

大角度斜交箱涵设计研究与应用

刘伟楠

(广州市城建规划设计院有限公司, 广东 广州 510230)

摘要: 受城市道路规划线位的限制,在城市道路设计中,需跨越现状河涌时常采用大角度斜交箱涵的设计。依托已完工的工程实例,根据现有相关规范的要求,分析大角度斜交箱涵的受力特征,并结合箱涵计算常用的三种有限元计算方案,运用MIDAS Civil有限元软件分别建立不同跨度的平面框架模型和三维板壳模型并进行计算,对比三种模型的计算结果差异,分析三种模型的优势与不足,最后针对大角度箱涵的构造,结合计算结果提出合理、实用的设计建议,以为后续同类工程的设计提供参考。

关键词: 大角度;斜交箱涵;受力分析;有限元计算;构造设计

中图分类号: U442.5

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)05-0120-04

Design, Research and Application of Large-angle Skew Box Culvert

LIU Weinan

(Guangzhou Urban Construction Planning and Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510230, China)

Abstract: Due to the limitations of urban road planning lines, in urban road design, it is necessary to design the large-angle skew box culverts that cross the existing rivers. Based on the completed engineering examples and existing relevant specifications, the stress characteristics of large-angle skew box culverts are analyzed. And combined with three kinds of finite element calculation schemes commonly used in box and culvert calculation, Midas civil finite element software is used to establish the different-span plane frame model and three-dimensional plate shell model for calculation. The differences in the calculation results of the three models are compared, and the advantages and disadvantages of the three models are analyzed. Finally, aiming at the construction of large-angle box culvert and combined with the calculation results, the reasonable and practical design suggestions are proposed, which provides the reference for the design of similar projects in the future.

Keywords: large angle; skew box culvert; stress analysis; finite element calculation; construction design

0 引言

市政道路设计中,常需跨越现状河涌,对于防洪要求不高的河涌,一般采用箱涵结构,因其具有形式灵活、施工快、经济等优势。但受城市道路规划线位的限制,建设城市道路时经常与现状河涌斜交,甚至出现斜交角度大于 45° 的情况,而《公路涵洞设计规范》(JTG/T 3365-02—2020)^[1]规定,当河沟水流方向与路线不垂直时,宜将涵洞斜交布设,斜度不宜大于 45° 。目前针对斜交箱涵的研究较为丰富,李文治^[2]基于一座斜交角为 21° 的箱涵进行沉降缝设置方案比选和受力分析,并采用板单元建模计算,提出配筋建议;张伟立^[3]通过平面框架模型和三维板壳模型对不同角度的端部斜交箱涵进行计算分析,探讨了

斜交箱涵的设计方法;陈征^[2]基于一座斜交角为 37° 的箱涵进行平面和空间有限元分析,总结了斜交箱涵的受力特征,并给出其配筋建议。

但是目前关于大角度斜交箱涵设计应用的研究较少,故本文依托某项目中斜交角为 55° 的箱涵,对斜交箱涵进行受力分析及结构设计,并运用MIDAS Civil有限元软件对斜交箱涵进行验算。

1 受力分析及结构设计

斜交箱涵中的涵节可按常规正交箱涵进行计算分析,顶板、底板和侧墙均按偏心受压构件计算配筋。但斜交箱涵端涵节受力复杂,除了弯矩、剪力、轴力作用外,还有扭矩作用。对于斜交角小于 45° 的端涵节,一般采用斜交转正交简化计算方法,即计算跨径采用箱涵斜长的平面框架模型;而对于斜交角大于 45° 的端涵节,一般采用三维板壳单元模型实际建模计算方法。

收稿日期: 2024-05-16

作者简介: 刘伟楠(1991—),男,硕士,工程师,从事桥梁设计工作。

3.1 按垂直长为跨径的平面框架模型计算结果

计算分析采用梁单元模型进行分析:箱涵单孔跨径为8.7 m;模型共63个节点,分为61个单元,单元宽度为7.5 m;底板约束采用节点弹性支撑。计算模型如图4所示。

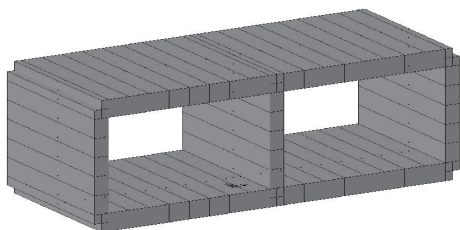


图4 平面框架模型(8.7 m跨径)

各工况的计算结果如图5至图7所示。其中,自重工况下,顶板最大正弯矩为714 kN·m,位于顶板跨中处;最大负弯矩为-1 487 kN·m,位于中墙支座处;侧边土压力工况下,顶板最大正弯矩为114 kN·m,位于中墙支座处;最大负弯矩为-222 kN·m,位于侧墙支座处;车道荷载工况下,顶板最大正弯矩为1 071 kN·m,位于顶板跨中处;最大负弯矩为-844 kN·m,位于中墙支座处。

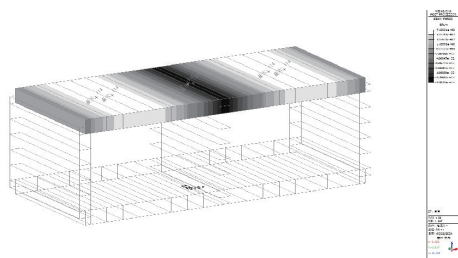


图5 平面框架模型(8.7 m跨径)自重工况下顶板弯矩图

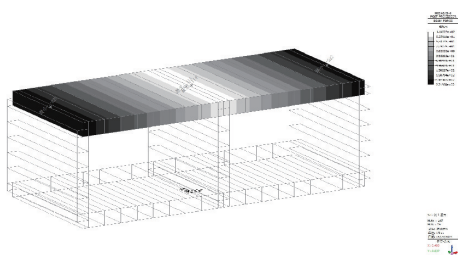


图6 平面框架模型(8.7 m跨径)侧边土压力工况下顶板弯矩图

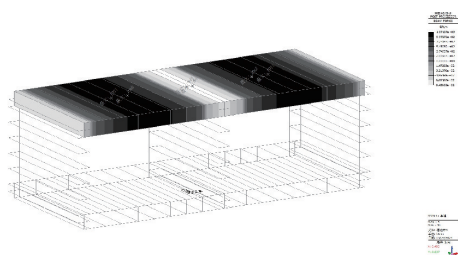


图7 平面框架模型(8.7 m跨径)车道荷载工况下顶板弯矩图

3.2 按斜长为跨径的平面框架模型计算结果

计算分析采用梁单元模型进行分析:箱涵单孔跨径为15.2 m;模型共71个节点,分为69个单元,单

元宽度为7.5 m;底板约束采用节点弹性支撑。计算模型如图8所示。

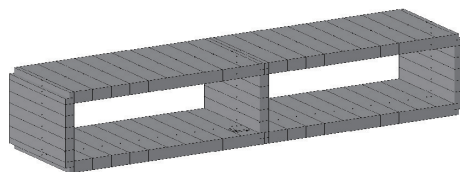


图8 平面框架模型(15.2 m跨径)

各工况的计算结果如图9至图11所示。其中,自重工况下,顶板最大正弯矩为1 863 kN·m,位于顶板跨中处;最大负弯矩为-3 671 kN·m,位于中墙支座处;侧边土压力工况下,顶板最大正弯矩为79 kN·m,位于中墙支座处;最大负弯矩为-156 kN·m,位于侧墙支座处;车道荷载工况下,顶板最大正弯矩为1 917 kN·m,位于顶板跨中处;最大负弯矩为-1 848 kN·m,位于中墙支座处。

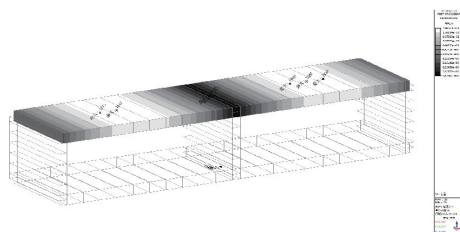


图9 平面框架模型(15.2 m跨径)自重工况下顶板弯矩图

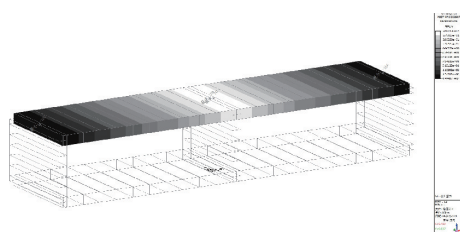


图10 平面框架模型(15.2 m跨径)侧边土压力工况下顶板弯矩图

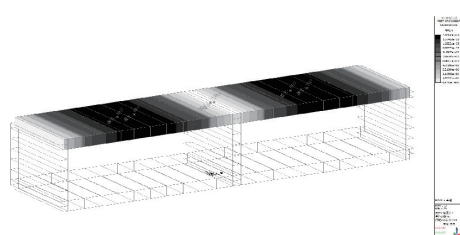


图11 平面框架模型(15.2 m跨径)车道荷载工况下顶板弯矩图

3.3 三维板壳模型计算结果

计算分析采用板单元模型进行分析:箱涵单孔跨径按实际考虑,模型共962个节点,分为900个单元,均为4节点板单元;底板约束采用节点弹性支撑。计算模型如图12所示。

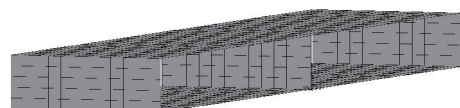


图12 三维板壳模型

各工况的计算结果如图 13 至图 15 所示。其中, 计算结果如下: 自重工况下, 顶板最大正弯矩为 $130\text{ kN}\cdot\text{m}$, 位于顶板跨中端部处, 最大负弯矩为 $-451\text{ kN}\cdot\text{m}$, 位于中墙支座端部处; 侧边土压力工况下, 顶板最大正弯矩为 $66\text{ kN}\cdot\text{m}$, 位于顶板锐角支座处, 最大负弯矩为 $-274\text{ kN}\cdot\text{m}$, 位于顶板钝角支座处; 车道荷载工况下, 顶板最大正弯矩为 $175\text{ kN}\cdot\text{m}$, 位于顶板跨中端部处, 最大负弯矩为 $-264\text{ kN}\cdot\text{m}$, 位于中墙支座端部处。

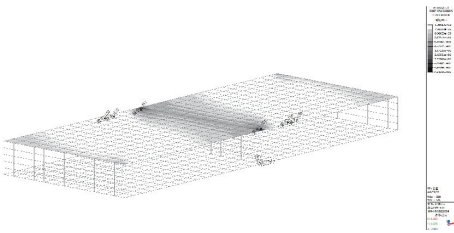


图 13 三维板壳模型自重工况下顶板弯矩图

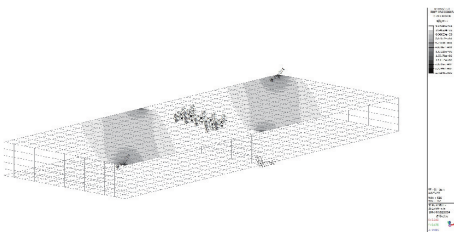


图 14 三维板壳模型侧边土压力工况下顶板弯矩图

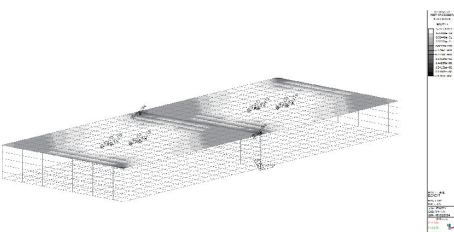


图 15 三维板壳模型车道荷载工况下顶板弯矩图

3.4 结果比较分析

由于三维板壳模型提取结果为单位宽度的弯矩值, 为了方便比较, 将平面框架模型所算出的弯矩值除以单元宽度, 统一转换成单位宽度的弯矩值进行比较, 结合前三小节计算结果, 具体汇总如表 1 所列。

对于大角度斜交箱涵, 采用不同模型计算得出, 由自重和车道荷载引起的顶板最大正弯矩均发生在顶板跨中位置, 最大负弯矩均发生在中墙支座位置; 由侧边土压力引起的顶板最大正弯矩, 采用梁单元模型时发生在中墙支座处, 采用板单元模型时发生在顶板锐角支座处; 由侧边土压力引起的顶板最大负弯矩, 采用梁单元模型时发生在侧墙支座处, 采用板单元模型时发生在顶板钝角支座处。但不管采用哪种模型, 侧边土压力对于顶板跨中内力的影响都较小。

表 1 模型计算结果汇总表

模型类别	跨径/ m	荷载类型	顶板内力/($\text{kN}\cdot\text{m}$)			
			最大正弯矩	出现位置	最大负弯矩	出现位置
平面框架模型	8.7	自重	95	顶板跨中	-198	中墙支座
		侧土压力	15	中墙支座	-30	侧墙支座
		车道荷载	143	顶板跨中	-112	中墙支座
	15.2	自重	248	顶板跨中	-490	中墙支座
		侧土压力	10	中墙支座	-21	侧墙支座
		车道荷载	256	顶板跨中	-246	中墙支座
三维板壳模型	8.7	自重	130	顶板跨中	-451	中墙支座
		侧土压力	66	顶板锐角支座	-274	顶板钝角支座
		车道荷载	175	顶板跨中	-264	中墙支座

根据表 1 结果, 通过柱状图对不同模型在 3 种工况下的计算结果进行对比, 如图 16 所示。由图可知, 对于大角度斜交箱涵, 在自重和车道荷载工况下, 相对于三维板壳模型, 采用垂直长度为跨径的平面框架模型得到的计算结果偏不安全, 会导致结构设计承载力不足; 采用斜长为跨径的平面框架模型计算结果偏保守, 会导致材料的使用产生一定的浪费, 但结果相差不大, 在只考虑这两种类似工况作用的情况下, 可采用斜长为跨径的平面框架模型进行计算, 节约计算时间, 提高设计效率。在侧边土压力工况下, 由于平面框架模型未考虑侧墙错位而引起的扭转, 其计算结果均偏不安全, 特别是顶板端部设计, 会出现设计承载力严重不足的情况; 根据三维板壳模型的结果, 在顶板端部增加暗梁设计, 可以很好地改善箱涵整体结构受力。

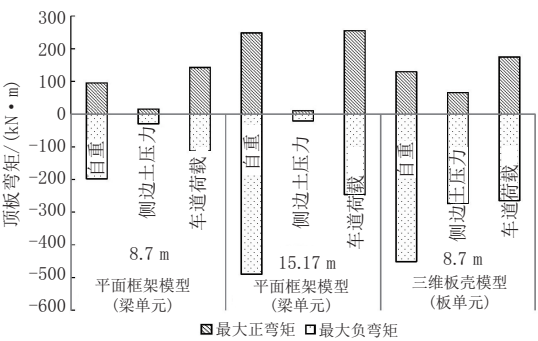


图 16 不同模型在 3 种工况下计算结果对比柱状图

综上分析, 对于大角度斜交箱涵, 采用三维板壳模型能更准确地计算结构内力的结果, 既保证结构 (下转第 134 页)