

锦屏二级水电站大理岩拉张型板裂化破坏研究

孙卓恒, 侯哲生, 张爱萍

(烟台大学 土木工程学院, 山东 烟台 264005)

摘要: 以锦屏二级水电站隧洞完整大理岩拉张型板裂化破坏的两种形式, 即拉张型板裂化岩爆和拉张型板裂化片帮为研究对象, 给出其发生发展全阶段的破坏机理, 包括从断裂力学的角度解释拉张型板裂面的产生及拉张型板裂化岩爆和拉张型板裂化片帮各自发展至破坏的机制。为深入研究拉张型板裂化岩爆, 还使用 FLAC^{3D} 有限差分数值分析软件对岩板积聚能量过程进行模拟研究。

关键词: 完整大理岩; 拉张型板裂化破坏; 岩爆; 片帮

中图分类号: TU45

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2012)02-0024-04

Research on Tensile Slabbing Failure of Marble At Jinping II Hydropower Station

SUN Zhuo-heng, HOU Zhe-sheng, ZHANG Ai-ping

(College of Civil Engineering, Yantai University, Yantai, Shandong 264005, China)

Abstract: Taking the two types of tensile slabbing failure of intact marble at Jinping II Hydropower Station, i. e. tensile slabbing rockburst and tensile slabbing spalling, as research objects, the failure mechanism of all steps of this two failure types is given here, including the explanation for the occurrence of fracture plane from the perspective of fracture mechanics and explanation about how these two failure types failing. For the further study on tensile slabbing rockburst, the finite difference numeric analysis software FLAC^{3D} is used to simulate and study the process of energy accumulation of rock plates.

Keywords: intact marble; tensile slabbing failure; rockburst; spalling

1 前言

锦屏二级水电站地处雅砻江大河湾所包围的锦屏山区, 电站利用雅砻江 150 km 大河湾的巨大天然落差截弯取直获得水头, 开挖隧洞引水发电。该工程大型深埋隧洞群由 4 条引水隧洞、2 条辅助洞及 1 条施工排水洞组成。洞线平均长度约为 16.7 km, 隧洞最大埋深达 2 525 m, 具有洞径大、洞线长、埋深大的特点^[1]。

锦屏二级水电站自开工以来, 始终伴随着深部围岩的稳定性问题, 现场施工中深埋完整或较完整大理岩围岩发生破坏类型主要有拉张型板裂化破坏和剪切型破坏两种类型, 以拉张型板裂化破坏为主^[2]。拉张型板裂化破坏根据其破坏的剧烈程度又分为拉张型板裂化岩爆(图 1)和拉张型板裂化片帮(图 2)。拉张型板裂破坏指在隧洞开挖后, 形成平

行于隧洞开挖轮廓面的多层岩板, 多层岩板被抛出或在重力作用下脱落。当多层岩板被抛出时形成拉张型板裂化岩爆, 脱落时形成拉张型板裂化片帮。拉张型板裂化岩爆和拉张型板裂化片帮都属于广义上的岩爆。对于围岩板裂化的研究, 孙广忠等^[3]提出板裂结构的力学模型, 倪国荣等^[4]在此基础上对其进行了进一步的研究。王敏强等^[5]针对锦屏长探洞现场岩爆的实际破坏形式, 提出了边壁破坏的板梁-脆性弹簧模式。刘宁等^[6]将处于高地应力条件下脆性劈裂围岩视为薄板模型后建立了劈裂围岩的临界应力与位移的解析计算公式。吴世勇等^[7]采用真三轴岩爆试验设备对锦屏 II 级水电站深部大理岩的板裂化破坏进行了室内试验研究。潘岳等^[8]采用突变理论对处于均匀围压下圆形隧洞的层状圆环建立了折迭突变模型。Germanovich L N 等^[9]和王明洋等^[10]对深部硬岩的卸载劈裂机制进行了理论与室

内试验研究。



图 1 拉张型板裂化岩爆坑



图 2 拉张型板裂化片帮坑

可以看出现有已知研究都是关于拉张型板裂化破坏作为广义上的岩爆进行的研究。针对拉张型板裂化破坏的两种形式拉张型板裂化岩爆和拉张型板裂化片帮,分别对其发生发展全阶段破坏机理进行对比分析研究,具有一定的理论和实践价值。

2 拉张型板裂化岩爆和拉张型板裂化片帮破坏机理

2.1 拉张型板裂化岩爆破坏机理

拉张型板裂化岩爆的形成目前认为一般经历三个阶段^[11-12]:首先围岩在开挖后切向应力作用下产生与洞壁相平行的张性破裂面并将围岩分离为互相平行的岩板,其次岩板在切向应力的进一步作用下发生压缩变形并积聚应变能,最后岩板发生屈曲失稳将积聚的应变能突然释放形成岩爆。

对于张性破裂面的产生可从断裂力学角度予以解释。岩石内部存在随机分布的微裂纹,岩石在无围压承受一定大的轴向压力时,微裂纹发生摩擦滑动和自相似性扩张后发生弯折扩展,由于围压不存,弯折裂纹沿最大主应力方向即轴向力方向继续发展,岩石受压发生劈裂破坏(图 3)形成平行于轴向力的破裂面^[13],图中 σ_1 为轴向压力, σ_2 为围压。

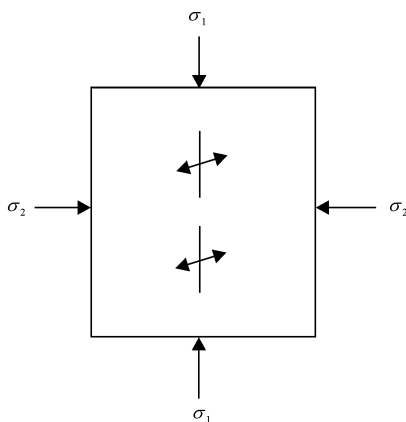


图 3 岩石受压发生劈裂破坏示意图($\sigma_2 = 0$)

隧洞开挖后围岩应力状态由初次状态转变到二次状态,切向应力增大,径向应力降低为零。围岩内部微裂纹发生摩擦滑动和自相似性扩张后发生弯折扩展,由于径向应力降低为零,弯折裂纹会沿切向应力方向继续发展,微裂纹贯通后形成平行于开挖面的破裂面,即张性破裂面。

拉张型破裂面产生后,形成平行于洞壁的岩板,当洞口断面为圆形时就形成弧形岩板,当形成的岩板没有遭到破坏,随着洞壁围岩变形增加,岩板积聚能量,当储存能量弧形岩板遭到扰动后就会失稳发生断裂,产生的岩块被抛出甚至弹射出即形成拉张型板裂化岩爆。

2.2 拉张型板裂化片帮破坏机理

拉张型板裂化片帮破坏同拉张型板裂化岩爆破坏一样,第一步都是拉张型破裂面的产生。

拉张型破裂面产生后,在岩板形成初期,由于洞口截面形式、局部岩石材料性质影响或施工中的机械振动影响,切向应力可出现拉应力,岩板中部会产生拉裂纹,岩板遭到破坏,不利于继续积聚能量,图 4 为锦屏二级水电站施工排水洞洞壁水平张裂缝^[14]。在岩板形成初期还会形成中间厚两边薄的透镜状或楔形状形状,也不利于继续积聚能量,图 5 为张传庆等^[15]在锦屏二级水电站实验支洞 C 记录的楔形状破坏。因为这两种情况都不利于继续积聚能量,岩板脱离洞壁时不会有较大能量的释放,岩

板脱落形成拉张型板裂化片帮。



图 4 洞壁水平张裂缝



图 5 锦屏二级水电站实验支洞 C 中的楔形板状破坏

3 拉张型板裂化岩爆 FLAC^{3D}模拟

拉张型板裂化岩爆不同于拉张型板裂化片帮的地方在于其发生时释放大量能量,因而对现场施工人员、机械等的影响更大。对拉张型板裂化岩爆释放能量剧烈程度进行研究是必要的。

FLAC^{3D}为三维数值有限差分数值模拟软件,使用其 interface 单元模拟围岩张型破裂面,在此基础上可以模拟弧形岩板的力学行为。

建立如图 6(注:因页面所限,图中仅截取模型中心区,实际边界在洞径的约 10 倍处)所示的数值模型。模型中隧洞开挖直径为 7.2 m,洞壁两侧各建立了多层弧形岩板。

计算采用线弹性本构关系。模型边界条件为约束左右边界的水平方向位移和下边界的垂直方向位移。根据文献[16],确定本模型的初始应力条件为:水平方向的初始地应力为 31 MPa,垂直方向的初始地应力 57 MPa。模型中选用的锦屏二级水电站白山组大理岩的物理力学参数^[15]见表 1。

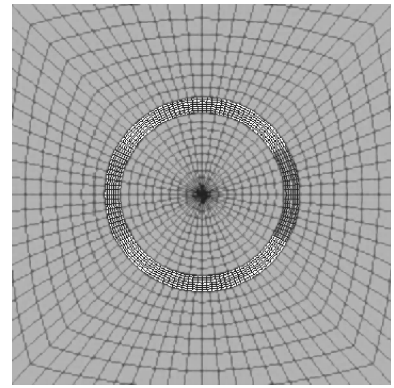


图 6 数值模型中心区截图

表 1 大理岩物理力学参数

体积模量 K /GPa	剪切模量 G /GPa	弹性模量 E /GPa	泊松比 ν
15.1	10.4	25.3	0.22

因模拟可以导出各节点的应力状态(如图 7~图 9),因此可以算出弧形岩板积聚的弹性能量的大小,进而判断岩爆释放能量的大小。还可以对比模拟不同条件下,比如岩石物理性质及隧洞几何条件还有隧洞的初始应力条件,进而判断不同影响因素对岩爆强烈的影响程度。应该指出的是由于模拟采用的是线弹性本构关系不能完全反映实际板裂化情况,据其计算得出的能量大小只能作为估计值使用。

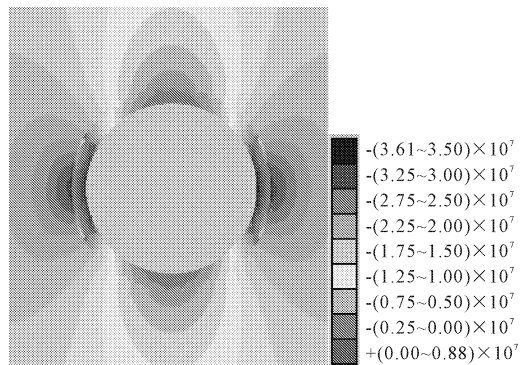


图 7 XX 方向应力云图(单位:Pa)

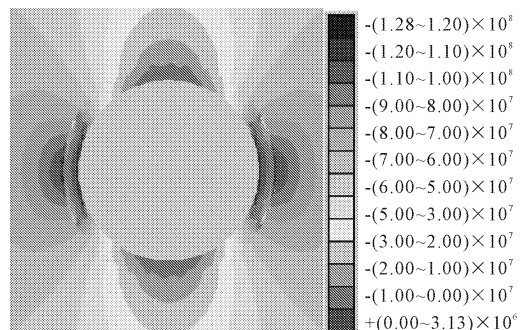


图 8 ZZ 方向应力云图(单位:Pa)

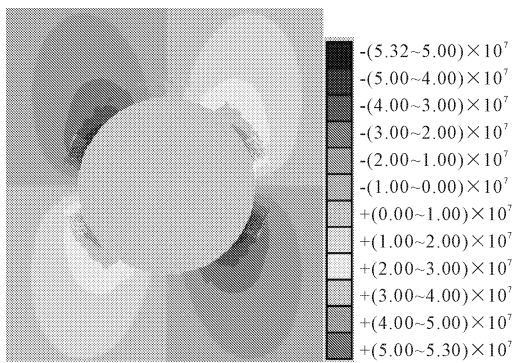


图 9 XZ 方向应力云图(单位:Pa)

4 结论与建议

针对锦屏二级水电站拉张型板裂化破坏的两种类型即拉张型板裂化岩爆和拉张型板裂化片帮,得出其发生发展全阶段破坏机理的分析解释。在从断裂力学的理论解释破裂面的形成机理后,分析阐述了破裂面形成以后拉张型板裂化片帮不同于拉张型板裂化岩爆的形成机制。

根据拉张型板裂化岩爆和拉张型板裂化片帮不同的形成机制,可以知道两种破坏形式关键不同之处在于能否形成积聚有能量的岩板。在施工现场岩爆地段除采用改善围岩物理力学性能、改善围岩应力条件、加固围岩等防治措施^[17]外,可以采用促使拉张型板裂化岩爆朝拉张型板裂化片帮方向发展,以期降低岩爆发生的强度。相应方法可改变隧洞洞口截面形式来改变围岩应力状态产生拉应力促使岩板中部产生拉裂纹或产生透镜状或楔形状岩板,或采用机械措施在岩板中部或上下部位制造裂缝,阻止岩板能量的积聚。必须指出,这两种方法能否在工程中使用还需深入研究。

为更深入研究拉张型板裂化岩爆,还使用 FLAC^{3D}有限差分数值分析软件对岩板积聚能量进行模拟,该模拟方法可以估算积聚能量大小继而估算岩爆剧烈程度,还可以对比模拟隧洞不同初始应力环境和不同开挖几何尺寸及不同岩石物理性质条件对岩爆剧烈程度的影响。

参考文献:

[1] 吴世勇,王 鸽,徐劲松,等.锦屏二级水电站 TBM 选型及施工关键技术研究[J].岩石力学与工程学报,

2008,27(10):2000-2009.

- [2] 侯哲生,龚秋明,孙卓恒.锦屏二级水电站深埋完整大理岩基本破坏方式及其发生机制[J].岩石力学与工程学报,2011,30(4):728-732.
- [3] 孙广忠,张文彬.一种常见的岩体结构-板裂结构及其力学模型[J].地质科学,1985,(3):275-282.
- [4] 倪国荣,叶梅新.“板裂”结构岩体的力学分析法[J].岩土工程学报,1987,9(1):99-108.
- [5] 王敏强,侯发亮.板状破坏的岩体岩爆判别的一种方法[J].岩土力学,1993,14(3):53-60.
- [6] 刘 宁,朱维申,于广明,等.高地应力条件下围岩劈裂破坏的判据及薄板力学模型研究[J].岩石力学与工程学报(增刊 I),2008,27(s1):3173-3179.
- [7] 吴世勇,龚秋明,王 鸽,等.锦屏 II 级水电站深部大理岩板裂化破坏试验研究及其对 TBM 开挖的影响[J].岩石力学与工程学报,2010,29(6):1089-1095.
- [8] 潘 岳,张 勇,于广明.圆形洞室岩爆机制及其突变理论分析[J].应用数学和力学,2006,27(6):741-749.
- [9] Germanovich L N, Salganik R L, Dyskin A V, et al. Mechanisms of brittle fracture of rock with pre-existing cracks in compression[J]. Pure and Applied Geophysics, 1994, 143 (1/2/3):117-149.
- [10] 王明洋,范鹏贤,李文培.岩石的劈裂和卸载破坏机制[J].岩石力学与工程学报,2010,29(2):234-241.
- [11] 何满潮,苗金丽,李德建,等.深部花岗岩试样岩爆过程实验研究[J].岩石力学与工程学报,2007,26(5):865-876.
- [12] 谷明成,何发亮,陈成宗.秦岭隧道岩爆的研究[J].岩石力学与工程学报,2002,21(9):1324-1329.
- [13] 周小平,张永兴.卸荷岩体本构理论及其应用[M].北京:科学出版社,2007:12-22.
- [14] 侯哲生,龚秋明,孙卓恒.锦屏二级水电站深埋完整大理岩基本破坏方式及其发生机制[J].岩石力学与工程学报,2011,30(4):728-732.
- [15] 张传庆,冯夏庭,周 辉,等.深部试验隧洞围岩脆性破坏及数值模拟[J].岩石力学与工程学报,2010,29(10):2063-2068.
- [16] 中国水电顾问集团华东勘测设计研究院.锦屏二级水电站深埋引水隧洞工程地质条件和设计情况汇报[R].杭州:中国水电顾问集团华东勘测设计研究院,2009.
- [17] 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):2034-2042.