

# 近区爆破对土石坝安全影响分析

杨伟俊

(浙江省水利水电勘测设计院, 浙江 杭州 310002)

**摘要:** 邻近坝区爆破开挖诱发的爆破振动对土石坝安全有不利影响, 确定可靠的影响分析方法、拟定合理的爆破控制措施对保证土石坝安全具有重要作用。结合工程实例, 通过建立有限元模型、施加爆破振动荷载, 从坝体应力和坝坡稳定等方面分析确定合理的爆破安全质点振动速度限值; 根据爆破试验监测数据和有关规程规范, 提出爆破分区控制措施以及爆破施工过程中需根据监测成果同步调整爆破安全控制标准、及时修正爆破施工参数的方法。提出的分析方法和控制措施可为近区爆破对土石坝安全影响和拟定爆破分区控制措施提供参考。

**关键词:** 土石坝; 安全; 爆破; 爆破振动; 影响分析; 控制措施

中图分类号: TV641

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2012)03—0178—04

## Impact Analysis of Blasting Nearby on Safety of Earth-rock Dam

YANG Wei-jun

(Zhejiang Investigation and Design Institute of Water Conservancy and Hydropower, Hangzhou, Zhejiang 310002, China)

**Abstract:** The vibration induced by the blasting near dam site can cause some adverse effects on earth-rock dam, so determining the reliable analysis method and reasonable control measures is important to ensure the safety of earth-rock dam. Combining with practical projects, the reasonable particle vibration velocity is determined through the analysis of stress and slope stability by establishing finite element model. The partition control measures of blasting are presented according to the monitoring data of blasting tests and relative specifications. Then the safety control standards and construction parameters should be adjusted according to the monitoring data in construction process. The analysis method and control measures proposed here may be a reference for the safety analysis of blasting on earth-rock dams and determining the partition control measures.

**Keywords:** earth-rock dam; safety; blasting; blasting vibration; impact analysis; control measures

邻近坝区工程爆破开挖诱发的爆破振动对土石坝的安全影响比较复杂, 与地形地质条件、建筑物结构型式、物理力学参数、爆破方法等多种因素有关, 目前普遍采用质点峰值振动速度这一经验判据对爆破振动进行控制。但土石坝对爆破振动的反应受自身性状、传播介质、振动频率等多种因素影响, 爆破振动对坝体各部位影响也不尽相同, 仅采用经验性的单一判据难以准确评价爆破振动对坝体结构的影响。因此需在工程经验的基础上结合理论分析确定合理的安全允许标准, 以确保坝体安全。

本文结合工程实例, 探讨近区爆破对土石坝安全影响的分析方法, 提出爆破控制措施, 以供探讨。

## 1 影响分析

### 1.1 爆破振动安全控制标准确定

我国现行规范《爆破安全规程》<sup>[1]</sup>采用质点峰值振动速度作为爆破振动安全控制标准, 但对土石坝振动安全允许标准并没有明确规定。且土石坝坝体结构相对复杂, 采用单一的控制标准难以准确反映爆破振动对坝体结构的影响。因此应结合规范推荐的振动安全控制标准范围, 根据坝体自身安全要求, 分析确定合理的爆破振动控制标准。而对土石坝而言, 满足坝体应力和坝坡稳定要求是关系大坝安全的最主要因素。

爆破振动对坝体应力影响主要集中反映在混凝

土防渗墙和坝基帷幕上,《爆破安全规程》中未明确规定防渗墙和帷幕的爆破振动安全允许振速,因此需在参考类似工程经验的基础上结合理论分析确定合理的安全允许标准。爆破振动对大坝坝体应力的影响可采用有限元法进行分析,通过建立大坝计算模型、施加爆破振动荷载,可以描述在各种不同爆破振动条件下大坝内部结构应力的变化规律。

爆破振动对坝坡稳定的影响主要表现在爆破振动荷载作用下,土体中孔隙水压力升高,导致有效应力降低、土的强度被削弱,可能造成坝体开裂和坝坡失稳。爆破振动对坝坡稳定影响同样可采用有限元法分析,采用相当地震工况模拟,即用不同水平向地震加速度来反映振动大小,得出爆破振动对坝坡稳定的影响。

通过考虑爆破振动荷载作用下的坝体应力和坝坡稳定等计算,确定满足坝体应力和稳定要求的爆破振动安全控制标准。

### 1.2 爆破振动安全控制措施拟定

要满足爆破振动安全控制标准要求,需对爆破有关参数如最大段装药量、爆破方法和次序等进行控制。爆破最大段装药量可根据下列公式计算:

$$W = \left[ \left( \frac{V}{K} \right)^{1/\alpha} \times D \right]^3 \quad (1)$$

式中:  $W$  为爆破装药量,齐发时取总药量,分段爆破时取最大一段药量(kg);  $V$  为质点振动速度(cm/s);  $K$  为当地参数,与场地地质条件、岩体特性及爆破条件有关的常数;  $\alpha$  为衰减系数;  $D$  为爆破区到防护目标的距离(m)。

要确定合理的爆破装药量,除按 1.1 节计算分析确定合理的质点振动速度限值外,还要确定参数  $K$ 、 $\alpha$ 。《爆破安全规程》(GB6722-2003)给出了  $K$ 、 $\alpha$  的参考值,但其取值受地形、地质条件影响大,有条件时应在现场进行爆破试验并监测<sup>[2]</sup>,根据实测数据推求适用爆破现场条件的  $K$ 、 $\alpha$  值,一般利用最小二乘法进行回归分析确定。而进行二元非线性回归可得到更小的残差平方和,具备更好的相关性,因此推荐采用二元非线性回归推求<sup>[3]</sup>。

由于不同爆破区域距坝区建筑物距离远近不一,对爆破控制措施的要求也不相同。可分别在满足各建筑物质点振动速度限值的前提条件下,按爆破点和防护建筑物间的距离推求爆破点最大段装药量,据此划分不同爆破控制区域。此外实际爆破施工过程中,还要根据爆破时同步监测的情况,及时对施工方案进行调整,以满足坝区质点振动速度限值

的要求,保证爆破振动控制安全可靠。

### 1.3 爆破振动其他影响分析

爆破振动影响类似于地震波,对土石坝而言,如坝体填筑土或坝基土层细沙含量较高,还可能存在振动液化的问题。土体振动液化可根据有关规范<sup>[4]</sup>进行初判和复判,初判存在振动液化可能的,需根据爆破振动质点加速度进行复判。

## 2 工程实例

某水库主要建筑物有主坝、副坝、溢洪道、放水隧洞等,主坝为混凝土心墙土石坝,副坝为粘土心墙土石坝,最大坝高 19 m。主、副坝体上游坝壳为含砾粘质砂土,下游坝壳为粘土质砾砂,中间为粘土心墙。主坝坝体设 C15 混凝土防渗墙、副坝坝体设水泥高喷防渗墙和充填灌浆,主副坝坝基设帷幕灌浆。主、副坝之间连接山体为一小山包,连接坝肩设帷幕灌浆封闭。

坝址区现需要新建道路,穿过主副坝连接山体。该路段为双壁路堑开挖工程,底宽 60 m,长度 240 m,最大开挖高度 64 m,采用爆破施工。路堑上开口爆破区距离坝区最近水平距离仅为 80 m,施工可能对水库大坝安全带来不利影响。

道路施工时,在主副坝坝基和连接坝肩上布置爆破振动测点,同步进行观测。观测内容主要包括测点最大垂直振速和水平振速、爆区位置及距观测点距离、总装药量、孔深、最大段装药量、炸药单耗、爆破总方量等。

爆破振动对坝区建筑物影响比较复杂,与地形地质条件、建筑物结构型式、建筑材料、物理力学参数、爆破方法等多种因素有关。对土石坝而言,爆破振动对大坝安全的影响主要反映在坝体应力和坝坡稳定上。

### 2.1 爆破振动对大坝坝体应力的影响分析

爆破振动对坝体应力影响主要集中反映在混凝土防渗墙和坝基帷幕上,而《爆破安全规程》中并未明确规定防渗墙和帷幕的爆破振动安全允许标准,且坝体为整体结构,应综合评价爆破振动对坝体结构的影响。因此选取含有防渗墙、帷幕灌浆的主坝断面作为计算模型,采用有限元软件动态计算坝体各部位应力情况,在模型各节点施加水平向振动曲线来模拟爆破振动荷载<sup>[5]</sup>。振动曲线为考虑阻尼比的衰减曲线,振动速度峰值取 0.6 cm/s、1.2 cm/s 和 1.8 cm/s 三种情况。根据实测资料,主振频率取 35 Hz、持续时间 800 ms。坝体应力计算结果详见图 1~图 3。

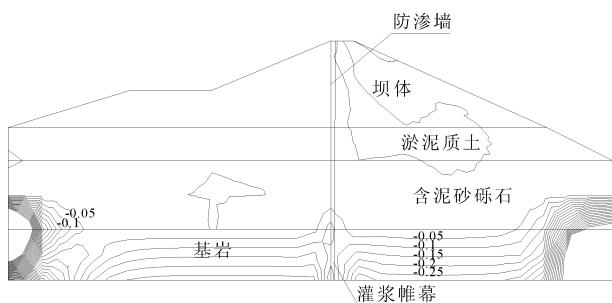


图 1 质点振动速度峰值 0.6 cm/s 时最小有效应力图 (MPa)

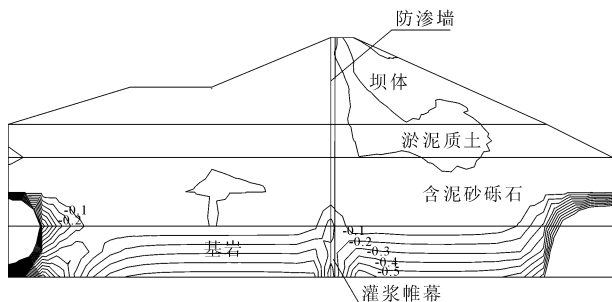


图 2 质点振动速度峰值 1.2 cm/s 时最小有效应力图 (MPa)

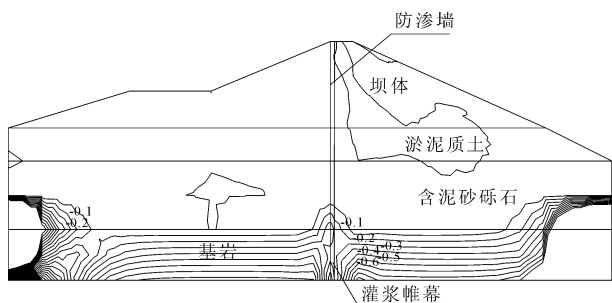


图 3 质点振动速度峰值 1.8 cm/s 时最小有效应力图 (MPa)

在振动速度峰值取 0.6 cm/s 时,帷幕内最大拉应力为 0.10 MPa,防渗墙内出现最大拉应力为 0.05 MPa;振动速度峰值取 1.2 cm/s 时,帷幕内最大拉应力为 0.20 MPa,防渗墙内出现最大拉应力为 0.10 MPa,均未超过允许拉应力。当振动速度峰值加大到 1.8 cm/s 时,帷幕内受拉区范围和拉应力数值增大较多,帷幕内最大拉应力为 0.35 MPa,防渗墙内出现最大拉应力为 0.30 MPa,超过或接近允许拉应力。因此振动速度峰值应控制在 1.2 cm/s 左右,以防止帷幕和防渗墙拉裂。

## 2.2 爆破振动对大坝坝坡稳定的影响分析

副坝为粘土心墙坝,坝体内防渗系统较薄弱,选取副坝为代表进行爆破振动影响下的下游坝坡稳定分析。因爆破次数多,为经常性工况,因此坝坡稳定安全系数按正常运用工况取为 1.25,相应库水位为正常蓄水位。

选取振动速度峰值 0.6 cm/s、1.2 cm/s 和 1.8

cm/s 三种情况,主振频率取 35 Hz,根据爆破振动和天然地震对应关系经验数据,取对应的振动加速度分别为  $0.06 \text{ m/s}^2$ 、 $0.09 \text{ m/s}^2$  和  $0.15 \text{ m/s}^2$ ,坝坡稳定计算成果见图 4。

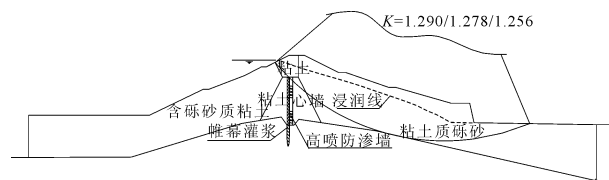


图 4 下游坝坡抗滑稳定计算成果示意图  
(质点振动速度峰值 0.6 cm/s, 1.2 cm/s, 1.8 cm/s)

振动速度峰值 0.6 cm/s、1.2 cm/s 和 1.8 cm/s 三种情况下,副坝下游坝坡稳定安全系数分别为 1.290、1.278 和 1.256,均能满足规范要求,说明爆破振动对坝坡安全影响有限,当控制在一定范围内时能保证坝坡稳定安全。

## 2.3 爆破振动控制指标

### 2.3.1 质点振动速度控制标准确定

参照类似工程经验以及有关规程<sup>[6-8]</sup>,同时参照坝体应力和坝坡稳定计算成果,各建筑物的允许质点振动速度取值如下:主坝坝体和防渗墙  $V < 1.2 \text{ cm/s}$ ,副坝坝体及防渗帷幕  $V < 1.0 \text{ cm/s}$ ,主、副坝坝肩连接防渗帷幕  $V < 1.2 \text{ cm/s}$ 。

### 2.3.2 爆破振动参数确定

质点振动速度和当地参数、振动衰减系数、爆破装药量和爆破区到防护目标的距离等有关,计算公式为:

$$V = K \left[ \frac{W}{D} \right]^{\alpha} \quad (2)$$

质点振动速度  $V$ 、当地参数  $K$  和测点距爆破区的距离  $D$  可通过爆破振动监测测得,利用多次监测获得的数据,可推求当地参数  $K$  和振动衰减系数  $\alpha$ 。采用二元非线性回归推求爆破振动参数,计算得  $K = 180$ 、 $\alpha = 1.69$ ,相关系数  $R^2 = 0.659$ ,具备较好的相关性。

### 2.3.3 爆破振动控制标准确定

在上述确定允许质点振动速度和爆破振动参数的基础上,推求最大段装药量  $W$ 。不同爆破区域距主坝、副坝及坝肩帷幕距离远近不一,相应最大段装药量也不一致,需要满足所有建筑物爆破安全要求,分区域确定路堑开挖区的允许用药量。除位于水库保护范围内施工区域为禁止爆破区,其他爆破区域分为 4 个区,其控制爆破最大段装药量分别按不超过 100 kg、180 kg、250 kg 和 300 kg 控制。具体布置见图 5。

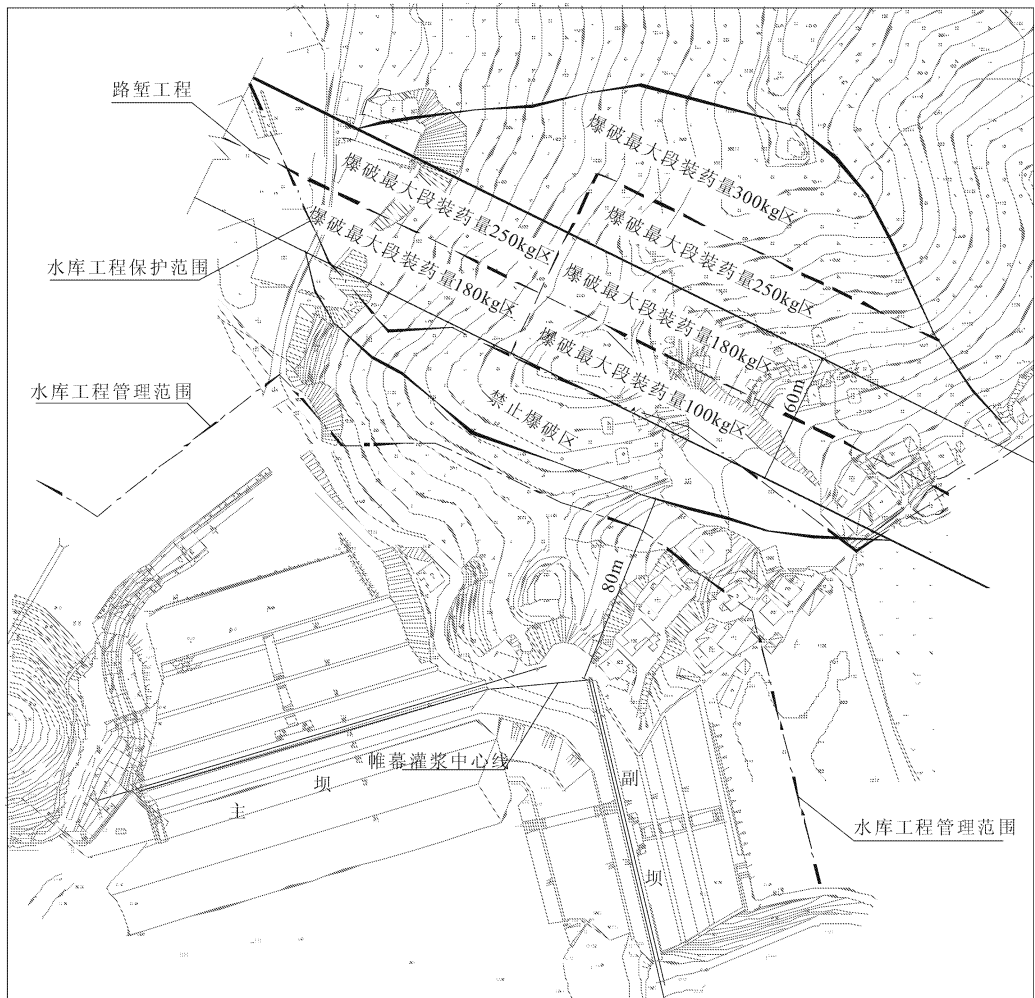


图5 工程爆破控制分区图

### 3 结 语

(1) 近区爆破振动是影响大坝安全的有害效应,其与自然地震有相似的特点,对大坝安全的影响可以参照地震作用进行分析。

(2) 对已建的土石坝工程,爆破振动对大坝安全的影响主要反映在坝体应力和坝坡稳定上,其中对坝体应力影响主要集中反映在混凝土防渗墙和坝基帷幕上。通过建立有限元计算模型,施加水平向振动速度曲线模拟爆破振动荷载,试算推求能保证大坝安全的爆破振动强度,即允许质点振动速度。再根据由现场爆破试验测得的有关爆破参数,拟定合理的爆破控制分区方案。

(3) 因爆破振动效应成因复杂,在爆破施工过程中,应根据爆破振动同步监测情况对爆破控制方案及时进行调整。另外还要加强大坝变形、渗漏等观测,验证方案的合理性,确保大坝安全。

#### 参考文献:

[1] 国家质量监督检验检疫总局. GB6722 - 2003. 爆破安全

规程[S].北京:中国标准出版社,2003.

- [2] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. DL/T5333 - 2005. 水电水利工程爆破安全监测规程[S].北京:中国电力出版社,2006.
- [3] 吕涛,石永强,黄诚,等.非线性回归法求解爆破振动速度衰减公式参数[J].岩土力学,2007,28(9):1871-1878.
- [4] 中华人民共和国国家质量监督局,建设部. GB50487 - 2008. 水利水电工程地质勘察规范[S].北京:中国计划出版社,2009.
- [5] 张艳锋.深覆盖层上堆石坝地震响应分析[J].水利与建筑工程学报,2008,6(3):37-38,50.
- [6] 中华人民共和国国家经济贸易委员会. DL/T5135 - 2001. 水电水利工程爆破施工技术规范[S].天津:天津大学出版社,2002.
- [7] 刘立新,刘晓军,黄宁.三峡三期上游围堰拆除爆破大坝振动安全监测[J].人民长江,2007,38(11):139-140,156.
- [8] 许红涛,卢文波,蔡联鸣.邻近爆破对坝基灌浆帷幕的影响机理研究[J].岩石力学与工程学报,2004,23(8):1325-1329.