

复杂环境下 35 m 倒锥壳水塔定向爆破

陈 冲

(上海复旦爆破建设工程有限公司, 上海 200437)

摘要:上海市闵行区曹行双柏路一座要拆除的高 35 m 锥壳式钢筋混凝土结构水塔,其周边有创意园、架空管线等,爆破区域周边环境较为复杂,倒塌方向单一,精准控制水塔的倒塌方向及爆破飞石和爆破振动难度较大。结合水塔的结构特点和周边环境因素,通过采取等腰梯形爆破缺口,预开设三角形定向窗的方式,对定向的准确性起到了决定性的作用;采用铺设黄砂和草袋的被动防护方法,竹笆和安全网的主动防护方法相结合的防护方法,可以有效控制爆破振动、飞石对周围的影响。爆破取得了较好的效果。

关键词:复杂环境;倒锥壳式水塔;定向爆破;爆破参数;安全防护

中图分类号:TU746.5 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2020)09-0090-07

Directional blasting of a 35m high inverted cone shell water tower in complex environments

CHEN Chong

(Shanghai Fudan Blasting Construction Engineering Co., Ltd., Shanghai 200437, China)

Abstract: A 35m high reinforced concrete water tower with the conical structure, located at Shuangbai Road, Caohang District, Minhang District, Shanghai, is surrounded by Pioneer Park and overhead pipelines, etc. Since the surrounding environments in the blasting area is relatively complicated, the collapse direction is limited, and it is also difficult to accurately control the collapse direction of the water tower, the blasting flying rocks and blasting vibration. In view of the structural characteristics of the water tower and the surrounding environmental factors, the isosceles trapezoidal blasting gap was made with a pre-cut triangle directional window, which played a decisive role in the accuracy of orientation; meanwhile, the passive protection method of laying yellow sand and straw bags, combined with the active protection method of the bamboo fence and safety net effectively controlled the impact of blasting vibration and flying rocks on the surrounding area, achieving good results.

Key words: complex environment; inverted cone water tower; directional blasting; blasting parameters; safety protection

1 工程概况

1.1 工程简介

由于城市旧区改造需要,位于上海市闵行区曹行双柏路 1515 号一座 35 m 高水塔需要爆破拆除,水塔为标准倒锥壳式钢筋混凝土结构。水塔总高 35 m,其中水塔筒身高 30 m,水塔底部外直径为 2.44 m,底部 0~10 m 筒体壁厚为 0.2 m,门洞口在南侧,门洞宽 0.7 m、高 2 m;水塔上部水箱高度 5 m,水箱上口外缘直径 5.435 m,壳体母线斜度为

45°,水箱上壳壁厚 80 mm,水箱下壳壁厚 120 mm。水塔情况见图 1。

1.2 周围环境

该工程位于上海市闵行区曹行双柏路 1515 号。东侧:围墙距离水塔 4 m,围墙东侧为道路。东侧 18 m 为汉实创意园。架空电线距离水塔 3 m。南侧:一层砖混结构建筑物距离水塔 20 m,区内道路距离水塔 18 m,南侧围墙距离水塔 30 m。西侧:距离架空电线 28 m,距离丰盛河 30 m。

收稿日期:2020-02-27; 修回日期:2020-07-17 DOI:10.12143/j.tkgc.2020.09.015

作者简介:陈冲,男,汉族,1980 年生,工程师,从事爆破工程应用与研究,上海市邯郸路 159 号上豪大厦 9 楼 A,chenchong622@126.com。

引用格式:陈冲.复杂环境下 35 m 倒锥壳水塔定向爆破[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(9):90-96.

CHEN Chong. Directional blasting of a 35m high inverted cone shell water tower in complex environments[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(9):90-96.

北侧:区内道路距离水塔 40 m,北侧围墙距离水塔 50 m,北侧 80 m 为双柏路。

本工程区域四周为封闭式围墙,拆除区域地下无市政管网。周围环境如图 2 所示。

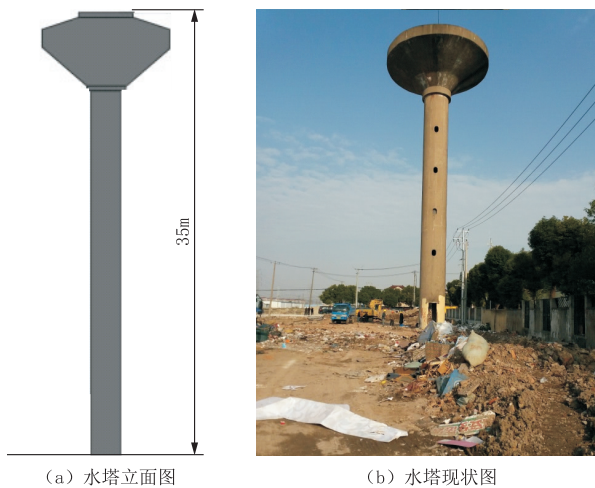


图 1 水塔状态

Fig.1 Current situation of the water tower

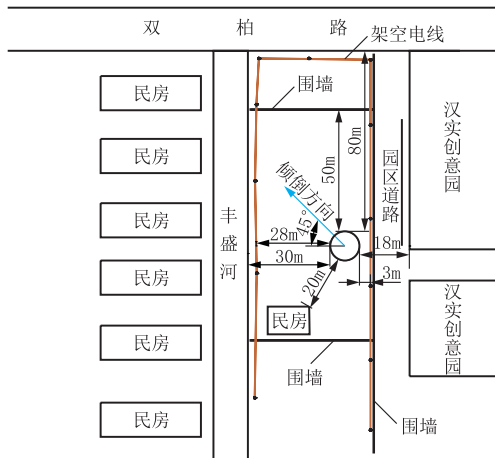


图 2 周围环境示意

Fig.2 Surrounding environment map

2 爆破方案的选择

考虑本工程周围环境的复杂性,并结合本水塔的结构特点,确保施工安全,对周边建筑和管线不造成影响,采取爆破方案如下^[1-9]:

(1)本方案水塔拆除采用城镇浅眼钻孔拆除爆破,单段一次起爆,定向倾覆方案。

(2)本工程爆破建(构)筑物为倒锥壳型水塔,支撑塔体细长,头部蓄水体略大,位于封闭场区内。根据水塔周边环境情况,南侧、东侧、西侧无法提供充裕倒塌场地。又考虑到水塔头部较大,若向正北倾

倒,水塔头部会损坏东侧围墙,故确定选择定向倾覆方向为北偏西 45°。

3 爆破参数设计^[10]

3.1 布孔设计

本工程选择梯形切口,水塔切口底部位于水塔底部地面上 0.75 m 处,爆破切口参数为:

- (1)切口处壁厚 20 cm。
- (2)底部外直径 2.44 m,外周长为 7.66 m。
- (3)切口形状为梯形,底部梯形底角 45°。
- (4)切口高度 2.25 m,布 9 排孔,按梅花形布局。切口长度取该标高处周长的 3/5,梯形下底长 $L=3/5 \times 7.66=4.6$ m,计 78 孔。参见图 3。

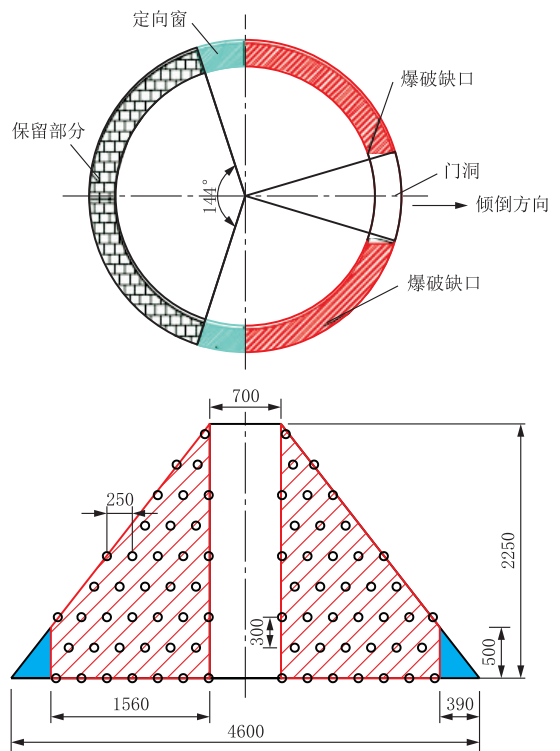


图 3 布孔示意

Fig.3 Blasting hole layout

3.2 爆破参数选择与装药量计算

炮孔剖面示意图 4,装药参考见表 1。炮孔直径 $D=0.04$ m,壁厚 $\delta=0.2$ m,孔距 $a=0.3$ m,排距 $b=0.25$ m,孔深 $l=0.19$ m(45°斜孔,根据勾股定理,斜边为直角边的 1.414 倍,根据《爆破手册》炮孔深度为壁厚的 0.65~0.7 倍,本工程取 0.7, $l=1.414 \times 0.7\delta=1.4 \times 0.7 \times 0.2=0.19$ m),炮孔 9 排,炮孔数计 78 个,单孔药量 $Q=qabd=2500 \times 0.3 \times 0.25 \times 0.2=37.5$ g(根据施工经验炸药单耗 $q=2500$ g/

m^3),总药量为 $0.0375 \times 78 = 2.925 \text{ kg}$ 。为保证可靠准爆,每个炮孔采用双雷管起爆。

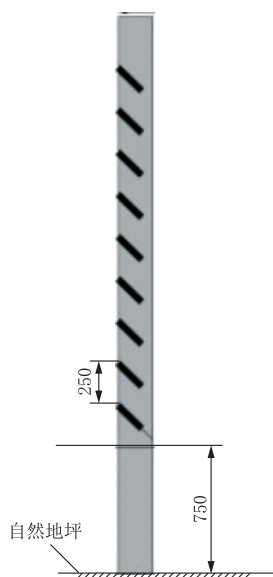


图4 炮孔剖面示意

Fig.4 Blasthole sections

表1 装药参数

Table 1 Charging parameters

| 位置 | 炮孔个数 | 理论单孔药量/g | 实际单孔药量/g | 所需药量/g |
|------------|------------------|------------|------------------------|--------|
| 一排炮孔 | 14 | 37.5 | 37.5 | 525 |
| 二排炮孔 | 12 | 37.5 | 37.5 | 450 |
| 三排炮孔 | 14 | 37.5 | 37.5 | 525 |
| 四排炮孔 | 10 | 37.5 | 37.5 | 375 |
| 五排炮孔 | 10 | 37.5 | 37.5 | 375 |
| 六排炮孔 | 6 | 37.5 | 37.5 | 225 |
| 七排炮孔 | 6 | 37.5 | 37.5 </td <td>225</td> | 225 |
| 八排炮孔 | 4 | 37.5 | 37.5 | 150 |
| 九排炮孔 | 2 | 37.5 | 37.5 | 75 |
| 合计炮孔 | 78 | 2号岩石乳化炸药合计 | | 2925 |
| 导爆管雷管型号及数量 | MS-1D型(孔内雷管)156个 | | | |
| 导爆管 | MS-1D型(孔外雷管)18个 | | | |
| 导爆管 | 变色普通导爆管 500 m | | | |

3.3 装药、填塞和起爆网络设计

3.3.1 装药

采用2号岩石乳化炸药。装药采用现场制作药包,将定制的导爆管雷管,尽量深插入药卷一端,封口捏紧防止脱离。将药包直接放入炮孔底部。

3.3.2 填塞

采用粘土为填塞材料,用木质炮棍逐层填塞、堵紧至炮孔顶部。填塞时注意掌握逐层炮泥堵紧,保证设计堵塞长度。

3.3.3 起爆网络设计

采用MS-1D型导爆管雷管,孔内双雷管。孔外采用簇联法绑扎,每9~10孔19~20发为1簇共8簇,簇联采用双雷管绑扎。各簇联导爆管用四通连接到总起爆导爆管。

(1)簇联网络段:每9~10孔19~20发为1簇联网络段,共8段。每个簇联段的导爆管尾端,用四通连接到总起爆导爆管。

(2)总网络连接:总起爆导爆管放至起爆站,连接起爆器。

(3)网络保护:孔外雷管尽量放置在集束中心,用胶布绑紧,然后将集束放置在构件体一侧固定悬挂。总起爆导爆管要到起爆前半小时才能连接。

起爆网络如图5所示。

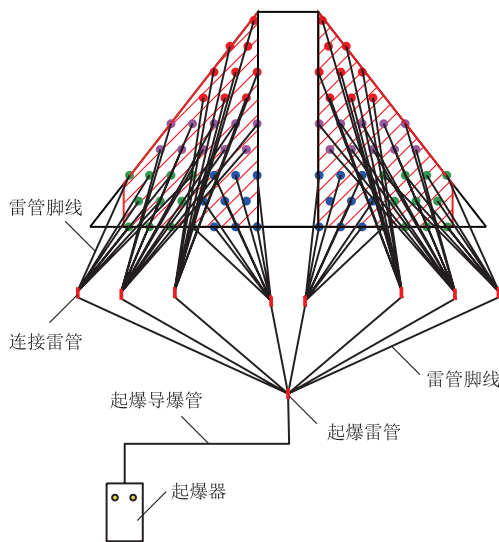


图5 起爆网络示意

Fig.5 The detonation network

3.3.4 起爆站(点)设置

本工程起爆站拟设置在工地东侧围墙外。

4 爆破安全措施

爆破工程质量和安全密不可分,本工程邻近双柏路等交通干线,需保护汉实创意园等重要建筑,必须严格控制爆破振动的影响,以确保周边环境的安全。必须严格控制飞石在基地范围以内;必须控制爆破噪声、烟尘、冲击波对周围的影响;保证组织爆破一次成功。采取的相关安全措施如下^[11-15]。

4.1 爆破振动的控制

4.1.1 爆破振动计算

根据爆破安全规程给出的公式:

$$V=K(Q^{1/3}/R)^\alpha$$

式中: V ——振速,cm/s; K ——传递介质参数,取值 100; Q ——一次起爆药量,2.925 kg; R ——爆破中心至重点保护目标的最近距离(汉实创意园 23.435 m); α ——衰减系数,取值 2。

计算得: $V=0.372$ cm/s。计算结果远低于国家安全振动规定(2.5 cm/s),是充分安全的。

4.1.2 塌落触地振动计算

按照中科院工程力学研究所根据工程实测数据提出的触地冲击振动公式:

$$V_c=0.08(I^{1/3}/R)^{1.67}$$

式中: V_c ——爆破坍塌物冲击地面引起离触地点某处的地表振动速度,cm/s; R ——离冲击触地点的距离,m(汉实创意园 40.7 m,见图 6); I ——冲击触地冲量, $I=M(2gh)^{1/2}$; M ——爆破坍塌物建筑质量,通过查阅图纸水塔筒身共 61.64 m³,水箱 30.12 m³,钢筋混凝土密度约 2.5 t/m³,水塔质量 M 为 (61.64+30.12)×2.5=229.4 t; h ——爆破坍塌物的建筑中心落差,爆破前中心落差 35 m,爆破后中心落差 32.75 m(水塔高度 35 m,爆破缺口高度 2.25 m)。

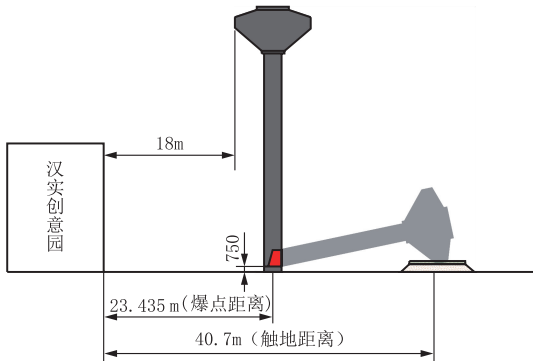


图 6 爆点距离及触地距离示意

Fig.6 The blasting point distance and touchdown distance

触地冲量: $I=M(2gh)^{1/2}=229400\times(2\times9.8\times20)^{1/2}=5812020$ kg·m/s。

$V_c=0.08(I^{1/3}/R)^{1.67}=0.08\times(5812020^{1/3}/40.7)^{1.67}=0.956$ cm/s。

经计算: $V_c=0.956$ cm/s,塌落振动远小于国家规定 2.5 cm/s 的标准,亦充分安全。

4.1.3 振动的控制措施

- (1)单段起爆药量控制在 2.925 kg 以下。
- (2)塌落点垫铺黄砂堆,砂堆上方铺设草袋,减

弱塌落触地振动的影响。

4.2 爆破飞石的控制

4.2.1 爆破飞石计算

根据爆破手册所给公式 $R=70q^{0.58}$,当炸药单耗 q 取 2.5 kg/m³、未采取任何防护手段时,个别飞石最大距离为 119 m。本工程采用双层防护帘,最大飞石距离为计算值的 49%,即 $110\times49\%=58.31$ m。

4.2.2 爆破飞石的控制措施

为了将飞石控制在基地范围以内,确保周围环境的安全,具体采取的措施如下:

(1)严格执行防护方案,搭建封闭防护帘。本工程采用主动防护方式,搭建封闭防护帘(双层竹笆加一层密目网)。在爆体上方钻孔,插入挂杆。待装药施工、网络连接后,将准备好的防护帘挂上。防护帘示意及实物见图 7、图 8。

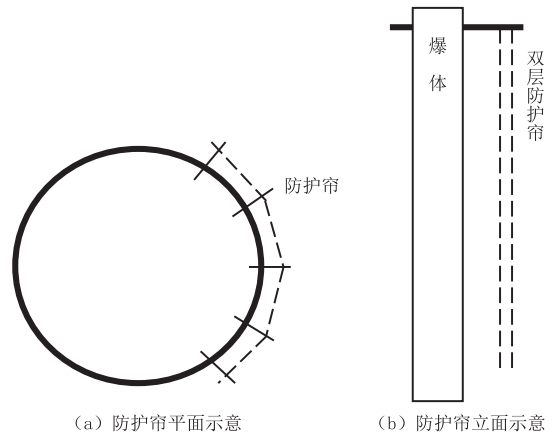


图 7 防护帘示意

Fig.7 Protective curtain



图 8 防护帘实物

Fig.8 Protective curtain at site

(2)选择最佳爆破时间,在路上车流人流量较少的时段进行爆破。

(3)为确保工程安全的万无一失,爆破时请110指挥中心协助警戒。

(4)严格把握好装药关,炮孔采用黄粘土堵塞,堵塞要求密实,确保爆破的质量和安

(5)塌落点垫铺黄砂堆,砂堆上方铺设草袋,防止触地时的二次飞溅。

4.3 噪声的控制

爆破时会产生一定的声响,虽然声响不大,犹如鞭炮声一般,但仍需尽量减小爆破声响,以避免引起周围人员的惊慌。具体控制措施为:

(1)与周边单位建立密切关系,加强协调工作,爆破前召开协调会,选择合适的爆破时间。

(2)爆破前1天,张贴爆破告知,通知所有周围邻近工作和生活的人员。

(3)保证炮孔的堵塞长度与堵塞质量,避免冲炮。

4.4 炮烟扬尘控制

工业炸药爆炸时会产生一定的炮烟,并且会由于爆破时产生一定的扬尘,采取的具体防范措施有:

(1)加强炸药的防水防潮,保证良好的堵塞,避免炸药产生不完全的爆炸反应;

(2)搭建封闭防护帘,再铺一层绿网,用以遮挡缓解烟尘;

(3)爆破后,采用洒水车及时洒水降烟降尘。

4.5 火工品安全管理

(1)爆炸物品的管理严格按照《民用爆破物品安全管理条例》(国务院令 第466号)、《爆破安全规程》(GB 6722—2014)及有关规定执行。

(2)切实加强对爆破物品的管理,严格按照公安部对爆破物品管理的有关规定。爆炸物品进入施工现场时必须派专职安全人员看管,现场操作时由安全员负责监督和检查,做到万无一失。爆破现场作好安全隔离带。无关人员一律不准进入爆破现场。

(3)严格按照安全规则施工,加强对施工队伍法纪安全教育。加强火工品在运输、贮存、使用各个环节中的管理和监督。

(4)爆破所需火工品采用武装押运至工地现场。

(5)与建设单位作好爆破前后全方位的安全协调工作,制定爆破安全预案。

(6)与公安部门、周围相关单位密切配合,做到

安全、文明施工。施工期间工地外围派10余名保安全程进行巡逻警戒;工地内部不设临时药库,当次火工品当次使用,做到准确无误;火工品进入施工现场后,工地内部非爆破人员全部撤离。

(7)临时用电,遵守有关规定进行,施工机械设备的安全防护装置,严格按照有关的安全技术规程配置,并做到定机、定人、定岗位。施工现场安装多个摄像头,专人监控,并拷贝留底。

4.6 安全警戒与撤离区域

4.6.1 爆前警戒准备工作

(1)爆破前召集110指挥中心、周边单位、街道、社区等部门召开协调会,就爆破时间等事项达成共识。

(2)根据协调会达成的共识和警戒要求,确定道路的疏散范围,道路的疏散主要靠交警执行。爆破时间确定为14:30。

(3)爆破前,在工地四周、进出口、周边单位出入口等醒目地方张贴爆破告知,告知爆破时间和注意事项。

(4)工地内的所有工作人员,爆破前均撤离到警戒距离以外的地方。

4.6.2 装药时的警戒

(1)装药时将工地清场,无关人员全部撤离场地。

(2)安排警戒点。

4.6.3 爆破时的警戒

(1)爆前30 min:场地内部清场完毕,总包单位与我方签证确认。

(2)爆前20 min:各警戒点到岗,配备对讲机通话确认。

(3)爆前10 min:各警戒点封锁行人及非机动车,拉好红白安全带。

(4)爆前5 min:发爆破预备警报,封锁路面所有机动车。

(5)正时:发起爆警报。指挥员下令:总网络接线—充电—一—四—三—二—一—一起爆。

(6)爆后5 min:正常现场检查无误,解除警戒,发解除警报。

4.6.4 撤离区域

本工程撤离区域与设定警戒区相符,四周距50 m以外。警戒区共设置7个警戒点,每个警戒点安排2名警戒人员,起爆点位于5号警戒点位置。参

见图 9。

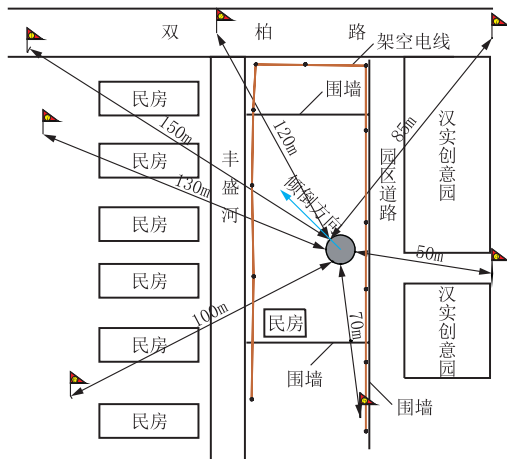


图 9 安全警示区

Fig.9 Safety warning zone

5 爆破效果

本工程通过和相关部门、单位的协商,爆破时间确定为下午 14:30,根据监控录像设备显示,起爆后 3 s,水塔向预定倾斜,无后座现象,由于水塔上部较重,倾倒速度较快,约 7 s 后触地,触地时水塔头部发生了分解,2 min 后洒水车进行洒水降尘,爆破后 10 min 扬尘散去。经过现场观察,水塔倾倒方向准确,爆破飞石全部控制在警戒范围以内,未对周边管线和建筑物造成任何影响。爆破取得较好的效果。爆破倒塌及爆破后效果见图 10。



图 10 爆破瞬间及爆破效果

Fig.10 The blasting moment and blasting effect

6 结语

(1)爆破前对水塔的预处理工作相当重要,减少了火工品的使用量,提高了定向的准确性。尤其是定向窗爆前开设的准确性,为定向准确性提供了有力保障。

(2)采用主动加被动的防护方法,减少了爆破负效应的影响;尤其是采用铺设黄沙和草袋,既减少爆破振动对周围建筑管线的影响,又有效控制了水塔触地时造成的二次飞溅。

参考文献 (References):

[1] 谢春明.基于爆炸载荷的框架结构建筑物拆除数值模拟研究[D].北京:北京理工大学,2016.
XIE Chunming. Numerical simulation study of frame structure buildings demolition based on blasting load[D]. Beijing: Beijing Institute of Technology, 2016.

[2] 曲广建,崔允武,吴岩,等.温州 93m 高结构不对称楼房拆除爆破[C]//汪旭光.中国典型爆破工程与技术.北京:冶金工业出版社,2006:615-620.
QU Guangjian, CUI Yunwu, WU Yan, et al. The asymmetry structure building high 93m demolished by blasting in Wenzhou[C]// WANG Xuguang. Chinese typical blasting engineering and technology. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2006:615-620.

[3] 徐建军,赵全顺.定向爆破拆除框架厂房[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(11):78-80.
XU Jianjun, ZHAO Quanshun. Demolition of frame-structured workshop by directional blasting[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2008,35(11):78-80.

[4] 陈冲.大型基坑内支撑体系爆破拆除技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(2):80-84.
CHEN Chong. Blasting demolition technology of internal supporting system for large foundation pit[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012,39(2):80-84.

[5] 郑文富,张文龙,陈少辉.复杂环境下 120m 高烟囱定向爆破拆除[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(1):89-92.

- ZHENG Wenfu, ZHANG Wenlong, CHEN Shaohui. Directional blasting demolition of a 120m chimney in complex environment[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(1):89-92.
- [6] 罗福友,陶明,王云茂,等.复杂环境下薄壁式倒锥形水塔爆破拆除[J].工程爆破,2019,25(1):38-44.
LUO Fuyou, TAO Ming, WANG Yunmao, et al. Blasting demolition of thin-walled inverted cone water tower in complex environment[J]. Engineering Blasting, 2019,25(1):38-44.
- [7] 谢先启,刘昌邦,贾永胜,等.38 m 高倒锥形钢筋混凝土水塔控爆拆除[J].爆破,2009,26(2):61-63.
XIE Xianqi, LIU Changbang, JIA Yongsheng, et al. Controlled blasting demolition of 38m high reverse cone-shape RC water-tower[J]. Blasting, 2009,26(2):61-63.
- [8] 陈仲超.三方向近距离有保护物的楼房爆破拆除技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(7):81-84.
CHEN Zhongchao. Demolition blasting technology for a building with close-range existing facilities in three directions[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015,42(7):81-84.
- [9] 温尊礼,顾月兵,韩文红.基坑围护钢筋混凝土支撑精确爆破拆除[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(3):80-84.
WEN Zunli, GU Yuebing, HAN Wenhong. Accurate blasting demotion of reinforced concrete support for foundation pit enclosure[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015,42(3):80-84.
- [10] 汪旭光,于亚伦.拆除爆破理论与工程实例[M].北京:人民交通出版社,2008.
WANG Xuguang, YU Yalun. Blasting demolition theory and engineering examples [M]. Beijing: China Communications Press, 2008.
- [11] 周家汉,陈善良,杨业敏,等.爆破拆除建筑物时震动安全距离的确定[J].爆破,1993(S2):165-169,174.
ZHOU Jiahuan, CHEN Shanliang, YANG Yemin, et al. Determination of vibration safety distance in blasting demolition of buildings[J]. Blasting,1993(S2):165-169,174.
- [12] 许名标.高耸构筑物爆破拆除触地振动试验研究[J].工程爆破,2015,21(2):30-35.
XU Mingbiao. Experimental study on blasting demolition touchdown vibration of the towering structure[J]. Engineering Blasting, 2015,21(2):30-35.
- [13] 林飞.大型构筑物拆除爆破振动与塌落触地振动分析[J].爆破器材,2019,48(5):61-64.
LIN Fei. Analysis of blasting vibration and collapse ground-touching vibration in demolition of large structures[J]. Explosive Materials, 2019,48(5):61-64.
- [14] 季杉,谢伟平,王礼.爆破振动与塌落触地振动特点及传播规律试验研究[J].振动与冲击,2018,37(11):195-201.
JI Shan, XIE Weiping, WANG Li. Tests for ground vibration characteristics and propagation laws due to blasting and touchdown impact[J]. Journal of Vibration and Shock, 2018, 37(11):195-201.
- [15] 刘铭.爆破拆除建筑物塌落与触地振动响应分析[D].武汉:武汉理工大学,2014.
LIU Ming. Analysis of buildings collapsing by blasting demolition and touchdown vibration response[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2014.

(编辑 王建华)

(上接第 80 页)

- [9] GB 50007-2011,建筑地基基础设计规范[S].
GB 50007-2011, Code for design of building foundation[S].
- [10] 史佩栋.桩基工程手册[M].北京:人民交通出版社,2008:568-587.
SHI Peidong. Pile and pile foundation handbook[M]. Beijing: China Communications Press, 2008:568-587.
- [11] JGJ 94-2008,建筑桩基技术规范[S].
JGJ 94-2008, Technical code for building pile foundation[S].
- [12] 罗晓伟,车国喜,刘斯全.复杂环境工况下大型深基坑工程施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(2):86-91.
LUO Xiaowei, CHE Guoxi, LIU Siqian. Construction technology of large deep foundation pit engineering under complex environmental conditions[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(2):86-91.
- [13] 林书成,周振荣,唐咸远.复杂环境中深基坑综合支护设计与施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(1):70-74.
LIN Shucheng, ZHOU Zhenrong, TANG Xianyuan. Design of comprehensive supporting for deep foundation pit in complex environment and the construction technology[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(1):70-74.
- [14] GB 50497-2009,建筑基坑工程监测技术规范[S].
GB 50497-2009, Technical code for monitoring of building foundation pit engineering[S].
- [15] 杨春柳.地铁车站超深基坑围护结构变形监测结果分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(6):47-51.
YANG Chunliu. Analysis on deformation monitoring results of retaining structure in subway extra-deep foundation pit[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(6):47-51.
- [16] 孙廷仁.基坑竖向位移监测与地表沉降分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(7):76-80.
SUN Tingren. Monitoring of foundation pit vertical displacement and analysis on surface settlement[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017, 44(7):76-80.

(编辑 周红军)