

陈瑞考, 魏学利, 陈宝成, 等. 新疆昌吉硫磺沟 K0 + 500 处路基滑塌病害成因分析及处置对策[J]. 灾害学, 2018, 33(S1): 34-39. [YE Li, LI Fei and HUANG Xiaonian. Cause Analysis and Treatments of Subgrade Collapse in K0 + 500 Changji in Xinjiang[J]. Journal of Catastrophology, 2018, 33(S1): 34-39. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2018.Z1.007.]

新疆昌吉硫磺沟 K0 + 500 处路基滑塌病害成因分析及处置对策^{*}

陈瑞考^{1,2}, 魏学利², 陈宝成², 赵怀义², 李 宾², 杨新龙²

(1. 石河子大学, 新疆 石河子 8320003; 2. 新疆维吾尔自治区交通规划勘察设计研究院, 新疆 乌鲁木齐 830006)

摘 要: 针对新疆硫磺沟路基滑塌灾害的成因进行分析, 并根据分析结果制定相应的处置对策。运用有限元模拟软件 ANSYS 对采用 4 种不同宽高比 f 值的半填半挖路基进行数值模拟分析, 从而确定台阶宽高比 f 值与半填半挖路基位移、应力场和路基稳定安全系数的关系。结果表明: 台阶宽高比 f 值在一定范围内不仅对半填半挖路基变形量具有减幅作用, 还使其应力值具有减小的趋势; 最根据不同台阶宽高比对路基变形量和稳定安全系数大小的影响发现最合理的台阶宽高比 $f=2.5:1$, 并且在此台阶宽高比值下铅丝石笼护坡可以发挥出最大的价值。该研究成果可有效地解决硫磺沟路基滑塌灾害, 并为未来的山区公路斜坡高路基设计提供了新思路。

关键词: 新疆硫磺沟; 路基滑塌; 数值模拟; 半填半挖; 台阶宽高比

中图分类号: X43; U213.1+5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2018)S1-0034-06

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2018.Z1.007

山区依山而建得斜坡高路基公路施工是一项繁琐的系统工程, 斜坡高路基与平坦地基上填方路基的区别主要在于地形变化较大, 受力也比较复杂。对于此类山区斜坡高路基工程应用最广泛的处理措施是采用半填半挖路基, 所谓半填半挖路基就是对原有斜坡面进行处理后再进行填料的回填。但其稳定与变形主要取决于所处斜坡地基的坡度、界面结合方式、接触面材料以及填筑材料的特性等, 这些都是目前公路路基工程施工过程中研究的热点。其中, 蒋鑫等针对新路基是否加筋、加筋层位以及衡重台上下方新路基填土压实状况的差异性, 对新老路基稳定安全性、滑动面形态、沉降、挡土墙变位等力学响应的影响开展了参数敏感性分析^[1]。金生吉对山区超高填方多级挡土墙路基的沉降规律, 山区超高填方多级挡土墙墙背土压力分布规律和山区超高填方多级挡土墙路基的稳定性都进行了相关得研究^[2]。刘拴奇等以麻柳湾-昭通高速公路为工程背景, 研究了岩堆斜坡路基的极限填方高度^[3]。高放等

考虑了填料与地面结合方式对斜坡路堤的影响, 并对原地面进行了挖台阶得处理, 且分析了台阶的宽度对斜坡高路堤的影响^[4]。另外还有一些以往的研究^[5-10]对斜坡高路基的坡度、接触面材料、填筑材料和界面结合方式都从不同角度进行了分析研究, 但就当前研究仍无法指导新疆山区半填半挖路基设计且已有的规范中也未给出半填半挖路基界面定量指标, 因此针对硫磺沟公路斜坡路基滑塌的特殊病害进行研究是非常有必要的。通过查阅路基滑塌区域的地质勘探报告和相关的文献资料得到路基填料、基岩、板桩等物理力学参数, 在此基础上对采用不同台阶宽高比的半填半挖路基进行有限元数值模拟研究, 然后整理分析模拟中不同台阶宽高比半填半挖路基应力场、位移场和路基稳定安全系数的影响, 总结不同梯田式台阶宽高比影响下的路基变形规律, 最终确定最优的台阶宽高比用于指导硫磺沟路基的施工, 并为未来山区斜坡高路基的设计提供新的思路。

^{*} 收稿日期: 2018-03-05 修回日期: 2018-07-09

基金项目: 国家自然科学基金青年基金(41602331); 中国博士后科学基金(2016M602951XB)

第一作者简介: 陈瑞考(1992-), 男, 山东菏泽人, 在读硕士研究生, 主要从事路基工程及渠道冻胀力研究。

E-mail: chenruikao@foxmail.com

通信作者: 魏学利(1981-), 男, 天津蓟县人, 博士, 高级工程师, 主要从事公路地质灾害与特殊岩土研究。

E-mail: weixl8115@126.com

1 路基滑塌概况

路基滑塌现场位于昌吉市硫磺沟镇楼庄子村西南 7 km 处,距离昌吉市约 50 km,距离乌鲁木齐市约 45 km,地理位置坐标:87.077851°E, 43.584463°N,路基滑塌区附近的地形地貌如图 1 所示。

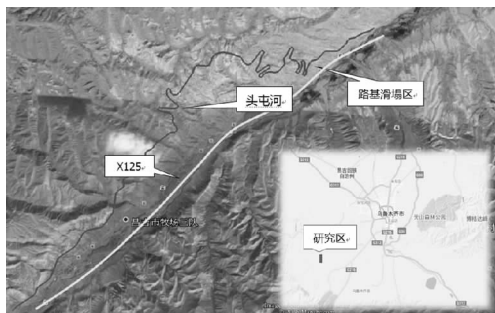


图1 路基滑塌区地形地貌概要图

头屯河楼庄子水库淹没区新建 X125 线正好位于砂泥岩层面上,里程桩号为 K0+440~K0+640。地形坡度在 10°~30°左右,头屯河上游中低山区,海拔 1 200~1 400 m,南部为高山区,北部为山前倾斜平原区。水库处于头屯河上游河谷略开阔地段,河谷呈不对称“U”形,水库回水约 4.57 km^[11]。在已经填方完成且经压实路面先是在路面中间位置出现了裂缝,然后沿着路线纵向发生了滑塌,滑塌后露出了原有在路基中埋设得土工格栅加筋,路基滑塌的规模也是比较大,下滑的路基土体把位于路基边坡下方的电力铁塔冲击的发生了倾斜,具体如图 2 所示。



(a) 电力铁塔被下滑边坡土体冲斜 (b) 路基滑塌后断面土层情况

图2 路基滑塌后现场概况

2 路基滑塌成因分析

对于硫磺沟斜坡高路基滑塌病害的影响因素可以归结为以下两类进行分析^[12]。

- (1) 交接面的几何结构特征。
- (2) 交接面的物理力学性质。

经过事后原因的调查发现,该地区的所选用的路基填料及所含水分主要来自冰川融水、融雪

水、大气降水入渗补给,详见表 1 所列。经调查后又发现,在路基填筑前施工单位未对原有的坡面进行放坡和台阶式处理,但原有地形坡度在 25°左右且该填方路基高度在 10 m 左右为高填方路基,因此按规范要求应对原有坡面做相应的处理并应对填筑完成后的边坡做防护处理。又根据 2017 年 9 月份气象数据显示得知,路基滑塌发生前共出现 7 次降水过程,其中 23~24 日的降水可能为本次路基滑塌事件具有重要贡献作用(图 3),前期的有效降水加速路基泥岩层饱水软化,促使路基边坡处于临界滑动状态。

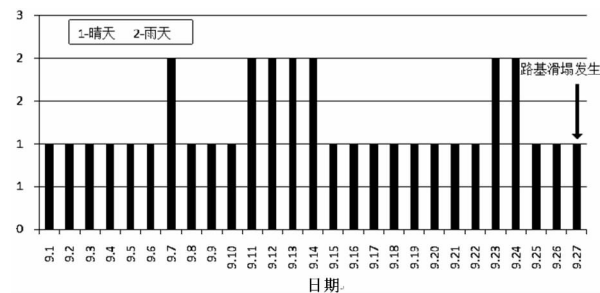


图3 路基滑塌区附近 9 月份降雨过程

充分分析以上因素后又发现对于新疆山区特殊的气候情况来说该月份即将进入冬季降雪季节,最大积雪深度 510 mm,历年最大冻土深 162 cm,又加上该段路基的边坡滑塌区正好处于阳面,在日夜温差下冻融侵蚀强烈,大量融水可能沿未充分压实路基填料与原有坡体的交接面后缘或路基边坡上裂缝入渗至砂岩和泥岩接触带,在路基上部的施工机械和填料自重形成的重力牵引作用下,路基中填方料体易于发生滑塌破坏。因此,综合以上因素的分析预测该路基边坡滑塌的原因之一是上述因素导致其在一定时期内处于蠕变阶段,后又在地震或较大动荷载扰动的条件下发生路基边坡流塑滑塌破坏的可能性较大。

经过对路基滑塌各因素的分析后可明显看出,对于地下水、光照、降雨、气温和地震等自然因素是不可控的,而填料的更换不仅会浪费大量的人力和物力,还违背合理有效利用当地自然资源的和谐相处自然法则。因此,对于选择交接面形式的改变和加设护坡是最有效且便捷的可控方式。本文提出在原有路基的基础上选用梯田式台阶为交接面的结合形式,然后再对边坡加设铅丝石笼护坡保证路基的稳定性。又因现场试验的复杂与耗时无法及时得到合理有效的处理方式,本文采用有限元软件对采取不同宽高比 f 的路基稳定性及其它相关参数进行模拟,最终确定最优台阶宽高比 f 用于指导施工,并为新疆山区高填方路基的设计提供有力支撑。

表 1 路基填料及其它相关参数

路基填料种类	所含水分来源	岩性	富水性	分布情况
松散堆积层	冰川融水、融雪水、大气降水、基岩裂隙水补给	砾砂、砾质粉土和含砾粉土等	勘察期间坡体内未见孔隙水	分布在沟谷、河流侵蚀堆积区内
基岩	依靠大气降水通过基岩裂隙、风化节理垂直入渗	泥岩、泥质砂岩、砾岩	在降雨和融雪期间坡体内含较多的裂隙水	主要分布在砂泥岩地层

3 计算原理与模型参数

3.1 计算原理

半填半挖路基的结构是由原地基土、回填土、土与铅丝石笼护坡的接触面和半填半挖交界面构成,计算时要分别进行处理,将其离散成土单元、交界面单元、铅丝石笼单元和接触面单元 4 种不同性质的单元^[13]。

土的本构关系是非常复杂的,其中邓肯-张模型是被认为非线性弹性模型中最能较好反映土力学特性的^[14],所以本文在计算时就选取了工程中经常应用的邓肯-张模型,即非线性弹性模型(式 1)。

$$(\sigma_1 - \sigma_3) = \frac{E_i}{a + b\varepsilon_1} \quad (1)$$

式中: $a = 1 / \left(\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\varepsilon_1} \right)_{\varepsilon_1 \rightarrow 0} = \frac{1}{E_i}$, 其中 E_i 为初始切线模量 (MPa); $b = \frac{1}{(\sigma_1 - \sigma_3)_{\varepsilon_1 \rightarrow \infty}} = \frac{1}{(\sigma_1 - \sigma_3)_{u/l}}$; $(\sigma_1 - \sigma_3)_{u/l}$ 为理论双曲线的最终值, 即 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ 的极限值。

铅丝石笼的厚度实际上是无法准确测定的,铅丝石笼在做拉伸试验时,所得到的应力实际上也是石笼单元宽度上所受到的力^[15]。因此,石笼单元表面用薄膜单元来进行模拟,相对应的本构关系也用线弹性表示(式 2)。

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (2)$$

式中: E 为铅丝的弹性模量 (MPa)。

铅丝石笼的加入使得路基各土层之间的受力发生变化,可在一定的路面荷载作用下,在交界面上可能会产生错动滑移或者开裂破坏。因此若想要在有限元分析中更精确地表达这种破坏,就应选择更贴合实际的交界面单元,经过查阅相关资料本文最终选择无厚度 Goodman 双曲线型非线性弹性模型(式 3)来模拟筋土接触面的相互作用^[16],设置接触面单元。

$$\tau = \frac{\omega_s}{a + b\omega_s} \quad (3)$$

式中: ω_s 为剪切位移, mm; a 为直线的截距; b

为直线的斜率。

3.2 模型参数

计算所选取的特征断面模型如图 4 所示,根据公路路基设计规范^[17]当地面横坡横坡为 1: 5 ~ 1: 2.5 时,原地面应挖台阶,且台阶宽度不应小于 2 m。而通过查阅地质勘探资料可知该处地面横坡为 1: 3.5 左右,故对实验组的梯田式台阶宽高比 f 分别取 2: 1、2.5: 1 和 3: 1 进行有限元的模拟。

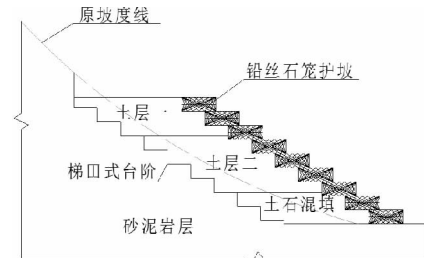


图 4 不同宽高比梯田式台阶下的路基模型

为保证有限元计算准确性,取高 × 宽 = 100 m × 150 m 的范围进行有限元计算,对于砂泥岩层与土石混填层、土层一、铅丝石笼护坡之间的接触面的定义为摩擦,摩擦系数为 0.8,对于各土层之间的接触面也定义为摩擦,摩擦系数为 0.9,铅丝石笼护坡与各土层之间的接触面设置为不分离,对于铅丝石笼之间的接触面则定义为绑定,如前面所说当作整体看待;铅丝石笼护坡、土石混填层、土层一、土层二采用 Plane82 单元进行模拟,定义分析类型为体的应力应变问题;为进行有限元计算,将计算模型进行有限单元划分,考虑到精度的要求,对于所建模型的规则部分选用矩形单元进行划分,对于交界面及不规则部分采用三角单元进行划分,单元尺寸最小为 6.2 mm,共划分为 13 160 个单元,50 971 个节点,模型底部设定为固定约束,左边界设置为固定约束,右边界及上边界默认自由无约束;初始应力取 -y 方向重力加速度为 9.8 m/s²,路面顶部施加 200 MPa 的均布压强;设置时间步为 3 s,并在求解时打开大位移选项和线性迭代选项。

根据施工现场数据的采集,并结合项目地勘报告和相关文献资料的查阅,选取并确定了路基填料、基岩、铅丝石笼等的物理力学参数,如表 2 所列。

表 2 计算参数

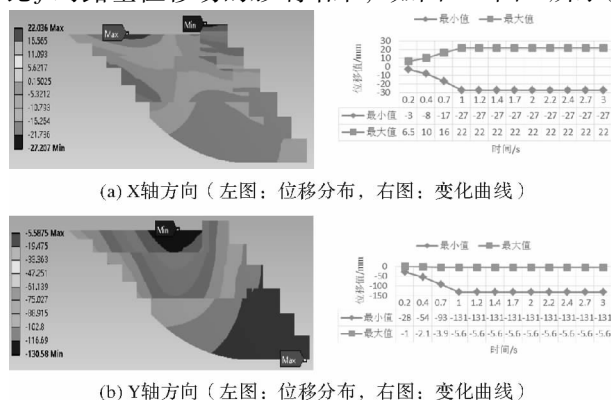
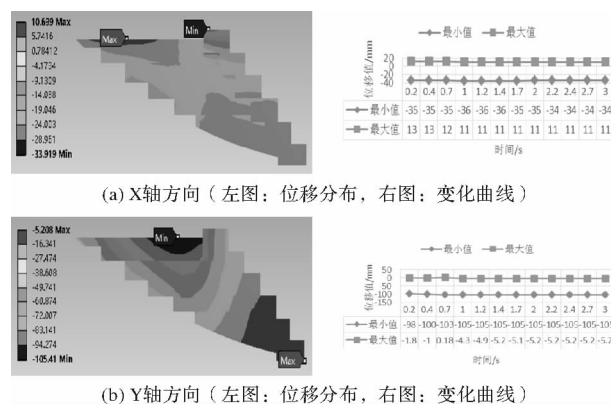
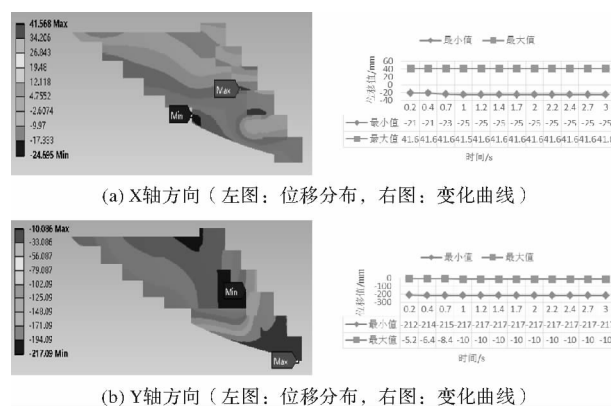
名称	屈服应力/kPa	泊松比 μ	密度/ (kg/m^3)	杨氏模量/MPa	内摩擦角/ $^\circ$	导热系数/ ($\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$)	比热容/ ($\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$)
碎石土层	15	0.30	2000	45	19	1.6	980
土层一	38	0.45	1550	30	22	0.6	1200
土层二	40	0.40	1610	50	25	0.45	1868
砂泥岩层	500	0.35	2000	1000	30	1.4	920
铅丝石笼	50	0.3	2400	80	34	1.9	978
铅丝石笼			拉力强度	150 kN/m			

4 梯田式台阶宽高比对路基整体的影响

根据上文中的分析可知导致硫磺沟路基滑塌的原因是复杂的,因为该区域冬季昼夜温差大,为了使模拟结果更佳,所以进行了温度场的计算并将计算结果以温度势力的形式耦合到位移场和应力场中。在温度场计算前的上边界设置为 -5°C ,下边界设置及左边界设置为 6°C ,其余边界选择默认设置,而对于模型中初始温度都默认由所设环境而改变。由于原有路基滑塌始于坡脚处,所以设置的铅丝石笼护坡的稳定在某种程度上决定了路基的整体稳定。因此,在分析交界面形式对路基稳定性影响时,应视铅丝石笼护坡处于稳定状态,为实现这一效果的措施有增加护坡的断面尺寸,又或是加大铅丝的抗拉强度。而在该分析过程中是将单个铅丝石笼设计成长 \times 宽 \times 高 $=2\text{m}\times2\text{m}\times1\text{m}$ 。为获取一个最佳的梯田式台阶宽高比 f ,对交界面断面形式选择对比组(f 为0,即未挖台阶)和实验组(其中 f 分别取2:1、2.5:1和3:1),分别对4种工况进行有限元数值计算,由于未挖台阶而发生大型滑塌的路基仅做对比分析的研究,不进行模拟数值的展示。

4.1 梯田式台阶宽高比对路基位移场的影响

利用有限元分析,得到不同梯田式台阶宽高比 f 对路基位移场的影响结果,如图4~图6所示。

图4 f 为2:1时路基位移场的分布及变化规律(单位: mm)图5 f 为2.5:1时路基位移场的分布及变化规律(单位: mm)图6 f 为3:1时路基位移场的分布及变化规律(单位: mm)

由图4~图6可得:在其他影响因素不变的情况下台阶宽高比对路基位移场的影响还是比较明显的。与 f 为0时对比,挖台阶后最大Y轴方向位移为 -217.09 mm ,减少幅度为56.6%,最大X轴方向位移为 54.70 mm ,减少幅度为72.7%。图4是台阶宽高比 f 为2:1时对应的X轴方向位移与Y轴方向位移云图。由图4可得:在该 f 值下,其最大X轴方向位移与最大Y轴方向位移的出现位置不同,最大X轴方向位移位于路基表面中部位置,最大Y轴方向位移位于路基的坡脚处。图5是台阶宽高比 f 为2.5:1时对应的X轴方向位移与Y轴方向位移云图。由图5可得:在该 f 值下,其最大X轴方向位移与最大Y轴方向位移的出现位置与图4中是基本吻合的。图6是台阶宽高比 f

为 3:1 时对应的 X 轴方向位移与 Y 轴方向位移云图。由图 6 可得:在该 f 值下,其最大 X 轴方向位移与最大 Y 轴方向位移的出现位置仍然不同,但与图 4 和 5 对比发现其位置和整体分布也发生了变化,最大 X 轴方向位移位于护坡中部的交接位置,最大 Y 轴方向位移虽然仍位于路基的坡脚处,但其分布面积减少了很多。由上述分析可知当宽高比 f 超过某一值时,发生滑塌的面将会向下转移,从而使扰动的上部土体更多,破坏的力度更大。若宽高比 f 未超过该值时,其水平位移量的累积不会向下延伸或延伸量达不到滑塌破坏值,而其竖向位移则是以 U 形分层锐减且最终累积于坡脚的位移量不足以达到滑塌时的沉降值。

4.2 梯田式台阶宽高比对路基应力场的影响

利用有限元分析,得到不同梯田式台阶宽高比 f 对路基应力场的影响结果,如图 7 所示。

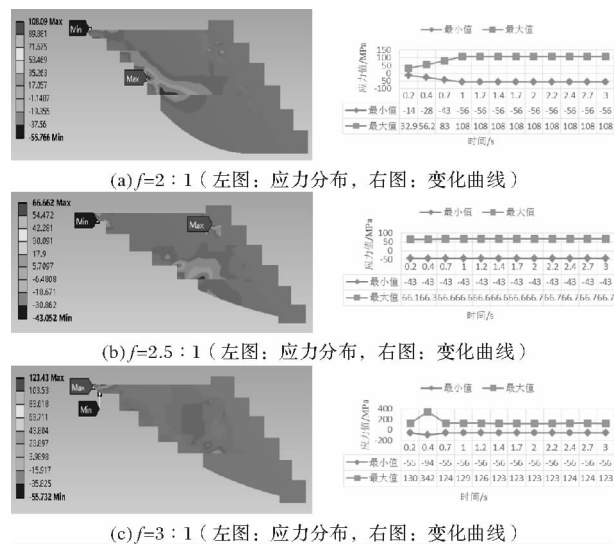


图 7 不同 f 值时路基应力场的分布及变化规律(单位:MPa)

运用有限元模型模拟得到不同台阶宽高比 f 值的路基应力分布及变化规律,图 7 为台阶宽高比 f 分别为 2:1、2.5:1 和 3:1 时对应的路基应力云图。由图 7 可得:挖台阶处理原坡面后,宽高比 f 值在一定范围内时回填路基中应力最值有减小的趋势。与 f 为 0 时路基中的应力最值相比,2:1、2.5:1 和 3:1 台阶宽高比 f 时的应力最值减幅分别为 0.98%、1.85% 和 0.83%。由此可得 2.5:1 台阶宽高比回填路基中的应力最值减幅最大,此

时回填路基的整体稳定性也相对最大。因此可知,对山区较陡的原有坡面适当地处理,挖一定宽高比值的台阶,有利于减小回填路基发生滑塌时的应力最值,从而提高路基及护坡结构的整体稳定性。由图 7 中 a、b 和 c 对比可得:当台阶宽高比值选择合理时,回填路基即使达到临界极限平衡状态时,其失稳土体也不会沿交界面滑移,而是先从铅丝石笼护坡与路基接触的顶部剪出,这也说明护坡对土体的抑制作用是否明显和台阶宽高比值的选择有一定的关系。

4.3 梯田式台阶宽高比对路基稳定安全系数的影响

利用有限元模型模拟分析的后期结果计算得到不同台阶宽高比值下的路基稳定系数,如图 8 所示。

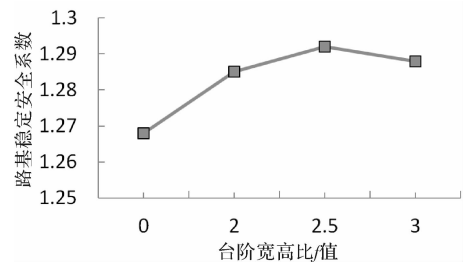


图 8 路基稳定系数与台阶宽高比 f 值的关系曲线

由图 8 可得,进行挖台阶处理的路基稳定性都不同程度的得到提高,且路基稳定安全系数在一定范围内与台阶宽高比值成正比例关系。与未做处理的路基稳定安全系数对比发现, f 为 2:1、2.5:1 和 3:1 时,对应的稳定安全系数分别增加 1.36%、1.87%、1.55%。将路基的最大 Y 轴方向位移、最大 X 轴方向位移、路基应力最值及路基稳定安全系数计算结果汇总于表 3。

由表 3 可得,对山区较陡的原路基坡面做台阶处理,不仅对路基变形场有影响,还可在一定范围内显著提高路基整体的稳定性。但较大的台阶宽高比值不仅大大增加了开挖工程量,还会对回填路基的应力最值起到一定的反作用,并且对进一步提高路基整体稳定性的贡献作用不是特别的明显。综合台阶宽高比值对回填路基位移场、应力场、路基稳定安全系数的影响和开挖工程量的大小,将疏磺沟路基原有坡面的挖台阶宽高比 f 定为 2.5:1。

表 3 不同台阶宽高比 f 值下的回填路基计算结果

台阶宽高比 f 值	最大 X 轴方向位移/mm	最大 Y 轴方向位移/mm	回填路基应力最值/MPa	路基稳定安全系数
2:1	22.04	-27.21	-5.59	1.285
2.5:1	10.70	-33.92	-5.21	1.292
3:1	41.57	-24.70	-10.09	1.288

5 结论及讨论

对硫磺沟路基滑塌原因进行了分析,并结合该地区相关的地质勘查资料确定了最佳可控因素,也就是在采用铅丝石笼护坡的基础上,对半填半挖路基交界面采用梯田式台阶,因为现场施工的复杂性与不经济性,所以借助大型有限元软件 ANSYS 对不同台阶宽高比 f 的回填路基温度场、位移场、应力场、路基稳定安全系数进行了分析,得到以下结论:

(1) 台阶宽高比 f 在一定范围内不仅对路基位移场影响明显,原路基坡面做台阶处理后,最大 Y 轴方向位移为 -217.09 mm ,减幅为 56.6% ,最大 X 轴方向位移为 54.70 mm ,减幅为 72.7% 。

(2) 经过模拟计算和分析可知:对硫磺沟路基原坡面做挖台阶处理后,宽高比 f 值在一定范围内时回填路基中应力最值有减小的趋势,根据最终模拟结果可得在符合规范最小宽度为 2 m 的基础上台阶宽高比为 $2.5:1$ 时回填路基中的应力最值减幅最大,对应此时回填路基的整体稳定性也相对最大。

(3) 路基稳定安全系数在一定范围内与台阶宽高比 f 值成正比例关系,且在 f 为 $2.5:1$ 时相较于未做处理的原路基坡面路基稳定安全系数增幅最高,其值为 1.87% 。梯田式台阶宽高比 f 的最优值将影响铅丝石笼护坡效果,合理选择将会改变路基内部塑性区的产生位置,最终有效地提高路基的稳定性。

本文在模拟中仅是对公路路基设计规范中台阶宽度不小于 2 m 的规定结合硫磺沟路基的实际资料进行了细化和确定,提出了梯田式台阶宽高比 f 的概念,但对于其高度的设定仍具有局限性,希望在以后的研究中能得到进一步的优化。另外,在模拟过程中仅耦合了温度场,而对于水分场所导致的改变没有涉及,使结果的完整性受到影响,希望在以后的模拟研究中能引起重视。

参考文献:

- [1] 蒋鑫,耿建宇,曾诚,等. 山区公路拓宽路基与衡重式挡土墙动态相互作用的数值模拟[J]. 岩土力学, 2014, 35(S1): 443-450.
- [2] 金生吉. 高填方多级挡土墙路基沉降规律与稳定性数值模拟研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2009.
- [3] 刘拴奇,朱大勇,甘文宇,等. 岩堆斜坡路基极限填方高度的研究[J]. 工业建筑, 2014(S1): 613-616.
- [4] 高放,王腾,朱洪洲,等. 填料与地面结合方式对高路堤的影响分析[J]. 中外公路, 2015, 35(3): 53-58.
- [5] 苏永华,罗正东,李翔,等. 基于均匀试验的半填半挖路基边坡稳定性灰色关联分析法[J]. 岩土力学, 2012, 33(8): 2259-2264.
- [6] 卫高明,张勇. 基于强度折减法的均质高边坡稳定性分析[J]. 路基工程, 2013(5): 65-68.
- [7] 胡明鉴,刘观仕,孔令伟,等. 高速公路膨胀土路堤处治后期土体性状试验验证[J]. 岩土力学, 2004, 25(9): 1418-1422.
- [8] 吴红刚,马惠民,张红利. 基于相互作用矩阵的山区公路展线路基稳定性评价[J]. 岩土工程学报, 2011, 33(S1): 209-213.
- [9] 张丽冰. 基于弹塑性有限元方法的陡坡高路堤稳定性分析及优化设计[D]. 成都: 西南交通大学, 2009.
- [10] 余湘娟,王媛. 掺石灰处理膨胀土路基填料的试验研究[J]. 公路, 2000(1): 13-16.
- [11] 曹卫红. 多彩硫磺沟[J]. 中国公路, 2017(10): 94-95.
- [12] 苏永华,谢志勇,徐能雄,等. 半填半挖路基交接面稳定性分析[J]. 岩土力学, 2010, 31(2): 497-502.
- [13] 程培峰,慕万奎,姜海洋,等. 土工格栅加固浅层软土地基的有限元分析[J]. 中国公路学报, 2008, 21(2): 6-11.
- [14] ANDRAWES K Z. The Finite Element Method of Analysis Applied to Soil-geotextiles System[C]//MEGOWN A. Proceeding of the 2nd International Conference on Geotextiles. Las Vegas: Benbella, 1982: 695-700.
- [15] 黄晓明,朱湘. 公路土工合成材料应用原理[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
- [16] GOODMAN R E, TAYLOR R L, BREKKE T L. A model for the mechanics of jointed rock[J]. Soil Mechanics and Foundations Division, 1968, 94(3): 637-659.
- [17] 交通部第二公路勘察设计院. 公路路基设计手册(路基)[M]. (第二版). 北京: 人民交通出版社, 2004.

Cause Analysis and Treatments of Subgrade Collapse in K0+500 Changji in Xinjiang

CHEN Ruikao^{1,2}, WEI Xueli², CHEN Baocheng², ZHAO Huaiyi², LI Bin² and YANG Xinlong²

(1. Shihezi University, Shihezi 832003, China; 2. Academy of Transportation Planning Surveying and Design, Urumqi 830006, China)

Abstract: In view of the causes of collapsing disaster in Xinjiang suliajiao subgrade, we formulate the corresponding countermeasures according to the analysis results. The finite element simulation software ANSYS is used to simulate the semi fill and semi excavated subgrade with 4 different width and height ratios, and the relationship between the height ratio of the step width to the displacement field, the stress field and the stability safety factor of the subgrade is determined. The results show that the step width to height ratio not only reduces the deformation of the subgrade and semi excavated subgrade, but also reduces the maximum stress value, and the most reasonable step width to height ratio $=2.5:1$ is found on the basis of the influence of different step width to height ratio on the deformation of subgrade and the stability safety factor. The ratio of order width to height is the greatest value for slope protection with lead wire cage. The research results can effectively solve the collapsing disaster of the sulphur Valley subgrade, and provide a new idea for the design of the high slope roadbed of the mountain highway in the future.

Key words: Xinjiang sulphur gully; subgrade slump; numerical simulation; half fill and half excavation; step width to height ratio