

doi:10.3963/j.issn.1001-487X.2020.02.017

钢结构锅炉框架爆破排险

李本伟¹,周祥磊¹,王琪²,陈德志¹,周应军¹,甄梦阳³,罗鹏¹,胡浩川¹,陈晨¹

(1. 中钢集团武汉安全环保研究有限公司,武汉 430081;2. 湖北省公安厅,武汉 430080;

3. 河海大学土木与交通工程学院,南京 210098)

摘要: 为爆破拆除某火力发电厂坍塌事故残体,通过向边长 50 cm 的空心立柱中填充混凝土实现空心钢结构立柱的钻孔爆破。通过在钻孔两侧切割引导缝削弱钢材对爆轰能量的抵抗能力,实现利用乳化炸药以 7.4 kg/m^3 至 8.89 kg/m^3 的单耗爆破拆除钢结构立柱的目的。通过预先填充混凝土补偿钻孔和引导缝造成的结构强度损失,保证了起爆前钢结构厂房的稳定和施工安全。通过钢丝网、防晒网、单层沙袋组成的防护体系有效的控制了爆破飞散物和爆破空气冲击波,进而实现了处理该安全隐患的工作目的。预注混凝土爆破拆除筒状钢结构工艺可以用以爆破拆除钢结构。

关键词: 钢结构框架;爆破拆除;空心钢结构立柱;填充混凝土;引导缝;乳化炸药

中图分类号: TU746.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-487X(2020)02-0097-06

Danger Removal by Blasting for Steel Structure Boiler Frame

LI Ben-wei¹, ZHOU Xiang-lei¹, WANG Qi², CHEN De-zhi¹, ZHOU Ying-jun¹,
ZHEN Meng-yang³, LUO Peng¹, HU Hao-chuan¹, CHEN Chen¹

(1. SINOSTEEL Wuhan Safety & Environmental Protect Research Institute Co., Ltd.,

Wuhan 430081, China; 2. Hubei Public Security Department, Wuhan 430080, China;

3. College of Civil and Transportation, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: In order to blasting and demolish the remains of a thermal power plant's collapse accident, drilling and blasting of hollow steel structure columns is achieved by filling concrete to hollow columns with side length 50 cm. By cutting guide joints on both sides of the borehole to weaken the resistance of steel to detonation energy, the purpose of using emulsified explosives to demolish steel structure columns with powder factor from 7.4 kg/m^3 to 8.89 kg/m^3 is realized. The stability and construction safety of the steel structural workshop before detonation is ensured by pre-filling concrete to compensate for the structural strength loss caused by drilling and cutting guide joint. Through the protective system of steel wire mesh, sunblock mesh and single layer sandbag, the blasting flying fragments and blasting air shock wave are effectively controlled, thereby achieving the work purpose of dealing with this hidden danger. The process of blasting steel tubular structures with prefilled concrete can be used for blasting demolition of steel structures.

Key words: steel frame; blasting demolition; hollow steel structure columns; filling concrete; guide joint; emulsion explosive

1 背景

广西合山电厂原4号锅炉框架在人工拆除过程中发生安全事故。角钢顶棚坍塌,顶板结构砸在4

收稿日期:2020-01-06

作者简介:李本伟(1981-),男,高级工程师、硕士,爆破工程及爆破技术研发,(E-mail)353334814@qq.com。

号炉钢结构框架,造成其结构损伤,上部横梁弯曲变形,大量角钢及预制板悬挂在4#锅炉框架顶部。最终决定采用爆破拆除作为排险手段。

2 工程概况

2.1 工程环境

待拆除4#机组建成于1978年。该建筑物周边环境十分复杂,见图1。东侧31m处为30MW机组

渣仓,东北侧40m处为30MW机组工业水回收池,东侧大片厂区为30MW机组,需受到严格保护;南侧15m处为汽机房,计划同时爆破拆除;西边距5#机组锅炉框架35m,计划后续拆除;西北方向34m处为废水化学水处理钢罐,41m处为30MW机组脱硫设施;北侧10m处为麻石砌筑的原4#机组除尘器,40m远处为露天油罐区(未储油)。

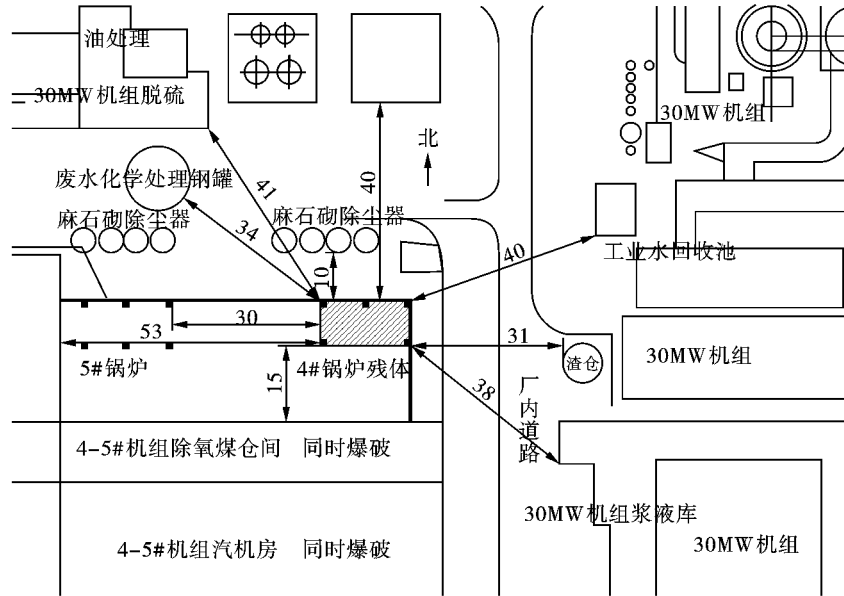


图1 周围环境示意图(单位:m)

Fig. 1 Diagram of surrounding environment(unit:m)

2.2 工程结构

4#机组锅炉由5根(原有6根,其中一根在事故应急中拆除)钢结构立柱支撑而成的钢结构框架,水平投影为6.9m×10.3m的矩形,如图2、图3所示。锅炉框架高42m,+14m及+20m处有铆接钢结构横梁,横梁成闭合矩形;42m处有2根东西走向铆接钢结构横梁,其中北侧横梁已严重变形,而大部分顶棚残体钩挂在南侧横梁上。由于事故原因造成北侧立柱上部弯曲。立柱由两个槽钢内扣外侧焊接钢板制成,为36cm×50cm矩形结构,槽钢及钢板厚为2cm。见图4。

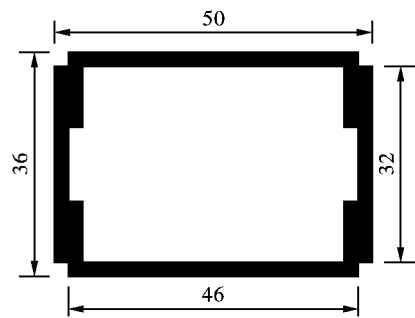


图3 钢结构立柱断面图(单位:cm)

Fig. 3 Sectional view of steel structure columns(unit:cm)

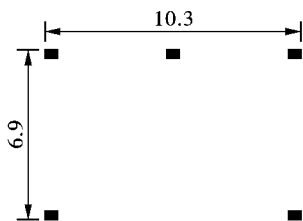


图2 钢结构0 m平面图(单位:m)

Fig. 2 0 m plan view of steel structure(unit:m)

3 总体方案

3.1 方案分析

对于钢结构构筑物一般采用人工拆除,人工-机械拆除或爆破切割拆除。

人工拆除或人工-机械拆除时会发现,4#炉残体为不规则钢结构,顶棚钢结构悬挂在炉体南侧的横梁上。同时,顶棚在坍塌过程中造成了炉体立柱和上部横梁弯曲变形。最致命的问题是:顶棚角钢悬

挂在锅炉框架残体上部,达到了静力平衡,对其进行分割拆除时极易破坏这种平衡。4#炉残体高度达到了 42 m,顶棚钢结构主要悬挂在 40 m 以上,4#炉残体四邻高大构筑物。采用爆破切割拆除手段时会发现,由于建设年代久远,钢立柱内部结构、材料指标特别是型材厚度不明;钢结构立柱断面为“日”字形,切割爆破无法处理内部横衬;4#炉残体西侧承担了顶棚角钢的荷载,不宜进行大面积的削弱处理。因此,传统常规的拆除手段已经无法满足本项目的要求。为此,设计在立柱内预先灌注混凝土,解决钢结构内径与壁厚的比值过小不宜破坏和钢管结构爆炸防护能力强的问题^[1-4]。同时混凝土填充也大大增强了立柱的抗压能力,解决了不宜预处理的问题^[5]。

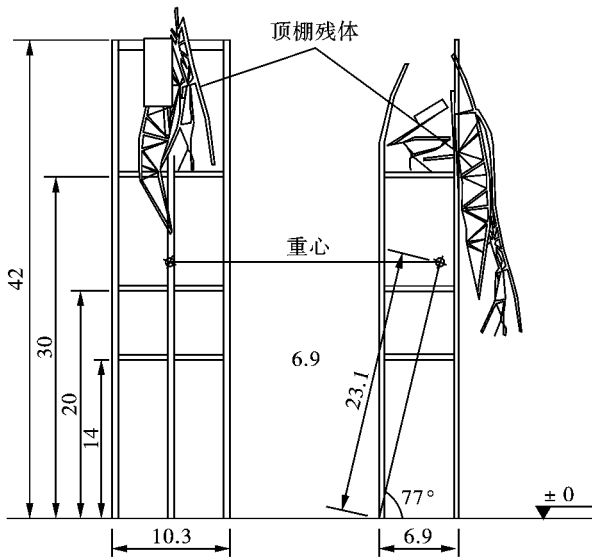


图 4 钢结构立面图(单位:m)

Fig. 4 Elevation view of steel structure(unit:m)

3.2 爆破总体方案

对全部四根立柱进行爆破,南侧两立柱为前排,北侧两立柱为后排,利用炸高差保证炉体向南定向倾倒的爆破方案。

4 技术参数

4.1 爆破炸高的确定

(1) 倾倒过程分析^[6,7]

大量钢筋混凝土框架结构爆破拆除显示,爆破过程一般分为 3 个阶段:

①爆破切口完全形成后,爆破体会在重力作用下下落直至后排支撑结构触地,这个过程中由于下落高度一般较低同时伴随了后排结构的破碎,整个爆破体结构一般不会受到较大破坏。

②随后爆破体在重力和后排支撑的共同作用下倾覆,爆破切口的上沿会首先触地,此时爆破切口闭合,这是爆破体的第二次触地。大多数框架结构会在此时出现梁柱的断裂,甚至整体破碎。

③随后爆破体继续向前倾覆直至迎地面完全触地,这是爆破体的第三次触地。此时爆破体所有重力势能全部释放,自身结构受到巨大的破坏,筒体结构多在此过程中发生破碎。

(2) 钢结构自身特性

钢结构框架立柱相比钢筋混凝土结构立柱具有强度大,截面积小的特点,而且大多是空心筒形结构,这导致其断面面积非常小。同时钢结构立柱的基础截面积也比较小。因此在倾倒过程的第一个阶段,很有可能在重力作用下插入泥土,导致有效炸高的减少。

钢结构的整体弹性远强于混凝土结构,倾倒过程的第二个阶段不会发生整体破碎,因此爆破体此时能否突破切口斜面的支撑完成第三个阶段就成为决定爆破成功与否的至关重要的因素。

(3) 炸高确定

4#炉残体为不规则结构,但从侧视图可见,大量的顶棚残体悬挂在炉体南侧顶部的横梁上,其重量必然造成整个结构的重心上提南移,这对炉体爆破后向南倾倒是有利的,因此通过几何法判断其重心偏移量来确定最小炸高是可行的。

(4) 炸高计算

令 α 为爆破体到达倾覆第二阶段时的角位移,如图 5 所示。则可根据几何关系给出等式

$$L = R \cdot \cos \beta \cdot \cos \alpha$$

式中: R 为重心旋转半径,m; β 第二阶段重心对地夹角; L 倾覆方向底面边长,m。

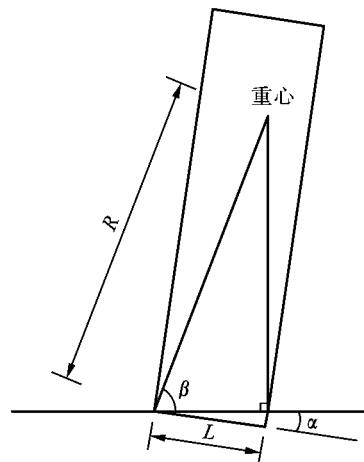


图 5 炸高计算

Fig. 5 Calculation of blasting height

根据施工需求,可选取最小近似整数解。式中 $R=23.1\text{ m}$, $L=6.9\text{ m}$, $\alpha+\beta=77^\circ$ 。进而可知最小理论爆破切口高度 $h_1\approx 0.5\text{ m}$ 。考虑到后排立柱有侧移插入土中的可能,实际切口高度取值为

$$H = h_1 + h_2 + h_3$$

式中: h_1 为最小理论爆破切口高度; h_2 为后排入土深度,取 1 m ; h_3 为炸高补偿(后排炸点、施工精度、渣堆等原因),取 1 m 。

可知爆破切口高度为 2.5 m 。

切口布置见图 6~图 8。

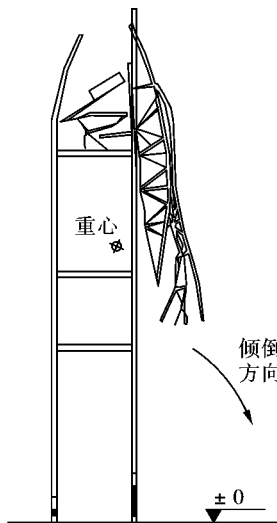


图 6 爆破切口位置

Fig. 6 Blasting notch position

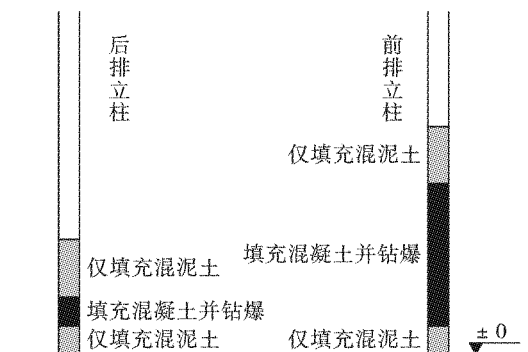


图 7 爆破切口布置

Fig. 7 Arrangement of blasting notch

4.2 孔网参数

前排立柱炸高为 2.5 m ,共打孔 10 排,其中下 5 排排距为 25 cm ,单耗为 8.89 kg/m^3 ;第 6 至第 10 排排距为 30 cm ,单耗为 7.4 kg/m^3 。后排立柱炸高为 0.5 m ,排距为 25 cm ,单耗为 7.4 kg/m^3 。根据爆破试验,孔距取 10.5 cm ,每排 3 个孔,中间孔孔深为 28 cm 装 200 g 药,两边孔孔深为 23 cm 装 100 g ,钻孔直径为 40 mm 。装药结构为连续装药,孔口用

黄泥堵塞^[5]。

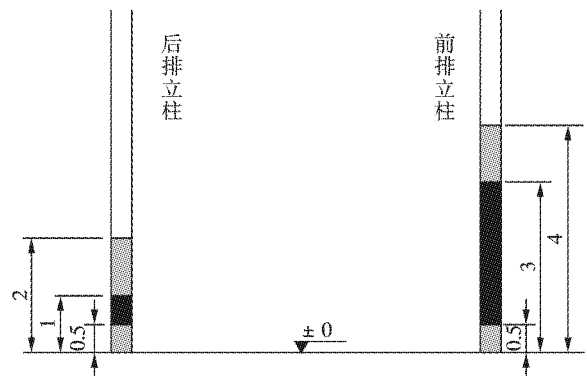


图 8 爆破切口尺寸(单位:m)

Fig. 8 Blasting notch size(unit:m)

采用孔内延时的非电起爆网路。孔内采用非电雷管,孔外采用“一把抓”的联接方式,每把 20 发用两发非电毫秒雷管传爆。前排立柱孔内装 MS7 段非电雷管,后排立柱孔内装 MS11 段非电雷管,孔外用 MS1 段非电雷管接力,最后抓成两把连入爆破主网路。

5 预处理

(1)在立柱内填充混凝土。并在设计炮孔处开直径为 42 mm 的圆孔。

(2)在下 5 排炮孔中交叉选择一个,在其两侧切割横向预切引导缝,在无钻孔的三个面切割纵向预切引导缝^[5,8]。

6 安全防护

与一般拆除爆破相比,本次爆破的单耗是比较大的,需重点控制爆破飞石。通过钢丝网、防晒网、单层沙袋组成的防护体系有效的控制了爆破飞散物和爆破空气冲击波^[5,7,9,10]。为方便施工,预先加工了防护模块。同时利用沙袋墙对下部 5 排孔进行加强防护。见图 9、图 10。



图 9 防护效果图

Fig. 9 Diagram of protective effect

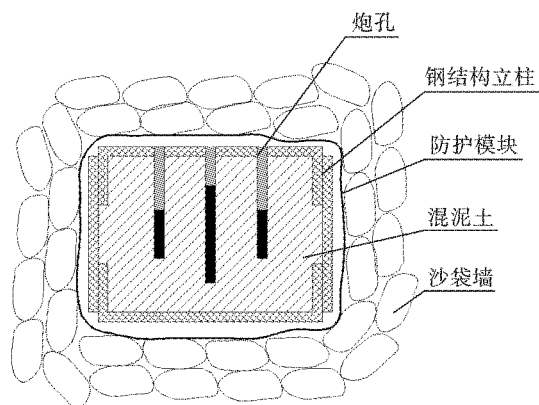


图 10 爆破防护平面示意图
Fig. 10 Plan view of blasting protection

7 爆破效果及结论

7.1 爆破效果

4#炉框架完全倒塌,如图 11 所示,后排立柱断口处有大量泥土残留,说明在完全倒地前曾插入泥土中。从残留泥土判断入土深度在 50 cm 以上。下 5 排加强装药段钢结构立柱完全销毁,已经无法在废墟中找到残骸;断口处钢板外翻,内部预先填充的混凝土保存完好。上 5 排也大部分销毁,仅有一个立柱钻孔一侧钢板保留完整,钻孔清晰可见。40 m 范围内四邻建筑表面未见飞石破坏痕迹。

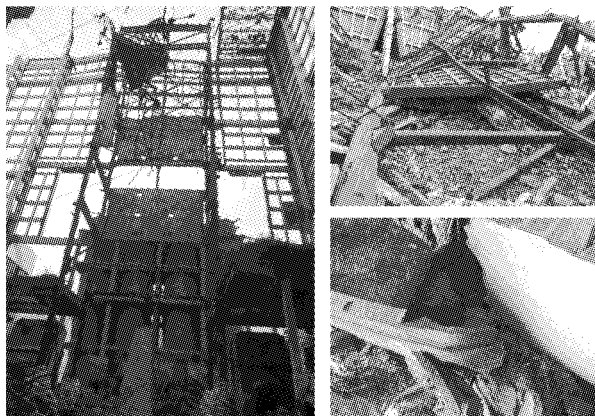


图 11 爆破效果图
Fig. 11 Blasting effect

7.2 结论与展望

1) 通过内注混凝土实现空心钢构件的钻孔爆破,并借此完成钢结构的爆破拆除任务。

2) 7.4 kg/m^3 至 8.89 kg/m^3 的单耗在爆破中起到了非常好的效果。

3) 爆破体立柱为 2 块槽钢对拼,然后用钢板焊接而成。在面对单个槽钢或角钢构成的开放式钢结构立柱时,可通过拼接成筒后再利用本方法进行爆

破拆除。

4) 钢结构框架立柱截面积小,基础截面积也比较小,极易出现立柱下落溢出基础支撑范围的情况。此时必须考虑自然地质条件,以判断后排立柱入土后造成的炸高损失。

5) 对于异形结构体,需充分考虑到整体重心位置对爆破效果的影响。

参考文献 (References)

- [1] 钟冬望,黄雄,司剑峰,等. 爆破荷载作用下埋地钢管的动态响应实验研究[J]. 爆破,2018,35(2):19-25.
- [1] ZHONG Dong-wang, HUANG Xiong, SI Jian-feng, et al. Experimental study on dynamic response of buried pipeline under blasting loads[J]. Blasting,2018,35(2):19-25. (in Chinese)
- [2] 夏志成,蔡萌,孔新立. 钢板夹薄壁钢管组合板抗接触爆炸数值模拟[J]. 工程爆破,2018,24(5):1-7.
- [2] XIA Zhi-cheng, CAI Meng, KONG Xin-li. Numerical simulation of anti contact explosion of sandwich panel with steel sheet clamped thin-walled steel pipe[J]. Engineering Blasting,2018,24(5):1-7. (in Chinese)
- [3] 孙珊珊,赵均海,张常光. 爆炸荷载下钢管混凝土墩柱柱面压力分布研究[J]. 爆破,2018,35(2):12-18.
- [3] SUN Shan-shan, ZHAO Jun-hai, ZHANG Chang-guang. Study on cylinder overpressure distribution of concrete-filled steel tube pier subjected to explosive loading[J]. Blasting,2018,35(2):12-18. (in Chinese)
- [4] 宫婕,汪泉,李志敏,等. 柱形爆炸容器内爆炸冲击波的传播规律研究[J]. 爆破,2017,34(4):17-21,51.
- [4] GONG Jie, WANG Quan, LI Zhi-min, et al. Research on propagation law of explosive shock wave in cylindrical explosion containment vessel[J]. Blasting,2017,34(4):17-21,51. (in Chinese)
- [5] 李本伟,王琪,陈德志,等. 预注混凝土爆破拆除异形筒状钢结构工艺初探[J]. 爆破,2019,36(4):103-107.
- [5] LI Ben-wei, WANG Qi, CHEN De-zhi, et al. Preliminary study on blasting demolition technology of cylindrical steel structure with pre-pouring concrete[J]. Blasting,2019,36(4):103-107. (in Chinese)
- [6] 李本伟,陈德志,张萍,等. 180 m 高钢筋混凝土烟囱爆破拆除[J]. 爆破,2011,28(4):57-60,68.
- [6] LI Ben-wei, CHEN De-zhi, ZHANG Ping, et al. Demolition of a 180-meter-superheight reinforced concrete chimney by directional blasting[J]. Blasting,2011,28(4):57-60,68. (in Chinese)

- [7] 徐顺香,陈德志,李本伟,等. 100 m 高钢筋混凝土烟囱爆破拆除及安全措施[J]. 爆破,2015,32(2):106-108,126.
- [7] XU Shun-xiang, CHEN De-zhi, LI Ben-wei, et al. Demolition of a 100-meter-superheight reinforced concrete chimney by directional blasting and safety measures[J]. Blasting,2015,32(2):106-108,126. (in Chinese)
- [8] 王雁冰,雷 谦,杨仁树,等. 爆炸荷载下缺陷介质裂纹扩展规律数值分析研究[J]. 爆破,2017,34(3):1-6,24.
- [8] WANG Yan-bing, LEI Qian, YANG Ren-shu, et al. Numerical simulation research of crack propagation in media containing flaws under explosive load[J]. Blasting,2017,34(3):1-6,24. (in Chinese)
- [9] 甄梦阳,李本伟,陈德志,等. 1160 m 长城市高架桥爆破拆除[J]. 爆破,2017,34(2):91-95.
- [9] ZHEN Meng-yang, LI Ben-wei, CHEN De-zhi, et al. Blasting demolition of the 1160 m long urban viaduct[J]. Blasting,2017,34(2):91-95. (in Chinese)
- [10] 汪帅文,赵明生,池恩安,等. 茅台三幢高楼爆破拆除的安全防护[J]. 爆破,2017,34(2):85-90.
- [10] WANG Shuai-wen, ZHAO Ming-sheng, CHI En-an, et al. Safety protection of explosive demolition of three buildings in maotai district[J]. Blasting,2017,34(2):85-90. (in Chinese)

英文编辑:叶海旺

(上接第96页)

- [3] 邵晓宁,张道振,周恩泉,等. 电厂机组循环水取水口预留岩坎围堰拆除爆破[J]. 工程爆破,2014,20(3):25-28.
- [3] SHAO Xiao-ning, ZHANG Dao-zhen, ZHOU En-quan, et al. Demolition blasting of reserved rock ridge cofferdam for intake of circulating water of units in electric power plant[J]. Engineering Blasting,2014,20(3):25-28. (in Chinese)
- [4] 徐成光. 唐家山堰塞湖泄洪洞进水口挡水岩坎拆除爆破[J]. 工程爆破,2012,18(3):70-73.
- [4] XU Cheng-guang. Demolition blast for the reserved rock ridge of water intake in spillway tunnel in tangjiashan barrier lake[J]. Engineering Blasting,2012,18(3):70-73. (in Chinese)
- [5] 张文焯,刘美山. 大型水电站围堰及岩坎爆破拆除中的安全防护问题研究[J]. 工程爆破,2008,14(4):76-81.
- [5] ZHANG Wen-xuan, LIU Mei-shan. Research on safety protection problems in blasting demolition of cofferdam and rock ridge of large hydropower station[J]. Engineering Blasting,2008,14(4):76-81. (in Chinese)
- [6] GB 6722—2014 爆破安全规程[S]. 北京:中国标准出版社,2015.
- [6] GB 6722—2014 Safety regulations for blasting[S]. Beijing:China Standards Press,2015. (in Chinese)
- [7] 张正宇,张文焯,吴兴霞,等. 现代水利水电工程爆破[M]. 北京:中国水利水电出版社,2003.
- [8] 雷 荣. 围堰分洪爆破拆除及冲渣技术研究[J]. 西部探矿工程. 2018,30(8):179-182,185.
- [8] LEI Rong. Research on cofferdam flood diversion blasting and slag washing technology[J]. West-china Exploration Engineering. 2018,30(8):179-182,185.
- [9] 薄清元. 导流洞围堰拆除爆破冲渣效果关键影响因素研究[D]. 武汉:长江科学院,2009.
- [9] BO Qing-yuan. The study on the key influencing factors of diversion tunnel cofferdam slag blasting remove effect[D]. Wuhan:Changjiang River Scientific Research Institute,2009. (in Chinese)
- [10] 叶海旺,汪柳俊,冉 成,等. 分层装药爆破间隔填塞长度优化研究[J]. 爆破,2017,34(2):26-33.
- [10] YE Hai-wang, WANG Liu-jun, RAN Cheng, et al. Optimization on interval stemming length of blasting in layered charge[J]. Blasting,2017,34(2):26-33. (in Chinese)
- [11] 梁 瑞,解丽娜,周文海,等. 基于不同空气间隔装药结构的爆破效果动力响应研究[J]. 中国安全生产科学技术,2018,14(7):175-180.
- [11] LIANG Rui, XIE Li-na, ZHOU Wen-hai, et al. Research on dynamic response of blasting effect based on different air-deck charge structures[J]. Journal of Safety Science and Technology,2018,14(7):175-180. (in Chinese)

英文编辑:黄 刚