

# 超长不良地质条件下竖井施工技术

曲大威 陈 晶

中国水利水电建设工程咨询西北有限公司 西安 710061

**【摘要】**通过介绍溧阳抽水蓄能电站②引水竖井开挖支护施工情况,结合工程实例,对超长不良地质条件下竖井施工方案比选,采取的合理施工工艺解决超长不良地质条件下竖井开挖的工期、质量问题进行了分析总结。

**【关键词】**竖井开挖;支护;超长不良地质段;方案比选;溧阳抽水蓄能电站

## 1.工程概述

某抽水蓄能电站②引水竖井段长度为126.4m(不含上下弯段),引水竖井为引水主洞上平段与下平段的连接通道。施工过程中,考虑上下弯段部分扩挖区域,引水竖井实际开挖深度为170.5m,开挖断面为圆形,最大开挖直径为10.8m。

根据引水竖井导井以及已开挖提示的地质情况判断,EL75m以上,为F54断层及影响带,岩体完整性差,为红褐色泥质粉砂岩,节理裂隙发育,夹泥质较多,F54断层带由断层泥、角砾岩和碎裂岩组成,胶结较差,断层破碎影响带宽度1m~3m。EL2m以下,主要为45#安山斑岩岩脉,岩脉与砂岩接触部位岩脉属中等~强烈蚀变,围岩属IV2~V类,竖井中部EL75m~EL2m处较复杂,45#岩脉、F54断层影响带及砂岩均有出露。在进行 $\phi 1.8\text{m}$ 导井反拉过程中及反拉后,45#岩脉沿导井发生逐次剥落塌方而在底部形成了空腔。反拉结束后,曾尝试将塌空区内的堆碴全部运出,但发现大量出碴时,塌空区内再次发生连续掉块,为防止塌空区进一步扩大而失控,暂停了塌空区大量出碴。为了查明塌空区情况,分别进行了五次井内摄像,结合导井摄像以及超前孔勘探发现塌空区范围在逐步扩大,且塌方体现状不明,给工程施工造成了极大难度,存在较大的安全隐患及工期无法有效保证。

## 2.竖井开挖原定方案

②引水竖井原计划采用反井法施工,使用反井钻机先施工 $\phi 1.8\text{m}$ 导井进行溜碴,再一次性扩挖支护到位。采用型钢拱架喷混凝土进行加固封闭。

在引水竖井上平段及下弯段开挖完成后,进行竖井导井开挖,导井开挖采用LM200型反井钻机施工,首先由上至下进行先导孔施工,导孔贯通后安装 $\phi 1.8\text{m}$ 扩孔钻头,由下至上进行反导井施工。导井施工程序按照“施工准备—反井钻机就位—导孔钻进施工—导井反拉成型”四步进行施工。

竖井开挖采用全断面自上而下分层开挖方式进行

施工。 $\phi 1.8\text{m}$ 导井口设置井盖,除爆破出渣过程外井盖一直处于封闭状态,采用YT28手风钻进行造孔施工,爆破后由0.3m<sup>3</sup>反铲甩渣至竖井下弯段,自下弯段进行出渣作业。

## 3.引水竖井塌井后开挖支护方案

### 3.1.塌井后状况

在工程施工过程中由于地质条件复杂多变,在 $\phi 1.8\text{m}$ 导井反拉过程中及反拉后,45#岩脉沿导井发生逐次剥落塌方而在底部形成了空腔。反拉结束后,曾尝试将塌空区内的堆碴全部运出,但发现大量出碴时,塌空区内再次发生连续掉块,发现邻近引水竖井的EL-27.5m引水系统排水廊道出现裂缝,并渗水量加大,说明塌空区已造成了EL-27.5m引水系统排水廊道的变形,塌空区进一步发展有可能危及EL-27.5m引水系统排水廊道的安全。为防止塌空区进一步扩大而失控,暂停了塌空区大量出碴施工。为了查明塌空区情况,连续多次进行了井内摄像。根据井内摄像、勘探孔及施工掌子面开挖揭露的情况表明引水竖井塌空区存在以下状况:

(1)塌空区和堆碴体体型复杂,上游方向垮塌范围超过设计边线较多,顺水流方向右侧局部超过设计边线,左侧基本无垮塌或少量垮塌。下游方向情况不明。即塌空区大部分洞段存在即有塌出设计边线的部位,同时也有未垮塌或少量垮塌的部分。塌空区与堆碴体间局部存在空腔。

(2)堆碴体自然形成,密实度差,与塌空区未接触处为自然极限稳定边坡。堆碴体承载能力差,承载时变形大;边坡受扰动时易滑塌。

(3)堆碴体内成分复杂,有岩脉、砂岩,有大至数方的大石块,也有岩脉吸水泥化后脱水形成的泥状物,也有上部开挖的爆碴。施工时钻孔难度大,有岩脉泥状物处灌浆可灌性差。

### 3.2.塌井后方案比选

引水竖井塌井后,拟选初步施工方案有四种:

方案一反井法开挖:控制性出渣、非塌空区按照V

类支护、塌空区采用压渣方式。

方案二正井法开挖：沉井结构设计、圈梁加锚筋桩、钢拱架、超前小导管。

方案三沉井法开挖：分段沉井。

方案四反井加正井开挖：分段开挖，非塌空区采用反井、塌空区采用正井。

四种方案优缺点对比分析见下表：

方案	优点	缺点
方案一：反井法开挖	施工进度快，正常情况月开挖强度可达到 30m/月；垂直运输吊物量少，提升系统布置简单；造价较低。	在进行开挖过程中，存在突然滑塌的危险，由于塌空区突然变大，堆渣体下降时会迅速出现大片的倒悬区域，倒悬区域会再次掉块甚至塌方，对施工形成极大的安全隐患。且塌方区的处理势必增加工期和工程投资，可控性差。
方案二：正井法开挖	采取稳盘等作为作业平台，安全稳定性高；便于对塌方松渣体进行处理。	月施工强度约为 10~15m/月，施工周期长；工程造价偏高；需暂停施工重新布置出渣系统，影响工期。
方案三：沉井法开挖	沉井施工可以较好的约束井壁，对周围的扰动影响范围小。	由于岩脉蚀变程度差异大，在技术上存在摩阻参数难以选定、平衡点较难控制、井筒纠偏难度大的问题；沉井法月施工强度约为 6m，施工周期长，难以满足进度要求；工程造价高。
方案四：反井加正井开挖	施工安全能有效的得到保证；可以有有效的提高施工进度；能有效的控制塌方区的发展趋势。	塌方体支护工程量大，需新布置提升系统，且提升系统布置复杂，增加工程投入。

经分析研究初步确定认为方案四反井加正井开挖比较合理：竖井分上下两段施工，上段非塌空区继续采用控制性出渣的反井施工方案，一旦发现异常（如：塌空区上移或扩大、出渣量不变竖井顶部高程不变等异常情况），或发生  $\Phi 1.8\text{m}$  导井堵井即按下段的方案改为正井施工；塌空段和岩脉段采用正井法进行扩挖，纵向小导管、径向锚杆、钢拱架喷混凝土、空腔逐层回填凝

土或砂浆、固结灌浆等手段对井壁加固等措施进行施工。

EL80m 以后，采用反井控制性出渣施工方案，经对每一循环的开挖石渣量与下部出渣量进行统计，表明每一循环开挖量与出渣量基本相同，且 EL-27.5m 排水廊道未见异常情况，说明塌空区由于压渣的作用未进一步发展。

### 3.3. 下半部正井法施工

引水竖井在 EL48m 处，塌空区虽出露但未影响竖井结构尺寸，故 EL44m 以下采用正井法进行施工（正井开挖提升系统已具备使用条件）。根据对塌空区及堆渣体的分析，确定竖井 EL44m 以下部位开挖支护方案如下：

(1) 为了后续竖井踏空区域进行补充支护方案留有一定余地，塌空区竖井开挖洞径有原来 10.8m 调整为 11.2m。堆渣体内正井开挖作业循环与常规正井法类似。循环进尺初定 1.0~1.5m。开挖后立即用钢支撑和锚喷支护进行加固。挂  $\Phi 8 @ 200 \times 200$  钢筋网喷 C25 混凝土，厚度 20cm（开挖后初喷 5cm，待拱架架立后再喷 15cm）；非塌空面系统锚杆采用普通砂浆锚杆，塌空面采用自进式锚杆，间排距  $@ 1\text{m} \times 1\text{m}$ 、长 4.5m；I18a 型钢拱架，排距 0.5m，并在塌空区域上方 EL38-40m 部位相对围岩较好部位进行混凝土圈梁施工，形成承上提下的壁坐效应，圈梁内设置承力钢筋，可根据圈梁混凝土重量进行钢筋配置，采用两排  $\Phi 32 L=9\text{m} @ 2 \times 2\text{m}$  水平辐射状锁扣锚筋桩对混凝土壁坐进行加固处理，增加 14a 槽钢进行纵向与系统工字钢连接，槽钢间距 1.5m，确保井内所有型钢拱架联合受力。

(2) 每开挖 1~2 个循环，设置一次超前小导管或超前锚杆，超前小导管间距 30~40cm，深度 3.5m。并利用超前小导管对下方堆渣体进行固结灌浆形成类似沉井的方法进行超前支护。每开挖 2~3 个循环，对已支护井壁进行固结灌浆，灌浆孔间排距  $@ 3\text{m} \times 3\text{m}$ （喷层内预埋 PVC 管），灌浆使用纯水泥浓浆（0.6:1）。

(3) 每隔 15m 左右设置一道 2m 高的现浇 C25 混凝土圈梁进行加强支护，圈梁厚度 0.3m，内侧配置钢筋网，钢支撑同其它段，并设置两排 9m 长  $@ 1.5\text{m} \times 1.5\text{m}$  锚筋桩进行加强支护。

(4) 视情况，每隔 10m 左右造辐射孔对塌空区与堆渣体间的空腔采用回填混凝土、砂浆或灌浆的方式进行必要的处理。

(5) 施工时，加强井筒沉降、井筒偏斜等监测，保证井筒施工各项偏差在合理范围内。

结合以上方案，同时参考尾水主洞施工过程中长达

200 余米的不良地质平洞开挖支护施工经验, 引水竖井在后续开挖过程中, 根据揭露的地质条件及时进行动态调整, 施工过程中按照: a.对发现的塌空区必须采用自密实混凝土、灌注砂浆等手段回填; b.目前的支护形式圈梁和锚筋桩采取动态调整方式进行施工, 为防止虚渣塌落, 同时保持较大的开挖进尺 1.0~1.5m, 有利于加快施工进度, 小导管应及时跟进, 1.5m 间距槽钢纵向连接的方法进行开挖, 且施工 2~3 个循环及时进行灌注砂浆及水泥净浆等手段进行踏空区域固结, 井壁预埋间排距 3×3 长度为 1m 的回填固结灌浆管, 利用稳盘引管灌注砂浆, 灌浆压力 0.2-0.3MPa; c.支护方案优化后为了保证工程安全, 必须加强观测, 根据监测结果, 必要时采取加强支护措施; d.②引水竖井 EL44m 以下采用正井法进行施工。正经开挖最高月进尺达到了 20m, 期间未发生安全和质量事故。

#### 4. 安全监测

为确保竖井施工期轴线不发生偏移, 在竖井上井口设置四个铅垂, 直通竖井开挖面, 每循环均进行相应验证工作, 并在引水竖井塌空区附近布置 2 支锚杆应力计 (48m 高程)、在 EL-27.5m 排水廊道近②引水竖井方向布置 1 套多点位移计、钢板应力计。目前, 2 支锚杆应力计测值分别为压应力 0.7MPa、拉应力 29.0MPa, 多点位移计最大测值为 3.2mm, 测值较小, 趋势较平稳, 无

明显突变。为确保突发安全事故, 应按照相关要求制定相应应急预案。

#### 5. 总结

引水竖井超长不良地质情况下开挖施工过程中反井法施工段采用国内首创堆渣形式进行控制性出渣, 控制渣体平衡, 保证施工进度, 正井法开挖段采用对塌方堆渣体进度固结, 巧妙地将沉井法的理论与正井法进行结合, 取消了沉井井筒施工, 采用超前小导管加钢拱架替代沉井井筒和混凝土圈梁, 对堆渣体表层进行固结, 综合运用适当的超前小导管 (超前固结灌浆)、混凝土圈梁 (壁坐效应) 等支护形式, 形成安全的开挖支护方案, 以稳扎稳打的方式顺利完成超长不良地质条件下引水竖井开挖支护施工。

目前超长不良地质条件下引水竖井开挖施工并不是一项完全成熟的施工技术。本文的形成, 主要来源于工程施工中的管理经验, 希望能给其他同类工程一点有益的参考。

#### 【参考文献】

[1]抽水蓄能电站施工技术 (中国水利水电出版社, 主编:吕永航,方志勇)

作者简介: 曲大威 (1984—), 男, 吉林长春人, 工程师, 主要从事水利水电工程施工技术与管理工