

升鍾水庫放空隧洞噴錨支护施工

四川省水利建設工程公司 邢新元

升钟水库位于嘉陵江支流西河上,是一座以灌溉为主的水利枢纽,库容 13.4 亿米³。放空隧洞位于左岸,洞长 405.0 米,衬砌后直径 8 米。施工初期用以导流;正常运行时作放空水库用;在非常情况下,则协助溢洪道宣泄超标准洪水,隧洞进口及竖井等设置详见图 1。

隧洞从1977年12月分进、出口两个工作面掘进，于1978年4月底贯通。施工中采用台阶法、光面爆破掘进，锚、喷支护。单工作面一般月进尺50米，最高月进尺58米。施工中未出现任何安全事故，与采用了喷锚临时支护这一施工方法有关。

一、地質概況

隧洞穿过的岩层为白垩系砂岩与粘土岩互层，岩性软弱， $f=1\sim3$ 。岩层被剪切裂隙和卸荷裂隙切割，较为破碎。在 $0+60\sim0+110$ 米段内，有大的

剪切裂隙7条,卸荷裂隙1条。多数裂隙与洞轴线正交,倾角较陡。岩层呈水平状,沿隧洞走向变化不大,薄岩层有尖灭现象。典型地质剖面见图2。

地下水多为裂隙水。掘进穿透裂隙时，最初涌水量较大，约 50 米³/小时。以后逐渐减少，一般 1~2 天后达到稳定流量。其中一个泉眼的稳定渗水量为 500 毫升/分。地下水的渗出对粘土岩起软化膨胀作用，引起岩石风化剥落，不利于喷锚支护施工。

二、进口渐变段支护

进口渐变段桩号从 0 + 013 ~ 0 + 028 米, 断面由方变圆。设计开挖尺寸为 10.4 × 10.4 平方米, 允许超挖 20 厘米, 实际开挖尺寸为 11 × 11 平方米。

隧洞进口地形剖面参见图 1。洞顶岩层厚度仅一倍洞径, 其中砂岩 岩层柱状图
厚度仅 3.8 米, 其上复盖粘土岩。岩层裂隙发育, 有水渗出。因洞跨大、顶平, 受力条件极

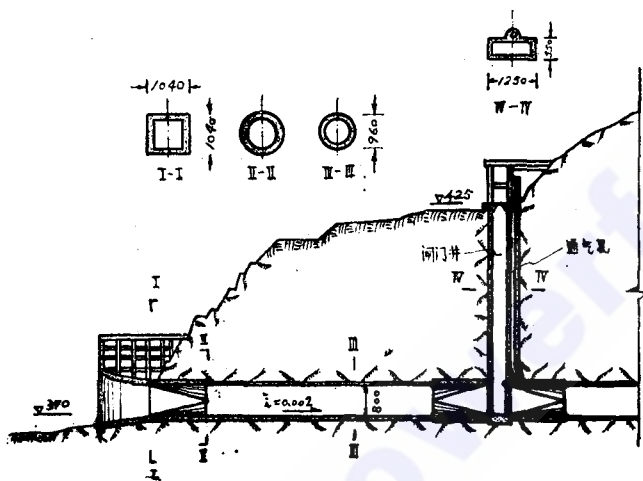


图1 放空隧洞进口和竖井示意图
单位: 高程一米; 其余一厘米

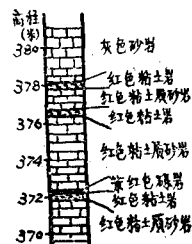


图 2

0+90 米处
岩层柱状图

差。为使顶部岩层能形成整体起自承作用，在洞口布设了水平和垂直、相互交叉的锚杆系统，又在隧洞上部挂网喷混凝土，其布置见图3。

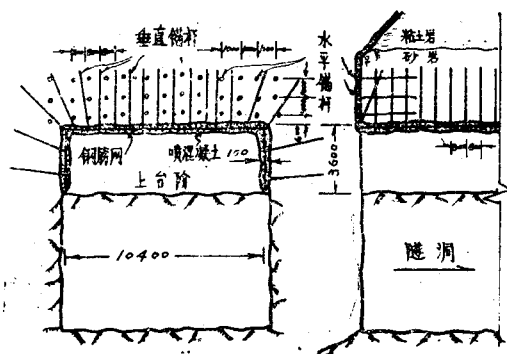


图3 进口渐变段喷锚支护示意图
单位：毫米

水平锚杆共分三层。第一层距洞顶边缘60厘米，层距和锚杆间距均为1米。锚固宽度12米，略宽于洞跨。采用钢丝绳砂浆锚杆。钢丝绳是利用废旧 $\phi 16$ 钢丝绳退散后，取其中一根（ $\phi 16$ ）制成。绳两端用铁丝扎成环形，以使用叉杆送入孔内，并藉以增加抗拔力，参见图4。

垂直锚杆纵横间距均为80厘米。锚杆在隧洞横断面上一般为径向分布，仅洞口处设有一排 60° 倾角的斜向锚杆。锚杆长度3米。

($>1/3$ 洞径)。型式有两种：其一，利用 $\phi 16$ 元钢制成的弯钩形注浆锚杆。其实测平均抗拔力仅3.8吨，初锚力也较小。其二，倒楔式锚杆。大楔铁由元钢在锻模中锻出，焊在 $\phi 16$ 元钢上，小楔铁用铸铁铸造。此种锚杆实测抗拔力在5.96吨以上，抗拔力和初锚力均较大，外形尺寸见图5。



图4 钢丝绳砂浆锚杆示意图
(单位：毫米)

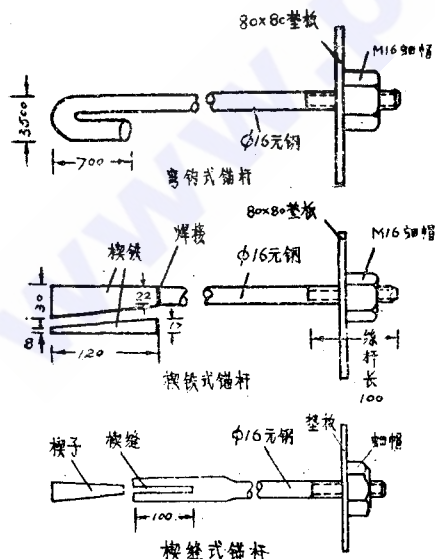


图5 楔缝锚杆(单位：毫米)

钢筋网由纵、横向钢筋组成 300×300 毫米²的网格，横向钢筋均用 $\phi 16$ ，设在洞顶的纵向钢筋用 $\phi 16$ ，边墙上用 $\phi 6$ 。钢筋网距岩面50毫米，焊固在外露的锚杆头上，钢筋搭接用单面焊接加长，纵横筋交叉点则用电焊点牢。

进口渐变段由上导坑领进，以便喷锚施工和保证安全，导坑高3.6米。在横断面上分期开挖，边挖边锚，俟其中半边挖、锚完成后，再挖、锚另半边。

打锚杆孔用7655型风钻，配FT 160型气腿，可打任何角度。用锚杆撞击将小楔铁送入孔内，并撞紧固定，经检查后再注浆。注浆管制成弯月形插入孔底，随注浆逐步外退。注浆材料灰砂比为1:1.5，砂子粒径小于5毫米，注浆后用混凝土回弹仪测量其强度为85公斤/厘米²。

挂网后喷混凝土时，先喷网格中间，填满并挤至钢筋下面后再喷盖钢筋。喷顶拱时加速凝剂（四川省芙蓉矿务局生产），添加量为水泥的5%，初凝时间为2'28"，终凝时间为4'45"。喷混凝土材料的配合比为水泥：河砂：石子=1:2:2（重量比）。石子要经过 $\phi 15$ 毫米的筛孔。

三、主洞支护

主洞设计开挖洞径9.6米，预留底板厚1.4米后一步开挖。上部大断面梯段开挖，上台阶领进，高3.4米，沿洞轴线方向领先3米。当天进尺的顶板当天锚固，见图6。

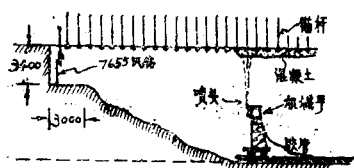


图6 喷锚施工布置示意图
(单位: 毫米)

用 $\phi 16$ 楔缝式锚杆，长2.9米，纵横间距1米，呈径向分布，每米洞长13根，见图7。

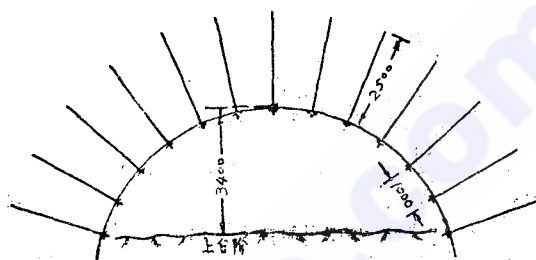


图7 主洞锚杆示意图。
单位: (毫米)

当边墙全部为粘土岩时，锚固范围超过半圆，每米进尺布19根。如顶部粘土岩层较薄，易风化坍落，则要求挂网喷混凝土。网用 $\phi 12$ 钢筋构成 1×1 米²的构架，再补以8[#]铁丝编成 10×10 厘米²的细网格。混凝土喷层厚5厘米。对较宽的卸荷裂隙，则骑缝交叉锚固，并喷混凝土填满裂缝。对受裂隙切割成的孤立大岩块，则将岩块锚固到完整岩体内。个别危岩应尽量撬落，否则应如孤立岩块同样用锚杆锚固。

锚杆的砂浆在注浆后，其强度是逐渐增加的。因此，砂浆所产生的初锚力很小，初期的锚固作用则主要由楔铁头和螺帽垫板之间所施加的初锚力与围岩变形所形成。由于岩壁凹凸不平，锚杆不完全与岩壁垂直，故常用的平板型垫板，当锚杆与岩壁夹角较大时，就无法施加初锚力。为此，我们设计制造了一种球型垫板，能在锚杆与岩壁夹角小于 60° 时使用，较好地解决了垫板紧贴岩壁的问题。其结构与安装见图8。

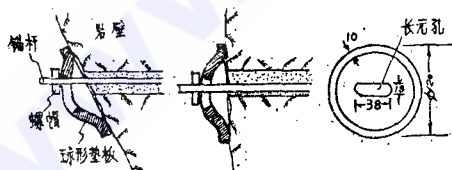


图8 球形垫板结构及安装示意图
(单位: 毫米)

主洞全部洞壁，均喷一层厚3厘米的混凝土，并保持洞壁平整。挂网处喷层厚5厘米，并将网盖住。由于层较薄，减少了石子用量，水泥：河砂：石子=1：2：1。喷顶拱时加速凝剂。喷混凝土之前需先喷水，将岩壁冲洗干净。一般情况下，安排每周喷一次混凝土，一般喷至距工作面10米左右。当顶部岩层比较破碎时，则混凝土喷层距开挖面3米。

由于洞底距顶拱高8.2米，若由工人手持喷头站在地面上操作，则喷头距喷面太远，且不能垂直于喷面操作，这样，效果很差，回弹力高达80%。为此，制作了一台简易机械手（见图9），使用效果良好，既减轻了工人的劳动强度，又改善了喷混凝土效果，回弹率下降到30~40%。喷混凝土工艺流程见图10。

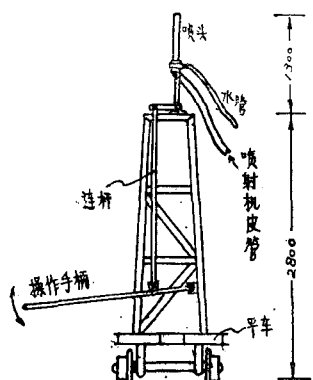


图9 喷混凝土易简机械手
(单位: 毫米)

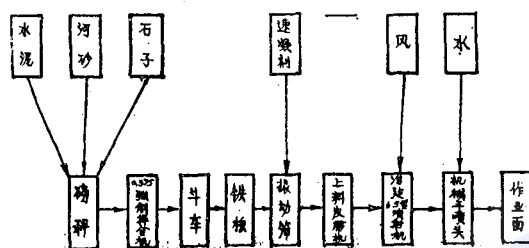


图10 喷混凝土工艺流程图

进口渐变段和主洞的临时喷锚支护, 从77年12月起得78年5月衬砌前止, 未出现任何裂缝。

四、闸门井喷锚支护

闸门井为一长方形, 设计开挖尺寸为 $12.5 \times 5.5 \text{米}^2$, 从地面高程 425 米到井底高程 369.82 米, 深 55 米。岩层水平, 以黑色粘土岩为主, 间夹黄色和灰色砂岩。

锚杆长 2.2 米, 为 $\phi 16$ 弯钩形, 深入岩层内 2 米, 呈水平径向分布, 间距 1 米, 未加垫板螺帽。

施工时锚固紧跟开挖, 每 3 ~ 5 米喷一次混凝土。凡是强风化区和粘土岩地段均挂钢丝网。事先制成 $2 \times 1 \text{米}^2$ 的网片, 每一网片用 $\phi 16$ 钢筋构成 $1 \times 1 \text{米}^2$ 构架, 再以 8 # 铁丝编成 $10 \times 10 \text{厘米}^2$ 的细网格。施工时将网挂在岩壁上, 加设 $\phi 16$ 钢筋焊固在锚头上。混凝土喷层一般厚 3 厘米。挂网处喷层厚 5 厘米以上, 如有脱落, 需进行复喷。

五、特殊部位处理

(一) 破碎带

出口工作面掘进到 0 + 361 ~ 0 + 349 米段时, 顶部出现了纵横裂隙破碎带, 内充填泥石, 最大深度 1 米, 并有裂隙水。放炮后处理危岩时间长达 3 小时。采取的措施是:

1. 用深钻孔探明顶部岩层情况, 决定锚杆有效深度再行加锚;
2. 对 0 + 351 ~ 0 + 356 米段, 用 3 米锚杆加密锚固。再加设 $\phi 8$ 钢筋布成间距 15 厘米的钢丝网, 然后喷混凝土;
3. 将上台阶领进, 改为 $3 \times 3.4 \text{米}^2$ 的导坑, 领进与扩大相距 4 米, 边进边锚, 待弄清地质情况后再扩大。为安全起见, 先喷一薄层混凝土。挂网后又喷, 混凝土喷层厚 10 厘米。

(二) 裂缝

出口工作面 0 + 355 ~ 0 + 365 米段, 喷锚支护一个月后发现一条长 10 米、深 80 ~ 100 厘米、宽 1 ~ 15 毫米的裂缝。采取措施是:

1. 由钻孔查明裂隙的成因为砂岩间有一泥质夹层;
2. 对裂缝周围设置 2~3 排、35 根楔铁式锚杆。锚杆长 3 米, 穿过夹泥层, 深入完整岩体内 50 厘米;
3. 用薄层砂浆涂平裂口。经常观察, 结果表明裂缝未再发展。

(三) 危岩

在竖井中部 390 米高程处, 发现一块受裂隙切割的锥形体砂岩 (锥体体积约 4 米³) 在向下蠕动。周边缝宽 10 厘米, 最深 1.6 米。如果将其挖除, 则上部粘土岩临空, 会出现更大的危险。因此决定锚固处理:

1. 在危岩上打 8 根加固锚杆, 使之穿过裂缝将危岩锚固在完整岩体上。用 $\phi 16$ 楔铁式锚杆, 长 3 米, 在平面上呈扇形分布, 并加螺帽、球形垫板, 施加初锚力;
2. 将穿过危岩的锚杆, 另用 $\phi 16$ 的钢筋与上下方的钢筋网和左右的锚杆焊固在一起, 形成钢筋网;
3. 喷混凝土厚 5 厘米, 并将裂缝填实。经处理后未再发现变形。

六、体 会

本工程采用喷锚支护, 具有以下优点:

(一) 隧洞进出口使用喷锚支护后, 在洞顶覆盖厚度小于 2 倍洞径时、仍可以提前进洞, 从而可加速进度、减少明挖量, 降低工程造价;

(二) 确保施工安全。在掘进中, 对不同的地质条件采用不同形式的喷锚支护处理, 可以确保施工安全。本工程虽断面大、地质条件差, 但施工中从未出现任何安全事故, 即为明证;

(三) 加快了掘进速度。若本工程仍采用常规办法施工, 如小导坑、木支撑等, 估计工期将延长 10 个月左右;

(四) 洞内净空大, 利于机械化施工及改善通风条件。且喷锚支护并不比木、钢支护的施工难度高, 也易于掌握。

(五) 与常规支护方式相比、降低了工程造价, 详细比较见表 1。

表 1

隧洞支护材料费用比较表

材 料 单 位	钢材	木材	水泥	沙石	速凝剂	依据	造价	%
支护方式	吨	米 ³	吨	米 ³	吨		万元	
钢 支 护	595	477				定额标准	515	715
木 支 护		1745				”	32.5	451
喷 锚 支 护	37.7		260	762	14.35	实际耗用	7.2	100

注: 1. 不包括闸门井;

2. 隧洞长度均按397米计算。

(六) 便于永久性衬砌施工。用一般钢木支撑当衬砌施工前拆除支撑时, 不可避免地会迁到顶棚垮塌, 这样, 既增加了出渣量, 又增加了混凝土回填量; 另外, 大垮方还给施工带来困难。而喷锚支护则无此类问题。

黄万里教授来蓉讲学

清华大学水利系黄万里教授应四川水利学会和四川省水力发电工程学会的邀请(籍黄教授来川开会之便), 于七月中旬在成都讲学。黄教授虽年逾七旬, 仍不顾年迈体弱, 旅途劳累, 欣然应邀。在讲学中, 黄教授针对我省的具体特点, 结合他从事水利水电科学研究和教学的宝贵经验, 就水文、泥沙、水动力学和规划等方面讲授了以下八个专题:

- 1、论四川省防洪与兴利的关键技术问题;
- 2、水文资料统计分析概况;
- 3、西南地区长输水道水力发电设计要则;
- 4、论目前水沙流分析中存在的缺点和错误;
- 5、论底砂流率的量测与估算;
- 6、连续介体动力学最大能量消散率定律及其解释;
- 7、概率论在统计力学和沙流分析中的应用;
- 8、随机过程分析概况。

黄教授知识渊博、勇于探索, 十分注重基本概念、基本理论的阐述。讲解时深入浅出, 生动具体。既指出了目前各方面存在的问题; 又提出了解决这些问题的途径和方法。黄教授尊重科学, 重视实践, 深谙长江、黄河的自然地理, 水文气象和地质构造特征, 他分析了黄河、长江的异同, 阐述了水库蓄洪、灌溉和发电等相互间的关系。

参加这次听讲的有两个学会的部分会员、有关单位的科技人员和部分领导同志共一百余人。为活跃我省水利水电方面的学术空气, 提高学术水平, 进一步开展水文、泥沙的科学研究, 推进教学和生产工作的发展等起了积极的促进作用。

规划专委会供稿

1982.11