

# 城市隧道排水系统设计与优化

刘欢 李从起

**摘要:** 针对目前隧道排水系统设计难度大、雨废分流的局限性,结合具体工程对城市隧道排水系统进行研究,根据隧道性质和规范要求,分析归纳了相关设计参数及要点,并提出设置蓄水池削弱雨水量以起到错峰排水的作用,同时利用水力模拟软件,对隧道排水系统进行停泵水锤模拟,经过分析泵后压力点过程线、流量过程线和水泵倒转数等参数的变化,发现停泵水锤在隧道排水系统中会引起较大的水锤波动,提出在泵后设置缓闭止回阀、增大管径、提高管材等级等水锤防护措施,对类似隧道工程排水系统设计具有一定的指导意义。

**关键词:** 隧道排水; 系统优化; 停泵水锤; 水锤防护

## 引言

近年来城市隧道的发展突飞猛进,但对于隧道给排水设计的具体规范却少之又少,隧道工程在交通方面占据很重要的地位,但隧道渗漏水以及排水不畅则会降低隧道内各种设施的使用寿命和功能,严重时可导致隧道被淹,造成人员伤亡,因此设置经济且合理的隧道排水系统是保障城市隧道安全运营的条件,同时在隧道高标准严要求的情况下,有压管线的复杂性使水流发生急剧变化,严重时容易引起爆管现象,因此加深对管道水锤的发生原理、压力点过程分析等水力分析以防止事故发生也显得尤为重要。周琴<sup>[1]</sup>提出在符合规范要求的基础上,结合某城市隧道给排水设计,应根据具体情况合理选择一体化预制雨水泵站。毕秀梅<sup>[2]</sup>提出了最低点废水泵房废水通过工作井废水泵房转输的方案可节约造价。胡哲睿<sup>[3]</sup>提出海底隧道排水管路系统通过变频控制措施减小水锤、增加排水备用管道和备用排水出路等提高运行安全的措施。陈宝玉<sup>[4]</sup>等人提出对水泵水锤及反转特性的分析作为深隧泵站振动分析的基础资料,对设计方案进行优化。因此,本文从城市隧道排水系统设计思路进行研究和分析,旨在为隧道排水系统安全设计提

供一定参考。

## 一、工程概况

深圳市某隧道道路等级为城市次干路,左线设计长度1480m,右线设计长度1500m,主线设计规模为双向四车道,设计时速30km/h,全线共设置四座工作井,设计隧道下穿现状立交,大体为东西走向,隧道平面布置如图1。

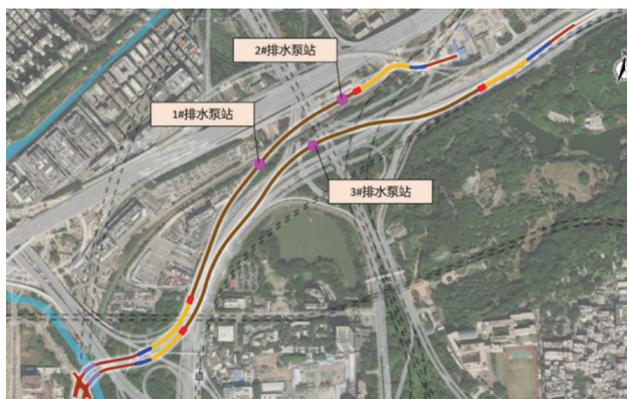


图1 隧道平面布置图

隧道排水包括雨水、冲洗废水及消防期间排放的废水,为减少对水环境的污染负荷,分别设置雨、废水提升泵,通过液位控制水泵启闭,提升经消能后分别排至地面雨、废水系统。设计原则应遵循:

①排水应分类集中,采用高水高排、低水低排,互不连通的系统就近排放。无法通过自流排出的积水,应考虑抽排的方式排除,有条件的地方可建设蓄水设施蓄滞雨水;

②汇水面积应合理确定,并设有防止高水进入低水

## 作者简介:

1.刘欢(1996.06——),女,汉族,硕士学历,助理工程师,主要从事道路给排水设计、隧道消防及排水设计方面的研究工作。

2.李从起(1993.08——),男,汉族,硕士学历,工程师,主要从事市政道路给排水设计及流域综合治理等方面的研究工作。

系统的可靠措施，确保隧道运营的安全性；

③通过设置天窗雨棚、隔音屏措施等减少雨水落入隧道，为防止洞口雨水流入隧道内，在隧道雨水泵房附近及接地点设置横截沟，有效截流洞口雨水，但需考虑采用该方式会对行车安全带来一系列影响；

④雨水泵房的设计规模应按照设计雨水量的1.2倍确定；

⑤雨水泵房收集池有效容积按大于最大一台泵5min出水量考虑；

⑥雨水泵房宜设置备用泵，并且水泵总数不宜少于3台。

⑦隧道内雨水和废水系统采用分流制排水。

⑧雨水、废水提升泵站合建，共3座。

隧道纵断面示意图如下图2、图3：

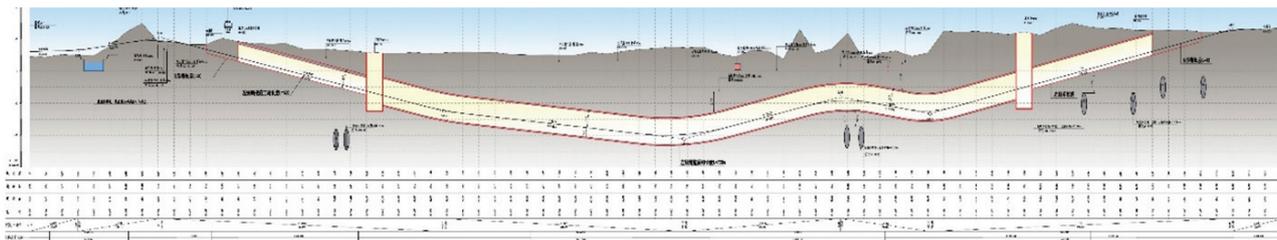


图2 左线隧道示意图

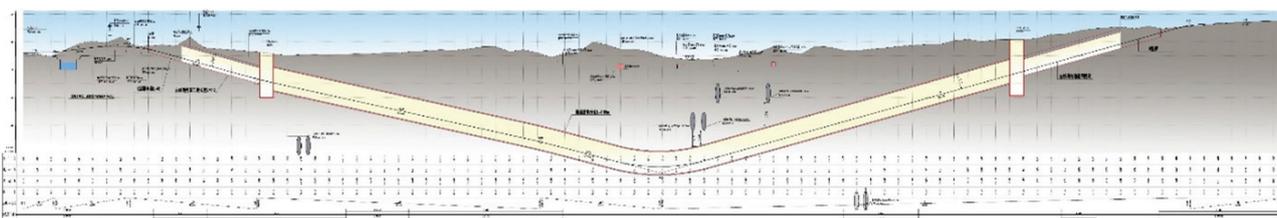


图3 右线隧道示意图

## 二、隧道雨水系统优化

本工程隧道雨水工程收集、排除工艺流程为：隧道、通道及敞口处纵、横排水沟收集和拦截雨水→集水池→排水泵房→雨水泵抽排至消能井→接入就近的市政雨水管网或河道。

根据《防洪（潮）排涝规划》，本工程位于中心城区，属于重要的下沉道路，雨水重现期按50年一遇标准设计，路面径流系数 $\Psi = 0.9$ 。采用《深圳市暴雨强度公式及查算图标》暴雨强度公式计算。

$$q=2167.827/(t+9.058)^{0.495}$$

其中： $q$ —设计暴雨强度 $[L/(s \cdot ha)]$ ； $t$ —降雨历时（min）， $t = t_1 + t_2$ ， $t_1$ 为地面集水时间（min），应根据汇水距离、地形坡度和地面种类通过计算确定； $t_2$ 为管道内流行时间。

$$Q = \Psi q F$$

其中： $Q$ —径流量（L/s）； $\Psi$ —路面径流系数； $q$ —降雨强度 $[L/(s \cdot ha)]$ ； $F$ —汇水面积（ha）。

本项目的排水泵房与配电房合建，考虑到电房下空间足，在做好配电房防水措施的前提下，为减小排水潜

污泵的设计流量及下游排水管道的洪峰流量时，电房下布置排水泵房调蓄池。根据《深圳市隧道设计指引》（征求意见稿），雨水泵房的设计规模应按照设计雨水量的1.2倍确定，雨水调蓄池的有效容积根据《室外排水设计规范》中脱过系数法确定。

脱过系数法是一种利用径流成因推断出的流量过程线来计算调蓄容积的方法。由于脱过系数法是由暴雨强度公式推导而来，因此该方法的适用范围应与暴雨强度相同，即降雨持续时间不应大于编制暴雨强度公式时采用的最大降雨持续时间。由于我国现行暴雨强度公式的降雨持续时间大多不超过180min，因此本项目适用于脱过系数法确定调蓄量。

$$V = \left[ -\left( \frac{0.65}{n^{1.2}} + \frac{b}{t} \cdot \frac{0.5}{n+0.2} + 1.10 \right) / g(\alpha + 0.3) + \frac{0.215}{n^{0.15}} \right] \cdot Q_i \cdot t$$

其中： $V$ —调蓄池有效容积（ $m^3$ ）； $\alpha$ —脱过系数，取值为调蓄池下游设计流量和上游设计流量之比； $Q_i$ —调蓄池上游设计流量（ $m^3/min$ ）； $b$ 、 $n$ —暴雨强度公式参数； $t$ —降雨历时（min）。雨水量计算见下表1：

表1 隧道雨水量计算

泵站编号	流域面积F (公顷)	进入隧道雨量 (m <sup>3</sup> /s)	泵站设计流量 (m <sup>3</sup> /h) 调蓄前	调蓄池 (m <sup>3</sup> )	泵站设计流量 (m <sup>3</sup> /h) 调蓄后
1#排水泵房	1.68	0.06	1247	66	907
2#排水泵房	0.04	0.02	86	-	86
3#排水泵房	1.32	0.10	1025	53	726

下穿隧道强排1#站雨水设计规模为907m<sup>3</sup>/h，配备三台Q=570m<sup>3</sup>/h、H=45m的潜污泵，两用一备；2#泵站雨水设计规模为86m<sup>3</sup>/h，配备三台Q=45m<sup>3</sup>/h、H=30m的潜污泵，两用一备。3#泵站雨水设计规模为726m<sup>3</sup>/h，配备三台Q=370m<sup>3</sup>/h、H=60m的潜污泵，两用一备。同时，为保证雨水排除顺畅，隧道雨水出路就近排至现状雨水管网。

### 三、隧道废水系统优化

隧道废水包括冲洗废水、消防废水和结构渗入水。

根据《深圳市隧道设计指引》，隧道结构渗漏水按0.15L/d·m<sup>2</sup>考虑；隧道冲洗水量按8.0m<sup>3</sup>/d计。废水泵设计流量应该按照消防废水、路面冲洗水两者中最大值进行设计，即采用泡沫-水喷雾系统设计的消防用水考虑，经计算消防废水设计流量为45.5L/s。

废水提升泵站与雨水泵站合建，为了便于运营期间的泵房设备维护管理，废水泵流量及扬程参数相近，采用统一型号水泵。泵站废水设计规模为164m<sup>3</sup>/h，配备两台Q=84m<sup>3</sup>/h、H=60m潜污泵，两用一备。

### 四、排水管道水锤压力分析

水锤分为停泵水锤、启泵水锤、关阀水锤，对于隧道排水系统而言，停泵水锤危害比较严重，可引起管道震动而损坏设备，而水锤分析往往需要根据水锤原理、设计参数、设备选型等基础资料，基于特征线法的水锤模型，计算出管道在最不利工况下的最大水锤压力、最小水锤压力、水泵倒转数等参数，分析管道运行的安全性，提出合理化防护建议。

由于3#排水泵房排水系统线路较长且扬程比较大，因此选取右线的3#排水泵房作为最不利工况的停泵水锤分析，事故停泵的模拟结果如图4。

由图4可知，当3#泵房两台泵全部事故停泵时，可以看到，泵后产生较大的压力，管道最高水锤压力超出稳态压力五六十米，且突然停泵时管道全线产生负压，压力骤降进而两股空腔迅速撞击，全线产生水锤波动。

由此可见，通过压力包络线分析的管路水锤压力可以确定管路耐压强度和加固位置等，由此来进行优化设

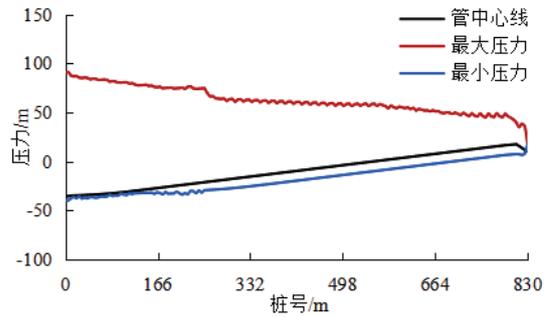


图4 3#泵房停泵水锤压力包络线

计，对于隧道有压管道的水锤波动，需要采取一定的保护措施。

为了进一步分析水锤波动对压力点过程线、流量和水泵倒转数的影响，接下来模拟两台泵事故停泵后，泵后的水锤压力点过程线、流量变化和水泵倒转数变化，如图5~7。

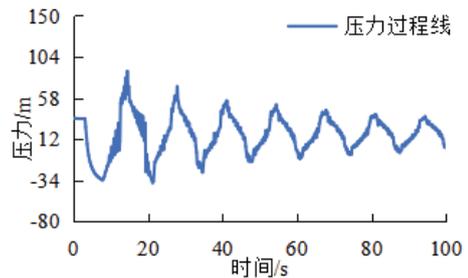


图5 停泵水锤压力过程线

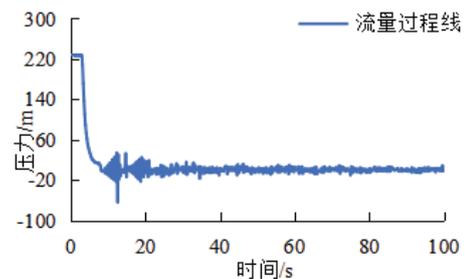


图6 停泵水锤流量过程线

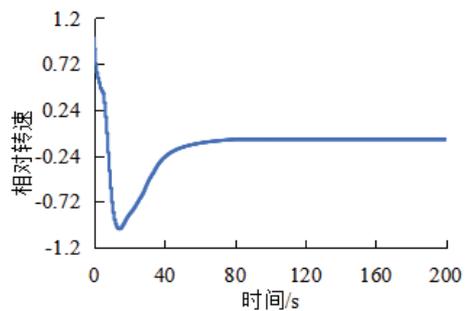


图7 水泵倒转数

由图5可知，事故停泵时，泵出口处在第7.6s迅速

产生负压，导致断流弥合水锤，水锤波发生撞击，在14.4s时最大水锤压力87.8m，随后在管道损失以及阀门的阻力损失等作用下，水锤波最大压力逐渐衰减且周期变长。由6可知，停泵后流量开始下降，在第9.2s减小到零，随后一直维持不变，这是因为在泵后设置了止回阀，当流量降低到一定程度后，止回阀会关闭，同时由于止回阀的存在，阀门将会关闭防止水流继续反转，也就是此时，水流撞击阀门产生了较高的水锤压力，但止回阀的存在，会防止水泵流量出现反向直至叶轮倒转排空水流产生水淹泵房的危害。由图7实际转速与额定转速的比值随时间的变化情况可知，水泵机组最大相对倒转速为-1.01，与规范要求的水泵在短时间内允许逆向水流引起的反向旋转转速值相当。

虽然水锤效应发生的概率比较低且隧道排水系统一般高差较小，为安全起见，可综合考虑提升管材、增大管径以降低流速、在泵后设置缓闭止回阀等防护措施来控制水锤压力，通过控制阀门两阶段关闭，可先控制阀门快速关闭80~90%的角度，再将阀门慢速关闭10~20%的角度，快速关闭会造成关阀水锤，关阀时间太长又会影响整体运行安全，因此需要控制好关阀时间。

## 五、结论

①针对城市隧道性质提出隧道雨废分流的分质排水

设计思路，同时为方便管理，考虑将雨废泵房合建；

②提出设置蓄水池以削弱雨水量，当雨水产生的洪峰流量超过地下通道附近排水管涵的排水能力时，管道不能及时排出的雨水可以临时引入蓄水池中。当降雨量减少时，蓄水池中的雨水可以排入下游管道，蓄水池有错峰排水的作用，一般适用于立交桥旁公共空间较大、满足蓄水池建设用地条件的地下通道地段。

③由于隧道排水系统的特殊性，对隧道排水系统进行停泵水锤压力分析，最不利工况下突然停泵会产生较大的水锤压力，提出在泵后设置缓闭止回阀、增大管径、提高管材等级等防护措施，降低水锤对管道系统的危害。

## 参考文献

- [1]周琴.城市道路下沉隧道给排水及消防系统优化研究[J].工程技术研究, 2021, 6(13): 2.
- [2]毕秀梅.城市二类交通隧道排水及消防系统设计探讨[J].山西建筑, 2021, 47(11): 121-123.
- [3]胡哲睿.青岛地铁过海隧道压力排水系统设计研究[J].给水排水, 2021, 57(09): 104-108.
- [4]陈宝玉,王正雄,杨涛,等.深层隧道排水系统中深隧泵站的设计与优化[J].中国给水排水, 2021.