

锦屏二级水电站深埋隧洞岩爆防治措施

胡小秋

四川二滩国际工程咨询有限责任公司

DOI:10.12238/hwr.v9i8.6525

[摘要] 岩爆是开挖导致的岩体内能量释放和应力重新分布时产生的一种围岩破坏现象,岩爆控制就是努力避免这种破坏的产生。通过对锦屏二级深埋隧洞开挖发生的典型岩爆事件统计分析,初步掌握了锦屏岩爆的特点和一般规律,并逐渐摸索出一套防治锦屏岩爆的施工管理、工序和技术措施,如微震监测、应力解除爆破和锚杆等,对防止或减轻岩爆引起的破坏效果明显,大大降低了岩爆的风险和破坏性。

[关键词] 岩爆; 地应力; 应力解除爆破; 微震监测; 防治措施

中图分类号: TD23 **文献标识码:** A

Prevention and control measures for rockburst in deep buried tunnels of Jinping secondary hydropower station

Xiaoqiu Hu

Sichuan Ertan International Engineering Consulting Co., Ltd

[Abstract] Rockburst is a kind of surrounding rock failure phenomenon caused by excavation, and rockburst control is an effort to avoid this damage. Through the statistical analysis of typical rockburst events occurring in the excavation of Jinping secondary deep buried tunnels, the characteristics and general laws of Jinping rockburst are preliminarily grasped, and a set of construction management, process and technical measures for the prevention and control of Jinping rockburst are gradually explored, such as microseismic monitoring, stress relief blasting and bolts, etc., which have obvious effects on preventing or mitigating the damage caused by rockbursts, and greatly reduce the risk and destructiveness of rockbursts.

[Key words] rock burst; in-situ stress; stress relief blasting; microseismic monitoring; Prevention and control measures

1 引言: 工程概况

锦屏二级水电站工程区在大地构造上处于松潘甘孜地槽褶皱带的东南部,引水系统洞线自雅砻江大河湾西端的景峰桥至东端的大水沟,横穿跨越雅砻江大河湾的锦屏山,区域内高程在3000米以上的山峰甚多,主体山峰高程4000米以上,最高峰(罐罐山)4480米,工程区属高山区—中山区—峡谷地貌,各种地貌形态成层叠置,反映出本区长期稳定上升型的地貌特征。

工程区内出露的地层为前泥盆系~侏罗系的一套浅海~滨海相、海陆交替相地层。区内广布三迭系地层,分布面积约占90%以上,其中碳酸盐岩出露面积占70~80%。引水隧洞穿过地层为锦屏山西侧(T1)、盐塘组(T2y)、杂谷脑组(T2z)、白山组(T2b)、三迭系上统(T3)。

锦屏二级水电站深埋长隧洞由2条辅助洞(17.5km)、1条施工排水洞(16.73km)和4条引水隧洞(16.67km)组成,7条隧洞的主洞段平行布置,方位角为N58°W,与区域最大水平主应力近平行。隧洞洞群沿线上覆岩体厚度一般为1500~2000m,最大约

2525m,具有地质条件复杂、埋深大、洞线长、洞径大、通风难、施工干扰大等特点,目前也是世界上规模最大的水工隧洞群工程。

工程区实测地应力成果显示,地应力值随埋深增加而增加,地应力实测平均值25MPa,最大地应力值达69.94MPa,属高地应力区高岩爆区域,本区域内的岩爆防治复杂而艰巨,岩爆防治工作任重道远。

2 岩爆的形成机理、类型特征及处理思路

2.1 岩爆的形成机理

岩爆是非常复杂的动力地质灾害现象,其影响因素众多,目前学术界对岩爆的形成机理并未形成共识,但通过多方面的实验及现场施工经验总结,比较一致的意见为岩爆的形成机理可以归纳为开挖隧洞内应力重新分布形成的压致拉裂、剪切拉裂、弯曲鼓折三种基本形式,也可以是多种组合方式出现的破坏。

2.2 岩爆的类型特征

岩爆的类型按照岩体破裂程度大小特征分为4种类型:

①弹射型岩爆: 该类型岩爆发生在极完整、极坚硬的围岩岩壁上, 零星出现, 多为轻微~中等岩爆出现。②抛射型岩爆: 该类型岩爆零星断续出现, 一般在洞室开挖后6~12小时内发生, 具有一定的偶然性。③破裂剥落型岩爆: 该类型岩爆通常发生在洞室开挖1小时内, 这种类型的岩爆从发出声响到岩面开裂再到岩块剥离存在着一个连续的过程, 因其规模大、历程长, 对机械设备和人员的安全都有很大的威胁。④表层破裂型岩爆: 该类型岩爆只出现在节理较多、平行发育较明显的岩石中, 多以沿节理面形成的表层破坏为主。

岩爆按照对洞室的破坏程度及深度大小分为4种类型:

①轻微岩爆: 岩爆零星间断发生, 影响深度小于0.5m。②中等岩爆: 岩爆有一定的持续时间, 影响深度0.5~1m。③强烈岩爆: 岩爆持续时间长, 并向围岩深度发展, 影响深度1~3m。④极强岩爆: 岩爆震动强烈, 有似炮弹、闷雷声; 迅速向围岩深部发展, 影响深度大于3m。

2.3 岩爆防治的处理思路

针对岩爆的形成机理及岩爆的类型特征, 现场施工中应主要从“防”和“治”两方面入手。从防上来讲: 一是预测预报, 现场主要通过采取经验观察法、超前地质预报、微震声波检测及岩石地热监测等多种预测手段实现; 二是通过工程措施释放和解除高地应力, 目的就是降低地应力水平, 使其尽量不发生岩爆; 三是开挖后及时形成有效的支护网络, 使其通过支护网络约束围岩变形, 人为干扰地应力调整, 避免发生岩爆。再从治上来讲, 主要是针对岩爆发生后的处理: 岩爆发生后立即向拱部及侧壁喷射钢纤维混凝土, 再加设锚杆及钢筋网。必要时还要架设钢拱架和打设超前锚杆进行支护。衬砌工作要紧跟开挖工序进行, 以尽可能减少岩层暴露的时间, 减少岩爆的发生和确保人身安全, 必要时可采取跳段衬砌。强烈岩爆地段采用部分摩擦型锚杆(楔管式、缝管式、水涨式等), 可及时受力挂网, 防止岩爆落石。同时应准备好临时钢木排架等, 在听到爆裂响声后, 立即进行支护, 以防再次发生滞后型岩爆。

3 锦屏二级施工洞段岩爆防治措施

由于锦屏二级水电站在深埋高地应力的脆性大理岩体内开挖隧洞, 施工过程中遇到的岩爆问题极为突出, 多次在局部超高应力集中的完整硬脆性岩体内发生强烈或极强岩爆, 严重威胁施工人员及设备的安全。基于岩爆问题直接关系到锦屏工程能否快速安全施工, 本文结合了施工过程中岩爆的特点和规律, 归纳和整理了锦屏二级岩爆风险管理的技术措施, 经实践检验是行之有效的, 并在施工过程中进行了不断地完善和改进。

锦屏二级引水隧洞在开挖过程中, 各参建单位通过不断地对岩爆形成机理及岩爆的类型特征进行认识及探究, 不断的对施工措施、施工工艺和隧洞开挖布置及顺序进行优化管理, 形成了行之有效的施工管理方案。首先, 建立健全岩爆风险管理体系, 以及岩爆风险管理的责任制度; 其次, 制定针对不同特点岩爆的预防技术措施, 并在实践中检验是否有效, 不断地进行改进完善; 最后, 建立岩爆发生后的通报和应急处理预案, 并不断完善

岩爆风险控制的相关管理和技术文件。

在施工过程中, 当岩体完整性和构造条件具备导致岩爆的条件时, 这种风险即可能转化成现实中的岩爆破坏。针对这一情况, 施工过程中及时根据现场条件, 制定一整套岩爆的预防与防治方案, 并通过现场实践总结逐步完善。本文结合锦屏二级隧洞开挖过程中运用较为广泛的防治与处理措施, 主要从地质预测预报、岩爆预测预报、应力解除爆破及系统支护四个方面作介绍:

(1)地质预测预报。地质超前预报通常采用的地质预报方法中主要有TSP地震波超前地质预报方法、超前钻探法、地质雷达、孔内雷达、微震监测、BEAM新型的电法超前地质预报技术和常规的宏观工程地质法等。部分方法已在其它隧洞开挖过程中得到广泛的运用, BEAM新型的电法超前地质预报技术及运用较广泛的TSP地震波超前地质预报方法运用在锦屏二级施工过程中。

(2)岩爆预测预报。针对深埋隧洞微震监测与岩爆预测的难点与重点, 采用了与之相适宜的微震实时监测方法, 微震信息实时分析方法及岩爆分析与预测方法和工程综合地质分析类比法进行岩爆预测。采用微震监测预测预报岩爆, 更多是对岩爆潜在可能性的判断, 为工程中采取措施提供依据, 以避免发生工程事故为最高目标。

(3)应力解除爆破。爆破过程中, 通过对围岩情况进行监测, 根据声波测试和爆破振动监测, 以选择最优应力释放爆破参数及开挖方法。

爆破试验的内容应包括:

①爆破材料选择(主要采用乳化炸药 $\phi 32 \times 200$ mm药卷、非电毫秒雷管、塑料导爆管和导爆索); ②爆破参数选择试验; ③爆破效果检测(包括围岩应力释放程度、岩爆发生的概率和强度、对开挖基岩的扰动及损坏); ④爆破对已建邻近建筑物及锚喷区影响试验。

通过爆破试验, 锦屏二级水电站隧洞开挖在高埋深、高岩爆洞段采用在极强岩爆下, 应力解除爆破孔的深度应达到爆破进尺的2倍以上, 或者孔底位于应力解除和开挖爆破完成以后形成的新掌子面前方至少3.0m处; 在强烈岩爆条件下, 应力解除爆破孔深度应基本达到2倍进尺深度, 爆破进尺不超过2m。其它隧洞工程可根据作业能力和现场条件, 通过具体的爆破试验选择具体爆破参数。

(4)系统支护。围岩开挖后, 系统支护设计首先要保证围岩不至于破坏, 其次要保证洞壁围岩不产生过大的形变位移。1500m埋深洞段III类围岩自身稳定性较好, 主要问题不是变形问题, 而是表层片帮、中等及以下强度的岩爆、应力型坍塌等破坏问题, 今后的支护施工中, 强调支护的及时性、表层支护如喷层的质量、厚度以及锚杆垫板的计算模型尺寸作用, 这些对于控制片帮发展的作用越来越重要。

对于II、III类围岩中等岩爆及以下程度的破坏, 设计系统支护形式主要包括喷层、挂网、系统锚杆, 强烈岩爆及以上程度的破坏, 则增加了格栅拱架或型钢拱架以及水胀式锚杆。从控制

岩爆的角度讲,这样的设计支护方案没有问题,各支护单元协同作用,提供了围岩支护所需要的功能。但要保证这些支护单元真正能够协同工作,必须具有合理的施工顺序、技术要求和合格的施工质量。因此,需要明确协同工作对支护施工的技术要求:①挂网必须紧贴岩面才能对围岩表层施加一定的作用力,起到支撑的作用,这就要求锚杆的垫板也必须紧贴岩面,以垫板来为挂网提供支撑点,保证其有效的起到作用。②挂网后及时地喷混凝土是很重要的,这样可迅速的在洞壁形成一个承载体,这对于控制片帮、剥落破坏非常重要。

4 岩爆发生后的处理及报告

4.1 发生岩爆后的报告程序

(1)发生轻微岩爆后,承包商现场技术人员应立即通知现场监理工程师,并记录岩爆发生的桩号、位置、声响等情况。

(2)对于中等岩爆,发生后承包商应立即通知现场监理工程师、设计人员,并查明和记录现场情况,现场监理工程师在收到通知后,应立即赶往现场查看。

(3)发生强/极强岩爆后,应立即停工,撤离现场人员和设备,设置安全警戒区域,同时现场监理人员在收到通知后应立即向项目组组长进行报告,项目组组长向施工部部长和安全环保部部长报告。

4.2 现场应急处理

发生轻微、中等岩爆后,经承包商自行评估后,并对岩爆按照相应的技术措施进行处理后,可继续施工;

发生强/极强岩爆后应停止作业,发生安全事故时,应切断机械设备电源,同时拨打急救电话通知洞外值班人员岩爆发生情况,并启动紧急应急预案,及时组织进行抢险救援工作。

4.3 发生安全事故后的调查处理程序

无论何种等级的岩爆,发生后若遇人员伤亡和设备受损严重,其事故报告调查按国务院《安全生产事故调查及处理条例》和锦屏管理局相关规定执行,并按安全生产事故调查处理程序进行调查处理。

4.4 岩爆发生后现场工程处理和生产恢复

(1)强/极强岩爆发生后,承包商应停止正常施工作业,通知业主、设计及其相关各方,组织相关人员对现场进行安全评估,

并组织召开安全技术专题会议,提出相关处理措施和方案。

(2)待相关处理措施实施完成,经监理工程师现场检查签字确认后,方可恢复施工作业。

通过近几年现场工作,归纳施工过程中遇见的实际情况,结合自身的专业知识分析,总结了本项目组对锦屏二级引水隧洞岩爆机理、发生条件、影响因素以及不同施工方法条件下的岩爆防治和控制方法的认识,为锦屏二级引水隧洞群的施工过程中的岩爆防治工作提供了强有力的技术保证。

5 结束语

强岩爆是锦屏二级隧洞施工的主要工程地质问题,给施工人员和设备安全带来极大的威胁,也是实现竣工进度计划必须突破的一个瓶颈。锦屏二级水电站就岩爆问题多次邀请国内外权威专家进行了技术咨询,锦屏的岩爆也受到了国内外工程技术人员的关注。在参建各方、科研院所和咨询专家的通力合作下,通过对辅助洞、已开挖的排水洞和引水隧洞岩爆的记录、分析和研究,大家基本上对锦屏岩爆的发生机理、特点和规律有了比较深入的认识。且随着岩爆研究的不断深化,在施工过程中逐渐摸索出了一套防治锦屏岩爆有针对性且有效的管理与施工措施,如应力解除爆破、微震监测、中空预应力锚杆和水胀式锚杆、钻爆法预处理TBM岩爆洞段、喷纳米钢纤维混凝土等。这一套防治锦屏岩爆的相关成果,不仅为锦屏二级水电站引水隧洞的安全、顺利掘进起到了保驾护航的作用,而且也给国内外具有类似岩爆工程的施工和管理积累了非常珍贵的经验和成果。

[参考文献]

[1]赵周能,冯夏庭,陈炳瑞.深埋隧洞TBM掘进微震与岩爆活动规律研究[J].岩土工程学报,2017(07):1206-1215.

[2]侯靖,张春生,单治钢.锦屏二级水电站深埋引水隧洞岩爆特征及防治措施[J].地下空间与工程学报,2011(6):1251-1257.

[3]杜立杰,洪开荣,王佳兴,等.深埋隧道TBM施工岩爆特征规律与防控技术[J].隧道建设(中英文),2021(01):1-15.

作者简介:

胡小秋(1981--),男,汉族,四川合江人,本科,高级工程师,项目经理,研究方向:工程管理及工程技术。