

城市下穿式隧道排水设计

黄思进

(广东省建筑设计研究院集团股份有限公司, 广东 广州 510010)

摘要:近年来城市下穿式隧道的洪涝灾害时有发生,除造成交通运输中断外,还可能造成较大的经济损失甚至人员伤亡。结合广州地区下穿式隧道排水设计,总结下穿式隧道排水泵站设计方法、特点和主要技术参数,对排水泵站的位置、数量、型式、集水池容积、出水管和水雨情监测预警系统等进行逐一分析,并对隧道排水工程设计的常见问题,包括横截式排水设置、集水池设置闸门、隧道雨污分流、水泵并联运行流量折减和排水泵站与海绵城市结合等进行探讨,为类似隧道工程排水设计提供一些有用的借鉴。

关键词:下穿式隧道;排水泵站;设计参数;水雨情监测预警系统

中图分类号: TU992;U452.2

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)01-0162-05

Discussion on Drainage Design of Urban Underpass Tunnel

HUANG Sijin

(Guangdong Architectural Design and Research Institute Group Co., Ltd., Guangzhou 510010, China)

Abstract: In recent years, the flood disaster of urban underpass tunnel occurs from time to time, which will not only cause the traffic interruption, but may also cause the great economic losses and casualties. Combined with the drainage design of underpass tunnel in the area of Guangzhou, the design method, characteristics and main technical parameters of underpass tunnel drainage pumping station are summarized. The position, quantity and type of drainage pumping station, the volume and effluent pipe of catchment tank, and the water and rain monitoring and early-warning system are analyzed one by one. The common problems in the design of tunnel drainage engineering including the arrangement of transverse drainage, the installation of gates in catchment tank, the separation of tunnel rainwater and sewage, the flow reduction of parallel operation of pumps, and the combination of drainage pumping station and sponge city are discussed, which can provide some useful reference for the drainage design of similar tunnel projects.

Keywords: underpass tunnel; drainage pumping station; design parameters; water and rain monitoring early-warning system

0 引言

近年来城市下穿式隧道的内涝灾害时有发生,除了会造成道路交通中断外,还可能造成较大的人员伤亡。

下穿式隧道汇水面积虽然不大,但由于位于道路下方,其最低点往往比周边主干道低约6~7 m,形成盆地,且纵坡很大,雨水快速汇集到隧道最低点,极易造成严重积水。近年来由于全球气候变化导致地球表面降雨分布越来越不均匀,极端降水时有发生。因此,下穿式隧道的排水设计至关重要。

1 工程概况

本文以广州市南沙区两个项目为例,其一为横沥中路隧道,隧道为双向4车道,总长530 m,其中敞口段长度373 m,闭口段长度157 m,隧道红线宽度为25 m,隧道等级为四类隧道;其二为凤凰大道下穿黄阁南路隧道,总长1 335 m,其中敞口段长度415 m,闭口段长度920 m,隧道红线宽度为27 m,隧道等级为三类隧道。

2 下穿式隧道排水设计

2.1 主要技术参数

(1)设计重现期 P

根据规范和广州地方标准,下沉式立交隧道、地下通道和下沉广场等重要地区雨水管渠设计重现期一般不小于50 a;因此下穿式隧道雨水工程设计重

收稿日期:2024-08-06

作者简介:黄思进(1975—),男,本科,高级工程师,从事市政给水排水设计工作。

现期采用 50 a, 100 a 校核。

(2)地面集水时间 t_1

地面集水时间按规范宜为 2~10 min; 由于下穿式隧道道路坡度大(一般是 2%~5%), 坡长较短(100~300 m), 建议按规范上限 2 min 进行选取或采用曼宁公式进行计算。

(3)综合径流系数 ψ

隧道的地面种类一般以混凝土或沥青路面为主, 综合径流系数 ψ 按规范 0.85~0.95 进行取值。

(4)雨水泵站汇水面积计算

下穿式隧道采用高水高排、低水低排且互不连通的系统, 并采取封闭汇水范围, 避免客水汇入措施后, 泵站汇水面积为驼峰之间敞口段隧道的投影面积。根据《建筑给水排水设计标准》(GB50015—2019)第 5.2.7 条, 还应将 U 形槽两侧高出路基侧墙面积的 1/2 纳入汇水面积中, 同时建议考虑不小于 1.2 的安全系数。如果条件受限, 无法在隧道的起止点处设置驼峰, 泵站汇水面积应把起止点上游的汇水面积算上。

隧道泵站汇水面积计算示意图如图 1 所示^[1]。

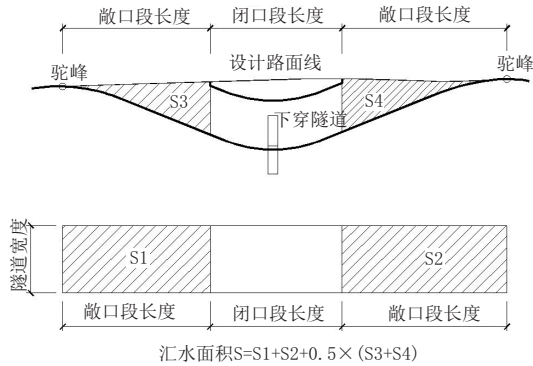


图 1 汇水面积计算示意图

(5)废水泵站水量计算

隧道废水量按最不利情况计算, 包括隧道消防用水量、隧道结构渗入水量和洞口处雨水下冲到隧道最低点的水量。

消防用水量根据隧道等级确定, 消防用水量为 10~20 L/s; 隧道结构渗入水量按 1 L/d·m² 计; 洞口处雨水下冲到隧道最低点的水量一般可按洞口处雨水量 5%~20% 进行选取。

2.2 泵站位置及数量

下穿式隧道泵站位置及数量与隧道的长度和纵断面有关, 一般短隧道排水泵站设置在隧道最低点位置, 长隧道在进口及出口明暗交界处设置雨水泵站, 最低点处设置废水泵站。

如图 2、图 3 所示, 横沥中路闭口段长度为 200 m, 在隧道最低点设 1 座雨水泵站; 凤凰大道隧道闭口段长度为 920 m, 为避免雨水在隧道内流动距离过长, 保证隧道安全, 在隧道在进口及出口明暗交界处各设 1 座雨水泵站, 最低点处设 1 座废水泵站, 共设 3 座泵站。

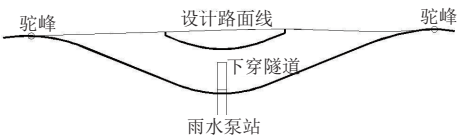


图 2 排水泵站示意图(闭口段 200 m)

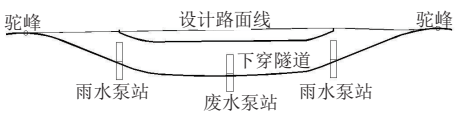


图 3 排水泵站示意图(闭口段 920 m)

2.3 泵站型式

下穿式隧道排水泵站型式一般有独立泵站(现浇或预制一体化)、附壁式泵站等, 但为了节约用地, 通常采用附壁式泵站; 排水泵站为全地下式钢筋混凝土结构, 与隧道主体结构连为一体, 排水泵站从隧道侧墙进出; 排水泵站一般设置上下两层, 上层为水泵检修平台, 下层为集水池, 潜水泵设置在集水池内。

隧道泵站的水泵一般可选用同一型号的潜水电离泵或轴流泵, 台数 2~4 台, 同时考虑到隧道的重要性, 一般设置备用泵。雨水泵站的平面、立面图分别如图 4、图 5 所示。

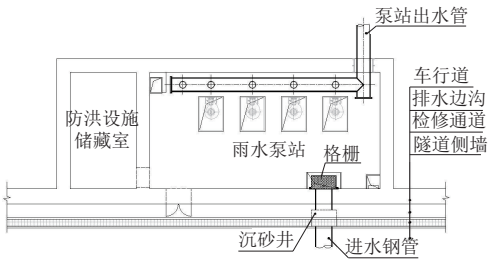


图 4 雨水泵站平面图

2.4 集水池容积

计算集水池有效容积的有效水深按第一台泵的启动水位和停泵水位(最低水位)的高差, 而不是按最高水位与最低水位的高差进行计算, 因此若加大集水池的有效容积, 可通过调整第一台水泵的启动水位进行实现。

集水池的设计最高水位一般与进水管管顶相平, 集水池的设计最低水位应满足所选水泵吸水头的要求, 水泵吸水头高度数据可通过设备样本获取。

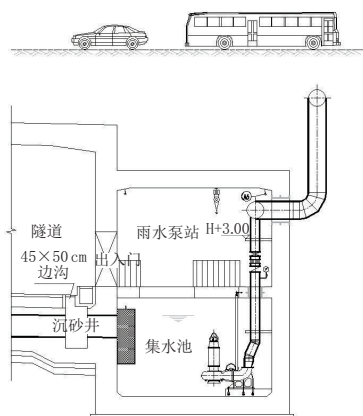


图5 雨水泵站立面图

2.5 泵站出水管设计

隧道泵站出水管应设计为独立系统,一般采用压力出水管经消能井后直接排至河涌;当没有条件(远离河涌)独立排放时,下游的排水管网应能满足道路汇水面积和隧道排水设计流量要求。

由于隧道排水的重要性,南沙区两个隧道项目在设置独立压力出水管直接排至河涌的同时设置备用的排水通道,通过阀门切换可排至辅道的重力流排水渠。

此外,隧道泵站出水管应设置试车水回流管,回流管管径一般同单台水泵出水管管径;试车时,应关闭排至河道出水总管的闸门或临时封堵出水井^[2]。

2.6 水雨情监测预警系统

随着城市化进程的加速和交通基础设施的完善,隧道作为城市交通的重要组成部分,其安全性和稳定性显得尤为重要。隧道水雨情监测预警系统的应用,有助于及时发现和处理隧道内的水雨问题,确保隧道的正常运行和人们的出行安全。

南沙区两个隧道项目均增加水雨情检测相关设施,每条隧道设置了三重警示系统,如图6所示。

(1)第一重警示:隧道入口前设置分车道信号灯和LED可变情报板,结合发光道钉警示,提供足够的变道距离。

(2)第二重警示:隧道入口位置设置LED可变情报板和旋转警示灯,进一步警示驾驶员注意当前隧道积水情况。同时设置柔性拦截道闸进行物理拦截。

(3)第三重警示:隧道顶设置隧道指示灯,当积水严重时,禁止车辆继续驶入隧道。同时装配摄像头对隧道内通行情况进行监测。配置高音喇叭对被困人员进行语音疏导撤离。

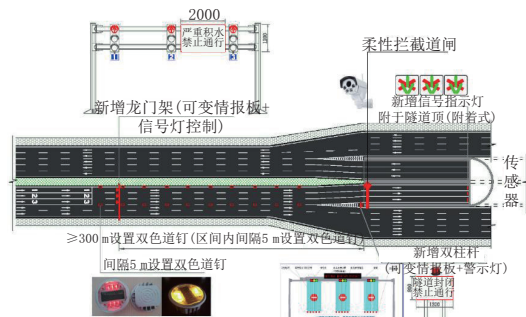


图6 隧道水雨情监测预警系统

3 隧道泵站设计探讨

3.1 横截式排水沟设置问题

下穿式隧道一般起终点处、敞开段与封闭段分界处设置横截式排水沟,截流敞开段路面雨水;但由于横截式排水沟施工质量问题经常发生盖板跳车现象,如图7所示,行车舒适性差,严重时对行车安全造成影响。下面对横截式排水沟是否可以取消进行探讨。



图7 横截式水沟盖板容易缺失或翘起造成跳车现象

隧道起终点处如果无法设置驼峰,则应设置横截式排水沟,避免隧道上下游客水汇入;但如果设置驼峰点,起终点处的横截式排水沟相当于在最高点,小雨时一般起不到截水作用,暴雨时路面水漫过驼峰点进入横截式排水沟,但由于此时市政雨水管网已经满负荷,横截式排水沟的雨水也无法排至市政雨水管网。因此设有驼峰点的隧道起止点横截式排水沟建议取消。

至于敞开段与封闭段分界处设置的横截式排水沟,由于隧道横坡一般较大(一般是1.5%~2%),敞开段雨水可通过横坡快速排至纵向排水沟,即便收水不及,部分雨水下冲至隧道最低点也会通过横坡排至纵向排水沟。因此敞开段与封闭段分界处的横截式排水沟也建议取消。

如果要设置横截式排水沟,可采用整体式篦子以减少跳车的风险,整体式篦子承载能力不低于

D400,与 C50 钢纤维混凝土基础浇筑为一个整体;每 2 延米排水沟需安装 1 套检修口箅子,箅子下方设置弹性缓冲减震胶垫。整体式排水沟箅子以及排水沟检修口箅子安装剖面如图 8、图 9 所示。

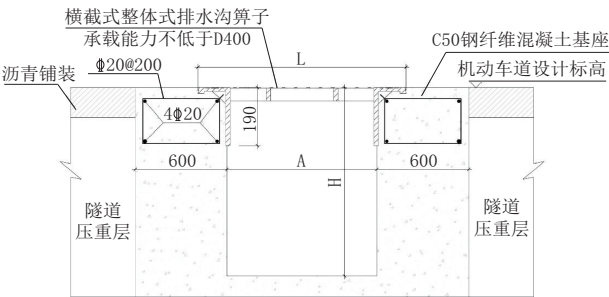


图 8 横截式排水沟箅子安装剖面图(单位:mm)

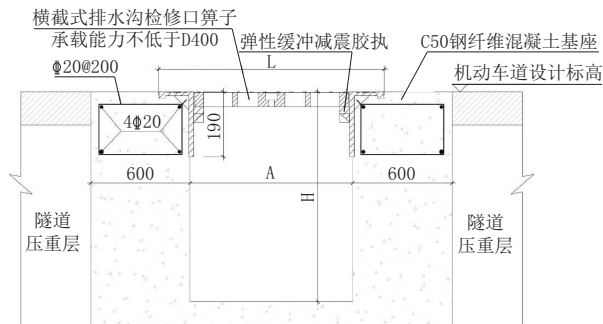


图 9 横截式排水沟检修口箅子安装剖面图(单位:mm)

3.2 集水池前设置闸门和闸槽问题

根据《室外排水设计标准》(GB 50014—2021)第 6.2.3 条,泵站集水池前应设置闸门或闸槽^[2];但考虑到泵站占地面积小,设备布置紧凑,在集水池前面设置闸门或闸槽比较困难而且检修不便;规范条文说明提到设置闸门或闸槽目的是为了便于清洗集水池或检修水泵;根据雨水泵站实际运行情况,闸门或闸槽使用频率不高,长期不使用和管养不到位会导致闸门或闸槽无法使用,因此建议在泵站内不设闸门或闸槽,而在设备间里面备用检修气囊,清洗集水池或检修水泵时采用气囊堵住进水管。

3.3 隧道雨污分流问题

短隧道一般在最低点设置一处雨水泵站,没有考虑隧道的雨污分流,车行道初期径流雨水直接排至雨水系统;随着对水环境的要求越来越高,隧道雨水泵站建议考虑雨污分流问题。

可在集水池内设置废水泵和雨水泵两套系统,通过液位控制两台水泵系统的启停;平时集水池内的水量通过启动废水提升泵将集水池内的废水提升排至市政污水管网;降雨时,初期的雨水由废水提升泵提升排至市政污水管网,后续降雨由雨水提升泵提升排至水体或市政雨水系统^[3]。

3.4 水泵并联运行流量折减问题

两台以上水泵并联运行合用一根出水管时,并联运行时流量增加的比例,会随着管路特性曲线的变陡而减少,如图 10 所示。

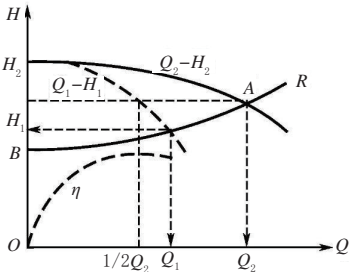


图 10 两台相同水泵的并联工作性能曲线图

因此,水泵并联运行应考虑流量折减系数,但由于设计阶段没选定具体水泵,不能按水泵特性曲线叠加计算,一般可按经验值进行:两台泵并联 0.95, 3 台泵并联 0.83, 4 台泵并联 0.71;当并联水泵数超过 4 台,流量增加不明显,因此泵站水泵数量一般 2~4 台最为经济^[4]。

雨水泵站中必要时可采用每台泵单独设出水管,以免并联流量折减的问题。

3.5 排水泵站与海绵城市结合

以横沥中路隧道为例,隧道为双向 4 车道,总长 530 m,其中敞口段长度 373 m,闭口段长度 157 m,隧道红线宽度为 25 m,隧道平面面积为 1.325 0 hm²;建设前下垫面为非铺砌的土路面,径流系数 ψ 为 0.30,建设后下垫面为沥青路面和少部分绿地,综合径流系数 ψ 为 0.85。根据《南沙新区海绵城市专项规划》要求,本项目年径流总量控制率要求 $\geq 70\%$,对应的设计降雨量 H 为 28.5 mm。

因此,本项目需控制的调蓄容量为: $V=10 \times H \times \psi \times F=10 \times 28.5 \times 0.85 \times 1.325 0=320.98 \text{ m}^3$ 。

为了增加隧道排水泵站的调蓄功能,减缓下游暴雨天气的排水压力,保证极端降雨出现时隧道防洪排涝的安全性,本工程增大集水池的容积至 330 m³,将雨水径流的高峰流量暂存其内,待最大流量下降后,再从集水池中将雨水慢慢排除。

3.6 泵站安全出口问题

下穿式隧道排水泵站建筑面积一般不大于 500 m²且无人值守,《建筑设计防火规范》(GB 50016—2014) 2018 版第 12.1.10 条,要设置 1 个直通室外的安全出口,不能利用隧道中邻近的人员疏散通道作为安全出口;通常做法可在泵站上方设置人员出入口,通过楼梯连接至地面;或者在泵站屋顶设置人孔逃生,但

人员出入口或人孔上方必须是绿化带而非车行道。
地下泵站增加安全出口示意图如图11所示。

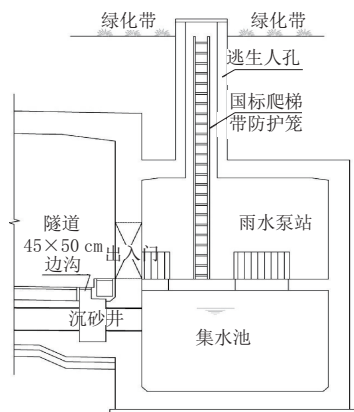


图11 地下泵站增加安全出口示意图

4 结 语

排水泵站作为城市下穿式隧道中重要的一部分,这要求排水工程设计各个环节确保其安全性和合理性;本文通过广州地区两个隧道项目总结了下穿式隧道排水设计常见的技术问题,为类似隧道工程排水设计提供一些有用的借鉴。

参考文献:

- [1] 顾雨涵,李佳钰.新规范城市下穿隧道排水泵站的设计[J].城市道桥与防洪,2023(2):130-133.
- [2] GB 50014—2021,室外排水设计标准[S].
- [3] 刘猛,纪成亮.亳州涡河隧道给排水专业设计要点分析[J].工程与建设,2018,32(6):850-852.
- [4] 相洪旭,赵焕军,高尚坤,等.胶东国际机场下穿隧道雨水泵站设计探讨[J].中国给水排水,2018,34(20):63-66.

(上接第161页)

水质达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中Ⅳ类水标准。

(3)实现湖泊长治久清的工程措施包括:a.对燕栖湖水系现状雨污合流的3处进水口进行截污设计,同时截污设施配套建设MBR一体化处理设施,从源头控制污水流入燕栖湖水系;b.采用绞吸船抽取厚约0.1 m的湖泊底泥,淤泥总量约9 300 m³,内源性污染物的清理是湖泊水质达标的关键之一;c.打捞清理水面垃圾并且沿湖岸线设置生态隔离网,拦截漂浮物、野杂鱼,防止其恶化水质;d.分别于燕栖湖和天鹅湖安装2台和1台太阳能曝气机,电机功率80 W,太阳能光电板总功率540 W,水体扩散半径150 m,强化了内部水循环,保障了水体水质达标;e.四季常绿矮型苦草、小茨藻、篦齿眼子菜和黑藻分别以80%、20%、5%和5%的占比构建水

下森林,种植密度为75~80株/m²;另外分别投加3、5、10 g/m²的梨形环棱螺、铜锈环棱螺和乌鳢构建水生生态系统,保障水体长治久清。

参考文献:

- [1] 卢少勇,国晓春,王宇娜,等.低污染水的定义、水质净化与资源化利用[J].农业资源与环境学报,2021,38(5):716-721.
- [2] 唐旭东,张扬.水生态修复中水质调控与沉水植物恢复探析[J].环境生态学,2023,5(6):88-92,98.
- [3] 陈立春,吕英俊.城市黑臭河道底泥集中处理设计探讨——以前海湾片区底泥处理工程为例[J].广东化工,2021,48(23):134-136.
- [4] 邵宇航,唐颖栋,吕丰锦,等.以深圳麒麟山天鹅湖为例的南方城市湖塘整治[J].中国给水排水,2021,37(24):93-99.
- [5] 郑兴灿,何强,陈一,等.城市河湖水体综合整治与品质提升技术研究及示范应用[J].中国给水排水,2022,38(10):1-9.
- [6] 朱鹏飞,雷留萍,李德亮.环棱螺与河蚬摄食率、滤水率及对小球藻清除率研究[J].水生态学杂志,2019,40(5):63-67.