三峡三期上游围堰拆除爆破大坝振动安全监测

2008-9-10　来源:《人民长江》2007年第11期

表 1 大坝振动安全标准

序号	保护对象	允许质点振动速度/（cm・s-1）
1	大坝坝顶及拦污栅柱	10
2	帷幕灌浆区	2.5
3	24-26 号坝段锚索区	2.5

表 2 大坝实测峰值质点振动速度成果　cm/s

部位	右岸坝段	24-26 坝段锚索区	右厂 15 至右厂排拦污栅柱	左岸坝段及纵向坝段
基础廊道	1.79	0.94		2.07
大坝 72-152	2.19			5.11
排水廊道				
坝顶 185m	5.96		6.68	8.55

摘要: 三峡三期上游碾压混凝土围堰于2006年6月6日进行了爆破拆除，为了全面监测大坝在拆除爆破中的安全状况，根据拆除爆破安全监测的要求布置振动安全监测断面和测点，并对测试成果进行了分析。较全面地介绍了长江三峡水利枢纽三期上游碾压混凝土围堰拆除爆破时，大坝振动安全监测测点布置及测试方法，详细分析了各部位质点振动速度测试成果，对比分析了左右岸的深孔爆破和倾倒药室爆破波形特征。

关 键 词: 拆除爆破;振动安全监测;质点振动速度;安全;上游围堰;三峡工程

中图分类号: TV542　文献标识码: A

1 概述

根据三峡工程施工计划安排，三峡三期上游碾压混凝土围堰于2006年6月6日进行了爆破拆除。

三期上游碾压混凝土围堰为重力式结构形式，堰顶高程140m，堰顶轴线长580m。三期碾压混凝土围堰拆除范围:右岸坡段（5号堰块）、河床段（6～15号堰块）和左连接段等。围堰拆除长度480m，拆除高程140～110m，拆除高度30m，总拆除工程量为18.63万 m3 。

总拆除方案为“倾倒爆破+深孔爆破”，对河床段（6～15号堰块）采用爆破倾倒法拆除，对右岸坡段5号堰块、左接头段及上纵堰内段部分采用深孔爆破法拆除，对6号堰块采用倾倒加深孔爆破法拆除。深孔爆破参数:最大孔深46m，最大单段药量475kg。倾倒爆破参数:每断面3个药室，装药量分别为50、690kg 和 160kg，倾倒爆破最大单段药量690kg。采用数码雷管电脑分区组网，形成总体上从左向右孔间微差爆破网络，一次

起爆，总药量186.882t。

本文主要介绍大坝振动安全监测的振动特性。

2 测点布置

为了较全面监测大坝在拆除爆破中的安全状况，根据拆除爆破安全监测体系的要求布置振动安全监测断面和测点:在距岸坡堰段较近的右厂24坝段布置了测试断面; 在距倾倒药室爆区最近的右厂17、19坝段及右安III坝段布置了测试断面;通过纵向围堰与爆区相连且与深孔爆破区最近的纵向坝段布置了测试断面;泄洪坝段中距爆区最近的泄23坝段及河床最深的泄2坝段布置了监测断面;在基础岩石存在地质缺陷的左厂3坝段布置了测试断面;在右厂坝段基础锚索区及右厂15至右厂排坝段拦污栅柱布置了监测区。每个监测断面在高程49m 基础灌浆廊道、72、94、130、152m 坝面排水廊道（不同坝段高程略有不同）及高程185m 坝顶分别布置振动测点，每测点设置2～3个测向，即竖立向、顺水流水平测向与垂直水流水平测向。

3 测试方法及仪器参数设置

监测采用电测法测量爆破最大质点振动速度。测试仪器采用专业自动记录仪配速度传感器。根据拆除爆破特点、测点部位和距离合理设置仪器参数，仪器量程按预估最大值的2倍设置，一般设为2～5V，仪器触发电平相应设为量程的3%～1%，以增大仪器系统的动态测试范围。一般深孔爆破和药室爆破频率5～60Hz，故选用采样率1K 即可满足要求，为了获得较完整的振动时程曲线，保证测到爆破及块体落入河床底部的全过程，设置采样时间设为30s 左右。速度传感器频带范围 4.5～500Hz。

为了客观地分析爆破振动的破坏影响，在每个振动速度观测点附近均布置一个宏观调查区，进行爆破前后宏观调查，以综合分析爆破振动破坏影响。

4 测试成果分析

根据试验、类似工程经验及《爆破安全规程》的规定，设计提出了主要建筑物安全控制标准，大坝振动安全标准见表1。

大坝各部位测点实测质点振动速度见表2。

4.1 右厂坝段

右厂坝段距爆区最近，坝底帷幕灌浆部位的振动控制要求最为严格，故右岸坝段是本次监测的重点。

4.1.1 振动峰值分析

（1）右厂坝段基础帷幕灌浆实测最大振速为1.79cm/s，右厂24～26坝段锚索区实测峰值速度为0.25～0.94cm/s，均没有超过2.5cm/s 的安全控制标准。高程66～152m 坝面排水廊道实测最大振速为2.19cm/s，右岸坝段实测最大振速出现在右厂24坝段坝顶(高程185m)，峰值振速为5.96cm/s，振动峰值均在设计安全标准以内。右厂坝段主振相频率为2.7～83Hz。

右岸大坝随高程从下至上质点振动速度总的趋势是增大的，即随着高程的逐渐上升振动速度有放大的趋势，最大放大倍数约5.78倍。由于大坝坝高达140～180m，高宽比约为1.75～2.25，近似高耸结构，在加载能量足够大时，结构发生了自下而上的振动放大效应。

（2）右厂排至右厂15坝段拦污栅柱6个测点中有4个测点峰值速度达到6cm/s 以上（其中有1测点测值异常予以排除），最大速度为6.68cm/s，没有超过安全控制标准。测试成果表明:拦污栅柱梁的振动效应较大，这种网格结构在爆破作用下的振动速度较相同部位大体积混凝土坝顶的振动速度大。

4.1.2 振动波形时程特征分析

围堰左连接段深孔爆破起爆后，波幅很快达到深孔爆破的最大值，以后逐渐衰减，到2500～3000ms 基本衰减完毕;此时倾倒药室爆破起爆，波幅升至高位，并持续至9200ms，最大峰值出现在此阶段，随后右岸坡段（6号和5号堰块）深孔爆破起爆，波幅维持在较小幅值状态，持续至13000ms，在 16000～20000ms 部分测点出现倾倒块体坠落触地振动波形，触地振动最大值出现在17500～18000ms，波幅较小，峰值快速衰减。

4.1.3 峰值振动历程及特征分析

（1）右厂坝段测试数据中，倾倒药室爆破振动大于深孔爆破，后者仅约为前者的55%～65%，从爆破形式、装药结构、爆破距离、相对位置及传爆途径多方面分析，该监测段倾倒药室爆破振动大于深孔爆破符合爆破振动传播理论的一般规律，真实反映了客观实际。

（2）在右岸坝段的实测数据中有约58%测到了块体坠落触地的振动波形。触地时间基本集中在17.5～18s 之间，表明块体自药室爆破至坠落触地时间约 14～15s;触地振动速度随距离增大而减小，产生最大触地振动速度的部位是右厂15坝段拦污栅柱梁中部，振动速度小于最大峰值速度的1/10，触地最大振动速度为0.84cm/s，大部分振动速度在0.3cm/s 以下，频率为5.8～63Hz，可见，坠落块体触地作用不是本次爆破振动控制性影响因素。

（3）出现最大峰值速度的时刻，对应着距离最近的堰段。例如，右厂19坝段、17坝段及右安III坝段的测点最大峰值大多出现在6000～7000ms 时段，该时段对应的爆破部位为11～9号堰块（倾倒药室爆破段），即距监测断面最近的爆破区产生的振动量最大。这表明距离是决定振动速度大小的最重要的、最敏感的因素，而单段起爆药量对振动速度大小的影响作用为其次。

（4）深孔爆破振动幅值小于药室爆破，深孔爆破振动频率低于药室爆破振动频率，其主要原因可能是:深孔爆破至监测断面的相对距离较远，且地震波传播路径较复杂，并非直接通过基岩直接传至测点，故不仅爆破振速衰减较快，同时高频项也易被衰减，使振动以低频成分为主。

（5）深孔爆破自身振动峰值衰减很快，但在约2000～3000ms 仍出现结构低频振动响应，但振动幅值较小，振动持续至药室爆破起爆，虽有叠加，但这种叠加对峰值的增加影响不大。

（6）药室爆破之后基本没有引起结构低频振动响应，振动波形在结构阻尼作用下迅速衰减为零。

4.2 左岸坝段

4.2.1 振动峰值分析

（1）左岸坝段测得最大质点振动速度为8.55cm/s，产生在泄23坝段坝顶高程185m，频率5.6Hz，基础廊道测得最大振动速度为2.07cm/s，振动速度均未超过安全标准。从波形曲线上看震源为深孔爆破，虽然药室爆破最大单段药量比深孔爆破大近1.5倍，但因泄23坝段在纵向坝段的左侧，深孔爆破区距离较倾倒药室爆破区近60m，所以深孔爆破振动效应较大。其他部位振速均较小，在安全标准以内。

（2）纵向围堰监测断面有几个测点未测到数据，实测最大振动速度为5.09cm/s，在高程116m 上游排水廊道位置，该部位在拆除爆破高程110～140m 范围之内，距离最近，振动波传播直接，故振速较大，符合振动波传播规律。

（3）泄2坝段和左厂3坝段测得最大振速1.26cm/s，其他部位振速较小，宏观调查未发现新生裂缝及变形，表明大坝最大坝高部位及坝底存在地质缺陷部位受到爆破振动

影响甚微。

4.2.2 振动波形特征

左岸坝段与右岸坝段波形特点及峰值特性不同主要表现在:左连接段深孔爆破起爆后，波幅很快达到最大值，且为整个爆破的最大值。以后的波形趋势与右岸大致相同。

4.2.3 峰值振动历程及特征分析

（1）绝大部分深孔爆破振动速度大于药室爆破，且深孔爆破振动频率低于药室爆破振动频率，表面看与一般爆破振动规律不同，其原因是:①深孔爆破区至左岸监测断面距离较药室爆破近约60m;②由于深孔爆破区左连接段通过纵向围堰直接与大坝相连，缩短了传播路线，而药室爆破振动波需要绕行，传播途径复杂;③深孔爆破时间在整个爆破的开始阶段，初始爆破易形成最大峰值;④深孔爆破区有10段预裂爆破，爆破时间372～1367ms，由于预裂爆破夹制作用大，爆破振动效应强烈，是产生较大振动速度的重要因素。

（2）深孔爆破振动后半段引起结构低频振动响应，振动持续至3000ms 时尚未衰减为零;药室爆破及右岸坡5、6号堰块深孔爆破未引起结构低频振动响应。

（3）振动波形总持续时间较右岸的短，大部分小于12000ms。

（4）部分测点可见倾倒块体坠落触地振动波形，触地振动波形较小，波幅约为倾倒药室爆破振动波幅的1/10～1/20。

5 结论

通过对大坝振动安全监测数据资料的整理分析，得出如下结论:

（1）三峡大坝实测振动速度没有超过振动安全控制标准，测点附近宏观调查区爆后宏观调查没有发现新生爆破裂隙（缝）或原有裂缝张开和位移的现象，表明围堰拆除爆破对大坝建筑物影响甚微，周围建（构）筑物均处于安全状态，大坝挡水正常运行。

（2）大坝振动安全监测成果表明：三期上游碾压混凝土围堰拆除爆破对大坝筑物振动效应得到了有效控制。

（3）爆破振动及块体触地振动频率大于10Hz 的83%以上，远离大坝的卓越频率，因而不会引起大坝建筑物的共振破坏。实测爆破振动主频率最低值为2.7Hz，因时间短，能量有限，振动速度仅为1.3cm/s，不会造成建筑物不利振动影响。

作者简介: 刘立新，男，长江水利委员会设计院施工处，高级工程师。