

# 正井法全断面开挖溧阳抽水蓄能电站进出口竖井施工简述

魏本强<sup>1</sup> 王艳娜<sup>2</sup>

1.中国电力建设集团有限公司西南指挥部 四川 成都 610066

2.中电建建筑工程有限公司 四川 成都 610066

**【摘要】：**汽车吊出渣正井开挖施工方法是溧阳抽水蓄能电站上水库竖井开挖施工中一种创新，这种方法解决了劣V类复杂地质条件下55米竖井开挖的难题，为类似工程提供了施工技术参考。

**【关键词】：**溧阳抽水蓄能电站；上水库进/出水口；劣V类围岩竖井开挖；吊渣

## Brief description of construction of import and export shafts of Liyang Pumped Storage Power Station by full section excavation of positive shaft method

Benqiang Wei<sup>1</sup>, Yanna Wang<sup>2</sup>

1. Southwest headquarters of China Electric Power Construction Corp. Sichuan Chengdu 610066

2. China Electric Power Construction Group Building Decoration Engineering Co. Sichuan Chengdu 610066

**Abstract:** The construction method of excavation by car crane out of slag positive shaft is an innovation in the excavation of the upper reservoir shaft of Liyang Pumped Storage Power Station, which solves the problem of 55m shaft excavation under the complex geological conditions of poor V, and provides a construction technology reference for similar projects.

**Keywords:** Liyang pumped storage power station; Upper reservoir inlet/outlet; Poor V rock surrounding shaft excavation; Slag lifting

### 1 工程概况

江苏溧阳抽水蓄能电站地处江苏省溧阳市，上水库位于龙潭林场伍员山工区，与安徽省接壤；下水库位于天目湖镇吴村，与沙河水库为邻。

上水库进/出水口型式为井式，由两座相互独立的塔式结构、下部隧洞段组成。其中，下部隧洞段由等径段、弯肘段和渐变段组成。等径段断面为直径9.2m的圆形，最大高度达35.07m（②进/出水口）。弯肘段为立面上不等径、不同心的转弯段，中心线半径为20.35m，转弯角90°。弯肘段后紧接渐变段，其长度为20.65m，末端渐缩为直径9.2m的标准圆形断面，并与引水主洞相接。

上水库进水口边坡及建筑物地基岩体均属于强风化石英砂岩，节理较发育，岩体完整性较差。竖井大部分区域围岩属劣V类。为确保施工安全顺利进行，原定的隧洞段开挖采用反井钻机开挖施工，具体方案为：渐变段I期→下弯段I期→反井钻竖井导井施工→渐变段、下弯段II期→竖井导进扩挖，即反井法开挖施工。施工步骤如下图1-1所示。

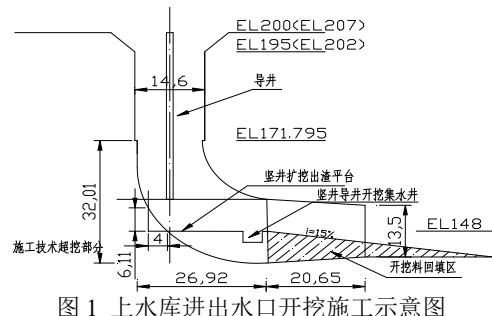


图1 上水库进出水口开挖施工示意图

在按原方案对隧洞渐变段进行开挖施工时，掌子面出现岩脉和塌方，根据地质条件分析，弯肘段基本都处在岩脉范围内，因此从下部开挖存在很大的安全隐患、施工难度非常大。与此同时，竖井下部主要通道内其他施工标段正在进行围岩固结灌浆及洞室底板下卧开挖施工，导致竖井隧洞开挖设备及材料无法进入，对双方的施工干扰很大。

为了实现总体工期目标，减少干扰、保证施工的顺利进行，经过充分讨论和论证，进出水口隧洞段开挖调整为自进/出水口地面部分，全断面一次成型进行竖井开挖。边挖边支护，待到竖井全部开挖完毕，隧洞下部通道干扰已消除，此时再进行隧洞下部渐变段开挖。正井法施工开挖分三区进行，首先进行竖井I区开挖支护，然后进行II区即渐变段上半洞的开挖支护，最后进行III区渐变段底板下卧开挖支护，具体步骤详见下图2。

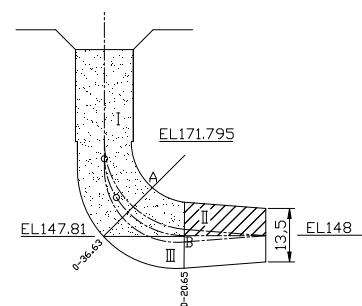


图2 进出水口竖井隧洞段开挖分区图

## 2 竖井全断面开挖施工过程

竖井正井法开挖主要采用潜孔钻和手风钻进行钻爆，井内采用  $0.5m^3$  小反铲装渣，焊制二个  $2m^3$  的钢质出渣装料斗，采用 25T 吊车提升装料斗出渣到井口，再用自卸汽车运至指定地点。在起吊过程中采用双绳，同时挂好副勾做保险才能起吊，起吊过程中有专人进行指挥。

开挖支护过程中，开挖设备、支护材料及开挖渣料的垂直运输主要采用 25t 汽车吊。为确保吊车工作过程中施工安全和作业半径，每个竖井井口在吊车前支撑位置设置一处混凝土承台。承台往井内方向延伸，用手风钻钻孔弱爆破开挖而成，承台的底部和正面布置  $\Phi 25$ ， $L=4.5m$ ，入岩长度  $3.5m$  的锚钩，承台内部布置  $\Phi 8@25*25cm$  的钢筋网片，最后再回填 C25 三级配混凝土，具体布置及其他施工参数见图 3。汽车吊出渣平面布置见图 4。

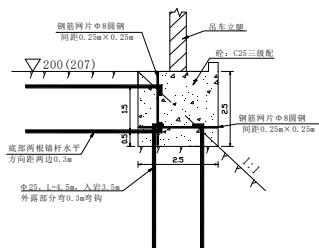


图 3 混凝土承台结构详图

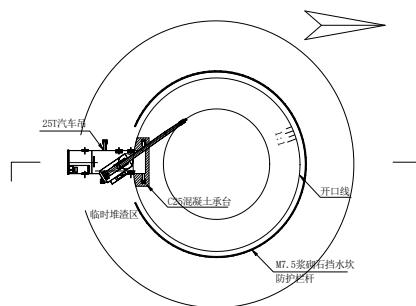


图 4 井口施工平面布置图

钢质出渣装料斗采用  $0.8cm$  厚钢板制作成等边八边形，边长  $0.6m$ ，高度  $1.7m$ ，底部钢板采用活页开口形式，提升主绳与底部 I20 工字钢连接，详见图 5。钢板料斗在卸料时，先将料斗放置在目标区域，然后绷紧主绳，只提升副绳，利用料斗内开挖料将底部活页打开，再连同主绳一起缓缓提升，直至料渣全部从底部流出为止。

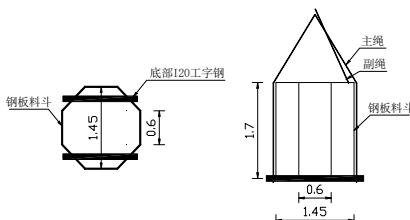


图 5 钢质装料斗结构示意图 (单位: m)

## 2.1 竖井开挖及支护施工程序及施工内容

进/出水口隧洞段开挖分区见上图 2“进/出水口竖井隧洞段开挖分区图”所示，开挖支护施工顺序为：竖井 I 区 → 渐变段 II 区 → 渐变段 III 区。

开挖过程中的系统支护施工在井壁开挖一层后及时进行，支护未完成不得进入下一层开挖。支护施工的内容主要有砂浆锚杆、喷混凝土、型钢拱架施工。

### 2.2 各区段具体施工方法

#### 2.2.1 I 区施工方法

I 区主要是指进/出水口竖井段 EL147.81 以上开挖。

I 区开挖采用自上而下钻爆施工，每次进尺  $4m$  分两个区域（中间区域、周边保护层）三次爆破完成。竖井周边预留  $1.8m$  的保护层，中间区域采用 YQ100B 潜孔钻孔爆破，中间区域每次爆破深度为  $4m$ ，一次出渣  $2m$ ，周围  $1.8m$  保护层采用 YT-28 手风钻钻孔光面爆破，每次爆破深度  $2m$ ，分两次爆破成型。每次开挖爆破及出渣工作完成后及时进行系统支护，然后才能向下进行下一循环开挖。

I 区支护锁口过后，根据岩石出露情况，由于围岩较差，同时存在岩脉影响，在同设计监理及建设方讨论后决定在竖井部位增设钢支撑系统支护，钢支撑间距  $80\sim100cm$ ，中间采用环向间距  $1m$  布置  $\Phi 22$  连接筋，钢支撑随开挖随支护。I 区开挖到 A 点后，向渐变段方向进行超前支护，超前支护采用小导管，小导管为  $\Phi 42mm$  钢管，间距  $30\sim50cm$ ，每排小导管之间搭接长度大于  $2m$ 。与此同时，在开挖后及时对渐变段掌子面进行素喷保护，防止出露围岩遭到再次破坏。

#### 2.2.2 II 区施工方法

II 区主要是指渐变段 EL148 以上开挖支护施工。该区段开挖采用全断面、光面爆破洞挖施工技术，楔形掏槽。支护随开挖施工进度跟进，并在工字钢拱架底部设置必要的锁脚锚杆。

#### 2.2.3 III 区施工方法

III 区从下游往上游方向进行开挖施工。为了尽量减少过程中爆破对顶拱工字钢底脚扰动，周边预留  $1.5m$  厚的保护层，先开挖中间后开挖两侧的顺序进行开挖。III 区采用 YQ100B 潜孔钻进行中间区域的钻孔爆破，对预留的  $1.5m$  保护层则采用 YT-28 手风钻钻孔爆破处理，最后对爆破后底部弧形段局部欠挖部分采用风镐进行处理，直至开挖边线满足设计要求。

## 3 施工中重难点问题及解决措施

由于隧洞渐变段及进/出水口地面部分开挖暴露的岩石情况普遍较差，结合设计下发的地质预报内容，进/出水口整个隧洞区域的岩石完整性极不理想。因此在开挖过程中面临三个重难点：①施工期井口段井壁的稳定；②隧洞弯肘段 I 区和 II 区交界处顶拱部位开挖过程中施工安全；③竖井开挖过程中不良

地质段及岩脉处理。

解决措施：（1）在竖井开挖时，对竖井井口 4m 范围内采用钢支撑进行锁口。锁口的具体参数为：a、4m 范围内每隔 50cm 布置一榀环形 I20a 工字钢，环形工字钢与系统锚杆焊接牢固；b、钢支撑之间采用  $\Phi 22$  钢筋进行连接，环距 1m，形成一个整体。

（2）根据现场已开挖隧洞渐变段区域的施工经验，在进行 II 区开挖时，半洞全断面开挖至 Y0-20.65 桩号是可行的，但进行弯肘段顶拱开挖时施工难度较大。为保证弯肘段开挖安全，在隧洞弯肘段 I 区开挖至 A 点后，向下游侧进行超前小导管施工，超前小导管为  $\Phi 42$ 、 $L=6m$  的铁管制成，间距为 0.4m，并按搭接 2m 跟进，超前小导管施工时不得占用设计开挖断面。具体施工方法如下图 6 所示。

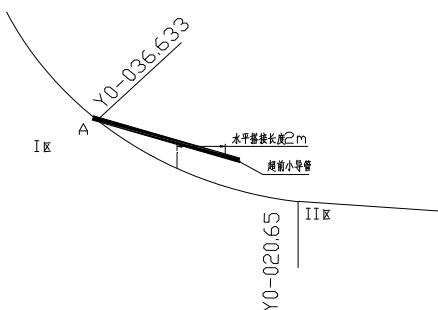


图 6 超前小导管支护施工示意图

（3）在竖井等径段遇不良地质段时，将开挖进尺立即缩短至 80~100cm，同时采用 I20a 工字钢进行加强支护。工字钢绕井壁一圈，在一个断面全部开挖成型后开始支立，相邻两榀工字钢间距 80~100cm，并在中间采用环距 1m 的  $\Phi 22$  钢筋连接，同时，该区域与工字钢相邻的系统锚杆必须与工字钢焊接牢固，确保支护系统形成整体。

#### 4 施工进度

隧洞竖井 I 区开挖每 4m 作为一个循环，各工序时间见表 1。

表 1 竖井开挖支护循环表

序号	工序名称	时间	备注
1	4m 钻孔爆破	18 小时	
2	2m 出渣	35 小时	
3	2m 支护	10 小时	
4	下 2m 保护层钻孔爆破	8 小时	
5	下 2m 出渣	35 小时	
6	2m 支护	10 小时	

7	考虑工序衔接	6 小时	
8	合计	122 小时	
9	每天按照 20 小时工作计算	竖井天平均进尺 0.65m/d	
1#竖井开挖 75 天。			

### 5 施工安全保证措施

#### 5.1 爆破施工安全措施

在进行井口及顶部 20m 段正井开挖爆破时，因爆破冲击、飞石会对竖井出口周边部位内人员及机械设备造成一定的影响。为防止爆破冲击、飞石对人员设备及周边支护结构的损坏。通过试验调整炸药单孔装药量并改善装药结构，尽量用黄泥堵塞密实，并确保炮孔堵塞质量。与此同时，及时清除孔口碎石等杂物，在进行井口段开挖时用麻袋对部分炮孔进行压孔处理。

#### 5.2 开挖出渣安全措施

（1）在进行竖井扩挖前，在距离竖井开口线外 50cm 处修筑一圈高 50cm，宽 30cm 的浆砌石挡墙，以防止石渣及井口周边汇水等落入井内造成危险及不便。

（2）井口周边按要求设置标准防护栏，涂刷警示标志。防护栏外挂钢丝网并设置踢脚板，同时挂设各种安全警示标志。

（3）井底作业反铲驾驶室的顶部加装一块防护钢板，以确保反铲驾驶员作业过程中人身安全。反铲防护钢板安装示意图见图 7。



图 7 反铲防护钢板安装示意图

（4）在竖井底部开挖出渣区域设置一处临时简易防护棚，方便料斗挂钩人员在出料斗起吊过程中进入防护棚中躲避，并指挥汽车吊井下范围内的起吊作业。防护棚安装示意图见图 8。

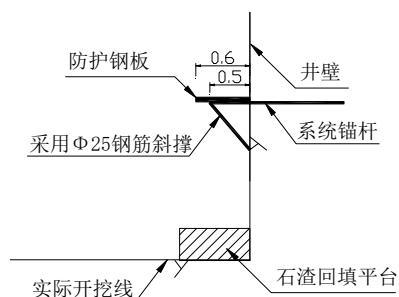


图 8 竖井简易防护棚安装示意图

(5) 在开挖爆破后支护立即跟上, 以防止出现塌方。与此同时, 配备足够的通风及照明设备, 作好洞内通风及照明, 防止有害气体对人体造成伤害。

### 5.3 起重作业安全措施

(1) 竖井出渣时, 竖井内严禁进行任何其他施工作业, 并分别在井内和井口各设置一名专职安全员进行指挥, 吊车司机、井内挖掘机司机、安全员指挥人员按要求配备对讲机进行联系。

(2) 起吊作业吊车的各种需手续齐全, 并在有效范围内。吊车司机持有效证件上岗, 每天对钢丝绳、吊钩、出料斗进行检查, 确保完好无损。

(3) 出渣过程中, 除装料反铲外和拆装卸料斗人员, 井内严禁其他人在作业。竖井内作业挖掘机严禁在吊车臂的投影范围内进行作业;

### 5.4 其他安全施工措施

(1) 每项工程施工前做好安全和技术交底相关工作, 施工严格按照施工措施和技术交底的要求进行, 在危险地段设置安全警示牌、安全围栏, 加强对机械设备的安全检查, 确保机械设备完好; 对所有施工人员配备齐全的劳动保护用品;

(2) 洞内施工所用的动力线路和照明线路, 必须架按照规范要求进行架设, 同时做好需固定牢靠, 洞内布置闸刀、开关的部位, 需设置明显的安全警示牌。

(3) 进/出水口竖井开挖支护施工时施工人员采用竖直爬梯上下, 竖直爬梯与锚杆外露端焊接牢固, 爬梯具体施工参数见图 9。距离底部 2m 以上的临空面设防护栏, 并在爬梯每隔 8m 处设置一休息平台供施工人员临时休息, 见图 10。

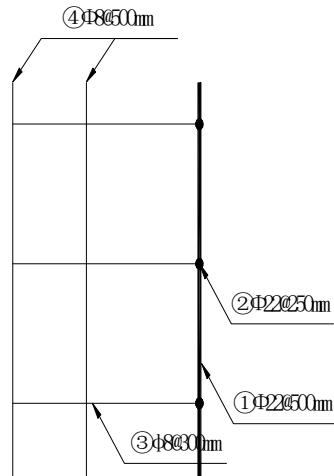
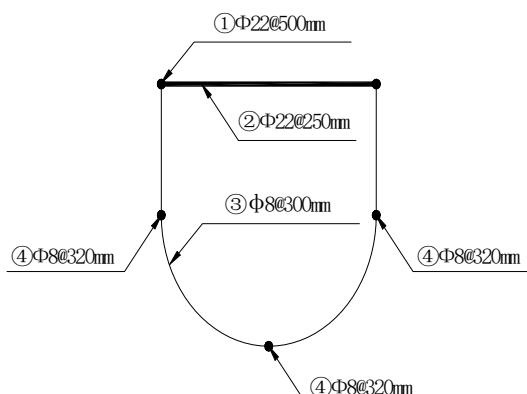


图 9 爬梯结构示意图

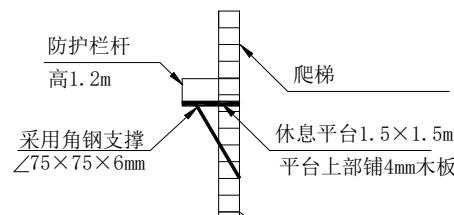


图 10 休息平台剖面图

(4) 降雨天气需停止井内的一切作业施工, 并在井口安排专人值班, 做好排水和警戒工作; 在雨后恢复施工前, 需对所有施工机具及设备进行检查, 检查无误后方可继续施工;

(5) 做好竖井井壁变形监测工作, 发现问题应立即停止施工, 撤出所有人员和施工设备, 并及时向上级部门汇报, 采取相应的措施。

## 6 结语

溧阳抽水蓄能电站上水库进出水口开挖支护施工, 通过施工人员的共同努力, 在围岩条件十分恶劣的情况下, 采用正井开挖方法平均每天进尺达到 0.65m。随着施工工序间配合及吊车出渣施工的越来越熟练, 最终实际平均每天进尺 1.1m, 两个竖井开挖提前工期近一个月, 在保证安全的前提下, 节约了成本, 取得了较大的经济和社会效益。

选择合理的施工方法是竖井开挖工程的关键, 万无一失的安全控制措施是竖井开挖顺利完成的保证。汽车吊出渣正井开挖施工方法是溧阳抽水蓄能电站上水库竖井开挖施工中一种创新, 该方法解决了劣 V 类围岩及复杂地质条件下 55 米竖井开挖的难题, 方法的成功运用为类似工程提供了施工技术参考。

## 参考文献:

- [1] 王钟, 张宏达. 浅谈溧阳抽水蓄能电站不良地质洞段开挖施工. 水利水电工程, 2016-04.
- [2] 王鹏. 反井钻机在抽水蓄能电站尾水调压竖井施工中的应用. 建筑设计及理论, 2019-09.