

# 论“新奥法”在复杂地质隧洞室中的工艺创新

## On the Technological Innovation of New Austrian Method in Complex Geological Tunnel

陈照

Zhao Chen

中国电建集团海外投资有限公司 中国·北京 100048

China Power Construction Group Overseas Investment Co., Ltd., Beijing, 100048, China

**摘要:** 导流洞围岩主要为弱风化下带和上带~新鲜岩体和弱风化上带岩体。围岩以Ⅲ类围岩为主,其次为Ⅳ类和Ⅴ类围岩,Ⅲ1类围岩约占64%,Ⅲ2类围岩约占4%,Ⅳ类围岩约占27%,Ⅴ类围岩约占5%,其中断层8条,穿过2条冲沟,而6号冲沟的山梁部位埋深约为10m~20m,地下水丰富。阐述本工程按“新奥法”程序和工艺施工,从而保障了导流洞安全、质量、超前、高效完成。

**Abstract:** The surrounding rocks of the diversion tunnel are mainly weakly weathered lower zone and upper zone ~ fresh rock mass and weakly weathered upper zone rock mass. Surrounding rocks are mainly Surrounding rocks III, followed by Surrounding rocks IV and V. Surrounding rocks III1 accounting for about 64%, Surrounding rocks III2 accounting for about 4%, Surrounding rocks IV accounting for 27%, and surrounding rocks V account for about 5%, with 8 interrupted layers passing through 2 gullies, and the buried depth of the gullies of No. 6 gully is about 10m to 20m, with abundant groundwater. It is stated that this project is constructed in accordance with the procedures and techniques of “New Austrian Tunnelling Method”, thereby ensuring the safe, qualified, ahead of and efficient completion of the diversion tunnel.

**关键词:** 导流洞; 新奥法; 工艺; 创新

**Keywords:** Diversion Tunnel; New Austrian; Tunnelling Method; Craft Innovation

**DOI:** 10.36012/etr.v2i9.2681

## 1 工程概况

南欧江七级水电站位于老挝丰沙里省境内,以发电为主,工程等别为一等大(I)型工程,最大坝高约143.5m,总装机容量210MW(共两台机组),正常蓄水位635m,对应库容 $16.94 \times 108\text{m}^3$ ,死水位590m,相应库容 $4.49 \times 108\text{m}^3$ ,调节库容 $12.45 \times 108\text{m}^3$ ,具有多年调节性能。

七级电站导流隧洞位于右岸,断面型式为城门洞型,洞身最大断面尺寸为 $12.9\text{m} \times 15.9\text{m}$ (宽×高),进口底板高程为509.80m,洞长865.00m,隧洞底坡为 $i=0.237\%$ ,出口底板高程为508.43m,其中桩号D0+766.889m~D0+865.00m为明洞段。进口明渠长约31m,末端设进水塔,进水塔尺寸为 $18\text{m} \times 16\text{m}$ (长×宽),塔顶平台高程为543.00m,高

约32m。出口明渠长100.229m,左侧为重力式挡墙,右侧为贴坡式混凝土。

## 2 地质情况

导流洞地段地层岩性主要为长石石英砂岩夹粉砂质泥岩,导0+627.995m下游为粉砂质泥岩,第四系覆盖层厚度一般 $< 5\text{m}$ ,出口段厚度较大,约 $10\text{m} \sim 13\text{m}$ 。自上游至下游发育Ⅲ级断层、顺层小断层、挤压面(带)和层理发育。强风化岩体底界垂直埋深一般 $5\text{m} \sim 40\text{m}$ ,其中导流洞进口和6号冲沟下游部位强风化岩体厚度较大,弱风化上带岩体底界垂直埋深为 $30\text{m} \sim 100\text{m}$ ,其中4号、6号冲沟之间的山梁部位较浅,而弱风化下带岩体底界的垂直埋深为 $55\text{m} \sim 115\text{m}$ 。地下水位埋深 $45\text{m} \sim 90\text{m}$ ,其中6号冲沟

**【作者简介】** 陈照(1983~),男,中级工程师。电子邮箱:632363923@qq.com。

部位埋深较浅,为 10m ~ 20m。围岩主要为弱风化下带~新鲜岩体,Ⅲ 1 类围岩约占 64%,Ⅲ 2 类围岩约占 4%,Ⅳ 类围岩约占 27%,Ⅴ 类围岩约占 5%。

### 3 “新奥法”基本原则

“新奥法”理论的核心有以下两条:

3.1 “新奥法”理论强调隧洞的主要承载部分是围岩,衬砌与围岩是一个整体化的结构。

3.2 围岩原有的抗力必须尽可能得到保持,防止围岩松弛,一旦围岩松弛,岩块间的摩擦力下降,岩体强度就下降。因此要求开挖后尽快形成一封闭环,以利围岩的稳定。大断面软弱围岩开挖支护可归纳为以下施工原则:预注浆、管超前、环开挖、短进尺、强排水、紧封闭、强支护、勤观测<sup>[1]</sup>。

### 4 隧洞施工总程序

根据导流隧洞设计开挖断面及支护参数,结合导流洞地质情况,导流隧洞分 2 层进行施工,导流隧洞施工程序安排主要考虑以下几个要点:

4.1 导流隧洞 1# 施工支洞上层开挖支护及与主洞锁口施工完成后,分别向上、下游方向进行导流隧洞 I 层 0+010m ~ 0+386.889m 段洞身的开挖支护施工。导流隧洞 2# 施工支洞上层开挖支护及与主洞锁口施工完成后,分别向上、下游方向进行导流隧洞 I 层 0+386.889m ~ 0+766.889m 段洞身的开挖支护施工。

4.2 导流隧洞上层开挖支护完成后,调整两条施工支洞坡比,降至导流洞底板高程,同上层一样的顺序范围,进行导流洞 2 层开挖支护。

4.3 导流隧洞 I 层进、出口 10m 段(根据地质条件确定),安排在进、出口明挖分别达到进、出口 I 层高程后,从洞内向洞外开挖。

### 5 开挖、支护工艺创新

#### 5.1 常规断面段开挖

为了保证施工安全,支洞与主洞衔接部位设锁口锚杆,支洞段锁口参数:锁口锚杆( $\Phi 25$ ,  $L=4.5m$ , 间距 0.1m),梅花型布置,第一排锁口锚杆距开挖设计轮廓线 0.5m。洞口 5m 范围设 I16 工字钢,间距 0.75m。导流隧洞分两层进行开挖支护,上层开挖高度 7.5m,下层开挖高度

5.3m ~ 5.7m,根据不同的围岩类别采用不同的开挖方式:

5.1.1 导流隧洞上层开挖:Ⅲ 类围岩洞段采用钻架台车配手风钻钻爆法作业,全断面进尺,设计轮廓线光面爆破,排炮进尺 3.0m,Ⅳ 类围岩洞段根全断面开挖,排炮进尺 2.0m;Ⅴ 类围岩及不良地质洞段采用超前注浆小导管支护,中导洞先行,扩挖更进,循环进尺 1.0m。

5.1.2 导流隧洞下层开挖:采用手风钻水平造孔,边缘轮廓线进行光面爆破,上下游分两个工作面同时作业。

5.1.3 开挖爆破循环设计:根据导流隧洞地质条件及岩性、技术规范要求、开挖方法及以往施工经验,采用孔间微差爆破技术,轮廓线采用光面爆破。爆破设计遵循“短进尺、弱爆破、少扰动”的原则进行。Ⅲ 类围岩洞段 3.0m,Ⅳ 类围岩洞段 2.0mm,不良地质洞段 0.5-1.0m。

#### 5.2 进口渐变段开挖

5.2.1 导流隧洞进口渐变段开挖面积较大,围岩条件差,隧洞顶拱渐变弧形,断面大且变化大,开挖不能一次形成,对渐变段采取分层分段开挖方法,尽量减小每次分部开挖断面,以利于围岩稳定。

5.2.2 开挖前首先进行洞口锁口锚筋桩支护施工,开挖时分上、中、下 5 个台阶进行开挖,上部两侧导洞超前领先,中间扩挖跟进,周边小药量光面爆破,循环进尺不超过 2.0m。底部采用中间梯段爆破,两侧预留保护层开挖。

#### 5.3 常规支护施工

支护施工与开挖跟进平行交叉作业,各工序间交替流水作业,总体程序按先施工锚杆,后喷混凝土。根据施工部位及围岩类别,支护施工程序分述如下:1)Ⅲ 类围岩:施工准备→随机锚杆→系统砂浆锚杆→喷混凝土→下一循环开挖支护。2)Ⅳ 类围岩:施工准备→视情况超前锚杆施工→开挖→初喷 5cm 厚混凝土→砂浆锚杆施工→钢支撑及挂钢筋网→复喷混凝土施工至设计厚度→下一循环开挖支护。3)Ⅴ 类围岩及断层带:施工准备→超前锚杆施工→分部开挖→初喷 5cm 厚混凝土→钢支撑及挂钢筋网→复喷混凝土至设计厚度→系统锚杆施工→下一循环开挖支护<sup>[2]</sup>。

#### 5.4 渐变段及岩塞段超前预支护措施

隧洞出口段围岩为Ⅳ~Ⅴ 类,围岩稳定性差,为保证进洞的安全,洞口掘进前,仔细勘察山坡岩石的稳定性,对

危险部位进行处理和支护。洞外开挖至一层底板高程后，确保进洞安全条件下，才能进行洞挖。进洞前首先采用锁口锚筋柱支护和钢支撑、洞内超前小管棚支护，预先处理围岩，可以提高其整体性，增加稳定性，能承受开挖后的围岩应力和抑止围岩变形，保证进洞安全<sup>[3]</sup>。

### 5.5 不良地质段开挖和支护

5.5.1 导流洞洞身受断层影响，在导 0+168—0+224 之间，受断层带影响，该部位地质异常复杂，节理、裂隙较多，渗水量大并且分散，砂岩存在钙质流失引起的溶蚀现象，顶拱及边墙部位出现溶蚀空腔。

5.5.2 根据“新奥法”核心理论进行创新调整：

(1) 从导 0+199 开始将 I18 工字钢间距由原来 1m，调整为 50cm，将钢支撑紧跟掌子面，钢支撑纵向连接筋加强，采用  $\Phi 28$  钢筋，环向间距 50cm 形成钢棚架。由于塌方段空腔较大，渗水面积及渗水量较大，由于局部塌穴较大，采用常规湿喷工艺无法对空腔填满，因此在塌方区域进行安全喷混凝土至岩体稳定，不再掉块为至，安全喷护完成后进行随机锚杆及系统锚杆施工和安装工字钢，工字钢完成后立即搭设排架支模进行 C20 混凝土回填，施工完成后进行回填灌浆，回填灌浆形成后在塌方顶拱区域增设  $\Phi 25$ ， $L=6.0m@1.5m \times 1.5m$  锚杆；该部位由于空腔较大，渗水点多，安全喷混凝土完成后进行随机锚杆施工和系统支护，在工字钢安装完成后立即搭设排架、支模，对空腔部位采用 C20 混凝土回填，回填采用混凝土泵送入仓。

(2) 对导 0+188- 导 0+203 段做回填灌浆处理，回填灌浆入岩 5cm，原则上灌浆孔间排距为  $3m \times 3m$ ，局部空腔较大及岩体极破碎部位可加密，或现场对孔位进行局部调整，灌浆导向管采用  $\Phi 76$  钢管，造孔直径  $\Phi 50$ ；

(3) 掌子面采用超前注浆小导管注浆对围岩进行初期固结，以防止岩体局部失稳形成再次塌方。超前注浆小导管采用  $\Phi 42$  钢管， $L=6.0m$ ，环向间距 30cm，排距 3m，造孔角度上倾  $5^\circ$ ，并将系统支护改为 IV 类围岩支护类型；

(4) 鉴于洞身地下水异常丰富，在该部位设置系统排水加随机排水孔，开挖完成安全喷混凝土后，布设 6m 长  $\Phi 76$  排水孔，在孔口 1m 位置安装  $\Phi 50$  排水盲沟管引至环

向排水盲沟管，环向每间隔 5m 设一道  $\Phi 100$  盲沟管引至下部排水沟。

### 5.6 塌方段支护处理措施

5.6.1 搭设排架、支模，对空腔部位采用 C20 混凝土回填，采用混凝土泵送入仓。

5.6.2 回填混凝土完成后立即进行固结灌浆，对不稳定岩体进行固结，使岩体与回填混凝土形成整体，保证洞身自稳及施工管理人员及设备的安全。

5.6.3 采用超前注浆小导管注浆对围岩进行初期固结，采用超前注浆小导管工艺，小导管采用  $\Phi 42$  钢管， $L=6.0m$ ，环向间距 30cm，排距 3m，造孔角度上倾  $10^\circ$ 。

## 6 结束语

6.1 在软弱围岩地段、断层较多、挤压面（带）和层理发育不完全的隧洞施工中最适宜是“新奥法”工艺。南欧江七级水电站导流洞上层施工时段为 2016 年 07 月 15 日~2016 年 12 月 31 日，下层施工时段为 2016 年 11 月 20 日~2017 年 3 月 10 日，衬砌砼完成为 2017 年 10 月 1 日，过流为 10 月 25 日，大江截流为 11 月 6 日，在如此短工期内完成复杂地质条件的洞室工程，完全得益于“新奥法”实践创新。

6.2 获得的经验：6# 冲沟离导流洞顶净间距只有 10m~20m，顶岩柱承载力弱，老挝雨季（5 月~11 月）降雨量大，地表水丰富。在如此复杂的地质条件下，实践成功经验就是采取两侧边墙打设深排水孔，先将前方地下水排出，循环进尺 50cm，开挖揭露后及时喷射混凝土将开挖掌子面封闭，减少岩石与空气接触时间，超前小导管，中间预留核心土。

6.3 建议：目前隧洞采用的挂钢筋网喷混凝土传统工艺。建议一洞室采用喷浆机械手喷钢纤维混凝土代替挂钢筋网喷混凝土，能缩短初期支护时间，能加快施工进度，安全系数能提高；建议二采取水介质换能爆破技术，经济、高效，对围岩的稳定有良好效用。

### 参考文献

[1] 李文爵 隧道工程施工中涌水突泥灾害的处置技术 低碳世界 2015  
 [2] 王拓新 大跨度黄土隧道施工方法研究 长安大学 2012  
 [3] 蒋德军 位于陡壁上大断面黄土隧道进洞施工技术 价值工程 2019