

# 下沉式地铁车辆基地防洪排涝设计标准研究

金永乐<sup>1</sup> 王 文<sup>1</sup> 朱益龙<sup>2</sup>

(1. 中铁二院工程集团有限责任公司, 610031, 成都; 2. 宁波市轨道交通集团有限公司, 315199, 宁波)

**摘 要** [目的] 下沉式地铁车辆基地是一种特殊空间利用形式的车辆基地,在防洪排涝方面存在较大风险,但国内现有相关规范和标准中尚无针对这方面的规定。因此,需对下沉式车辆基地防洪排涝设计能力进行深入研究,明确规范和标准中的相关内容,为此类项目建设提供设计依据。[方法] 以宁波地铁5号线前殷停车场工程为例,分析了现有规范和标准中有关防洪和排水的设计要求,分析了下沉车辆基地的防洪排涝设计方案,分别按50年和100年暴雨重现期对下沉基坑内不同区域防洪排涝设计方案进行了对比分析。[结果及结论] 下沉式车辆基地应采用“可靠的防、排内涝水措施”来满足防洪排涝的基本要求。在防洪排涝方面,下沉式车辆基地防洪墙顶高程和出入口路面高程应高于百年洪水位+安全高,同时防洪墙与周边地面的高差应高于100年暴雨重现期下的所在地块内涝水位。在排涝方面,下沉基坑内的盖体屋面区域排水宜遵循“高水高排”的原则,按100年暴雨重现期设计屋面排水能力,通过重力流方式直排至基坑外;坑内敞开区域采用抽排方式,按100年暴雨重现期设计雨水泵站的总排水能力。

**关键词** 地铁; 下沉式车辆基地; 防洪排涝; 基坑; 暴雨重现期

**中图分类号** U231.96

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2024.02.030

## Flood Control and Drainage Design Standards for Sunken Metro Vehicle Base

JIN Yongle<sup>1</sup>, WANG Wen<sup>1</sup>, ZHU Yilong<sup>2</sup>

(1. China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 610031, Chengdu, China; 2. Ningbo Rail Transit Group Co., Ltd., 315199, Ningbo, China)

**Abstract** [Objective] As a special form of space utilization for vehicle base, sunken metro vehicle base faces greater risk in flood control and drainage. However, currently there are no available specifications and standards in this regard in China. Therefore, it is necessary to conduct in-depth research on the flood control and drainage design capacity of sunken vehicle base, clarify the relevant content in specification and standards to provide design reference for such projects. [Method] Relying on the Qianyin Parking Lot project of Ningbo Metro Line 5, the design requirements in existing specifications and stand-

ards for flood control and drainage are analyzed, as well as the flood prevention and control scheme of the sunken vehicle base. The flood control and drainage design schemes for different areas in sunken foundation pit are compared and analyzed according to 50-year and 100-year rainstorm return periods. [Result & Conclusion] The sunken vehicle base should adopt 'reliable measures for waterlogging prevention and drainage' to meet the basic requirements in this regard. In terms of flood control, the flood wall top elevation of sunken vehicle base and the pavement elevation at entry/exit should be higher than the 100-year flood level plus the safety height, and the height difference between the flood wall and the surrounding ground should be higher than the plot waterlogged level under 100-year rainstorm return period condition. In terms of drainage, the principle of 'high water and high drainage' should be adopted for the drainage of the cover roof area over sunken foundation pit. The roof drainage capacity should be designed according to 100-year rainstorm return period, and the water should be directly discharged out of the foundation pit through gravity flow. The open area in the pit adopts pumping and drainage method, and the total drainage capacity of the rainwater pump station is designed according to 100-year rainstorm return period.

**Key words** metro; sunken vehicle base; flood control and drainage; foundation pit; rainstorm return period

下沉式车辆基地是参照城市下沉式广场而定义,在局部低于市政地坪的地面上建设车辆基地建筑单体的一种特殊形式<sup>[1-2]</sup>,亦称半地下车辆基地。下沉式布置为车辆基地选址和建设提供了一种行之有效的解决方案。

车辆基地在应对防洪方面最主要手段是提高场坪高程。车辆基地场坪高程须按高于百年一遇洪水位进行设计<sup>[3]</sup>。但下沉式车辆基地无法在场坪高程上满足防洪要求,须通过在下沉基坑周围设置防洪墙等措施达到设防目标。下沉式车辆基地防洪设计的关键是防洪墙顶标高和出入口标高的设计:一方面,二者必须满足区域百年洪水位的要求。

求;另一方面,还需结合周边道路、物业、场地的规划及现状高程等来综合确定。

2021 年 7 月 20 日,郑州市的特大暴雨引起了严重的城市内涝,涝水冲毁郑州地铁 5 号线五龙口停车场周边挡水围墙,大量涝水经出入线隧道进入正线隧道,造成正线运营列车迫停,最终导致人员伤亡。事件中心的五龙口停车场即为场坪高程无法满足百年洪涝水位要求的下沉式车辆基地。

本文以宁波地铁 5 号线前殷停车场工程为例,

研究下沉式地铁车辆基地防洪排涝关键技术设计标准。

## 1 前殷停车场工程概况

前殷停车场平面布置图如图 1 所示。宁波地铁 5 号线前殷停车场位于杭甬高速公路北侧、规划潘火大道南侧、金达路东侧、杨木碶河西侧范围内,总用地面积约为  $12.89 \text{ hm}^2$ ,总建筑面积约为  $63\,227 \text{ m}^2$ 。

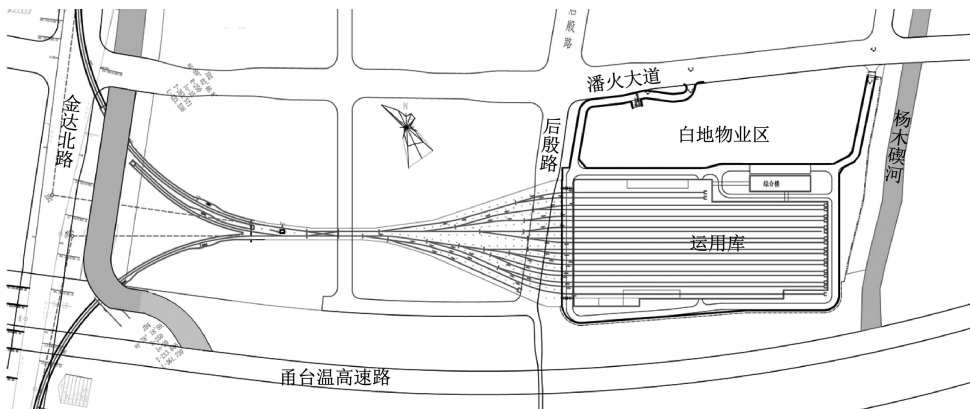


图 1 前殷停车场平面布置图

Fig. 1 Layout plan of Qianyin Parking Lot

前殷停车场为宁波地铁首座下沉式车辆基地,并进行全上盖物业开发。前殷停车场及物业开发剖面示意图如图 2 所示。受出入线上方河道标高控制,出入场线线路纵断面受地面标高及规范要求控制,设计轨顶绝对高程为  $-3 \text{ m}$ ,比现状地面低约  $5 \text{ m}$ 。为更好地结合地块物业开发需求,前殷停车场

采用刚性接触网,将咽喉区及运用库盖板层高降低,使得停车场周边地块与停车场上盖物业竖向进行顺接,整个地块开发融为一体。前殷停车场咽喉区为全地下形式,上盖设计为学校;停车场运用库上盖设计为住宅,运用库周边环形消防车道呈露天布置。

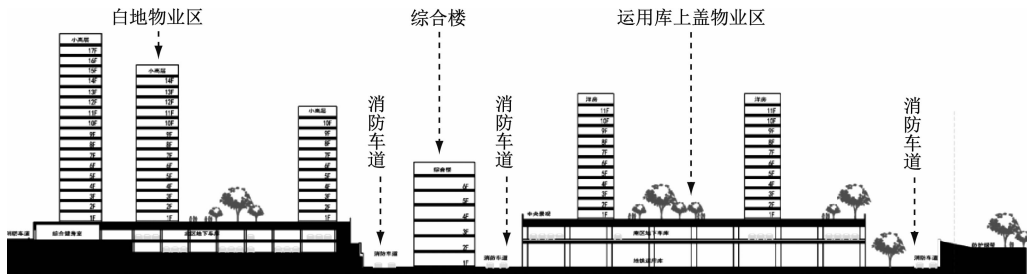


图 2 前殷停车场及物业开发剖面示意图

Fig. 2 Front view diagram of Qianyin Parking Lot and overhead property development

## 2 下沉式地铁车辆基地防洪涝设计标准研究

### 2.1 现行规范关于车辆基地防洪防涝规定

城市轨道交通车辆基地防洪防涝相关的现行规

范和标准主要有:GB 50157—2013《地铁设计规范》<sup>[3]</sup>、GB 50187—2012《工业企业总平面设计规范》<sup>[4]</sup>及 GB 50201—2014《防洪标准》<sup>[5]</sup>。

GB 50157—2013 第 27.10.2 条规定“站场线路路肩高程应根据基地附近内涝水位和周边道路高





### 2.3 前殷停车场防洪涝设计方案

前殷停车场所在地块现状地面高程为 2~3 m。轨行区上盖规划为学校,学校场坪和道路高程为 4.50 m;潘火大道高程为 3.60~4.20 m,后殷路高程为 4.60 m;白地物业区的车库地面高程为 4.85 m。前殷停车场规划地块和道路的高程如图 5 所示。

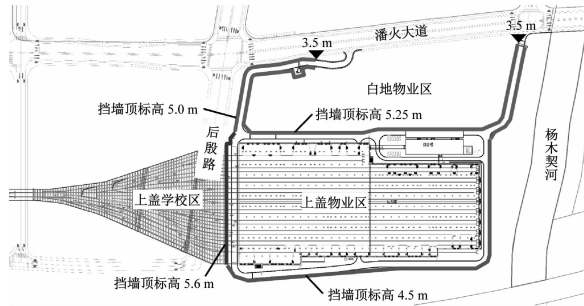


图 5 前殷停车场挡墙布置图

Fig.5 Diagram of Qianyin Parking Lot retaining wall layout

前殷停车场周围挡墙高程在满足本文 2.2 节中的防洪涝要求以外,还需结合周边地块规划高程进行综合考虑。因此,周边挡墙高程基本在 4.5 m 以上,出入口车道在 U 型槽终点处的路面因接驳条件受限,高程按不低于 3.5 m 设计,以满足百年水位加安全高的要求,同时在出入口 U 型槽终点处设置防淹挡板。

## 3 下沉式地铁车辆基地排涝(排水)设计标准研究

### 3.1 现行规范关于车辆基地排涝(排水)的规定

GB 50157—2013 第 27.10.3 条规定“站场路基排水系统宜采用重力自流排水方式”。GB 50014—2021《室外排水设计标准》<sup>[6]</sup>第 5.1.10 条规定“排水渠渠系统的设计应以重力流为主,不设或少设提升泵站。当无法采用重力流或重力流不经济时,可采用压力流。”

GB/T 51293—2018《城市轨道交通给水排水系统技术标准》第 4.2.5 条规定“地下隧道洞口敞开段雨水量应按当地 50 年一遇暴雨强度计算,且应按当地 100 年一遇暴雨强度复核”。根据 GB 50014—2021 第 4.1.4 条规定“人口密集、内涝易发且经济条件较好的大城市,内涝防治设计重现期可采用 30~50 年。”

### 3.2 前殷停车场排涝设计标准

前殷停车场下沉基坑较深,下沉基坑内雨水最

终无法通过重力排出基坑,只能采用水泵抽排方式。

下沉基坑的敞开区排水计算可参考 GB/T 51293—2018 第 4.2.5 条规定,即暴雨重现期采用 50 年进行计算,100 年进行校核。基坑内盖板区域排水计算可参考 GB 50014—2021 第 4.1.4 条规定,根据该规定,对于宁波这种经济条件较好的大城市,采用 50 年暴雨重现期来计算盖板区域的排水能力是合理的。

对于盖体屋面的设计标准,按 100 年和 50 年重现期进行对比分析,结果如表 1 所示。

表 1 不同重现期设计雨水量对比表

Tab.1 Comparison of design rainfall volume for different return periods

重现期/ 年	设计暴雨强度/ ( $L/(s \cdot hm^2)$ )	汇水面积/ $m^2$	设计雨水量/ ( $L/s$ )
100	673.336	34 550	2 326.38
50	614.751	34 550	2 123.96

经计算,100 年和 50 年重现期下设雨水量差异仅为 202.42 L/s,根据沿海内涝易发且运用库屋面的重要性,并结合规范要求,前殷停车场内涝防治设计重现期按上限 100 年进行取值。

### 3.3 前殷停车场排涝设计方案

#### 3.3.1 运用库盖顶排水

盖体屋面雨水遵循“高水高排”原则,雨水不得进入下沉车辆段下垫面(-3.3 m 高程场坪),采用重力雨水排水方式。雨水排放示意图如图 6 所示。设置外挑天沟收集雨水(天沟净空尺寸为 0.8 m(宽)×0.8 m(高)),分片区盖板共设置 4 个雨水出口。其中,北侧通过重力架空将雨水排至车辆段四周挡土墙顶部站场排水渠,集中汇入东侧杨木碶河;南侧通过重力架空将雨水排至车辆段四周防洪墙外侧排水沟,集中汇入东侧杨木碶河。

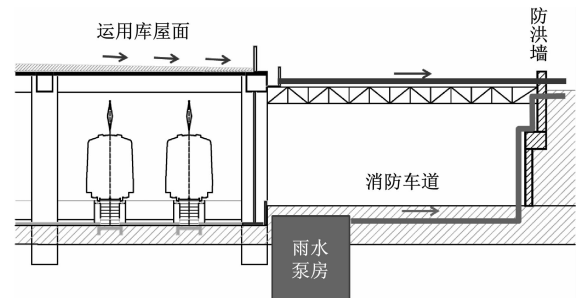


图 6 前殷停车场运用库雨水排放示意图

Fig.6 Diagram of rainwater discharge in Qianyin Parking Lot operation garage

根据 GB 50201—2014 第 3.0.4 条和第 6.1.1 条规定,前殷停车场的设计防洪标准为 100 年一遇。

盖体屋面设计降雨历时按 5 min 计算,屋面雨水径流系数取 1.00,盖体屋面重现期为 100 年,汇水面积约 34 550 m<sup>2</sup>,运用库盖顶雨水设计流量为 2 326.38 L/s。

### 3.3.2 坑内敞开区域排水

基于前殷停车场下沉式特点,-3.3 m 高程场坪及进出道路下沉建设后无自然排水条件,且为非全封闭结构,存在外水(敞开区域雨水)进入场地的必然性。场区内主要在盖板边、开敞区域道路边及股道区设盖板排水沟,雨水最终汇入新建雨水排水泵站集水池。

宁波市暴雨强度公式为:

$$i = (99.380 + 85.038 \lg P) / (t + 32.196)^{1.113} \quad (1)$$

式中:

$i$ ——降雨强度,单位 mm/min;

$P$ ——设计重现期,单位 年;

$t$ ——降雨历时,单位 min。

雨水流量计算公式为:

$$Q = 167iF\Psi \quad (2)$$

式中:

$Q$ ——雨水设计流量,单位 m<sup>3</sup>/s;

$F$ ——汇水面积,单位 m<sup>2</sup>;

$\Psi$ ——径流系数。

式(1)中, $P$ 取 50 年, $t$ 取 10 min;式(2)中, $\Psi$ 加权计算后取值为 0.70,下沉区域场地、道路合计面积计算后  $F$  取值为 23 000 m<sup>2</sup>。鉴于下沉式停车场地势低洼,低于周边河道常水位约 4.5 m,需即时排出集水,以避免下沉停车场雨水倒灌,因此地铁区间安全系数取值为 1.15。经计算 50 年重现期雨水流量为 6 008 m<sup>3</sup>/h。

基于上述计算,前殷停车场排水设备配置为:设置 4 台 QW 型潜水排污泵,3 用 1 备,根据水位依次启动;超出 50 年重现期洪峰流量时,4 台泵同时启动。最大排水能力为 8 000 m<sup>3</sup>/h,满足前殷停车场排水需求。

## 4 结语

以宁波地铁 5 号线前殷停车场工程为例,对下沉式地铁车辆基地防洪排涝设计的关键技术展开

研究,按防洪涝和排涝(排水)两方面提出相关的设计标准。结合车辆基地工程的具体情况并参考既有国标规范,在防洪涝设计标准方面,提出了防洪墙顶高程和出入口路面高程标高应满足百年洪涝水位要求;在排涝设计标准方面,提出下沉基坑的敞开区域排水按 50 年暴雨重现期计算,按 100 年暴雨重现期进行校核。对基坑内盖板设计与水量按暴雨重现期 50 年和 100 年进行比选,提出根据沿海内涝易发特点和运用库屋面的重要性,设计重现期按上限 100 年标准取值。本文对下沉式地铁车辆基地防洪排涝设计标准的研究对既有国标规范未明确的具体内容进行了有效补充,可为下沉式地铁车辆基地工程建设提供良好借鉴。

## 参考文献

- [1] 李晶. 进行上盖综合利用的下沉式地铁车辆段建筑设计要点[J]. 中国住宅设施, 2022(6): 26.  
LI Jing. Key points for sunken metro depot architecture design with overhead comprehensive utilization[J]. China Housing Facilities, 2022(6): 26.
- [2] 范永光. 国内首座下沉式上盖开发停车场设计[J]. 铁道标准设计, 2017, 61(9): 169.  
FAN Yongguang. The design of the first domestic sunken depot with top head estates[J]. Railway Standard Design, 2017, 61(9): 169.
- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 地铁设计规范: GB 50157—2013[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.  
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Code for design of metro: GB 50157—2013[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2014.
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 工业企业总平面设计规范: GB 50187—2012[S]. 北京: 中国计划出版社, 2012.  
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Code for design of general layout of industrial enterprises: GB 50187—2012[S]. Beijing: China Planning Press, 2012.
- [5] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 国家质量监督检验检疫总局. 防洪标准: GB 50201—2014[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.  
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Standard for flood control: GB 50201—2014[S]. Beijing: Standards Press of China, 2015.
- [6] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 室外排水设计标准: GB 50014—2021[S]. 北京: 中国计划出版社, 2021.

多,本文单从楼扶梯本身考虑,研究楼扶梯宽度、高度、运行速度等基本参数对疏散时间的影响。研究表明:自动扶梯运行速度对疏散时间影响程度明显高于自动扶梯宽度、高度;楼扶梯宽度对疏散时间影响程度比高度大;一般情况下,自动扶梯饱和状态和半走半立两种状态的疏散时间存在一定比例关系,该比例与半走半立状态下选择左侧行走行人的比例有关。

仿真软件尽可能还原行人疏散行为,但实际上特别是楼扶梯上的行人是否携带行李、行人在楼梯上行走速度变化等行人异质性会直接影响到楼梯的疏散时间。本文排除行人特性、列车车厢乘客分布随机性等因素,仅考虑车站站台楼扶梯本身对行人疏散时间的影响,以此表征车站站台楼扶梯自身因素对人群聚集安全的影响。

通过仿真拟合得到不同配置楼扶梯疏散时间计算模型,由此可计算得到对应行人流动速度,该指标可作为 DICE 人群聚集风险模型的环境指标之一,表征环境扰动,参与到车站站台人群聚集风险评估工作中。

## 参考文献

- [1] SUN A, LIU M, LI J. Real-time crowd massing risk supervision system based on massing crowd counting in public venue[C]// IEEE. 2009 International Symposium on Computer Network and Multimedia Technology. Wuhan: IEEE, 2010: 1.
- [2] 孙燕, 李秋菊, 李剑峰. 城市重点公共区域人群聚集风险的实时定量技术[J]. 中国安全生产科学技术, 2011, 7(8): 147.  
SUN Yan, LI Qiuju, LI Jianfeng. Real-time quantification technology of the crowd massing risk in urban public venues[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2011, 7(8): 147.
- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 地铁设计规范: GB 50157—2013[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.  
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Code for design of metro: GB 50157—2013 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2014.
- [4] 李嘉陶. 地铁车站楼扶梯上行疏散效率研究[D]. 重庆: 重

庆大学, 2022.

LI Jiatao. Study on upward evacuation efficiency of stairs and escalators in subway stations[D]. Chongqing: Chongqing University, 2022.

- [5] 王洪臣, 张宁, 何铁军. 地铁车站行人交通的微观特性[J]. 城市轨道交通研究, 2013, 16(12): 74.  
WANG Hongchen, ZHANG Ning, HE Tiejun. Microscopic characteristics of pedestrian traffic at metro stations[J]. Urban Mass Transit, 2013, 16(12): 74.
- [6] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 自动扶梯和自动人行道安全要求 第2部分: 满足基本安全要求的安全参数: GB/T 39078. 2—2022[S]. 北京: 中国标准出版社, 2022.  
State Administration for Market Regulation of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Safety requirements for escalators and moving walks—part 2: safety parameters meeting essential safety requirements: GB/T 39078. 2—2022[S]. Beijing: Standards Press of China, 2022.
- [7] 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 自动扶梯和自动人行道的制造与安装安全规范: GB 16899—2011[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.  
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Safety rules for the construction and installation of escalators and moving walks: GB 16899—2011[S]. Beijing: Standards Press of China, 2011.
- [8] DALY P, MCGRATH F, ANNESLEY T. Pedestrian speed/flow relationships for underground stations[J]. Traffic Engineering and Control, 1991(2): 75.
- [9] 朱昌稳. 地铁车站通道行人楼扶梯选择及仿真模型研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2018.  
ZHU Changwen. Study on escalator selection and simulation model of subway station passage pedestrian building[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2018.

· 收稿日期: 2023-08-09 修回日期: 2023-11-30 出版日期: 2024-02-10  
Received: 2023-08-09 Revised: 2023-11-30 Published: 2024-02-10  
· 通信作者: 吴甜甜, 硕士研究生, 2133460@tongji.edu.cn  
· ©《城市轨道交通研究》杂志社, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议  
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

(上接第 169 页)

Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Standard for design of outdoor wastewater engineering: GB 50014—2021 [S]. Beijing: China Planning Press, 2021.

· 收稿日期: 2023-05-22 修回日期: 2023-08-25 出版日期: 2024-02-10  
Received: 2023-05-22 Revised: 2023-08-25 Published: 2024-02-10  
· 通信作者: 金永乐, 高级工程师, 389730352@qq.com  
· ©《城市轨道交通研究》杂志社, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议  
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license