

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2021.04.011

大曲率非对称匝道桥爆破拆除^{*}

黄磊 唐勇 杨建军

南京同大爆破工程有限公司(江苏南京,210007)

[摘 要] 为提高大曲率非对称匝道桥爆破拆除的成功率,针对大曲率非对称匝道桥的特点,以南京市汉中门匝道桥爆破拆除为工程实例,重点介绍了桥台预处理、预留 0.5~1.5 m 桥墩立柱、修筑 1.5~2.5 m 沙袋轮胎缓冲墙及重要管线上方铺设 16 mm 钢板等预处理技术措施和防止滑移的保护措施。在此基础上,为控制桥体塌落过程的姿态,防止侧翻,桥墩起爆顺序选择 50 ms 及 310 ms 两个延期时间,再辅以直接防护、桥墩近距离防护和桥墩远距离防护等爆破飞石防护措施。结果表明,预处理及选择的爆破方案能使上部桥体平稳塌落,未出现侧翻及滑移,选择的飞石防护措施和地下管线保护措施安全有效。

[关键词] 大曲率;非对称;匝道桥;爆破拆除;控制爆破

[分类号] TU746.5

Explosive Demolition of an Asymmetric Ramp Bridge with Large Curvature

HUANG Lei, TANG Yong, YANG Jianjun

Nanjing Tongda Blasting Engineering Co., Ltd. (Jiangsu Nanjing, 210007)

[ABSTRACT] Blasting demolition of the ramp bridge at Hanzhongmen in Nanjing was introduced as an engineering example. In order to improve the success rate of blasting demolition of an asymmetric ramp bridge with large curvature, according to the characteristics of the asymmetric ramp bridge with large curvature, pretreatment technical measures and protection measures to prevent sliding, such as bridge abutment pretreatment, reserving 0.5-1.5 m pier column, building 1.5-2.5 m sand bag tire buffer wall and laying 16 mm steel plate above important pipelines, were mainly introduced. On this basis, in order to control the attitude of bridge collapse and prevent rollover, two delay times of 50 ms and 310 ms were selected for the initiation sequence of piers, supplemented by direct protection, short distance protection and long distance protection. Results show that pre-treatment and blasting scheme can make the upper bridge collapse smoothly without rollover and sliding, and the measures to prevent flying rock and to protect underground pipeline are safe and effective.

[KEYWORDS] large curvature; asymmetry; ramp bridge; explosive demolition; controlled explosive

引言

随着城市交通基础设施的不断发展,部分城市的高架桥因设计缺陷、通行能力不足或工程质量欠佳等问题,已无法满足城市交通出行要求,需要进行拆除改建。相对于机械拆除而言,爆破拆除具有效率高、经济快捷、占用交通时间短等优点^[1]。

然而,城市中的高架桥多位于闹市区,周边环境复杂且人员密集。为控制爆破振动、爆破飞石等危害,多数高架桥爆破拆除仅对桥梁的桥墩处实施爆破,对桥面不做爆破处理,待桥梁的上部箱梁塌落倒

地后,再实施机械破碎。

直线型高架桥上部箱梁在塌落过程中,受力较为简单,塌落姿态容易控制,较为著名的南京市水西门高架桥爆破拆除及武汉市沌阳高架桥爆破拆除均采用此类拆除方式。相较于直线型高架桥,大曲率非对称高架桥在塌落过程中受力复杂,姿态难以控制,极易产生侧翻。

本文中,南京市汉中门匝道桥为典型的急弯、陡坡的大曲率非对称斜桥,以其成功的爆破拆除作为工程实例,重点介绍预处理、爆破方案及爆破参数的选择、起爆顺序和起爆网路以及防护措施等对爆破效果的影响,为今后类似工程的实施提供参考。

^{*} 收稿日期:2021-03-01
第一作者:黄磊(1986-),男,硕士研究生,主要从事爆破工程技术的研究。E-mail:fyhl@qq.com

1 工程概况

1.1 工程环境

汉中南门匝道桥位于南京市扬子江大道与汉中南门大街交叉路口。东段:北侧距天水滨江花园最近距离 35 m,南侧距江苏绿建大厦施工临时用房 15 m、绿建大厦主楼 32 m;中段:东南侧距绿建大厦主楼 68 m,西北侧距离民房 26 m;南段:西侧距离涵碧楼 53 m。地下管线复杂,涉及 $\varnothing 300$ mm 铁质给水管、22 万 V 强电管沟及通信线缆等,爆破区域环境如图 1 所示。

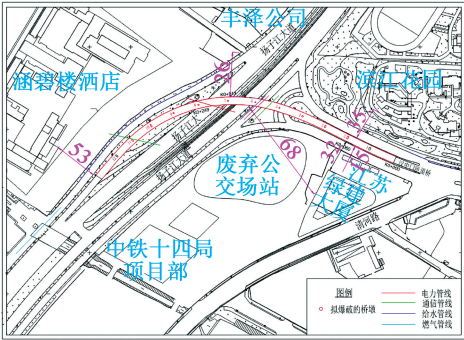


图 1 爆破区域环境示意图(单位:m)

Fig.1 Surroundings scheme of the explosive region(unit:m)

1.2 匝道桥基本结构

1.2.1 平面结构

该桥主体系单箱三室曲线预应力混凝土连续箱梁桥,分 4 联。组合跨径为:3 \times 30 m(I 联)+3 \times 30 m(II 联)+(33+36+33) m(III 联)+4 \times 30 m(IV 联),全长 402 m,平面布置见图 2。

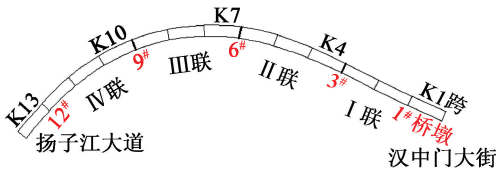


图 2 平面布置示意图

Fig.2 Schematic diagram of layout plan

1.2.2 结构组成

上部结构:为单箱三室预应力混凝土连续箱梁,曲箱体底板和腹板呈曲线弧形布置。桥面宽度 8.75 m,箱梁高度 1.8 m。

基础:分别采用直径 1.0、1.2 m 的钻孔灌注桩,桩柱式钢筋混凝土桥台,花瓶型钢筋混凝土桥墩。

桥墩布筋及高度:桥墩截面为圆角矩形或椭圆形。纵向主筋 $\varnothing 20$ mm,间隔 20 cm;横向箍筋 $\varnothing 12$

mm,底部和墩顶连接块部位间隔 10 cm,其他区域间隔 15 cm。共有 12 座桥墩,相对于地表,桥墩最大高度为 8.27 m,最小高度为 0.30 m,见图 3。

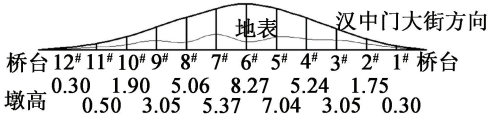


图 3 桥墩高度示意图(单位:m)

Fig.3 Schematic diagram of pier height (unit:m)

1.3 结构特点

汉中南门匝道桥是典型的急弯、陡坡的斜桥,结构上独墩支撑,受力复杂。具体特点:

- 1)弯。全桥呈 90°弯曲,曲率半径 $R=155$ m。
 - 2)坡。桥墩最大高度 8.27 m,最大纵坡 6%。
 - 3)斜。桥面向内侧倾斜,单向横坡 2%。
 - 4)曲面。上部结构箱体底板和腹板均呈弧形布置。
 - 5)独墩。全桥都采用独墩支撑。
- 基于以上特点,桥梁爆破拆除过程中运动姿态难以控制,稳定性较差,易产生侧翻。

2 可能的滑移保护与预处理

2.1 可能的滑移保护

连续箱梁, II 联、III 联(3[#]~9[#]墩)都为整联爆破;跨端箱梁自由支撑,梁端有纵向自由度,桥墩瞬间微差爆破后,整联将整体塌落。因微差间隔极短,桥跨整体瞬间失稳,上部桥体又为 3 跨一联,塌落中时间和结构特征都决定了其塌落姿态不可能整体翻滚,但可能出现极小的横向滑移。

横向滑移会使桥体偏离原有墩位,塌落触地失去原桥墩预留的 1.5 m 缓冲支撑作用。为此,为防止塌落直接接触地,在桥体可能坍塌范围内,在桥墩一侧或两侧,沿着与桥正交或斜交方向砌筑沙袋墙。沙袋墙高度与桥墩预留高度相同,宽 1.5~2.0 m,长度为伸出桥体投影 4.0 m,起到缓冲作用,同时也保护地面,如图 4 所示。

2.2 预处理

I 联、IV 联为局部桥墩爆破,2[#]墩爆破后, I 联第 2 跨将形成悬臂梁,因跨径较长(30 m),此段必将在 1[#]墩处折断塌落。同时,因前跨塌落时的后撑作用,此跨理论上会有纵向微小后移的可能。为确保前跨的自由塌落,为前跨创造自由面,使后撑有自由空间,爆破前采取预处理措施将桥台与 I 联箱梁的连接予以破坏。

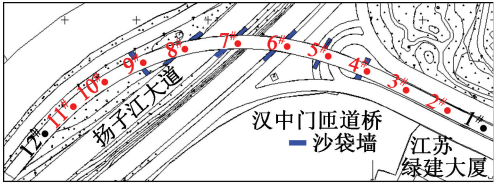


图 4 防滑移矮墙布置示意图
Fig. 4 Layout of anti-skidding parapet

3 爆破设计

3.1 爆破方案

只对桥墩实施爆破,在重力作用下,上部结构平稳地塌落于地面;然后,采用机械法对梁体进行破碎和清除。该方案的优点是:爆破位置较低,爆破飞石控制容易;总装药量小,起爆网路设计简单,起爆可靠性高。

桥墩爆破的钻孔方式有两种:一是大孔径垂直钻孔,即在桥面上钻大孔径的垂直孔,孔径一般为 70 mm 或 90 mm;二是小孔径水平钻孔,即在桥面下方水平钻孔,孔径 40 mm。根据工程的环境条件,结合以往类似工程的成功案例,选择小孔径 40 mm 水平钻孔的爆破方案^[2]。

作为典型的急弯、陡坡、内低外高的大曲率非对称匝道桥,受力结构复杂。通过对起始端桥台的预处理,切断桥体与桥台的连接,确保了桥体塌落过程中的自由空间。延期时间的长短是控制塌落姿态的关键因素。延期时间过长,在偏心力矩的作用下,桥梁上部结构塌落过程中形成侧翻;延期时间过短,大质量的桥体会对地面形成巨大冲击,极有可能会对地下管线和周边建筑物造成损害。

为了保护地面下各种管线,将桥墩的爆破保留高度(预留高度)定为 0.5 ~ 1.5 m。此未爆部分用以缓冲桥体爆破塌落时对地面的冲击,从而减小桥体塌落引起的地面振动危害。据此,对于桥墩净高小于 1.0 m 的 1[#]墩不予爆破,其他桥墩爆破后,对其采用机械破碎法拆除。2[#] ~ 12[#]墩实施爆破拆除。

根据以往工程实践可知,采用预留桥墩立柱、修筑沙袋加轮胎缓冲墙及重要管线上方铺设钢板等措施,能有效防止桥体对地面的直接冲击,保证地下管线的安全。

3.2 参数设计

结合爆破对象的结构特点和结构参数,各桥墩的爆破参数如下^[3]:

1)网孔参数。根据桥墩的截面形式、高度、布

筋情况,网孔参数为:孔间距 $a = (0.40 \pm 0.05) \text{ m}$,排间距 $b = (0.45 \pm 0.05) \text{ m}$,孔深(孔底留厚)为 0.25 m,孔径为 0.04 m。

2)爆破高度(炸高)。爆破高度决定了桥梁上部结构塌落于地面时的稳定性,其值一般约等于桥墩的高度,在 1.5 ~ 6.0 m 之间。为了减小桥体塌落对地面的冲击,底排孔地面高度取 0.5 ~ 1.5 m,桥墩顶部留 0.4 ~ 1.0 m。因此,爆破高度 $H = \text{桥墩高度} - \text{底排孔地面高度} - \text{桥墩顶部留空高度}$ 。拟爆破的桥墩高度详见表 1。

表 1 爆破桥墩高度

Tab. 1 Height of pier to be blasted

m			
墩号	墩身净高	底排孔高	炸高
2 [#]	1.8	0.5	0.90
3 [#]	3.1	0.5	1.80
4 [#]	5.2	0.5	4.05
5 [#]	7.1	1.5	4.95
6 [#]	8.3	1.5	6.30
7 [#]	5.4	0.5	4.50
8 [#]	5.0	1.0	3.60
9 [#]	3.0	0.5	1.80
10 [#]	1.6	0.5	0.45
11 [#]	1.8	0.5	0.90
12 [#]	1.1	0.5	0.45

3)爆破单耗及单孔装药量。根据桥墩配筋情况和工程实践经验,爆破单耗 1.8 ~ 2.9 kg/m³。为了确保爆破效果同时控制爆破飞石,同一桥墩爆破时,边孔和上部的孔单耗降低。孔深 1.10 ~ 1.20 m,单孔装药量为 600 ~ 1 000 g,中间孔连续装药,边孔间隔装药。边孔底部 300 g,中间填塞 0.25 m,外部再装 300 g,填塞 0.25 ~ 0.30 m。以炸高最高的 6[#]墩为例,其装药参数如表 2 所示。表 2 中,排数为从上往下,列数为从左往右。

表 2 6[#]墩装药参数

Tab. 2 Charge parameter of 6[#] pier

g					
排数	第 1 列	第 2 列	第 3 列	第 4 列	第 5 列
第 1 排	600	800	800	800	600
第 2 ~ 9 排		900	900	900	
第 10 ~ 15 排		900	950	900	
第 16 排		800	800	800	
总装药量	44 100				

3.3 起爆顺序及起爆网路

总体按从东至西的顺序实施爆破,使桥梁上部

结构在重力作用下从东至西逐段塌落于地(图5)。

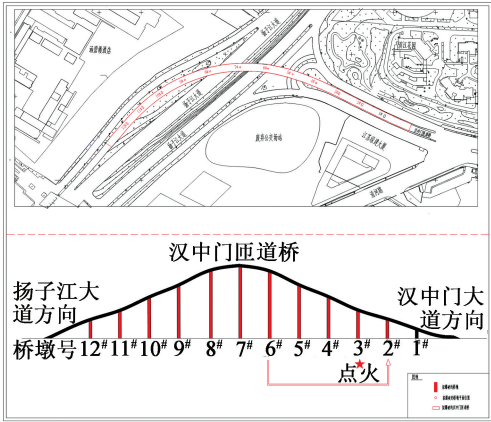


图5 起爆顺序示意图

Fig.5 Schematic diagram of detonating sequence

3#墩为第1段,4#墩为第2段,5#墩为第3段,2#、6#墩为第4段,然后7#~9#墩分别为第5~7段,10#~12#墩为第8段。其中,第1~2段之间采用MS-3段延期雷管接力,延期时间间隔为50 ms;其余段与段之间采用MS-9段延期雷管接力,延期时间间隔为310 ms。11个桥墩(2#~12#墩),孔内选择高段雷管,即半秒HS-5雷管(2 s);孔外导爆管每15~20根构成1簇,每1簇绑扎2发MS-3非电雷管^[4]。

3.4 防护措施

3.4.1 爆破飞石防护措施

1)直接防护措施。对于桥墩等爆破部位,采用2层草帘、1层竹笆、1层钢丝网对桥墩实施覆盖包裹^[5],如图6所示。

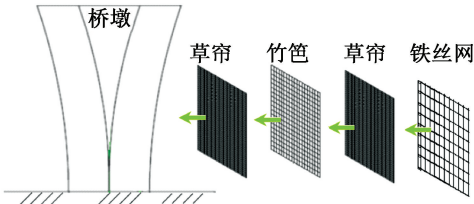


图6 桥墩近体防护示意图

Fig.6 Schematic diagram of pier body protection

2)柱墩的近距离外围防护。距离立柱边缘1 m,搭设防护架,防护架为内侧2层竹篱笆,外侧1层竹篱笆外加1层钢丝网(网格密度为0.8 cm×0.8 cm,钢丝为 $\varnothing 0.6$ mm)。同时,外围防护架四周堆积沙袋,如图7所示。

3)桥墩的远距离外围防护。在外侧自桥面向下斜拉密目安全网(3层)进行加固防护,对周边建筑物实施遮挡式间接防护。如图8所示。



图7 桥墩近距离间接防护图

Fig.7 Indirect protection of pier in close distance



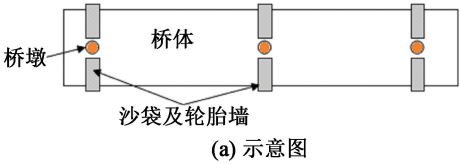
图8 桥墩远距离间接防护图

Fig.8 Indirect protection of pier in long distance

3.4.2 地下管线保护措施

1)预留一定高度墩柱实现缓冲保护。在实施爆破拆除时,对桥墩立柱根部地面以上一定高度的墩柱不实施破碎。当上部结构坍塌时,首先由预留的桥墩立柱支撑,通过压垮一定高度的墩柱达到消能和缓冲作用。

2)桥墩两侧设置沙袋和轮胎墙实现桥体软着地。6#及7#墩沙袋墙高度2.5 m,其他沙袋墙高度1.5 m。局部横桥向从桥墩两侧伸出,每侧各伸出1.0 m。纵桥向长度2.0 m,墙上设置轮胎墙。详见图9。



(a) 示意图



(b) 实物图

图9 桥墩缓冲墙保护

Fig.9 Protection of pier cushion wall

起爆后,桥体下落;首先,桥墩两侧沙袋和轮胎墙先接触桥体并逐步坍塌,将桥体上部结构硬着地

变为软着地;然后,桥体再压垮预留的桥墩,进一步减弱桥体的塌落振动。桥墩主要传递载荷,沙袋和轮胎墙帮助传递一部分载荷,更重要的是稳住桥梁,不发生偏斜和侧翻^[6-7]。

3)重要管线采取钢板加轮胎墙的方式加强保护。在管线两侧设置 1.2 m 的沙袋墙,在管线上方铺设 16 mm 厚钢板防护,防止破碎时伤及管线^[8-9]。

4 爆破效果

起爆后,匝道桥桥体自东向西按设计依次塌落。上部桥体未有偏转和滑移,桥面因重力作用而折断,桥体箱梁下端未对地面形成直接冲击,坐落在沙袋及轮胎修筑的缓冲墙上,与地面间隙 20 ~ 50 cm。地下管线中的 $\varnothing 300$ mm 铁质给水管、22 万 V 强电管沟及通信线缆等均未受到损害。爆破飞石基本控制在桥体搭设的安全网内。因桥体未直接接触地,极大地减小了桥体塌落振动的危害,未对周边建(构)筑物造成损害。匝道桥 22:00 起爆,经 8 h 的机械破除、清扫等工作,第二天早上 6:00 便恢复交通,圆满完成了爆破任务。

5 结论

1)根据炸高的不同,选择 310 ms 和 50 ms 延期时间,能够保证桥体塌落的稳定性,有效防止了侧翻及滑移,且未对地下及周边的保护目标造成损害。

2)本工程中桥体侧翻、滑移的风险较大,地下存在 22 万 V 强电管沟及铸铁给水管等对振动要求高的保护目标。相对于以往桥梁爆破,设置的沙袋墙更高、更大,最大沙袋墙高度 2.5 m,局部横桥向从桥墩两侧伸出,两侧各伸出 1.0 m,纵桥向长度 2.0 m。为保护地下管线,管线两侧设置 1.2 m 的沙袋墙,低于桥墩处的沙袋墙,避免桥体塌落的直接冲击,形成有效的二级缓冲作用。

3)采用小孔径的爆破参数,并结合桥墩近体防护、近距离间接防护和远距离间接防护等综合防护措施,有效减小了爆破飞石危害,对环境复杂的高架桥爆破拆除和安全防护具有重要的借鉴意义。

参 考 文 献

[1] 谢先启,贾永胜,姚颖康,等. 复杂环境下城市超长高架桥精细爆破拆除关键技术研究[J]. 中国工程科学, 2014,16(11):65-71,77.

XIE X Q, JIA Y S, YAO Y K, et al. Key technologies of precision demolition blasting of ultra-long urban viaduct uncomplicated surroundings[J]. Strategic Study of CAE, 2014,16(11):65-71,77.

[2] 谭雪刚,贺五一,杨智旭,等. 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.

TAN X G, HE W Y, YANG Z X, et al. Application of explosive demolition with large diameter shallow hole in viaduct[J]. Blasting, 2014,31(1):96-99.

[3] 甄梦阳,李本伟,陈德志,等. 1 160 m 长城市高架桥爆破拆除[J]. 爆破,2017,34(2):91-95.

ZHEN M Y, LI B W, CHEN D Z, et al. Explosive demolition of 1 160 m long urban viaduct [J]. Blasting, 2017, 34(2):91-95.

[4] 贺五一,杨智旭,田永良,等. 复杂环境下城市高架桥控制爆破拆除[J]. 工程爆破,2012,18(4):71-74.

HE W Y, YANG Z X, TIAN Y L, et al. Controlled blasting demolition of urban viaduct in complex environment [J]. Engineering Blasting, 2012,18(4):71-74.

[5] 秦军,徐全军,董超,等. 城市高架桥桥墩爆破飞石控制实验研究[J]. 爆破,2012,29(3):123-126.

QIN J, XU Q J, DONG C, et al. Experimental study of controlling flyrock produced by explosive demolishing pier of urban viaduct[J]. Blasting, 2012,29(3):123-126.

[6] 葛晓霞,陈顺禄,姜楠,等. 城市高架桥梁爆破塌落冲击浅埋管线的影响[J]. 爆破器材,2017,46(4):45-50.

GE X X, CHEN S L, JIANG N, et al. Shock effect of viaduct collapsing blasting on shallow buried pipeline in city [J]. Explosive Materials, 2017,46(4):45-50.

[7] 龙源,季茂荣,金广谦,等. 南京城西干道高架桥控制爆破与安全防护技术[C]//中国爆破新技术Ⅲ. 广州:中国力学学会,中国工程爆破协会,2012:602-613.

LONG Y, JI M R, JIN G Q, et al. Control blasting and security preventive techniques of viaduct of West Nanjing Motorway[C]// New technology of blasting engineering in China Ⅲ. Guangzhou: The Chinese Society of Theoretical and Applied Mechanics, China Society of Engineering Blasting, 2012:602-613.

[8] 张凯. 城市高架桥爆破拆除及数值模拟研究[D]. 西安:长安大学,2015.

ZHANG K. Study on the explosive demolition and numerical simulation of the urban viaduct[D]. Xi'an: Chang'an University, 2015.

[9] 吕海军,龙源,廖昆,等. 南京水西门高架桥爆破拆除及振动测试分析[J]. 工程爆破,2013,19(3):33-37.

LÜ H J, LONG Y, LIAO K, et al. Blasting demolition and vibration analysis of Shuiximen Viaduct in Nanjing [J]. Engineering Blasting, 2013,19(3):33-37.