

地下洞室开挖中对岩爆的分析

方辉¹ 李吉艳¹ 韩冬冬²

1 新疆水利水电勘测设计研究院有限责任公司 2 山西省水利建筑工程局有限公司

DOI:10.12238/hwr.v6i8.4537

[摘要] 随着科技水平的不断提高,各类工程都将不再局限于地表、逐渐往地下中深部发展。地下洞室的开挖存在一定的风险,高地应力下的能量释放发生岩爆,将会对人员和设备造成损伤,需要我们进一步的认识岩爆。基于此,本文简述了岩爆特征和岩爆等级的划分,结合工程实例对岩爆进行预警和分析,有效的节约施工成本、确保施工进度和人员、设备的安全。

[关键词] 岩爆特征; 岩爆等级; 微震监测; 爆坑; 强度应力型和构造型岩爆

中图分类号: TK01+2 **文献标识码:** A

Analysis of Rock Burst in Excavation of Underground Caverns

Hui Fang¹ Jiyan Li¹ Dongdong Han²

1 Xinjiang Water Resources and Hydropower Survey, Design and Research Institute

2 Shanxi Water Conservancy Construction Engineering Bureau Co., Ltd

[Abstract] With the continuous improvement of science and technology, all kinds of projects will not be confined to the surface, and gradually develop into the middle and deep underground. There are certain risks in the excavation of underground caverns. Rock burst will be caused by energy release under high ground stress, which will damage people and equipment, so we need to further understand rock burst. Based on this, this paper briefly introduces the characteristics of rock burst and classification of rock burst grade, and gives early warning and analysis of rock burst combining with engineering examples, which can effectively save construction cost and ensure the safety of construction schedule, personnel and equipment.

[Key words] rock burst characteristics; rock burst grade; microseismic monitoring; blasting pits; strength stress type and structural type of rock burst

引言

岩爆是地下工程中围岩体的突然破坏,并伴随着岩体中应变能的突然释放,导致围岩爆裂、弹射的动力现象,是一种岩石破裂过程失稳现象。岩爆是深埋地下工程在施工过程中常见的动力破坏现象,当岩体中聚积的高弹性应变能大于岩石破坏所消耗的能量时,破坏了岩体结构的平衡,多余的能量导致岩石爆裂,使岩石碎片从岩体中剥离、崩出^[1]。岩爆多数情况发生在坚硬岩,岩体发生岩爆后,多数情况下能够听到声响,岩块呈片状或薄片状、岩面新鲜;岩爆不仅在完整或较完整的围岩下发生,围岩较差同样也能够发生岩爆;干燥或潮湿、滴渗水岩面同样也能够发生岩爆。

1 岩爆的特征

1.1 岩爆具有突发性

岩爆是突然发生的,洞室开挖前岩爆无任何表象、在开挖过程中或开挖后才发生,支护不及时或不到位往往发生人员或设备伤害。通过仪器进行能量事件采集分析,能够预警前方岩爆情况。

1.2 岩爆具有局部性

地下洞室的开挖发生岩爆并不是整个洞室都会发生岩爆,发生岩爆往往是在洞室的上半部或者拱顶、左右洞壁,甚至是上半洞的某一小部位。

1.3 岩爆具有隐蔽性

岩爆的发生不仅仅在洞室的表层,洞室表层岩体破坏的同时、岩体的上部岩石也被破坏。

1.4 岩爆具有危害性

岩爆的发生经常造成机械设备的损坏、人员的伤亡,增加施工成本、影响施工进度,造成工程的滞后。

2 岩爆的等级

2.1 岩爆按发生时间划分

岩爆按发生的时间划分可分为即时型岩爆^[2]和时滞型岩爆^[3]。即时型岩爆:洞室的开挖支护过程中及开挖后48小时内发生的岩爆。时滞型岩爆:在洞室开挖48小时后发生的岩爆,甚至是半个月到一个月之内都有可能发生岩爆。地下洞室的开挖

大部分为即时型岩爆, 及时进行支护能够有效的降低安全隐患; 时滞型岩爆发生若前面未支护到位, 易发生安全隐患、造成人员和设备的损坏。

2. 2岩爆按破坏类型划分

岩爆按破坏类型可分为强度应力型岩爆^[4]和构造型岩爆^[5]。强度应力型岩爆: 破裂面多为新鲜粗糙断面、岩体完整或较完整, 主要受高地应力影响岩体被破坏。构造型岩爆: 岩爆部分主要沿结构面发生, 少量可见短小节理光面, 岩体较完整或完整性差, 主要受高地应力和结构面共同作用下岩体被破坏。实际岩爆的发生同时伴随着强度应力型和构造型岩爆, 现场主要看那个占主导因素、大部分围岩破坏的原因。

2. 3岩爆按等级划分

岩爆按等级划分可分为四级^[6]。I级为轻微岩爆, 围岩表层有松弛脱落, 岩爆发生范围较小、影响深度在0.1~0.3m, 可以听到零星的噼啪声, 强度应力比^[7]在 $4\sim 7R_b/\delta m$, 对施工影响较小, 只需要进行简单的支护。II级为中等岩爆, 围岩出现弹射、抛投现象, 岩爆发生范围较大、影响深度在0.3~1m, 可以听到清脆的爆裂声, 强度应力比在 $2\sim 4R_b/\delta m$, 对施工有一定影响, 可能会对人员、设备造成损伤, 需要进行专门的支护。III级为强烈岩爆, 围岩出现弹射、抛投现象, 岩爆发生范围较大、影响深度在1~3m, 可以听到巨大的声响, 强度应力比在 $1\sim 2R_b/\delta m$, 对施工影响大, 对人员、设备造成较大的损失, 需要提前进行支护、应力释放。IV级为极强岩爆, 围岩出现大块弹射、抛投现象, 发生剧烈的震动、强烈的声响, 影响深度大于3m, 强度应力比在小于 $1R_b/\delta m$, 严重影响施工, 对人员、设备造成巨大的损失, 需要提前进行支护、应力释放。

3 岩爆的预警与防控实例

新疆某引水隧洞工程KS段埋深在450~760m、沿线路长180km, 主要采用TBM掘进, 地层岩性主要为石炭系灰黑色片理化凝灰质、石炭系青灰色凝灰岩和华力西期灰白色黑云母花岗岩。施工期测得附近围岩饱和抗压强度^[8]81~86MPa。

桩号229+886~229+965段岩性为灰白色黑云母花岗岩, 坚硬岩, 厚层状, 主要有两组节理: ① $83^\circ SE\angle 70^\circ$, 闭合局部微张1~3mm, 节理面平直粗糙, 延伸长度5~8m, 发育间距0.6~1.5m; ② $330^\circ NE\angle 25\sim 55^\circ$, 闭合局部微张, 面平直粗糙, 延伸长度5~9m, 发育间距0.5~1.0m。洞室干燥局部沿结构面有少量渗水, 岩面潮湿。为了控制成本, 加快工程进度, 将中等岩爆进行细分, 空腔深度在0.3~0.5m, 围岩类别^[9]调为IIIsa类围岩(后期不需要衬砌), 空腔深度在0.5~1m, 围岩类别调为IIIsb类围岩(后期需要衬砌)。

开展岩爆微震监测预警可以提前预警岩爆等级, 根据预警结果, 采取工程措施, 如开挖优化、应力释放和(或)支护优化, 降低岩爆风险, 进而保障施工安全与施工进度。岩体在破坏之前, 必然持续一段时间以声波的形式释放积蓄的能量。岩体在隧道掘进活动的影响下会产生弹性变形和非弹性变形, 而岩体中积蓄的弹性势能将在非弹性变形过程中以震动波的形式沿周围的

介质向外逐步或突然释放出去, 这种能量释放的强度, 随着破坏的发展而变化, 导致岩体内部产生微震及声发射事件。岩体破裂发生后, 产生的震动波沿周围的介质向外传播, 将其发送至信号采集仪; 通过通讯系统再将数据信号传送给中心服务器, 通过分析处理软件可以对微震动信号进行多方面处理和分析, 实现微震发射事件的定位、获取震源参数、趋势跟踪等, 并可对定位微震发射事件在三维空间和时间上进行实体演示, 最终获得岩爆孕育过程中的岩体破裂微震事件, 能够准确的给出岩爆发生的位置、时间以及能量的大小。

2021年5月3日, 掘进至掌子面桩号229+891时, 微震监测^[10]预警掌子面附近有大量能量事件。从5月3日09:00至5月3日23:00点, 发生于预警区域的岩石破裂事件^[11]数为24个, 累计微震释放能为14526.7J。目前护盾尾部桩号229+886, 预警范围内岩爆预警等级为中等岩爆。施工开挖洞室10~13点范围发生中等岩爆, 钢筋排表面覆盖石渣, 从覆盖区域两侧及个别出露空腔看, 空腔深度一般为0.1~0.3m, 局部可达0.6m, 爆坑呈“V”字型, 阶梯状破裂面, 爆块主要为片状, 碎裂状。其中桩号229+907~229+909, 拱顶11~13点范围形成一“V”字型空腔, 顺洞轴线长2m, 环向宽2m, 最深可达0.6m, 为强度应力型岩爆。桩号229+916~229+918.5, 拱顶11~13点范围形成一“V”字型空腔, 顺洞轴线长2.5m, 垂直高度1.5m, 最深0.75m, 为强度应力型岩爆。该段微震监测预警为中等岩爆段, 爆坑深度0.3~0.5m, 降低围岩等级至IIIsa, 施工方采用HW125型钢拱架(间距1.2~1.5m)+系统锚杆(每排6根, 排距1.2m)+钢筋排(拱顶 180°)+喷C30混凝土(拱顶 180° 、厚12cm)支护。

2021.5.7日掘进至掌子面桩号229+931时, 微震监测预警掌子面附件大量能量事件逐渐增加, 累计微震释放能为1348042.8J(详见图1)。5.8日11点听到护盾内有2声砰砰声。洞室9:30~14点范围发生中等岩爆, 钢筋排表面覆盖石渣, 从覆盖区域两侧及个别出露空腔看, 空腔深度大于0.3m, 从零星石渣缝隙测得深度0.7m, 降低围岩等级为IIIsb。桩号229+935~229+938段10~10.30点范围产生一“V”字型空腔, 顺洞轴线长3m, 环向宽1m, 最深可达0.6m, 为强度应力型岩爆; 桩号229+941~229+944段11~13点范围从石渣空隙间可见爆坑顺洞轴线长3m, 环向宽3.5m, 深度一般深度约0.6m、最深可达1.1m, 爆坑一般呈“V”型, 破裂面粗糙、呈阶梯状, 深大爆坑多沿结构面破裂, 顶部多沿 $300^\circ NE\angle 55^\circ$ 发节理发生破坏, 两侧多沿 $83^\circ SE\angle 70^\circ$ 与 $330^\circ NE\angle 25^\circ$ 节理破坏(详见图2); 桩号229+950~229+954段12~13.30点范围产生一“V”字型空腔, 顺洞轴线长4m, 环向宽2.5m, 最深可达0.8m, 为结构应力型岩爆, 岩爆持续到桩号229+965结束。施工方采用HW125型钢拱架(槽钢加强、间距0.9~1.2m)+(每排10根, 排距1.2m)+钢筋排(拱顶 270°)+喷C30混凝土(拱顶 270° 、厚15cm)一次支护; 空腔深度大于0.5m时预埋注浆管, 采用水泥砂浆回填灌浆, 使隧洞上方石渣形成相对密实的整体。后期对IIIsb类围岩进行衬砌。

地下洞室发生中等岩爆或者更高等级的岩爆时, 可在前

方打超前应力释放孔^[12],放慢掘进速度、等能量释放一部分后再掘进,掘进的过程中加强洞室围岩的一次支护(系统锚杆+系统网片结合钢筋排+钢拱架+喷混凝土),较大的空腔进行砂浆回填密实,让周边破碎围岩通过锚网喷形成一个整体的保护壳。

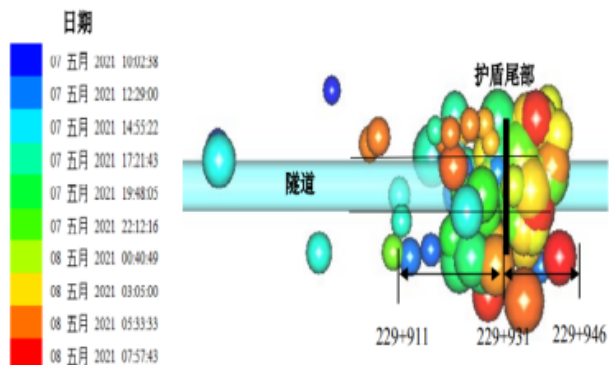


图1 微震事件在隧道轴向分布特征

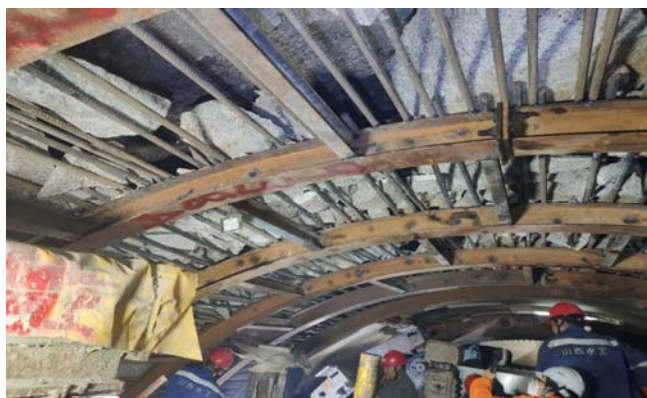


图2 隧洞围岩照片

4 结语

岩爆的发生具有突发性、时滞性,通过对地下洞室围岩的微震监测,预警岩爆的等级,能够有效的为施工单位提供有效的支护形式,既能节约成本又能保障人员和设备的安全,确保工程进度。目前所掌握的岩爆应力释放方法施工难度较大,而且影响施工进度、施工成本极高,比较有效的方法是监测岩爆等级、去优化开挖方式和合理的加强支护形式。

[参考文献]

- [1]许天龙.宝泉抽水蓄能电站地下洞室岩爆防治与处理[J].四川水利,2014,(6):1-4.
- [2]于洋.岩体隧洞岩爆过程微震特征及其扩展机制[J].水利水电工程学报,2017,(1):26-31.
- [3]汪驰宇,刘哲汛,彭有,等.时滞型岩爆的研究与预防综述[J].采矿技术,2021,(2):57-60.
- [4]司雪峰,官凤强.深部高应力圆形隧洞内部卸荷条件下岩爆模拟试验和强度弱化效应研究[J].岩土力学与工程学报,2021,(2):276-289.
- [5]赵国斌,程向民,贾国臣.岩爆分类与预测分析[J].资源环境与工程,2012,(5):509-513.
- [6]NB/T 10143-2019.水电工程岩爆风险评估技术规范[S].
- [7]王家祥,周云,李银泉,等.滇中引水工程香炉山深埋长隧洞高地应力与硬岩岩爆分析研究[J].水利规划与设计,2019,(12):135-139.
- [8]王和鑫.面板堆石坝砂岩料场爆破方案设计[J].水利技术监督,2014,(6):79-82.
- [9]原先凡,杨威,胡帅,等.玉瓦水电站围岩类别精细划分研究[J].四川水力发电,2017,(4):36-38.
- [10]杜立杰,王佳兴,洪开荣,等.TBM施工岩爆微震监测的准确率及适用性研究[J].土木工程学报,2020,(S1):278-285.
- [11]祝越,左宇军,孙文吉斌,等.基于数字图像处理的含不同开度裂隙组合花岗岩破裂规律研究[J].中国矿业,2021,(3):217-223.
- [12]梁大中.高地应力地下洞室开挖施工岩爆防治措施[J].四川水力发电,2021,(3):32-35.

作者简介:

方辉(1990--),男,汉族,江西赣州人,本科,工程师,从事于地质勘探工作。

李吉艳(1989--),男,汉族,江西宜春人,本科,工程师,从事于地质勘探工作。

韩冬冬(1985--),男,满族,山西太原人,本科,工程师,从事于水利水电施工工作。