

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2023.04.069

燃气管线下穿高铁工程安全评估分析

张道鹏^{1,2}

(1.中铁第五勘察设计院集团有限公司,北京市 102600; 2.苏州众通规划设计有限公司,江苏苏州 215131)

摘要:在研究新建燃气管线下穿高速铁路工程中,采用危险性分析方法对新建管线施工及运营状态对铁路运营存在的潜在风险因素(危险源)进行定性和定量的安全风险评估。定性分析采用风险交流和专家调查法。定量分析利用有限元分析软件 MIDAS-GTS 建立三维空间模型来模拟土体开挖回填等工况。根据计算的结果分析整个施工过程对铁路桥墩的影响,判断是否存在安全风险,明确是否符合相关规范标准,评估铁路桥墩基础安全性,并提出防范风险的全局性对策。

关键词:危险源;风险评估;有限元;MIDAS-GTS;工况;对策

中图分类号: TU996.6+2

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)04-0257-04

0 引言

随着社会经济的快速发展,燃气管线在民生中的发展愈发重要,成为不可分割的一部分。随着城镇一体化的不断推进,我国燃气管网的规划一步步完善,管网的铺设不断加快。与此同时,因铁路运输和其他交通工具相比具有快速高效体量大的优势,是我国交通运输业非常重要的部分。铁路网的规模也不断扩大。在此情况下,燃气管线下穿铁路的需求愈发增加。根据我国高速铁路的发展现状,高速铁路以桥梁结构为主。而管线与高速铁路的交叉形式也以管线暗埋下穿为主。

1 工程概况

现以交界河路(盐通张)预埋中压燃气管道输配工程为例对燃气管线下穿高铁工程进行安全评估分析。

1.1 管道工程概况

盐通张高铁铁路以桥梁形式与管道工程交叉,盐通张高铁铁路为双线,交叉处盐通张高铁里程为左线桥桥墩号为34号、35号,右线桥桥墩号为34号、35号。交界河路跨越铁路处为三跨(32.65+48+32.65)m简支连续梁桥,管道下穿位置为边孔。

穿越段管径采用 De315,采用 PE 管,选用 PE80 SDR11 系列。采用开槽埋管,尺寸根据现场情况设置,管线埋深 1.3 m。

1.2 相对位置关系(见图1)

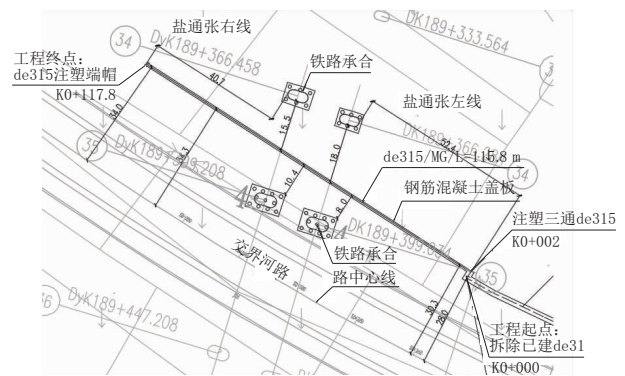


图1 中压燃气管道与下穿铁路平面相对位置关系图(单位:m)

1根 De315 燃气管道自西向东下穿盐通张铁路,与盐通张铁路斜交角度为 75°。

穿盐通张铁路左线桥第 34 号桥墩和第 35 号桥墩,管道中心距 34 号桥墩边缘的最小距离为 18 m,距 35 号桥墩边缘的最小距离为 8 m。

穿盐通张铁路右线桥第 34 号桥墩和第 35 号桥墩,管道中心距 34 号桥墩边缘的最小距离为 15.5 m,距 35 号桥墩边缘的最小距离为 10.4 m。

从交界河路(盐通张)预埋中压燃气管道与盐通张铁路的相对位置可以看出,管道边缘距铁路桥梁墩台边缘净距不小于 3 m,管线走向与铁路走向的夹角不小于 30°,管线埋深不小于 1.2 m,各项控制条件均满足规范要求。

2 铁路安全评估标准

结合国内现有的工程经验和计算分析,该工程以变形作为控制指标。按照《公路与市政工程下穿高速铁路技术规程》(TB 10182—2017)第 3.0.3 条,受下

收稿日期: 2022-10-19

作者简介: 张道鹏(1994—),男,学士,助理工程师,从事桥梁工程设计工作。

穿工程影响的高速铁路桥梁墩台顶位移限值如表 1 所列。

表 1 墩台顶位移限值一览表 单位:mm

轨道类型	墩顶位移		
	横向水平位移	纵向水平位移	竖向位移
有砟轨道	3	3	3
无砟轨道	2	2	2

因此,该项目下穿段的铁路为无砟轨道段,其墩顶的横向、纵向及竖向水平位移限值均为 2 mm。

3 危险源及危险性分析

3.1 管道工程概况

该工程施工阶段依据专家调查、同类工程比较研究,识别出的主要危险源及其危险性初始分析结果如表 2 所列。

表 2 施工阶段主要危险源(初始危险源)预分析表

序号	危险源描述	危害情况	危害性	发生概率	可预兆性	可探测性
1	沟槽开挖	引起铁路桥梁变形	1~5(需定量分析)	4(可能)	2(有一定预兆)	4(可通过人工及设备监测)
2	中粗砂回填	引起铁路桥梁变形	1~5(需定量分析)	4(可能)	2(有一定预兆)	4(可通过人工及设备监测)
3	干混凝土填筑	引起铁路桥梁变形	1~5(需定量分析)	4(可能)	2(有一定预兆)	4(可通过人工及设备监测)
4	施工机具与设备运输操作不当	对铁路桥梁发生碰撞	3(严重)	3(偶尔)	1(无明显预兆)	1(无法探测)

复杂,通常具有极强的非线性,通常以数值计算的方式来分析。

为此,用有限元分析软件 MIDAS-GTS 来模拟计算燃气管道施工的全过程,在 MIDAS-GTS 中采用单元的激活、钝化可以有效地模拟土体的开挖。计算时岩土的本构模型采用修正 Mohr-Coulomb 模型,该模型主要适用于在单调荷载作用下颗粒状材料,广泛应用于岩土工程。

模型中材料的参数,主要涉及到的参数粘聚力和摩擦角可以直接从该项目地勘报告中取值。

4.2 有限元模型

4.2.1 单元模拟

有限元计算通过 MIDAS-GTS 软件构建三维空间模型。在模型中按照下穿管道和高速铁路的实际相对位置进行模拟。模型中用实体单元来模拟土体、桥墩、承台。用植入形式梁单元模拟桩基础。

4.2.2 边界条件

在模型土体单元底面和侧面施加约束,限制竖向位移和水平方向位移。

4.2.3 计算荷载

该项目计算荷载主要考虑土体自重、铁路桥梁

3.2 危害性分析

在危害性分析中,核心内容是分析危险性和识别危险性的等级,通常需要通过定量的计算来进行客观评价。通过风险交流过程,确定该工程的主要风险是由于新建工程施工过程对盐通张铁路双线桥 34 号、35 号桥墩基础可能带来不同程度的危害。为此,需要通过一定的计算分析来具体预测出工程施工带来的不利变形情况,以明确实际危害等级,为监测预警和主动安全控制提出风险决策建议。依托相关计算分析开展的安全性评估,具体工作内容参见后续章节。

4 有限元分析

4.1 计算方法

由于土体材料的特殊性,土体的应力应变关系

自重、施工荷载三个方面。

4.3 施工阶段模拟

在进行施工之前,由于土体多年的沉降,本身就具有原始的应力场,在建模计算的过程中应综合考虑这一点。如果在计算中减去土体自重产生的初始位移,得到最终的实际位移。这种计算方式存在一定的不足。因为土体刚度较小,土体在自重下产生的初始位移较大。在通过 MIDAS-GTS 模拟土体开挖时,激活和钝化土体单元时,可能会出现土体位移变化不协调,导致计算结果不收敛。

为避免这一问题,通过 MIDAS-GTS 计算时,首先根据实际工程项目情况模拟重力下的应力场,与重力荷载一起作用于初始模型。最终得到初始应力场。通过上述方法得到的初始应力场在满足平衡条件的同时也不违背屈服准则,各节点原始位移近乎为零。

在有限元模型中,管道敷设施工的应力释放过程根据单元的激活钝化来模拟计算。通过激活和钝化单元和边界条件模拟各施工工况,具体计算工况如表 3 所列。

4.4 管道下穿高铁桥墩安全影响性分析

通过建立交界河路燃气管线穿越铁路桥墩影响

表3 施工阶段模拟(交界河路预埋中压燃气管道下穿盐通张铁路)一览表

工况	计算状态
1	初始应力场分析
2	铁路成桥阶段
3	沟槽开挖施工
4	管线预埋及回填

性分析模型,模拟管道的整个施工过程,分析其对高速铁路桥墩的影响,得出典型施工阶段的整体位移计算结果。对各施工工况下的计算结果进行汇总,分析管道工程施工引起桥墩墩顶的附加竖向位移、累计竖向位移、附加不均匀竖向位移、累计不均匀竖向

位移、附加纵桥向位移、累计纵桥向位移、附加横桥向位移及累计横桥向位移。交界河路燃气管线下穿高铁桥墩的安全影响分析模型如图2所示。

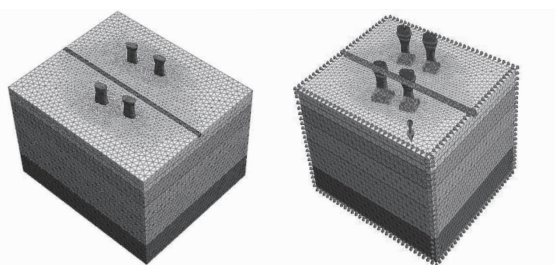


图2 交界河路燃气管线下穿高铁桥墩有限元模型

计算结果如表4所列。

表4 交界河路燃气管线施工对盐通张桥墩影响计算结果汇总表

单位:mm

盐通张铁路双线	墩号	附加竖向位移		累计竖向位移		
		沟槽开挖施工	管线预埋及回填	沟槽开挖施工	管线预埋及回填	
	34	0.03	-0.27	0.03	-0.24	
	35	0.05	-0.34	0.05	-0.29	
	墩号	附加不均匀竖向位移		累计不均匀竖向位移		
		沟槽开挖施工	管线预埋及回填	沟槽开挖施工	管线预埋及回填	
	34-35	0.02	-0.07	0.02	-0.05	
左线	墩号	附加纵桥向位移		累计纵桥向位移		
		沟槽开挖施工	管线预埋及回填	沟槽开挖施工	管线预埋及回填	
	34	-0.06	0.28	-0.06	0.22	
	35	0.10	-0.44	0.10	-0.34	
	墩号	附加横桥向位移		累计横桥向位移		
		沟槽开挖施工	管线预埋及回填	沟槽开挖施工	管线预埋及回填	
	34	-0.01	0.04	-0.01	0.03	
	35	-0.01	0.10	-0.01	0.09	
盐通张铁路双线	墩号	附加竖向位移		累计竖向位移		
		沟槽开挖施工	管线预埋及回填	沟槽开挖施工	管线预埋及回填	
		34	0.04	-0.33	0.04	-0.29
		35	0.04	-0.29	0.04	-0.25
		墩号	附加不均匀竖向位移		累计不均匀竖向位移	
			沟槽开挖施工	管线预埋及回填	沟槽开挖施工	管线预埋及回填
		34-35	0.00	0.04	0.00	0.04
	右线	墩号	附加纵桥向位移		累计纵桥向位移	
			沟槽开挖施工	管线预埋及回填	沟槽开挖施工	管线预埋及回填
		34	-0.07	0.35	-0.07	0.28
		35	0.07	-0.33	0.07	-0.26
		墩号	附加横桥向位移		累计横桥向位移	
		沟槽开挖施工	管线预埋及回填	沟槽开挖施工	管线预埋及回填	
	34	0.01	-0.08	0.01	-0.07	
	35	0.01	-0.06	0.01	-0.05	

从分析结果可知,交界河路燃气管线施工对铁路桥墩墩顶的竖向位移、纵桥向位移影响较大,对横桥向位移影响较小。

交界河路燃气管线施工引起盐通张铁路桥墩最大竖向位移值为 0.34 mm,最大不均匀沉降为 0.07 mm,最大纵桥向位移为 0.33 mm,最大横桥向位移为 0.10 mm。最不利工况为管线预埋及回填阶段。计算结果满足《公路与市政工程下穿高速铁路技术规程》要求。

5 安全性评估结论

5.1 评估结论

5.1.1 基本结论

(1)交界河路(盐通张)预埋中压燃气管道与盐通张铁路的相对位置可以看出,管道边缘距铁路桥梁墩台边缘净距不小于 3 m,管线走向与铁路走向的夹角不小于 30°,管线埋深不小于 1.2 m,各项控制条件均满足规范要求。

(2)交界河路燃气管线施工引起盐通张铁路桥墩最大竖向位移值为 0.34 mm,最大不均匀沉降为 0.07 mm,最大纵桥向位移为 0.33 mm,最大横桥向位移为 0.10 mm。

(3)该风险源的风险等级可评定为“中度”,但施工过程中存有无法预料与控制的影响因素。因此,施工过程需要对盐通张铁路双线桥 34 号、35 号桥墩进行监测。

(4)对铁路桥墩基础进行变形监测与控制是该工程实施的关键安全控制措施。提议研究部署详尽的监测方案,明确提出科学合理的监测控制指标,强化建设早期数据的搜集整理,将监测工作延伸至工程竣工后。

5.1.2 主要风险的决策结果

在现有设计基础上,新建工程施工过程中具有一定风险,结合所建议的措施(特别是监控体系的建议),工程安全风险可降低至相对较低的水准。但考虑到设计中岩土工程变形计算的不确定性,施工和运营过程中不可控因素较多,对此,在施工过程中必须加强监测,实时对铁路桥墩进行观测,出现异常立即停止施工。

建议在施工环节做好风险防控和风险管控,并

制定行之有效的对策对残余风险开展监控。在施工时,根据项目情况的变化及时做好应对措施,进行记录,并按时意见反馈,随时随地与有关单位沟通交流。

5.2 评估建议

(1)在施工前,需签订安全协议书,铁路主管部门及产权单位必须对线路进行检查,避免安全隐患。铁路相关部门在施工期间应提升视察和监测相关数据的力度,施工方在施工过程中应加强与铁路相关部门协作,保证铁路结构安全可靠。

(2)对该工程的安全评估目标仅针对盐通张铁路双线桥 34 号、35 号桥墩基础。

5.3 控制指标建议

根据上文所述并以相关规范要求为依据,结合该工程实际工况,考虑实际施工过程中诸多因素,同时依据常规测量仪器监测精度,综合结构安全要求及变形预测结果,最终确定变形控制值。其变形预警值设置为 70%的控制值,并将 85%控制值作为报警值。具体监测测量控制指标建议值见表 5 所列。

表 5 控制指标建议值一览表

监测项目	预警值	报警值	控制值
铁路桥墩沉降变形/mm	1.4	1.7	2.0
铁路桥墩水平变形/mm	1.4	1.7	2.0

6 结语

通过对燃气管线下穿高速铁路桥梁安全评估的分析,为人们提供一些经验教训。作为一名桥梁工程设计人员,随着管线下穿高铁项目的增多,如何降低管线施工及运营状态对铁路运营存在的潜在风险,不仅需要将危险源找出来,依托相关计算分析开展安全性评估,而且需要逐步完善安全风险管控,防范于未然。

参考文献:

- [1] 周平,铁道概论[M],北京:中国铁道出版社.
- [2] 范鸿云. 关于高速铁路安全管理的研究与思考[J]. 上海铁道科技, 2012(2):1-2.
- [3] 上海铁路局关于公布《上海铁路局路外管线穿越铁路管理办法》的通知(上铁工〔2016〕580号)[R].
- [4] TB 10002—2017,铁路桥涵设计规范[S].
- [5] GB 11836—2009,混凝土和钢筋混凝土排水管[S].