

基于强度折减法的浅层采空边坡稳定性评价

吴言军, 侯伟, 李根义, 陈爱新, 陈昌彦, 周宏磊
北京市勘察设计研究院有限公司, 北京, 100038

门头沟地区采煤历史悠久, 分布有数以百计的小煤窑, 大量的煤层被部分或全部开采, 形成了众多地下采空区, 存在着塌陷、崩塌、滑坡等边坡灾害, 如千年古刹戒台寺 (廖海萍等, 2007)、京西棚户区改造项目^①等多个重大工程项目均曾发生过不同规模的边坡灾害问题, 对地区生态环境地质及工程建设产生了不利影响^②。

本文拟采用强度折减法对门头沟某地区小煤窑浅层采空区边坡的稳定性进行定量化稳定分析, 并用传统的极限平衡法进行验证, 探讨浅层采空对边坡稳定性的影响作用机理。

1 研究区地质背景

研究区位于门头沟区龙泉镇圈门, 属于门头沟煤田区域, 该区域煤炭资源丰富, 开采历史悠久 (袁树森, 2005), 直到近几年才停止开采。

根据在现场发现 100 多个小煤窑的分布规律及灾害特征发现, 研究区小煤窑多分布在沟谷岸坡及斜坡地带, 开采巷道围岩主要为侏罗系窑坡组粉砂岩、砂岩及泥岩等, 岩体节理发育。由于小煤窑洞口及向山体延伸的缓坡下的巷道埋深浅, 上覆岩土强度低, 受后期地形改造或受地表水体的侵蚀冲刷影响, 围岩稳定性降低, 易导致地面开裂、塌陷, 对采空区上建(构)筑物产生不良影响, 并易诱发山体斜坡的变形和破坏, 危害性较大。

2 工程应用

为了对研究区边坡的稳定性进行评价, 本文基于强度折减原理, 采用等效塑性应变作为判断边坡整体失稳的临界标准 (江权等, 2009; 连锁营等, 2001), 通过搜索折减系数 F , 将岩体的力学强度参数 (粘聚力 c 和内摩擦角 φ) 按 F 值折减, 即将岩

体的强度参数 c 、 φ 均除以折减系数 F , 得到一组新的 c' 、 φ' 值, 将新的材料参数作为计算参数代入数值计算中进行试算, 使计算模型的边坡出现明显的贯通性等等效塑性应变, 此时的 F 值就是边坡的整体安全系数。

2.1 计算模型

计算模型 $x \times y \times z$ 为 $58\text{m} \times 60\text{m} \times 57.14\text{m}$, 共 145737 个实体单元, 25597 个结构单元。巷道断面为 $2\text{m} \times 2\text{m}$, 巷道埋深 $5.52\text{m} \sim 29.26\text{m}$, 见图 1。

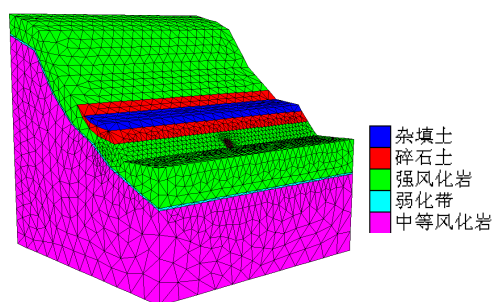


图 1 边坡计算三维模型

2.2 地层参数

地层分为 5 层: 第①层杂填土和第②层碎石土的参数根据经验选取, 第③层强风化岩石、第④层弱风化带和第⑤中等风化岩体的参数是依据岩石试验结果、结合岩体的风化程度和完整程度的划分综合确定的, 见表 1。

表 1 模型计算参数

地层编号	密度 (g/cm ³)	粘聚力 (kPa)	摩擦角	压缩模量 (MPa)	泊松比
①	1.9	3	10	10	0.35
②	2.2	0	30	30	0.30
③	2.4	80	25	100	0.30
④	2.0	9	26	15	0.32
⑤	2.6	330	30	600	0.25

注: 本文为北京市科学技术委员会资助课题 (编号 Z121100000812006) 的成果。

收稿日期: 2015-02-02; 改回日期: 2015-02-28; 责任编辑: 费红彩。

作者简介: 吴言军, 男, 1976 年生, 硕士, 高级工程师, 地质工程专业。Email: gkswyj@sina.com。

2.3 计算结果分析

图 2 为折减系数分别为 $F=1.54$ 的塑性区云图。图 3 为对应的水平位移云图。当折减系数 $F=1.54$ 时, 在弱化带以上部分屈服区贯通, 坡顶最大水平位移达到 100mm, 弱化带和巷道内区域屈服。

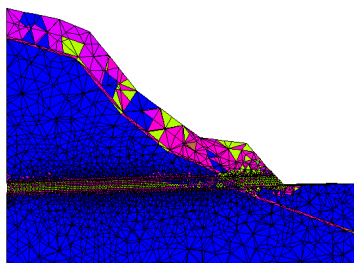


图 2 塑性区云图 ($F=1.54$)

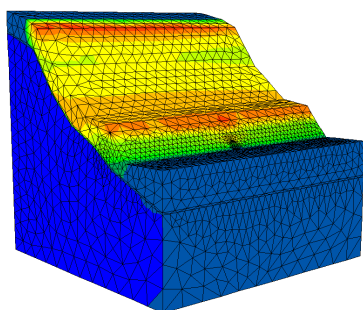


图 3 水平位移云图 ($F=1.54$)

为了研究边坡的安全储备, 选择 3 个典型的计算点为研究对象, 分析对模型参数进行不同程度折减时对水平位移的影响。图 4 为 3 个计算点的水平位移随着折减系数的变化曲线。

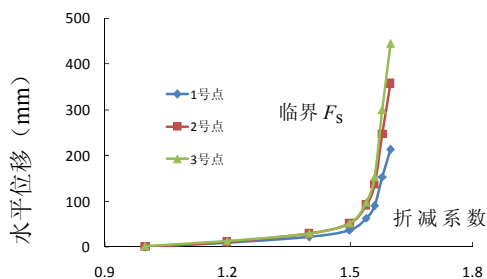


图 4 水平位移随折减系数的变化曲线

注 释 / Notes

- 北京市勘察设计研究院有限公司. 2010. 门头沟区采空棚户区改造石泉砖厂 A 地块定向安置房项目岩土工程勘察报告. 北京: 北京市勘察设计研究院有限公司.
- 北京市地质矿产勘查开发局. 北京市地质研究所. 2008. 北京地质灾害. 中国大地出版社, 09: 96~101

参考文献 / References

由图 4 可见, 在 3 个计算点中, 3 号点位于坡顶, 1 号点位于坡脚, 在相同折减系数条件下, 3 号点的水平位移最大, 1 号点水平位移最小。当折减系数小于 1.5 时, 3 个点的水平位移基本按线性缓慢增加。对于 3 号点, 当折减系数增至 1.54 时, 水平位移开始出现陡增, 最大水平位移接近 100mm, 当折减系数为 1.60 时, 最大水平位移接近 445mm。根据上述模拟的屈服区的贯通程度、水平位移大小, 以及水平位移与折减系数关系曲线的斜率变化趋势, 认为临界折减系数为 1.54, 综合判定研究区的安全系数为 1.54。

2.4 与极限平衡法比较

为了验证有限元强度折减法的准确性, 本文依据经验公式 (孙文华, 2005) 展开分析, 评价浅层采空对边坡稳定性的影响。根据计算结果, 现状条件下边坡稳定性系数为 1.317, 根据地质灾害评估规范, 坡体处于稳定状态。

由上述计算结果可知, 采用有限元法计算出的边坡稳定性安全系数都略高于传统极限平衡法所得值, 但数值上差异不大, 评价结论基本一致。但采用极限平衡法很难获得采空边坡的应力变形分布及演化趋势, 而采用有限元法则可以获得大量的变化信息, 更好的进行稳定性评价分析。

3 结论及建议

(1) 门头沟地区煤炭开采历史久远, 形成了复杂的地下浅层采空区, 由于埋深浅, 易对边坡工程产生不利影响。

(2) 计算结果表明, 有限元强度折减法与传统极限平衡法两种方法求得的安全系数十分接近, 但数值模拟方法能够反映采空边坡的应力及变形演化进程, 克服了传统极限平衡法的许多不足之处。

廖海军, 祁生文, 杨存进, 等. 2007. 北京市戒台寺滑坡发生发展机理研究. 工程地质学报, 15(5): 586~590.

江权, 冯夏庭, 向天兵. 2009. 基于强度折减原理的地下洞室群整体安全系数计算方法探讨. 岩土力学, 30(8): 2483~2488.

连镇营, 韩国城, 孔宪京. 2001. 强度折减有限元法研究开挖边坡的稳定性. 岩土工程学报, 23(4): 407~411.

孙文华. 2005. 三下采煤新技术应用与煤柱留设及压煤开采规程实用手册. 中国煤炭出版社, 08: 1520~1521.

袁树森. 2005. 老北京的煤业. 学苑出版社, 04: 48~53.