

doi:10.3963/j.issn.1001-487X.2020.03.016

复杂环境下分离立交桥控制爆破拆除

孙永,李中辉,李健飞,刘童童,杨春雷,刘川,吴献明

(中铁十四局集团第四工程有限公司,济南250002)

摘要: 大井堃分离立交桥先简支后连续,分左右两幅,选用了分段原地坍塌爆破的方法进行一次性爆破拆除。预先拆除桥梁的不承重结构,后由中间向两边、从东至西的顺序依次爆破拆除承重墩柱。2、3、4号墩柱有系梁,分上下两部分,爆破长度分别为4 m、3 m,主/辅孔深为135/115 cm,装药量为800/600 g;1、5号墩柱无系梁,爆破长度为3 m,主/辅孔深为100/85 cm,装药量为600/400 g。1~5号墩柱上的孔径均为40 mm。施工时对爆破部位进行了提前防护,加快了施工进度。通过对电子雷管起爆网路延期时间的优化设计,实现了桥梁的分段原地坍塌,有效的控制了触地振动等有害效应。大井堃分离立交桥成功爆破拆除,取得了预期的爆破效果,为类似工程积累了经验。

关键词: 桥梁拆除;控制爆破;原地坍塌;优化延期时间;提前防护

中图分类号: TD235.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-487X(2020)03-0095-04

Demolition Blasting of Large Shaft Ridge Separation Overpass in Complex Environment

SUN Yong, LI Zhong-hui, LI Jian-fei, LIU Tong-tong, YANG Chun-lei, LIU Chuan, WU Xian-ming
(China Railway 14th Bureau Group 4th Engineering Co Ltd, Jinan 250002, China)

Abstract: The Dajinglong ridge separated overpass was firstly supported and then continuously divided into two parts. The method of segmental in-situ collapse blasting was adopted to carry out one-time blasting demolition. The unloaded structure of the bridge was pre-demolished, and then the load-bearing pier columns were demolished in order from the middle to both sides, and from the east to the west. Piers 2, 3, and 4 had tie beams, which were divided into two parts. The blasting length was 4 m and 3 m, the depth of the main/auxiliary hole was 135/115 cm, and the charge was 800/600 g. Without tie beams, the blasting length was 3 m, the depth of the main / auxiliary hole was 100/85 cm, and the charge was 600/400 g. The diameters of all holes were 40 mm. The blasting part was protected in advance to speed up the construction progress. By optimizing the design of the delay time of the electronic detonator initiation network, the segmental in-situ collapse of the bridge was realized, and harmful effects such as ground contact vibration were effectively controlled. The Dajinglong ridge separation overpass was successfully demolished and the expected blasting effect was obtained, which accumulated the experience for similar projects.

Key words: bridge demolition; controlled blasting; in situ collapse; optimize delay time; early protection

1 工程概况

1.1 大桥结构

大井堃大桥位于福建省南平市建阳区,全长187 m,桥面宽24 m,分左右两幅。主桥由北至南有1~5号桥墩,共6跨,共6孔,跨径为30 m。大井堃

收稿日期:2020-04-05

作者简介:孙永(1971-),男,山东济南人,教授级高工、硕士,从事岩土控制爆破和爆破拆除方面的研究,(E-mail)2857598281@qq.com。

通讯作者:李健飞(1995-),男,河北邢台人,学士,从事岩土爆破和爆破拆除方面的研究,(E-mail)2270554674@qq.com。

大桥上部采用两联 $4\text{ m} \times 25\text{ m}$ 预应力砼(后张)T梁,先简支后连续,下部结构0#台采用柱式台,6#采用肋板台,桥墩采用柱式墩,墩台采用桩基础。

1.2 周围环境

大井堍桥梁东侧为城市,西侧为乡镇,桥梁距东侧居民楼 273.4 m ,距西侧民房 71.9 m ,乡镇一侧有变压器,桥上有电缆,桥下有马路,马路上部桥梁下部有电缆,沿马路方向埋设有军用光缆。爆破施工前,迁移和拆除桥下管线以及周围部分构(建)筑物。实际爆破施工时,爆破区域周围四邻表如表1所示。

表1 爆破区域四邻距离表

Table 1 Blasting area four adjacent distance table

方位	地面、地下或空中	距离/m	保护对象
东	地面	273.4	居民楼
西	地面	71.9	简易房
西	地面	128.1	砖房1
西	地面	84.6	砖房2

周围建筑物及设施情况如图1所示。

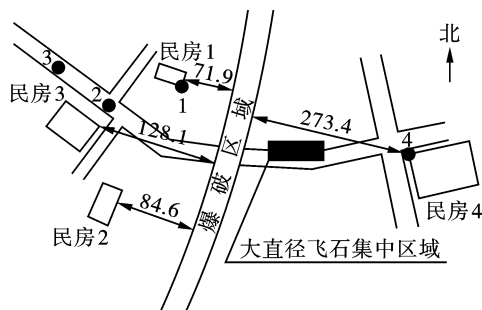


图1 周围建筑物及设施示意图(单位:m)

Fig. 1 Schematic diagram of buildings and facilities around (unit:m)

1.3 拆除爆破目标和安全要求

1) 一次拆除爆破部分墩身,使上部预应力结构塌落在地面上,便于机械破碎。

2) 爆破飞石、振动等爆破有害效应控制在不损害周围民房、人员安全和场内设备的范围内。

2 爆破方案

2.1 方案选择

通过对国内部分桥梁爆破拆除方案的研究^[1-5],结合大井堍大桥的实际情况,决定采用爆破方法炸掉左右线1~5号墩台,使上部预应力结构塌落在地面上,最后用破碎机械对塌落的结构进行二次解小,采用爆破拆除和机械拆除相结合的方式施工,使得优势互补。桥梁爆破方案有侧向倾倒爆破、原地坍塌

爆破以及分段原地坍塌爆破,经研究采用原地坍塌爆破。

2.2 总体拆除方案

首先联系相关单位,先人工配合机械拆除或者迁移大井堍大桥两侧的构(建)筑物,包括管线、变压器等,以及桥梁上侧其它需要拆除不影响桥梁结构稳定性的建(构)筑物。

对于大井堍大桥,分段原地坍塌爆破方案,具体如下:

施工准备工作→在左右线1~5号墩柱架设凿岩平台→在墩柱、连系梁上布置炮孔→钻凿爆破孔→验孔→电子数码雷管入孔装药、堵塞→注册电子数码雷管→电子数码雷管组网连接→电子数码雷管延期修改及检查→电子数码雷管快速测试→安装墩柱飞石防护设施→电子数码雷管完全测试→警戒、起爆等。

2.3 爆破参数

2.3.1 墩柱爆破高度确定

根据拆除爆破“失稳原理”,应爆破桥梁的关键承重构件,使其失稳,在重力作用下坍塌。大井堍大桥地表以上的主要承重结构为左右线1~5号桥墩以及0号台及6号台,0号台采用柱式台,6号台采用肋板台,只要用爆破法炸毁一定高度的1~5号墩柱,桥梁就会在自重作用下坍塌,桥梁坍塌后便于开展二次破碎工作,决定将墩柱爆破高度定为 $3.0 \sim 7.0\text{ m}$ 。

2.3.2 炮孔布置

因为2,3,4号墩柱中间有系梁,将立柱上的爆破分为两段,下段距离地面 0.5 m 以上 4 m ,上段 3 m 位于系梁上部立柱上,距离系梁 0.5 m ,同号桥墩立柱左右幅钻孔高度一致。最小抵抗线 W 取 45 cm ,孔距 a 为 40 cm ,排距 b 为 50 cm 。主/辅孔深 L 为 $135/115\text{ cm}$,孔径为 40 mm ,装药量为 $800/600\text{ g}$ 。

1,5立柱无系梁,爆破位置距离地面 0.5 m 以上 3 m ,同号桥墩立柱左右幅钻孔高度一致。最小抵抗线 W 取 40 cm ,孔距 a 为 30 cm ,排距 b 为 50 cm 。主/辅孔深 L 为 $100/85\text{ cm}$,孔径为 40 mm ,装药量为 $600/400\text{ g}$ 。

2.3.3 孔网参数与药量计算

1) 1,5号墩立柱

立柱直径: 1.4 m ; 每米立柱体积为 1.54 m^3 ; 每根立柱爆破高度: $H_1 = 3\text{ m}$; 1号墩立柱爆破方量 18.48 m^3 。

2) 2,3,4号墩立柱

立柱直径: 1.8 m ; 每米立柱体积为 2.54 m^3 ; 下

节爆破高度 $H_2 = 4\text{ m}$; 上节爆破高度 $H_3 = 3\text{ m}$; 2 号墩柱爆破方量 71.12 m^3 。

立柱总爆破体积(不含系梁)为 250.32 m^3 ; 立柱总炮孔数量(不含系梁)744 个; 总钻孔工作量(不含系梁)为 852 m 。

1、5 号墩立柱装药量^[6](不含系梁)39.2 kg, 单耗 k 由 $k = \Sigma Q/V$ 计算得 2121 g/m^3 。

2、3、4 号墩立柱装药量(不含系梁)128 kg, 单耗 k 计算得 1800 g/m^3 。立柱总装药量(不含系梁)462.4 kg, 最大单段药量 64 kg, 大井垄桥梁拆除总起爆药量控制为 462.4 kg。

2.4 爆破网路

采用连续装药结构, 炸药使用 2 号岩石乳化炸药, 每个炮眼均装 1 发数码电子雷管, 采用正向起爆法将炸药卷装在孔内。原来的起爆网路延期时间是按照以下起爆顺序, 起始延期时间为 50 ms、延期时间间隔为 50 ms 设计的, 但是为了达到分段分幅原地坍塌和减小触地振动的目的, 对原来的延期时间进行了优化设计, 适当增大了时间间隔。网路连接如图 2、3 所示, 优化后的起爆顺序和延期时间为东幅 3 号墩柱(延期 50 ms)→西侧幅 3 号墩柱(延期 100 ms)→东幅 2 号墩柱(延期 400 ms)→西幅 2 号墩柱(延期 500 ms)→东幅 4 号墩柱(延期 600 ms)→西幅 4 号墩柱(延期 700 ms)→东幅 1 号墩柱(延期 900 ms)→西幅 1 号墩柱(延期 1000 ms)→东幅 5 号墩柱(延期 1100 ms)→西幅 5 号墩柱(延期 1200 ms)。

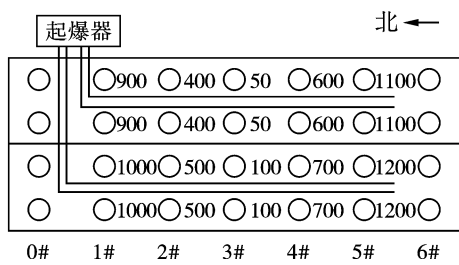


图 2 起爆延期时间示意图

Fig. 2 Schematic diagram of detonation delay time

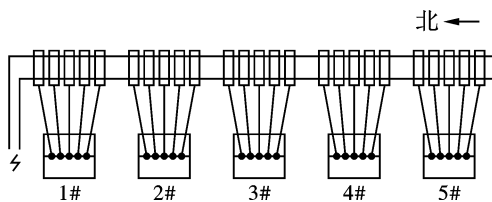


图 3 起爆网路示意图

Fig. 3 Schematic diagram of the detonation network

3 爆破安全验算

3.1 爆破振动

由设计知最大单段药量为 2(3、4 号药量与 2 号一样)号墩柱同时起爆时药量, 为 64 kg。根据《爆破安全规程》, 选用计算公式 $V = K(Q^{1/3}/R)^\alpha$ 进行爆破振动安全距离计算^[7]。

式中: R 为爆破振动安全允许距离, m; Q 为最大一段起爆药量, kg; V 为振动安全允许速度, cm/s。立柱采用 C30 混凝土, 对应强度属于中硬岩石, 取 $K = 250, \alpha = 1.8, R = 71.9\text{ m}, Q = 64\text{ kg}$, 带入计算公式算得 $V = 1.38\text{ cm/s}$, 小于一般民用建筑物允许振速 1.5 cm/s , 满足安全要求。

3.2 桥梁坍塌触地振动

建筑物坍塌触地产生的振动公式^[8]: $V_t = k_t [R / (MgH/\sigma)^{1/3}]^\beta$ 。

其中: V 为塌落引起的地面振动速度, cm/s; M 为下落构件的质量, t; g 为重力加速度, 9.8 m/s^2 ; H 为构件的塌落高度, m; σ 为地面介质的破坏强度, 一般取 10 MPa; R 为观测点至冲击地面中心的距离, m; k_t 为塌落振动速度衰减系数, 一般取 $3.37 \sim 4.09$; β 衰减指数, $\beta = -1.66 \sim -1.80$;

桥内钢筋和混凝土共 10 000 t 左右, 单幅为 5000 t。最大高度为约 20 m。因桥西侧 71.9 m 有简易房, 距西幅桥梁重心位置约 84.3 m, σ 取 10 MPa。当 $R = 84.3\text{ m}$ 时, 桥面塌落引起的地面振动速度为 1.44 cm/s ; 当 $R = 85\text{ m}$ 时, 桥面塌落引起的地面振动速度为 1.41 cm/s ; 当 $R = 100\text{ m}$ 时, 桥面塌落引起的地面振动速度为 1.07 cm/s , 可以验证当构筑物距离桥梁倒塌触地位置 84 m 以上时, 经查阅资料^[9], 桥梁触地引发的振动小于 1.5 cm/s , 对构建筑是安全的。

3.3 爆破飞石

拆除爆破采用飞石弹道公式^[10]: $v_0 = 20(Q^{1/3}/W)^2, R_f = v_0^2/g$ 。式中: $Q = 0.8\text{ kg}, W = 0.4\text{ m}$ 。采用加强防护时, 对飞石速度公式进行修正: $R_f = (f_1 f_2 v_0^2 \sin^2 \alpha) / g$ 。

式中: R_f 为飞散距离, m; f_1 为介质系数; f_2 为防护系数; α 为飞出角度; v_0 为个别飞石初速度, m/s; g 为重力加速度, m/s^2 ; Q 为最大一段爆破装药量, kg; W 为抵抗线, m。

被爆介质为钢筋混凝土时 f_1 取 $9.23 \sim 9.60$; f_2 为防护系数, 一层防护时取 2, 二层防护时取 1, 三层防护时取 0.5, 考虑共五层防护, 并且有铁丝网, 防

护系数取 0.02; α 为飞石抛射角, 设计中取 40° 。计算可得 R_f 为 92 m, 因此爆破区域 100 m 范围内禁止任何人员及车辆停留。

爆破飞石控制措施: 在墩柱上爆破位置以及往两端各延伸 0.5 m 区域进行飞石防护, 对上述区域先包裹两层草帘 (10 cm 以上), 然后包裹一层铁丝网, 在铁丝网外侧包裹一层草帘、一层竹排。提前将不破坏桥梁整体稳定性的构件进行拆除。

3.4 爆破振动的检测

爆破现场共设置 4 个监测点, 监测点位置如图 1 所示, 1、2、3、4 号测点离爆破区域的距离分别为 71.9 m、120 m、200 m、273.4 m, 监测所得振速和由公式计算得到的理论振速曲线如图 4、5 所示。

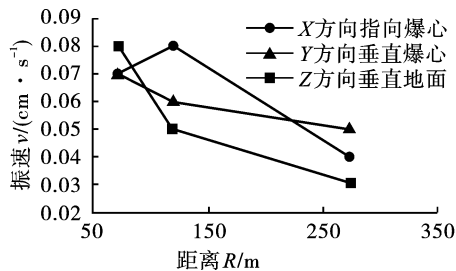


图4 爆破测振数据图

Fig. 4 Blasting vibration measurement data chart

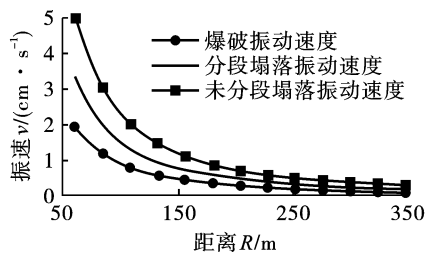


图5 由公式计算得振速曲线图

Fig. 5 Vibration velocity curve calculated by formula

监测结果表明, 爆破测振数据随着距离爆破的距离增大有着减小的趋势, 与由公式计算得到的理论值的趋势相同。经过对爆破测振数据的处理, 得到爆破拆除过程中, 距离大桥西侧 71.9 m 处民房 1 和 120 m 处路口的监测点有最大振动速度为 0.08 cm/s, 未超过《爆破安全规程》规定的速度 2.5 cm/s, 爆破振动在安全允许范围内。

4 爆破效果

1) 经过爆后的现场勘查, 大井堑大桥按照预定的坍塌方式坍塌, 达到预期效果, 桥梁的原地坍塌效果如图 6 所示。

2) 大桥两侧出现不同粒径的飞石, 西侧距大桥 80 m 附近出现直径大约为 0.2 ~ 1 cm 的小石块, 东

侧距大桥 120 m 处出现直径约为 30 cm 的飞石, 且主要集中在东北侧, 飞石的分布如图 1 所示。该区域出现飞石的原因有: ①炮孔口处的防护材料与预先做的防护材料没有连接紧密; ②桥东南侧路基比北侧要高出 1 m, 挡住了部分飞石。所以类似的工程中可以在要爆破的桥墩旁边堆起土坡来阻挡飞石。



图6 爆破效果图

Fig. 6 Shows the blasting effect

5 结语

1) 此次拆除爆破的孔网参数、起爆网路、延期时间的设置和单耗等爆破参数的设计对大井堑大桥的爆破拆除是可行的, 为类似的工程积累了经验。

2) 为了完成当天装药、堵塞、防护的工作, 对桥墩上炮孔部位提前进行了防护, 有效地节省了施工时间。部分北侧炮孔位置防护材料连接不紧密导致大块飞石产生。

3) 爆破过程中所产生的爆破振动和塌落振动全部控制在爆破安全规程规定的允许范围内, 未对周围建筑物造成任何损害。

参考文献 (References)

- [1] 刘国军, 梁锐, 杨元兵. 复杂环境下钢筋混凝土简支梁式桥爆破拆除[J]. 爆破, 2017, 34(4): 115-119.
- [1] 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)
- [2] 赵明生, 龙源, 贾永胜, 等. 预应力混凝土连续桥梁控制爆破拆除[J]. 爆破, 2015, 32(4): 103-109.
- [2] ZHAO Ming-sheng, LONG Yuan, JIA Yong-sheng, et al. Control blasting technology for bridge with prestressed continuous concrete beams [J]. Blasting, 2015, 32(4): 103-109. (in Chinese)