

余小年 傅鹤林 罗 强 谭捍华 等著

公路滑坡崩塌地质灾害 预测与控制技术

GONGLU HUAPU BENGTA DIZHI ZAIHAI
YUCE YU KONGZHI JISHU



人民交通出版社
China Communications Press

Gonglu Huapo Bengta Dizhi Zaihai Yuce
公路滑坡崩塌地质灾害预测
yu Kongzhi Jishu
与控制技术

余小年 傅鹤林 罗 强 谭捍华 等著

人民交通出版社

内 容 提 要

本书在多项课题研究及实体工程的实施基础上,通过滑坡现场相似模拟试验、室内崩塌模拟试验,对崩塌的机制及块体理论稳定性,滑坡、崩塌成灾机制与规律等,进行了理论性分析,详细探讨了崩塌潜在危害性,全面总结了公路滑坡、崩塌监测、预测预报及控制技术。

本书可供从事公路工程地质灾害科研人员,公路工程施工人员、管理人员使用,也可作为相关专业研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

公路滑坡崩塌地质灾害预测与控制技术/余小年等著. —北京:人民交通出版社, 2010.7
ISBN 978-7-114-08474-4

I. ①公… II. ①余… III. ①公路路基—滑坡—地质灾害—防治 IV. ①U418.5②P642

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 134126 号

书 名: 公路滑坡崩塌地质灾害预测与控制技术
著 作 者: 余小年 等
责任编辑: 丁润铎 贾秀珍
出版发行: 人民交通出版社
地 址: (100011) 北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号
网 址: <http://www.ccpres.com.cn>
销售电话: (010) 59757969, 59757973
总 经 销: 人民交通出版社发行部
经 销: 各地新华书店
印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司
开 本: 787×1092 1/16
印 张: 26.25
字 数: 659 千
版 次: 2010 年 7 月 第 1 版
印 次: 2010 年 7 月 第 1 次印刷
书 号: ISBN 978-7-114-08474-4
印 数: 0001—2000 册
定 价: 60.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前 言

我国西部地区地质环境复杂,在各种地质营力作用下或地质环境异常变化的情况下,使得西部成为我国地质灾害多发区,崩塌、滑坡、泥石流(即崩滑流)尤为严重。

作为地质灾害主要类型的崩、滑、流,具有突发性强、分布范围广和一定的隐蔽性等特点,对公路交通基础设施危害极大。在地质灾害多发地区修建公路、桥梁或隧道给公路基础设施建设、运营带来严重的威胁,制约了公路交通持续稳定的发展。尽管改革开放以来,我国依靠科技进步和引进先进技术提高了公路勘察设计、施工和运营阶段管理的水平,取得了很多经验,但从西部地区开发公路建设的条件和环境需求来看,还不能适应。如全长 259km 的贵阳至新寨公路,在建设过程中,发现崩塌、滑坡等地质灾害点 210 余处,处理费用高达 3 亿元,并且多处滑坡路段的治理工程成为整条路的“卡脖子”工程,严重影响施工工期。该公路投入运营 3 年,先后多处又发生崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害,造成较大的经济和财产损失。又如贵州已建成的其他高等级公路,包括已通车 12 年的贵黄公路,崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害仍时有发生,地质灾害和大雾、冰冻一样,已经成为高速公路是否关闭的重要影响因素。目前贵州在建的水黄公路、关兴公路、崇遵公路、玉三公路、三凯公路的崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害造成的事故和处置困难,已成为影响公路投资和建设工期的主要因素之一。

随着国家建设战略重点向西部地区转移,将在西部地区新建大量的公路,对环境的改造更加强烈,需对公路地质灾害的地质环境规律、公路构造物与地质环境互馈效应、公路地质灾害评级与预报、公路数字地质灾害预报系统等进行研究。因此,加强公路地质灾害的监测与预报,减轻和防治公路地质灾害是西部地区特别关注的重大研究项目之一。

由于我国高等级公路的修建起步较晚,对公路地质灾害存在一个认识的过程,高速公路的崩塌、滑坡、泥石流灾害问题,不仅出现在勘察设计阶段、施工阶段,而且还会出现在运营阶段。不同阶段,监测预报的内容和方法、模型、判据也有所不同;同一个阶段,因为地质灾害的类型、规模大小、影响因素等的不同,监测预报的内容和方法、模型、判据也各异。由于我国对高速公路崩塌、滑坡、泥石流灾害监测预报的研究工作进行得很少,研究成果十分有限,根本不能满足公路交通持续稳定发展的需要,虽然水利、矿山、国土资源、城建、铁路等部门有一些好的经验,但公路有其自身的特点,如有完整的养护系统;公路线路长;除有路基边坡外,还有桥基边坡、隧道进出口边坡;地质体除受静载作用外,还受循环往复的汽车动载作用;地质体的破坏,除与岩土体强度、水文密切相关外,还受疲劳荷载的影响等。因此,对公路地质灾害的成灾活动规律、监测预报研究更为复杂,需要对公路岩(土)体斜坡在降雨、人为活动诱发下产生的崩塌、滑坡、泥石流灾害的成灾活动规律、监测预报技术进行研究。

为此,交通运输部和湖南省交通运输厅积极开展了地质灾害预测与控制技术研究。通过研究,变被动为主动,即实现公路勘察设计阶段、施工阶段和运营阶段地质灾害的监测预报,进而采取相应措施进行处理,做到有的放矢,既节省大量的人力、物力、财力,又消除地质灾害对高速公路施工阶段和运营阶段管理的安全隐患,同时人机交换,实现监测仪器化,决策科学化。

在此基础上,优化地质灾害整治技术,确保勘察设计阶段设计方案经济合理、施工阶段防治措施安全有效,最终达到行车安全的目的,对于我国公路建设具有深远意义。

本书历时十多年的联合攻关和集成创新,先后依托国家自然科学基金项目、湖南省自然科学基金项目、交通运输部西部项目、人力资源和社会保障部项目、教育部项目、湖南省交通厅项目及一系列具体工程项目,并将研究成果在各实体工程(三凯高速公路、贵新高速公路、郑胜高速公路、贵毕公路、衡炎高速公路、郴州兴旺花园滑坡、郴州金苑阁花园滑坡、岳阳电华能厂灰坝滑坡、郴州烟厂万花冲滑坡)中得到成功推广应用。本书是在完成下面项目及实体工程的基础上,为解决地质灾害预测与控制技术中存在的问题写成的。

(1)国家自然科学基金项目(50878213):基于能量渐进耗散的流固耦合作用下土石混合体滑坡演化机制研究;

(2)湖南省自然科学基金项目:膨胀土路基稳定的分形正交研究;

(3)人力资源和社会保障部海外优秀留学回国人员择优资助项目:膨胀土路基病害整治的固化剂研制;

(4)教育部留学归国人员科研启动基金课题:膨胀土路基病害整治技术研究;

(5)湖南省交通厅课题:衡炎高速公路崩塌、滑坡地质灾害预报与控制技术研究;

(6)交通运输部重点攻关项目:西部地区公路地质灾害监测预报技术研究;

(7)郴州烟厂万花冲宿舍4-7栋西滑坡体加固设计;

(8)石长铁路某膨胀土边坡加固设计;

(9)开元西路护坡检测及评估;

(10)华能岳阳电厂滑坡处理技术研究;

(11)湖南省有色地质勘查局一总队滑坡的鉴定;

(12)铁道部课题:降雨时边坡稳定的分形研究;

(13)郴州兴旺花园滑坡加固设计;

(14)郴州金苑阁花园滑坡加固设计;

(15)长沙市蔡家冲路K1+580~640段滑坡勘察;

(16)张沅公路滑坡加固设计;

(17)四川理县林业局后山滑坡、营盘街小学后山滑坡、薛城中学后山滑坡和看守所崩塌加固设计。

通过项目研究,先后有20多名博士生、硕士生参与课题并完成了相关论文,取得的系列研究成果简述如下。

(1)降雨型滑坡的机理为:降雨使土体的含水率增加,并向坡脚汇集,大大降低了滑面的抗剪强度,同时在静水压力与动水压力作用下,触发了滑坡。开挖诱发滑坡的机理:自然的山体在长期的各种营力作用下保持一定程度的平衡,由于开挖临空,打破了这种平衡,应力随之进行重分布,如果岩体抗滑指标小于应力调整过程中产生的综合效应的致滑指标,加之由于重力的影响,产生了滑坡。

(2)通过对贵州残坡积层研究,在相同地质条件下,开展人工降雨模拟试验和机械开挖模拟试验,揭示了触发因素对滑坡成灾机制和运动规律的影响,为滑坡的时间、空间和强度预报,提供了可靠的理论依据,对指导工程实践具有十分重要的意义。

(3)崩塌的室内试验表明:土质边坡崩塌的发生,主要受到坡度、土质、降雨量的影响。坡度提供了崩塌的能量(势能);土质决定土体的强度、渗透系数、孔隙率,从而影响土体的孔隙水压力;降雨量是触发因子,一般情况下,其大小决定崩塌的规模和起崩数量。

(4)岩石边坡的崩塌,是应力释放和摩擦运动的过程,并伴随着声音。其能率(大事件频次)的大小与岩体所处的状态有关。能率大,大事件频次多,发生崩塌的概率大。

(5)声发射仪应用于岩质滑坡、崩塌监测,具有直观有效、快捷等特点。岩体结构面声发射事件、能率随时间变化的曲线可以分为4种类型,即上升型、单峰型、双峰型、多峰型。这4种曲线类型分别反映了不同岩体结构面变形或破坏时的声发射规律,可以指导崩塌现场声发射监测工作,作为崩塌预报的依据。

(6)通过野外判识,属于稳定状态的边坡可不监测,基本稳定状态的边坡宜进行地表巡视,潜在不稳定状态边坡和不稳定状态边坡应进行专业监测。通过计算,确定滑坡、崩塌的稳定性系数 K 。若 $K < 0.95$,应重点跟踪监测; $0.95 \leq K \leq 1.05$,应加强监测; $1.05 < K \leq 1.25$,应进行地表巡视; $K > 1.25$,可不监测。

(7)开发了自动监测系统,数据采集仪自动采集监测仪器传感器的数据之后,存储于数采仪的存储单元内,数采仪与DTU传输单元连接后,借助于GSM卡GPRS功能,将存储单元内的监测数据通过Internet网络远程传输到数据处理中心并存入计算机内,实现了实时监控的目的。

(8)总结提出了模型与判据确立的原则:应结合实际地质环境条件、主要触发因素、变形破坏机制、变形破坏阶段进行综合研究,进行多模型、多判据预报,并综合分析选择建立适宜的、有效的监测预报模型,不应单一地采用理论预报模型进行预测预报;提出了获得判据的方法为相似模拟试验和工程类比分析法。

(9)以实际滑坡的监测数据为依据,对多种模型的预报精度进行检验分析,总结了其优缺点和适用条件。

(10)提出了公路地质灾害监测预报机构的建设方案、预警系统实施要则和信息反馈机制。为了避免地质灾害的危害,必须在管理方面保证地质灾害监测预报系统有效高效地运行,真正做到“统一部署、集中管理、提高实效、确保安全”。

(11)提出了公路建设各阶段的运行模式:在勘察设计阶段,应采用监测技术,准确、快速地查明滑坡的特征和性质,为灾害治理设计提供可靠的基础资料,保证方案的经济合理,避免盲目性;在施工阶段,由业主、设计单位、监理单位、施工单位等联合组成“××公路地质灾害工作组”,明确各自职责,负责该公路建设期间的地质灾害排查、咨询、宣传、预警、应急处理和抢险勘察设计工作;在运营阶段,主要依托“公路地质灾害预测预报信息管理系统”,将野外调查、巡查获得的资料及勘察设计阶段、施工阶段相关资料按格式要求录入管理系统,并通过设计院(专业监测单位)将公路边坡划分为“一般边坡”和“重点边坡”两类。对“重点边坡”进行专业监测,对“一般边坡”则以群防群测为主,当“一般边坡”情况恶化,则上升为“重点边坡”,并进行相应的管理和专业监测。

(12)通过板岩的水理机理研究,揭示了板岩开挖后崩裂、失稳的力学特性,为板岩边坡的失稳预测与控制奠定了技术基础。

本书由余小年、傅鹤林、罗强等共同完成编写,引用了余小年、傅鹤林、罗强、龙万学、谭捍华、

周勇、赵杰华等的科研课题的部分研究成果,引用了傅鹤林所指导的博士研究生和硕士研究生董辉、周中、田卿燕、李昌友、周宁、郭建峰、张卫国、卜翠松、陈芬、聂春龙的学位论文的部分研究成果。硕士生谭鑫、吴小策等在文稿整理过程中进行了校对、绘图、打印工作。该书在完成过程中得到了国家自然科学基金委、交通运输部西部项目管理中心、教育部、铁道部、湖南省交通运输厅、湖南省高速公路管理局、贵州省交通运输厅、贵州省交通规划勘察设计院、湖南省自然科学基金委员会、中南大学及其他合作单位的悉心指导与大力支持,并得到了衡炎高速公路、郑胜高速公路、三凯高速公路等项目公司及施工单位的大力配合;第三章引用了徐永年、匡尚富等《边坡形状与崩塌的关系》一文的部分内容,在此一并感谢!

随着公路建设的飞速发展,地质灾害问题的研究也日新月异,地质灾害涉及面广、内容丰富、技术深奥、发展迅速,加之作者水平有限,书中难免有不当之处,热忱期待各界同仁批评指正。

作 者

2010 年 4 月

目 录

1 国内外研究概况	1
2 滑坡现场相似模拟试验	3
2.1 试验目的及意义	3
2.2 模拟试验场地	3
2.3 人工降雨触发滑坡的现场模拟试验	5
2.4 机械开挖诱发滑坡的现场模拟试验	39
2.5 主要结论	49
3 崩塌的机制及块体理论稳定性分析	50
3.1 崩塌地质灾害的产生机制	50
3.2 滑移式崩塌块体理论的稳定性分析	59
3.3 潜在崩塌体稳定性检算	68
3.4 本章小结	71
4 崩塌潜在危害性预测	72
4.1 引言	72
4.2 崩塌潜在危害性预测的研究方法	72
4.3 落石的运动方程及参数确定	73
4.4 本章小结	78
5 室内试验	79
5.1 室内崩塌模拟试验结论	79
5.2 室内声发射试验	79
5.3 现场岩石声发射特征实验	83
5.4 主要结论	84
6 滑坡、崩塌成灾机制与规律	85
6.1 发育特征	85
6.2 公路地质灾害的形成条件	86
6.3 主要结论	87
7 地质基础	88
7.1 滑坡、崩塌监测预报地质工作	88
7.2 公路滑坡、崩塌的稳定性评价	89
7.3 主要结论	91
8 公路滑坡、崩塌监测技术	92
8.1 边坡信息化监测概述	92
8.2 主要监测仪器	95
8.3 常用监测方法	104

8.4	综合监测网点的布置	111
8.5	监测时限和频率	113
8.6	深层位移曲线的类型及分析	114
8.7	边坡自动化监测系统研究	116
8.8	群测群防监测系统	120
8.9	TDR 监测系统研究	121
8.10	主要结论	150
9	公路滑坡、崩塌预测预报技术	151
9.1	预测预报的基本问题	151
9.2	滑坡、崩塌预测预报理论与方法	163
9.3	崩塌灰色—突变理论预测预报	174
9.4	监测数据处理程序研究	182
10	公路各阶段滑坡、崩塌监测预报	192
10.1	勘察设计阶段滑坡、崩塌监测与预测	192
10.2	施工阶段滑坡、崩塌监测与预测预报	193
10.3	运营阶段滑坡、崩塌监测与预测预报	195
10.4	主要结论	198
11	依托工程应用	199
11.1	牟珠洞滑坡监测预报	199
11.2	沙坪Ⅲ号滑坡监测预报	209
11.3	平溪特大桥滑坡监测预报	217
11.4	晴隆滑坡监测预报技术研究	256
11.5	永宁滑坡监测预报	302
11.6	贵毕公路 K79+380~K79+500 右边坡崩塌监测与预测分析	313
11.7	普安堂崩塌监测与预测分析	316
11.8	自动监测系统在衡炎三标依托工程中的应用及其实现过程	319
11.9	四标段崩塌滑坡地质灾害预测与控制	381
11.10	板岩的水理机理试验	398
11.11	主要结论	403
12	社会经济效益	405
13	结论	407
	参考文献	409

1 国内外研究概况

19 世纪 80 年代,瑞士就开始了滑坡地表位移的长期监测工作,主要是为了掌握滑坡的动态规律,1953 年在瑞士召开的第三届国际土力学和基础工程会议上,提出的许多关于滑坡与边坡稳定的报告,差不多都是以长期观测为题材。自 20 世纪 60 年代以来,以美国为代表开展了以防灾减灾为主要目的的地质灾害监测预报技术研究。通过对滑坡、泥石流等 10 种自然灾害的研究工作,使减灾工作提高到前所未有的高度。美国、西欧等国家采用遥感、GPS 卫星定位技术、气象雷达及微振技术等监测手段,通过自动记录、储存、计算机处理和信息远程传输,实现对滑坡、泥石流等地质灾害的实时监测及预报。

滑坡、崩塌作为一种自然地质灾害,常常会造成巨大的生命财产损失,其危害性已经成为仅次于地震的第二大自然灾害。而滑坡、崩塌之所以往往给人类造成严重损失,究其原因人们难以事先准确知道其发生的地点、时间、强度和影响,也就预先难以防范。所以对于滑坡、崩塌灾害,重在预测。自 20 世纪 60 年代以来,滑坡、崩塌的预测预报问题越来越受到人们的重视。它包括空间预报和时间预报两个方面。空间预报是确定不稳定边坡所在位置,时间预报是在空间预报的基础上确定滑坡、崩塌可能发生的时间。由于滑坡、崩塌问题的复杂性,滑坡、崩塌时间预报至今还是一个世界性的难题。几十年来,国内外岩土界的专家学者在滑坡、崩塌预报的理论研究和实际工作方面都做了大量的工作,取得了显著的成绩,经历了 20 世纪 60~70 年代现象预报和经验式预报、20 世纪 80 年代的位移—时间统计分析预报及 20 世纪 90 年代以后的现代科技全新预报的历程。

滑坡、崩塌预报是建立在预测科学和滑坡学的基本理论基础上的。预测科学把事物的过去、现在和将来看成一个连续的、不断发展变化的辩证统一体,从客观事物的过去和现在的已知信息中,分析和研究预测规律,从而利用预测规律进行科学预测。预测科学的发展为滑坡预报提供了理论基础、技术方法及手段。滑坡学研究了滑坡孕育、发展、变形破坏的过程、规律及其影响因素等,为滑坡预报提供了专业理论基础,并为滑坡预报信息的收集、预报模型的建立和应用提供了充足的依据。

1) 人工降雨触发滑坡的研究方面

为了研究降雨诱发滑坡的机理和过程,国内外研究者相继开展了一些现场斜坡人工降雨试验。20 世纪 90 年代,Lim 等在新加坡南洋理工大学校园内进行了残积土斜坡人工降雨试验,获得了土中基质吸力变化过程的详细资料,并对比了有无植被保护及人工防渗盖布的影响。

张家发在强风化花岗岩斜坡上进行了人工降雨入渗试验。

21 世纪以来,长江科学院包承钢教授等与香港科技大学吴宏伟博士等合作,在湖北枣阳一处膨胀土渠坡对其在人工降雨前后性状的变化过程开展了长期监测,仪器埋设考虑周到,测试研究成果丰富。

中科院武汉岩土所陈善雄等,在湖北襄荆高速公路膨胀土路堑边坡试验段,开展了人工降雨诱发滑坡试验,用数码相机记录了降雨诱发土坡浅层滑动的过程。

胡明鉴等在研究云南东川蒋家沟滑坡泥石流形成机理时,进行了现场砾质土斜坡人工降雨试验,发现试验条件下有明显的滑坡与泥石流共生现象。

国内一些高等院校和科研单位,对开展人工降雨试验的文献有所报道,但研究的主要目的并不是降雨诱发滑坡的机理和过程。

2)机械开挖触发滑坡的研究方面

到目前为止,国内外有关机械开挖试验的文献报道很少,这也反映了这种试验困难较大。1993年,成都理工大学黄润秋等进行过机械开挖试验的一些理论探讨。

20世纪70年代以前,我国的地质灾害研究,主要局限于对灾害分布规律、形成机理、趋势预测等方面的分析,基本属于水文地质工程地质学科的范畴。70年代以后,地质灾害已涉及国土资源、铁路、水利水电、矿山、公路、城建等多个领域。为了减少地质灾害造成经济损失,我国各部门都开展了广泛研究,在地质灾害的基础理论、勘察技术、评估技术、监测预报技术以及地质灾害预防整治技术等方面,取得了一系列的研究成果。

2 滑坡现场相似模拟试验

2.1 试验目的及意义

滑坡、崩塌预报是一个非常复杂的过程,要实现准确预报,监测数据的准确性和代表性、预报模型及理论、成灾的内在机制与规律三个方面尤其重要。

为此,我们在镇宁至胜境关高速公路晴隆滑坡体上,开展了人工降雨和机械开挖致滑的现场模拟试验,对西部地区有代表性的残坡积层滑坡机制与规律进行了系统的对比研究。其意义如下:

- (1)该判据直接应用于该滑坡的预报实践工程中,确保了滑坡设计的合理性和施工安全。
- (2)判据可供其他类似滑坡参考使用。
- (3)本次试验,证明了在滑坡监测预报中,通过现场相似模拟试验获得滑坡判据是可行的、必要的,为工程实践和推广应用提供了示范。
- (4)研究在降雨、开挖条件下滑坡的机理。
- (5)通过监测获得滑动面的空间形态,从而可以准确推算出滑面的抗剪强度指标,直接应用于该滑坡设计。

2.2 模拟试验场地

2.2.1 工程概况

贵州省镇宁至胜境关高速公路是国家高速公路网上海至瑞丽高速公路中的一段,全长198km,于2003年开工建设。试验区地貌及开展情况见图2.2-1和图2.2-2。



图 2.2-1 试验区地貌



图 2.2-2 试验区开展情况

2.2.2 地质概况

人工降雨试验、机械开挖试验的场地均选在镇胜公路第十八合同段 YK85+650~+690

段(晴隆滑坡),两者相距约 10m(图 2.2-3)。为了工程和研究的需要,首先进行了详细的工程地质勘察(其物理力学性质指标见表 2.2-1),并取样进行渗透性能试验的研究,在此基础上开展相关试验研究工作。

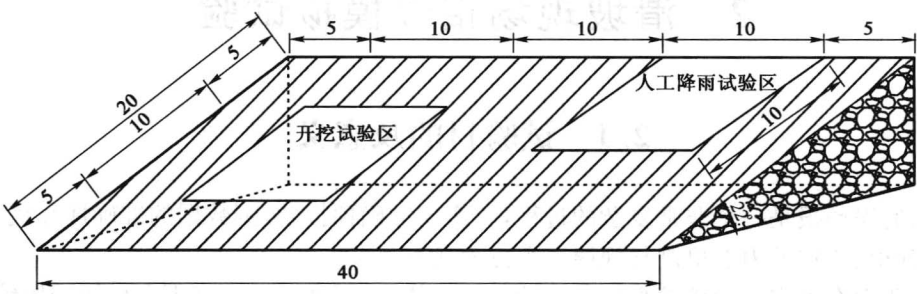


图 2.2-3 现场试验布置图(尺寸单位:m)

基本物理力学性质指标 表 2.2-1

试验内容	含水率 w (%)	湿密度 ρ (g/cm ³)	干密度 ρ_d (g/cm ³)	饱和度 S_r (%)	孔隙比 e	液限 w_L (%)	塑限 w_p (%)	液性指数 I_L
指标	21	1.73	1.43	62	0.94	58.2	28.5	-0.02
试验内容	塑性指数 I_P	渗透系数 K (cm/s)	最优含水率 w_{CP} (%)	最大干密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)	比重 G_s (kN/m ³)	凝聚力 c (kPa)	内摩擦角 φ (°)	压缩模量 E_s (kPa)
指标	29.7	4.2×10^{-3}	18	1.73	2.78	6.5	25.5	19 800

试验区即为高速公路路基通过的区域,上覆地层主要为第四系残坡积层(Q^{dl+el}),厚 10~30m、平均 20m 深的碎石土层,局部夹亚黏土,结构松散、稍湿。基岩为上二迭系龙潭组(P_{2l})煤系地层,由泥质粉砂岩、炭质泥岩、粉砂质泥岩组成。试验区位于一山体中部,水文地质条件简单,主要靠大气降水补给,受季节影响较大。试验区内地下水主要为基岩裂隙水,地下水埋藏较深。勘察期间,钻孔内未见地下水。试验区工程地质剖面见图 2.2-4。

取样颗粒分析试验共做 15 组,平均级配的特征值为:黏粒($<0.005mm$)含量为 0.95%,粉粒($0.05\sim0.005mm$)含量为 8.88%,砾石($>5mm$)含量为 47.49%。不均匀系数 C_u 为 12.31,说明土样中包含的粒径级数较多,粗细粒径之间差别较大,颗粒级配曲线的曲率系数 C_c 为 1.59,级配优良。可以看出,该土料含砾量高,黏粒含量低,渗透系数偏大,塑性较差。

试验区地形见图 2.2-5。

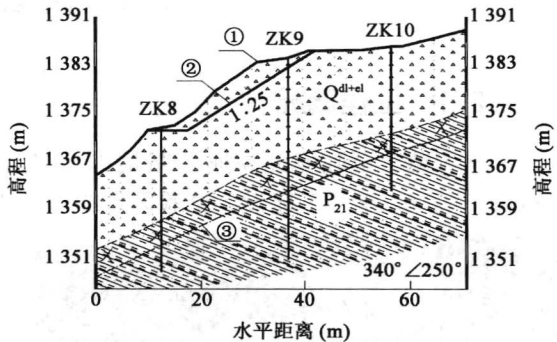


图 2.2-4 试验区工程地质剖面图

①-原地面线;②-刷坡后的地面线(试验区);③-强风化带
下限; Q^{dl+el} -第四系残坡积层; P_{2l} -上二迭系龙潭组煤系地层

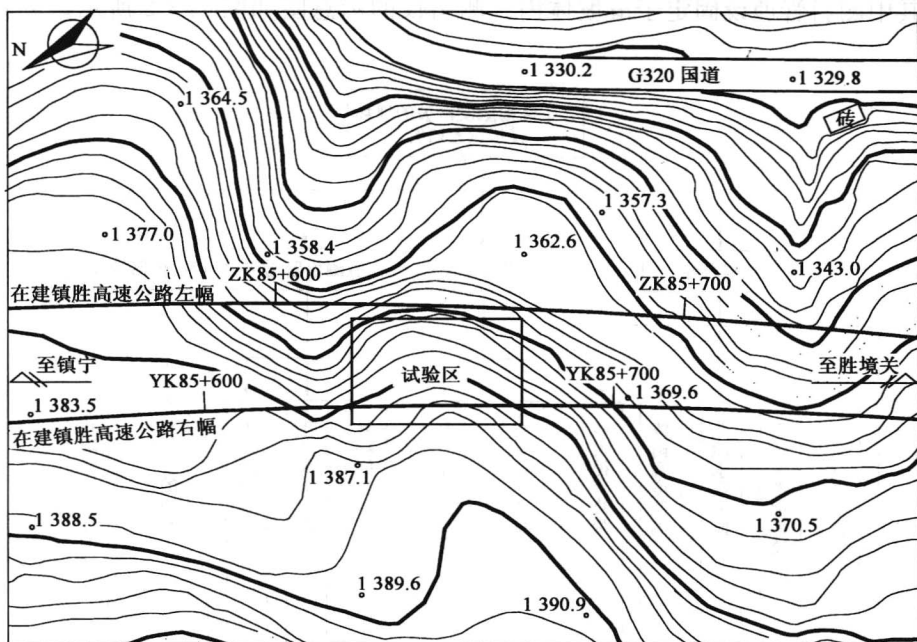


图 2.2-5 试验区地形图(高程单位:m)

2.3 人工降雨触发滑坡的现场模拟试验

2.3.1 目的

- (1) 获得在降雨情况下,边坡滑动的 V_{cr} (判据)值。
- (2) 通过准确的滑动面反演滑坡 c 、 φ 值。
- (3) 在静水压力与动水压力的共同作用下,获得边坡的稳定系数。
- (4) 为依托工程设计提供依据。
- (5) 为课题的监测预报技术研究提供依据。

2.3.2 实施过程和内容

监测内容包括:坡面裂隙监测、土体深部位移监测、孔隙水压力监测、降雨强度及地表径流五项,其实施过程和内容见图 2.3-1。

2.3.3 监测方法及仪器

1) 坡面裂隙监测

坡面裂缝测量采用简单的测量方法,在进行地表巡视时,采用钢卷尺对滑坡体主要裂缝宽度进行测量。

2) 坡体深部位移监测

坡体深部位移采用测斜仪进行监测。测斜装置由测斜管、测斜仪、数字式测读仪三部

分组成,其中测斜管埋设固定于滑坡体内。测斜仪的示意图如图 2. 3-2 所示。测斜原理见 8. 2. 2 节。

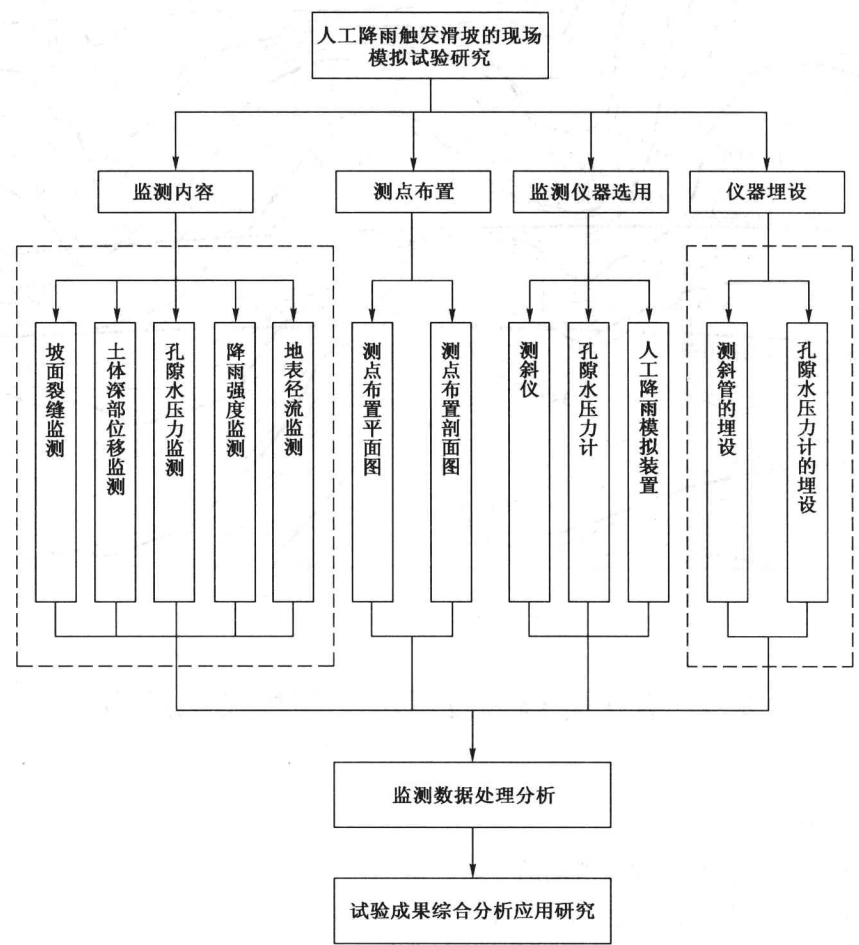


图 2. 3-1 实施过程和内容

3) 孔隙水压力监测

孔隙水压力由孔隙水压力计进行监测(图 2. 3-3)。孔隙水压力探头分为钢弦式、电阻式和气动式三种类型,探头由金属壳体和透水石组成。孔隙水压力计的工作原理是把多孔元件(如透水石)放置在土中,使土中水连续通过元件的孔隙(透水后),把土体颗粒隔离在元件外面而只让水进入有感应膜的容器内,再测量容器中的水压力,即可测出孔隙压力。孔隙水压力计的量程应根据埋置位置的深度、孔隙水压力变化幅度等确定埋设孔隙水压力计的量程。

土体的孔隙水压力传感器 KYJ—30 型振弦式孔隙水压力计,其量程是 0~200kPa。同时配置 ZXY—2 型振弦频率测定仪一台,测量范围:频率 $f=500\sim5\,000\text{Hz}$,频率模数显示值 $F=f^2\times10^{-3}$;测量精度 $\pm0.008\text{Hz}$,分辨率 $\pm0.1\text{Hz}$;灵敏度:接受信号 $\geq300\mu\text{V}$,持续时间 $\geq500\text{ms}$,连续振荡的工作方式,功耗极小,使用简便。

本次测试采用振弦式孔隙水压力计,在微幅振动下,钢弦的自振频率与应力之间的关系为:

$$f = \sigma^{1/2} / (2L \times \rho^{1/2}) \tag{2. 3-1}$$

式中: L ——弦的振动部分的长度,cm;

σ ——弦所受的力,MPa;

ρ ——弦材料的质量密度。



图 2.3-2 测斜仪



图 2.3-3 孔隙水压力计

当压力计受压后,钢弦的自振频率会发生相应变化,频率的平方与力是线性关系。每个压力计出厂时,都附有可靠的力—频率标定数据,根据标定数据用最小二乘法整理出如下算式:

$$P_i = k(f_0^2 - f_i^2 - b) \quad (2.3-2)$$

式中: P_i ——第 i 次测量的孔隙水压力, $i=1,2,3\cdots$;

f_0 ——初始频率;

f_i ——实测频率;

b ——截距;

k ——孔隙水压力计系数。

如果压力计的零点频率发生了漂移,计算后应把漂移后的零点频率作为 f_0 直接代入上式。

4) 降雨强度及地表径流监测

试验区内总的降雨量由人工降雨模拟装置主供水管上的流量表记录,再将每单位时段的降雨量除以试验区面积 100m^2 ,即可求出单位时段的降雨强度。地表径流由试验区下方的集水渠收集到集水槽中,再由水泵回收到试验区上方的蓄水池内。单位时段的地表径流量由与水泵相连的流量表量测。

2.3.4 测点布置

1) 测点布置平面图

试验区面积为 $10\text{m} \times 10\text{m}$,坡比为 $1:2.5$,如图 2.3-4 所示。试验区的上左右三面开挖宽 0.3m ,深 0.5m 的隔离带,并用宽 1.5m 的白铁皮将试验区与周围土体隔离,以免雨水渗入周围土体。白铁皮压入土中,坡面上留 5cm 高。试验区的下部修建宽 0.5m ,深 1m 的集水渠,并引出可能的滑动区域外与集水槽相连。集水渠

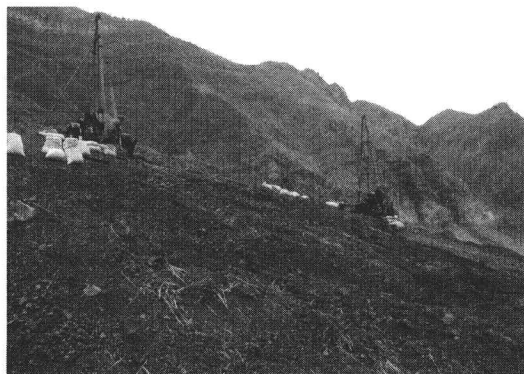


图 2.3-4 试验区钻孔

除靠近坡体的一面外,其余各面采用水泥护面,以免雨水的流失。集水槽为长宽各 1m,深 1.5m 的方形槽。为防止雨水的渗漏,集水槽需用水泥护壁。试验区附近选一合适位置开挖一个 5m×4m,深 2m 的蓄水池,先用砖砌,并用水泥护壁。

本试验区总共安装了 12 个孔隙水压力计,3 个测斜管及 1 个简易降雨量观测装置。试验区一共钻孔 9 个,其中 3 个钻孔安装测斜管,6 个钻孔安装孔隙水压力。测斜管和测水管的埋深为 8m。L1 列孔隙水压力测孔的深度为 4m,孔隙水压力探头的埋深为 1m 和 3m。L3 列孔隙水压力测孔的深度为 5m,孔隙水压力探头的埋深为 2m 和 4m,埋设仪器后的试验区坡面见图 2.3-5。图 2.3-6 为监测点平面布置图。测斜孔编号从坡顶到坡脚依次为 ZK7、ZK8、ZK9, R1、R2、R3 横断面处孔隙水压力的编号依次为 A、B、C,埋深为 1m、2m、3m、4m 的孔隙水压力计分别编为 A1、A2、A3、A4。

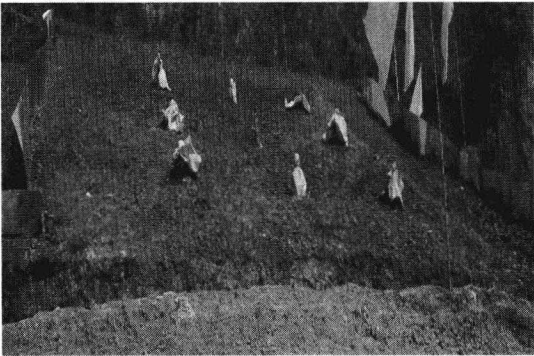


图 2.3-5 埋设仪器后的试验区

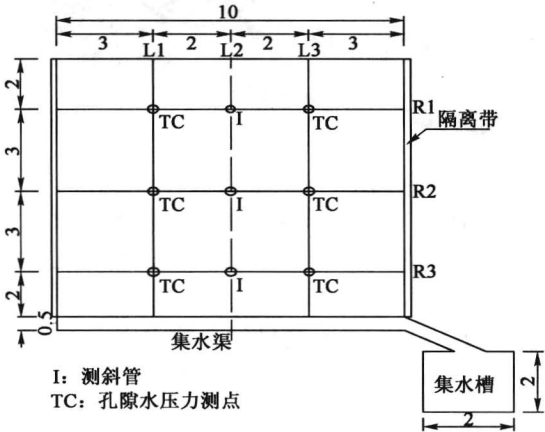


图 2.3-6 监测点平面布置图(尺寸单位:m)

2)测点布置剖面图

L1 列的纵断面图和 R1 行的横断面图分别如图 2.3-7 和图 2.3-8 所示。

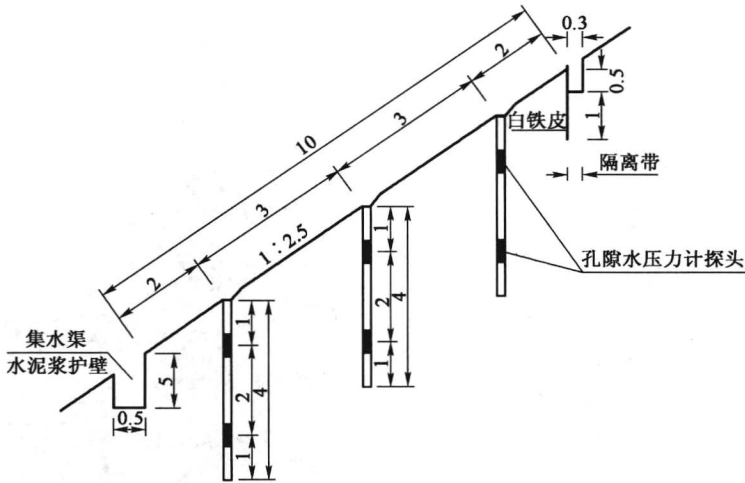


图 2.3-7 纵断面 L1 测点布置图(尺寸单位:m)