

DOI: 10.7672/sgjs2025180098

城市轨道交通防淹措施研究*

卢昌仪,王开玉,崔艳斌

(广州地铁设计研究院股份有限公司,广东 广州 510420)

[摘要] 随着极端气候事件频发,城市轨道交通面临日益严峻的洪水倒灌风险。针对城市轨道交通防淹薄弱环节(车站出入口、风亭、隧道出入段线),系统分析了现有防淹措施适用性与局限性。研究表明,车站出入口普遍采取被动防淹措施(如沙袋、手动插板),但存在响应慢、依赖人力、美观性差等问题;出入口全自动防洪防淹挡板通过物理浮力原理实现自动挡水,兼具模块化、免电力、快速安装优势,已在多地验证其高效性;极端情况下启用的防护密闭门虽有效,但转换时间长。传统手动拼装风亭防淹板效率低下,车站风亭全自动水浮力式防淹防洪闸板可依靠水浮力实现挡水功能,显著提升响应速度;针对大型风亭设计的暂时性密闭挡水装备通过精密定位与锁扣系统,实现快速封堵与安全存放。隧道出入段线采用推拉式挡板或立转式防淹门,后者集成液压驱动、智能监测与多重锁定系统,可远程控制并适应复杂工况,但需预埋结构与专业维护。未来防淹设计需向自动化、模块化、智能化方向发展,结合城市轨道交通特点定制组合方案,以平衡时效性、可靠性与经济性,为城市轨道交通防淹体系升级提供技术支撑。

[关键词] 轨道交通;地铁车站;防淹;出入口;风亭;模块化

[中图分类号] U231

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2025)18-0098-05

Flood Control Measures for Urban Rail Transit

LU Changyi, WANG Kaiyu, CUI Yanbin

(Guangzhou Metro Design & Research Institute Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510420, China)

Abstract: With the increasing frequency of extreme climate events, urban rail transit system faces growing risks of floodwater intrusion. This paper systematically analyzes the applicability and limitations of existing flood control measures targeting the vulnerable points of urban rail transit system (station entrance and exit, wind pavilion, and tunnel portal sections). The research shows that station entrance and exit commonly relies on passive flood barriers (for example, sandbags, manual plates), which suffer from slow response times, high labor dependency, and poor aesthetics. In contrast, the fully automatic buoyancy-activated flood control plates for entrance and exit utilize physical buoyancy to achieve automatic water blocking. It offers advantages in modularization, power-free operation, and rapid installation, with its effectiveness validated through practical application in multiple locations. While protective airtight doors are effective for extreme scenarios, their deployment requires significant conversion time. Traditional manually assembled flood control plates for wind pavilion are inefficient. The fully automatic buoyancy-activated flood control plates for station wind pavilion significantly enhances response speed by relying on water buoyancy. Temporary sealing equipment designed for large wind pavilion enables rapid sealing and secure storage through precision positioning and latching system. For tunnel portal sections, sliding barriers or vertical rotation floodgates are employed. The latter integrates hydraulic drive, intelligent monitoring, and multi-stage locking system, enabling remote control and adaptability to complex conditions, though they require embedded structures and specialized maintenance. Future flood control design must evolve towards automation, modularization, and intelligence. Tailored combined solutions, aligned with the characteristics of urban rail transit system,

* 国家重点研发计划(2022YFC3005203);广东省城市轨道交通工程建造新技术企业重点实验室资助项目(2017B030302009)

[作者简介] 卢昌仪,高级工程师,E-mail: luchangyi@ dtsjy. com

[收稿日期] 2025-05-19

are essential to balance timeliness, reliability, and cost-effectiveness. This approach will provide crucial technical support for upgrading the flood control system of urban rail transit infrastructure.

Keywords: urban rail transit; subway stations; flood control; entrance and exit; wind pavilion; modularization

0 引言

当前,地下车站防洪设计普遍遵循“百年一遇”标准规范,但极端气候的常态化迫使防淹策略从“被动设防”向“主动适应”转型。尤其需重点考虑城市轨道交通关键部位的防淹需求。目前城市轨道交通领域已尝试包括手动插板、提拉式挡板、密闭门等多种技术,但普遍存在人工操作效率低、设备美观性差、设施启用成本高等不足。

本文聚焦城市轨道交通防淹措施,系统梳理既有防淹措施的适用场景与局限性,分析水浮力挡水板、智能防淹门等新兴自动化方案的技术原理与实践效果,提出针对城市轨道交通不同部位的差异化防淹策略,为设计单位与运营部门提供防淹措施优化参考,助力提升城市轨道交通系统在极端气候下的风险防控水平。

1 车站出入口防淹措施

一般情况下,地铁车站采取主动防淹和被动防淹措施。例如,设计阶段根据防洪资料提高出入口地面平台标高实现;已投入运营的车站,一般在出入口附近堆放一些沙袋,以防应急之用。各城市所采取的防淹防洪措施也存在较大差异,效果也存在较明显差异。

1.1 手动插板

早期,为了提高防淹的快速处置时间及确保防淹可靠性,挡水设施由沙袋改为防淹挡板,如图 1 所示。通常情况下,在地铁站进出站内墙会设置插板槽,也就是传统意义上的防洪闸槽,该门槽为临时的防淹措施,在大规模水侵发生时,通过插入梁式防水挡板阻挡洪水涌入地铁站,保护站内安全。



图 1 手动防淹挡板
Fig. 1 Manual flood control plates

采用防淹挡板优缺点可总结如下:①结构简单,安装方便,造价低;②完全依靠大量人工搬运和安装,难以应对夜间和突发汛情;③平时堆放在出

入口口部,影响美观,如果口部较宽,手动挡板需预先在口部两端及中间设置固定框架,这严重影响口部的美观程度,另外,在中间位置预先设置固定框架,这给行人通行造成困扰;④当洪灾来临时,需大量人力及物力将防淹闸板从仓库运到口部堆垒,如遇突发洪灾,无法做到及时堆垒,大量涝水会直接涌入地铁口,给人民生命和财产安全带来极大隐患。

1.2 手动提拉式挡水板

在出入口地面上安装手动提拉式挡水板,挡水板表面与地面保持同一水平,便于乘客进出,如图 2 所示。手动提拉式挡水板平时平放在出入口地面上,洪水来袭时,手动提拉挡水板,达到防淹效果。该措施需结合出入口结构形式定制,且防淹高度受限。

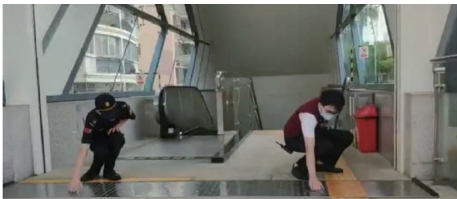


图 2 手动提拉式挡水板
Fig. 2 Manual lift-pull water retaining plates

1.3 出入口全自动防洪防淹挡板

出入口全自动防洪防淹挡板采用高强度轻质材料制作,采用水浮力驱动实现自动挡水的核心功能,无需电力、无需值守、纯物理原理。与普通挡水板类似,将其安装在出入口地面,平时不妨碍乘客进出。遇水倒灌时,挡板(或闸板)随水位自行起浮,实现自动挡水(也可提前手动拉起,做好预防);单元模块化设计,生产、运输、安装方便,模块间软连接,适用于不平整地面;超薄设计,可地表式快速安装,适用于斜坡安装,如图 3 所示。该装置已在多个地方得到应用,效果显著,提高了防洪涝效率。

1.4 出入口通道防洪防淹

地铁站出入口一般设置防护密闭门和密闭门各 1 道。当洪水漫过车站口,通过出入口通道进入站内时,拆除防护段建筑装饰材料,关闭人防防护密闭门和密闭门,可有效阻止洪水倒灌进入车站,如图 4 所示。

针对城市地铁低洼区域,可设置立转式双扇防

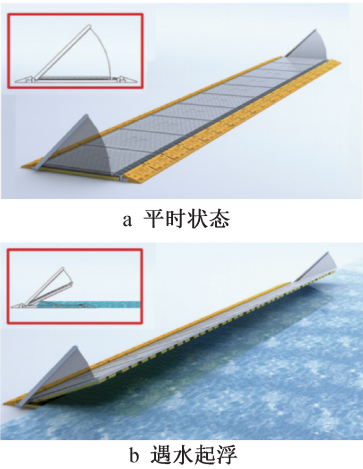


图 3 出入口全自动防洪防淹挡板

Fig. 3 Fully automatic buoyancy-activated flood control plates



图 4 防护密闭门和密闭门

Fig. 4 Protective airtight door and sealed door

淹防护密闭门和密闭门,平时不关闭,便于人员通行。出入口通道的装修设计必须满足平战转换要求,才能达到平时的防洪要求。车站出入口与周边商业区域连通时,也可采用这种防淹防洪方案。

采用防淹防护密闭门和密闭门的防淹方案,需较长时间准备,且需相关专业人员配合才能完成;另外,也需较长时间才能恢复运营。在地铁运营中不得已才采用该防淹设施。

2 风亭及风道防淹措施

为了确保地下车站空间的空气流通,一般要在地面设置风亭,根据车站规模设置不同截面大小的通风口,而通风口突出地面会影响周边景观,因此,一般来说,通风口不宜设置太高。车站风亭也是车站防洪涝的重要部位。根据风亭结构特点,防淹措施主要有设置手动拼装防淹板、风亭全自动水浮力式防淹防洪闸板、风亭口部暂时性密闭挡水装备等。

2.1 手动拼装式防淹挡板

地铁风亭手动拼装式防淹挡板方案主要由立柱、铝合金挡板、底部垫板、密封胶条、立柱预埋连接件、各种螺栓及配件组成,将挡水板拼接到预定高度,四周密封后以防洪水倒灌进风亭通风口,如图 5 所示。在挡板和立柱结合面处安装密封胶条,

并通过螺栓挤压力使立柱和整块挡板实现密封。在上、下挡板块间连接界面处安装密封胶条,并通过螺栓挤压力使上、下挡板块间实现密封。

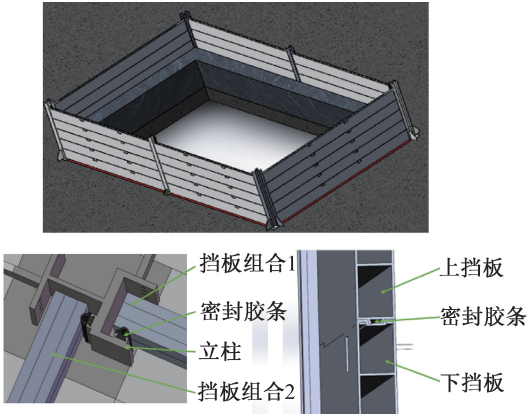


图 5 手动拼装式防淹板

Fig. 5 Manual assembly-type flood control plates

该方案与出入口手动插板相类似,需在风亭口四周做好安装基础,还需在风亭口周边设置堆放防淹板的空間及设施。该方案结构简单、安装便捷,但需较多人工安装且拼装时间较长。

2.2 车站风亭全自动水浮力式防淹防洪闸板

全自动水浮力式防淹防洪闸板的工作原理为:当发生洪涝灾害时,安装在风亭口的挡水板借助水的浮力上升,从而挡住欲倒灌进风井口的雨水。

水浮力式防淹防洪闸板由升降挡水板、防水硅胶板、硅胶板压条、单向排水阀、上下限位密封圈、配重拉绳、配重拉绳滑轮、配重箱等组成,将挡水板设在风亭口外预定高度,四周密封后以防防水泄漏进风亭内部,如图 6 所示。与现有技术相比,本装置增加了挡水设防高度,避免积水倒灌至风亭内。采用该装置无须配置供电设施,安装简单,结构可靠,无须人工操作,达到主动防淹效果且维护费用低。

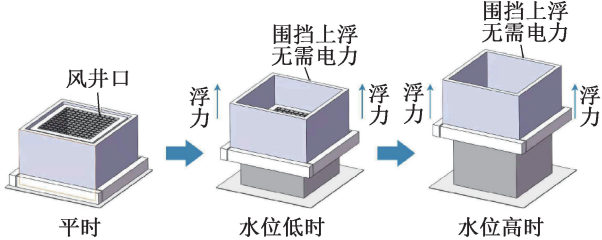


图 6 车站风亭全自动水浮力式防淹防洪闸板

Fig. 6 Fully automatic buoyancy-activated flood control plates for station wind pavilion

2.3 车站风亭口部暂时性密闭挡水装备

为了达到地铁车站风亭口部密闭挡水装备的设计结构简洁,制作安装调试工艺简易,防淹转换快捷目的,将地铁车站风亭口部密闭挡水装备的防

护密闭、转运、存放功能分别由该装备的封堵门板、门框、运输装置、门扇存放装置等承担,具有密闭、防水功能,如图 7 所示。每块封堵门板具备相应的防护密闭功能,所有封堵门板转运均由具备相应功能的运载小车实现电动或人力平稳快捷搬运。

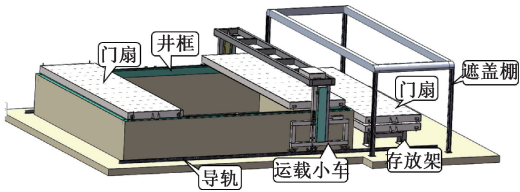


图 7 车站风亭口部暂时性密闭挡水装备
Fig. 7 Temporary sealing water barrier equipment for station wind pavilion

门板为钢梁板结构,采用 5mm 厚高强度面板,以确保其在承受重载时的稳定性和耐久性。门板的骨架由优质槽钢和工字钢焊接而成,不仅提供卓越的承载力,还增强整体结构刚性。整个门板保证足够强度和刚性以应对各种极端工况。封堵结构采用模块化设计,由 4 块精密制造的封堵门板拼装组合而成。在有防淹需求时,封堵门板将水平精确安装于风亭口的井框上,确保对水平洞口实现无缝、高效密闭封盖。非防淹期间,封堵门板则妥善存放于洞口侧方,以水平叠加状态有序堆放,既节省了宝贵的堆放场所空间,又保证了堆放的稳固性与安全性。在设计封堵门板与井框的精确配合过程中,采用一种高效定位机制。门板和井框上分别设置了匹配的定位柱和定位槽,每块门板的四角均配备了定位柱,这些定位柱在安装时能精确插入井框上的定位槽内。这种设计不仅确保了每块门板能精准安装到位,而且有效避免了由于安装偏差累积而影响风亭的整体密闭效果。设计允许门板在安装过程中实现快速对准和锁定,同时保持了机构的稳定性和可靠性。

此外,为了进一步增强封堵门板的稳固性和密封性,在门板四角还设置了锁扣座。这些锁扣座经过精密加工,与锁扣完美匹配。在安装完成后,操作人员只需将锁扣插入锁扣座内,即可快速将门板与井框紧密锁紧。这一设计不仅简化了安装流程,提高了工作效率,而且确保了封堵门与井框及封堵门与封堵门间的紧密贴合,从而大大提升了风亭的密闭性能。

3 隧道出入段线防洪防淹措施

城市轨道交通隧道出入段线也是易发生洪水倒灌的地方,该位置也应设置防洪防淹设施。

3.1 隧道出入段线地面段防洪防淹装置

根据城市所在地区的百年一遇水涝设防要求,设置高度不同的推拉式防洪防淹挡板,实现对钢轨的密封,同时截断地面洪水从隧道出入段线口部进入,实现隧道口部围蔽,如图 8 所示。推拉式防洪防淹挡板具有手动操作和电控两用功能。该装置主要由防淹防洪挡墙、防淹挡板、轨道密封联动机构、安全固定装置、控制系统等组成。平时运营阶段防淹挡板开启,固定在一侧的防淹防洪挡墙内,安全固定装置牢靠固定。防淹挡板高度可根据需要取 1~4m,宽度为 3.5~6m。

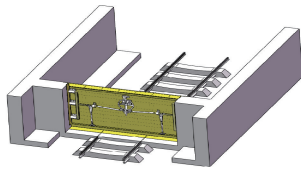


图 8 推拉式防洪防淹挡板
Fig. 8 Push-pull flood control plates

3.2 立转式隧道出入段线防淹门

隧道出入段线地下段设置防淹挡水装备,防淹门关闭后可完全封闭隧道,阻止洪水倒灌。根据隧道出入段线地下段的土建结构要求,一般设置立转式防淹门,该装置结构简单、安装方便,具有远程控制功能,便于操作人员操作,如图 9 所示。



图 9 立转式防淹门
Fig. 9 Vertical rotation flood gate

立转式隧道出入段线防淹门主要由以下 4 部分组成:主体系统、液压驱动系统、安全系统、智能控制与监测报警系统。主体系统包括门扇、门框、轨道密封箱、手(电)动闭锁、重载铰链等;液压启闭机系统用于启闭门扇,由泵站、液压系统、摆动油缸、摇杆等组成;安全系统由插销锁定装置、支撑轮装置组成,用于开门后对门扇的锁定与支撑;智能控制与监测报警系统对整套系统中的液压启闭机电动机、手(电)动闭锁、电力液压推杆等进行控制,对防淹门系统状态信号、水位监测与报警信号进行判

断决策,与车站综控室、IBP 盘、信号系统、供电系统等进行交互,实现对防淹门系统的综合监测与控制。

门扇是承受荷载的主要机构,由双面钢板加内部型钢组焊而成,其上布置胶条、闭锁、支撑锁定机构等,并与启闭机构相连,在启闭机构的驱动下实现开关门。门框预埋于门框墙内,通过锚固钩与门框墙拉结。系统正向承载时,门扇压紧于门框上,承载力通过胶条、胶条压板传递于门框墙上。系统反向承载反弹力时,通过插入门框内的闭锁头承载,闭锁头将荷载传递于门框上,门框通过锚固钩传递于门框墙。重载铰链可承受启闭机构、动水启闭时的推拉力 和 门扇重力,可保证门扇在手(电)工况下灵活转动、平移。该重载铰链采用 MGA 滑动轴承,大大减小了铰链尺寸,减小了悬臂长度。手(电)动闭锁设置于门扇内侧,门扇两侧设置了手轮,内外均可手动启闭,门扇外侧手轮附近设置液压马达,通过链轮链条与手轮相连。液压马达通电时,通过链条带动手轮处蜗杆轴旋转,通过蜗轮蜗杆机构带动闭锁连杆驱动闭锁锁头伸出或收回,达到闭锁和解锁目的。密封梁及升降机构与闭锁联动,在闭锁连杆推动下实现对下门框密封,其可上下升降 140mm,满足门扇与下门框的间隙>50mm 及存在隧道纵向坡度的复杂工况。

立转式防淹门启闭机构现有多种形式的驱动源,如电动机、液压马达和液压油缸等。为驱动门扇按设定轨迹运动,其驱动装置的机构原理和形式也多种多样。立转式防淹门在使用过程中需确保 2 个位置锁定门扇:在门扇全开位置,需锁定门扇,防止门扇因隧道内气流或自重导致的不受控自转,防止门扇侵入行车限界;在门扇全关位置,应锁定门扇,确保防淹防护密闭门的密封防水性能并能抵抗水头压力。

4 结语

1) 车站出入口传统措施(沙袋、手动挡板)依赖人力、响应滞后,难以应对突发汛情。出入口全自动防洪防淹挡板依靠水浮力自动触发、无需电力、无需值守,可作为优选方案。

2) 风亭防淹需综合考虑快速挡水与景观协调因素。车站风亭全自动水浮力式防淹防洪闸板可无源高效挡水,适用于标准风亭;风亭暂时性密闭挡水装备通过精密定位与锁扣系统设计,实现大型风亭的精准封堵,但需预留安装空间。

3) 隧道出入段线的立转式防淹门集成液压驱动与智能监控系统,支持远程操作与双向承压,是保障隧道安全的核心设施,但需在土建阶段预埋结

构并配套专业运维。

综上所述,新建城市轨道交通工程应在设计阶段预置防淹防洪设施,优先采取自动化措施;既有工程改造需结合空间限制,推广模块化、低干扰方案。未来研究需进一步量化不同防淹措施的设防标准与经济性,推动标准化技术规程制定,以全面提升城市轨道交通抵御极端气候的能力。

参考文献:

[1] 中国城市轨道交通协会.《城市轨道交通 2024 年度统计和分析报告》精要解读[J].城市轨道交通,2025(4):22-25.
China Association of Metros. Interpretation of “statistics and analysis report of urban rail transit in 2024” [J]. China metros, 2025(4):22-25.

[2] 江强,李晓. 新华路隧道病害原因分析与治理建议[J]. 现代隧道技术,2018,55(S2):519-525.
JIANG Q, LI X. Cause analysis and treatment suggestions of Xinhua Road tunnel disease [J]. Modern tunnelling technology, 2018,55(S2):519-525.

[3] 何海声. 特大暴雨城市地下隧道大面积排涝抢险对策[J]. 人民黄河,2022,44(S2):34-37.
HE H S. Emergency countermeasures for large-scale drainage of underground tunnels in torrential rain cities [J]. Yellow River, 2022,44(S2):34-37.

[4] 吴远志,张国权. 城市隧道防汛应急系统分析与技术探讨[J]. 城市道桥与防洪,2022(3):253-255,25-26.
WU Y Z, ZHANG G Q. Analysis and technical discussion on flood control emergency system of urban tunnel [J]. Urban roads bridges & flood control, 2022(3):253-255,25-26.

[5] 许留记,赵趁香,李红建. 浅谈轨道交通防淹设计的几点建议[J]. 交通科技与管理,2023(11):45-47.
XU L J, ZHAO C X, LI H J. Some suggestions on flood prevention design of rail transit [J]. Transportation technology and management, 2023(11):45-47.

[6] 黄俊,邢冬冬,张忠宇,等. 城市隧道防淹技术体系研究[J]. 隧道建设(中英文),2024,44(10):1917-1927.
HUANG J, XING D D, ZHANG Z Y, et al. Urban tunnel flood prevention technology [J]. Tunnel construction, 2024, 44(10):1917-1927.

[7] 孙增田. 广州地铁 2 号线防淹门系统的设计分析[J]. 都市轨道交通,2004,17(S1):73-76.
SUN Z T. Flood gate system design in Guangzhou Metro Line 2 [J]. Urban rapid rail transit, 2004,17(S1):73-76.

[8] 卢昌仪. 地铁防淹门系统的设计[J]. 都市轨道交通,2005,18(4):116-120.
LU C Y. The design of metro flood gate [J]. Urban rapin rail transit, 2005,18(4):116-120.

[9] 张隹. 地铁信号系统与防淹门系统的接口设计[J]. 铁道通信信号,2007(8):55-57.
ZHANG X. Interface design between metro signaling system and floodgate system [J]. Railway signalling & communication, 2007(8):55-57.