

公路隧道反坡排水施工技术研究

刘江 刘哲

中交第四航务工程局有限公司总承包分公司 广东广州

摘要: 随着高速公路建设需求的不断提高,隧道修筑长度和技术难度也越来越大。山岭地区除水文、地质条件复杂特点外,长隧道因受地形和标高影响,经常采用单面坡设计形式,增加了反坡排水工作任务,也加大了隧道施工难度。针对隧道反坡排水设计、施工现状,本文结合了虎头山隧道排水设计思路和方法,从水量计算、设备选型、系统布置等多角度考虑,制定了一套完善有效的反坡排水实施方案,为同类隧道反坡施工提供参考。

关键词: 公路隧道;反坡排水

前言

隧道反坡排水施工中,主要遵循“以堵为主、限量排放、排堵结合”的设计原则^[1]。一套有效的排水方案,除了满足最大排水量需求同时,还需将排水工序合理纳入隧道整体施工组织中,最大限度减少对隧道施工安全、质量、进度的影响。我国隧道施工技术人员经过长期探索,总结了一系列创造性技术经验,其中“长大隧道反坡多级排水法”、“隔站送水增效法”在工程实际应用中取得了较好的排水效果^[2]。

本文通过现场调查,对虎头山隧道水文情况、地质情况、气候

表1 虎头山隧道主要设计参数表

隧道名称	形式	起讫桩号	隧道长度 (m)	界限净高 (m)	界限净宽 (m)	洞内纵坡
虎头山隧道左线	小径距隧道+分离式	ZK56+460-ZK58+635	2175	5.00	15.50	-0.5%/800(960)/-1%1375(1690)
虎头山隧道右线	小径距隧道+分离式	K56+487-K58+610	2123	5.00	15.50	-0.5%/773(960)/-1%1350(1690)

隧道区属于中纬度亚热带季风性湿润气候,四季分明,夏长冬短,年降雨量1300~2400mm,平均蒸发量1400mm。根据水文地质调查,现场地形起伏大,冲沟发育,主要受大气降水及基岩裂隙水影响,强降雨气候条件下,对山体坡面冲刷作用强烈。地下水位随季节变化会略有变化,即丰水季节水位略有上升,枯水季节水位略有下降,勘察期间,实测稳定水位埋深7.20~25.10m,季节性变化幅度约为3~5m。

2 虎头山隧道涌水量计算

隧道反坡排水方案设计过程中,涌水量计算的准确与否不仅直接影响到隧道的排水效果,还会引发隧道施工的安全、质量、进度等问题。此外,隧道涌水量预测结果很大程度受到地下水补给条件和隧道边界条件影响,因此不同水文地质边界条件的隧道需要选择不同的计算方法^[3]。根据《铁路工程水文地质勘察规程》(TB1049-2004),结合区域内水文地质条件和地形地貌特征,本隧道采用大气降水入渗法和地下水动力学法计算虎头山隧道正常和最大涌水量。

(1) 大气降水入渗法

虎头山隧道下伏基岩为泥盆系砂岩,裂隙较为发育,且穿过多条断层带,设计中IV、V级围岩比例占75%,地层岩性构造极易吸收大气降水,采用降水入渗法计算雨季正常涌水量:

$$Q = 2.74 \cdot \alpha \cdot W \cdot A \quad A = L \cdot B \quad (1)$$

式中:

Q —隧道通过含水地段正常涌水量 (m^3/d);

α —降水入渗系数,根据本区情况,取 $\alpha = 0.1 \sim 0.2$;

W —一年降水量,根据堪察区情况,取1101mm;

A —隧道通过含水地段集水面积 (Km^2);

L —隧道通过含水地段的长度 (Km);

B —隧道涌水地段 L 长度内对两侧的影响宽度 (Km)。

根据围岩级别、地形地貌及汇水面积对隧道分段计算,虎头山

降雨情况进行资料收集,根据水文地质资料,对隧道涌水情况进行分析论证,计算出虎头山隧道最大涌水量,并以此为依据,提出了一套合理的反坡排水方案,并取得了理想的排水效果。

1 工程概况

虎头山隧道位于广东省清远市,设计为左右分离式双洞隧道,左洞长2175m,右洞长2123m,按其长度分类属于长隧道。隧道设计总体走向 10° ,呈曲线型,最大埋深105m,设计为单面坡,进出口均为削竹式洞门。目前采用双端掘进施工,虎头山隧道主要设计参数见表1。

隧道正常涌水量为 $852 m^3/d$,最大涌水量为 $1136 m^3/d$ 。

(2) 古德曼经验法

隧道开工前,进行了洞身范围的钻孔抽水试验,结合区域水文地质资料,预测隧道围岩综合渗透性系数 $k = 0.033 \sim 0.05 m/d$,根据地下水动力学法估算隧道最大涌水量:

$$Q_0 = L \frac{2\pi KH}{\ln \frac{4H}{d}} \quad (2)$$

式中:

Q_0 —隧道通过含水地段最大涌水量 (m^3/d);

K —含水层渗透系数 (m/d),根据勘察情况取 $K = 0.033 m/d$;

H —静止水位至洞身横断面等价圆中心的距离 (m);

d —洞身横断面等价圆直径 (m);

L —隧道通过涌水体的长度 (m)。

经计算,虎头山隧道最大涌水量 $Q_0 = 6517 (m^3/d)$ 。

可以看出,两种计算方法得到的涌水量预测差异较大,主要因为大气降水入渗法计算适用于降雨补给为主、地下水蒸发较少的区域,并以长期水文观测资料为依据;古德曼经验法根据地下水动力学原理,建立在一定边界条件和初始条件的数学模型进行水量预测。设备选型时,为了能够达到排除最大水量效果,避免洞内长期积水现象发生,按照最大涌水量 $6517 m^3/d$ 作为虎头山隧道反坡排水涌水量设计依据。

3 虎头山隧道反坡排水分段施工设计

3.1 反坡排水基本原则

洞内施工排水不良会造成支撑基底下沉,开挖断面不易稳定,作业效率低下,隧道施工环境恶劣,道路泥泞,影响路面施工质量。所以为了保证反坡施工开挖面不积水,隧道底无水漫流,必须遵循以下原则:

(1) 洞内必须采取机械抽水。

- (2) 排水方式可根据距离、坡度、水量和设备情况选用排水管路或集水坑, 采取分段接力将水排出洞外。
- (3) 排水管断面和集水坑容积应按照实际水量确定。
- (4) 抽水机功率应大于排水量所需功率的20%以上, 并有备用抽水机。
- (5) 及时做好停电时应急排水准备工作, 并根据超前地质预报结果, 随时做好出现大量涌水时紧急排水准备工作。

3.2 反坡排水方案选取

虎头山隧道进口前 1400m 均为反坡施工, 坡度-0.5% (800m)、-1% (600m), 高差约为 10m, 考虑施工距离较长, 计划采用长距离管道配合小集水泵接力式反坡排水方案, 与其他方案相比, 该方案具有抽水泵数量少、操作灵活、经济适用的优势, 但水管按安装较长。

(1) 泵站级数的确定

泵站级数: $m = (L \times Z) / (h \times r)$; L-反坡抽水长度, L=1400m; Z-隧道排水坡度, Z=1%、0.5%;

h-水泵扬程, h=20.5m; r-压力折减系数, 取 0.3; 结果 $m=1.63$, 在施工中设 2 级泵站即能满足要求。

(2) 抽水泵数量的确定

抽水泵数量: $n = V / (v \times 24 \times a)$; V-洞内涌水量, 取 $V=6517.02\text{m}^3/\text{d}$; v-抽水泵排水量, $v=500\text{m}^3/\text{h}$; a-流量折减系数, 取 $a=0.9$; $v=500 \times 24 \times 0.9=10800\text{m}^3/\text{d}$; $V_{\text{总}}=v \times 1=10800\text{m}^3/\text{d} > 6517.02\text{m}^3/\text{d}$;

取每级泵站设 1 台 $500\text{m}^3/\text{h}$ 抽水泵, 可以满足排水要求。

(3) 抽水设备的确定

隧道反坡排水主要分两个阶段。第一个阶段为掘进未到达 2#人行横洞 (桩号 ZK57+000) 前, 此时为没有形成下一个固定的集

水井和泵站前的排水。第二个阶段为掘进到达约 ZK57+100 左右, 形成固定的集水井和泵站的排水。

第一阶段主要采用临时水泵和临时排水管。临时排水管数量应根据设计最大涌水量及现场的实际情况决定, 并配以临时水泵随掌子面移动。水管和水泵与掌子面应保持 30~50m 的距离, 保证掌子面在突发涌水的时候积水线不超过掌子面后退 30m 的距离; 同时在掌子面爆破时也可以减少对水管和水泵的破坏。掌子面处活动泵拟设置 WQ100-10-7.5 型潜水泵, 排水能力为 $100\text{m}^3/\text{h}$, 扬程 7.5m, 最多配置 6 台能满足要求 (用三备三)。

第二阶段为形成固定集水井和泵站之后的排水。此阶段可以分为两个过程: 第一个过程为掌子面到集水井泵站的排水, 第二个过程为泵站到上一个泵站或洞口的排水, 第一个过程按照最不利条件考虑, 高差为 6.8m, 配备的 WQ100-10-7.5 型潜水泵 6 台能满足要求; 第二个过程为水仓泵站建成后, 具有一定的积水能力。把掌子面的积水抽到固定的集水井, 当水仓的容量达到安全警戒线时, 再由水泵经正式排水管排到洞口, 集水井与隧道进口端高差为 2.7m, 拟配备 2 台 200WL500-20.5 型水泵 (一用一备), 水泵的额定流量为 $500\text{m}^3/\text{h}$, 额定扬程为 20.5m, 能满足施工要求。

综上所述本项目反坡排水掌子面端配备 WQ100-10-7.5 型潜水泵 6 台 (用三备三), 2 处集水井处配备 200WL500-20.5 型水泵 4 台 (用二备二)。

按最大涌水量考虑排水能力, 选用大流量、低扬程抽水泵, 设备分阶段投入。掌子面处活动水泵数量根据掌子面的水量配备, 集水井处水泵采用一用一备形式。

表 2 设备选型分析表

工区	设备	抽水能力	使用部位	数量	备注
左洞	200WL500-20.5	$500\text{m}^3/\text{h}$	集水井处	4 台	额定流量较大, 额定扬程较高, 多用于水量较大处。
	WQ100-10-7.5	$100\text{m}^3/\text{h}$	掌子面附近	6 台	灵活便携, 可随处移动, 多用于处理临时积水。
右洞	200WL500-20.5	$500\text{m}^3/\text{h}$	集水井处	4 台	额定流量较大, 额定扬程较高, 多用于水量较大处。
	WQ100-10-7.5	$100\text{m}^3/\text{h}$	掌子面附近	6 台	灵活便携, 可随处移动, 多用于处理临时积水。

3.3 反坡排水系统的布置

(1) 集水箱设置

设计集水箱尺寸 $4\text{m} \times 3\text{m} \times 3\text{m}$, 容量 36m^3 , 采用 5mm 厚钢板焊制, 设计的最大涌水量为 $6517 (\text{m}^3/\text{d})$, 则集水箱 5 分钟的蓄水量为 22.63m^3 , 设置的 36m^3 的集水井能满足排水需要。计划设置于 2#人行横洞 (桩号 ZK57+000) 和 4#人行横洞 (桩号 ZK57+510)。

(2) 排水管布置

正常施工排水采用 3 套管路: 2 套 $\Phi 200\text{mm}$ 无缝钢管 (一套检修备用, 一套日常使用); 1 套 $\Phi 50\text{mm}$ 消防软管 (工作面上移动积水)。无缝钢管采用法兰进行连接, 并设置 1 套 $\Phi 50$ 转 $\Phi 200$ 的变径接头。 $\Phi 200\text{mm}$ 无缝钢管, 流速按照 2.67m/s 计算, 每小时的过水量计算如下: $3.14 \times 0.1 \times 0.1 \times 2.67 \times 3600=301\text{m}^3/\text{h}$, 大于最大涌水 $271\text{m}^3/\text{h}$, 排水管满足要求, 第一阶段设置多条 $\Phi 50\text{mm}$ 消防软管将水抽至 $\Phi 200\text{mm}$ 的无缝钢管, 排出洞外:

第二阶段设置集水井由集水井水泵抽至洞外:

$\Phi 200\text{mm}$ 无缝钢管排水管道与掌子面达到 80m 的距离后开始安装, 集水井和泵站形成后, 立即进行水泵的安装、与排水管连接, 形成排水能力。考虑到排水管所受的自重及水的压力和重力, 排水管采用无缝钢管, 每节钢管下设置基座, 用焊接的方法连接牢固, 排水管坡度应与隧道的施工坡度相同均安装于隧道内侧边墙上。

3.4 洞外防排水措施

除在洞内布设排水系统外, 隧道洞口处也完善了相应的排水措施: 一是根据洞口水量, 设置了断面 $40\text{cm} \times 40\text{cm}$ 横沟, 并在沟顶加盖铁板, 做到排水和行车互不影响; 二是洞口附近设置了 $200\text{cm} \times 200\text{cm}$ 沉淀池; 三是按设计要求洞顶施做了 $60\text{cm} \times 60\text{cm}$ 截水沟, 确保洞内施工不受雨季降水影响。

3.5 反坡排水效果

虎头山隧道左洞掌子面施工至 K56+620 时, 遇到软弱破碎围

岩, 地下水外渗明显, 水体浑浊, 隧涌水量开始达到 $60\text{m}^3/\text{h}$, 现场及时对涌水量进行监测, 并及时采用 WQ100-10-7.5 抽水泵和临时排水管, 引排了掌子面周边涌水, 随着掌子面的掘进, 围岩完整性逐渐好转, 涌水量也逐渐减少。实际上, 设计涌水量远大于实际涌水量, 施工中, 未出现掌子面长期积水现场, 没有因反坡施工引起隧道安全、质量问题。

4 结论

综上所述, 本文根据虎头山隧道址区水文地质条件, 对虎头山隧道涌水量进行计算, 分析了涌水量预测差异的原因, 选择最不利涌水量作为设计依据, 结合反坡施工长度, 提出了长距离管道配合集水箱、抽水泵分段接力式反坡排水方案, 并结合了不同类型水泵特点和适用条件, 选择了满足现场排水要求的设备型号, 并在实际应用中取得了良好的排水效果, 可为类似工程提供参考。此外, 在隧道反坡排水中应注意加强超前地质预报管理, 施工前必须采用地质调查、超前钻孔、超前地质预报等综合手段, 探明掌子面前地质情况, 尤其是穿越大规模富水地段时, 务必提前采取引排及注浆加固措施, 保证施工安全。

参考文献:

- [1]薄飞. 云贵铁路小寨隧道反坡排水施工技术研究[D]. 西安: 西安交通大学, 2011.
- [2]张胜. 乌鞘岭隧道 6 号斜井工区反坡排水设计与施工[J]. 铁道标准设计, 2005 (09).
- [3]朱大力, 李秋枫. 预测隧道涌水量的方法[J]. 工程勘察, 2000 (4).
- 作者简介: 刘江 (1991-), 男, 安徽淮北人, 路桥工程师, 从事路桥施工管理工作;
- 刘哲 (1995-), 男, 广东广州人, 助理工程师, 从事路桥施工管理工作。