

巴基斯坦某框架式地道桥受力性能分析

韩克磊, 田 晓

中交路桥建设有限公司海外分公司, 北京
Email: 1326156846@qq.com

收稿日期: 2020年9月1日; 录用日期: 2020年9月16日; 发布日期: 2020年9月23日

摘 要

本文采用厚板理论,对巴基斯坦某洞口带翼墙的斜交框架式地道桥进行受力性能分析,通过依次上调15%设计参数,研究在恒荷载和移动荷载作用下斜交角对地道桥内力、应力、位移等力学参数的影响。研究发现,顶板的纵向弯矩随斜交角增大而增大,平均增大幅度为8.89%。顶板的横向弯矩、顶板的竖向位移、顶板上部最大主应力、翼墙与立墙连接部位最大主应力,均随斜交角增大而减小,其中应力和位移的平均减小幅度较大,分别为43.5%和8.65%。针对顶板钝角区域出现较大负弯矩的现象,提出布置相应加强筋的方案。

关键词

框架式地道桥, 斜交角, 有限元, 翼墙

Mechanical Performance Analysis of a Frame Underpass Bridge in Pakistan

Kelei Han, Xiao Tian

Overseas Branch of China Communications Road and Bridge Construction Co., Ltd., Beijing
Email: 1326156846@qq.com

Received: Sep. 1st, 2020; accepted: Sep. 16th, 2020; published: Sep. 23rd, 2020

Abstract

Based on the thick plate theory, this paper analyzes the mechanical performance of skew frame underpass bridge in Pakistan with wing wall at the portal. By increasing the design parameters by 15%, the influence of skew angle on the internal force, stress and displacement of Underpass Bridge under the action of dead load and moving load is studied. It is found that the longitudinal bending moment of the roof increases with the increase of the skew angle, with an average in-

crease of 8.89%. The transverse bending moment of roof, vertical displacement of roof, maximum principal stress of upper part of roof and maximum principal stress of connecting part of wing wall and vertical wall all decrease with the increase of skew angle. The average reduction range of stress and displacement is 43.5% and 8.65% respectively. Aiming at the phenomenon of large negative bending moment in obtuse angle area of roof, the scheme of arranging corresponding reinforcing bars is put forward.

Keywords

Frame Type Underpass Bridge, Skew Angle, Finite Element, Wing Wall

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来, 随着一带一路的影响, 巴基斯坦的经济发展较快, 城市不断扩大, 为满足道路交通安全和铁路提速的要求, 需要采用立交的形式改变铁路与公路道口平交的现状[1]。箱涵结构构造简单, 施工周期短, 成本低, 并且具有良好的力学性能, 修建框架式地道桥是解决此类交通干扰问题的有效方法[2]。正交式地道桥被广泛应用, 其研究体系也比较完备, 例如: 董锐等[3]探究覆土厚度对框架式地道桥受力性能影响, 认为随着顶板覆土厚度增加, 框架桥最大竖向变形和最大应力均有变小的趋势, 但最大横向变形和最大轴向变形基本没有变化; 杨功勤等[4]对地道桥简化图式的静力、动力特性的分析, 归纳出地道桥设计的一般规律; Shinae Jang [5]率先将 DLV 技术运用于地道桥检测中, 使用 SDLV 传感器确定潜在损伤位置。相比于正交地道桥, 斜桥的力学性能研究相对较少, 桥梁设计中会因为桥位、线形等因素将桥做成斜交桥[6]。斜交框架地道桥的受力情况复杂, 不仅有弯矩、剪力、轴向力, 还有扭矩作用, 且扭矩随着斜交角度的减小而变得不可忽略[7]。本文对巴基斯坦某斜交带翼墙框架式地道桥力学性能研究, 探究地道桥力学参数随斜交角变化的规律, 提出钝角区域的加强方案。

2. 工程概述

巴基斯坦某下穿既有公路单孔斜交地道桥, 洞口两侧均配有翼墙结构。该桥为整体现浇钢筋混凝土闭合框架结构, 净跨径为 8 m, 净高 2.8 m。通道中心全长 39.4 m, 全宽 9.3 m, 顶板、底板和立墙厚度均为 0.65 m, 翼墙厚度为 0.5 m。框架桥上部通行铁路, 内部为车辆和行人通道, 闭合框架轴线与道路中线夹角为 68° , 基本参数如图 1 所示。框架桥采用 C30 混凝土, 主筋采用 HRB335, 两侧土体容重 $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$, 内摩擦角 $\varphi = 35^\circ$ 。由于该结构较大, 故本文采用其中一个沉降块进行研究, 如图 2 所示。

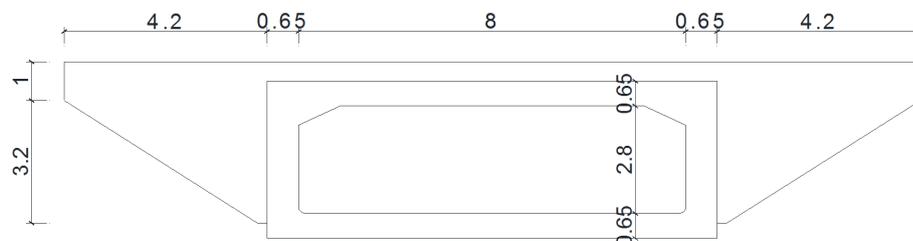


Figure 1. Cross section of frame box culvert

图 1. 框架箱涵断面图

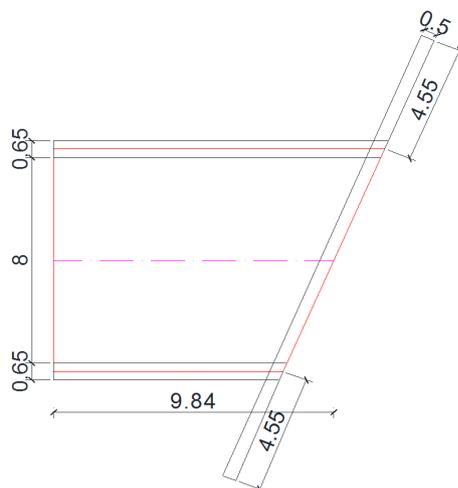


Figure 2. Box culvert plan
图 2. 箱涵平面示意图

3. 有限元分析

3.1. 本构关系

本文使用 Midas Civil 有限元软件建立框架桥模型, 分析在恒荷载和移动荷载作用下斜交角对地道桥内力、应力、位移等力学参数的影响。为了考虑横向剪应力的影响, 基本假设采用厚板理论, 由材料的本构关系, 得:

$$\{F_{\text{内}}\} = [D]\{\varepsilon\} \quad (1)$$

式中:

$$\begin{aligned} \{F_{\text{内}}\} &= [\{N\}^T \quad \{M\}^T \quad \{Q\}^T]^T \\ \{\varepsilon\} &= [\{E\}^T \quad \{\chi\}^T \quad \{\phi\}^T]^T \\ [D] &= \begin{bmatrix} [D_t] & 0 & 0 \\ 0 & [D_f] & 0 \\ 0 & 0 & [D_s] \end{bmatrix} \end{aligned}$$

$[D_t]$ 、 $[D_f]$ 和 $[D_s]$ 分别为中面内力与中面变形, 弯曲内力与弯曲变形, 横剪力与剪切变形之间的弹性矩阵。 $[D]$ 为内力与变形之间的弹性矩阵。当有温度影响时, 假设单元平均温度变化为 T , 则温度产生一个初应变 $\{\varepsilon_0\}$, 式(1)变为:

$$\{F_{\text{内}}\} = [D]\{\varepsilon\} - [D]\{\varepsilon_0\} \quad (2)$$

3.2. 模型建立

结构采用板单元建模, 截面选取长宽均为 0.1 m 的实腹矩形截面。由于梁单元弯矩单向, 正交桥在建模过程中选取梁单元和板单元差异不大, 而斜桥的横向弯矩不可忽略, 选取板单元更合理。板单元的划分和控制节点的选取如图 3、图 4 所示。为了方便研究斜交角变化对地道桥的影响, 模型斜交角度依次增加 15%, 分别为 45°、52°、60°、68°和 78°。

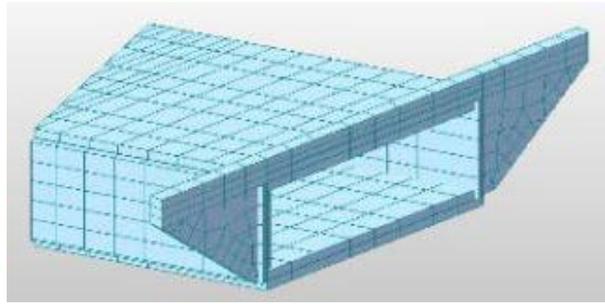


Figure 3. 3D rendering of model
图 3. 模型三维效果图

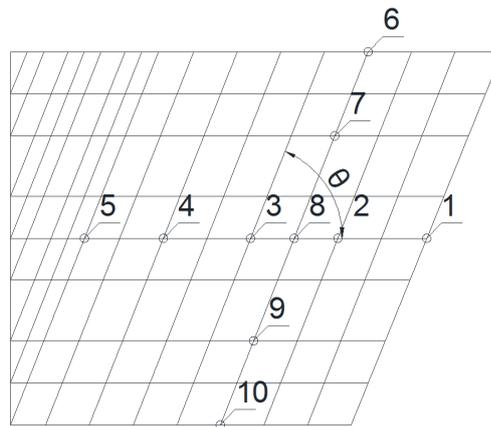


Figure 4. Roof unit division and key node selection
图 4. 顶板单元划分和关键节点选取

结构自重、顶板覆土压力、台后土压力和翼墙土压力计为恒荷载；台后活载和车辆荷载计为活荷载，荷载分布如图 5 所示。其中台后土压力按梯形荷载考虑，计算方法如下：

$$q = \gamma \cdot h \cdot \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (3)$$

式中： q 为单位面积的台后土压力； γ 为土体容重； h 为计算点到土体表面的距离； φ 为土体的内摩擦角。

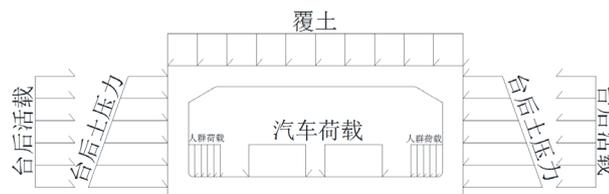


Figure 5. Load distribution diagram
图 5. 荷载分布示意图

3.3. 数值分析结果

3.3.1. 斜交角对内力的影响

在工程设计中，地道桥的顶板设计最为关键，因为顶板是主要受弯、剪、扭构件。如图 6 所示，顶板 1 到 5 号控制节点的横向弯矩随斜交角的增大而减小，顶板 6 到 10 号控制节点的纵向弯矩随斜交角增大而增大，1、5、6、10 号控制节点由于分布在板边缘，曲线变化幅度较小。

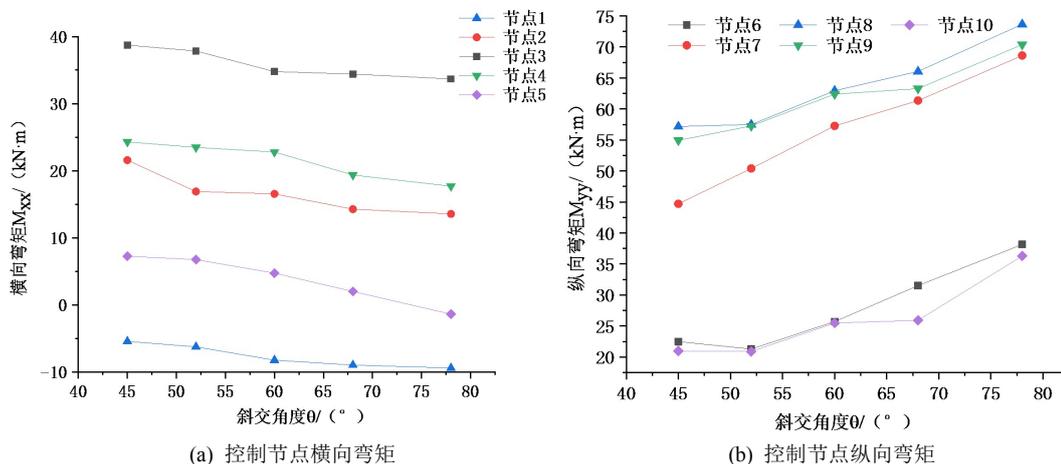


Figure 6. Bending moment curve of roof control node
图 6. 顶板控制节点弯矩曲线图

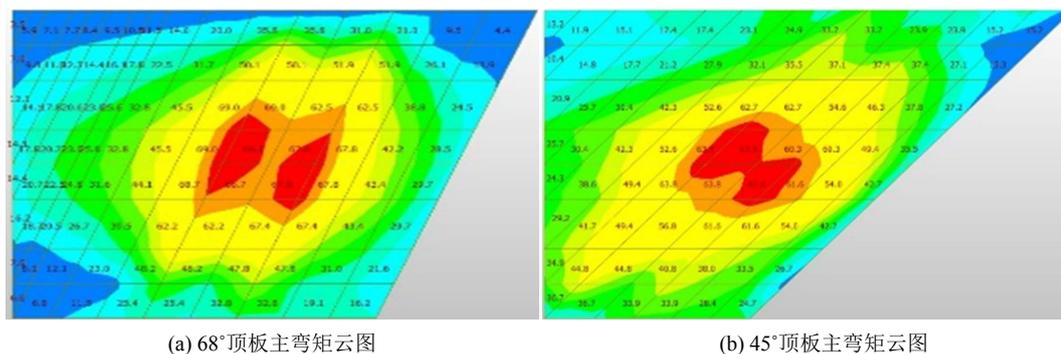


Figure 7. Main bending moment nephogram of roof
图 7. 顶板主弯矩云图

如图 7 所示, 主弯矩最大值主要集中在跨中车道面附近, 板边缘弯矩较小, 与图 6 中曲线跨中节点和边缘节点竖向分离较大的结果相符。云图中看出右侧的钝角区域的弯矩值大于锐角区域, 通过与其余各角度云图对比发现, 不论斜角度如何变化, 钝角区域的内力总是大于锐角区域, 且随着斜交角的增大, 弯矩分布较为均匀。如表 1 所示, 控制节点的横向弯矩变化幅度随角度增加而减小, 节点 2 处于跨中, 弯矩减小幅度明显大于板边缘节点 4。如表 2 所示, 控制节点的纵向弯矩变化幅度随角度增加而增加, 在 68°附近弯矩增加幅度放缓。

Table 1. Transverse bending moment of control joint with variation of skew angle
表 1. 斜交角变化下控制节点的横向弯矩

$\theta / ^\circ$	$M_{xx'} / (\text{kN} \cdot \text{m})$		$\Delta_p / \%$	
	节点 2	节点 4	节点 2	节点 4
45	21.568	24.29	-	-
52	17.898	23.47	17.0	3.4
60	15.847	22.78	11.5	2.9
68	14.269	19.35	9.9	1.5
78	13.561	17.68	5.0	0.9

Table 2. Longitudinal bending moment of control joint with variation of skew angle
表 2. 斜交角变化下控制节点的纵向弯矩

$\theta / ^\circ$	$M_{xy} / (\text{kN}\cdot\text{m})$		$\Delta_p / \%$	
	节点 6	节点 9	节点 6	节点 9
45	44.702	54.934	-	-
52	50.399	57.258	12.7	4.2
60	57.268	62.386	13.6	9.0
68	61.352	63.282	7.1	1.4
78	68.624	70.384	11.9	11.2

3.3.2. 斜交角对位移的影响

如图 8 所示, 各曲线分离明显, 不同斜交角度下的竖向位移值差距较大, 随着斜交角的增大, 顶板控制节点的竖向位移减小, 跨中节点为位移最大处。

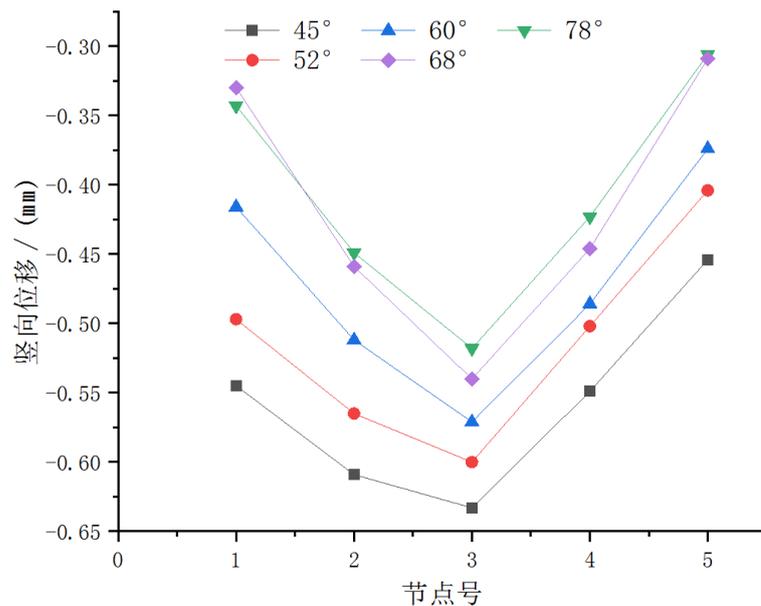


Figure 8. Vertical displacement of roof control node
图 8. 顶板控制节点的竖向位移

Table 3. Vertical displacement of control joint under skew angle change
表 3. 斜交角变化下控制节点的竖向位移

$\theta / ^\circ$	DZ / mm		$\Delta_p / \%$	
	节点 1	节点 3	节点 1	节点 3
45	-0.55	-0.63	-	-
52	-0.50	-0.60	8.8	5.2
60	-0.42	-0.57	16.3	4.8
68	-0.34	-0.52	17.5	9.3
78	-0.33	-0.50	3.8	3.5

如表 3 所示, 板边缘节点 1 的竖向位移的变化幅度整体大于跨中节点 3, 且两节点在 68°附近位移值变化幅度最大。

3.3.3. 斜交角对应力的影响

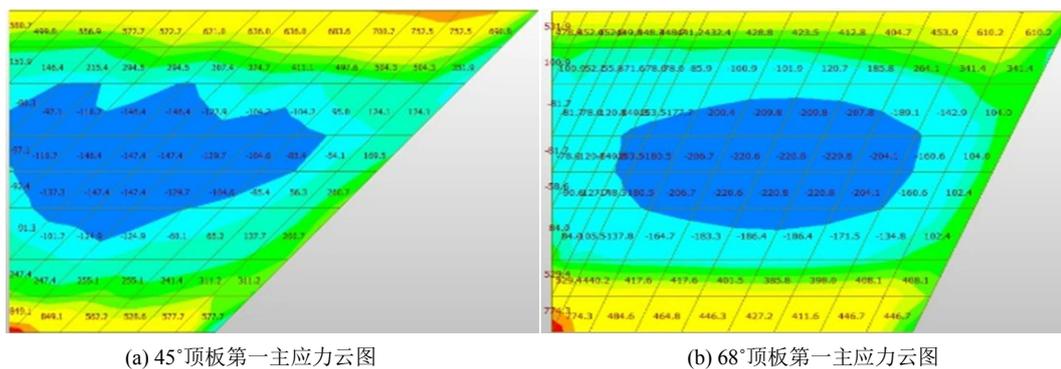


Figure 9. Roof stress nephogram
图 9. 顶板应力云图

如图 9 所示, 顶板的四角和与立墙接触的部位均出现了应力集中现象, 出现较大的拉应力, 顶板的上部和下部的应力集中现象随角度增大有所缓解。如图 10 所示, 顶板上部各控制节点第一主应力随斜交角增大而减小, 且 1 号控制节点拉应力值较大, 考虑是由于处在板边缘且为翼墙连接处。

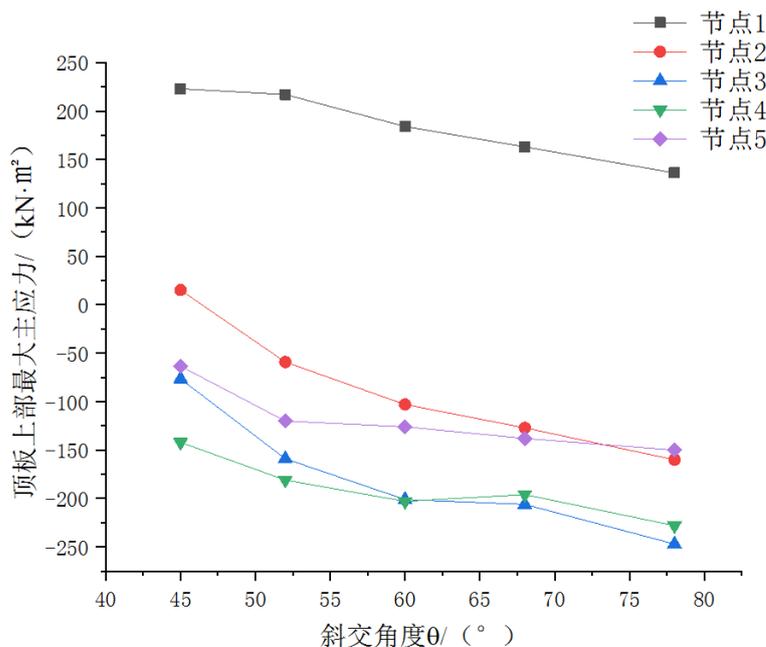


Figure 10. Maximum principal stress of upper roof
图 10. 顶板上部的最大主应力

3.3.4. 斜交角对洞口翼墙的影响

翼墙作为一个能够承受背后山体土压力、稳定边坡、保护道路免受落石与雪崩等危害的防护承载结构, 在箱涵结构中具有不可替代的作用。

如图 11 所示, 翼墙左侧等值线为深蓝色部分, 为翼墙与较短立墙连接的部位, 出现应力集中现象,

最大主应力为负值。在该区域选取控制节点，绘制了如图 12 所示的曲线，明显看出该节点最大主应力全部为负值，且应力的绝对值随斜交角增大而减小，变化幅度较大。

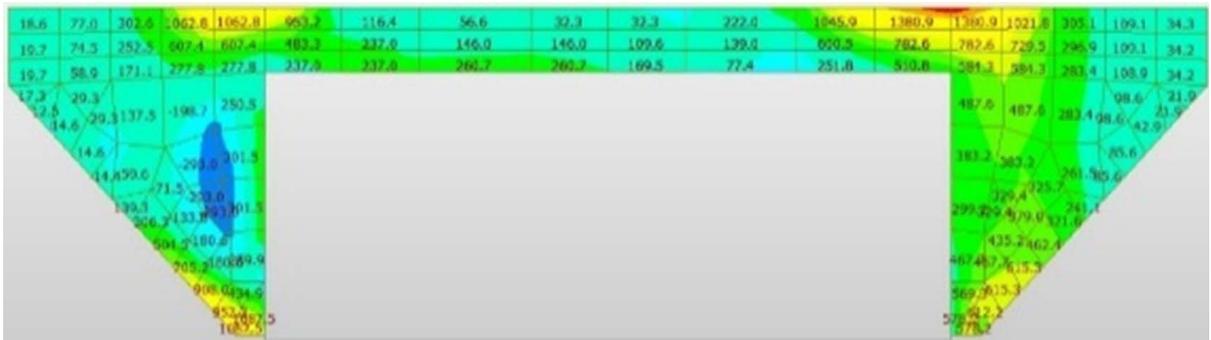


Figure 11. First principal stress nephogram of 78° wing wall
图 11. 78°翼墙第一主应力云图

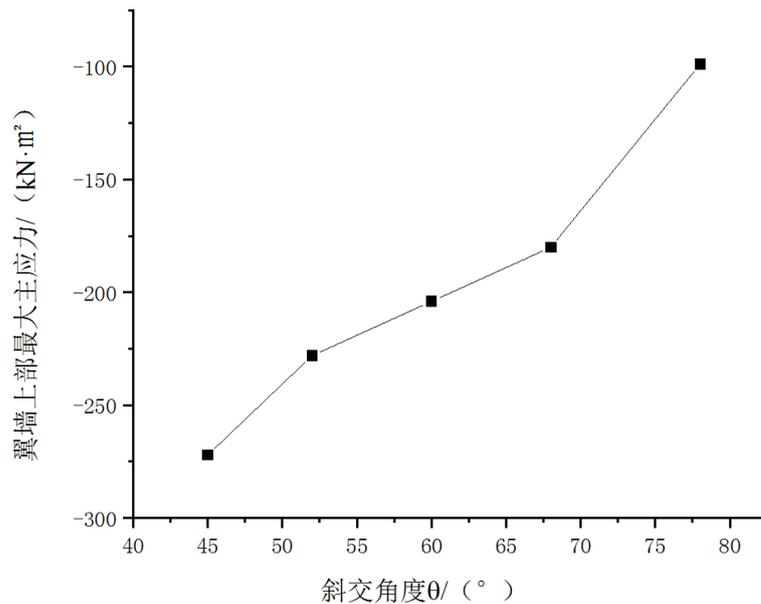


Figure 12. Maximum principal stress of wing wall
图 12. 翼墙上部最大主应力

4. 结论

本文通过 Midas Civil 软件研究了斜交角对带翼墙的闭合箱涵内力、位移、应力的影响，在所给参数范围内，得出以下结论：

1) 顶板的横向弯矩随斜交角度增大而减小，纵向弯矩随斜交角增大而增大，不论斜角度如何变化，顶板钝角区域的内力总是大于锐角区域，对于钝角区域较大的负弯矩，应沿垂直于钝角平分线的方向布置加强筋。

2) 顶板的竖向位移值随斜交角的增大而减小。顶板上部最大主应力随斜交角增大而减小，翼墙与立墙连接部位的控制节点最大主应力，随斜交角增大而减小。

3) 顶板最大主应力和竖向位移随斜交角增大平均减小幅度较大，分别为 43.5%和 8.65%，这说明斜交角较小时桥体的刚度会明显降低，在设计小角度斜交桥时应考虑额外的加固方案。

参考文献

- [1] 李森, 于洋, 黄祖慰, 等. 下穿铁路斜交框架地道桥主要设计参数分析[J]. 铁道标准设计, 2019, 63(9): 62-69.
- [2] 严小卫, 于晓辉, 赵智成, 等. BIM 技术在地铁车站下穿既有地道桥施工中的应用研究[J]. 工程管理学报, 2020, 34(2): 90-94.
- [3] 董锐, 李狄钦, 詹刚毅, 等. 覆土厚度对框架式地道桥受力性能影响[J]. 新疆大学学报, 2020, 37(1): 94-101.
- [4] 杨功勤. 地道桥结构静力与动力特性的分析[J]. 工程建设与设计, 2002(6): 10-12.
- [5] Jang, S. and Dahal, S. (2015) Full-Scale Application of Stochastic DLV Method for Highway Bridge Health Monitoring. *Advances in Structural Engineering*, **18**, 1875-1885. <https://doi.org/10.1260/1369-4332.18.11.1875>
- [6] 张海, 蔡玉军. 斜交异形箱涵整体结构受力性能及变形规律[J]. 建筑科学与工程学报, 2020, 37(2): 91-99.
- [7] 国家铁路局. 铁路桥涵设计基本规范: TB10002-2017 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.