

doi:10.3963/j.issn.1001-487X.2025.04.013

深孔爆破技术在钢混筒支梁桥拆除中的应用*

伍岳¹, 贾永胜^{1,2a,2b}, 程祎平^{2a,2b}, 袁方^{2a,2b}, 张慧颖^{2a,2b}, 王威¹

(1. 武汉爆破有限公司, 武汉 430056; 2. 江汉大学 a. 精细爆破全国重点实验室;

b. 爆破工程湖北省重点实验室, 武汉 430056)

摘要: 在国内一些大体积钢筋混凝土墩柱筒支梁桥拆除爆破中, 桥墩一般采用小孔径水平钻孔爆破作业方法, 该方法存在炮孔数量多、施工工作量大、安全风险高等缺点, 且墩柱的爆破解体效果难以保证。基于某跨河大体积钢筋混凝土实心墩柱筒支梁桥, 运用深孔爆破技术, 采用地质钻机从桥面对桥墩钻凿直径 90 mm 的垂直深孔, 避免了在水面搭设钻孔、装药作业平台等高风险作业过程。针对实心桥墩上窄下宽的结构特点, 设计了“递减式间隔装药结构”, 实现桥墩不同高程截面炸药单耗的精准控制; 采用一体化药包装药工艺, 确保了间隔装药位置的准确性。同时, 对桥梁中跨的上部 T 梁实施小孔径松动爆破, 采用“逐孔起爆、逐跨起爆”的延期方案, 配合“覆盖防护与近体防护相结合”的综合防护措施, 成功实现了大桥从西侧向东侧逐段原地坍塌。爆破结果表明: 桥墩整体爆破效果较好, 桥梁解体充分, 利于后续打捞作业; 爆破振动、飞石等有害效应均控制在安全允许范围以内。该技术可为类似工程提供参考。

关键词: 筒支梁桥; 拆除工程; 深孔爆破; 间隔装药; 倒塌过程

中图分类号: TU746.5 文献标识码: A 文章编号: 1001-487X(2025)04-0115-06

Application of Deep-hole Blasting Technology in Demolition of Steel-concrete Simply Supported Beam Bridge

WU Yue¹, JIA Yong-sheng^{1,2a,2b}, CHENG Yi-ping^{2a,2b}, YUAN Fang^{2a,2b}, ZHANG Hui-ying^{2a,2b}, WANG Wei¹

(1. Wuhan Explosion & Blasting Co., Ltd., Wuhan 430056, China;

2. a. State Key Laboratory of Precision Blasting;

b. Hubei Key Laboratory of Blasting Engineering, Jianghan University, Wuhan 430056, China)

Abstract: In the demolition blasting of some large-volume reinforced concrete pier-column simply supported beam bridges in China, the pier generally adopts the small-diameter horizontal drilling blasting operation method. This method has the disadvantages of a large number of blast holes, a heavy workload, and a high safety risk, and the blasting disintegration effect on the pier column is difficult to guarantee. Based on a river-crossing, large-volume, reinforced concrete, solid-pier, simply supported beam bridge, the deep hole blasting technology is used. The geological drilling rig is used to drill a vertical, deep hole with a diameter of 90 mm from the bridge deck to the pier, thereby avoiding the high-risk operation process of drilling and charging the operation platform on the water surface. According

收稿日期 (Date of reception): 2025-07-02

网络首发日期 (Published online): 2025-10-15

作者简介: 伍岳 (1995-), 男, 硕士、工程师, 主要从事工程爆破研究与实践工作, (E-mail) 179191947@qq.com。

通信作者: 贾永胜 (1970-), 男, 博士、教授, 主要从事工程爆破相关研究与应用工作, (E-mail) 422103951@qq.com。

基金项目: 国家自然科学基金项目 (52478525); 湖北省自然科学基金杰出青年项目 (2024AFA092)

About the author: WU Yue (1995-), male, master, engineer, mainly engaged in engineering blasting research and practice work, (E-mail) 179191947@qq.com.

Corresponding author: JIA Yong-sheng (1970-), male, Ph. D, professor, mainly engaged in research and application of engineering blasting, (E-mail) 422103951@qq.com.

Fund Programs: National Natural Science Foundation Project (52478525), Outstanding Youth Project of Hubei Provincial Natural Science Foundation (2024AFA092)

to the structural characteristics of the narrow upper and wide lower width of the solid pier, a “decreasing decking charge structure” is designed to realize the precise control of the powder factor of different elevation sections of the pier. The integrated charge process is adopted to ensure the accuracy of the decked charge position. At the same time, the small-hole-diameter loose blasting was carried out on the upper T-beam of the middle span of the bridge. The delay scheme of “hole-by-hole initiation and span-by-span initiation” was adopted, and the comprehensive protection measures of “combination of coverage protection and near-body protection” were adopted to successfully realize the in-situ collapse of the bridge from the west to the east. The blasting results indicate that the overall blasting effect on the pier is satisfactory; the bridge has been entirely disintegrated, which is conducive to the subsequent salvage operation. The harmful effects, such as blasting vibration and flying rock, are controlled within the allowable safety range.

Key words: simply supported beam bridge; demolition project; deep hole blasting; decking charge; collapse process

钢筋混凝土简支梁桥作为一种常见的桥梁结构形式,在过去的交通建设中发挥了重要作用。然而,随着公路交通量与道路服役年限的增长,许多老旧钢筋混凝土简支梁桥因荷载等级或结构健康状况不能满足现有通行要求,需要进行拆除重建^[1,2]。

在桥梁拆除方法中,爆破拆除具有施工速度快、拆除效率高、对周边环境影响相对较小等优点,尤其适用于大型桥梁的拆除^[3-6]。大孔径深孔爆破技术作为爆破拆除的一种重要手段,能够一次爆破破碎较大体积的钢筋混凝土,施工效率高,已被技术人员应用于多项桥梁拆除工程。毛益松等采用大直径深孔爆破技术^[7,8],先后成功实施了张家界鹭鸶湾板肋石拱桥、吉安赣江特大桥爆破拆除。蔡小虎采用垂直深孔爆破法对漳州东立交桥实施了爆破拆除^[9],达到了预期效果。刘国军等采用浅孔爆破和深孔爆破相结合的方案^[10],对酒银桥实施了爆破拆除。蒋跃飞等在双侧紧贴运营新桥的西安门大桥拆除工程中^[11],采用浅孔结合深孔的钻孔方式以及“一孔三段”的装药结构设计,成功爆破拆除了该上承式钢筋混凝土钢架式双曲拱桥。李兵等采用70 mm 炮孔直径、十字交叉水平钻孔方式^[12],成功爆破拆除了预应力现浇连续梁结构的融汇2桥。王升等综合运用深孔爆破、全节点浅孔爆破及长延时分区孔外起爆技术^[13],爆破拆除了一座钢筋混凝土双曲拱桥。大孔径深孔爆破的单孔装药量较大,对爆破飞石及振动控制不力,因受钢筋混凝土简支梁桥的结构特点、周边环境等因素限制,现有的应用案例较少。

结合某大体积钢筋混凝土墩柱简支梁桥拆除工程,应用深孔爆破技术,通过合理设计炮孔参数、装药结构和起爆网路,采用一体化药包装药工艺,实现了桥梁的有效破碎和倒塌控制,确保了拆除工程安全、高效地进行,可为类似工程提供借鉴。

1 工程概况

1.1 桥梁结构

长岭大桥位于鄂州市沪渝高速公路,于1989年正式建成通车。大桥全长127.4 m,为一级公路专用桥梁,设计为上下行两座独立的三跨装配式预应力钢筋混凝土简支梁桥,桥跨组合为3 m×40 m,桥面全宽24.0 m,桥面全净宽21.5 m,桥型布置如图1所示。大桥上部结构为3孔40 m装配式预应力混凝土简支T梁,全桥由12片边梁、18片中梁组成,混凝土强度为C30,上部结构如图2所示。下部结构从西侧至东侧依次为0#桥台、1#(2#)桥墩、3#(4#)桥墩、5#桥台,2#、4#桥墩在北侧。大桥桥墩为挑臂重力式桥墩,上窄下宽实心墩柱,底部宽为7.2 m、厚度为3.2 m,顶部宽为5.8 m、厚度为1.8 m,1#、2#桥墩墩柱高为14 m,3#、4#桥墩墩柱高为13 m,混凝土强度为C15,参入少于25%的片石。桥墩墩顶与帽梁相连,帽梁尺寸为10.1 m×2.2 m×1.6 m,混凝土强度为C20。桥墩结构如图3所示,图中括号内数字为3#(4#)桥墩结构尺寸。

1.2 周边环境

大桥周边环境复杂,桥址两侧民房密集,如图4所示。大桥东北岸为团结村,距离最近民房55 m;东南侧为涂家咀,距离最近民房为107 m;西南侧距离红旗橡胶机电有限公司活动板房最近为41 m,距离其厂房最近为75 m;西北侧为杨方村,距离最近民房为44 m;北侧沿新港河下游为002县道,距离002县道东长岭大桥最近距离为100 m。大桥东西方向横跨新港河,河面宽约60 m,水深最深为4.5 m。

1.3 重难点分析

1) 大桥两侧民房密集且多为40多年历史的老旧房屋,南侧距离新建施工钢便桥仅4 m,周边环境极其复杂,需严格控制爆破有害效应。

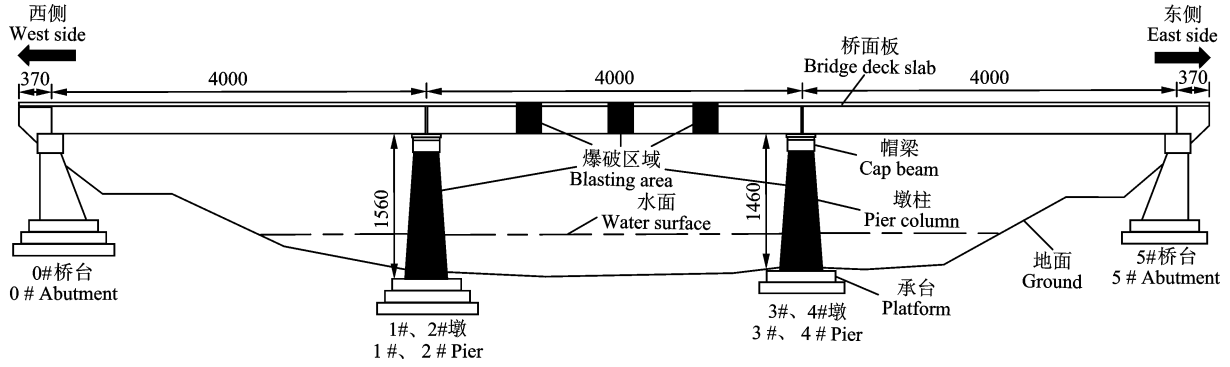


图 1 桥梁桥型图(单位:cm)
Fig. 1 Bridge type diagram(unit:cm)

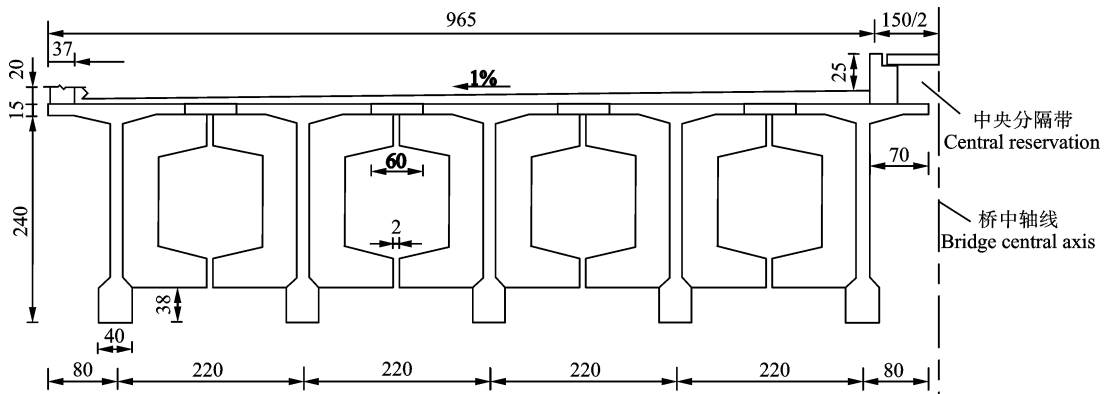


图 2 桥梁上部结构示意图(单位:cm)
Fig. 2 Schematic diagram of bridge superstructure(unit:cm)

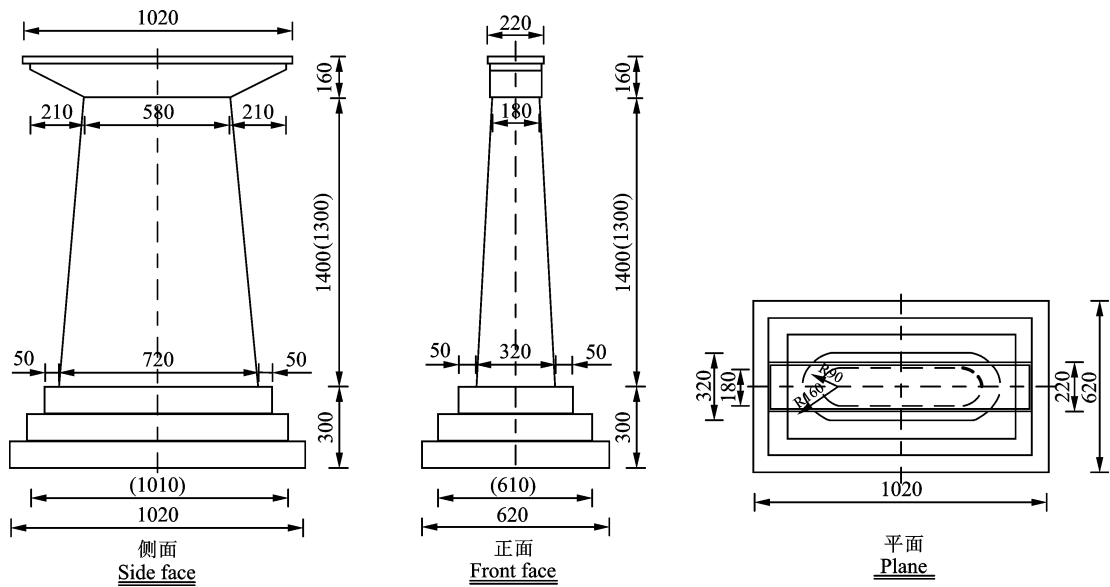


图 3 桥梁下部结构示意图(单位:cm)
Fig. 3 Schematic diagram of bridge substructure(unit:cm)

2) 大桥桥墩为大体积混凝土,爆破破碎难度较大,且桥墩需要拆除至水面以下 2.5 m,确保河道的通航深度,需选取合理的爆破方案和爆破参数。

3) 涂家咀湾和方家湾进出乡道分别从大桥东侧和西侧桥头下穿,拆除时需确保两条道路交通顺

畅,施工组织难度大。

2 爆破方案设计

2.1 总体爆破方案

根据桥梁结构及周边环境特点,采用“大孔径

深孔逐层逐段原地坍塌”的总体爆破方案。对大桥桥墩实施中深孔爆破,使桥梁上部结构失稳塌落至地面,再采用机械方式对桥体上部结构进行破除。

对中跨的上部T梁进行钻孔松动爆破,便于爆后打捞。爆破区域如图1所示。

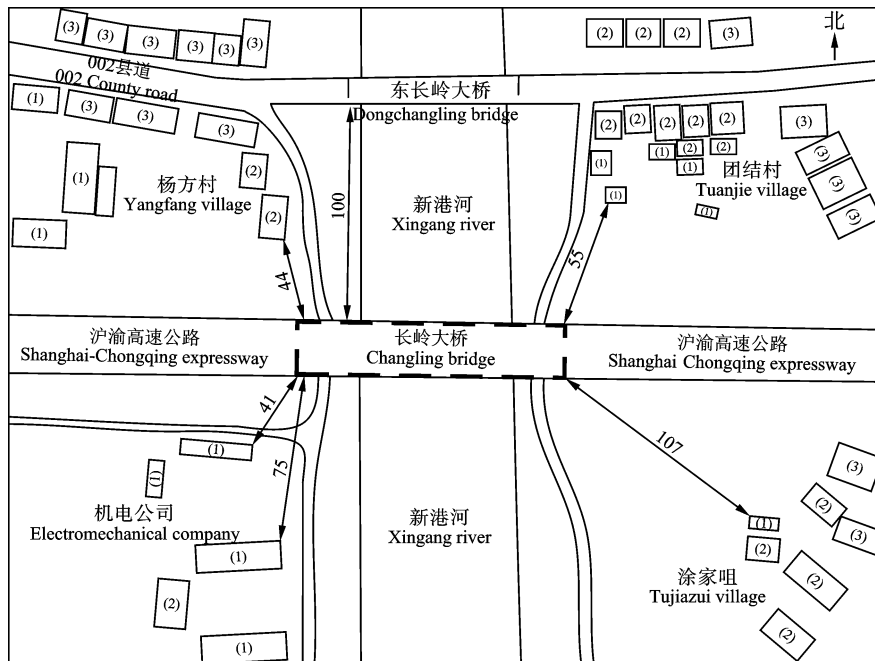


图4 周边环境图(单位:m)

Fig. 4 Surrounding environment diagram(unit:m)

2.2 预拆除与预处理

对桥面的附属设施如栏杆、沥青层等进行清除,漏出桥墩上部区域T梁结构。再采用机械方式,将桥梁中跨左右幅T梁的爆破区域顶板(翼板)进行破除,以增强爆破效果。

2.3 爆破参数设计

大桥的主爆破部位为4个墩柱,采用地质钻从桥面对桥墩钻凿竖向深孔,直至底部承台顶部,每个墩柱钻凿4个炮孔,炮孔直径为90 mm,炮孔深度14.6~15.6 m。炮孔布置及装药结构如图5所示,括号内数字为3#(4#)桥墩尺寸。墩柱水位线以下部分采用 $\phi 70$ mm乳化药卷连续装填,水面以上采用 $\phi 32$ mm药卷并列装填(中部3支,上部2支),间隔装药形式。间隔装置使用 $\phi 60$ mm的PVC管装填细沙或不装填,将PVC管两头使用塑料盖封堵制作而成。墩柱深孔采用一体化药包装药技术,使用3根 $\phi 6$ mm编织绳作为受力保护绳,底部系在配重铁块的吊耳上,使用胶带将乳化药柱、间隔装置、工业电子雷管脚线和编织绳缠绕为一个整体,从桥面下放至墩柱炮孔内,炮孔顶部使用细砂石堵塞。

T梁共3个爆破区域,分别在中跨的1/4、2/4、3/4长度位置。采用风动凿岩钻机从T梁顶部钻孔,每个爆破区域的T梁钻凿2个炮孔,孔径

$\phi 40$ mm,孔深1.6 m。采用4个药包间隔装药,单个药包37.5 g,间隔材料为细沙,间隔长度20 cm。见表1。

2.4 起爆网路设计

采用工业电子雷管延时起爆网路,一次性爆破大桥,使大桥逐段原地坍塌。深孔爆破产生的振动危害效应相对较大,设计采用“逐孔起爆、逐跨起爆”的延时方式,来控制爆破振动及桥体塌落振动叠加效应。总体起爆顺序为:1#桥墩→2#桥墩→3#桥墩→4#桥墩→T梁。3、4#桥墩分别延时1、2#桥墩500 ms,T梁延时3#桥墩500 ms。同时,2#、4#桥墩分别延时1#、3#桥墩200 ms;每个墩柱的炮孔之间从南向北设置延时时间15 ms,每个炮孔从下往上以设置三个延时间隔,延时时间50 ms。

2.5 安全防护措施

采用“覆盖防护与近体防护相结合”的综合防护措施控制爆破个别飞散物,具体措施如下:

- 1) 作业排架搭设,对长岭大桥东西两岸桥搭设作业排架;
- 2) 钢管架外侧先捆绑双层竹笆,钢管架内侧捆绑一层竹跳板,作业排架外侧采用多层密目黑网防护;
- 3) 桥面采用一层胶皮进行覆盖,最后覆盖沙袋。

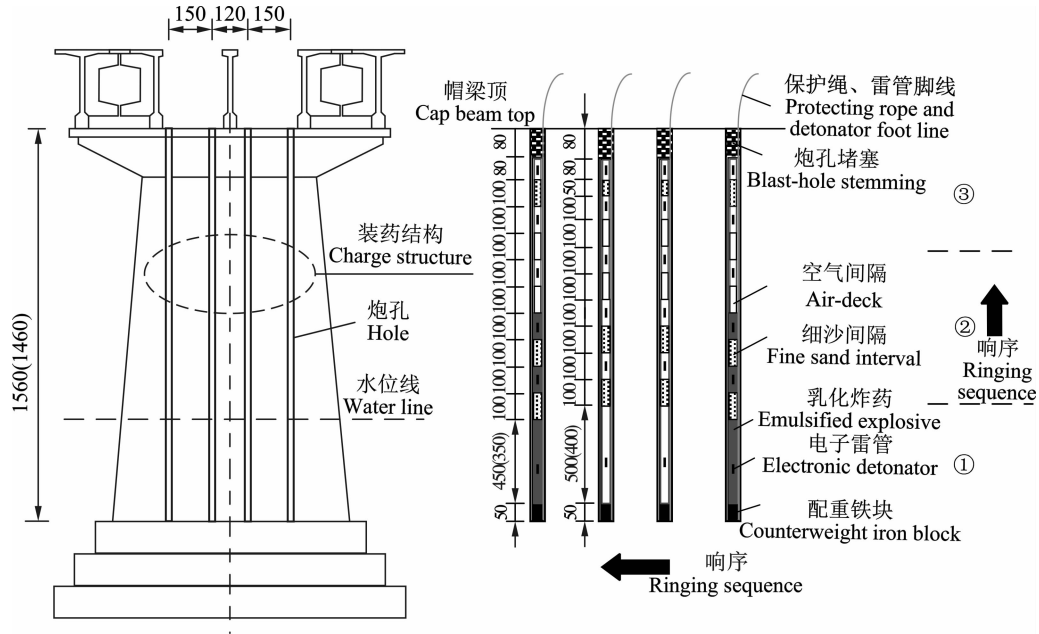


图 5 桥墩炮孔布置及装药结构示意图(单位:cm)

Fig. 5 Pier blast hole layout and charge structure diagram(unit:cm)

表 1 爆破参数表

Table 1 Table of blasting parameters

部位 Blasting site	孔径 Blast hole diameter D/mm	孔距 Blast hole spacing/m	孔深 Blast hole depth/m	堵塞长度 Stemming length/m	装药形式 Charge structure	平均单耗 Average powder factor/ (g · m ⁻³)	孔数 Hole number	单孔装药量 Single hole charge/kg	总装药量 Total charge/kg
1#,2#桥墩 1 #,2 # Bridge pier	90	1.2/1.5	15.6	0.9	间隔装药 Decking charge	500	8	边孔:29.4 Side hole:29.4 中孔:31.4 Middle hole:31.4	243.2
3#,4#桥墩 3 #,4 # Bridge pier	90	1.2/1.5	14.6	0.9		500	8	边孔:25.4 Side hole:25.4 中孔:27.4 Middle hole:27.4	211.2
T 梁 T beam	40	0.3	1.6	0.6		500	60	0.15	9.0

3 爆破效果

起爆后,长岭大桥按预定设计顺序逐段原地坍塌。由于第 1 跨和第 3 跨 T 梁受到两侧河岸的影

响,破碎后中间跨渣块落于新港河中,两边跨落于岸上,桥体实际塌落时间约 2.4 s。爆破飞散物最大飞散距离约 10 m,未对周边环境造成影响,见图 6。



图 6 爆破过程

Fig. 6 Blasting process

通过爆破振动安全监测,东北、西北侧民房及西南侧板房处的质点振动速度峰值分别为 0.33 cm/s、1.06 cm/s 和 0.38 cm/s,均满足《爆破安全规程》(GB6722—2014)相关规定,爆破未对周边建筑物造成损坏。爆破后岸上渣块于 24 h 内破碎清理完成,新港河中渣块于 5 d 内打捞完毕。

4 结论

1) 采用深孔爆破技术,成功拆除了 127 m 长大体积钢筋混凝土实心墩柱筒支梁桥,使得桥梁逐段原地塌落,爆破效果良好。

2) 针对上窄下宽大体积钢筋混凝土桥墩结构的竖向深孔,采用“递减式间隔装药结构”的一体化药包和“逐孔起爆、逐跨起爆”的延期方案设计,在保证爆破效果的同时,可有效控制爆破振动及桥体塌落振动叠加效应。

3) 深孔爆破技术的应用大大提高了跨河桥梁拆除的施工效率和安全性,节约了施工成本,可为类似跨河桥梁拆除工程提供借鉴。

参考文献 (References)

- [1] 谢先启. 拆除爆破技术的发展与展望[J]. 爆破, 2019, 36(2):1-11.
- [1] XIE Xian-qi. Development situation and trend of demolition blasting technology[J]. Blasting, 2019, 36(2):1-11. (in Chinese)
- [2] 宋锦泉,郑炳旭. 我国爆破行业发展面临的问题与思考[J]. 工程爆破, 2017, 23(5):91-94.
- [2] SONG Jin-quan, ZHENG Bin-xu. Problems and thinking on the development of blasting industry in China[J]. Engineering Blasting, 2017, 23(5):91-94. (in Chinese)
- [3] 谢先启. 我国爆破行业高质量发展若干问题探讨[J]. 工程爆破, 2024, 30(5):1-10.
- [3] XIE Xian-qi. Discussion on several issues of high-quality development of the explosives and blasting industry in China[J]. Engineering Blasting, 2024, 30(5):1-10. (in Chinese)
- [4] 贾永胜,孙金山,姚颖康,等. 我国拆除爆破研究进展与展望(1994-2024)[J]. 工程爆破, 2024, 30(5):45-60.
- [4] JIA Yong-sheng, SUN Jin-shan, YAO Ying-kang, et al. Research progress and prospect of demolition blasting in China (1994-2024) [J]. Engineering Blasting, 2024, 30(5):45-60. (in Chinese)
- [5] 胡志坚,张周煜,张永涛,等. 双柱墩混凝土梁桥爆破拆除倒塌过程与机理研究[J]. 中国公路学报, 2024, 37(5):67-79.
- [5] HU Zhi-jian, ZHANG Zhou-yu, ZHANG Yong-tao, et al. Investigation of explosive collapse process and mechanism of girder bridges with double-column piers [J]. China Journal of Highway and Transport, 2024, 37(5):67-79. (in Chinese)
- [6] SONG Kai-wen, LI Xin-ping, LUO Yi, et al. Determination of blasting load history in boreholes based on a variable-mass thermodynamic system[J]. European Journal of Environmental and Civil Engineering, 2022, 26(16):8152-8167.
- [7] 毛益松,王升,单志国,等. 深孔爆破技术在板肋石拱桥爆破拆除中的应用[J]. 爆破器材, 2013, 42(1):35-38.
- [7] MAO Yi-song, WANG Sheng, SHAN Zhi-guo, et al. The application of deep-hole blasting technology in the blasting demolition of ribbed slab stone arch bridge[J]. Blasting Materials, 2013, 42(1):35-38. (in Chinese)
- [8] 毛益松,单志国,陈志阳,等. 吉安赣江特大桥控制爆破拆除技术研究[J]. 采矿技术, 2020, 20(6):178-182.
- [8] MAO Yi-song, SHAN Zhi-guo, CHEN Zhi-yang, et al. Study on controlled blasting demolition technology of Ji'an Ganjiang Bridge [J]. Mining Technology, 2020, 20(6):178-182. (in Chinese)
- [9] 蔡小虎. 大型立交桥中深孔爆破钻孔施工控制[J]. 爆破, 2016, 33(2):113-116.
- [9] CAI Xiao-hu. Drilling control of deep hole blasting in large cross bridge [J]. Blasting, 2016, 33(2):113-116. (in Chinese)
- [10] 刘国军,梁锐,杨元兵. 复杂环境下钢筋混凝土筒支梁式桥爆破拆除[J]. 爆破, 2017, 34(4):115-119.
- [10] LIU Guo-jun, LIANG Rui, YANG Yuan-bing. Explosive demolition of reinforced concrete simply supported beam bridge under complex environment [J]. Blasting, 2017, 34(4):115-119. (in Chinese)
- [11] 蒋跃飞,何贤辉,刘桐,等. 双侧紧贴运营新桥的大型桥梁爆破拆除技术[J]. 工程爆破, 2019, 25(3):32-42.
- [11] JIANG Yue-fei, HE Xian-hui, LIU Tong, et al. The blasting demolition technology of large-scale bridge in close proximity to bilateral new operational bridges [J]. Engineering Blasting, 2019, 25(3):32-42. (in Chinese)
- [12] 李兵,刘桂勇,徐进. 大孔径在桥梁爆破拆除工程中的应用技术研究[J]. 爆破, 2023, 40(2):132-137.
- [12] LI Bing, LIU Gui-yong, XU Jin. Research on application technology of large aperture in bridge blasting and demolition engineering [J]. Blasting, 2023, 40(2):132-137. (in Chinese)
- [13] 王升,易理辉,李猛. 爆破拆除钢筋混凝土双曲拱桥综合技术应用探讨[J]. 采矿技术, 2023, 23(1):183-187.
- [13] WANG Sheng, YI Li-hui, LI Meng. Discussion on the application of comprehensive technology of blasting demolition of reinforced concrete double-curvature arch bridge [J]. Mining Technology, 2023, 23(1):183-187. (in Chinese)