

文章编号: 1006 - 2106(2012) 02 - 0013 - 06

路堤式 U 型结构有限元分析^{*}

张劲松 郭 超^{**}

(铁道第三勘察设计院集团有限公司, 天津 300251)

摘要: 研究目的: 由于城际轨道交通、客运专线等高速铁路穿越经济发达地区, 铁路用地紧张, 轨道对路基工后沉降的要求较高。路堤式 U 型结构既能节省用地, 同时又能提高路堤的稳定性, 降低路基的工后沉降, 为地质条件较差的平原区修建城际轨道交通、客运专线等高速铁路路基提供借鉴。

研究结论: 通过对路堤式 U 型结构的受力和变形规律分析, 得出了底板和边墙的应力应变随结构高度和厚度的变化规律。底板和边墙的 X 轴方向弯矩是控制弯矩, 底板弯矩的最大值在边墙处, 边墙弯矩的最大值在底部。路堤式 U 型结构的整体稳定性较高, 变形较小, 能够有效控制路基变形。

关键词: 路堤; U 型结构; 有限元; 弹性地基

中图分类号: U213⁺¹ **文献标识码:** A

Analysis of Embankment U - shaped Structure with Finite Element Method

ZHANG Jin - song , GUO Chao

(The Third Railway Survey and Design Institute Group Corporation , Tianjin 300142 , China)

Abstract: Research purposes: As intercity rail transit and passenger dedicated line pass through the developed areas , the land resource in these areas becomes less and less , so the track requires higher standard for the post - construction settlement of the subgrade. In this paper , an embankment U - shaped structure is presented. By using it , the land resource can be saved , the embankment stability can be enhanced and the post - construction settlement of the subgrade can be cut. It can provide the reference to the subgrades of the intercity rail transit and passenger dedicated line built in the plain area with bad geological conditions.

Research conclusions: The load bearing and deformation laws of the embankment U - shaped structure are analyzed to obtain the change law of the stress - strain of the bottom plate and side - wall corresponding to the structure height and thickness. The moments of X axial direction of the bottom plate and side - wall are the control moments. The max moment of bottom plate is on the side - wall , and the max moment of side - wall is on bottom. The embankment U - shaped structure has features of higher whole stability and less deformation and it can control the subgrade deformation effectively.

Key words: embankment; U - shaped structure; finite element method; elastic foundation

路堤式 U 型结构可以减少路基的宽度, 从而减少地基加固处理的面积, 节省土地资源, 有利于节能环保^[1]。另外, 由于悬壁板和底板为钢筋混凝土结构^[2], 具有良好的整体性, 有利于控制路基的工后沉

降^[3], 对于防止地基的不均匀沉降具有重要作用^[4]。国内外学者对 U 型结构进行过较多的研究^[5], 主要集中在桥梁中槽型梁和路基的封闭式 U 型槽结构上^[6], 并对此进行了受力分析和研究, 而且关于 U 型结构的

* 收稿日期: 2011 - 10 - 17

** 作者简介: 张劲松, 1970 年出生, 男, 高级工程师; 郭超, 1980 年出生, 男, 工程师。

封闭地下水等方面也进行了相应的设计和研究,取得了一定的成果^[7]。本文在上述研究成果的基础上,着重分析路堤式U型结构的受力和变形规律^[8],为工程实践提供必要的理论依据。

1 路堤式U型结构有限元计算模型

1.1 路堤式U型结构

采用ANSYS自带的SHELL63单元模拟U型结构的底板和边墙,该单元相比其它单元具有较好的弯曲能力,可以承受平面内荷载和法向荷载。SHELL63单元每个节点具有6个自由度,分别为:沿节点坐标系 X 、 Y 、 Z 方向的平动和沿节点坐标系 X 、 Y 、 Z 轴的转动,可以允许较大的变形。

1.2 地基

采用COMBIN14单元模拟U型结构的地基,该单元在一维、二维或三维应用中有轴向拉压和扭转的能力。在每个节点上至多有3个自由度:沿节点坐标系 x 、 y 、 z 方向的平移,本次模拟不考虑地基的弯曲或者扭转,只考虑轴向拉伸和压缩,通过设立弹簧的弹性常数来模拟地基的强度。

2 路堤式U型结构有限元计算参数

2.1 几何模型参数

对弹性地基条件下,混凝土U型结构横断面总宽13.6 m,纵向长取12 m,边墙高度为3 m、4 m、5 m、6 m的路堤式U型结构。

2.2 材料的参数

C40混凝土的弹性模量为32.5 GPa,泊松比为0.2,密度 $2\,700\text{ kg/m}^3$ 。

精轧螺纹钢的横截面积 805 mm^2 ,弹性模量 $2 \times 10^5\text{ MPa}$,泊松比0.3,初始应变为0.002。

3 路堤式U型结构有限元计算工况

路堤式U型结构有限元模型分别对边墙高3 m、4 m、5 m、6 m和边墙厚度0.4 m、0.5 m、0.6 m的组合进行数值模拟计算分析,并获得路堤式U型结构在上部荷载作用下的应力、应变分布特征,为路堤式U型结构设计提供理论依据。具体研究包括以下内容,结构形式如图1、图2所示。

4 路堤式U型结构的位移和应力

路堤式U型结构边墙高3 m的位移和应力云图,计算结果如图3~图8所示。

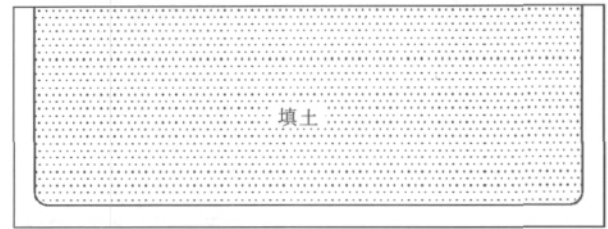


图1 路堤式U型结构

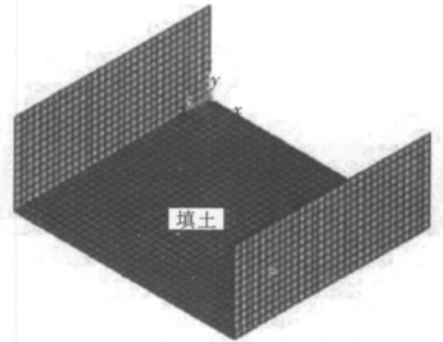


图2 路堤式U型结构有限元分析图

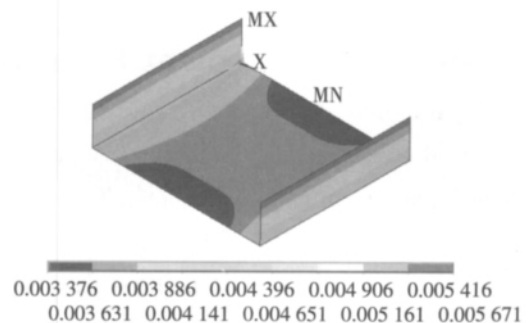


图3 边墙厚0.4 m、底板厚0.5 m位移云图

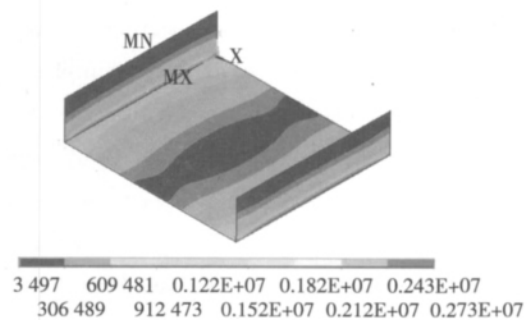


图4 边墙厚0.4 m、底板厚0.5 m应力云图

从图3~图8可以看出,在均质地基的情况下,边墙高3 m的U型路基结构,不同壁厚的位移云图和应力云图有相似的变化趋势。最大和最小位移值随着壁厚的增大略微减小,壁厚0.4 m的最大位移是5.67 mm,最小位移是3.37 mm,壁厚0.6 m的最大位移是5.86 mm,

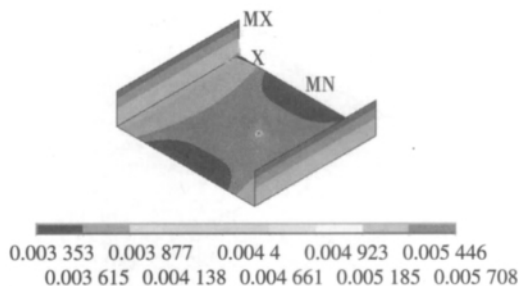


图5 边墙厚0.5 m、底板厚0.5 m 位移云图

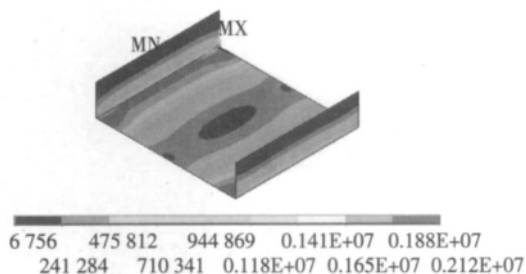


图6 边墙厚0.5 m、底板厚0.5 m 应力云图

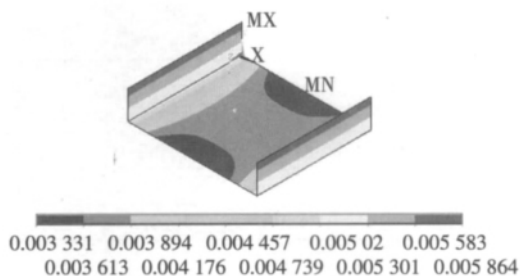


图7 边墙厚0.6 m、底板厚0.5 m 位移云图

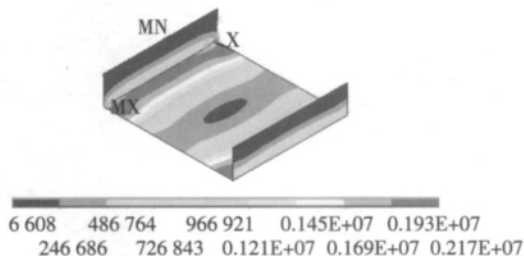


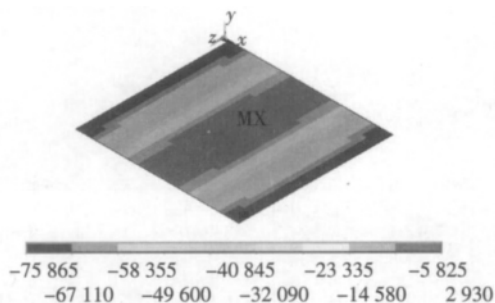
图8 边墙厚0.6m、底板厚0.5m 应力云图

最小位移是3.33 mm。对于应力值,边墙越厚,受到的应力值越小,边墙厚度0.6 m的结构在边墙底部受力要小于0.4 m和0.5 m的。

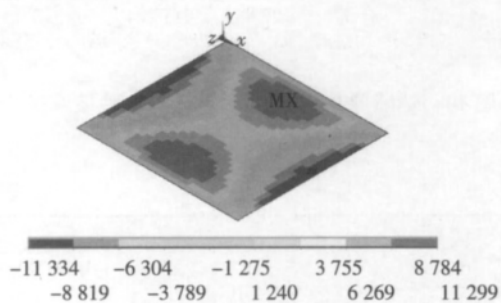
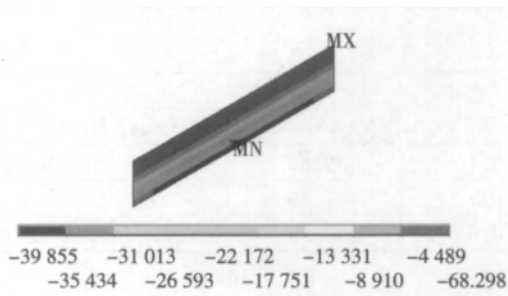
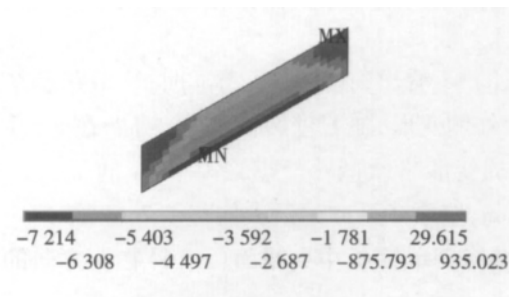
5 路堤式U型结构的弯矩

路堤式U型结构边墙高3 m的弯矩,计算结果如

图9~图16所示。

图9 边墙厚0.4 m、底板厚0.5 m 底板弯矩 M_x

从图9~图16看到,不同边墙厚度的U型路基结构的弯矩有相似的趋势。底板和边墙的 M_x 是控制弯矩,底板弯矩的最大值在边墙处,边墙弯矩的最大值在底部。底板和边墙弯矩的最大值如表1、表2所示。

图10 边墙厚0.4 m、底板厚0.5 m 底板弯矩 M_y 图11 边墙厚0.4 m、底板厚0.5 m 边墙弯矩 M_x 图12 边墙厚0.4 m、底板厚0.5 m 边墙弯矩 M_y

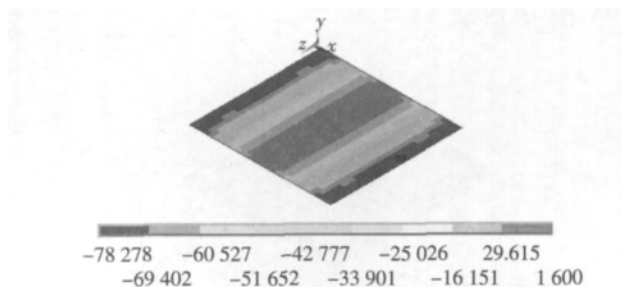
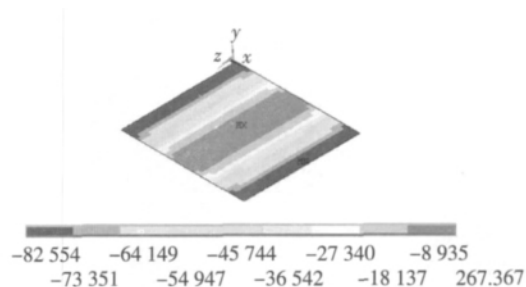
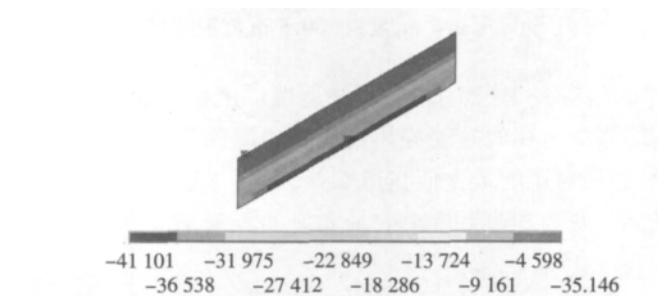
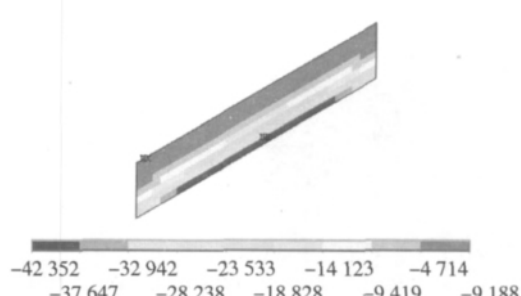
图 13 边墙厚 0.5 m、底板厚 0.5 m 底板弯矩 M_x 图 15 边墙厚 0.6 m、底板厚 0.5 m 底板弯矩 M_x 图 14 边墙厚 0.5 m、底板厚 0.5 m 边墙弯矩 M_x 图 16 边墙厚 0.6 m、底板厚 0.5 m 边墙弯矩 M_x

表 1 各结构底板弯矩值

墙高/m 边墙厚/m	3		4		5		6	
	$M_x / (\text{kN} \cdot \text{m})$	$M_y / (\text{kN} \cdot \text{m})$	$M_x / (\text{kN} \cdot \text{m})$	$M_y / (\text{kN} \cdot \text{m})$	$M_x / (\text{kN} \cdot \text{m})$	$M_y / (\text{kN} \cdot \text{m})$	$M_x / (\text{kN} \cdot \text{m})$	$M_y / (\text{kN} \cdot \text{m})$
0.4	-75.86	-11.33	-144.7	-23.1	-245.2	-40.1	-382.6	-63.1
0.5	-78.28	-12.16	-149.8	-24.2	-252.1	-41.4	-390.6	-64.6
0.6	-82.55	-12.99	-155.4	-25.3	-258.9	-42.6	-398.7	-66.1

表 2 各结构边墙弯矩值

墙高/m 边墙厚/m	3		4		5		6	
	$M_x / (\text{kN} \cdot \text{m})$	$M_y / (\text{kN} \cdot \text{m})$	$M_x / (\text{kN} \cdot \text{m})$	$M_y / (\text{kN} \cdot \text{m})$	$M_x / (\text{kN} \cdot \text{m})$	$M_y / (\text{kN} \cdot \text{m})$	$M_x / (\text{kN} \cdot \text{m})$	$M_y / (\text{kN} \cdot \text{m})$
0.4	-39.86	-7.21	-86.2	-15.1	-184.56	-31.46	-254.6	-43.4
0.5	-41.10	-7.69	-87.7	-15.7	-186.59	-32.08	-256.5	-44.1
0.6	-42.35	-8.15	-89.3	-16.2	-188.57	-32.64	-258.3	-44.8

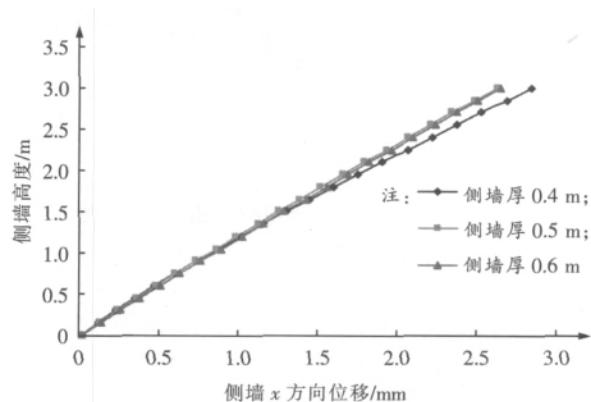
6 路堤式 U 型结构的变形

6.1 墙高 3 m 边墙中央截面 ($z=6$) 在 x 方向的变形 (图 17)

从图 17 看出,在边墙高 3 m 时,U 型路基结构的边墙向外侧变形。随着壁厚的增大,边墙在 $z=6$ 截面 x 方向的变形略微减小。壁厚 0.4 m 的最大位移是 2.84 mm,壁厚 0.5 m 的最大位移是 2.62 mm。

6.2 墙高 3 m 底板中央截面 ($z=6$) 在 y 方向的变形 (图 18)

从图 18 看出,基床系数为 $30\,000\text{ kN/m}^3$ 的均质地基可以满足 U 型结构的地基条件。U 型结构底板两侧位移较大。边墙厚度对 U 型结构底板 y 方向的

图 17 边墙 x 方向位移图

位移影响较小。壁厚 0.4 m 的最大位移值为 4.85 mm,壁厚 0.6 m 的最大位移值为 5.21 mm。

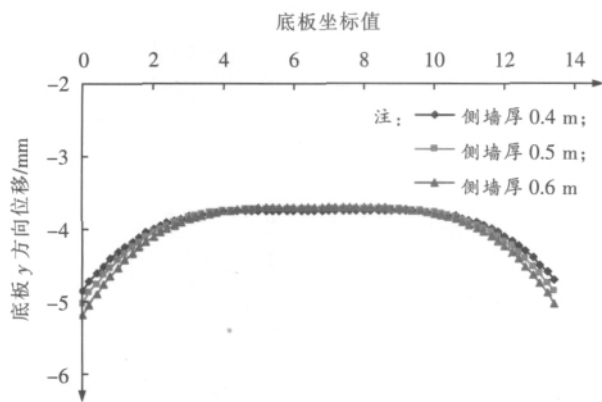


图18 底板 y 方向位移图

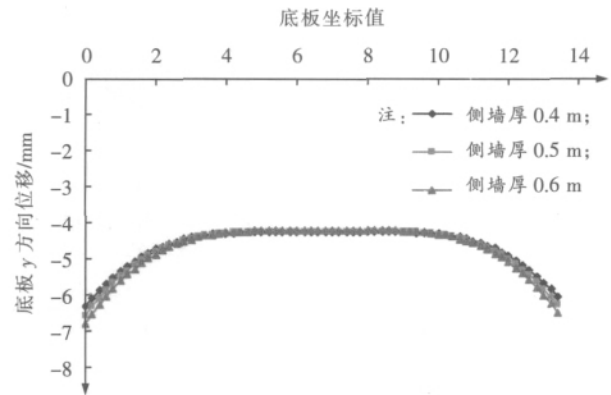


图20 底板 y 方向位移图

6.3 墙高 4 m 边墙中央截面($z=6$) 在 x 方向的变形 (图 19)

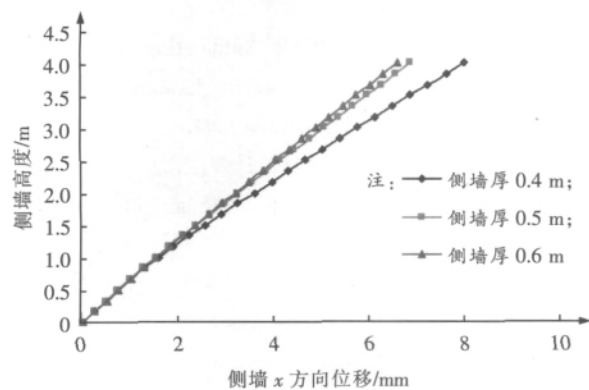


图19 边墙 x 方向位移图

从图 19 看出,在边墙高 4 m 时,U 型路基结构的边墙向外侧变形,随着壁厚的增大,边墙在 $z = -6$ 截面 x 方向的变形略微减小。壁厚 0.6 m 的最大位移是 6.6 mm;壁厚 0.3 m 的最大位移是 7.99 mm。

6.4 墙高 4 m 底板中央截面($z=6$) 在 y 方向的变形 (图 20)

6.5 墙高 5 m 边墙中央截面($z=6$) 在 x 方向的变形 (图 21)

从图 21 看出,在边墙高 5 m 时,U 型路基结构的边墙向外侧变形,随着壁厚的增大,边墙在 $z = 6$ 截面 x 方向的变形略微减小。壁厚 0.6 m 的最大位移是 13.85 mm;壁厚 0.3 m 的最大位移是 18.35 mm。

6.6 墙高 5 m 底板中央截面($z=6$) 在 y 方向的变形 (图 22)

从图 22 看出,基床系数为 30 000 kN/m³ 的天然地基可以满足 U 型结构的地基条件。U 型结构底板两侧位移较大。边墙厚度对 U 型结构底板 y 方向的位

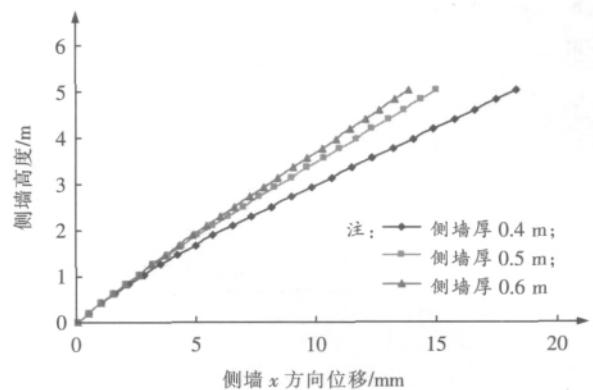


图21 边墙 x 方向位移图

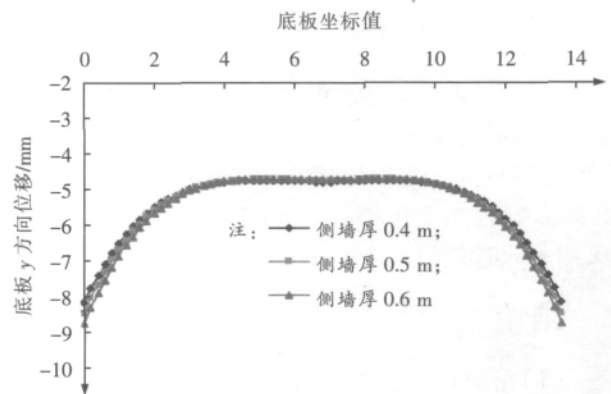
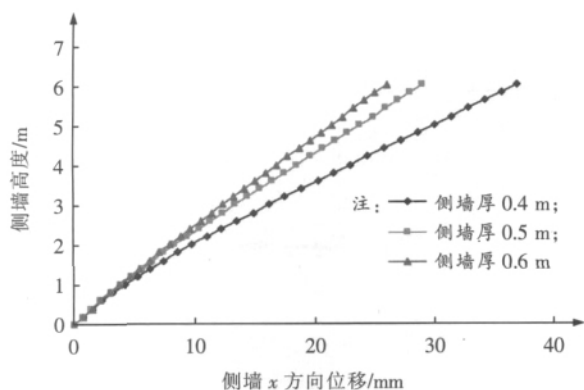


图22 底板 y 方向位移图

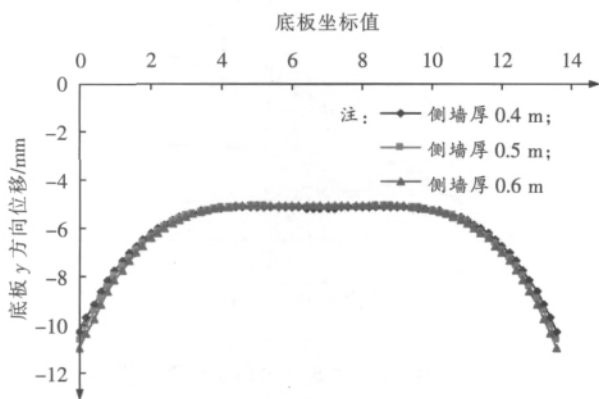
移影响较小。壁厚 0.4 m 的最大位移值为 8.17 mm,壁厚 0.6 m 的最大位移值为 8.75 mm。

6.7 墙高 6 m 边墙中央截面($z=6$) 在 x 方向的变形 (图 23)

从图 23 看出,在边墙高 6 m 时,U 型路基结构的边墙向外侧变形,随着壁厚的增大,边墙在 $z = 6$ 截面 x 方向的变形而减小。壁厚 0.6 m 的最大位移是 25.97 mm;壁厚 0.3 m 的最大位移是 36.98 mm。

图 23 边墙 x 方向位移图

6.8 墙高 5 m 底板中央截面 ($z=6$) 在 y 方向的变形 (图 24)

图 24 底板 y 方向位移图

从图 24 看出,基床系数为 $30\,000\text{ kN/m}^3$ 的天然地基可以满足 U 型结构的地基条件。U 型结构底板两侧位移较大。边墙厚度对 U 型结构底板 y 方向的位移影响较小。边墙厚度 0.4 m 的最大位移值为 10.33 mm,边墙厚度 0.6 m 的最大位移值为 11.03 mm。

7 结论

(1) 路堤式 U 型结构在荷载作用下,应力应变随结构的高度和厚度变化有统一规律,底板的纵向弯矩和边墙的横向弯矩是控制弯矩。路堤式 U 型结构边墙在 x 方向位移和弯矩,底板在 y 方向位移和弯矩,都随侧墙高度的增加而增大,而且增大率变化快,因此侧墙的高度适宜控制在 6 m 之内。

(2) 路堤式 U 型结构的边墙向外侧变形,随着壁厚度的增大,边墙在 x 方向的变形而减小。

(3) 不同边墙厚度的 U 型路基结构的弯矩有相似的趋势。底板和边墙的 M_x 是控制弯矩,底板弯矩的最大值在边墙处,边墙弯矩的最大值在底部。

(4) U 型结构底板两侧位移较大,边墙厚度对 U

型结构底板 y 方向的位移影响较小。

(5) 路堤式 U 型结构的整体稳定性较高,变形较小,能够有效控制路基变形,保证路堤整体稳定。

(6) 路堤式 U 型结构的基底处理面积较小,对地基强度和变形要求较高的高速铁路,天然地基地质条件较差通常无法满足沉降变形要求,与复合地基或桩基结构联合应用才能充分发挥作用。

参考文献:

- [1] 丁兆锋,吴沛沛. U 型槽结构设计与分析[J]. 铁道工程学报, 2009(4): 73-76.
Ding Zhaofeng, Wu Peipei. U Shape Structure Design & Analysis[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2009(4): 73-76.
- [2] 李海光. 新型支挡结构设计工程实例[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
Li Haiguang. New Type Supporting and Retaining Structure Design and Engineering Example[M]. Beijing: China Communications Press, 2004.
- [3] TB 10621—2009, 高速铁路设计规范(试行)[S].
TB 10621—2009, Code for Design of High Speed Railway[S].
- [4] 孙爱斌,吴连海. 天津某封闭式路堑 U 型槽结构的设计与计算[J]. 铁道工程学报, 2006(10): 21-25.
Sun Aibin, Wu Lianhai. One Enclosed Cutting U Shape Structure Design & Calculation of Tian Jin[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2006(10): 21-25.
- [5] 何颐华,杨斌,金宝森. 深基坑护坡桩土压力的工程测试及研究[J]. 土木工程学报, 1997(1): 27-30.
He Yihua, Yang Bin, Jin Baoshen. Test & Study on Safeguard Piles of Deep Cut Slope[J]. China Civil Engineering Journal, 1997(1): 27-30.
- [6] 李庆海,张夏临. 桩板式 U 型槽结构在成都地铁膨胀岩土的应用[J]. 路基工程, 2008(4): 30-34.
Li Qinghai, Zhang Xialin. Application of Pile-Broad Model U Shape Structure in Subway Engineering of Dilatable Rock and Soil[J]. Subgrade Engineering, 2008(4): 30-34.
- [7] 梁雄,周建庭,杨圣超. 湿软土地段 U 型槽式结构应用技术[J]. 重庆交通大学学报, 2007(12): 40-44.
Application of U Shape Structure in Wet Soft Soil Foundation[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University, 2007(12): 40-44.
- [8] TB 10025—2006, 铁路路基支挡结构设计规范[S].
TB 10025—2006, Code for Design on Retaining Structures of Railway Subgrade[S].

(编辑 曹淑荣)