

# 遥感在河流谷坡工程地质环境 评价中的应用

甄 春 相

(铁道部专业设计院)

1991年4月3日收稿

## 摘 要

河流谷坡工程地质环境评价是水电工程的前期工作,直接关系到工程的选址、建设规模和水利资源的充分利用。

本文利用现有航空遥感资料,对四川雅砻江中游的鲜水河口至官地河段,约510 km 河流谷坡的物理地质现象进行了判读,运用数理统计和工程地质综合分析的方法,对该河流区段的工程地质环境进行了评价,并对其发展趋势进行了预测,为该地区丰富的水利资源的开发利用提供了决策依据;对于区域工程地质环境评价,尤其是基础工作薄弱、自然条件恶劣、地面工作难以开展的高山峡谷地区的河流谷坡工程地质环境评价和发展趋势预测提出了新的方法。

**关键词** 遥感 工程地质 环境 河流谷坡 物理地质现象

雅砻江是金沙江左岸的最大支流,水利资源蕴藏量极为丰富。其中,位于四川西部锦屏山的大河湾是我国著名的三大河湾之一,具有得天独厚的开发利用条件。本文研究区即为包括锦屏山大河湾在内的雅砻江中游河段两岸谷坡,北起鲜水河口,南至官地,全长510 km (图1)。此段雅砻江河谷,谷深坡陡,气候恶劣,交通极为不便,地面调查工作难以开展。

## 一、遥感资料和研究方法

研究工作使用已有的航空像片进行,计有: 1955年摄影的1:2.6万黑白航空像片(18 cm × 18 cm); 1966年摄影的1:5万黑白航空像片(18 cm × 18 cm); 1967年至1968年摄影的1:6万黑白航空像片(18 cm × 18 cm); 1980年摄影的1:4.5万彩色红外航空像片(23 cm × 23 cm); 1981年摄影的1:3.5万黑白航空像片(23 cm × 23 cm)。以上5种时相和比例尺的航空像片大体上覆盖全区,个别地段用陆地卫星图像做补充。

研究方法分为三个步骤:(1) 遥感图像的判读: 判读内容包括各种物理地质现象和工程地质要素,形成工程地质遥感判读图。(2) 数理统计和工程地质综合分析: 对物理地质现象的频度分布、长度分布以及规模和强度等进行统计分析;研究区域工程地质要素的特征及其和物理地质现象空间展布的关系;进行河流谷坡稳定性分区。(3) 工程地质环境评价: 研究物理地质现象的动态变化情况,对河流谷坡工程地质环境进行综合评价,预测其发展变化趋势,对工程建设提出规划意见。



况。新近产生的崩塌无论崩塌壁还是崩塌体表面都很新鲜,显得粗糙不平,色调比周围环境浅,崩塌体在崩塌作用停止后,色调会与周围环境趋于一致。图版 I 图 3 所示的崩塌显然和断裂构造有关,松散崩塌体含水性好。

陡岸崩塌主要是由于河流侵蚀坡脚,导致谷坡变陡,上部岩体失稳而形成。从地貌形态看,这类崩塌与一般意义上的崩塌的区别在于其大多都呈长条状沿河流谷坡展布;从成因上看,它和河流的冲刷侵蚀有直接关系;至于判读标志,二者并无根本区别,只是陡岸崩塌的崩塌体常常由于河流的冲刷而不能保持其完整形态而已。

### 3. 岩堆的判读

岩堆是斜坡岩体长期崩落的产物。在航空像片上,岩堆的锥状形态十分清晰。岩堆从顶部到脚部碎石粒径的变化,在影像上往往表现为影像的从细腻到粗糙;色调上,正在发展的岩堆表现为浅色调,已经停止发展的岩堆往往色调较深。岩堆的含水情况亦能对其在影像上的色调产生较大影响。岩堆一般形成于坡脚,也可形成于斜坡的变坡点上。

## 三、物理地质现象的分布及成因分析

在沿雅砻江河谷 510 km 的两岸谷坡上,共判读出各种物理地质现象 235 个,其中滑坡占 19.6%;崩塌(含陡岸崩塌)占 45.1%;岩堆占 35.3%(表 1)。其频度分布如图 4。图上纵坐标表示每 16 km 河流谷坡上有物理地质现象的个数。

对于谷坡工程地质环境评价而言,分析单位长度谷坡内物理地质现象所占的长度具

表 1 研究区物理地质现象  
Table 1 Quantity of physical geology phenomenon

岸别	滑坡(个)	崩塌(个)	岩堆(个)	累计(个)	频度(个/km)
左岸	23	49	40	112	0.22
右岸	23	57	43	123	0.24
合计	46	106	83	235	0.46

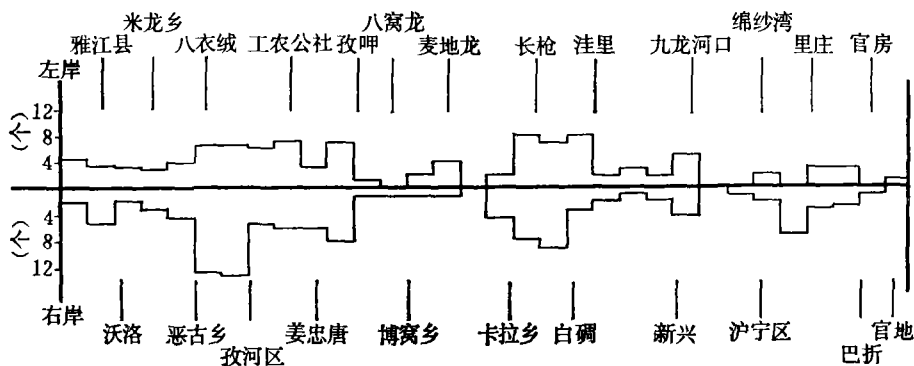


图 4 雅砻江谷坡物理地质现象频度分布图

Fig. 4 Frequency distribution of physical geology phenomenon along the Ya Longjiang River valley

有重要意义,这里将其沿河谷的分布称之为物理地质现象的长度分布。它是衡量河流谷坡稳定性的一个综合指标,是河流谷坡工程地质环境评价的基本要素。

表2 研究区物理地质现象累计长度统计表

Table 2 Accumulative length of physical geology phenomenon

岸别	滑坡 (km)	崩塌 (km)	岩堆 (km)	合计 (km)
左岸	17.05	29.40	15.15	61.60
右岸	15.60	27.75	15.17	58.52
合计	32.65	57.15	30.32	120.12

表2反映了测区内雅砻江谷坡物理地质现象累计长度的总体情况。两岸谷坡物理地质现象的累计长度占河流岸线总长的11.78%。三类物理地质现象中,从累计长度看,滑坡占27.2%,崩塌占47.6%,岩堆占25.2%。

图5是研究区雅砻江谷坡物理地质现象长度分布图。图中,纵坐标表示每16 km长度谷坡内物理地质现象所占的长度。

综合分析物理地质现象的长度分布和频度分布情况,并结合物理地质现象的规模和强度,可将研究区内雅砻江谷坡划分为三种类型。

### 1. 不稳定区

包括从恶古乡至孜河区左右两岸和卡拉乡到白碉左右两岸两个区段。总长约70 km,占研究区总长的14%。该两区段河流两岸谷坡物理地质现象均很发育(表3),且规模和强度巨大(表4)。恶古乡至孜河区段为上三叠统砂板岩分布区,岩体破碎,谷坡上有厚约10—40 m的碎石坡积层;地下水出露广泛;断裂构造发育;河流的侧向侵蚀作用强烈。这是该段物理地质现象发育的主要原因。卡拉乡到白碉段位于长枪背斜的核部,新构造活动强烈;这里主要出露下奥陶统的千枚岩、片岩及石英岩。物理地质现象主要受背斜构造的控制。该段河谷以下切侵蚀为主,河岸陡峭。千枚岩、片岩地段,物理地质现象极为发

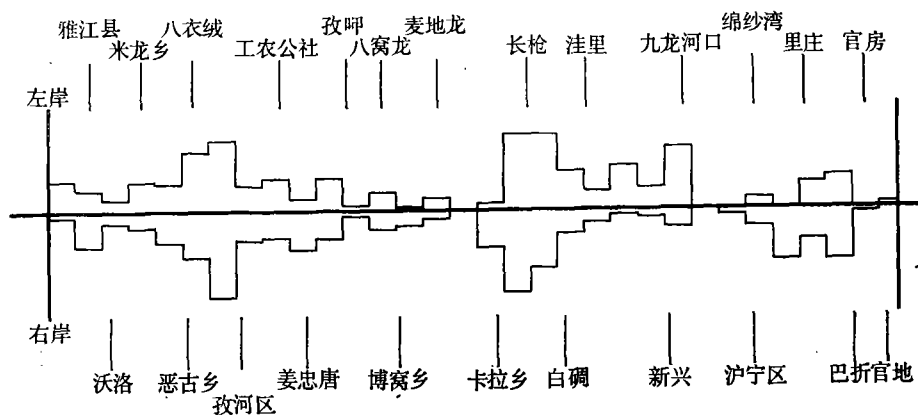


图5 雅砻江谷坡物理地质现象长度分布图

Fig. 5 Length distribution of physical geology phenomenon along the Ya Longjiang River valley.

表 3 不稳定区物理地质现象统计表

Table 3 Statistics of physical geology phenomenon in the non-stable area

区段	岸别	岸长 (km)	物理地质现象情况		
			累计长度 (km)	占岸长百分比 (%)	平均频度 (个/km)
恶古乡至孜河区	左岸	32	9.8	30.6	0.40
	右岸	32	9.8	30.6	0.81
卡拉乡至白碛	左岸	38	12.0	31.6	0.47
	右岸	38	11.0	30.0	0.51

表 4 大型滑坡、崩塌分布情况

Table 4 Distribution of large landslides and collapses

类别 项目 量值 级别 ( $\times 10^6 \text{m}^3$ )	不稳定区		基本稳定区		稳定区	
	个数	频率 (个/km)	个数	频率 (个/km)	个数	频率 (个/km)
	>100	1	0.007	0	0	0
50—100	3	0.021	4	0.009	0	0
10—50	6	0.042	11	0.024	2	0.005
3—10	5	0.036	4	0.009	4	0.010
总计	15	0.111	19	0.042	6	0.014

育, 石英岩出露地段, 谷坡相对稳定。

## 2. 基本稳定区

包括从鲜水河口到恶古乡左右两岸、孜河区到孜呷左右两岸、白碛至九龙河口左岸

表 5 基本稳定区物理地质现象统计表

Table 5 Statistics of physical geology phenomenon in the basically-stable area

区段	岸别	岸长 (km)	物理地质现象情况		
			累计长度 (km)	占岸长百分比 (%)	平均频度 (个/km)
鲜水河口至恶古乡	左岸	80	9.1	11.4	0.24
	右岸	80	7.4	9.3	0.22
孜河区至孜呷	左岸	65	8.0	12.3	0.34
	右岸	65	8.7	13.4	0.38
白碛至九龙河口	左岸	72	13.7	19.0	0.25
里庄至巴折	左岸	29	4.0	13.8	0.19
泸宁至巴折	右岸	60	11.0	18.3	0.24

里庄至巴折左岸、泸宁至巴折右岸,共 5 个区段。岸长约 452 km, 占研究区总长的 45%, 物理地质现象发育中等(表 5), 规模和强度相对较弱(见表 4)。该区内, 鲜水河口至恶古乡段物理地质现象主要分布在三叠系砂板岩地层中, 岩体较破碎; 孜河区至孜呷段物理地质现象多受断裂构造控制, 规模较小, 无大型物理地质现象形成; 白碉至九龙河口左岸位于江浪背斜的东缘, 新构造抬升作用强烈, 多出露下二叠统和上三叠统砂板岩, 以及下奥陶统的千枚岩、片岩, 岩体破碎, 下游段岩层倾向河谷, 河流的下切和侧侵作用强烈, 这些是该段物理地质现象形成的主要原因。该段具备形成大型灾害性物理地质现象的条件。泸宁到巴折段右岸物理地质现象的形成主要受断裂构造影响, 复杂岩体差异风化造成的复杂地形是物理地质现象形成的另一个原因, 该段发育有 3 个  $4 \times 10^6 \text{ m}^3$  左右的大型滑坡。里庄至巴折段左岸岩性复杂, 差异风化强烈, 物理地质现象的形成主要和由此造成的复杂地形有关, 该段无大型物理地质现象形成。

### 3. 稳定区

包括研究区其余几段, 有孜呷至卡拉乡左右两岸, 白碉至泸宁右岸, 九龙河口至里庄左岸, 巴折至官地左右两岸。岸长 416 km, 占研究区总岸长的 41%。在这类区段中, 谷坡物理地质现象累计长度占岸长的 10% 以下, 全区谷坡物理地质现象累计长度 16.4 km, 仅占岸长的 3.9%, 相当于整个研究区平均值的 1/3。频度一般低于 0.13 个/km。这类区段中尚有几个段落没有物理地质现象发生, 如博窝乡附近约 20 km, 张家河坝约 25 km, 麦地龙至卡拉乡间的一段约 25 km。该区内一般岩体完整, 岩性均一, 构造活动较弱, 河谷谷坡相对较缓, 影响物理地质现象形成的因素单一, 没有构造、岩性、地形、河流侵蚀等多种不利因素强烈叠加的情况, 这是该区物理地质现象不发育、谷坡稳定的主要原因。区内极少见大型物理地质现象。

表 6 三类区域情况对比

Table 6 Contrast of the three types (non-stable, basically-stable and stable)

区域类型	河 岸		物理地质现象			
	长度 (km)	占总长百分比 (%)	累计长度 (km)	占岸长百分比 (%)	超过平均值百分点数	平均频度 (个/km)
不稳定区	142	14	43	30.7	+18.9	0.55
基本稳定区	458	45	61	13.3	+1.5	0.27
稳定区	416	41	16	3.8	-8.0	<0.13

总之, 三类不同区段中物理地质现象的长度、频度和规模均有显著差异(表 6 和表 4)。

## 四、河流谷坡工程地质环境评价

如前所述, 综合分析雅砻江谷坡物理地质现象的频度、长度分布和形成的规模、强度, 可将研究区划分为不稳定区、基本稳定区和稳定区三种类型, 不同的类型和同一类型中的不同段落又有其不同的工程地质环境特点, 现分别评述如下。

## 1. 不稳定区

(1) 恶古乡至孜河区段 该段是研究区物理地质现象最为发育的地段, 有近 1/3 的谷坡上发育有物理地质现象, 且动态变化明显。全段基本上全部出露上三叠统砂板岩地层, 岩体松散破碎。谷坡坡度在  $40^{\circ}$  左右。山坡多被碎石坡积层覆盖, 厚度在 10—40 m 之间, 河流的下切和侧向侵蚀作用极易掏空坡脚。坡积层和基岩接触带间的风化层具有隔水作用, 谷坡上多有泉水出露。所有这些使得岸坡极易形成滑坡、崩塌。由于谷深坡高, 多形成一些大型的物理地质现象。随着谷坡上岩堆的不断发展, 大面积的厚层松散坡积层也在不断积累, 为大量滑坡、崩塌的形成提供了物质基础。1967 年 6 月 8 日发生于该段的造成堵江断流的唐古栋滑坡就是碎石坡积物沿下伏上三叠统砂板岩地层滑动的结果。总之, 该段是处在物理地质现象活跃时期的不稳定河谷地段, 极易形成灾害性的大型物理地质现象, 工程地质环境极差, 并有继续发展的趋势, 其中孜河区以上 10 km 最为恶劣。

(2) 卡拉乡至白碉段 该段物理地质现象亦极为发育, 累计长度占岸坡长度的 1/3。绝大部分地段出露下奥陶统的千枚岩、片岩和石英岩。该段正处于长枪背斜的位置, 河流自背斜的核部通过, 背斜的隆起不仅使得下奥陶统千枚岩、片岩极为松散破碎, 还使得该段河流谷深坡陡, 下切强烈, 谷坡坡度一般在  $45^{\circ}$  以上。研究区内最大的草坪子滑坡就形成于该段, 其滑坡体积约在  $1 \times 10^8 \text{ m}^3$  以上。由于区域构造运动使得长枪背斜在不断抬升, 河流下切侵蚀继续加强, 因而该段谷坡物理地质现象亦处于旺盛期, 工程地质环境很差。其中, 草坪子附近千枚岩、片岩区物理地质现象最为发育, 且规模巨大, 活动性明显, 工程地质环境极差。在从茶地沟到白碉一段石英岩地层中, 尽管形成陡岸峡谷, 但由于岩体完整性好, 工程地质环境相对也较好, 因此不会产生灾害性大型物理地质现象。

## 2. 基本稳定区

(1) 鲜水河口至恶古乡段 为上三叠统砂板岩出露区, 间有小型中生代花岗岩体出露, 构造活动较弱。砂板岩出露区河谷较宽阔, 谷坡较缓, 坡度在  $40^{\circ}$  左右。岩层走向与河谷斜交, 节理产状也不见明显的大角度倾向河谷的情况。物理地质现象不太发育, 规模较小, 活动性弱, 难以形成灾害性大型物理地质现象, 工程地质环境尚好。

(2) 孜河区至孜呷段 出露有上三叠统的砂板岩和中生代花岗岩体, 前者比后者略多。岩层走向多与河谷斜交。断裂构造发育, 是物理地质现象形成的主导因素。大量岩堆的存在说明该段岩体破碎, 物理风化强烈。尽管物理地质现象个数较多, 但规模小, 活动性弱, 工程地质环境较好, 一般不会形成灾害性大型物理地质现象。

(3) 白碉至九龙河口段左岸 主要岩性有砂岩、板岩、千枚岩和片岩。以甘海子为界, 上下游两段工程地质环境有所不同。上游段出露下二叠统和上三叠统的砂岩、板岩地层, 走向多与河谷斜交。其中, 白碉至小金河口段河谷较陡, 多在  $45^{\circ}$  左右, 砂板岩风化剥落严重; 小金河口至矮子沟谷坡较缓, 多在  $35^{\circ}$  左右, 坡面多被第四系粘沙土覆盖; 矮子沟至甘海子段谷坡较陡, 多在  $40^{\circ}$  左右, 谷坡稳定。总之, 上游段河谷物理地质现象规模小, 活动弱, 工程地质环境尚好, 产生灾害性大型物理地质现象的可能性小。甘海子以下主要出露下奥陶统千枚岩、片岩地层。该段位于江浪背斜的翼部, 背斜的隆起抬升不仅使得岩体松散破碎, 形成顺向坡, 而且使得河流的下切侵蚀作用强烈, 并向对岸压迫河道, 使谷坡变陡。物理地质现象的规模和强度大, 活动性较强, 并有进一步发展的趋势, 工程地质环

境相当差,具备形成大型物理地质现象的条件,工程建设规划中应予以重视。

(4) 泸宁至巴折段右岸 该段出露地层复杂,计有泥盆系、石炭系、二叠系、三叠系及中生代中酸性侵入岩体。既有松散破碎的地层,也有坚硬完整的岩体。岩层走向多与河谷斜交,谷坡坡度一般在  $40^\circ$  左右。断裂构造多沿河展布,复杂岩体的差异风化使得地形复杂,出现众多陡崖。滑坡的形成多与断裂构造有关,而在陡崖处则多形成崩塌和岩堆。该段具备产生大型物理地质现象的条件,但活动性趋向减弱。总体工程地质环境较差。

(5) 里庄至巴折段左岸 出露震旦系、泥盆系、石炭系、二叠系、三叠系片岩、板岩、砂岩、石灰岩等地层以及中生代中酸性侵入岩体。构造活动较弱,谷坡稳定性好,物理地质现象频度低,规模小,活动性弱。不会形成灾害性大型物理地质现象,工程地质环境较好。

### 3. 稳定区

包括从孜呷至卡拉乡左右两岸、白碉至泸宁区右岸、九龙河口到里庄左岸以及巴折到官地左右两岸 4 段。这类地区构造活动弱,岩体完整性较好,谷坡坡度较缓,一般在  $40^\circ$  以下,地形起伏相对较小。物理地质现象频度低、规模小、活动性弱,谷坡稳定性好,不会产生灾害性大型物理地质现象,工程地质环境优越。各种工程地质环境要素均较有利,是安排水电工程的优先选择地段。

## Application Remote Sensing to Evaluate Engineering Geological Environment of River Valley

Zhen Chunxiang

(Professional Design Institute of Railway Ministry)

### Abstract

It is the basic work of the hydropower project to study the engineering geological environment of river valley, which effects the locating of project and the power of station.

In this paper using aerial photos we interpret the physical geology phenomenon (including landslide, collapse and rockstack) along the valley of the Ya Longjiang River, from the Xian Shuihe River to Guandi, ranginy 510 km, in the southwest China. Utilizing the methods of mathematical statistics and engineering geology we also evaluate the engineering geological environment of this section of the river valley, predict the tendency of the development and provide decision basis for exploiting the rich water resource of this area. The way of our work in this paper has general sense for studying engineering geological environment of a region, especially in a river valley, in which the basic work is weak natural condition is adverse and the ground work is difficult.

**Key words** Remote sensing Engineering geology Environment River valley Physical geology phenomenon

甄春相：遥感在河流谷坡工程地质环境评价中的应用  
Zhen Chunxiang : Applying Remote Sensing to Evaluate Engineering Geological  
Environment of River Valley

图版 I

Plate I



图2 滑坡的影像特征

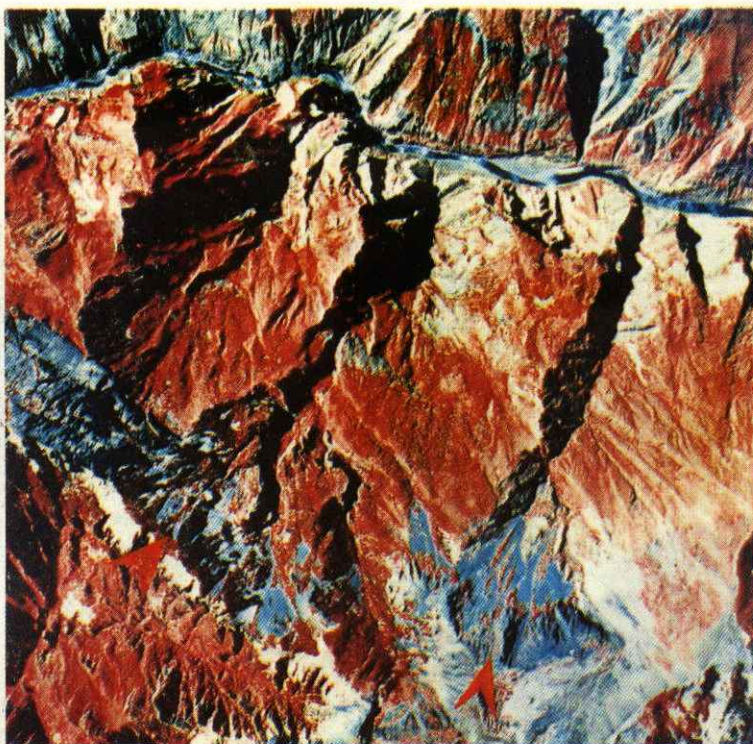


图3 崩塌的影像特征