DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.260365

下穿隧道雨水泵站排水能力提升设计与研究

梁大山[1],肖宇驰[2],聂　青[1],王　飞[1],王　欣[1],田少朋[3]
(1.成都市市政工程设计研究院有限公司,四川 成都 610063;2.成都天府新区建设投资有限公司,四川 成都 610299;
3.彭州市天府蔬香农业产业园管理委员会,四川 成都 611900)

摘　要: 下穿隧道作为城市交通路网的关键节点,地势低洼、汇水集中,极易在极端强降雨天气下发生积水内涝,不仅阻断交通通行,还存在严重的安全隐患[1]。雨水泵站作为下穿隧道排水系统的核心,其排水能力直接决定隧道防汛防涝水平。城市建设过程中先前建设的下穿隧道雨水泵站普遍存在设计标准偏低、设备老化、管网瓶颈、运维滞后等问题,近年来随着城市内涝治理力度的加大,下穿隧道雨水泵站改造与排水能力提升亟待解决。结合工程案例,对下穿隧道雨水排水能力提升设计中的要点进行分析阐述,并从设计改造、系统优化、智慧管控、运维保障等方面,提出系统性的排水能力提升方案,旨在破解隧道积水难题,提升城市交通基础设施韧性,保障人民群众出行安全与城市正常运转。

关键词: 下穿隧道;雨水泵站;排水能力;提升;城市内涝治理
中图分类号: TU992　　**文献标志码:** A　　**文章编号:** 1009-7716(2026)11-0272-06

Design and Research on Improving Drainage Capacity of Rainwater Pumping Stations in Underpass Tunnels

LIANG Dashan[1], XIAO Yuchi[2], NIE Qing[1], WANG Fei[1], WANG Xin[1], TIAN Shaopeng[3]
(1. Chengdu Municipal Engineering Design and Research Institute Co., Ltd., Chengdu 610063, China; 2. Chengdu Tianfu New Area Construction Investment Co., Ltd., Chengdu 610299, China; 3. Tianfu Shuxiang Agricultural Industrial Park Management Committee of Pengzhou City, Chengdu 611900, China)

Abstract: As key nodes in the urban road network, underpass tunnels are low-lying and feature concentrated catchment areas, making them highly susceptible to waterlogging during extreme heavy rainfall, which not only disrupts traffic, but also creates serious safety hazards. As the core of the drainage system in underpass tunnel, the drainage capacity of rainwater pumping stations directly determines the flood and waterlogging control performance of tunnels. Most rainwater pumping stations for underpass tunnels constructed during earlier urban development suffer from problems such as low design standards, aging equipment, pipeline network bottlenecks, and inadequate operation and maintenance. In recent years, with intensified urban waterlogging management, the renovation of the rainwater pumping station in the underpass tunnel and the improvement of its drainage capacity need to be addressed. Combined with engineering cases, the key points in the design of improving rainwater drainage capacity in underpass tunnel are analyzed and expounded. The scheme improving the drainage capacity is systematically proposed from the design renovation, system optimization, intelligent management and control, and operation and maintenance support, which aims to solve the problem of tunnel waterlogging, enhance the resilience of urban transportation infrastructure, and ensure the public travel safety and the normal operation of cities.

Keywords: underpass tunnel; rainwater pumping station; drainage capacity; enhancement; urban waterlogging control

0　引　言

随着城市化进程加快与极端天气频发,城市内涝问题日益突出,下穿隧道、立交涵洞等低洼路段成为内涝高发区域。相较于普通道路,下穿隧道汇水面积大、地面径流快,且无自然排水条件,完全依赖雨水泵站强制抽排。近年来,多地出现强降雨导致下穿隧道积水淹车、交通中断的事故,暴露出既有雨水泵站存在排水能力不足、系统适配性差、应急保障薄弱等短板[2]。

根据国务院办公厅《关于加强城市内涝治理的实施意见》要求,城市排水防涝设施需补齐短板,重

收稿日期: 2026-04-07
作者简介: 梁大山(1992—),男,硕士,高级工程师,从事市政给排水设计与研究相关工作。
通信作者: 肖宇驰(1997—),男,硕士,工程师,从事市政工程项目管理相关工作。电子信箱:429761343@qq.com

要下穿隧道排水标准需逐步提升，既有泵站应通过改造升级满足防汛需求[3]。在此背景下，开展下穿隧道雨水泵站排水能力提升研究，制定科学可行的改造方案，对保障城市交通畅通、筑牢防汛安全底线具有重要的现实意义。

国外针对城市低洼路段排水泵站的研究起步较早，注重高标准设计、智能化管控与全生命周期运维，普遍采用高暴雨重现期设计标准，配套完善的电源保障与预警系统；国内近年来加大内涝治理力度，针对下穿隧道泵站改造开展了大量工程实践，但仍存在改造标准不统一、系统协同性不足、智慧化水平参差不齐等问题，急需形成标准化、系统化的提升方案。

1　下穿隧道雨水泵站现状问题分析

1.1　设计标准偏低，排水能力不足

既有下穿隧道雨水泵站多建设于早期，暴雨重现期多低于10年一遇标准，远低于当前城市内涝治理要求的新建隧道50年一遇、既有隧道不低于30年一遇标准[5]。泵站设计流量未考虑城市化带来的汇水面积增加、径流系数增大等因素，额定抽排流量无法满足极端强降雨下的排水需求，导致进水速率大于排水速率，快速形成积水。

1.2　核心设备老化，运行效率低下

部分泵站水泵、电机、阀门等核心设备超期服役，出现设备磨损、密封失效、电机功率衰减等问题，实际排水流量低于额定值[6]；格栅除污机堵塞、卡顿频发，无法有效拦截树叶、垃圾等杂物，造成水泵叶轮缠绕、管道堵塞，进一步降低排水效率，甚至导致设备停机。

1.3　管网系统瓶颈，排水不畅

集水池容积偏小，无法有效调蓄雨水峰值，易出现水位骤升骤降、水泵频繁启停现象[7]；进、出水管道管径不足、坡度不合理，存在局部淤积、破损渗漏问题，过流能力受限；出水管道接入的市政管网、河涌排涝能力不足，受外水顶托影响，雨水无法顺利外排；部分管道未设置防倒灌措施，暴雨期外水倒灌加剧隧道积水。

1.4　供电保障薄弱，应急能力不足

多数老旧泵站采用单回路供电，无备用电源或备用电源功率不足、启动滞后，主电源断电后泵站立即停运[8]；配电设施安装标高偏低，易被积水浸泡损坏，导致排水系统彻底瘫痪，无法应对突发停电与强降雨叠加的极端情况。

1.5　管控模式落后，运维管理粗放

泵站多采用人工值守、就地控制模式，缺乏水位、流量、设备状态实时监测功能，无法实现提前预警、自动启停；日常运维不到位，清淤、检修、养护频次不足，设施隐患难以及时发现[9]；未建立隧道与泵站的联动管控机制，交通疏导与排水作业协同性差。

针对以上问题，下穿隧道雨水泵站排水能力提升研究具有以下意义。

（1）安全层面：消除隧道积水安全隐患，避免人员伤亡与财产损失，保障交通出行安全。

（2）功能层面：提升泵站排水效率，缩短积水消退时间，保障隧道全天候通行能力，缓解城市交通压力。

（3）韧性层面：完善城市排水防涝体系，增强基础设施应对极端降雨的能力，助力韧性城市建设。

（4）经济层面：减少内涝造成的交通延误、设施损坏等间接损失，降低后期应急抢险成本。

2　排水能力提升设计思路

2.1　设计原则

（1）标准先行，适度超前：严格执行现行内涝治理标准，既有泵站按不低于30年一遇暴雨重现期改造，重要隧道按50年一遇标准提标，兼顾未来城市发展与极端天气应对需求。

（2）系统治理，协同优化：统筹泵站设备、集水池、管网、排口全系统改造，打破单点瓶颈，实现收水快、调蓄足、抽排强、排水畅。

（3）安全可靠，冗余备用：强化电源、设备、管网冗余配置，保障极端工况下泵站连续稳定运行。

（4）智慧赋能，高效运维：搭建智能化管控平台，实现监测、预警、控制、运维一体化，提升应急处置效率。

（5）经济适用，因地制宜：结合隧道现状、周边条件与资金预算，优选改造方案，减少工程扰动，降低建设与运维成本。

2.2　总体目标

通过系统性改造与优化，实现泵站排水能力达标、设备运行高效、管网畅通无阻、应急保障到位、管控智能精准；确保标准内降雨隧道无积水，超标准降雨短时间内排干积水，杜绝淹车、堵路等安全事故，全面提升隧道防汛排涝韧性。

2.3　技术路线

现状调查与评估→汇水面积核算→收水箅子、泵站进水管道分析→集水池容积、现状水泵能力核算→出水管道、受纳水体或市政管道能力核算→泵站供配电及控制系统核实→泵站既有建构筑物分析→隧道积水监测报警设施核实→下穿隧道雨水泵站排水能力提升设计方案。

3　下穿隧道雨水泵站排水能力提升具体方案

3.1　设计原则水力参数复核与设计优化

改造前全面勘测隧道汇水面积、地面坡度、径流系数，结合暴雨强度公式，复核不同重现期下雨水设计流量；核算集水池有效容积、水泵额定流量、管道过流能力，确定改造扩容指标。集水池容积按最大一台水泵5 min流量设计，确保水位稳定、水泵无频繁启停；出水管道采用独立压力管，优先直排河涌，避免接入市政管网造成顶托，排口设置消能井与防倒灌闸门[10]。

3.2　核心排水设备升级改造

3.2.1　水泵机组更新

淘汰老旧低效水泵，选用高效节能、自灌式潜水排污泵，具备防缠绕、抗堵塞性能；水泵数量按“工作泵+备用泵”配置，备用泵容量不低于最大一台工作泵，确保单台故障时仍满足排水需求[11]；优化水泵安装方式，采用耦合式固定，便于后期检修更换；根据复核流量匹配水泵功率，确保实际排水流量达标。

3.2.2　除污与辅助设备改造

优化格栅拦渣设施；增设管道冲洗装置，定期清理集水池与管道淤积；更换耐腐蚀、密封性强的闸阀、止回阀，优化阀门控制方式，实现远程启闭。

3.3　管网与集水池系统优化

扩容改造集水池，增大有效调蓄容积，缓解雨水峰值压力；全面清淤、修复进、出水管道，更换破损管段，适当扩大管径，优化管道坡度，消除过流瓶颈；对排口进行整治，增设防倒灌拍门或液压闸门，防止外水倒灌；梳理隧道收水设施，增设横截沟、雨水口，确保路面雨水快速收集至集水池，避免局部积水盲区。

3.4　供电与安全保障系统提升

将单回路供电改造为双回路独立电源，确保一路断电另一路可正常供电；配备大功率备用柴油发电机组或应急电源，满足全部水泵与附属设备同时启动需求，实现断电自动切换、远程启动；设置漏电保护、过载保护装置，保障设备与人员安全[12]。

3.5　智慧化管控平台建设

3.5.1　监测感知系统布设

在隧道最低点、集水池安装液位计、雨量计，实时监测积水深度、水位高度；在水泵、电机、管道上安装流量计、温度传感器、压力传感器，实时监控设备运行参数、排水流量[13]；布设隧道与泵房视频监控系统。

3.5.2　智能控制与预警联动

搭建泵站智能控制柜与云端管控平台，实现水泵自动启停、阀门自动控制；设置多级水位预警阈值，达到预警值时自动启动对应水泵，超标时触发声光报警与远程预警；联动隧道入口可变情报板、声光报警器，实时发布积水信息、交通管制指令，实现联动[14]。

3.5.3　远程运维管理

平台具备设备故障报警、运行数据统计、运维台账管理、历史数据查询功能，支持远程操控、移动端查看，实现无人值守、少人运维；对接城市防汛应急平台，实现数据共享、联排联调，提升应急处置协同性。

3.6　运维管理体系完善

建立常态化运维机制，制定设备检修、清淤养护、应急演练操作规程，定期开展水泵调试、格栅清理、管道清淤、电源测试；组建专业运维队伍或委托第三方机构运维，加强人员技能培训；储备防汛物资与备用配件，建立应急抢险预案，遇极端天气提前部署，快速处置突发积水故障。

4　工程案例

4.1　项目概况与现状调查

为保证汛期下穿隧道和下沉式道路正常运行不受淹，保证重要交通节点通行能力，成都市近年来加快实施下穿隧道和下沉式道路排水能力提升改造计划，对成都市下穿隧道（下沉式道路）排水能力进行提升改造。

以狮子山下穿隧道为例，狮子山下穿隧道位于静明路与锦绣大道交叉口处，隧道全长510 m，其中框架段120 m，船槽段390 m。隧道于2012年1月建成通车，2012年11月移交管理单位。泵站位于静明路与锦绣大道交叉口东北侧，原泵站的设计重现期为10年一遇，出水排入秀水河。据现场调查，管理单位接收后未发生淹水现象。

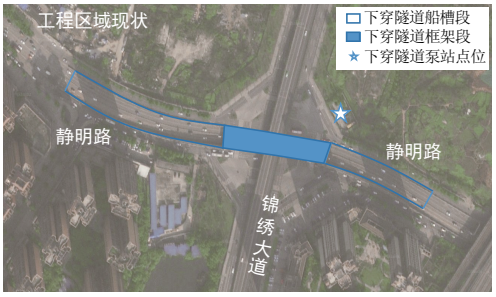


图 1　下穿隧道位置示意图

4.2　汇水面积核算

当汇水面积不大于 2 km² 时，可采用推理公式法。雨水设计流量应按下式计算。

$$Q = \phi q F \tag{1}$$

式中：Q 为雨水设计流量，L/s；ϕ 为综合径流系数，取 1；q 为暴雨强度，L/(hm²·s)；F 为汇水面积，hm²[3]。

成都市暴雨强度公式为：

$$q = 7447.198 \times \frac{1 + 0.651\lg P}{t + 27.346^{0.953[(\lg P)^{\wedge}0.017]}} \tag{2}$$

式中：q 为降雨强度，L/(s·hm²)；t 为降雨历时，min；P 为重现期，年。地面集流时间 t_1 按 5 min 计，综合径流系数 ϕ 按 1 计。

设计道路分别在现状下穿隧道船槽段起点处设反拱，避免客水汇入，设计汇水面积为 1.2 hm²。经现场踏勘，隧道无明显外水汇入现象。未降雨时水泵 2 d 启动一次。原泵站的设计重现期为 10 年一遇。30 年一遇流量为 2 344 m³/h；50 年一遇流量为 2 536 m³/h。

外水汇入情况：经现场踏勘，隧道无明显外水汇入现象。无地下水汇入的现象（见图 2）。

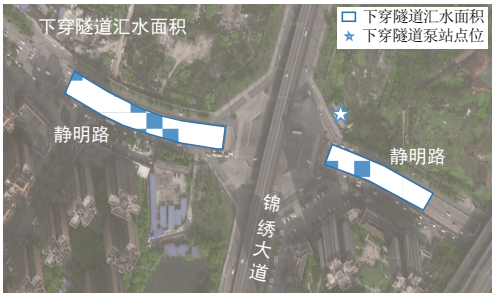


图 2　下穿隧道汇水面积图

4.3　收水箅子、泵站进水管道

收水箅子为连续通箅，300 mm×600 mm，隧道范围内共有雨水箅子 1 276 座，根据相关规范图集，单箅泄水能力为 20 L/s，双箅泄水能力为 35 L/s，平箅雨水箅子堵塞折减系数取 50%，据此测算，下穿泵站服务范围内雨水箅子下泄能力为 50%×1 276×20=12 760 L/s，现状存在大量破损。

原设计重现期为 10 年，进水管道为 600 mm×600 mm 方涵，i=0.005，Q=1 010 L/s（3 636 m³/h）。

下穿隧道泵站汇水范围 10 年一遇的流量为 1 800 m³/h，30 年一遇的流量为 2 344 m³/h，50 年一遇的流量为 2 536 m³/h，现有进水管道满足排放要求。

4.4　集水池容积、现状水泵能力核算

下穿隧道泵站现状集水池有效容积 74.7 m³。集水池尺寸为 B×L×H=6.0 m×6.0 m×11.4 m。

有效容积=B×L×H（有效）=6.00 m×6.00 m×2.08 m（有效水深）=74.7 m³。

原设计重现期 10 年一遇 Q=1 800 m³/h，30 年一遇 Q=2 344 m³/h，50 年一遇 Q=2 536 m³/h。

现状 3 台（H=20 m，Q=600 m³/h，N=55 kW）潜水泵，3 台水泵未设置备用泵，现状水泵不能满足 30 年、50 年重现期的流量，建议更换水泵，30 年一遇，Q=1 200 m³/h，H=20 m，N=110 kW，两用一备。50 年一遇，Q=1 300 m³/h，H=20 m，N=110 kW，两用一备。30 年一遇，最大一台水泵 Q=1 200 m³/h；50 年一遇，最大一台水泵 Q=1 300 m³/h。现状集水池可以满足 30 年重现期下单台泵 3.7 min 流量、50 年重现期下单台泵 3.5 min 流量。

4.5　集出水管道、受纳水体或市政管道能力核算

如图 3 所示，现状狮子山下穿隧道雨水泵站出水管由 d600 压力流管排入秀水河。具备独立排放系统，且高于河道洪水位，满足要求。

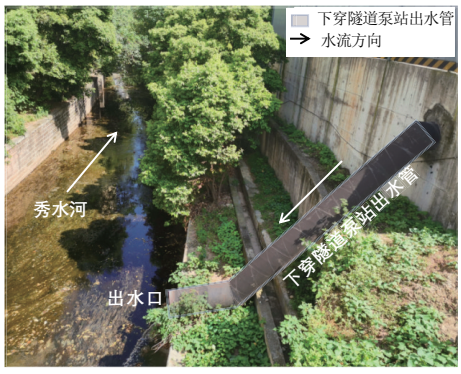


图 3　泵站出水口

4.6　泵站供配电及控制系统

现状泵站有 1 路市电，另有柴油发电机组（200 kW）、应急快速转换接头，本泵站扩容，建议更换柴油发电机组（450 kW）并进一步核实目前 1 路市电运行概况。现状无高低压配电柜；无补偿电容柜。泵站外配电室（包含变压器、环网柜、低压配电柜）权属，设备型号老旧、杂乱，长期处于无人维修状况。建议整体更换。

原设计重现期（10 年）、30 年、50 年的设计条件下，现状供配电满足要求。

4.7　泵站既有建构筑物分析

下穿隧道雨水泵站的泵坑及柴油发电机房、控制室、值班室合并设置。现场调查，集水池室局部山墙有渗水。柴油发电机房内设1台200 kW发电机组，并设有快速转换接头，可实现与移动式应急发电机组的对接，保证泵站安全供电。据调查，既有建构筑物满足使用功能。

4.8　泵站排水能力提升设计方案

结合上述分析，对下穿隧道雨水泵站现状存在的问题提出相应的解决措施。

表1　泵站排水能力提升设计方案1

编号	项目	原设计	方案1		
			设计标准	改造措施	存在问题
1	设计重现期/年	10	30		
2	汇水面积/hm^2	1.2	1.2		
3	设计流量/（$m^3 \cdot h^{-1}$）	1 800	2 344		
4	收水及进水管	600 mm×600 mm方涵 i=0.005	600 mm×600 mm方涵 i=0.005	维持不变	
5	水泵配置	2用1备 Q=600 m^3/h，H=20 m，N=55 kW	2用1备 Q=1 200 m^3/h，H=20 m，N=110 kW	更换3台大流量、小占地的水泵	
6	集水池有效容积	74.7 m^3，满足现状最大1台泵7.5 min流量	74.7 m^3，满足现状最大1台泵3.7min流量	维持不变	
7	排水出路	d600压力管独立排至秀水河	d600压力管独立排至秀水河	维持不变	
8	供配电及控制系统	10 kV外电；1台200 kW柴油发电机；快速转换接头	10 kV外电；1台450 kW柴油发电机；快速转换接头	核实现状市电权属后，考虑改造或新增1路市电	
9	泵房建筑物			集水池室墙面修补、防水施工	
10	下穿隧道积水监测系统	现状已有积水监测、报警系统		维持不变	
11	其他			更换破损的雨水箅	

表2　泵站排水能力提升设计方案2

编号	项目	原设计	方案2		
			设计标准	改造措施	存在问题
1	设计重现期/年	10	50		
2	汇水面积/hm^2	1.2	1.2		
3	设计流量/（$m^3 \cdot h^{-1}$）	1 800	2 536		
4	收水及进水管	600 mm×600 mm方涵 i=0.005	600 mm×600 mm方涵 i=0.005	维持不变	
5	水泵配置	2用1备 Q=600 m^3/h，H=20 m，N=55 kW	2用1备 Q=1 300 m^3/h，H=20 m，N=110 kW	更换3台大流量、小占地的水泵	
6	集水池有效容积	74.7 m^3，满足现状最大1台泵7.5 min流量	74.7 m^3	维持不变	
7	排水出路	d600压力管独立排至秀水河	满足改造后最大1台泵3.5 min流量		
8	供配电及控制系统	10 kV外电；1台200 kW柴油发电机；快速转换接头	d600压力管独立排至秀水河	维持不变	
9	泵房建筑物		10 kV外电；1台450 kW柴油发电机；快速转换接头	核实现状市电权属后，考虑改造或新增1路市电	
10	下穿隧道积水监测系统	现状已有积水监测、报警系统		集水池室墙面修补、防水施工	
11	其他			维持不变	

通过上述对比，本下穿隧道按30年设计重现期和50年设计重现期改造措施差异不大，建议按较高的50年一遇设计重现期标准进行改造。

4.9　改造前后内涝防治关键指标对比

设计重现期：改造前雨水泵站重现期为10年一遇标准，改造后为50年一遇标准。

雨水箅子收水能力：改造前下穿隧道泵站服务范围内雨水箅子下泄能力为12 760 L/s，通过对破损的雨水箅子进行更换，清掏杂物、沉积物等，后期加强管护，避免堵塞，改造后雨水箅子最大收水能力可

达到25 520 L/s。

泵站排水能力：改造前水泵采用2用1备，Q=600 m³/h，更换3台大流量、小占地的水泵，改造后水泵采用2用1备，Q=1 300 m³/h，水泵排水能力扩大约2.2倍。

配电安全：改造前为1路市政外电加柴油发电机，改造后增加1路市政外电，保证双回路供电加备用发电机，保障极端降雨不停泵。

5　结　语

下穿隧道雨水泵站排水能力提升是一项系统性工程，需针对现状问题，从设计标准、设备升级、管网优化、供电保障、智慧管控、运维管理等方面全方位发力。

本文以实际工程为依托，通过汇水面积、暴雨强度、集水池容积、管道过流、水泵工况、供电负荷全参数现场实测与理论复核，精准核定30年/50年一遇两级设计流量；设置两套改造方案横向对比，论证得出50年一遇高标准改造性价比更优，在不大规模改动既有建构筑物、不扩建集水池的前提下，通过大流量水泵选型、备用冗余配置、供电系统增容升级实现排水能力翻倍提升，兼顾工程经济性、落地性与远期极端天气设防需求。同时，摒弃了以往只更换水泵、局部修管网的碎片化改造思路，构建水力参数复核+设备升级+集水管网优化+双回路供电冗余+智慧管控+长效运维六位一体系统化改造体系；同步统筹汇水—调蓄—抽排—外排全流程瓶颈治理，结合暴雨重现期标准提标，实现从“被动应急排涝”向“主动设防韧性排水”转变，解决传统改造标准不统一、系统协同性差、改造后仍存在内涝隐患的行业痛点，可为同类隧道泵站改造提供参考。

参考文献：

[1] 许岚杰，侯精明，王添，等. 城市下穿通道积涝特征及其成因分析[J]. 水资源保护，2025，41(2)：133-141.
[2] 孟凡能，王建强，华福才，等. 城市下凹立交雨水泵站系统的升级改造[J]. 中国给水排水，2015，31(12)：90-92.
[3] 国务院办公厅. 关于加强城市内涝治理的实施意见(国办发〔2021〕11号)[Z]. 北京：国务院办公厅，2021.
[4] GB 50014—2021 室外排水设计标准 [S].
[5] 李昊男，吕腾，王梦鸽. 城市下穿隧道致涝降雨分析及风险研究[J]. 中国给水排水，2026，42(3)：45-51.
[6] 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(增刊2)：34-37.
[7] 周剑锋，胡良红，王浩. 地道桥雨水泵站集水池容积优化研究[J]. 给水排水，2021，57(增刊1)：378-381
[8] 赵彦军，王健，李萌. 城市下穿隧道雨水泵站运行问题及改造对策[J]. 中国市政工程，2022(2)：72-76.
[9] 李田，张智，杨海燕. 城市下穿隧道雨水泵站运维现状与优化措施[J]. 市政技术，2021，39(8)：128-131
[10] 陶涛，信昆仑，赵微. 城市下穿隧道雨水设计流量计算与泵站扩容方法[J]. 中国给水排水，2021，37(11)：1-6.
[11] 李田，张智，杨海燕. 城市立交雨水泵站水泵备用系数及运行可靠性分析[J]. 市政技术，2021，39(8)：123-127.
[12] 何海声. 下穿隧道泵站双回路供电及备用发电机组改造实践[J]. 人民黄河，2022，44(增刊2)：38-41.
[13] 邵知宇，孙卓，詹子逸. 城市内涝下穿隧道多传感器监测体系设计[J]. 中国给水排水，2023，39(19)：119 - 124.
[14] 赵微，陶涛，信昆仑. 城市下穿隧道智慧排水系统构建与工程应用[J]. 中国给水排水，2021，37(11)：108-113.