

# 无衬砌地下洞室围岩涌水化学灌浆封堵

屈高见 马东辉

(中国水电三局有限公司勘测设计研究院)

**【摘要】** 仁宗海水库电站地处我国西南地区,富含地下水。其压力钢管下斜段围岩遇涌水问题导致无法浇注回填混凝土,经采用聚氨酯化学灌浆处理后,围岩涌水问题得到了较好的解决。其中的处理经验和工艺方法对类似工程问题具有重要的借鉴作用。

**【关键词】** 压力管道 围岩涌水 化学灌浆

## 1 前言

以云、贵、川为代表的我国西南地区广泛分布紧密背斜褶曲,内部赋存大量岩溶地下水,是典型的富水构造,给该地区隧道等地下开挖工程施工带来了难题,地下围岩高压涌水问题,常常困扰建设者。例如,四川雅砻江干流上的锦屏水电站地下洞室开挖过程中,普遍遭遇高压大流量地下水,导致开挖施工无法继续或衬砌混凝土无法浇注,很多无法直接用灌浆方法封堵的区域,不得不采取了诸如导洞分流减压、预灌浆等综合处理措施,因之工程投资增大,工期延长就成了无奈的事实。

众所周知,化学灌浆在防渗堵漏方面以其“工期短、见效快”的特点著称,但众多的工程实例是处理混凝土建筑物渗漏问题,而对于无混凝土衬砌的地下围岩涌水,往往因工程造价及诸多工艺困难而无缘化学灌浆。仁宗海水电站工程在山体内开挖引水管道时,遇围岩涌水问题而无法回填钢衬混凝土,经多种处理方案综合对比后,果断采用了化学灌浆方法处理,结果是再次展现了化学灌浆“工期短、见效快”的魅力。

## 2 工程概况

仁宗海水库电站位于四川省甘孜州康定县和雅安市石棉县境内,为引水式龙头水库电站。本工程采用混合式开发,即在田湾河干流上建坝,将干流上的水量引至田湾河最大支流一环河上的

仁宗海水库,汇合干、支流水量发电。仁宗海水库电站主要由坝区枢纽、引水系统、厂区枢纽及“引田入环”输水枢纽等建筑物组成。其中引水系统由电站进水口、引水隧洞、调压室和压力管道组成。压力管道在右岸山体内开挖形成,内衬钢管。主管开挖直径为4.8m,钢管回填混凝土厚度为0.6m。主管长约1229m,由4个平段和3个57°斜段组成,下斜井斜长250m(含两弯段30m)。

## 3 工程水文地质

工程区地处川西高原东南边缘,总体地势西北高东南低。在大地构造部位上处于川滇南北向构造带与甘孜褶皱断带交汇部位,区域地质构造背景复杂。工程区基岩为燕山期灰白色二长花岗岩( $\eta_{Y5}$ ),二长花岗岩为一种低吸水性、高强度、高弹模的岩石,据平硐揭示,弱风化深度44.5~114m,强风化多出现在断层带及裂隙密集带,常呈囊状风化,裂隙主要有三组:①  $N60^\circ \sim 70^\circ E / SE$ (或  $NW$ )  $\angle 70^\circ \sim 80^\circ$ ,延伸较长,局部密集发育;②  $N30^\circ \sim 40^\circ W / NE$ (或  $SW$ )  $\angle 30^\circ \sim 40^\circ$ ,延伸长;③  $N40^\circ \sim 50^\circ E / SE$   $\angle 70^\circ$ ,较发育。地下水类型主要为基岩裂隙水及第四系松散堆积孔隙潜水,受大气降水补给,排泄于沟谷与河谷,潜水位与河水位基本相当。弱卸荷岩体多有滴水现象,多处硐壁有股状水流,流量约30~50l/min,引水压力管道置于微风化~新鲜的以II、III类围岩为主的岩体内,其成洞条件较好。

#### 4 引水压力管道下斜段围岩涌水问题

仁宗水电站(RCVI标)引水压力管道的施工流程为:斜井开挖→钢管安装→钢管与围岩间混凝土回填浇注。2008年,在斜井开挖过程中,围岩涌水情况经常出现,最大一处涌水量达到198L/min,并表现出雨季涌水范围和涌水量显著增大的特点。为便于钢管安装和保证回填混凝土强度质量,施工方案要求下斜基岩清理、钢管安装和混凝土浇筑施工期间,采取“截水槽+铁皮漏斗+排水钢管”方式将围岩涌水引至下平洞后排出,并且抓紧非雨季的有利时机进行混凝土施工。

2008年12月中旬,压力管道下斜段管0+894~0+802m混凝土回填完成。在清理仓号准备下一仓浇筑时,发现该仓号顶部存在大量水泥浆,分析原因为,底部压力管道混凝土回填完成后,围岩涌水水位抬升,水压力增大,将已浇筑未凝固混凝土中水泥浆逐渐冲返至该仓顶部,同时由于斜井下部已回填混凝土堵塞围岩排水,导致围岩涌水水位抬升,斜井上部(管0+780m附近)围岩渗水量增大、散水部位增多。后清理出水泥浆达13m深(至管0+815m)。

2009年2月,经参建各方专家多次专题讨论会和施工方案专家咨询会,分析认为,由于围岩涌水点分散,且雨季会发生显著变化,因此采用“截水槽+铁皮漏斗+排水钢管”的方法排水给浇注混凝土创造条件的方法并不可靠。结合业主、专家、设计和监理意见,为确保下斜井未浇筑段混凝土回填施工质量,RCVI标在混凝土浇筑前,必须设法处理围岩涌水。

#### 5 围岩涌水处理方案的制定

依据下斜井区域水文地质条件及前期简单封堵引排失败的教训,首先排除了快干堵漏剂表面封堵、喷射快干混凝土以及水泥灌浆等方案。

下斜井涌水区段埋深超过800m,涌水压力大,因此,任何背水面表层涂抹嵌填封堵都无济

于事,徒劳无功。另外,围岩裂隙发育密集,加之爆破开挖影响,从围岩涌水量和涌水范围来观察,宽大裂隙、闭合裂隙、涌水量较大裂隙和滴水裂隙等各类裂隙都不同程度地存在,有些裂隙非雨天无水,雨天有水;有些裂隙回填混凝土之前无水,回填混凝土之后有水,以上因素导致先集中引排水后水泥灌浆方案无法实施。

综合以上总结分析,制定以下几点处理原则:

(1)采取聚氨酯化学灌浆,灌浆目的是给钢管和围岩间回填浇注混凝土创造条件;

(2)控制处理范围:下斜井(管0+815m~管0+770m)45m长度范围,围岩浅层灌注(化学灌浆孔深30-50cm);

(3)灌注过程中,对特别宽大裂隙的大流量涌水可埋管并通过钢管壁预留孔引入钢管内,待回填混凝土浇注完成并有一定强度后在钢管内集中灌注;

(4)具体灌浆工艺参数在先期生产性试验中制定完善。

### 6 化学灌浆

#### 6.1 化学灌浆材料

灌浆材料首选单组分水溶性聚氨酯灌浆液。对于大涌水,可酌情灌注少量双组分油溶性聚氨酯浆液。聚氨酯浆液(水溶性和油溶性)具有如下特点:

(1)在任何条件下都能与水反应而固化,所以浆液不会因遇水稀释而流失,有优异的动水固结特性;

(2)固化时间可以在几十秒到几分钟随意调节;

(3)浆材遇水反应时发泡膨胀,具有二次渗透扩散效果。

(4)聚氨酯浆液主要分水溶性和油溶性两种,油溶性聚氨酯与水溶性聚氨酯的差别,在于前者本身与水不混溶,可通过催化剂(如三乙胺)将浆液固化时间缩短至20s以内,常用于高压大

流量涌水封堵。

指标如表 5-1。

本工程实际使用的水溶性聚氨酯浆液性能

表 5-1 水溶性聚氨酯浆材料性能指标

材 料	指 标	YN 聚氨酯
	粘度(厘泊)	40~80
	比重(g/cm <sup>3</sup> )	1.05~1.1
	粘接强度(MPa)	1~1.8
	抗渗	S15
	伸长率(%)	300
	膨胀率(%)	≥350
	毒性	聚合物无毒

## 6.2 灌浆施工

### 6.2.1 本工程的难点

处理无衬砌围岩涌水不能简单地套用对混凝土裂缝渗漏水的化学灌浆施工工艺,封堵无衬砌围岩涌水需面对以下问题:

(1) 围岩不同于混凝土,是自然产物,相对是比较复杂的介质,其裂隙走向千变万化,对其内部钻孔灌浆时,浆液扩散路径难以把握;

(2) 下斜井岩石为低吸水性、高强度、高弹模的花岗岩,施工区域岩体中有较高的地应力,在压力注浆劈裂作用下,可能在局部区域遇到突发性的岩爆现象,岩石碎块弹射出来给施工人员带来安全威胁;

(3) 岩石表面无混凝土衬砌,不能采用较大的灌浆压力,给细小裂隙灌注带来困难;

(4) 在裂隙发育区,冒浆、漏浆现象不可避免;

(5) 施工空间夹在钢管和围岩间,平均宽度在 60cm 左右,工作面狭窄,给施工人员作业、设备外形尺寸及摆放都带来限制;

(6) 施工区域位于 57° 斜井中,进出工作面依靠固定在岩壁的数百米钢筋爬梯,给人员、材料、设备运送带来极大困难。

### 6.2.2 施工工艺

首先对围岩渗水裂隙进行普查,也可边灌浆边普查。化灌封堵裂隙渗水在斜井中自上而下循序推进。先灌注细裂隙,弱小渗水,再灌注渗水量较大裂隙,逐级围堵,对特别宽大裂隙的大流量涌水通过埋管由钢管壁预留孔引入钢管内,待回填混凝土浇注完成并有一定强度后再钢管内二次集中灌注。全部渗水区域灌浆及引排结束后,要求岩壁无明显滴水,符合回填浇注混凝土的要求。

施工工艺流程为:搭设施工平台→裂隙普查→布孔、钻孔→安装灌浆塞、连接灌浆泵→灌浆→再次布孔并重复灌浆程序→检查验收→清理施工现场。

(1) 搭设工作平台:一方面利用安装压力钢管的升降台车搭设可移动式的工作平台,用于布置灌浆设备及施工人员临时工作休息区域;

(2) 裂隙普查:对下斜井(管 0+815m~管 0+770m)区域进行渗水裂隙普查,标注裂隙走向,分类记录渗水量;

(3) 布孔、钻孔:在渗水裂隙一侧约 20cm 处布孔,钻孔设备采用手持式电锤,孔深 30cm~50cm,孔径范围 Φ18mm,孔距采用逐步加密法布置,二次布孔点视一轮灌浆结束后浆液扩散距离及渗水点重新分布情况而定。

(4) 安装灌浆塞:孔内装置采用加长型专用灌浆塞(孔内橡胶锚固段长度大于 10cm),安装

拆卸快速便捷。

(5) 灌浆: 自上而下单孔逐一进行纯压式灌浆, 浆液自裂隙一侧斜孔灌入, 逐步缓慢升压, 当裂隙表面渗出浆液后减小灌浆流量, 降低灌浆压力, 裂隙表面渗出浆液凝固时堵住漏水, 该孔灌浆结束。实际灌浆时, 灌浆压力不超过 1.0MPa, 岩石裂隙均渗出了浆液。对于涌水量较大的部位, 先采用少量油溶性聚氨酯灌注, 利用油溶性聚氨酯遇水固化反应更快的特点迅速减缓涌水量, 然后续灌水性聚氨酯直至渗水消失。一轮灌浆结束后, 检查灌后效果, 视渗水点重新分布情况进行下一轮灌浆, 直至围岩表面无渗水。

### 6.3 灌浆设备

灌浆设备采用欧洲进口轻便型电动隔膜泵, 该泵重量仅 20kg, 外形尺寸较小, 特别适合本工程狭窄工作面。该设备配有无级调速装置, 调流、调压方便, 流量范围 0~5l/min, 压力范围 0~25MPa。

### 7 封堵效果

2009年3月上旬, 对下斜段管 0+815m 以上约 45m 范围岩壁涌水采取了聚氨酯化学灌浆封堵处理, 累灌注漏水点 520 处, 历时 15 天。

仁宗海水电站发电引水洞下斜段围岩涌水处理取得了理想的效果, 总结该工艺具有以下特点:

(1) 占用工期短。主要工艺流程钻孔→装灌浆塞→灌浆→浆液固化四个环节通过优化设备装置、材料配比耗时较短, 平均完成一个流程耗时 40min, 被喻为“三快”, 即钻孔快、装塞快、浆液固化快。

(2) 节约成本。浅孔灌注, 浆液溢出缝面即结束, 涌水量大的部位先灌注少量遇水固化更快的油溶性聚氨酯, 最大程度控制浆液扩散范围, 减少漏浆损耗。

(3) 小型便携式设备组合, 特别适合高空、狭窄工作面堵漏抢险任务。

2009年3月20日, 业主、设计、监理联合对斜井封堵区域进行了效果检查, 经本次化学灌浆处理过的区域再无涌水、渗水现象, 完全满足浇注混凝土的条件。

### 8 结语

仁宗海水电站发电引水洞下斜段围岩涌水的成功封堵表明, 在处理无混凝土衬砌的地下围岩涌水时, 只要合理选择灌浆材料, 灵活优化工艺, 化学灌浆依然是较好的处理方法。

## 大西客专二标段首套移动模架吊装就位

在公司大西客专指挥部掀起“大干八十天, 完成年度生产任务”的劳动竞赛高潮中, 由二项目部承担的大西客专白石牧马河特大桥现浇梁移动模架, 经维修、部件配备、拼装, 在施工现场前两节主梁地面组对联接等工序全部完成。

9月28日, 指挥部指挥长单勇锋、常务副指挥长沈宏伟等领导亲临吊装现场指挥, 16时10分, 随着单勇锋一声令下, 施工现场鞭炮齐鸣, 两台50吨汽车起重机将重达46吨的主梁缓缓吊起, 25分钟后, 首台移动模架前两节主梁在离地面10米左右的支撑台上安全吊装就位。

## 黄河河口水电站3号机转子吊装成功

10月15日, 黄河河口水电站机电安装项目部全体员工再创佳绩, 成功完成了第二台机组转子的吊装任务。河口水电站时值大干高峰阶段, 13日吊装转轮、14日吊装灯泡头, 直至今日成功吊装3号机转子, 它的顺利完成标志着该电站发电机组安装又完成一个重要节点工期, 为黄河河口水电站实现年双双投目标又迈进了坚实的一步。