

减小乌东德水电站软岩隧道变形的 应对措施^{*}

罗立哲 牛运华 王 科

(长江勘测规划设计研究院,湖北 武汉 430010)

【摘要】 乌东德工程6-2隧道围岩属于软岩性质,贯穿后桩号AK3+112~AK3+300段发生变形,多处衬砌出现不同程度的开裂和脱落。为减小隧道变形,保证工程发电工期,设计单位成立了QC小组,对隧道变形现状及原因进行研究,提出减小隧道变形的措施方案,保证了乌东德水电站建设施工安全,避免了发电工期延迟,带来了显著的社会效益和经济效益。

【关键词】 水电站;软岩隧道;减小变形

中图分类号:TV672+.1

文献标志码:B

文章编号:1005-4774(2018)04-076-05

Measures to reduce deformation of soft rock tunnel in Wudongde Hydropower Station

LUO Lizhe, NIU Yunhua, WANG Ke

(Changjiang Survey Planning and Design Institute, Wuhan 430010, China)

Abstract: The tunnel surrounding rock of Wudongde Project 6-2 belongs to soft rock property. Pile number AK3+112~AK3+300 is deformed after penetration, cracks and peeling at different degrees appear on many linings. The design unit establishes a QC group in order to reduce the deformation of tunnel and guarantee power generation construction duration of the project. Current situation and reasons of tunnel deformation are studied, measure plan of reducing the deformation of tunnel is proposed, thereby ensuring the construction safety of Wudongde Project, avoiding delay of power generation construction period, and bringing significant social benefits and economic benefits.

Key words: hydropower station; soft rock tunnel; deformation reduction

1 小组概况

长江勘测规划设计研究有限责任公司施工交通QC小组成立于2015年1月,是一个攻关型小组。小组成员共10人,该组涵盖乌东德水电站施工专业的主要设计人员及相关业主人员,成员结构合理。

2 选择课题

乌东德工程6-2隧道围岩属于软岩性质,贯穿后桩号AK3+112~AK3+300段发生变形,多处衬砌出现不同程度的开裂和脱落,严重影响了车辆在隧道中的行驶安全,因此业主计划暂时停封6-2隧道。由于

* 基金项目:国家重点研发计划项目资助(编号:2016YFC0401805)

6-2 隧道为乌东德导流洞施工的必经通道,停封 6-2 隧道会直接影响导流洞施工,导致截流时间滞后,进而推迟电站机组发电时间,造成巨大的经济损失。因此成立 QC 小组,对乌东德工程 6-2 隧道变形现状及原因进行研究,提出减小乌东德工程 6-2 隧道变形的措施方案。

3 确定目标

根据现场情况与相关规范,减小隧道变形的控制目标需从两个方面设定:静态上需控制衬砌裂缝宽度,参照《水工混凝土结构设计规范》(SL 191—2008),裂缝宽度应控制在 0.03cm 以内;动态上需控制隧道围岩变形速率,参照《公路隧道施工技术细则》(JTG/T F60—2009),隧道围岩变形速率应控制在 0.02cm/d 以内。

4 目标可行性分析

4.1 工程现场情况调查

根据前期地质查勘资料和小组现场查勘,隧道围岩大部属Ⅳ级,少量属Ⅱ、Ⅲ、Ⅴ级,6-2 隧道详图设计针对不同围岩提出了不同衬砌设计方案,根据复核认为原设计满足强度标准。同时,隧道破坏主要集中在桩号范围 AK3 + 112 ~ AK3 + 295m,长约 200m,未发生

大范围破坏。

4.2 主要影响因素分析

6-2 隧洞采用新奥法施工,根据对其他水电站类似工程的研究和分析,影响新奥法支护软岩隧道变形的主要因素为外部荷载过大和隧道自身抗力不足。

4.3 目标可行性

根据隧道破坏现状,认为隧道现场属于局部破坏,可修复且变形可控制。同时,小组活动的目标(衬砌裂缝宽度控制在 0.03cm 以内,隧道围岩变形速率控制在 0.02cm/d 以内)是根据《水工混凝土结构设计规范》(SL 191—2008)和《公路隧道施工技术细则》(JTG/T F60—2009)确定,目标在理论上具备可行性。针对两个主要影响因素,外部荷载过大和隧道自身抗力不足,制定相应措施,降低外部荷载或提高隧道抗力,可保证隧道整体稳定性。

综上所述,在隧道工程现状基础上,小组目标在理论与技术上都具备可行性。

5 原因分析

QC 小组运用头脑风暴法集思广益,围绕造成“隧道外部荷载偏大”和“隧道抗力不足”各因素进行分析,得到原因关联分析图,见图 1。

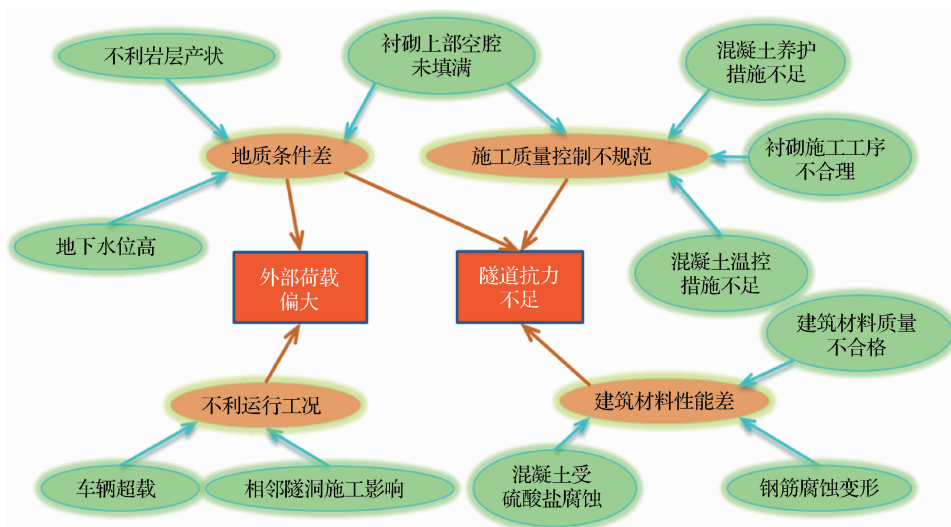


图 1 原因分析关联图

6 要因确定

小组成员对原因分析关联图中的 11 项末端因素

制定了详细的要因确定计划表,并按计划逐一进行确认,见表 1。确定要因两个:①不利岩性及产状;②衬砌上部空腔未填满。

表 1 要因确认计划

序号	末端原因	确认内容	确定标准	确认方法	完成时间 (年-月-日)
1	不利岩层产状	围岩岩层产状	岩体结构破碎,裂隙发育,遇水后力学参数差	现场调查试验分析	2015-05-16
2	地下水位高	围岩地下水位	隧道出现明显滴水或单个渗水面积大于 1m ²	现场调查讨论分析	2015-05-10
3	车辆超载	隧道运行过程中车辆荷载情况	超出隧道路面车辆荷载设计标准,即小时单向交通量大于 85 辆 × 20t 当量	现场调查讨论分析	2015-05-16
4	相邻隧洞施工影响	相邻隧洞施工情况	相邻隧洞同时施工,且有剧烈震动等干扰	现场调查讨论分析	2015-05-10
5	衬砌上部空腔未填满	隧道衬砌上部是否存在空腔	隧道衬砌上部存在空腔	现场调查数值分析	2015-05-20
6	混凝土养护措施不足	是否存在混凝土干缩裂缝	混凝土衬砌出现干缩裂缝	现场调查讨论分析	2015-05-22
7	混凝土温控措施不足	是否存在混凝土温度裂缝	混凝土衬砌出现温度裂缝	现场调查讨论分析	2015-05-26
8	衬砌施工工序不合理	衬砌施工工序是否合理	不符合新奥法标准衬砌施工程序	现场调查讨论分析	2015-05-15
9	建筑材料质量不合格	建筑材料质量是否合格	原材料不符合设计要求及行业标准	现场调查讨论分析	2015-05-10
10	钢筋腐蚀变形	钢筋是否有明显腐蚀膨胀变形	裸露钢筋发生明显腐蚀膨胀变形	现场调查讨论分析	2015-05-20
11	混凝土受硫酸盐侵蚀	混凝土的抗硫酸盐侵蚀性能	混凝土抗硫酸盐侵蚀性能低	现场调查试验分析	2015-05-10

7 制定对策

QC 小组成员在确定要因后,进行了充分讨论,制定了多条对策,运用矩阵表对其进行了分析、评估,确

定了最终对策,见表 2;然后根据“5W1H”方法,小组成员有针对性地制定了有效、具有可行性的具体措施,见表 3。安排小组成员分别负责、严格实施,使项目整体目标顺利完成。

表 2 对策选择

序号	要因	对策	分析	评估			综合得分	选定对策
				可实施性	经济效益	安全度		
1	衬砌上部空腔未填满	揭开衬砌清理并填充,重新支护衬砌	1. 工程量大; 2. 安全程度高; 3. 对隧道运行影响大	△	△	☆	11	不选
		灌浆回填空腔,修复并加强支护衬砌	1. 工程量较小; 2. 安全程度较高; 3. 对隧道运行影响小	☆	□	□	13	选定
2	不利岩性及产状	灌浆改善围岩,施作辅助锚杆支护	1. 多项工序; 2. 费用偏低; 3. 安全程度高	□	□	☆	13	选定
		加强锚杆支护	1. 工序单一; 2. 费用偏高; 3. 安全程度较高	□	△	□	11	不选

表中:☆5分,□4分,△3分,◎2分,○1分。

表3 措施制定

序号	要因	对策	目标	措施	完成时间	实施地点
1	衬砌上部空腔未填满	回填空腔 + 加强支护	1. 消除围岩空腔; 2. 提高支护抗力	1. 回填灌浆; 2. 锚筋桩; 3. 预应力锚索	2015年11月	武汉, 乌东德工地
2	不利岩性及产状	改善围岩 + 加强支护	1. 提高围岩力学性质; 2. 提高支护抗力	1. 固结灌浆; 2. 张拉锚杆	2015年10月	武汉, 乌东德工地

8 对策实施

对策实施的思路按照“减小围岩荷载 + 提高围岩自身抗力”双管齐下的思路进行。

8.1 对策实施一

针对衬砌上部空腔为填满的要因,对衬砌与围岩之间空腔进行回填灌浆,同时对空腔部位及周围加设

锚筋桩和预应力锚索支护,如图2所示。在回填灌浆施工完成1个月后,QC小组成员对原空腔部位进行了孔内电视录像物探,物探结果表明原空腔部位均已被回填灌浆填满;同时锚筋桩和预应力锚索实施后,原空腔部位及附近混凝土衬砌未出现新裂缝,且已有裂缝宽度也未出现增加。

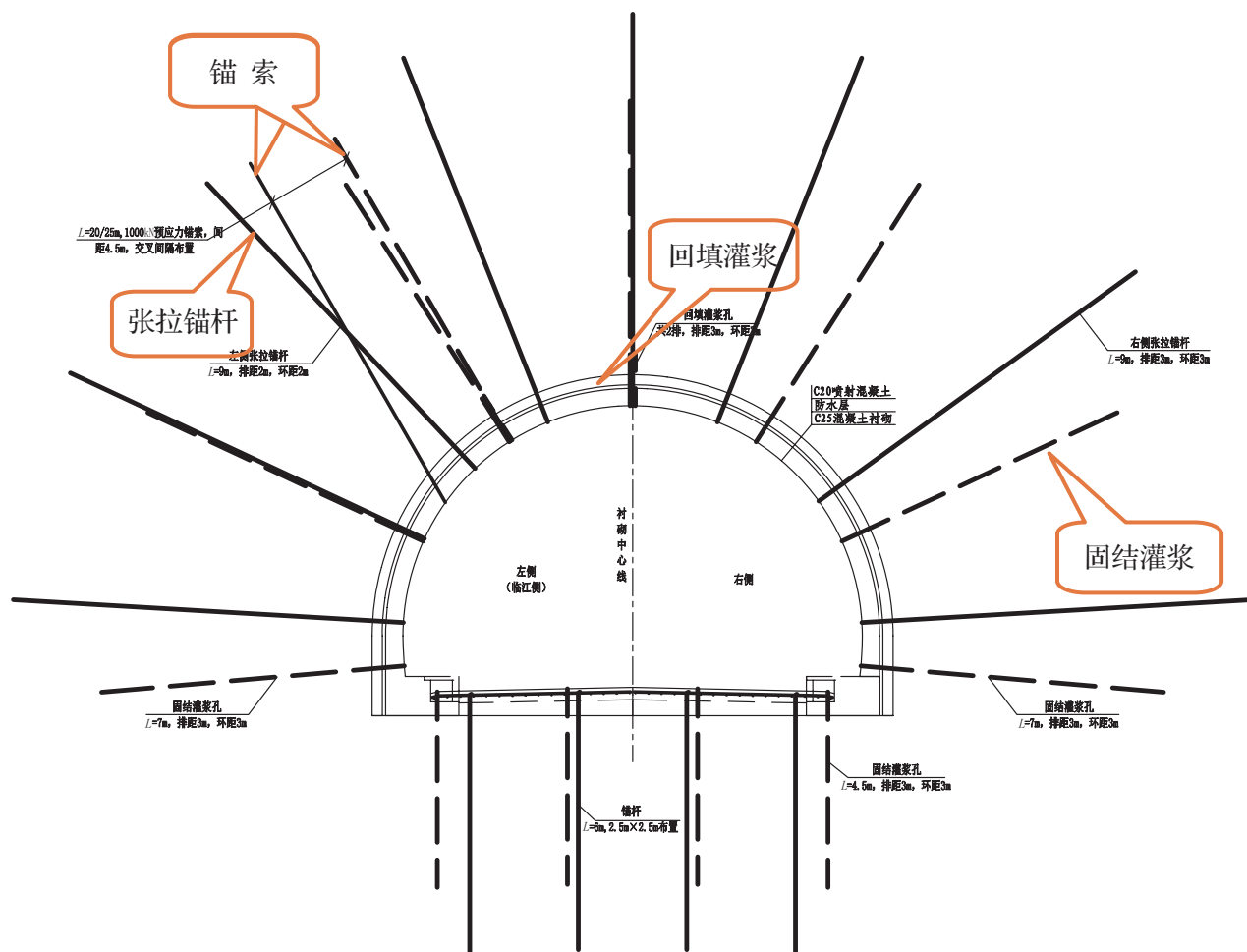
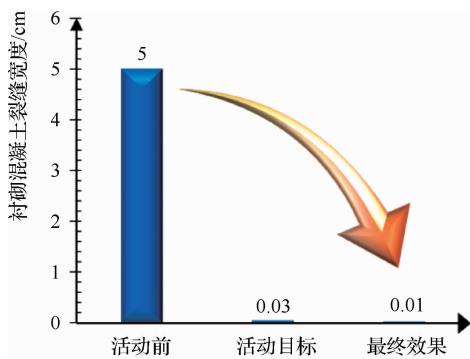


图2 隧道处理措施断面示意图

8.2 对策实施二

针对不利岩性及产状的要因,对隧道不利岩性段的拱部、边墙、底板的全断面固结灌浆,同时对隧道变形施作端头锚固型张拉锚杆,如图2所示。在固结灌浆施工完成2个月后,QC小组成员对隧道白云岩与千枚岩段围岩取样进行力学实验,与未灌浆前力学参数对比,见表4,灌浆后围岩力学性质有明显改善;同时端头锚固型张拉锚杆实施后,隧道白云岩与千枚岩段混凝土衬砌未出现新裂缝,且已有裂缝宽度也未出现



增加。

表4 固结灌浆后白云岩与千枚岩段围岩力学性质对比

岩性	未浸水		浸水		
	摩擦角/°	黏聚力/MPa	摩擦角/°	黏聚力/MPa	
灌浆前	白云岩	25	35	17	20
	千枚岩	15	30	10	10
灌浆后	白云岩	35	70	32	62
	千枚岩	32	50	30	40

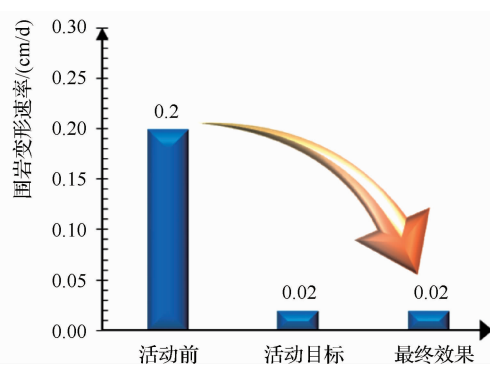


图3 QC改进效果对比

9 效果检查

9.1 目标完成情况

根据6-2隧道现场表观变形观察与监测,采取对策措施后,隧道混凝土衬砌未出现剥落、掉块,最大裂隙宽度控制在0.01cm以内,隧道变形速率控制在0.02cm/d以内,达到活动目标,如图3所示。

9.2 效益分析

通过QC小组活动,成功控制了乌东德工程6-2隧道变形量,保证6-2隧道不封堵交通的同时完成修复,减小变形并维持稳定,避免了因6-2隧道封闭维修导致的发电工期推迟2个月,进而避免了延迟发电损失,创造了经济效益。

10 巩固措施

根据小组活动成果,QC小组成员对控制及减小软岩隧道变形的对策措施进行了总结,结合乌东德水电

站现场施工设计进一步巩固QC设计成果。同时,本次活动成果已整理归档,便于后期查阅,为类似工程提供参考。

11 总结与计划

通过该次QC活动,成功控制及减小软岩隧道变形,保障了乌东德工程6-2软岩隧道的运行安全,解决了乌东德水电站工程现场施工设计中的技术难题,避免了因软岩隧道变形带来的电站延迟发电损失,同时为同类工程的相关设计施工提供了参考和借鉴的依据。

小组成员通过本次QC活动,加深了对乌东德工程隧道设计、软岩隧道稳定性分析与处理的理解,深刻认识到“大质量”的概念。同时所有小组成员的创新意识、专业水平、质量意识、QC知识和团队精神在QC活动中都得到了提高。◆