

“十三五”国家重点图书出版规划项目

DAXING FUZA HUAPU
HE GAOBIANPO BIANXING POHUAI FANGZHI
LILUN YU SHIJIAN

大型复杂滑坡 和高边坡变形破坏防治 理论与实践

王恭先 马惠民 王红兵 编著



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

大型复杂滑坡和高边坡变形 破坏防治理论与实践

王恭先 马惠民 王红兵 编著



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书分上、下两篇：上篇论述大型复杂滑坡的特点和危害，以及勘察和稳定性评价方法、预防与治理滑坡的各种方法及其合理组合；下篇论述高边坡的各种变形类型、危害及其产生的条件和原因，判定边坡的破坏类型、破坏模式和范围，评价预测高边坡的稳定性，并提出了高边坡的设计原则和方法。书中列举了多个工程实例。

本书可作为公路、铁路等工程建设和地质灾害防治领域的工程技术人员、科研人员的常备参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

大型复杂滑坡和高边坡变形破坏防治理论与实践 /
王恭先, 马惠民, 王红兵编著. ——北京: 人民交通出版社
股份有限公司, 2016. 6

ISBN 978-7-114-12858-5

I. ①大… II. ①王… ②马… ③王… III. ①滑坡—
灾害防治—研究②边坡—抗变形—研究 IV. ①P642.22
②U416.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 045362 号

书 名: 大型复杂滑坡和高边坡变形破坏防治理论与实践

著 者: 王恭先 马惠民 王红兵

责任编辑: 吴有铭 李 农 丁 遥

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

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) 59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京盛通印刷股份有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 21.25

字 数: 430 千

版 次: 2016 年 6 月 第 1 版

印 次: 2016 年 6 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-12858-5

定 价: 98.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书, 由本公司负责调换)

序

PREFACE

中国工程院
院士
别颖人

三十多年来我国国民经济和各项建设快速发展，取得了令世人瞩目的成就，南水北调中线工程通水，高速铁路通车里程达 1.9 万 km，高速公路通车里程达 12 万 km，令人振奋！

由于我国 70% 的地区为山区，地形地质条件十分复杂，在山区基础设施建设中，特别是西部大开发中，遇到了许多规模巨大、性质复杂的滑坡与高边坡的变形破坏现象，治理这些病害增加了大量投资，如北京戒台寺滑坡破坏千年古寺，花费 6 400 万元进行治理，攀枝花机场滑坡和福建省永武高速公路箭丰尾滑坡均花费了 2.0 亿元进行治理，损失巨大，引起各级领导和技术人员的重视。

本书作者及其中铁西北科学研究院有限公司的同事们 50 多年来一直从事大型复杂滑坡和高边坡的研究、评价、勘察、设计和治理工作，成功地治理了许多大型复杂滑坡和高边坡变形，积累了丰富的实践经验。本书分析了病害多发的原因，从理论与实践的结合上介绍了大型复杂滑坡和高边坡的结构特点，如大型滑坡的分条、分级和分层及其调查、勘探和监测方法，工程地质定性与力学定量计算有机结合的稳定性评价方法。特别介绍了滑带土的抗剪强度变化特点和参数分段选择的方法。在防治方案的选择上，介绍了各种工程措施的适用条件，特别强调排水工程的重要性，及采用综合措施多方案比选的必要性。

本书的突出特点是实例较多，有成功的经验，有失败的教训，实用性和可操作性强，可供年轻防灾技术人员学习参考，我特为之作序。

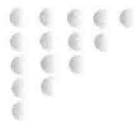
中国工程院院士

别颖人

2016 年 1 月

前言

FOREWORD



改革开放以来,我国国民经济和各项建设事业飞速发展,取得了令世人瞩目的成就。随着经济的发展,大量基础设施如铁路、公路、机场、矿山和水利工程等进入山区和丘陵地区,山区城镇化建设飞速发展,挖山填沟已难以避免。由于我国约70%的国土为山区,地质结构复杂,地质环境脆弱,不科学的人类工程活动造成了许多老滑坡的复活,产生了大量工程滑坡和高边坡的变形与破坏,特别是那些大型复杂的滑坡,规模大,危害严重,治理费用昂贵,不仅增加工程投资,延误建设工期,而且造成了较大的社会影响。如南宁至昆明铁路选线时漏判了八渡老滑坡,通车前夕在南盘江大洪水冲刷和施工影响下老滑坡复活,做了两条泄水洞和113根抗滑桩进行治理,花费9000余万元。川藏公路二郎山K2730滑坡错断公路,严重威胁行车安全,治理花费6000余万元。北京市门头沟区戒台寺因山下采煤塌陷造成顺倾的砂泥岩山坡牵引式蠕滑开裂,使1400年的古寺建筑物严重变形,仅保寺庙治理费用即达6400万元。2011年5月在暴雨作用下刚通车的福建省永安至武平高速公路长、宽各500m的箭丰尾滑坡复活,破坏已有抗滑桩和锚索框架,路面上鼓30~50cm,施作两条泄水洞和两排抗滑桩进行治理,费用高达1.6亿元,若包括被破坏工程的投资,总费用达2.0亿元,成为迄今为止我国公路滑坡治理费用之最。四川省攀枝花机场受地形限制选址在一砂泥岩顺倾山坡上,填方边坡高达80~100m,施工中就发生多起滑坡,修建了许多抗滑桩和抗滑键进行治理,2003年通航,2009年10月第12号高填方滑坡再次滑动,滑坡沿跑道宽400m、长300余米,后壁高40~60m,体积达 $260 \times 10^4 \text{ m}^3$,治理费用达2.0亿元。

山区工程建设中挖山填沟,高边坡数量越来越多,高度越来越大,在施工过程中及运营后发生高边坡失稳变形的事例也越来越多,导致增加投资,延误工期,破坏环境,造成不良社会影响。如云南省的小湾电站和四川省的锦屏电站边坡高达400~500m,做了大量加固工程。云南省元江至磨黑高速公路长147km,有高边坡300余处,其中高于100m的60余处,施工中发生变形的130余处,治理高边坡变形和滑坡增加投资6亿多元。京珠高速公路粤北段治理高边坡变形和滑坡增加投资8亿多元。近年来山区高速公路建设中虽加强了高边坡的勘察和设计工作,但仍未摆脱被动局面。在山区城镇建设中也时有发生高边坡失稳事故,如

2009年兰州市的峡口黄土边坡滑坡曾推倒居民楼,造成人员伤亡。重庆市涪陵五中后山曾因道路开挖切断砂泥岩顺层斜坡造成山坡滑动,威胁居民和楼房安全。2013年2月贵州省凯里市高约200m的石灰岩陡崖因坡脚煤层被开采造成约 $10 \times 10^4 \text{ m}^3$ 石灰岩大崩塌,堵塞河道并造成人员伤亡,两个月后其附近又发生同样性质的大崩塌,迫使即将开工的高速公路隧道和桥梁改移,增加投资数亿元。

大型复杂滑坡和高边坡变形破坏已严重制约了国民经济的发展,影响生态文明建设。总结以往的经验,我们认为出现上述问题的主要原因是:

(1)前期地质勘察工作不足,未能事先认识和避开大型复杂滑坡和容易发生滑坡的地段,致使施工开挖后老滑坡复活或新生滑坡,不得不重新勘察,花巨资进行治理。

(2)未能充分认识对滑坡和高边坡变形破坏起控制作用的地质条件,调查和勘探未查明大型滑坡和高边坡的坡体结构特征及其与老滑坡复活和新生滑坡的关系,如大型复杂老滑坡的分条、分级、分层及其形成原因和过程。有的勘察漏判了深层滑面,致使支挡工程“坐船”而失效。对高边坡未提出其坡体结构和破坏模式,设计地质依据不足,缺乏针对性,造成治理工程失败,如有的抗滑桩被推歪、推倒或被剪断,锚索框架被破坏等。

(3)大型复杂滑坡和高边坡的稳定性评价方法不完善。应该将工程地质宏观定性评价与力学平衡计算定量评价有机结合,前者为后者提供计算范围、滑面层数和位置以及计算参数,后者计算不同工况下的稳定系数和支挡工程处的滑坡推力。但限于地质工作的深度和认识不足,常常只侧重于力学计算,在力学计算中仅关注滑带土强度参数——黏聚力 c 和内摩擦角 φ ,未考虑大型复杂滑坡的滑面长数百米,各段滑带土的物质组成和含水状态不同,取平均值是不符合实际的。老滑坡的滑带土已被破坏,峰值强度已不存在,只应在重塑土峰值强度与残余强度之间取值。取值不当往往造成设计失误。

(4)治理方案重支挡、轻排水,特别是地下排水,设计缺乏针对性,致使治理工程失败。如重庆市渝黔高速公路向家坡滑坡做了4排桩而无地下排水措施,通车后桩再次变形,不得不封闭道路再作勘察和治理。在做了截水隧洞后,一排桩稳定了滑坡。又如攀枝花机场高填土滑坡做了一排抗滑桩、两排抗滑键但无地下排水措施,通航6年后滑坡再次滑动。

(5)施工季节和施工方法选择不科学,管理不严格,也是造成滑坡和高边坡变形的原因。如雨季大开挖施工,大量雨水渗入坡体造成滑坡滑动,高边坡开挖后不及时支挡和防护造成失稳变形等。

前车之鉴,后事之师。我们应科学、有效地预防和治理地质灾害,最大限度地减少灾害损失,为国民经济发展做出贡献。

诚然,我国各部门已成功地防治了数以千计的滑坡,保证了建设的顺利进行,在预防滑坡和高边坡变形方面也有成功的经验。如长江三峡库岸滑坡的预防性加固;宝鸡至天水铁路二线勘察中加深了地质工作,同样在渭河大断裂带内,但避开了不良地质地段,通车以来未因滑坡而中断行车;再如云南省保山至龙陵高速公路穿过怒江断裂带,地形地质条件异常复杂,全线有48个滑坡,100余处高边坡,最高边坡达105m,由于省交通厅、项目部和设计院高度重视,工程一开始就引进有经验的单位和专家进行跟踪调查咨询,加深地质工作,贯彻“动态设计、信息化施工”原则,查清已有的和潜在的滑坡,根据每个边坡的实际地质条件调整加固设计,结果通车7年来未发生一处滑坡和高边坡变形,预加固大大节约了投

资，使整个工程未超过预算投资，受到好评。这表明只要认真做好工作，滑坡和高边坡变形是可以预防的。

虽然在大型复杂滑坡和高边坡变形防治方面取得了一些成绩，也有一些工点防治经验的总结，但由于地质结构的复杂性和地域性特点，作用因素的多样性和变形机理的复杂性，至今还缺少全面系统地研究、分析、论证大型复杂滑坡和高边坡变形的勘察、评价方法和有效防治技术的专著，用以指导灾害的防治和减少灾害损失。

作者与中铁西北科学研究院有限公司（简称“中铁西北院”）老、中、青几代科技人员50多年来一直从事滑坡与高边坡变形的机理和防治技术研究、大型复杂滑坡的勘察设计和高边坡的稳定性评价与加固治理工作，理论紧密联系实际，地质与岩土工程有机结合，成功治理了数以百计的各种类型的滑坡和高边坡变形，积累了较丰富的实践经验。撰写本书的目的是针对以上提到的问题，从众多实例中总结经验并吸取教训，从理论与实践结合的角度提出如何认识老滑坡和新生滑坡的坡体结构，如何正确进行滑坡与高边坡的调查、勘探、试验、分析及正确评价滑坡与高边坡的稳定性，如何针对具体滑坡和高边坡的地质条件、作用因素、危害对象的不同，提出有针对性的预防和治理方案。希望本书能对从事灾害防治工作的年轻技术人员有所帮助，提高我国灾害防治能力。

本书分上、下两篇：上篇论述了大型复杂滑坡的特点和危害，以及勘察和稳定性评价方法（工程地质评价为主，力学计算为辅，两者有机结合），预防与治理滑坡的各种方法及其合理组合，并列举了成功防治的大型复杂滑坡实例；下篇论述了高边坡的各种变形类型、危害及其产生的条件和原因，从地质条件和坡体结构的分析方面判定边坡的破坏类型、破坏模式和范围，以工程地质分析与力学计算相结合评价预测高边坡的稳定性，并提出了高边坡设计的预测性、风险性、动态性特点及“固脚强腰”、排水与支挡相结合、减小边坡总高度的设计原则，以及工程地质比拟、力学平衡计算与地区经验相结合的设计方法，以较多实例说明其应用和效果。

本书是中铁西北院与众多合作单位共同研究和实践成果的总结，由王恭先和马惠民主笔，王红兵、廖小平、王桢、张红利、张俊德、宋响军、王建松、戚宗轲、于兴国、戴玉、张良峰和王永翔等许多同志编写了实例并提供了资料，还参阅了前人的宝贵成果，张俊德、王永翔和陈小云同志做了大量文整工作，中铁西北院和人民交通出版社股份有限公司对本书的出版给予了大力支持，在此一并致谢。

编著者

2015年8月

目录 CONTENTS



上篇 大型复杂滑坡防治

第一章 大型复杂滑坡概述	3
第一节 大型复杂滑坡的含义和特点.....	3
第二节 大型复杂滑坡工程实例.....	4
第二章 大型复杂滑坡勘察	12
第一节 大型复杂滑坡的调查测绘	12
第二节 大型复杂滑坡的分条、分级和分层	21
第三节 大型复杂滑坡的勘探	25
第四节 大型复杂滑坡的监测	29
第五节 大型复杂滑坡的地质力学模型和形成机理分析	33
第三章 大型复杂滑坡的稳定性评价和推力计算	43
第一节 工程地质定性评价方法	43
第二节 各条、各级和各层滑坡的稳定性计算	49
第三节 各条、各级和各层滑坡稳定性的综合评判与发展趋势预测	55
第四节 滑坡推力计算	56
第四章 大型复杂滑坡防治方案的比选	60
第一节 大型复杂滑坡的防治原则	60
第二节 选择防治方案应考虑的主要因素	63
第三节 绕避滑坡的方案	66
第四节 通过滑坡的预加固方案	70
第五节 治理滑坡的方案	76
第六节 防治方案的比选	86
第五章 大型复杂滑坡防治实例	87
第一节 福建省永武高速公路箭丰尾滑坡治理	87
第二节 北京市戒台寺滑坡治理.....	107

第三节	攀枝花机场 12 号滑坡整治	143
第四节	重庆市奉溪高速公路大坪滑坡治理	175
第五节	广东省深汕高速公路西段 K101 滑坡治理	203

下篇 高边坡变形破坏防治

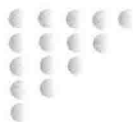
第六章	高边坡概述	217
第一节	高边坡与高边坡病害	217
第二节	高边坡的类型	221
第三节	高边坡的特殊性	224
第七章	高边坡的变形破坏类型及原因分析	226
第一节	高边坡的变形破坏类型	226
第二节	高边坡变形破坏的原因分析	231
第八章	高边坡勘察	239
第一节	高边坡调查测绘	239
第二节	高边坡勘探	243
第三节	高边坡的破坏模式和机理分析	244
第四节	高边坡监测	248
第五节	高边坡的稳定性评价和预测	249
第九章	高边坡设计	255
第一节	高边坡的设计原则和方法	255
第二节	高边坡坡形、坡率设计	257
第三节	高边坡排水设计	258
第四节	高边坡的支挡加固工程方案	259
第五节	高边坡环境保护设计	265
第十章	高边坡变形破坏防治实例	266
第一节	重庆市奉云高速公路肖家包滑坡治理	266
第二节	十天高速公路 K403 高边坡变形治理	279
第三节	重庆市万梁高速公路大荒田滑坡治理	291
第四节	重庆市水武高速公路 K41 高边坡切层滑坡治理	298
第五节	重庆市云万高速公路菜地沟滑坡治理	310
参考文献	322
名词索引	323
后记	328

上篇

大型复杂滑坡防治

第一章 大型复杂滑坡概述

CHAPTER 1



第一节 大型复杂滑坡的含义和特点

大型复杂滑坡是指那些规模巨大、性质和结构复杂、作用因素众多、危害严重、治理费用昂贵的滑坡。有古老的滑坡,也有新生的滑坡。它们有以下特点:

一、规模巨大

滑坡的长、宽各数百米,甚至上千米,滑体厚度 20~100m,体积达数百万至数千万立方米。

二、结构复杂

滑坡常有多条、多级、多层滑面,构成一个滑坡区。经过多期次滑动,各条的滑动方向、滑动次数、滑动距离不尽相同。各级滑坡平台与当地河流阶地或剥蚀平台高程不一致,滑坡前缘常掩盖在现代河床或老的阶地上。主滑面多依附于地质上形成的软弱带,或为不同时期、不同成因的堆积面,如新黄土与老黄土的接触面,崩、坡积层与洪积层的接触面,基岩顶面的剥蚀面,或岩层中的软弱夹层及断层面、不整合面、假整合面、大节理面等。其剪出口则与河流切割及人工开挖的临空面有关。各条、各级和各层的稳定状态不一样。

三、成因复杂

有大型堆积层滑坡、大型黄土滑坡和大型岩石滑坡;有大型断裂带影响形成的大型破碎岩石滑坡和大型堆积层滑坡;有褶皱影响,如向斜一翼、滑面下缓上陡的大型岩石顺层滑坡;有河流冲刷引起的滑坡,有地震造成的滑坡,有采空塌陷引起的滑坡,有人类工程活动如开挖坡脚、

斜坡上堆载及生产和生活用水下渗引起的滑坡等,常是多因素综合作用的结果。

四、危害严重

对于铁路和公路,大型滑坡除危害路基外,还常会危害大桥、隧道和车站,造成运输中断,已有许多实例和教训。此外,它们还威胁和危害城镇居民密集区、厂矿工业区、电站、机场和文化古迹等重要设施,造成重大经济损失。

五、治理费用昂贵

在建设过程中一旦遇到大型古老滑坡的复活或新生的大型滑坡,绕避滑坡受到限制,治理费用就非常昂贵,动辄需数千万元,甚至上亿元。故选择经济合理的防治方案尤为重要。表 1-1 是近年来发生的一些大型复杂滑坡的治理实例,从中可以看出治理费用之高。

大型复杂滑坡治理实例

表 1-1

序号	滑坡名称	位置	体积 (10^4m^3)	发生时间	危害	治理费用 (万元)
1	八渡滑坡	南昆铁路	500	1997年7月	破坏公路,威胁车站	9 000
2	海石湾滑坡	兰州市	600	1995年8月	威胁工业广场主、副井安全	3 000
3	102 滑坡	川藏公路	500	1991年	中断交通,翻车 17 台	5 000
4	K2730 滑坡	川藏公路	450	1997年8月	破坏公路	6 000
5	张家坪滑坡	重庆市	900	2001年	威胁高速公路	3 000
6	向家坡滑坡	重庆市	110	2004年7月	中断高速公路	5 000
7	戒台寺滑坡	北京市	700	2004年	破坏千年古寺	6 400
8	攀枝花机场滑坡	攀枝花市	260	2009年	破坏机场	20 000
9	箭丰尾滑坡	福建永安	750	2010年	破坏公路	16 000
10	锁儿头滑坡	甘肃舟曲	7 200	2010年	破坏村庄、道路	10 000

第二节 大型复杂滑坡工程实例

一、实例一:南昆铁路八渡车站砂泥岩切层滑坡

南(宁)昆(明)铁路八渡车站砂泥岩切层滑坡(八渡滑坡)如图 1-1 所示。该滑坡位于南昆铁路贵州与广西交界处的南盘江北岸,为一个砂泥岩切层老滑坡。滑坡前缘已掩盖南盘江河床砂卵石层 40~80m 宽,南盘江上游和下游江面宽均约 200m,唯此段宽 120m,故抗战时期在此修建了公路渡口。滑坡前缘宽 400m,长 500~600m,厚 36m,体积约 $500 \times 10^4 \text{m}^3$,滑坡外貌比较清楚,分三条、三级。但勘察时年轻技术人员经验不足,漏判了此大型老滑坡,并把八渡车站设在了滑坡的中上部。施工开始后就有人提出了老滑坡问题,且下游正修建的龙滩电站水

库蓄水后将浸淹滑坡抗滑段,滑坡可能复活。但有人认为渡口修建 50 多年滑坡没有变形,且车站挖方是对滑坡减载,对滑坡稳定有利。1996 年 8 月本书作者等受铁道部指派赴滑坡现场调查后认为:老滑坡存在无疑义,老滑坡形成的主要作用因素——江水冲刷仍然存在,一旦江水冲刷削弱了抗滑段滑坡就会复活,加之前缘水库蓄水后软化滑带,滑坡必须治理。建议先对 3 个山头进行地面和深部位移监测。1996 年 10 月至 1997 年 4 月深孔位移监测无变形,但 5 月份一个月 6 个监测孔滑面处均位移 5mm,表明滑坡已开始蠕动,至 7 月底滑面处位移增至 50mm,山坡上出现了 140m 长的拉张裂缝,滑坡复活。原因是南盘江发生 70 年一遇的大洪水冲毁了滑坡前缘公路和渡口,削弱了抗滑力。由于 1997 年 11 月铁路将要在此处接轨通车,只能采取抢险措施来治理滑坡,先后施作了两条截水隧洞和 113 根抗滑桩,花费 9 000 余万元。



图 1-1 八渡滑坡全貌

此点的教训是:勘察时漏判了大型老滑坡,未能事先绕避它,施工中滑坡复活,不得不花巨资进行治理。

二、实例二:兰州市海石湾煤矿工业广场黄土滑坡

兰州市海石湾煤矿工业广场黄土滑坡(海石湾滑坡)如图 1-2 所示。该滑坡位于甘肃省兰



图 1-2 海石湾滑坡

州市红古区一山坡上,为黄土沿下伏红色砂泥岩顶面滑动的大型黄土滑坡。滑坡长 400 余米,宽 300 余米,厚 36m,有四级滑坡平台。工业广场布设在最上一级老滑坡平台上,有深 600m、直径 10m 的主井、副井、通风井及变电站等重要设施。当竖井开挖到 200 多米深时,下部三级滑坡发生了滑动,后缘下错 7m 高,一个主井架悬空,工业广场地面发生多条牵引性拉张裂缝,严重威胁工业广场安全。若搬迁工业广场损失太大,为保证工业广场安全,在广场下方设 1 排埋入式抗滑桩,桩顶低于地面 5~7m 以减小桩身弯矩和工程投资,共花费 3 000 余万元。滑坡复活的主要原因是生产和生活用水及竖井出渣所带大量地下水渗入老滑坡体软化了滑带土。

此点的教训是:

(1) 选址时不应该将工业广场这样的重要设施布设在老滑坡体上。

(2) 建设前评价老滑坡是稳定的,但未评价建设过程中在人类工程活动影响下滑坡是否会复活,该采取什么预防措施。稳定性评价不仅要评价当前的稳定性,更要评价工程施工改变滑坡的状态后的稳定性。

(3) 施工管理不严格,大量生产和生活用水渗入滑坡体软化了老滑带土造成滑坡复活。

三、实例三:重庆市万梁高速公路张家坪堆积层滑坡

重庆市万(州)梁(平)高速公路张家坪堆积层滑坡(张家坪滑坡)如图 1-3 和图 1-4 所示。该滑坡为一大型堆积层老滑坡,长 900m,宽 350m,厚 36~38m,体积约 $900 \times 10^4 \text{ m}^3$,分多条、三级。高速公路从中级前部通过,开挖边坡高 20m,边坡以上为新改移的县乡公路,边坡高约 10m。滑坡有浅、中、深三层滑面,浅层深 10m,中层深 25~26m,深层在基岩顶面,深 36~38m。浅、中层滑带土为坡、洪积成因的粉质黏土夹碎石,深层滑带为下伏砂泥岩的风化残积土。线路勘察时认为这里只是个大型堆积体,未认识到老滑坡的存在。在改移县乡公路挖方时浅层滑坡发生了滑动,补充勘察揭露浅层滑面深 9~10m,滑坡长约 100m,设计了长 19m 的



图 1-3 张家坪滑坡全貌(治理前)



图 1-4 张家坪滑坡全貌(治理后)

1 排抗滑桩,但未说明深部是否还有滑动面。为安全起见,建设单位决定选两个桩坑向下开挖探测有无深层滑面,结果在深 25~26m 处护壁挤裂严重,渗水量很大,并挖出了腐朽的木头。这里显然是一层滑面位置。再次补充勘察和深孔位移监测,揭露了中层和深层滑面,监测中层滑面为蠕滑,深层滑带没有滑动迹象。因此,仅治理浅、中层滑坡,在中级滑坡后部基岩中做截水隧洞和洞顶渗管截断山坡上部多层地下水对滑带的补给,前缘做仰斜排水孔排水。在县乡公路内侧做 1 排锚索抗滑桩和 1 级锚索框架支挡,高速公路外侧做普通抗滑桩保路基稳定,共花费 3 000 余万元。

由于采取了截排地下水的工程,滑坡推力计算时将滑带土反算参数内摩擦角提高 1.5° ,滑坡推力减少约 2 000kN/m,等于节省了 1 排抗滑桩。未按深层滑面推力设计并在中层滑坡大滑前进行了预加固,大大节省了投资。

此点的经验和教训是:在山区工程建设中遇到这样的大型堆积体,一定要经过必要的勘察,查明有无老滑坡存在,即使无老滑坡,也应分析这种坡体结构在施工开挖后会不会发生多层滑坡,该采取什么预防滑坡的措施。遗憾的是勘察时未做到这一点,漏判了老滑坡。可喜的是建设单位和专家提出了疑问,在高速公路开挖前补充了勘察,在中层滑坡滑动前进行了排水和预加固,稳定了滑坡,节约了投资。监测工作也起了重要作用。

四、实例四:北京市戒台寺采空塌陷引起的砂泥岩滑坡

北京市戒台寺采空塌陷引起的砂泥岩滑坡(戒台寺滑坡)如图 1-5 和图 1-6 所示。戒台寺位于一南北向山梁的上部,山梁岩体为石炭~二叠系砂泥岩,岩层顺倾山下,山坡长约 1 200m,宽 300 余米,滑体厚 40 余米,体积约 $700 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。由于山坡下部煤矿采煤塌陷使上部岩体失去支撑力,顺倾的砂泥岩被牵引向下蠕滑,由塌陷区向山坡上方产生了 4 条大的拉张裂缝带,G108 国道被错断。最上一条裂缝在寺庙内,长 150m,宽 30cm,下错 30~50cm,造成 1 400 年的古寺庙建筑物严重变形,引起国家文物局和北京市有关领导的高度重视。第一期工程为保寺庙不再继续破坏,先做锚索地梁应急加固,勘察和监测后做长 64m 的锚索抗滑桩 1 排和寺内排水及地基加固工程,共花费 6 400 万元。

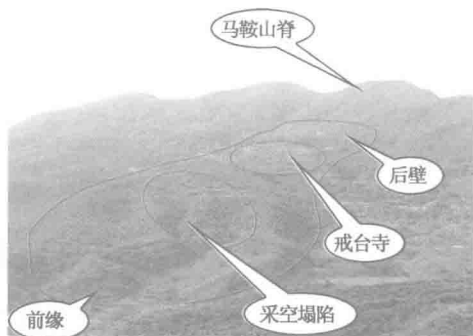


图 1-5 戒台寺滑坡全景

此点的教训是:煤矿开采未能预测到在这种不利的坡体结构下采空塌陷会造成如此大范围的山体变形。类似的现象在陕西省韩城电厂也发生过。这是今后应当注意的。

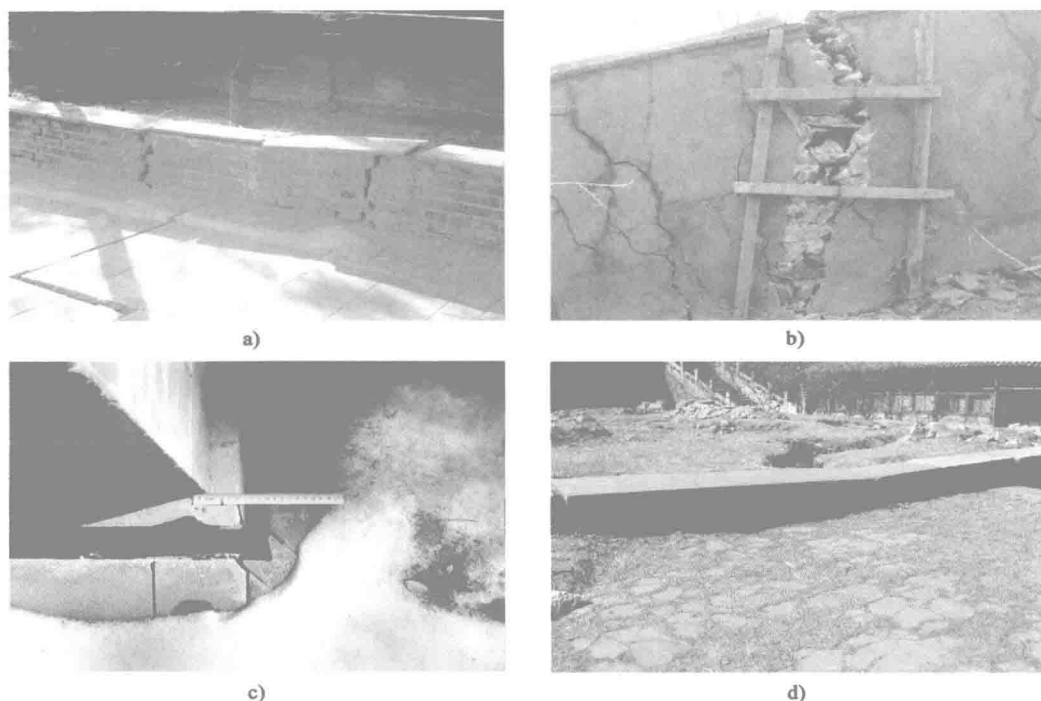


图 1-6 滑坡造成戒台寺建筑物变形

a)戒台寺墙上裂缝带;b)寺院西围墙开裂情况;c)真武殿西南角已拉裂;d)千佛阁遗址东北角陷坑

五、实例五:福建省永武高速公路箭丰尾砂泥岩顺层滑坡

福建省永(安)武(平)高速公路箭丰尾砂泥岩顺层滑坡(箭丰尾滑坡)如图 1-7 和图 1-8 所示。该滑坡为一破碎砂泥岩夹煤层的顺层老滑坡,长 500m,宽近 500m,滑体厚 24~42m,体积约 $750 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。由于老滑坡时代久远,植被茂密,外貌不甚清楚,选线时漏判了老滑坡,施工中向山改移 G205 国道挖方造成老滑坡局部复活,曾做了锚索框架和抗滑桩进行加固。但当高速公路开挖形成时,2010 年雨季发现锚索框架和抗滑桩均发生了变形,检查发现距线路 500m 的

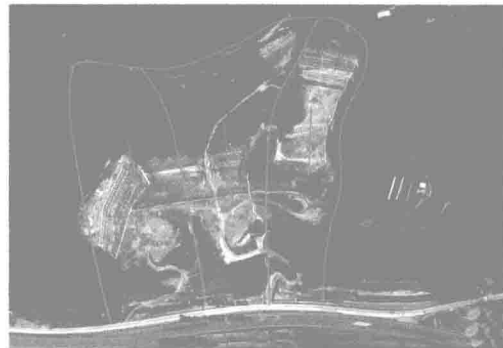


图 1-7 箭丰尾滑坡全貌(google 图片)

的山坡上发生了 200 多米长的拉张裂缝,将林区道路下错 50cm,随即进行了地质勘察和监测,但对是否是老滑坡整体复活存在不同认识。2011 年 4 月高速公路通车后,5 月连降大暴雨,老滑坡整体复活,后缘裂缝贯通并下错达 6m 高,前缘新做的抗滑桩又被剪断,高速公路路面被抬高 30~50cm,不得不封闭道路进行反压和再行治理。由于滑坡规模巨大,地下水特别发育,且没有改线条件,只能原线治理滑坡,共做了两条截水隧洞、两排锚索抗滑桩和部分减载工程,投资