

清凉小学 1# 滑坡稳定性分析及防治措施研究

The Research of Stability Analysis and Control Measures of No.1 Landslide in QingLiang Primary School

王斌

Bin Wang

国家林业和草原局西南调查规划院 中国·云南昆明 650216

Southwest Survey and Planning Institute, State Forestry and Grassland Administration, Kunming, Yunnan, 650216, China

摘要: 清凉小学 1# 滑坡位于清凉小学教师公寓及幼儿园后山, 因滑坡变形发展, 一旦失稳, 直接威胁到小学及其周围村民生命财产安全。因此, 对其实施治理是十分必要的。论文详细论述了 1# 滑坡的空间形态、物质组成、结构特征及水文地质特征等, 探讨了 1# 滑坡的形成机制, 通过计算对 1# 滑坡稳定性进行了分析。针对清凉小学 1# 滑坡的具体特点, 提出了采用挡土墙、主动防护网、格构锚杆等工程措施进行治理。

Abstract: No.1 landslide in Qingliang primary school is located in the hills behind the teachers' apartments and kindergarten, due to the deformation development of the landslide, once it loses its stability, the landslide will be a direct threat to the life and property of the local people and the school. Therefore, it is indispensable to control the landslide. This paper elaborate in detail on the spatial form, composition of materials, the structural and hydrogeological features of No.1 landslide, analyzes and discuss the formation mechanism of No.1 landslide, and analyzes the stability of the 1# landslide through calculation. Aiming at the specific characteristics of landslide No. 1 in Qingliang Primary School, engineering measures such as retaining wall, active protection screening, and net-shape rock bolts are proposed to control the landslide.

关键词: 1# 滑坡; 形成机制; 稳定性分析; 治理措施

Keywords: No.1 landslide; formation mechanism; stability analysis; control measures

DOI: 10.12346/etr.v5i1.7613

1 引言

中国西南地区地形地质条件复杂, 暴雨、洪水灾害频发, 是地质灾害发育的集中区。滑坡作为全球三大地质灾害之一^[1,2], 是一种较为多发、直观且特征明显的斜坡变形现象。中江县清凉小学 1# 滑坡涉及范围较大, 滑体前缘宽约 120m, 纵向最长约 45m, 其平面面积约 $0.27 \times 10^4 \text{m}^2$ 。多次降雨后, 滑坡体出现多处局部失稳、垮塌和掉块现象。随着雨季来临, 1# 滑坡的稳定与否, 将关系滑坡体及其影响区内的学校与村民生命、财产安危, 基于滑坡稳定性计算的基础上开展及时治理就显得尤为重要。

2 滑体空间形态及特征

2.1 空间形态

清凉小学 1# 滑坡整体呈南北向延伸, 平面形态呈长

条形, 滑体前缘宽约 120m, 纵向最长约 45m, 覆盖层厚 3~5m, 总体积约为 $2.7 \times 10^4 \text{m}^3$, 规模为小型, 滑体前缘高程约 279m, 后缘高程约 310m, 相对高差约 31m, 整体坡向约 280° , 整体坡度约 55° 。

2.2 滑坡特征

①滑体特征。滑坡区斜坡表层主要为第四系松散残坡积含碎石粉质粘土层, 棕红色, 稍湿, 稍密, 硬塑, 遇水易软化。此层为滑区内的主要地层, 稍密, 渗透性较差, 部分欠固结, 空间分布不均匀, 工程地质性质较差^[3]。其中, 图 1 为 ZK01 岩芯, 图 2 为 ZK02 岩芯。

②滑带特征。清凉小学 1# 滑坡体变形主要以坡体表层局部滑移垮塌、掉块为主, 变形区域相对较小, 大变形迹象不明显。根据滑体空间形态及坡体物质组成, 结合勘察取芯, 推定基覆面为灾害体潜在滑移面。根据现场岩芯揭露的地层

【作者简介】王斌 (1991-), 男, 中国安徽合肥人, 硕士, 工程师, 从事路基工程研究。

地质情况，基覆面上土体主要为渗透性差的粉质粘土层，厚约50cm~80cm，红褐色，稍湿。

③滑床特征。滑体下伏基岩为侏罗系上统蓬莱镇组下段(J3p1)泥岩、砂岩，产状为 $300^{\circ} \angle 12^{\circ}$ ，构造裂隙发育，岩体较破碎，完整性差，岩质较软，强度较低，敲击易碎。



图1 ZK01 岩芯

图2 ZK02 岩芯

3 水文地质特征

地表水的径流形态，地下水埋深、动态变化等，对滑坡稳定性有直接影响，主要表现在降低坡体力学参数、冲刷坡面、潜蚀坡体、增大重度、形成静水压力或动水压力等。区内地下水一般以大气降水和地表水补给为主。径流途径为脉状裂隙及孔隙，地下水径流方向受地形地貌、地层岩性及地质构造的控制，一般径流途径较短，排泄于就近沟谷或河流中。

3.1 地表水

大气降水为区内地下水重要的补给来源，主要以蒸发、地表径流、下渗等形式排泄^[4]。

3.2 地下水

根据地下水的水理性质、水力特征及赋存条件，受地层岩性、地质构造、地形地貌及气象、水文等因素的影响和控制，区内地下水主要为第四系松散堆积层孔隙潜水和基岩裂隙水。

4 滑坡形成机制分析

4.1 滑坡影响因素分析

滑坡的形成条件包括地形条件和地质条件，具备滑坡条件的山坡是否会发生滑坡，与促进滑动作用的因素有关，一类是自然因素，如地震、降水，另一类是人为因素，如开挖坡脚、灌溉水下渗、植被破坏等^[3]。

①地形地貌。滑坡位于宽谷深丘区，相对高程约30m，坡面较陡，中上部整体坡度约 25° ，前部整体坡度约 55° ，由于修建教学楼对斜坡体挖方削弱了坡脚的支撑力、改变了坡脚的应力状态和地下水的渗流场。

②地层岩性。清凉小学1#滑坡的主要物质基础为松散

的第四系残坡积层与下覆泥岩夹砂岩，是典型的易滑软岩组合。堆积体松散且多孔隙，为地表水下渗创造了有利条件，砂、泥岩组合形成的隔水层，加速了地下水聚集、基岩软化，促使了滑带土的形成和发育。

③地质构造。地质构造是滑坡形成的重要条件，其往往造成岩层褶曲和断裂，节理裂隙发育，为滑坡产生创造结构条件，也为地下水活动提供了通道，地下水软化潜在滑动带地层，降低强度，更易产生滑坡。

清凉小学1#滑坡位于仓山背斜北侧，区内岩层产状受背斜影响和制约，呈单斜层状产出。泥岩中发育的节理均较短，间距较小，延伸较小，微张，多以泥质充填为主，受构造、风化程度等因素制约。

④降雨。降雨是最普遍的作用因素，“十水九滑”“治坡先治水”，很形象地说明了降雨对滑坡的重要影响。降雨入渗坡体，一方面是增大了坡体重量和下滑分力，另一方面是软化和饱和了滑带土及潜在滑带土，降低了其强度，减小了抗阻力，特别是泥岩风化饱水后内摩擦角大大下降，大约只有 10° 左右。此外，久雨暴雨，快速提高地下水位，增大了滑带土的孔隙水压力，对斜坡稳定极为不利。

⑤林木根劈作用。主要边坡林木影响比较大，在比较陡的地形条件下，林木的根系对泥岩的根劈作用尤为显著，“9.10”强降雨的时候，发生几处比较大的滑坡垮塌灾害都是因为泥岩在大树或竹林根系劈裂的作用下产生的。

4.2 滑坡成因机制分析

清凉小学1#滑坡基岩主要为侏罗系上统蓬莱镇组下段泥岩夹砂岩，为软质岩，易滑地层，力学性质较差，极易发生沿贯通面的剪切滑动。斜坡表层堆积，风化作用强，节理裂隙发育，结构松散，为地表水水进入滑坡体内部提供了有利条件。降水渗入坡体并在潜在滑动带聚集，软化滑带岩土，增高了地下水位和孔隙水压力，减小了其抗剪强度和阻滑力。长期降雨和植被的根劈作用是该滑坡体产生滑动的主要因素。

5 滑坡稳定性计算与分析

5.1 稳定性计算

5.1.1 计算参数选取

由室内试验结果，并结合该滑坡附近区域相似工程，对岩、土体的物理力学指标进行综合分析后，确定的岩土体物理力学参数建议值，见表1。

5.1.2 计算原理及公式

传递系数法，即剩余推力法，是根据滑动条块在滑动时的力学平衡原理，由上至下沿边坡倾斜方向，逐一计算上一条块对下一条块的推力，以最后一条块推力大小来判断滑坡体稳定性的方法^[4]。当滑动面为折线形时，采用该方法的滑坡稳定系数计算公式如下：

表 1 物理力学参数建议值

位置	天然含水率 ω (%)	土体容重 γ (kN/m ³)		抗剪强度			
				天然		饱和	
		天然	饱和	C(kPa)	ϕ (°)	C(kPa)	ϕ (°)
坡体	19.58	18.9	21.5	25.02	8.07	17.06	8.05
潜在滑动面	19.84	19.20	20.30	16.82	7.50	10.33	7.0

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (R_i \prod_{j=i}^{n-1} \Psi_j) + R_n}{\sum_{i=1}^{n-1} (T_i \prod_{j=i}^{n-1} \Psi_j) + T_n} \quad (式 1)$$

$$\Psi_i = \cos(\theta_i - \theta_{i+1}) - \sin(\theta_i - \theta_{i+1}) \tan \varphi_{i+1} \quad (式 2)$$

滑坡剩余下滑力计算公式如下:

$$P_i = P_{i-1} \cdot \varphi_{i-1} + F_s \cdot T_i - R_i \quad (式 3)$$

5.2 滑坡稳定性综合分析及预测评价

传递系数法对该滑坡的计算结果见表 2, 由滑坡稳定状态分级评价知: $F_s \geq F_{st}$ (滑坡稳定安全系数) 为稳定, $1.05 < F_s < F_{st}$ 为基本稳定, $1.05 > F_s \geq 1.0$ 为欠稳定, $F_s < 1.0$ 为不稳定。

表 2 滑坡稳定状态分级

滑坡稳定性系数	$F_s < 1.0$	$1.0 \leq F_s < 1.05$	$1.05 \leq F_s < F_{st}$	$F_s \geq F_{st}$
稳定状态	不稳定	欠稳定	基本稳定	稳定

清凉小学 1# 滑坡稳定性计算结果见表 3。

表 3 清凉小学 1# 滑坡稳定性计算结果表

计算坡面	工况	稳定性安全系数 F_{st}	稳定性系数 F_s	稳定性	剩余下滑力 (kN/m)
A-A'	1	1.15	1.674	稳定	
	2	1.10	0.997	不稳定	18.089
	3	1.10	1.595	稳定	

从以上滑坡稳定性计算结果可以得出结论, 具体内容如下:

①天然工况下, A-A' 剖面的稳定系数为 1.674, 大于稳定性安全系数值, 滑坡处于稳定状态。

②暴雨工况下), A-A' 剖面的稳定系数为 0.997, 小于稳定性安全系数值, 滑坡处于不稳定状态。

③地震工况下, A-A' 剖面的稳定系数为 1.595, 大于稳定性安全系数值, 滑坡处于稳定状态。

根据野外勘察结果, 滑坡体在少雨季节里, 基本处于稳定, 只有发现局部掉块、坍塌及滑移现象; 在暴雨季节, 则会出现滑坡体大面积滑动现象, 学校及周边建筑物均会受到不同程度的破坏。这些现象与滑坡稳定性计算结果相吻合、一致。

综上所述, 清凉小学 1# 滑坡发生变形破坏的主要原因为集中性降水及林木根劈作用, 从而解释了该滑坡的形成机制。植被的根劈作用及不合理的人类活动, 为集中降水进入滑坡体提供了有利条件, 一方面浸润了坡体内的松散堆积物, 另一方面增大了滑体自重。此外, 水的渗入增加了孔隙

水压力, 导致了动水压力的升高, 极大地降低了滑坡体的抗剪切强度。

6 滑坡防治措施

根据滑坡形成机制并结合分析计算成果, 考虑到滑坡前缘建筑物安全, 提出了如下综合治理方案: 挡土墙 + 主动防护网 + 格构锚杆 + 局部清方 + 截排水沟。

①在整个不稳定滑坡体后缘农田平台修建截水沟, 学校两侧修建排水沟, 在挡土墙或者护脚墙前缘修建排水沟。

②滑坡防治工程区后缘进行挖方减重, 并在滑坡前缘抗滑地段进行加载, 增加滑体的抗滑能力, 提高滑体的稳定性。

③滑坡防治工程区域前缘修建挡土墙 (或护脚墙), 墙高 1.5~2.0m。其中滑坡体中部及上部修建格构锚杆护坡, 清除不稳定块体后采用主动防护网。

④建议做好监测和预案工作, 制定人、物疏散路线; 尤其是暴雨期间, 落实专人负责监测工作, 一旦发现险情应立即报警, 并及时采取紧急疏散措施, 做好应急抢险工作。

7 结语

①松散的第四系残坡积层与下覆泥岩夹砂岩的这种易滑软岩组是清凉小学 1# 滑坡形成的主要物质基础, 持久性的降水与长期的林木根劈作用是该滑坡发生的主要原因。此外, 不合理的人类活动也“瞬时”改变了坡体的应力状态和地下水的渗流环境, 大大加速了斜坡体的演化进程, 极易诱发滑坡的产生, 如边坡开挖、人工爆破等。

②结合该滑坡的形成机理, 因地制宜, 从工程经济性、安全性角度提出了采用挡土墙、主动防护网、格构锚杆、局部清方、截排水沟等工程措施对滑坡体进行治理。

③学校内的生活用水应统一规划、集中截排至滑坡区以外, 避免地表水下渗对潜在滑带的继续软化。

参考文献

- [1] 梁学战, 唐红梅. 三峡库区及邻近地区滑坡发育宏观地质背景分析[J]. 重庆交通大学学报, 2009(1): 100-104.
- [2] Araik, Tagyo K. Determination of noncircular slip surface giving the minimum factor of safety in slope stability analysis [J]. Soils and Foundations, 1985, 25(1): 43-51.
- [3] 蒋爵光. 铁路工程地质学[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1991.
- [4] 张景奎, 王慧. 滑坡推力计算中传递系数法及其改进方法的探讨 [J]. 工程与建设, 2007, 21(6): 932-934.