般板类受弯构件, 其斜截面的受剪承载力应符合下列规定:

$$\left\{ \begin{array}{l} V \leq 0.7\beta_h\beta_k f_{td} b h_0 \\ \beta_h = (800/h_0)^{0.25} \\ h_0 = \begin{cases} 800 & (\text{小于 } 800\text{mm 时}) \\ 2000 & (\text{大于 } 2000\text{mm 时}) \end{cases} \end{array} \right. \quad (5.12.7-3)$$

式中 β_h ——截面高度影响系数;

f_{td} ——动荷载作用下混凝土抗拉强度设计值 (N/mm^2), 应按本标准第 5.12.5 条的规定取值。

3 矩形、T 形和 I 形截面的一般受弯构件, 当仅配置箍筋时, 其斜截面的受剪承载力应符合下列规定:

$$V \leq V_{cs} = \alpha_{cs}\beta_k f_{td} b h_0 + \beta_k f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 \quad (5.12.7-4)$$

式中 V_{cs} ——构件斜截面上混凝土和箍筋的受剪承载力设计值 (N);

α_{cs} ——斜截面混凝土受剪承载力系数。对于一般受弯构件取 0.7; 对集中荷载占优 (其所产生剪力值占有荷载引起的总剪力的 75%以上) 的独立梁, 取 $\alpha_{cs} = 1.75/(1 + \lambda)$, 其中计算截面的剪跨比 $\lambda = a/h_0$, λ 小于 1.5 时按 1.5 取值, λ 大于 3.0 时按 3.0 取值, a 为集中荷载作用点至支座截面或节点边缘的距离。集中荷载作用点至支座之间的箍筋, 应均匀布置。

f_{yv} ——动荷载作用下箍筋的抗拉强度设计值 (N/mm^2);

A_{sv} ——配置在同一截面内箍筋各肢的全部截面面积 (mm^2): $A_{sv} = nA_{sv1}$, 此处, n 为在同一截面内箍筋的肢数, A_{sv1} 为单肢箍筋的截面面积 (mm^2);

s ——沿构件长度方向的箍筋间距 (mm);

5.12.8 当钢筋混凝土结构或构件按弹塑性工作阶段设计时, 受拉钢筋的配筋率不宜超过 1.5%。当必须超过时, 受弯构件或大偏心受压构件的允许延性比应按下列公式确定, 且受拉钢筋最大配筋率不宜超过表 5.12.8-2 的规定。

$$[\beta] \leq \frac{0.5}{x/h_0}$$

(5.12.8-1)

$$\frac{x}{h_0} = (\rho - \rho') \frac{f_{yd}}{\alpha_c f_{cd}}$$

(5.12.8-2)

式中 $[\beta]$ ——允许延性比；
 x ——混凝土受压区高度（mm）；
 h_0 ——截面的有效高度（mm）；
 ρ ——纵向受拉钢筋配筋率；
 ρ' ——纵向受压钢筋配筋率；
 f_{yd} ——动荷载作用下钢筋受拉强度设计值（N/mm²）；
 f_{cd} ——动荷载作用下混凝土轴心抗压强度设计值（N/mm²）；
 α_c ——系数，应按表 5.12.8-1 取值。

表 5.12.8-1 α_c 值

混凝土强度等级	≤ C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
α_c	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94

表 5.12.8-2 受拉钢筋最大配筋率（%）

混凝土强度等级	C25	≥ C30
HRB400 级钢筋	2.0	2.4
RRB400 级钢筋	2.0	2.4
HRB500 级钢筋	1.8	2.3

5.13 防护设备门框墙的设计与计算

5.13.1 门框墙应根据周边嵌固情况及门洞相对尺寸，划分为门框侧墙、上挡墙和门槛等独立部分（图 5.13.1），并应分别设计与计算。上挡墙和门槛可加强配筋，形成暗梁，必要时也可设置加强梁。

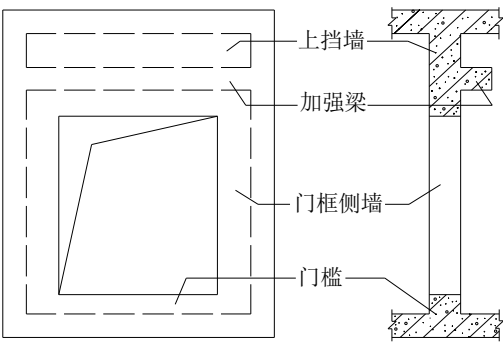


图 5.13.1 门框墙的划分

5.13.2 门框墙应按门扇传给等效静荷载标准值 q_i 和直接作用在门框墙上的等效静荷载标准值 q_e 同时

作用进行计算(图 5.13.2);直接作用在门框墙上的等效静荷载标准值 q_e 应按本标准第 5.6.1 条和第 5.10.4 条确定。

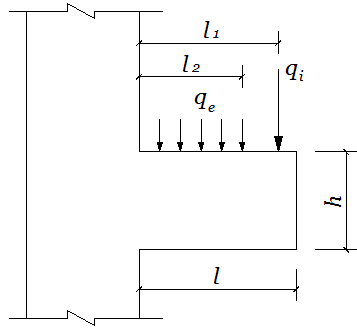


图5.13.2 门框墙荷载分布

l ——门框墙悬挑长度 (mm);

l_1 ——门扇传来的等效静荷载标准值 q_i 作用点至牛腿 (或悬臂梁) 根部的距离 (mm), 其值为门框墙悬挑长度减去 1/3 门扇搭接长度;

l_2 ——直接作用在门框墙上的等效静荷载分布宽度 (mm), 其值为门框墙悬挑长度减去门扇搭接长度。

5.13.3 钢结构平板门门扇传给门框墙的等效静荷载标准值, 可按下列公式计算:

1 单扇

门扇主方向为横向时

$$q_a = 0.35q_f a \quad (5.13.3-1)$$

$$q_b = 0.50q_f a \quad (5.13.3-2)$$

门扇主方向为竖向时

$$q_a = 0.50q_f a \quad (5.13.3-3)$$

$$q_b = 0.35q_f a \quad (5.13.3-4)$$

2 双扇

$$q_a = (0.593 - 0.191 a/b)q_f a \quad (5.13.3-5)$$

$$q_b = (0.109 + 0.904e^{-1.251a/b})q_f a \quad (5.13.3-6)$$

式中 q_a ——门扇传给上挡墙和门槛单位长度的等效静荷载标准值 (N/mm);

q_b ——门扇传给门框侧墙单位长度的等效静荷载标准值 (N/mm);

q_f ——作用在门扇上的等效静荷载标准值 (N/mm²); 应按本标准第 5.6.1 条、第 5.10.4 条确定;

a 、 b ——分别为门扇的宽度和高度 (mm)。

5.13.4 当门框墙的悬挑部分符合 $C/h_0 \leq 1$ 时, 应按下列公式验算水平受力钢筋截面面积:

$$A_s \geq \frac{q_v a}{0.85f_{yd}h_0} \quad (5.13.4-1)$$

此处，当 $a < 0.3h_0$ 时，应取 $a = 0.3h_0$ 。

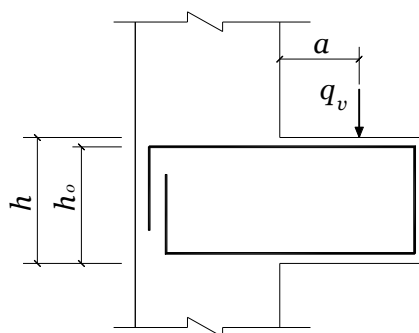


图5.13.4 作用于门框墙的合力

式中 A_s ——门框墙单位长度的水平受力钢筋截面面积 (mm^2/mm)；

q_v ——垂直作用于门框墙上的合力标准值 (N/mm)， $q_v = q_i l_1 + 0.5q_e l_2$ ；

a —— q_v 作用点至门框墙根部的距离 (mm)；

h_0 ——门框墙根部截面的有效厚度 (mm)；

f_{yd} ——动荷载作用下水平受力钢筋的设计强度 (N/mm^2)。

当门框墙的悬挑部分符合 $C/h_0 > 1$ 时，可采用下列公式按悬臂梁进行设计：

$$C = \frac{M}{V} \quad (5.13.4-2)$$

$$M = q_i l_1 + 0.5q_e l_2^2 \quad (5.13.4-3)$$

$$V = q_i + q_e l_2 \quad (5.13.4-4)$$

式中 C ——换算剪跨；

M ——门框墙根部单位长度的弯矩设计值 ($\text{N} \cdot \text{mm}/\text{mm}$)；

V ——门框墙根部单位长度的剪力设计值 (N/mm)；

q_i ——门扇传给门框墙的力，应按本标准第 5.13.3 条确定；

q_e ——直接作用在门框墙上的等效静荷载标准值 (N/mm^2)。

5.13.5 上挡墙和门槛除按水平荷载作用计算外，还应进行竖向荷载作用下的承载力验算。水平荷载和竖向荷载可按不同时作用考虑。

5.13.6 门框墙的构造应符合下列规定：

- 1 门框墙混凝土强度等级不应低于 C30；
- 2 门框墙厚度不应小于 300mm；
- 3 门框墙的两面均应配置水平受力钢筋和竖向受力钢筋，水平受力钢筋和竖向受力钢筋宜采用 HRB400、RRB400 或 HRB500 级钢筋；
- 4 门框侧墙的配筋（图 5.13.6-1）应符合下列规定：

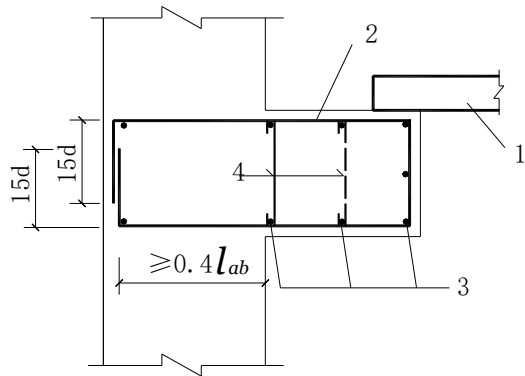
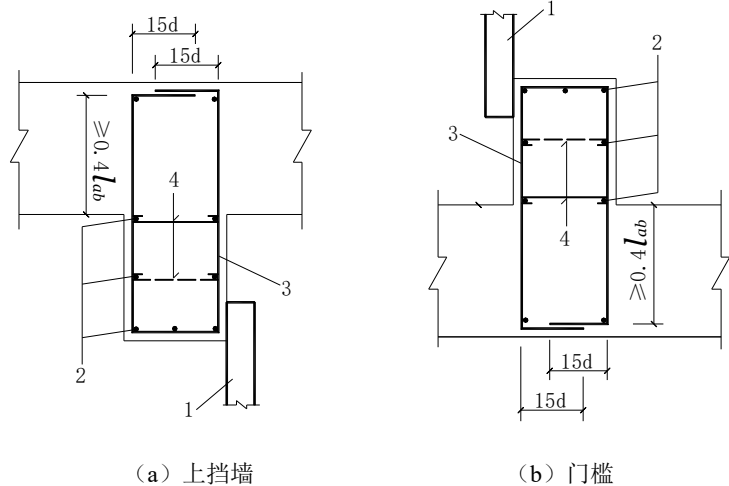


图5.13.6-1 门框侧墙的配筋

1—防护设备；2—水平钢筋；3—竖向钢筋；4—拉结筋

- 1) 钢筋锚固长度 l_{ab} 按本标准第 5.14.13 条规定计算；
 - 2) 水平钢筋截面面积应由计算确定，且配筋率不应小于 0.25%，直径不应小于 12mm，间距不应大于 250mm；竖向钢筋的直径不应小于 12mm，间距不应大于 250mm；
 - 3) 应设置拉结筋，其直径不应小于 6mm，间距不应大于 500mm，应呈梅花型布置。
- 5 上挡墙和门槛的配筋应符合下列规定：
- 1) 竖向钢筋截面面积应由计算确定，且配筋率不应小于 0.25%，直径不应小于 12mm，间距不应大于 250mm。水平钢筋的直径不应小于 12mm，间距不应大于 250mm；
 - 2) 应设置拉结筋，其直径不应小于 6mm，间距不应大于 500mm，应呈梅花型布置。



(a) 上挡墙

(b) 门槛

图5.13.6-2 上挡墙和门槛的配筋

1—防护设备；2—水平钢筋；3—竖向钢筋；4—拉结筋

6 门洞四角的内外层，均应配置与主受力筋同材质等级的斜向加强钢筋，斜向加强钢筋直径不应小于 16mm，长度不应小于钢筋直径的 60 倍（图 5.13.6-3）。

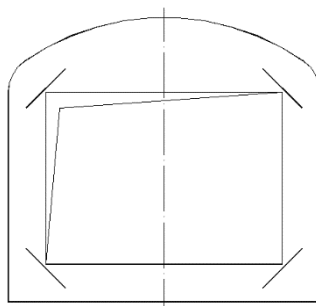


图5.13.6-3 门洞四角斜向加强钢筋

5.13.7 门框墙应与通道结构整体浇筑，受力钢筋伸入通道结构内的长度，不应小于钢筋的锚固长度，且不应小于钢筋直径的 30 倍。

5.13.8 与门框墙连接的通道墙等结构，应能承受由门框墙根部传来的弯矩、剪力和轴力，门框墙门前 2 米至密闭门段通道，通道的顶板、侧墙和底板厚度不应小于 300mm。

5.13.9 门框墙预埋穿墙套管外径大于 150mm 时，除对孔洞采取防护密闭措施外，还应对洞周采取加强措施。

5.14 构造规定

5.14.1 轨道交通工程结构选用的材料除满足现行《地铁设计规范》的要求外，还应满足以下要求：

- 1 不得采用硅酸盐砌体；
- 2 防水混凝土基础底板的混凝土垫层，其强度等级不应低于 C20。

5.14.2 轨道交通工程，由防护密闭门至密闭门的防护密闭段，应采用整体现浇钢筋混凝土结构，不得设置沉降缝、伸缩缝。

5.14.3 钢筋混凝土受力钢筋以及非受力钢筋的最小保护层厚度（钢筋外边缘至混凝土表面的距离）应符合现行《混凝土结构通用设计规范》GB55008、《混凝土结构设计规范》GB50010 和《地铁设计规范》GB50157 的规定。

5.14.4 承受动荷载作用的钢筋混凝土构件，纵向受力普通钢筋的最小配筋率应符合现行强制性工程建设规范《混凝土结构通用规范》GB55008 的规定。

5.14.5 承受动荷载作用的钢筋混凝土梁、板、墙、壳等构件应双面配筋。梁、板等受弯构件，应在受压区配置构造钢筋，配筋率不宜小于纵向受拉钢筋的最小配筋率，在连续梁和框架节点处，且不应小于受拉主筋的 1/3。整体现浇钢筋混凝土板、墙、壳每面的非受力钢筋的配筋率不宜小于 0.15%，间距不应大于 250mm。

5.14.6 连续梁及框架梁在距支座边缘 1.5 倍梁截面高度范围内，宜采用封闭式箍筋，箍筋配筋率不应低于 0.15%，间距不宜大于 $h_0/4$ （ h_0 为梁截面计算高度），且不宜大于主筋直径的 5 倍。对受拉钢筋搭接处，宜采用封闭式箍筋，箍筋间距不应大于主筋直径的 5 倍，且不应大于 100mm。

5.14.7 承受动荷载的钢筋混凝土柱纵向受力钢筋应符合下列规定：

- 1 直径不宜小于 14mm，全部纵向钢筋的配筋率不应超过 5%；
- 2 圆柱中纵向钢筋宜沿周边均布布置，根数不应少于 8 根；
- 3 纵向钢筋的净间距不应小于 50mm，中距不宜大于 300mm。

5.14.8 承受动荷载的钢筋混凝土柱箍筋应符合下列规定：

- 1 柱中箍筋应做成封闭式；当柱全部纵向受力钢筋配筋率大于 3%时，箍筋应焊成封闭环式；
- 2 柱中箍筋间距不应大于 250mm 及柱截面的短边尺寸，且不应大于 15d（d 为纵向受力钢筋的最小直径）；
- 3 当纵向受力钢筋配筋率小于 3%时，直径不应小于 6mm，且不应小于 d/4（d 为纵向受力钢筋的最大直径）；
- 4 当纵向受力钢筋配筋率大于 3%时，直径不应小于 8mm，间距不应大于 200mm，且不应大于 10d（d 为纵向受力钢筋的最小直径）。

5.14.9 梁柱节点区应设置水平箍筋，箍筋应符合本标准第 5.14.8 条的规定。

5.14.10 承受动荷载作用的钢筋混凝土板、墙及壳，应设置梅花形排列的拉结筋，直径不应小于 6mm，拉结筋的长度应能拉住最外层受力钢筋，两端弯钩角度不应小于 135°，弯钩的直线长度不应小于 6 倍箍筋的直径，且不应小于 50mm，间距不应大于 500mm。当拉结筋兼作受力箍筋时，直径和间距应符合箍筋的计算和构造要求。

对卧置于地基上的结构底板，当其内力由平时设计荷载控制时，可不设置拉结筋。

5.14.11 防护单元隔墙应采用现浇钢筋混凝土结构，墙体应配置双排钢筋网，每排钢筋网的竖向和水平分布钢筋的配筋率均不应小于 0.25%，拉结筋应符合本标准第 5.14.10 条规定。防护单元隔墙上的孔洞应采取可靠的防护密闭措施。防护单元隔墙上供战时使用的防护密闭门门框部位，应局部加厚，厚度不应小于 500mm。

5.14.12 对双层及多层明挖车站，中间楼板应配置双层钢筋网，每层钢筋网的每个方向受力钢筋的配筋率应按计算确定，且不应小于 0.25%，拉结筋应符合本标准第 5.14.10 条规定。

5.14.13 纵向受力钢筋的锚固和连接接头应符合下列要求：

- 1 纵向受拉钢筋的锚固长度 l_{af} 应按下列公式计算：

$$l_{af} = \zeta_d l_{ab} \quad (5.14.13-1)$$

$$l_{ab} = 0.14 f_y / f_t \quad (5.14.13-2)$$

$$\zeta_d = \begin{cases} 0.88 \dots \text{纵向受拉钢筋为带肋钢筋且直径} \leq 25\text{mm 时} \\ 0.97 \dots \text{纵向受拉钢筋为带肋钢筋且直径} > 25\text{mm 时} \end{cases} \quad (5.14.13-3)$$

式中， l_{af} ——纵向受拉钢筋的锚固长度；

l_{ab} ——纵向受拉钢筋的基本锚固长度；

ζ_d ——与钢筋直径有关的锚固长度修正系数；

f_y ——普通钢筋的抗拉强度设计值 (N/mm²);
 f_t ——混凝土轴心抗拉强度设计值 (N/mm²)。

2 当采用绑扎搭接接头时, 纵向受拉钢筋的搭接长度 l_{lf} 应按下列公式计算:

$$l_{lf} = \zeta \cdot l_{af} \tag{5.14.13-4}$$

式中 ζ ——纵向受拉钢筋搭接长度修正系数, 可按表 5.14.13 采用。

表 5.14.13 纵向受拉钢筋搭接长度修正系数 ζ

纵向钢筋搭接接头面积百分率 (%)	≤ 25	50	100
ζ	1.2	1.4	1.6

3 纵向受力钢筋的连接可分为两类: 绑扎搭接、机械连接或焊接。宜按不同情况选用合适的连接方式;

4 纵向受力钢筋连接接头的位置宜避开梁端、柱端箍筋加密区; 当无法避开时, 应采用满足等强度要求的高质量机械连接接头, 且钢筋接头面积百分率不应超过 50%。

5.14.14 轨道交通工程, 其非承重墙可采用砌体墙, 非承重砌体墙与钢筋混凝土柱(墙)交接处, 沿墙高每隔 500mm 应设置 2 根直径为 6mm 的拉结钢筋, 拉结钢筋埋入钢筋混凝土柱(墙)内的长度不应小于 240mm, 伸入砌体墙内的长度不应小于 1000mm (图 5.14.14)。非承重砌体墙的转角及交接处, 应咬槎砌筑, 并沿墙高每隔 500mm 应设置 2 根直径为 6mm 的拉结钢筋, 拉结钢筋每边伸入墙内的长度不应小于 1000mm。

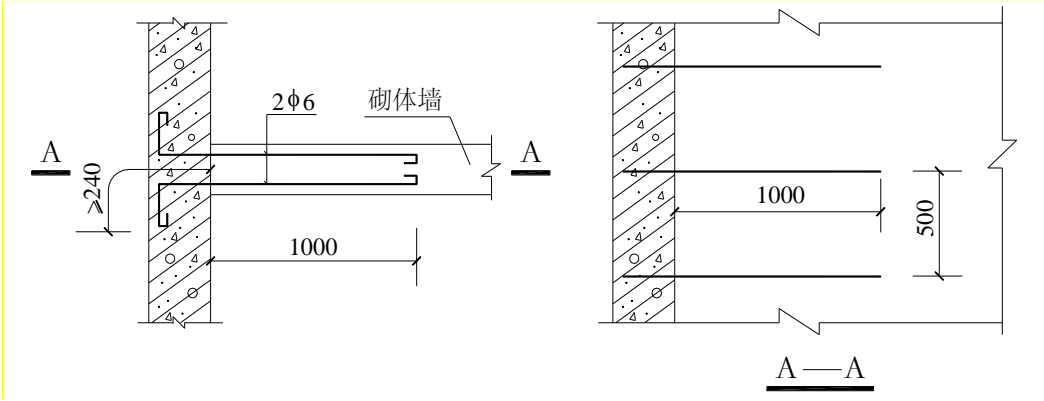


图5.14.14 砌体墙与钢筋混凝土柱(墙)的拉结

5.14.15 防护设备门框与门框墙钢筋的连接, 应满足现行《地铁杂散电流腐蚀防护技术规程》CJJ49 的要求。正线上的隔断门门框墙钢筋应保证与整体道床中设置的排流钢筋网非电气连接。

6 孔口防护设备与消波系统

6.1 一般规定

6.1.1 轨道交通工程出地面口部设置的防护密闭门应兼具应急防洪功能，区间防淹设备宜与防护单元隔断设备兼用。

6.1.2 防护设备兼顾防洪、防淹功能时，除按冲击波超压、等效静荷载计算外，尚应按本标准第 11 章之规定对扇体结构采用容许应力法进行验算。

6.1.3 承受冲击波超压荷载作用的防护密闭门，仅考虑设计荷载的一次作用。

6.1.4 防护密闭门的扇体设计应维护其基础结构的整体性，各类承受动载的附属构件均应按正向受载设计。

6.1.5 防护密闭门的设计压力值不应小于作用的空气冲击波超压设计值。

6.1.6 当防护密闭门无对应抗力级别可供选用时，可用较高一个等级抗力的同类产品代替；当消波系统选用较高一级抗力的防爆波活门时，消波率应乘以 0.8 的折减系数。

6.1.7 有下列要求之一时，应采用手动、电动两用的防护设备：

- 1 安装位置处于手动操作不便的场所；
- 2 有自动控制、远程控制或智能控制要求的；
- 3 有启闭时间要求的。

6.1.8 仅可手动操作的防护设备，应设置内、外侧均可启闭功能；手动、电动两用的防护密闭设备，可不设置外侧手动启闭功能。

6.1.9 防护密闭门宜采用组焊型材骨架梁系加内、外面板的结构型式，型材骨架区格净尺寸长、短边之比不宜大于 2.0。

6.1.10 设计宜选用牌号为 Q235B、Q345B 级型（板）材，亦可选用铸钢材料，不得选用铸铁材料。

6.1.11 防护设备外露部位的防腐工艺设计应符合以下规定：

- 1 基体表面应采用喷砂除锈，质量标准达到 Sa2.5 级，表面粗糙度达到 60~100 μm ；
- 2 除锈后喷涂环氧（无机）富锌底漆，厚度要求 60 μm ；
- 3 后喷涂环氧云铁封闭漆一道，厚度为 80 μm ，再喷涂氟碳面漆，厚度 60 μm ；
- 4 漆膜总厚度为 220 μm ，最大允许偏差-25 μm 。

6.1.12 兼顾防淹和应急防洪的防护设备，应选用合适配套的密封胶条或水封。

6.2 荷载

6.2.1 作用在出地面口部防护密闭门上的空气冲击波超压设计值，应按下列公式确定：

$$\Delta P_{cm} = \max[\Delta P_c, \Delta \bar{P}_c] \quad (6.2.1)$$

式中 ΔP_{cm} ——作用在出地面口部防护密闭门上的空气冲击波超压设计值 (MPa);

ΔP_c ——作用在出地面口部防护密闭门上的核武器爆炸空气冲击波超压 (MPa);

$\Delta \bar{P}_c$ ——作用在出地面口部防护密闭门上的常规武器爆炸空气冲击波等效超压 (MPa), 该值应按本标准第 5.7.5 条确定。

6.2.2 作用防护单元隔断设备上的等效静荷载标准值应按本标准第 5.13.1 确定。

6.3 扇体结构计算

6.3.1 防护密闭门扇体的结构内力计算, 可采用等效静载法, 动载系数可按式 (6.3.1) 计算。

$$K_{df} = \frac{2[\beta]}{2[\beta]-1} \quad (6.3.1)$$

式中, $[\beta]$ 为扇体结构材料的允许延性比。

6.3.2 防护密闭门扇体结构, 除强度计算外, 尚应验算在胶条反力作用下的扇体结构变形。

6.3.3 密闭门扇体结构, 应验算在胶条反力作用下扇体结构周边的刚度。

6.3.4 计算跨度的计取应根据单双扇形式、胶条设置位置等条件综合确定, 主方向计算跨度可按式 (6.3.4) 确定。

$$l_e = a + \gamma_s m_0 + \delta \quad (6.3.4)$$

式中, l_e ——表示主方向计算跨度 (mm);

a ——表示门洞短边净尺寸 (mm), 对于双扇设备, a 按门洞净高取值;

m_0 ——表示胶条中心线至门洞边沿的距离 (mm);

γ_s 、 δ ——表示与门槛边界条件相关的系数和抗剪端支撑点至门洞边沿的距离 (mm), 有凸出地面门槛时 $\gamma_s = 2.0$ 、 $\delta = 0$ mm, 无门槛且 a 按门洞净高取值时 $\gamma_s = 1.0$ 、 $\delta = 10$ mm。

6.3.5 计算组合梁截面内弯曲应力时, 应视为简支边界条件。

$$\sigma_e = M_{max} / W_e < [\sigma] \quad (6.3.5)$$

式中, σ_e ——表示截面内的弯曲应力值 (N/mm²);

M_{max} ——表示组合梁内的最大弯矩值 (N·mm);

W_e ——表示组合梁截面的抵抗矩 (mm³);

$[\sigma]$ ——表示组合梁材料的容许弯曲应力 (N/mm²)。

6.3.6 组合梁截面特性计算时, 内、外面板参与计算的宽度宜按式 (6.3.6) 计算:

$$b_e = \min \left\{ \begin{matrix} b_0 + 30t_m \\ L_z \end{matrix} \right. \quad (6.3.6)$$

式中, b_e ——组合梁截面特性计算时内、外面板参与计算的宽度 (mm);

b_0 ——骨架型材的翼缘宽度 (mm);

t_m ——为内外面板的厚度 (mm);

L_Z ——为组合梁的中心间距 (mm)。

6.3.7 组合梁截面抗剪能力应按式 (6.3.7) 计算。

$$\tau_e = \frac{Q_{max} S_e}{I_e t_b} < [\tau] \quad (6.3.7)$$

式中, τ_e ——组合梁截面内的剪应力 (N/mm²);

Q_{max} ——组合梁上的最大剪力 (N);

S_e ——组合梁截面的半截面静矩 (mm³);

I_e ——组合梁截面的惯性矩 (mm⁴);

t_b ——组合梁腹板厚度 (mm);

$[\tau]$ ——表示组合梁材料的容许剪应力 (N/mm²)。

6.3.8 外面板在型材骨架区格位置应按式 (6.3.8-1) 验算其局部抗弯强度, 其抗剪强度可由式 (6.3.8-2) 验算。

$$\begin{cases} \sigma_{e1} = ABS \left(C_1 q_{em} \left(\frac{a_m}{t_m} \right)^2 \right) < [\sigma] \\ \sigma_{e2} = ABS \left(C_2 q_{em} \left(\frac{a_m}{t_m} \right)^2 \right) < [\sigma] \\ \sigma_{e3} = ABS \left(C_3 q_{em} \left(\frac{a_m}{t_m} \right)^2 \right) < [\sigma] \\ C_1 = -0.273 + 0.573 \left(\frac{b_m}{a_m} \right) - 0.613 \left(\frac{b_m}{a_m} \right)^2 \\ C_2 = -0.375 + 1.174 \left(\frac{b_m}{a_m} \right) - 0.861 \left(\frac{b_m}{a_m} \right)^2 + 0.2 \left(\frac{b_m}{a_m} \right)^3 \\ C_3 = 0.498 - 0.282 e^{-\left(0.778 \frac{b_m}{a_m} \right)^{3.738}} \end{cases} \quad (6.3.8-1)$$

$$\tau_e = \frac{q_{em} a_m b_m}{2(a_m + b_m) t_m} < [\tau] \quad (6.3.8-2)$$

式中, σ_{e1} 、 C_1 ——区格中心沿短边最大弯曲应力 (N/mm²)、及其应力系数;

σ_{e2} 、 C_2 ——区格中心沿长边最大弯曲应力 (N/mm²)、及其应力系数;

σ_{e3} 、 C_3 ——区格长边中心最大弯曲应力 (N/mm²)、及其应力系数;

q_{em} ——作用于扇体结构外表面的等效静荷载 (MPa);

a_m 、 b_m ——区间短、长边长度 (mm);

t_m ——面板厚度 (mm);

τ_e ——面板内的剪应力 (N/mm²)。

6.3.9 防护设备使用状态下, 扇体与密封胶条接触部位的最大变形量应符合式 (6.3.9-1) 的要求, 对于如图 (6.3.9) 的设备布置情况, 密封胶条反力作用下的扇体周边变形可按式 (6.3.9-2) 计算。

$$w_{max} \leq e - e_{min} - 2\Delta \quad (6.3.9-1)$$

式中, w_{max} ——扇体周边最大变形量 (mm);

e ——密封胶条设计压缩量 (mm);

e_{min} ——密封胶条不透毒的最小压缩量 (mm);

Δ ——扇体与密封胶条接触面的最大不平整度 (mm)。

$$\begin{cases} f_A = \frac{5qa^4}{384B} + f_C \\ f_B = \frac{qa^4}{384B} \left\{ \left(\frac{b}{a} \right)^4 (1-2m)^4 \left[5 - 24 \left(\frac{m}{1-2m} \right)^2 \right] - 24 \left(\frac{b}{a} \right)^3 m(1-2m)^2 \right\} \\ f_C = \frac{qa^4}{24B_C} \left[2m^2(3-4m) \left(\frac{b}{a} \right)^3 - m(m^3 + bm^2 - bm + 1) \left(\frac{b}{a} \right)^4 \right] \end{cases} \quad (6.3.9-2)$$

式中: f_A 、 f_B 、 f_C ——分别为 A、B、C 三点处的挠度最大值 (mm);

q ——密封条对扇体的反力 (N/mm), 按密封条达到设计压缩量时的反力采用;

a 、 b ——分别为密封条短边和长边的轴线距离 (mm);

m ——闭锁至密封条短边的距离与密封条长边的比值;

B ——扇体长边和短边跨中计算截面的刚度 (N·mm²);

B_C ——扇体角点 C 计算截面的刚度 (N·mm²), 接触面受压时按 $B_C = B$ 。

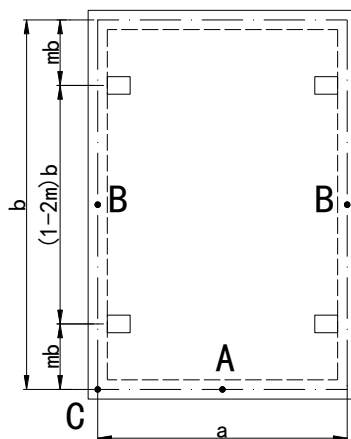


图 6.3.9 密封胶条反力作用下的扇体变形计算

6.3.10 密封胶条单位长度上反力应根据密封胶条的类型和设计压缩量通过试验获得。

6.3.11 使用状态时的密闭门, 可仅验算密封胶条反力作用下的扇体刚度, 其变形计算按本标准第 6.3.9 条规定计算; 对于在通风系统中与活门组成扩散室的密闭门, 尚应根据按本标准第 6.4.4 条规定计算得到的余压进行强度验算。

6.4 消波系统

6.4.1 轨道交通工程清洁式通风系统可结合配置悬摆式防爆波活门或胶管式防爆波活门, 胶管式防爆波活门不得用于排烟口和有光辐射直接作用的部位。

6.4.2 当采用悬摆式防爆波活门加扩散室组成的消波系统时, 悬摆式防爆波活门与扩散室之间宜采用

直接连接；当需用管道连接时，可不计算管道对消波的影响。

6.4.3 当悬摆式防爆波活门或胶管式防爆波活门直接接管道时，余压可按下列公式计算：

$$\Delta P_y = (1 - \eta) \Delta P_{cm} \tag{6.4.3}$$

式中 ΔP_y ——余压（MPa）；
 ΔP_{cm} ——作用在防爆波活门上的空气冲击波超压设计值，可按本标准第 6.3.1 条确定；
 η ——防爆波活门的消波率，可按表 6.4.3 确定。

表 6.4.3 防爆波活门的消波率（%）

空气冲击波超压设计值(MPa)	防爆波活门类型	
	悬摆式防爆波活门	胶管式防爆波活门
0.06~0.2	70	85
0.3~0.4	70	90

6.4.4 当消波系统由悬摆式防爆波活门加扩散室组成，且符合表 6.4.4-1 规定的适用范围时，余压可按下列公式计算：

当 $0.5 \leq \frac{L}{A^{0.5}} \leq 2$ 时

$$\Delta P_y = 2.04 \psi \frac{S(nJ)^{0.45}}{A^2 L^{0.24}} \Delta P_{cm}^{0.66} \tag{6.4.4-1}$$

当 $2 < \frac{L}{A^{0.5}} \leq 4$ 时

$$\Delta P_y = 1.545 \psi \frac{S(nJ)^{0.45} L^{0.16}}{A^{2.2}} \Delta P_{cm}^{0.66} \tag{6.4.4-2}$$

式中 A ——扩散室横剖面面积（m²）；
 L ——扩散室的长度（m）；
 n ——悬摆式防爆波活门悬摆板的个数；
 J ——悬摆式防爆波活门悬摆板的转动惯量(kg·m²)；
 S ——悬摆式防爆波活门的通风面积（m²）；
 ψ ——影响系数，可按表 6.4.4-2 采用。

表 6.4.4-1 悬摆式防爆波活门加扩散室余压计算公式适用范围

参数	$\frac{nJ}{\rho_0 A^{2.5}}$	$\frac{S}{A}$	$\frac{\Delta P_{cm}}{P_0}$	$\frac{L}{A^{0.5}}$	$\frac{b}{h}$
范围	0.04~3.50	1/7~1/70	0.5~80	0.5~4.0	0.4~2.5

注： $\rho_0=1.22\text{kg/m}^3$ ； P_0 为标准大气压（MPa）； b 为扩散室宽度（m）； h 为扩散室高度（m）。

表 6.4.4-2 影响系数 ψ

扩散室宽高比(b/h)	冲击波正向进入	冲击波侧向进入
0.4~1.0	$(b/h)^{-0.58}$	$0.8(b/h)^{-0.58}$
1.0~2.5	$(b/h)^{0.58}$	$0.8(b/h)^{0.58}$

6.4.5 当消波系统由胶管式防爆波活门加扩散室组成时，余压可取 0.03MPa。

6.5 孔口防护设备的配置要求

- 6.5.1 轨道交通工程设防区域的各类口部，必须配置满足战时功能和平时使用要求的孔口防护设备，并应满足平战转换时限要求。
- 6.5.2 战时人员出入口应设置防护密闭门和密闭门各一道，其它非战时人员出入口应设置一道防护密闭门。
- 6.5.3 战时通风道口部应设置门式清洁式通风系统，门式清洁式通风系统由一道清洁式通风防护密闭门和一道风机密闭门组成；其它非战时通风道口部应设置一道防护密闭门。
- 6.5.4 轨行区孔口防护设备应设置在低速运营区段，相邻防护单元之间的区间防护密闭隔断设备宜在车站范围内的端部设置一道双向承载的防护密闭隔断门，线路自防护区引至非防护区的位置应设置一道防护密闭门和一道密闭门。
- 6.5.5 轨行区设备门孔尺寸应根据线路的曲线半径、设备限界、安全间隙、道岔分布和超宽、超高计算等因素综合确定，并宜按 2~3 种尺寸型号开展设备的设计。
- 6.5.6 所有孔口防护设备均应设置安全固定装置，轨行区设备必须具备将扇体开启到位的状态信号可视化并由 BAS 系统采集上传至车站控制室的功能。
- 6.5.7 道床排水沟经防护密闭隔断门处，应在该门的一侧设置一道可内外分别承受荷载的排水沟防护密闭闸板，其设计荷载同该处的防护密闭隔断门。
- 6.5.8 孔口防护设备的平战转换时限宜按表 6.5.8 确定。

表 6.5.8 孔口防护设备的平战转换时限 [t]

安装部位	出入口、连通口、消防疏散口、隔绝式通风道口		清洁式通风道口		轨行区 区间隔断门、出入线 防护密闭门/密闭门
	单扇	双扇	单扇	双扇	
平战转换时限 /min	3.0	5.0	4.0	6.0	15.0

7 通风

7.0.1 轨道交通人防工程的通风设计，必须确保战时防护要求，并应满足战时和平时使用要求。

7.0.2 各防护单元的战时通风系统应能独立使用。

7.0.3 车站作为紧急人员掩蔽部使用时，应设置清洁式通风和隔绝式防护；作为物资库使用时，应按隔绝式防护设置。

7.0.4 车站内的清洁式通风，宜按一端进风、另一端排风的方式布置。

7.0.5 战时通风道应与平时的通风道兼用设置，通风管路宜兼用设置；除门式清洁式通风系统由人防专业配置外，接力用的风机、短接风管、插板阀等宜由车站通风空调专业按风量、风阻等参数设计配套。

7.0.6 清洁式通风新风量标准应按不小于 $5\text{m}^3/(\text{p} \cdot \text{h})$ 设计，隔绝式防护时间按不小于3h设计。

7.0.7 战时清洁式通风新风量应按掩蔽人数和清洁式通风新风量标准相乘设计：

$$Q_R = Q_p \times n \quad (7.0.7)$$

式中， Q_R ——按掩蔽人员计算所得的新风量（ m^3/h ）；

Q_p ——掩蔽人员新风量标准（ $\text{m}^3/(\text{p} \cdot \text{h})$ ）；

n ——防护单元内的掩蔽人数。

7.0.8 清洁式通风进风系统应采用机械进风，并应设置油网滤尘器和战后通道清洗后的排污设施。

7.0.9 战时人员出入口处的防护密闭门和密闭门的门框墙上应设置气密测量管，气密测量管应采用DN50的镀锌钢管，且两端应有防护密闭措施；

7.0.10 清洁式通风系统专用的风阀宜采用手动操作方式，设置位置不便操作时，亦可采用电动操作方式。

7.0.11 通风系统的风管不得穿越人防门框墙、临空墙和防护密闭隔墙。

7.0.12 平时用通风空调系统的水管，进出防护区穿越人防门框墙、临空墙（板）和主体结构外墙（板）时，均应采用可焊接金属管材从预埋穿墙刚性套管中裸管穿越并采取防护密闭措施；除冷凝水管采取预装法兰短管作临战换装盲板封堵、空调冷媒管临战截断后封堵外，其余均应在防护区内侧设置公称压力不小于1.0MPa的铜芯闸阀，闸阀近端面与所穿墙体之间的距离不大于200mm。

7.0.13 清洁式通风系统相关的设备、阀门、法兰短管、铜芯闸阀等管道附件，均应一次设计和安装到位，不得预留。

7.0.14 专供平时使用的活塞/机械风口、进风口、排风口、排烟口和排气口，均应采取门式防护设备以满足战时的抗力、密闭等防护要求。

8 给排水

8.0.1 轨道交通人防工程战时给排水系统应尽量利用平时的给排水系统，当平时系统不满足要求时，应按要求配置齐备；各防护单元给、排水系统战时应能自成系统。

8.0.2 平时和战时进、出工程的消防水管、空调冷却水管、排水出户管、排气管等给排水管道和供油管路，穿越人防围护结构和防护密闭门框墙、临空墙、防护密闭隔墙时，均应从预埋穿墙（板）刚性防水套管中穿越，并作防护密闭处理；当管径大于 DN300 的管道穿越时，应在其穿围护结构处设置外侧加防护挡板的刚性防水套管。穿越密闭墙时的给、排水管线应作密闭处理。

8.0.3 给排水管道应在下列位置设置公称压力不小于 1.0MPa 的铜芯闸阀：

- 1 穿越工程主体结构时应在靠近穿越处的内侧设置闸阀；
- 2 穿越防护段时应在防护密闭门门框墙的内侧设置闸阀；
- 3 管道穿过防护单元隔墙和连通口门框墙时，应在墙的两侧分别设置闸阀；
- 4 闸阀应安装在便于操作的位置，并应有明显的启闭装置，闸阀近端面与围护结构墙体的距离不宜大于 200mm。

8.0.4 战时人员饮用水用水标准为 $3\text{ L/p}\cdot\text{d}$ ，贮水时间 3d，宜贮存商用桶（瓶）装水；人员饮用水应在紧急转换之前配置到位。

8.0.5 清洁式进风密闭通道的战后冲洗用水，可由清洁区平时给水管道接入，排污口防爆地漏应选用不锈钢材质；其它口部的洗消统一由专业队战后处理。

8.0.6 穿越轨道交通人防工程围护结构的给、排水管材应采用金属管材或给水铸铁管，管道配件与接口应与所选用的管材相匹配，管线穿越防护段处的管材连接方式应采用焊接、法兰连接、丝扣连接等方式。

8.0.7 平时设置的生活给排水设施可兼顾工程战时功能，但污水池的积水应有临战前排空的措施。

8.0.8 平时的污水不宜向防护区域内排放。

9 电气

9.0.1 战时供电电源宜由下列三部分组成：

- 1 电力系统电源；
- 2 车站平时配备的蓄电池组；
- 3 区域电源和自备电源。

9.0.2 战时负荷应按下列规定划分为三级：

- 1 一级负荷：应急照明、通信报警设备；
- 2 二级负荷：战时的正常照明、战时使用的通风设备、电动密闭阀门、电动防护设备；
- 3 三级负荷：不属于一级和二级的战时人防其它负荷。

9.0.3 战时各级负荷的供电应符合下列规定：

- 1 一级负荷应由车站两路电力系统电源和平时配电的蓄电池组供电；
- 2 二级负荷宜由车站两路电力系统电源供电；
- 3 三级负荷由电力系统电源供电；
- 4 由区域电源和自备电源供电。

9.0.4 车站平时配备的蓄电池组对战时一级负荷的连续供电时间不应小于隔绝防护时间。当蓄电池组不能满足供电要求时，则应由自备电站或移动电站引入电源。

9.0.5 战时供电系统应符合下列规定：

- 1 应利用平时节电照明配电系统转换成战时正常照明配电系统；应利用平时应急照明配电系统转换成战时应急照明配电系统；
- 2 战时配电电源宜从就近的平时配电箱和战时应急配电箱引接，平时配电箱应按战时需要预留配电回路。
- 3 区域战时配电电源宜从区域电源引接，各站可从自备电源或从就近人防工程自备电源引接。
- 4 应在口部预埋管线，引接地面应急移动电源，以备战时临时供电。

9.0.6 战时照明应符合下列规定：

- 1 战时正常照明可利用车站平时节电照明；
- 2 战时应急照明可利用车站平时应急照明。

9.0.7 线路敷设应符合下列规定：

- 1 所有穿过防护密闭墙的电气管线均应预埋防护密闭穿墙套管，并应有防护密闭措施；
- 2 电缆桥架不得直接穿过临空墙、防护密闭隔墙、密闭隔墙。当必须通过时应改为穿管敷设，并应符合防护密闭要求；

3 从防护区引到非防护区的照明回路，应在防护区内设置短路保护措施，或单独设置照明回路。

9.0.8 轨行区防护兼防淹设备（防淹门）应设置双电源切换回路，其状态信息发送和受监视部分应配备UPS不间断电源；其它部位的防护兼防洪设备（应急防洪门）应按一级负荷配电。

10 预埋穿墙（板）套管的防护密闭处理

10.0.1 所有进出防护区与非防护区界面的电缆（线）、水管均应从预埋穿墙（板）镀锌钢管中裸缆（线）、裸管通过，不得在人防门框墙、临空墙（板）、防护密闭隔墙（板）上后凿孔。

10.0.2 预埋套管的制作工艺应符合下列规定（如图 10.0.2）：

- 1 管材须为壁厚不小于 2.5mm 的热镀锌钢管；
- 2 套管长度与墙（板）厚一致；
- 3 套管长度中央位置应焊接设置板厚为 5mm 的 Q235B 密闭肋，其外缘直径应大于套管外径不小于 50mm，与套管应双面满焊。

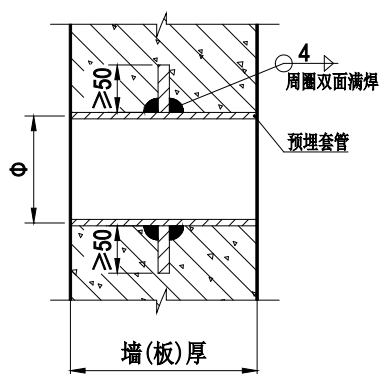


图 10.0.2 预埋穿墙（板）套管的制作

10.0.3 穿越套管时，电缆（线）横截面积不宜超过所穿套管净横截面积的 20%，且电缆根数以 3~5 根为宜。

10.0.4 水管套管宜按国标建筑标准图集《防水套管》(02S404) 或《防空地下室给排水设施安装》(07FS02) A 型刚性套管做法制作和安装。

10.0.5 人防专用的气密性测量管应按双端内丝堵头的方式制作和预埋。

10.0.6 电缆桥架不得直接穿越临空墙、防护密闭隔墙、密闭隔墙，并应在距墙 300~500mm 的位置断开。水管保温保护套不得直接穿越临空墙、防护密闭隔墙、密闭隔墙。

10.0.7 电缆（线）、水管穿越预埋套管后应有可靠的防护密闭处理，不得预留或临战转换期内实施。

10.0.8 预埋套管穿越具有防淹或防洪功能的结构墙（板）体时，其防护密闭处理应满足相应水头压力的要求。

11 防淹与防洪

11.1 一般规定

11.1.1 轨道交通工程线路下穿水域区段,当符合以下条件之一时,应当在两侧的车站端部设置防淹门:

- 1 上部水域为航道的;
- 2 覆土厚度不大于 2 倍的隧道结构计算跨度或直径的;
- 3 存在地质构造带等可造成较大不均匀沉降导致隧道破坏的;
- 4 水域平均面积大于 $4\text{m}(\text{深}) \times 100\text{m}(\text{宽})$ 的不通航河、涌、湖,且穿越水域位置不处于河网受控区域即不在河网内节制闸门的保护范围内的。

11.1.2 轨行区防淹和防洪(区间防淹和出入线口部防护密闭门兼顾防洪)宜选择升降式设备,当建筑空间条件有限时,也可选择立转式设备;选择立转式设备时,关门方向应与水淹时的水流方向一致。

11.1.3 轨行区防淹和防洪设备的启闭机构应采用电力直接驱动方式,并可应急解锁后手动操作;其它出地面防洪设备可采用手动操作形式。

11.1.4 与商业场所连通接口部位,应设置电动立转式应急防洪设备,并预留远程控制接口,设备启闭范围内不得装修。

11.1.5 轨道交通工程出地面口部的应急防洪水头,应以地面一百年一遇的洪涝水位与设备门槛顶面的高差计取;轨行区的防淹水头,应以线路所穿水域一百年一遇洪水位与钢轨顶面的高差加 0.2 米计取;轨行区的应急防洪水头,应以线路所连接停车场、车辆段或车辆基地区域的一百年一遇洪水位与钢轨顶面的高差加 0.2 米计取;与商业场所连通接口部位的应急防洪水头应以商业场所区域一百年一遇洪水位与设备门槛顶面的高差计取。

11.1.6 电驱动防淹和应急防洪设备,必须配套双切电源保障,并应就近在受保护区内设置专用控制室;控制室内的关键设备宜挂墙明装,其底面应高于防淹或防洪设备门槛,高差应不小于 1.0 米。

11.1.7 防淹和应急防洪设备的扇体结构设计和止水设计,不得随意分解破坏其完整性,不宜设置泄水阀等破坏扇体结构整体性的附件。

11.1.8 防淹和应急防洪设备扇体和支撑结构宜采用钢号为 Q235B、Q355B 的型材,止水密封材料宜根据水头压力、压缩位移等条件选用海绵橡胶密封条、橡胶水封或橡塑复合水封,并应得到实测验证。

11.1.9 焊接材料应采用与金属母材强度相适应的焊丝和焊剂。

11.1.10 轨行区道床排水沟不宜直接通过防淹和应急防洪设备的门槛,可通过排水沟底坡度的调整或设置泵站等措施实现轨行区的排水。

11.1.11 防腐蚀涂料与喷涂工艺按本标准第 6.1.11 条规定执行。

11.2 扇体结构计算

11.2.1 防护设备兼顾应急防洪时的设计水头宜按 15 米计取，当计算防洪水头大于 15 米时，应当专项设计；防护设备兼顾防淹时的设计水头宜按 20、25、30、35、40 米设置分档，且不宜跨档选用；与周边商业或其它场所连通过口部位的应急防洪设备设计水头宜按实际值计取。

11.2.2 防淹设备扇体结构计算时的水动力系数宜取 $K_W = 1.1$ ，应急防洪设备扇体结构计算时的水动力系数宜取 $K_W = 1.2$ 。

11.2.3 防淹和应急防洪设备的扇体结构设计和计算应采用容许应力法，分别进行强度、刚度和稳定性验算。不同受力条件下可选钢材的容许应力按表 11.2.3-1 取值。对应焊缝的容许应力按表 11.2.3-2 取值。

表 11.2.3-1 钢材容许应力（N/mm²）

应力种类	抗拉、抗压和抗弯[σ]	抗剪[τ]	局部承压[σ _c]
Q235	160 (150)	95 (90)	240 (225)
Q345	230 (225)	135 (135)	345 (335)

注： 1 表中数值表示钢材厚度或直径不大于 16mm 的情况，括弧中的数值为钢材厚度或直径大于 16mm 且小于 40mm 的情况；

2 局部承压表示端面磨平顶紧（非焊接）等局部受压情况。

表 11.2.3-2 焊缝容许应力（N/mm²）

焊缝种类	对接焊缝				角焊缝
应力种类	抗压 [σ _c ^h]	抗拉 [σ _t ^h] (一、二类焊缝)	抗拉 [σ _t ^h] (三类焊缝)	抗剪 [τ ^h]	抗拉、抗压和抗剪 [τ _t ^h]
Q235	160 (150)	160 (150)	135 (125)	95 (90)	110 (105)
Q345	230 (225)	230 (225)	180 (180)	135 (135)	160 (155)

注： 1 表中数值表示钢材厚度或直径不大于 16mm 的情况，括弧中的数值为钢材厚度或直径大于 16mm 且小于 40mm 的情况；

2 焊缝分类符合 GB/T 14173 《水利水电工程钢闸门制造、安装及验收规范》的规定。

11.2.4 防淹和防洪设备的扇体结构应按 $[\delta] \leq l_0/400$ 进行刚度验算，式中[δ]表示最大容许挠度， l_0 表示计算跨度；刚度验算时，取水动力系数 $K_W = 1.0$ 。

11.2.5 对于设置有内、外面板的防淹和防洪设备，当内、外面板与扇体骨架结构牢固相连，可对主梁翼缘侧向位移形成有效阻碍，可不计算扇体结构的整体稳定性。

11.2.6 组合梁腹板的稳定计算和设置，应符合下列规定：

- 1 当 $h_0/t_w \leq 80\sqrt{235/\sigma_s}$ 时，可不配置加劲肋。其中 h_0 为腹板的计算高度， t_w 为腹板的厚度， σ_s 为

腹板材料的屈服强度。

2 当 $80\sqrt{235/\sigma_s} < h_0/t_w \leq 150\sqrt{235/\sigma_s}$ 时, 应设置横向加劲肋, 加劲肋间距 a 应按式 11.2.6-1~3 计算:

$$a \leq \frac{615h_0}{\frac{h_0}{t_w}\sqrt{\eta\tau-765}} \quad (11.2.6-1)$$

$$\tau = V/(h_w t_w) \quad (11.2.6-2)$$

$$\eta = \frac{1}{\sqrt{1 - \left[\frac{\sigma}{475} \left(\frac{h_0}{1000t_w} \right)^2 \right]^2}} \quad (11.2.6-3)$$

$$\sigma = My_1/I \quad (11.2.6-4)$$

式中, a —横向加劲肋间距 (mm), $0.5h_0 \leq a \leq 2h_0$, 按 (11.2.6-1) 右端计算值大于 $2h_0$ 或分母为负值时, 取 $a = 2h_0$;

h_0 —腹板的计算高度 (mm);

h_w —腹板的高度 (mm);

t_w —腹板的厚度 (mm);

η —考虑弯曲压应力影响的增大系数;

τ —梁段内最大剪力产生的腹板平均剪应力 (N/mm²);

V —剪力 (N);

σ —与 τ 同截面腹板计算高度边缘的弯曲压应力 (N/mm²);

I —梁毛截面惯性矩 (mm⁴);

y_1 —腹板计算高度受压边缘至中性轴距离 (mm)。

3 当 $h_0/t_w > 150\sqrt{235/\sigma_s}$ 时, 应在弯曲应力较大区格的受压区增加设置纵向加劲肋; 横向加劲肋的间距 a 应按式 11.2.6 计算, 但应将 h_0 替换为 h_2 , 并取 $\eta = 1.0$ 。纵向加劲肋至腹板计算高度受压区边缘的距离应为 $h_1 = (1/5 \sim 1/4)h_0$ 。

4 加劲肋宜在腹板两侧成对设置, 也可单侧设置。腹板两侧成对配置的横向加劲肋厚度应按 11.2.6-5 计算, 单侧设置时则乘以 1.2 的放大系数。

$$t_s \geq h_0/450 + 8/3 \quad (11.2.6-5)$$

5 同时设置横向加劲肋和纵向加劲肋时, 横向加劲肋的截面惯性矩 I_z 还应满足式 (11.2.6-6) 的要求; 纵向加劲肋的截面惯性矩 I_y 应满足式 (11.2.7) 的要求。

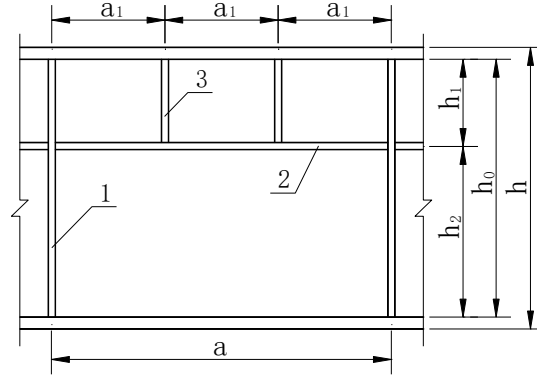
$$I_z \geq 3h_0 t_w^3 \quad (11.2.6-6)$$

$$\begin{cases} I_y \geq 1.5h_0 t_w^3 & , a/h_0 \leq 0.85 \\ I_y \geq (2.5 - 0.45 a/h_0)(a/h_0)^2 1.5h_0 t_w^3 & , a/h_0 > 0.85 \end{cases} \quad (11.2.6-7)$$

6 短加劲肋的间距 a_1 不小于 $0.75h_1$, 厚度可按 $0.7 \sim 1.0$ 倍的横向加劲肋厚度取值。

7 单侧设置的加劲肋，其截面惯性矩应按与加劲肋相连腹板的边缘为轴线计算。

8 梁端支承加劲肋应对称双侧设置，且应按承受支座反力的轴心受压构件计算其在腹板平面外的稳定性。此受压构件的截面应包括加劲肋和加劲肋两侧 $15t_w\sqrt{235/\sigma_s}$ 范围内的腹板，计算长度取 h_0 。



1. 横向加劲肋； 2. 纵向加劲肋； 3. 短加劲肋

图 11.2.6 加劲肋布置

11.2.7 梁翼缘的自由延伸宽度 b 与其厚度 t 之比应满足式 (11.2.7-1) 的要求；对于箱型截面梁，受压翼缘板在两腹板之间的无支承宽度 b_0 与其厚度 t 之比应满足式 (11.2.7-2) 的要求。

$$b/t \geq 13\sqrt{235/\sigma_s} \quad (11.2.7-1)$$

$$b/t \geq 40\sqrt{235/\sigma_s} \quad (11.2.7-2)$$

11.2.8 面板及其参与梁系有效宽度的计算应符合下列要求：

1 梁格布置时宜使面板长短边长之比 b/a 处于1.5~2.0范围以内，且长边宜与主梁方向一致。

2 面板的局部弯曲应力，可视支承边界情况，按弹性薄板理论承受均布荷载计算。初选面板厚度按式 (11.2.8-1) 计算。

$$\delta = a \sqrt{\frac{K_y q}{1.5[\sigma]}} \quad (11.2.8-1)$$

$$\begin{cases} K_y = 0.521 - 2.133e^{-2.297b/a} & , \quad \text{四边固支} \\ K_y = 0.764 - 2.204e^{-1.617b/a} & , \quad \text{三边固支、长边简支} \\ K_y = 0.500 - 5.330e^{-3.643b/a} & , \quad \text{三边固支、短边简支} \end{cases} \quad (11.2.8-2)$$

式中， δ ——初选面板厚度 (mm)；

K_y ——弹性薄板支承长边中心点弯曲应力系数；

q ——面板区格中心的水压力强度 (N/mm²)；

a ——面板计算区格的短边长度 (mm)，自面板与主次梁的连接焊缝起算；

$[\sigma]$ ——钢材的容许应力，按表 11.2.3-1 取值。

3 面板强度验算时，应考虑面板局部应力与面板兼做主（次）梁翼缘整体弯曲应力的叠加效应，

叠加后的折算应力 σ_{zh} 可按式(11.2.8-3)和(11.2.8-4)计算。

$$\begin{cases} \text{当 } b/a > 1.5, \text{ 且长边与主梁轴线方向一致 (如图 11.2.8-1) 时:} \\ \sigma_{zh} = \sqrt{\sigma_{my}^2 + (\sigma_{mx} - \sigma_{ox})^2} - \sigma_{my}(\sigma_{mx} - \sigma_{ox}) \leq 1.65[\sigma] \\ \sigma_{my} = K_y q a^2 / \delta^2 \\ \sigma_{mx} = 0.3\sigma_{my} \end{cases} \quad (11.2.8-3)$$

式中, σ_{zh} ——面板的折算应力 (N/mm^2);

σ_{my} ——垂直于主(次)梁轴线方向的面板支承长边中点的局部弯曲应力 (N/mm^2), 取绝对值;

σ_{mx} ——面板沿主(次)梁轴线方向的局部弯曲应力 (N/mm^2), 取绝对值;

σ_{ox} ——对应于面板验算点的主(次)梁上翼缘的整体弯曲应力 (N/mm^2), 取绝对值。

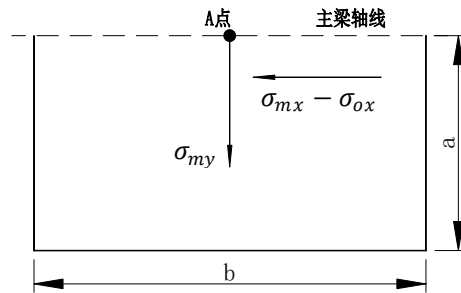


图 11.2.8-1 面板布置图 (长边与主梁轴线一致)

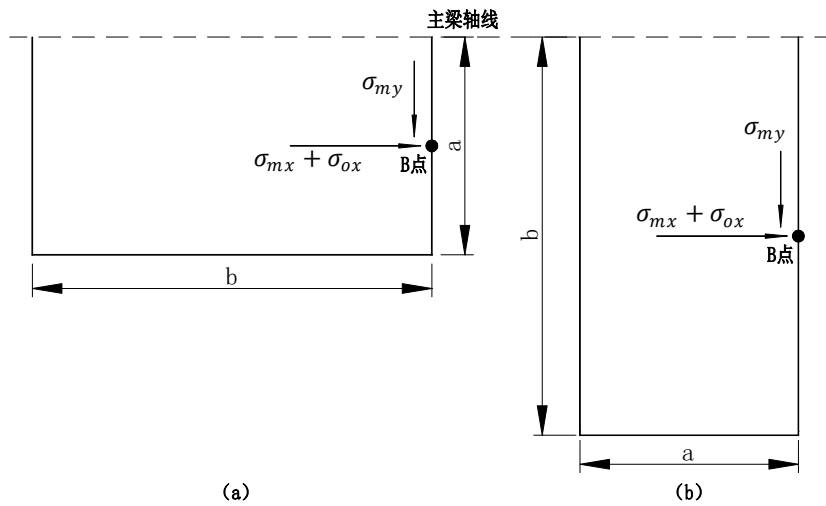


图 11.2.8-2 面板布置图 (长边与主梁轴线垂直)

$$\begin{cases} \text{当 } b/a \leq 1.5 \text{ 或长边与主梁轴线方向垂直 (如图 11.3.8-2) 时:} \\ \sigma_{zh} = \sqrt{\sigma_{my}^2 + (\sigma_{mx} + \sigma_{ox})^2} - \sigma_{my}(\sigma_{mx} + \sigma_{ox}) \leq 1.65[\sigma] \\ \sigma_{mx} = K q a^2 / \delta^2 \\ \sigma_{my} = 0.3\sigma_{mx} \\ \sigma_{ox} = \frac{(1.5\xi_1 - 0.5)M}{W} \end{cases} \quad (11.2.8-4)$$

$$\begin{cases} K_x = 0.345 - 8.463e^{-5.437b/a} & b/a > 1.6 \text{ 时 } K_x = 0.343, \quad \text{四边固支} \\ K_x = 0.472 - 4.280e^{3.642b/a} & \text{, 三边固支、长边简支} \\ \begin{cases} K_x = 0.328 & (b/a = 1.0) \\ K_x = 0.341 & (b/a = 1.25 \sim 1.75) \\ K_x = 0.342 & (b/a > 1.75) \end{cases} & \text{, 三边固支、短边简支} \end{cases} \quad (11.2.8-5)$$

式中, K ——长边垂直于主梁轴线时同 K_v , 长边平行于主梁轴线时同 K_x , 按式(11.2.8-5)计算;

ξ_1 ——面板兼做主梁上翼缘的有效宽度系数,按本条第4款计算;

M ——对应于面板验算点主梁的弯矩 ($\text{N} \cdot \text{mm}$);

W ——对应于面板验算点主梁的截面积抗矩 (mm^3)。

4 面板参与梁系有效宽度应按式 (11.2.8-6) 和式 (11.2.8-7) 计算:

$$B = \text{Min} \begin{cases} \xi_1 b \\ 60\delta + b_1 \text{--- Q235 钢} \\ 50\delta + b_1 \text{--- Q355 钢} \end{cases} \quad (11.2.8-6)$$

$$\xi_1 = 0.976 - 1.104e^{-0.682l_0/b} \quad (11.2.8-7)$$

式中, b ——梁间距 (mm);

b_1 ——梁腹板厚度 (mm), 对于工字钢、H 型钢与面板的组合梁, 则为上翼缘的宽度;

 δ ——面板厚度 (mm);

ξ_1 ——面板有效宽度系数;

l_0 ——梁的计算跨度 (mm)。

11.3 启闭机及控制系统

11.3.1 轨道交通工程中的防淹和应急防洪设备宜按不小于设备自重 50% 的下压力设计。

11.3.2 升降式防淹和应急防洪设备宜选用螺杆启闭机，且宜与扇体一体化设计，并严格控制对建筑空间的占用。

11.3.3 防淹和应急防洪设备的电动启、闭时限均宜按不大于 180s 设计，车站出入口、风道口和消防疏散口的应急防洪设备手动启闭时间宜按不大于 10min 设计，轨行区设备的手动启闭时间宜按不大于 15min 设计。

11.3.4 汇流排等影响关闭的障碍的排除，应纳入管理流程，且宜设置机械式联动。

11.3.5 启闭机构的驱动应按程控标准设计，轨行区的防淹和应急防洪设备必须得到列车运营信号系统的许可后才能实施关闭动作，并应具备特殊情况下的强制关闭功能。

11.3.6 执行区防淹和应急防洪设备的控制系统应按三级监视、两级控制设计；设备的唯一安全状态是“完全打开并锁定”，该状态信息应实时不间断地分别传送至列车运营信号系统、就地控制室和车站控制室；设备的优先控制权应在就地控制室，车站控制室内应具备设备启闭全流程的操作功能。

11.3.7 轨行区防淹和应急防洪设备控制系统应以故障导向安全为核心设计，配备安全限位、防误操作

等装置。

11.4 止水装置

11.4.1 止水装置宜设置在防淹和应急防洪设备的扇体上，各部位止水装置应具有连续性和严密性。

11.4.2 止水装置应设计有预压缩量，预压缩量宜按4~6mm设计。

11.4.3 止水装置宜采用不锈钢或镀锌紧固件固定，固定点间距不宜小于 150mm；采用水封时的压板厚度不宜小于 10mm。

11.4.4 扇体底部防渗漏应按式（11.4.4）验算：

$$\sigma_y \geq 0.0012\gamma H_s \tag{11.4.4}$$

式中， σ_y ——为扇底止水在底槛上的压应力（N/mm²）；

γ ——水的容重（kN/m³）；

H_s ——底槛处的水头（m）。

附录 A 钢筋混凝土板柱结构设计要点

A.1 一般规定

A.1.1 人防工程板柱结构的柱网宜为正方形或矩形，区格内长短跨之比不宜大于 1.5。

A.1.2 当板柱结构板的配筋符合本附录规定时，其允许延性比可取 3。

A.2 承载力计算

A.2.1 在等效静荷载和静荷载共同作用下，当按弹性受力状态计算板柱结构的内力时，宜按下列方法对板的内力值进行修正：

1 当用直接方法计算时，对中间区格的板，宜将支座负弯矩与跨中正弯矩之比，从 2.0 调整到 1.3~1.5；对边跨板，也宜相应降低负、正弯矩的比值；

2 当用等代框架方法计算时，宜将支座负弯矩下调 10%~15%，并按平衡条件将跨中正弯矩相应上调；

3 支座负弯矩在柱上板带和跨中板带的分配可取 3:1 到 2:1；跨中正弯矩在柱上板带和跨中板带的分配可取 1:1 到 1.5:1；

4 当板柱结构的板与钢筋混凝土边墙整体浇筑时，边跨板支座负弯矩与跨中正弯矩之比，可按中间区格板进行修正。

A.2.2 沿柱边、柱帽边、托板边、板厚变化及抗冲切钢筋配筋率变化部位，应按下列规定进行受冲切承载力验算：

1 当板内不配置箍筋和弯起钢筋时，受冲切截面应符合下列条件：

$$F_l \leq 0.7\beta_h f_{td} \eta u_m h_0 \quad (\text{A.2.2-1})$$

公式 (A.2.2-1) 中系数 η ，对底板，可取 1.0；对顶板或楼板，应按下列两个公式计算，并取其中较小值：

$$\eta_1 = 0.4 + \frac{1.2}{\beta_s} \quad (\text{A.2.2-2})$$

$$\eta_2 = 0.5 + \frac{\alpha_s h_0}{4u_m} \quad (\text{A.2.2-3})$$

式中： F_l ——冲切荷载设计值 (N)；可取柱所承受的轴向力设计值减去柱顶冲破坏锥体范围内的荷载设计值；

β_h ——截面高度影响系数：当 $h \leq 800\text{mm}$ 时，取 $\beta_h = 1.0$ ；当 $h \geq 2000\text{mm}$ 时，取 $\beta_h = 0.9$ ，其间按线性内插法取用；

f_{td} ——混凝土在动荷载作用下抗拉强度设计值 (N/mm^2)；

u_m ——冲切破坏锥体上、下周边的平均长度 (mm)。可取距冲破坏锥体下周边 $h_0/2$ 处的周长；

h_0 ——冲切破坏锥体截面的有效高度 (mm)；

η_1 ——局部荷载或集中反力作用面积形状的影响系数；

η_2 ——临界截面周长与板截面有效高度之比的影响系数；

β_s ——局部荷载或集中反力作用面积为矩形时的长边与短边尺寸的比值， β_s 不宜大于 4；当 $\beta_s < 2$ 时，取 $\beta_s = 2$ ；当面积为圆形时，取 $\beta_s = 2$ ；

α_s ——板柱结构中柱类型的影响系数：对中柱，取 $\alpha_s = 40$ ；对边柱，取 $\alpha_s = 30$ ；对角柱，取 $\alpha_s = 20$ 。

2 当板内配置箍筋或弯起钢筋时，受冲切截面应符合下列条件：

$$F_l \leq 1.05 f_{td} \eta u_m h_0 \quad (\text{A.2.2-4})$$

(1) 当板内配置箍筋时，受冲切承载力可按下列公式验算：

$$F_l \leq 0.35 f_{td} \eta u_m h_0 + 0.6 f_{yd} A_{sv} \quad (\text{A.2.2-5})$$

(2) 当板内配置弯起钢筋时，弯起钢筋跟数不应少于 3 根，受冲切承载力可按下列公式验算：

$$F_l \leq 0.35 f_{td} \eta u_m h_0 + 0.6 f_{yd} A_{sb} \sin \alpha \quad (\text{A.2.2-6})$$

式中， f_{yd} ——在动荷载作用下抗冲切箍筋或弯起钢筋的抗拉强度设计值 (N/mm²)；

A_{sv} ——与呈 45° 冲切破坏锥体斜截面相交的全部箍筋截面面积 (mm²)；

A_{sb} ——与呈 45° 冲切破坏锥体斜截面相交的全部弯起钢筋截面面积 (mm²)；

α ——弯起钢筋与板底面的夹角 (°)。

A.2.3 当板柱结构的跨度大于 6m，或其相邻跨度不等时，冲切荷载设计值应取按等效静荷载和静荷载共同作用下求得的冲切荷载的 1.1 倍；当板柱结构的相邻跨度不等，且长短跨之比超过 4:3，或柱两侧节点不平衡弯矩与冲切荷载设计值之比超过 $0.05(c + h_0)$ (c 为柱边长或柱帽边长) 时，应增设箍筋。

A.3 构造要求

A.3.1 板柱结构的板内纵向受力钢筋的最小配筋率不应小于 0.3% 和 $0.45 f_{td}/f_{yd}$ 中的较大值。

A.3.2 板柱结构的板内纵向受力钢筋宜通长布置，间距不应大于 $1.5h$ (h 为板厚)，且不应大于 250mm，并应符合下列规定：

1 邻跨之间的纵向受力钢筋宜采用焊接接头，或伸入邻跨内锚固；

2 底层钢筋宜全部拉通，并不宜弯起；顶层钢筋不宜采取在跨中切断的分离式配筋；

3 当相邻两支座的负弯矩相差较大时，可将负弯矩较大支座处的顶层钢筋局部截断，但被截断的钢筋截面面积不宜超过顶层受力钢筋总截面面积的 1/3，且被截断的钢筋应延伸至按正截面受弯承载能力计算不需设置钢筋处以外，延伸的长度不应小于 20 倍钢筋直径。

A.3.3 顶层钢筋网和底层钢筋网之间应设梅花形布置的拉结筋，其直径不应小于 6mm，间距不应大于

500mm，弯钩直线段长度不应小于拉结筋直径的 6 倍，并不应小于50mm。

A.3.4 混凝土板中配置抗冲切箍筋或弯起钢筋时,应符合下列构造要求:

1 按计算所需的箍筋 A_{sv} 及相应的架立钢筋应配置在与 45° 冲切破坏锥面相交的范围内，且从集中荷载作用面或柱截面边缘向外的分布长度不应小于 $1.5h_0$ ， A_{sv} 不应小于 $0.2u_m h_0 f_{td}/f_{yd}$ ，箍筋直径不应小于6mm，间距不应大于 $h_0/3$ （图 A.3.4a）。当板的厚度小于350mm时，箍筋应做成封闭式；当板的厚度不小于350mm时，箍筋可做成开口式，并可用拉结筋部分代替部分箍筋，但其截面积不得大于所需箍筋截面面积的25%；

2 按计算所需弯起钢筋的弯起角度可根据板的厚度在 $30^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 之间选取；弯起钢筋的倾斜段应与冲切破坏锥面相交，其交点应在集中荷载作用面或柱截面边缘以外 $(1/2\sim 2/3)h$ 的范围内（图 A.3.4b）。弯起钢筋直径不宜小于12mm，且每个方向不宜少于3根。

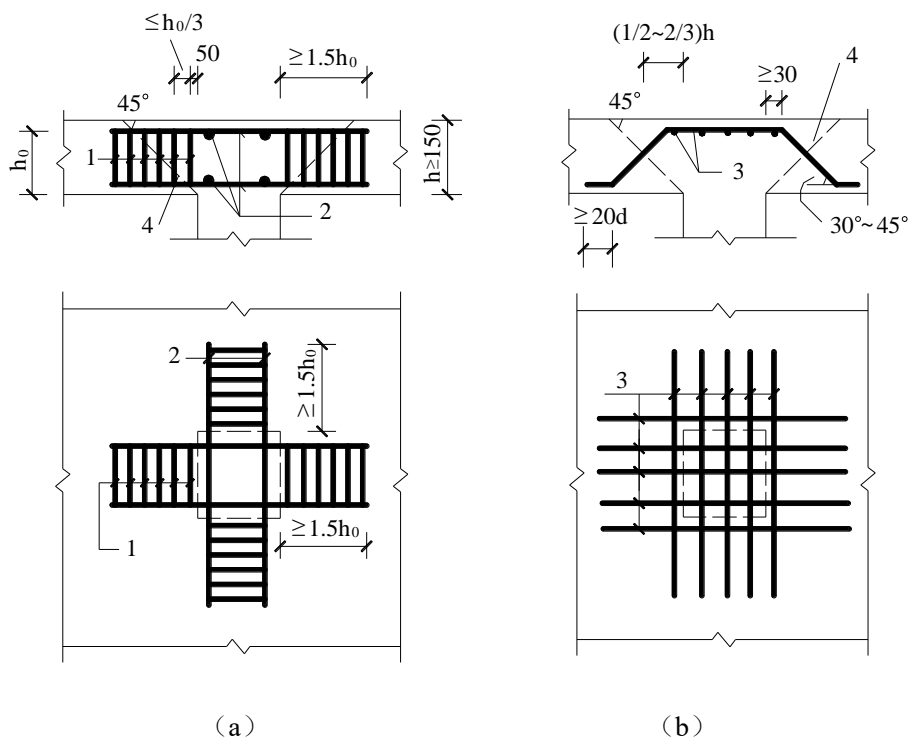


图 A.3.4 板中抗冲切钢筋布置

(a) 箍筋布置; (b) 弯起钢筋布置

1—箍筋; 2—架立钢筋; 3—弯起钢筋; 4—冲切破坏锥体斜截面

A.4 反托板的设计要点

A.4.1 人防工程板柱结构底板可采用反托板(图 A.4.1)。反托板宽度或圆形托板直径,宜取大于或等于 0.5 倍板柱结构跨度,且小于或等于 0.6 倍板柱结构跨度;反托板顶面抗冲切宽度宜按下列公式确定:

$$b_0 = a + 2(h_1 + h_2) \quad (\text{A.4.1})$$

式中 b_0 ——反托板顶面抗冲切宽度 (mm);

a ——柱宽或圆柱直径 (mm);

h_1 ——底板厚度 (mm);

h_2 ——托板厚度 (mm)。

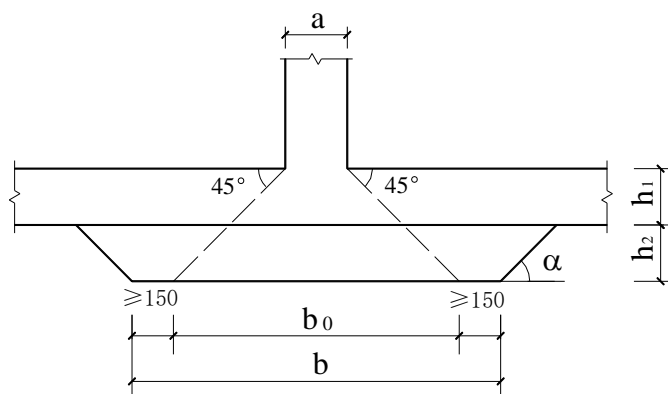


图 A.4.1 反托板

(注: α ——模角, 可取 $45^\circ \sim 60^\circ$)

A.4.2 反托板承载能力计算应符合本附录第 A.2 节的规定。

A.4.3 反托板的横向钢筋配筋量应符合下列公式规定:

$$F \leq A_{sbt} f_{yd} \sin \alpha + A_{svt} f_{yd} \quad (\text{A.4.3})$$

式中 F ——单柱承受的轴向力设计值 (N);

A_{sbt} ——四周吊筋和弯起钢筋总截面面积 (mm^2);

f_{yd} ——在动荷载作用下钢筋抗拉强度设计值 (N/mm^2);

α ——反托板的模角, 可取 $45^\circ \sim 60^\circ$;

A_{svt} ——箍筋截面面积总和 (mm^2)。

A.4.4 当反托板中配有弯起钢筋和箍筋时, 受冲切承载力可按下列公式验算:

$$F_l \leq 0.35 f_{td} u_m h_0 + 0.8 f_{yd} A_{sb} \sin \alpha + 0.8 f_{td} A_{sv} \quad (\text{A.4.4})$$

式中 F_l ——冲切荷载设计值 (N);

f_{td} ——在动荷载作用下混凝土抗拉强度设计值 (N/mm^2);

u_m ——冲切破坏锥体上、下周边的平均长度 (mm)。可取距冲切破坏锥体上周边 $h_0/2$ 处的周长;

h_0 ——冲切破坏锥体截面的有效高度 (mm);

A_{sb} ——与呈 45° 冲切破坏锥体斜截面相交的全部弯起钢筋截面面积 (mm^2);

A_{sv} ——与呈 45° 冲切破坏锥体斜截面相交的全部箍筋截面面积 (mm^2)。

A.4.5 反托板的构造应符合下列规定 (图 A.4.5):

- 1 反托板底层钢筋最小配筋率应大于0.3%, 间距不应大于150mm, 直径不应小于12mm;

- 2 反托板底层吊筋和弯起钢筋伸入板内锚固的水平段长度不应小于钢筋直径的 30 倍。

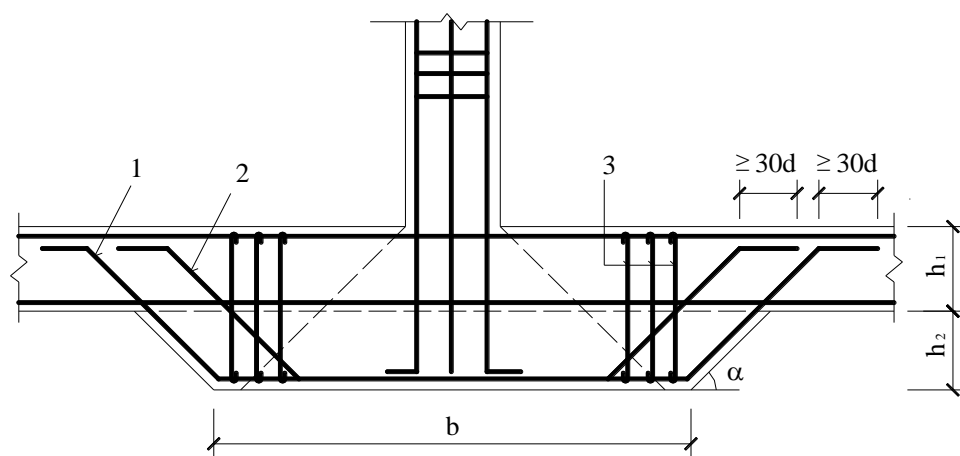


图 A.4.5 反托板构造

1—吊筋；2—弯起钢筋；3—箍筋

附录 B 钢管混凝土柱的设计要点

B.1 承载能力计算

B.1.1 在动荷载作用下轴心受压钢管混凝土柱的承载能力可按下列公式计算：

$$N_0 = A_c f_{cd} (1 + \sqrt{\theta} + \theta) \psi_l \quad (\text{B.1.1-1})$$

$$\theta = \frac{A_s f'_{yd}}{A_c f_{cd}} \quad (\text{B.1.1-2})$$

式中 N_0 ——钢管混凝土柱的承载能力 (N)；

θ ——套箍指标；

A_c 、 f_{cd} ——分别为核心混凝土的截面面积 (mm^2) 和在动荷载作用下抗压强度设计值 (N/mm^2)；

A_s 、 f'_{yd} ——分别为钢管的横截面面积 (mm^2) 和在动荷载作用下抗压强度设计值 (N/mm^2)；

ψ_l ——钢管混凝土柱的稳定系数。

B.1.2 钢管混凝土柱的稳定系数可按下列规定计算确定：

1 当钢管混凝土柱的上、下端与钢筋混凝土梁、板整体连接，且柱的计算长度与柱的外径之比小于 4 时，稳定系数可取 1.0；

2 当柱的计算长度与柱的外径之比大于或等于 4 时，稳定系数可按下列公式计算：

$$\psi_l = 1 - 0.115(l/D - 4)^{1/2} \quad (\text{B.1.2})$$

式中 ψ_l ——稳定系数；

l ——柱的计算长度 (mm)；

D ——柱的外径 (mm)。

B.1.3 当钢管混凝土柱偏心受压时，其承载能力应乘以折减系数。折减系数可按下列公式计算：

$$\phi_e = \frac{N_e}{N_0} = \frac{1}{(1 + 1.85e_0/r_c)} \quad (\text{B.1.3})$$

式中 ϕ_e ——折减系数；

N_0 、 N_e ——分别为轴心和偏心受压时的钢管混凝土柱承载能力 (N)；

e_0 ——钢管混凝土柱上端或下端偏心距中的较大值 (mm)；

r_c ——核心混凝土横截面半径 (mm)。

B.2 构造要求

B.2.1 钢管混凝土柱的设计应符合下列规定：

- 1 钢管壁厚不宜小于 8mm，外径与壁厚之比宜取 20～100；
- 2 钢管可采用直缝焊接管、螺旋形缝焊接管和无缝钢管。焊接必须采用对接焊缝，焊接强度不应

低于管材强度；

3 钢管和混凝土材料的选用应符合现行国家标准《钢结构设计规范》和《混凝土结构设计规范》的规定，混凝土强度等级不应低于C30。

B.2.2 钢管混凝土柱上、下端部与钢筋混凝土梁或板的连接处应设置连接构造钢筋，并应验算联结面上的混凝土局部受压承载能力。连接构造钢筋的截面面积之和不应低于钢管截面积的25%。

B.2.3 当承压面的混凝土局部承载能力不满足要求时，应在钢筋混凝土梁或板内设置钢筋网。

B.2.4 当钢管混凝土柱端设置相同壁厚的钢管混凝土柱帽时，柱帽的坡度宜大于45°，且柱帽最大直径与柱直径之比不宜超过2.5。

B.2.5 应在柱帽根部与柱相接 $d/3$ 的区段内（图 B.2.5），设置钢筋网套箍。套箍的体积含钢率不宜低于钢管柱的含钢率。

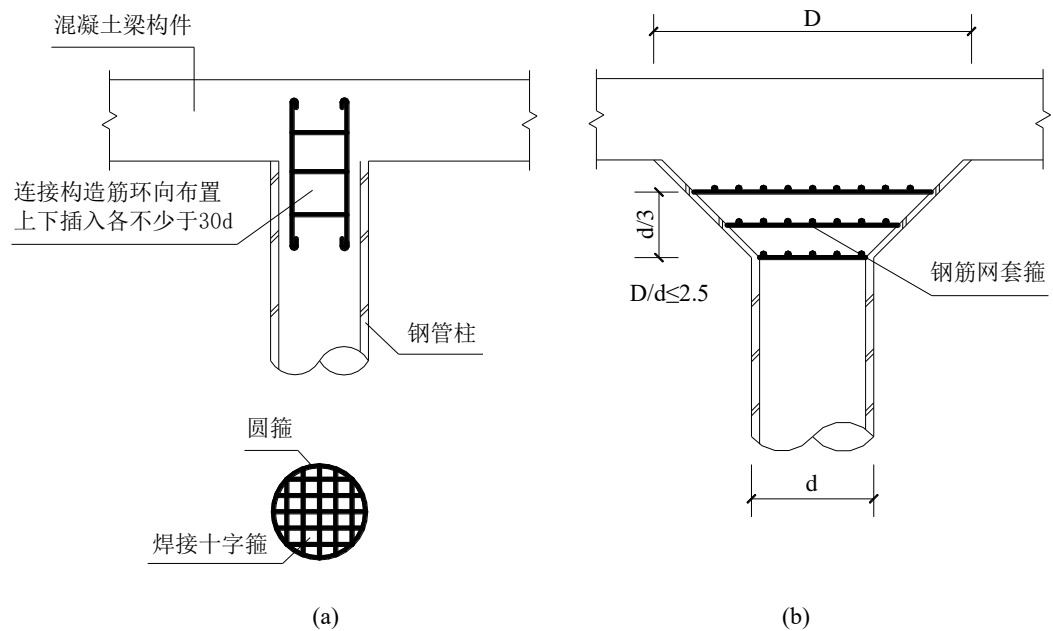


图 B.2.5 柱端构造图

(a)无柱帽；(b)有柱帽

B.2.6 钢管制作及质量要求，应符合国家现行标准《钢管混凝土结构设计与施工规程》的规定，并不得与相连的底部构件同时进行浇灌。

附录 C 钢筋混凝土反梁设计要点

C.1 承载能力计算

C.1.1 钢筋混凝土反梁的正截面受弯承载能力的验算，可按正梁的计算方法进行。

C.1.2 反梁的斜截面受剪承载能力可按下列公式计算：

$$V = 0.4\psi_l\beta_k f_{td}bh_0 + 0.95\beta_k f_{yd} \frac{A_{sv}}{s} h_0 \quad (\text{C.1.2-1})$$

$$\psi_l = 1 + 0.1 \frac{l_0}{h_0} \quad (\text{C.1.2-2})$$

式中 V ——等效静荷载和静荷载同时作用下梁斜截面最大剪力设计值 (N)；

A_{sv} ——配置在同一截面内箍筋各肢的全部截面面积 (mm²)；

s ——沿构件长度方向上箍筋间距 (mm)；

h_0 ——梁截面的有效高度 (mm)；

b ——梁的宽度 (mm)；

f_{td} ——动荷载作用下混凝土抗拉强度设计值 (N/mm²)；

ψ_l ——跨高比影响系数。 $l_0/h_0 > 7.5$ 时，可取 $l_0/h_0 = 7.5$ 并按式 (C.1.2-2) 计算；

β_k ——动荷载效应影响系数：当构件动力系数 $K_d \geq 1.0$ 时，可取 $\beta_k = 1.0$ ；当构件动力系数 $K_d < 1.0$ 时，可取 $\beta_k = K_d/(0.75K_d + 0.25)$ ；

f_{yd} ——动荷载作用下箍筋抗拉强度设计值 (N/mm²)；

l_0 ——梁的计算跨度 (mm)。

C.1.3 反梁的箍筋设计应符合下列公式规定：

$$V \leq 0.4\beta_k f_{yd} \frac{A_{sv}}{s} l_0 \quad (\text{C.1.3})$$

C.1.4 当对只承受静荷载作用下的反梁进行斜截面受剪承载能力验算时，可按本附录公式 (C.1.2) 及公式 (C.1.3) 计算，但式中的最大剪力设计值和强度设计值，应取静荷载作用下的相应值。

C.2 构造要求

C.2.1 反梁箍筋体积配筋率应符合下列公式规定：

$$\rho_{sv} \leq 1.5 \frac{f_{td}}{f_{yd}} \quad (\text{C.2.1})$$

式中 ρ_{sv} ——梁中箍筋体积配筋率。

C.2.2 在动荷载作用下，反梁的构造要求应符合本标准的有关构造要求。

本标准用词说明

- 1 为便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：
 - 1) 表示很严格，非这样做不可的用词：
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。
 - 2) 表示严格，在正常情况均应这样做的用词：
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。
 - 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。
- 2 本标准中指明应按其它有关标准、规范执行的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

厦门市地方标准

轨道交通工程人防设计标准

DB 3502/T 146-2024

条文说明

目 次

1 总则 68

3 基本规定 69

3.1 一般规定 69

3.2 设防等级与设防标准 70

3.3 平战功能转换 70

3.4 管线布置与管孔防护密闭处理 70

4 建筑 71

4.1 一般规定 71

4.2 防护单元的划分 72

4.3 口部 72

4.4 口部的防护密闭 73

4.5 房间及装修 74

5 结构 76

5.1 一般规定 76

5.2 材料 77

5.3 结构动力计算 77

5.4 常规武器作用计算的一般规定 78

5.5 常规武器非直接命中时的结构荷载计算 79

5.7 常规武器在出入口外爆炸时的结构荷载计算 79

5.8 核爆炸地面空气冲击波及土（岩）体压缩波参数 79

5.9 核爆作用下明挖法施工工程结构荷载 79

5.10 核爆作用下暗挖法施工工程结构荷载 79

5.11 核爆作用下防倒塌棚架、口部、临空墙结构荷载 79

5.12 截面设计 79

5.13 防护设备门框墙的设计与计算 79

5.14 构造规定 80

6 孔口防护设备与消波系统 81

6.1 一般规定 81

6.2 荷载 81

6.3 扇体结构计算 82

6.4 消波系统 82

6.5 孔口防护设备的配置要求 82

7 通 风 84

8 给排水 85

9 电气 86

10 预埋穿墙（板）套管的防护密闭处理 87

11 防淹与防洪 88

11.1 一般规定 88

11.2 扇体结构计算 88

11.3 启闭机及控制系统 89

11.4 止水装置 90

1 总则

1.0.1 为规范化厦门市域内轨道交通工程的“兼顾人防”设计工作，特制订本标准。

1.0.2 规定了本标准的适用范围。

1.0.3 规定了人防工程的设计和建设应遵循的原则，即厦门市的“人防建设与城市建设相结合规划”，只有符合规划建设的工程才能综合发挥战备、社会和经济效益，才能把人防工程建设提高到一个新的水平。

1.0.4 明确规定了厦门轨道交通工程作为甲类人防工程的防护要求。

1.0.5 强调了轨道交通人防设施应兼顾平时防灾。

1.0.6 规定了与相关的国家现行强制性条文的关系。

1.0.7 附属属于轨道交通工程的停车场、车辆段、车辆基地、主变电所等，可设防部位往往仅限于办公楼、宿舍楼等建筑，其特点明显区别于线型轨道交通工程，更适合按福建省结合建设人防工程标准执行。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 轨道交通人防工程的战时功能是由其工程性质决定的，也是城市防护的需要。城市轨道交通工程大多设置于城市片区或需要规划拉动发展区域，也正是人口密集区，城市防空防护体系需要四通八达连网成片，利用轨道交通工程的运输功能作为人防的疏散通道，正是平时和战时功能的高度结合。

轨道交通工程战时的主要功能是保障人员安全交通、转移和物资运输，这是人民防空工程战术技术要求所规定的。战时在供电仍有保障、确保运行安全的情况下，轨道交通工程可发挥人员疏散转移快速、运输能力强的优势，继续保持有限运行，即使机车不运行，通过轨道平车、人员步行仍可以承担疏散、运输功能。当待疏散人员遇到威胁不能继续疏散时，可就近在车站内应急掩蔽，车站的公共区域战时作为紧急人员掩蔽部使用。这样既在一定程度上解决了城市人员掩蔽部的不足，同时也解决了城市中流动人口在战时的临时掩蔽问题。此外，还可利用车站的大空间储存或转运部分物资，解决部分战时物资调配运输问题。

3.1.2 轨道交通工程的基础功能是交通运营，兼顾人防时不应严重影响其平时运营功能的正常发挥，二者之间应充分协调、互有兼顾。

3.1.3 鉴于轨道交通人防工程的主要功能是战时安全交通、人员和物资的疏散和转移，地下区段的连续性是线性工程保障战时功能的最基本条件，非特殊情况不应随意中断。对于工程方案中的地面车站和高架车站，不受该条规定限制；对于半地下车站，鉴于平战转换工作量巨大，亦不受此条限制。

3.1.4 作为人员非常集中、空间又相对独立和封闭的场所，平时特别是战时，安全环境形势变化不可预测，各种突发情况下的人员安全疏散问题应予以特别关注。

3.1.5 作为城市防护体系中重要的骨干型工程，平时做好维护工作无疑对其战时功能的发挥不可或缺。同时，该类工程也具有与普通商业、住宅等民用工程不同的设计标准如防护等级、防洪标准，与附近地下工程连通时特别是改造型连通，无疑会存在可能的漏洞。因此本条强调，无论是人防功能，还是防洪标准，均应得到应有的维护。

3.1.6 结构凸出地面，不但存在冲击波超压荷载的增大，还面临早期核辐射的威胁，这时必须专门计算和验算。特别是口部安装孔口防护设备的防护段，不仅存在土建结构方面的问题，对于直接暴露于弹片直射范围将可能使其承受冲击波和弹片的复合作用，而且这种情况也超出了防护设备的额定能力。此外，相对于钢筋混凝土材料，防护设备采用的钢结构材料对早期核辐射中一些粒子的抵抗也是偏弱的。

3.1.7 无数事实已经证明，信息的及时、透明发布，对于非常时期的心理稳定、社会稳定异常重要，进而会严重影响到非常时期的社会组织和管理。鉴于轨道交通工程内部已经具备高度完善的声、像传输发布系统，人防信息完全可以与运营指挥中心单点对接，使得平时的演习演练、防灾减灾等信息及时覆盖

到工程内的人群，亦可在战时发布社会组织、疏散引导、军地协同等信息，稳定民心，更好备战。

3.1.9 在第 3.1.5 条基础上，特别提出改造工程不得弱化原有防护标准和功能。

3.2 设防等级与设防标准

本节主要目的为厦门市域内的轨道交通人防工程的基础性设防标准，订立设计准则，便于新建线路相关各方工作的顺利开展。按国家人民防空办公室规定，厦门市为人民防空一类城市，根据厦门市人防工程建设规划并参照国内地铁设防标准，厦门市域内的轨道交通工程地下区段按甲类工程设防，抗力等级应按防核武器 6 级和防常规武器 6 级、防化等级按丁级防化标准确定。鉴于国防工程的有关实践和专项试验，全工程超压仅具理论上的可能，并基于地铁设防“主要保障疏散人员安全交通、转移和物资疏散”的功能定位，不考虑提高防化等级。

车站公共区泛指站厅、站台层除设备区、轨行区以外的非付费区和付费区区域。出入口人防段以内的通道及其与主体接口附近的公共区，考虑到可能的早期核辐射效应，从战时管理的角度，不建议作为人员掩蔽区使用。

3.3 平战功能转换

本节界定了轨道交通人防工程实施平战转换的具体内容和时限，是设计工作必须坚持的原则和标准，严格控制平战转换工作量是设计的中心工作。

个人防化装备一般是指防毒面具、防护面罩之类的单兵防护用品。

3.4 管线布置与管孔防护密闭处理

管线穿越人防墙体是实际工程建设中最为难以控制质量的薄弱环节，特别是长通道排烟管、物业商业区的排油烟管，对于人防平战转换造成了较大影响，尤其对于应急防洪的有效实施将可能造成重大损失，因此，本节给出较为具体的规定。

4 建筑

4.1 一般规定

4.1.1 强行将同一车站空间划分到不同的防护单元，很有可能导致运营功能严重受损，比如将无外通道换乘条件的换乘车站强行按照分线防护的思路划分到不同防护单元，所以本标准制订了建筑空间难以分隔时不宜分线防护的规定；另一种情况是将车站的一部分强行划出防护区而成为非防护区，这时存在的最大问题是临空墙（板）上管孔的布置会受到限制，特别是废水向防护区内的排放，目前全国范围内几乎不存在质量过关的防爆地漏，在没有严格质量监管的情况下这里就会是一个“破点”，导致其它投入的所有措施均失效。从另外一个角度看，人为缩小人防面积并不能带来实际的效益，反而触及了人防的底限。因此，本条规定主体结构投影范围内的地下各层区域宜一起纳入本站防护区。

4.1.2 轨行区的设备布置，与运营安全密切相关，特别是 2019 年重庆环线 1·8 人防门侵限事故，首要教训就是轨行区人防孔口防护设备必须设置在便于维护管理和监视的低速运营区段，最现实可靠的做法只能是设置在车站端部并位于车站区域范围以内。对于出入线口部，防护密闭门、密闭门均应设置在最近车站的端头位置。同时这种做法，也可有效照顾设备对线路、限界、轨道等专业系统的适应能力。

4.1.3 出于对厦门地区气候、地形地势等特点，2017 年 9 月 1 日厦门轨道交通集团有限公司发布了企业技术标准《防洪排涝工作指南》（试行）（Q/XMRT-SJ-JG-001-2017），对出入口防护设备的防洪功能提出了明确要求。本标准根据厦门市轨道交通工程多采用矮风亭设计的实际做法，对消防疏散口、风井口等部位的防护设备亦作出相同规定。

4.1.4 对于有连通需求的附近地下工程，除维护轨道交通工程的人防功能以外，还应着重考虑防洪要求是否达标；考虑到运营管理在应急情况下的工作压力，特别规定可手、电两用甚至可遥控的功能要求。这里也排除了预留人防连通口的无条件设置造成的无端浪费，对于当地人防主管部门特别提出的、有详细规划与既有重要人防工程连接时，按同步实施、一步到位的原则建设。除此之外，不考虑任何人防预留连通口的做法主要是基于：1）不增加平时的维护管理工作量，2）存在较大的可能根本用不上，3）当前或未来的施工工艺完全可以在改造施工时保证质量。

4.1.6~4.1.7 厦门市人民防空办公室于 2021 年 11 月 29 日对 3 号线市民公园站 2 号口专门组织的平战转换演练表明，一个仅安装一道防护密闭门的口部，在投入 30 余人的情况下，从发布指令到关门结束总耗时 18min。由此推算，一座标准车站 6 樘出入口设备的关门需求是 $54h \cdot p$ 。厦门全域规划 9 条地下线路，按每条线 20 座车站计，投入需求共计 $9720h \cdot p$ ，所有出入口设备都能关闭到位的投入需求大致为 $15000h \cdot p$ ，亦即 3 小时内关闭到位时需要投入 5000 人，这还仅仅是出入口设备的转换。考虑到战时环境、物资准备、人力组织等因素，此数据还要进一步放大。对于瞬息万变的战时环境，需要组织的人力和投入的时间是巨大的，这还没有计入人防转换的其它内容。

当然，不仅对于人防，平时的应急防洪同样面临这样的问题。

因此，平战转换时限的把握必须成为设计的中心工作，无论是设备设计方案和选型，还是建筑布置和装修设计方案的优化，以及与其它各专业系统的配套，均应深刻理解和把握平战转换时限的意义，尽可能压缩转换时间。

这也是作出本标准 4.5.5 条规定的缘故。

对于设置电动应急防洪设备的口部，一般都按有远程控制功能设置，不得装修，以避免远控时发生意外。

4.2 防护单元的划分

4.2.1~4.2.2、4.2.4 防护单元划分所以按一个车站加相临区间为一个防护单元，是由轨道交通工程的特殊性决定的。按车站的规模，以《人民防空工程设计规范》的规定，按人均掩蔽面积 1 平方米，一个车站应划分为数个甚至十余个人员掩蔽单元，把车站分隔成若干块。这和轨道交通地下工程平时使用的人流集散地所需要的大空间，是极其不相容的。如果按战前转换设防护隔墙，时间也不允许，更何况有轨道通过车站，无法实施。其次，每个单元风、水、电设备自成系统难以实现，无论平时转战时，还是战时转平时都有困难，每个单元的人员出入口也无法解决。从区间看，有下锚段、消防水箱、岔线、曲线段等诸多因素，为避开这些不利因素设置隔断门，因此，只提在区间设防护密闭隔断门，是便于统一协调诸多因素，达到既方便平时使用，又满足防护要求的目的，这和《人民防空法》规定的兼顾人防的要求是一致的。

对于换乘车站、地下交通换乘枢纽，当采取上下层换乘、同站台换乘或主要的人员出入口共用时，不易实现分线划分防护单元，这时可各线车站合并为一个防护单元，但是由于合并后的防护单元规模偏大，且各线车站风、水、电设备基本自成系统，应充分考虑合并为一个防护单元后，紧急人员掩蔽人数的确定、战时人员出入口位置、数量的控制以及风、水、电设备自成体系满足战时功能需要等问题。

由于合并后的防护单元一旦遭到破坏，对各线防护功能的完整性均受影响，故有条件时换乘车站防护单元的划分应尽可能遵循分线划分防护单元的原则。

地下折返线或停车线、地下牵引变电站等轨道交通地下建筑，一般位于主体结构所属防护单元以内，不需再对其单独划分防护单元。

4.2.5 附属于轨道交通地下车站主体及区间隧道以外，独立设置的安装重要设备的地下工程，其出入口和风水电等设施可独立自成体系，可单独划分防护单元。当受条件限制，安装重要设备的地下工程虽独立设置，但与车站主体连接，其出入口和风水电等设施不能独立自成体系，此种条件下可将其纳入相连主体所在防护单元，也可将连接处做防护密闭处理，将其置于防护区外不设防。

4.3 口部

4.3.1 无论是出入口还是风道口，应与工程平时人员出入口兼顾使用，既可节省土建造价，又便于平战

转换。

4.3.2 要求每个防护单元战时人员出入口不少于 2 个，直通地面人员出入口（竖井式出入口除外）应不少于 1 个，2 个以上时，其中一个为主要人员出入口，每个车站一般均设有 4 个左右的人员出入口，足以提供战时人员出入口的需要；各口之间的距离不宜小于 15m 是为了防止一枚炸弹同时破坏两个口，各口设置成不同朝向是为了战时提高生存概率和方便人员进出；在选设主要人员出入口时，应避开临近有高大建筑的口部，以避免战时堵塞口部通道，如确有困难，口部敞开段临近地面建筑为砖混结构，距离小于 0.5 倍建筑物高度，其敞开段应设置防倒塌棚架，确保战时人员出入口的畅通，同时采取必要的防雨水措施，以免影响使用；框架结构不考虑倒塌影响，是因为框架结构具有较高的抗力，不至于完全倒塌而造成口部堵塞。

消防疏散口一般位于设备区，对于人防疏散人员而言定位隐秘不便引导，进出站路径狭窄，且多为多跑式楼梯、宽度有限；因此，一般情况下，战时人员出入口宜优先选择地铁的平时出入口结合设置。

根据 GB55037-2022《建筑防火通用规范》（自 2023 年 6 月 1 日起实施）之规定，疏散通道、疏散走道、疏散出口的净高度不应小于 2.1m，因此，规定了消防疏散口通道人防门洞的高度不小于 2.1m。

4.3.3 防护单元是个整体性的概念，孔口数量越少就越容易达到防护和密闭的要求，本条文的本意即在于此。垂直电梯由地面直接引入防护区范围，从建筑布置的角度，应形成一个单独的通道，并在合适位置设置门框墙，安装一道防护密闭门按临战门式封堵处理。这里除了增加一道孔口设备之外，还可能出现临空墙需要处理，一定会导致投资增大。相反，如果将垂直电梯布置在防护密闭门以外时，就完全不会出现这些问题。。

4.3.4、4.3.6 防护设备的孔口尺寸首先需要适应轨道交通的特点，在此基础上，适当照顾设备的设计正是本条文的本意，毕竟，设备设计的本身也是有许多限制性条件的。

4.3.5 通风竖井的设置原则，一是尽可能设在地面建筑倒塌范围之外，否则应设置防倒塌棚架，二是不得将进风口设置在空气污染源处或其下风向。通风口与人员出入口合并设置，易形成短路，使新风量得不到保证。战时通风竖井与轨道交通地下工程平时通风竖井兼顾使用既可节省土建造价，又便于平战转换。通风竖井或与站厅层相通，或与站台层相通，因此必须采取防雨水倒灌措施。

4.4 口部的防护密闭

4.4.1 战时要使用的出入口、风道口、出入线口部是设防的重点，设置一道防护密闭门和一道密闭门既可确保防护密闭功能的实现，亦可在防护密闭门和密闭门之间可形成密闭通道或防毒通道，符合战时进出时设备交替启闭的基本要求。

4.4.2 这是防护单元间连通口的设备设置标准。向车站方向启闭，门框墙与车站端墙之间的间距可以仅按管线穿越的构造性要求来控制，不至于过多占用车站一侧的中板，这样就方便了活塞风孔的布置。

4.4.3 轨道交通人防工程的平战转换时限要求极高，非战时人员出入口、风道口、消防疏散口应选用一

道防护密闭门按临战封堵处理，可确保战时的快速转换，提高整个工程的平战转换效率，同样，战后转为平时使用也方便。若采用其它方式进行封堵，则平战转换将很难得到保证。

4.4.4 人防工程的孔口一直是工程防护的薄弱部位，目前低等级的孔口防护设备还不具备直接承受弹片的能力，而要具备这一能力，除了进一步研究改善外，投资成本的增加也是不可避免的。当然，条文中明确的是破片的直接命中，而不包括破片经过壁面发射后的打击，这是考虑到经过反射后破片的速度和能量将大大降低不至于给设备带来致命的破坏；从另外一个角度上说，要做到完全避免这种非直接打击，只能花费更多代价在工程措施上如布置穿廊式通道或在通道内多加一个或多个 90 度拐角，显然，这与兼顾人防的性质是相背离的。

4.4.5 防护密闭门、活门的设计计算均基于冲击波超压的正向作用，其主要承载构件是扇体和闭锁机构的锁头部分。铰页部分的作用仅仅是为扇体提供旋转支撑力，扇体与门框之间的胶条也是正压作用下的压缩，对于冲击波的侧向剪切作用不具有完全的抵抗作用，因此，在建筑布置上应避免受到侧向或切向作用。

4.4.6 对于出入口部位，防护密闭门到出地面口部的轴线距离越短，需要承受的常规武器爆炸冲击波超压值越大，这对于设备是不利的，有可能导致需将设备的抗力等级提高才能满足要求；对于风井口和消防疏散口这类垂直式出入口，当然也存在这样的问题，但规范给出的荷载已经按保守取大值了，其目的也是为了避免孔口设备向里侧移动不可避免地会对设备区的建筑布置造成较大的影响。

此外，鉴于轨道交通工程的建设多处于城区的繁华地带，且当前凡高层建筑也均采用钢结构和钢筋混凝土结构型式，井口至地面建筑物的净间距一般都大于 5.0 米，因此，地面建筑物倒塌进而造成井底门前的堵塞问题存在的可能性就很小了。这时，需要着重考虑的就剩下孔口设备的成品保护问题（主要是落雨腐蚀等）了，因此，本条规定了设备上的任一点至井口边沿的距离不得小于 0.2 米的要求，而不是要求设备必须向里侧布置使得其最远点至井口投影边沿的距离不得小于 0.2 米。这样的规定既符合实际情况，也避免了对设备区建筑布置的过多影响。

4.4.8 防毒或密闭通道是战时有人员通道的出入口最明显的特征，它也是保证工程防毒、防化密闭性的重要构造措施。对于轨道交通人防工程的战时人员出入口，虽说不需要考虑超压和人员洗消的问题，但长度的增大无疑会弱化其密闭性。

4.5 房间及装修

4.5.1~4.5.2 厦门市轨道交通工程的车站内，公共区设置有公共卫生间，设备区设置有员工卫生间和冲洗间，有物业区的车站还设置有物业区的卫生间，厕位总数量一般有 11~15 个，除了在原厕位直接放置干马桶外，还可利用冲洗间、盥洗室等位置布置屏风隔断和干马桶若干，基本可以满足 10 个男厕位、13 个女厕位的布置要求。

4.5.6 根据对部分出入口防护段的环境、外观和建筑效果观察，结构面刷白、设备喷涂面漆和文字标识

喷绘，其观感并非不可接受，很自然地可以作为人防宣传窗口，甚至可以作为一个特色存在。特别在应急防洪和平时演练、战时转换时，将会有更好的指示性和可操作性。因此，本条提出在出入口通道人防防护段长度范围可不做装修或其它挂装型装饰，建议从不同视角来看待装修。根据厦门市人防办于 2021 年 11 月 29 在 3 号线翔安市民公园站 2 号口（一道防护密闭门）组织的人防设施防洪防淹演练计时结果表明，1 段装修的移除（门洞上部的伪装横幅、地面门槛的防滑不锈钢板、侧壁折叠式装修）加上关门动作，耗时共计 18min。该演练投入直接操作人员 30 余人，涉及运管中心、客运中心、维保中心、人防企业、装修施工等部门和单位。很显然，对于平战转换而言，这样的结果是很不理想的。

5 结构

5.1 一般规定

5.1.1 工程结构各部位的抗力应相协调，这是人防工程设计的指导原则，所谓抗力相协调，即在规定的动荷载作用下，保证结构各部位都能正常地工作。由于人防工程结构各部位所受到的作用不同、破坏形态不同以及安全储备不同，抗力相协调的目的就是为了防止由于存在个别薄弱环节致使整个结构抗力明显降低。主要包括：

1 出入口的各部位抗力应相协调。例如：通道结构（包括竖井结构）、防护密闭门、消波活门等的抗力应相协调。

2 出入口与工程主体结构抗力应尽量相协调。对于轨道交通工程的车站部分，抗力应相协调，而且也是能够做到的，主要应加强其出入口。

3 工程主体结构的各个部位，应按其各自的受力情况，通过合理的建筑处理和结构设计，使主体结构各部位的承载能力，达到相协调。例如：外墙、底板（或条形基础）的承载能力应与顶盖承载能力相协调；不同跨度和不同高度的结构（衬砌）承载能力应相协调，衬砌接头与一般衬砌的承载能力相协调。

4 孔口防护设备是人防工程战备效益的重要保障，人防工程的最薄弱部位往往在口部，人防工程的防护能力也往往体现在口部，所以必须根据战术技术要求和口部的具体位置、形式，确定与人防工程抗力相协调的口部防护设备的抗力。

5.1.2 工程结构在平时使用状况与战时使用状况所受到的作用有很大差异，安全储备也不尽相同，对抗力级别较低的轨道交通人防工程，结构截面设计有可能由平时使用状况下的荷载控制。因而，本条规定了结构计算应包括两种不同使用状况的计算。

5.1.3 平时使用状况下人防结构设计荷载不包括地震荷载，只在建筑布置和结构构造措施上予以考虑。这一方面是因为地下结构具有较好的抗震性能，另一方面则是规定的武器一次作用效应一般比地震作用效应要大得多。除了人防荷载组合外，还应考虑有防洪和防淹需求部位处的水头压力。

5.1.4 对既要求防常规武器作用，又要求防核武器作用的甲类人防工程，这两种荷载在战争时不可能同时作用，因此，设计时应分别考虑，取其中一种最不利的情况进行设计，而不必叠加。

轨道交通人防工程承受动荷载、静荷载或动、静荷载同时作用的情况，都是存在的。工程口部、出入口、孔口等关键部位，主要承受动荷载的作用。对于明挖车站工程和埋设不深的区间隧道工程，一般承受动、静荷载的同时作用。

对常规武器作用，人防工程结构设计时，只考虑一发直接命中或非直接命中，这是一个战术技术标准的问题。对核爆炸冲击波荷载、压缩波荷载，人防工程结构设计时，只考虑一次作用，而不考虑重复

作用。

由于只考虑一次作用,在满足人防工程战时使用功能的前提下,宜按弹塑性工作阶段计算结构内力,以便节约建筑材料,充分发挥结构的潜力。

5.2 材料

本节借鉴于《人民防空工程设计规范》GB 50225-2005,并根据《混凝土结构通用设计规范》GB 55008-2021 普通钢筋采用标准,作了调整。

5.3 结构动力计算

5.3.1、5.3.2 人防工程结构的弹塑性动力分析方法,目前常用的有两种:等效静荷载法、有限自由度体系动力分析方法。

1 等效静荷载法是将结构简化为一个单自由度体系,用结构动力学方法求动力系数,再用动力系数乘以荷载峰值压力,给出等效静荷载,将动荷载表示为静荷载的形式,然后按静力结构的设计计算方法进行内力计算。对于复杂结构,它允许将其拆成简单结构或单个构件进行动力分析,求得动力系数,进而求得简单结构或构件上的等效静荷载。一般而言,将复杂结构拆为简单结构或构件所带来的误差,与等效静荷载法本身误差相协调。

等效静荷载法简单适用,一般可以满足人防工程设计要求。与土性参数的误差相比,等效静荷载法带来的误差是可以接受的。所以,本标准仍推荐采用等效静荷载法。

2 采用多自由度体系分析内力,往往将结构简化为有限个自由度体系,然后按结构动力学方法求解,直接求出各控制断面的内力。

对于地下结构,在荷载确定的前提下,采用多自由度动力分析方法,可以提高计算精度。当 ωt_0 小于4及跨度大于5m时更为明显。

3 如果结构动力分析的目的是分析结构的运动状态,或者是重要的人防工程结构,可采用数值计算方法。

5.3.3 结构或构件的允许延性比 $[\beta]$,系指结构或构件允许出现的最大变位与弹性极限位移的比值。显然,当 $[\beta] \leq 1.0$ 时,结构或构件处于弹性工作阶段,当 $[\beta] > 1.0$ 时,结构或构件处于弹塑性工作阶段。允许延性比虽不能完全反映结构或构件的强度、挠度及裂缝开展等情况,但与这三者都有密切的关系,且能直接表明结构或构件所处极限状态。用允许延性比表示结构或构件的工作状态,即简单适用,又比较合理。

结构或构件的允许延性比主要与结构材料、受力特征和功能要求等有关。如结构或构件的允许延性比取值较大,则能较多地吸收动能,对抗爆非常有利。

对砌体结构或构件,由于材料的脆性,结构或材料变形超过弹性极限位移后很快进入破坏阶段,试验表明,砌体结构或构件的设计延性比可取1.1~1.3,本标准规定取1.0。

对于钢筋混凝土结构或构件，变形与 $[\beta]$ 的对应关系综合起来可以归纳描述为：

- 1 当 $[\beta] = 1.0$ 时，构件不产生残余变形。
- 2 当 $[\beta] = 2 \sim 4$ 时，构件产生残余变形，出现约 1.2mm 宽的裂缝，但观察不到穿透裂缝，构件仍保持承载力和气密性。
- 3 当 $[\beta] = 5 \sim 7$ 时，构件产生较大的残余变形，出现约 2.4mm 宽的残余裂缝，构件无法保证气密性。

考虑到常规武器对结构的破坏局限在一定的范围，因而，在常规武器动荷载作用下，对结构或构件的允许延性比要求可适当降低一些。

5.3.4 当结构或构件简化为等效单自由度体系时，结构或构件的动力系数可根据动力响应分析得出。对理想弹塑性结构或构件，其动力系数大小与动荷载波形、结构或构件的自振圆频率和允许延性比相关：

1 当核爆动荷载简化为无升压时间的三角形时，由于其有效正压作用时间远远大于结构或构件达到最大变位的时间，因此，动荷载波形可进一步简化为突加平台型。从结构动力学可以得知，在突加平台型荷载作用下，结构或构件的动力系数仅与允许延性比有关，与结构或构件的其它特性无关。

2 当核爆动荷载简化为有升压时间的三角形时，由于作用时间往往比结构达到最大变形时间大很多，甚至几倍到十几倍以上，因而，土中压缩波形可简化为有升压时间的平台型，这样处理明显简化了计算，误差也在允许范围内。

3 当常规武器爆炸动荷载波形简化为无升压时间的三角形时，由于其等效作用时间较短，结构或构件达到最大变位的时间可能超过动荷载作用时间，结构或构件的动力系数表达式（5.3.4-5）为结构动力响应解析解。

4 当常规武器爆炸动荷载波形简化为有升压时间的三角形时，由于升压时间和作用时间都较短，结构或构件的动力系数可近似地表示为式（5.3.4-6）的形式，误差一般不超过 10%。

5.3.5 表 5.3.5 中数据采用了总参工程兵科研三所的研究成果。

5.3.6 结构自振圆频率要采用结构等效单自由度体系的自振圆频率，且不需要作附加质量的修正。这是因为在土体-结构的相互作用研究中，已把其影响考虑到结构荷载中去了。

5.4 常规武器作用计算的一般规定

5.4.1 引自 2003 年颁发的《人民防空工程战术技术要求》。

5.4.2 常规武器爆炸空气冲击波升压时间非常短，几乎为零，计算表明，用等冲量无升压时间的三角形波形代替实际波形，对结构动力响应的计算结果相差无几。

5.4.3 常规武器爆炸土中压缩波有一定的升压时间，对浅埋人防工程而言，虽然升压时间较小，但对结构的动荷载计算有明显的影响，不能忽略。对埋深较深的工程，升压时间更不能忽略。

5.5 常规武器非直接命中时的结构荷载计算

引自《人民防空工程设计规范》GB 50225-2005 的计算公式，并将防常规武器 6 级下的装药量和冲击波参数代入计算后得到；在底板动力系数 K_{d3} 的计算时，直接对原规范的表格做了公式拟合，以便于编程计算。

5.6 常规武器在出入口外爆炸时的结构荷载计算

本节引自《人民防空工程设计规范》GB50225-2005，各公式是将防常规武器 6 级和无外壁面影响的条件输入后计算得到的。

5.7 核爆炸地面空气冲击波及土（岩）体压缩波参数

本节引自《人民防空工程设计规范》GB50225-2005。

5.8 核爆作用下明挖法施工工程结构荷载

本节引自《人民防空工程设计规范》GB50225-2005，覆土厚度 h 等于或大于结构不利覆土厚度 h_m 时，非饱和土中结构顶板综合反射系数 K 值的计算公式，拟合自原规范表格，以便于编程计算。

5.9 核爆作用下暗挖法施工工程结构荷载

本节引自《人民防空工程设计规范》GB50225-2005。

5.10 核爆作用下防倒塌棚架、口部、临空墙结构荷载

本节引自《人民防空工程设计规范》GB50225-2005，并将防核武器 6 级参数直接输入计算得到对应各荷载值。

5.12 截面设计

本节引自《人民防空工程设计规范》GB50225-2005，补充 HRB500 级钢筋有关参数。

5.13 防护设备门框墙的设计与计算

5.13.1 门框墙的整体计算相当复杂，为简化计算，将其门框侧墙、上挡墙和门槛划分为独立的构件，进行内力分析是可以满足工程设计要求的。

5.13.2 防护设备的门框墙，需要承受空气冲击波超压的面荷载作用和门扇传递过来的线荷载。

5.13.3 平板门门扇传递给门框墙的、沿门洞周边分布的线荷载，是基于边界的简支条件按照弹性薄板理论求解得到的，与门洞的宽高比、门扇的宽高比均有关系。为用一套公式同时表达单、双扇情况，可以以门扇的宽高比为自变量。事实上，除非门洞尺寸远远大于扇体的厚度，基于弹性薄板理论的计算值是偏保守的。再者，弹性薄板理论假定了扇体刚度的各向同性，这与防护设备扇体结构设计的基本思路

也是有出入的。本条文从这个角度作了区别，沿主方向传递更大的荷载。

5.13.4 平板门门框墙的受力特征与剪跨比有关，一般而言，当 $C/h_0 > 1$ 时，弯曲应力占主导地位，其受力机理接近悬臂梁；而当 $C/h_0 \leq 1$ 时，其受力机理接近牛腿。

5.13.5 上挡墙和门槛的受力比较复杂，一方面承受水平荷载（空气冲击波直接作用和门传来的荷载），另一方面，还要承受顶板或底板传来的竖向荷载。由于顶板或底板传来的竖向荷载有一定的升压时间，与水平荷载不同步，可以分开考虑。

5.13.6 防护设备门框墙在整个工程中占的比例不大，但非常重要，且需要考虑防护设备的反弹效应，为此，本条对门框墙的构造要求进行了较为严格的规定，主要体现在双向锚固。另据有关锚固抗拔试验结果和《混凝土结构设计标准》GB/T 50010-2010（2024 版），直锚段长度和尾部弯折段长度分别作了规定。

5.13.7~5.13.9 通道结构为门框墙的支撑结构，为满足防护和密闭要求，门框墙应与通道结构整体浇筑，通道结构还应能够承受门框墙传来的弯矩、剪力和轴力，否则，门框墙设计得再好，也无法起到其应有的作用。较大的穿墙套管会对门框墙的受力造成较大损失，必须予以加强。

5.14 构造规定

5.14.3 依据《混凝土结构设计标准》GB/T 50010-2010（2024 版），期间，仅考虑带肋普通钢筋、锚固钢筋保护层按最小 3d，且按施工过程中易扰动保守考虑。

5.14.4 引自《混凝土结构通用规范》GB55038-2021。

其余引自《轨道交通工程人民防空设计规范》RFJ02-2009。

6 孔口防护设备与消波系统

6.1 一般规定

6.1.1 自 2017 年厦门提出拟以出入口防护密闭门作为应急防洪的最后一道关卡，并组织开展了两轮厂内试验证明其具有较大的可实施性后，特别是郑州 7·20 事故的教训，结合厦门地域特点和极端天气变化不断出现的趋势，在此对防护设备的设计和选型特别提出兼顾防淹和应急防洪的要求，这也是人防建设工作指导方针“平战结合”的应有之义。厦门轨道交通集团有限公司发布的企业技术标准《防洪排涝工作指南》（试行）（Q/XMRT-SJ-JG-001-2017）对出入口防护设备兼顾防洪亦提出了具体要求。

6.1.2 孔口防护设备兼顾防淹和应急防洪时，从扇体结构的承载角度须同时满足人防荷载和水头压力荷载，二者的计算方法不尽相同，所以本标准特意设置了“防淹与防洪”章节。

6.1.4 与本标准 4.4.7 的要求一致，结构的反向承载本身就不符合孔口防护设备设计的基本原则，因为反向荷载作用下边界条件的变化进程将导致结构或构件内应力变化不确定性增强，这时只能通过加大安全系数来弥补，但会造成设备效费比降低，得不偿失；从另外的角度看，实体爆炸试验匮乏的现状，也不能保证反向承载的做法具有充足的合法性。

6.1.6 冲击波荷载的特性包括峰值、正/负压作用时长、波形等因素，由此导致的结构响应也是有区别的，比如已有的试验已经证明活门的消波率是随荷载的变化而变化的，因此在设备选型阶段，只能按就近较高一个等级的设备来替代，而不允许跨等级替代。

6.1.7~6.1.8 战时情况复杂，能否得到充分的用电保障是个未知数，至少是不可控的，因此人防的设计总是以最简单、最原始、最可靠为基本出发点开展。本条主要针对平战结合类设备产品设计，同时也包含了“手动操作”这一基本底线。

6.1.9 对于抗爆结构，双向保证是基本常识，所以骨架加内、外面板是比较常规且被证明是最可靠的做法。对骨架区格长宽比的限制则是基于薄板弹性理论公式计算面板时要将其约束在公式的有效适用范围以内。

6.1.10 国内外多次试验证明，铸铁材质严禁用于抗爆结构的设计和制造，是因为其强度低、脆性高，对爆炸振动的适应能力极弱造成的。在结构材质的选择上，功能保证（强度、刚度）是第一位的，在此基础上，应尽可能选择便宜、适用、易得的材料。

6.1.11 基于地下工程的特点、厦门地域的海洋性气候和空气成份，以及对部分当地产品的调研，借鉴了水工结构的防腐做法。

6.2 荷载

6.2.1 对于甲类工程，既需要考虑核武器爆炸荷载作用，还要考虑常规武器爆炸荷载的作用，本条选取

二者中的较大者为荷载依据，其中的常规武器爆炸荷载已经向核武器爆炸荷载做了等效。

6.2.2 对于隔断类设备，只有等效静荷载，不考虑冲击波的直接作用。

6.3 扇体结构计算

6.3.1 同 5.3.1。

6.3.2 刚度是密闭性的保证，特别是扇体支撑边界处的刚度，由于同时受到闭锁头和胶条反力的作用，二者之间的差异在于前者为接近点受力、后者为线受力，当周边刚度较弱时，会导致扇体的变形，进而影响扇体与框体之间的密闭效果。

6.3.3 密闭门不承受冲击波超压荷载，但为了保证其气体密闭性，须验算胶条反力作用下的扇体周边刚度。

6.3.4 主方向计算跨度越小，产品越经济；对于单扇门，一般应选择门洞宽度和门洞高度中较小值为主方向，但对于无门槛门，由于底部支撑条件较差，则必须按左右向为主方向；对于双扇门，则必须按门洞高度方向为主方向。

6.3.5~6.3.9 扇体结构计算一般包括梁的抗弯/抗剪计算、面板的抗弯/抗剪计算、边梁的刚度计算等。因为是组焊结构，组合梁的抗弯计算时可计入面板的作用；外面板抗弯计算是基于薄板理论公式，其系数都做了回归处理，便于自行编程计算；扇体周边刚度控制计算主要是依据胶条不透毒压缩量和扇体加工表面不平整度，与设计压缩量之差决定的，同时压缩量也与胶条反力有关。

6.4 消波系统

6.4.1 在空气冲击波超压设计值不大于 0.6Mpa 时，胶管活门的消波率高而稳定，但因胶管式防爆波活门中的胶管不能耐高温，故在排烟消波系统中不得选用胶管式防爆波活门。

6.4.3 防爆波活门直接接管道时的余压计算及防爆波活门消波率的取值，是根据核爆效应试验、野外化爆试验和室内激波管试验数据，经过归纳、分析和整理，并考虑了一定的安全量而确定的，属经验公式范畴。

6.4.4 悬摆式防爆波活门加扩散室消波系统的余压计算公式是在大量室内激波管试验的基础上，按照相似理论和量纲分析推导出来的，并得到核爆效应试验和野外化爆试验结果的验证，属半经验半理论公式。当消波系统确定后，系统的余压仅是与 ΔP_{cm} 成正比的单值函数，简化了计算，并合理地提出了扩散室几何参数之间的相互关系；用该公式计算的余压精度高、误差小、安全可靠。

6.5 孔口防护设备的配置要求

6.5.1 作为“兼顾人防”的基础定位，人防的配置首先应该保证不影响轨道交通的交通运营功能，当以“附加防护”的理念开展设计配套。具体到孔口防护设备，对于出入口、消防疏散口部位，满足客流量、疏散宽度是必须满足的基本要求，对于风道口，则须满足运营对过风面积的要求。在此基础上，做到满足

战时功能并根据轨道交通人防工程的特点强调平战转换的时效性。

6.5.2 对于战时不用的口部，设置一道防护密闭门实施临战封堵，考虑到设备本身已经具有刚度保证基础上的密闭功能，无需像型钢封堵那样外表面刷胶后再堆土堆沙袋等补充措施。平时的维护管理上，应注意加强维护工作的质量管理，使之确实能够达到防护和密闭的要求；在战时内部管理上，也可将站厅层靠近封堵口的位置划入“人员禁入区域”，避免可能的威胁。

6.5.3 只有按门式清洁式通风系统这种常规做法，才可以做到无需单独设置人防风道并满足平时过风面积的要求，最大化做到平战结合和兼顾。

6.5.4 同本标准 4.1.2 条。

6.5.6 以轨道交通系统的“故障→安全”管理原则，取“开门到位”作为唯一安全的点位管理，符合安全运营规程的基本思想。

6.5.8 围绕轨道交通人防工程战时主要功能展开的战时运营环境分析，可以得到给予关门的时间是很短的结论，基于此，并根据对既有产品的关门时间的大致统计，提出较为严格的关门时限。这个时限是针对设备本身而言，即排除掉所有外部影响因素如出入口的装修之后的关门时限。

7 通风

7.0.1 通风口部是防护单元的最薄弱环节之一，本条强调了孔口防护和战时功能的保证不应影响平时运营功能的发挥。

7.0.2 防护单元的独立属性决定了通风空调系统在各防护单元之间应相互独立。

7.0.3 鉴于轨道交通人防工程的功能定位在于主要保障人员和物资的安全交通即疏散和转移，大大弱化了人员掩蔽功能，这也是在基本规定章节中将防化等级定位于丁级的原因；相应地，在通风条件保障中不再要求滤毒式通风、在给排水条件保障中不再要求人员简易洗消和通道冲洗等的主要原因。事实上，《人民防空工程战术技术要求》正是基于轨道交通工程的特点作出这样的规定的。

至于规定了隔绝式防护而非隔绝式通风，也是基于这样的考虑，本身工程的体量很大，空气保障有很大的基础，空气流动带来的舒适度则完全可以通过战时的组织管理来实现，如 3 个小时内的人员流动、饮用水地点设置、干厕地点设置等。

7.0.4 鉴于清洁式通风量相对于地铁正常运营所需的风量很小，在自身风压的作用下，其在兼用的大断面风管内的运行速度很小，以一端进另一端排的方式优化和提升公共掩蔽区的换气效果。

7.0.5 本条文强调了平战结合，尽可能不增加投资、不多占用空间、容易操作实施，也是在厦门实际成功实施的总结。平时环控系统设有一套完整的系统，可向站台、站厅各处送排风。人防通风系统设于平时风道内，纳入并作为平时环控通风系统的一种工况来管理，故利用平时的通风系统来配合完成战时通风是一种经济、高效、实用的做法。

7.0.8 市内的地下工程几乎不可能做到借助自然通风达到要求，再者人防工程进风系统配置有消波活门、油网除尘器、过滤吸收器（丙级防化）等设备，通风系统阻力较大，因此必须设置机械进风。

设置油网除尘器则是清洁式进风的基本要求，需要过滤空气中较大的灰尘颗粒。

此外，结合轨道交通工程平战转换的特点来看，在防化等级为丁级的前提下，防护单元内唯有清洁式进风口部最易受到外部的污染，该处密闭通道的冲洗宜作为防护单元自处理工作的一部分来看。

7.0.9 设置气密测量管是按《人民防空工程防化设计规范》的要求，用于测定工程口部的防毒气密性能。

7.0.10 基于战时的用电保障和可靠度，能手动就不考虑电动。

7.0.11 风管穿越人防墙体的处理会造成两个非常大的问题：对冲击波的防护和应急防洪，特别是应急防洪，一旦出事就是大事，造成的损失将远远大于采取其它不穿墙的办法导致的投资增加。

7.0.12 对于通风空调水系统的管路，应按给排水专业的要求实施，并对严重影响平时功能发挥的冷凝水管和冷媒管作了排除。

7.0.13~7.0.14 均与平战转换时限要求相关，特别是对门式设备的规定，更多是兼顾了平时的应急防洪。

8 给排水

8.0.1 防护单元的属性决定了包括给排水专业在内的设备专业均应做到单元间相互独立。

8.0.2 管线的穿越必须通过预埋穿墙（板）刚性套管，通过后实施防密封堵，这是管孔封堵的最基本要求。管径过大时，由于受冲击波超压荷载作用面积加大，冲切强度增大，抗冲切能力不变，为弥补由此带来的危险，外侧应加装防护挡板。对于穿越密闭墙（板）的管线，除同样须从埋管中通过外，仅需做好密闭处理即可。

8.0.3 各部位设置的公称压力不小于 1.0MPa 的铜芯闸阀，是轨道交通人防工程给排水专业的主要内容之一，也是冲击波荷载作用下气体密闭性的保证措施之一。

8.0.4 兼顾人防基础上，以人员和物资疏散转移为主要目标的功能设计前提下，紧急人员掩蔽的条件特别是生活条件的保证要弱化了很多，不再强调生活用水、洗消用水等内容，剩下人员饮用水是最基本的生存属性要求，水质必须得到保证。除了基本的水量要求外，从实际操作的可能性角度讲，推荐“临战”购置“商用桶装水”，15 天转换期内到位备用。

8.0.5 结合轨道交通工程平战转换的特点来看，在防化等级为丁级的前提下，防护单元内唯有清洁式进风口部最易受到外部的污染，宜作为自处理工作的一部分来看；鉴于该处离机房很近，引接压力水较为方便，不会占用太多平战或战平转换的时间，具有较强的可实施性，因此不再提出设置通道冲洗用水容器或水龙头的要求。

8.0.6 本条从抗冲击波打击强度的角度提出对材质和工作压力的要求，从气体密闭性的角度提出对接头方式的要求。

8.0.7 本条提示了“兼用”和“结合”，如平时的开水间、盥洗室均可在一定程度上做到平战两用，污物的提前排空是从准备进入尽可能不与外界发生联系的战时状态的角度来说明的。

8.0.8 鉴于国内市场防爆地漏产品质量堪忧，且在可预见的未来没有改善的希望，因此应严格限制其使用。

9 电气

9.0.1 轨道交通工程无论是平时还是战时都是城市重要的交通动脉，其供电系统有着可靠的保障，如设有多个降压变电所、跟随变电所或混合变电所等，且均有两路以上独立城市供电线路引入工程主体，变电所大都设在地下防护区域。对特别重要又对电能质量要求不太高的负荷，采用蓄电池组供电。

考虑到轨道交通人防工程的战时主要功能为疏散和转移，人员掩蔽是紧急情况下才需要的次要功能。而且人员紧急掩蔽时的用电负荷通过平时设计均有着可靠保证，因此不强制要求设置地下柴油发电机组。9.0.2 对战时人防负荷等级作出规定，以正确反映各等级负荷对供电可靠性要求的界限，便于设计操作。

9.0.3 明确各级负荷的供电方式，以满足战时各种用电设备的供电需要。

9.0.4 隔绝式防护的时间均不小于3小时，战时一、二级负荷的连续供电时间也应有对应的要求。

9.0.5 《人防防空工程战术技术要求》规定，城市地下空间的建设应兼顾人民防空的需要。因此，轨道交通人防工程的防护单元划分、掩蔽人数的确定和风、水、电系统设计标准，应充分考虑工程的特殊性，需要把握的基本设防原则是充分利用工程自身条件，通过完善薄弱部位及孔口防护设施，并利用既有的风、水、电设备系统，使工程能够形成比较完整的防护体系，具备比较完整的防护功能。尽可能少添加甚至不添加人防专用设备。战时供电系统的设计即体现了这一原则。

9.0.6 考虑到轨道交通人防工程平时正常照明和应急照明设计均能满足战时正常照明和战时应急照明要求，本着“兼顾”的原则，对轨道交通地下工程平时电气设计提出要求。

9.0.7 该条第一款：电气管线进出工程的处理一定要与工程防护、密闭功能相一致，当进出管线的防护密闭措施不到位时，会造成冲击波泄露进入工程以及漏气、漏毒等现象。

该条第二款：如果电缆桥架直接穿过临空墙、防护密闭隔墙和密闭墙，则工程的防护、密闭性能均被破坏。所以在此处应改为电缆穿管通过方式。

该条第三款：保证防护密闭门内的照明和门外的照明互不影响。

9.0.8 鉴于轨行区设置的防淹门按用户需求须具备远程控制和监视的功能，且与运营安全直接相关，因此应将其控制系统的电源配备至最高等级即“双电源切换+UPS”。其它部位设置的应急防洪门应按一级负荷配电，以满足极端天气条件或其它意外情况下紧急关门的需求。

10 预埋穿墙（板）套管的防护密闭处理

10.0.1 此条强调了所有管线、裸管（缆、线）通过、不得后凿孔，这些都是解决和保证防护和密闭两大功能所必需的基本要求。

10.0.2 此条规定了预埋套管的详细做法，这种做法除了满足防护密闭要求之外，还要求与所穿墙体厚度一致，与传统人防埋管长度凸出墙面的做法有所区别，这是照顾了土建施工的方便性。与墙体同厚这一要求，根据原总参工程兵第四设计研究院的抗爆试验和有关厂家的静态试验结论，均证明可以达到防密的要求。这项要求在厦门地铁的实践中以“封堵材料+封堵工艺+第三方检测报告（动、静态）”的形式实施。墙厚中央设置焊接密闭肋是为气体密闭性保证和增强抵抗冲击波冲切作用的措施。

10.0.3 此条主要目的是为了保证封堵作业时的施工条件。

10.0.5 A 型刚性套管做法具有气体密闭性保证和增强抵抗冲击波冲切作用的措施。

10.0.6 桥架不顶墙设置的目的是与 10.0.3 条相对应；水管保温套是柔性的，对气密性保证和抗冲切作用不够，应予以禁止。

10.0.7 轨道交通人防工程在平战转换实际操作时对时间的要求极其高，如车辆不停运（包括人员疏散和物资运输）内部设备就应持续工作、从而各孔口防护设备特别是风道口设备和区间设备均不得关闭，为尽可能压缩平战转换工作量，同时也为了各出地面口部的应急防洪营和区间的防淹，预埋穿墙套管的防护密闭处理必须设计施工一步到位。

10.0.8 埋管的防密处理措施应与防淹或防洪头压力相适应。

11 防淹与防洪

11.1 一般规定

11.1.1 长期以来，防淹门设置的前提一直不太明确，《地铁设计规范》GB50157中也仅是做了原则性的规定“对下穿河流或湖泊等水域的地铁隧道工程，当水下隧道出现损坏水体可能危及两端其它区段安全时，应在隧道下穿水域的两端设置防淹门或其它防水淹措施。”实际设计工作中往往面临只要有人提出防淹门设置就无据反驳的情况，基于此，结合实际工作经验并加以分析，得到四种最有可能导致隧道结构损坏的情况，明确为防淹门的设置前提。

11.1.2 与立转式设备相比，升降式设备需要占用至少两层的高度空间，并且对轨枕的排列有较大的影响，但却极少占用车站长度且易同步实现对排水洞的封堵。相对而言，立转式设备则仅在站台层就可布置，但必须要求符合“顺水关门”的原则进而导致扇体须开向区间方向，这就必然导致其启闭会占用较大的车站长度，而且启闭范围内的中板不得布置通风孔；此外，对于排水洞的处理较为困难，目前尚未出现能够彻底解决这一问题的设备。“顺水关门”的原则起源与“防护门、防护密闭门必须向外开”一致，是为了保证使用状态下具有良好的边界条件。

11.1.3 采不采取电驱动方式，与具备的人工操作条件难易程度有关。运营期内，对轨行区的管理是非常严格的，进出流程较为复杂，为追求时间效果，宜采取电动的方式，但同时必须具备可解锁后手动操作的功能。至于其它驱动方式如液压驱动，考虑到“顺水关门”原则下的驱动力很小，根本无法体现出液压超大驱动力的优势；而且，相对而言，液压系统的维护保养要麻烦得多；更何况，液压泵站的驱动最终还是来源于电力。因此，本条推荐直接电驱动方式。

11.1.4 与轨道交通工程百年一遇的设计防洪标准不同，一般的商业设施其防洪标准仅为三十年一遇，所以应当采取防范措施。至于要求电驱动方式，则与运营管理中的警戒层级以及灾害的突发性更强有关。

11.1.7 鉴于防淹和防洪的极端重要性，从结构安全性角度而言，分体或分解式、附加一些额外的机构等易造成扇体结构整体性破坏的做法，显然是不可取的。而且，作为一种很重要的设备，哪怕出现再小的一丝漏洞比如排水洞封堵不严，就有可能导致灾时救援的难度急剧加大。因此，与对防护设备的要求相一致，本条也专门明确了防淹门设计时的这项基本原则。

11.1.8 按常见常用材质选择制作原材料，更易与当前的加工工艺想配套，易于达到质量控制的目的，并在一定程度上控制成本。对于此类非标准设备，基于当前国内产品应用现状，特提出一切以试验验证为准确认设备设计的合格性。

11.2 扇体结构计算

11.2.1 经过对电扶梯提升高度的统计，加上出入口地面位置常见设置的防洪措施（对应此处的百年一遇

洪水位加一定裕量), 15 米的水头压力设定可以覆盖绝大多数情况, 其间还考虑了对投资的控制。区间防淹水头则按照经验一般均处在 20 米~40 米范围内, 至于按 5 米间隔分档则是考虑到这样更容易做到投资的有效控制。与商业的接口情况差异相对较大, 有接近站厅层地面标高的出入口通道侧部连接的, 也有从中间休息平台处侧向开孔连接的, 本条规定按实际水头压力计算和设计。

11.2.2 相对区间防淹的情况, 应急防洪时, 水流的规模和冲击力、水锤效应、动反力等更大, 因此规定了较大的水动力系数。

11.2.3 参照《水利水电工程钢闸门设计规范》SL74-2019 有关章节, 并按与人防兼用的原则, 约束了型材种类。

11.2.4 关于挠度控制问题, 《水利水电工程钢闸门设计规范》SL74-2019 做了较为详细的对比分析, 鉴于容许挠度取大值时可能会导致支撑端转角大造成的磨损、甚至漏水以及可能产生较严重的振动等负面因素, 取大值时也会造成用钢量剧增, 因此对挠度的控制还是应以使用条件来确定。与水工闸门相比, 轨道交通工程里的此类设备属于较少、很少使用的情况, 所以这里参照并稍低于水工检修闸门和拦污栅的要求取值。

11.2.5 根据《钢结构设计标准》GB50017-2017 第 6.2.2 条规定: 当铺板密铺在受压翼缘上并与其牢固相连, 能阻止梁受压翼缘的侧向位移时, 可不计算梁的整体稳定性。具有人防抗力要求的人防兼防淹、防洪设备, 都是按内、外双面板设计的, 而且对其与主、次梁骨架的连接均按焊接要求制作的, 属于铺板密铺且连接可靠的情况, 因此, 扇体结构的整体稳定性可不验算整体稳定性。

11.2.6 本条规定引自《水利水电工程钢闸门设计规范》(SL74-2019) 的相关条文内容, 是针对受弯梁的局部稳定性计算的。采用无限弹性假设条件下的简化算法。

11.2.7 本条规定引自《钢结构设计标准》GB50017 的相关条文内容。

11.2.8 本条规定引自《水利水电工程钢闸门设计规范》(SL74-2019) 的相关条文内容, 其两个前提是: 1、简支对称肋形结构承受对称荷载, 2、面板厚度远小于梁高因而在分析整体弯曲应力时可忽略面板的弯曲变形, 进而可以取面板中面的膜应力作为兼作梁翼时的计算简图; 有关面板应力试验成果和理论分析以及数值模拟计算、国内外文献数据都是比较接近的。

11.3 启闭机及控制系统

11.3.1 扇体底部闭合前, 动水作用时会存在一定的水动力阻止底部的下压趋势, 保守以扇体自重的 50% 计, 设备的机械设计本身也是较为容易实现的, 也能达到克服水动力的作用。

11.3.2 对于升降式设备, 启闭机与扇体之间的柔性连接, 由于存在极限夹角, 导致对空间的高度需求特别大, 如原总参工程兵第四设计研究院的卷扬升降式设备对上层空间高度要求至少 8.7 米、电动葫芦式至少 7.5 米, 都远大于车站的标准站厅层层高 (4.95 米), 大大限制了此类设备的应用。螺杆启闭机则可很好地解决这一问题, 由于其结构组成整体性较好且精度控制较为严格, 亦可有效约束因水力作用或

电机驱动引起的振动，因此本条推荐采用。

11.3.4~11.3.7 各条均为经过多年的研究分析和总结，此类设备必须服从于运营的安全管理。

11.4 止水装置

11.4.2 考虑到扇体和预埋件在制造、安装过程中可能产生的累计误差，以及扇体在承压后产生的变形，要求胶条或水封采用预留压缩量，一般采用 2~4mm，具体值需根据水头大小、施工安装质量以及材质的耐磨损能力等因素选取。

11.4.3 本条主要是基于地下潮湿环境中，对关键材料提出的耐腐蚀措施。

11.4.4 本条的主要思路是扇体重量在底槛上产生的压强大于水压力在底槛产生的压强，取安全系数 1.2。