

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.10.014

# 珠海金琴快线某车行隧道排水系统设计

欧阳玉宝, 付朝晖  
(珠海市规划设计研究院, 广东 珠海 519000)

**摘要:** 城市车行隧道是城市立体交通的重要组成部分,是改善城市交通畅通运行的重要设施,高效的排水系统设计是保障其正常运行的关键之一。以珠海金琴快线(港湾大道-梅华立交)北师大车行隧道工程为例,介绍其排水系统的设计。车行隧道总汇水面积约为 $1.54\text{ hm}^2$ ,排水泵房设计规模为 $1\,260\text{ L/s}$ ,采用独立的排水系统,由4台(3用1备)潜污泵抽排至隧道东侧现状金凤路排洪渠,项目建成后运行良好,可为类似项目提供参考。

**关键词:** 城市车行隧道; 独立排水系统; 排水泵房; 潜污泵

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2024)10-0086-05

## Design of Jinqin Expressway Road Tunnel Drainage System in Zhuhai

OUYANG Yu-bao, FU Zhao-hui  
(Zhuhai Institute of Urban Planning & Design, Zhuhai 519000, China)

**Abstract:** Urban road tunnel is an important part of urban three-dimensional transportation and significant facility for improving the smooth operation of urban transportation. The design of efficient drainage system is one of the key factors for keeping a tunnel in good function. This paper introduced the design of Beijing Normal University road tunnel drainage system of Jinqin Expressway between Gangwan Avenue and Meihua Interchange in Zhuhai. The water catchment area of the tunnel is about  $1.54\text{ hm}^2$ , and the design flow of the drainage pumping station with an independent drainage system is  $1\,260\text{ L/s}$ . There are four submersible sewage pumps (three in use and one as backup) to pump the rainwater to the current Jinfeng Road flood discharge channel on the east side of the tunnel. The project has been running well after completion, which can provide reference for similar projects.

**Key words:** urban road tunnel; independent drainage system; drainage pumping station; submersible sewage pump

在气候变化和快速城市化的背景下,极端降水事件及其导致的洪涝灾害频发,对城市居民生命财产安全构成较大的威胁。特别是极端降雨对城市地下交通运营安全的影响,已成为制约城市公共安全的突出问题<sup>[1]</sup>。排水系统是车行隧道的重要组成部分,其能否高效运行直接影响车行隧道的正常运营。

目前,车行隧道的排水系统设计还没有现行的国家设计规范,主要参照《室外排水设计标准》(GB

50014—2021)及《建筑给水排水设计标准》(GB 50015—2019),并借鉴深圳市地方标准《道路隧道设计标准》(SJG 80—2020)。根据车行隧道的特点,确定排水系统的设计标准、规模等相关参数,是工程的重点和难点。

### 1 工程概况

珠海金琴快线(港湾大道-梅华立交)工程位于珠海香洲区,北起高新港湾大道,经金凤路、凤凰山隧道、金凤南路、三台石立交,南至梅华立交,路线

总长 9.128 km,项目线位图见图 1。其中,北师大车行隧道工程位于金凤路北师大珠海校区内,车行隧道呈南北走向,全长 600 m(南、北敞开段长度分别为 234 和 202 m,封闭段 164 m;南、北段路面纵坡分别为 3.877% 和 3.783%),双向六车道,车行隧道净空宽度为 27 m,为通行机动车的四类城市交通隧道。隧道最低标高为 4.40 m,隧道南入口路面标高为 11.93 m,北入口路面标高为 11.16 m,车行隧道两侧设置排水沟,隧道最低点设置排水泵房。项目位于凤凰山以北,地形西南高、东北低,车行隧道东侧有现状金凤路排洪渠,为区域行洪通道,其鸟瞰图如图 2 所示。



图 1 金琴快线项目线位图  
Fig.1 Layout of Jinqin Expressway



图 2 车行隧道鸟瞰图  
Fig.2 Aerial view of road tunnel

2 排水系统设计

车行隧道道路纵坡大、地势低、集水时间短,暴雨时期容易在最低点形成积水,影响车行安全。隧道排水主要是指在设计重现期标准下,及时排除积

水,防止雨水在隧道内汇集,影响道路通行。其排水系统主要由雨水收集管沟、泵房、出水管,以及配套的供电、自动控制、标识系统等构成。

2.1 雨水量计算

雨水量计算是确定隧道排水系统规模的基础,由于隧道雨水汇流面积小,采用推理公式法<sup>[2]</sup>计算雨水设计流量,具体计算公式如下:

$$Q_s = q\Psi F \tag{1}$$

式中: $Q_s$ 为雨水设计流量, L/s; $q$ 为设计暴雨强度, L/( $\text{hm}^2 \cdot \text{s}$ ); $\Psi$ 为综合径流系数; $F$ 为汇水面积,  $\text{hm}^2$ 。

设计暴雨强度  $q$  参考《珠海市暴雨强度公式及计算图表(近 30 年)》中单一重现期暴雨强度公式计算,如表 1 所示。

表 1 单一重现期暴雨强度公式  
Tab.1 Rainstorm intensity formula of single recurrence period

| 重现期 $P/a$ | 暴雨强度公式                            |
|-----------|-----------------------------------|
| 2         | $q=3\,008.839/(t+14.589)^{0.657}$ |
| 3         | $q=2\,502.662/(t+11.977)^{0.586}$ |
| 5         | $q=1\,958.242/(t+9.068)^{0.500}$  |
| 10        | $q=1\,565.291/(t+6.361)^{0.403}$  |
| 20        | $q=1\,436.367/(t+4.728)^{0.350}$  |
| 30        | $q=1\,384.764/(t+3.973)^{0.325}$  |
| 50        | $q=1\,327.817/(t+3.105)^{0.295}$  |
| 100       | $q=1\,257.343/(t+2.004)^{0.257}$  |

注:  $t$  为降雨历时, min。

2.2 设计参数

设计参数的选取是隧道排水系统雨水量计算的关键,主要包括:设计重现期  $P$ 、降雨历时  $t$ 、汇水面积  $F$  及综合径流系数  $\Psi$  等。

2.2.1 设计重现期

设计重现期是指通过一定时间的雨量观测资料统计分析,大于或等于某暴雨强度的降雨出现一次的平均间隔时间,应结合地形特点、气候特征、防护重要性等因素,经技术经济比较确定。GB 50014—2021 中 4.1.3 条规定,大城市中心城区地下通道和下沉式广场等重现期取 20~30 a,特大城市和超大城市取 30~50 a。2022 年底,珠海市城镇常住人口为 247.72 万人,属于大城市;2035 年远期规划城区常住人口为 500 万人,属于特大城市。借鉴周边超大城市深圳市的地方标准 SJG 80—2020 中 10.2.3 条,道路隧道敞开部分的暴雨重现期按 50 a 考虑。北师大

大车行隧道工程选择设计重现期分别为20、30、50 a, 降雨历时为5 min, 计算暴雨强度分别为647.824、678.689、716.236 L/(hm<sup>2</sup>·s), 并进行技术经济比较。近年来, 由于极端降雨频发, 车行隧道水浸现象时有发生, 且相较于市政排水体系, 隧道排水系统汇水范围较小, 属于局部排水系统, 资金投入相对较少, 同时, 提高标准对应增加的投资占车行隧道的总投资不足0.1%。因此, 为提高车行隧道的安全, 建议 $P$ 按50 a选取。

### 2.2.2 降雨历时

降雨历时是指降雨引起的径流由汇水区最远点到设计控制点的汇流时间, 其值为由汇水区最远点到排水设施处的地面集水时间和管渠内雨水流行时间之和。降雨历时( $t$ )的计算见下式:

$$t = t_1 + t_2 \quad (2)$$

式中:  $t_1$  为地面集水时间, min;  $t_2$  为管渠内雨水流行时间, min。

由于坡面集水时间受地形坡度、坡长、地面结构等因素影响, 现行各规范推荐采用的计算公式也不一致, 因此将参数代入各公式分别验算结果, 经综合分析确定设计取值。

① 参考GB 50014—2021, 因降雨径流水深等边界条件不明确, 隧道坡面集水时间可按照坡面汇流集水时间计算, 具体公式如下:

$$t_1 = 1.445 \left( \frac{n' L}{\sqrt{i}} \right)^{0.467} \quad (3)$$

式中:  $n'$  为路面粗糙度, 沥青路面取0.013;  $L$  为

道路坡长, 229 m (取南敞开段最短坡长);  $i$  为道路坡度, 0.387 7% (取南敞开段最大坡度)。

将各数据代入式(3), 计算可得  $t_1 = 5.137$  min。

② 参考《城镇内涝防治技术规范》(GB 51222—2017), 当地面汇水距离大于90 m时, 可按下式计算地面集水时间  $t_1$ :

$$t_1 = \frac{L}{60ki^{0.5}} \quad (4)$$

式中:  $k$  为地面截流系数, 混凝土、沥青或砖石铺装的地面取6.19, 未铺装地面取4.91, 项目设计取6.19。

式(4)中  $L$ 、 $i$  取值同式(3), 将各数据代入式(4), 计算可得  $t_1 = 9.902$  min。

集水时间直接影响暴雨强度的计算结果, 取值越大, 暴雨强度越小。建议  $t_1$  按GB 50014—2021的坡面汇流集水时间计算, 取5 min; 考虑车行隧道排水纵坡大、集水时间短、排水路径短等特点, 为提高排水安全,  $t_2$  取值为0, 故降雨历时  $t = 5$  min。

### 2.2.3 汇水面积

汇水面积是指雨水流向同一排水系统的降雨面积, 车行隧道的汇水面积应以车行隧道敞开段汇水面积( $F_1$ )及敞开段侧墙正投影面积的1/2( $F_2$ )计算。车行隧道纵断面设计见图3。

隧道两端敞开段长度应以道路纵坡驼峰变坡点为起点进行计算, 则:  $F_1 = (229 + 301) \times 27 = 14\,310$  m<sup>2</sup>;  $F_2 = [229 \times (11.16 - 4.40 + 1.10) \times 1/2 + 301 \times (11.93 - 4.40 + 1.10) \times 1/2] \times 1/2 = 1\,099.39$  m<sup>2</sup>; 总汇水面积  $F = F_1 + F_2 = 15\,409.39$  m<sup>2</sup>, 约为1.54 hm<sup>2</sup>。

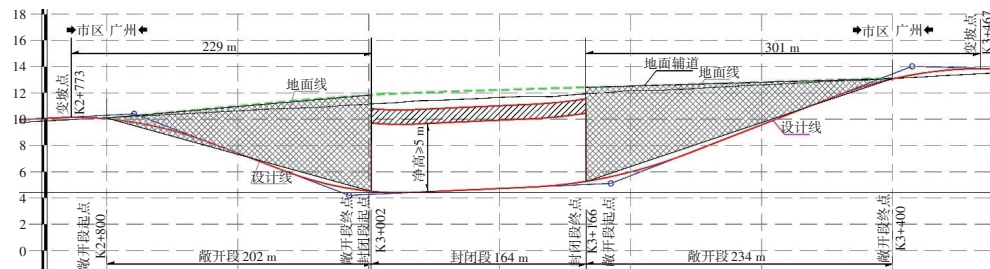


图3 车行隧道纵断面设计

Fig.3 Vertical section design of road tunnel

### 2.2.4 综合径流系数

径流系数是一定汇水面积的径流雨水量与降雨量的比值, 可根据地面种类加权平均值计算。根据GB 50014—2021中5.10.2.4条, 立体交叉道路排水综合径流系数宜取0.9~1.0, 项目设计  $\Psi$

取0.95。

### 2.3 排水泵房设计

#### 2.3.1 泵房设计规模

将上述设计参数值代入式(1), 可得设计雨水量  $Q_s = q\Psi F = 716.236 \times 0.95 \times 1.54 = 1\,047.85$  L/s, 取



1 050 L/s。

排水泵房的设计规模应在计算雨水量的基础上考虑一定富余。参考 SJG 80—2020,排水泵房的设计规模按设计雨水量的 1.2 倍确定,即 1 260 L/s。在进行泵房水泵配备时,还应考虑单台水泵流量和台数的选取以及不同雨量下的运行工况。

因降雨重现期以 2~10 a 居多<sup>[2]</sup>,故在 2、3、5、10、50 a 的重现期下测算泵房排水流量,分别为 760、845、920、1 040、1 260 L/s。综合考虑不同工况需求,进而确定水泵流量和台数。

当  $P=50$  a 时,选用 3 台水泵并联,考虑其并联工作时的影响及排水安全性,单台水泵流量选用 500 L/s (1 800 m<sup>3</sup>/h)。当  $P=2\sim 10$  a 时,2 台水泵同时启动即可满足排水要求。

### 2.3.2 水泵扬程

水泵扬程  $H$  的计算如下式所示:

$$H = H_1 + H_2 + h_3 \quad (5)$$

式中:  $H_1$  为吸水池水位与最不利点管道中心高差,即静高差, m;  $H_2$  为管道水头损失,包括沿程和局部损失, m;  $h_3$  为安全水头, m。

泵房集水池最低水位标高为 1.81 m,泵房雨水

由 DN800 压力管排入西侧金凤路排洪渠,压力管出水口管中标高为 9.94 m。考虑压力管排入排洪渠,还受其水位影响,进一步测算可知,金凤路排洪渠 50 年一遇的水面标高为 10.94 m,以此标高作为最不利点标高,则  $H_1=10.94-1.81=9.13$  m。

单台水泵排出管为 DN600 卷板钢管,  $L=6$  m,  $Q=1\ 800$  m<sup>3</sup>/h,  $v=1.71$  m/s,  $1\ 000i=5.96$ , 水头损失  $h_1=5.96 \times 6 / 1\ 000 = 0.036$  m; 泵房 DN800 出水管(至出水口)长度约 65 m,  $Q=4\ 540$  m<sup>3</sup>/h,  $v=2.51$  m/s,  $1\ 000i=8.99$ , 水头损失  $h_2=8.99 \times 65 / 1\ 000 = 0.584$  m。沿程水头损失  $\Sigma h=0.036+0.584=0.620$  m。

DN800 钢管 90° 弯头、止回阀的局部阻力系数  $\xi$  分别为 1.05、1.7, 对应局部水头损失为  $\xi \times v^2 / 2g = (2 \times 1.05 + 1.7) \times 2.51^2 / (2 \times 9.8) = 1.221$  m; 其余局部水头损失按沿程水头损失的 50% 计, 则  $H_2=0.620+1.221+0.620 \times 50\% = 2.151$  m。

安全水头  $h_3$  取 1.5 m, 则  $H=9.13+0.620+2.151+1.5=13.401$  m, 取 14.0 m。

本项目车行隧道排水泵房内设置 4 台潜污泵(3 用 1 备, 特殊工况下 4 台水泵可同时启动), 单台水泵  $Q=1\ 800$  m<sup>3</sup>/h,  $H=140$  kPa,  $N=90$  kW。

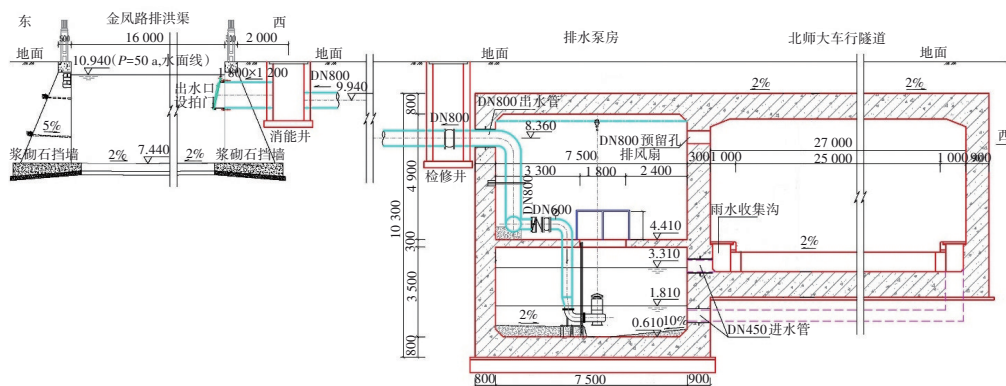


图4 车行隧道排水泵房竖向设计

Fig.4 Vertical design of drainage pumping station of road tunnel

### 2.3.3 泵房集水池

集水池的容积应根据设计流量、水泵排水能力和水泵工作情况等因素确定。容积过小,水泵开停频繁;容积过大,则增加工程造价。因各规范对隧道排水泵房的集水池容积规定不一致,如 SJG 80—2020 中 10.3.2.8 条,雨水泵房集水池有效容积按大于最大 1 台泵 5 min 出水量考虑; GB 50014—2021 中 6.3.1.2 条,地道雨水泵站集水池容积不应小于最大 1 台水泵 60 s 的出水量。为提高排水泵房安全

性,对极端降雨量起到适当调节作用,建议按较大值考虑,即集水池有效容积  $\geq 1\ 800 / 60 \times 5 = 150$  m<sup>3</sup>。

### 2.3.4 泵房排水出路

车行隧道是所处汇水区域最低洼的部分,其雨水汇流至泵房集水池后,通过水泵抽排至雨水管渠或河渠等水体。根据项目周边排水条件分析可知,车行隧道南、北侧有 DN600 及 DN800 雨水重力流管,满流对应的过流能力分别为 194.24、418.20 L/s; 东侧有现状金凤路排洪渠,断面尺寸为 16 m × 4 m,

坡度为0.2%,为区域行洪通道,过流流量为181.30 m<sup>3</sup>/s,增加泵房排水负荷后,排洪渠水面线抬高了1.4 cm。经与水务主管部门沟通协商,泵房优先采用独立排水系统,通过DN800压力排水管抽排至现状金凤路排洪渠,以提高排水安全性。

### 3 相关技术措施

① 保障车行隧道汇水面积可控<sup>[3]</sup>是避免隧道水浸的重要环节,通过在隧道入口处设置道路反坡(驼峰高度不低于0.5 m)、布置截水沟等措施,避免隧道敞开段以外的客水汇入。

② 校核泵房和配电设备的安装安全高度,采取措施防止配电设施受淹。配电设备可设置于安全性较高的地面层,保证在设计重现期内的降雨期间水泵能正常启动和运转。

③ 车行隧道应设置地面积水深度标尺、标示线和提醒标语等警示标识。车行隧道积水深度30 cm处标示地面涉水线,上方墙体设置积水深度标尺,并用大号字体标示“积水30 cm禁止驶入”等警示内容。涉水线前30 m设反光标识牌,用感叹号提示“前方30 m积水警戒线”,防止行人或机动车进入积水较深的下穿立交道路区域,造成人身伤害和财产损失。

④ 车行隧道宜设置积水自动监测和报警装置。通过信息控制系统传输至监控中心,做到信息发布和监控指挥,当车行隧道出现超过20 cm积水且无有效手段降低或抑制水位上升时,采取措施限行;当积水深度超过25 cm,且水位得不到有效控制时,应采取封闭交通措施,从而有效保证车行隧道的运行安全。

### 4 结语

城市车行隧道排水系统设计是隧道建设、安全运行的重要环节,随着城市发展,车行隧道等立体交通设施增多,应结合现行相关排水规范及城市车

行隧道现状,在国家层面制定车行隧道排水设计标准、规范,从而更加系统全面地指导工程实践。通过分析城市车行隧道排水特点,选取经济合理的设计参数,介绍了排水泵房的设计,并提出车行隧道排水系统的相关技术措施,可为类似项目提供参考。

### 参考文献:

- [1] 席广朋,杨京生,吕志成,等. 城市立体综合交通枢纽内涝风险分析与防治——以北京城市副中心站为例[J]. 给水排水, 2023, 49(9): 24–28.  
XI Guangpeng, YANG Jingsheng, LÜ Zhicheng, et al. Risk analysis and prevention of waterlogging in urban three-dimensional comprehensive transportation hub: taking Beijing Urban Sub Central Station as an example [J]. Water & Wastewater Engineering, 2023, 49(9): 24–28(in Chinese).
- [2] 徐灵华,马文滢. 紫之隧道排水系统设计重难点分析[J]. 给水排水, 2015, 41(9): 40–43.  
XU Linghua, MA Wenying. Analysis on key points of the Zizhi tunnel drainage system design [J]. Water & Wastewater Engineering, 2015, 41(9): 40–43 (in Chinese).
- [3] 戴立峰,陈雄志. 武汉市城市下穿隧道渍水分析[J]. 中国给水排水, 2016, 32(22): 103–107.  
DAI Lifeng, CHEN Xiongzi. Analysis of waterlogging at urban underpass in Wuhan City [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(22): 103–107(in Chinese).

作者简介:欧阳玉宝(1978–),男,江西彭泽人,本科,高级工程师,主要从事市政给排水设计研究工作。

E-mail: 14706676@qq.com

收稿日期:2023-11-09

修回日期:2024-02-05

(编辑:沈靖怡)