

下穿铁路框架地道桥参数分析

刘霍义 闫薄全

重庆交通大学土木工程学院 重庆 400041

DOI:10.12238/etd.v3i4.5300

摘要：为研究设计参数对铁路框架地道桥受力特性的影响，依托实际工程，采用 ANSYS 有限元分析软件建立实体单元模型，模拟恒载与列车荷载共同作用下框架地道桥的受力情况。探讨结构随桥长、斜交角度以及掖角尺寸变化时的变形和应力规律。研究结果表明：在恒载与列车荷载共同作用下，正交框架地道桥桥长的变化对结构影响较小，斜交框架地道桥随着桥长的增加，顶板与墙体位移均呈现逐渐增大的趋势，顶板与墙体应力均呈现先减后增的趋势；保持斜交角度不变，随着掖角尺寸的变化，顶板位移与墙体位移以及顶板应力与墙体应力呈现出不同的变化趋势。

关键词：地道桥；斜交；掖角尺寸；实体单元；参数分析

中图分类号：TU91 **文献标识码：**A

Parameter Analysis of Under Passing Railway Frame Tunnel Bridge

Huoyi Liu, Boquan Yan

School of Civil Engineering Chongqing Jiaotong University Chongqing 400041

Abstract: In order to study the influence of design parameters on the mechanical characteristics of the railway frame tunnel bridge, relying on the actual project, the ANSYS finite element analysis software was used to establish a solid element model to simulate the stress condition of the frame tunnel bridge under the combined action of dead load and train load. The deformation and stress laws of the structure when the bridge length, skew angle and tuck angle change are discussed. The research results show that: under the combined action of dead load and train load, the change of the length of the orthogonal frame tunnel bridge has little effect on the structure, and the displacement of the roof and the wall of the oblique frame tunnel bridge increases gradually with the increase of the bridge length. The stress of the roof and the wall shows a trend of first decreasing and then increasing; keeping the oblique angle unchanged, with the change of the tuck angle size, the roof displacement and the wall displacement, and the roof stress and the wall stress show different changes trend.

Keywords: Tunnel bridge; Skew; Tucking angle size; Solid element; Parameter analysis

引言

随着我国经济不断发展，铁路与公路频繁交叉出现，致使交通拥堵，解决此类问题的有效方法是修建框架地道桥^[1-2]。框架地道桥受力性能优越，经济性良好，既适合既有铁路的顶进施工工艺，又满足城市道路下穿铁路的地形限制和选线要求，目前在城市当中运用较为广泛。框架地道桥的研究始于 19 世纪，Willis^[3]，Stokes^[4]首先进行了初步研究，随后各国开始研究框架地道桥并取得了一些成果。

Manuel^[5]，Vega^[6]均研究了新材料在框架桥中的应用以及动力响应分析。王庆贵基于某斜交框架双孔地道桥，探讨了平面杆系模型和空间板壳模型的适用性^[7]。范香艳^[8]采用 Midas 软件建立实体单元模型，模拟自重作用下单孔、两孔、三孔斜交框架地道桥的受力情况。

铁路框架地道桥受力复杂，桥长、斜交角度以及掖角尺寸等不同条件下，结构具有不同的受力特性。本文以铁路框架地道桥为研究对象，依托杭州某下穿铁路框架桥工程，针对桥长、斜交角度以及掖角尺寸 3 个主要因素，研究在恒载

与列车荷载组合后框架地道桥的受力特点。DDQ 软件具有计算和辅助出图功能，采用平面杆系结构有限元的计算原理，并结合斜交板的受力特点。本文首先采用 DDQ 软件进行不同斜交角度的框架桥设计，再运用 ANSYS 有限元软件对该框架地道桥进行空间有限元计算，以研究其位移和应力响应结果，统计出其中的变化规律。

1 工程简介

某下穿铁路框架地道桥结构型式为单孔框架式。地道桥跨径为 8m，净高 6.6m，顶板厚 0.7m，底板厚 0.8m，两侧边墙厚均为 0.8m。结构支撑采用 $\phi 60\text{cm}$ 高压旋喷桩、60@40cm 高压旋喷桩， $\phi 60\text{cm}$ 高压旋喷桩帷幕加 10cm 厚碎石垫层等类型。框架桥截面尺寸见图 1，平面布置见图 2。

地质状况自上而下分别为：杂填土，厚约 6.55m；卵石，厚约 5.4m，地基承载力为 280KPa；全风化泥质粉砂岩，厚约 1.15m，地基承载力为 250KPa；中风化泥质粉砂岩，地基承载力为 1200KPa。



图1 箱身正截面图

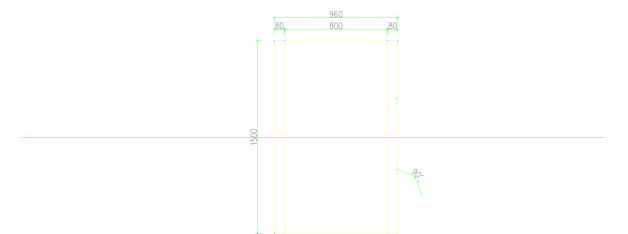


图2 框架平面布置图

设计荷载为：

- (1) 恒载：结构自重、侧墙土压力、顶板上方道床、轨道等荷载；
- (2) 活载：列车荷载。

2 模型建立

采用 ANSYS 有限元分析软件，建立实体单元有限元模型，如图 3 所示。

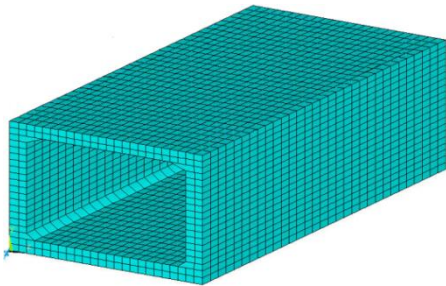


图3 框架地道桥模型

2.1 模型类型

受结构尺寸及计算效率影响，本文采用的钢筋混凝土结构有限元模型为整体式分析模型，即采用 solid65 单元设置钢筋配筋率参数来实现仿真分析，从而实现混凝土与钢筋对计算刚度的贡献。

2.2 混凝土参数

混凝土是一种抗拉强度很低、抗压强度好于抗拉强度的材料，因此为观察结构开裂及压缩，抗压混凝土采用多线性等向强化模型 MISO 模型。由于混凝土的破坏准则受主应力状态影响，分为四个区域，因此采用了 Willam-Warnker 五参数破坏准则，抗压考虑不同拉压组合下主应力的破坏条件。混凝土受压方向应力-应变在应变 0~0.002 之间采用二次抛物线为上升段，在应变 0.002~0.0033 之间采用直线段。

2.3 钢筋参数

钢筋参数采用的是考虑屈服段的理想弹塑性模型。钢筋参数如表 1 所示。

表1 钢筋参数

单位	kg/m ³	kg/m ³	
参数	钢筋含量	钢筋密度	结构总配筋率
数值	164.2	7850	0.0209172

2.4 收敛准则

由于为边界施加力荷载，故采用位移收敛准则，收敛条件为 1.5%。

3 参数分析

框架地道桥的内力计算结果除了受斜交角的影响外，也与一些其他因素有关，如长度、掖角尺寸等。下面基于实体单元模型，重点探讨结构长度、斜交角度以及掖角尺寸对地道桥整体受力的影响规律。

3.1 桥长对受力特性的影响

以 45° 斜交角的实体单元模型为基准，框架地道桥的跨径 8m 保持不变，长度分别取 15m、30m、45m。不同长度下顶板位移和墙体位移变化情况如图 4 所示，顶板应力和墙体应力变化情况如图 5 所示。

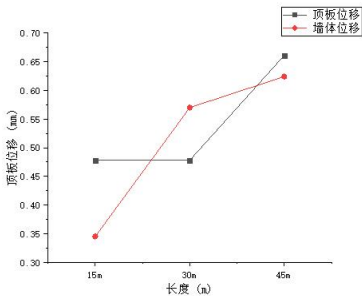


图4 不同长度下的位移图

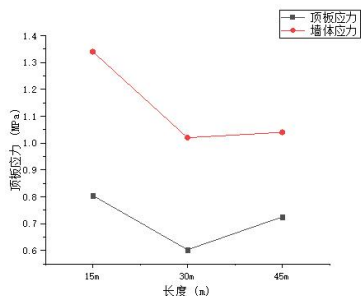


图5 不同长度下的应力图

从上述两幅图可以看出，当框架地道桥的斜交角和跨径保持不变时，随着桥长增加，顶板和墙体位移随之增加；而顶板和墙体应力呈现出先减后增的趋势。

3.2 斜交角度对受力特性的影响

框架地道桥的跨径 8m，长度 15m 保持不变，斜交角度分别为 0°、10°、20°、30°、45°，不同角度下顶板和墙体位移变化情况如图 6 所示，顶板和墙体应力变化情况如图 7 所示。

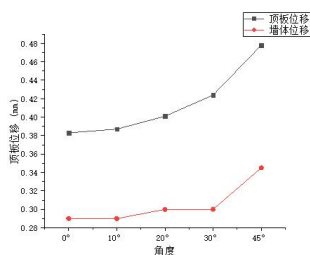


图6 不同角度下的位移图

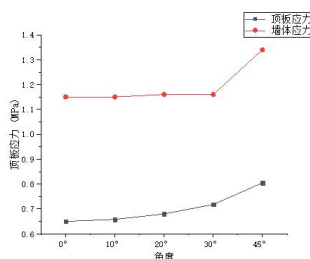


图7 不同角度下的应力图

从图6和图7中可以看出,当地道桥跨度和长度保持不变时,随着斜交角度逐渐增大,顶板和墙体位移以及顶板和墙体应力也逐渐增大,但在 $0^\circ \sim 30^\circ$ 之间增长趋势较为缓慢,在 $30^\circ \sim 45^\circ$ 之间位移和应力增长较为迅速。位移最不利位置均在顶板荷载作用处的中心位置;应力最不利位置为铁路荷载下方墙体加腋处。

3.3 掖角尺寸对受力特性的影响

框架地道桥的跨径8m,长度45m,斜交角为 0° 保持不变,掖角尺寸分别为1:1、1:2、1:3、3:1,不同掖角尺寸下顶板和墙体位移变化情况如图8所示,顶板和墙体应力变化情况如图9所示。

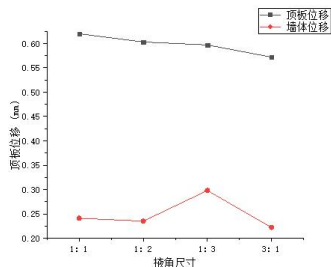


图8 不同掖角尺寸下的位移图

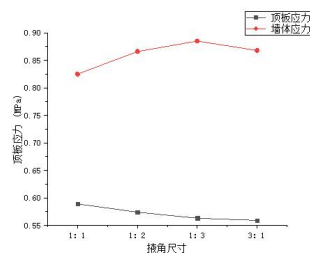


图9 不同掖角尺寸下的应力图

从图8和图9可以看出,随着掖角尺寸的变化,顶板位移和墙体位移以及顶板应力和墙体应力呈现出不同的变化趋势:顶板位移逐渐减小,墙体位移先增后减;顶板应力逐渐减小,墙体应力先增后减。当掖角尺寸为1:1时墙体应力最低;3:1比例整体最优。

4 结论

(1) 当斜交角度以及跨度保持不变时,随着桥梁长度逐渐增长,顶板位移与墙体位移变化趋势相同,均呈现增大的趋势,顶板应力与墙体应力变化相同,均呈现先减后增的趋势。

(2) 当桥梁长度以及跨度保持不变时,随着斜交角度逐渐增大,顶板位移与墙体位移以及顶板应力与墙体应力变化趋势相同,均呈现逐渐增大的趋势,且当斜交角度为 $0^\circ \sim 30^\circ$ 时,变化程度较小,当斜交角为 45° 时,变化程度增大。

(3) 当桥梁长度、跨度以及斜交角保持不变时,随着掖角尺寸的变化,顶板位移与墙体位移变化呈现出不同的变化趋势:顶板位移逐渐减小,墙体位移先减后增,顶板应力与墙体应力变化也不相同:顶板应力逐渐减小,墙体应力不断增加。

(4) 加腋的掖角比例采用3:1整体最优,即掖角尺寸中墙体掖角高度:顶板掖角长度为3:1最优。

致谢

全体作者衷心感谢杭州铁路设计院有限责任公司为本研究提供了相关的桥梁资料。

参考文献:

- [1] 韩广晖.框架式预应力地道桥CAD系统设计与开发[D].北京:北京交通大学,2013.
- [2] 王丽,季日臣,伊新芳,等.斜交框架地道桥的力学特性[J].甘肃科学学报,2009,21(1):132-134.
- [3] Willis R. Appendix to the report of the commissioners appointed to inquire into the application of iron to railway structures. London: H.M. Stationery Office; 1849.
- [4] Stokes G. Discussion of a differential equation related to the breaking of railway bridges. Trans Cambridge Philos Soc 1867;8(Part5).
- [5] Manuel F B H, Alberto F, Javier F, et al. A vibration prediction model for culvert-type railroad underpasses [J]. Engineering Structures, 2018.172:1025-1041.
- [6] Vega J, Fraile A, Alarcon E, et al. Dynamic response of underpasses for high-speed train lines [J]. Journal of Sound and Vibration, 2012, 331(23):5125-5140.
- [7] 王庆贵.斜交框架地道桥的参数分析[J].盐城工学院学报(自然科学版),2013,26(01):75-78.
- [8] 范香艳,刘来君,丁昊,王鑫.大跨度斜交框架式地道桥空间有限元分析研究[C]//世界交通运输工程技术论坛(WTC2021)论文集(上),2021:935-939.