

滑坡研究与防治

LANDSLIDES
RESEARCH AND CONTROL

(I)

《滑坡研究与防治》编辑委员会 编著

四川科学技术出版社

滑坡研究与防治

LANDSLIDES

Research and Control

(I)

《滑坡研究与防治》编辑委员会

四川科学技术出版社

(川)新登字 004 号

滑坡研究与防治

编 著 者 滑坡研究与防治编辑委员会
责任编辑 喻瑞卿 任维丽
封面设计 韩健勇
版面设计 喻瑞卿
责任校对 任维丽
出版发行 四川科学技术出版社
成都盐道街3号 邮编 610012
开 本 787×1092 毫米 1/16
印 张 11.75 字数 270 千
印 刷 西南冶金地质印刷厂
版 次 1996 年 10 月成都第一版
印 次 1996 年 10 月第一次印刷
印 数 1—1000 册
定 价 15.00 元
ISBN 7-5364-3458-8/P·77

■本书如有缺损、破页、装订错误,请寄回印刷厂调换。

■如需购本书,请与本社邮购组联系。

地址/成都盐道街3号
邮编/610012

■ 版权所有·翻印必究 ■

内容简介

滑坡研究与防治(I)选登文稿 17 篇,分三个栏目编排:(1)滑坡专题研究成果:包括滑坡区域规律研究、危险度区划;库岸中长期稳定性预测;滑坡防治的新结构—预应力锚索抗滑桩等研究成果;(2)滑坡研究与防治:包括滑坡分布形成规律、发生机理、预测预报分析、滑坡灾害调查与评估等方面的文章;(3)滑坡勘察、试验、治理的新技术、新方法:包括滑坡区域调查的遥感技术、滑坡发生机理和地下水动态变化的数理分析、滑坡防治的新技术探讨等内容。

本集讨论内容广泛、新颖、资料翔实。是从事滑坡、崩塌等山地灾害的研究和防治的科研、工程技术人员,管理干部,大专院校有关专业师生的较好的参考文献。

《滑坡研究与防治》编辑委员会

主任委员：王成华

副主任委员：王化卿 乔建平 陈自生 廖正环

委员：（以姓氏笔划为序）

王化卿	邓世英	孔纪名	王成华
王录杰	王诗槐	李沛	李天池
李明华	乔建平	陈自生	吴得伦
金石	郑颖人	姚正伦	廖正环

办公室主任：乔建平

副主任：廖正环 高鹏

秘书：赵宇 李朝凤 李黎明

本集主编：王成华 陈自生

副主编：王化卿 高鹏

图件清绘：左小荣

前 言

滑坡(含崩塌,以下同)是山区最常见的环境地质灾害之一。它分布十分广泛,除高原、平原(含盆地)无分布外,遍布全球的山区。我国占国土面积 2/3 的山地均有滑坡分布,集中分布在西南云、贵、川三省,西藏、青海东部,甘肃、陕西南部,湖北、河南西部,黄土高原塬边沟壑区,喜马拉雅山南麓和台中山区等。

滑坡的危害十分严重,它常给公路、铁路航运、水利水电和国防、城镇、矿山建设以及广大的农村造成极大的危害。我国是世界上滑坡灾害最严重的国家之一。据不完全统计,每年因滑坡灾害造成的经济损失达 10 亿元以上。

我国从事滑坡灾害的研究与防治的时间较长,在滑坡灾害的研究上积累了一套成功的经验和研究方法。若把这些理论、经验和研究方法进行交流和普及,不仅能使滑坡研究与防治的水平迅速提高,而且在减轻和防治滑坡灾害上会发挥更大的作用。《滑坡研究与防治》连续出版论文集正是在这种形势下编辑出版发行的。

本连续出版文集的前身是中国科学院成都山地灾害与环境研究所主办的《滑坡研究》(内部刊物)。随着滑坡灾害的研究与防治不断深入,原有的内部刊物《滑坡研究》已不能适应新的形势,经中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所与中国人民解放军后勤工程学院治理滑坡塌方研究所协商,共同编辑出版《滑坡研究与防治》连续出版论文集。本文集为不定期出版(大体 1—2 年出一集),以刊载两所的最新研究成果为主,同时选登国内外其他单位在滑坡研究与防治方面的优秀成果和论文。以此有别于铁道科学研究院西北研究所主编的《滑坡文集》。

1996 年 5 月 16 日是中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所建所 30 周年纪念日,本文集以第 I 集的公开出版来祝贺成都山地所建所 30 周年。

编 者

1996. 4. 8

目 录

滑坡专题研究成果

层状半成岩库岸运行期变形破坏过程及中长期稳定性预测

..... 王成华 黄大廷 刘新民 李 娜 王列诗(1)

长江上游滑坡危险度区划及分区研究 乔建平(29)

预应力锚索抗滑桩——新一代抗滑结构 ... 王化卿 廖正环 周 熹(48)

大渡河上游小落鹰岩危崖体险情考察与分析

..... 王成华 程尊兰 张晓刚(69)

滑坡研究与防治

滑坡运动速度和高速滑坡研究的若干问题 李天池 王淑敏(83)

长江上游滑坡分布研究 张晓刚(91)

束口形滑坡的运动特征及其在滑坡灾害预测上的意义

..... 孔纪名 陈自生(101)

雅砻江二滩水电站库区滑坡的分布规律

..... 李 沛 孔纪名 朱平一 金 石(109)

川东北滑坡灾害及其形成机理分析 杨 文(116)

西南地区滑坡灾害及灾害度评估 林立相 刘新民(122)

滑坡勘察、试验、治理的新技术、新方法

滑坡体地下水位动态的多元时间序列分析 高 鹏(130)

桩—锚体系的受力机制和预应力锚索的防腐措施 王化卿(137)

茅台地区滑坡的航片判译 张晓刚 孔纪名 乔建平(142)

岩石节理软弱夹层动力特性与数值分析 吴德伦 张 平(153)

岩体边坡拟静力分析的响应函数法 吴德伦(160)

地下水位动态预测模型及分析 高 鹏(166)

附 录

《滑坡研究与防治》征稿说明 《滑坡研究与防治》编辑委员会(177)

Landslides Research and Control

Volume I

CONTENTS

Research Results of Landslide Specialities

- The deformative processing and middle—long—time stability prediction of stratified semi—rock slopes in the running of Longyang Gorge reservoirs
..... Wang Chenhua, Huang Dating, Liu Xinming, Li Na, Wang Lieshi (1)
- Dividing landslide danger degree and division research on the upper reaches of Yangtze river Qiao Jianping (29)
- Antislid pile with pre—strain anchor cable — new antisliding structure
..... Wang Huaqing, Liao Zhenghua, Zhou Xi (48)
- Investigation and analysis of dangerous cliff rocks at Xiaoluoying Cliff in the upper stream of Dadu river Wang Chenghua, Cheng Zunlan, Zhang Xiaogang (69)

Papers of Landslide Research and Control

- Some problems of studying landslide velocity and rapid landslides
..... Li Tianchi, Wang Shumin (83)
- A study on the distribution of landslide in the upper reaches of Yangtze river
..... Zhang Xiaogang (91)
- A landslide of spoon shape feature of movement and meaning with calculation of landslide disaster Kong Jiming, Cheng Zishen (101)
- A distribution regularity of landslide in the reservoir of Ertan hudropower station of Yalongjiang river Li Pei, Kong Jiming, Zhu Pingyi, Jin Shi (109)
- Landslide hazards in northeast of sichuan province and analysis of formative mechanism
..... Yang Wen (116)
- Landslide hazard and risk assessment in southwest China
..... Lin Lixiang, Liu Xinming (122)

New Technologies and Methods of Landslide Exploration, Experiment and Control

- Multivariable time series analysis on the underground water dynamic state of landslide body Gao Peng (130)

Anti—sliding mechanism of the composite structure of pile—anchor cable and the anti-corrosion of the prestressed anchor cable	Wang Huaqing (137)
Determine landslides with aerial photography in Maotai area	Zhang Xiaogang, Kong Jiming, Qiao Jianping (142)
A dynamic numerical analysis on soft layer in rock joints	Wu Delun, Zhang Ping (153)
A response function method for rock mass slope pseudostatic analysis	Wu Delun (160)
Predicting model and analysis on groundwater dynamic state	Gao Peng (166)

Appendix

Contribution Explanation for 《Landslides Research and Control》	Editorial Board of 《Landslides Research and Control》(177)
--	---

层状半成岩库岸运行期 变形破坏过程及中长期稳定性预测*

王成华 黄大廷 刘新民 李娜 王列诗

(中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所 成都 610041)

提 要 本文以龙羊峡水库为例,在前期研究的基础上,并经过运行初期前3年库岸变形的观测,总结了水库蓄水前后岸坡特征及变形的规律、大型滑坡特征、形成过程及其模型。对运行期库岸变形破坏过程、发展演变趋势,大型滑坡可能发生的地点、方量、滑速和时间,以及库岸长期稳定性进行了分析预测。

关键词 大型滑坡 变形破坏过程 龙羊峡水库 运行期

龙羊峡水电工程位于黄河上游青海省境内的贵德、共和两县交界处。坝高172m,正常高水位海拔2600m,库容 $2.47 \times 10^{10} \text{m}^3$,总装机容量 $128 \times 10^4 \text{kW}$,是我国已建成的最大调节水库和较大的水力发电站之一。此水电站从1987年第一台机组开始发电起,便进入了运行初期。

此水电工程在施工过程中,曾对库区所处自然、地质环境特征、库岸变形(崩塌、滑坡)的历史和现状进行了详细的调查和分析,并对运行期危险库岸作了区划。对可能发生大型滑坡的地点、规模和滑速等也做了初步分析和预测。这种预测是比较粗糙的,因它既无运行初期的实践,又无历史经验可循。但这种预测又是必不可少的。它是本文研究的基础。其主要研究内容是:①在不同水位下,库岸变形的特征;库水位在上升和下降过程中库岸变形的差异;②运行期大型库岸滑坡可能发生的地点、方量、滑速和发育过程;③近坝库岸发展演变趋势及长期稳定性分析。

本文是在前期研究成果的基础上,对库岸在库水位上升和下降过程中的变形特征进行实地量测,对大地测量和廊道观测的大量数据进行系统整理、全面分析研究后完成的。

本文分三个部分:第一部分概括地介绍了龙羊峡水库蓄水前岸坡特征及变形的历史规律;第二部分论述了水库运行初期库岸特征、变形类型、过程及在不同水位下变形的规律;第三部分从本区湖相地层高陡岸坡演变的历史规律和水库运行初期的库岸变形特征出发,对库岸发展演变的趋势和长期稳定性作出预测分析。

1 龙羊峡水库蓄水前原始岸坡特征

1.1 地质地貌概况

本区在地质构造上位于青藏“歹”字形构造体系头部之扩散部分,处在秦昆纬向构造

* 本文在国家“七五攻关项目”17-2-4资助课题研究成果的基础上,经1990~1994年运行检验后修改写成。

体系、西域系和河西系构造体系的复合部位(图 1)。这种构造格局表明本区地质构造复杂。第三纪以前的老地层经历过多次构造运动,致使节理裂隙发育。这是本区龙羊峡峡谷段高陡岩质岸坡多崩塌的重要原因之一。

本区地貌格局与地质构造轮廓几乎完全一致,即串珠状分布的断陷盆地与环抱山地地形的组合(图 1)。以日月山—蛙里贡山为界将本区分为东西两大部分,东为塬边深切割山间盆地;西为塬面缓倾山地宽阔湖盆区。龙羊峡库区处在西部地貌单元内的东部共和盆地。

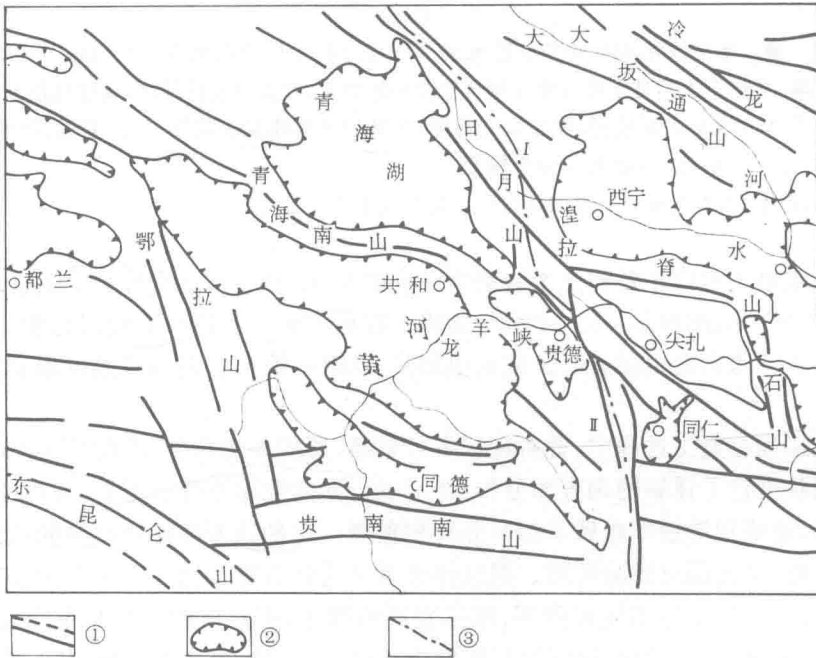


图 1 龙羊峡水库所处地质地貌部位图

Fig. 1 Geology — geomorphology map of Longyan Gorge reservoirs.

①构造线;②盆地周界;③地貌分区界线; I 为高山山间盆地; II 为高原塬边湖盆区。

库区出露的地层从老到新为:①三叠系深灰色砂板岩和花岗岩侵入体。分布在龙羊峡峡谷段和近坝库岸北(左)岸,构成黄河各级阶地的基座;②第四系早—中更新统半成岩湖相、河湖相地层(以下简称湖相地层)。由泥岩、泥质粉砂岩和砂岩组成。与下伏三叠系地层呈角度不整合接触。主要分布在近坝库岸南(右)岸,厚 400~700m,地貌上组成高陡岸坡。其次分布在北岸斜坡上部,厚度<200m。

1.2 原始高陡岸坡的形成及特征

1.2.1 原始高陡岸坡的形成

原始高陡岸坡系指高陡岸坡形成后,还未产生大规模变形破坏的岸坡。其形成与本区地壳差异性抬升运动和黄河的下切有关。

更新世初期,共和盆地还是湖盆,接受外围山地流水搬运的物质(图 2a);至晚更新世,本区开始强烈抬升,龙羊峡峡谷处的山脊被切开,湖水外泄,湖面缩小直到消失,河流贯通,形成黄河的雏形(图 2b);随着后期差异性抬升运动,北岸抬升快,幅度大;南岸抬升慢,幅度偏小,致使黄河向南摆动。在北岸发育成 8~12 级阶地组成的缓坡,平均坡度 $15^{\circ} \sim 20^{\circ}$;南岸则形成湖相地层高陡岸坡(图 2c),相对坡高 300~400m,平均坡度 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 。按照更新世以来黄河下切的深度(约 400m)推算,本区地壳隆升的速度为 4mm/a 左右。

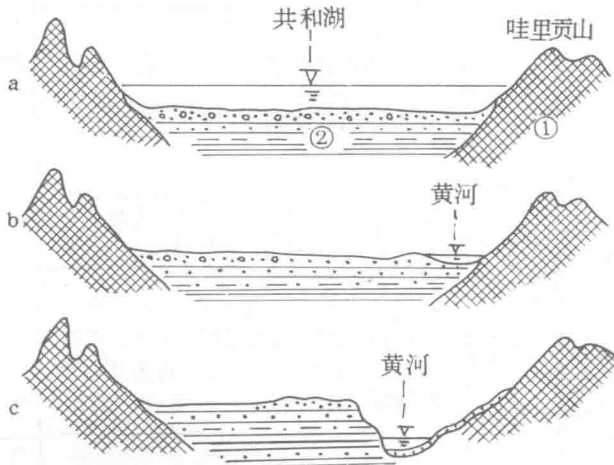


图 2 共和盆地黄河及高陡岸坡形成示意图

Fig. 2 Sketch map of formation of high-steep slopes at Yellow River bank of Gonghuo Basin.

①三叠系以前老地层;②第四系湖相地层。

本区气候属半干旱—干旱气候,年降雨量 300mm,年蒸发量 1800mm;地下水出露少并埋藏较深。这些特征有利于高陡岸坡的长期保存。

1.2.2 原始高陡岸坡特征

1) 斜坡形态 据近坝库区南岸部分地段(如龙西、查东、查纳两侧等山脊和查纳沟两侧岸坡)与北岸对应的黄河阶地堆积物分析,原始高陡岸坡多为台阶状(表 1)。从表 1 中可以看出,原始高陡岸坡至少有 5 级台地,其中高程 2700m 和 2800m 两级宽度较大,据原查纳村村民介绍和研究者的实地考察分析,这两级台地至少宽 100~150m。

2) 岩性组合特征 近坝库区南岸高陡岸坡主要由单一的湖相地层组成,仅 1 号沟以东坡脚有三叠系砂岩出露。按其工程性能的差异,可将湖相地层分为三个岩性段(图 3):

下段:以泥岩为主夹少量薄层砂岩。结构较紧密,成岩度较高,其强度特征与老地层(第三纪以前的地层)的软岩(泥岩、页岩)相近。此岩性段在 4 号沟以东的高陡岸坡下部出露;4 号沟以西则埋于 I 级阶地和河床之下;

中段:为中厚层—薄层泥岩、泥质粉砂岩互层。因泥岩与泥质粉砂岩的工程性质差异较大,致使此岩性段整体强度较低,并在砂岩与泥岩的接触面上易富集水和粘土矿物,形成软弱结构面,甚至产生层间错动,为滑动面的发育奠定了基础。此岩性段在 4 号沟以东

地层代号	柱状示意图	分层厚度(m)	岩土类型及工程性质简要说明	岩性分段及特征
L-VII Q ₁₋₂		>18.5	灰色 灰黄色盐类泥质胶结的砂岩 结构不甚疏松	由砂岩、泥质粉砂岩组成,成分单一,具均质体性质,节理层面效应不显,推测为河流相沉积
L-VI Q ₁₋₂		84.0	浅黄色盐类泥质胶结的泥质粉砂岩,尚密实坚硬	
L-V Q ₁₋₂		33.4	浅黄色盐类泥质胶结的泥质粉砂岩,尚密实坚硬,占分层厚度的30%	主要由粘土岩组成,间夹砂岩、泥质粉砂岩、泥岩,岩性不甚单一,呈有韵律地分布、具软硬相间的结构性质。粘土岩、泥岩体受层面、节理影响,砂岩、泥质粉砂岩刚度强度低,透水性好,在地下水作用下易形成软弱带,推测为地壳振动频繁,湖水时启时闭、河湖相的沉积
		74.6	以红色粘土岩为主,间夹灰色粘土岩,密实坚硬,含盐量较高,一般层厚10m左右,最厚达39.5m,占分层厚度的70%	
L-IV Q ₁₋₂		51.1	灰色、灰黄色盐类胶结的砂岩、泥质粉砂岩互层、砂岩具交错层理、尚密实坚硬,占分层厚度的48%	
		65.9	以红色粘土岩为主,夹灰色、灰黄色粘土岩、泥岩,密实坚硬,含盐量较高,一般层厚10m左右,占分层厚度的52%	
L-III Q ₁₋₂			以灰黄色、黄褐色粘土岩为主,间夹黄色、黄褐色砂岩、泥质粉砂岩、泥岩、粘土岩密实坚硬,含盐量较高,一般层厚5~10m,最厚达49m,占分层厚度的70%。砂岩、泥质粉砂岩密实坚硬程度较低,透水性好,占分层厚度的25%,泥岩占5%	
L-II Q ₁₋₂		40	较单一坚硬的红色盐类胶结的粘土岩	较单一的粘性岩,岩体受层面、节理影响属典型静水湖相沉积
L-I Q ₁₋₂		>18	单一坚硬的红色盐类胶结的粘土岩	

图3 近坝库岸湖相地层工程性质垂直剖面图

Fig. 3 Engineering geological vertical drawing of Lake-deposit strata of reservoir bank near to dam.

分布在高陡岸坡中下部;在4号沟以西则分布在高陡岸坡下部;

上段:以中厚—厚层灰黄色砂岩和泥质粉砂岩为主,间夹少量泥质条带。结构较松散,胶结程度较差,其工程性能与超压密砂性土相近。

表1 龙羊峡库区黄河两岸阶地对照表
Table 1 Contrast table of terraces of Yellow River in reservoirs' district.

阶地 级数	左岸(北查纳村处)		右岸		
	类 型	起—止高程(m)	类 型	起—止高程(m)	现保留地方举例
I	堆积阶地	2480~2500	堆积阶地	2475~2480	原查纳村、农场前
II	基座阶地	2510~2525	基座阶地	2500~2510	1号沟口
III	基座阶地	2545~2565	侵蚀阶地	2530左右	查纳沟两侧
IV	基座阶地	2575~2580			
V	基座阶地	2625~2630	侵蚀阶地	2610左右	查纳西侧山脊
VI	基座阶地	2645~2660			
VII	基座阶地	2680~2695			
VIII	基座阶地	2715~2735	侵蚀阶地	2700左右	查纳西侧山脊
IX	基座阶地	2765~2800	侵蚀阶地	2800左右	龙西查东山脊
X	湖积阶地	2910~2950			

综上所述,中段岩性较差,是影响高陡岸坡稳定性的重要因素。

3) 水文地质特征 本区水文地质轮廓严格受共和盆地自身的发育历史所制约。补给区为贵南南山,海拔4000m左右;排泄区在黄河岸边,海拔高2500m。中间流经约70km的迳流承压区,平均水力坡度2.1%。到黄河岸边的农场以东增大到3%~4%;农场以西增大到8%~10%。显然,黄河岸边地下水的交替循环作用更为强烈,不利于岸坡稳定。

4) 坡体结构特征 本区高陡岸坡均为单一的层状结构,地层较平缓,走向300°~330°、倾向210°~240°、倾角3°~5°。由于新构造运动的作用,使湖相地层产生了一系列区域性节理,据统计可分为8组(表2)。其中以北西、北东、近南北、近东西走向等4组节理较发育,并多为滑坡后壁、侧壁所利用。节理面倾角大多大于60°。

1.2.3 原始岸坡变形特征

坡体的前期变形与风化裂隙的发育程度密切相关。风化越深、裂隙密度越大,坡体前期变形的范围就越大。据水平硇探调查,本区湖相地层高陡岸坡前期变形深度50~100m左右。

1) 变形类型 本区湖相地层高陡岸坡自高度超过250m以后,就开始出现明显的变形现象。其主要类型有滑坡、崩塌。

(1) 滑坡 从龙羊峡入口到上游汪什科,长14km范围内,分布有16个滑坡。已发生滑坡的岸坡长度占此段库岸长度的90%以上。主要有2号沟、农场、龙羊、磨坊、查纳、查西和汪什科等滑坡。其中最典型的是查纳滑坡。

(2) 崩塌 据汛期考察,凡被黄河水直接冲刷的岸坡段都发生大量的小规模崩塌。只

因规模小,崩塌物质很快被河水冲走,所以至今不显。但需强调一点,崩塌多发生在黄河水能直接冲刷到的地段,其它地段则发生较少。

表 2 近坝库岸湖相地层节理与滑坡形成的关系
Table 2 Relation of Lake—deposit strata's joints and Landslide formation in slopes near to dam.

分组	走向	倾向	倾角	与滑坡形成的关系
1	290°~300°	18°~32°	60°~88°	
2	265°~285°	352°~15°	65°~90°	为滑坡后壁、侧壁所利用
3	305°~325°	214°~236° 35°~52°	60°~89° 64°~90°	
4	330°~345°	239°~253°	79°~90°	为滑坡后壁、侧壁所利用
5	355°~15°	263°~285°	79°~89°	为滑坡后壁、侧壁所利用
6	20°~35°	292°~305°	74°~89°	
7	40°~60°	309°~329°	60°~89°	为滑坡后壁、侧壁所利用
8	65°~80°	335°~315°	70°~87°	

2) 变形过程 本区湖相地层高陡岸坡自形成以来经历过数万年变形过程。可归纳成如下两种模式:

(1) 滑坡模式

高陡岸坡形成 $\xrightarrow[\text{蠕变}]{\text{无河水冲刷}}$ 滑坡 $\xrightarrow[\text{小坍塌}]{\text{边坡调整}}$ 下切搬运 $\xrightarrow[\text{蠕变}]{\text{相对平衡}}$ 滑坡……

(2) 崩塌模式

高陡岸坡形成 $\xrightarrow[\text{张力变形}]{\text{河水冲刷}}$ 崩塌 $\xrightarrow[\text{小坍塌}]{\text{边坡调整}}$ 下切搬运 $\xrightarrow[\text{张裂变形}]{\text{河水冲刷}}$ 崩塌……

按上述模式,年复一年,演变成为如今高陡岸坡景观。

由上看出,黄河的下切乃是高陡岸坡变形的基本条件之一。有无河水直接旁蚀、冲刷作用是区别高陡岸坡发生崩塌或是大型、巨型滑坡的重要标志。本区近期地壳上升速度明显减慢,河谷宽阔、河床呈蛇形,低阶地和高河漫滩发育,河水很少直接冲刷到高陡岸坡。因此我们见到的是大量的滑坡,而不是崩塌。水库蓄水以后,尤其是中高水位运行期,高陡岸坡均直接受库水的冲刷和浪击作用。可以预测,水库运行期,高陡岸坡的变形破坏可能转为以崩塌为主,局部地段有发生滑坡的可能。

1.3 大型滑坡的形成及特征

1.3.1 大型滑坡形成的控制性因素

从本区自然环境和原始高陡岸坡的介绍中可以看出,湖相地层高陡岸坡形成后的变形、崩塌、滑坡与地质地貌特征、斜坡形态、地层岩性组合特征、地表水和地下水作用规律、坡体结构构造和前期变形特征等因素有关。其中大型、巨型滑坡的发育受台阶状高陡岸坡、特殊的岩性和地下水长期缓慢作用的联合控制。其理由是:

1) 台阶状岸坡 实践证明,台阶状高陡岸坡具有较高的稳定性,变形的速率较慢。这就为大型、巨型滑坡的孕育提供了充足的时间条件。本区历史上发生的大型滑坡,如查纳、龙羊、查西、汪什科等,恢复其原始地形,无一不是台阶状坡形。

2) 特殊的岩性 本区第四纪早、中更新世沉积的湖相地层是很特殊的。

(1)呈半成岩状 介于岩、土之间,似岩非岩、似土非土。从结构特征看,具有沉积岩的层状特征;在水的浸泡作用下极易崩解成土状,又具有土的性质。

(2)在水作用下力学强度急剧降低 此地层在干燥环境下有较高的强度,泥岩块 Φ 值一般为 $35^{\circ}\sim 40^{\circ}$,最高达 47° ;C 值一般为 $500\sim 1000\text{kPa}$,最高达 1911kPa 。与第三纪以前沉积岩中的软岩相近。在水的作用下(成都地质学院用蒸馏水浸泡泥岩试样溶滤 5~15 天后的强度试验),抗剪强度急剧下降(表 3)。 Φ 值下降到 25° 左右;C 值可下降到 100kPa 以下。应用陈宗基先生的流变理论对此泥岩块进行饱和后的长期强度验算, Φ 值可低到 14° 以下*。可见此套地层在水的作用下抗剪能力是比较差的。

表 3 黄河上游湖相地层抗剪性能变化表

Table 3 Table of Changing of Lake—deposit strata's sheal strength in the upper stream of Yellow River

地 层	项 目		天然状态		原始饱和状态		饱和溶滤状态		计算长期强度	
	C(kPa)	Φ	C(kPa)	Φ	C(kPa)	Φ	C	Φ		
I 上灰黄色砂质泥岩	650	38°	110	32°	60	26°		13°		
II 上红色泥岩	470	36°	220	33°	100	27°		12°		
III 下灰黄色砂质泥岩	570	41°	120	31°	50	23°		14°		
IV 下灰黄色泥岩	850	37°	140	28°	120	25°		12°		
I 层红色泥岩	1900	33°	250	28°				11°		

3) 含有较多的可溶盐类 据试验,可溶盐离子总量为 $25\%\sim 35\%$ 左右,其中易溶盐含量 $0.5\%\sim 5\%$ 。高出黄土 2~5 倍,高出西南地区的昔格达地层 100 倍以上。自上而下易溶盐含量逐渐增加,最高达 8% 以上(图 4)。

可溶盐含量较高的岩性特征在地貌上反映十分明显,斜坡上 III、IV 大层分布区内溶沟、溶洞、漏斗发育。陡壁上还分布有溶帘。完整岸坡上的溶沟、溶洞、漏斗的分布受区域性节理控制,呈平行四边形状的网格分布。这种分布格局有加快库岸变形的作用。

岩层中的可溶盐具有胶结作用,并有一部分可溶盐被粘性土颗粒吸附,致使岩层在干燥状态时强度较高,接近半坚硬岩石,显示脆性变形特征;而在水的长期浸蚀作用下,易溶盐被溶解,岩体结构变松,强度急剧下降,尤其是粘聚力下降幅度更大,多在 100kPa 以下,显示土的特征。

4) 地下水作用 地下水在大型、巨型滑坡的形成中起重要作用。本区湖相地层中的地下水埋藏较深,出露位置与岸边黄河的侵蚀基准面一致。流量虽小,但较稳定。据水文孔观测资料,地下水位年变幅一般不超过 2m。这种特征对岸坡潜移默化的侵蚀作用不可低

* 水电部西北勘测设计院,黄河龙羊峡水电站近坝库岸滑坡涌浪问题研究报告(运行期),1984 年 8 月。

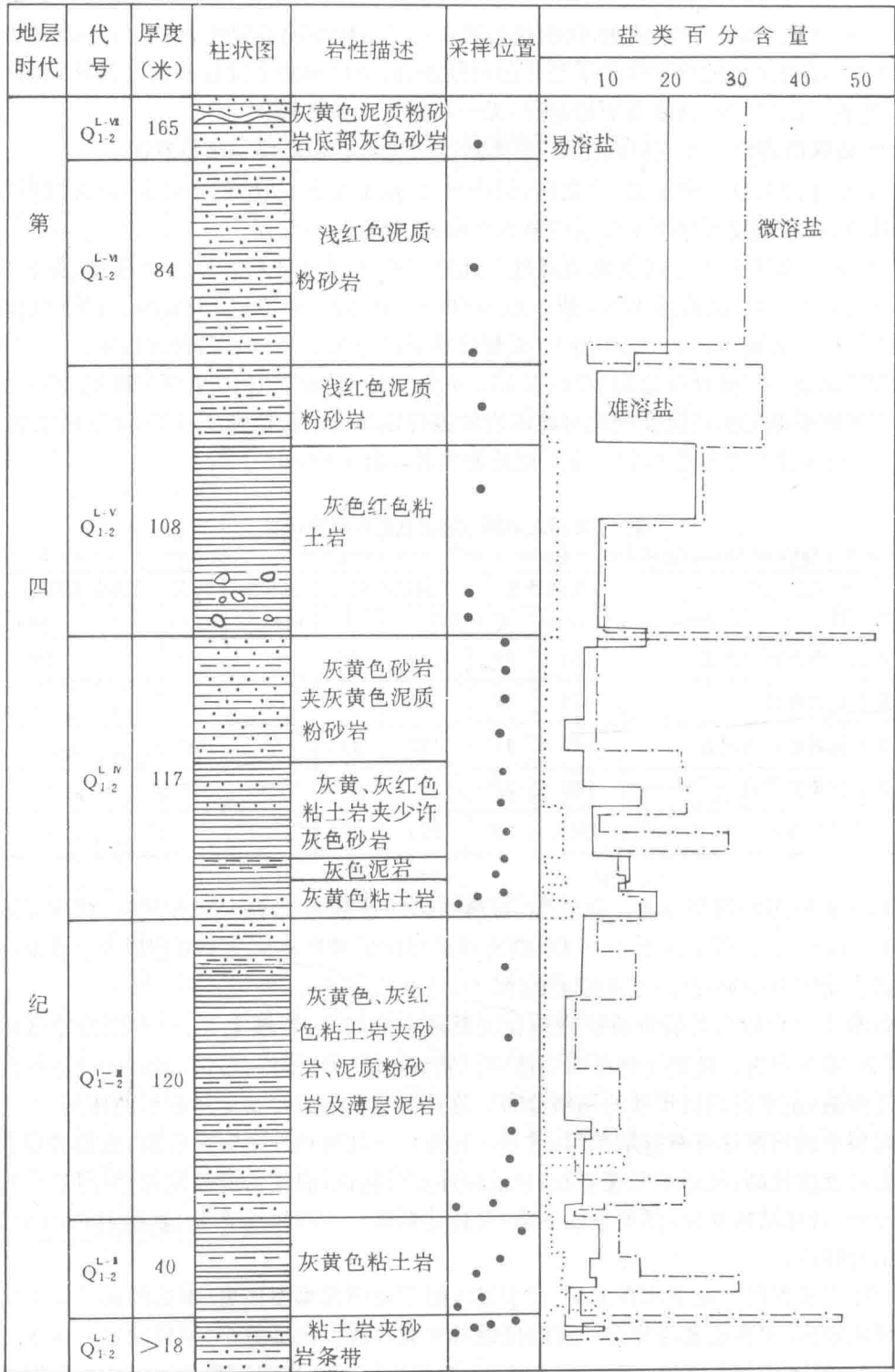


图4 近坝库岸湖相地层剖面含盐量分布对比图

Fig. 4 Contrast diagram of distribution of salt in the sections of Lake—deposit strata near to dam.