

高速公路复工路基土工格栅的加固补强稳定性

褚夫蛟, 刘敦文, 侯志勇, 杨伟

(中南大学资源与安全工程学院, 湖南长沙 410083)

摘 要: 由于存在新老路基结合的问题, 复建后路面出现了不均匀沉降, 并出现了裂缝。根据路基实际情况, 采用有限元分析软件 midas GTS 建立了路基模型, 对加固后路基的应力、位移和各工况下土工格栅所承受的轴向内力进行了计算。通过计算得出, 在复工路基植入土工格栅进行加固补强, 在限制横向位移方面有一定的效果, 但对于限制竖向沉降作用不大。当结合部位台阶高度为 1.5 m 时, 路基边坡的横向位移及所受的剪应力均相对较小, 在新旧路基填土上部增加 3 层格栅时, 格栅所受的内力趋于稳定。

关键词: 高速公路; 复工路基; 土工格栅; midas GTS

中图分类号: U 416 文献标志码: A 文章编号: 1005-3026(2016)05-0741-05

Reinforcement Stability of Highway's Resumption Embankment Geogrid

CHU Fu-jiao, LIU Dun-wen, HOU Zhi-yong, YANG Wei

(School of Resources and Safty Engineering, Central South University, Changsha 410083, China. Corresponding author: CHU Fu-jiao, E-mail: zzchufj@sina.com)

Abstract: Because the new and old embankment were combined, there was uneven settlement and crack appeared on the road after reconstruction. According to the actual situation, embankment model was established by finite element analysis software midas GTS. The stress and displacement of the strengthened subgrade and the axial internal force of geogrid under different conditions were calculated. The calculation results indicated that the implanting geogrid in the resumption embankment had effect on the limiting of lateral displacement but little on the vertical settlement. When the step height of binding site was 1.5 m, the lateral displacement and the shear stress of embankment slope were smaller. When 3-layer geogrid was added to upper of the combination embankment filling, the internal force tended to be stable.

Key words: highway; resumption embankment; geogrid; midas GTS

由于复工项目中避免不了出现新老路基的结合现象, 老路基沉降固结程度较高, 在上覆新路基填土完成后产生的附加位移较小, 而新路基固结程度较低, 且直接受上覆交通荷载的影响, 为了解决新老路基填土结合的问题, 普遍采用植入土工格栅进行贴补。土工格栅可以在一定程度上减小路基变形, 增加路基的整体性。对于不同格栅层数以及间距对路基影响的研究, 能更好地指导施工^[1]。

针对高速公路复工路基亏坡填补的研究资料

很少, 目前研究比较深入的主要集中在旧路拓宽这方面。吕锦^[2]采用 FLAC 软件建立模型, 分析了高速公路拓宽路基结合部的病害机理, 提出采取提高路基压实度、对旧路边坡进行台阶开挖和铺设土工格栅的方法治理路基拓宽发生的病害, 并用软件进行了模拟研究, 为高速路拓宽工程提供了帮助; 齐光远^[3]通过建立路基拓宽有限元模型, 得出了铺设土工格栅可减小新旧路基不均匀沉降的结论, 同时减小新路基宽度可使土工格栅的作用变得更加明显; 金顺浩^[4]对土工格室加筋

土加固机理进行了研究,得出了土体中加入筋材后,加筋土就不再是各向同性体,土体中的加筋材料从本质上改变了土体中应变场和应力场及位移场的分布,陆瑞年^[5]对土工格栅与土体的相互作用进行了数值模拟,结果表明加筋改善了路基的受力状况,对降低路基的沉降具有明显的作用。由此可见,土工格栅的植入,对路基的稳定性有一定的影响。

1 土工格栅加筋机理

由于土体抵抗外力以及变形的能力较弱,在土中植入土工格栅后可有效地提高土体强度以及抵抗变形的能力。各国学者^[6-9]对加筋材料在土体中的作用机理有了深入的研究,并取得了一定的认识。目前,普遍认为土工格栅与土体的相互作用机理主要有以下两种:锚固机理和准黏聚力机理。

1.1 锚固机理

土工格栅铺设后,其上下表面均与土体接触。当部分土体与格栅发生相对位移,则产生了摩擦作用。同时土工格栅中肋条对土体也有着被动阻抗作用。由于格栅是网状结构,因此在孔眼中有着土颗粒的镶嵌与咬合,这也是土工格栅力传递的主要方式。此种加筋机理主要受到土的物理性质、格栅尺寸及厚度等的影响。为了保证格栅锚固的有效性,肋条的强度应能满足施工需要,保证力的传导的连续性。同时,格栅应全面铺设,局部铺设格栅不能完全发挥加筋的效果。由此可最大限度地约束土体的侧向位移,提高土体的稳定性。土工格栅的锚固力为

$$T = 2c_i dL \sigma_n \tan \varphi \quad (1)$$

式中: T 为土工格栅的锚固力; c_i 为相互作用系数; dL 为土工格栅在锚固区中与土体的接触面积; σ_n 为土工格栅上的有效应力; φ 为土体的内摩擦角。由此公式可确定所需土工格栅型号。

1.2 准黏聚力机理

土体在被植入土工格栅后,可被看成是各向异性的复合材料。而土工格栅作为加筋材料,其对土体的限制作用,亦可被视为围压作用。如图 1 所示,在无加筋作用下,土体强度的包络线为线 a ,当最小主应力为 σ_3 时,土体破坏的临界最大主应力为 σ_1 ;当植入格栅后,由于土体的内摩擦角没有改变,在相同的最小主应力情况下,土体破坏的临界最大主应力为 σ_1' ,此时土体强度提高,做出摩尔圆后与其相切的包络线为线 b ,线 a 与线 b

平行,两线的黏聚力之差 Δc 即为准黏聚力;当最大主应力为 σ_1' 时,做摩尔圆得到无格栅植入的土体破坏的临界最小主应力为 σ_3 。由几何关系可求得格栅的加筋作用使土体围压的增量为

$$\Delta \sigma_3 = \sigma_3' - \sigma_3 = 2\Delta c \cdot \tan(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) \quad (2)$$

在最小主应力相同情况下,格栅的植入使得土体破坏的轴压升高,由几何关系可求得轴压的增量为

$$\Delta \sigma_1 = \sigma_1' - \sigma_1 = 2\Delta c \cdot \tan(45^\circ + \frac{\varphi}{2}) \quad (3)$$

由以上分析可知,在土体植入土工格栅后,导致了黏聚力 c 的增加,从而使得土体承载力增强。准黏聚力 Δc 并不是土体原有的,而是在植入土工格栅后出现的,由此说明,土工格栅的植入使得土体的强度增加了。

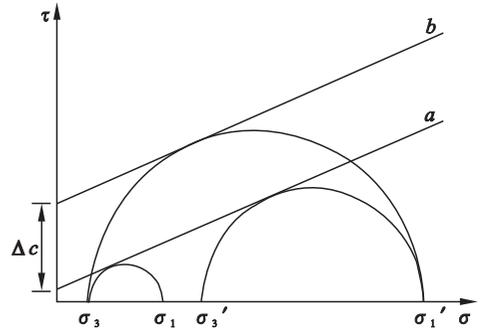


图 1 加筋土摩尔圆分析

Fig. 1 Mohr-Coulomb analysis of reinforced soil

2 实际工程有限元模型

2.1 工程概况

萍洪高速填方路基段,由于原有路基宽度不足、高度不够,加之雨水冲刷,导致路基边坡冲沟严重并伴有滑坡现象,形成了路基亏坡,为使路基达到设计高度,先对现有边坡进行刷坡,整平坡面后开挖台阶并植入土工格栅进行贴补,再填入新填土,所用土工格栅为单向土工格栅,其型号为 PGDG50 型单向塑料土工格栅。以萍洪高速公路 K32 填方路基为例,由于路基填方压实度、新老土体结合度等原因,路基沉降不均匀,沥青路面产生了纵向裂缝,裂缝宽度约为 5 cm,距离道路边缘 2.5 m 左右。

2.2 路基模型建立

根据路基实际情况,采用有限元分析软件 midas GTS 建立如图 2 所示的半幅路基模型,其中取原有路基的平均高度为 4.5 m,设计路基平均高度 11 m,原有路基底部距现有路基底部水平

距离 9 m,半幅路面宽度 13 m,路基下部基础分 2 层,上层为黏土,下层为炭质页岩,根据地质钻孔资料,取平均厚度,黏土层厚 6 m,炭质页岩为 14 m.由于设计规定,路基高度不超过 12 m,边坡分级可不设台阶,因此模型中没有考虑边坡台阶.在路基复工的设计中,原有路基开挖台阶宽度要求不小于 2 m,模拟采用 2 m 台阶宽度,对应的台阶高度约为 1.14 m,同时选取台阶高度分别为 1.25、1.5、1.75、2 m 进行数值计算,对比不同台阶高度的土工格栅加固补强效果,并模拟不同格栅层数在不同台阶高度情况下的补强效果.数值模型中,各土层采用实体模型建模,并选取岩土中应用十分广泛的 Mohr - Coulomb 本构模型.对土工格栅的建模, midas GTS 中自带有土工格栅单元类型,并通过添加相关的“界面接触”在边坡中

建立土工格栅模型.根据工程实际以及静力学数值分析习惯,模型中,除顶部、坡面以及地表自由外,其余各边均施加与该面垂直的法向位移约束.根据实验室数据,选取的各土层及土工格栅力学参数见表 1.

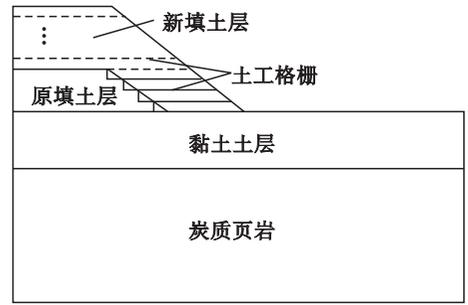


图 2 路基模型示意图

Fig. 2 Schematic diagram of embankment model

表 1 各土层力学参数
Table 1 The mechanic parameters of soil

土层	重度	弹性模量	泊松比	黏聚力	内摩擦角
	$\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$	MPa		kPa	($^{\circ}$)
土工格栅	2.40	2.50×10^{10}	0.33	-	-
新路基	20.10	8.00×10^6	0.30	40	20
旧路基	19.80	1.10×10^7	0.30	30	25
地基上层黏土	18.70	1.80×10^7	0.40	20	30
地基下层炭质页岩	21.10	8.00×10^8	0.35	15	25

3 路基现状有限元分析

3.1 路基位移

对采用格栅补强的路基进行计算后,其位移云图如图 3 所示.

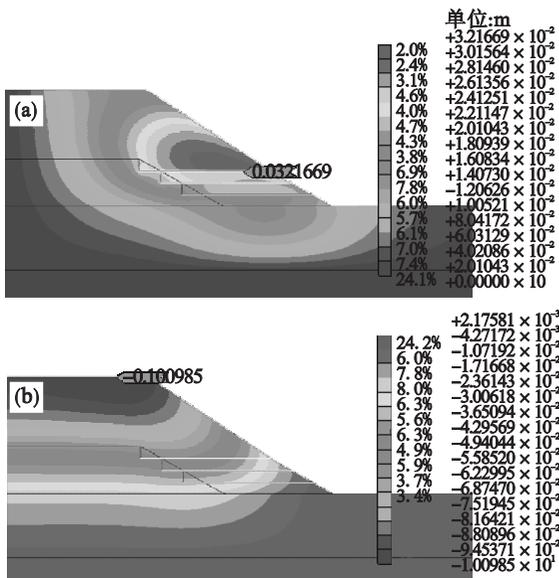


图 3 路基位移云图

Fig. 3 Displacement nephogram of the embankment
(a)—横向位移;(b)—竖向位移.

从图 3 中可以看出,路基的横向最大位移位于格栅上部新填土路基,最大值为 32.17 mm,而添加格栅后进行的补强位置横向位移较小,由此可见格栅的加固补强效果;竖向最大位移位于路基上部靠近外延位置,最大值为 10.099 cm,这与实测的路基沉降 11.58 cm 基本一致.数值模拟中路基最大位移值位置位于距离路面边缘 2.5 m 位置,此处位移变形最大,最容易发生破坏,而实际裂隙位置距离路面边缘 2.6 m 左右,数值模拟结果与路基实际发生裂缝的位置也基本一致,说明数值模型是可信的.

3.2 土工格栅内力

土工格栅内力云图如图 4 所示.

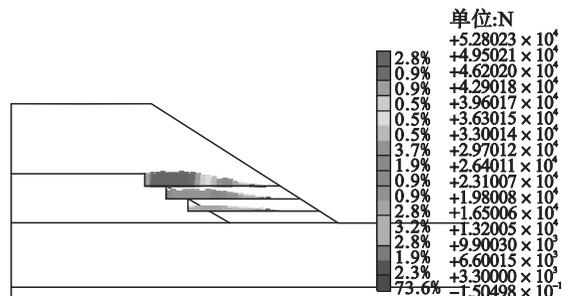


图 4 土工格栅轴向内力

Fig. 4 The axial force of geogrid

从图 4 中可以看出,土工格栅轴向内力最大

值为 52.80 kN/m,位于第三层格栅新旧路基结合部位,第一、二层格栅的最大轴向内力仍位于新旧路基结合部位,其值依次为 17.19、32.6 kN/m.

4 不同工况路基稳定性分析

4.1 路基位移

通过对不同格栅层数、不同结合部位台阶高度 h 的数值计算,提取计算结果,各工况的横向位移、竖向位移折线图如图 5 所示.

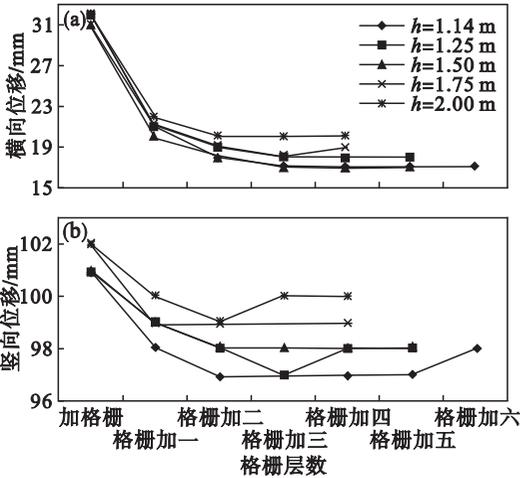


图 5 各工况位移折线图

Fig. 5 Displacement line chart of every condition (a)—横向位移;(b)—竖向位移.

从图 5 中可以看出,土工格栅层数的增加使得土体位移趋于减小,说明土工格栅对土体进行了锚固,增加了土体强度.不同格栅层数对横向位移影响较大,在新旧路基填土上部加 2 至 3 层格栅,横向位移基本趋于定值,而结合部位台阶高度为 1.5 m 的路基边坡横向位移最小.而格栅层数对竖向位移的影响较小,由于格栅为横向铺设,对于土体的竖向固结沉降影响不大,若要减小土层的沉降,需提高填土刚度,加大碾压、夯击力度.

4.2 路基应力应变

各工况路基边坡的最大剪应力折线图见图 6.

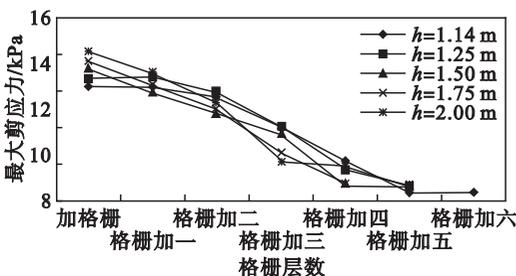


图 6 不同工况边坡最大剪应力

Fig. 6 Maximum shear stress of slope under different working condition

从图 6 中可以看出,各不同结合部位台阶高度的边坡的最大剪应力随着格栅层数的增加而减小,说明土工格栅对边坡加固补强起到一定的作用.而结合部位台阶高度为 1.5、1.75 m 的台阶,其最大剪应力总体上相比其他工况边坡要小.

4.3 格栅内力

格栅层数不同,各层格栅所受的轴向内力也不同,不同工况下每层格栅所受的轴向内力折线图如图 7 所示.

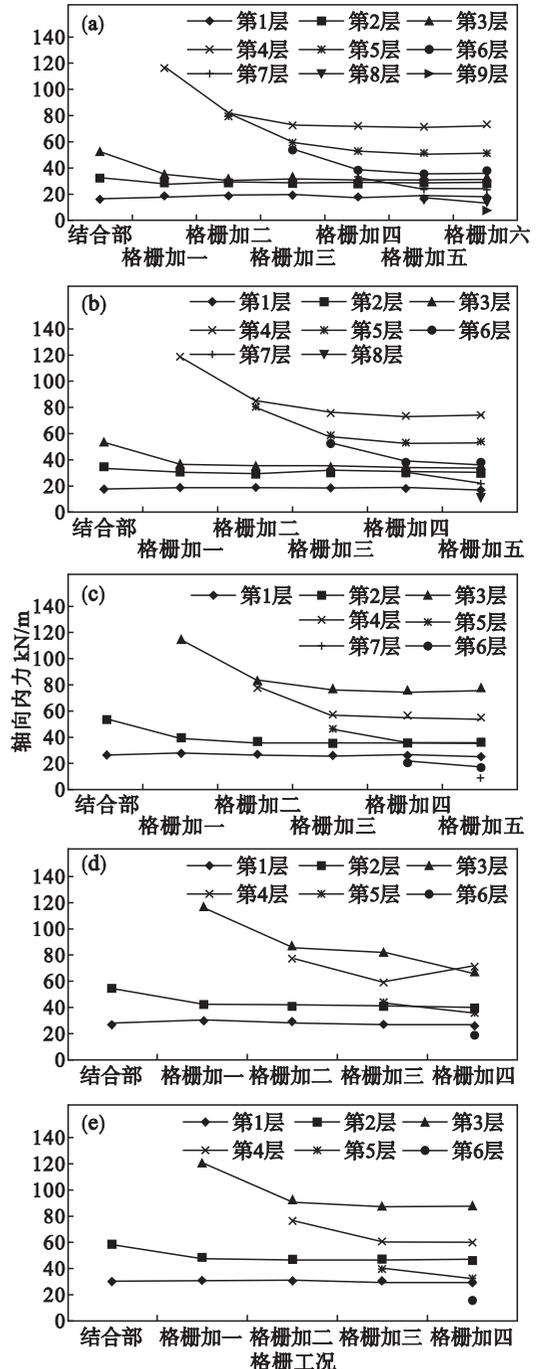


图 7 不同工况下格栅轴向内力

Fig. 7 Axial force of geogrid under different working conditions

(a)— $h=1.14\text{ m}$; (b)— $h=1.25\text{ m}$; (c)— $h=1.50\text{ m}$; (d)— $h=1.75\text{ m}$; (e)— $h=2.00\text{ m}$.

从图7可以看出,仅在结合部位植入格栅的时候,开挖台阶宽度为2 m的各层格栅所受的轴向内力最小,当格栅层数增加时,结合部位格栅轴向内力依旧为台阶宽度为2 m的最小。

格栅层数没有增加,仅在新旧路基结合部位添加格栅,此时,所受轴向内力最大的为最上层格栅。 $h = 1.14$ m的路基上层格栅最大轴向内力为52.8 kN/m,其次是 $h = 1.5$ m的路基上层格栅,其最大轴向内力为53.35 kN/m。

当格栅层数增加1层时,此层格栅位于原有路基的上表面,此时最大轴向内力的格栅为此层格栅。此层格栅轴向内力最小的为台阶高度 $h = 1.5$ m的路基,其值为115.83 kN/m,根据有关单位出具的《土工合成材料实验检测报告》,现场所用土工格栅的极限抗拉值为76.45 kN/m。因此当格栅层数增加1层时,顶层格栅因所受拉力过大而发生破坏。

当格栅层数增加2层时,所受轴向内力最大的格栅仍旧为原有路基上表面的格栅。此层格栅最小值为 $h = 1.14$ m路基的轴向内力,其值为82.78 kN/m,其次是 $h = 1.50$ m的路基,其值为83.93 kN/m,两者相差不大。而最上层格栅所受的最大轴向内力, $h = 1.14$ m路基的值为81.4 kN, $h = 1.50$ m路基的值为78.59 kN/m。仍均大于土工格栅的强度值。

当格栅层数增加3层时,所受轴向内力最大的格栅仍旧为原有路基上表面的格栅。此层格栅最小值为 $h = 1.14$ m路基的轴向内力,其值为73.37 kN/m,其次是 $h = 1.25$ m的路基,其值为75.92 kN/m,两者相差不大,且均小于格栅的极限抗拉值。而对于 $h = 1.50$ m路基的格栅,最大轴向内力为77.41 kN/m,略高于格栅的极限抗拉值。

当格栅层数增加4层及以上时,各层格栅所受的轴向内力变化不大, $h = 1.14$ m以及 $h = 1.25$ m的路基格栅所受的轴向内力均小于检测的格栅最大抗拉值, $h = 1.5$ m的路基格栅所受的最大轴向内力略高于检测的格栅最大抗拉值。

5 结 论

1) 通过对K32段填方路基的数值计算,从以上分析可以看出,土工格栅在路基复工的加固补强方面起着一定的作用,可以限制一定的横向位移,但对于路基沉降的影响较小。

2) 当新旧路基的结合部位的台阶高度为

1.5 m时,路基土体的横向位移及所受的剪应力均相对较小。格栅层数的增加同样对土体的横向位移有一定的限制作用,当格栅层数增加至3层时,格栅所受的内力趋于稳定,此时施工最为经济。由此可知,当 $h = 1.5$ m且格栅层数增加至3层,此时对于路基稳定以及工程经济方面均有利,但由于此时格栅最大轴向内力大于格栅的检测值,因此需要在路基结合部位增加一层或部分选用极限抗拉强度更大的格栅,以防格栅因受内力过大而被破坏。

参考文献:

- [1] 石海丽. 拓宽路基差异沉降及土工格栅处治机理的研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2012.
(Shi Hai-li. Mechanism of differential settlement of widened embankment and its treatment by geogrid [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2012.)
- [2] 吕锦. 拓宽路基结合部病害机理及处治技术研究 [D]. 石家庄: 河北科技大学, 2012.
(Lyu Jin. The damage mechanism and treatment technique of the combination of widening roadbed [D]. Shijiazhuang: Hebei University of Science and Technology, 2012.)
- [3] 齐光远. 高速公路路基拓宽不均匀沉降数值分析 [D]. 西安: 长安大学, 2014.
(Qi Guang-yuan. The uneven settlement of highway subgrade widen with numerical analysis [D]. Xi'an: Chang'an University, 2014.)
- [4] 金顺浩. 土工格栅加筋土加固机理的研究 [D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2013.
(Jin Shun-hao. Study on reinforcement effect of geosynthetic cell mattress [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2013.)
- [5] 陆瑞年. 土工格栅与土体相互作用的数值模拟及其工程应用 [D]. 成都: 西南交通大学, 2005.
(Lu Rui-nian. Numerical simulation of the soil-geogrid interaction and its application in engineering [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2005.)
- [6] Ashmany A K, Bourdeau P L. Effect of geotextiles reinforcement on the stress-strain and volumetric simulation of dynamic behavior of soil with reinforcement [C]//Proceeding of the Sixth International Conference on Geosynthetics. Atlanta, 1998: 1079-1082.
- [7] Bell A L, McCoullough L M. An experimental investigation of subbase protection using geotextiles [C]//The Second International Conference on Geotextiles, Geomembrane and Related Products. Las Vegas, 1982: 1120-1131.
- [8] Fermaoui E L. Effect of confining pressure on performance of geotextiles in soils [C]//The Second International Conference on Geotextiles, Geomembrane and Related Products. Las Vegas, 1982: 628-637.
- [9] Yang Z. Strength and deformation characteristic of reinforced sand [D]. Los Angle: University of California, 1972.