

# 关于水利工程隧洞施工中常见问题的处理措施探讨

冯志远

中水珠江规划勘测设计有限公司

**[摘要]**通过分析水利工程隧洞施工中主要常见问题,提出了必须执行施工规范和施工图相关要求,并从开挖及支护施工工艺、混凝土配合比设计、模板设计等多面采取处理措施,才能保证施工过程中安全并获得令业主满意的高质量隧洞工程。

**[关键词]**水利工程;隧洞施工;常见问题;处理措施

**【DOI】** 10.12252/j.issn.2096-6261.2020.03.117

## 1 前言

近年来我国在水利工程方面的投资在逐步增加从“十二五规划”2万多亿,到“十三五规划”3.58万亿,为解决水资源配置、农村饮水、抗旱等问题,国家投资兴建了一批水源工程,水源工程的兴建多数都离不开导流隧洞、引水隧洞等隧洞工程的施工,在追求“高质量”发展的今天,对隧洞施工安全和结构安全有了更严格的要求,还对工程外观和耐久性提出了更高的要求。

改革开放40多年,我们国家基础设施建设包括公路、铁路、市政、水利等达到了一个发展非常快的阶段,随着社会的发展、施工技术的进步、施工机械设备的更新,加上我国大量隧洞工程施工经验的积累,隧洞施工技术已相当成熟。但由于隧洞施工存在其特殊性和复杂性,在缺乏资源,施工条件有限,结构物体积相对较小的水利隧洞施工过程中依然存在亟须解决的常见的施工技术问题。

广西王岗山水库工程导流隧洞,采用3.0m×4.0m的城门洞形断面,衬砌厚0.3m,洞身段长374.5m。导流隧洞洞内仅为III类、IV类及进出口段V类围岩;输水洞洞身为有压隧洞型式,断面为圆形洞,洞体直径为2.0m,采用C25钢筋混凝土衬砌,衬砌厚0.3m,洞身长246.3m;隧洞进出口段岩体完整性较差,属V类围岩。洞身段为弱风化岩石,完整性较好,以IV类围岩为主

册亨水库工程册亨隧洞平面长1317.2为有压圆形洞,洞径1.8m。洞身一期支护喷10cm厚25混凝土,围岩破碎段,加设钢拱架及系统锚杆。永久衬砌采用40cm厚C25;引水放空隧洞为圆形有压洞,总长414.3m,洞径为2.0m,采用40cm厚C25钢筋混凝土衬砌,洞身通过岩性为中厚层砂岩夹泥岩,洞身段围岩以III类为主,成洞条件较好,进出口段围岩以IV、V类为主。

册亨县者岳水库工程隧洞为导流和取水共用,隧洞长319.74m断面形式为内径2.5m的圆形隧洞,后变更为城门洞形:顶部圆拱内径为2.5m,中心角180°,隧洞宽×高=2.5×2.5m。隧洞导流期间为有压隧洞,运行期间采用无压隧洞内铺设钢管进行取水和放空。钢管管径为1.0m。隧洞洞身段通过岩层为弱~微风化细砂岩夹泥质粉砂岩,局部为泥质粉砂岩或细砂岩与泥质粉砂岩互层。

兴义市引黄入木工程输水建筑物为无压输水隧洞,全长3719.6m,断面采用城门洞型式,衬砌尺寸为1.6m×1.9m,隧洞经过岩溶发育区,突涌水(泥)和围岩稳定问题突出,循环进尺过程中掌子面涌水量较大,稳定涌水量实测为10L~12L/s,遇强降雨天气涌水问题更为突出淹没隧洞,对隧洞施工影响较大。施工过程中编制并执行了隧洞涌水专项方案。

笔者有幸参与或参观过上述项目的建设过程,故此对水利工程隧洞施工中常见问题进行了分析总结,结合现场施工过程中采用的优秀处理方法,对相关技术措施进行了探讨。

## 2 水利工程隧洞施工中易出现的问题及原因分析

### 2.1 塌方、超挖

隧洞为地下工程,地下环境复杂,施工空间有限,设计阶段地质勘察往往无法百分百查明地质情况,施工时若不采取一些技术措施,极易容易造成超挖或者塌方。发生超挖或者塌方的原因有多种,概括起来可归结为自然因素和人为因素:

**自然因素:**隧洞地质条件复杂,若遇到断层破碎带、各种松散堆积体、岩层软硬相间或有软弱夹层的岩体,长期受地下水浸泡或冲蚀的岩体,经过扰动后容易发生局部或大规模坍塌,坍塌程度较轻时可能会造成洞内超挖,后续混凝土衬砌施工时需要额外增加施工成本,严重时甚至会危及洞内施工作业人员生命安全。

**人为因素:**施工时忽略了围岩的变形规律,采取的观测措施不到位,施工方法与地质条件不相适应,地质条件变化时没有及时改变施工方法,爆破装药量太大,支护不及时工序失衡,盲目加快掘进速度等都会给隧洞埋下超挖、坍塌现象发生的隐患。

### 2.2 通风、照明存在安全隐患

隧洞施工非露天作业,洞内空间有限,空气没办法循环流通,施工过程中工人呼吸消耗大量氧气,洞内钻孔、出渣等施工作业易产生粉尘,还有可能存在的有毒气体,若通风设备不足会让人面临窒息或者中毒风险。施工过程中还会有地下水从岩缝中流出,环境潮湿,若用电不当则会容易造成人员触电伤亡。特别是施工长度较短的隧洞时,施工管理人员往往会存在侥幸心理,认为施工时间相对较短,隧洞长度较短洞内氧气充足能满足需求,现场管理人员、工人经验丰富,无需设置通风设备不会出现险情,照明用电电压也不按国家强制性条文实施,还能节省成本。而危险情况往往就会在此时出现。

### 2.3 衬砌麻面、蜂窝、空洞

造成这类问题的原因有很多,在此可简单归纳为:

1. “窝气”,水利工程引水隧洞多为圆形,还有一部分为马蹄形,混凝土浇筑时,多数通过地泵从拱顶输送混凝土入仓,此时圆底部两侧容易产生气泡,若浇筑速度过快,振捣时气泡不易排除,常常会附着在模板表面,拆模后见到大片深度2~3mm浅麻坑,隧洞进出口渐变段底部弧形区域,拱顶弧形部位同样容易出现该情况;

2. 混凝土浇筑时,地泵距离仓面较远导致地泵压力损失或选用地泵功率不足,仓面拱顶侧面未设置通气孔仓内形成

密闭空间压力大，致使混凝土无法输送至拱顶，拆模后常见拱顶大面积空洞。

3. 未合理设置，数量充足的振捣设备，混凝土入仓后无法受到充分振捣

4. 施工仓面大，若组织不力、工作无条理、责任不清晰人员互相推诿或互相等靠，容易造成漏震。

#### 2.4冷缝薄弱带、错台

1. 冷缝薄弱带：因施工仓面较大，混凝土从底部缓缓上升但浇筑过程中模板处于全封闭状态，无法及时观察到内部混凝土情况并采取应对措施，若层间间歇时间过长，则有可能形成冷缝。有时下层混凝土虽然未达到初凝，但因间隔期混凝土表面泌水或胶凝材料中比重小的掺合料上浮，造成接缝处水灰比变大，混凝土性质不均匀而形成薄弱带。这种情况拆模后可见明显痕迹，严重时地下水会通过此处渗出，泵送混凝土砂率相对较高，坍落度大，会出现骨料下沉、砂浆上浮，在层面形成无骨料的砂浆层，也会形成薄弱带。另外拱顶与侧墙有时会采取分仓施工的方法，若结合面未按设计要求、规范要求进行处理也会形成冷缝薄弱带。

2. 错台：错台出现的主要原因是模板局部或者整体刚度不够，安装模板时没有锁紧固定，留有间隙，浇筑至上层混凝土时，模板侧压力增大，模板容易发生位移或变形，此时下层混凝土已经振捣密实甚至初凝，在两层间出现错台

### 3 保证施工安全及施工质量应采取的措施

#### 3.1开挖及初期支护

1. 隧洞开挖时应应对地质条件、隧洞断面大小、支护措施、施工条件、经济性等相关因素进行综合分析后，采用恰当的开挖方法，尤其应与支护措施相适应。水利工程隧洞常见的开挖方法有全断面、台阶法、环形开挖留核心土法、中隔壁法、交叉中隔壁法、双侧壁导坑法。

2. 在隧洞断面较小的水利工程隧洞施工中常采用全断面法通过预裂爆破或者光面爆破，对隧洞进行开挖，可减少对围岩的扰动，开挖后尽量利用围岩的自承能力，发挥自身支护作用。若隧洞围岩为IV类也可采取超前锚杆、超前管棚、超前小导管、超前预注浆等措施加固后在进行全断面法施工

3. 洞内每一循环开挖结束后应及时对暴露的围岩进行初期支护，以便控制围岩的变形与松弛，常见的初期支护由挂钢筋网、喷射混凝土、格栅/型钢拱架、拱部中空锚杆和边墙砂浆锚杆等组成。

4. 洞口开挖前应注意对洞口岩体稳定性进行分析，确定开挖方法、支护措施和洞口边坡加固方案，洞口削坡应自上而下分层进行，洞脸面开挖前应对开挖范围外影响安全的危石进行处理，设置排水设施，洞脸上方还应设置防护网或拦石栏栅。

5. 隧洞在循环进尺过程中可采用TSP地质雷达、红外探水，超前水平钻探、时域顺便电磁预报等物探手段，查探前方围岩情况和地下水情况，根据地质变化情况及时采取应对措施，施工过程中还要及时进行变形量测，发现异常立即处理。还应加强洞内排水措施防止洞内积水诱发其他安全隐患。

#### 3.2用电通风

1. 地下洞室在开挖过程中洞内氧气体积不应少于20%，有害气体和粉尘含量应符合相关规定，施工过程中要对

粉尘及有害气体含量进行监测，同时设置通风设备加强洞内通风。

2. 洞内施工不应使用汽油机械，使用柴油机械时，宜加设废气净化装置。柴油机械燃料中宜掺添加剂，以减少有毒气体排放。

3. 洞内电力起爆主线应与照明及动力线分两侧架设。

4. 隧道属于特殊场所其照明电源电压不应大于36V。

#### 3.3混凝土配合比设计

隧洞混凝土配合比设计应主要考虑如下方面：1. 选用保水性好、减水率高的外加剂，2. 混凝土坍落度在满足运输和浇筑的前提下应尽量小。泵送混凝土坍落度易控制在120-140mm的范围。

#### 3.4模板

1. 模板选用：大断面水工隧洞施工多数采用钢模台车施工，其具有结构可靠、操作方便，衬砌速度快，成型面好，施工速度快等优点，但对于隧洞断面较小、长度较短的隧洞钢模台车显得成本较高，受限于断面尺寸，钢模台车有可能无法正常施工。采用普通模板时，模板自身变形不超标准，模板的刚度及脚手架的支撑强度要满足施工要求需搭设满堂脚手架，还应具备拆装方便、等位准确，接缝间隙小，混凝土入仓、振捣和检查方便等优点。

2. 模板安装：模板安装应精心施工，确保隧洞轴线不发生偏移还需按要求预留足够保护层。模板安装完毕后要彻底检查紧固螺栓、卡扣，避免在浇筑过程中发生错位变形。

3. 板缝处理：为避免板缝漏浆，可在接缝处填充发泡胶，或采用足够厚度橡胶条粘在板缝处，安装模板时将其紧压在一起可起到防止漏浆作用。特别是在施工渐变段时更应注意板缝处理

#### 3.5浇筑

浇筑环节是影响二衬混凝土质量的关键，必须采用有效的工艺方法，精心控制，才能保证混凝土质量。

1. 入仓：泵送混凝土入仓前，应先输送少量水泥浆或砂浆充分润滑管道，同时检查管路有无连接不到位、渗漏等情况，降低浇筑间歇期管路堵塞的风险，同时管路不宜过长，以免造成远端出口压力损失，混凝土无法正常入仓，还应控制混凝土入仓速度，使仓内混凝土缓慢均匀上升。

2. 振捣：一般采用附着式振捣器为主，插入式振捣器为附的方法进行振捣，钢筋较为密集，模板边缘、止水处不容易振捣密实，可通过在该处模板预留小窗口放入插入式振捣器进行振捣。应避免过振，避免混凝土分离。

### 4 结语

水利工程隧洞施工中常见问题的处理措施在工程实践中多种多样，采用相关方法时要把握核心问题，多方面多种措施互相配套实施，才能保证施工过程安全并建设出高质量隧洞工程。在今后的此类工程施工中，要不断总结经验，不断实践，与时俱进，建设出更多的优质工程。

#### 参考文献

- [1] 赵伟. 引水隧洞TBM开挖施工质量控制及问题处理对策探究[J]. 华东科技: 学术版, 2017(6): 1..
- [2] 王邦枕. 水工隧洞开挖中的问题及处理措施[J]. 陕西水利, 2016, (S1): 80-82.