

doi:10.3963/j.issn.1001-487X.2022.04.017

大孔径爆破拆除复杂结构石灰窑应用实践

司士营

(浙江安盛爆破工程有限公司, 绍兴 312000)

摘要: 石灰窑窑身为外部金属钢板、内部耐火砖、中间填充黄土结构;石灰窑基础为外部低配筋率钢筋混凝土、内部砂浆片石砌筑,并有出灰道空隙的方形大体积复合结构。金属外壁石灰窑窑身无法钻孔、气割又无法保证安全;基础内部衬砌质量差,孔隙率较大且有孤立碎石分布其间,采用常规 $\phi 38$ 手持式凿岩机很难钻凿炮孔。为此,采取了对石灰窑基础炸出一个爆破缺口,使其在重力作用下失稳倒塌的定向爆破技术方案。为提高施工效率、确保安全,并使炸药爆炸能量均匀分布在设计缺口的爆破体内,通过合理设计爆破参数,在设计缺口位置的三面(正面和左右两侧面)采用大孔径潜孔钻机钻凿 $\phi 90$ 炮孔,装填 $\phi 32$ 乳化炸药并束药卷,并严密堵塞,安全防护。最终成功对石灰窑实施爆破拆除,取得了很好的爆破效果,确保了爆破安全,且施工作业效率大大提高。这是大孔径爆破在高耸类构筑物爆破拆除中的一次应用实践,可以为施工工期紧、小孔径不易钻孔的高耸类砌(砌石)基础构筑物的爆破拆除工程提供参考。

关键词: 拆除爆破;大孔径;石灰窑;复合基础

中图分类号: TD235.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-487X(2022)04-0125-07

Application of Large Hole Blasting on Demolition of Complex Structure Lime Kiln

SI Shi-ying

(Zhejiang Ansheng Blasting Engineering Co., Ltd., Shaoxing 312000, China)

Abstract: The structure of a limestone kiln consists of an external metal plate, internal firebricks and middle filled loess. The foundation of a limestone kiln is built by reinforced concrete with low bar ratio and internal mortar pieces masonry with a square large volume composite structure with gray channel space. It is difficult to drill blast holes with a conventional $\phi 38$ manual rock drill because of its metal outer wall. The safety of gas cut also cannot be guaranteed. Meanwhile, the internal lining of the foundation is of poor quality, with large porosity and isolated gravel distribution. Therefore, a directional blasting technology scheme is adopted to blow up a gap on the foundation of the limestone kiln and make it unstable and collapse under the action of gravity. In order to improve the construction efficiency and safety, and make the explosive energy evenly distributed in the structure, a large hole drilling rig is used to drill $\phi 90$ holes on three sides (front, left and right sides) of the designed gap by reasonable design of blasting parameters. The blast holes are charged with $\phi 32$ emulsion explosive bundles and tightly stemmed. The successful blasting demolition of the limestone kiln proves that it can achieve a good blasting effect, ensure the safety of blasting, and improve construction efficiency.

Key words: demolition blasting; large hole diameter; limestone kiln; composite foundation

收稿日期:2022-07-20

作者简介:司士营(1985-)男,工程师、学士,主要从事岩土爆破和拆除爆破方面的研究与应用,(E-mail)355534543@qq.com。

为响应国家“去除过剩产能,保护生态环境”的号召,蚌埠市高新区天河科技园近年来相继对辖区内的多座高污染石灰窑、砖窑和碎石场实施关停、爆破拆除。其中,增和新型石灰窑厂的两个窑体中间有角钢楼梯连接,窑体和基础内外构造复杂。在建(构)筑物的爆破拆除工程中,常规均按照“多打孔,少装药”的经典理念而采用小孔径浅孔爆破^[1],在国内已经开展了少量孔径小于 $\phi 35$ 的小孔径爆破拆除技术研究,甚至在国外出现了 $\phi 22$ 、 $\phi 28$ 、 $\phi 32$ 孔径的钻机用于拆除爆破^[2]。大孔径在拆除爆破工程中的应用,以往在城市高架桥爆破拆除^[3]、铁路侧岩墙爆破拆除^[4]、大型混凝土基础爆破拆除^[5,6]、水下围堰爆破拆除^[7]、桥梁或桥墩爆破拆除^[8,9]、高层楼房的爆破拆除中出现过^[10],在类似于石灰窑等高耸类构筑物的爆破拆除工程中鲜有尝试。此处根据现场钻孔难、工期紧的工程实际情况,采用大孔径钻孔成功对两连体石灰窑实施爆破拆除,为蚌埠市大汉文化产业园的规划建设扫除了障碍。

1 工程概况

1.1 石灰窑结构

1.1.1 总体结构

石灰窑由石灰窑窑体、基础和附属钢结构组成,总高度 36.5 m,两窑体顶部之间有钢框架连接,中间有用于人员上下的角钢楼梯连接,每个窑体基础北侧都有宽 3 m、深 10 m、高 3 m 的进料通道深入筒体下部的基座内,两窑体基础边缘最近距离 3.2 m (图 1)。

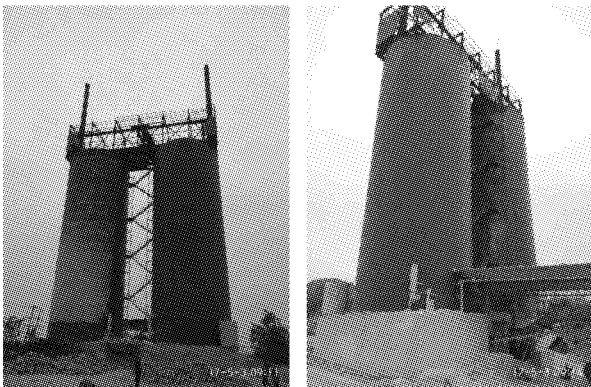


图 1 石灰窑整体实拍图

Fig. 1 Picture of the lime kiln

1.1.2 石灰窑窑体结构

窑体外表面为 12 mm 厚钢板围成的金属外壁,高 32 m,直径 11.5 m,内壁为耐火砖,金属外壁和耐火砖内壁之间填充的材料为黄土。整个石灰窑窑体

空腔底部直径 3 m,中部直径为 7 m、上部直径为 3 m,空腔形状类似于一个树立的橄榄球,底部出口连接出料通道内的铁炉,底部壁厚 4.25 m。

1.1.3 石灰窑基础结构

基础为钢筋混凝土和砂浆砌石复合结构,高 4.5 m、东西长 12.2 m、南北宽 12 m。靠近临空表面为钢筋混凝土基础,配筋为 $\phi 25$ 钢筋,基础内部为孔隙率较大的砂浆砌石结构(图 2)。

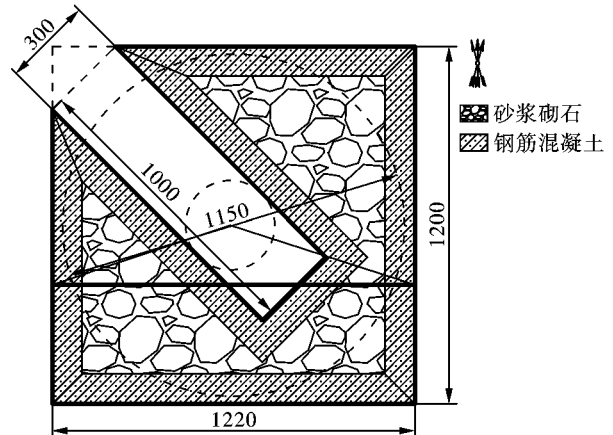


图 2 石灰窑基础横断面结构图(单位:cm)

Fig. 2 Cross section of the limestone kiln foundation structure(unit:cm)

1.2 周边环境

爆破环境良好。东侧 30 m 为简易房、北侧 30 m 为简易房(待拆除),四周为开阔地带,500 m 范围内没有需要保护的目标,石灰窑四周无地下管线需要保护。爆破环境见图 3。

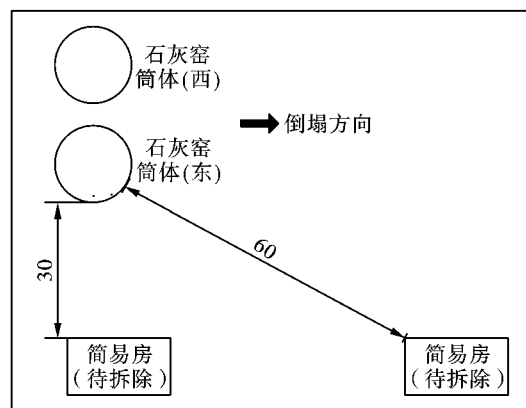


图 3 石灰窑周边环境示意图(单位:m)

Fig. 3 Schematic diagram of surrounding environment of the limestone kiln(unit:m)

2 施工难点

(1) 由于工期紧,窑体较高,风险大,无法预先

人工拆除角钢楼梯和顶部框架钢结构,从而使两连体石灰窑变成两个孤立的石灰窑窑体分别拆除^[11]。

(2)无法采用特种爆破方式对金属外壳实施聚能切割爆破(根据联系结果,需要10 d才能到货,工期不允许);且金属钢板抗拉强度大,即使对筒体爆炸出缺口,也难以保证窑体顺利倒塌。

(3)窑体基础结构复杂,钻孔易卡钻,装药易卡药,施工困难,效率低,效果无法保证。

(4)石灰窑基础方量达650余 m^3 ,高度仅4.5 m,爆破抛渣极困难,使石灰窑的倒塌存在不确定性。

(5)石灰窑图纸缺失,无法判断石灰窑各部位的准确结构和尺寸。

3 爆破施工方案

综合爆破体的复杂状况,确定采用机械预拆除和爆破拆除相结合的方案,对石灰窑一对两连体窑筒同时实施爆破,一次性拆除。

3.1 倒塌方向的选择

如果两个窑体是孤立的对象,则可以利用出料口的挑空,向垂直于出料口方向倒塌,但如今两个窑体是有钢结构相互牵制的两连体,因此倒塌方向只能选择垂直于两个窑体排列的南北向。鉴于石灰窑北侧场地开阔,无被保护对象,且两窑体出料口相对设置,分别朝向东北和西北。因此,定向倒塌方向确定为北向。

3.2 钻孔机具的选择

目前,在拆除爆破工程施工中,炮孔直径大多采用38~44 mm,我们称之为小孔径^[12],钻孔机械为手持式风动凿岩机,主要基于其钻孔设备简单,可以降低单段起爆药量,从而降低爆破振动,炸药能在起爆体内更加均匀分布,增加破碎效果等优点。同时该方法也有诸多弊端:钻孔数量多,人工劳动大,施工效率低,起爆器材用量大,网路复杂不易检查等^[13]。一般认为孔径大于70 mm即称为大孔径,大孔径爆破由于药量太过集中,爆破飞石和振动不易控制,在拆除爆破应用较少。但大孔径爆破也有其独特的优势:钻孔数量少,液压钻机施工效率高,装药速度快,雷管用量小,节约成本,药包类似于集团装药可最大限度置于结构中央^[3]。考虑到该石灰窑爆破部位基础仅靠近临空面为钢筋混凝土结构,内部砌石孔隙率大,采用手风钻易卡钻,极易耽误工期。而大孔径潜孔钻遇到结构不完整的部位可以采用胶泥护壁等措施钻进。因此本工程选用 $\phi 90$ 潜孔钻机钻孔,保证了钻孔质量取得了良好爆破的效果。

3.3 施工总体部署

第一步将基础北部(设计倒塌方向)3 m宽度采用液压破碎锤先行破碎拆除(靠基础顶部的斜角破碎头很难够到,可以保留,既可以减少工作量,又可以保证结构稳定),以利于爆渣抛出,确保石灰窑顺利倒塌;第二步将位于石灰窑正下方的中间5 m宽度基础采用爆破方式拆除,剩余的南部3 m宽度基础作为预留支撑,使石灰窑失稳倒塌(图4)。

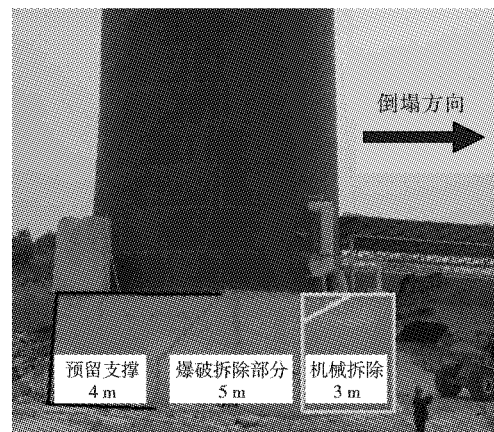
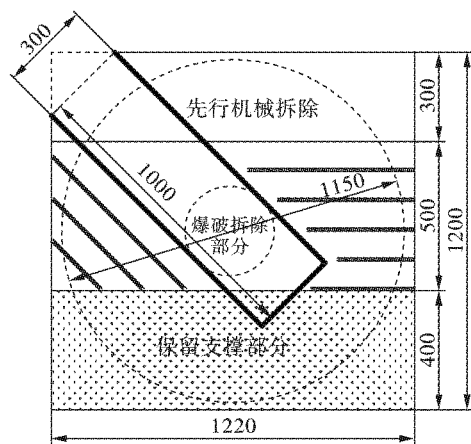


图4 石灰窑拆除部位横断面及实拍图(单位:cm)

Fig. 4 Cross section and actual photo of the demolition part of the limestone kiln(unit:cm)

4 爆破技术设计

4.1 爆破切口设计

4.1.1 爆破切口位置

根据现场施工条件、结合石灰窑结构特点,为便

于施工,确保爆破顺利实施,爆破切口位置选择在复合基础(见图4)。

4.1.2 爆破切口形式

为了能够满足窑体的倒塌要求,防止前冲,保证定向准确,以及施工的方便和减少药孔数量,采用正

梯形复合切口^[14]。

4.1.3 切口长度

切口长度的大小决定切口形成后窑体能否实现偏心失稳,如果切口过大可能导致余留部分没有足够的支撑力而使窑体倒塌方向失去控制,甚至出现后座和反向倒塌,反之可能出现倾而不倒的情况。烟囱水塔等筒形高耸构筑物爆破范围一般为筒壁周长的1/2~2/3,相对应的圆心角一般为180°~240°^[12]。以此为参考,该窑体复合基础设计切口自北向南深度为8 m,石灰窑窑体为直径11.5 m的圆形,周长36 m,保留部分对应窑筒的圆心角为139°,切口对应窑体弧形长度为22.1 m,对应的窑筒的圆心角为221°,属于180°~240°的范围,符合石灰窑的倒塌需求。因该石灰窑基础较窑体略大,且有钢筋混凝土浇筑,因此根据以往经验,该切口圆心角取值足以保证保留部分支撑窑体,不会发生后座现象(见图5)。

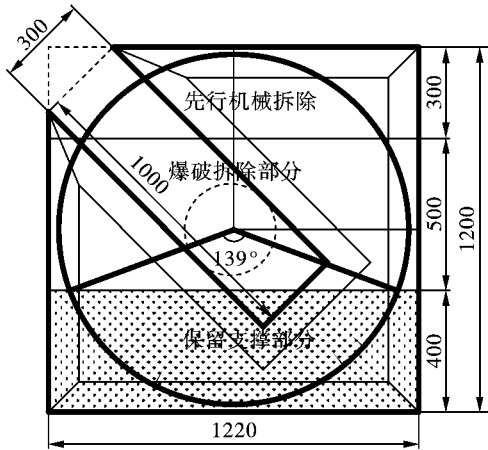


图5 石灰窑基础切口对应窑体弧度图(单位:cm)

Fig. 5 Radian diagram of the limestone kiln foundation cut corresponding to kiln body(unit:cm)

4.1.4 切口高度

切口高度设计应确保爆破拆除时炸药爆炸瞬间爆渣要能抛出爆破体,且切口形成后在切口上下沿闭合时窑体重心已偏离出窑体承重面,以防止倾而不倒或者因切口闭合碰撞导致窑体倾倒方向发生偏离。切口高度 H_p 根据以往经验按下列公式确定

$$H_p \geq (1/6 \sim 1/4)D \quad (1)$$

式中: H_p 为切口高度,m; D 为切口位置窑体外径,m。

按上式计算,切口高度 $H_p = 1.92 \sim 2.88$ m,为保证倒塌的可靠性和机械施工的便利性,实际切口高度取石灰窑基础的高度,即 $H_p = 4.5$ m,更能够保证窑体重心移出窑体之外,形成足够大的倾覆力矩,有利于倾倒。

4.2 机械预拆除

钻孔作业前先行将图4所示机械拆除部分用液压破碎锤破碎拆除,并用挖掘机将碎渣清理干净,为爆渣提供抛掷空间,进一步探明石灰窑基础内部结构。

4.3 爆破参数设计

- (1)炮孔直径 ϕ :90 mm
- (2)最小抵抗线 W :取1.2 m
- (3)炮孔间距 a : $a = (1.0 \sim 1.2)W$,取1.2 m
- (4)炮孔排距 b : $b = (0.85 \sim 0.9)a$,取1 m

(5)孔位孔向:钻孔方向主要选择在石灰窑倒塌方向侧面,即东西向穿孔,水平孔(图6)。考虑到石灰窑基础属于不均质基础,内部孔隙率大,还有孤立的小碎石分布其间,钻凿出的孔壁不光滑,装药难度大,易卡药,为保证能足量装进设计的药量,实际施工中在侧面按设计钻孔的同时,也在倒塌正面(即北侧)钻凿部分辅助炮孔,辅助炮孔孔深根据现场实际确定,1~4 m不等,药量根据现场实际情况,依据技术经验确定,控制在1~5 kg。

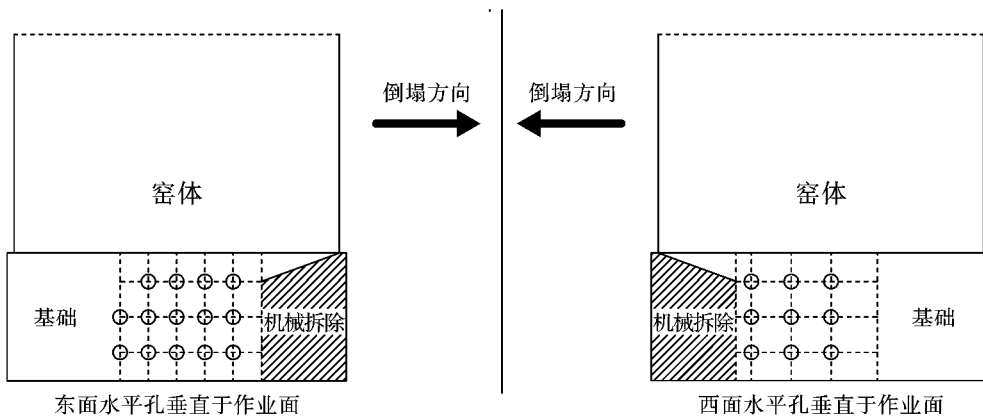


图6 石灰窑炮孔位置示意图

Fig. 6 Schematic diagram of blast hole position

考虑到出料口为石灰窑内部提供了临空面,且两窑体之间空间狭窄(仅 3.2 m),不利于潜孔钻机作业和移机。因此,钻孔方向依据出料口方向设置,东面水平孔垂直于作业面;西面水平孔斜交于作业面,炮孔倾斜度以平行于出料口走向为准(图 7)。

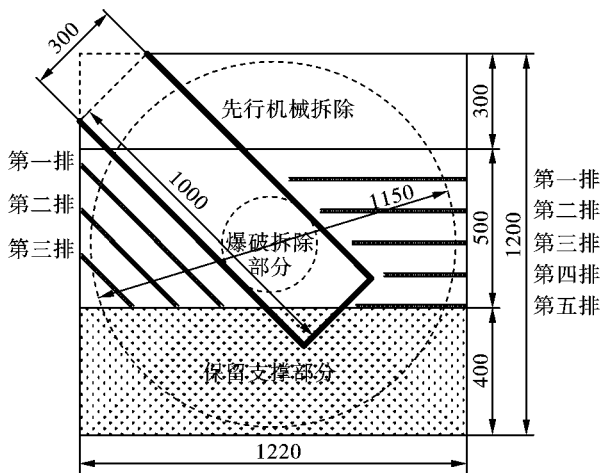


图 7 石灰窑炮孔位置截面图(单位:cm)

Fig. 7 Cross section of blast hole position(unit:cm)

(6) 炮孔深度 L : 孔深取钻孔处基础厚度减去 $1/3W$ 。经计算

东面:第一排 $L=5.6$ m(最北侧)

第二排 $L=4.6$ m

第三排 $L=3.6$ m

第四排 $L=2.6$ m

第五排 $L=3.5$ m

西面:第一排 $L=6.3$ m

第二排 $L=4.3$ m

第三排 $L=2.3$ m

(7) 填塞长度及材料 填塞长度 L_T : 取 $L_T=0.5$ m,填塞材料采用可手握成型的胶泥堵塞,并捣填密实。

(8) 单孔药量 $Q_1: Q_1=qabL_1$

式中, Q_1 为单个孔装药量,kg; q 为单位体积耗药量, g/m^3 ,考虑到该石灰窑的实际情况,结构不均质,形状不规则,且基础内砂浆砌石有较多孔隙,会产生爆炸泄能的不利影响。外部是钢筋混凝土结构有较强的支撑功能。要保证爆渣能完全抛出,确保切口完全形成,要适当加大药量,并加强防护,根据经验单耗取 $q=2.0$ kg/m^3 ; a 、 b 为药孔的孔距及排距,m; L_1 为每个炮孔处的基础壁厚,各排不一。

具体药量计算如下:

东面:第一排 $Q_1=14.4$ kg

第二排 $Q_1=12.0$ kg

第三排 $Q_1=9.6$ kg

第四排 $Q_1=7.2$ kg

第五排 $Q_1=9.4$ kg

西面:第一排 $Q_1=15.1$ kg

第二排 $Q_1=10.3$ kg

第三排 $Q_1=5.5$ kg

(9) 炮孔个数: 东面上下每排三孔,共五排,第五排两孔,共 14 孔;西面上下每排三孔,共三排,共 9 孔。两个石灰窑体共 $(14+9) \times 2=46$ 孔。

(10) 炸药选用: 选用 32 mm 乳化炸药,每三支并排用胶布缠绕成束,用竹片捆绑成直列装药,线装药密度约为 2.8~3.0 kg/m 。

(11) 炸药量: 经计算每个石灰窑基础设计用药 241.1 kg,两窑体共计需 482.2 kg。经完工之后统计,现场实际装药量为 576 kg,多装的炸药集中在石灰窑北侧正面及钢筋密集部位的辅助炮孔。

(12) 雷管个数:300 发。

4.4 起爆网路设计

采用非电塑料导爆管起爆系统起爆,做到安全、可靠、准爆。网路形式采用多闭合回路的导爆管网路以增加网路的起爆可靠性。

每孔设置 2 发雷管,主爆孔孔内雷管采用 MS-10 段毫秒延期雷管,孔外采用 MS-5 段接力雷管,依次由北向南逐排起爆(见图 8)。北侧正面辅助炮孔采用每孔双发 MS-1、MS-3 段雷管,最早引爆。

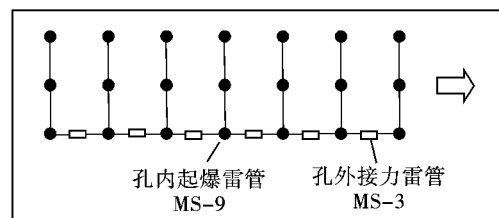


图 8 石灰窑起爆网路示意图

Fig. 8 Schematic diagram of detonation network

4.5 爆破安全设计

高耸类构筑物拆除爆破时需特别控制的爆破危害效应主要包括爆破振动、塌落振动和爆破飞石^[15]。由于本次爆破环境较好,大孔径爆破,单耗较高,有害效应主要应考虑爆破飞石。

(1) 爆破振动校核

根据萨道夫斯基公式计算爆破振动速度

$$V = K \left(\frac{Q^{1/3}}{R} \right)^\alpha \quad (2)$$

式中: V 为质点最大振动速度, cm/s ; Q 为一次齐爆的最大药量, kg ; R 为最大一段齐爆药量的几何分布中心到邻近被保护物的距离, m ; K 、 α 为与爆破

点至保护对象间的地形、地质条件有关的系数和衰减指数。此工程取 $K=160$, $\alpha=1.6$ 。

根据《爆破安全规程》(GB6722—2014),一般民用建筑物的安全振动速度为 $2\sim 2.5$ cm/s。

按照 200 m 距离计算,在此距离上其振动速度为 0.91 cm/s。因此,爆破地震波危害可不予考虑。

(2) 爆破飞石

大孔径、高单耗拆除爆破极易产生飞石,控制飞石防护措施为安全设计的第一要务。为将爆破飞石飞散距离控制在一定距离内,应对爆破部位进行重点覆盖防护。覆盖物采用双层竹笆片,铁丝环绕捆

扎牢固,倒塌方向正面增加悬挂专用炮被,可有效控制爆破飞石的飞散距离,个别飞石不超过 100 m。

5 爆破效果分析

本工程自 5 月 3 日中午签订合同并开始实施,于 5 月 5 日下午成功实施拆除并完工,前后仅用了 2.5 d 的时间,效率显著。起爆后两连体石灰窑按预定方向同时顺利倒塌(图 9),塌落后充分解体,爆堆集中。未产生前冲和后座现象,200 m 处的起爆点无明显震感,爆破飞散物最远未超过 100 m,达到了预期的爆破效果。

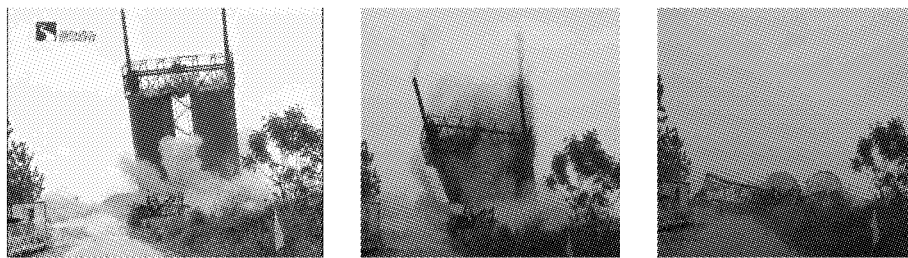


图 9 石灰窑倒塌过程图

Fig. 9 Collapse process diagram of the lime kiln

6 结语

大孔径爆破拆除在工期要求紧、小直径炮孔不易钻凿或者不具备手风钻设备条件时,是一种极佳的备选方案,待拆除高耸类构筑物有大体积混凝土(砌石)基础时优势明显。但由于单孔药包相对比较集中,须严密堵塞、加强防护,防止爆破飞石。

对于烟囱水塔等空心薄壁类高耸构筑物,由于堵塞长度短,采用大孔径爆破拆除易产生爆破飞石。在环境较好时,仍需要双层防护或在附近再搭设防护排架拦截防护,并加大警戒距离;在闹市区或环境复杂时不建议采用。

参考文献 (References)

- [1] 林大能,黎谟炬,王 浩. 高耸桥墩保护性爆破拆除关键技术[J]. 工程爆破,2021,27(6):73-79.
- [1] LIN Da-neng, LI Mo-ju, WANG Hao. Key technologies of towering piers protective blasting demolition [J]. Engineering Blasting, 2021, 27(6): 73-79. (in Chinese)
- [2] 邓家福,李振文,刘钊容. 小孔爆破在爆破拆除中的应用[J]. 爆破器材,2008,37(1):38-39.
- [2] DENG Jia-fu, LI Zhen-wen, LIU Zhao-rong. Application of small-hole blast in blasting dismantlement [J]. Explosive Materials, 2008, 37(1): 38-39. (in Chinese)
- [3] 谭雪刚,贺五一,杨智旭. 大直径浅孔爆破技术在高架桥拆除中的应用[J]. 爆破,2014,31(1):96-99.
- [3] TAN Xue-gang, HE Wu-yi, YANG Zhi-xu. Application of explosive demolition with large diameter shallow hole in viaduct [J]. Blasting, 2014, 31(1): 96-99. (in Chinese)
- [4] 孟海利. 大孔径宽孔距浅孔控制爆破拆除岩墙技术[J]. 铁道建筑,2015(7):86-88.
- [4] MENG Hai-li. Dismantling rock wall by controlling blasting featuring large diameter borehole, with distance between boreholes and shallow depth of borehole [J]. Railway Engineering, 2015(7): 86-88. (in Chinese)
- [5] 陈顺禄,徐全军,龙 源. 电厂钢筋混凝土基础快速爆破拆除[J]. 工程爆破,2017,23(1):67-70.
- [5] CHEN Shun-lu, XU Quan-jun, LONG Yuan. Rapid blasting demolition of reinforced concrete foundation in power plant [J]. Engineering Blasting, 2017, 23(1): 67-70. (in Chinese)
- [6] 吴成双,孙吉坤,康拓新. 采石场岩石破碎站爆破拆除[J]. 中国矿业,2011,20(1):107-110.
- [6] WU Cheng-shuang, SUN Ji-kun, KANG Tuo-xin. Demolition by blasting of a rock breaking plant in an open pit mine [J]. China Mining Magazine, 2011, 20(1): 107-110. (in Chinese)
- [7] 陆林欣. 电厂围堰拆除精细爆破[J]. 采矿技术,2018,18(5):229-231.
- [7] LU Lin-xin. Fine blasting for cofferdam demolition of power plant [J]. Mining Technology, 2018, 18(5): 229-231. (in Chinese)
- [8] 王守伟,唐家明. 大直径中深孔在桥梁爆破中的应用探讨[J]. 爆破,2011,28(1):89-91.

- [8] WANG Shou-wei, TANG Jia-ming. Large bore diameter-charge and middle-deep hole explosive demolition technology in bridge[J]. *Blasting*, 2011, 28(1):89-91. (in Chinese)
- [9] 徐宏, 郭敏, 郑奕琼. 中承式钢筋混凝土拱桥爆破拆除技术[J]. *世界桥梁*, 2014, 42(5):87-91.
- [9] XU Hong, GUO Min, ZHENG Yi-qiong. Blasting demolition techniques for half-through reinforced concrete arch bridge[J]. *World Bridge*, 2014, 42(5):87-91. (in Chinese)
- [10] 谭雪刚, 年鑫哲, 贺五一. 大孔径装药技术在高层建筑物爆破中的应用探讨[J]. *爆破*, 2010, 27(3):51-53.
- [10] TAN Xue-gang, NIAN Xin-zhe, HE Wu-yi. Application of large bore diameter charge to explosive demolition of high rise buildings[J]. *Blasting*, 2010, 27(3):51-53. (in Chinese)
- [11] 徐海峰. 复杂环境下两连体特厚窑壁石灰窑爆破拆除[J]. *煤矿爆破*, 2017, 122(4):32-35.
- [11] XU Hai-feng. Blasting demolition of double-body lime kiln with thick wall in complicated environment[J]. *Coal Mine Blasting*, 2017, 122(4):32-35. (in Chinese)
- [12] 汪旭光. 爆破设计与施工[M]. 北京:冶金工业出版社, 2014:398-424.
- [13] 吴庆, 夏云鹏, 张耀良. 复杂环境下火电厂大面积厂房的爆破拆除[J]. *爆破器材*, 2022, 51(2):52-58.
- [13] WU Qing, XIA Yun-peng, ZHANG Yao-liang. Blasting demolition of large-area factory buildings in thermal power plant under complex environment[J]. *Explosive Materials*, 2022, 51(2):52-58. (in Chinese)
- [14] 魏德, 李玉岐. 切口形状对烟囱拆除爆破倒塌过程的影响分析[J]. *爆破*, 2008, 25(4):92-95.
- [14] WEI De, LI Yu-qi. Analysis of influence of cut shape on collapse of chimney demolition by controlled blasting[J]. *Blasting*, 2008, 25(4):92-95. (in Chinese)
- [15] 段宝福. 拆除爆破安全技术的探讨与应用[J]. *工程爆破*, 2007, 13(1):83-85, 27.
- [15] DUAN Bao-fu. WANG Hao. Discussion and application of safe technology in demolition blasting[J]. *Engineering Blasting*, 2007, 13(1):83-85. (in Chinese)

英文编辑:黄刚

(上接第119页)

- [3] 王威, 贾永胜, 韩传伟, 等. 框架结构楼房定向爆破拆除后坐控制措施及应用[J]. *爆破*, 2021, 38(2):105-110, 117.
- [3] WANG Wei, JIA Yong-sheng, HAN Chuan-wei, et al. Control measures and application of recoil in directional blasting demolition of a frame structure building[J]. *Blasting*, 2021, 38(2):105-110, 117. (in Chinese)
- [4] 陈德志, 钟冬望, 李琳娜, 等. 高耸构筑物爆破拆除起爆网路可靠性研究[J]. *工业安全与环保*, 2013, 39(8):49-51, 55.
- [4] CHEN De-zhi, ZHONG Dong-wang, LI Lin-na, et al. Research on reliability of detonation network for blasting demolition of towering structures[J]. *Industrial Safety and Environmental Protection*, 2013, 39(8):49-51, 55. (in Chinese)
- [5] 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.
- [5] ZHEN Meng-yang, LI Ben-wei, CHEN De-zhi, et al. Blasting demolition of a 1160m long urban viaduct[J]. *Blasting*, 2017, 34(2):91-95. (in Chinese)
- [6] 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.
- [6] XU Shun-xiang, CHEN De-zhi, LI Ben-wei, et al. Blasting demolition and safety measures for a 100m high reinforced concrete chimney[J]. *Blasting*, 2015, 32(2):106-108, 126. (in Chinese)
- [7] 周祥磊, 陈德志, 罗鹏, 等. 独塔单索面预应力斜拉桥爆破拆除[J]. *爆破*, 2020, 37(4):89-93, 137.
- [7] ZHOU Xiang-lei, CHEN De-zhi, LUO Peng, et al. Blasting demolition of a prestressed cable-stayed bridge with single tower and single cable plane[J]. *Blasting*, 2020, 37(4):89-93, 137. (in Chinese)
- [8] 贾永胜, 黄小武, 王威, 等. 复杂环境下框剪结构烂尾楼定向爆破拆除[J]. *爆破*, 2018, 35(3):92-97.
- [8] JIA Yong-sheng, HUANG Xiao-wu, WANG Wei, et al. Directional blasting demolition of an unfinished building with a frame-shear structure in a complex environment[J]. *Blasting*, 2018, 35(3):92-97. (in Chinese)
- [9] 刘昌邦, 贾永胜, 黄小武, 等. 异形结构楼房纵向逐跨空中解体爆破拆除[J]. *爆破*, 2019, 36(3):84-89.
- [9] LIU Chang-bang, JIA Yong-sheng, HUANG Xiao-wu, et al. Longitudinal dismantling and demolition of a special-shaped structure across the air by blasting[J]. *Blasting*, 2019, 36(3):84-89. (in Chinese)
- [10] 李本伟, 陈德志, 周应军, 等. 基于故障树分析法的拆除爆破飞散物事故风险分析[J]. *爆破*, 2015, 32(2):147-151.
- [10] LI Ben-wei, CHEN De-zhi, ZHOU Ying-jun, et al. Risk analysis of flying debris accidents in demolition blasting based on fault tree analysis[J]. *Blasting*, 2015, 32(2):147-151. (in Chinese)
- [11] 国家安全生产监督管理总局. GB 6722—2014 爆破安全规程[S]. 2014-12-05.
- [11] State Administration of Work Safety. GB 6722—2014 Blasting Safety Regulations[S]. 2014-12-05. (in Chinese)

英文编辑:柯波