

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2022.02.009

复杂环境下火电厂大面积厂房的爆破拆除^{*}

吴 庆^① 夏云鹏^{①②} 张耀良^② 张文斌^②
①江苏科技大学土木工程与建筑学院(江苏镇江,212000)
②江苏长江爆破工程有限公司(江苏镇江,212000)

[摘 要] 探究了复杂环境下火电厂大面积厂房的爆破拆除技术。结合江苏省镇江市谏壁电厂主厂房爆破拆除实例,基于厂房结构和施工难点分析,选择双梯形组合的爆破切口和分区域、逐跨、逐段延时起爆技术,辅以覆盖防护、近体防护、遮挡防护、重点保护目标主动防护、开挖减振沟等防护措施,严密组织施工,对爆破振速和超压进行了采集。结果表明:最大爆破振速为 0.864 cm/s,最大爆破超压为 1.5 kPa,均小于安全允许数值,防护措施取得良好的效果。爆后,厂区内设备设施正常运行。可为类似工程提供参考。

[关键词] 拆除爆破;大面积厂房;爆破参数;延期时间;安全计算;防护措施

[分类号] TU746.5

Blasting Demolition of Large-Area Factory Buildings in Thermal Power Plant under Complex Environment

WU Qing^①, XIA Yunpeng^{①②}, ZHANG Yaoliang^②, ZHANG Wenbin^②
① School of Civil Engineering and Architecture, Jiangsu University of Science and Technology (Jiangsu Zhenjiang, 212000)
② Jiangsu Changjiang Blasting Engineering Co., Ltd. (Jiangsu Zhenjiang, 212000)

[ABSTRACT] Blasting demolition of large-area factory building in thermal power plant under complex environment was explored. Blasting demolition of the main factory building of Jianbi Thermal Power Plant in Zhenjiang City, Jiangsu Province was taken as an example. Based on the plant structure and construction difficulties, double trapezoidal combined blasting incision, and initiation technology of span by span and section by section in sub region were selected. Protective measures such as covering protection, near body protection, shielding protection, active protection of key protection targets, excavation of vibration damping ditch were supplemented. The blasting construction was carefully organized, and the blasting vibration speed and overpressure were collected. Results show that the maximum vibration speed is 0.864 cm/s, the maximum overpressure of 1.5 kPa, and both are less than the safety allowable values. The protective measures achieve good results. Equipment and facilities in the plant operate normally after explosion. It can provide reference for similar projects.

[KEYWORDS] demolition blasting; large-area factory buildings; blasting parameters; delay time; safety calculation; protective measures

引言

随着社会经济的快速发展,为了响应国家节能减排的号召,越来越多的重污染企业需被拆除。其中,因面积广、空间大、排架结构、周边环境复杂等特点,企业主厂房在爆破拆除时容易出现解体方向分

散、倒塌不彻底或者伤及周边保护目标等现象。

国内学者针对厂房爆破拆除进行了大量实践研究^[1-3]。丁凯等^[4]采用了几种减振技术对主厂房爆破效果进行了分析。陈密元等^[5]对主厂房大板梁的支撑立柱在不同高度处布置爆破区,并逐次延期起爆,成功爆破拆除主厂房。邹宗山等^[6]在倒塌空间有限的情况下对厂房采用双向折叠的爆破方

^{*} 收稿日期:2021-09-17
基金项目:国家自然科学基金(5210080571)
第一作者:吴庆(1971-),男,教授,主要从事建筑物拆除及混凝土结构等研究。E-mail:759467912@qq.com
通信作者:夏云鹏(1993-),男,硕士,主要从事建筑物爆破拆除研究。E-mail:863905549@qq.com

式。张晓龙等^[7]通过设计合理的倒塌方案和爆破参数,对城市中复杂环境下的大面积厂房进行了爆破拆除。

以江苏省镇江市谏壁电厂主厂房爆破拆除为工程实例,研究复杂环境下大面积厂房爆破拆除的方法和防护措施,以期今后类似的工程提供参考。

1 工程概况

1.1 环境特点

待爆厂房位于江苏省镇江市谏壁电厂厂区内。西侧 70 m 处为待拆除的两座 210 m 高烟囱、195 m 处为 313[#]库房和物资超市、205 m 处为液氨站;东侧 40 m 处为升压区的开关室、42 m 处为内有精密仪器的网控楼、52 m 处为升压区(区域内有大量的绝缘瓷瓶);南侧 30 m 处是厂区的生产办公楼;北侧 33 m 处为正在运行使用的七期厂区。待爆厂房周边环境见图 1。

待爆厂房周边地上、地下管网错综复杂,集中在待爆厂房四周,共有供热、回水、除盐、循环、消防、架空、通讯电缆、路灯供电、电缆隧道等 9 种不同类型的管线及重要设备。其中,通讯电缆距离厂房最近,

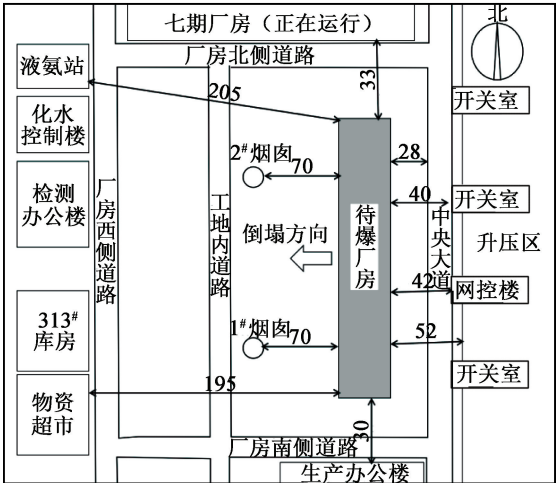


图 1 待爆厂房周边环境(单位:m)

Fig.1 Surrounding environment of the factory buildings to be blasted (Unit: m)

为 22 m。

1.2 楼房结构

图 2 为待爆厂房的结构图。厂房属于钢筋混凝土框架-排架组合结构。建筑最高点达到 60.0 m。厂房的南北长 353.0 m、东西宽 48.6 m,总建筑面积为 17 155.8 m²。

厂房平面内,立柱排号自西向东划分为 C 轴、B

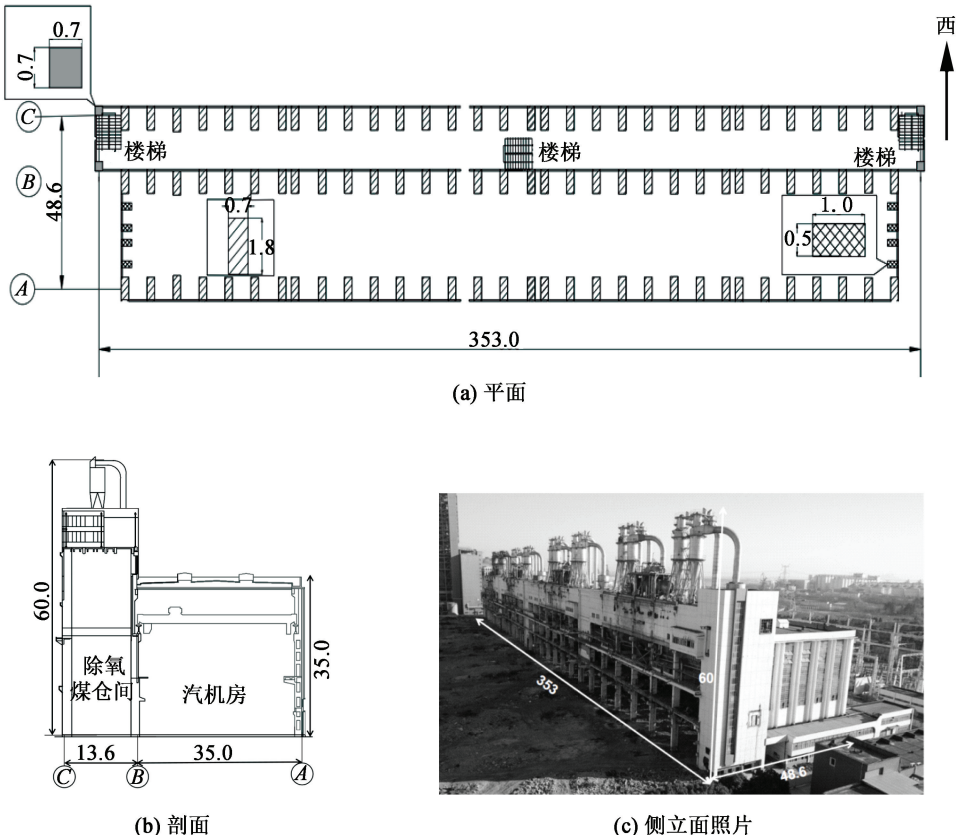


图 2 待爆厂房结构(单位:m)

Fig.2 Structure of the factory buildings to be blasted (Unit: m)

轴、A 轴。总共有 108 根承重柱;截面尺寸为 1 800 mm×700 mm 的有 96 根;1 000 mm×500 mm 的有 8 根,为 B 轴与 A 轴之间的山墙柱;700 mm×700 mm 的有 4 根。立柱钢筋最大直径为 25 mm。

待爆厂房有 3 个人行楼梯,分别在 B 轴与 C 轴之间的南、北、中 3 个部位。

厂房自西向东分为汽机房(东半部)与除氧煤仓间(西半部)。汽机房为排架结构,高度为 35.0 m,内有两座大型行吊,屋面为钢混结构;除氧煤仓间为框架结构,高度为 60.0 m。

2 施工难点分析

1)安全要求严。待爆厂房周边毗邻重要设备及管线,北侧距离正在运行的七期厂区仅有 33 m,东侧距离四、五期网控室 42 m,西侧距离液氨站 205 m,南侧距离生产办公楼 30 m。厂房南北纵向跨度长,爆破影响范围广,若爆破危害控制不当,将造成华东电网整体断电事故。

2)技术要求高。厂房的东半部分汽机房为空间大、跨度长的排架结构,前、后排立柱间的跨度较长,两排立柱间的联系只有屋顶楼板和南、北两侧横梁,若措施不合理,易造成后排立柱爆后倾而不倒。

3)工作量较大。由于厂房高宽比较小,爆破切口高,切口范围内二楼部分墙体无法采用机械拆除,只能利用人工处理多道大面积砖墙。并且,由于厂房面积大,立柱数量多,钻孔数量大。

3 方案设计

3.1 倒塌方式

厂房西侧有 70 m 长的空地可供倒塌,倒塌距离和倒塌场地宽度均能满足定向爆破场地要求^[8],故待爆厂房选择向正西方向定向倒塌,见图 1。

3.2 爆破切口

待爆厂房东西宽度为 48.6 m,高宽比为 1.23,重心偏低。如采用单一切口(梯形或者三角形切口)形式,为保证重心偏移至外墙,其切口开设高度较高,工作量增大,施工成本增加。为保证厂房失稳倒塌,降低工程量,根据以往工程实践,采用双梯形组成的爆破切口,切口最大高度为 15.0 m,切口最终倾角为 21°。如图 3 所示。

3.3 预处理

1)楼梯处理。3 座楼梯正好位于倒塌方向一

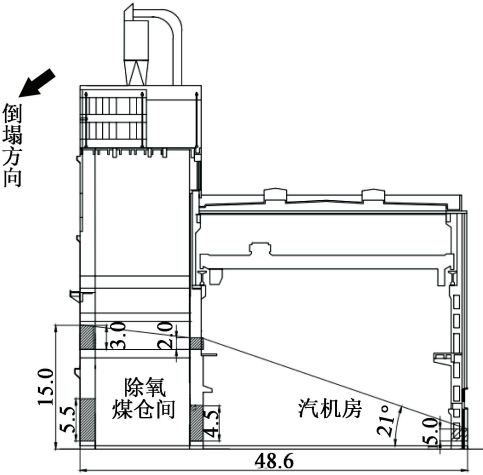


图 3 爆破切口(单位:m)

Fig.3 Blasting incision (Unit: m)

侧,如处理不利索,在倒塌过程中将会形成新的支撑。为确保厂房倒塌的可靠性,利用加长臂挖机对所有楼梯进行全部拆除,搭设脚手架至二楼,便于上楼施工,爆前对脚手架进行拆除。

2)隔墙处理。切口范围内的隔墙影响主厂房倒塌解体,尤其是与倒塌方向一致的隔墙。因此,采用机械对切口范围内所有墙体全部予以拆除,形成独立的框架结构。厂房二楼部分隔墙机械无法拆除,且墙体面积较大,人工全部拆除危险性较大。因此,将二楼的隔墙处理成 50 cm×24 cm 的墙柱,对预留下的墙柱进行钻孔装药。

3)管线预处理。厂房内有多道铸铁或钢制的上下水管、消防水管以及煤仓管道,必须切断切口范围内的所有管线,否则将形成新的支撑,影响厂房的倒塌。煤仓管道内有大量煤粉,需提前对管道内煤粉进行灌水清洗,全程洒水作业,晚上派人巡视。

4)裙楼处理。为防止厂房南侧裙楼对主厂房南侧山墙倒塌造成影响,提前对其拆除。

3.4 爆破参数设计

1)精确计算爆破参数。本次爆破的参数是根据厂房的结构和现场条件,结合计算公式^[9]和以往的经验而确定的,具体的参数如表 1 所示。

2)爆前试炮调整参数。在正式装药前,要选取不影响整体结构的立柱进行爆前试炮,其目的是摸清其砼强度、内部配筋,判别装药是否合理、防护是否有效,根据试炮效果调整参数。

3.5 爆破顺序及起爆网路

3.5.1 爆破顺序

采用分区域、逐跨、逐段延时起爆。由于厂房南北长度达到 353.0 m,为严格降低最大单段起爆药

量,并使厂房分段着地,降低塌落振动,将厂房以伸缩缝为基准分为 4 个区域,由南向北依次为 I、II、III、IV 区域。各区域间延期间隔为 0.5 s。单区域内 C 轴与 B 轴延期间隔为 0.5 s;而由于 A 轴与 B 轴之间的汽机房为排架结构,前、后立柱之间牵拉力不足,为保证 A 轴立柱向预定方向倾倒,其延期时间不宜过长,因此 A 轴与 B 轴之间的延期间隔为 0.11 s。各区域雷管段别划分如表 2 和图 4 所示。

表 1 爆破参数
Tab. 1 Blasting parameters

截面面积/ (mm×mm)	炮孔间距 a/ m	炮孔排距 b/ m	炮孔深度 l/ m	炸药单耗 q/ (g·m ⁻³)	单孔装药量 Q/ g
1 800×700	0.50	0.28	0.50	2 523	300
700×700	0.35		0.50	1 749	300
1 000×500(山墙柱)	0.40	0.24	0.33	2 679	150
500×240	0.40		0.16	1 563	75

表 2 爆破段别划分及延期时间
Tab. 2 Blasting section divisions and delay times

区域	轴号	孔内雷管段别	孔外连接雷管段别	延期时间/s
I	C 轴:1~7 柱	HS-2	MS-1	0.50
	B 轴:1~7 柱(包括汽机房两侧 4 根山墙柱)	HS-3	MS-1	1.00
	A 轴:1~7 柱	HS-3	MS-5	1.11
II	C 轴:8~17 柱	HS-3	MS-1	1.00
	B 轴:8~17 柱	HS-4	MS-1	1.50
	A 轴:8~17 柱	HS-4	MS-5	1.65
III	C 轴:18~25 柱	HS-4	MS-1	1.50
	B 轴:18~25 柱	HS-5	MS-1	2.00
	A 轴:18~25 柱	HS-5	MS-5	2.11
IV	C 轴:26~34 柱	HS-5	MS-1	2.00
	B 轴:26~34 柱(包括汽机房两侧 4 根抗风柱)	HS-6	MS-1	2.50
	A 轴:26~34 柱	HS-6	MS-5	2.65

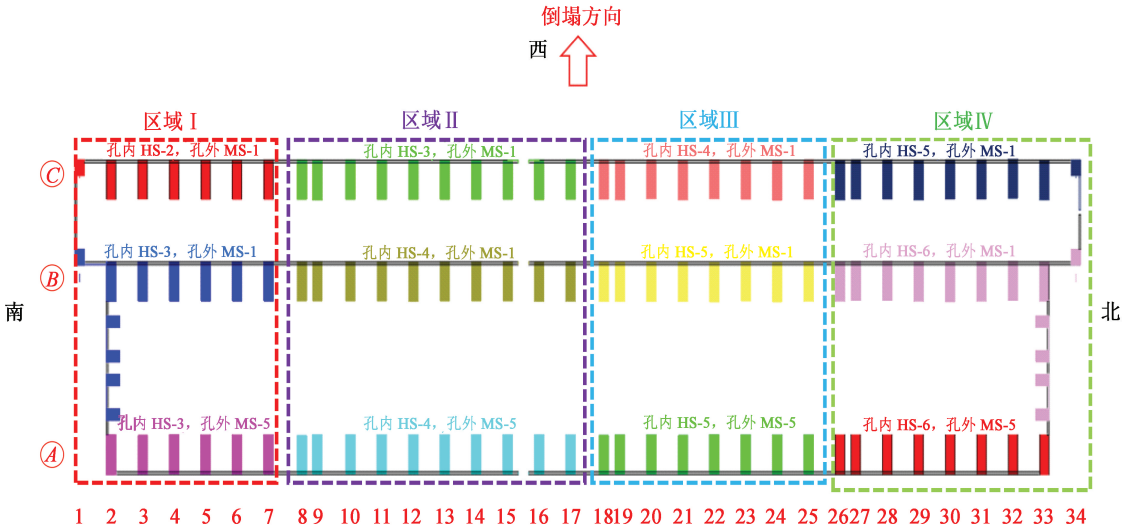


图 4 爆破分段
Fig. 4 Blasting sections

3.5.2 起爆网路

采用双向复式闭合起爆网路。因厂房南北长度较长,如此大规模的起爆网路可靠性是保证厂房爆破成功的关键要素,起爆网路见图 5。

3.6 爆破安全计算

3.6.1 爆破振动校核^[10]

$$v=k'k\left(\frac{Q^{\frac{1}{3}}}{R}\right)^{\alpha} \tag{1}$$

式中: v 为爆破允许质点振速,cm/s; Q 为单段最大起爆药量,kg; R 为保护对象至爆破点的距离,m; k 、 α 分别为与爆区地形、地质条件有关的系数和衰减指数; k' 为修正系数, $k'=0.25$ 。

对于最近的办公楼(30 m),通过计算得出炸药爆炸产生的爆破振速为 1.89 cm/s。根据 GB 6722—2014《爆破安全规程》,爆破振速不会对爆区建(构)筑物及设施造成影响。

3.6.2 触地振动校核^[11]

$$v_t=k_t\left[\frac{\left(\frac{mgH}{\sigma}\right)^{\frac{1}{3}}}{R}\right]^{\beta} \tag{2}$$

式中: v_t 为塌落引起的地面振速,cm/s; R 为观测点至冲击地面中心的距离,m; m 为下落构件的质量,t; H 为构件的高度,m; σ 、 g 、 k_t 、 β 分别为地面介质的破坏强度、重力加速度、触地振速衰减系数、触地振速衰减指数,按经验取 $\sigma=10\text{ MPa}$, $g=9.8\text{ m/s}^2$, $k_t=3.37\sim4.09$, $\beta=1.80\sim1.66$,在采取减振沟、逐区域、逐跨延时起爆等措施,衰减系数 k_t 仅为原状地面的 1/4~1/3。

经计算,触地振速为 2.38 cm/s,在允许范围内,塌落振速不会对爆区建(构)筑物及设施造成影响。

3.6.3 飞石距离校核^[12]

$$R_{\max}=K_1\cdot q\cdot D。 \tag{3}$$

式中: R_{\max} 为最大飞石距离,m; K_1 为与爆破方式、堵塞长度、地质和地形条件有关的系数,结构物爆破一般取 $K_1=1.0\sim1.5$; q 为炸药单耗,kg/m³; D 为药孔直径,mm。

经计算, R_{\max} 为 153 m,该厂房必须采取有效的防飞石措施将飞石控制在安全范围内。

3.7 防护措施

3.7.1 防飞石措施

1)爆破立柱覆盖防护。参照过往工程经验,在原来防护的基础上^[13-14],在需要装药的立柱和预处理后余留下的隔墙柱外侧,用 4 层高强度安全网和 1 层塑料骨骼网^[15]的组合覆盖防护,形成第一级防护,防止爆破时飞石的溢散。

2)厂房外围近体防护。由于厂房南、北两侧距离生产办公楼和七期运行厂房较近,对厂房切口部位的南、北两侧外挂 2 层抗拉密目遮阳网^[16],在网的外侧再用铁丝拉紧,形成第二级防护。

3)升压区的遮挡防护。为防止厂房向西侧倒塌时内部逗留气体破坏东侧门窗,造成碎片伤及厂房东侧升压站,在厂房与升压站之间搭设遮挡排架,悬挂密目网,形成第三级防护。

4)对重要目标的主动防护(第四级防护)。

管道防护:待爆厂房北侧七期允许厂房外侧有许多面对爆区的管道,因此,采用钢制脚手板搭设防护架,防止其受到损坏。

门窗防护:待爆厂房东侧网控楼及北侧厂房内有精密仪器,并且爆破时有留守人员在内,爆前对门窗使用木板进行封闭。

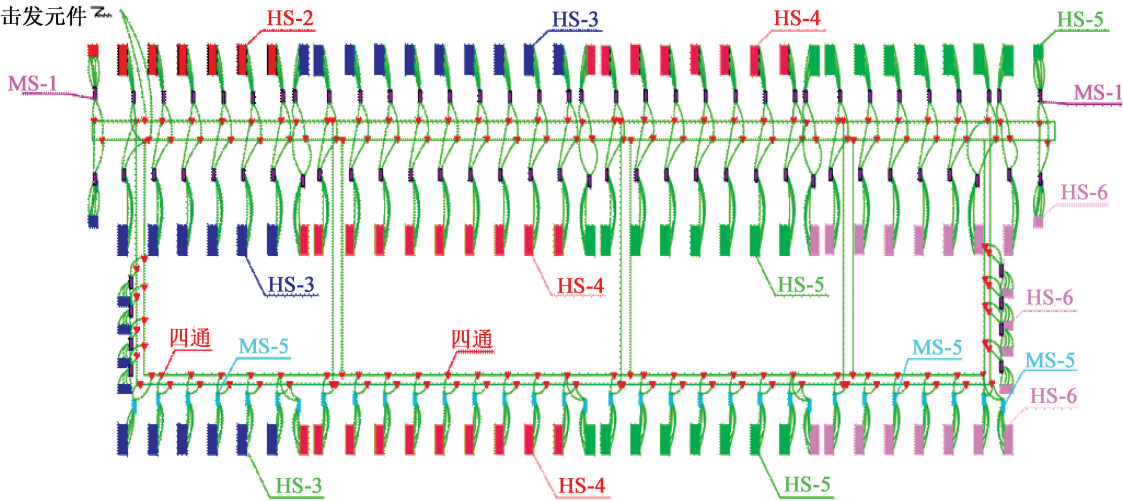


图 5 起爆网路
Fig.5 Initiation network

生产办公楼防护:由于生产办公楼位于厂房南侧 30 m 处,为防止楼内办公设备受到损坏,在办公楼面向爆区的一侧拉设一道安全网,形成遮挡。

3.7.2 降振措施

1)开挖减振沟^[11]。在待爆厂房四周开挖一条宽 2.5 m、深 2.0 m 的减振沟,防止爆破振动和塌落振动对周边的影响。

2)振动监测。在厂房周边多个保护物附近设置测振传感器,全程监测收集振动数据。

3.7.3 超压监测

爆前,在待爆厂房与七期厂房之间设置空压传感器,对厂房爆破产生的冲击气浪进行实时监测。

3.8 严密组织施工

本次厂房爆破过程中,装药量大、雷管段别多。为避免装药人员出错,装药前要根据设计将每柱、每孔的装药情况绘制成总体装药图。同时,制出单个立柱装药参数图,贴在每根立柱上,便于施工人员明白地按图施工。装药前,对所有施工人员进行技术交底,进行分药、装药、填塞、连接网络的明确分工,并讲清各环节的技术要点。

4 爆破效果

4.1 爆破效果

2021 年 4 月 23 日 9 时 58 分,待爆厂房 3 s 内完成起爆,在预先设计的范围内自南向北依次倾倒,解体比较彻底。爆破效果如图 6 所示。

经爆后现场测量:厂房密集坍塌长度 398 m,密集坍塌宽度 71 m,爆堆最高 15 m。但是,由于汽机房内行吊形成斜撑的原因(因行吊体积过大且离地较高,爆前难以拆除),有 3 根立柱未彻底放倒。爆后,挖机对未倾倒立柱进行了拆除。

4.2 防护效果

四级防飞石措施有效阻挡了爆破产生的飞石,周边保护目标安然无恙。

减振措施降振效果明显。从图 7 ~ 图 8 爆后各点检测结果看出,各点测得的最大爆破振速为 0.864 cm/s,冲击气浪超压峰值为 1.5 kPa,小于 GB6722—2014《爆破安全规程》^[8] 建筑物无破坏标准规定的 2.0 kPa,爆后厂房设备正常运行,未受到任何影响。

5 结论

1)在复杂环境下对大跨度、高空间的排架结构



(a) 爆后后排部分立柱



(b) 整体爆破后

图 6 爆破效果

Fig. 6 Blasting outcome

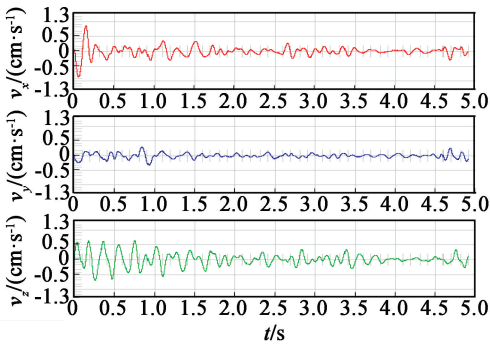


图 7 爆破振速变化曲线

Fig. 7 Variation curves of blasting vibration velocity

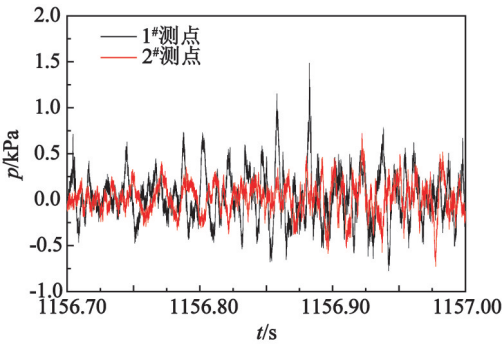


图 8 多点爆破的噪音信号叠加

Fig. 8 Noise signal superposition of multipoint blasting

厂房进行拆除爆破,采用多种防护措施,有效阻挡了个别飞石、着地飞溅以及压缩气体夹带产物对周边升压站、网控楼、运行厂房、办公楼等建(构)筑物及设施的损坏,防护方法有效。

2)如果施工条件允许,爆前需对行吊进行拆除,将行吊的轨道切割成数段。若不能拆除,将行吊

移至两个立柱之间,这样,行吊一端下落后就不易形成整体支撑。

3)排架厂房两侧山墙外翻需格外注意。从爆后爆堆可以看到,南、北两侧山墙均向外移动了一定距离。建议类似工程中山墙需采取钢丝绳牵引、加大爆高等必要措施。

4)爆前对周边重要保护目标的取证以及爆中测振、测压尤为关键,一是避免了爆后纠纷,二是为后续工程提供参考。

参 考 文 献

- [1] 谢先启,韩传伟,刘昌邦,等.排架结构主厂房和2座高烟囱的同时爆破拆除[J].工程爆破,2011,17(4):63-67.
XIE X Q, HAN C W, LIU C B, et al. Simultaneous demolition blasting of a main workshop with bent structure and two high chimneys [J]. Engineering Blasting, 2011, 17(4): 63-67.
- [2] 雷振,沈朝虎,张智宇,等.大型电厂厂房爆破拆除[J].爆破,2002,19(4):30-32.
LEI Z, SHEN C H, ZHANG Z Y, et al. Demolition of workshop in large-scale power plant by blasting [J]. Blasting, 2002, 19(4): 30-32.
- [3] 姚显春,姚尧,张伟,等.高层框-剪结构建筑的定向爆破拆除[J].爆破器材,2019,48(3):49-54.
YAO X C, YAO Y, ZHANG W, et al. Directional blasting demolition of a high rise building with a frame-shear structure [J]. Explosive Materials, 2019, 48(3): 49-54.
- [4] 丁凯,方向,薛峰松,等.南京热电厂主厂房拆除爆破中的减振技术研究[J].工程爆破,2008,14(2):52-54,32.
DING K, FANG X, XUE F S, et al. Study on technology of vibration reduction in demolition blasting of a workshop [J]. Engineering Blasting, 2008, 14(2): 52-54, 32.
- [5] 陈密元,王希之,薛峰松,等.苛刻条件下高大厂房的爆破拆除[J].爆破,2008,25(1):42-45.
CHEN M Y, WANG X Z, XUE F S, et al. Blasting demolition of a large workshop under complicated conditions [J]. Blasting, 2008, 25(1): 42-45.
- [6] 邹宗山,杨军,佐建君,等.复杂环境下同时爆破拆除热电厂厂房和150 m烟囱[J].爆破,2016,33(2):97-101.
ZOU Z S, YANG J, ZUO J J, et al. Explosive demolition of workshop and 150 m high chimney under complicated conditions [J]. Blasting, 2016, 33(2): 97-101.
- [7] 张晓龙,薛宪彬,杨昌瀚,等.城市复杂环境下大面积厂房控制爆破拆除[J].煤矿爆破,2020,38(3):5-9,13.
ZHANG X L, XUE X B, YANG C H, et al. Controlled blasting demolition of a large-area workshop in complex urban environment [J]. Coal Mine Blasting, 2020, 38(3): 5-9, 13.
- [8] 汪旭光.爆破设计与施工[M].北京:冶金工业出版社,2018.
- [9] 于淑宝,汪旭光,于泳海,等.水泥机立窑厂房“阶梯法”爆破拆除技术探讨[J].爆破,2019,36(1):97-103.
YU S B, WANG X G, YU Y H, et al. Discussion on “staircase method” blasting demolition technology for mechanical vertical shaft kiln cement plant [J]. Blasting, 2019, 36(1): 97-103.
- [10] 汪旭光.中国典型爆破工程与技术[M].北京:冶金工业出版社,2006.
- [11] 国家安全生产监督管理总局.爆破安全规程:GB 6722—2014[S].北京:中国标准出版社,2014.
State Administration of Work Safety. Safety regulations for blasting:GB 6722—2014 [S]. Beijing: China Standards Press, 2014.
- [12] 熊炎飞,董正才,王辛.爆破飞石飞散距离计算公式浅析[J].工程爆破,2009,15(3):31-34.
XIONG Y F, DONG Z C, WANG X. Analysis of the formula about blasting flying rock's casting distance [J]. Engineering Blasting, 2009, 15(3): 31-34.
- [13] 李守巨.拆除爆破中的安全防护技术[J].工程爆破,1995,1(1):71-75.
LI S J. Safeguard technology in demolition blasting [J]. Engineering Blasting, 1995, 1(1): 71-75.
- [14] 高朋飞.拆除爆破中飞石的控制与防护[J].现代矿业,2016(7):291-292.
- [15] 白伟.钢塑复合网双向拉伸塑料网在巷道支护中的应用[J].陕西煤炭,2018,37(5):95-97.
BAI W. Application of steel plastic composite net and biaxial tension plastic net in roadway support [J]. Shaanxi Coal, 2018, 37(5): 95-97.
- [16] 王修堂,田野.新型覆盖材料:遮阳网[J].农技服务,1994(7):12.