

国家重大工程建设 地质灾害危险性评估理论和实践

GUOJIAZHONGDAGONGCHENGJIAN SHE
DIZHIZAIHAIWEIXIANXINGPINGGULILUNHESHIJIAN

● 贪小苏 主编

地质出版社

国家重大工程建设 地质灾害危险性评估 理论和实践

贡小苏 主编

地质出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

国家重大工程建设地质灾害危险性评估理论和实践 /
负小苏主编. —北京: 地质出版社, 2008. 4

ISBN 978-7-116-05669-5

I. 国… II. 负… III. 工程地质 - 灾害 - 评估 - 研究
IV. P642. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 043023 号

责任编辑: 刘粤湘 何 蔓

责任校对: 田建茹 郑淑艳

出版发行: 地质出版社

社址邮编: 北京海淀区学院路 31 号, 100083

咨询电话: (010) 82324508 (邮购部); (010) 82324580 (编辑部)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

电子邮箱: zbs@gph.com.cn

传 真: (010) 82310759

印 刷: 北京地大彩印厂

开 本: 889mm × 1194mm $\frac{1}{16}$

印 张: 29.25

字 数: 900 千字

印 数: 1—1000 册

版 次: 2008 年 4 月北京第 1 版 · 第 1 次印刷

定 价: 168.00 元

书 号: ISBN 978-7-116-05669-5

(如对本书有建议或意见, 敬请致电本社; 如本书有印装问题, 本社负责调换)

《国家重大工程建设 地质灾害危险性评估理论和实践》

编 委 会

主 编 负小苏

副 主 编 姜建军 侯金武 柳 源

编 委	负小苏	姜建军	侯金武	柳 源	吴 宏
	李继江	颜宇森	袁小虹	李智毅	刘 岩
	刘传正	陈向新	么惠全	余 曦	孟国忠
	张光华	文宝萍	周永昌	肖平新	黄一劲
	刘天林	李 响	李稳哲	张 利	

绪论

地质灾害是指包括自然因素或者人为活动引发的危害人民生命和财产安全的山体崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷、地裂缝、地面沉降等与地质作用有关的灾害。中国是地质灾害种类繁多、发生频繁、损失严重的国家之一，具有“灾种齐全、灾情严重、损失巨大”等特性，对人民生命财产安全构成一定威胁。近年来，国家建设和资源开发速度日益加快，一大批国家重点工程建设相继展开，随之而来的地质灾害问题也日益凸现，并成为制约中国经济发展的重要因素之一。据不完全统计，每年因地质灾害造成的直接经济损失就达 300 亿元。特别是在灾害多发地区，突发性的地质灾害经常在当地造成难以估量的损失，而工程建设项目选址常常忽略了工程建设可能遭受或诱发地质灾害的可能性，以致一些工程在建设期间或建成后遭受很大的损失。例如：1980 年成昆铁路铁西车站因滑坡中断行车 40 天；宝成铁路因滑坡灾害，在铁路接轨后对灾害整治长达一年多才恢复通车；陇海铁路宝鸡至天水段由于处于我国地质灾害的高发区，铁路线在建成后的 30 年间，因地质灾害中断行车 195 天，经济损失 2.49 亿元。四川省的攀枝花市是受地质灾害影响严重的城市之一，95% 的地质灾害的高危险性区是因人为活动而诱发的；1998 年包头市的泥石流灾害致使包钢停产一个多月，直接经济损失达 1 亿元。四川省自（贡）—成（都）输气干线建成后，1981 年夏天就遇到一场暴雨，黄石板地段发生滑坡，危及当地管道的安全，滑坡地段难于修复，为安全起见，管道被迫改线；1994 年 7 月，长庆油田元（城）—悦（乐）输油管道遭受当地 70 年不遇的大洪水，随之而来的柔远川上游的泥石流把管道冲毁达 26 处（占全线的 35%），并且管道多处被拉断。

为推动减灾防灾，减免经济损失，保障人民生命财产安全，降低工程建设及运营风险，贯彻“预防为主”的方针，控制和减少人为活动诱发的地质灾害，国土资源部根据地质灾害防治工作为社会发展和经济建设服务的原则，1999 年颁布了《地质灾害防治管理办法》，在建设用地领域率先建立了地质灾害危险性评估制度。同时，在《建设用地审查报批管理办法》和《建设项目用地预审管理办法》中都明确规定，建设单位提交的建设项目申请用地材料中必须包括地质灾害危险性评估报告。为落实地质灾害危险性评估制度，1999 年 11 月，国土资源部下发了《关于实行建设用地地质灾害危险性评估的通知》，颁布了《建设用地地质灾害危险性评估技术要求》（试行），对评估单位的资质、审查认定、评估报告及评估结果等方面的管理做出了具体规定。随后，全国 31 个省（自治区、直辖市）陆续开展了这项工作，并制定了相关的技术要求和规程规范。其中，有 20 多个省（自治区、直辖市）和部分地级市出台了地方性法规或者政府规章对地质灾害危险性评估做出了明确规定。

据此，我国各部门、各领域进行工程建设之前，都普遍开展了建设用地地质灾害危险性评估工作，对在地质灾害易发区内建设用地有效避免地质灾害所带来的危害起到了非常积极的作用，效果十分明显；并且在不同类型工程建设用地地质灾害危险性评估中，取得了许多有益经验。

2001 年 5 月 2 日在《国务院办公厅转发国土资源部、建设部关于加强地质灾害防治工作意见的通知》中对城市规划和建设用地中地质灾害危险性评估提出了明确要求。2003 年 11 月 24 日颁布的《地质灾害防治条例》，又以国务院行政法规的形式再次确立了地质灾害危险性评估这项制度的法律地位，从此，评估工作走向了法制化和规范化。为贯彻《地质灾害防治条例》和《行政许可法》，加强对地质灾害危险性评估的管理，2004 年 3 月 25 日，国土资源部又以国土资发〔2004〕69 号文下发了《国土资源部关于加强地质灾害危险性评估工作的通知》（以下简称“69 号文”），对评估工作管理方式进行了改革，对评估报告的审查、备案及评估单位的资质等提出了新的管理举措，对各级国土资源主管部门提出了新的管理要求。按照 69 号文的规定，从发文之日起，各级国土资源行政主管部门不再负责组织对评估报告的审查

认定，改为实行备案制。按照此精神，各省（自治区、直辖市）国土资源行政主管部门结合当地实际情况，先后制定出台了一系列地质灾害危险性评估管理的制度办法，对建立专家库、评估报告审查程序、备案要求等提出了明确要求。为加强地质灾害危险性评估单位的管理，2005年6月，国土资源部又以部长令形式颁布了《地质灾害危险性评估单位资质管理办法》（国土资源部第29号令），对评估单位的资质等级条件和资质审查管理做出了明确规定。按照规定，国土资源部负责甲级资质的审批管理。省级国土资源主管部门负责乙级和丙级资质的审批管理。目前全国已授予地质灾害危险性评估甲级资质单位360余家。至此，全国地质灾害危险性评估制度体系已逐步建立，并趋于完善。在长期实践的基础上，其有效性在于立足于“预防为主”的方针，符合减灾防灾的十倍法则，即一分的预防投入常可以避免十分的灾害损失，从某种意义上说是从源头上防治地质灾害；该项制度的建立，也符合灾害防治以人为本的原则，具有极强的针对性。

从1999年12月1日开始实行评估制度以来，全国已开展地质灾害危险性评估项目5万余个，涉及交通（公路、铁路、机场、港口）、水利水电、工业建筑、民用建筑、管线等线性（油气）工程、市政建设、矿山建设、移民搬迁、城镇规划、城镇及开发园区、旅游设施、农业开发基地、军事工程等各个领域。地质灾害危险性评估取得的效益日益凸显，经过7年的推行，已经取得了良好的地质灾害预防效果，工程建设诱发和遭受地质灾害危害的现象明显减少。例如，西气东输工程全长4000余千米，管线经过区发育有各类地质灾害，2001年西气东输工程开展了地质灾害危险性评估工作，评估成果已直接被该管道工程可行性研究和初步设计两阶段所采用，为工程选线、设计、施工中避让预防、治理地质灾害提供了全面系统的基础资料，得到了建设单位的高度评价，为西气东输工程建设作出了重要贡献；辽宁省的大连LNG工程在地质灾害危险性评估中发现，拟选线路通过沈南煤田林盛顿煤矿采空塌陷区，建议采取避让措施，被建设单位采纳，从而有效地防止了地面塌陷给工程带来的危害；沪瑞国道主干线衢州至窑上公路工程评估，在对常上港大桥岩溶塌陷问题进行充分分析论证后，建议进一步补充勘探，并适当调整桥桩位置，尽可能避开岩溶发育地段，以确保大桥安全使用，此建议得到了建设单位高度重视，从而避免了有可能产生桥基下沉的不良后果；界首—蚌埠高速公路二期评估中，关于地面沉降对工程建设的危害性的评价，引起了设计部门的重视，将原设计中的刚性混凝土路面改为柔性的柏油沥青路面，提高了抗灾能力；湖北省宜昌太平溪港口，评估提出部分工程位于滑坡体下方危险区，建设单位修改设计，避免了经济损失100万元的隐患。以上事实充分说明，在项目选址阶段对拟建项目实施地质灾害危险性评估工作，可为工程后续勘查、设计工作中采取避让、预防或治理等针对性措施提供依据，在减灾防灾、保护人民生命财产安全中取得事半功倍的效果。

7年来，通过各级国土资源主管部门大力宣传、内部协调和密切配合，并不断总结经验，完善制度，与时俱进，地质灾害危险性评估制度的实施进展顺利，成效显著。主要反映在以下几个方面：

（1）建立健全了制度规范。在开展地质灾害危险性评估的实践中，各地积极探索工作方法，不断完善制度规范，有效减少了施工过程中出现的灾害和事故，提高了建设工程的效率，以及政府部门和评估单位的社会信誉度。

（2）各级政府高度重视评估工作。通过国土资源主管部门大力宣传，以及评估工作取得的社会经济效益，使各级政府充分认识到评估工作的重要性和必要性，评估工作已全面延伸到了规划、立项和建设等各个阶段。如重庆市政府专门发文，凡是已取得规划许可或建设许可但尚未开工建设的项目，必须全部进行地质灾害危险性评估，今后凡是未做评估的项目，规划部门一律不批规划，计划部门不批立项，土地部门不批土地，从而从源头上有效地减少了人类工程活动引发的地质灾害。

（3）建设单位、评估单位和主管部门责任感不断增加，评估工作由被动转为主动。由于各地加大对评估工作的宣传和管理，许多建设单位也通过吸取因未进行评估而在施工中诱发地质灾害造成人员伤亡和经济损失的经验教训，逐步认识到开展地质灾害危险性评估的重要性和必要性。现在，大部分建设单位对地灾评估的认识已经从把评估报告只看作是土地报件，上升到作为地质灾害前期预防的重要手段，在项目选址时都能主动地咨询地质灾害发育情况，自觉进行评估，克服了事后“补课”的现象。

（4）地质灾害危险性评估报告质量不断提高。各地提交的评估报告基本能按照国家的技术要求进行

编写,基础资料丰富,文本规范,图件清晰,结论正确。为各项建设工程顺利开展打下了坚实基础。

(5) 评估工作的管理进一步规范。通过制定规章制度和技术规程,加强培训,建立专家库,培育中介组织,各地国土资源主管部门认真贯彻国家法律法规,本着为民服务、为社会服务的宗旨,逐步建立健全了地质灾害危险性评估管理体系,积累了丰富的工作经验。

(6) 从业人员业务水平不断提高。为加强地质灾害危险性评估的管理,提高地质灾害危险性评估从业人员业务素质和管理水平,2004年9月至2005年1月,在全国范围内组织举办了8期地质灾害危险性评估专业技术培训班,对来自基层的技术人员、参加评估报告审查的评审人员和各级行政管理干部进行了培训。通过学习贯彻《地质灾害防治条例》中有关地质灾害危险性评估的制度规定、《地质灾害危险性评估技术要求》(试行),以及有关地质灾害危险性评估管理的法规规定,提高了有关人员对评估工作的业务水平,增强了法规意识,社会反响很好。通过交流经验,大大推进了全国地质灾害危险性评估工作的总体水平,对规范评估市场发挥了积极的作用。

(7) 规范制度进一步完善。《地质灾害防治条例》施行后,组织编制了《地质灾害危险性评估技术要求》(试行),建立了评估技术人员业务培训档案数据库、评估报告数据库和各省(自治区、直辖市)地质灾害危险性评估管理数据库;与国家发展改革委员会联合制定了《地质灾害危险性评估收费管理办法》(正在全国广泛地向专家、政府、建设单位、评估单位征求意见)。同时,各地也出台了一系列法规规范和制度标准。

目前,地质灾害危险性评估工作已引起了各级政府的高度重视,并得到了全社会的普遍认可。评估工作的开展,在帮助政府和建设单位科学决策、最大限度地降低工程风险和维护费用,规范约束工程活动,从源头上控制减少地质灾害的发生、减少建设区内地质灾害威胁,维护人民生命财产安全等方面都发挥了重要作用,有力地保障了国家建设事业的发展。

众多的地质灾害危险性评估实例表明,实施地质灾害危险性评估意义巨大:① 地质灾害危险性评估工作,不仅仅为工程服务,同时也为保护当地地质环境提供依据;② 评估工作在项目选址阶段或可行性研究阶段进行,对重大建设项目地质灾害预防非常必要,它使我们能够及时发现问题,提前采取预防措施,有效地减少了施工过程中出现的灾害或事件,既节省投资,又争取时间,提高了效率和社会信誉度;③ 该工作是以预防的手段避免地质灾害的产生,改变了以往轻预防、重治理的被动局面,从源头上预防或减轻对地质环境的破坏,是保障社会稳定和促进经济建设健康发展的重要措施;④ 评估工作站在土地利用和减灾防灾总体规划的宏观角度,多部门、多学科统筹规划,充分发挥了综合管理国土资源的职能;⑤ 评估工作发挥了灾害防治专业的技术优势,提出的防治措施更具有针对性和可操作性;⑥ 评估工作中建设用地适宜性评价是用地审批的重要依据,是政府决策的一个方面。

国内外对地质灾害的研究历史久远,但将地质灾害危险性评估作为灾害研究领域中的一项新的内容,仅是近年来随着灾害损失的日益严重和相关学科理论与技术的迅速发展而兴起的。20世纪90年代以前,地质灾害研究主要局限于对地质灾害分布规律、形成机理、趋势预测等方面的分析,基本依赖于水文地质、工程地质的勘查和研究;90年代以后,地质灾害研究开始突破传统的研究模式,研究理论不断提高,研究内容日益丰富,迅速向新的独立学科发展,伴随这种趋势,评估工作开始起步。21世纪以来,随着计算机技术和信息科学的高速发展,以处理和分析地理空间数据为主要特点,满足模型计算要求,具有属性数据库与图形库动态链接和导入导出功能的地理信息系统(GIS)技术得到了空前的发展,GIS技术与地质灾害空间预测数学模型方法结合,成为地质灾害评估领域研究的热点。

我国的地质灾害危险性评估工作开展时间较短,经过7年的发展,虽然在理论和实践方面都取得了丰富的成果,但还未形成系统完善的理论及方法,评估工作仍处于资料积累和总结的过程,评估方法尚需进一步完善。目前我国大部分城市在进行建设用地地质灾害危险性评估时,多采用定性分析的方法对评估区进行地质灾害危险性分类定级。由于诱发灾害的因素是多方面的,各因素对评价目标的影响程度不同,使评估工作带有较大的主观性,这就要求从事评估工作的地质工作者必须具有良好的职业素质和强烈的责任心。地质灾害评估的结果往往具有不确定性,具备一定工程知识和经验的地质人员在地学方面的造诣和丰富的勘查经验可使结论更为可靠,因此提高从业者的技能和经验是保证评估结果可靠而有效

的途径之一。

地质灾害危险性评估工作是一项起点高、技术创新性强、难度大、操作性强的新型技术工作。在以往的地质灾害研究中，多数专业工作者把地质灾害仅作为一种地质动力活动，着力于灾害形成机制、发展规律的自然特征分析，而对灾害的社会属性和与之密切相关的破坏效应、防治效益等不够重视，需要在实践中逐步探索和完善。

随着国内外对地质灾害危险性评估工作的重视，地质灾害危险性评估的内容进一步扩展，逐渐形成跨学科、跨领域的相互交叉的综合研究体系；评估方法和手段进一步丰富，先进的计算机技术得到更广泛的应用，发挥着更大的作用，遥感技术（RS）、卫星定位技术（GPS）等多种高科技手段也为地质灾害评估所使用；评估的部门和专家进一步扩展；国际交流合作进一步加强，特别是在理论、方法、技术方面的交流合作将会有较大发展并逐步形成自身的理论体系；与减灾规划、防治工程及其他社会经济的结合越来越紧密，实用性越来越强。随着地质灾害防治工作的加强，地质灾害危险性评估工作的技术水平将不断提高，也必将在防灾工作中发挥越来越大的作用。

本书基础篇由编委会组织中国地质环境监测院、中国地质大学（北京）、山西第三地质工程勘察院等单位编撰而成。其主要作者有颜宇森、李智毅、周永昌、文宝萍、肖平新等同志，其余各篇由编委会组织报告编制单位在尊重原著的原则下缩编而成。在本书的编制过程中，得到了国土资源部有关司局、中国石油、中国石化、中国地质环境监测院，及各有关编制单位领导、专家的大力支持和帮助，在此一并表示感谢。

限于学术水平，书中如有不足之处，恳请读者批评指正。

编委会

2007年8月于北京

目次

绪论

第一篇 地质灾害危险性评估的基础

第一章 地质灾害形成及活动特点	(3)
第一节 崩塌(危岩)灾害	(3)
第二节 滑坡灾害	(9)
第三节 泥石流灾害	(28)
第四节 地面沉降灾害	(40)
第五节 采空地面塌陷灾害	(49)
第六节 岩溶地面塌陷灾害	(56)
第七节 地裂缝灾害	(61)
第二章 我国地质灾害的分布	(66)
第一节 我国地质灾害形成的自然环境	(66)
第二节 地质灾害的分区	(70)
第三节 地质灾害活动的基本特征	(84)
第三章 地质灾害危险性评估的技术方法	(87)
第一节 国土资源部国土资发[1999]392号文规定与要求	(87)
第二节 国土资源部国土资发[2004]69号文规定与技术要求	(88)
第三节 地质灾害危险性评估技术的要点说明	(98)

第二篇 输油(气)管道工程地质灾害危险性评估

第四章 西气东输管道工程建设用地地质灾害危险性评估	(105)
第一节 工程建设和评估工作概况	(105)
第二节 自然地理及社会经济概况	(107)
第三节 区域地质环境	(111)
第四节 地质灾害类型及分布	(117)
第五节 新疆段建设用地地质灾害危险性评估	(126)
第六节 甘肃段建设用地地质灾害危险性评估	(132)
第七节 宁夏段建设用地地质灾害危险性评估	(139)
第八节 陕西段建设用地地质灾害危险性评估	(146)
第九节 山西段建设用地地质灾害危险性评估	(151)
第十节 河南段建设用地地质灾害危险性评估	(161)
第十一节 安徽段建设用地地质灾害危险性评估	(167)
第十二节 江苏—上海段建设用地地质灾害危险性评估	(175)
第十三节 总结论和建议	(182)

第五章 西南成品油管道工程建设用地地质灾害危险性评估 (184)

第一节 工程建设及评估工作概况 (184)

第二节 自然地理条件 (185)

第三节 区域地质环境 (186)

第四节 地质灾害类型及分布 (187)

第五节 广东段地质灾害危险性评估 (187)

第六节 广西段地质灾害危险性评估 (192)

第七节 贵州段地质灾害危险性评估 (198)

第八节 云南段地质灾害危险性评估 (209)

第九节 总结论和建议 (217)

第六章 大连 LNG 工程地质灾害危险性评估 (218)

第一节 建设工程和评估工作概况 (218)

第二节 自然地理概况 (219)

第三节 地质环境条件 (220)

第四节 地质灾害类型与分布 (229)

第五节 地质灾害危险性现状评估和预测评估 (237)

第六节 地质灾害危险性综合评估 (241)

第七节 地质灾害防治对策与措施建议 (247)

第八节 结论及建议 (248)

第三篇 道路工程地质灾害危险性评估

第七章 青藏铁路格尔木—拉萨段地质灾害危险性评估 (253)

第一节 工程建设和评估工作概况 (253)

第二节 地质环境条件 (256)

第三节 地质灾害类型及危险性现状评估 (265)

第四节 地质灾害危险性预测评估 (272)

第五节 地质灾害危险性综合评估与建设用地适宜性 (277)

第六节 地质灾害防治措施的建议 (287)

第七节 评估结语 (292)

第八章 西部大通道包（头）北（海）线陕西境黄陵至延安段高速公路建设工程地质灾害危险性评估 (293)

第一节 工程建设与评估工作概况 (293)

第二节 地质环境条件 (294)

第三节 地质灾害类型及危险性现状评估 (300)

第四节 地质灾害危险性预测评估 (311)

第五节 地质灾害危险性综合评估及防治措施 (317)

第六节 成效检验 (331)

第四篇 矿山工程地质灾害危险性评估

第九章 中国神华神东煤炭分公司哈拉沟煤矿改扩建工程地质灾害危险性评估 (335)

第一节 工程建设与评估工作概况 (335)

第二节 地质环境条件 (337)

第三节	地质灾害类型及危险性现状评估	(343)
第四节	地质灾害危险性预测评估	(345)
第五节	地质灾害危险性综合评估	(353)
第六节	地质灾害防治措施建议	(357)
第七节	结论与建议	(358)
第十章	金堆城钼业公司露天矿南露天开采工程地质灾害危险性评估	(360)
第一节	工程建设和评估工作概况	(360)
第二节	地质环境条件	(361)
第三节	地质灾害类型及危险性现状评估	(366)
第四节	地质灾害危险性预测评估	(370)
第五节	地质灾害危险性综合评估	(376)
第六节	地质灾害防治措施	(379)

第五篇 其他工程建设地质灾害危险性评估

第十一章	大渡河瀑布沟水电站地质灾害危险性评估	(385)
第一节	工程建设和评估工作概况	(385)
第二节	地质环境条件	(387)
第三节	地质灾害类型及危险性现状评估	(390)
第四节	地质灾害危险性预测评估	(407)
第五节	地质灾害危险性综合评估	(415)
第六节	地质灾害防治措施建议	(420)
第七节	结论与建议	(421)
第十二章	黄岛地下水封石洞油库地质灾害危险性评估	(423)
第一节	工程建设和评估工作概况	(423)
第二节	评估区地质环境特征	(424)
第三节	地质灾害类型及危险性现状评估和预测评估	(429)
第四节	地质灾害危险性综合评估及场地适宜性评价	(433)
第五节	结论与建议	(434)
第十三章	西气东输工程金坛地下储气库建设用地地质灾害危险性评估	(436)
第一节	建设工程和评估工作概况	(436)
第二节	评估区地质环境条件	(438)
第三节	库区地质灾害类型及危险性现状评估	(442)
第四节	库区地质灾害危险性预测评估	(445)
第五节	地质灾害危险性综合评估和地质灾害防治措施	(451)
第六节	结论与建议	(452)
主要参考文献		(454)

■ 第一篇

地质灾害危险性 评估的基础

第一章

地质灾害形成及活动特点

我国所处的自然地理和地质条件复杂多样，加之人类活动的影响，决定了地质灾害类型齐全繁多。按地质灾害的主要成因，可划分为地球内动力、地球外动力和人类活动形成的三大类。地球内动力地质灾害主要有活动断裂错动、地震、构造地裂缝等；地球外动力地质灾害主要有崩塌、滑坡、泥石流、洪水冲蚀等；人类活动形成的地质灾害主要有地面沉降、地面塌陷等。地质灾害危险性评估工作中涉及对工程建设危害较大的有崩塌、滑坡、泥石流（包括洪水冲蚀）、地面塌陷、地面沉降、地裂缝等，而活动断裂和地震灾害另有专项评估内容，本章则不涉及。现结合以往各勘查部门的资料和近年来地质灾害评估和县（市）地质灾害调查与区划成果，重点对6类灾害的基本特征、分布发育规律、分类、形成条件及防治措施等方面进行论述。

第一节 崩塌（危岩）灾害

一、崩塌的定义和基本特征

斜坡上被陡倾张性破裂面分割的岩土体，因折断、压碎或局部滑动，失去稳定，突然脱离母体向下倾倒、翻滚的地质现象。它与滑坡虽同属斜坡地质灾害，但其形成机制则与滑坡完全不同。由于它分布范围广，有一定的隐蔽性，具有难以预防、发生突然、致灾过程短促等特性，所以，它是诸类灾害中最危险的灾种之一。

中国丘陵山地占国土总面积的65%，特别是西部地区地处中国大地貌类型的第一级台阶和第二级台阶，长期处于地壳上隆过程中，地形切割剧烈、地质构造复杂、岩土体结构面发育，地震活动频繁，生态环境脆弱，因而崩塌多发生在这些地区。我国西部地区不少交通运输线和城镇都曾遭受崩塌灾害的困扰。

根据岩（土）体崩塌的形式可将其分为崩塌、坠落和剥落。崩塌是整体岩土体从陡坡上向下倾倒、崩落、翻滚、坐落以及因此而引起的岩土体变形，可分岩质崩塌和土质崩塌两类；坠落是悬崖陡坡上个别岩块突然坠落，或称落石；剥落是斜坡表层岩石遭风化冲刷形成的岩屑沿坡面滚落和堆积坡脚的现象（由于其变形崩塌缓慢，形不成大的灾害，本书不再赘述）。

20多年来，我国发生过多起造成灾祸的崩塌事件。例如，1980年6月10日发生在湖北省远安县盐池河磷矿的灾难性山崩。该磷矿位于一峡谷中，岩层上部为震旦系上统灯影组（ Z_2dy ）厚层块状白云岩，下部为陡山沱组（ Z_2d ）含磷矿层的薄至中厚层白云岩、白云质泥岩及砂质页岩。岩层中发育有两组垂直节理，使山顶部的灯影组厚层白云岩三面临空，形成峭壁；地下采矿平巷使地表沿两组垂直节理追踪发育张裂缝。在连续两天大雨触发下，山体顶部前缘的岩层沿层面滑出形成崩塌（图1-1），体积约100万 m^3 ，造成生命财产的巨大损失。类似事件还有1989年9月的重庆市巫溪县城山崩和1999年4月的重庆市武隆县鸡冠岭山崩。

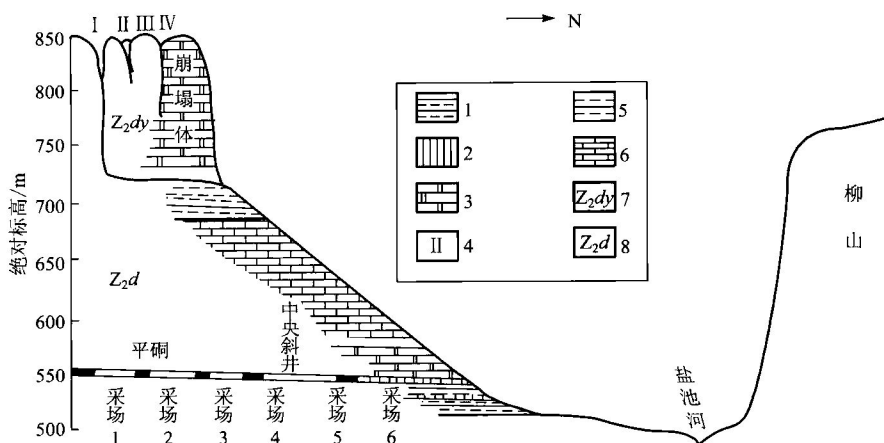


图 1-1 盐池河磷矿山体崩塌地质剖面图

1—灰黑色粉砂质页岩；2—磷矿层；3—厚层块状白云岩；
4—裂缝编号；5—白云质泥岩及砂质页岩；6—薄至中厚层板状白云岩；
7—震旦系上统灯影组；8—震旦系上统陡山沱组

二、崩塌形成条件和诱发因素

崩塌多在沟谷两侧和陡峻岩（土）壁分布。沟谷是在水的作用下形成的，在形成过程中由于水的切割冲刷作用，破坏了岩（土）体的原始应力场，沟谷两侧岩土体应力重新分布，在坡肩部位为拉裂区，致使原地层中的节理裂隙逐渐张开呈卸荷状，靠沟边侧裂隙张开程度大，靠内侧逐渐闭合与原地层节理裂隙分布一致（图 1-2）。因此崩塌大多发生在坡肩前缘部位，单一的陡峻岩（土）壁成因多与构造有关，其应力场分布也与沟谷一侧大致相同。卸荷裂隙与岩体中的节理裂隙、岩层层面及临空面所包围的岩（土）体或岩（土）块即为崩塌的物源，崩塌发生之前是以危岩体的形式存在，但其是否发生主要取决于岩性、构造和地形地貌条件及地震、爆破、暴雨等诱发因素。

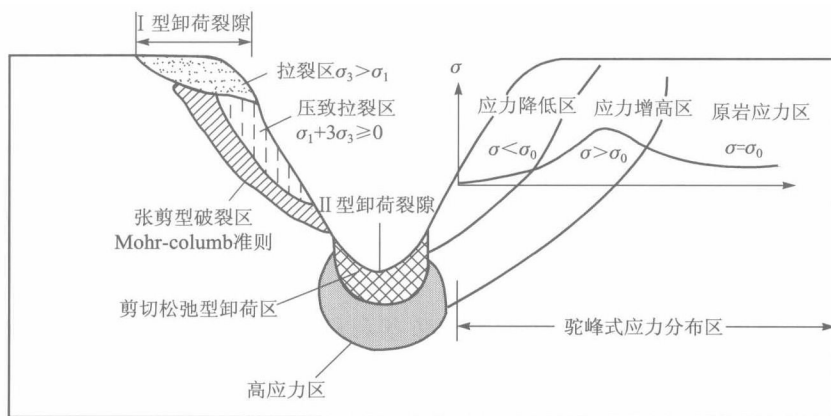


图 1-2 峡谷应力场分布及卸荷裂隙机理示意图

(据黄润秋等, 2001)

1. 岩性

岩性是崩塌产生最基本的条件。崩塌一般发生在厚层坚硬脆性岩体中。例如厚层灰岩、砂岩、石英岩和花岗岩等。这类岩性能组成高陡的斜坡，其前缘由于应力重分布和卸荷等原因，易产生长而深的张裂缝，并与其他结构面组合，逐渐形成连续贯通的分离面，在触发因素作用下发生崩塌（图 1-3）。此外，由缓倾角软硬相间岩层组合的陡坡，由于软弱岩层被风化剥蚀而形成凹龛，使上部的坚硬岩层失去

依托,故也常发生局部崩塌(图1-4)。四川盆地红层地区较多见。此外,黄土类土由于垂直节理发育,能形成较高陡的斜坡,也常见规模不大的崩塌发生(图1-5)。

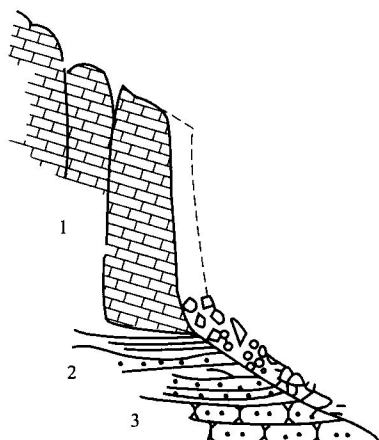


图1-3 坚硬岩石组成的斜坡前缘卸荷裂隙导致崩塌示意图
1—灰岩;2—砂页岩;3—石英砂岩

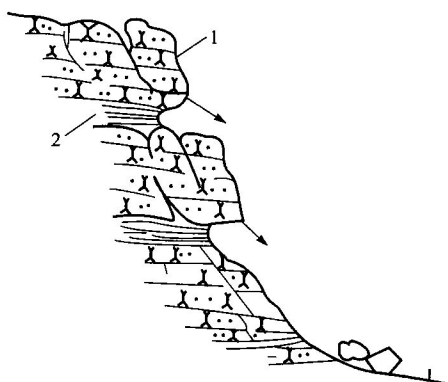


图1-4 软硬相间岩层的陡坡局部崩塌示意图
1—砂岩;2—页岩

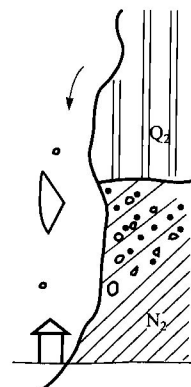


图1-5 沿黄土垂直节理土体坠落

2. 地质构造

岩体中各种节理裂隙对崩塌形成的影响很大。硬脆性岩层中往往发育有两组或两组以上的陡倾节理,其中与坡面平行的一组往往演化为卸荷拉张裂缝,对崩塌起控制作用。当岩体中各种软弱结构面的组合位置处于下列最不利的情况时易发生崩塌:①当岩层走向与坡面平行且为近于直立时(图1-6);②当岩层发育有多组节理,且一组节理倾向山坡且为陡倾角时;③当二组与山坡走向斜交的节理组成倾向坡脚的楔形体时(图1-7);④当节理呈弧形弯曲的光滑面或山坡上方附近有断层破碎带存在时;⑤在岩浆岩侵入接触带附近的破碎带或变质岩中片理片麻构造发育地段,风化后形成软弱结构面,易导致崩塌的产生。

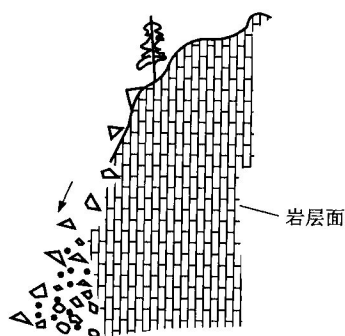


图1-6 沿直立层面倾倒崩塌

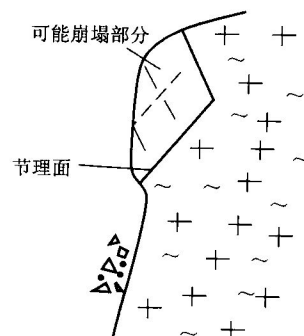


图1-7 沿节理面崩塌

3. 地形地貌

崩塌的形成与地形直接相关。在地形强烈切割的山区,高陡斜坡分布区和深开挖的基坑、矿坑中,崩塌现象多见。发生崩塌的地面坡度一般大于 45° ,而大部分分布在大于 60° 的斜坡上。地形切割愈强烈、高差愈大,形成崩塌的可能性和能量也就愈大。

4. 诱发因素

气候条件对崩塌形成也起一定的作用,昼夜的温差变化、季节的温度变化产生的冻胀作用,促使岩石裂隙开裂和岩石风化,地表水的冲刷、层间裂隙水溶解和软化泥页岩层及裂隙充填物形成软弱结构面,

地下水的渗透增加静水压力，地震、机械震动和人工爆破产生的震动，尤其是强烈地震可引发大规模崩塌，边坡开挖和矿山开采，植物根劈作用等都会促使崩塌的发生。

三、典型崩塌（危岩）的活动特点及危险性评估

崩塌（危岩）主要发育于岩质斜坡中，该岩类崩塌可分两类，一类是单块和多块零散崩塌，呈坠落或小方量崩塌，由于其规模小，引不起人们的注意，不易预防，所以是最危险的一类。往往一块坠石即可伤人命，其发生的诱发因素多是温差（冻胀）和流水，遇此情况应注意其下方（立警示牌或消除上方危石）。另一类是多块或大方量岩体产生的崩塌，可形成群死群伤灾害事件。这类崩塌在发生前，要经过如下阶段：流水作用形成的沟谷两侧危岩体→危岩体下部受压层破坏（风化或压裂）→诱发因素→崩塌。每个阶段崩塌体的外形（主要是裂隙）有明显的变化，这个变化过程有较长时间，只要注意观察，是可以预测预防的。

1. 长江三峡链子崖危岩体

长江三峡库区的链子崖危岩体位于湖北省秭归县新滩镇长江南岸，下距三斗坪三峡大坝坝址 27km。其峡口段河谷深切、岸壁陡峭、水深流急，为川江航道的咽喉地段。构造属巴山弧与新华夏构造复合地带，褶皱轴线呈 NE—NEE 向。链子崖区位于由碳酸盐岩类构成的单斜构造中（黄陵背斜西翼），地层为二叠系栖霞组（ P_1q ）中厚至巨厚层状细晶灰岩，瘤状灰岩夹薄层炭质页岩、泥灰岩，链子崖岩体主要为坚硬的细晶灰岩，上部 R_{401} 、 R_{402} 软层带多为瘤状或疙瘩状灰岩，强度较低。危岩体底部为二叠系马鞍山组（ P_1m ）炭质泥页岩夹透镜状煤层，煤层厚 1.6 ~ 4.2m，为采空状态，该软层对危岩体的稳定起控制作用（图 1-8）。

崖边裂缝带长 700m，面积约 0.5km²，崖顶发育有 30 多条大裂缝，裂缝长度数十至数百余米，最长为 170 余米。主要南北向大裂缝纵贯崖边，裂缝宽 0.1 ~ 2m，最宽达 5.3m，深数十至数百余米，走向为 NWW，NNW，NNE。由主要的裂缝 $T_0 \sim T_{12}$ 组成三处密集发育带，分别将危害体分割成三部分，其中 5 万方自 1970 年进行监测以来处于变形位移状态。危岩体如产生崩塌将堵江碍航，直接经济损失将达 15 亿 ~ 35 亿元。历史上 1030 年和 1542 年由暴雨和地震诱发大型崩塌堵江碍航分别达 20 年和 82 天。1996 年经锚固治理后，保证了后期的长江航运和三峡大坝的建设（图 1-9）。

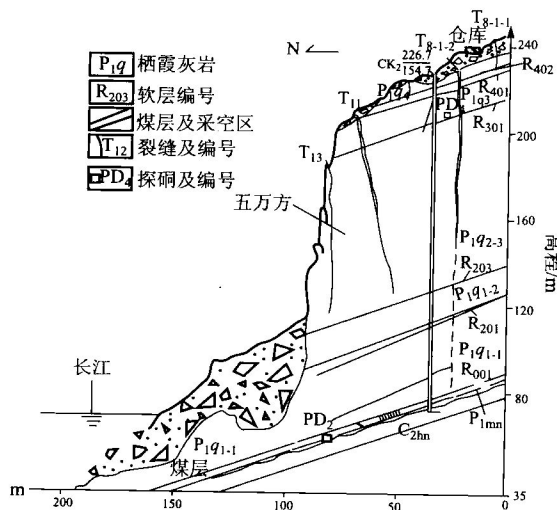


图 1-8 链子崖“五万方”危岩体结构特征
(据殷跃平等, 1995)



图 1-9 链子崖整治后全景

2. 晋济高速公路拍盘隧道崩塌（危岩）

晋（城）济（源）高速公路仙神河大桥主桥位于太行山南部的山西晋城市罗河村仙神河深切峡谷，