

# 山区输电线路

## 边坡加固技术与工程应用

贵州电网有限责任公司输电运行检修分公司  
中国电建集团贵州电力设计研究院有限公司

组编



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

# 山区输电线路

## 边坡加固技术与工程应用

贵州电网有限责任公司输电运行检修分公司 组编  
中国电建集团贵州电力设计研究院有限公司



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

输电线路由于常年暴露于野外，特别是山区，在自然条件和工程活动影响下，线路杆塔容易遭受地质灾害的影响。近年来，各类建设工程施工造成输电线路边坡数量增加，因复杂地形条件、极端气候等原因造成边坡稳定破坏事件时有发生。如何提高输电线路安全运行可靠性，成了国内外输电线路运维人员共同面临的一大难题。

为了加强输电线路运维人员对山区输电线路边坡的认识和管理，推广山区输电线路边坡运维技术，指导输电线路边坡运维工作的开展，本书编写人员在总结近年输电线路边坡勘察、评价、监测、治理、预警、维护工作经验的基础上编写了本书。本书共分5章，涵盖输电线路边坡勘察及监测、山区输电线路边坡稳定性分析与评价、边坡加固技术及工程应用、边坡工程施工与质量控制等内容，具有系统性、新颖性和典型性，可操作性强。

本书适用于电网企业从事输电线路运维的技术人员和管理人员，也可供相关专业的人员阅读参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

山区输电线路边坡加固技术与工程应用 / 贵州电网有限责任公司输电运行检修分公司，中国电建集团贵州电力设计研究院有限公司组编. —北京：中国电力出版社，2018.6

ISBN 978-7-5198-2043-5

I. ①山… II. ①贵…②中… III. ①山区—输电线路—边坡加固—研究 IV. ①TM726

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第112706号

---

出版发行：中国电力出版社

地 址：北京市东城区北京站西街19号（邮政编码100005）

网 址：<http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑：马 青（010-63412784，610757540@qq.com）

责任校对：郝军燕

装帧设计：张俊霞

责任印制：邹树群

---

印 刷：三河市百盛印装有限公司

版 次：2018年6月第一版

印 次：2018年6月北京第一次印刷

开 本：710毫米×980毫米 16开本

印 张：7.5

字 数：139千字

印 数：0001—2000册

定 价：45.00元

---

版权专有 侵权必究

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

## 本书编委会

主 编 虢 韬

副主编 李晓春 杨 立 唐锡彬

编写人员 赵 健 杨建华 杨 恒 王 伟 张 伟

杨 渊 胡红兵 江 坤 贺桂有 甘小迎

杨泽伟 邓杰文 董 鹏 易贤龙 何 林

魏石磊 王永刚 张俊建 张 赟 王 义

徐梁刚 李钟宁 崔 健

架空输电线路作为电能输送的载体之一，它的安全稳定运行直接关系到社会稳定、经济发展和人民的正常生活。由于输电线路常年暴露于野外，特别是山区，输电线路需跨越复杂气候区、不同地形地貌单元、区域地质构造单元、水文地质单元等，在自然条件和工程活动影响下，线路杆塔容易遭受地质灾害的影响，如何提高输电线路的安全运行可靠性，一直以来是国内外输电线路运维人员关注的难题。

近年来，随着经济社会快速发展，各类建设工程施工造成输电线路边坡数量增加，且山区地形地质条件复杂、构造地质发育多变，因短时强降雨、洪涝等极端气候造成边坡稳定破坏事件时有发生，对输电线路安全运行带来较大影响。

为了保证输电线路边坡的稳定与安全，贵州电网公司输电运行检修分公司和贵州电力设计研究院长期以来积极研究山区输电线路边坡运维技术，在山区输电线路边坡的勘察、评价、监测、治理、预警、维护等方面做了大量的技术研究和工程实践，取得了丰富的成果。在山区输电线路边坡机理研究、边坡工程治理和监测预警三个方面取得了宝贵的研究成果和实践经验。

为了加强输电线路运维人员对山区输电线路边坡的认识和管理，进一步规范输电线路边坡管理，提高输电线路运维人员对边坡的管控能力，推广山区输电线路边坡运维技术，指导输电线路边坡运维工作的开展，实现边坡事后被动抢修向事前预防治理的转变，编写人员在总结近年输电线路边坡勘察、评价、监测、治理、预警、维护工作经验的基础上，同时借鉴国家电网公司、南方电网公司输电运维岩土工程师的工作经验，组织编写了《山区输电线路边坡加固技术与工程应用》，使山区输电线路边坡运维更具系统性、新颖性和典型性，在技术推广方面更具有普及性，且可操作性更强，对于整个电网运维单位今后开展类似的输电线路边坡隐患梳理、灾害治理工作均有指导意义，对提升电网的灾害管控能力和防灾减灾能力具有重要的实际意义。

在本书编写过程中，得到了贵州电网公司生产设备部、贵州电网公司输电运行检修分公司、贵州电力设计研究院的大力指导和帮助，特别是贵州电网公司输电运行检修分公司各个运行检修所工作人员的积极配合，在此，对他们表示诚挚的感谢！

限于我们的编写水平，若有不当之处，敬请读者不吝指正。

编者

2018年1月

前言	
<b>第一章 输电线路边坡勘察及监测</b> .....	1
第一节 边坡勘察概述 .....	1
第二节 边坡勘察方法 .....	6
第三节 边坡岩土力学参数取值 .....	10
第四节 输电线路及边坡变形监测 .....	12
<b>第二章 山区输电线路边坡稳定性分析与评价</b> .....	14
第一节 山区输电线路边坡的类型与特征 .....	14
第二节 山区输电线路边坡的破坏形式及主要控制因素 .....	20
第三节 边坡破坏引发的输电线路损坏模式及特征 .....	26
第四节 土质边坡稳定性分析与评价 .....	28
第五节 岩质边坡稳定性分析与评价 .....	37
第六节 岩土组合边坡稳定性分析与评价 .....	40
<b>第三章 山区输电线路边坡加固技术</b> .....	41
第一节 锚固工程加固技术 .....	41
第二节 支挡工程加固技术 .....	55
第三节 坡面防护加固技术 .....	71
第四节 植被防护加固技术 .....	74
第五节 铁塔基础加固技术 .....	82
第六节 临时应急处理措施 .....	83
<b>第四章 山区输电线路边坡加固技术的工程应用</b> .....	84
第一节 锚固工程加固技术应用实例 .....	84
第二节 支挡工程加固技术应用实例 .....	87
第三节 护坡工程加固技术应用实例 .....	94
第四节 排截水工程 .....	98
第五节 削方减载工程 .....	98

第六节 应急处理措施 .....	99
<b>第五章 山区输电线路边坡工程施工与质量控制 .....</b>	<b>102</b>
第一节 边坡工程与信息化施工 .....	102
第二节 边坡工程变形监测技术 .....	106
第三节 边坡工程施工质量检验评定及竣工验收 .....	108
<b>参考文献 .....</b>	<b>111</b>

# 输电线路边坡勘察及监测

## 第一节 边坡勘察概述

### 一、边坡工程分类

#### (一) 按成因分类

按成因分,可分为人工边坡和自然边坡。

人工边坡:由人工开挖或填筑施工所形成的地面具有一定斜度的地段。

自然边坡:由自然地质作用形成的地面具有一定斜度的地段,形成时间一般较长。

#### (二) 按地层岩性分类

按地层岩性分,可分为土质边坡和岩质边坡。

土质边坡:土层结构决定边坡的稳定性,边坡破坏形式主要为圆弧滑动和直线滑动。按边坡组成土的类型不同又可分为:黏性土边坡、碎石土边坡和黄土边坡等类型。

岩质边坡:边坡主要由岩石构成,其稳定性决定于岩体主要结构面和边坡倾向的相对关系、土岩界面的倾角等,破坏形式主要为滑移型和崩塌型,破坏形式分类见表 1-1。

表 1-1

岩质边坡的破坏形式分类

破坏形式	岩体特征		破坏特征
滑移型	由外倾结构面控制的岩体	硬性结构面的岩体	沿外倾结构面滑移,分单面滑移与多面滑移
		软弱结构面的岩体	
	不受外倾结构面控制和无外倾结构面的岩体	块状岩体、碎裂状、散体状岩体	沿极软岩、强风化岩、碎裂结构或散体状岩体中最不利滑动面滑移

续表

破坏形式	岩体特征		破坏特征
崩塌型	受结构面切割控制的岩体	被结构面切割的岩体	沿陡倾、临空的结构面塌滑；由内、外倾结构不利组合面切割，块体失稳倾倒；岩腔上岩体沿结构面剪切或坠落破坏
	无外倾结构面的岩体	整体状岩体、巨块状岩体	陡立边坡，因卸荷作用产生拉张裂缝导致岩体倾倒

岩质边坡可进一步划分为以下三类：

### 1. 按岩层结构分

层状结构边坡：由相互平行的一组结构面构成的边坡。

块状边坡：由两组或两组以上产状不同的结构面组合而成的边坡。

网状结构边坡：结构面比较密集，方向不规则的斜坡（结构体为不规则的块体）。

### 2. 按岩层倾向与坡向的关系分

顺向边坡：岩层走向与坡向垂直，倾向与坡向一致。

反向边坡：岩层走向与坡向垂直，倾向与坡向相反。

切向边坡：岩层走向与坡向相交。

直立边坡：岩层产状直立，走向与坡向垂直。

### 3. 按使用年限分

永久性边坡：使用年限超过 2 年。

临时性边坡：使用年限不超过 2 年。

## 二、边坡工程安全等级

边坡工程按破坏后可能造成的破坏后果（危及人的生命、造成的经济损失、产生社会不良影响等）的严重性、边坡类型和坡高等因素，按表 1-2 确定安全等级。

表 1-2

边坡工程安全等级

边坡类型		边坡高度 $H$ (m)	破坏后果	安全等级
岩质边坡	岩体类型为 I 类或 II 类	$H \leq 30$	很严重	一级
			严重	二级
			不严重	三级

边坡类型		边坡高度 $H$ (m)	破坏后果	安全等级
岩质边坡	岩体类型为Ⅲ或Ⅳ类	$15 < H \leq 30$	很严重	一级
			严重	二级
		$H \leq 15$	很严重	一级
			严重	二级
			不严重	三级
		土质边坡	$10 < H \leq 15$	很严重
严重	二级			
很严重	一级			
$H \leq 10$	严重		二级	
	不严重		三级	

注 1. 一个边坡工程的各段, 可根据实际情况采用不同的安全等级。

2. 对危害性很严重、环境和地质条件复杂的特殊边坡工程, 其安全等级应根据工程情况适当提高。

边坡工程勘察应根据岩体主要结构面与坡向的关系、结构面的倾角大小、结合程度、岩体完整程度等因素对边坡岩体类型进行划分。其中岩体分类标准和岩体完整程度划分见表 1-3。

表 1-3 岩质边坡的岩体分类

边坡岩体类型	判定条件			
	岩体完整程度	结构面结合程度	结构面产状	直立边坡自稳能力
I	完整	结构面结合良好或一般	外倾结构面或外倾不同结构面的组合线倾角 $> 75^\circ$ 或 $< 27^\circ$	30m 高的边坡长期稳定, 偶有掉块
	完整	结构面结合良好或一般	外倾结构面或外倾不同结构面的组合线倾角 $27^\circ \sim 75^\circ$	15m 高的边坡稳定, 15 ~ 30m 高的边坡欠稳定
II	完整	结构面结合差	外倾结构面或外倾不同结构面的组合线倾角 $> 75^\circ$ 或 $< 27^\circ$	15m 高的边坡稳定, 15 ~ 30m 高的边坡欠稳定
	较完整	结构面结合良好或一般	外倾结构面或外倾不同结构面的组合线倾角 $> 75^\circ$ 或 $< 27^\circ$	边坡出现局部落块
III	完整	结构面结合差	外倾结构面或外倾不同结构面的组合线倾角 $27^\circ \sim 75^\circ$	8m 高的边坡稳定, 15m 高的边坡欠稳定
	较完整	结构面结合良好或一般	外倾结构面或外倾不同结构面的组合线倾角 $27^\circ \sim 75^\circ$	8m 高的边坡稳定, 15m 高的边坡欠稳定
	较完整	结构面结合差	外倾结构面或外倾不同结构面的组合线倾角 $> 75^\circ$ 或 $< 27^\circ$	8m 高的边坡稳定, 15m 高的边坡欠稳定
	较破碎	结构面结合良好或一般	外倾结构面或外倾不同结构面的组合线倾角 $> 75^\circ$ 或 $< 27^\circ$	8m 高的边坡稳定, 15m 高的边坡欠稳定
	较破碎 (破碎镶嵌)	结构面结合良好或一般	结构面无明显规律	8m 高的边坡稳定, 15m 高的边坡欠稳定

边坡岩体类型	判定条件			
	岩体完整程度	结构面结合程度	结构面产状	直立边坡自稳能力
IV	较完整	结构面结合差或很差	外倾结构面以层面为主, 倾角多为 $27^{\circ}\sim 75^{\circ}$	8m 高的边坡不稳定
	较破碎	结构面结合一般或差	外倾结构面或外倾不同结构面的组合线倾角 $27^{\circ}\sim 75^{\circ}$	8m 高的边坡不稳定
	破碎或极破碎	碎块间结合很差	结构面无明显规律	8m 高的边坡不稳定

- 注
1. 结构面指原生结构面和构造结构面, 不包括风化裂隙。
  2. 外倾结构面系指倾向与坡向的夹角小于  $30^{\circ}$  的结构面。
  3. 不包括全风化基岩; 全风化基岩可视为土体。
  4. I 类岩体为软岩, 应降为 II 类岩体; I 类岩体为较软岩且边坡高度大于 15m 时, 可降为 II 类。
  5. 当地下水发育时, II、III 类岩体可根据具体情况降低一档。
  6. 强风化岩应划为 IV 类; 完整的极软岩可划为 III 类或 IV 类。
  7. 当边坡岩体较完整、结构面结合差或很差、外倾结构面或外倾不同结构面的组合线倾角  $27^{\circ}\sim 75^{\circ}$ , 结构面贯通性差时, 可划为 III 类。
  8. 当有贯通性较好的外倾结构面时应验算沿该结构面破坏的稳定性。

### 三、边坡工程勘察要求

#### (一) 边坡工程勘察应收集的资料

边坡工程勘察前除应收集边坡及邻近边坡的工程地质资料外, 还应取得下列资料:

- (1) 附有坐标和地形的拟建边坡支挡结构的总平面布置图;
- (2) 边坡高度、坡底高程和边坡平面尺寸;
- (3) 拟建场地的整平高程和挖方、填方情况;
- (4) 拟建支挡结构的性质、结构特点及拟采取的基础形式、尺寸和埋置深度;
- (5) 边坡滑塌区及影响范围内的建(构)筑物的相关资料;
- (6) 边坡工程区域的相关气象资料;
- (7) 场地区域最大降雨强度和二十年一遇及五十年一遇最大降水量;
- (8) 场地区域河、湖历史最高水位和二十年一遇及五十年一遇的水位资料;
- (9) 可能影响边坡水文地质条件的工业和市政管线、江河等水源因素, 以及相关水库水位调度方案资料;
- (10) 对边坡工程产生影响的汇水面积、排水坡度、长度和植被等情况;
- (11) 边坡周围山洪、冲沟和河流冲淤等情况。

## (二) 边坡工程勘察的主要内容

边坡工程勘察范围应包括坡面区域和坡面外围一定的区域。对无外倾结构面控制的岩质边坡的勘察范围：到坡顶的水平距离一般不应小于边坡高度；外倾结构面控制的岩质边坡的勘察范围应根据组成边坡的岩土性质及可能破坏模式确定。对于可能按土体内部圆弧形破坏的土质边坡不应小于1.5倍坡高。对可能沿岩土界面滑动的土质边坡，后部应大于可能的后缘边界，前缘应大于可能的剪出口位置。勘察范围还应包括下列可能对建（构）筑物有潜在安全影响的区域。

- (1) 场地地形和场地所在地貌单元；
- (2) 岩土时代、成因、类型、工程特性、覆盖层厚度、基岩面的形态和坡度、岩石风化和完整程度；
- (3) 岩、土体的物理力学性能和软弱结构面的抗剪强度；
- (4) 主要结构面特别是软弱结构面的类型、产状、发育程度、延伸程度、结合程度、充填状况、充水状况、组合关系、力学属性和与临空面的关系，是否存在外倾结构面；
- (5) 地下水水位、水量、类型、主要含水层分布情况、补给及动态变化情况；
- (6) 岩土的透水性和地下水的出露情况；
- (7) 地区气象条件（特别是雨期、暴雨强度），汇水面积、坡面植被，地表水对坡面、坡脚的冲刷情况；
- (8) 不良地质现象的范围和性质；
- (9) 地下水、土对支挡结构材料的腐蚀性；
- (10) 坡顶邻近（含基坑周边）建（构）筑物的荷载、结构、基础形式和埋深，地下设施的分布和埋深；
- (11) 对主要岩土层和软弱夹层应采样进行室内物理力学性能试验，其试验项目应包括物性、强度及变形指标，试样的含水状态应包括天然状态和饱和状态。用于稳定性计算时，土的抗剪强度指标宜采用直接剪切试验获取，用于确定地基承载力时，土的峰值抗剪强度指标宜采用三轴试验获取。主要岩土层采集试样数量：土层不少于6组，对于现场大剪试验，每组不应少于3个试件；岩样抗压强度不应少于9个试件。岩石抗剪强度不少于3组。需要时应采集岩样进行变形指标试验，有条件时应进行结构面的抗剪强度试验。

## 第二节 边坡勘察方法

边坡勘察常用的方法有地质调绘、钻探、物探、监测和试验方法等，其中占用时间最长的是钻探方法，但钻探是获取深部地质资料最为直观的手段，也是边坡勘察最常用的方法。地质调绘是边坡勘察的基础，是总体上掌握边坡概况必不可少的方法。物探方法效率高、成本低、仪器和工具比较轻便，但由于不同岩、土可能具有某些相同的物理性质，或同一种岩、土可能具有某些物理性质差异，因此有时较难得出肯定的结论。监测方法是对边坡变化规律的一种观测工作，对于确定边坡滑动面（带）的位置能提供可靠的依据，对预测边坡变形破坏趋势，评价边坡的长期稳定性有很大的意义。深层位移监测要利用钻探孔进行，其试验方法是在验证勘察结论和稳定性评价中选取参数时较常用的一种辅助手段。

### 一、工程地质测绘与调查

工程地质测绘与调查是边坡勘察的基础，也是最常规的手段，是总体上掌握边坡概况必不可少的方法。通过工程地质测绘与调查，可以初步查明边坡的地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质及边坡的变形形迹，判定边坡的类型、性质、规模、范围、分条、分级、有可能存在的主滑方向，分析边坡的形成条件、原因及目前的稳定状态和发展趋势。

### 二、物探

物探是用专门的仪器来探测各种地质体物理场的分布情况，对其数据及绘制的曲线进行分析解释，从而划分地层，是判定地质构造、水文地质条件及各种不良地质现象的一种勘察方法。物探具有采样密度大、速度快、成本低、信息量大等特点，使用时受场地、地形条件的限制较少。

复杂的边坡工程地质条件决定了输电线路工程的位置和规模，但边坡上发育的崩塌、坠石等地质灾害和多变的地形地貌条件严重影响了边坡地质工程勘察的安全性、准确性和勘察技术方法的有效性。通过多种物探方法综合探测复杂地质高边坡，对比分析各种方法的测试效果，评价岩体完整程度，有效探测

边坡内发育的岩溶发育带、溶蚀裂隙带以及构造发育带等。但在接地条件较差区域，部分物探方法探测效果不理想，针对不同的地质条件区域，可采用相适应的物探方法，做到“因地制宜”，从而有效节约人力、物力，达到理想效果。

### (一) 高密度电阻率法

高密度电阻率法的理论基础与常规电阻率法相同，所不同的高密度电阻率法是一种阵列勘探方法。野外测量时先将全部电极置于测点上，然后通过程控电极转换器和电测仪进行数据采集。因为电极是一次布置完成、数据采集是程序控制自动进行的，其工作效率较高，而且可以避免因手工操作而容易出现的错误。一次布置完电极后，可以进行多种电极装置的测量，从而获得丰富的地电断面信息，其解释成果也有较高的准确性，其观测系统示意图见图 1-1。

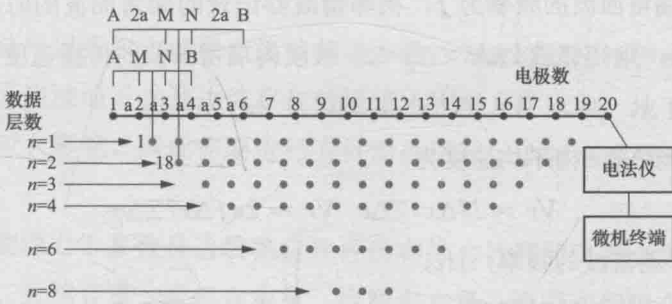


图 1-1 高密度电阻率法斯伦贝谢尔装置观测系统示意图

### (二) 电磁波层析成像

电磁波勘探是基于电磁波在不均匀介质传播过程中电磁波的速度和衰减特性的变化来探测地质异常体的存在及其分布。电磁波在介质中传播的衰减系数  $\alpha$  与电磁波角频率、岩石导电率、岩石磁导率、岩石介电系数等密切相关，因此在实际应用中应根据探测目标体与围岩间的电磁性差异合理选择测试参数。通过分析电磁波在地下介质中的衰减吸收系数变化定量反映地质体介质的组成和结构的变化。通常情况，坚硬、完整的岩体中电磁波衰减低，吸收系数低；而岩体完整性越差，或穿越岩体断裂带、裂隙密集带、溶洞等复杂地质体时电磁波波速低、衰减加剧，表现为高吸收系数异常变化，从而有效反映地质异常带的发育特征及其空间分布等。

### (三) 井间地震波层析成像

井间地震波层析成像的基本思想是根据地震波在地层中的传播规律，利用

曲线积分将地表或井中观测的资料与某些地层参数联系起来，并反演这些参数的过程。它能够提供更精细结构和岩性变化的直观图像，因此，得到国内外地质学家的重视。现行的井间地震波层析成像方法对初始模型依赖性较强，仅适合于简单模型和低对比度异常体成像，且图像分辨率偏低。

#### (四) 瞬态瑞雷面波法

瑞雷面波勘察主要是利用了瑞雷波的特性：瑞雷波在分层介质中的传播时的频散特性和瑞雷波的传播速度与介质物理力学性质的相关性。瞬态瑞雷面波法是通过锤击、落重等震源激发产生一定频率范围的瑞雷波，瑞雷波沿介质表面传播。在地面上沿波的传播方向，以一定的道间距  $\Delta x$  设置  $N+1$  个检波器，就可以检测到瑞雷波在  $N\Delta x$  长度范围内的传播过程。

设瞬态瑞雷面波的频率为  $f$ ，相邻检波器记录的瑞雷面波的时间差为  $\Delta t$  或相位差为  $\Delta\varphi$ ，则相邻道  $2\pi/3 < \Delta\varphi < 2\pi$  长度内瑞雷面波的传播速度为：

$$V_r = \Delta x / \Delta t \quad V_r = 2\pi f \Delta x / \Delta\varphi \quad (1-1)$$

测量范围  $N\Delta x$  内平均速度为：

$$V_r = N\Delta x / \Sigma\Delta t \quad V_r = 2\pi f \Delta x / \Sigma\Delta\varphi \quad (1-2)$$

式中  $f$ ——瑞雷波的频率，Hz；

$\Delta t$ ——瑞雷波的时间差，s；

$\Delta\varphi$ ——瑞雷波的相位差；

$\Delta x$ ——瑞雷波的频道间距，m。

在同一地段测量出一系列频率的  $V_r$  值，就能得到一条  $V_r-f$  曲线，即频散曲线。频散曲线的变化规律与地质条件和岩土介质的性状存在内在的联系，通过对频散曲线的分析解释，可以得到地下一定深度范围内的地质构造情况和不同深度瑞雷波的传播速度。瑞雷波传播速度反映了不同深度岩土介质的物理特性，据此可对岩土的物理性质做出评价。

#### (五) 超声波法（岩芯、岩体）和剪切波法

岩芯测试采用对穿测试法，即将声波发射与接收换能器分别置于岩芯试样的两端，超声波由发射换能器发出穿过岩芯试样后直达接收换能器。孔中岩体超声波采用单孔法测试，将专门的孔内超声探头置于充满水的钻孔中，测试时采用一发双收装置，根据两接收探头之间的距离和初至波到达两探头的时间差，计算出相对应的岩体超声波速度，从而判定岩体完整性程度。

### 三、钻探与挖探

钻探是现在边坡勘察的主要手段，通过钻探能揭露地面地质调查不能查清的地下地质情况，如边坡可能存在的滑体结构、不同地层的厚度、软弱层的分布、滑动带的层数、位置和性状，以及地下水的层数、位置、水位、水量及其变化等。挖探包括坑、槽、井、洞探测，也是钻探的重要补充。对重大而复杂的边坡，在边坡的下部布置探井或探洞取代钻孔，可以更清楚地揭露边坡地层、滑动面（带）和地下水情况，并可做试验取样或作原位滑带土剪切试验。由于其费用高、工期长，只能在重要部位实施，也可结合治理工程一井多用。

### 四、相关试验法

相关试验法可以获取边坡最直接的相关参数，为边坡稳定性评价提供有利的证据。主要有边坡地下水及边坡存在的滑带土物理力学试验。地下水一般对边坡稳定性有较大影响，因此需要进行有针对性的试验，如测定流量、水温、水位等。

滑带土的物理力学参数是边坡稳定性评价和推力计算的重要参数，通常要测定颗粒成分、天然容重、天然含水量、饱和含水量、液限和塑限含水量，以及天然和重塑状态下的抗剪强度等参数。对于特殊土滑坡，如膨胀土和黄土，可采用原位测试技术，如静力触探和旁压试验等确定滑带的位置、强度和侧向抗力系数等。

### 五、边坡勘察方法的组合优选

边坡勘察设计过程中，勘察占用了约 80% 的时间。如果在保证勘察质量的同时加快勘察速度，能为设计和施工争取时间，对减少边坡地质灾害影有重大意义。

#### （一）简单边坡的勘察方法

在边坡规模小、工程地质条件简单、通过地质调绘可以掌握边坡范围、成因、稳定程度等情况时，可以适当减少钻探工作量，或采用实时监测技术结合物探方法，快速查明滑动面的位置、深度等空间形态。

#### （二）复杂边坡的勘察方法

在边坡地质情况复杂、危害严重的状况下，前期可适当减少钻探的数量，

同时辅以地下位移监测方法、物探等方法，多方面来验证边坡滑动面的位置、稳定性情况，若不能详细查明边坡情况时，再作进一步的钻探勘察。具体进行勘察方法组合优选时，在可选的勘察方案较少时，可以通过枚举法直接选取耗时最少的勘察组合。当勘察过程环节较多，直接使用枚举法又较为困难时，可考虑引入系统分析中的非线性规划方法找到最节省时间的勘察方法组合。

### 第三节 边坡岩土力学参数取值

岩土体是在漫长的地质历史过程中形成的，由于各种岩土体的组成矿物不同、成岩过程不同、经手的地质构造和地质营力作用不同，形成的岩土体物理力学性质非常复杂。

在边坡稳定性分析中，岩土体力学参数的选取会对计算结果产生重大影响。边坡加固工程的有关岩土物理力学指标应通过原位测试、室内试验取得。当无试验条件时，可按国家现行标准 GB 50330—2013《建筑边坡工程技术规范》等并结合工程经验确定。

#### 一、力学参数获取方法

(1) 岩体结构面的抗剪强度指标宜根据现场原位试验确定。试验应符合现行国家标准 GB/T 50266—2013《工程岩体试验方法标准》的规定。当无条件进行试验时，对于二、三级边坡工程可按表 1-4 和反算分析等方法综合确定。

表 1-4 结构面抗剪强度指标标准值

结构面类型		结构面结合程度	内摩擦角 $\varphi(^{\circ})$	黏聚力 $c(\text{MPa})$
硬性 结构面	1	结合好	$>35$	$>0.13$
	2	结合一般	$35\sim 27$	$0.13\sim 0.09$
	3	结合差	$27\sim 18$	$0.09\sim 0.05$
软弱 结构面	4	结合很差	$18\sim 12$	$0.05\sim 0.02$
	5	结合极差（泥化层）	根据地区经验确定	

- 注 1. 无经验时取表中的低值。  
 2. 极软岩、软岩取表中较低值。  
 3. 岩体结构面连通性差取表中的高值。  
 4. 岩体结构面浸水时取表中较低值。  
 5. 临时性边坡可取表中高值。  
 6. 表中数值已考虑结构面的时间效应。