

# 白龟山水库尾水隧洞开挖支护技术

鲁朝显 李鹏

(河南省白龟山水库管理局,河南 平顶山 467000)

**【摘要】** 白龟山水库尾水隧洞工程灰岩有破碎软弱带,部分夹杂着弱风化易碎钙质页岩,并且部分洞段有喀斯特地貌和地下水,施工难度较大。为此,采用综合开挖支护技术,使隧洞工程顺利竣工。本文详述了隧洞开挖支护的施工程序和方法,可为类似工程施工提供借鉴。

**【关键词】** 尾水隧洞;开挖支护;技术

中图分类号: TV52

文献标志码: B

文章编号: 1005-4774(2018)07-014-04

## Excavation support technology of tail water tunnel in Baiguishan Reservoir

LU Chaoxian, LI Peng

(Henan Baiguishan Reservoir Authority, Pingdingshan 467000, China)

**Abstract:** Limestone of Baiguishan Reservoir tail water tunnel project has a broken weak belt. It is partially mixed with weak weathering fragile calcareous shale. In addition, a part of caves have karst landform and groundwater, thereby the construction is difficult. Therefore, comprehensive excavation support technology is adopted to achieve smooth completion of tunnel project. Construction procedure and method of tunnel excavation support are described in the paper, which can be used as reference for similar projects.

**Key words:** tail water tunnel; excavation support; technology

### 1 工程概况

白龟山水库位于淮河流域沙颍河水系沙河干流,距平顶山市区9km,是一座集防洪、城市供水、农业灌溉为一体的大(II)型综合利用水利工程。水库控制流域面积2740km<sup>2</sup>,总库容9.22亿m<sup>3</sup>。水库兴利水位103m,汛限水位102m,两水位之间0.61亿m<sup>3</sup>库容水量在每年5—10月汛期间无为弃掉,造成巨大浪费。经过论证,在北干渠上修建一座水电站,分别利用北干渠渠首闸和张庄闸蓄水后形成的水位差和下泄水量发电。水电站主要包括进水闸、厂房、尾水隧洞,以及机电设备及安装。电站尾水隧洞上接尾水明渠,下接北干渠下游河道,全长57.36m,开挖断面5.83×5.78m;隧洞穿越市政道路及管网,距交通桥、体育馆等建筑物

较近,地质条件和环境复杂,开挖支护难度很大,需要采用可行的施工方法,以确保隧洞顺利建成。

### 2 水文气象和工程地质

#### 2.1 水文气象

白龟山水库多年平均降雨量963.9mm。6—8月降雨量占全年总降雨量的60%以上,本流域暴雨多集中在汛期。沙河天然径流主要由降雨形成,径流在年际间和年内分布不均,最大与最小年径流量相差近20倍。

#### 2.2 工程地质

该工程地质从上到下地层有四层。其特性如下:层状灰岩(层序号16):厚约13m,灰色,具条带状

层理。岩石新鲜完整,钻探地质取岩率在 80% 以上。

条砾状灰岩(层序号 17):厚约 26m,棕灰色及深灰色中夹豹皮状灰岩团块。岩石新鲜,除喀斯特发育处以外,岩石完整,钻探地质取岩率在 90% 以上。

灰岩夹微薄钙质页岩(层序号 18):厚约 14m,灰岩呈浅灰色,新鲜坚硬,分布多在本层下部,钙质页岩为浅紫红色,致密,在渠道右岸呈弱风化状态。较破碎,地质取岩率在 50% 以上。

灰岩夹页岩(层序号 19):厚约 15m,二者均呈薄层或微薄层状。灰岩坚硬,较完整,页岩在地面以下 2m 范围内,为强风化状态(多呈泥土状),底部为弱风化状态。破碎,地质取岩率一般为 30%。

喀斯特主要发育于第 16、17、18 三序地层中。从钻孔中了解,在 80m 高程以上最为严重,往下发育程度则逐渐减弱。溶蚀缝隙宽度一般为 10~50cm,最宽处已成为 4m 以上。溶洞一般为黏土岩屑所填充,但不密实。无充填物及充填密实之情况均占少数。

隧洞的围岩主要是灰岩,但部分灰岩中夹杂着弱风化易碎钙质页岩和风化破碎页岩,且有喀斯特地貌。部分洞段灰岩新鲜坚固完整;部分洞段灰岩有破碎软弱带,围岩稳定性差且有地下水;部分洞段位于喀斯特发育的石灰岩上,隧洞的喀斯特特有的被黏土岩屑所填充,有的无充填,情况甚不均一。综上所述,该隧洞地质条件和环境复杂。

### 3 尾水隧洞开挖支护施工程序及方法

#### 3.1 施工布置

##### 3.1.1 施工道路

尾水隧洞开挖施工道路布置如下所示:

尾水隧洞→北干渠尾水口围堰→原有施工公路→渣场。

##### 3.1.2 供风及通风

尾水洞出口布置 2 台  $20\text{m}^3/\text{min}$  移动式电动空压机供风。用  $\phi 48\text{mm}$  钢管延伸进隧洞开挖工作面供风。

采用压入式通风方式。在尾水洞口采用一台 7.5kW 轴流式风机配  $\phi 800$  风筒压入式通风。

##### 3.1.3 供水

施工用水从北干渠直接用  $\phi 32\text{mm}$  钢管引水进洞,延伸至工作面供水。

##### 3.1.4 供电及系统

施工用电高压电源接线点布置的一台变压器,在变压器的接口端,通过 12m 长的水泥电杆架空线路至各施工工作面。

在整个施工期配置 1 台 150kW 柴油发电机,作为备用电源。一旦电力系统停电及供电不足,备用电源自动投入,解决基坑抽排水和照明用电的急需。

##### 3.1.5 排水

在隧洞施工时,在洞内开挖排水明沟和集水井,把集水井的水用水泵从洞内抽出。

#### 3.2 施工程序

尾水隧洞开挖施工程序如图 1 所示:

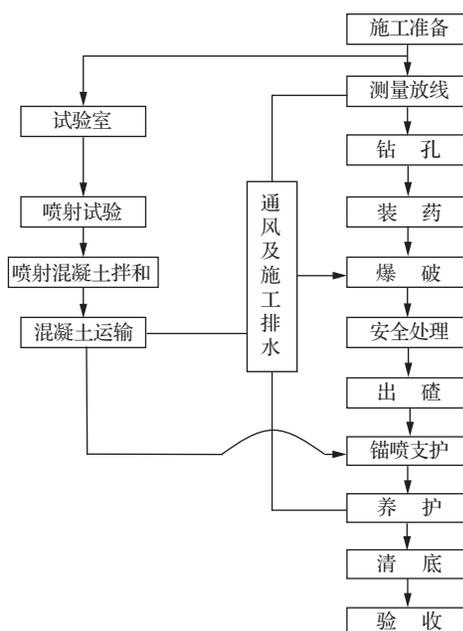


图 1 尾水隧洞开挖程序框图

#### 3.3 隧洞开挖施工方法

开挖前进行钻爆方案设计,为确保开挖洞帘边坡及隧洞围岩稳定安全,开挖前期进行现场生产性爆破试验,以确定合理、经济、安全的爆破参数。爆破试验的主要内容有:爆破器材性能检测试验;边坡预裂爆破控制试验;开挖爆破网络试验;爆破飞石距离控制试验。

##### 3.3.1 测量放线

- 按照现行水利测量规范要求。
- 使用仪器:GPS、全站仪、水准仪。
- 测引坐标和高程控制点:先按照图纸要求,利用 GPS 把施工图上有关点的坐标引测到施工现场,并

利用全站仪把绝对高程和相对高程控制点引入施工现场附近且做标识。上述坐标点和控制点用作整个施工过程的控制。

d. 依据施工图和控制点,把隧洞洞口的开挖尺寸线和轴线、标高全部测记到洞口岩壁上。

e. 洞内开挖的轮廓线,依据全站仪测得的轴线、高程进行控制,以防超挖和欠挖。

### 3.3.2 钻孔、爆破、出渣

a. 为保证钻孔质量,严格按设计钻孔位置、间距、倾角等要求进行钻孔,且对钻工做好技术交底和采取必要安全措施。

b. 在合格的钻孔内按爆破方案,依据不同的孔类、孔深、孔径装入不同类型炸药和不同药量,此次使用的炸药为2号岩石硝铵炸药和2号光爆炸药。

c. 爆破完成后,立即进行通风排烟,等到烟雾消散后,再使用喷淋系统进行除尘。随后派爆破工巡查是否有哑炮并立即处理。

d. 尾水隧洞开挖石渣选用150型挖掘机10t自卸汽车运至弃渣场。

具有代表性的围岩炮孔布置如图2所示。

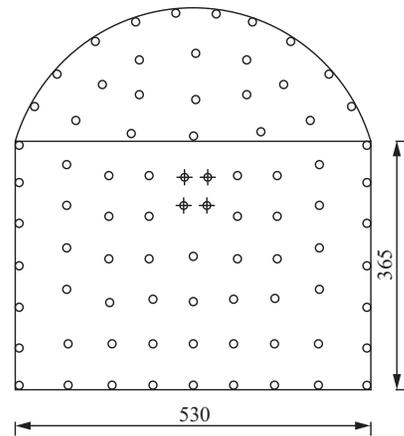


图2 尾水隧洞围岩炮孔布置(单位:cm)

围岩炮孔特性及工序作业循环时间见表1和表2。

表1 围岩炮孔特性

孔类	孔深/m	孔径/mm	数量/起爆段数	孔距/cm	抵抗线/cm	药径/mm	堵塞长度/cm	单孔药量/kg	总装药量/kg
掏槽孔	2.7	42	4/1			32	0.6	1.5	88.3
崩落孔	2.5	42	46/3,5,7	0.7~0.75	0.75	32	0.6	1.2	
光爆孔	2.5	42	22/9	0.65	0.7	25	0.4	0.7	
底孔	2.5	42	9/9	0.65	0.7	32	0.8	1.3	

钻孔81个,隧洞断面面积24m<sup>2</sup>,循环进尺2.5m,总装药量88.3kg,炸药单耗1.47kg/m<sup>3</sup>,非电毫秒延塑料导爆管起爆网络。

表2 围岩工序作业循环时间

序号	工序	作业循环时间/h											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	放线布孔	1											
2	造孔		4										
3	装药联网						0.5						
4	爆破排烟						0.5						
5	安全撬挖							0.5					
6	出渣								3.5				
7	支护(若需要)											1.0	

### 3.3.3 施工机械配置

尾水隧洞开挖施工机械设备见表3。

### 3.4 隧洞支护施工方法

隧洞洞帘顶部宽12.14m、高11m范围采用锚杆和

挂钢丝网喷射混凝土进行支护:锚杆采用 $\phi 25$ 一级钢、 $L=2000\text{mm}$ 和 $L=3000\text{mm}$ 、间距 $1.5 \times 1.5\text{m}$ ,锚杆梅花布置,锚孔内灌注1:2的水泥砂浆;钢丝网 $150\text{mm} \times 150\text{mm} \phi 2$ 铁丝、外框 $\phi 6$ 圆钢筋,喷浆厚度80mm的C20混凝土。

表3 尾水隧洞开挖施工机械设备

序号	机械名称	机械型号	功率	台数	备注
1	手风钻	YT-28		6	
2	电动空压机	10m <sup>3</sup> /min		2	
3	挖掘机	150		1	
4	自卸汽车	15t		3	
5	轴流风机	BT35	7.5kW	1	
6	潜水泵	2kW		4	

隧洞内部采用锚杆和挂钢筋网喷射混凝土进行支护:锚杆采用 $\phi 22$ 螺纹钢、 $L = 4000\text{mm}$ 、间距 $1.5 \times 1.5\text{m}$ ,锚杆与洞顶水平夹角 $10^\circ$ ,锚杆梅花布置,锚杆外漏 $20\text{cm}$ ,锚孔内灌注1:2的水泥砂浆;钢筋网 $150\text{mm} \times 150\text{mm}\phi 6$ 钢筋、加劲筋 $\phi 10$ 圆钢筋,喷浆厚度 $200\text{mm}$ 的C25混凝土。

#### 3.4.1 施工顺序

安装自动升降操作平台→清理基岩面→施工放线→定位锚杆孔并钻孔→锚杆制安灌注→岩面编网固定喷护。

#### 3.4.2 施工方法

a. 把岩面打扫干净后,依据施工图,在岩面上逐个定出锚杆孔位置,并用红漆做标记。

b. 锚杆成孔:根据位置及高程不同孔深为 $2\text{m}$ 、 $3\text{m}$ 、 $4\text{m}$ ,且采用无水进孔工艺进行施工。根据不同地质情况,先用不同的钻进参数,试钻开始时慢速钻进,待正常后全速钻进。孔深应比锚杆锚固深度深 $20\text{cm}$ 。成孔后采用高压风管进行清孔,将孔内岩粉、岩屑、沉渣清理干净,孔底沉渣厚小于 $5\text{cm}$ 。

c. 锚杆制安:根据施工图把不同钢筋下料,按要求焊制。距离锚杆头部,焊接 $\phi 8 L = 58\text{mm}$ 、倾角 $30^\circ$ 的燕尾叉。制作完成后逐一检查质量且分别堆放。接着把锚杆和注浆管一起插入孔内。安装时要控制锚杆端部距孔底 $20\text{cm}$ ,为水泥砂浆留位,尾端露出岩面 $20\text{cm}$ ,以便与钢网链接。

d. 锚孔灌浆:材料采用P. O 42.5硅酸盐水泥,中砂。按1:2配置砂浆,水灰比控制在 $0.4 \sim 0.45$ 。浆液配好后,把注浆管与压降机连接后,按设计要求调节压力表,加压送浆液入孔,直至保压充满整个孔深且有浆液从孔口流出为止。每次每批注浆随机取样两组,28天时做抗压强度试验。

e. 拉拔试验:水泥砂浆凝固到期后,按设计要求的数量进行试验,若不满足进行补打。

f. 钢筋网制安:在岩面上选定编网区域,然后进行钢筋下料。洞外岩面用 $\phi 2$ 铁丝,按 $150 \times 150\text{mm}$ 间距编制后,用 $\phi 6$ 钢筋压边;洞内采用 $\phi 6$ 钢筋,按 $150 \times 150\text{mm}$ 间距编制后,用 $\phi 10$ 钢筋加劲。上述钢筋网与锚杆焊牢。

g. 混凝土喷面:在施工现场密闭工作间内,分别拌制C20和C25细石混凝土,然后用喷浆机喷射混凝土面层。根据不同位置要求,采用不同标号混凝土和不同厚度,每层喷 $30 \sim 50\text{mm}$ ,分 $3 \sim 4$ 次喷射完成,并按要求养护。

h. 若岩面风化严重或局部软弱破碎,则先编网喷护,后钻孔制安锚杆并灌浆。

#### 3.4.3 超前勘探

每开挖一个工作段洞室后,在尚未开挖岩体的掌子面后面钻设勘探孔,钻孔孔径 $150\text{mm}$ ,钻孔深度 $20\text{m}$ 左右。将超前勘探资料及时报送有关单位以复核先期地勘的准确性,以便及时调整施工方案。

#### 3.4.4 不良洞段施工

根据工程地质资料,在尾水隧洞开挖过程中存在以下问题:存在岩石破碎软弱带,局部喀斯特发育,围岩稳定性差,局部失稳及局部塌方等问题。针对以上可能出现的情况,采取措施如下:

a. 岩石破碎软弱带:超前支护一定要先跟上,边挖边锚、早锚早喷、弱爆破或不爆破。该工程采用管棚法,在洞顶轮廓线外 $10\text{cm}$ 处,钻外倾角为 $10^\circ$ 的孔,孔径 $\phi 50\text{mm}$ , $L = 6\text{m}$ ,孔距 $35\text{cm}$ ,孔内的钢管为 $\phi 42\text{mm}$ 花管,花管前端加工成扁尖形,灌注水泥砂浆,外露端用 $\phi 18\text{mm}$ 钢筋焊连并与锚杆焊接,待凝固后进行弱爆破开挖或机械直接开挖。

b. 围岩稳定性差,局部失稳及局部塌方:采用超前锚杆和钢支撑支护(见超前锚杆断面剖面图)。开挖时采用超前锚杆,此锚杆为 $\phi 22$ 螺纹钢长 $3\text{m}$ ;钻孔直径 $45\text{mm}$ ,超前锚杆倾角 $10^\circ$ ,横向间距 $0.4\text{m}$ ,纵向间距与钢桁架相同,超前锚杆末端与钢桁架焊接牢固。灌浆采用早强砂浆。开挖后及时喷混凝土封闭围岩,接着采用钢支撑支护,钢支撑支护后进行锚杆及喷混凝土支护,确保隧洞安全。(下转第6页)