

锦屏二级水电站引水隧洞末端岩溶处理的实践研究

北京振冲工程股份有限公司 张文涛 陈敏

四川共拓岩土科技股份有限公司 钟久安

摘要：锦屏二级水电站引水隧洞为国内典型的高埋深、长大引水隧洞。电站位于青藏高原向四川盆地过渡的斜坡地带，区内碳酸盐类地层分布广泛，岩溶水文地质条件异常特殊且十分复杂。引水隧洞末端在施工过程中揭露多处厅堂式岩溶，并针对性采取了加强处理的措施。本文对该水电站一处岩溶处理的实施过程与重点关注问题进行研究，以期为类似工程提供借鉴。

关键词：岩溶地区；帷幕灌浆；高聚物复合；堵水浆材；施工工艺

1. 工程概况

雅砻江锦屏二级水电站位于青藏高原向四川盆地过渡的斜坡地带，利用雅砻江锦屏大河湾的310m天然落差，截弯取直开挖隧洞引水发电，隧洞最大埋深2525m，开挖洞径大于12m，单条引水隧洞长度为16.67km。

水电站区内碳酸盐类地层广泛分布，约占70%~80%，岩溶水文地质条件异常特殊且十分复杂。从设计勘测之初便成为建设者们关注的重点问题，同时该问题也伴随了整个建设工期。

该水电站引水隧洞中心高程下降约60m，这也就意味着引水隧洞末端构筑物 and 地层在发电运行期间将承受约为0.6MPa的水压力。因此，末端的岩溶处理需要更加慎重。本文将对3#引水隧洞末端引(3)16+590~16+638.38m桩号段施工过程中揭露的一处串珠式岩溶治理过程进行介绍，希望为类似工程提供参考。

2. 岩溶发育情况

1) 引水隧洞末端大水沟长探洞所揭示的岩溶形态和主喷水构造的水位恢复及溶隙率估算情况，反映了III区深部的岩溶发育程度，也在一定程度上反映了与岩性相近的 T_2b 地层的岩溶发育情况。其岩溶现象主要沿NNE、NWW、NEE三组结构面进行发育，表现为垂直状的溶蚀裂隙及小溶孔等，且以前者为主。在长探洞揭露的各涌水点特别是深部涌水点中，大多见涌水初期携有大量的泥砂，可见岩溶

地下水在岩体中的流动是很缓慢的，才能使泥砂沉淀下来，也说明岩溶现象是以裂隙型为主。

2) 在引水隧洞东端及厂区枢纽开挖施工中，陆续揭露了众多岩溶形态。其中，引水隧洞末端及高压管道区域，特别是沿 T_{2y}^5 和 T_{2y}^6 岩层分界面两侧，岩溶相对较为发育，并以竖直裂隙通道为主，局部小规模溶洞发育。

3) 引水隧洞末端处于三叠系盐塘组中厚层大理岩和泥质灰岩岩层分界面附近，岩性的变化导致岩溶作用强烈。

3. 治理过程

岩溶治理的流程包括：岩溶补充勘探→浅埋溶洞处理→裸岩固结灌浆→引水隧洞衬砌混凝土施工→衬后灌浆。

3.1 岩溶补充勘探

当开挖揭示局部小型溶洞后，为了进一步探明引水隧洞开挖轮廓线以外部分岩溶发育情况，采取了岩溶处理洞段的岩溶补充勘探。补充勘探的目的是为了进一步揭示岩溶区岩溶发育的桩号、深度、影响范围等特征，以便为制定下一步针对性处理措施提供依据。

主要勘探的手段包括：

1) 钻探。利用钻孔对引水隧洞开挖轮廓线以外20m范围进行揭示。钻孔过程中详细记录钻速变化大、进尺快、掉钻、失水、返黄泥等现象。

此次施工区域内共有施工探孔51个，孔径为75mm，施工深度为15m~27m不等。

探孔在固结灌浆钻孔中选取Ⅰ序孔进行施工,选取位置位于该段底板和边墙部位。钻孔施工过程中详细记录了遇到的特殊情况,并且终孔后将钻孔冲洗干净待下一步进行孔内电视成像。施工完成后,将钻孔遇到的特殊情况部位在断面图上展开后连接起来,推测出大致的岩溶发育走向,呈现桩号自小向大、底板自北侧向南侧逐渐加深的趋势。

2) 孔内电视。利用钻探钻孔对孔内进行电视成像,了解该区域溶蚀空腔、裂隙等不良地质体发育情况,进一步确定该部位岩溶发育的范围及规模。

孔内电视测试采用JL-IDOI(A)智能钻孔成像仪进行测试。测试完成后,将发现的钻孔内岩溶发育深度连接成线,推测岩溶发育的程度和趋势,最终验证出该洞段溶腔发育深度自小桩号至大桩号、自北侧至南侧有逐渐加深的趋势,这也与钻孔过程中的特殊情况趋势相互印证。(图1、图2)

3.2 浅埋溶洞处理

由于此次揭露的溶洞位于引水隧洞底部及下边墙位置,因此,针对浅埋溶洞的主要处理方法为:开挖揭露→溶洞清理→插筋施工(如有)→预埋回填管路→混凝土回填。

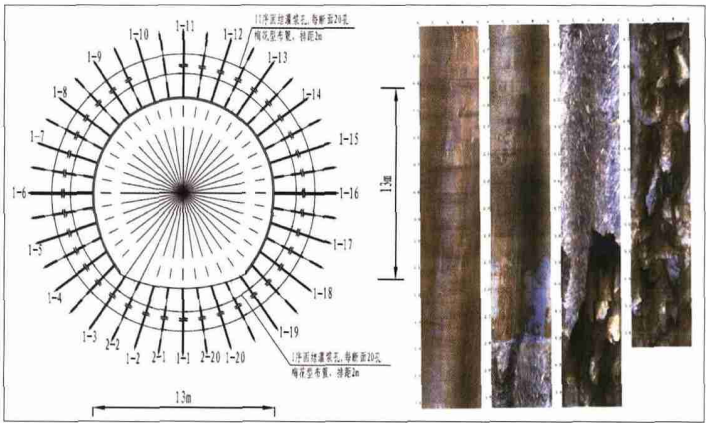


图1 引水隧洞固结灌浆钻孔布置典型图及钻孔电视全景展示图

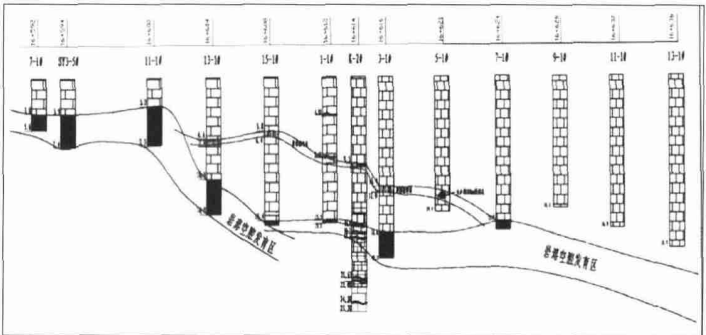


图2 勘探孔剖面图及岩溶空腔推测情况

1) 开挖揭露。针对局部未完全揭示的溶洞,直接采用爆破的方式进行开挖揭露,将开口扩大,便于后续清理及混凝土回填。

2) 溶洞清理。采用长臂挖掘机对溶洞内的溶蚀堆积物和开挖过程中的石渣进行清理。清理完成后,用高压水枪对溶洞壁进行冲洗。

3) 插筋施工。对于可以进入的稍大溶洞,采用人工进入洞内对洞壁进行插筋施工。插筋的参数为:Φ25mm、L=3m、外露1m、间距1m~1.5m,呈梅花型布置。

4) 预埋回填管路。主要针对向下存在拐弯和向上的溶洞进行处置。预埋泵管的同时还应安装回填灌浆管路。原则上,管路连接的长度应覆盖至隧洞开挖轮廓线以外20m的范围。

5) 混凝土回填。该工程采用了C25W6泵送自密实混凝土进行回填。

3.3 裸岩固结灌浆

浅埋溶洞处理完成后,对揭露了岩溶的洞段进行了全断面裸岩固结灌浆。裸岩固结灌浆的主要目的在于在引水隧洞衬砌之前对隧洞周边围岩进行固结,以期稳定隧洞周边围岩,并增强隧洞防渗性能。

本洞段裸岩固结灌浆施工的主要参数如表1所示。

表1 裸岩固结灌浆施工参数表

每环孔数(孔)	环距(m)	设计孔深(m)	分段(m)	灌浆压力(MPa)	备注
20	2.0	20	0~4	/	
			4~10	1.5	
			10~16	2.5	
			16~20	1.5	

此外,裸岩固结灌浆其他施工要求包括如下几个方面:

1) 灌浆方法:主要采用自深而浅、分段纯压式卡塞灌浆法,遇有特殊不良地质情况,根据需要改用自浅而深分段纯压式灌浆法或综合灌浆法。为防止底板孔在钻孔和灌浆过程中有污水进入孔内,在底板孔钻进时先对孔口进行了管镶铸。

2) 裸岩固结灌浆按环间分Ⅰ、Ⅱ序、环内加密的原则进行。灌浆时环内逐步加密,先灌奇数孔,后灌偶数孔,并先灌底部孔,再灌顶部孔。

3) 灌浆浆液:采用水灰比为0.8:1和0.5:1两个比级,特殊情况灌注水泥砂浆比级为0.5:1:1。

4) 灌浆结束标准:在设计规定的灌浆压力下,采用自深而浅的方式灌浆,灌浆孔除孔口第一段外,吸浆量不大于 1L/min,继续灌注 10min,即可结束;孔口第一段吸浆量不大于 1L/min,继续灌注 30min,方可结束。但若以 0.5:1 的水灰比灌注结束,吸浆量不大于 1L/min,继续灌注 20min,即可结束。

5) 结合前期勘探成果,底板存在较大脱空位置,采用 $\phi 110 \sim \phi 130$ 大口径钻孔施工至脱空部位,且直接采用回填砂浆方式进行施工。

6) 为了尽量避免现场灌浆施工过程中表面串浆、漏浆等现象对裸岩固结灌浆施工的影响,视渗漏情况选择性地对 0 ~ 4m 非灌段部分采用低压浓浆进行表层封闭灌浆。浆液水灰比采用 0.5:1,灌浆压力采用 1MPa 纯压式灌浆,结束标准同固结灌浆结束。

7) 合格标准为:①检查孔压水试验检查采用单点法。合格标准为检查孔在 1.0MPa 压力下,75% 以上试段的透水率不大于 1Lu,其余试段的透水率值不超过 2Lu,且分布不集中时为合格。该标准是灌浆质量检查的主要控制标准。②岩溶区岩体灌后声波检查合格标准为 75% 的测试值不小于 5000m/s,小于 4250m/s 的测试值不超过 3%,且分布不集中。该标准是灌浆质量检查的辅助控制标准。

3.4 引水隧洞衬砌混凝土施工

待裸岩固结灌浆施工完成后,紧接着要进行引水隧洞衬砌混凝土施工。衬砌混凝土的主要参数指标为:

1) 衬砌混凝土强度等级采用 C25W6;

2) 衬砌混凝土厚度 $d=60\text{cm}$;

3) 钢筋布置参数为 $\Phi 25\text{mm}$,

@ $\times$ @=20cm $\times$ 20cm;

4) 混凝土浇筑先采用针梁台车施工平底板混凝土并预留小边墙,再采用钢模台车施工边顶拱混凝土;

5) 混凝土养护采用圆弧形喷射水雾台车进行水雾养护;

6) 混凝土浇筑前安装 20m 深的渗压计、钢筋应力应变计等安全监测装置;

3.5 衬后灌浆

混凝土衬砌施工完成后,按照回填灌浆、固结灌浆的顺序施工衬后灌浆。

1) 衬后回填灌浆

衬后回填灌浆在衬砌达到 70% 的强度后,采用

钻孔灌浆的方式进行。施工时按照由低到高的顺序进行灌注,灌注的浆液为 0.5:1 纯水泥浆液(掺加 5% 的轻烧 MgO),灌浆压力为 0.5MPa。

2) 衬后防渗固结灌浆

衬后防渗固结灌浆是在衬砌前裸岩固结灌浆和衬砌混凝土的基础上进行的,其主要是进一步提高本洞段的隧洞围岩防渗性能。其主要的施工参数为:最大灌浆压力 6MPa、灌浆浆液从 3:1 ~ 0.5:1 共 4 级、灌浆深度为 12m、检查标准为 1Lu。

另外,值得指出的是,锦屏二级水电站灌浆工程在施工单位自检与监理单位旁站检查的基础上引入了第三方质量检查机制,在整个引水隧洞灌浆质量检查过程中对岩溶区灌浆进行了重点检查。通过对裸岩固结灌浆和衬后防渗固结灌浆的质量检查,处理洞段的灌浆施工质量完全满足设计要求,为岩溶洞段后期蓄水抗压提供了坚实的基础。

4. 结论

通过一系列的综合处理措施,引水隧洞末端的岩溶得到了有效的治理。水电站充水发电后,各项安全监测指标正常,内外水无水力联系,实现了设计预期的施工目标。

目前,岩溶处理不断成为各类地下工程施工的拦路虎,特别是在西南地区表现更为明显。笔者认为,在进行岩溶处理时应采用多种措施综合判断岩溶发育情况、根据不同的要求采用稳妥的方案进行岩溶治理、重视灌浆技术在岩溶处理中的重要作用,同时研究高压旋喷灌浆在溶洞堆积物加固中的应用、桩基础和其他承载力提升手段在隧洞底板加固中的应用等。

参考文献

- [1] 马文波,宋威.锦屏二级水电站引水隧洞岩溶段处理措施及施工[J].人民长江,2015(20):63-66.
- [2] 蒙彦,雷明堂.岩溶区隧道涌水研究现状及建议[C].岩溶区隧道修筑技术专题研讨会,2004.
- [3] 冯艳玲.灌浆过程中漏浆、串浆等问题的处理及预防[J].工业设计,2012(2):244-245.
- [4] 张贵金,曾柳絮,陈安重等.松软地层高压灌浆封孔浆体研制及应用论证[J].岩土工程学报,2012,34(6):1109-1116.
- [5] 董波,邓昌奇.浅谈回填灌浆、固结灌浆的技术与规定[J].四川水力发电,2010,29(a01):106-106.
- [6] 陈维.分析水利工程隧洞回填的灌浆施工技术[J].农业科技与信息,2015(10):106-107.