

锦屏二级水电站厂址区出水口边坡稳定性分析

张进林, 沈军辉, 石豫川, 刘宏力, 王小群  
(成都理工大学环境与土木工程学院, 成都 610059)

摘 要: 调查了锦屏二级水电站厂址区边坡的基本地质条件, 根据边坡的岩体结构特征, 从结构面的不同规模及岩体结构的不同层次去研究斜坡变形破坏模式, 将其分为整体破坏模式和局部破坏模式; 从不同岩性的角度又将其分为基岩斜坡和堆积层岩体结构斜坡。并分别分析了边坡的变形破坏机制, 最后应用地质分析和稳定性计算对边坡的稳定性进行了评价, 得出岩质边坡整体稳定性较好, 第四系堆积体边坡在最不利组合工况下处于基本稳定-潜在不稳定状态, 表部局部存在块体失稳可能。  
关键词: 边坡; 稳定性评价; 岩体结构; 变形破坏机制  
中图分类号: P 512. 22; T V 742 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409( 2006) 01-0259-03

Study on the Slope Stability in Water  
Exit Port of Jinping Hydroelectric Station

ZHANG Jin-lin, SHEN Jun-hui, SHI Yu-chuan, LIU Hong-li, WANG Xiao-qun  
(College of Environment and Civil Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

**Abstract:** The basic geological conditions of the water exit port of Jinping hydroelectric station is investigated. According to the rock structure characteristics of the slope as well as deformation- destruction pattern which is study on different scale of the structural plane and different level of the rock structure , the deformation- destruction pattern can be divided into two kinds of patterns, the global destruction pattern and the local destruction pattern; according to different angular of rock characteristic, it could be bedrock and accumulative formation slope. The formation- destruction mechanism is analyzed. In the end the stability is evaluated by using geology analysis as well as stability calculation and it is generalized that the global stability of this rock slope is well and the Quaternary talus slide is in basic stabilization- potential instabilization situation, at the same time, part of the surface has the possibility of block destabilization.  
**Key words:** slope; stability evaluation; rock structure; formation- destruction mechanism

锦屏二级水电站系雅砻江梯级开发的骨干电站。电站拟利用锦屏 150 km 大河湾的天然落差, 截弯取直引水发电。电站拟安装 8 台 550 MW 的水轮发电机组, 总装机容量 4 400 MW, 电站额定水头 290 m, 保证出力 1 436 MW, 多年平均发电量 231. 7 亿 kW · h。

1 边坡基本工程地质条件

1. 1 地形地貌

厂址区位于雅砻江锦屏大河湾东侧雅砻江右岸大水沟一带, 雅砻江河道自上游的 S70 W 流向, 转成厂址区一带的 S12 W 流向, 形成一向 NW 凸出的一小河湾, 厂址区位于此河湾的凹岸( 图 1)。

该段雅砻江河谷呈典型的“V”形峡谷, 河床高程 1 320 m, 1 700 m 高程以下河谷狭窄, 其上河谷相对开阔。其中约 1 500 m 高程以下, 受岩体结构及河谷演化特征的控制, 斜坡较陡, 坡度一般可达 50 ~ 70 °; 沿江形成了一系列陡壁; 局部微地貌呈台阶状, 圈弧状。约 1 500 ~ 1 700 m 高程斜坡相对较缓, 坡度为 35 ~ 45 °; 在约 1 700 m 高程一带普遍发育由崩积层形成的钙华台地( 相当于 级阶地), 台地前缘为一高度不等的陡坎, 约 1 700 m 高程以上斜坡坡度相对较小, 坡度 35 左右。

1. 2 地层岩性

厂址区出露的地层为三叠系中统盐塘组( T<sub>2y</sub>) 的 T<sub>2y</sub><sup>4</sup> - T<sub>2y</sub><sup>6</sup> 段, 其中 T<sub>2y</sub><sup>4</sup> 是厂址区工程边坡的主要地层, 厂址约 1 600 m 高程以下斜坡均由该层组成, 其岩性为灰绿色条带状云母大理岩, 具鳞片、中粒—细粒变晶结构, 层理清晰, 单层厚 25 ~ 150 cm 之间。岩层产状为 N5 ~ 25 E, NW 80 ~ 85 °; 1 600 ~ 1 900 m 高程分布有 T<sub>2y</sub><sup>5</sup> 灰黑色中细粒结晶大理岩夹白色粗晶厚层大理岩或灰白—白色粗晶大理岩, 呈厚层块状结构; 1 900 m 以上为 T<sub>2y</sub><sup>6</sup> 段的灰—灰黑色中薄层泥质灰岩, 局部夹深灰色中厚层致密块状大理岩, 层理发育。此外, 在工程区较缓的山坡、冲沟内及陡崖下分布有一定量的第四系, 其成因类型主要有崩积、坡积、崩滑堆积、残积等。

1. 3 地质构造

厂址区位于锦屏山—小金河断裂带东侧。受 NW W 向区域构造应力场作用, 其主要构造线方向为 NNE 向, 受多次构造应力场叠加, 厂区还发育 NE、NW 向的构造形迹。厂址区位于大水沟复式背斜, 由一系列次一级的褶皱组成, 区内无区域性断层通过, NW、NE 向的小断层和错动带较发育, 其规模小, 影响范围窄。

1 收稿日期: 2005-02-22  
作者简介: 张进林( 1977- ), 男, 安徽无为人, 2003 级硕士研究生, 地质工程专业, 研究方向是工程岩土体稳定性。

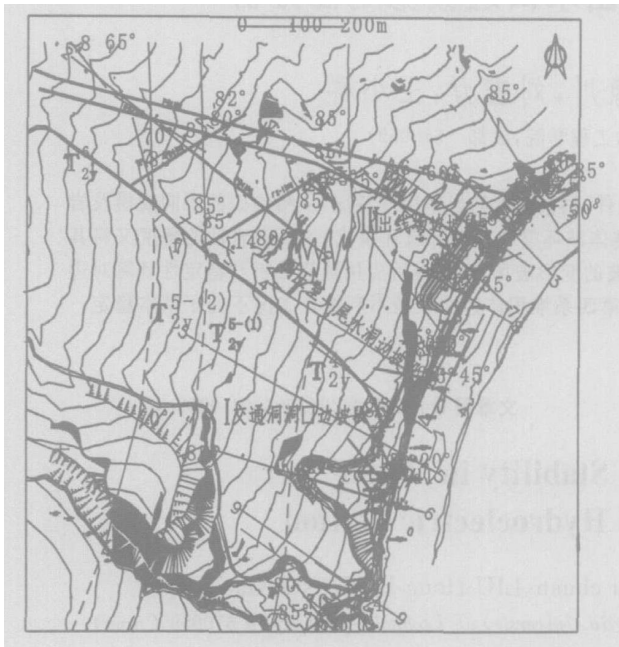


图 1 厂址区边坡工程地质平面图

厂址区内节理裂隙较发育, 据统计, 主要可见以下几组裂隙(表 1):

表 1 裂隙统计一览表		
编号	产状	性状描述
1	N 4 W ~ N 24 E, SW ~ NW, 75 ~ 90 °	面平直, 稍粗糙, 延伸长大, 局部形成层间错动, 有时呈密集状发育
④	N 30 ~ 50 E, SE, 28 ~ 42 °	起伏, 粗糙, 延伸 0.5 ~ 2 m, 个别达 6 m, 闭合, 部分面锈染及小溶孔, 局部微张 1 ~ 3 mm, 少量 6 ~ 8 mm, 间距 0.2 ~ 2.0 m
④	N 80 E ~ N 60 W, SE ~ SW, 22 ~ 45 °	平直, 光滑, 延伸长大, 一般在 1 ~ 数米, 多闭合, 少量张开 1 ~ 2 cm, 局部锈染, 溶蚀
¼	N 74 ~ 90 W, SW, 62 ~ 78 °	起伏, 粗糙, 多闭合, 少量张开 1 ~ 3 mm, 面多锈染, 延伸多在 1 ~ 2 m, 个别大于 5 m
½	N 71 ~ 82 W, NE, 68 ~ 78 °	面起伏粗糙, 多闭合, 少量张开 0.1 ~ 0.3 cm, 延伸多在 1.2 ~ 2.0 m, 少量短小, 个别延伸达 7 m 以上, 多数面锈染

#### 1.4 水文地质条件

厂址区分布有孔隙水和岩溶裂隙水两种地下水类型。孔隙水储存在沿江阶地及大沟口冲积物、崩塌积物等其它第四系松散堆积物中。由于松散堆积物厚度不大, 故孔隙水不丰富。岩溶裂隙水是指储存在大理岩裂隙及溶蚀裂隙中的地下水, 厂址区大理岩岩溶裂隙水较丰富, 平洞涌水量较大, 但主要集中在中等富水层  $T_{2y}^5$  地层中。边坡主要涉及的  $T_{2y}^4$  地层为弱富水层, 平洞中主要表现为局部的渗、滴水。

#### 2 斜坡体结构特征及变形破坏模式分析

斜坡的变形破坏主要受控于岩性、地形地貌、地质构造等构成的斜坡岩体结构, 根据前述的边坡基本工程地质条件, 依据结构面的不同规模及岩体结构的不同层次分析研究区斜坡变形破坏模式。

##### 2.1 斜坡整体破坏模式

(1) 基岩斜坡。厂址区斜坡岩层走向与河谷走向一致, 岩层陡倾坡内, 总体上为一陡立纵向谷层状结构斜坡, 此外, 岩体中还发育 NNW—NNE 倾 NE(SE), 近 EW 倾 S 等缓倾角裂隙及 NW 向陡倾角裂隙。受上述斜坡岩体结构控制, 斜坡

的变形整体上主要表现为沿岩层面的倾倒弯曲拉裂变形。岩体在沿岩层面发生倾倒弯曲过程中, 追踪顺坡缓倾角错动带或裂隙发生拉裂, 拉裂缝进一步发展贯通, 形成规模相对较大的顺坡缓倾角错动带, 从而发生平面滑移拉裂破坏。因此本段斜坡的破坏方式主要为弯曲拉裂—平面滑移拉裂破坏, 其中追踪 N20 ~ 45 E/SE < 28 ~ 40 裂隙拉裂形成的顺坡错动带或长大裂隙构成滑移面, 岩层面为后缘拉裂面, NW 向的陡倾角结构面构成侧向分割面。研究区的圈弧状滑塌空地地貌形态也说明了该种破坏方式, 是本区基岩斜坡的主要破坏方式。其演化模式<sup>[1]</sup>如图 2。

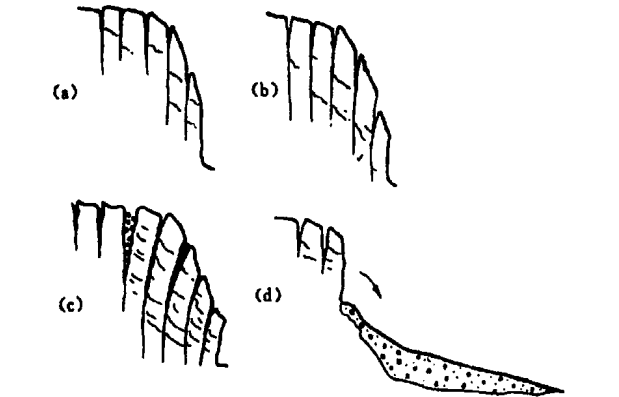


图 2 基岩斜坡破坏演化模式

(2) 堆积层斜坡破坏模式。堆积层斜坡主要分布在较缓的山坡、冲沟内及陡崖下的浅表部崩坡积体中。崩滑堆积体主要由半胶结的角砾岩组成, 其下往往有数米厚的强风化的大理岩块石。其整体破坏主要可沿基岩与覆盖层接触界面发生滑移拉裂式破坏及角砾岩与强风化大理岩块石的接触面的圆弧式滑移拉裂破坏。发生在大水沟上游侧的圈弧状地貌就是这种破坏方式。

##### 2.2 表部局部破坏方式

斜坡表部局部的破坏主要受岩体结构, 即裂隙组合特征的控制。根据结构面统计及优势结构面赤平投影分析<sup>[2]</sup>(图 3), 结合现场实地调查, 本段自然斜坡及洞脸边坡的局部块体破坏方式主要有如下几种类型。

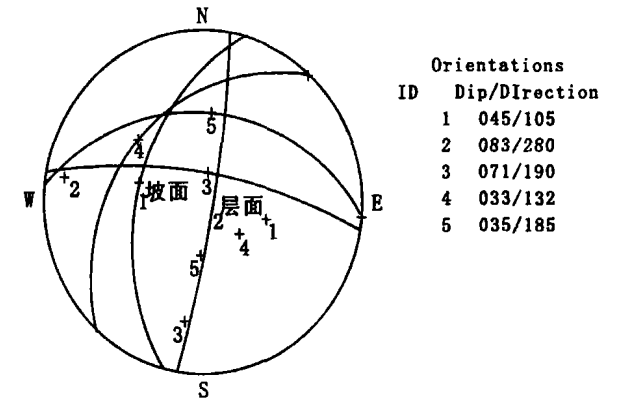


图 3 赤平投影分析

(1) 沿 NE 向顺坡裂隙发生滑移拉裂或滑移压致拉裂破坏。平面滑移拉裂主要由¼组顺坡向裂隙构成底滑面, 岩层面④(N10 E/NW < 83°)构成后缘拉裂面, 这种平面滑移拉裂在地表常形成台阶状地貌。如图 4。

(2) 裂隙组合形成楔形滑移拉裂破坏。楔形滑移面主要由④组(N80 W/SW < 71°)与¼(N42 E/SE < 33°)组结构面组合构成, 其交线倾伏向 S70 E, 倾伏角 32°; 缓倾坡外, 易形

成楔形滑移拉裂块体, 此外, 岩层面④( $N10^{\circ}E/NE<83^{\circ}$ )可与其组合成后缘拉裂面。而④、 $\frac{1}{2}$  两组与层面近垂直的陡缓结构面交切, 其交线倾伏向  $S80^{\circ}E$ , 倾伏角  $6^{\circ}$ ; 虽缓倾坡外, 但倾角近水平, 形成的楔形不稳定块体不易滑出。PD8 洞口的小规模楔形滑移拉裂形成的空腔就是此种模式。

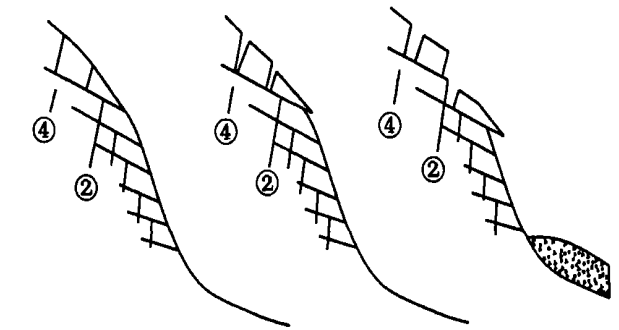


图 4 台阶状地貌

### 3 边坡稳定性评价

#### 3.1 稳定性分析

地表及平硐调查表明研究区斜坡总体上现有的变形破坏迹象不严重, 平洞显示, 整段斜坡浅表部岩体均具有一定的倾倒弯曲变形, 倾倒弯曲变形涉及的深度一般为几米至 30 m, 最大可达 60 m 左右。此外, 各平硐的变形迹象显示, 滑塌空腔内部的两个平洞 PD3、PD12 及其上游侧 PD5 平洞及 PD1 支硐的变形相对较强, 浅部一定范围内的岩体均具有一定的向坡外滑移拉裂的变形迹象。

地质分析表明, 研究区自然斜坡总体上处于稳定—基本稳定状态, 仅局部处于潜在不稳定状态, 如滑塌空腔内部的崩滑堆积体前缘有可能发生滑移拉裂破坏, 基岩斜坡表部也可能会发生一些以滑移拉裂或楔形滑移拉裂的块体破坏。

#### 3.2 极限平衡稳定性计算

为了进一步评价自然斜坡的整体稳定性, 选取具代表性的 6—6 剖面 (PD3), 采用毕肖普、一般条分法和规范传递系数法对厂址区边坡进行稳定性分析和计算。计算剖面如图 5。

(1) 岩体 (结构面) 力学参数。根据现场试验、室内试验以及工程类比, 得到适合研究区的边坡岩体力学参数 (见表 2)。

(2) 计算成果分析。稳定性计算 (表 3) 表明, 边坡整体处

于稳定状态, 岩质边坡的稳定性较好, 稳定性系数较高, 各种工况下均大于 1.25, 按文献 [3, 4], 该边坡属一级, 属安全边坡, 但第四系崩堆积体在暴雨+地震的最不利组合工况下处于基本稳定—潜在不稳定状态。这一结果基本代表了厂址区的稳定特性。

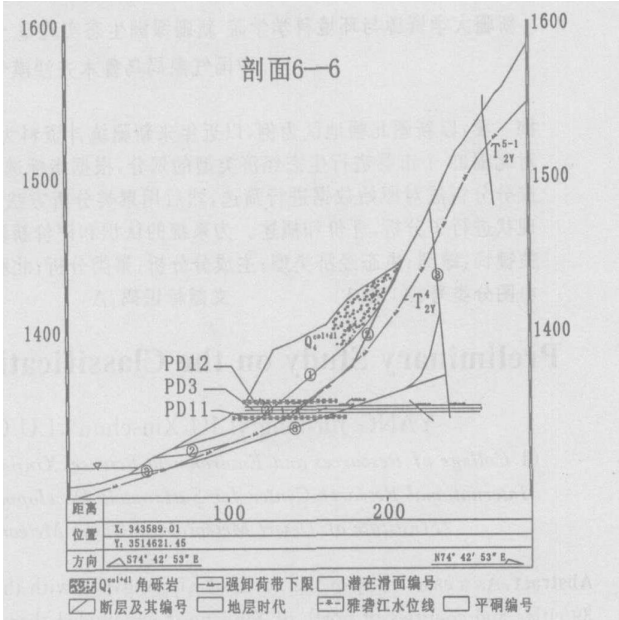


图 5 边坡稳定性计算剖面

表 2 岩体 (结构面) 力学参数一览表

岩体、结构面类别	天然重度 KN/m <sup>3</sup>	饱和重度 KN/m <sup>3</sup>	抗剪断强度		抗剪强度	
			f	c/M Pa	f	c/M Pa
强风化岩体	25.0	26.0				
弱风化强卸荷岩体	27.9	28.1	0.7	0.6		
弱风化弱卸荷岩体	27.9	28.1	1.02	0.9		
角砾岩	27.8	28.5	0.9	0.01	0.81(饱和)	0.01(饱和)
局部夹泥裂隙面			0.51	0.15	0.43	0
松弛溶蚀裂隙面			0.45	0.10	0.35	0
断层主错带			0.30	0.02	0.25	0
层间挤压错带			0.30	0.02	0.25	0

表 3 6—6 剖面滑面组合计算成果表

图中滑面编号	控制结构	边坡稳定性系数									
		天然		暴雨		地震		暴雨+地震			
		毕肖普	规范传递系数法	一般条分法	毕肖普	传递系数法	一般条分法	毕肖普	传递系数法	一般条分法	毕肖普
1	角砾岩基覆面	1.2540	1.2592	1.1907	1.1318	1.1357	1.0759	1.1819	1.2112	1.1455	1.0724
2	陡倾裂隙+缓倾裂隙+强卸荷岩体	1.7697	1.8700	1.5879	1.5666	1.6688	1.3521	1.7004	1.8072	1.5320	1.5191
3	f24+小断层+强卸荷岩体	1.6712	1.7337	1.7672	1.4909	1.4761	1.4604	1.5679	1.6418	1.6811	1.4073

## 4 结 论

根据前述的研究分析, 可以得出如下的几点结论。

(1) 厂址区边坡为典型的陡立纵向谷层状结构斜坡, 受其控制, 边坡的整体变形破坏模式主要为弯曲拉裂——平面滑移拉裂破坏; 浅表部的局部变形破坏模式主要为滑移—拉裂、弯曲拉裂及各结构面相互切割而形成的楔形滑移拉裂。

参考文献:

[1] 张倬元, 王士天, 王兰生. 工程地质分析原理[M]. 北京: 地质出版社, 1994.  
[2] 王思敬. 赤平极射投影方法在岩体稳定分析中的应用[M]. 北京: 科学出版社, 1975.  
[3] GB50330—2002, 建筑边坡工程技术规范[S].  
[4] DL5180—2003, 水电枢纽工程等级划分及设计安全标准[S].