

# 冀北山区特长隧道强涌水斜井反坡排水技术探讨

## Discussion on Reverse Slope Drainage Technology of Strong Inrush Inclined Well in Extra-long Tunnel in Northern Hebei Mountainous District

李健

Jian Li

中交中南工程局有限公司 中国·湖南长沙 410000

CCCC Zhongnan Engineering Bureau Co., Ltd., Changsha, Hunan, 410000, China

**摘要:** 在长大隧道施工过程中,基于工期考虑,一般通过设置斜井来增加主洞工作面以加快施工进度。在主洞掘进过程中,由于地质情况的不确定性,可能会出现突水、涌水等突发状况,将严重制约隧道主洞施工进度,威胁施工人员的安全,增加施工成本。针对突水、涌水等突发状况,特长隧道斜井反坡排水技术可作为重要处理方法,该方法可以快速将大量涌水通过斜井排出洞外,大幅度降低突水、涌水影响,确保长大隧道掘进过程中的安全和进度。

**Abstract:** In the construction process of long tunnel, based on the consideration of construction period, the working surface of the main hole is generally increased by setting up a inclined shaft to speed up the construction progress. In the process of main cave excavation, due to the uncertainty of the geological situation, there may be sudden conditions such as water inrush and water inrush, which will seriously restrict the construction progress of the main tunnel tunnel, threaten the safety of construction personnel, and increase construction costs. In view of sudden situations such as water inrush and water inrush, the reverse slope drainage technology of the inclined shaft of the special long tunnel can be used as an important treatment method, which can quickly discharge a large amount of water outflow through the inclined well, greatly reduce the influence of water inrush and water inrush, and ensure the safety and progress of the long tunnel boring process.

**关键词:** 特长隧道; 强涌水; 反坡排水; 施工技术; 探讨

**Keywords:** extra long tunnels; strong water gushing; reverse slope drainage; construction technology; discussion

**DOI:** 10.12346/rb.v1i3.8393

## 1 引言

特长隧道强涌水斜井反坡排水技术,即隧道开挖顺坡施工,大量涌水顺坡汇聚至掌子面处,利用设备及时逆坡向斜井洞外抽排。充分运用特长隧道强涌水斜井反坡排水技术,可以有效降低涌水给特大隧道施工造成的影响,提升隧道施工功效,保障施工人员安全,排除施工不利因素。论文列举了冀北山区一个特长隧道工程,通过具体涌水情况分析并采取相应的斜井反坡排水措施,取得了良好的排水效果,保证隧道按期贯通,供大家探讨及借鉴。

## 2 工程概况

中国河北省张家口市某隧道起点位于怀来县金家口村

南,终点位于杏林堡村村南,该隧道为分离式特长隧道,隧道左幅 ZK14+850 ~ ZK20+453,长 5603m,隧道右幅 K14+865 ~ K20+462,长 5597m。斜井在隧道左幅桩号 ZK17+836 处进入主洞,通过横通道连接右幅,形成四个工作面,斜井长度 1.1km。

### 2.1 水文地质条件

地下水主要基岩裂隙水以孔隙潜水为主,基岩裂隙水主要赋存于节理裂隙发育带中,岩体破碎,有连通性,水力联系密切。地下水补给来源主要为大气降水入渗,地下水径流受地形影响较大,施工区地下水大方向向山脊两侧流动,局部节理裂隙发育且缺少向外连通区段,形成相对的富水区,初始水压较大,无统一的水力联系,多属紊流运动。

【作者简介】李健(1989-),男,中国北京人,本科,工程师,从事长大隧道斜井反坡排水技术研究。

## 2.2 施工期涌水情况

斜井进入隧道主洞施工时,按设计最大涌水量配备的资源进行抽排水工作,随着作业面不断掘进,洞内涌水已远超设计最大涌水量,前期配备的资源已无法满足洞内实际抽排水需要,造成大量涌水汇集作业面,严重影响隧道正常施工。

在作业面施工至 ZK18+245 时,掌子面围岩以中风化花岗岩为主,岩质较坚硬,岩体较完整呈大块状,节理面无蚀变物结合程度高。作业面出现大量涌水,涌水量达 8000m<sup>3</sup>/d。项目经理部立即组织相关人员,调配资源,加大人力、抽水设备和电力设备投入,经过 4 天奋战,终将汇集的涌水排出洞外,作业面得以正常施工。

根据设计涌水量计算表,ZK18+245 处于 K18+220 位置,该处分段涌水量为 57.7m<sup>3</sup>/d,按正常涌水量的 3.5 倍计算最大涌水量为 201.95m<sup>3</sup>/d,实际涌水量 8000m<sup>3</sup>/d 远大于设计涌水量。

因此,在制定抽水措施时,以本次涌水量的 3.5 倍为最大涌水量取值,即 28000m<sup>3</sup>/d,需要增加相应的抽水设备和电力设备<sup>[1]</sup>。

## 3 斜井排水总体方案

在斜井与正洞交叉位置设置一级泵站,通过一级泵站把正洞内所有水源排至洞外。一级泵站处设置一个 20m<sup>3</sup>集水坑,3 个 20m<sup>3</sup>水箱(水箱之间联通);一级泵站配置 8 台 185kW 双吸离心泵、4 台 90kW 隧道专用耐磨合金泵。一级泵站总排水量为 1400mm<sup>3</sup>/d,一天总排水量 33600m<sup>3</sup>,能够满足现有排水需求。

斜井三岔口至小桩号方向施工掌子面,为反坡排水,采用机械排水形式,掌子面水源由潜水泵抽至中间移动泵站,移动泵站接力排水汇集至三岔口,由一级泵站集中排出;

斜井三岔口至大桩号方向施工掌子面,为正坡排水,通过软管排水至二次衬砌后地面,再由正坡地面自然流水,汇集至三岔口,由一级泵站集中排出<sup>[2]</sup>。

### 3.1 作业班组配置情况

作业班组配置情况如表 1 所示。

表 1 作业班组配置

施工班组	职务	工作内容	人数	备注
斜井反坡排水班组	班长	负责排水班组人员管理、调配工作	2	昼夜各 1 人
	维护电工	负责施工现场电路检修	4	昼夜各 2 人
	设备安装工	负责设备、管道安装	10	
	设备检修工	负责设备检修、保养	8	昼夜各 4 人
	工作面操作员	负责掌子面抽水管理	30	昼夜各 15 人
	杂工	负责设备组装、调运,场地打扫	12	昼夜各 6 人
	采购员	负责设备及零件采购	2	
	司机	负责洞内人员和设备运输	2	
	后勤	负责物资保障	1	
		总计		71

### 3.2 泵站配置情况

泵站配置情况如表 2 所示。

### 3.3 排水管配置情况

根据松山隧道可能出现最大排水量 28000m<sup>3</sup>/d 计算。斜井内反坡排水采用无缝钢管,正常排水时,其流速为 4.0m/s。排水管直径 d 的选取应考虑含有一定的扩大系数的隧道昼夜涌水量,同时结合安全和经济等方面考虑,即:

$$d = \sqrt{4Q/\pi V_p}$$

式中:Q——管流量 m<sup>3</sup>/s;

V<sub>p</sub>——管道允许流速 m/s,取 4.0m/s;

当日最大涌水量 Q=1602.3m<sup>3</sup>/d=0.0185m<sup>3</sup>/s。

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 0.243}{3.14 \times 4}} = 278.2\text{mm}$$

由上式可知,在正常排水时,流速取 4.0m/s 时,d=278.2mm。排水管直径需要 280mm 才能满足排水。

因此,配置 1 道 φ300mm 钢管、2 道 φ200mm 钢管和 1 道 φ165mm 钢管,满足排水需求。

### 3.4 扬程验算

水泵的配置需要考虑抽水高差和水头损失,实际需要扬程=斜井排水高程+水流摩擦产生的水头损失。

斜井排水高程=92.7m,水流摩擦产生的水头损失采用下面公式计算:

$$\lambda \frac{L V^2}{d_j 2g}$$

式中:λ——水管摩阻系数(考虑污水取经验参数为 0.024);

L——水管长度(取 1099.146m);

d<sub>j</sub>——水管内径(取 280mm);

V——管内流速,取 1.5m/s;

g——重力加速度,取 10m/s<sup>2</sup>。

水泵的配量如表 3 所示。

一级泵站配置的水泵满足扬程要求,如表 4 所示。

表2 泵站配置

各级泵站	水泵配置	功率	数量	参数	安装位置	水泵使用数量说明
1# 固定泵站	卧式单级双吸离心泵	185kW	8	流量 300m <sup>3</sup> /h, 扬程 119m	三岔口	水泵现场用 6 备 2 (损耗不计在内)
	自吸泵	90kW	4	流量 100m <sup>3</sup> /h, 扬程 150m		水泵现场用 1 备 3 (损耗不计在内)
	潜水泵	15kW	10	流量 200m <sup>3</sup> /h, 扬程 9m		水泵现场用 5 备 5 (损耗不计在内)
1# 移动泵站	卧式离心泵	45kW	3	流量 380m <sup>3</sup> /h, 扬程 28m	1# 掌子面二衬后	水泵现场用 2 备 1 (损耗不计在内)
2# 移动泵站	卧式离心泵	45kW	3	流量 380m <sup>3</sup> /h, 扬程 28m	2# 掌子面二衬后	
3# 移动泵站	卧式离心泵	45kW	3	流量 380m <sup>3</sup> /h, 扬程 28m	横通道左洞交叉处	
0# 移动泵站	卧式离心泵	45kW	2	流量 380m <sup>3</sup> /h, 扬程 28m	备用	移动泵站移动时交替使用
1# 掌子面潜水泵	潜水泵	15kW	5	流量 200m <sup>3</sup> /h, 扬程 9m	1# 上导掌子面处	水泵现场用 3 备 2 (损耗不计在内)
	潜水泵	15kW	5	流量 200m <sup>3</sup> /h, 扬程 9m	1# 下导掌子面处	
2# 掌子面潜水泵	潜水泵	15kW	5	流量 200m <sup>3</sup> /h, 扬程 9m	2# 上导掌子面处	
	潜水泵	15kW	5	流量 200m <sup>3</sup> /h, 扬程 9m	2# 下导掌子面处	
3# 掌子面潜水泵	潜水泵	15kW	5	流量 200m <sup>3</sup> /h, 扬程 9m	3# 上导掌子面处	
	潜水泵	15kW	5	流量 200m <sup>3</sup> /h, 扬程 9m	3# 下导掌子面处	
4# 掌子面潜水泵	潜水泵	15kW	5	流量 200m <sup>3</sup> /h, 扬程 9m	4# 上导掌子面处	
	潜水泵	15kW	5	流量 200m <sup>3</sup> /h, 扬程 9m	4# 下导掌子面处	

表3 水泵的配量

序号	管道直径	管内流速	H1 斜井排水高程	H2 水头损失	H 扬程 =H1+H2
1	300mm	1.5m/s	92.7m	10.1m	102.8m
2	200mm	1.5m/s	92.7m	15.2m	107.9m
3	150mm	1.5m/s	92.7m	20.2m	112.9m

表4 一级泵站配置的水泵

序号	管道直径	水泵	扬程	要求扬程	是否满足
1	300mm	185kW 双吸离心泵	119m	102.8m	满足
2	200mm	185kW 双吸离心泵	119m	107.9m	满足
3	150mm	90kW 隧道专用耐磨合金泵	150m	112.9m	满足

#### 4 双回路供电安全技术措施

①所有双回路供电的高压主受开关、联络开关必须悬挂“双回路供电，小心返电”的警示牌。②因检修或故障原因，双回路供电线路切换到单回路电源供电时，一般情况下应采取不间断供电倒闸操作，倒闸操作完成后，分断需检修的供电线路主受开关，拉开隔离开关，闭锁挂停电牌。③双回路分列运行的变电所、主运皮带机等大功率负荷，因故障切换到单回路运行时，变电站值班员要时时观察单回路供电线路运行电流值，不能超过线路最大长时运行电流值。如果超过时，变电站值班员需要及时通知调度，联系相关单位减负荷运行。④在双回路供电线路上进行检修作业时，必须指定熟悉供电系统的安全负责人统一指挥停送电检修作业。在安全技术措施中必须明确供电线路的检修停电范围、双回路供电

方式，各开关分合状态，停电的开关及返电的开关必须分闸、闭锁挂牌，安排专人看护。⑤洞口变电站和洞内中央变电所的高压电线上，必须装具备选择性的单相接地保护装置；洞内变电所的高压电线上，必须装具备选择性的动作于跳闸的单相接地保护装置。对具有实验功能的高压接地选线装置，必须对高压保护装置的运行情况进行至少每月一次跳闸试验。专职电工要对各类型的高压接地选线功能安排试验组进行定期试验<sup>[3]</sup>。

#### 5 突水应急排水措施

①突遇涌水后将所有水泵及排水管开启，满负荷工作。②如所有水泵开启后未能及时将水排水洞外时，采用临时增加设备用水泵+消防软管将掌子面的水抽至临时泵站后排

查洞外。③改造高压风管、水管,将水泵连接至高压风管、水管上,遇到较大涌水时通过风水管排至洞外。

## 6 在洞口外加强防水、防淹措施

①对斜井洞口附近的水流及地势情况加以调查,调查应包括附近的河道、溪流、水文地质情况以及地势的起伏等。对洞口 100m 范围以内可能对隧道施工造成影响的河道溪流进行重点监测。在雨季加强监控,安排专人值班,及时掌握汛情。制定详细的应急预案,包括预警机制、响应程序、应急措施等,以应对可能出现的洪涝灾害。在洞口外增加防洪措施,如修建防洪堤、设置排水系统等,以降低山洪倒灌进洞的风险。储备必要的防洪物资,包括沙袋、临时堤防材料、应急排水设备等,以备不时之需。在必要时封堵洞口,以防止山洪倒灌进洞。封堵措施应考虑到工程安全、洞口结构以及环境影响等因素。②对斜井洞口上方的山坡、山谷等地貌情况加以调查,分析可能存在的积水区域,特别是隧道洞口中游的山谷。在雨季加强对洞口上方的监测,观察坡顶的积水情况,及时发现可能出现的堰塞湖及“洞顶湖”。设立专门的监测人员,配备专业的测量设备和预警装置,对积水情况进行实时监测和数据记录。制定应急疏导方案,包括设置临时排水沟、开挖导流槽等措施,及时排放积水,防止形成大规模的堰塞湖或“洞顶湖”。③加强天气预报观测工作,如遇暴雨天气提前将人员、机械转移至安全区域。④雨季来临之前安排主管领导 24 小时值班,发现险情后及时封闭洞门并组织人员撤离。

## 7 应急预案

### 7.1 预防措施

①技术人员首先查阅设计图纸及相关地质资料,通过分析地质和地下水系的发育情况,标注需要特别关注的地方,在预计有大量地下水的地方,提前设置排水系统或者加强隧道结构的稳定性。②为防涌水等不可见因素影响,首先做好超前地质预报工作,包括地震波地质探测仪、声波反射法、地质雷达及红外探水等综合物探手段,对特殊地质情况进行预测预报。施工中应做好常规地质工作,进行掌子面地质素描,判定围岩级别、地质构造,预测前方地质条件,赋水特征,必要时进行岩性取样分析,30m 探孔取样等,一旦发现异常情况,立即进行处理。其次,按方案要求配备足够功率的水泵,做好预防准备,不间断抽水。③在现有排水系统上增设了一套设备和管路是预防突发情况的重要手段,额外的设备和管路能够提高排水系统的容量,使得系统在面临突水、涌水等紧急情况时能够迅速应对,降低潜在的风险。④根据地质预报结果,在危险程度较高的地段,可以设置止浆墙,通过封堵涌水通道,防止涌水对隧道施工的影响。止浆墙的设计和施工应考虑到地质条件和隧道结构等因素,以确保其稳定性和有效性。⑤斜井洞口做好地表截水。⑥隧道开挖过程中设专职安全员,随时观察岩壁和岩缝,如有险情则及时

排除或撤离。⑦在发现突泥涌水的先兆时,最重要的是确保人员安全。因此,现场值班人员应该立即组织人员和机械迅速撤离危险区域。在撤离的同时,还应做好安全防护工作,例如在洞外设置沙袋,防止突泥涌水涌出洞外,对洞外机械设备造成损坏。⑧打眼时司钻人员注意钻进的速度及声音,发现异常时及时总结并报告值班领导。爆破前通知人员撤离掌子面,并密切关注响炮后掌子面变化。

### 7.2 应急处理措施

①在出现突水、涌水等突发事故时,及时关闭高压水闸阀,切断高压供水,然后打开排水闸阀进行应急抽排。在特殊情况下,可以将高压风管改造利用作为排水管道,提高设备的利用率,同时增强隧道施工在面对突发情况的应对能力。在隧道内作业区放置救生衣,可以在紧急情况下提供必要的救生设备,保障人员的生命安全。同时,保持隧道内通信畅通,可以及时传递信息和指令,有利于指挥和协调应急救援工作。②当隧道施工中发生人员伤亡时,紧急抢险方案应立即启动。救援工作的首要目标是尽快救治受伤人员,救援人员需要立即行动,确保救援工作的及时性和有效性。在救援过程中,救援人员需要时刻确保自身的安全。③在抢救出伤员后,根据伤员的人数和受伤程度,医务人员需要在现场采取相应的急救措施,优先将伤情较重的伤员送往医院进行进一步的抢救和治疗。④通过现场设置警示标志、警示灯、隔离栏等方式提醒他人误入危险区。⑤按照相关规定和程序,及时向上级机关或相关部门报告事故情况。同时,应根据现场情况采取必要的措施,如保护现场、协助救援等,确保事故得到妥善处理。

## 8 结语

综上所述,在特长隧道斜井强涌水反坡排水施工中,采用了多级排水的方式,利用固定泵站与移动泵站相结合,将工作面涌水排出洞外。在施工过程中,为了应对意外情况,需要超配一定数量的备件,以确保泵站和排水设施的正常运转。这些备件应该包括各种易损件和关键部件。此外,应安排具备相关技能和经验的专业人员负责排水施工,及时发现和处理问题,确保排水设施运行良好,满足隧道斜井反坡排水的要求。最后,为了保障隧道施工的安全,需要采取一系列措施,如加强排水设施的维护和检修、设置安全警示标志、提供安全防护设备等。这些措施可以降低排水设施故障的风险,减少安全隐患,保障隧道施工的顺利进行。

### 参考文献

- [1] 张旭辉.长距离大坡度强涌水斜井反坡排水技术[J].铁道建筑,2017,57(10):74-77.
- [2] 廖君.公路隧道斜井反坡排水技术原理及施工方案[J].建材与装饰,2016(49):252-253.
- [3] 奚成.青云山隧道一号斜井反坡排水优化施工研究[J].铁道建筑技术,2015(12):83-85.