

高地应力地下洞室开挖施工岩爆防治措施

梁大中

(中国安能第三工程局成都分公司,四川 成都 611135)

摘要:对施工中岩爆发生的规律进行了分析,探讨了隧洞开挖岩爆发生的特点及所具有的风险,为岩爆风险防治和风险管理提供了思路,提出了针对高地应力大型地下洞室群施工采取的岩爆防护安全措施,对指导施工及解决生产问题、提高施工安全及生产效率起到了很好的作用。

关键词:尾水隧洞;岩爆;防护措施;叶巴滩水电站

中图分类号:TV7;TV554;TV52

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2021)03-0032-04

Prevention and Control Measures for Rock Burst During Excavation of Underground Cavern Under High Geo-stress

LIANG Dazhong

(Chengdu Branch of China Anneng Group Third Engineering Bureau Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 611135)

Abstract: This paper analyzes the occurrence regularity of rock burst during construction, expounds the characteristics and risk of rock burst during tunnel excavation, provides ideas for risk prevention and risk management, puts forward safety control measures for rock burst during construction of large underground caverns under high geo-stress. The rock burst prevention and safety control measures adopted in construction play a very good role in guiding construction and solving production problems, improving construction safety and production efficiency.

Key words: tailrace tunnel; rock burst; prevention measures; Yebatan Hydropower Station

1 概述

叶巴滩水电站是金沙江上游 13 级水电梯级开发中的第 7 级,位于四川省白玉县与西藏贡觉县界河金沙江上,其上下游分别与波罗水电站、拉洼水电站相连。叶巴滩水电站为混凝土双曲拱坝,库区正常蓄水位高程为 2 889 m,库容为 10.8 亿 m^3 ,死库容为 5.43 亿 m^3 ,调节库容为 5.37 亿 m^3 ,总装机容量为 2 240 MW。右岸地下引水发电系统采用首部式厂房、长尾水布置方案,尾水隧洞为两条平行布置的圆型隧洞,尾水洞轴线间距为 68 m,衬砌后的洞径为 14.4 m,开挖洞径为 16 m,1 号尾水主洞总体长度为 3 172.39 m,2 号尾水主洞长 3 099.22 m。

该工程位于青藏高原东南部侵蚀高山山原区,地处金沙江断裂带内,受地壳变化青藏高原向东部挤压推移及山谷高陡,高差大,自重应力值高等因素造成工区地应力高,极易发生岩爆。现有研究表明:岩爆的发生规律与洞室埋深、洞

向、岩体结构、地下水、开挖方式等因素密切相关。

该电站尾水洞上半段岩性为石英闪长岩,尾水洞下半段为花岗闪长岩,岩石致密坚硬,以Ⅲ类围岩为主。尾水隧洞的最大埋深可达 709 m,具有地应力高、岩石整体性好、局部破碎的特点,岩爆发生较为频繁。

笔者对该工程通过合理安排施工方法和施工工序减少了岩爆发生的几率、打设应力释放孔进行卸压、采取“短进尺、弱爆破”、光面爆破减少了围岩的局部应力集中、喷雾洒水湿润围岩以释放应力、加强支护以减少岩层暴露的时间、加强施工人员和施工设备的防护等措施,有效地减少了岩爆的发生并确保了人身安全的过程进行了阐述,介绍了岩爆的研究现状、特点及辨识方法。

2 岩爆的研究现状

高地应力条件下隧洞岩爆的研究与预防是当前国内外地下洞室施工的重大课题。引发岩爆的影响因素众多,应力释放机制相对复杂,目前国内外对于岩爆的预测防治、研究的方法较多,但对风

收稿日期:2021-04-30

险评估和施工过程中所采取的预防措施目前还处于探索阶段。

岩爆的预测和评估作为防治工作的重要环节对采取措施、选择施工工艺及避免安全事故的发生至关重要。岩爆的预测包括岩爆区域位置、岩爆面积大小及岩爆可能发生的时间等。可通过经验分析、与类似岩层洞段进行对比总结,进而对岩爆可能发生的位置及大小进行预测;亦可通过钻芯取样、收敛观测等方法分析研究该段岩石强度、应力、变形等试验参数,进而预测岩爆;也可通过现场岩石因临近失稳所发出的声响进行判断。在操作过程中以上几种方法可同时采用以增加预测的可靠性。

3 岩爆的特点及辨识

岩爆机制复杂,受隧洞埋深、围岩类别、岩石裂隙发育等多种因素影响其预测准确率低,预测预报比较困难。

3.1 岩爆具有的特征

岩爆为在洞室开挖过程中因岩石受力改变、应力集中、能量释放导致岩体脆性破坏而发生的弹射、崩落现象,岩体在受到地应力挤压达到最大承载力后失稳,在轴压与围压共同作用下,岩体与围压相互作用,当花岗岩应力超过极限强度后,其承载能力逐渐降低,随着围压的降低,大量能量释放,当能量超过裂隙及岩石所能承受的极限时,结构裂隙加速发展,直至发生突然破坏,岩石从岩面弹射或崩落,发生岩爆现象。岩爆可分为轻微岩爆和严重岩爆,前者岩片表现为剥落、掉块状,后者表现为弹射状。岩爆发生的时间具有不可预见性,一般在开挖作业完成一定时间后才会出现,其发生概率随着时间的推移逐渐衰减。因岩爆具有突发性而无法有效预防,故其危害极大,对施工安全造成重大安全隐患。针对高地应力洞室,必须提前采取安全技术措施,确保施工安全。

岩爆一般表现为:

(1)高地应力洞段在开挖完成后短时间内岩面会有因岩石挤压造成的异常响动。

(2)鉴于岩爆准确预测比较困难,发生时一般无明显预兆,具有突发性。

(3)岩爆区域主要集中于刚开挖后的新鲜岩面,多见于隧洞起拱线及顶拱部位。

(4)岩爆是由开挖作业导致岩石受力环境改

变、诱发岩石断裂引起的,与隧洞采用的开挖支护方法有关。

(5)岩爆发生于洞室埋深大、地应力高、岩石结构单一的地下洞室。

(6)岩爆具有滞后性,大多发生于隧洞开挖完成后数小时,随着时间推移,岩爆发生的概率相应降低,也可能于数天、数十天之后发生。

3.2 岩爆产生的条件

(1)岩爆受区域地质构造、地应力大小与方向、围岩地质状况变化影响产生,是在高地应力环境下隧洞开挖作业造成岩石受力改变、应力重新分布、在应力集中及能量释放等条件下造成的岩石失稳现象。

(2)岩爆为脆性破坏。所发生的洞段一般岩石硬度大、整体性好、裂隙少、围岩中有大量的能量储存,弹性且脆性较高。

(3)岩爆发生的几率与隧洞埋深相关:隧洞埋深越大,地应力越高,发生岩爆的概率越大,破坏程度越强,当埋深超过 200 m 时,岩爆较为常见。

(4)岩爆受隧洞水文地质情况影响较大,多为地下水较少、岩层干燥的区域。

(5)岩爆受隧洞自身设计、施工形式影响,多发生于洞室结构面变化、洞室交叉较多、应力集中地段(如隧洞起拱线、掌子面等部位)。

(6)岩爆与岩石裂隙发育方向、隧洞开挖方向有关。当地应力方向与洞轴线方向一致或与洞轴线成较小夹角时围岩相对稳定,当应力与掌子面方向一致时,洞壁切向应力较大,发生岩爆的几率明显提高。

(7)岩爆多发生于坚硬花岗岩、花岗闪长岩等坚硬岩石洞段,主要以Ⅱ、Ⅲ类围岩为主。

3.3 由应力条件判断岩爆的发生

岩爆可通过天然最大主应力与岩石抗压强度比值进行判断,当应力比值大于 0.15 时,岩爆发生的风险大,故可根据地应力分布情况分析地下洞室可能产生岩爆灾害的重点部位。

4 岩爆的预防及处理方案

4.1 总体施工方案

施工过程中的开挖程序及开挖工艺对岩体应力具有较大影响。因此,在方案比选中要选取有利于应力释放的开挖断面及开挖工艺,尽量避免应力集中或叠加。在相同的地质条件下,洞室开

挖断面越大、断面变化越快的部位岩爆产生的风险越大。开挖速度过快亦会造成岩石应力变化、能量释放加快,进而提高了岩爆发生的风险。

在大理深隧洞开挖方案确定前,应合理控制隧洞断面及分幅开挖的形式,根据岩爆情况适时调整开挖方案,采取相应的措施。在施工组织过程中一定要规范施工程序,提高安全意识,当存在岩爆风险时,必须采取规避措施,降低施工人员及设备的安全风险。

4.2 超前地质预报

超前地质预报可获得第一手地质资料,了解施工洞段的岩性及断层、裂隙等节理发育、岩石破碎、地下水分布情况、确定开挖支护施工方案、技术措施参数、调整现场施工方法、采取安全防护措施提供重要依据。对岩爆的预防和施工人员的安全意义重大。有效防治岩爆能对施工进度及经济效益的提升起到明显的作用。

4.3 超前应力释放

爆破作业后,及时对掌子面、边墙及顶拱部位进行喷淋作业,对干燥岩面进行软化处理。淋水作业可进行多次,每次间隔10 min左右。喷淋后在侧墙、顶拱、起拱线、洞壁环向等位置打设应力释放孔并在孔内注入高压水以降低岩石脆性,亦可通过在岩壁切槽的方式释放应力,降低岩爆的发生率。根据钻孔位置、深度等情况进行数据对比、地质分析,调整并优化钻孔参数(孔深、孔距、孔数),进而指导现场施工,降低岩爆发生的风险。

4.4 钻芯取样分析

洞室开挖完成后,垂直掌子面在待开挖区域进行钻芯取样,通过芯样破损情况分析未开挖部分岩石、断层等地质与围岩应力情况。

4.5 地质素描

地质素描在洞室开挖作业完成后进行,用于分析开挖段待开挖区域揭露的岩石产状及裂隙分布情况,预测掌子面地质情况。根据分析结果,及时采取有效措施,优化施工方案。

4.6 地质监测

在施工过程中每隔一定距离设置收敛观测点,做好顶拱下沉变形及边墙水平收敛量监测。可按照Ⅱ类围岩每40~100 m布置1个断面,Ⅲ类围岩每20~40 m布置1个断面,Ⅳ、Ⅴ类围岩每10~20 m布置1个断面,测点可根据隧洞尺寸

及形状进行布置,一般中导洞可在顶拱和起拱线位置布置3个测点,圆形隧洞全断面可在顶拱及侧墙位置布置7个测点。

4.7 加强支护

尾水隧洞光面爆破开挖的进尺不宜过大,可将其控制在4 m范围内,必要时进行挂网喷混凝土支护。洞室拱线附近常出现二次或三次剥落现象,可将喷混凝土替换为钢纤维混凝土,钢纤维一般为冷拉高强钢丝,直径可选择0.3~0.5 mm,长度为20~25 mm,长细比为55~65,两端带弯钩,可选择抗拉强度不低于600 MPa、搅拌时分散性良好的钢纤维材料。钢纤维喷射混凝土稠度系数 $Re > 0.7$ 。钢纤维掺量根据现场试验确定。必要时,可在掌子面打超前锚杆、起拱线位置打随机锚杆(应力较大区域增加垫板以增强支护效果)、在边墙及顶拱位置进行钢筋挂网、架设钢格栅、钢拱架等方式进行加强支护。

4.8 加强光面爆破效果

光面爆破过程中一定要提升残孔率,尽量保证岩面平整,避免因岩面不平造成应力集中。可以根据爆破试验确定爆破孔距及药量。亦可以通过绑竹片、堵炮泥、短进尺、弱爆破等方式提高爆破效果,也可在排险作业过程中将突出部位的岩石及时进行清理,尽量保证岩面平整,降低岩爆发生的概率。

4.9 尽早启动衬砌作业

岩爆经常会出现二次或三次剥落现象,对后期施工进度及安全造成较大隐患。因此,一定要尽量减少岩层的裸露时间,尽快进行二衬作业,衬砌可采用跳仓方式进行。在衬砌施工过程中,若发现岩层异常应采取必要的躲避措施。

4.10 改变开挖作业形式

通过岩爆洞段时,可将全断面开挖优化为分幅或中导洞方式开挖,亦可采用分层的方式进行开挖,进而降低隧洞尺寸、增加应力释放的时间,将能量逐步释放。也可通过短进尺减少能量释放的总量,减少药量以降低爆破对周围岩层的扰动,降低岩爆发生的概率。

4.11 加强对处理过程的总结

岩爆处理要按照先释放应力、后进行防治、释放与防治相结合的方式。以上措施实施后,一定要分析相关数据,及时总结归纳。通过大量的施

工实践,总结经验。在施工中,通过对所实施措施进行研究使用,对比分析施工生产效率、现场组织、生产效益,总结施工对策。通过总结,研究应力和能量集中可能转移的位置和途径,将能量集中转移到适当区域,为下一步措施的调整提供依据,进而减少进度等损失,降低岩爆引起的安全风险。

4.12 岩爆的安全防护措施

(1)成立应急救援组。针对岩爆,项目部一定要开展专题培训,编制专项应急预案,成立专门的预防及救护小组,定期组织安全应急演练。对岩爆造成的设备与人员伤亡事故及时进行处置,降低损失的程度。

(2)在钻爆台车及装载机、挖掘机等设备上安装制作必要的防护棚或防护罩。在岩面挂设钢筋网或柔性防护网,防止因岩石弹射砸伤施工人员,损伤施工机具。

(3)施工人员要严格按照施工要求佩戴安全帽等防护用品。

(4)当预测到可能要发生岩爆时,应立即停止开挖、支护等相关作业。将人员及设备退至已支护的安全区域,待岩爆发生或危险解除后方可继续作业。

(5)施工现场应配备专职安全员并时刻关注岩石情况,当发现异常时应及时发出预警信息通知施工人员及设备撤离。

5 结 语

(上接第14页)

现、反映出来的围岩性质特点,为本工程或类似工程的施工提供借鉴、依据和指导作用。

(5)因蚀变岩的受力特性比较复杂,施工过程中应结合现场实际情况合理判断岩体状态,及时调整支护结构的形式及参数以保证围岩的稳定,从而避免出现工程地质问题。

参考文献:

- [1] 苗朝,沈军辉,李文纲,等.大岗山坝区辉绿岩脉蚀变泥化特征及机理研究[J].工程地质学报,2014,22(1):130-136.
- [2] 程来,周科平,李杰林.蚀变花岗岩物理力学特性试验研究[J].有色金属工程,2018,8(2):124-128.
- [3] 王振,李明霞,黄志全,等.蚀变岩体对洞室围岩稳定性影响研究[J].人民黄河,2012,34(3):125-127.
- [4] 覃礼貌,许模.西南某水电站坝区岩体绿泥石化蚀变及其工程对策[J].中国地质灾害与防治学报,2007,18(1):68-72.

叶巴滩水电站尾水隧洞在高地应力条件下针对岩爆采取的防范措施,通过钻孔加快应力释放、加强初期支护、改进方案、合理安排施工组织、做好安全防护、加强应急演练等措施降低岩爆带来的风险,提高施工效率,改善高地应力下隧洞的施工条件,为项目提升进度及经济效益提供有力的保证。经实施检验得知:采用中导洞及分幅、分层开挖比全断面开挖岩爆发生的概率有所降低。在相同的地质条件下,通过岩面洒水、打设应力释放孔将有效减少岩爆发生的次数。加强初期支护对减少岩爆的破坏效果明显。整体预防措施的实施取得了预期效果,对同类工程施工具有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] 关宝树,张志强.隧道发生岩爆的基本条件研究[C].中国土木工程学会隧道及地下工程分会年会.中国土木工程学会,1998.
- [2] 张镜剑,傅冰骏.岩爆及其判据和防治[J].岩石力学与工程学报,2008,27(10):2034-2034.
- [3] 许东俊,章光,李廷芥,等.岩爆应力状态研究[J].岩石力学与工程学报,2000,19(2):169-169.
- [4] 徐林生,王兰生,李天斌.国内外岩爆研究现状综述[J].长江科学院院报,1999,16(4):24-27.
- [5] 徐林生,唐伯明,慕长春,等.高地应力与岩爆有关问题的研究现状[J].公路交通技术,2002,18(4):48-51.

作者简介:

梁大中(1993-),男,甘肃陇西人,助理工程师,学士,从事水电工程施工技术与管理工作。(责任编辑:李燕辉)

- [5] 王旭东,付小敏.蚀变岩的蠕变特性研究[J].工程地质学报,2008,16(1):27-31.
- [6] 王旭东,付小敏.蚀变岩在三向应力状态下的力学及变形特性研究[J].实验室研究与探索,2007,26(10):280-283.
- [7] 贾超,廉明远.蚀变岩体隧洞围岩变形响应模拟研究[J].人民黄河,2018,40(6):133-135.
- [8] 黄小军,武威.琅琊山抽水蓄能电站地下厂房蚀变岩段围岩稳定监测分析[J].水利水电技术,2010,41(6):68-71.
- [9] 王阳雪,吴奎,郝荣国.琅琊山抽水蓄能电站地下厂房洞室支护研究[J].岩石力学与工程学报,2004,23(增2):5042-5045.
- [10] 黄超群,薛东旭,张振鸾.花岗岩蚀变带洞室施工支护方案[J].湖南水利水电,2012,19(5):18-19+23.

作者简介:

周国平(1960-),男,江苏武进人,董事长,党委书记,高级工程师,从事工程建设技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)