

Dynamic Analysis of Influence of New Dam Foundation Excavation Blasting on Safety of Old Dam

Feng Liu^{1,2}

¹China Water Northeastern Investigation, Design & Research Co., Ltd., Changchun Jilin

²Research Center on Cold Region Engineering Ministry of Water Resources, Changchun Jilin

Email: Maplelfin@126.com

Received: Apr. 17th, 2018; accepted: May 1st, 2018; published: May 9th, 2018

Abstract

According to the design data of excavation blasting of new dam foundation proposed, the shock wave generated by the blasting is determined according to the experimental data and the empirical formula of other engineering blasting. The dynamic finite element method (LS-DYNA) is used to simulate the old dam's 3 longitudinal seams, and vibration speed, deformation and stress of important parts of the old dam caused by blasting are analyzed and evaluated. Under the new dam foundation's excavation and blasting, the calculation results show: 1) the maximum single shot dose of excavation blasting of the new dam foundation proposed can meet safety requirements; 2) the stress of the old dam body is small and can meet requirement of the specification; 3) it is appropriate to allow the vibration velocity to be 3.0 cm/s.

Keywords

New Dam Foundation, Excavation Blasting, Old Dam, Dynamic Analysis

新坝基础开挖爆破对老坝安全影响的动力分析

刘 枫^{1,2}

¹中水东北勘测设计研究有限责任公司, 吉林 长春

²水利部寒区工程技术研究中心, 吉林 长春

Email: Maplelfin@126.com

收稿日期: 2018年4月17日; 录用日期: 2018年5月1日; 发布日期: 2018年5月9日

文章引用: 刘枫. 新坝基础开挖爆破对老坝安全影响的动力分析[J]. 土木工程, 2018, 7(3): 321-328.

DOI: 10.12677/hjce.2018.73037

摘要

根据设计院提出的新坝基础开挖爆破设计方案,参考其他工程施工爆破的实验资料和经验公式,确定爆破所产生的冲击波。采用显示动力有限元法(LS-DYNA),在模拟老坝三条纵缝的前提下,对冲击振动所导致的老坝重点部位的振速、变形及应力等进行分析评价。计算结果表明,新坝基础开挖爆破时:①拟定的新坝基础开挖爆破最大单响药量能够满足工程爆破安全要求;②老坝坝体应力不大,能满足规范要求;③老坝坝体纵缝安全允许振速取为3.0 cm/s是合适的。

关键词

新坝基础, 开挖爆破, 老坝, 动力分析

Copyright © 2018 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

丰满水电站位于吉林省境内第二松花江干流上,控制流域面积 42,500 km²,约占第二松花江流域面积的 55%,电站安装 8 台机组,经两次扩机,装机总容量为 1002.5 MW,多年平均年发电量 18.57 亿 kW·h。电站始建于 1937 年的伪满时期,大坝(老坝)设计与施工存在严重的先天性缺陷,结构整体性差,坝体混凝土低强,渗漏渗压异常,冻胀融蚀严重,防洪能力不足,安全隐患突出。2007 年老坝被国家电力监管委员会评定为“病坝”,鉴于丰满水电站的重要性和失事后果的严重性,东北电网公司委托中水东北勘测设计研究有限责任公司对丰满大坝的全面治理(重建)方案进行了全面论证,方案最终于 2012 年 10 月获得国家发改委核准。

2. 工程概况

丰满水电站全面治理(重建)工程坝轴线位于原大坝轴线下游 120 m 处,并保留原丰满三期工程;坝型采用碾压混凝土重力坝(新坝),坝顶高程为 269.50 m,泄洪方式采用“宽尾墩 + 台阶面 + 消力池”联合消能。新建电站右岸坝后厂房安装 6 台单机容量为 200 MW 的水轮发电机组,继续利用原丰满三期 2 台单机容量 140 MW 的机组发电,总装机容量 1480 MW。

老坝为混凝土重力坝(I 级建筑物),坝顶长 1080 m,最大坝高 91.7 m,坝顶高程为 267.7 m。共 60 个坝段,坝段长 18 m;左岸#1~#8 坝段、#20 坝段、右岸#32~#60 坝段为挡水坝段,#9~#19 坝段为溢流坝段,#21~#31 坝段为取水坝段。坝顶宽 9 m~13.5 m;上游面坡度 0.048~0.050,下游面坡度 0.75~0.78。每一坝段施工时沿顺河流方向以 3 条纵缝(AB 缝、BC 缝、CD 缝)分为 A、B、C、D 四个坝块。

本文根据设计院提出的新坝基础开挖爆破设计方案,同时参考其他工程施工爆破的实验资料和经验公式,确定爆破所产生的冲击波,在模拟老坝三条纵缝(AB 缝、BC 缝、CD 缝)的前提下,采用显示动力有限元法(LS-DYNA) [1] [2],计算模拟老坝典型坝段(#17 溢流坝段、#22 取水坝段(厂房坝段)、#35 挡水坝段(不模拟断层)以及#35 断层坝段(模拟 F₆₇ 断层))的动态反应,对冲击振动所导致的老坝重点部位的振速、变形及应力等进行分析评价。进而复核新坝基础开挖爆破控制标准和最大单响药量,提出老坝重点关注部位—纵缝处的爆破振动安全控制标准。

3. 爆破振动荷载及安全控制标准

3.1. 爆破振动荷载

爆破振动效应除受药量和爆心距两个主要因素影响外,还受到炸药的性能、装药结构、起爆方式、堵塞质量以及地形地质条件等许多非主要的偶然因素影响。由于影响因素的复杂性,目前还没有精确理论能够求解爆破振动效应,主要根据现场实测资料作经验公式的回归分析。目前应用较多的是前苏联萨道夫斯基提出的公式[3]:

$$V = K \left(\frac{Q^{1/3}}{R} \right)^\alpha \quad (1)$$

式中, V 为质点振动速度峰值(cm/s); Q 为最大单响药量(kg); R 为测点至爆源中心距离(m); K 、 α 为反应非主要因素影响的系数。

新坝基础为表层开挖,现场岩性属于中等坚硬岩石(偏于风化),相对应的 K 、 α 值依据《爆破安全规程》(GB 6722-2014) [4] 分别取 $K = 150$, $\alpha = 1.8$ 。爆破最大单响药量取为:当爆心距为 20 m、30 m、40 m、50 m 时,药量分别为 15.9 kg、53.7 kg、127 kg、249 kg。

工程现场引水洞进水口爆破振动实测典型振动波如图 1 所示,以此作为有限元瞬态动力计算中输入的振动波。

3.2. 爆破振动安全控制标准

新坝基础开挖爆破产生的振动波分别经地基岩体和坝体混凝土传递到老坝各重要结构体及设施。工程实践表明,建(构)筑物因爆破振动造成的破坏与质点峰值振动速度具有良好的相关性,国内外相关规程规范普遍以质点峰值振动速度作为爆破振动影响与控制的判据。

本工程的爆破振动安全控制标准参见表 1,其中坝体纵缝的允许振速参照坝基标准初拟为 3.0 cm/s。

4. 数值计算及结果分析

本文仅以老坝#17 溢流坝段为例进行数值计算及结果分析。数值模拟采用大型商业有限元软件 ANSYS 进行瞬态动力计算分析,计算中假定新坝基础开挖爆破振速的控制位置为老坝坝体距离爆破最近的部位,即坝趾位置。根据控制位置得到爆源振速峰值,从而确定爆破振动波的输入,振动波施加位置为老坝靠近坝体下游坝面的位置。

计算中,假定坝体混凝土为线弹性,同时考虑不同材料分区;作为安全裕度,不考虑老坝各坝段预应力锚索的作用效应。

4.1. 模型建立

有限元计算模型,考虑了一定范围的地基,地基竖直边界采用法向单约束,地基地面采用固定约束。

计算模型坐标方向定义如下: X 向以顺水流指向下游为正; Y 向以竖直向上为正。计算结果正应力和主应力的符号均以拉为正、压为负(图 2)。

4.2. 计算结果分析

4.2.1. 振速分析

在拟定的单响最大药量条件下,最大水平振速峰值出现在坝顶为 3.06 cm/s (0.67 s 时),向下游,此时纵缝处水平振速为 1.39 cm/s,出现在 CD 缝上部;最大垂直振速峰值亦出现在坝顶为 1.51 cm/s (0.57 s 时),

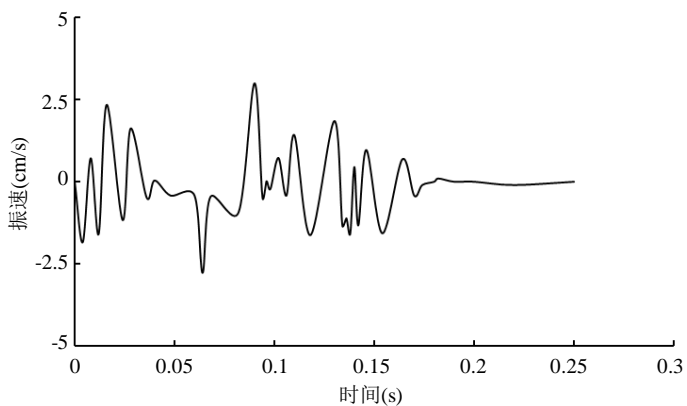


Figure 1. Blasting vibration wave monitored at project site
图 1. 工程现场实测爆破振动波

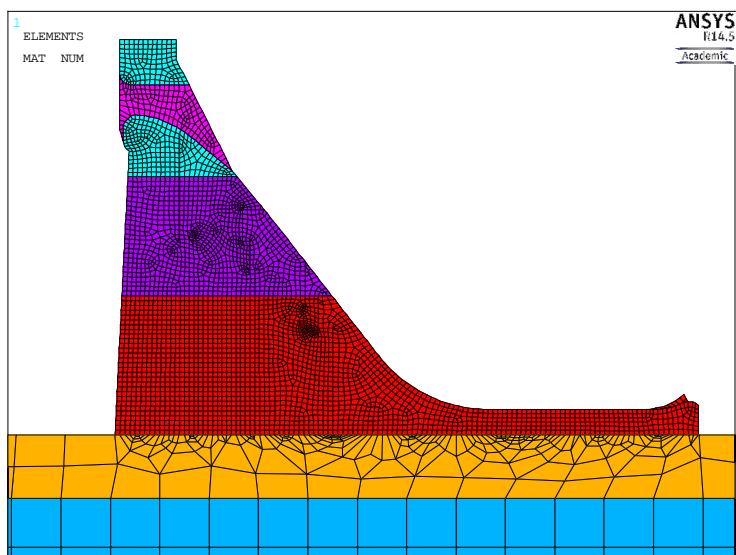


Figure 2. Finite element grid of No. 17 overflow section
图 2. #17 号溢流坝段有限元网格剖分图

Table 1. Allowable standard of blasting vibration for excavation of the new dam foundation (cm/s)
表 1. 新坝基础开挖爆破振动安全允许标准(cm/s)

防护对象	允许振速	备注
坝基	3.0	
坝顶	6.0	
坝体纵缝	3.0	初拟
挑流鼻坎	10.0	
厂房基础	5.0	
帷幕灌浆区	1.5	
水电站及发电厂中心控制室设备	0.5	
电站引水管进口、钢闸门	5.0	
开关站	2.5	
廊道、洞室	5.0	
止水结构	5.0	

垂直向上,此时纵缝处最大垂直振速为 1.70 cm/s,亦出现在 CD 缝上部,如图 3、图 4。坝体纵缝部位在爆破初始阶段振速较大,最大水平振速为 2.66 cm/s (0.13 s 时),最大垂直振速为 2.91 cm/s (0.11 s 时),均出现于 CD 缝最上部。

4.2.2. 变形分析

图 5、图 6 分别给出了最大水平振速时#17 坝段坝体的水平位移和垂直位移分布(0.67 s 时)。由图可知,水平位移和垂直位移均不大,向上游的水平位移最大为 1.16 mm,出现在坝顶;向下的垂直位移最大为 0.26 mm,亦出现在坝顶;纵缝处相对水平位移最大为 0.30 mm (开合),相对垂直位移最大为 0.19 mm (错动),均出现于 AB 缝最上部[5]。

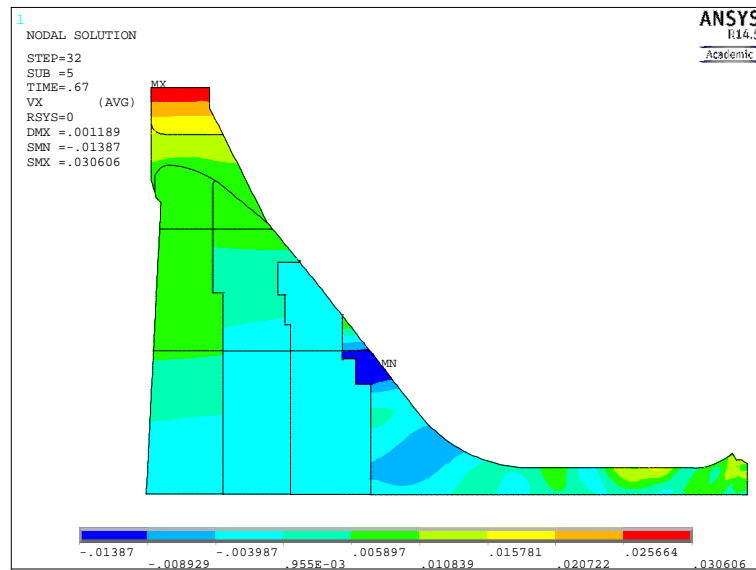


Figure 3. Dam's vibration velocity distribution at blasting time 0.67 s (unit: m/s)
图 3. 爆破时程 0.67 s 时坝体水平振速分布图(单位: m/s)

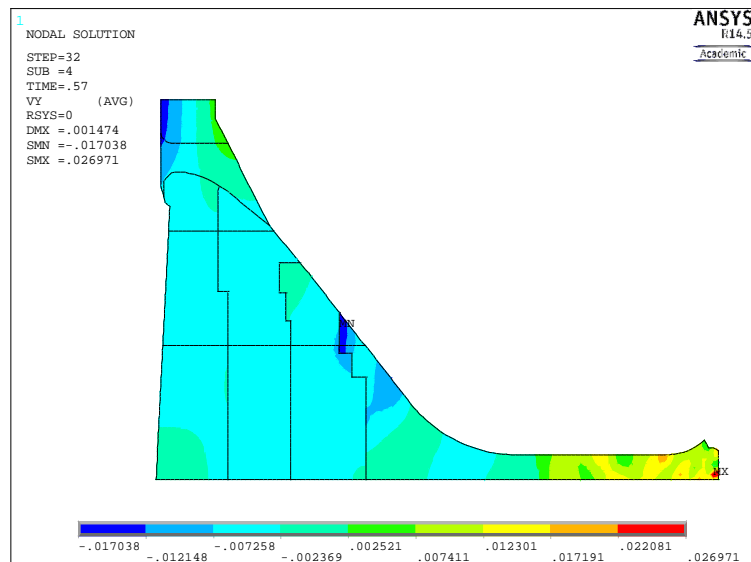


Figure 4. Dam's vertical velocity distribution at blasting time 0.57 s (unit: m/s)
图 4. 爆破时程 0.57 s 时坝体垂直振速分布图(单位: m/s)

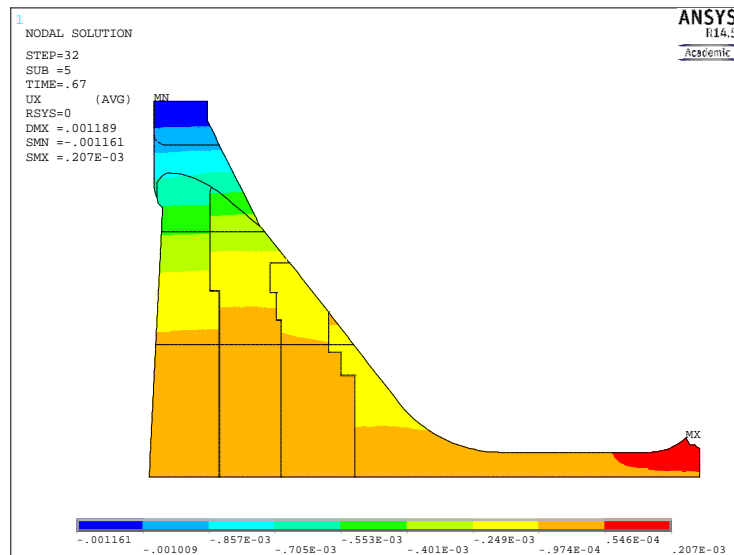


Figure 5. Dam's horizontal displacement distribution at blasting time 0.67 s (unit: m)
图 5. 爆破时程 0.67 s 时坝体水平位移分布图(单位: m)

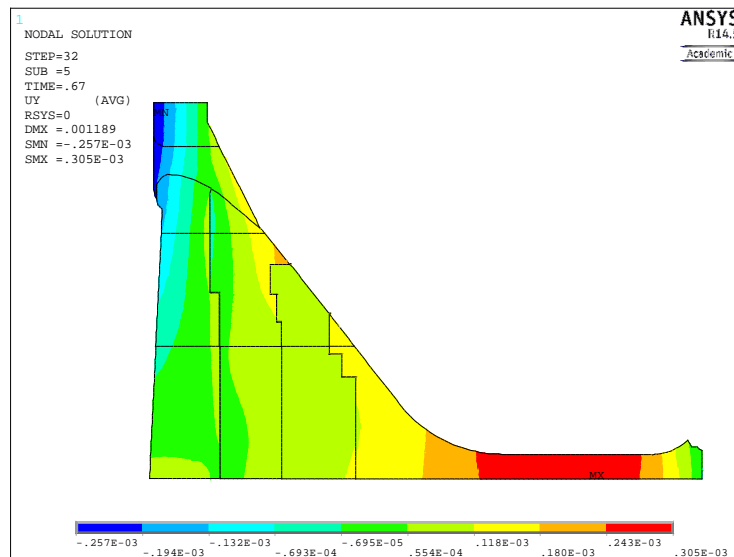


Figure 6. Dam's vertical displacement distribution at blasting time 0.67 s (unit: m)
图 6. 爆破时程 0.67 s 时坝体垂直位移分布图(单位: m)

4.2.3. 应力分析

图 7、图 8 分别给出了最大水平振速时(0.67 s 时)老坝#17 坝段坝体第一主应力和第三主应力分布。由图可知, 坝体第一主应力均为拉应力, 最大为 0.31 MPa, 出现于 AB 缝最上部; 坝体第三主应力亦均为压应力, 最大为 0.18 MPa, 出现于 AB 缝最上部和鼻坎底部。总体来讲, 新坝基础开挖爆破对老坝坝体应力的影响不大。

4.2.4. 统计分析

将老坝各典型坝段典型部位的数值计算结果汇总于表 2、表 3。

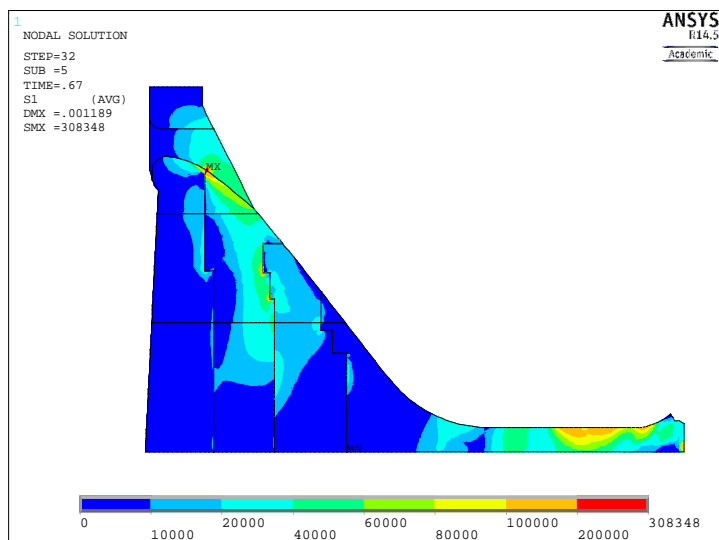


Figure 7. Dam's first principal stress distribution at blasting time 0.67 s (unit: m)

图 7. 爆破时程 0.67 s 时坝体第一主应力分布图(单位: Pa)

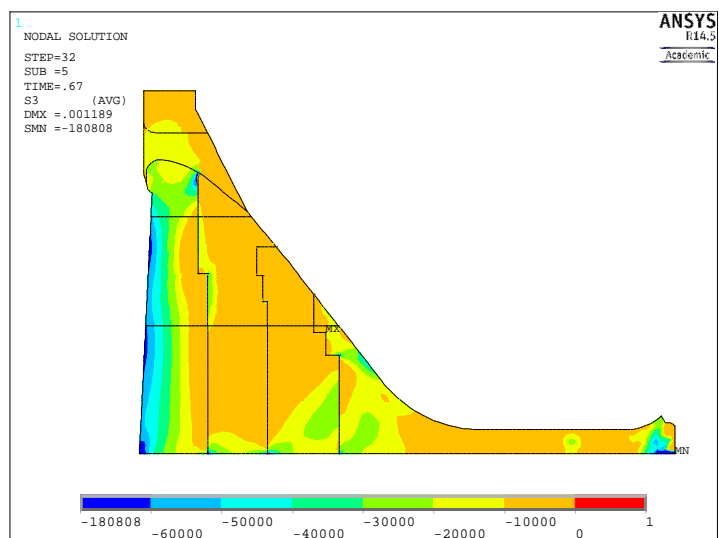


Figure 8. Dam's third principal stress distribution at blasting time 0.67 s (unit: m)

图 8. 爆破时程 0.67 s 时坝体第三主应力分布图(单位: Pa)

Table 2. Summary of old dam's maximum vibration caused by new dam foundation's excavation blasting (cm/s)

表 2. 新坝基础开挖爆破老坝坝体振速最大值汇总(cm/s)

部位	坝段	溢流坝段	厂房坝段	挡水坝段	断层坝段	控制标准
坝顶		3.06	1.58	1.55	1.59	6.0
坝踵		0.80	0.33	0.33	0.34	3.0
坝趾		1.48	2.80	2.80	2.80	3.0
帷幕		0.84	0.41	0.39	0.37	1.5
纵缝		2.91	2.45	1.66	2.02	3.0

Table 3. Summary of old dam longitudinal seams' maximum effects caused by new dam foundation's excavation blasting
表 3. 新坝基础开挖爆破老坝纵缝效应量最大值汇总

效应量	坝段	溢流坝段	厂房坝段	挡水坝段	断层坝段
	振速(cm/s)	水平	2.66	2.45	1.66
	垂直	2.91	1.47	1.27	1.32
变形(mm)	开度	0.30	0.15	0.08	0.09
	错动	0.19	0.07	0.05	0.15
应力(MPa)	拉应力	0.31	0.85	0.24	0.23
	压应力	0.18	0.33	0.23	0.25

统计分析可知, 新坝基础开挖爆破时, 老坝各典型坝段:

1) 坝体关键部位的振速最大值在 0.33 cm/s~3.06 cm/s 之间, 坝顶、坝址及纵缝部位相对较大, 最大振速(3.06 cm/s)出现于溢流坝段的坝顶。

2) 坝体纵缝水平振速最大值在 1.66 cm/s~2.66 cm/s 之间, 最大振速(2.66 cm/s)出现于溢流坝段; 垂直振速最大值在 1.27 cm/s~2.91 cm/s 之间, 最大振速(2.91 cm/s)亦出现于溢流坝段; 水平与垂直振速最大值比较接近。

3) 坝体纵缝开度最大值在 0.08 mm~0.30 mm 之间, 最大开度(0.30 mm)出现于溢流坝段; 错动变形最大值在 0.05 mm~0.19 mm 之间, 最大错动(0.19 mm)亦出现于溢流坝段。

4) 坝体纵缝拉应力最大值在 0.23 MPa~0.31 MPa 之间, 最大拉应力(0.31 MPa)出现于溢流坝段; 压应力最大值在 0.18 MPa~0.33 MPa 之间, 最大压应力(0.33 MPa)出现于厂房坝段; 拉应力与压应力最大值比较接近。

5. 结论

本文采用显示动力有限元法, 计算模拟了新坝基础开挖爆破对老坝安全的影响, 统计分析可知:

1) 坝体关键部位的振速均低于安全控制标准, 拟定的新坝基础开挖爆破最大单响药量能够满足工程爆破安全要求。

2) 坝体最大变形多出现于坝顶和坝址, 总体来讲, 坝体变形均较小, 属于对爆破的正常响应。

3) 坝体第一主应力均为拉应力, 第三主应力均为压应力, 坝体应力总体不大, 能满足规范要求。

4) 坝体纵缝的振速、变形及应力均不大, 均属于对爆破的正常响应; 老坝坝体纵缝安全允许振速取为 3.0 cm/s 是合适的。

参考文献

- [1] 赵跃堂, 方长海, 田绪坤. 大跨度深埋洞室动力响应分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29(s1): 3301-3307.
- [2] 许名标, 彭德红. 边坡爆破振动测试及响应规律 ANSYS 时程分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2012, 31(s1): 2629-2635.
- [3] 唐海, 李海波, 蒋鹏灿, 等. 地形地貌对爆破振动波传播的影响实验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(9): 1817-1827.
- [4] GB 6722-2014, 爆破安全规程[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- [5] 王明洋, 王立云, 戚承志, 等. 爆炸荷载作用下岩石的变形与破坏研究(II) [J]. 防灾减灾工程学报, 2003(3): 9-20.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2326-3458，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：hjce@hanspub.org