



成都勘测设计研究院有限公司  
CHENGDU ENGINEERING CORPORATION

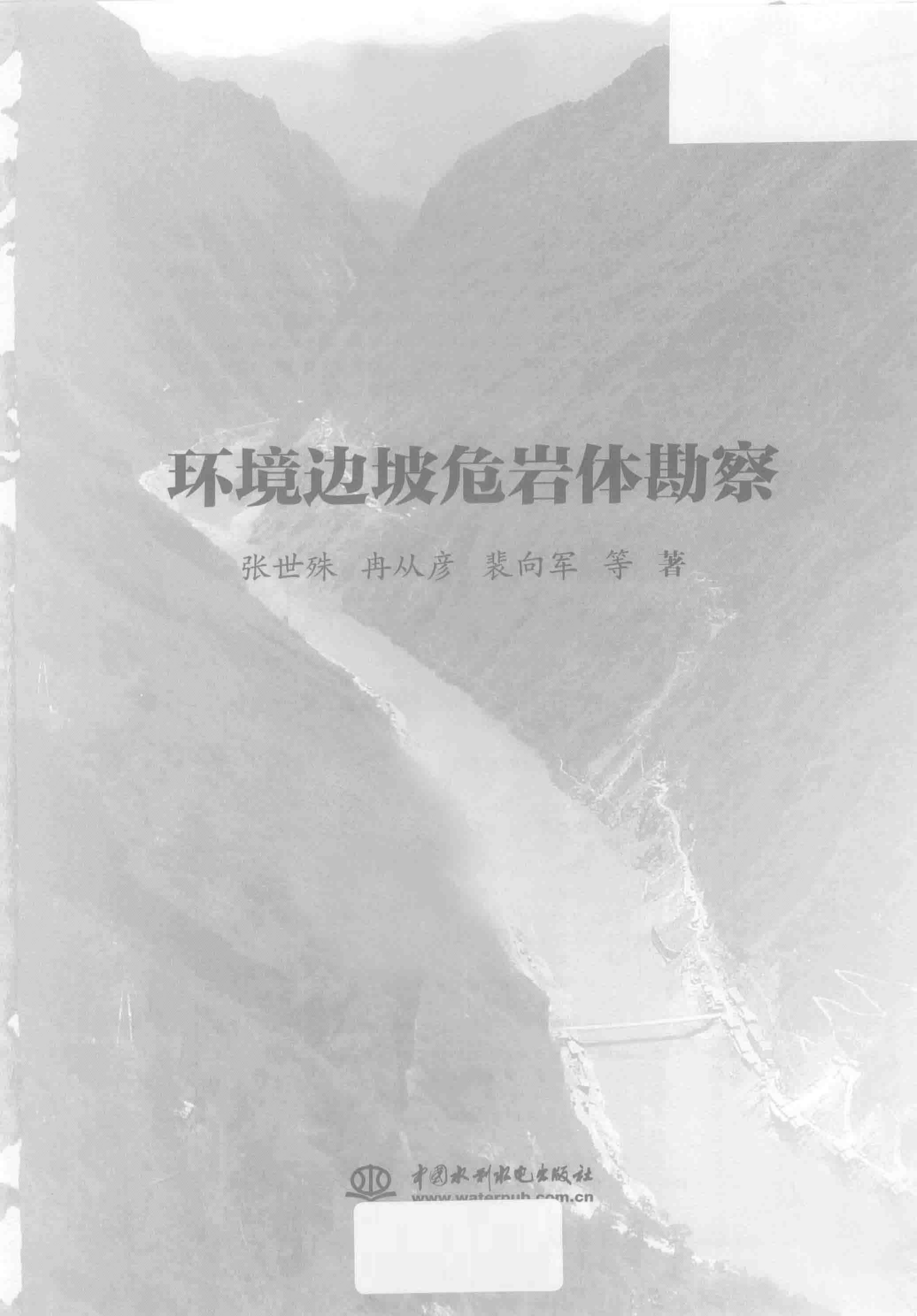
# 环境边坡危岩体勘察

HUANJING BIANPO WEIYANTI KANCHA

张世殊 冉从彦 裴向军 等 著



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn



# 环境边坡危岩体勘察

张世殊 冉从彦 裴向军 等 著



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

## 内 容 提 要

本书是一部关于我国西南山区环境边坡危岩体地质调查,危岩稳定性分析评价、危害性评估,以及危岩体防治措施建议和监测预报的系统论著。全书以危岩体为研究对象,以危岩体调查为基础,以危岩体发育形成条件及影响因素研究为线索,遵循调查方法—形成机制—结构特征—变形破坏机理—稳定性评价—危害程度评价—防治对策—危岩体监测和预报的基本技术途径,研究危岩体形成的影响因素、分类、分布特征及变形失稳机制;探讨危岩体的稳定性评价体系和危害性评价体系;探究滚石运动特征,进而建立危岩体危害程序评价体系;研究危岩体监测方法,探究危岩体预测预报体系;在危岩体特征研究基础上,建立危岩体防治体系,为危岩体稳定性评价及灾害防治提供理论依据和技术支持。

本书可供水电、水利、岩土、交通、国防工程、矿山、地震灾区重建等领域的科研、勘察、设计、施工人员及高等院校有关专业的师生参考使用。

## 图书在版编目(CIP)数据

环境边坡危岩体勘察 / 张世殊等著. — 北京: 中国水利水电出版社, 2014. 8  
ISBN 978-7-5170-2489-7

I. ①环… II. ①张… III. ①边坡—危岩体—地质勘探 IV. ①U416.1②P642.21

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第213276号

|      |                                                                                                                               |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 书 名  | 环境边坡危岩体勘察                                                                                                                     |
| 作 者  | 张世殊 冉从彦 裴向军 等 著                                                                                                               |
| 出版发行 | 中国水利水电出版社<br>(北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038)<br>网址: www.waterpub.com.cn<br>E-mail: sales@waterpub.com.cn<br>电话: (010) 68367658 (发行部) |
| 经 售  | 北京科水图书销售中心(零售)<br>电话: (010) 88383994、63202643、68545874<br>全国各地新华书店和相关出版物销售网点                                                  |
| 排 版  | 中国水利水电出版社微机排版中心                                                                                                               |
| 印 刷  | 北京博图彩色印刷有限公司                                                                                                                  |
| 规 格  | 184mm×260mm 16开本 11.5印张 273千字                                                                                                 |
| 版 次  | 2014年8月第1版 2014年8月第1次印刷                                                                                                       |
| 印 数  | 0001—1500册                                                                                                                    |
| 定 价  | 50.00元                                                                                                                        |

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

# 序

---

近年来,我国的水电建设得到了快速发展,水电工程主要集中在云、贵、川、藏等地。受印度洋板块与欧亚板块的碰撞、隆升影响,该地区河谷多深切狭窄,谷坡陡峻,地形地质条件异常复杂。

在这些地区修建水电工程,除了常见的大规模、高落差开挖边坡之外,在边坡开口线之上往往还存在数百米至千余米的环境边坡。如,锦屏一级水电站开挖边坡高540m,环境边坡高达1500~1600m;双江口水电站最大坝高314m,开挖边坡高378m,坝顶至山顶尚有800~1000m的斜坡;猴子岩水电站开挖边坡最大高度超过150m,环境边坡高达800~1000m;大岗山水电站开挖边坡高313m,环境边坡高达600m……这些边坡的规模是水电工程上前所未有的。

边坡稳定问题是水电工程中需要解决的关键性工程地质问题之一。迄今为止,人们普遍对开挖的工程边坡稳定性研究予以特别的关注,开展了较深入的研究,对开挖边坡之上的环境边坡的稳定性却缺乏足够重视,尚未开展过系统的研究。其实,由于开口线外环境边坡危岩体高程较高,势能大,任一小型的危岩体失稳都有可能对下部工程建设造成巨大危害。为确保施工期及运营期人员和设备的安全,保障工程顺利施工和长期运营,工程开挖边坡之上的环境边坡问题是摆在我们面前的又一新的研究课题,对其进行研究与评价刻不容缓。

由中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司张世殊等多位长期从事水电工程地质勘察、具有丰富实际经验的工程技术人员共同撰写的《环境边坡

《危岩体勘察》一书即将出版。该书依托西南山区多流域数十项巨型、大型水电工程生产、科研实践，以大量危岩体为研究对象，遵循调查方法—形成机制—结构特征—变形破坏机理—稳定性评价—危害程度评价—防治对策—危岩体监测和预报的基本技术途径，研究危岩体形成的影响因素、分类、分布特征及变形失稳机制，探讨和建立危岩体的稳定性评价体系、危害程度评价体系以及危岩体预测预报体系，在探究滚石运动特征的基础上研究危岩体监测方法，建立起危岩体防治体系，为危岩体稳定性评价及灾害防治提供理论依据和技术支持。

该书内容丰富而全面，在系统阐释环境边坡危岩体勘察体系内容的同时，还较大篇幅地介绍了双江口、猴子岩、长河坝、锦屏一级、溪洛渡等水电工程的环境边坡危岩体勘察实例。其翔实的调查数据，丰富的图文表格，较为全面地展示了多种地质背景下，种类齐全的环境边坡危岩体勘察评价过程，对广大一线的工程地质人员和设计人员具有现实的指导和借鉴意义。

欣然作序，向广大读者推荐。

黄润秋

2014年7月

# 前言

---

环境边坡指位于工程边坡开挖开口线之外的，在自然营力作用或人为作用下，一旦失稳可能会对工程或人员构成威胁的、具有一定倾斜度地形的地质体。即，它是自然边坡的一部分，在自然条件下及人类工程振动等作用下，在工程边坡范围之外、可能发生落石、崩塌、滑坡等地质灾害，进而造成其下人员伤亡和财产损失的边坡。从自然边坡中划分出环境边坡，是为了区别一般意义上的自然边坡，突出工程边坡周边边坡的重要性和潜在危险性，扩展边坡概念，修正边坡的勘察、设计和管理理念，达到减灾防灾的目的。

我国西南地区深山峡谷遍布，地形地质条件复杂，内、外地质营力活跃，边坡变形破坏模式、机制复杂多样。随着我国水电建设事业的发展，在地质条件复杂的深切峡谷地区修建水电站，涉及的环境边坡问题越来越多。环境边坡在长期风化、卸荷的作用下，形成广泛分布的危岩体。尤其是部分危岩体，高悬于枢纽建筑物上空，哪怕是很小范围的自然因素（如降雨、渐进性的风化等）和工程因素都会导致失稳，对施工和运行期的枢纽区建筑物带来极大的威胁，甚至造成灾难性的后果。为此，对环境边坡危岩体的稳定性进行勘察和分析评价是十分必要的。

自2010年以来，中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司联合成都理工大学、中国地质大学（武汉）和四川大学等高校，开展了以“水电水利工程环境边坡危岩体勘察关键技术研究”为课题的科技项目研究，取得了丰硕的成果。本书是对该科技项目研究成果的一次系统总结。

本书由张世殊等多位长期从事水电工程地质勘察的同志合作撰写。全书

共7章：第1章论述了环境边坡的概念、范围、分类，环境边坡的危险源及失稳模式。第2章论述了危岩体发育的主要影响因素，危岩体的分类，危岩体控制性结构面的形成以及危岩体失稳破坏地质力学模式和诱发作用机制。第3章介绍了危岩体勘察技术和方法，具体对工程地质测绘、三维激光扫描、近景摄影测量、航测与遥感、工程地质勘探以及岩土试验与测试等多种技术方法的使用和适用条件作了阐述。第4章论述了危岩体稳定性与危害程度，分别从危岩体的边界条件、组合模式与失稳破坏模式、参数选择及荷载组合选取进行了论述，介绍了危岩体稳定性分析方法，进而阐释了危岩体稳定性评价级别。在论述危岩体稳定性的基础上，对危岩体危害程度及危害程度分级进行了系统论述。第5章论述了危岩体防治措施。在滚石运动学和动力学研究基础上，提出了危岩体防治基本原则，介绍了危岩体被动防护新措施，论述了危岩体主、被动及综合防治措施。第6章介绍了环境边坡危岩体勘察实例，分别以双江口、猴子岩、长河坝、两河口、锦屏一级和溪洛渡水电工程为例，详细介绍了各工程环境边坡危岩体勘察治理情况。第7章对全书进行了总结。其中，第1章、第2章由张世殊撰写，第3章由裴向军、董秀军、张世殊撰写，第4章由冉从彦撰写，第5章由裴向军、冉从彦、董秀军撰写，第6章由胡金山、袁国庆、王金生、雷生强、吴章雷、邹国庆、田雄等撰写，第7章由张世殊撰写。

在本书撰写过程中，中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司的领导以及院地质处、科技质量部、技术管理委员会等相关部门给予了大力帮助，在此表示诚挚感谢！本书在撰写过程中还得到了双江口、猴子岩、长河坝、两河口、锦屏一级和溪洛渡水电工程建设单位的关心和帮助，在此一并致谢！

衷心感谢黄润秋教授在百忙中为本书作序。

由于水平有限，书中不妥或错误之处在所难免，恳请读者批评指正！

作 者

2014年7月

# 目 录

序

前言

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| <b>第 1 章 环境边坡</b> .....        | 1  |
| 1.1 环境边坡的概念 .....              | 1  |
| 1.2 环境边坡的范围 .....              | 2  |
| 1.3 环境边坡的分类 .....              | 3  |
| 1.4 环境边坡的危险源及失稳模式 .....        | 5  |
| <b>第 2 章 危岩体</b> .....         | 7  |
| 2.1 危岩体发育的主要影响因素 .....         | 7  |
| 2.2 危岩体的分类 .....               | 9  |
| 2.3 危岩体控制性结构面的形成 .....         | 11 |
| 2.4 诱发因素对危岩体失稳与破坏的作用机制 .....   | 12 |
| <b>第 3 章 危岩体勘察技术</b> .....     | 15 |
| 3.1 工程地质测绘 .....               | 15 |
| 3.2 三维激光扫描 .....               | 16 |
| 3.3 近景摄影测量 .....               | 29 |
| 3.4 航测与遥感 .....                | 33 |
| 3.5 工程地质勘探 .....               | 37 |
| 3.6 岩土试验 .....                 | 45 |
| 3.7 勘查工作布置原则 .....             | 45 |
| <b>第 4 章 危岩体稳定性与危害程度</b> ..... | 47 |
| 4.1 危岩体失稳与破坏基本地质力学模式 .....     | 47 |
| 4.2 参数选择及荷载组合选取 .....          | 51 |

|            |                    |            |
|------------|--------------------|------------|
| 4.3        | 危岩体稳定性分析方法         | 53         |
| 4.4        | 危岩体危害程度            | 61         |
| <b>第5章</b> | <b>危岩体防治措施</b>     | <b>63</b>  |
| 5.1        | 概述                 | 63         |
| 5.2        | 主动防护措施             | 65         |
| 5.3        | 被动防护措施             | 69         |
| 5.4        | 综合防治措施             | 71         |
| <b>第6章</b> | <b>环境边坡危岩体勘察实例</b> | <b>72</b>  |
| 6.1        | 双江口水电站环境边坡危岩体      | 72         |
| 6.2        | 猴子岩水电站环境边坡危岩体      | 87         |
| 6.3        | 长河坝水电站环境边坡危岩体      | 99         |
| 6.4        | 两河口水电站环境边坡危岩体      | 117        |
| 6.5        | 锦屏一级水电站枢纽区危岩体      | 124        |
| 6.6        | 溪洛渡水电站枢纽区危岩体       | 142        |
| <b>第7章</b> | <b>结论</b>          | <b>169</b> |
|            | 参考文献               | 171        |

# 第1章 环境边坡

---

## 1.1 环境边坡的概念

限于国情、行业和研究人员的角度不同,国内外对于边坡的理解不尽相同。无论是在名称上还是在内涵上多存分歧,同一术语的概念也有很大差异,迄今还没有一个公认的定义。在英文翻译上更是五花八门。例如,工程边坡的英译有:engineering slope, engineered slope, cut slope, cutting slope, excavated slope, excavation slope, man-made slope等。因此,在提出环境边坡概念之前,有必要对几个边坡的概念和内涵进行厘定。

**边坡或斜坡 (slope):**在自然营力作用或人为作用而形成一定倾斜度地形的地质体。它包括天然斜坡和人工开挖的边坡,具有一定的坡度和高度,在重力和其他地质营力作用下改变着斜坡的外貌,表现为斜坡土石的下移,使之逐渐变缓。由全国科学技术名词审定委员会审定公布的边坡/斜坡定义为:岩体、土体在自然重力作用或人为作用而形成一定倾斜度的临空面。这个定义不全面,不应只从地貌形态上来定义,边坡不只是一个面,它的稳定性是受软弱面、结构面组合、甚至是受深部卸荷裂隙控制的,是具有一定深度的“地质体”。

**自然边坡 (natural slope):**由自然地质作用形成地面具有一定倾斜度地形的地质体。它是天然存在的,是经受长期自然营力作用的产物,包括滑坡、倾倒变形体边坡等。

**工程边坡或人工边坡 (engineering slope):**由人工开挖、填筑形成地面具有一定倾斜度地形的地质体。它由人类工程活动而形成,如因修建水工建筑物、构筑物和市政工程开挖或填筑施工所形成的边坡。对于水电工程而言,工程边坡一般是由人工开挖形成的,因而英译 cut slope 也是比较妥当的。

**边坡工程 (slope engineering):**为满足工程需要,人工对边坡进行改造、加固或采取支护措施来达到边坡稳定性的工程。边坡工程概念早在霍克教授(1979)《岩石边坡工程》经典专著中就有体现<sup>[5]</sup>,孙广忠(1993)明确地提出了边坡工程的概念。它具有两层含义:以最经济的造价修建一个人工边坡,或者以最经济的造价防治一个自然边坡破坏,其

目的是建成一个经济实用的边坡工程<sup>[6]</sup>。

边坡环境 (slope surroundings): 边坡影响范围内的岩土体、水系、建(构)筑物、道路及管网等的统称。此概念在建筑基坑工程中应用较多,而在水电工程很少提及。基坑工程地处都市,建筑物密布,在边坡开挖和基坑支护时,就必须考虑边坡环境,以免造成差异沉降、地面开裂、挖断地下生命线等。而水电工程地处深山峡谷,少有建(构)筑物、道路及管网等,所以在开挖及支护中,一般无需考虑边坡环境。此处的“环境”概念中并不涉及大气圈、水圈、噪声的“environment”,而是关于开挖边坡周边堆放的岩土体、地表水、地下水、已有的建(构)筑物、道路、电线和管网等的道路交叉条件、上空净空条件和地下埋设物,因而采用“surroundings”用语较为贴切。

在传统的水电工程中,重视对开挖的工程边坡的勘察、设计和管理,对库首边坡也有一定的关注,但对工程边坡之上的自然边坡的危害性认识不足,在条例、规程、规定上尚属空白。汶川地震的教训是深刻的,它说明工程边坡稳定,不一定道路桥梁工程就安全,之上的自然边坡是一大危险源,不能轻视之!现代水电工程,越来越多地建在深山峡谷中,在数百米工程边坡之上,还有数百米至千米以上的自然边坡,由于其势能巨大,一块落石就有可能造成极大的危害。对它的稳定性和危害性调查和评价更不能轻视之。为引起大家对这一问题足够重视,特引入环境边坡的概念。

环境边坡 (surroundings slope): 位于工程边坡开挖开口线之外的、在自然营力作用或人为作用下、一旦失稳可能会对工程或人员构成威胁的、具有一定倾斜度地形的地质体。即,它是自然边坡的一部分,在自然条件下及人类工程振动等作用下,在工程边坡范围之外、可能发生落石、崩塌、滑坡等地质灾害,进而造成其下人员伤亡和财产损失的边坡。

从自然边坡中划分出环境边坡,是为了区别一般意义上的自然边坡,突出工程边坡周边边坡的重要性和潜在危险性,扩展边坡概念,修正边坡的勘察、设计和管理理念,达到减灾防灾的目的。

## 1.2 环境边坡的范围

环境边坡是位于工程边坡开挖开口线之外的对工程具有潜在危害的边坡。对于水电工程而言,工程边坡是指枢纽建筑物区的开挖边坡,环境边坡是指枢纽建筑物区的工程边坡开挖线以外的自然边坡,见图 1.1。那么,环境边坡涉及的范围是多大?

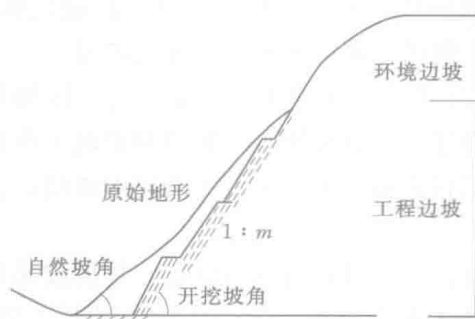


图 1.1 环境边坡与工程边坡关系示意图

环境边坡的范围不是一个确定的值,尽管它的下限—开口线是确定的,但是它的上限是由多个因素综合确定的一个相对界限。在确定环境边坡范围时,至少应考虑以下因素。

环境边坡的范围不是一个确定的值,尽管它的下限—开口线是确定的,但是它的上限是由多个因素综合确定的一个相对界限。在确定环境边坡范围时,至少应考虑以下因素。

(1) 水工建筑物及其重要程度。按照库容的大小和装机容量,水电枢纽区工程等级划分一

等、二等、三等、四等、五等；水工建筑物分为永久性和临时性建筑物；永久性建筑物又分为主要建筑物和次要建筑物。工程等级越高，水工建筑物级别越高，相应的环境边坡的范围越大，永久性水工建筑物的环境边坡范围大于临时性的，主要建筑物的环境边坡范围大于次要建筑物的。

(2) 环境边坡失稳地质体的规模及其稳定性。滑坡、崩塌或者泥石流的规模愈大，涉及的范围就会愈大；它们的稳定性越差，可能失稳的概率就大，就应在更大范围内进行排查。

(3) 人为工程活动的强度和影响范围。人为工程活动的影响深度已远远超过自然营力，水电工程尤甚。对边坡的影响可以是持久的，如坝基和边坡开挖的深度、坡率和范围；也可以是短暂的，如施工爆破与振动、施工用水管理失控、非常水位降落、泄水雨雾；还可以是周期性的，如水库运行的水位变化、泄洪雾化形成高强度的降雨等。对于排水、泄洪建筑物边坡，就需要考虑大流量、高流速、高挑距泄流的泄洪雾化影响范围。

(4) 环境边坡失稳地质体势能及其危险度。环境边坡的潜在危险度，与失稳地质体的势能密切相关。但也不能就肯定地说：势能愈大危险度就愈大。它还取决于落石的形状、途径斜坡的坡度、物质组成、形态和植被状态等复杂因素。对此，我国研究成果甚少。笔者正致力于环境边坡危险度的评价体系的构建方面的研究。

环境边坡范围的精确确定不是一件容易的事情，受认识水平以及潜在的安全隐患的性状和规模、危害度等多个因素的影响和控制。但是，也无需对环境边坡涉及的范围过于纠结，在一般情况下，如在可行性研究阶段，以第一分水岭作为环境边坡的上边界是比较切实可行的。

### 1.3 环境边坡的分类

环境边坡可按坡体特征、几何特征、变形破坏特征和危险源进行分类，见表1.1。对于岩质边坡，宋胜武，严明（2011）提出了基于稳定性评价的岩质边坡坡体结构分类方法。它全面考虑了控制边坡稳定性的各种建造、构造和表生改造等软弱结构面，揭示了边坡可能变形破坏的边界条件和失稳模式，有更好的工程应用性。根据坡体结构，将边坡分为：层状坡体结构（Ⅰ）、中陡裂控制坡体结构（Ⅱ）、楔形坡体结构（Ⅲ）和（似）均质坡体结构（Ⅳ）4类9个亚类。

表 1.1 边坡一般分类表

| 依据         | 分 类   | 亚 类 |
|------------|-------|-----|
| 重要及<br>危险性 | 1 级边坡 |     |
|            | 2 级边坡 |     |
|            | 3 级边坡 |     |
|            | 4 级边坡 |     |
|            | 5 级边坡 |     |

环境边坡危岩体勘察

续表

| 依据   | 分 类           | 亚 类                                                                                             |
|------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 组成物质 | 岩质边坡          |                                                                                                 |
|      | 土质边坡          | 黏性土、砂性土、黄土、软土、膨胀土、碎石土                                                                           |
|      | 岩土混合边坡        |                                                                                                 |
| 坡体结构 | 层状坡体结构（Ⅰ）     | 顺倾层状结构（Ⅰ <sub>A</sub> ）、反倾层状结构（Ⅰ <sub>B</sub> ）、上硬下软结构（Ⅰ <sub>C</sub> ）、上软下硬结构（Ⅰ <sub>D</sub> ） |
|      | 中陡裂控制坡体结构（Ⅱ）  | 中陡倾断层型（Ⅱ <sub>A</sub> ）、深卸荷破裂型（Ⅱ <sub>B</sub> ）                                                 |
|      | 楔形坡体结构（Ⅲ）     |                                                                                                 |
|      | （似）均质坡体结构（Ⅳ）  | 整体或块状结构（Ⅳ <sub>A</sub> ）、碎（块裂）裂结构（Ⅳ <sub>B</sub> ）                                              |
| 坡度   | 缓坡（≤15°）      |                                                                                                 |
|      | 中等坡（15°~30°）  |                                                                                                 |
|      | 陡坡（30°~45°）   |                                                                                                 |
|      | 峻坡（45°~65°）   |                                                                                                 |
|      | 悬坡（60°~90°）   |                                                                                                 |
|      | 倒坡（>90°）      |                                                                                                 |
| 坡高   | 特高边坡（>300m）   |                                                                                                 |
|      | 超高边坡（80~300m） |                                                                                                 |
|      | 高边坡（30~80m）   |                                                                                                 |
|      | 中边坡（10~30m）   |                                                                                                 |
|      | 低边坡（<10m）     |                                                                                                 |
| 变形机制 | 滑动变形边坡        |                                                                                                 |
|      | 蠕动变形边坡        | 倾倒、溃屈、张裂                                                                                        |
|      | 剥落变形边坡        |                                                                                                 |
|      | 流动变形边坡        |                                                                                                 |
| 破坏形式 | 崩塌            |                                                                                                 |
|      | 滑动            | 平面形、曲面形、楔形                                                                                      |
|      | 倾倒            |                                                                                                 |
|      | 溃屈            |                                                                                                 |
|      | 拉裂            |                                                                                                 |
|      | 流动            |                                                                                                 |
| 变形范围 | 坡面变形（≤2m）     |                                                                                                 |
|      | 边坡变形（2~10m）   |                                                                                                 |
|      | 坡体变形（>2m）     |                                                                                                 |
| 危险源  | 孤石（群）         |                                                                                                 |
|      | 危石（群）         |                                                                                                 |
|      | 危石体           |                                                                                                 |
|      | 高位覆盖层         |                                                                                                 |

水电工程环境边坡又与自然边坡不完全一样,有其特殊性,表现为:枢纽区及近坝区边坡主要为岩石边坡,且为高、超高或特高陡边坡,所处的环境地质条件复杂—非常复杂。由于确定的坝址是通过较严格的对比、论证确定下来的,环境边坡不受人工开挖的直接影响,山体整体应该是稳定的,一般不会触发大型的山体崩塌、滑坡和泥石流等地质灾害,却存在规模不大但影响可能很大的局部失稳的岩土体。因此,环境边坡更应注重局部的、个别块体的稳定性的调查与分析评价。

## 1.4 环境边坡的危险源及失稳模式

环境边坡局部的、个别的、高悬的失稳块体,对坡下水电枢纽区都是重大的潜在威胁。因此,为确保坡下的边坡工程、构建筑物和施工人员安全,按潜在危险源对环境边坡进行划分是一个合理可取的方法。根据地质属性,环境边坡的危险源可分为:孤石(群)、危石(群)、危岩体和高位覆盖层4类。

(1) 孤石(群)(isolated stone):是指坡面上零星分布、具有一定体积的(一般大于 $1\text{m}^3$ )、孤立的岩石块体。若以单体形式呈现的则称为孤石;若以群体形式呈现,块石之间相互叠置、集中连片分布的则称为孤石群。孤石(群)无根,置于残坡积、崩坡积或者强风化岩体之上,是差异风化、崩塌的产物。常见于风化花岗岩、凝灰岩、凝灰角砾岩等边坡之上,或者是山脊附近有突兀的悬崖陡壁,常发生崩塌的下方(图1.2)。

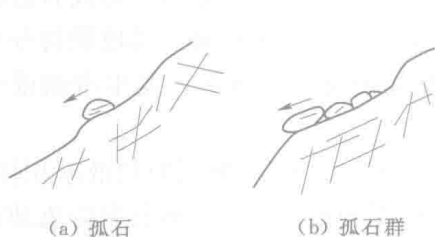


图 1.2 孤石(群)示意图

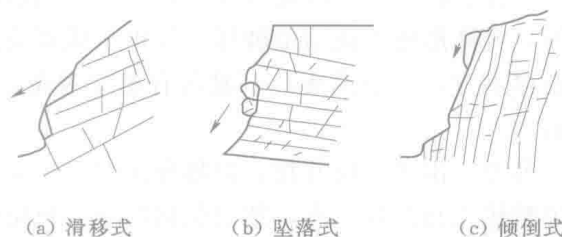


图 1.3 危石(群)示意图

(2) 危石(群)(dangerous rock):受边坡表部的风化卸荷裂隙、构造裂隙等结构面的组合交切,有脱离母体向临空方向发生松动变位趋势的、稳定性差的岩石块体。由一个或有限个岩石块体组成,中间不包含显著的分离结构面,为相对完整的块体。若以单体形式呈现的则称为危石;若以群体形式呈现,危石之间间隔很小、密集分布的则称为危石群。它与崩塌的机制相同,但规模小(一般小于 $100\text{m}^3$ )。它们是可能以滑移、坠落或倾倒等形式崩塌的地质体(图1.3),受风化卸荷作用影响大。

(3) 危岩体(dangerous rockmass):被多组不连续结构面切割分离,稳定性差,可能以滑塌、坠落或倾倒等形式失稳的地质体(图1.4)。

危岩体的体积比危石的体积要大得多,它可以包含数个或多个显著的结构面,只不过这些结构面不构成切割面或者滑移面而已,只起到破坏岩体的完整性的作用。按照DZ/T0218—2006《滑坡防治工程勘查规范》,体积 $\geq 100\text{万 m}^3$ 的为特大型,10万~100万 $\text{m}^3$ 的为大型,1万~10万 $\text{m}^3$ 的为中型, $<1\text{万 m}^3$ 的为小型崩塌。

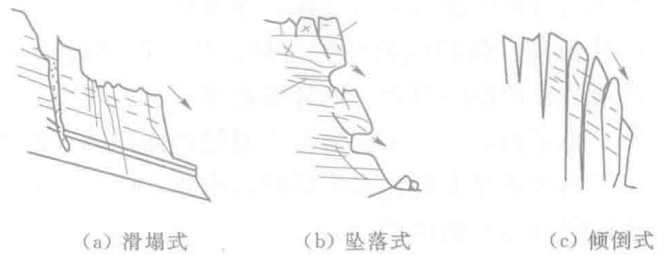


图 1.4 危岩体示意图

(4) 高位覆盖层 (high position covering layer): 位于工程边坡开口线以外, 具有较高势能的、松散的第四系堆积物或人工弃渣。主要由高位阶地冲洪积物、坡顶风化残坡积物、坡中残坡积物和崩坡积物等物质组成 (图 1.5)。

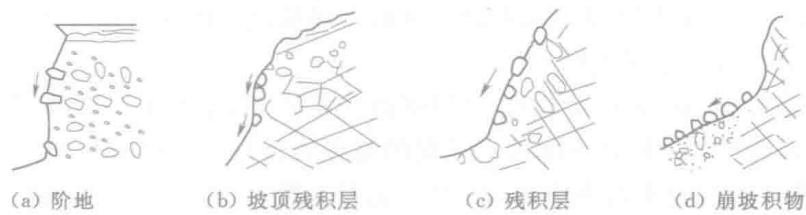


图 1.5 高位覆盖层示意图

在天然状况下, 阶地冲洪积物、坡残积物稳定性较好, 但在开口线处由于形成新的临空面, 容易形成于流动型破坏, 发生小规模土溜, 雨季时形成坡面泥石流。崩坡积物分布在陡崖下方, 大小混杂, 一般具有架空现象, 也容易形成于流动型破坏, 发生滑动或者滚石。

另外, 由于公路开挖、料场弃土等人工弃渣, 是在很短的时间内形成的松散堆积体, 以天然休止角产状产出, 架空结构明显, 稳定性差。在后部加载情况下, 极易发生流动破坏, 雨季时容易发生泥石流。若处在工程边坡影响范围之内, 人工弃渣亦可成为环境边坡的潜在危险源之一。

## 第2章 危岩体

---

危岩体是环境边坡内被多组不连续结构面切割分离、稳定性差、可能以滑移、坠落或倾倒等形式失稳的地质体，是环境边坡最主要的危险源，是环境边坡勘察最重要的调查评价对象。

### 2.1 危岩体发育的主要影响因素

#### 2.1.1 地形地貌

危岩体的发育与地形地貌条件关系密切。地形条件是危岩体形成并造成崩塌、坠落的必要条件。危岩体在陡峻的斜坡地形，如河流迅速下切的河谷地区、岸坡陡立的水库库岸地区以及人类工程活动形成的高陡边坡处最易发生。通常崩塌落石发生在坡度大于  $45^\circ$  的边坡上，同时，边坡高度对危岩体的形成有重要影响，有关研究表明：危岩体绝大多数发育在边坡高度大于 20m 以上的边坡，且边坡越高形成的概率越大。地貌条件对危岩体的形成也有影响，陡峻的峡谷岸坡、山区河谷凹岸、分水岭区、冲沟岸坡和山坡陡崖处常形成危岩体。

#### 2.1.2 地层岩性

地层岩性对危岩体的形成具有显著的控制作用。由于块状的或厚层状的，坚硬的或较坚硬的脆性岩体，可以形成陡峻的边坡，若构造节理或卸荷裂隙发育且存在临空面，适于危岩体的形成；而较软的柔性岩体，由于不能形成陡峻的边坡，较难形成危岩体。然而软硬不同岩层组合，当软岩层在下时，并且在水流冲蚀与风化等软化作用破坏下，上部坚硬岩体易形成大规模的危岩体。

#### 2.1.3 地质构造

##### 1. 断层影响

断层带岩体因受挤压、错动等作用，十分破碎，呈大小不一的块体状；同时，断层破碎带孔隙大，常为地下水渗流的通道，使岩体强度降低，从而形成危岩体。

### 2. 褶皱作用影响

背斜和向斜对危岩体的形成都有一定的影响。具体来说：强烈弯曲的背斜核部岩层折断，同时在岩层法向发育张性结构面，使岩体破碎。破碎岩体在地质构造、风化、震动以及水压力作用下，常形成危岩体；向斜核部岩层受到挤压，褶皱作用强烈时，向斜核部岩层也会折断，并产生一系列压张结构面，使岩体破碎，继而形成危岩体。褶皱两翼岩层呈单斜状，在岩层倾向与高陡边坡倾向一致时（高陡顺向坡），易于发育滑塌式危岩体。

#### 2.1.4 岩体结构

危岩体发育与岩体结构关系紧密，不同类型岩体结构条件下发育的危岩体形式不同，发育的密度也不同。陡倾坡外的层面、构造结构面以及卸荷形成的软弱结构面是危岩体形成的重要条件。另外，构造作用下岩体结构破碎部位和火成岩岩脉侵入界面等，当结构面倾向坡体临空面时易形成危岩体。

#### 2.1.5 风化卸荷

边坡岩体在风化营力的长期作用下，其强度和稳定性不断降低，从而形成危岩体。风化作用对危岩体发育的作用主要表现在以下几个方面。

(1) 由软硬互层岩体组成的边坡，性质较软的岩层抵抗风化的能力弱，风化速度快，风化后剥落，形成凹岩腔；而坚硬的岩体抵抗风化的能力强，风化速度慢，突出坡面，下部悬空，在其他因素的共同作用下，形成危岩体。

(2) 坚硬岩体组成的边坡，如果风化作用很严重，浅表层岩体结构破碎，易形成危岩体。而软弱岩体组成的边坡，在强风化作用下，浅表层岩体常呈泥状和碎石，形成危岩体的情况比较少见。

(3) 边坡中存在能发生泥化作用的结构面或软弱结构面中有泥质充填，软弱结构面在长期风化作用下，形成泥化夹层。泥化结构面、泥质充填和泥化夹层大幅度地降低边坡岩体地物理力学性质，形成危岩体。

卸荷变形破坏现象在自然界中广泛存在。在岩质边坡中，卸荷将引起临空面附近岩体内部应力重分布、造成局部应力集中效应。在张引力集中带发展成拉裂面；在平行于临空面的压应力集中带处发展成平行于临空面的压致拉裂面或剪切破裂面。卸荷回弹同样可以在岩体中形成残余剪应力，并导致剪切破裂。卸荷作用对危岩体的影响主要有以下几个方面。

(1) 整体（块状）结构的岩质边坡在遭受强烈剥蚀和侵蚀的过程中，由于卸荷引起临空面附近岩体回弹变形和应力重新分布，形成新的次生破裂面，即卸荷裂隙，使岩体原有结构松弛，破坏岩体的完整性，不利于岩体的稳定性，可能形成新的危岩体。

(2) 坡表结构面较发育的岩质边坡在遭受强烈剥蚀和侵蚀的过程中，受岩体原先结构控制，卸荷岩体的变形与破裂多追踪甚至继承先成结构面而发生，往往追踪与卸荷方向近于垂直的结构面发生离面卸荷回弹，或追踪与卸荷方向近于一致的结构面发生差异回弹错动，促进危岩体的形成或加速其变形破坏过程。

(3) 卸荷岩体的变形表现为沿卸荷方向的强烈扩容，其破坏是因为内部应变能的突然