

对隧道排水设计中关键性问题的探讨

李媛

(北京市市政工程设计研究总院有限公司,北京市 100082)

摘要:城市下穿隧道是城市立体交通的重要组成部分,但隧道排水目前尚未形成专门的适用性设计规范。以桐乡市乌镇大道隧道的排水设计为例,通过研究隧道排水工程与隧道、道路、电气等相关专业的横向关联,对排水设计中防淹涝措施、泵站收水系统、泵站设计等几个关键性问题进行总结,从而进一步保障日后隧道的使用安全。

关键词:下穿隧道;隧道排水;泵站;设计;措施

中图分类号: TU992

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)01-0145-04

0 引言

近年来国内大中型城市的道路建设形成向空间发展、向地下发展的趋势,其中隧道工程以其独特的优势得到迅速发展,但随之而来的地下道路的淹涝灾害也频繁发生,对城市经济发展以及公共安全造成较大的负面影响。

“水少为忧、水脏为患、水多为灾”,“水问题”已成为目前我国大多数城市可持续发展急待解决的一大难题^[1]。尤其是近几年来国内诸多大城市内涝频发:2012年北京7·21特大暴雨事件、2021年郑州7·20特大暴雨事件等等均造成隧道、地铁、下凹桥区等城市交通系统严重瘫痪,伤亡人数较多,引发社会广泛关注,也为地下半地下空间的安全问题敲响了警钟。因此,城市下穿隧道排水系统的设计尤为重要。

笔者以桐乡市乌镇大道隧道的排水设计为例,系统总结了隧道排水设计的思路、方法和特点,并对隧道排水工程设计中几个关键问题进行探讨,提出相关建议供设计人员参考。

1 工程概况

桐乡市乌镇大道是桐乡市中心城区南北向的主要通道之一,位于桐乡市世纪大道,南起振兴东路,北至逾桥东路。拟改造道路全长约2.58 km,由现状双向6车道,拓宽至双向8车道。全线设置隧道2座,其中利民路—康民路隧道全长545 m;茅盾东

路—中山东路—体育路隧道,隧道全长1 145 m。乌镇大道为桐乡市第一条采用下穿隧道形式的主干路。

为解决两条隧道低点处的雨水、废水的排放,全线共需设置4座排水泵站,其中在利民路—康民路隧道设置1#排水泵站,在茅盾东路—中山东路—体育路隧道设置2#、3#、4#排水泵站,见图1。

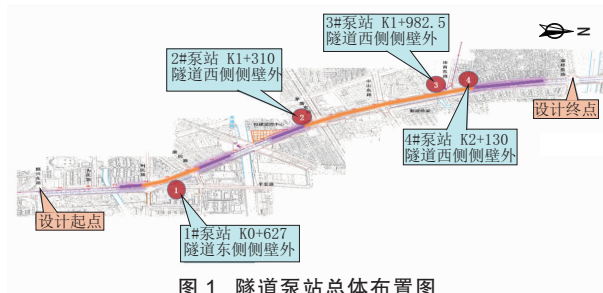


图1 隧道泵站总体布置图

2 下穿隧道排水系统设计

2.1 泵站防淹涝措施

由于我国开发利用地下空间的时间较晚,目前的规范与标准中均未明确规定地下空间的防洪标准,防洪措施与人员紧急疏散的实施尚不到位。

因而在设计中,应将工程与非工程措施有效地结合起来,以期做到以防为主,防治结合,将淹涝灾害对地下道路造成的生命财产损失降到最低。

(1) 工程设计措施

为防止客水流入隧道,将高水有效截留至地面排水系统,本工程在设计过程中,与道路、隧道及电气设计团队多次配合,采取了如下防淹涝技术措施:

a. 分别在两条隧道的南、北洞口处设置驼峰,形成反坡点,人为的创造条件阻隔来自驼峰外的路面雨水^[2]。考虑到U槽纵坡一般较大(本工程纵坡为6%),地面雨水集流时间短、流速快、流量大,此驼峰需高于

收稿日期: 2023-02-07

作者简介: 李媛(1977—),女,硕士,高级工程师,从事给排水设计工作。

周边附近主、辅路路面高程 30 cm 以上,以便更好地达到阻隔雨水的目的;

b. 地面排水系统中,所有辅路相交路口须增设雨水口;

c. 洞口两侧均设置有高度为 81 cm 防撞护栏(且不设孔洞);

d. 南、北洞口处主、辅路隔离带须采取封闭(不开口)设计,并局部加高洞口处主、辅路隔离带路缘石高度至 40 cm;

e. 周边地块新设路口须远离南、北两侧洞口;

f. 隧道排水泵房的配电室须设置在高处,用以保证水泵房不会因积水淹没断电而被迫停运。

(2)应急管理措施

为保障工程的排水安全,还应采取监测、管控等非工程管理手段:

a. 隧道洞门挡水墙外、隧道内最低点均结合道路监控和标尺实现水位监控,为隧道管控手段提供依据;

b. 当预计发生超标准降雨或可能导致隧道进水的工况前,需临时中断交通,采取围堰、临时堵截等方式防止客水进入地下道路低水系统。

地下道路管理部门应设专人定期对泵站进行巡视维护,并且安排专人对泵站进行监控,保证雨季泵站正常运行,水泵及时启动。同时还应加强雨季防汛工作,确保隧道发生积水能及时采取有效的处理措施。泵站格栅设有栅渣储运设施,每场降雨后,管理人员需及时对栅渣进行清理外运。

2.2 泵站设计流量计算

排水泵房需满足设计要求,泵房要求能够及时快速地排除隧道内的积水以保证行车安全,这是下穿隧道排水设计中最核心的部分^[3]。

(1)设计参数^[4]

设计重现期: $P=50$ a,以 100 a 一遇标准校核。

综合径流系数: $\psi=1.0$ (计算中考虑到设计安全性,避免泵站设计流量过小在特大暴雨时期不能满足排水要求,在设计过程中适当取高值)。

集聚时间: $t=3$ min。

暴雨强度公式:浙江省桐乡市 2020 年暴雨强度公式^[5]

$$q = \frac{2116.469 \times (1 + 0.909 \lg P)}{(t + 10.76)^{0.737}} \quad (\text{L/s} \cdot \text{hm}^2)$$

(2)设计水量

本工程泵站设置的数量为 4 座,其中利民路—

康民路隧道为短隧(仅在隧道最低点处设置一座排水泵站),茅盾东路—中山东路—体育东路隧道为长隧(分别在两侧洞口和隧道最低点处设置三座排水泵站)。

1# 泵站的建设目的是为排除利民路~康民路隧道两侧敞口段的雨水和低点废水(含冲洗废水、结构渗入水),设计水量根据利民路~康民路隧道纵断,南侧流域面积从道路高点 K0+360 至南侧闭合框架起点 K0+464;北侧流域面积从道路高点 K0+990 至北侧闭合框架起点 K0+740,两侧以隧道道路宽度为界(且洞口处双侧挡墙侧墙面积应计入汇水面积),见图 2。设计总流域面积为 $F=1.11 \text{ hm}^2$,计算水量为 861.4 L/s。此泵站设计水量定为 1 120 L/s(考虑 1.3 倍安全系数)。



图 2 1# 泵站流域面积划分图

2# 泵站的建设目的是为排除茅盾东路—中山东路—体育东路隧道南侧敞口段的雨水,设计水量根据茅盾东路—体育东路隧道纵断,南侧流域面积从道路高点 K0+990 至南侧闭合框架起点 K1+275;两侧以隧道道路宽度为界(且洞口处双侧挡墙侧墙面积应计入汇水面积),见图 3。设计总流域面积为 $F=0.885 \text{ hm}^2$,计算水量为 690.2 L/s。此泵站设计水量定为 900 L/s(考虑 1.3 倍安全系数)。

3# 泵站的建设目的是为排除茅盾东路—中山东路~体育东路隧道北侧敞口段未能截住的雨水(按 50%的 4# 泵站设计水量)、隧道南侧敞口段未能截住的雨水(按 50%的 2# 泵站设计水量)以及隧道内最低点的消防废水、冲洗废水和结构渗漏水。计算水量为 642.3 L/s。此泵站设计水量定为 835 L/s(考虑 1.3 倍安全系数)。

4# 泵站的建设目的是为排除茅盾东路—中山东路—体育东路隧道北侧敞口段的雨水,设计水量根

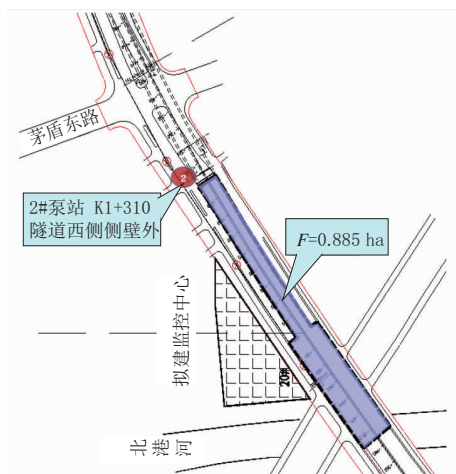


图3 2#泵站流域面积划分图

据茅盾东路—体育东路隧道纵断,北侧流域面积从道路高点 K2+310 至北侧闭合框架起点 K2+145;两侧以隧道道路宽度为界(且洞口处双侧挡墙侧墙面积应计入汇水面积),见图4。设计总流域面积为 $F=0.763 \text{ hm}^2$,计算水量为 594.7 L/s 。此泵站设计水量定为 770 L/s (考虑 1.3 倍安全系数)。

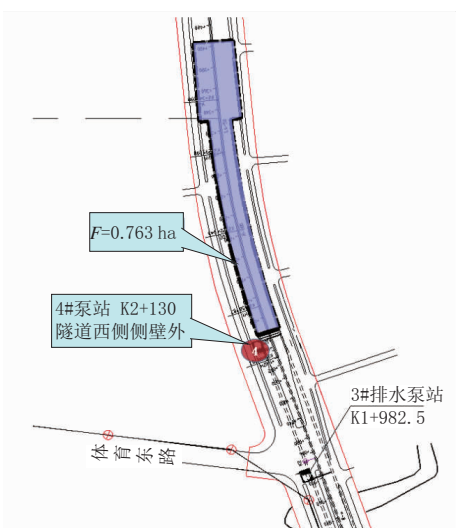


图4 4#泵站流域面积划分图

(3) 设计规模

- 1# 排水泵站 $Q=1.12 \text{ m}^3/\text{s}$ 、扬程为 16.5 m;
- 2# 排水泵站 $Q=0.90 \text{ m}^3/\text{s}$ 、扬程为 15.5 m;
- 3# 排水泵站 $Q=0.835 \text{ m}^3/\text{s}$ 、扬程为 20.5 m;
- 4# 排水泵站 $Q=0.77 \text{ m}^3/\text{s}$ 、扬程为 15 m。

扬程为泵站泄压井地面高程与泵站最低水位之间的高差,含局部和沿程损失。

2.3 泵站收水系统设计

设计中要保证隧道内的排水顺畅,不使路面产生积水,收水系统需要着重注意以下两个方面:(1)截——横截沟一般设置在隧道洞口处及隧道内道路纵断的最低点处,为避免产生集留、涌流,横截沟

(管)的设计需满足最大暴雨时设计要求。(2)排——根据道路横断,在隧道外及隧道内道路单侧或双侧布置的边沟,其断面设计需与泵站设计标准一致,需满足最大暴雨时的排水要求。以上两个方面的合理设计对隧道积水通过先截再排的方式可有效排除^[3]。

本工程为保证 1#~4# 排水泵站有效排除利民路—康民路隧道和茅盾东路—中山东路—体育东路隧道敞口段的雨水及日常冲洗水、结构渗入水等隧道低点处的废水,其收水系统采用两种形式,分别为:洞口采用横截沟+排水边沟;隧道最低点处采用横向连通管+排水边沟。此外,收水系统应满足泵站设计流量的要求并有不小于 2 的安全系数,并满足 100 a 校核的要求。

本工程拟定在两条隧道的南、北两侧隧道洞口处各设置 2 道横截沟,间距 2.0 m,隧道最低点处采用 $D=800$ 横向连通管(该连接管布置在隧道结构底板以内);利民路—康民路隧道 U 槽及隧道内全线设置断面为 $B \times H=500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}$ 的排水边沟;茅盾东路—中山东路—体育东路隧道 U 槽及隧道内排水边沟在泵站进水洞口处采用断面为 $B \times H=500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}$,隧道内其余位置采用断面为 $B \times H=150 \text{ mm} \times 175 \text{ mm}$ 的弧形排水边沟。2# 泵站上层平面示意图 5,1# 泵站剖面示意图 6。

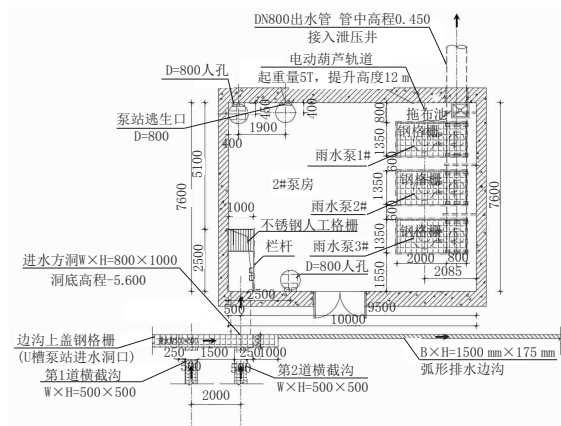


图5 2#泵站上层平面示意图(单位:mm)

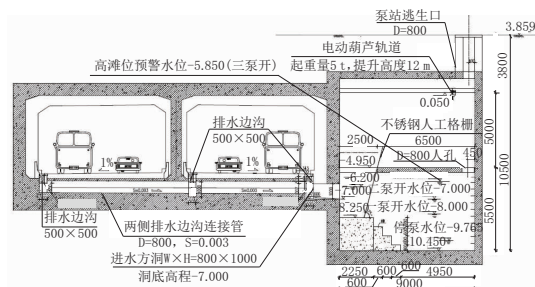


图6 1#泵站剖面示意图(单位:mm)

2.4 泵站工艺设计要点

(1) 确定排水泵站位置及数量

在隧道排水系统设计中,需要充分考虑隧道内道路系统的分布,根据道路设计尽量减少排水泵站的个数,进行合理分区排放。

本工程两条隧道的排水设计,因其长度的不同,并综合考虑投资大小和运行成本的高低,泵站的总体布置具有较为明显的代表性。其中,利民路—康民路隧道长度较短,仅为 545 m(即为短隧),在隧道最低点设置一座排水泵站(用于提升雨水和低点废水);茅盾东路—中山东路—体育路隧道全长 1 145 m(即为大于 1 000 m 的长隧),在两侧洞口和隧道低点分别设置一座排水泵站,数量共计三座。

隧道洞口处雨水泵站的设置位置需考虑以下几点:a.尽可能地接近洞口,以期在最短时间内快速收集并排除敞口段的雨水水量,避免流入隧道内造成水灾;b.泵房内上层房间净高度(轨底—检修平台)在满足检修要求的条件下,还需考虑泵房结构外顶有 2 m 左右的覆土,以便于各种拟建专业管线及现况管线的通过(上水、中水、电信、电力、燃气等);c.考虑到泵房设备检修、隧道内照明情况及避免发生车辆追尾的多种因素,建议泵房设置在行车方向的右侧,即慢车道方向,并在泵房门口设置紧急停车带^[6](若没有条件设置时,应注意在设备间大门临近的车道上布置锥桶、警示灯等安全措施,以保障人员的进出安全)。

隧道排水泵房的供配电系统不宜与泵房同层设置(尤其最低点泵房),配电室应设置在高处(至少应高于泵房所在位置),用以保证水泵房不会因积水淹没断电而被迫停运。

(2) 泵站雨污分流设计

在两条隧道的低点处分别设置的低点排水泵站 1# 和 3# 泵站,目的是为提升汛期敞口段的雨水和日常废水。

为保证当地雨污分流制排放体制的要求,在泵站内采用大、小泵搭配运行的方式,即小泵(2 台,一用一备)可考虑抽排小雨工况、消防废水、冲洗废水和结构渗入水,其下游接入附近现况污水井中;大泵(3 台,两用一备)在极端暴雨情况下,可考虑 3 台全开,其下游接入泄压井中,而后排入河道。大泵、小泵之间的运行工况互不影响。1# 泵站上层平面示意图见图 7。

(3) 泵站退水管设计

根据《室外排水设计标准》规定:“下穿立交道路排水应设置独立的排水系统,并防止倒灌。当没有条

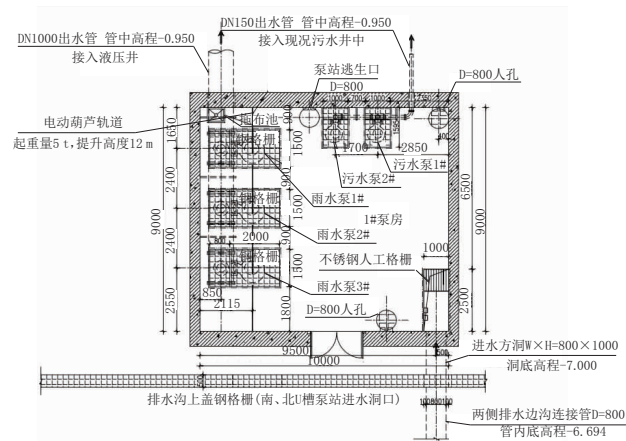


图 7 1# 泵站上层平面示意图(单位:mm)

件设置独立排水系统时,受纳排水系统应能满足地区和立交排水设计流量要求”^[7]。在本次设计中由于下穿隧道区域离河流等天然水体较近,且下穿隧道水量也较大,故 1#~4# 隧道排水泵站均设有独立的排水系统,经泄压井后,退水管道直接排至天然水体(现况北港河和体育东路现况河道)。

在泵站重力流退水管路的检查井中采用加设沉泥井的方式,用以保证排放河道的水质。退水管排入河道处设置八字出水口扩散排放。

3 结 语

桐乡市乌镇大道隧道排水工程在整个项目中虽然所占比重较小,但其作用不可低估,其设计是否合理将直接影响到日后隧道的使用安全。本文总结了乌镇大道隧道排水工程设计的几个关键点:

(1)若设计隧道洞口与河道紧邻,应有可靠的防淹涝措施,并应明确工程项目附近的雨水排水体制,是否存在内河、外河及区域雨水泵站提升等情况。

(2)隧道洞口处除要求道路专业设置明显的变坡高点以外,还应在洞口设置挡水墙,其高度应满足周边区域设防水位,宜再加 0.5 m 高度,且洞口处双侧挡墙侧墙面积应计入汇水面积。

(3)隧道低点排水泵站应做到雨污分流设计。

(4)隧道退水管道宜设置独立的排水系统,直接排至天然水体。

参考文献:

- [1] 李莉,陆柯.成都市中心城区深层隧道排水系统规划研究[J].城市道桥与防洪,2017(6):146-149.
- [2] 吴佳俊.下穿立交道路积水点改造问题研究与探讨[J].城市道桥与防洪,2017(5):150-161.
- [3] 张忠品,周金忠,杜金海,等.城市中小型下穿公路隧道排水设计探

(下转第 152 页)

改造建设过程实现了不停产施工、不降低排放标准的预期目标。完成调试和试运行阶段后,项目于2021年6月正式验收。项目验收运行至今,其实际进出水水质如表3所示。由表3可见,提标改造后,该厂出水水质达到了一级A标准,环境效益显著。

表3 提标改造完成后的实际出水水质						单位:mg/L
水质	COD _{cr}	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP
出水	6.5~24	4~8	2~8	0.36~2.5	8.7~13.8	0.07~0.35
一级A标准	≤50	≤10	≤10	≤5(8)	≤15	≤0.5

提标改造完成后,整套处理工艺自动化程度高,可靠性好,运行管理便捷。此外,本项目建设的应急处理系统在完成改造期处理任务后,继续保留利用,承担全厂改造、新建生物滤池反冲洗废水的旁路处理,解决了大水量、高浓度反冲洗废水的冲击问题,使全厂的运行条件得到了极大改善。

5 结 语

在沈阳仙女河污水处理厂的提标改造工程中,

在全厂用地仅有7.21 hm²的条件下,将现状二级曝气生物滤池改造成了带反硝化功能的三级生物滤池,并采用加砂沉淀池作为深度处理单元,使其出水水质由《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的二级标准提高至一级A标准;同时通过建设应急处理系统,合理组织分阶段实施方案,实现了提标改造工程不停产施工、不降低排放标准的预期目标。

参考文献:

[1] 刘镇江,崔玉川.城市污水厂处理设施设计计算[M].3版.北京:化学工业出版社,2017.

[2] 张文艺,翟建平,郑俊,等.曝气生物滤池污水处理工艺与设计[J].环境工程,2006,24(1): 9-13.

[3] 马军,邱立平.曝气生物滤池及其研究进展[J].环境工程,2002,20(3): 7-11.

[4] 游卫强,胡斌,陈浩.曝气生物滤池在污水处理厂运营中的常见问题分析及改造优化[J].给水排水,2020,46(增刊): 422-425.

[5] 高欣,高梦国,周丹丹,等.前置反硝化-曝气生物滤池低温脱氮效能中试研究[J].水处理技术,2018,44(6): 76-79.

(上接第148页)

讨[J].给水排水,2015,41(9):30-32.

[4] GB 50014—2021,室外排水设计标准[S].

[5] DB 33/T1191—2020,浙江省工程建设标准 暴雨强度计算标准(发布稿)[S].

[6] 李媛.深圳市莲塘隧道排水系统设计探讨[J].给水排水,2015,41(9): 36-39.

[7] 张建新,吕锐,贺田富.下穿式道路立交雨水泵站排水设计参数探讨[J].给水排水,2012,38(1):30-35.