

爆破工程对周边环境影响的评估与防治措施

逢凤吉

深圳市和利建设工程有限公司 广东 深圳 518000

摘要: 文章结合实际爆破施工项目,模拟评估了爆破工程对周边环境的主要影响,并提出了合理的防治措施。包括该爆破工程项目基本情况,爆破工程对周边环境数值模拟、爆破工程对周边环境模拟结果分析,以及爆破工程对周边环境的主要防治措施。希望通过此次分析,可以为爆破工程周边环境所受不利影响的科学防治提供一定参考,以提升爆破工程施工安全性。

关键词: 爆破工程; 周边环境; 边坡自振; 振动阻尼特性; 边坡块体

前言: 在岩体爆破工程中,周边环境将会受到一定的振动影响,易导致边坡岩体掉落或边坡坍塌等危险情况发生。基于此,研究者需结合岩石爆破工程实际情况,对其在周边环境中产生的影响数值进行模拟分析,以明确边坡爆破动力响应特征、爆破振动残余位移以及边坡局部块体动力稳定性等情况,从而对其周边环境影响展开科学评估。基于具体的模拟结果,研究者可提出针对性治理措施,以确保爆破工程周边坡体稳定性及其安全性,并为后续此类工程安全防护工作提供指导。

1 项目概况

此次研究的是某危岩地带爆破开挖治理工程项目。该项目区域内的W29危岩体属于单体危岩,它处在二级陡崖上部,顶部标高约1820m,底部标高约1600m。整体围岩呈上宽下窄的半圆柱空间形态,中上部略凸向陡崖外侧,凸起高度最大可达220m,其后缘存在一个卸荷裂隙,为贯通性,从而将该围岩和后缘母岩体彻底分离。由于该危岩体临近区域曾出现过多次危石坠落事故,崩塌风险极大。为消除此处的风险,工程单位决定以台阶放坡清除、后缘台阶放坡、卸荷裂隙封闭以及绿化相结合的方案治理。基于该危岩体实际特点,工程单位决定从危岩朝母岩方向实施分区、分层爆破,将危岩与母岩区域内的爆破台设计在10m高,以导爆雷管与空外低段位、孔内高段位传爆组合工艺实施爆破,将后母岩部位放坡率设计在1:0.4。为实现爆破工程对周边环境影响的有效控制,工程单位先对轮廓设计面实施预裂爆破,通过预裂隙生成的方式降低爆破振动对周边环境的不利影响。本文主要对其在周边环境中产生的影响及其防治措施进行分析。

2 爆破工程对周边环境影响数值模拟

2.1 模型范围

按该项目现场地形图与施工范围,研究者将整个危

岩体及其周边区域内凸出的山体纳入其有限元分析模型范围,使其x向长度最大值为345m,y向长度最大值为445m,z向长度最大值为248m。整个模型中共包含22165个节点,115415个单元;整体模型共按11组划分,包括母岩4组,裂隙3组,危岩体4组,分别与实际山体条件下的W11岩体、W22岩体、W23岩体以及W29岩体对应。开挖延伸方向为山脊方向,x向延伸长度是120m,y向延伸长度是220m。其岩体包括中风化灰岩以及中风化页岩两种,前者重度是27.0kN/m,黏聚力是3714kPa,内摩擦角是37.7°,弹性模量是6.24*104MPa,泊松比是0.24;后者重度是25.8kN/m,黏聚力是482kPa,内摩擦角是28.0°,弹性模量是0.18*104MPa,泊松比是0.29。

2.2 边坡自振频率特性

会实现爆破动力对周边边坡稳定性影响情况的科学评价,尤其是对于其爆破动力主频因素所造成的边坡动力响应具体放大程度,研究者首先需获取边坡爆破后的自振频率。对于复杂或大型结构,在动力计算时,研究者可基于相关数值模型,通过分解振型和能量迭代等方式对其自振频率进行求解,也可将试验监测获取到的数据作为依据,合理测定其自振频率。本次研究中,研究者以数值法计算获取该模型的无阻尼自振频率^[1]。因危岩体标高1820m米以上属于玻璃松散结构,清理时应选择采取机械开挖法,所以在计算其模型无阻尼自振时,研究者也将该岩体的7Hz振动清除,以实现边坡实际自振频率的科学获取。

2.3 边坡振动阻尼特性

此次评估中,对于爆破中心振动波形,研究者主要以人工法输入其爆破振动条件下的速度时程曲线,按现场实际测量获得的结果确定其振动频率,对于实测曲线,研究者将其振动频率设计为20±10Hz。结合试报现场实际测量的爆破振动结果,采用粒子群拆分法实施反演分析^[2]。分

析时，将实际测量点位置坐标、爆破时的振动速度、爆破中心坐标设为已知量，将边坡位置的振动阻尼比、爆破中心的振动速度设为未知量，对其实施反演逼近。表1为该项目的边坡振动阻尼特性反演计算结果。

表1 该项目边坡振动阻尼特性反演计算结果

序号	项目	反演计算结果		
		2024-04-14	2024-04-15	2024-07-22
1	爆破工程类型	开挖爆破	开挖爆破	开挖爆破
2	单响最大药量	48kg	35kg	14.4kg
3	X向爆破中心振动速度	0.9m/s	0.5m/s	0.4m/s
4	Y向爆破中心振动速度	0.9m/s	0.5m/s	0.4m/s
5	Z向爆破中心振动速度	0.9m/s	0.5m/s	0.4m/s
6	阻尼比	0.04	0.04	0.04

2.4 单响药量最大值和爆心振速关系

根据此次项目开挖中的三次爆破数据实测值，研究者通过上述有限元分析模型对其单响药量最大值和爆破中心振动速度之间的关系进行了反演^[3]。经反演发现，随着药量增加，其振动速度也在增加，当最大药量是15kg时，其速度是0.4m/s；最大药量是30kg时，其速度是0.47m/s；最大药量是40kg时，其速度是0.58m/s；最大药量是50kg时，其速度是0.88m/s。

2.5 计算方案

本次项目中，研究者主要通过边坡开挖过程的施工模拟，对爆破工程中产生的振动在边坡表面上的传播规律和残余位移基本变化规律展开分析。根据边坡表面上由于爆破所导致的动态应力比，对此次爆破工程安全性进行判断。根据实际施工需求，将爆破工程中的单响最大药量设计为14.4kg，按上述分析中获得的结果确定边坡具体阻尼特性^[4]。将爆破施工中振动监测点分别设置在边坡不同高程位置，将爆破高程分别设置为1670m、1710m、1750m以及1790m，对这些高程爆破施工中的各个监测点上的振动速度变化规律进行模拟。模拟时共设置了8个振动监测点，其编号与空间坐标如下：①1#监测点：(-23m, -62m, 1680m)；②2#监测点：(-24m, -47m, 1700m)；③3#监测点：(-25m, -29m, 1720m)；④4#监测点：(-25m, -15m, 1740m)；⑤5#监测点：(-25m, -2m, 1760m)；⑥6#监测点：(-20m, 12m, 1780m)；⑦7#监测点：(-14m, 25m, 1800m)；⑧8#监测点：(-15m, 39m, 1820m)。

3 爆破工程对周边环境模拟结果分析

3.1 边坡爆破动力响应特征

根据以上模型和条件进行模拟分析之后，研究者得出

的不同高程爆破施工振动速度峰值计算结果如表2所示：

表2 该项目模拟分析得出的不同高程爆破施工振动速度峰值计算结果

序号	监测点高程	方向	不同高程爆破施工振动速度峰值计算结果			
			1670m爆破	1710m爆破	1750m爆破	1790m爆破
1	1680m	X	10.21m	--	--	--
2		Y	11.72m	--	--	--
3		Z	6.23m	--	--	--
4	1700m	X	5.55m	--	--	--
5		Y	2.75m	--	--	--
6		Z	0.68m	--	--	--
7	1720m	X	2.95m	4.15m	--	--
8		Y	0.37m	4.68m	--	--
9		Z	1.50m	2.75m	--	--
10	1740m	X	1.33m	2.90m	--	--
11		Y	0.50m	1.74m	--	--
12		Z	1.30m	0.26m	--	--
13	1760m	X	0.66m	1.60	6.06m	--
14		Y	0.54m	0.65m	6.58m	--
15		Z	0.54m	0.85m	4.56m	--
16	1780m	X	0.34m	0.72m	3.68m	--
17		Y	0.46m	0.34m	2.47m	--
18		Z	0.51m	0.91m	0.95m	--
19	1800m	X	0.25m	0.43m	1.58m	2.35m
20		Y	0.16m	0.44m	0.82m	3.69m
21		Z	0.29m	0.54m	1.61m	2.94m
22	1820m	X	0.07m	0.39m	0.93m	0.95m
23		Y	0.07m	0.11m	0.58m	1.37m
24		Z	0.18m	0.13m	0.62m	0.92m

(其中，“--”代表未分析)

经分析发现，当单响最大药量是14.4kg时，振动在边坡表面上的传播速度总体沿高程方向递减。其中，1670m标高爆破条件下的振动传播速度最快。

3.2 爆破振动残余位移

经此次模拟分析发现，爆破振动在水平方向上的残余位移具有相似变化规律，其绝对值随高程增加而减小；垂直位移绝对值则随高程增加而增加，因此其位移呈垂直向下的方向，可见爆破振动会使山体发生沉降。

3.3 边坡局部块体动力稳定性

通过此次项目爆破施工现场既有资料分析与实地勘察可知，施工边坡上的岩体密度均值为2700kg/m³，场地质量系数为0.5，弹性纵波速度为3000m/s。根据动态测试理论，此次仿真中，研究者将岩石动态抗压强度取值定为3.66MPa。根据以上数据，本次分析时，研究者按以下

公式评价其动态应力比:

$$\sigma = dc_0v \quad (1)$$

其中, σ 代表周边岩土在爆破工程振动作用下形成的动态应力; c_0 代表周边岩土所在地层中的传播介质密度(即岩体密度); d 代表爆破工程现场岩土自身的弹性纵波速度; v 代表爆破施工中的震动质点振动速度。

对于其动态应力比,研究者主要按以下公式进行计算:

$$D_{ST} = \frac{\sigma}{k_s \sigma_t} = \frac{dc_0v}{k_s \sigma_t} \times 10^{-8} \quad (2)$$

其中, D_{ST} 代表爆破施工中产生的动态应力比; k_s 代表爆破施工场地质量系数,其取值在1以下; σ_t 代表周边岩体所具备的动态抗拉强度值。

经计算得出,在爆破施工影响下,与爆破位置高程相距30m范围内的岩体存在脱落抛出的可能^[5]。

四、爆破工程对周边环境的主要防治措施

根据此次爆破工程对周边环境的影响情况,研究者提出了以下几项防治措施。

第一是做好爆破参数控制,在此过程中,工程单位需根据实际情况合理降低单响药量,适当增加起爆段数,以降低爆破施工对周边环境产生的振动影响,防止周边岩石块体脱或边坡倒塌等风险发生。

第二是做好爆破施工影响范围内的岩体边坡坡面防护工作,在此过程中,工程单位需结合实际情况,通过挂网喷浆或混凝土喷射等方式,对坡面实施封闭处理,以提高坡面上的岩体抗风化能力,确保其整体稳定性,防止风化岩体振动剥落或坡面松动破坏等情况发生。

第三是做好爆破施工影响区域内的危岩体处理工作。在此过程中,工程单位应加强爆破施工高程30m范围内的危岩岩体观察与监测工作,通过水准仪或全站仪等设备定期监测危岩岩体情况以及边坡位移趋势等。对于发现的安全隐患,工程单位需及时通过锚索或锚杆等锚固措施进行加固处理,也可及时清除危岩岩体,以免不必要的安全事故发生。

第四是做好坡顶和坡角加固处理。在此过程中,工

程单位可根据现场实际情况,对爆破施工影响区域内的坡顶实施卸荷处理,以减轻其坡顶荷载,防止岩体坠落或坡体坍塌。同时应通过挡土墙或抗滑桩等对坡脚实施加固处理,以提升其抗滑能力,增强其边坡稳定性,防止沉降导致的边坡坍塌情况^[6]。

如此方可对本次爆破工程施工周边环境做到良好保护,有效降低爆破震动对周边坡体和掩体的不利影响,以免发生不必要的安全事故。

结束语

综上所述,在岩体爆破工程施工过程中,周边环境影响的科学评估至关重要。基于此,研究者需根据具体的爆破工程情况,结合施工现场既有资料与实地勘察结果等,以有限元分析的方式,对爆破施工位置周边环境所受的振动影响展开模拟分析,以明确其影响范围和影响程度等,并进一步研究爆破影响情况下的周边环境变化规律。如此方可对其环境影响做到科学评估,并根据评估结果,为工程单位制定行之有效的环境保护措施。如此方可尽最大限度降低爆破施工对周边环境的不利影响,在满足实际爆破施工需求的基础上,确保周边环境安全性。

参考文献

- [1]罗欢.非煤矿山露天矿不良爆破现象产生原因分析[J].工程施工新技术,2025(11):411-34.
- [2]黄永辉,阮迅,雷振,等.装药不耦合系数对台阶爆破破碎块体抛掷运动规律影响研究[J].工程科学与技术,2025(2):223-233.
- [3]纪曲波.软弱围岩铁路隧道弱爆破技术研究与应用[J].铁道建筑技术,2025(2):140-144.
- [4]刘金龙.复杂环境下矿山露天开采爆破施工安全风险控制策略[J].模型世界,2025(5):76-78.
- [5]毛翔,何成龙,陈大勇,等.主动围压下岩石爆破裂纹扩展及邻近巷道动态响应[J].兵工学报,2024(12):4323-4338.
- [6]李浚弘,沈俊,包小华,等.隧道爆破施工地表振动速度特征及沉降规律研究[J].现代隧道技术,2024(6):191-199.