

含软弱夹层路堑边坡变形与稳定性分析

王智

(株洲云龙规划与工程咨询有限公司, 湖南 株洲 412006)

摘要: 为研究软弱夹层对路堑边坡变形与稳定性的影响, 采用 SIGMA/W 计算软件对软弱夹层不同倾角及不同强度条件下的边坡变形与稳定性进行计算分析。结果表明: 软弱夹层强度不变时, 随着软弱夹层倾角的增加, 位移区域的面积逐渐减小, 但位移最大值逐渐增大, 位移主要由软弱夹层的剪应变所引起, 软弱夹层上部的坡积土为整体位移、没有发生变形; 边坡潜在滑动面与安全系数受软弱滑动面倾角的影响十分明显, 随着软弱夹层倾角的增加, 滑动面越趋向于软弱夹层内部, 边坡安全系数越小; 软弱夹层的倾角越大, 相同强度折减系数对其最大位移及边坡安全系数的影响越明显。

关键词: 公路; 软弱夹层; 路堑边坡; 变形; 稳定性

中图分类号: U416.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2018)02-0071-04

工程实践表明, 在路堑开挖过程中, 两侧路堑边坡会出现存在软弱夹层的现象。边坡内部软弱夹层主要是由海平面间歇升降所导致的沉积及后期区域构造力作用下所产生的宏观力学破坏, 其抗剪强度比周围土体小。因此, 当边坡内部存在软弱夹层时极易在夹层处发生破坏。张社荣等对存在多层软弱夹层的边坡进行稳定性分析, 得到了软弱夹层角度不同则边坡的滑移机理也不相同、反倾向边坡的稳定性明显大于顺层边坡的结论; 王浩然等建立三维转动-平动组合破坏机构分析含软弱夹层边坡的稳定性; 吴顺川等采用离散元方法建立含软弱夹层的类土质边坡模型分析其变形破坏机理; 王睿等进行降雨条件下含软弱夹层黏性土的离心模型试验, 结果表明软弱夹层的存在导致降雨入渗分布变化, 进而降低边坡的稳定性。大部分学者单独考虑了软弱夹层角度不同对边坡稳定性的影响, 但未对边坡在软弱夹层强度变化与角度变化综合作用下的稳定性进行分析。为此, 该文以某含软弱夹层的高速公路路堑边坡为例, 对不同夹层角度及不同强度折减程度条件下的边坡位移和稳定性进行分析。

1 计算模型

采用岩土工程专用计算软件 SIGMA/W 建立边坡有限元模型(见图 1)。边坡总高度为 16 m, 第一级边坡高 11 m, 第二级边坡高 6 m, 各级边坡坡比均为 1:1, 边坡宽度为 25 m。边坡底部为强风化

花岗岩, 高度为 6~0 m; 上层为坡积土, 坡积土内部存在软弱夹层。模型整体网格划分尺寸为 0.5 m, 共划分为 1 627 个节点、1 574 个单元, 网格形状由软件自动划分。在计算过程中为同时考虑计算精度与计算速率, 设定有限元计算的迭代步数为 50 步, 当迭代误差小于 1% 时视为计算收敛。

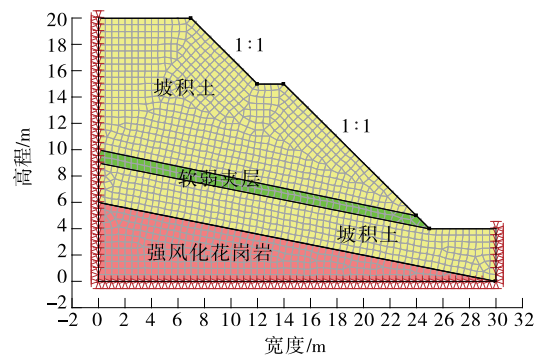


图 1 边坡有限元计算模型

计算过程中首先设定边坡初始应力状态, 并以此为初始状态进行位移与稳定性计算。鉴于降雨入渗与地下水对软弱夹层边坡的作用机理极为复杂, 不考虑降雨与地下水因素。边坡的边界条件设定为左侧及底部为 X、Y 方向固定边界, 即计算过程中 X、Y 方向位移为零。各土质的计算参数见表 1。

在分析软弱夹层倾角对边坡位移的影响时, 设定夹层倾角为与水平面之间的夹角, 分别为 4.5° 、 11.5° 和 20° , 强度折减系数均为 0.5。在分析强度折减系数对边坡的影响时, 设定折减系数分别为 0.8、0.5、0.2。

表1 边坡的土质参数

土质	强度折减系数	重度/($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	粘聚力/kPa	内摩擦角/($^{\circ}$)	弹性模量/MPa	泊松比
残坡积土	—	18.5	50	30	1 750	0.40
软弱夹层土	0.8	18.5	40	24	1 400	0.30
	0.5	18.5	25	15	875	0.30
	0.2	18.5	10	6	350	0.30
强风化花岗岩	—	20.0	70	30	2 120	0.49

2 计算结果分析

2.1 软弱夹层角度对边坡变形和稳定性的影响

图2为不同软弱夹层角度条件下边坡的位移场。从图2可看出:当软弱夹层角度为 4.5° 时,边坡软弱夹层下部基本没有位移产生,而夹层上部出现大

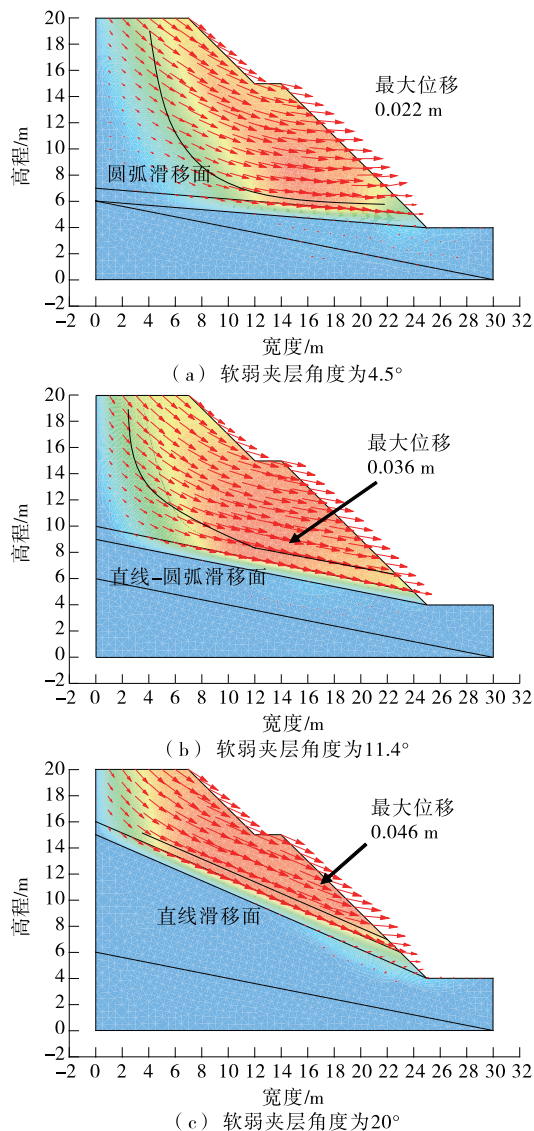


图2 不同软弱夹层角度条件下边坡的位移场

面积位移区域,坡脚处的位移最大值为 0.022 m ;边坡的滑移面呈圆弧状。当软弱夹层倾角为 11.4° 时,边坡位移区域仍出现在软弱夹层的上部,但位移区域的面积小于软弱夹层倾角为 4.5° 时,靠近坡脚处的位移最大值为 0.036 m ;滑移面的形状为圆弧一直线形。当软弱夹层倾角为 20° 时,边坡位移区域的面积最小,但坡脚处的最大位移值为 0.046 m ,大于上述两种情况;滑动面形状为直线形。说明当边坡内部存在软弱夹层时,边坡位移区域均位于软弱夹层上部,随着软弱夹层倾角的增大,边坡滑移面的形状逐渐由圆弧形向直线形转变,位移区域的面积逐渐减小,但位移最大值逐渐增大。

为分析不同软弱夹层条件下边坡产生位移的原因,对边坡应变场进行分析。图3为不同倾角软弱夹层边坡的应变场。从图3可看出:当软弱夹层角度为 4.5° 时,边坡的内部后缘及坡脚处出现较大剪应变,而边坡内部的软弱夹层并没有出现明显剪应变;当软弱夹层角度为 11.4° 时,边坡后缘及内部软弱夹层出现明显的剪应变,但软弱夹层周围剪应变并不明显;当软弱夹层角度为 20° 时,边坡仅在后缘区域及软弱夹层内部产生剪应变。表明当边坡内软弱夹层的倾角较小时,最大剪应变出现在边坡后缘,随着软弱夹层角度的增加,最大剪应变逐渐由边坡后缘向软弱夹层内部转变,并且软弱夹层的倾角越大,剪应变最大值越大。以上现象说明软弱夹层的倾角较小时,边坡位移主要由边坡后缘受拉所引起,随着软弱夹层倾角的增加,边坡后缘剪应变逐渐减少,软弱夹层上部的坡积土仅发生位移、并没有发生变形,边坡的变形属于沿软弱夹层的蠕滑变形。

为进一步了解边坡稳定性随软弱夹层倾角的变化规律,对不同软弱夹层角度边坡的稳定性进行分析。图4为不同软弱夹层角度条件下边坡的安全系数与潜在滑动面。从图4可看出:当软弱夹层角度为 4.5° 时,边坡潜在滑动面的坡脚穿过软弱夹层区

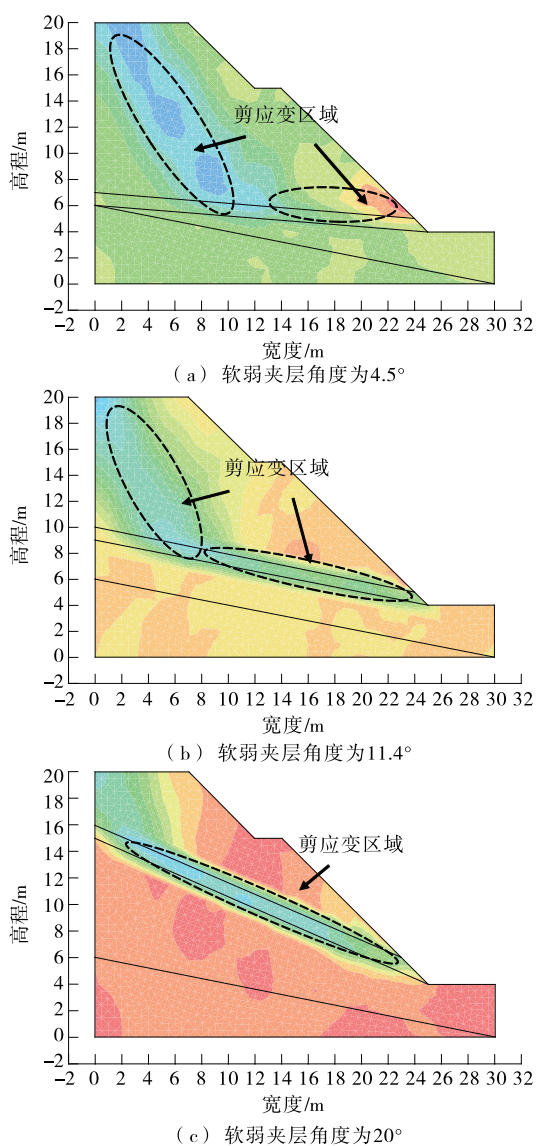


图3 不同软弱夹层角度条件下边坡的应变场

域,但主要滑动面位于坡积土内部,边坡安全系数为1.76,边坡处于稳定状态;当软弱夹层角度为 11.4° 时,边坡潜在滑动体与软弱夹层角度为 4.5° 时的基本相近,边坡安全系数降至1.71,软弱夹层倾角对边坡潜在滑动体的影响较小;而当软弱夹层倾角增加至 20° 时,边坡潜在滑动面与稳定性均产生较大变化,边坡潜在滑动面的大部分位于软弱夹层内部,且边坡安全系数降至1.56。说明边坡潜在滑动面与安全系数受软弱滑动面倾角的影响十分明显,随着软弱夹层倾角的增大,滑动面越趋向于软弱夹层内部,边坡安全系数越小。

2.2 软弱夹层强度对边坡变形和稳定性的影响

图5为边坡最大位移随软弱夹层强度的变化情况。从图5可看出:在软弱夹层倾角为 20° 的条件

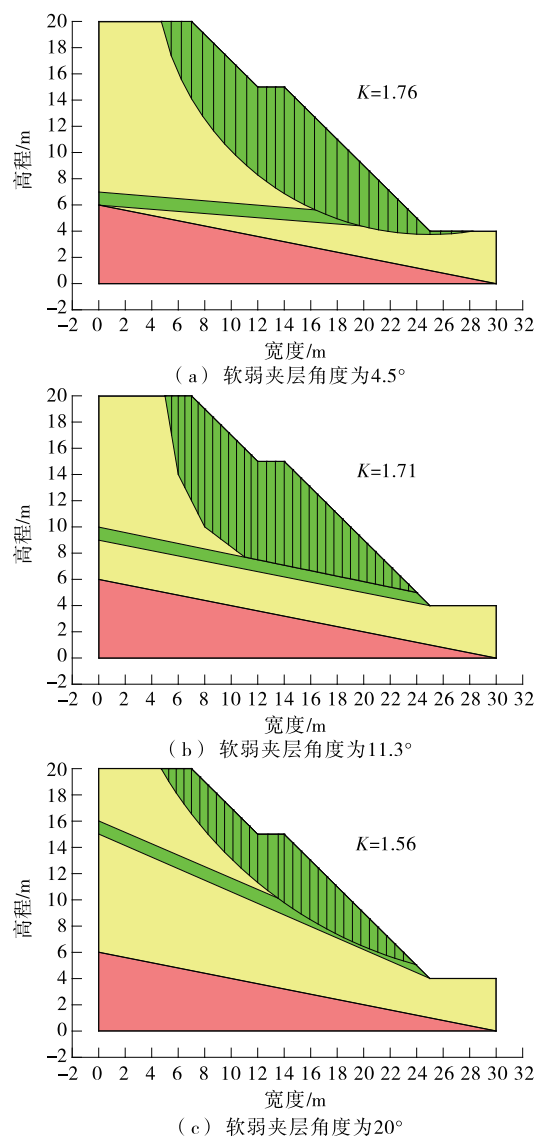


图4 不同软弱夹层角度条件下边坡的安全系数与潜在滑动面

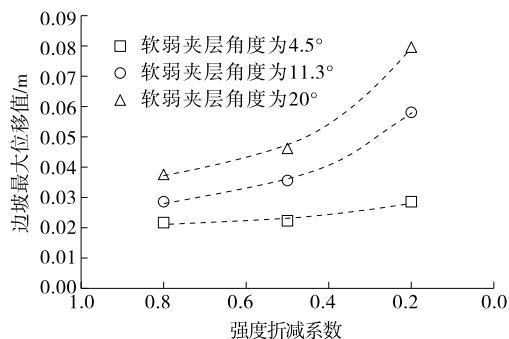


图5 软弱夹层强度对边坡最大位移的影响

下,其强度折减系数分别为0.8、0.5、0.2时,边坡最大位移分别为0.038、0.046、0.079 m,最大位移随软弱夹层强度的减弱呈指数上升;在软弱夹层倾角为

11.4°的条件下,其强度折减系数分别为 0.8、0.5、0.2 时,边坡最大位移分别为 0.058、0.036、0.029 m,最大位移的变化速率较缓;在软弱夹层倾角为 4.5°的条件下,其强度折减系数分别为 0.8、0.5、0.2 时,边坡最大位移分别为 0.029、0.022、0.021 m,最大位移随软弱夹层强度的减弱呈线性上升,但变化速率最慢。可见,软弱夹层的倾角越大,相同强度折减系数对其最大位移的影响越明显。

图 6 为不同软弱夹层倾角条件下夹层强度对边坡稳定性的影响。从图 6 可以看出:在软弱夹层倾角为 20°的条件下,其强度折减系数分别为 0.8、0.5、0.2 时,边坡安全系数分别为 1.84、1.52、1.24,安全系数呈线性下降,下降速率快;在软弱夹层倾角为 11.4°的条件下,其强度折减系数分别为 0.8、0.5、0.2 时,边坡安全系数分别为 1.91、1.71、1.46,安全系数下降速率较快;在软弱夹层倾角为 4.5°的条件下,其强度折减系数分别为 0.8、0.5、0.2 时,边坡安全系数分别为 1.94、1.76、1.64,安全系数下降速率较慢。可见,软弱夹层的倾角越大,相同强度折减系数对边坡安全系数的影响越明显。

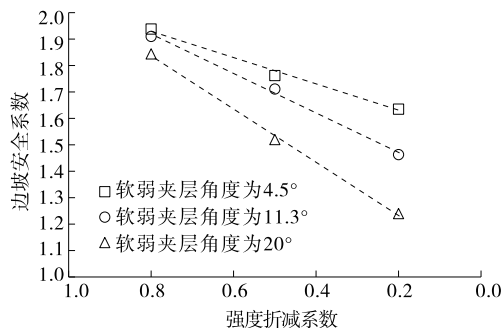


图 6 软弱夹层强度对边坡稳定性的影响

3 结论

(1) 在软弱夹层强度不变时,随着软弱夹层倾角的增加,位移区域的面积逐渐减小,但位移最大值

逐渐增大,滑移面逐渐由圆弧形向直线形转变。位移主要由软弱夹层的剪应变所引起,软弱夹层上部的坡积土为整体位移,没有发生变形。

(2) 边坡潜在滑动面与安全系数受软弱滑动面倾角的影响十分明显,随着软弱夹层倾角的增大,滑动面越趋向于软弱夹层内部,边坡安全系数越小。

(3) 软弱夹层的倾角越大,相同强度折减系数对其最大位移及边坡安全系数的影响越明显。

参考文献:

[1] 王维早,杨小荟,贾磊,等.某水电站左岸坝肩边坡软弱夹层的工程特性及其对边坡稳定性的影响[J].水文地质工程地质,2007,34(1).

[2] 米海珍,牛军贤,李如梦.红层软岩破碎软弱夹层边坡稳定性影响因素探讨[J].兰州理工大学学报,2006,32(3).

[3] 陈玮,简文彬,董岩松,等.某含软弱夹层花岗岩残积土边坡稳定性研究[J].水利与建筑工程学报,2014,12(6).

[4] 卢海峰,陈从新,沈强,等.鄂西南巴东组红层边坡夹层成因及特性[J].水文地质工程地质,2010,37(1).

[5] 王浩然,黄茂松,刘怡林.含软弱夹层边坡的三维稳定性极限分析[J].岩土力学,2013,34(增刊 2).

[6] 张社荣,谭尧升,王超,等.多层软弱夹层边坡岩体破坏机制与稳定性研究[J].岩土力学,2014,35(6).

[7] 吴顺川,张晓平,刘洋.基于颗粒元模拟的含软弱夹层类土质边坡变形破坏过程分析[J].岩土力学,2008,29(11).

[8] 王睿,张嘎,张建新.降雨条件下含软弱夹层土坡的离心模型试验研究[J].岩土工程学报,2010,32(10).

[9] 谢红建,万力.含软弱夹层的边坡稳定性及加固分析[J].东北水利水电,2014(7).

[10] 莫晓华,赵双祥.基于正交设计的软弱夹层岩质边坡影响因素分析[J].北方交通,2014(10).

收稿日期:2017-08-20

(上接第 64 页)

pavements added with crumb rubbers in dry process [J]. International Journal of Pavement Engineering, 2016,17(7).

[3] 吴春颖,刘爱华,刘开琼,等.橡胶沥青胶结料综合性能的对比研究 [J].江苏交通科技,2012(5).

[4] 刘开琼,刘开琼,李爱芳,等.高粘成品橡胶沥青在路面工程中的应用研究与工程实践[A].中国公路学会道路

工程分会学术年会暨第六届(2012)国际路面养护技术论坛[C].2012.

[5] JTG/E20-2011,公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].

[6] 李文秀.废旧轮胎胶粉添加方式对橡胶沥青混合料路用性能的影响[J].公路与汽运,2017(3).

收稿日期:2017-09-20