

减灾防灾工程丛书

中国山区道路灾害防治

蒋忠信 陈光曦 吴宗俭 等编著
陈国亮 李聚全 廖世文

重庆大学出版社

道路灾害成灾率高、影响面广、人为灾害和工程灾害甚多的特色；

山区道路灾害以崩塌、滑坡、泥石流最为普遍和严重的特色；

山区道路灾害防治以预防为主、防治结合和以灾害地质调查研究为基础的特色；

道路灾害预防措施在勘察设计中以地质选线为主，运营通车后以预测报警为主的特色；

道路灾害治理方法重在原理、功能、适用条件和结构设计的特色；

道路灾害防治具有丰富的正反经验教训，众多工程实例的特色。

著者期望如此，但限于篇幅和水平，可能力不从心，缺陷谬误难免，恳请专家、读者指正。

本书由具有西南山区铁路灾害防治近 40 余年经验的铁道部第二勘测设计院有关专家分章编著。分工和著者简况如下：

第二章由院科研所副总工程师、锚索技术开发中心主任李聚全高级工程师撰述；

第三章由勘测处原副总工程师、铁道部《路基工程》第一副主编吴宗俭教授级高级工程师撰述；

第四章由院科研所原总工程师、教授级高级工程师陈光曦撰述；

第五章和第六章由第三分院副总工程师、《岩溶工程地质》一书主编陈国亮高级工程师撰述；

第七章由科研所高级工程师江文善和黄俊硕士撰述；

第八章主要由地质处高级工程师、膨胀土研究中心主任廖世文撰述；

科研所总工程师、高级工程师蒋忠信负责撰述第一章和全书统稿工作；书中插图由赵丽红描绘。

著者

1994 年 5 月

责任编辑 李长惠 王昌贤
版式设计 赵品坚
责任校对 钱格舟

中国山区道路灾害防治

蒋忠信 陈光曦 吴宗俭 等编著
陈国亮 李聚全 廖世文

*

重庆大学出版社出版发行
新华书店经销
重庆大学印刷厂印刷

*

开本:850×1168 1/32 印张:13.25 字数:356 千
1996年6月第1版 1996年6月第1次印刷
印数:1—3000

ISBN 7-5624-1248-0/X·10 定价:25.00元

(川)新登字 020 号

序 言

人类历史,在某种意义上,就是人与自然,特别是与自然灾害作斗争的历史。纵观古今中外,减灾防灾、抗灾和救灾活动,一直是人类生存发展的重要内容。

近代社会的高速发展和经济开拓,在某种程度上忽视了人与自然协调,人口激增、资源紧缺、环境恶化和灾害加剧已严重威胁着人类生存与发展。

联合国大会决议:1990~2000 年为国际减轻自然灾害十年,正是顺应形势的果敢之举,它赢得了全世界的广泛响应与支持。全球已有 120 多个国家和地区建立了国家(地区)减灾委员会,联合国各大系统与全球众多组织都投入了国际减灾十年活动,取得了重要成就。1994 年 5 月 160 多个国家、地区参加的“世界减灾大会”(日本,横浜)就是对其全球 4 年多的抗灾成就的检阅。

中国政府一贯重视减灾工作。新中国成立以来,在致力于经济建设的同时,领导中国人民,投入巨额资金和众多人力,从事减灾活动,取得了举世瞩目的成就。1989 年 4 月,中国政府率先成立了由 28 个部委组成的“中国国际减灾十年委员会”,开展了大量卓有成效的工作。1993 年,中国政府完成了“中华人民共和国减轻自然灾害报告”这一纲领性文件,受到国际广泛赞誉。1994~1995 年,中国政府与联合国合作进行中国减灾规划和挑选优先减灾项

目,已切实把减灾工作纳入中国社会经济发展总体规划之中,同时以优先减灾项目为重点,全面深入地开展减灾工作。中国这一系列重大行动,受到联合国高层人士多次赞誉,称“中国是世界上减灾工作做得最好的国家,或最好国家之一”。

但是,中国是世界自然灾害最频繁、最严重的少数国家之一。暴雨洪涝、干旱、台风风暴潮、地震和其它数十种自然灾害严重地危害着我国人民生命财产,制约着我国经济建设。90年代以来,中国各种自然灾害直接造成的经济损失每年高达1000亿元,相当于我国国民经济总产值的3~6%,成为社会经济持续发展的一大障碍。因此,正确认识了解自然灾害,宣传减灾意识,推广减灾技术方法已是急迫任务。

作为国际减灾活动内容之一,重庆大学出版社的同志们积极组织出版一套《减灾防灾工程丛书》,为我国减灾工作做出贡献,这是应当赞扬的。希望这套丛书的陆续出版,能为我国从事减灾事业各方面的同仁,为全国读者们提供有益的帮助,在减轻灾害上起到积极作用。

中国国际减灾十年委员会

专家组组长 王昂生

1994年12月26日于北京

前 言

交通运输是国民经济的动脉,改革开放的门户,人民生活的桥梁。我国地域辽阔,自然条件复杂。纵横交织的铁路、公路线上,自然灾害类型众多,段长面广,发生频繁,对客货运输构成了重大威胁,造成了严重损失。1981年,成昆铁路利子依达泥石流冲卷客运列车,死伤数百人的惨难至今使人心有余悸。

近百年来,道路部门员工和沿线民众与自然灾害进行了坚持不懈的斗争,取得了举世瞩目的成就,积累了灾害防治的丰富经验。总结这些实践经验和理论成果,对提高道路灾害的防治水平和效果,保障运输动脉的畅通,无疑具有重要意义。为此,本书奉献给读者的将是人类与道路灾害作斗争的理论和实践的结晶。

山区道路往往循河谷延伸,崩塌、滑坡、泥石流等坡地地质灾害最为常见。道路线长点多,岩溶及岩溶水、软土、膨胀土等特殊岩土灾害也十分严重。山区突出的地震、洪水灾害,因另有专著论述,未纳入本书范畴。因此,本书除第一章总论外,分7章逐一介绍崩塌落石、滑坡、泥石流、岩溶地面塌陷、坑道涌水、软土、膨胀土等7类山区道路灾害及其防治方法。

本书力图反映山区道路防治领域中的新理论、新观点、新技术和新方法。集众家所长,抒著者之见,使读者能通过本书了解新颖的理论、独到的观点、先进的技术和实用的方法,便是本书著者的初衷。为此,本书力求突出以下特色:

目 录

1 中国山区道路灾害防治对策	1
1.1 中国山区道路灾害	1
1.1.1 中国道路灾害概述	1
1.1.2 中国山区道路灾害特点	2
1.1.3 灾害的空间分布规律	3
1.1.4 灾害的时间分布规律	6
1.2 山区道路灾害防治原则	9
1.2.1 预防为主、防治结合的方针	9
1.2.2 工程治理突出系统性、总体性和针对性	11
1.2.3 地质工作是灾害防治的基础	12
1.2.4 控制人类不合理活动	13
1.2.5 道路灾害防治对策具有阶段性	15
1.3 山区道路灾害防治问题讨论	17
1.3.1 深化对灾害属性的认识	17
1.3.2 强化对灾害分布的预测	18
1.3.3 改进对灾害的时间预报	21
1.3.4 突出灾害勘察的针对性	24
1.3.5 完善灾害防治的系统性	26
参考文献	27
2 崩塌与落石防治	29
2.1 崩塌与落石灾害	29

2.1.1	崩塌与落石对道路的危害	29
2.1.2	产生崩塌、落石的原因	31
2.1.3	崩塌与落石的发生、发展过程	33
2.1.4	崩塌、落石的类型	33
2.1.5	崩塌的基本模式	34
2.1.6	崩塌、落石体变形前的稳定分析	34
2.2	崩塌、落石防治原则与措施	38
2.2.1	崩塌与落石地区道路设计原则	38
2.2.2	防治措施	39
2.3	崩塌的力学分析与落石计算	52
2.3.1	岩体工程加固的力学分析	52
2.3.2	落石计算	56
2.4	崩塌与落石的预测及报警	66
2.4.1	崩塌与落石预测	66
2.4.2	成灾报警	67
	参考文献	72

3 滑坡防治

3.1	滑坡综述	74
3.1.1	道路滑坡灾害及其防治概况	74
3.1.2	修建道路与滑坡灾害	76
3.1.3	滑坡分布特征	77
3.1.4	滑坡分类	79
3.1.5	滑坡的移动规律	81
3.2	滑坡的勘测与预报	83
3.2.1	野外滑坡识别	83
3.2.2	滑坡的调查测绘	86
3.2.3	不同类型和不同地区滑坡及其勘察重点	89
3.2.4	滑坡的勘探、测试	92
3.2.5	滑坡动态观测	94

3.2.6	滑坡的预报与监测	96
3.3	滑坡的稳定性评价	98
3.3.1	稳定性评价的要求	98
3.3.2	滑坡稳定性评价的方法	99
3.3.3	滑坡的定性分析	106
3.3.4	滑坡的定量解析	108
3.4	滑坡防治原则	113
3.4.1	防治原则的技术依据	113
3.4.2	滑坡防治与道路选线	114
3.4.3	工程滑坡的防治	115
3.4.4	滑坡地段的养护维修	126
3.5	整治滑坡的工程措施	126
3.5.1	治理滑坡的工程措施设置原则	126
3.5.2	常用的滑坡治理措施	129
3.5.3	滑坡防治工程的回顾	140
3.5.4	抗滑结构的有关问题	142
	参考文献	149
4	道路泥石流防治	153
4.1	泥石流的特征、形成和危害	153
4.1.1	泥石流的基本特性	153
4.1.2	泥石流的形成条件	158
4.1.3	泥石流的危害作用	166
4.2	泥石流的分类与分布	178
4.2.1	泥石流的分类	178
4.2.2	我国泥石流的分布	185
4.3	道路泥石流防治措施设计要点	189
4.3.1	道路泥石流防治措施类型	189
4.3.2	道路泥石流防治的过流及防护工程	190
4.3.3	道路泥石流防治的疏导工程	202

4.3.4	道路泥石流防治的控制水体工程	209
4.3.5	道路泥石流防治的控制土体工程	211
4.3.6	道路泥石流防治的生物工程	228
4.3.7	道路泥石流工点剖面设计及局部线路方案比选	229
4.4	道路泥石流工点系统防治的总体设计	238
4.4.1	总体设计的要求、内容和方法	238
4.4.2	泥石流工点设计的总体布局方案	239
4.4.3	泥石流工点防治的指导性施工组织	245
4.4.4	泥石流工点系统防治总体设计的形成与优化	247
4.5	泥石流密集河段环境评价与沿河道路泥石流 系统防治	252
4.5.1	概述	252
4.5.2	泥石流密集河段系统的防治模式	254
4.5.3	主强支弱型河段环境评价与沿河道路泥石流系统防治	256
4.5.4	主弱支强型河段环境评价与沿河道路泥石流系统防治	261
4.5.5	主支均势型河段环境评价与沿河道路泥石流系统防治	262
4.5.6	山前斜原区环境评价与沿河道路泥石流系统防治	265
	参考文献	271

5 岩溶地面塌陷防治

5.1	岩溶地面塌陷的概念	275
5.1.1	岩溶地面塌陷的涵义	275
5.1.2	产生塌陷的基本条件	275
5.1.3	塌陷的影响因素	276
5.1.4	岩溶塌陷的成因、机理	281
5.2	岩溶地面塌陷对道路的危害	285
5.2.1	对铁路运输的危害	285

5.2.2	岩溶塌陷危害铁路的实例	286
5.2.3	对公路道路的危害	291
5.3	岩溶地面塌陷的预测与预防	292
5.3.1	勘察工作是预测预防的基础	292
5.3.2	岩溶地面塌陷的预测	293
5.3.3	塌陷的预防	297
5.4	岩溶地面塌陷的治理	298
6	坑道水害防治	303
6.1	坑道水害概述	303
6.1.1	概述	303
6.1.2	涌水特征与规律	305
6.2	坑道中的非岩溶水害	307
6.2.1	构造断裂蓄水危害	307
6.2.2	构造褶曲蓄水危害	309
6.2.3	构造断裂与褶曲蓄水危害	310
6.3	坑道中的岩溶水害	310
6.3.1	增加施工难度	311
6.3.2	危及人生安全	311
6.3.3	淹没机具设备	311
6.3.4	地质环境破坏	312
6.3.5	运营中的贻害	312
6.4	岩溶蓄水构造	313
6.4.1	岩溶基准面及其模式	313
6.4.2	岩溶水动力剖面分带	315
6.4.3	岩溶蓄水构造	320
6.5	坑道岩溶水害的预测	320
6.5.1	地质预测	320
6.5.2	勘探预测	321
6.5.3	施工预测	321

6.5.4	动态观测预测	322
6.6	坑道岩溶水害的防治	327
6.6.1	岩溶水害的预防	327
6.6.2	水害治理	328
6.6.3	突泥涌砂的治理	329
	参考文献	331
7	软土路基灾害防治	332
7.1	软土及其特性	332
7.1.1	软土的含义及形成环境	332
7.1.2	软土的分类及物理力学特性	333
7.1.3	软土的特性及危害	335
7.2	软土的工程地质勘察测试	336
7.2.1	地质调查与勘探	336
7.2.2	土样试验	339
7.3	软土地区的道路选线设计	340
7.3.1	一般软土地区的选线设计原则	340
7.3.2	泥沼地区道路选线设计原则	340
7.3.3	路堤临界高度的确定	341
7.4	路基设计中的灾害预防	343
7.4.1	路堤填料及路堤设计高度	343
7.4.2	路堤加固设计	343
7.4.3	路堤稳定性检算	344
7.4.4	沉降量计算及工后沉降	347
7.5	软土地基加固的工程措施	350
7.5.1	概述	350
7.5.2	各类处理方法简介	355
7.5.3	排水固结法	358
7.5.4	预压法	362
7.5.5	土工合成材料	364

7.5.6	胶凝加固法	365
7.5.7	振冲法	369
7.5.8	强夯法	371
7.5.9	反压护道	372
	参考文献	373
8	膨胀土道路灾害防治	374
8.1	概述	374
8.1.1	膨胀土的概念及判别标准	374
8.1.2	我国膨胀土的成因类型与分布	376
8.1.3	膨胀土的主要工程特性	377
8.2	膨胀土道路灾害	382
8.2.1	灾害的主要类型	382
8.2.2	灾害形成的条件与规律	385
8.2.3	灾害的预测与预报	387
8.3	膨胀土灾害的防治	388
8.3.1	防治原则	388
8.3.2	勘察要点	389
8.3.3	主要工程防治措施	391
8.4	膨胀土道路设计与施工	395
8.4.1	膨胀土地区的选线	395
8.4.2	膨胀土路基设计的原则	395
8.4.3	膨胀土隧道设计的原则	402
8.4.4	设计参数的选取	402
8.4.5	膨胀土道路施工	403
8.5	路堑滑坡整治实例	406
8.5.1	路堑工程地质条件	406
8.5.2	滑坡发展过程与整治工程设计	407
	参考文献	409

1 中国山区道路灾害防治对策

1.1 中国山区道路灾害

1.1.1 中国道路灾害概述

铁路、公路统称道路。中国地域辽阔,道路建设发展迅速。1991年全国铁路营业里程达 53415km,公路通车里程超过 113 万 km。据 1988 年统计,全国铁路客运量为 1227 百万人次,货运量 1406 百万 t;全国公路客运量达 6505 百万人次,货运量 732 百万 t;全国旅客周转量中铁路占 52.5%,公路占 40.7%;货物周转量中,铁路占 71.2%,公路占 2.3%^①。适宜中长距离大宗客货运输的铁路与短途、灵活的公路相结合,构成陆上主要运输网络,成为国民经济的动脉。

我国广袤的国土,复杂的自然条件,孕育了类型众多的自然灾害。道路绵长,纵横交织,难以避免各种灾害的侵袭,因而灾害频繁,灾情严重。以铁路为例,据统计,到 1986 年路基病害累计长度已达 9980km,占运营长度的 19.0%;每年中断运输 100 余次,1000h 以上;直接经济损失 1.7 亿元,整治费用达 1.5 亿元^①。此外,铁路的水害隧道有 1300 余座,约占隧道总数的 30%。城乡公

① 刘宝亨等,第五届地质和路基工程科技动态报告会综述,科技动态报告文集(铁路地质和路基工程分册),1990。

路和国道遭受自然灾害更为普遍,难以统计。

我国道路的自然灾害灾种繁多,可概括为 5 种类型:以地震为代表的地球动力灾害;以洪水和坑道涌水为代表的水文灾害;以崩塌、滑坡、泥石流为主的坡地地质灾害;包括岩溶、膨胀土、软土、黄土、冻土、盐渍土的特殊岩土地质灾害;以冰川、风沙为代表的地貌灾害;砂土液化、地面沉降与地裂缝等特殊动力灾害。

常见的道路灾害,在山区以坡地地质灾害和岩溶地面塌陷最为严重,以铁路为例,坡体崩塌和滑动即达 4901 处,延长 626km。据不完全统计,铁路沿线有 1509 条泥石流沟,新中国成立以来累计发生淤埋车站和破坏铁路设施的较大泥石流灾害达 291 起,一般灾害 1173 起,导致列车出轨和颠覆的事故 10 起,百人以上伤亡的特大事故 2 起;27 个车站曾被淤埋 35 次;而且灾害次数以平均每年 15 起的速度递增^[2]。岩溶地面塌陷共 470 处,危害最严重者达 55 处。平原区则多为特殊岩土地质灾害,铁路通过膨胀土地段达铁路线全长的 1/6~1/5。

1.1.2 中国山区道路灾害特点

道路,尤其是山区道路的自然灾害,具有以下特点:

(1)成灾率高 道路是呈带状延伸的串联系统,尤其是山区道路多沿河展延,很少有回旋闪避的余地。因此,即使轻微的、小规模的不良地质现象也会酿成灾害。这是道路灾害频度高、灾情重的原因之一。例如,山坡落石对一般地区构不成多大威胁,但对山区道路却危害甚重。成昆铁路乌斯河工务段路基长 73km,在通车后的 19 年间共发生落石 900 余次,死伤 8 人,“六五”期间击中列车 63 次,中断行车 150 小时。

(2)影响面广 一条铁路或公路国道通常长数百至上千千米,若一处受灾,行车中断,则全线瘫痪。铁路每年因自然灾害而断道 1000~2000 小时,对国计民生产生严重影响。四川九寨沟通成都的公路夏季经常断道,旅客也经常被困途中。因此,道路防灾不但任务艰巨,而且意义重大。

(3)工程引发灾害多 建筑道路本身要开挖边坡、填筑路堤、开凿隧道,往往由于地质条件复杂、设计与施工不当而导致坍塌、涌水等工程灾害。西南成昆、贵昆、川黔3条铁路的工程滑坡达350处之多,占滑坡总数的71.2%,其中川黔铁路高达89.5%。而膨胀土、软土、冻土等特殊岩土地质灾害,往往是在这些地区兴建道路工程时,改变了其荷载条件和水热状况才暴露出来。

(4)人为活动破坏大 中国超负荷的人口状态和经济建设的飞跃发展,导致过度垦植破坏植被、超量抽水降低水位、灌溉体系渗漏溃决、采矿开挖弃碴崩塌,破坏生态平衡和坡体稳定,造成水土流失,诱发崩塌、滑坡、泥石流和地面沉陷。例如,全国铁路55处严重的岩溶塌陷区中,40%是过量抽取地下水引起的,另有15处是坑道渗流所致。铁路沿线由于人为原因形成的泥石流沟即有174条。在较大的铁路泥石流灾害中,人类不合理活动所导致的灾害多于1/3,成昆铁路达到1/2左右^[3]。

1.1.3 灾害的空间分布规律

自然灾害主要是受气候、地貌、岩性、构造等地质地理条件所控制的。由于这些地质地理因子在空间分布上有一定的规律性,从而决定了自然灾害的空间分布也表现出某种规律性。

1) 地带性

自然地带性规律是地表水热条件的综合表征,而水热条件又往往是自然灾害的诱因,因此,一些自然灾害的分布表现出地带性的趋势。中国亚热带季风区,具有充沛的降水和光热,径流发育,风化强烈,因而滑坡、泥石流等坡地灾害集中,岩溶发育,膨胀土分布较普遍。华北、西北地处高压带,气候较干燥,黄土和风沙灾害广泛。地处北温带的东北地区,冻土是主要道路灾害之一。

具有垂直带谱的高山区,在雪线附近及其以上地区,冰川、冻土是普遍问题。谷底基带往往是亚热带干荒漠,地质灾害严重。其间的林带则自然灾害较少见。

2) 地域性

地貌和岩性条件为非地带性因素,具有地域性分布的特点。主要由地貌和岩性条件所控制的自然灾害,也带有地域性分布的特点。例如,道路通过青藏高原这一独特的地貌区域时,冰川、冻土、石河及岩屑流等是主要灾害;西北各大盆地中,风沙灾害十分严重;西南山间盆地内,泥炭质软土对道路工程危害甚大。

岩土性质与灾害分布往往具有对应关系。岩溶灾害只见于碳酸盐岩分布区;膨胀岩土多分布于时代较新的泥质岩区;沿海及大河三角洲多见软粘土和淤泥质软土。

灾害分布的地域性往往叠加在地带性之上,使地带性为之淡化。

3) 带状性

山地、河谷地貌和地质构造都呈带状分布,因而坡地地质灾害等往往也顺谷坡或构造带而呈带状分布。与板块俯冲带或活动性构造带相一致的地震活动带是众所周知的,滑坡、泥石流等不良地质现象的带状分布也已逐步为人们所认识。由于道路往往顺河谷延伸,因而常穿过灾害多发地带。例如,成都至九寨沟公路的绵虬至茂县段,公路沿顺茂汶断裂带发育的岷江河谷通过。由于谷坡陡峭,基岩破碎,坡面冰水沉积深厚,加之江水冲刷,渠道渗漏,尤其是1933年叠溪7.5级地震的诱发,致使谷坡崩塌、滑坡极其发育。在这段长仅80km的道路一侧谷坡,就有7处大型崩塌、滑坡(图1.1)。其中规模最大的向阳坪滑坡,面积 $700 \times 1300 \text{m}^2$,体积约 $2 \times 10^7 \text{m}^3$ 。该公路年年因崩滑而断道,虽多次抢修,仍似盲肠,严重制约了九寨沟、黄龙旅游事业的发展^①。

4) 坡向性

由于地表水热条件和地形、水文、植被、土壤等自然地理要素表现出一定的坡向分异(表1.1),受其制约的坡地地质灾害也呈现出某种程度的坡向性分布规律。在其他条件类似的情况下,阳坡

^① 蒋忠信等,岷江茂灌段及杂谷脑河理汶段坡地重力灾害的初步观察,第一届全国山地灾害学术讨论会交流论文,1990。