

基于仿真分析的预制拼装综合管廊抗燃爆研究

朱建方¹, 毛化冰², 张 杨³

[济南市市政工程设计研究院(集团)有限责任公司, 山东 济南 250101]

摘 要:综合管廊凭借其自身优点正广泛应用于城市建设中,采用 Ansys/Ls-dyna 基于仿真分析综合管廊发生燃气爆炸具有十分重要的实际意义。以预制拼装综合管廊为研究对象,采用流固耦合的计算方法,建立预制拼装综合管廊、可燃爆气体和空气等三部分的有限元仿真模型。通过分析预制拼装综合管廊内混凝土的应力时程曲线、主要节点位移时程曲线及预应力钢筋的轴向应力时程曲线,分析预制拼装综合管廊在燃气爆炸作用下的抗燃爆性能,提出抗燃爆防护及设计意见。

关键词:预制拼装综合管廊; 燃气爆炸; 仿真分析; 抗燃爆性能

中图分类号: TU990.3

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2021)07-0292-04

0 引言

城市综合管廊可以有效利用城市地下空间,集约利用城市建设用地,统筹安排各类管线在地下空间的布局与敷设,有效减少“马路拉链”造成的重复投资及后期各种管线维护费用,保障道路通行功能,提高城市工程管线建设的安全性、经济性,增强城市的防震抗灾能力,改善城市环境具有重要的作用,在越来越多的城市建设中广泛运用。

天然气作为一种特殊的能源介质逐渐成为城镇燃气的主流。据中国燃气行业门户网站统计,我国近年来燃气爆炸事故频发,仅2020年我国发生燃气爆炸事故539起。此前已有大量学者对房屋建筑内燃气爆炸做了深入研究,但在市政工程建设中从安全运营角度考虑,城市综合管廊工程技术规范中要求天然气管道应在独立舱室内敷设,并在总体设计、管线材料、附属消防、通风、供电、监控与报警系统方面做了大量技术要求,这也让实施燃气管线入廊的决策者有所忌惮,目前国内综合管廊布置燃气管线的工程实施案例相对较少,相关抗燃爆的研究非常少,伴随着近年装配式建筑的兴起,本文采用 Ansys/Ls-dyna 模拟预制拼装综合管廊内发生燃气爆炸,并分析其抗燃爆性能,进而提出合理化建议。

1 仿真模型的建立

预制拼装综合管廊[1]模型的尺寸:高度3.3 m,宽度3.5 m,长度3.0 m,且C40混凝土厚度为25 cm。因本次研究为瞬态燃气爆炸问题,为简化模型约束底板底面全部节点Y方向(重力方向)位移。综合管廊内部设置8 m³甲烷-空气混合气体,并将可燃气体设置在空气上方。仿真模型见图1。

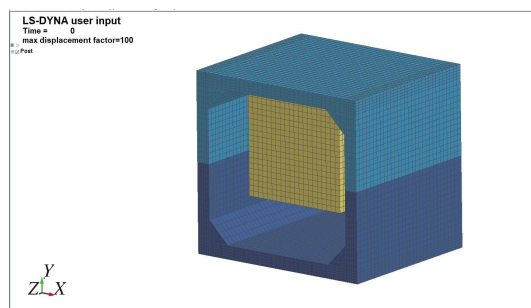


图1 仿真模型立体图

结合预制拼装综合管廊的生产工艺,沿管廊敷设的Z方向均匀设置5根预应力钢筋,最外侧预应力钢筋距边缘30 cm。

在燃气爆炸仿真分析时无法直接施加预应力构成稳态,本次仿真模拟采用等效温度降温法对预应力钢筋进行降温,以起到施加预应力的作用[2],并采用流固耦合[3]方法进行数值计算,并施加无反射边界条件。

2 仿真模拟的参数设置

钢筋和混凝土材料采用 Mat-Plastic-Kinem 等向随动强化模型[4],其各项参数见表1。

收稿日期: 2021-03-01

作者简介: 朱建方(1979—),男,学士,高级工程师,从事市政工程设计工作。

表 1 钢筋及混凝土各项参数表		
参数 / 材料	钢筋	混凝土
弹性模量 E	$3.0 \times 10^5 \text{ MPa}$	$2.6 \times 10^5 \text{ MPa}$
泊松比	0.3	0.2
密度	$7\ 850 \text{ m}^3$	$2\ 500 \text{ m}^3$
屈服强度	400 MPa	40 MPa
硬化系数	0	0
应变率影响参数 C	1 234	99.3
参数 P	4.15	1.95
失效应变	0.20	0.02

通过对甲烷发生气相爆炸的爆炸参数 (C-J 参数)^[4]进行求解,可知当甲烷浓度在 9.5%时爆炸,产生的威力最大,见表 2。

表 2 气体线性多项式状态方程各项参数表		
参数 / 材料	空气	9.5%甲烷浓度混合气体
密度	1.29 kg/m^3	1.234 kg/m^3
C_0	0.303 4	0.264 6
C_1	0	0
C_2	0	0
C_3	0	0
C_4	0.4	0.274
C_5	0.4	0.274
C_6	0	0
初始内能 E_0	$2.5 \times 10^5 \text{ J/m}^3$	$3.408 \times 10^6 \text{ J/m}^3$
V_0	1.0	1.0

3 仿真分析结果

3.1 可燃气体超压时程曲线

任选取某一燃气单元,其超压时程曲线峰值为 0.934 MPa,与理论计算值 0.935 MPa 相差极小,验证模型建立燃气参数输入无误,见图 2。

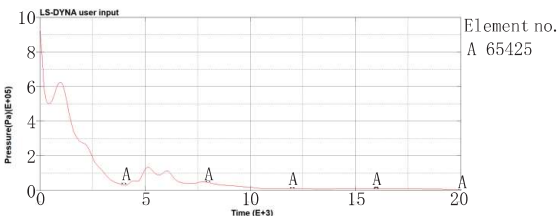


图 2 燃气单元超压时程曲线

3.2 预制拼装综合管廊主要节点位移

选取预制拼装管廊的内侧跨中节点分析,节点选取位置见图 3。

由图 4 可知,顶板跨中内侧发生燃爆时节点 Y 方向位移由 -0.23 cm 迅速增加至 -0.03 cm,燃爆引起沿管廊外侧方向位移变化量为 0.2 cm。

由图 5 可知,侧墙中部内侧发生燃爆时节点 X

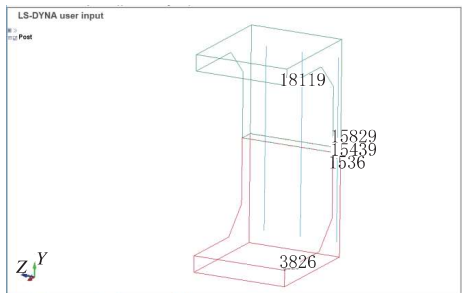


图 3 节点位置示意图 (1/4 模型)

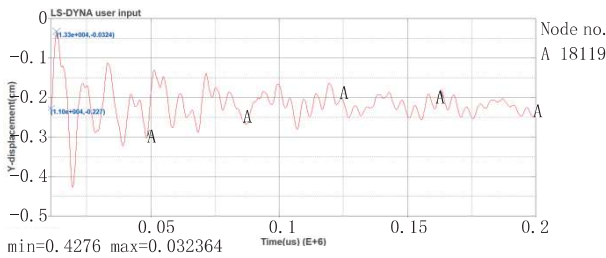


图 4 顶板 18119 节点位移时程曲线

方向位移由 0.09 cm 迅速向外变化至 -0.16 cm。燃爆引起沿管廊外侧方向位移变化量为 0.25 cm。

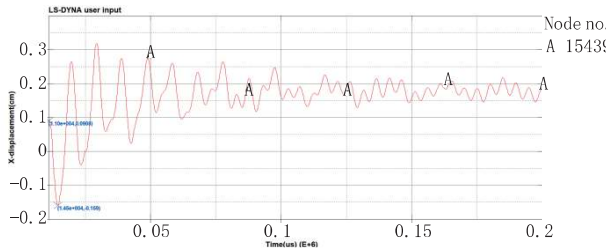


图 5 侧墙 15439 节点位移时程曲线

综上可知,当预制拼装管廊内发生燃气爆炸时,气体爆炸产生的爆炸冲击迅速向外扩散,距离最近的顶板及侧墙最不利节点受冲击迅速发生朝管廊外侧的位移,达到峰值后震荡降低。

由图 6 可知,预制拼装管廊内发生燃爆时,侧墙中部最不利位置两节点相对位移受冲击迅速达到峰值 0.14 cm 后逐渐衰减趋于稳定。

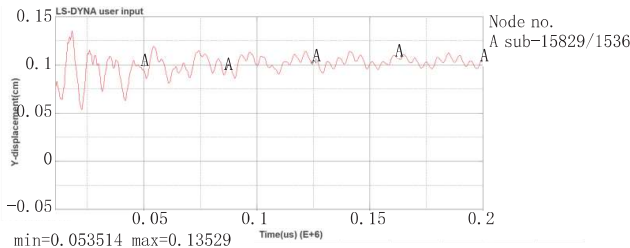


图 6 侧墙 15829 节点及 1536 节点相对位移时程曲线

3.3 预制拼装综合管廊混凝土动力响应

选取预制拼装管廊混凝土跨中单元分析,节点选取位置见图 7。

由图 8 可知,发生燃爆时顶板混凝土单元沿 Y 方向达到应力峰值后,逐渐衰减降低,且内侧峰值大

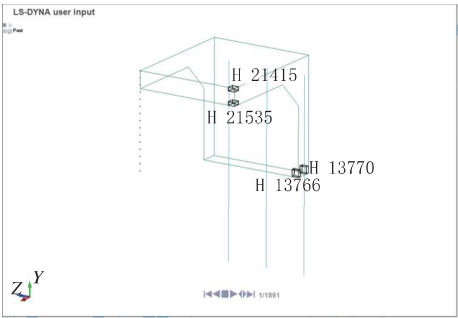


图7 混凝土单元图(1/4模型)

于外侧峰值。

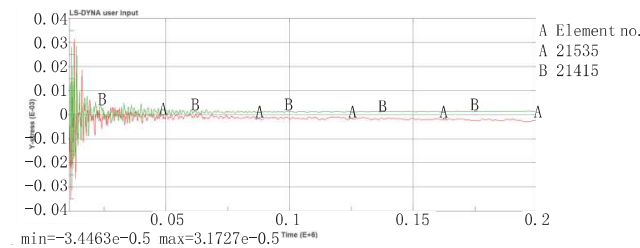


图8 顶板混凝土应力时程曲线图

由图9可知,发生燃爆时侧墙混凝土单元沿X方向达到应力峰值后,逐渐衰减降低,且内侧大于外侧。

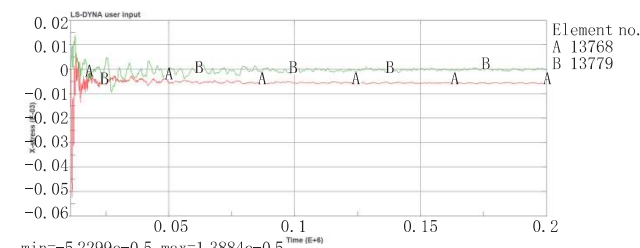


图9 侧墙混凝土应力时程曲线图

综上可知,当预制拼装管廊内发生燃气爆炸时,距离爆源最近的顶板、侧墙混凝土单元均瞬间达到应力峰值后逐渐降低,内侧单元应力峰值均大于外侧单元应力峰值,侧墙应力峰值大于顶板应力峰值。

3.4 预应力钢筋动力响应

由预制拼装综合管廊的工艺可知,预应力钢筋抗拉强度为1 080 MPa,选取预应力钢筋跨中单元进行分析,所取单元见图10。

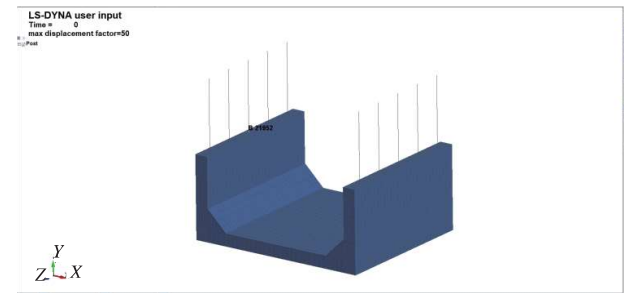


图10 21952单元位置图(1/2模型)

分析钢筋单元的轴力时程曲线及轴向应力时程曲线可知,燃爆瞬间引起轴向应力均剧烈增加达到

峰值,见图11。经计算轴向应力变化值为864.1 MPa,虽未达到选取预应力钢筋的抗拉强度,但燃爆对预应力钢筋产生的影响不容忽视。

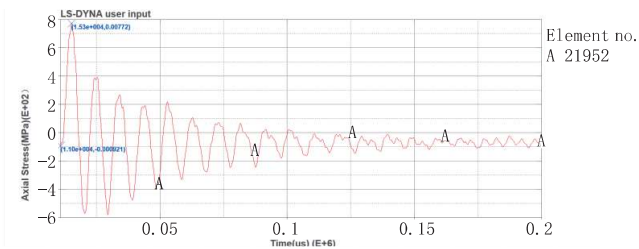


图11 轴向应力时程曲线

4 管廊覆土影响分析

为模拟管廊覆土影响,采用MIDAS CIVIL软件,建立同尺寸模型。假设管廊顶部覆土厚度为1.0 m,分别对顶板及侧墙施加土压力,考虑混凝土综合管廊自重,忽略空气、甲烷等气体自重。模型见图12。

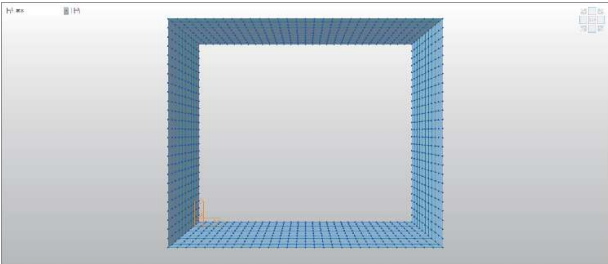


图12 混凝土管廊计算模型

分析结果可知,当管廊仅考虑自重及周围覆土压力的影响时:(1)管廊的变形指向管廊内侧,与爆炸产生的变形方向相反。(2)顶板跨中、侧墙中间混凝土单元应力计算结果见表3。

表3 结构应力计算汇总表

位置	覆土荷载/MPa	方向	燃爆荷载/MPa	方向
顶板跨中内侧	1.67	受拉+	3.45	受压-
顶板跨中外侧	1.49	受压-	2.99	受拉+
侧墙跨中内侧	0.16	受拉+	9.24	受压-
侧墙跨中外侧	0.28	受压-	5.23	受拉+

由此可见,管廊周边覆土对管廊顶板、侧墙混凝土产生的影响与燃爆产生的影响作用方向相反。当发生燃气爆炸时,顶板的覆土、侧向填土对管廊结构安全是相对有利的因素。在燃爆状态下,结构顶板外侧出现了1.5 MPa拉应力,而侧墙外侧出现4.95 MPa拉应力,实际设计过程中应对管廊侧墙及顶、底板等薄弱环节采取相应的抗爆防护措施,见图13。

5 结论及建议

经仿真分析模拟可知:发生燃气爆炸时,距离爆

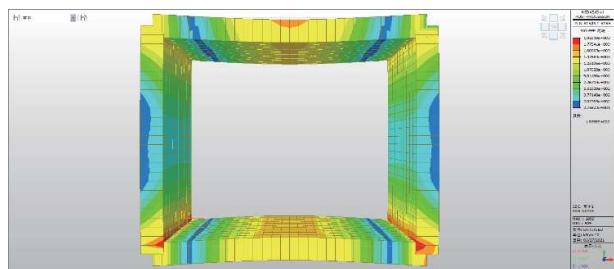


图 13 混凝土有效应力及变形结果

炸源最近的顶板、侧墙均发生向管廊外的位移,通过分析预制拼装管廊重要节点位移时程曲线、顶板及侧墙混凝土的有效应力时程曲线、预应力钢筋应力时程曲线可以得出以下结论:

(1)当预制拼装管廊内发生瞬时燃爆时,距离爆源最近的顶板、侧墙均产生向管廊外侧的位移,并达到位移峰值,且侧墙位移变化值大于顶板位移变化值。

(2)当预制拼装管廊内发生瞬时燃爆时,距离爆源最近的顶板、侧墙混凝土单元均达到应力峰值后逐渐降低,内侧单元应力峰值均大于外侧单元应力峰值,侧墙应力峰值大于顶板应力峰值。

综上两点,侧墙位移变化、应力峰值均大于顶板处。在设计时需对应力集中、结构薄弱环节处加强抗爆保护。

(3)当预制拼装管廊内发生瞬时燃爆时,燃爆瞬间引起预应力钢筋轴力及轴向应力均剧烈增加达到峰值,为提高结构的抗爆性能可适当增加预应力钢筋的配筋率。

(4)当管廊仅考虑自重及周围覆土压力的影响时,土压力相较于燃爆荷载虽为有利因素,但仍需加强管廊侧墙及顶、底板等薄弱环节的抗爆防护。

参考文献:

- [1] 石立国,张耀,李海龙,等.上下分体装配式预制管廊施工技术[J].施工技术,2017(21):23-26,50.
- [2] 何琳,王家林.模拟有效预应力的等效荷载—实体钢筋降温法[J].公路交通科技,2015(11):75-80.
- [3] 张秀华,张春巍,段忠东.爆炸荷载作用下钢框架柱冲击响应与破坏模式的数值模拟[J].沈阳建筑大学学报(自然科学版)2009,25(4):657-661.
- [4] 张秀华,吴燕燕,李玉顺.燃气爆炸作用下钢框架结构动力响应与连续倒塌分析[J].沈阳建筑大学学报,2012,28(5):810-819.

(上接第 261 页)

移”效应主要是在整体升温作用下。因此在设计时,应综合考虑温度效应对独柱墩梁桥的影响,避免因温度作用导致梁体向倾覆趋势发展。

(5)建议对在役的独柱墩桥梁设置横向限位措施,抑制箱梁的“爬移”效应,并在桥梁定期检查中,重点关注梁体与支座是否有相对位移,对独柱墩桥梁倾覆风险提前预警。

参考文献:

- [1] 张彦飞.独柱墩桥梁横向稳定影响因素研究[J].公路交通科技(应用

技术版),2017,13(12):252-255.

- [2] 殷新锋,杨小旺,丰锦铭,李莱.独柱墩连续弯梁桥抗倾覆稳定影响因素分析[J].公路与汽运,2016(1):156-161.
- [3] 鲁圣弟,熊文,丁旭东,叶见曙,韦国志.桥型布置对独柱墩曲线梁桥抗倾覆性能的影响[J].公路交通科技,2017,34(5):95-101.
- [4] 张玥,魏永杰,杨庆嵘,许有俊.连续弯箱梁桥抗倾覆稳定性影响因素的有限元分析[J].山东农业大学学报(自然科学版),2017,48(4):540-544.
- [5] JTG 3362—2018.公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].
- [6] 童智洋.温度效应对连续曲线箱梁受力的影响[J].铁道建筑,2008(11):4-6.