

城市桥梁爆破拆除数值模拟及分析*

周雯¹, 刘战², 张怀杰², 殷新锋¹

(1.长沙理工大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410114; 2.中石化中原建设工程有限公司, 河南 濮阳 457001)

摘要: 针对某大型城市桥梁爆破工程, 基于显式非线性动力分析有限元软件 ANSYS/LS-DYNA, 充分考虑钢筋和砼在爆破坍塌过程中的力学性能差异, 建立分离式共节点模型, 模拟城市桥梁爆破坍塌全过程, 分析坍塌过程中桥体的形态, 并与实际爆破效果进行对比分析。结果表明, 城市桥梁爆破拆除数值模拟结果与实际爆破效果相吻合, 模拟结果可为爆破方案制订提供依据。

关键词: 桥梁; 爆破拆除; ANSYS/LS-DYNA; 数值模拟; 分离式共节点模型

中图分类号: U445.6

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2020)03-0121-03

由于城市规划和网络升级改造等原因, 部分早期修建的城市桥梁因承载力不足、结构变形过大、荷载等级低或不能满足现有通行要求需拆除。爆破拆除以其安全性高、经济性好、劳动强度低、拆除效率高等优点成为大多数城市桥梁拆除的首选方案。而城市桥梁处于人口密集、建筑物相对集中的地段, 爆破对周围环境的影响成为爆破技术实施的关键。郝晓宁等采用 LS-DYNA 有限元软件对高架桥的坍塌过程及桥体解体破碎情况进行数值模拟, 模拟结果与实际拆除过程较吻合。该文基于显式非线性动力分析有限元软件 ANSYS/LS-DYNA 建立某城市桥梁拆除爆破坍塌全过程动态模型, 分析城市桥梁的坍塌机理, 并与桥梁爆破拆除实际情况进行对比, 为有限元在桥梁爆破方案制订及实际工程中的应用提供参考。

1 工程概况

迎宾大桥位于浙江台州市路泽太一级公路与台州市机场迎宾大道交叉处, 为双线分开的各二车道公路桥, 跨径组合为 $10 \times 20 \text{ m} + 60 \text{ m} + 9 \times 20 \text{ m} = 440 \text{ m}$ 。引桥采用预应力空心板, 跨径 20 m, 双柱式圆柱墩身, 圆柱直径 1.0 m, 桩基采用 1.2 m 钻孔灌注桩。主桥上部结构为下承式预应力砼系杆拱, 跨径 60 m, 拱轴线为二次抛物线; 下部结构为双墩式方柱墩身, 桩基采用 1.2 m 钻孔灌注桩(见图 1)。

2 爆破方案

该桥采取机械拆除与爆破拆除相结合的方案,

机械拆除 1~3、18~20 跨, 爆破拆除 4~17 跨。其中爆破拆除方式为浅孔水平孔爆破原地破碎坍塌拆除, 爆破完成后, 使用炮锤梁板进行解小处理, 清运至指定地点后再进行二次解小破除。



图 1 迎宾大桥鸟瞰图

主桥桥墩和引桥桥墩爆破孔位分别见图 2、图 3, 均水平布置, 孔径 42 mm, 主桥桥墩从地面起至横梁底部 4 m 段沿垂直中心线每排布置 2 孔, 孔距 0.46 m, 引桥桥墩从下而上单孔布置。均采用直径 32 mm 乳化炸药、炮孔底部集中装药结构, 主桥桥墩孔深 1.1 m, 装药长度 0.7 m, 堵塞长度 0.4 m; 引

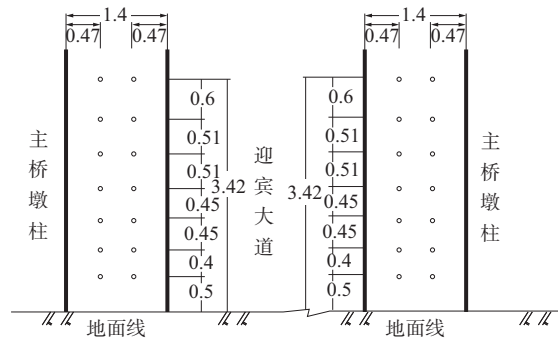


图 2 迎宾大桥主桥桥墩爆破孔布置(单位:m)

* 基金项目: 湖南省自然科学基金项目(2019JJ40313)

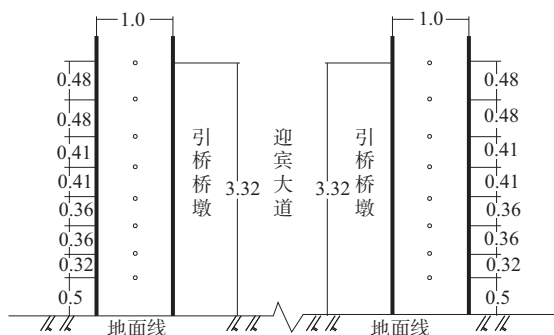


图3 迎宾大桥引桥桥墩爆破孔布置(单位:m)

桥桥墩孔深 0.75 m,装药长度 0.45 m,堵塞长度 0.3 m。墩柱间采用 Ms-7 连接,孔内采用双发导爆管雷管,孔外采用复式联网。

3 建立有限元模型

3.1 模型假设

实际工程较复杂性,采用有限元进行数值模拟时,为提高建模效率及计算结果精度,基于以下假定对模型进行简化:1) 由于墩柱爆破切口内的炸药爆炸对整体结构影响较小,忽略墩柱内炸药爆炸对桥体的影响;2) 炸药的爆炸效应对切口的形成无影响,爆破后切口断面平整;3) 考虑到钢筋和砼材料力学性能差异,假定在结构塌落过程中两种材料没有发生相对位移;4) 地面为刚体,在整个坍塌过程中不发生变形。

3.2 计算模型

采用 ANSYS/LS-DYNA 模块建立有限元模型,并生成 K 文件,对于 ANSYS 前处理不支持的 LS-DYNA 功能,对 K 文件进行修改,然后递交给 LS-DYNA 求解器求解,求解完成后利用后处理器 LS-PREPOST 对结果进行分析处理。考虑到建模的方便性和模型的真实性和真实性,采用墩柱及横梁钢筋砼单元分离式共节点模型(见图4),砼采用 Solid164 单元,钢筋采用 Beam161 单元,采用六面体映射网格划分,单元格尺寸为 20 cm×20 cm×20 cm。根据城市桥梁实际尺寸建立的数值计算模型见图5。

3.3 爆破切口形成

桥梁的爆破拆除数值模拟通过爆破切口的形成进行,桥梁由于切口的形成失去支撑后失稳进而坍塌。在 LS-DYNA 模拟过程中,爆破切口的形成使用 LS-DYNA 中的关键字 *MAT_ADD_EROSION 来控制,并通过其中的 TIME 参数选项设置单元失效时间,时间一到,切口范围内的砼单元自动删

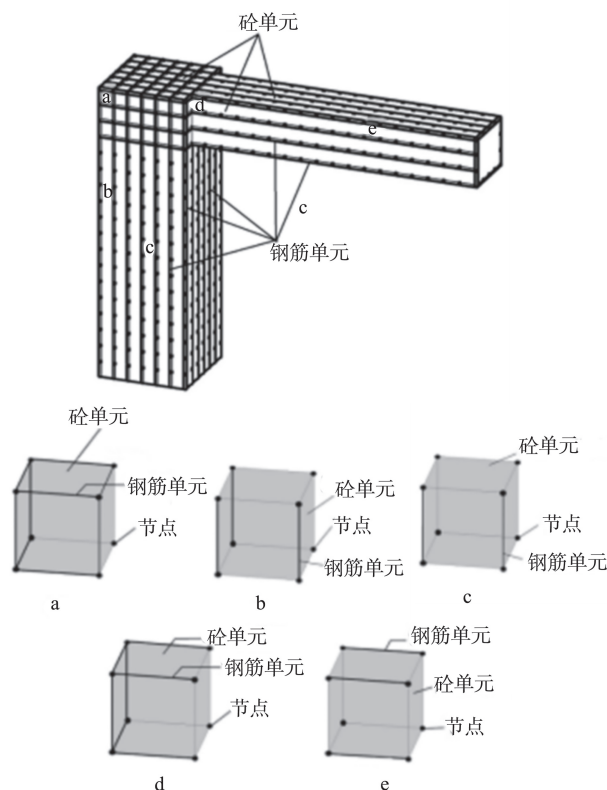


图4 墩柱及横梁钢筋砼单元分离式共节点模型



图5 迎宾大桥计算模型

除,爆破切口形成,砼破碎并抛掷,切口范围内的钢筋仍保留。

3.4 接触设定

LS-DYNA 接触类型主要包括单面接触、节点-表面接触和表面-表面接触。爆破切口的形成使桥梁逐渐失稳,桥体开始坍塌,在坍塌过程中桥体之间存在碰撞,最后桥体与地面碰撞完成桥体解体。选用 CONTACT_AUTO_SINGLE_SURFACE 接触方式模拟这些复杂的接触过程,该方式允许模型所有外表面发生接触,无需定义 contact 和 target 表面。

公路桥梁爆破拆除主要是利用重力作用原理,由于炸药爆炸形成爆破切口,桥梁失去支撑后失稳,在自身重力作用下桥梁坍塌。在坍塌过程中,桥体与桥体接触、桥体与地面接触进而解体破坏。因此,在前处理过程中,利用关键字 LOAD_BODY_Y(Y 方向)将重力荷载施加到桥体上。

4 爆破拆除数值模拟

该桥为双线分开的各二车道公路桥,且二车道

公路桥为对称结构,爆破方式和桥梁垮塌方式也一致,可采用17~11跨来描述整个桥梁结构的爆破过程。按照设计方案中的顺序起爆,通过设置删除桥墩切口单元的时间,定义桥墩的起爆时间,整个模拟过程历时3 s。

如图6所示, $T=0$ 时,桥梁处于静止状态; $T=0.68$ s时,第1排墩柱爆破拆除,17跨由于失去支撑,在重力作用下桥内应力重新分布,跨内桥体开始下沉; $T=1.09$ s时,第3排墩柱爆破完毕,在自重作用下以由17跨到15跨的顺序依次往下坠落; $T=1.45$ s时,17跨已触地开始破裂,17跨与16跨衔接处开始出现断裂; $T=1.88$ s时,第6排墩柱爆破完毕,桥梁在自重作用下以由17跨到12跨的顺序依次往下坠落,17跨已完全塌落,桥面与地面发生碰撞而破裂,并伴随着小碎块的飞起,17跨与16跨之间衔接处断裂; $T=2.21$ s时,所有墩柱爆破完毕,17跨到15跨触地破裂,其他跨桥体处于塌落中; $T=2.60$ s时,17跨到13跨连续触地破裂,跨与跨衔接处断裂; $T=3.00$ s时,最后一跨桥体塌落破裂,所有桥面均塌落破裂。

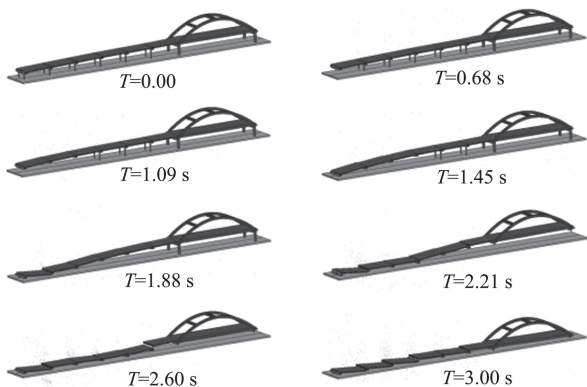


图6 迎宾大桥爆破数值模拟结果

通过对城市桥梁爆破拆除坍塌全过程的数值模拟,可看出:1)当某跨桥体失去支撑下落时,一端触地后,另一端应力随之增大,湿接缝开始出现裂缝,另一端触地后,由于湿接缝强度比桥面板强度小,桥体两跨相连处断裂。2)每跨桥面落地后均有所反弹,在整体触地后几秒才趋于稳定不再发生振动。3)从爆破效果看,桥体塌落后出现相邻箱梁重叠现象,但重叠部分很少。爆破堆积形态较平坦,没有大块飞石,对周围环境产生的影响较小。

实际爆破拆除时,在地面设置防护层,防护层由下而上分别为1.0 m砂层、1 cm厚钢板防护层、1.0 m砂袋堆积层、1.0 m轮胎层,一方面降低桥体触地

产生的振动,另一方面减少桥体触地反弹高度。为减少对周围建筑物及环境的影响,每个爆破墩柱装药堵塞后,爆破体段采用潮湿棉被+钢丝网+U形卡扣作为近体防护;在距离民房较近的几个墩柱1 m处,用砂袋砌筑2~3 m高防护墙,既可防护爆破飞石,也可对桥梁板落地起到缓冲作用。在拆除桥梁两侧挂密目网,以防飞石,同时作为隔离屏障。图7为桥梁实际爆破过程及爆破完成后的堆积情况,模拟结果与实际拆除过程较吻合。

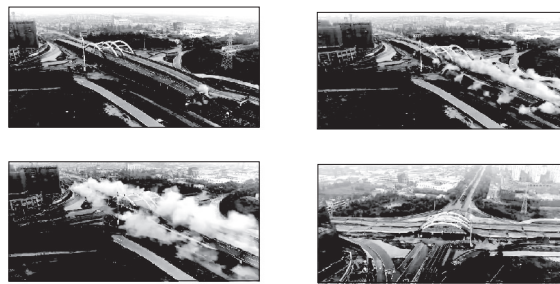


图7 迎宾大桥实际爆破效果与堆积形态

5 结语

利用有限元软件 ANSYS/LS-DYNA,采用分离式共节点方法建立城市桥梁计算模型,模拟桥体从起爆到触地解体的全过程,分析坍塌过程中各阶段桥体的姿态及坍塌后的堆积形态,模拟结果和实际爆破效果相吻合。钢筋砼分离式共节点模型可较真实地模拟钢筋和砼两种材料各自的物理特性,桥梁爆破拆除工程可利用 LS-DYNA 设置不同的爆破参数,优化爆破方案,达到良好的爆破效果。

参考文献:

- [1] 郝晓宁,龙源,谢刚.高架桥爆破拆除倒塌过程数值模拟研究[J].爆破,2010,27(4).
- [2] 杨元辉.桥梁拆除爆破数值模拟研究[D].南宁:广西大学,2014.
- [3] Malvar J, John C. Dynamic increase factors for concrete [A]. Twenty-Eighth DDESB Seminar Orlando [C]. 1998.
- [4] 贾海鹏.有限元分析法在桥梁拆除爆破中的应用[D].包头:内蒙古科技大学,2014.
- [5] 池恩安.公路桥梁组合拆除爆破及数值模拟[D].武汉:武汉理工大学,2011.
- [6] 季杉,王桂玲,谢伟平.高架桥爆破坍塌全过程数值模拟与分析[J].爆破,2014,31(4).