

某水电站厂房后边坡滑坡浅析

覃 巍

重庆梅溪河流域水电开发有限公司 重庆 奉节 404600

摘要: 本文根据勘察资料对厂房后边坡滑坡的地貌形态、滑体结构、滑床形态及滑动带等基本特征的描述,进行了滑坡成因与变形破坏机制的分析,通过对滑动带、滑坡体的物理力学试验成果的分析与研究,运用多种方法进行了滑坡的稳定性分析与计算,为设计确定是否对滑坡进行保护和处理提供了地质依据。

关键词: 滑坡、滑体、滑体结构、滑坡成因、变形破坏机制

一、绪论

某水电站厂房后边坡滑坡位于河道左岸,为一土层浅表突发性小型滑坡,滑坡前沿为电站厂房,其稳定与否对厂房运行无疑具有十分重要的意义。

二、滑坡的基本特征

(一) 滑坡地貌形态特征

滑坡边坡地面北侧高,南侧低,地面形态主要呈直线型,地形坡角一般在 $24\sim 30^\circ$,东侧1#冲沟基岩裸露。滑坡平面形态呈“圈椅”状,纵长94m,横向宽40~115m,滑带边界连续,平面分布面积10676.50m²,滑体土厚4.1~25.1m,平均厚度约12m,总体积约 $12.81\times 10^4\text{m}^3$,属小型土质滑坡。前缘剪出口高程为272~275m,后缘高程323m,根据地面变形分析及揭露的擦痕方向判定,滑坡边坡的主变形方向为 $S5^\circ E$ 。

(二) 滑体结构特征

1. 土体分布范围

根据地质调查测绘,厂房与开关站后边坡高程230~275m基岩裸露,高程275~430m为土质边坡,高程430m以上基岩裸露;厂房综合楼后边坡至高程400m范围全为土质边坡;开关站下游1#冲沟基岩裸露。

2. 基岩面形态特性

厂房后边坡受岩性影响,砂岩抗风化能力较强,在砂岩分布范围内形成陡坎;泥岩抗风化能力较弱,在风化作用下剥蚀成平台。根据钻探揭示,厂房后部边坡岩性主要由泥岩与砂岩不等厚互层组成,其基岩面呈台阶状分布。

3. 滑坡边坡土体特征

勘探揭示,场地土体为崩坡积层,成份主要由块碎石土组成,孤块石分布不均,块石含量差异性较大,不具有分层性。碎块石直径一般10~50mm,大者1500mm,局

部含有孤石。粉质粘土呈软塑~可塑状,切面粗糙,无摇震反应,土石比多为6:4~35:65,厚度4.10~25.10m。土体因含水条件改变其力学性质存在一定差异。

(三) 滑床形态及滑动带特征

根据探井、钻探及孔内摄像分析,该滑坡潜在滑动面主要位于下伏基岩面附近,局部沿土体内部剪出,其滑动近似圆弧形滑动,其变形方向与坡向基本一致。坑探揭示滑移面地下水丰富,开挖后迅速渗出地下水。土体下伏基岩是由侏罗系沙溪庙组泥岩组成,基岩面呈多级台阶状,与地表形态存在一定差异。总体上是后缘较陡,前缘平缓。

三、滑坡的成因与变形破坏机制

(一) 滑坡成因

(1) 崩坡积堆积体的存在,为其变形提供物质条件。

(2) 土体下部基岩多由泥岩组成,砂岩占比较小,泥岩相对隔水性阻碍地下水沿基岩裂隙下渗,地下水下渗速度小于地表水渗入速度,使地下水位慢慢抬高,当长时间降雨后地下水在岩土界面富集使土体达到饱和,大幅降低土体物理力学参数,逐步形成一软弱滑动面,在重力与水压力作用下产生滑动。

(3) 根据渗水试验可知边坡土体属弱~微透水土体,边坡土体透水性较弱,块石土孔隙持水性好,土体在天然状态下含水量20%~35%,地表降雨及地表水渗入速度大于地下水渗出速度,在长时间作用下使土体含水量达到饱和,增加土体重度,大幅降低土体物理力学性质(根据勘测水位观测,坡面地下水渗出点极多,钻孔水位普遍较高,坑探揭示地下水埋深一般1.5~2.0m),在重力、水压力及浮力作用下产生下滑。

(4) 边坡天然地形坡度 $26\sim 30^\circ$,地形坡度总体较陡,为边坡下滑提供地形条件;边坡下部厂房边坡临空为

土体滑动提供了空间条件。

(5) 厂房后边坡分布高程 230~1480m, 最大高差 1250m, 为地下水量提供了汇集条件; 厂房后边坡位于渠马向斜近核部位置, 向斜为地下水汇聚区, 工区砂岩为富水岩层, 砂岩露头为邻近地下水排泄提供了导水通道, 勘察揭示厂房后边坡分布有多层砂岩, 地下水较丰, 坡内出露较多泉水点, 为地下水补给提供了条件。

(二) 滑坡变形破坏机制

(1) 降雨的作用: 暴雨或持续降雨, 地表水下渗, 使滑坡土体饱水程度增大, 土体抗剪强度大幅降低, 自重下下滑力增大, 抗变形力减小, 从而造成滑坡稳定性降低而发生局部蠕滑变形。

(2) 长时间降雨使地下水水量大幅增加, 破坏了原有地下水补排系统平衡, 使边坡土体加速饱和。

(3) 根据工程区附近走访调查, 边坡上部的邵家大堰塘位于滑坡边坡顶部, 该水塘在 10 月 3 日强降雨期间夜间发生垮塌, 垮塌后村民采取了放水措施降低水水位, 又因厂房后边坡 2#冲沟公路箱涵孔径较小, 过水能力差, 加之冲入块石堵塞洞口, 使沟内洪水沿公路大量涌入厂房后边坡坡体内, 使边坡土体地下水补排系统平衡进一步加剧破坏, 使边坡产生滑动。

(4) 厂房后边坡经多年运行排水不畅, 造成地下水位抬升, 土体达到饱和。

综上所述, 厂房后边坡持续强降雨、边坡地下水大幅增加, 地表水的渗入是滑坡变形的主要诱发因素; 坡顶水塘放水、2#冲沟公路箱涵过水能力差, 沟内水流大量涌入坡内起到助推边坡土体加速下滑作用。

四、滑带土的物理特性及参数的选取

钻探过程中对钻孔土体进行了取样试验, 由于多数土体内含有碎石, 无法进行取样试验, 本次试验选取土体内碎石成分较少部分进行室内试验, 因此可选试样数目较少, 试验参数较边坡实际参数低。

(一) 滑带土的物理性质

据本次勘察探坑及钻孔中取样试验资料分析: 土体的天然重度 19.6~20.2kN/m³, 饱和重度 19.9~20.5kN/m³, 天然与饱和值接近; 孔隙比 0.606~0.736 之间, 为中等压缩性土; 天然含水量 18.8~25.3%; 塑限 13.6~19.5%,

天然含水量与塑限较为接近; 液性指数 0.38~0.47 之间, 可见土体的结构比较密实, 且呈可塑状; 液限在 26.7~32.3%, 属中塑性土。

(二) 滑带土的力学性质

厂房后边坡土体由孤块碎石土组成, 其孤块碎石含量及分布不均, 滑坡土体与斜坡土体物质组成无明显差异, 坡体内地下水位普遍较高, 为查清土体及滑带土体物理力学性质, 在滑坡内外分别做了现场剪切试验。根据试验场地及成果分析, 边坡土层与滑带土层的含水量与碎石含量均存在一定差异, 因此试验成果存在一定差异, 滑带土层土体达到饱和, 比较符合滑坡滑面滑动时状态。

根据室内试验, 土的天然抗剪强度: 峰值为 $C=16.7\sim 29.1\text{kPa}$ 、 $\Phi=7.21\sim 16.52^\circ$, 土的天然固结抗剪强度为 $C=20.30\sim 35.20\text{kPa}$ 、 $\Phi=9.08\sim 19.03^\circ$; 土的饱和抗剪强度: 峰值为 $C=11.10\sim 20.80\text{kPa}$ 、 $\Phi=5.49\sim 14.28^\circ$, 土的饱和固结抗剪强度为 $C=17.50\sim 26.90\text{kPa}$ 、 $\Phi=7.85\sim 16.31^\circ$ 。在室内剪切试验过程中由于土体含有少量碎石, 其试验成果存在一定差异。

(三) 滑带土的反算指标

1. 取边坡现状地形断面, 由于边坡现状地形下主滑段已与滑体脱开, 处于临界状态, 计算天然工况下, 稳定系数取 1.01~1.05 反算的滑面抗剪强度。

根据计算机模拟并校核, 反算的滑面指标为:

天然状态 $c=65.0\text{kpa}$ $\Phi=30^\circ$

2. 取滑动后断面, 由于边坡土体地下水位较高, 计算饱和(暴雨)工况下稳定系数小于 1.0(取值 0.95)的反算滑面指标, 反算中考虑水压力作用, 工程区处于Ⅵ度地震区, 计算式不考虑地震作用。反算结果表明与室内试验饱和和峰质接近。

饱和状态 $c=35.0\text{kpa}$ $\Phi=16.0^\circ$

(四) 边坡土参数选取

根据边坡土体室内外试验成果对比, 现场饱和剪切试验试验值与室内饱和直剪数值相近, 其试验环境均处于饱和状; 工程区场地崩坡积块碎石土块碎石含量较高, 块碎石对边坡稳定起到骨架作用。再者, 滑带土不连续分布。本次室内试验及现场剪切试验试件选取块碎石粒径小, 含量较少的试样进行试验, 因此, 试验数据较实际参数低。

因此，结合边坡现状监测处于临界稳定状态，近40天时间无明显变形破坏，其反算参数指标更符合工程实际，因此，参数选用反算指标较为合适。根据反算、工程经验与试验值综合考虑取值如下：

天然状况：C值为65.0kPa，值为30°；

饱和状况：C值为55.0kPa，值为28°。

(五) 滑带土参数选取

本次分析计算考虑了滑动面存在粘土层最不利条件，在勘察过程中选取了滑动面粘土夹少量碎石层，其饱和试验值 $C=16.99\text{KPa}$ 、 $\Phi=8.18^\circ$ ，按照试验参数计算边坡稳定系数仅为0.70，边坡处于不稳定状态。根据近40天的监测数据分析，边坡现阶段处于临界稳定状态，试验参数计算情况与边坡现状不符，分析滑动面应存在较多块碎石，块碎石对边坡稳定起到骨架作用，因此，滑面最不利情况饱和参数取值为：C值为35.0kPa，值为16.0°；天然状况参数：C值为45.0kPa，值为23.0°。

(六) 滑带土的力学参数建议值

本次由于滑坡处于蠕滑阶段，滑动面已基本形成，故本次计算参数选取采用室内试验、现场剪切试验及反算指标和经验类比多种方法确定。

场地土体为块碎石土，含有较多较大块石，室内试验主要选取了碎石含量少的土样进行试验，现场剪切试验选取了含块石成分少的土体进行试验，因此，本次参数选取根据室内试验数据、现场剪切试验、反演计算及工程经验综合确定。滑坡体的物理力学参数建议值见表1。

表1 边坡土体参数建议值

岩性	重度(kN/m ³)		抗剪强度				渗透系数 (cm/s)
	天然	饱和	内摩擦角 ϕ (°)		粘聚力C(kPa)		
			天然	饱和	天然	饱和	
块碎石土	19.9	20.1	30	28	65	55	1.0×10^{-5}
滑带土	19.4	19.7	23	16	45	35	

五、滑坡稳定性分析与评价

(一) 宏观稳定性评价

通过现场地质测绘及勘察表明，该厂房后边坡岩体倾向山内，属逆向坡，岩体稳定性好；边坡土体在经历多次区域强降雨过程中均处于稳定状态，且边坡无滑坡历史记录，本次边坡局部土体滑动变形部分属土层浅表发生蠕滑变形。因此该厂房后边坡边坡整体稳定性较好，变形蠕滑

部分因场地发生长时间强降雨使土体达到充分饱和，土体物理力学性质大幅降低导致边坡局部失稳，属土层浅表突发性小型新滑坡。

(二) 滑坡稳定计算

1. 计算方法的选择

滑坡边坡稳定性计算以极限平衡法为主，推力计算按传递系数法考虑。根据滑坡产生滑动的特征、形成机制影响因素，滑坡边坡稳定性分析计算荷载主要为滑坡自重、地下水产生的静水压力和动水压力，由于厂房后边坡面积较大，本次分别选取Ⅲ-Ⅲ'、Ⅳ-Ⅳ'剖面作为滑坡边坡稳定性计算典型剖面。具体程序略。

2. 计算模型及其组合

(1) 计算模型的选择

本次计算的目的是为滑坡的稳定性评价及防治提供依据，根据滑坡的水文地质、工程地质、滑体的结构特征判断，该滑坡滑动面近于折线型，选择折线型滑动法进行计算是适合的。

该计算模型以刚体极限平衡理论为基础，可以迭加外部荷载、地震、动水压力、静水压力、浮力、承压水上浮力等，可根据实际需要进行模拟计算。

(2) 荷载组合

由于本工程无外加荷载，根据滑坡的特点，本次稳定性分析计算的荷载主要有：滑体自重、地下水产生的静水压力和动水压力。因滑坡区地震基本烈度为Ⅵ度，计算时未考虑地震力的影响。

①自重：整个滑体上，基础置于滑体上的建筑物，荷载不大，因此考虑滑体无集中荷载，基本荷载主要为滑体的自重。

②地下水作用力：除了要考虑孔隙水压力对滑面产生的浮托力外，还应考虑暴雨对滑体稳定性产生的影响。

(3) 工况组合

本工程边坡无外加荷载，主要为暴雨对滑坡稳定性影响，拟采用2种工况下对滑坡边坡稳定性进行计算。

①自重（原始地形）+（现有地下水位）。

②自重+暴雨（原始地形）。

3. 计算成果

该滑坡属土层浅表突发性小型新滑坡，滑体各代表剖

面的稳定性计算成果分别列于表2。

表2 滑坡稳定性计算成果表

剖面	上部		下部	
	工况 I (天然)	工况 II (暴雨)	工况 I (天然)	工况 II (暴雨)
Ⅲ-Ⅲ'	1.107	1.065	1.046	0.939
Ⅳ-Ⅳ'	1.146	1.132	1.104	1.024
设计安全系数	1.15	1.05	1.25	1.15

(三) 计算成果分析

根据设计计算成果:

(1) Ⅲ-Ⅲ' 剖面上部边坡天然工况下, 稳定系数 1.107, 安全裕度不足; 暴雨工况下, 稳定系数 1.065, 边坡基本稳定。下部边坡天然工况下, 稳定系数 1.046, 安全裕度不足; 暴雨工况下, 稳定系数 0.939, 边坡稳定性差, 发生失稳的可能性大。

(2) Ⅳ-Ⅳ' 剖面上部边坡天然工况条件下, 稳定系数 1.146, 安全裕度不足; 暴雨工况条件下, 稳定系数 1.132, 边坡稳定。下部边坡天然工况下, 稳定系数 1.104, 安全裕度不足; 暴雨工况下, 稳定系数 1.024, 边坡基本处于极限平衡状态, 安全裕度不足。

(3) 计算结果与边坡失稳变形现状和后期监测成果基本一致。

六、结论

从宏观地质调查判断和稳定性分析计算, 滑坡后缘存在潜在滑动区, 位于土质坡中部, 边坡目前暴雨工况下稳定性差, 天然工况条件下安全裕度不足。鉴于滑坡成因和其边界条件的复杂性, 因此在施工和运行期间设置必要的监测网, 以掌握滑坡的动态和变化, 根据监测成果确定是否采取相应的保护或处理措施。

参考文献

[1] 谷江波, 柯善军, 黄润太. 黄金坪水电站边坡变形机制分析[J]. 水力发电, 2016, 42(3): 20-23.

[2] 王浩, 王晓东, 泮俊. 超高路堑边坡治理工程案例研究 I: 边坡失稳机制模拟分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2017, 36(4): 899-909.

[3] 王浩, 王晓东, 泮俊. 超高路堑边坡治理工程案例研究 II: 治理对策及其过程控制[J]. 岩石力学与工程学报, 2017, 36(5): 1152-1161.