

软土地区多孔框架涵顶进结构力学特性研究

杨青青¹, 魏 琪²

(1.中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津市 300302; 2.中国铁路设计集团有限公司, 天津市 300300)

摘 要:以宁波市云台山路下穿北仑铁路工程中采用的8孔框架涵结构为例,建立有限元力学模型,分析宁波软土地区8孔框架涵顶进过程的力学特性。所得结论不仅指导了该工程施工及施工监测,还可对其他软土地区多孔框架涵顶进工程提供参考。

关键词:框架涵;顶进;软土;力学特性

中图分类号: U449.82

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2021)06-0347-02

0 引言

随着我国公路、铁路网的日益发展完善,公铁交叉现象日益频繁。公铁交叉节点作为一个薄弱环节,对公路和铁路的工程设计、施工及后期的运营都有着很大的影响。

处理公铁交叉问题时,我国大都优先考虑道路下穿铁路方式。铁路为路基段时采用框架涵型式最为常见,而顶进施工工艺是公路下穿铁路路基工程的核心技术。

现阶段国内外对于框架涵顶进技术和力学特性研究颇多。彭俊生等^[1]利用有限元方法建立了板柱组合模型,进行了框架桥力学特性计算;陈佑新等^[2]通过数值模拟方法,对箱涵结构顶进全过程进行了力学计算,得到箱涵各阶段应力和变形情况;毕见山^[3]分别对威海市珠海路、北京丰台、石家庄槐安路等框架涵顶进施工进行了研究,通过Ansys软件对大型箱涵顶进结构进行了模拟分析;谢富贵等^[4]利用Marc,通过有限元计算表明框架涵顶进施工过程中涵底上缘和涵顶下缘为该结构薄弱环节,受拉应力较大;郭瑞等^[5]结合广东地区框架涵顶进结构,研究得到了浅覆土特长箱涵顶部与底部的受力随着顶进长度和覆土厚度的增加而变大的力学规律。

综上所述,随着Abaqus、Midas、Ansys、Flac3D等有限元软件的大量普及利用,采用数值模拟方法来研究多孔框架涵结构力学特性切实有效。然而综合上述研究不难发现,现有研究大都集中于4孔及

以下框架涵结构,而目前随道路宽度日益增加,4孔及以下的框架涵已难以满足需求。因此,有必要对多孔框架涵顶进结构进行更加深入的研究。另外,宁波地区软土发育,地基含水量大、承载力较低,当前对于宁波软土地区框架涵力学特性的研究较少。

因此,本文对宁波软土地区的8孔框架涵结构进行力学特性分析,研究其顶进过程中结构的力学效应及对既有铁路的影响,探求相应的力学规律,以更好地指导工程实践。

1 工程概况

本文依托宁波市云台山路下穿北仑铁路线工程。云台山路为宁波市重要规划项目,是未来重要交通走廊。原云台山路下穿既有铁路为整体式3孔框架涵结构,跨度为3.54 m、9.9 m、3.54 m。为满足道路拓宽需要,项目孔跨设计为3 m+5 m+8 m+8 m+8 m+8 m+5 m+8 m的8孔框架涵结构。

2 模型建立

2.1 基本假定

在本次有限元力学模型建立中作如下假定:

(1)根据该地区地质资料,土体大致为水平成层分布。

(2)土体、框架涵结构均为各向同性,土体利用弹塑性材料模拟,混凝土结构采用弹性材料模拟。

(3)初始应力为土体自重。

(4)钻孔灌注桩通过围护墙模型模拟,围护墙采用板单元,支撑和立柱采用梁单元。

2.2 模型建立

本文按照工程实际采用8孔框架进行建模,模型

收稿日期:2020-12-21

作者简介:杨青青(1989—),女,硕士,助理工程师,从事城市市政工程设计工作。

区域为计算主层区域顶进方向(横向)200 m,垂直方向 200 m,竖向 90 m。

参照工程地质报告资料,该地区由上到下分别分布粉质黏土、淤泥、淤泥质黏土、黏土;框架涵结构参数根据设计图纸选取。云台山路下穿北仑线框架涵尺寸图见图 1。



图 1 云台山路下穿北仑线框架涵尺寸图(单位:m)

明挖基坑根据设计图纸采用深 5.2 m;铁路路基结构根据铁路路基设计规范选取,并采用中-荷载模拟列车荷载。列车中-荷载示意图见图 2。

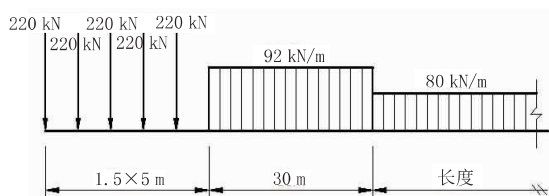


图 2 列车中-荷载示意图

2.3 工况设计

为研究 8 孔框架涵结构顶进过程中的顶进孔数及底层防护措施对既有铁路变形的影响,设计工况如下:

- 工况 1:顶进单孔(#5)。
- 工况 2:顶进 3 孔(#1、#5、#8)。
- 工况 3:顶进 4 孔(#1、#3、#5、#8)。
- 工况 4:顶进 7 孔(#1、#2、#3、#5、#6、#7、#8)。
- 工况 5:顶进 8 孔。
- 工况 6:顶进后底层加设防护桩。

3 框架涵顶进对既有铁路位移的影响

根据有限元数值模拟,框架涵顶进过程中,既有铁路位移计算结果见表 1。

由表 1 可知:

- (1)随着顶进孔数的增加,铁路道床纵、横向位移基本不变,竖向位移稍有减少,影响不大。
- (2)轨道和钢轨各向位移基本保持稳定。
- (3)8 孔及更大孔数框架涵对既有铁路位移影响可控,具备施工条件。
- (4)顶进后随着底部桩基的加固处理,轨道和钢轨的位移特性有了进一步的改善。
- (5)分析位移分布可知:轨道结构位移由中心向两侧降低;钢轨垂向位移由框架涵中心向两侧逐渐增加,需对框架涵中心处钢轨加以重视;钢轨和轨道

表 1 框架涵顶进过程中既有铁路位移数值计算表

		单位:mm					
部件	计算项目	工况 1	工况 2	工况 3	工况 4	工况 5	工况 6
铁路道床	垂向最大值	-2.51	-2.52	-2.52	-2.50	-2.56	-0.62
	垂向最小值	-3.03	-3.03	-2.97	-2.91	-2.91	-2.79
	纵向最大值	0.03	0.04	0.05	0.03	0.03	0.29
	纵向最小值	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03
铁路钢轨	横向最大值	0.19	0.19	0.17	0.14	0.12	0.03
	横向最小值	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03
	垂向最大值	-2.81	-2.75	-2.72	-2.73	-2.73	-0.68
	垂向最小值	-3.01	-2.97	-2.97	-2.97	-2.96	-2.83
铁路钢轨	纵向最大值	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.26
	纵向最小值	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.22
	横向最大值	0.16	0.17	0.15	0.12	0.10	0.01
	横向最小值	-0.05	-0.04	-0.04	-0.03	-0.03	-0.01

纵向位移最大值出现在框架涵和纵向相邻土体的连接部分,因此需要对连接处进行沉降监测和加固处理。

4 框架涵顶进过程框架涵的力学特性

对框架涵顶进过程各工况进行有限元计算,得到框架涵应力及位移计算结果,见表 2。

表 2 框架涵顶进过程中框架涵力学特性计算表

		工况 1	工况 2	工况 3	工况 4	工况 5	工况 6
垂向应力	最大值	0.15	0.17	0.13	0.10	0.10	0.08
/MPa	最小值	-0.12	-0.12	-0.12	-0.12	-0.11	-0.24
纵向应力	最大值	0.05	0.08	0.07	0.10	0.10	0.22
/MPa	最小值	-0.08	-0.11	-0.11	-0.16	-0.16	-0.10
横向应力	最大值	0.34	0.36	0.35	0.17	0.11	0.14
/MPa	最小值	-0.07	-0.11	-0.10	-0.13	-0.12	-0.07
垂向位移	最大值	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.18
/mm	最小值	-3.15	-3.16	-3.08	-3.02	-2.97	-1.64
纵向位移	最大值	0.30	0.38	0.38	0.34	0.33	0.34
/mm	最小值	-0.30	-0.30	-0.34	-0.32	-0.31	-0.24
横向位移	最大值	0.15	0.16	0.14	0.13	0.13	0.10
/mm	最小值	-0.14	-0.13	-0.13	-0.13	-0.14	-0.04

由表 2 可知:

- (1)随着顶进孔数的增加,框架涵内部垂向及横向应力减少、纵向应力基本不变。
- (2)顶进后的底部加固处理可以有效降低框架涵结构各向位移水平,具有一定必要性。
- (3)分析顶进后框架涵力学特性分布可知,垂向应力、纵横向位移于框架涵两侧产生集中,纵向应力于框架涵底板处较大,而横向应力集中于框架涵各孔间交界处,需要对以上薄弱部位进行重点监测及加固处理。

2021 年 5 月实施的工程建设标准

序号	标准名称	标准编号	实施日期	替代情况
国家标准				
1	海水淡化水后处理设计指南	GB/T 39219—2020	2021-05-01	
团体标准				
2	埋地硬聚氯乙烯排水管道工程技术规程	T/CECS 122—2020	2021-05-01	替代 CECS 122:2001
3	业主项目管理 P-BIM 软件功能与信息交换标准	T/CECS 782—2020	2021-05-01	
4	地面三维激光扫描工程应用技术规程	T/CECS 790—2020	2021-05-01	
5	城镇给水气浮处理工程技术规程	T/CECS 791—2020	2021-05-01	
地方标准				
6	地下式污水处理厂设计标准	DG/TJ 08-2342—2020	2021-05-01	
7	绿色公路技术标准	DG/TJ 08-2348—2020	2021-05-01	
8	有轨电车工程施工质量验收标准	DG/TJ 08-2339—2020	2021-05-01	
9	轨道交通桥墩预制拼装技术标准	DG/TJ 08-2345—2020	2021-05-01	
10	绿道建设技术标准	DG/TJ 08-2336—2020	2021-05-01	
11	结构混凝土抗压强度检测技术标准	DG/TJ 08-2020—2020	2021-05-01	替代 DG/TJ 08-2020—2007

来源:住房和城乡建设部官网

(上接第 348 页)

5 结 语

(1)随着顶进孔数增加,铁路轨道及钢轨各项位移变化较小,框架涵垂向、横向应力有所降低。

(2)顶进过程中,框架涵中部钢轨、框架涵与铁路路基连接处、框架涵底板及各孔连接处产生应力集中,需重点考虑。

(3)顶进后框架涵底板加固可以很好改善轨道及框架涵力学响应。

(4)顶进孔数不作为制约框架涵力学特性的根本

因素,更大规模框架涵结构在理论上可行。

参考文献:

- [1] 彭俊生,赵雷.正交框构式地道桥计算的板柱组合模型[J].西南交通大学学报,1991(4):56-62.
- [2] 陈佑新,张晓峰,王少钦.箱涵顶进仿真分析及监测[J].石家庄铁道学院学报,2007(2):77-81.
- [3] 毕见山.大型顶进箱涵施工技术研究[D].上海:上海交通大学,2008.
- [4] 谢富贵,何涛,孙蕊.特长箱涵顶进过程中的三维受力特性研究[J].公路交通科技(应用技术版),2013(2):118-121.
- [5] 郭瑞,王枫,洪刚.浅覆土特长箱涵顶进结构受力特性数值分析[J].公路交通科技,2017(6):94-98.