

# 城市水下明挖隧道排水系统设计要点探讨

殷琪

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

**摘要:** 安全可靠的排水系统是隧道防灾及正常通行的重要保证。然而,对于城市水下隧道排水系统,国内尚无统一且完善的规范、指南及其他相关设计要求。因此从城市水下明挖隧道排水系统的组成及特点出发,梳理现行规范及指南中关于隧道排水的设计要求,在此基础上提出与之配套的设计原则及设计标准,分析总结出严格控制汇水范围、完善雨废收集系统、增强隧道排水韧性、切实保障排水出路及提高泵房防淹能力等5个设计要点,以期在城市水下明挖隧道排水系统的设计提供设计指引和技术支持。

**关键词:** 下穿隧道;水下隧道;隧道排水;内涝防治;排水泵站

中图分类号: U452.2

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)03-0189-05

## Discussion on Design Essentials of Drainage System for Urban Underwater Open-cut Tunnel

YIN Qi

[Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., LTD., Shanghai 200092, China]

**Abstract:** The safe and reliable drainage system is an important guarantee for the disaster prevention and normal traffic of tunnel. However, for the urban underwater tunnel drainage system, there are no uniform and perfect specifications, guidelines and other related design requirements in China. Therefore, starting from the composition and characteristics of the urban underwater open-cut tunnel drainage system, the design requirements of tunnel drainage in the current specifications and guidelines are sorted out. On the basis of this, the corresponding design principles and standards are proposed. Five design essentials have been summarized, such as strictly controlling the scope of catchment water, perfecting the rainwater and wastewater collection system, enhancing the tunnel drainage toughness, effectively ensuring the discharge outlet and improving the flood prevention capacity of the pump house in order to provide the design guidelines and technical support for the design of urban underwater open-cut tunnel drainage systems.

**Keywords:** underpass tunnel; underwater tunnel; tunnel drainage; waterlogging prevention; drainage pumping station

## 0 引言

近年来,全国极端暴雨频发,下穿隧道首当其冲成为了重灾区。最典型案例当属2021年郑州“7·20特大暴雨”,此次暴雨导致京广快速路北隧道淹水倒灌,多人伤亡,财产损失难以估量<sup>[1]</sup>。

安全可靠的排水系统是隧道防灾及正常通行的重要保证<sup>[2]</sup>。然而,关于隧道排水系统设计,尤其是城市水下隧道排水系统,国内尚无统一且完善的规范、指南及其他相关设计要求。目前,城市水下隧道排水设计主要依据《城乡排水工程项目规范》<sup>[3]</sup>《室外排水设计标准》<sup>[4]</sup>,并借鉴《公路水下隧道设计规

范》<sup>[5]</sup>及上海市地标《道路隧道设计标准》<sup>[6]</sup>等。

为保障隧道排水安全,本文从城市水下明挖隧道排水系统的组成及特点出发,梳理现行规范及指南中关于隧道排水的设计要求,在此基础上提出与之配套的设计原则、技术标准及设计要点,以期在城市水下明挖隧道排水系统的设计提供指引和技术支持。

## 1 排水体制

排水系统的选择应根据污、废水的性质,并结合室外排水体制确定<sup>[6]</sup>。水下隧道往往穿越水源保护区、水源涵养区及重要湿地等生态管控区,水环境保护要求高。因此,隧道排水应采用雨污分流制。

关于隧道雨污分流的实现,现阶段工程的常规做法是将隧道冲洗废水、结构渗漏水及消防废水集

收稿日期: 2024-05-06

作者简介: 殷琪(1991—),男,硕士,工程师,从事市政排水设计工作。

中后合并排入市政污水管网;雨水收集后单独就近排河。近年来,随着水环境要求的逐步提高,上海等地逐步要求“雨水泵房也应实现雨废分流”,认为雨水泵房底部(停泵水位以下)存水水质相对较差,长期储存后水质亦将进一步恶化,因此要求雨水泵房清空泵出水也应排至市政污水管网。然而也有特殊情况,比如无锡,由于现阶段污水处理厂已满负荷运行,迫于运行压力,主管部门通常会要求仅将消防废水接至污水管网,而将结构渗漏水及冲洗废水排至雨水管网,并预留远期全部排至污水管网的条件。因此,设计阶段一定要和当地行业主管部门提前对接,明确雨污分流的原则,避免引起不必要的返工。

## 2 设计标准

### 2.1 雨水设计标准

#### (1) 暴雨重现期

相关规范或工程案例中关于暴雨重现期的规定见表1。考虑到水下隧道相对一般城市隧道救援难度大、防灾要求高,建议水下隧道暴雨重现期按不低于100 a一遇设计。

表1 关于暴雨重现期的规定

编号	相关规范或工程案例	暴雨重现期
1	《城乡排水工程项目规范》	中心城区:超大城市和特大城市 30~50 a,大城市 20~30 a,中等城市和小城市 10~20 a
2	《室外排水设计标准》	非中心城区:不应小于 10 a
3	《道路隧道设计标准》	50 a
4	《公路水下隧道设计规范》	宜 100 a
5	港珠澳大桥海底隧道	120 a

#### (2) 径流系数

隧道雨水汇水范围主要为其敞开段,以沥青路面为主。根据《室外排水设计标准》<sup>[4]</sup>,径流系数宜为0.9~1.0。考虑到水下隧道的重要性,径流系数建议取1.0。

#### (3) 地面集水时间

根据《室外排水设计标准》<sup>[4]</sup>,地面集水时间应按照坡面汇流计算确定,见式(1)。

$$t_1 = 1.445 \left( \frac{n'L}{\sqrt{i}} \right)^{0.467} \quad (1)$$

式中: $t_1$ 为地面集水时间,min; $n'$ 为地面粗糙系数,沥青路面取0.013; $L$ 为坡面流长度,m; $i$ 为引道段坡度。

### 2.2 废水设计标准

隧道内废水的主要来源包括3个部分,即:正常情况下的冲洗废水、结构渗漏水以及发生火灾时的消防废水。

#### (1) 冲洗废水量

冲洗用水量通常与当地隧道管养部门的管理要求有关。冲洗废水量与其用水量相当。例如,上海隧道内冲洗水量一般按4~8 m<sup>3</sup>计<sup>[6]</sup>。

#### (2) 结构渗水量

结构渗水量与隧道的施工工法密切相关。对于水下明挖隧道,可参照《公路水下隧道设计规范》<sup>[5]</sup>,结构渗水量取0.05~0.1 L/(m<sup>2</sup>·d)。以典型双向6车道(标准段结构横断面周长约80 m),3 km长隧道为例,其设计结构渗水量一般为12~24 m<sup>3</sup>/d。

#### (3) 消防废水量

针对不同类型(通常以暗埋段长度分类)的隧道,采用不同的消防形式。对于暗埋段长度不超过1 km的隧道,通常设置灭火器和消火栓系统,隧道内消火栓用水量不小于20 L/s;对于暗埋段长度1 km以上的隧道,还应视隧道重要性增设水喷雾系统或泡沫-水喷雾联用系统,其用水量通畅在60~90 L/s。消防废水量与其用水量相当。

#### (4) 废水设计流量

对于水下明挖隧道,消防废水流量通常远大于结构渗水量,且一般情况下隧道冲洗和消防不会同时发生,因此隧道废水设计流量可按消防流量计。

## 3 设计要点

### 3.1 严格控制汇水范围

隧道排水应遵循“高水高排、低水低排,互不连通”的原则进行设计<sup>[4]</sup>。合理划分隧道排水系统的汇水范围,并采取有效措施防止高水进入低水系统,是隧道排水的关键。

(1)在隧道接地点外设置“驼峰”(高度不低于0.3 m)作为物理防水分隔措施,避免接地点外道路雨水侵入隧道。

(2)在隧道敞开段与周边道路临界处设置侧墙(高出周边道路0.8 m以上),避免接地点外道路雨水侵入隧道。

(3)为进一步封闭汇水范围,应在接地点外设置横截沟。横截沟一般不宜少于2道,沟宽不宜小于500 mm。如遇隧道与高架顺接,无法设置驼峰的情况,常规做法是适当加大横截沟宽度并增加横截沟

数量,避免高架雨水进入隧道。苏州金鸡湖隧道、阳澄湖隧道及独墅湖隧道等已建隧道均采用此种方式。然而,暴雨条件下,实际截水效果并不是很理想,部分雨水还是会漫过路面雨水口及横截沟趟至隧道。分析其原因,主要是由于道路横坡的存在,下坡段雨水集中于路面两侧快速流下,单靠集中2~3道横截沟来不及收集。在路基段两侧增加20~30 m的纵向排水沟辅助收水,能大大改善收水效果。

### 3.2 完善雨废收集系统

对于隧道雨废水收集系统的设计,应综合考虑,采用横截沟、边沟、管道等多种方式,以提高收水效果。

(1)隧道敞开与暗埋分界处附近应设置横截沟,收集敞开段雨水。横截沟一般不宜少于2道,坡度不宜小于5‰,沟宽不宜小于500 mm。若隧道敞开段较长,可考虑增加横截沟宽度及数量或通过敞开段加盖等方式减少汇水量。

(2)隧道敞开段道路纵坡大,雨水汇水快、水流急,单靠横截沟一般很难达到理想的收集效果。为保证快速有效收水,往往需在隧道敞开段两侧设置纵向排水边沟。边沟坡度宜与道路纵坡一致,沟宽不宜小于300 mm。考虑到隧道敞开段纵坡通常在3.5%~6%之间,敞开段起始100 m范围内一般不会形成大股水流,两侧设置纵向排水边沟收水的意义不大。从节省工程投资的角度考虑,纵向排水边沟可从敞开段起始往下100 m左右的位置开始向下布置,直至与下游横截沟顺接。

(3)隧道纵断面低点处应设置横截沟,收集隧道冲洗废水、结构渗漏水及消防废水。可设置1道横截沟,沟宽不宜小于500 mm。

(4)隧道暗埋段两侧宜设置排水边沟辅助收水。边沟坡度宜与道路纵坡一致,沟宽不宜小于150 mm。

(5)由于横截沟和边沟易被路面垃圾堵塞,应视重要性考虑1.5~2的安全系数。但也有学者认为收水系统应考虑不小于2的安全系数<sup>[7]</sup>。横截沟宜采用成品一体式线性横截沟,既防盗又可避免跳车,增加行车舒适性<sup>[8]</sup>。边沟宜采用球墨铸铁盖板,具备防跳防盗功能。

### 3.3 增强隧道排水韧性

(1)适当增大泵房规模,增强排水韧性

为保障隧道运营安全,雨废水泵房排水能力宜适当大于雨废水设计流量。《公路水下隧道设计规范》<sup>[5]</sup>要求:雨水泵房的排水能力不应小于雨水设计

流量的1.2倍,废水泵房的排水能力可取消消防废水流量的1.2~1.5倍。

对于水下明挖隧道,因施工工艺成熟、渗水量较小,建议雨废水泵房的设计规模均按不小于对应设计流量的1.2倍确定。

(2)适当增大集水池容积,预留调蓄空间

相关规范或工程案例中关于雨废水泵房集水池有效容积的规定见表2。对于城市水下明挖隧道,雨废水泵房通常与隧道合建。受制于地下空间,集水池一般难以做的很大。结合以往工程经验,雨水泵房集水池有效容积按不小于最大一台泵5 min的出水量,废水泵房集水池有效容积按不小于最大一台泵15 min的出水量是安全可靠的。

表2 关于泵房集水池有效容积的规定

编号	相关规范或工程案例	雨水泵房集水池有效容积	废水泵房集水池有效容积
1	《室外排水设计标准》	不应小于最大一台泵60 s的出水量	不应小于最大一台泵5 min的出水量
2	《道路隧道设计标准》	不宜小于最大一台泵5 min的出水量	盾构法隧道,工作井废水泵房:不应小于最大一台泵15 min的出水量;最低点废水泵房:不得小于最大一台泵5 min的出水量
3	《公路水下隧道设计规范》	不应小于5~10 min的雨水设计流量	可取排水分区内一次性消防水量
4	港珠澳大桥海底隧道	不应小于最大一台泵15~20 min的出水量	不应小于最大一台泵15~20 min的出水量

(3)合理优化水泵配置,保障排水安全

考虑到水下隧道相对一般城市隧道救援难度大、防灾要求高,雨废水泵房内均应设置备用泵。雨水泵房内水泵总数不宜少于3台,最不利情况下所有水泵应能同时开启。废水泵房内水泵总数不宜少于2台,平时可轮换使用,消防情况下所有水泵应能同时开启。

### 3.4 切实保障排水出路

隧道排水出路的选择应严格遵守现行《城乡排水工程项目规范》及《室外排水设计标准》的相关要求,切实保障排水出路。

(1)有条件的地区,应尽量设置独立系统,出水就近排河。当无法直接排河时,在满足排水能力的条件下,可接入地面雨水管网。

(2)雨水泵房出水原则上应排入圩内河道(水位

可控),雨水泵扬程应按河道最高水位校核,并预留富余水头。

(3)泵房出水管末端应设置防倒流装置,以免发生倒灌。

### 3.5 提高泵房防淹能力

根据以往工程经验,有些城市隧道受淹并非水泵排水能力不足,而是泵房与隧道合建且设置于最低点,隧道内积水的情况下泵房内同时积水,导致泵房内配电柜被淹,水泵断电停转引起的。因此,提高泵房的防淹能力尤为重要。

(1)泵房的大门建议采用防淹门。

(2)泵房地坪标高宜高于门洞处隧道路拱标高0.25~0.3 m。

(3)泵房配电柜应优先选择安装于地面。若不具备地面安装条件,需放置于泵房内时,应复核配电柜的安装高度,建议配电柜底部高出地坪1.0 m。

## 4 工程案例

### 4.1 工程概况

苏州市某下穿太湖隧道总长约8.2 km,双向6车道规模。隧道沿线共设1对主线出入口及2对匝道出入口,主线纵断面共设7个低点。

### 4.2 隧道排水标准

(1)雨水设计标准

隧道暴雨重现期采用 $P=100$  a;径流系数取 $\psi=1.0$ ;经计算,地面集水时间 $t_1=2\sim 3$  min。

雨水泵房的设计规模按不小于雨水设计流量的1.2倍考虑。

(2)废水设计标准

隧道内冲洗水量按 $8\text{ m}^3/\text{d}$ 计;结构渗漏水取 $0.05\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ ;消防用水量包含2部分,室内消火栓用水量为 $20\text{ L/s}$ 、泡沫水喷雾联用系统 $72\text{ L/s}$ ,合计 $92\text{ L/s}$ 。

隧道废水设计流量按消防流量计,即 $92\text{ L/s}$ 。废水泵房的设计规模按不小于废水设计流量的1.2倍考虑,本工程按 $120\text{ L/s}$ 设计。

### 4.3 隧道排水方案

本工程设计阶段与苏州市吴中区及吴江区排水主管部门分别对接,均要求隧道排水应采用雨污分流制,并明确要求隧道冲洗废水、结构渗漏水及消防废水集中后合并排入市政污水管网;雨水收集后单独就近排入。雨水泵房清空泵出水无需分流排至市政污水管网。

(1)雨水排水方案

在隧道接地点外设置“驼峰”作为物理防水分隔措施,并在接地点外设置2道横截沟拦截接地点外道路雨水,避免侵入隧道。

在隧道各出入口敞开与暗埋交界处设置2道600 mm宽横截沟的同时,在主线敞开段(双向坡)两侧设置400 mm宽边沟,在匝道敞开段(单向坡)较低侧设置300 mm宽边沟,共同将雨水收集至位于敞开与暗埋交界处的雨水泵房。

根据隧道总体设计方案,隧道沿线共设1对主线出入口及2对匝道出入口,因此共设2座主线雨水泵房和4座匝道雨水泵房,其总体布置如图1所示。主线雨水泵房设计规模均为 $900\text{ L/s}$ ,泵房内配备5台雨水泵(4用1备),1台清空泵。匝道雨水泵房设计规模均为 $250\text{ L/s}$ ,泵房内配备4台雨水泵(3用1备),1台清空泵。主线及匝道雨水经泵房提升后,单独排入河道。



图1 隧道雨水泵房布置图

(2)废水排水方案

为收集隧道冲洗、渗漏及消防等废水,在隧道两侧布置150 mm宽边沟,在隧道低点处设置一道600 mm宽横截沟,将废水收集至位于低点的废水泵房。

根据隧道总体设计方案,主线纵断面共设7个低点,因此共设7座主线废水泵房,其总体布置如图2所示。废水泵房设计规模均为 $120\text{ L/s}$ ,泵房内配备4台污水泵(3用1备)。隧道废水经泵房提升后,接入地面污水管网。

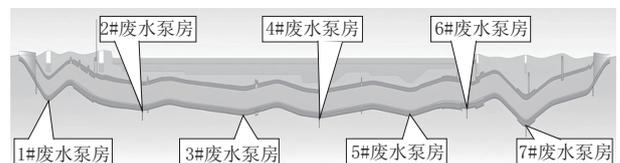


图2 隧道废水泵房布置图

由图2可知,2#~6#废水泵房位于水下,其废水排放通常有两种方案:各废水泵房各自独立提升至地面污水管网以及废水泵房多级接力提升至地面污水管网。研究表明,与单级提升相比,多级提升泵房的运行更可控、更稳定,水泵及管材的使用寿命更长久<sup>[9]</sup>。因此,本工程采用多级提升方案。

本工程隧道连接吴中区和吴江区,考虑工程量拆分、资金划拨、管理养护等因素,废水排水以行政区划界为界,废水泵房排水路径为:4#废水泵房→3#废水泵房→2#废水泵房→北岸地面污水管网;5#废水泵房→6#废水泵房→东岸地面污水管网。

## 5 结 语

(1)设计阶段一定要和当地排水主管部门提前对接,明确隧道排水体制(雨污分流原则)、设计暴雨重现期及排水出路等重要事项。同时,也应及时对接隧道管养单位,明确隧道管养模式,测算隧道冲洗水量。

(2)对于城市水下明挖隧道,暴雨重现期按不低于100 a设计足以应对绝大多数的暴雨。如何提高对短时极端暴雨的抗冲击能力,增强隧道排水韧性将是今后设计的重点。泵房集水池有效容积的确定

和备用泵控制,需引起设计人员的足够重视。

(3)实践表明,隧道受淹往往不是因为泵房排水能力不足导致的,更多是因为隧道外客水涌入、隧道收水系统能力不足、泵房排水出路不畅或电气设备受淹后被迫断电等因素引起的。隧道排水设计的重点应逐步从单一的提高暴雨重现期向高标准排水、完善挡排水设施、保障排水出路安全及提高泵房防淹能力等多角度转变。

### 参考文献:

- [1] 国务院灾害调查组.河南郑州“7·20”特大暴雨灾害调查报告[R].北京:中华人民共和国应急管理部,2022.
- [2] 周杰.多匝道大型隧道排水设计方案技术要点分析[J].山西建筑,2023,49(7):165-168.
- [3] GB 55027—2022,城乡排水工程项目规范[S].
- [4] GB 50014—2021,室外排水设计标准[S].
- [5] JTG/T 3371—2022,公路水下隧道设计规范[S].
- [6] DG/TJ 08—2033—2017,道路隧道设计标准[S].
- [7] 李媛.对隧道排水设计中关键性问题的探讨[J].城市道桥与防洪,2024(1):145-148,152.
- [8] 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):130-133,141.
- [9] 戴新,贺维国,王东伟,等.深埋矿山法海底隧道排水设计探讨——以珠江口铁路隧道为例[J].隧道建设(中英文),2022,42(4):695-702.

(上接第177页)

- 用[J].中国给水排水,2015,31(18):90-94.
- [17] 宋新新,林甲,刘杰,等.面向未来污水处理技术应用研究现状及工程实践[J].环境科学学报,2021,41(1):39-53.
- [18] 刘如玲,宋鹏,戴卫东.青岛市团岛污水处理厂污水源热泵技术应用[J].中国给水排水,2015,31(12):86-89.
- [19] GB/T 18919—2002,城市污水再生利用分类[S].

- [20] GB/T 4754—2017,国民经济行业分类[S].
- [21] 国家发展改革委.“十四五”城镇污水处理及资源化利用发展规划:发改环资〔2021〕827号[EB/OL].(2021-06-06)[2024-05-09].  
<https://zfxxgk.ndrc.gov.cn/wap/iteminfo.jsp?id=18170>.
- [22] 苑建立,牛纪娥.城市污水处理厂节能减排的路径分析[J].节能与环保,2022(2):69-71.