

大桥引水隧洞采用超前注浆 穿越大断层的成功实例

杨小林

(四川大学水电学院, 四川成都 610065)

摘要: 大桥水库位于四川省凉山州冕宁县境内, 是安宁河干流的龙头水库, 为大(II)型工程, 引水隧洞全长 6 571.34 m。位于高地震烈度区, 地质条件异常复杂。施工中按新奥法原理, 采用超前注浆措施加固围岩, 提高围岩的自承能力, 取得了明显的技术和经济效果。

关键词: 超前注浆; 围岩加固; 新奥法; 开挖; 监测

中图分类号: TV 672⁺. 1; TV 543

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2000)04-0082-03

1 地下碎屑流的地质特点

f_{226} 断层与引水洞轴线呈 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 交角, 为区域性大断裂, 断层宽约 250~300 m, 性状差, 岩体破碎, 地下水活动强烈, 风化后呈黄褐色, 为 V_1^3 类围岩。围岩桩号引 5+585~5+525 段位于 f_{226} 的核心带, 上导坑开挖时曾发生碎屑流涌出现象, 流出物为碎石、砂土混合物, 砂、土占 40%, 碎石占 60%, 孔隙率约 0.5, 表面自然坡度为 10%, 涌水量达 600~800 t/d, 地质上称之为地下碎屑或地下泥石流。

2 注浆设计

导洞内的泥石流是因为流出的土、石堵住导洞空间才临时停止流动, 如果采用清方的办法, 可能破坏临时的平衡状态而发生更大的泥石流涌出, 因此, 经研究决定在开挖前先进行全断面预注浆来堵水和加固已经破坏的围岩和松散体。

2.1 注浆设备的选择

采用日本 HFU-5D 双液注浆泵。该设备出浆量 $2 \times 70 \text{ L/m in}$, 最大出浆压力 10 MPa, 输入管管径为 38.1 mm, 输出管管径为 25.4 mm。

2.2 浆液配制

2.2.1 原材料

- (1) 水泥: 采用 525 号普通硅酸盐水泥。
- (2) 水玻璃: 模数 2.6, 浓度 30~40 波美度。
- (3) 缓凝剂: 工业品 Na_2HPO_4 (磷酸氢二钠)。

2.2.2 注浆参数选择

每次注浆前应进行注水试验, 根据每 m in 的注水量来确定浆液配比。

注双液浆时, 水灰比为 1.25:1~0.6:1, 水玻璃的浓度为 30~40 波美度; 水泥浆和水玻璃浆液的体积比为 1:1~1:0.3; 在水泥浆中掺有水泥重量

1%~2.5% 的磷酸氢二钠。

孔内无水时注单液浆, 水灰比 1:1~0.8:1; 为缩短凝结时间, 在水泥浆内掺有水泥重量 3% 的水玻璃, 或者掺入水泥重量 0.5% 的三乙醇胺和 5% 的氯化钠; 凝结时间约 7 h。

孔内水不多时, 水灰比 1:1~1.25:1; 水玻璃浓度为 30 波美度; 水泥、水玻璃浆液的体积比为 1:1~0.75; 磷酸氢二钠掺入量为 1%~1.5%, 凝结时间 3~5 min。

孔内水大时采用浓水泥浆, 水灰比 0.8:1~0.6:1, 水玻璃浓度为 40 波美度; 水泥、水玻璃浆液的体积比为 1:0.3~1:0.6, 凝结时间 30~50 s。

注浆浆液参数的选择在很大程度上影响注浆的效果, 而且是很难预先精确确定, 技术人员可根据以往经验和注浆中的实际情况进行选择 and 调整。

2.2.3 浆材性能指标

抗压强度: 1 d 为 1.5~2.0 MPa, 7 d 为 7.0~7.5 MPa, 14 d 为 8.0~9.0 MPa; 凝胶时间为 1~10 min, 可调。

2.3 注浆压力及扩散半径

注浆压力范围 0~5 MPa, 浆液扩散范围经初算确定为 0.9~1.1 m, 注浆管布设间距为 1.0~1.1 m。浆液注入量初步按注浆范围的 5%~10% 考虑。

注浆管采用 $\varnothing 42 \text{ mm}$ 钢管加工而成, 注浆管长 3~3.5 m, 开孔长度 2 m。

2.4 注浆结束标准

单孔结束注浆的标准是钻孔已到规定深度, 注入量达到设计的 80%, 注浆压力达到设计的终压 (3~5 MPa)。

结束全段注浆的标准是:

全部注浆孔均已符合单孔结束注浆标准;

收稿日期: 2000-04-10

钻检查孔无塌孔和卡钻现象;
检查孔每m 平均出水量小于 1 L /m in;
取芯检查已经达到加固效果。

2.5 注浆材料消耗

本工程在 f_{226} 断层核心带进行了近 60m 长的超前预注浆施工, 统计主要材料消耗见表 1。

表 1 注浆施工主要工程量表 单位: 每延米

| 序号 | 材料名称 | 材料规格 | 单 工 程 量 | | 备 注 |
|----|------|--------------------|-----------|-------|-------|
| | | | 位 设计 | 实际 | |
| 1 | 水泥 | 525 号普通硅酸盐 | t 18.24 | 1.88 | |
| 2 | 水玻璃 | 模数 26.35Be | t 15.05 | 3.38 | |
| 3 | 缓凝剂 | $N a_2 H P o_4$ | t 0.342 | 0.028 | |
| 4 | 注浆管 | $\varnothing 2$ mm | t 0.39 | 0.064 | |
| 5 | 喷混凝土 | 200 号 | m^3 6.7 | 0.57 | 封闭掌子面 |

实际上每延米注入的水泥和水玻璃比原设计的量要小得多, 主要原因为: 在现场实施中, 根据地下水等情况, 大部分地段的注浆孔由原来的上半部全断面布置改为只布设上半部的周边孔及二圈孔。

3 开挖方法

泥石流段采用的是分层分部开挖法, 上半断面开挖采用了环状开挖留核心的方法, 见图 1。

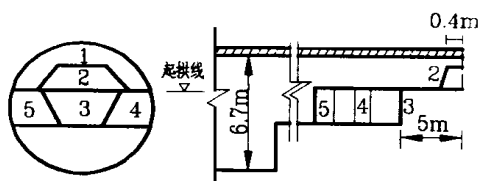


图 1 碎屑流段开挖顺序图

图 1 中每次开挖的长度: 0.6~0.8m; 小于 1m; 2m; 、 1m。

在开挖 时由于每次开挖仅 0.6~0.8m, 土体又有一定的自稳能力, 因此, 开挖前部分设超前防护。考虑到注浆加固范围内的土体仅是压实和堵水, 并没有固结成块, 在注浆加固范围外仍为含水饱和、经扰动的土、石混合物, 开挖后地层的压力很大, 为此, 加强了开挖前的初期支护。

4 初期支护

采用管棚+ 半壳式格栅拱+ 钢筋网+ 喷射混凝土的联合初期支护体系。支护参数为: 管棚为外径 $\varnothing 42$ mm, 长 3.0m 的钢花管, 沿开挖轮廓周边以中心距 30 cm, 外插角 $12^{\circ} \sim 18^{\circ}$ 布置 (结合超前预注浆布置); 格栅拱为 $15\text{ cm} \times 15\text{ cm}$ 的正方形截面, 由主筋和加强筋按适当形式构造的二向等刚度型式, 格栅拱间距为 60~80 cm; 钢筋网为 $\varnothing 6$, 网孔尺寸 $10\text{ cm} \times 10\text{ cm} \sim 20\text{ cm} \times 20\text{ cm}$, 钢筋网与钢支撑焊接,

格栅拱之间的连接筋 $\varnothing 22$ mm, 间距 30 cm; 喷 200 号混凝土 17~20 cm。

5 原始监测数据的整理及分析

5.1 原始监测数据的收集和整理

引 5+570 量测断面的 H_3 测线量测结果绘制成变形曲线见图 2。

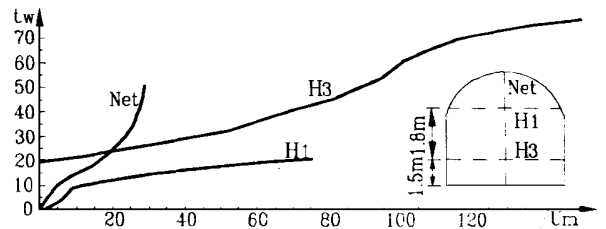


图 2 引 5+570 处的变形曲线图

5.2 变形曲线分析及信息反馈

从该断面的变形曲线可反应出围岩的稳定情况和初期支护体系所经历的几个重要过程:

(1) 在上部开挖后, 中下层开挖之前, H_1 和 N_{et} 变形速率逐日减小, 说明围岩在现有条件下初期支护体系是安全的。

(2) 在中、下层开挖过程中, H_1 变形速率急剧增大, 最高达 20.08 mm/d 。9 月 13 日, 该断面的下半部开挖结束, 为便于施测, H_1 测线的量测停止, 转测 H_3 。当日在断面左侧拱部出现环向混凝土裂缝, 补喷混凝土 10~13 cm。

(3) 中下层开挖结束后, 鉴于测线 H_3 仍以 $4\sim 7\text{ mm/d}$ 的速率增加, 于 9 月 25 日和 10 月 5 日两次用 $\varnothing 100$ 钢管作横向支撑并加喷混凝土, 个别地方作双排支撑, 变形速率逐日递减, 于 10 月 16 日后降至 1 mm/d 以下并持续。

(4) 10 月 31 日, 为准备该段的二次衬砌绑扎钢筋及模板台就位, 割去部分横向钢支撑, 导致 H_3 变形异常, 速率高达 16.48 mm/d , 变形持续较长时间且无稳定之趋势, 在左侧边墙及拱部出现喷混凝土裂缝并脱落, 原横向支撑被压弯。为防止险情进一步发展, 立即采取以下措施:

用 $\varnothing 100$ 钢管进行横向支撑, 间距 1.0m, 对已变形的钢支撑补加一排横向支撑, 支撑下部留 2.5m 高度, 保证有轨运输通道。

对变形段予以加喷 300 号混凝土 5 cm 厚。

在处于支撑稳定下的二次衬砌施工分两步进行:

a. 按永久二次衬砌的外层钢筋绑扎, 并留足内外联接筋的节点, 再喷 300 号混凝土 20 cm 覆盖外层筋。

b. 待喷混凝土达到强度后, 取掉横支撑, 完成

二次衬砌的内层钢筋,并用钢模台车浇筑混凝土。

5.3 变形监测的结论与建议

根据围岩的稳定变化及初期支护变形发展过程,可得出如下结论:

(1)围岩松散,并具有一定的膨胀性,自承能力差是导致变形的重要因素。

(2)尽管在开挖前采用了超前双液注浆,且初期支护体系的工程量也很大,但仍出现变形持续且长时间无稳定的趋势,累计变形达 152 97 mm,说明初期支护体系存在严重缺陷:初期支护体系呈半壳式,未形成封闭支承;格栅拱未施作锁脚锚杆,特别是注浆锁脚锚杆,以保证栅拱的稳定和支撑作用,并有效地抑制由于围岩长期松弛变形而引起的过大侧压力。

基于以上分析,建议施作仰拱和锁脚锚杆。实际施工中考虑到施作仰拱对工程影响较大,仅施作了锁脚锚杆,也取得了较好的效果。

6 超前双液预注浆的效果

双液注浆对富水地段的地下碎屑流施工效果明显,而对有膨胀性未成岩夹泥所引起的初期支护变形有一定的固结抑制作用,但效果不很显著。

开挖后检查,泥石流土体中的浆液呈条状、树枝状分布,高压浆液将流动土体压密,将水挤出,达到

了加固堵水作用。涌水量由原来的 600~800 t/d 减为小于 30 t/d,基本上作到了开挖无水(局部呈散状滴水);土体开挖后有一定自稳能力,为安全通过碎屑流段创造了条件。对于未经碎屑流扰动的土、砂夹石部分和充填有粘土的破碎岩体部分,由于其透水性差,注浆效果也差。

根据开挖后检查分析,泥石流土体(特别是具有膨胀性粘土)经注浆加固后,固结效果较差,破碎有裂隙的岩体固结效果较好,Φ42 的钻孔超过 5 m 后注浆效果不太好,用大直径的钻孔注浆效果更好。

7 结语

用超前预注浆法通过地下碎屑流是成功的,但所花代价较大,该段双液预注浆预算价达 3.7 万元/延 m,实际上每延 m 也近万元,每月开挖进尺为 15~46 m,1996 年度平均月进尺达 26.6 m,施工速度在该条件下是比较快的。工程实践证明,预先探明地质情况,在可能发生泥石流段进行预注浆加固,采用预注浆等合适的开挖方法施工,比流出来、塌下来再注浆所花的代价和工期要小得多。

作者简介:

杨小林(1970年-),男,四川大邑人,四川省水利水电勘测设计研究院工程师,学士,四川大学水电学院在职研究生,从事水电工程设计工作

(上接第 81 页)

随着三峡工程的建设 and 送电,将逐步形成全国性的大电网,目前进行分区联网,也应是三峡工程建设的组成部分,应该统筹规划,分步实施。由三峡工程承担一部分输配电建设资金理应是责无旁贷。

电源建设与电网建设是一个有机的整体,国家也应积极组织有关地区和部门,根据我国一次能源分布的特点,统一进行电网的规划与建设,避免和克服有电送不出,缺电又送不进来的现象,造成国家资源的浪费。

4 结束语

综上所述,我们认为:目前四川的电力富裕是在低用电水平下的暂时缓解。我们应该保持清醒的头脑,审时度势,在继续加强电源建设的同时,加强电

网建设。积极采取有效的措施,开拓四川广阔的电力销售市场,实现“西电东送”,让丰富的四川水力资源为四川和全国的国民经济持续、稳定、健康地发展作出应有的贡献。

本文经陈汉冕教授级高工校阅并提供资料,深表感谢。

参考文献:

- [1] 朱成章. 世界河流水能资源估算与利用[J]. 水力发电学报, 1987, (4).
- [2] 马光文,艾明建,樊天龙. 开拓四川电力市场迫在眉睫[J]. 四川水力发电, 1999, (1).

作者简介:

张登仕(1933年-),男,湖北当阳人,国家电力公司成都勘测设计研究院教授级高工,从事水电站水能设计和研究工作

《国家电力公司科学技术进步奖励办法》和 《国家电力公司科学技术进步奖励办法实施细则》印发

为推进国家电力公司科技进步,自 1999 年起公司设立了科学技术进步奖,并印发了《国家电力公司科学技术进步奖励办法》(试行)。根据试行情况,国电公司组织对《奖励办法》进行了修订,并制定了实施细则。7 月 12 日,国电公司以

国电科[2000]406 号文,印发了《国家电力公司科学技术进步奖励办法》和《国家电力公司科学技术进步奖励办法实施细则》。国电科[1999]374 号文印发的《国家电力公司科学技术进步奖励办法》(试行)同时废止。