地质灾害与防御

肖和平　潘芳喜／编著



地质出版社

地质灾害与防御

肖和平　潘芳喜　编著

地震出版社

图书在版编目(CIP)数据

地质灾害与防御/肖和平等著.—北京:地震出版社,2000.10

ISBN 7-5028-1761-1

Ⅰ.地… Ⅱ.肖… Ⅲ.地质-灾害-研究 Ⅳ.P694

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 45461 号

地质灾害与防御

肖和平 潘芳喜 编著

责任编辑:张 平

责任校对:王花芝

*

地震出版社 出版发行

北京民族学院南路 9 号

北京地大彩印厂印刷

全国各地新华书店经售

*

850×1168 1/32 8.25 印张 220 千字

2000 年 10 月第一版 2000 年 10 月第一次印刷

印数 0001—2000

ISBN 7-5028-1761-1/G·153

(2292)定价:11.80 元

前　言

减灾活动是一项全民活动，只有通过广泛深入的舆论宣传，增强全民的减灾意识，提高民众抵御灾害的能力，减灾工作才能深入人心，落到实处，取得成就。目前，我国国民灾害意识相当薄弱，防灾减灾的科学意识还相当落后。随着社会生产力发展和科学技术进步、城市化进程迅猛发展，地质灾害日趋严重，给我国经济建设和人民生命财产安全构成严重的威胁，给人类造成沉痛的灾难。地质灾害防治既是经济问题也是社会问题，它关系到国民经济发展和社会稳定。为此，要求我们在做好抗御自然灾害的同时，坚持减灾工作与经济建设一起抓的原则，为实现"减负等于增正"的减灾目的，切实做好防灾减灾工作，从而保障国民经济建设和社会持续稳定发展，使自然灾害造成的直接经济损失率显著下降，人员伤亡明显减少。

在各种自然灾害中，多达30余种的地质灾害造成的人员伤亡较多，经济损失大，并具突发性、群发性、多发性和影响持久性。最具严重危害的灾害有地震、滑坡、崩塌、泥石流、地面沉陷、土壤侵蚀、荒漠化、海水入侵等。我国的地质灾害种类多，分布广，发生频繁。自20世纪50年代到现在，国内地质灾害（地震除外）所造成的经济损失高达270亿元/年，且灾度呈成倍增加态势。近年来，每年地质灾害（不包括地震）造成的经济损失约占各种自然灾害损失的1/5至1/4。特别是1998年发生历史上罕见的洪灾期间，全国发生不同规模的崩塌、滑坡、泥石流等突发性地质灾害18万处，其中规模较大的有447处，造成1万多人受伤，1157人死亡，50多万间房屋被毁坏，经济损失达270亿元。一些地区地质灾害已成为制约经济和社会发展、恶化生态环境的重要因素。为适应我国经济建设的大规模发展，保护

地质环境，我国提出了：将地质灾害发生率和损失量减少50%，人员伤亡减少70%的减灾目标。为了认真贯彻执行“以防为主，防治结合”的方针，为实现地质灾害的减灾目标，进一步提高群众地质灾害防治意识和能力，著者在对地质灾害防御实践和长期研究工作的基础之上，参阅国内外有关防灾减灾资料和成果，汇集了各界学者在《人民日报》、《中国减灾报》、《地震报》、《地震知识》、《震苑》和《中原减灾》等发表的有关文章（恕未在参考文献中一一列出，在此谨向诸位表示谢意），编著了这本适应于社会各界开展灾害知识，特别是地质灾害知识教育，提高全民防灾意识和能力的科普读物——《地质灾害与防御》。为使人们掌握地质灾害的有关知识，认识地质灾害的形成、发生、发展过程，提高防御地质灾害的能力，本书深入浅出地介绍了常见的地质灾害、人为地质灾害及高速经济发展中的现代地质灾害成因、类型、致灾原因和危害性，进而介绍了地质灾害的预测预防、治理措施及如何提高人们抗御地质灾害的心理素质等防御灾害常识。同时，书中就煤矿地质灾害、水库区地质灾害、城市地质灾害、地质环境与人体健康和恐灾心理与对策等现代社会、经济迅猛发展中生成的环境地质灾害的特征、成灾因子、减灾对策等进行了阐述，旨在提高民众同灾害作斗争的科学水平和成效，减轻灾害损失，促进国民经济的发展。

作　　者



肖和平　1952年生。湖南省新化县人。北京大学地质地理系地质力学专业毕业。先后在四川省地震局地震地质大队、湖南省邵阳市地震局（地震分析预报高级工程师、副局长）、湖南省地震局（工程地震室主任，地震地质高级工程师）工作。中国地震学会会员、湖南省地震学会会员、湖南省地质学会理事，湖南省地震科学技术委员会委员。



潘芳喜　1951年生。湖南省新邵县人。湖南大学工商企业管理研究生班毕业。先后任湖南省新邵县共青团县委副书记、科委主任；现任湖南省邵阳县人民政府副县长（主管计委、卫生、文化、等）。

目　　录

第一章　灾害的概念与定义 …… 1
　第一节　灾害定义 …… 1
　第二节　自然灾害 …… 1
　第三节　人为灾害 …… 3
　第四节　灾害机制的多重性 …… 3
　第五节　灾害防治与对策 …… 4
第二章　地质灾害 …… 8
　第一节　地质灾害类型及特征 …… 8
　第二节　人类行为与地质灾害 …… 13
　第三节　地质灾害对策 …… 14
第三章　地震灾害 …… 18
　第一节　地震成因及类型 …… 18
　第二节　地震成灾原因 …… 21
　第三节　地震特征及规律 …… 24
　第四节　地震监测预报 …… 32
　第五节　地震减灾对策 …… 34
　第六节　地震灾害防御知识 …… 43
第四章　滑坡 …… 59
　第一节　滑坡成因及类型 …… 59
　第二节　滑坡灾害实例 …… 63
　第三节　滑坡调查及预测 …… 69
　第四节　滑坡灾害的防御措施 …… 74

第五节　滑坡、崩塌、泥石流三者关系 …… 79
第五章　崩塌 …… 81
第一节　崩塌成因条件 …… 81
第二节　崩塌类型 …… 82
第三节　崩塌与滑坡区别 …… 83
第四节　崩塌灾害及实例 …… 84
第五节　崩塌防治与对策 …… 86
第六章　泥石流 …… 88
第一节　泥石流形成条件及特征 …… 88
第二节　泥石流分类 …… 91
第三节　泥石流灾害及实例 …… 93
第四节　泥石流灾害预防对策 …… 100
第七章　地裂缝 …… 104
第一节　地裂缝成因及分类 …… 104
第二节　地裂缝灾害实例 …… 115
第三节　地裂缝研究意义及方法 …… 117
第四节　地裂缝灾害的防御 …… 122
第八章　地面塌陷 …… 123
第一节　地面塌陷成因及分类 …… 123
第二节　地面塌陷危害及实例 …… 129
第三节　地面塌陷预测预防 …… 133
第四节　地面塌陷灾害防御措施 …… 136
第九章　地面沉降 …… 139
第一节　地面沉降成因及类型 …… 139
第二节　地面沉降危害及实例 …… 142
第三节　地面沉降监测 …… 145
第四节　减轻地面沉降灾害的措施 …… 146

第十章　火山 …… 148
第一节　火山成因及类型 …… 148
第二节　火山灾害 …… 152
第三节　中国火山 …… 156
第四节　火山监测预报及防御 …… 157
第十一章　水土流失 …… 159
第一节　水土流失原因 …… 159
第二节　水土流失危害 …… 161
第三节　水土流失灾害实例 …… 162
第四节　水土流失灾害对策 …… 164
第十二章　沙漠化 …… 166
第一节　沙漠化的原因 …… 166
第二节　沙漠化危害 …… 169
第三节　沙漠化防治对策 …… 174
第十三章　煤矿地质灾害 …… 176
第一节　煤矿地震(矿震) …… 176
第二节　煤矿滑坡 …… 184
第三节　煤矿地面沉降及塌陷 …… 185
第四节　煤和瓦斯突出 …… 188
第五节　煤矿突水 …… 191
第六节　煤矿地质灾害防御措施 …… 193
第十四章　水库区地质灾害 …… 198
第一节　水库地震 …… 198
第二节　水库区岸坡地质灾害 …… 201
第三节　水库区淤积灾害 …… 203
第四节　水库区渗漏及塌陷 …… 203
第五节　水库区地质灾害防御 …… 204

第十五章　城市地质灾害 …… 206
第一节　城市地质灾害分类和实例 …… 206
第二节　城市地质灾害对策 …… 219
第十六章　地质环境与人身健康 …… 223
第一节　岩土矿物与疾病 …… 223
第二节　地气与人身健康 …… 227
第三节　矿泉与人身健康 …… 229
第四节　地方病防治 …… 231
第五节　地气中毒防治与对策 …… 232
第十七章　恐灾心理与对策 …… 234
第一节　恐灾心理 …… 234
第二节　恐灾心理的后果 …… 236
第三节　恐灾心理对策 …… 237
结 束 语 …… 241
中华人民共和国国土资源部令 …… 244
参考文献 …… 251

第一章 灾害的概念与定义

第一节 灾害的定义

在日常生活中，人们能领悟或感受到“灾害”的存在和“灾害”的威胁。那什么叫“灾害”呢？又怎样给它一个定义呢？“灾害”是针对人类社会而言的，没有人类社会就无所谓灾害事件与灾害损失。广义上我们可以将灾害定义为自然界或人为活动所引起的、危害人类生命财产和生存条件的各类事件。进而又可以理解为：由于不能控制或未予控制自然界和人为活动破坏性因素引发的、突然或在短时间内发生的、超越本地区或本团体、个人防御能力所造成的人员伤亡与物质财产损毁的事件。灾害事件成灾机制取决于致灾物质运动的速度、动能、冲击力和人类设施的承受能力，当前者大于后者时，就会造成破坏和损失。

第二节 自然灾害

自然灾害通常指自然变异为主因而产生的，并表现为自然态的灾害。众所周知，人类赖以生存的地球表层（包括岩石圈、水圈、气圈和生物圈），不仅受地球自身运动和变化的影响，而且也直接受太阳和其他天体的作用和影响。然而，自然界不断的变

化、太阳对地球辐射能的变化、地球运动状态的改变、地球各圈层物质的运动和变异等因素，时常能破坏人类生存的和谐条件，导致自然灾害的发生。

根据成生机制自然灾害可分为：

(1) 由大气圈变异活动引起的气象灾害和洪水，如暴风雪、暴雨、寒潮、霜冻、冷害、冰雹、旱灾、龙卷风、台风、热带低气压、雷暴、大风等。

(2) 由水圈变异活动引起的海洋灾害与海岸带灾害，如海啸、风暴潮、赤潮、巨浪、海冰、海水入侵、海平面上升和海水回灌等。

(3) 由岩石圈活动引起的地质灾害，如地震、泥石流、滑坡、地裂缝、矿井突水突瓦斯、地面塌陷、火山、地面沉降、土地盐碱化、沙漠化、水土流失等。

(4) 由生物圈变异活动引起的农、林病虫草鼠害，如蝗灾、鼠灾、农业病虫害、森林火灾、农业环境灾害、农业气象灾害。

自然灾害亦可根据形成过程的时间长短，分为突发性和缓发性两大类自然灾害。突发性自然灾害泛指当致灾因子的变化超过一定程度时，就会在几天、几小时、几分、甚至几秒钟生成的灾害行为，如地震、洪水、飓风、风暴潮、冰雹等灾害。虽然旱灾、农作物和森林的病、虫、草害等成灾时间一般在几个月内，但灾害的形成和结束期比较短，所以也将它们列入突发性自然灾害。在致灾因素长期发展(通常在几年或更长时间)的情况下，逐渐显现成灾的自然灾害称之为缓发性(或累进性)自然灾害，如土地沙漠化、水土流失、环境恶化等灾害。

第三节　人为灾害

由人为活动引起表现为人为态的灾害称为人为灾害，如城市火灾、交通事故、人口爆炸、环境恶化、战争动乱、流行疾病和食物中毒、恐慌拥挤死伤人员等。另外，由自然界变异所引起的、表现为人为态的灾害则称为自然人为灾害，如太阳活动峰年发生的传染病流行。人类改造自然活动中，也会造成某些灾害事件的发生，我们将由人为活动影响所产生的，表现为自然态的灾害称为人为自然灾害，如过量砍伐森林引起的水土流失、过量开采地下水或矿产资源引起的地面沉陷等。

第四节　灾害机制的多重性

研究灾害事件的成灾机制是确立减轻灾害措施的科学基础。研究成灾机制的多重性（即灾害链），有助于制定防灾减灾对策，达到减轻灾害的目的。

灾害造成自然环境、人工环境和社会环境的破坏，导致人畜伤亡，同时，诱发威胁人类生存的次生灾害，这就是灾害的宏观过程。按照灾害与灾害现象之间的关系，可将灾害分为原生灾害、直接灾害、次生灾害和诱发灾害。现以地震灾害为例，就灾害机制多重性加以阐述。地震直接造成岩体或岩块的断裂、地面变形等灾害现象称为原生灾害；地震震动直接造成的建筑物倒塌使人伤亡、山崩地裂造成的人员伤亡、海啸涌浪等、地下溢出气体和引起中毒等灾害称为直接灾害；地震造成的人工建筑或自然物破坏后又引起的火灾、水灾、泄毒和山崩、海啸等诱发灾害称为次生灾害。震灾诱发造成的政治、经济、社会和法律的失调、

社会理性秩序破坏以及瘟疫等的社会性灾害，叫做诱发灾害。我们将这种原生灾害、直接灾害、次生灾害和诱发灾害环环相扣的连锁反应叫做灾害链。

第五节　灾害防治与对策

灾害防治与对策是基于灾害科学研究成果，根据人类社会在灾害时空演化过程采取的有效防、抗、救方案，以求最大限度地减轻乃至避免灾害造成的损失。灾害防治途径主要有：

(1) 政府或有关部门统一协调、指挥、部署灾害前、灾害时和灾害后的防抗救工作，做好防灾计划、防灾知识宣传教育、防灾训练、防灾法律等方面工作。

(2) 通过各种有效途径，提高全民防灾意识和加强政府职能。特别是应把灾情和防灾基本知识列进中小学教育计划，让孩子从小就受到防灾教育，树立防灾意识。

(3) 发展灾害科学研究体系，形成一个灾害学科体系，从事灾害基础研究。

(4) 加强灾害预测预报。灾害预测是根据已掌握的情况和发展动向，应用科学方法预测未来可能发生灾害事件的时间、地点、强度和后果要素等。通常采用根据灾害成因和社会的影响，提出理论模型表示灾害，由数值计算结果来预测灾害发生的推理法；从有限数量的灾害实例中归纳出经验性的规律，预测未来的灾害。灾害预报是指将科学家对灾害事件的预测意见以公开形式，向有关部门和社会的发布。灾害预报包括发生灾害的规模、强度、地点、时间或时间、空间、强度的范围和概率。这种预报多为短临预报。较长时间的预报属趋势预测。

当今世界，灾害频频发生，给人类带来了惨重的灾难。为了

将灾害生成的损失减轻到最低程度。42 届联合国大会的 169 号决议，确定 1990 年至 2000 年开展“国际减轻灾害十年活动”为配合减灾活动和唤起民众减灾意识，44 届联合国大会的 236 号决议，规定每年 10 月的第二个星期三为国际减轻灾害日。同时，据国际减灾十年活动的进程和减灾工作的重点提出每年的减灾主题，1991 年至 1999 年的主题依次为：减灾·发展·环境——为了一个目标；减轻自然灾害与持续发展；减轻自然灾害的损失、要特别注意学校和医院；确定受灾害威胁的地区和易受灾害损害的地区——为了更加安全的 21 世纪；妇女和儿童——预防的关键；城市化与灾害；水：太多、太少……都会造成自然灾害；预防从信息开始——防灾与媒体；防灾的收益——科学技术在灾害防御中保护了生命和财产安全。减灾活动的目的是：通过国际社会协调的努力，充分利用现有的科学技术成就和开发新技术，提高各国减轻自然灾害的能力，以减轻自然灾害给世界各国、特别是发展中国家所造成的生命财产损失。

我国是一个自然灾害种类繁多、发生频率高、灾变强度大、受灾严重的国家。据统计，我国 20 世纪 50 年代自然灾害所造成的年平均经济损失为 80 亿元人民币，20 世纪 80 年代年平均 410 亿元。随着社会和经济的发展，现代化城市人口和经济设施相对集中，自然灾害所造成经济的损失正以更快的速度增长，1991 年直接经济损失为 1200 多亿元，1995 年为 1863 亿元。因此，加强防灾减灾工作已成为促进经济建设和维护社会安定的重要任务。为协调我国的减灾活动，1989 年 4 月成立了“中国国际减灾十年委员会”。重大的自然灾害往往危及全社会。防灾减灾经验表明，减灾行动中除了专业系统的工作外，还必须有政府和民众有意识的整体行动，才能取得最佳的减灾效果。许多灾害是难以预测和预防的，但防灾意识和防灾知识却是可以人人具备，使

幸和惊惶、被动受灾都是不可取的。为此，我们应汲取以往的惨重灾难教训，积极行动起来做好防灾减灾工作，用科学战胜灾祸。

我国在总结以往减灾工作的基础上，建立起了由国家统一领导的系统工程（图 1－1），在防灾减灾工作中采取了以下对策：

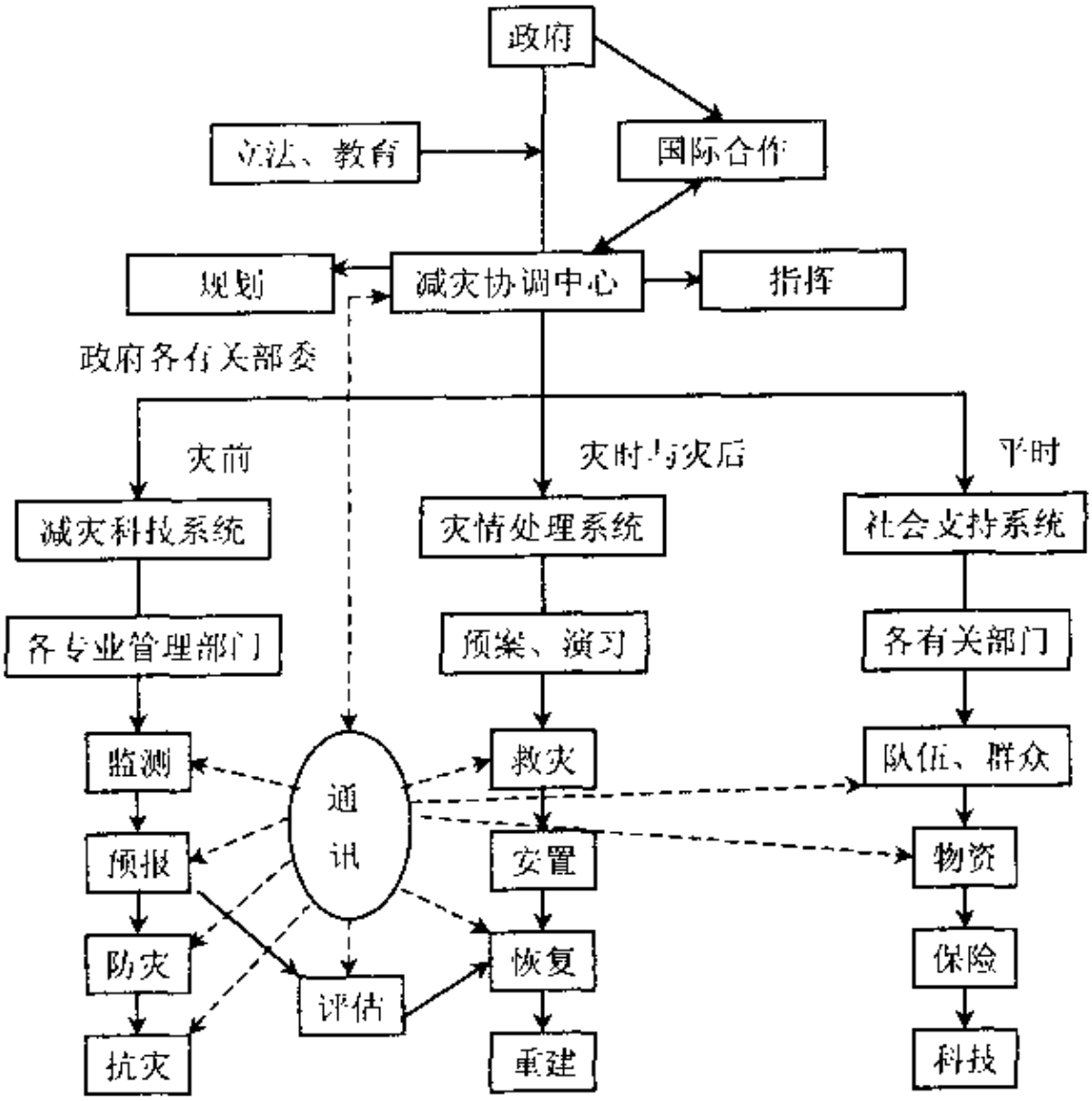

图 1－1　中国减灾系统工程图

(1) 强化减灾意识。进行广泛深入的宣传，加强减灾活动的教育，增强全民对减轻灾害重大意义的认识。

(2) 坚持以预防为主、防救结合、全面规划、综合减灾的方针。把国家经济建设与兴办防灾设施紧密联系起来，既发展经济又增强防御灾害的能力，将减灾工作纳入社会经济发展计划。具体措施是：首先是制定应付重大灾害的预案，提高对突发性灾害的应急反应；二是健全救灾队伍和救灾装备建设；三是组建以各级政府为首各部门参与的条块结合的灾害管理系统；四是推动减灾事业的社会化，筹建减灾示范区，开展国际间的交流与合作，通过全社会协调努力，促进减灾事业发展。

(3) 开展深层次的减灾科学研究，揭示各种灾害的成因和发展规律，建立灾害监测和信息系统，提高对灾害的预测预报水平。同时，动员社会科学家来研究灾害对社会的种种影响，研究致灾作用，避免盲目发展、保护生态平衡，尽量减少天灾人祸的破坏作用。

(4) 制定、完善减灾法规，把减灾工作纳入法制轨道。加强灾害立法，使我国的防灾救灾工作有章可循，有法可依，避免盲目性，也有利消除群众的恐灾心理和减少灾害谣言。

第二章　地质灾害

我国是地质灾害种类繁多、灾情严重、分布面积广的国家。随着经济的发展，灾害的频度和规模有逐年增加的趋势。所谓地质灾害，就是自然和人为地质作用导致地质环境或地质体发生变化，并给人类和社会造成危害的灾害事件。如崩塌，滑坡，泥石流，地裂缝，地面沉降，地面塌陷，岩爆，坑道突水、突泥、突瓦斯，煤层自燃，黄土湿陷，岩土膨胀，砂土液化，土地冻融，水土流失，土地沙漠化及沼泽化，土壤盐碱化，海岸带变迁，以及地震，火山、地热害等。

第一节　地质灾害类型及特征

一、地质灾害类型

我们将由地质本身构造因素产生的自然地质现象及由此产生的灾害，称为自然地质灾害。由不合理开发利用国土、过量索取地下资源等人类活动引起的河岸破坏、地基沉陷等灾害，称为人为地质灾害。由自然、人为地质灾害引起的火灾、瘟疫、滑坡、泥石流、环境污染、大气污染等灾害，称为地质灾害的次生灾害。

中国地质灾害主要划分为 10 大类 38 种，即：地壳活动灾害（地震、火山喷发、断层错动）、崩滑流（崩塌、滑坡、泥石流）、地面变形灾害（地面塌陷、地面沉降、地裂缝）、矿井灾害（矿

井突水、冲击地压和冒顶、煤瓦斯突出、煤自燃、矿井热害、矿震）、特殊岩土灾害（湿陷性黄土、膨胀土、冻土冻融、砂土液化、淤泥质软土）、土地退化灾害（水土流失、土地沙漠化、盐碱化、沼泽化）、地球化学异常灾害（地下水质污染、农田土地污染、地方病）、河湖库灾害（塌岸、淤积、渗漏、浸没、溃决）、海岸灾害（海面上升、海水入侵、海岸侵蚀）、海洋地质灾害（水下滑坡、潮流沙坝、浅层气害）等。

二、地质灾害特征

地质灾害的破坏作用有：①人员伤亡；②破坏房屋、厂房等建筑物及设施；③威胁城镇安全；④破坏铁路、公路、航道、水库等交通和水利设施，破坏土地资源、矿产资源、水资源、旅游资源等；⑤破坏生态环境；⑥影响工农业生产及其它经济活动。

地质灾害直接影响到我国经济发展和人民生活的各个方面。首先是农业资源损失巨大，据不完全统计，全国水土流失面积达150万余平方公里，有15.8万余平方公里的土地存在沙漠化的危险。交通运输的铁路、公路干线经常受到滑坡、崩塌、泥石流、地面塌陷等灾害侵袭而被迫中断。更为严重的是，地质灾害给城镇建设的人民生命造成很大威胁，据有关资料，我国有32.5%的地区和45%的大中城市处在地震烈度为Ⅶ的高值区；全国至少有70个县城面临泥石流的威胁。

地质灾害具有以下特征：

1. 区域性和成因多元性

地质灾害是特定地质环境下的产物，不同类型的成因亦不尽相同。成生环境的地质构造、岩土类型、区域稳定性、地球化学和地形地貌等的不同，决定了地质灾害的类型和特征，使其反映出某区域或地区地质特点的空间展布特征，即具一定的区域性。

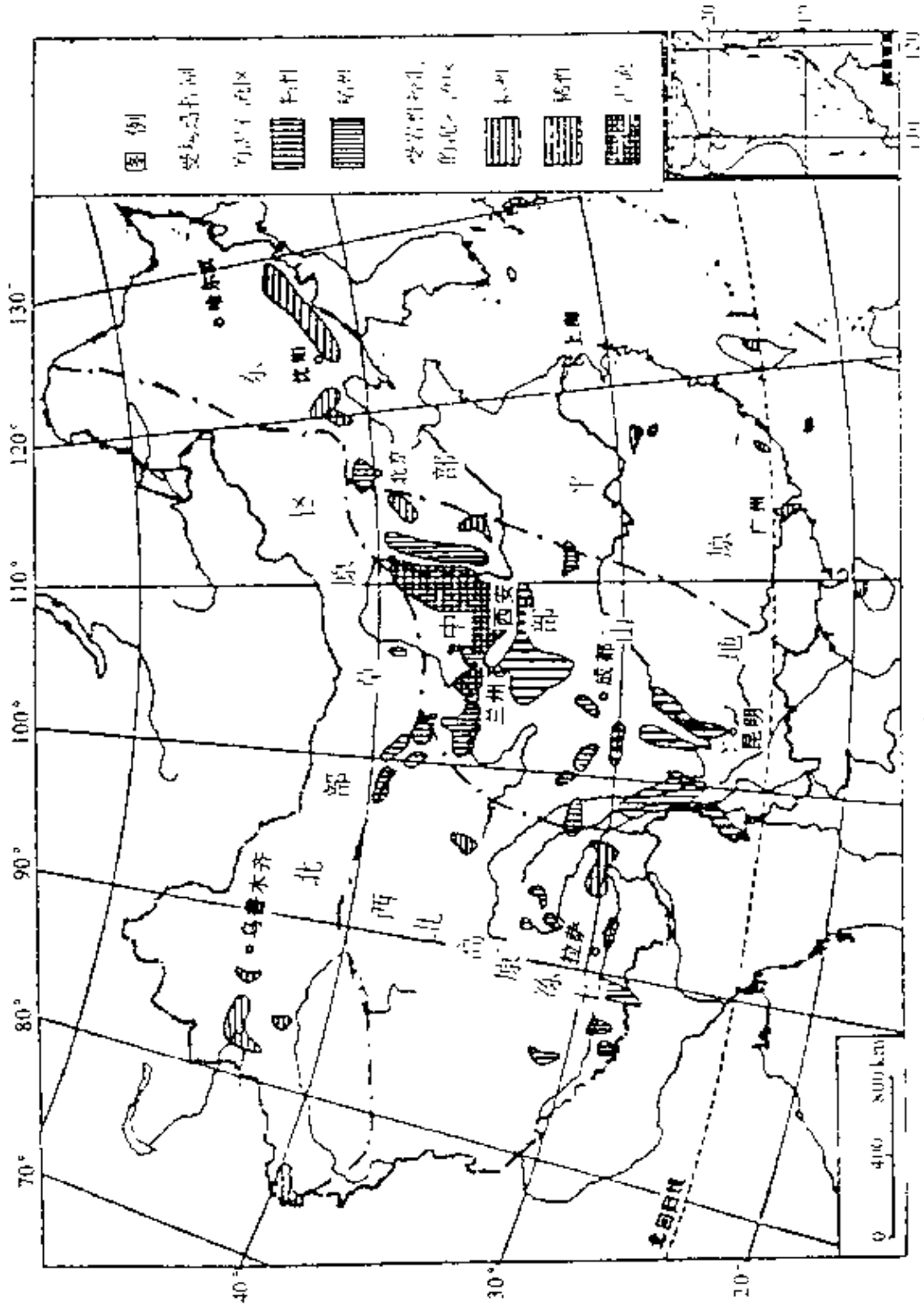

图 2－1　中国地质灾害分区图

16168

从中国的地质灾害看，可分为以下四大地质灾害区域（图 2-1）：

（1）东部平原沉降区：该区为大兴安岭—太行山—武陵山一线以东地区。地质灾害主要为地面塌陷和沉降、土地盐碱化、沙漠化、水土流失、河湖淤积及矿山地质灾害；其次，个别山区有滑坡、崩塌、泥石流灾害；华北平原地震活动较为强烈。

（2）中部山地崩滑区：该区包括黄土高原—四川盆地—云贵高原地区。地质灾害以崩塌、滑坡、泥石流和水土流失为主；局部地区有岩溶塌陷；南北活动构造带（横断山脉—龙门山—贺兰山）和汾渭盆地内地震活动强烈。

（3）西部高原冻土区：该区包括西藏、青海和川西部分地区。地质灾害以冻土、雪崩为主；沿大河谷地崩塌、滑坡、泥石流发育；区内地震活动强烈。

（4）北部草原沙漠区：该区包括新疆、内蒙古、陕北、宁夏北部和甘肃西部地区。地质灾害主要为土地沙漠化，以及由此引起的矿山地质灾害；西北部的新疆地震活动强烈。

地质灾害不但具有区域性，而且具有比较明显的方向性变化，即从西向东，从北向南，从内陆向沿海地质灾害逐渐趋于严重。

在地壳内营力作用下的地质灾害成因的因素较为单一，而在外营力作用下或内外营力作用下的外生和复合型地质灾害的成因比较复杂，它受气候、地形地貌、人为活动及内营力综合因素的制约，使其在成因上具有多元性。

2. 复发性和多发性

地质灾害具有原地频繁重复发生的特性。如 1965 年 11 月 20～23 日在云南禄劝县烂泥沟连续发生的三次大滑坡；再如冰川泥石流（川藏公路线上的古乡）、地震（如四川炉霍、甘肃甘谷、

广东南溪等地）等类型地质灾害有原地多发性，或连续出现的特性。

3. 活动周期性

地震、火山、滑坡、泥石流等地质灾害皆具活动周期性。如滑坡、崩塌、泥石流等有受气候周期性变化、大气环流周期性变异等制约的特性，使滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害呈季节性（即发生时间与雨季相吻合）的特征。

4. 群发性

地震、滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害具有群发性和同步性。如1976年8月16日、21日、23日在四川省松潘、平武相继发生7.2、6.7、7.2级强震群。1989年7月在四川东部连降特大暴雨，波及全省85个县，降雨量最大达144.8毫米/小时，由于暴雨强度大，持续时间长，致使山洪暴发，山崖垮塌，山体滑坡、泥石流多处同时发生。

5. 灾害类型转化性

滑坡、崩塌灾害的滑、崩堆积物为泥石流提供了物质来源，可能生成、转化为泥石流；滑坡、崩塌、泥石流灾害又可转化为水土流失；水土流失灾害又可转化为河、湖、海淤积灾害等。这种灾害的恶性循环，构成了地质灾害链。

6. 诱发或伴生灾害特征

如地震灾害可以诱发滑坡、崩塌、泥石流等灾害，同时，伴生地面裂缝、沙土液化等灾害。

7. 突发性

地震、火山、滑坡、崩塌、泥石流等灾害具有突然暴发、历时短、成灾快、危害大的特征。

8. 灾害累进性

土地沙漠、土地盐碱化、水土流失、地面沉降、煤田自燃、

沼泽化、淤积灾害及河、湖、海岸变迁灾害等，它们皆以物理、化学和生物的累积性缓慢变异，逐渐加重灾度，逐步扩张、外延和迁移为特征。

第二节 人类行为与地质灾害

我国地质灾害日趋严重的原因是多方面的，地质作用的周期性变化和全球环境、气候条件的变化是十分重要的原因之一。然而人类违背自然规律，造成地质环境破坏，也加剧了地质灾害的发生。

据地质灾害成因分析，全国50%以上的地质灾害发生的主要原因是人类行为。地质灾害表面上看是自然运动的必然规律，是一种不可抗拒的自然运动。但大量事实表明，地质灾害的孕育、发生和破坏程度皆与人类的活动密切相关。如大面积的地面沉降和地面裂缝是过量抽排地下水所引起的；矿区的塌陷灾害是人们采掘地下矿藏资源采空所引发的；许多大型滑坡、崩塌、泥石流和大面积的水土流失是由于人们毁林垦荒、采掘矿藏、修筑道路、兴建水利工程、破坏植被和滥伐森林所致。

我国地质灾害类型和破坏程度与人类活动相关，甚至地质灾害的形成和发展也与人类活动密切相关。西北地区主要为高山、高原和一些大型内陆盆地等地形地貌，气候寒冷，人类活动微弱，主要的地质灾害为土地沙漠化、冻融等，地质灾害类型较单一，加之，人口密度与经济密度皆较低，因此破坏程度也低。东南地区主要为沿海平原、低山丘陵及其与西北高山、高原过渡的山地地形地貌，气候冷暖和降水丰枯变化剧烈，人类活动频繁，其地质灾害类型有地震、崩滑流、地面变形、特殊岩土、矿井灾害等；同时，该区域人口稠密，城镇和大型企业及骨干工程密

布，因此地质灾害的发育种类多，发生的频率亦高，造成的破坏强烈。如：1995 年 12 月 19 日早晨 5 时许，杭州西湖区内的浙江医院地面突然发生塌陷，出现一个长 9 米、宽 6 米、深 8 米、积水深约 5 米的塌陷坑。经考察分析，塌陷的原因是：该地岩溶洞穴较多，由于人们大量开采地下水，使深洞内失去水的浮托力，洞顶板的抗塌力大为减弱，承受不了地面的重力而塌陷，是一起典型由人为因素引起的地质灾害事件。

由此可见，我们要防治地质灾害，将地质灾害损失降低到最低限度，就要求人们遵守自然界的发展变化规律，自觉地遵守和维护国家的有关法律和法规，保护我们的生存环境。

纵观中国建国以来的地质灾害活动史，其范围、频度、强度和破坏程度皆与我国人口和经济发展具有正相关的关系。展望未来，我国的人口将进一步增长，城市化将进一步加快，资源开发和工程建设活动也将扩大，不仅沿海继续为经济建设的开发区，中部和西部地区也逐渐将进行大规模的经济开发，人类的活动将加剧，因此，将来我国的地质灾害发育和破坏程度均会不断提高，地质灾害也会达到前所未有的严重程度。也就是说，随着各项事业的发展，社会经济条件与地质灾害的相互影响将进一步加强，社会经济条件在地质灾害系统中的地位将会更加重要；另一方面，加强地质灾害的防灾减灾工作有助于国民经济建设和社会发展。

第三节　地质灾害对策

目前，对地质灾害防治的现状是：

（1）世界许多国家已由灾后被动救灾，转为灾前主动地、有

目的地勘察、监测、预报、预防和治理。

（2）在防治方面仍然存在①无预报无预防；②有预报而无预防；③有预报、有预防、没有组织实施等问题。在地质灾害防治的实践中，有预报、有预防、并组织实施的实例也越来越多了，如：1975年2月4日，辽宁省海城7.3级地震是我国乃至世界上预报预防最成功的震例，在震前国家地震局和辽宁省地震局作出了准确的中、短期预报，特别是作出了临震预报，辽宁省政府据此向全省发布了临震预报，并布置了预测预防的对策，位于震中区的营口市、县政府采取了组织群众撤离等应急对策，虽然地震使建筑物遭受严重破坏，但是人员伤亡却大为减少，死亡的人数（1328人）仅为人口总数的0.02%。

（3）总体上看，我国在灾害的防治方面仍处于消极救灾的状况，灾前投资不到位，灾后则全力以赴。为此，各级政府和全社会应转变观念，本着经济建设与减灾一起抓的精神，转消极救灾为积极防御和减轻灾害，以在防灾减灾方面取得较好的经济和社会效益。因此，应做好以下工作：①增强全民的防灾意识，提高全社会的防灾、抗灾和救灾的综合防御能力和人们对灾害的心理承受能力；②加强对各种地质灾害的孕育、发展、发生规律的研究工作，探索地质灾害预测、预报和预防方法；③地质灾害的防灾减灾工作是涉及方方面面的系统工程，只有在各级政府和全社会、专业队伍共同努力下，走综合防御的道路才能达到减灾增效的目的；④制定有关法律、法规，以法律的形式规范地质灾害的防灾减灾行为，同时，制定应急和组织救灾的预案，在灾害监测、灾害预防、灾害应急、灾后救灾与重建等环节上作好预案，做到有备无患，把灾害损失减轻到最低程度；⑤提高防灾、减灾科学技术的现代化，开发新技术、新方法，不断增强对地质灾害的预测预报能力；⑥加强对重大城市、重大建设工程和生命线工

程抗御灾害的能力，做好建设工程场地地质环境安全性评价工作，国土资源部颁布的《地质灾害防治管理办法》规定："城市建设、有可能导致地质灾害发生的工程项目建设和在地质灾害易发地区进行工程建设，在申请建设用地之前必须进行地质灾害危险性评估"；⑦积极开展地质灾害的保险工作。

我国政府十分重视地质灾害防治工作。在制定国民经济发展规划的同时，也制定了未来12年（1999～2010年）中国地质灾害防治战略，即一是东部地区，首先是做好以国土经济开发区为重点的环境地质综合评价和地质灾害防灾区划，在此基础上，及时调整土地利用规划和城市建设布局，避免重大工程和重要设施建在岩溶地面塌陷危险区和矿山采空区；二是中部地区，在全面开展地质灾害调查的基础上，加强国土经济开发区和大江大河、交通干线等突发性地质灾害多发区段的地质灾害防灾区划；三是西部地区，采取的防灾工作手段是避让，主要任务是做好重大工程设施的选址和保证居民区的安全。考虑到国家经济建设重点逐步西移的状况，应做好国土经济开发区地质灾害调查和防灾区划，加强区域地壳稳定性评价工作。进而提出了以下具体要求：

（1）认真贯彻执行"以防为主，防治结合"的方针，开展全国地质灾害时空的分布、形成机理与现今地壳变形研究，进行地质灾害预测、预警分析，逐步掌握地质灾害的分布发育规律，做好重大地质灾害的事前防范工作。

（2）进一步加强法制建设，建立健全防灾法规。大力宣传、认真贯彻《防震减灾法》、《地质灾害防治管理办法》、《若干建设项目环境保护管理办法》和《水土保持工作条例》、《环境保护法》、《矿产资源法》、《土地法》、《森林法》、《草原法》、《水法》、《江河管理条例》等，进一步增强各级领导和广大群众的法律意识，提高依法加强地质灾害防治的自觉性，以法规的形式来管理

地质环境，预防和减轻地质灾害，逐步把防治地质灾害纳入法制的轨道。

（3）建立起统一管理与分级、分部门管理相结合的地质灾害防治管理体系，实行严格的责任制，按照国土资源部发布的《地质灾害防治管理办法》做好如下工作：一是做好以地质灾害现状、防治目标、防治原则、易发区和危险区的划定、总体部署和主要任务、基本措施、预期效果为内容的地质灾害防治规划；二是拟定好地质灾害监测、预防重点，主要地质灾害危险点的威胁对象、范围的地质灾害防灾预案；三是做好工程建设诱发地质灾害的可能性，工程建设本身遭受地质灾害危害的危险性，及拟采取的防治措施等地质灾害危险性评估；四是做好地质灾害发生时间、地点、成灾范围、影响程度等的地质灾害防治预报。

（4）加强地质灾害监测和信息系统建设。根据地质灾害的性质及防治措施确定监测内容，并建立监测网络和信息系统，密切观察地质灾害的发展动态，实行防治信息化施工。

（5）实施专业队伍与群众相结合，技术业务与行政措施并重的综合防治方针，动员全社会力量，建立群测群防体系，建设有社会各界共同参与的防灾网络，走出一条具有中国特色的地质灾害防治之路。

第三章　地震灾害

地震系群灾之首，它与其它自然灾害不同，在瞬间（几十秒钟）内可使人民的生命财产蒙受巨大的伤亡和损失。1976 年 7 月 28 日凌晨 3 时 42 分，在“中国现代工业摇篮”的河北省唐山市发生了7.8 级地震，强烈的震动使这座具有悠久历史的重工业城市毁于一旦。这次地震造成 242769 人死亡，重伤 164851 人。其中唐山市死亡14.8 万人，伤8.1 万人，占全市人口的21.6%；其中 7200 户被灭绝，3817 人成为截瘫者，4000 多儿童成为孤儿。全部经济损失 196 亿元，救灾重建又支出 106 亿元。

第一节　地震成因及类型

一、地震成因

地震是人们感觉和仪器查觉到的地面振动。它与风雨、雷电一样，是一种极为普遍的自然现象。地震的内在原因是地壳内部积累的应变能突然释放或人为因素引起地球表层的振动。

有关地震的成因有许多假说，以下几个假说较为有影响，即：

（1）弹性回跳说。1911 年理德提出地球内部不断积累的应变能超过岩石强度时产生断层，断层形成后，岩石弹性回跳，恢复原来状态，于是把积累的能量突然释放出来，引起地震。

（2）岩浆冲击说。1955 年日本的松泽武雄提出地下岩石导热

不均，部分熔化体积膨胀，挤压围岩，导致围岩破裂产生地震。

（3）相变说。美国布里奇曼提出地下物质在一定临界温度和压力下，从一种结晶状态转化为另一种结晶状态，体积突然变化而发生地震。

总之，地震是至今仍未解开的谜。但从字面上理解，地震分为“地”和“震”两部分。“地”为地体（大地），“震”是物体（或物体一部分）沿直线或曲线经过其平衡位置作往复运动的物理现象。合二为一，就是地体变动（即地质、地球物理变动）引起地面的震动。目前，在地震界，断裂说盛行。其认为：地震是岩体快速破裂错动传播的结果。因此，地震应具备以下基本条件：

首先，要有向震源区供给机械能的能源。关于能源问题，涉及到大地构造动力学、天文学和地球物理学的知识。能源有：板块的碰撞力；由重力分异、物理化学分异、相变和岩浆运移等引起的上地幔物质的垂直运动施加在地壳底部时，地壳就会发生形变，即形变能；地壳内热源（如放射性热源）在周围介质中引起的地热应力；磁暴、大气压突变和日月引力等提供的能源；人类工程活动引起的附加应力等等。

要有能够储存弹性形变能的地壳介质和地质构造。从介质力学分析，松软的介质不能储存弹性形变能，只有坚硬的介质才能储存弹性形变能。有了储存形变能的介质还不够，还必须有储存形变能的地质构造，如断裂、褶皱等。

要有能释放能量的地质构造。

二、地震类型及有关知识

1. 地震类型

按地震发生的原因可分为人工地震和天然地震两大类型。

1）天然地震

天然地震按成因大致可分为构造地震、火山地震、陷落地震等类型。

（1）构造地震：由于地下岩层错动而破裂所造成的地震，全球90%以上的天然地震都是构造地震；

（2）火山地震：由于火山作用——火山喷发、气体爆炸等引起的地震，约占全球地震的7%；

（3）陷落地震：由于地层或地面陷落，如岩溶地区、矿山采空区的塌陷引起的地震，这类地震仅占总数的3%。

2）人工地震

由于人为工程活动引起的地震，如工业爆破、地下核爆炸、矿山开采等造成的地面振动，这类地震引起的地表振动轻微，影响范围也不大，很少造成地面的破坏。

2. 有关地震的知识

地震按震级的大小分为弱震（震级小于3.0）、有感地震（震级3.0～4.5）、中强震（震级4.5～6.0）、强震（震级大于6.0）、巨大地震（震级大于8.0）。

地震按震中距（地面上任一点到震中的距离）分为地方震（震中距小于100公里）、近震（震中距为100～1000公里）、远震（震中距大于1000公里）。

地震按震源深度可分为浅源地震（震源深度小于60公里）、中源地震（震源深度60～300公里）、深源地震（震源深度大于300公里）。

地震按发生的时序分为前震、主震和后续地震（某一强震序列主震之后，陆续在震区和附近发生与主震震源系统具成生联系、改变原有地震背景和活动水平的一系列地震）。后续地震又分为：

（1）剩余型后续地震（也称为余震）：指主震后震源体内剩

余能量释放引发的地震和沿地震波辐射或震源破裂方向上的地震效应；

（2）诱导型后续地震：指强震序列主震的发生诱导触动所处构造单元或地块内相邻、远程震源发生的地震；

（3）后生型后续地震：指由于强震活动引起震区和附近地质体、地球物理场和应力场变动生成的新震源发生的地震。

按地震序列的地震频度和释放能量特征分为：

（1）主震型：主震震级高，强度突出，主震释放能量为整个序列的90%以上，据主震前后有否地震活动，进一步划分为前震－主震－余震型和主震－余震型；

（2）震群型：地震释放能量通过多次震相近的地震来实现，没有突出的主震，最大地震释放的能量为整个序列80%以下；

（3）孤立型或单发型地震：其特点是无前震，余震小而少。

第二节 地震成灾原因

地震灾害是由于地震产生的强烈的地面震动和多种地面变形而造成的（图3－1）。成灾的主要因素有：

一、建筑物的地震破坏因素

造成建筑物破坏的效应：一是地震力超过建筑物的承受能力时，建筑物就被破坏；二是地震时发生断层错动、开裂、地陷、地基不均匀变形及砂上液化等地基失效引起建筑物倾倒；三是地震引起的海啸、山崩、泥石流、滑坡、洪水、大火造成建筑物遭到破坏。据历次大地震的宏观调查，各类工程结构破坏的主要原因有：

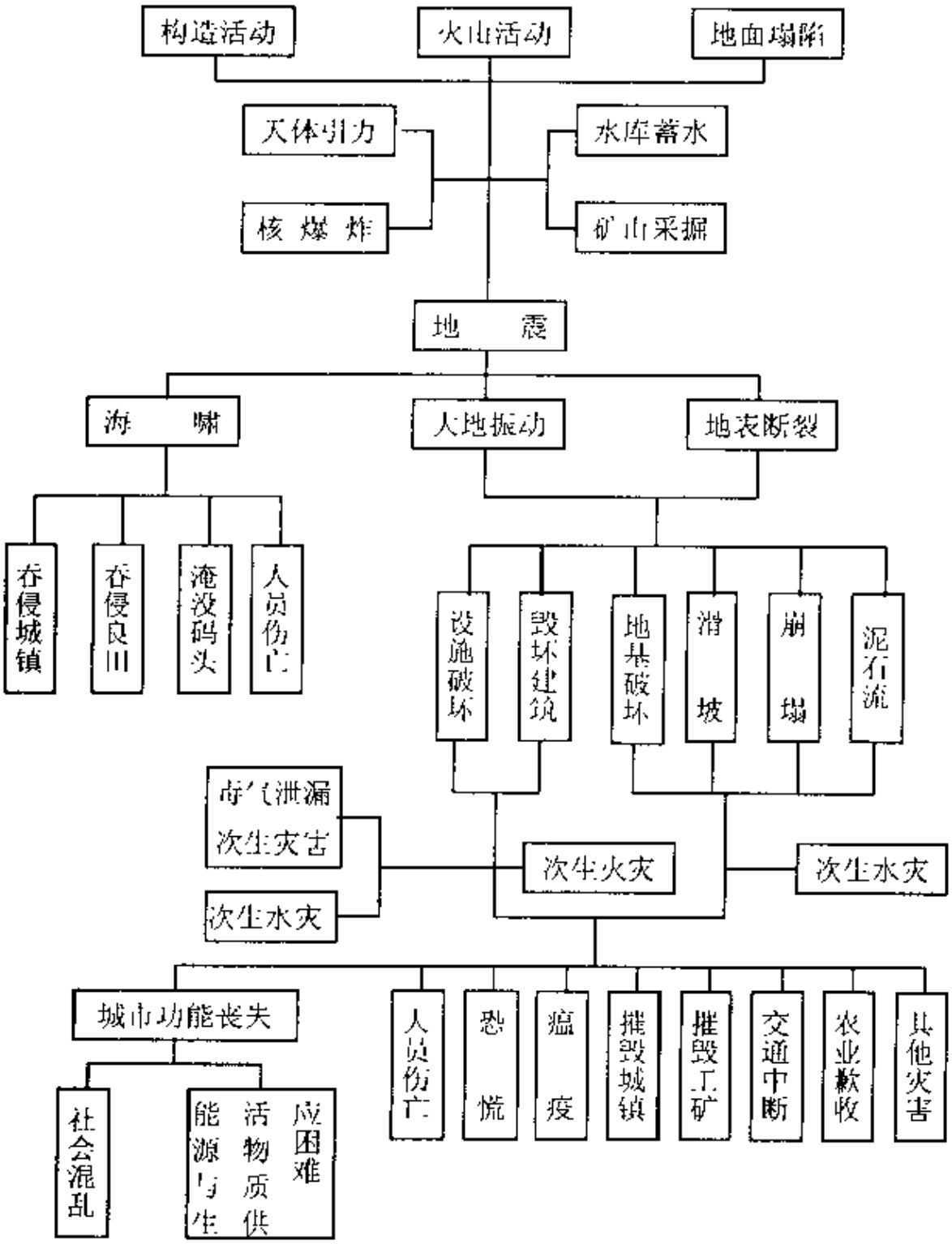
构造活动
火山活动
地面塌陷
天体引力
水库蓄水
核爆炸
矿山采掘
地震
海啸
大地振动
地表断裂
吞侵城镇
吞侵良田
淹没码头
人员伤亡
设施破坏
毁坏建筑
地基破坏
滑坡
崩塌
泥石流
毒气泄漏
次生灾害
次生火灾
次生水灾
次生水灾
城市功能丧失
社会混乱
能源与生活物质供应困难
人员伤亡
恐慌
瘟疫
摧毁城镇
摧毁工矿
交通中断
农业歉收
其他灾害

图 3－1　地震灾害链框图

（1）建筑物结构不合理：构件连接薄弱、支撑数量不足及承重结构强度不足可导致墙面交叉裂缝、柱剪断或压酥，甚至房屋倒塌等破坏。

（2）建筑材料质量低劣：由于使用低劣的砖、水泥等材料的建筑物，砌体强度不足，地震时容易造成屋檐外闪，墙体鼓包或开裂、倒塌。

（3）施工质量差：砂浆标号不够，不润砖，纵横墙直槎或马牙槎交接，砂浆不饱满，槎子严实，堵砌施工通道不认真和少放错放、漏放钢筋，钢筋搭接少或根本没有搭接等，偷工减料，少焊、漏焊或以点焊代替焊缝等建筑物，会出现支撑系统脱落，屋盖下摔，房屋倒塌。

（4）地基失效。在地震作用下，可能引起地基承载力下降，以致丧失。另外，由于地基含饱和水和砂层，地震时，会造成地基开裂、砂土液化、喷水冒砂、滑坡、不均匀沉降等，使房屋倾斜破坏。

（5）次生灾害的破坏。地震除直接造成建筑物的破坏外，还可引起火灾、水灾、污染等严重的次生灾害，从而间接地造成建筑物的毁坏。

二、人员伤亡的因素

研究造成惨重损失的地震可知，地震致伤致亡数与以下几方面因素有关：

（1）房屋建筑、工程设施、设备的倒塌是造成人员伤亡的主要原因。

（2）一般地震致伤致亡数量与震中区人口密度有关。如在1995年1月17日日本阪神7.2级地震中，死亡5502人，死亡率（死亡人数与全市人口总数之比值）为0.4%；在俄国萨哈林岛

(库页岛) 北部7.6级地震中，死1989人，死亡率为57%；而在太平洋岛国西萨摩亚1995年4月7日的8.0级地震中，仅有8人受伤。由此可见，震级大小与地震死亡率不一定成正比。

(3) 地震发生时刻与伤亡数量密切相关。如希腊1995年上半年两次地震都发生在人口稠密地区，其中一次震级为 M_S 6.5，虽然破坏较大，却只有25人受伤。另一次震级为 M_S 6.3地震，破坏和伤亡都较大，死亡21人，伤约百人。前者发生在上午10时，人们都在室外活动；后者发生在凌晨3时，人们正在睡梦中。在世界上灾害地震的历史中，人们休息时刻发生的大地震，都造成重大伤亡，特别是夜间发生地震的伤亡数量更大。

(4) 地震时，潮湿、洪积地等软弱地基上的高层建筑物，除整体倒塌和部分破损外，更多的是造成柱、梁等主要构件的破损，以致直接威胁人身安全或造成人员伤亡。另外，在高层建筑内楼层愈高地震加速度愈大，其摇晃度也越大，因此会造成书架、食品架、衣柜等翻倒，尤其是重心高的家具倒翻严重。这些家具的翻倒常常是致人伤亡的原因。

第三节　地震特征及规律

一、地震空间展布特征

全球地震活动主要分布在地质板块构造的交界地带，大致可以划分为环太平洋地震带（包括南北美洲大平洋沿岸、阿留申群岛、堪察加半岛、日本列岛、台湾岛、菲律宾岛和新西兰）、欧亚地震带（又称喜马拉雅—地中海地震带，它贯穿印度尼西亚西部、缅甸、我国横断山脉、喜马拉雅山脉、帕米尔高原和地中海及其沿岸）和海岭地震带（图3-2）。

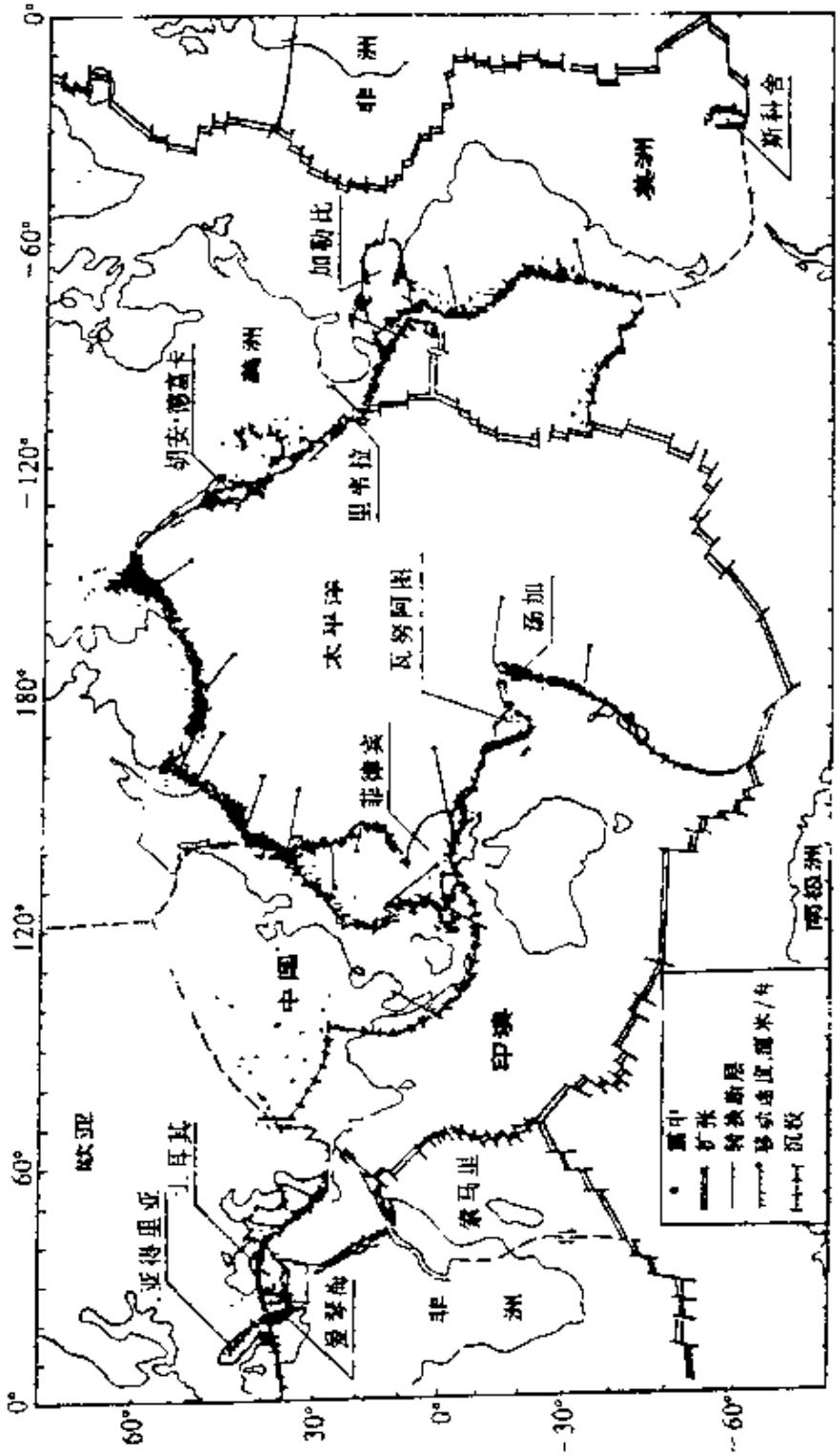

图 3-2 世界主要地震带分布略图

然而，中国大陆内部的地震活动分布较为复杂和零散，但基本上还是呈一定规律的条带形。我国主要地震带有：①郯城—庐江带，即从安徽庐江经山东郯城至东北一带；②燕山—渤海带；③汾渭带；④喜马拉雅山带；⑤东南沿海带；⑥河北平原带；⑦祁连山带；⑧昆仑山带；⑨南北带；⑩台湾带；⑪南天山带；⑫北天山带。

二、地震与地质构造的关系

地震的发生与第四纪（距今约250万年）以来有过活动，现今具继承性和反复活动的、将来还可能活动的地质构造密切相关。它包括活动断裂（活动断层）、活动褶皱、活动盆地、活动隆起带等。活动构造与地震的孕育和发生关系密切，一些大型活动断裂、活动断块的边缘，往往是地震和火山活动的地带。例如展布于亚洲东部与濒临太平洋地区的北北东走向的巨型扭动构造体系——新华夏系构造，它形成于中生代，新生代至现今仍有强烈活动，它控制着西太平洋地震带和中国东北、华北，以及东南沿海地震带。

地震常发生在活动断裂具有特殊力学性质的部位。概括以往发生地震的构造部位，活动断裂带主要有以下利于地震孕育、发生的部位：

（1）活动断裂带曲折拐弯处。这种部位往往是阻碍活动断裂带作直线运动的部位，所以，容易造成地应力集中。如昆明山字型构造的前弧拐弯处的云南通海、峨山、石屏、建水一带地震密集，1970年1月5日发生了通海7.7级大地震。

（2）活动断裂带端部。活动断裂在进一步发展过程中，中间部位较两端位移大，必然在向两侧扩展时引起端部构造应力积聚和调整，并通过地震活动形式释放能量。另外，往往活动断裂其

中一端首先破裂，而另一端可能成为应力相应集中部位，在应力继续作用时，就可能发生地震。这样有出现地震在两端往返跳动的迁移现象。例如，全长近300公里、位于四川省西部的鲜水河断裂带，强烈地震在西北端甘孜和东南端康定之间往返跳动。

(3) 多条活动断裂带交叉部位。多条活动断裂相互切割、交叉部位，断裂在最新活动过程中，容易造成运动前进的障碍，导致应力积聚的“闭锁”状态，进而释放能量发生地震。这种例子较多，如1679年9月河北三河－平谷8级地震、1668年7月山东莒县－郯城8$\frac{1}{2}$级地震等都是发生在断裂交叉的特殊部位。又如1975年2月辽宁海城7.3级地震，也是发生在断裂交汇的复合部位。

三、地震具有较长时间的调整活动

强烈地震之后，地震区的原有地壳平衡状态被破坏，在逐渐向新的平衡状态调整的运动中，会出现一系列的小地震活动——余震来释放剩余能量。由于各震源体的力学性质不相同，造成由失稳到新平衡的调整运动亦不同，有的强地震的余震很少，有的则很多；持续时间也不一样，有的余震时间很短，有的余震可以持续长达数月乃至数年之久。例如，1945年9月23日河北滦县6.3级地震后，余震持续了半年之久；1976年7月28日唐山7.8级地震后，当天就发生了两次强烈余震，震级分别为6.5和7.1级。此后，沿着宁河、唐山、滦县这一活动断裂带，强余震不断发生，于11月15日在宁河东北发生了6.9级强余震，直至1977年春季。一般地说，余震总是逐渐减少减弱。

四、人类工程活动诱发地震

当地震震源处于临界状态时，任何能导致地应力强度变化的因素都能诱发地震，如天体引力的变化、地球内能结构的自然变化，甚至大气压和水压的变化，人为的深层抽水、注流体和建设水库、挖掘地下资源等。下面就人为活动诱发的水库、矿山地震作一简述。

1. 水库诱发地震

在水利水电工程中，由于水库蓄水而引起水库区及周缘的地震活动，我们称之为水库诱发地震。据不完全统计，我国所报道的震例中有 22 例水库地震。目前，我国最大的水库地震是 1962 年 3 月 19 日新丰江6.2 级地震。水库蓄水为什么会发生地震呢？因为水库水的重量会增加库区地壳的所受的载荷，同时，库水向深处岩层渗透产生附加力作用，破坏了原地壳中应力平衡。如果，地下存有断裂，则水的渗漏会减少断面上的摩擦力，使断裂易于产生滑动。因此，水库蓄水产生地震，主要在于库区或周缘有无活动断裂，而水库蓄水只是一种触发地震发生的外界因子。

水库蓄水就一定会诱发地震吗？事实上，水库地震的发生必须有内外的动、静环境因子。据著者对湖南省水库地震的研究，认为该省水库诱震环境因子是：一是地质构造活化区是诱震的内在环境基因；二是高值的初始应力（原有构造应力）是诱震的内在动力因子；三是活动断裂的存在是诱震最重要的构造环境因子；四是碳酸盐岩地层中溶洞、断裂或裂隙系统是使库水渗透－储积的介质、构造环境因子；五是库区蓄水引起的附加应力是促进水库地震产生的外界动力因子。

2. 矿山地震

矿山开采、抽排地下水引起的地震活动，称为矿山诱发地震

或矿震。矿山地震在各类诱发地震中危害性最大，对其的监测与研究历史最长。如果矿山地震发生在巷道或开采面处，就会严重破坏井下工程。矿山地震是造成矿井死亡事故的主要自然灾害之一，随着矿山开采深度和强度的增加，矿山地震活动就越多。据不完全统计，我国具有矿山地震危险的煤矿已达 50 座。发现顶板冒落引起的地震，以及煤矿岩爆、煤和瓦斯突出等矿山动力现象引起地震的矿山有：辽宁北票的台吉煤矿、吉林辽源煤矿、贵州化处煤矿、山西大同煤矿、湖南恩口－桥头河煤矿和北京门头沟煤矿等。这些矿山地震一般震源较浅，震级不大，但对地面和井下破坏较强烈。因而成为矿山特别是煤矿的一大自然灾害。

五、我国地震活动西部较东部强烈

中国地震震中分布图（图 3－3）显示：大约以东经 105 度线为界，西部地震密集、震级大，而东部则较零散、震级亦小。我国西部地震强烈的原因是：首先，我国西部是处在地壳强烈活动的背景条件下，构造活动最强烈的地区，存在运动速率大的现今活动断裂，所以，表现为地震活动水平高和强度大。在青藏高原和天山地区，规模、运动幅度巨大的全新世活断裂十分发育，这些活断层大部分是可能导致地震发生的具走滑、逆走滑或逆冲性质的新断层。青藏高原南、北周缘和天山地区的活断层，晚更新世以来的平均滑动速率分别为 56 毫米/年、10～14 毫米/年和1.5～5 毫米/年，均属现今活动强烈的断裂。

其次，我国西部地区地震活动期间隔时间比东部短得多。青藏高原南部、天山地区的地震活动周期分别为几十年和 100 年左右。而东部地区为 200 年左右。

再者，处在印度板块与欧亚板块碰撞和中国东部向西部推挤

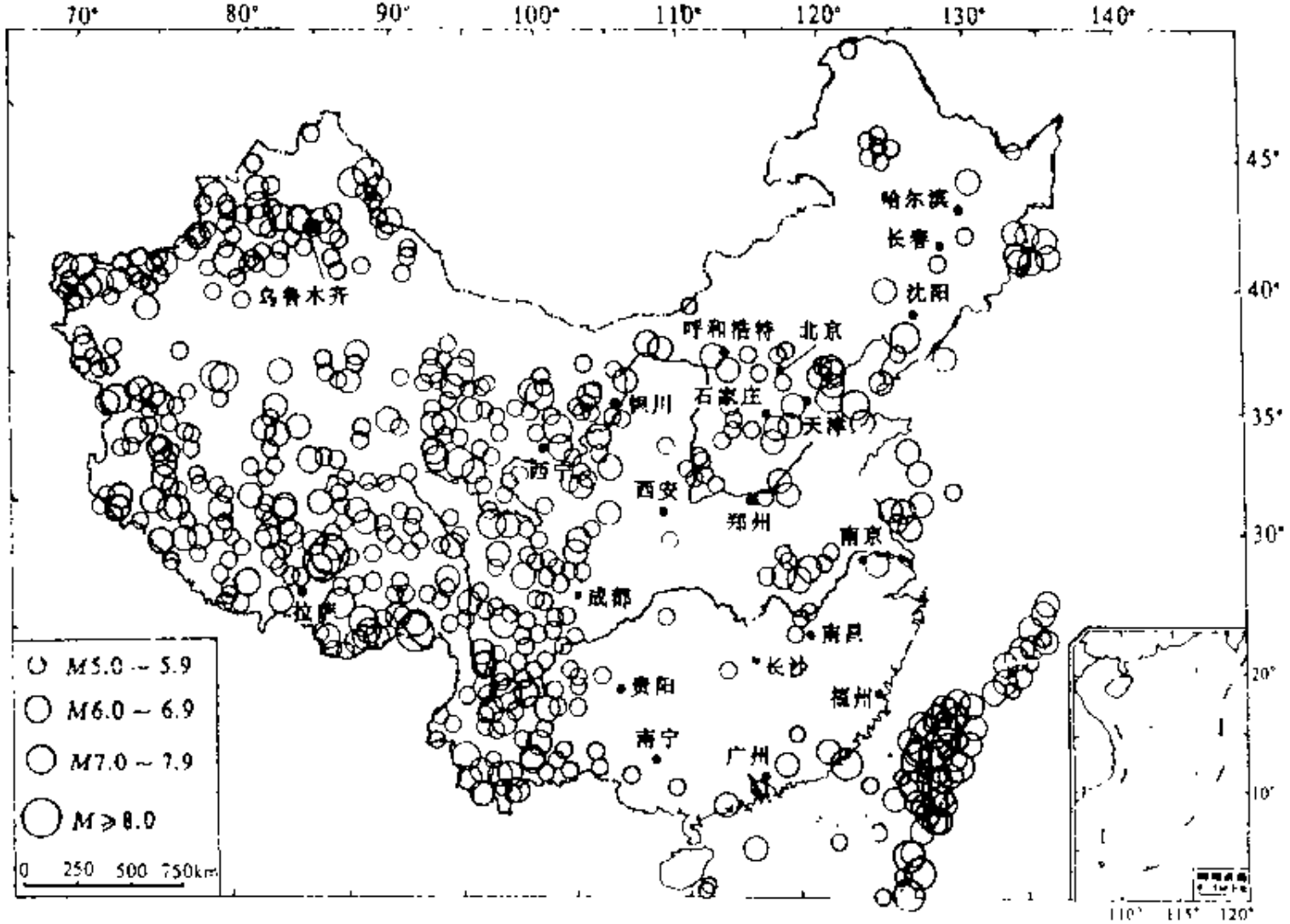

图 3－3　中国大陆 $M \geq 5.0$ 地震震中分布图

的(即环太平洋板块向西俯冲和地球自转产生的推挤作用及菲律宾海板块的向西运动,图 3－4)特殊构造部位。据研究结果表明,新第三纪末,青藏高原的海拔高度仅 1000 米。其隆起到现今海拔 4500 米以上是最近 200～300 万年以来发生的事。正是由于印度板块与欧亚板块的强烈碰撞,奠定了我国西部地区的构造、地貌格局,形成了众多的强烈活动断层。据地磁测量资料,印度板块正以 5 厘米/年的速度向北北东方向运动,使我国西部广大地区遭受着强烈的构造变形。

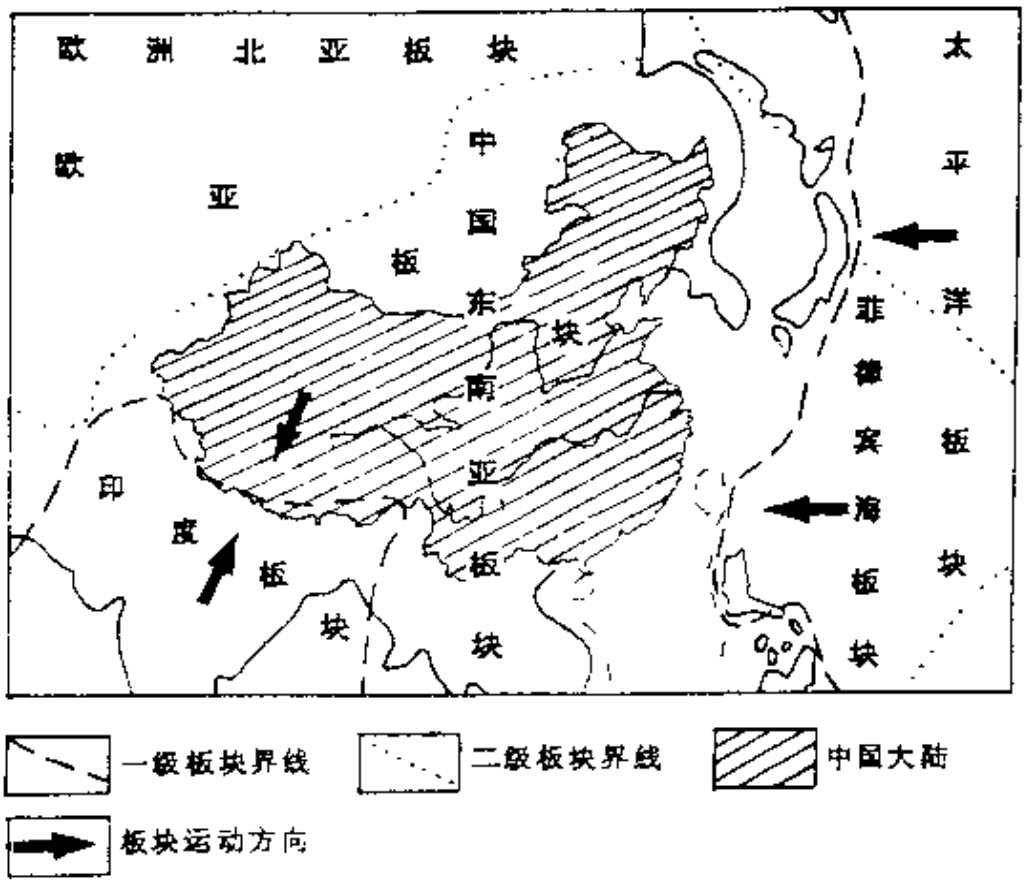

图 3－4 中国大陆板块构造位置图

六、我国是一个多地震灾害国家

我国曾经发生过20次8.0级以上的地震，其中1556年发生在陕西华县的8级地震，造成83万余人死亡，为世界震灾死亡人数之首。近代发生的唐山7.8级地震的震灾亦被列为本世纪以来的世界十大灾祸之一。造成我国地震灾害严重的原因：首先是我国地处太平洋地震带和欧亚地震带所围限地区，地震活动频繁。其次是我国地震具震源浅、强度大、分布范围广特征，地震绝大多数是浅源地震（震源埋深十几至30公里），因此，对地面建筑物和工程设施破坏严重。三是我国地震区的大中城市多，我国大部分城市位于烈度为Ⅵ级的地区，有一半位于地震烈度为Ⅶ级以上的地区。四是我国建筑物抗震性能差，广大农村建筑房屋时大都忽视质量和抗震性能，如果遭遇5级左右的地震就会发生破坏。而城市呢，1974年我国颁发第二部《工业与民用建筑抗震设计规范》，之前所建房屋和工业设施都没有进行抗震设计和施工，不能抗御中强以上地震。五是人们的防震减灾意识薄弱，我国强震的重演周期长，一般在百年乃至数百年，这样长时间的强震活动平静，使人们渐渐淡忘了那些强烈地震造成的惨重教训，思想上产生麻痹，放松防震警惕，以至造成新的地震灾害悲剧。

第四节　地震监测预报

地震监测预报是防震减灾工作的基础。近年来，我国地震预报在分析和研究预测的基础理论和各种预测方法、提高预报水平方面得到了较大的发展。

地震给人类造成严重灾难和损失引起了许多地震多发国家对地震监测预报的关心，并就预报的物理基础和各种预报方法开展

了探索性的研究。基于自然科学和社会科学研究领域的预测理论与方法，地震预报采用定性预测、定量预测和定性与定量相结合的预测方法。针对地震预报的研究对象（地震地点预报、震级预报和发震时间预报），据不同时间尺度的预报任务，通常采用成因预报、震兆监测预报和地震活动性综合分析预报等预测方法，分长期、中期、短期、临震、余震等五个阶段性预报。

地震孕育过程会引起地壳物质特性和区域、局部应力场变化，导致地体、地球物理场和地震活动图像的相应变化，从而产生震前征兆现象。鉴于此，我国预报地震采用了“重力、地磁、地电、地形变、水化、地下水位、地应力和测震学等八大手段，监测地球物理场的各种变化、地体变动、区域应力场和地震活动图像变异动态，从中提取地震前兆信息，实现地震预报。这是当前我国地震预报最主要的一种方法。由于对地震和一些前兆物理机制还不清楚，加之，与地震现象有关的因素和条件极其复杂，因此，据前兆现象的预测方法尚处积累经验的探索阶段。

根据地震活动性（如地震活动的阶段性、复发周期、大震迁移、填空性、重复性等）研究、区域地壳形变研究、活动构造研究及地球环境和宇宙因子（如地球自转、太阳活动等）的分析，应用统计和相关研究等方法，作出未来 10 年或更长时间内地震活动趋势估计和概率性预报。这就是地震的长期预报。它还包括全国或区域性的地震区划；建设规划区及工程场地的地震烈度、地震地面运动参数、地震小区划和震害的预测；全国或区域性的地震活动趋势的预测。

根据地震活动出现异常、能量释放的加速、b 值下降、波速比、地壳形变、重力、电阻率、地磁、地应力、地下水位和化学成分等出现趋势性异常变化，运用确定性预测（如回归分析方法、趋势预测方法、平均值外推方法、周期分析方法等）及模糊

预测、灰色预测、分形分维等方法，预测未来一二年内可能发生的地震作出地域和强度的预报（即中期预报）。

在上述长、中期地震预报的基础上，根据趋势异常的加速、转折或恢复等观测曲线形态的变化，或以预测震源区附近出现更多更明显的异常现象，作出未来几天或几个月内可能发生地震的短临预报。如果出现地电流、地磁波干扰、地声、地光、地下水位变化、长周期的地旋、前驱波、水化学成分变化、动物习性异常以及小震密集—平静等特殊前兆现象，或异常点数量的急剧增多、异常显示区域的迅速集中等现象，可判断作出未来数日内将要发生地震的临震预报。

一次强震之后，根据强余震前小震活动表现密集、平静的特点和触发因素与余震的周期、余震分布的围空等，可预测强余震的发生。

我国的地震监测预报工作居世界先进行列，曾经比较成功地预报了 1975 年 2 月 4 日海城7.3 级、1976 年 5 月 29 日云南龙陵－潞西7.5 级、1976 年 8 月 16 日四川松潘－平武7.3 级、1971 年 3 月 23、24 日新疆乌恰6.3 级等地震，尤其是对海城大震的短临预报，被公认为世界上前所未有的先例而载入世界史册。

第五节　地震减灾对策

一、减轻地震灾害损失措施

我国制定了“预防为主，防御与救助相结合”、“地震监测预报、地震灾害预防、地震应急、震后救灾与重建”的综合防御和“依靠科学进步，发挥政府的减灾职能，提高全民族的防震减灾意识，增强综合防御能力，最大限度地减轻地震灾害，为国民经济建设和社会服务”的防震减灾工作方针。

1966年邢台地震后，全国逐渐形成了一个从中央到地方的地震监测预报抗震防灾科研体系。1971年8月成立了主管全国地震工作的国家地震局。经过几十年的减轻地震灾害的研究和实践，总结出减轻地震灾害的主要措施有监测预报、地震工程、抗震、综合防灾、救灾等专群结合的综合防御道路。

采取的减轻地震灾害损失的主要措施有：

（1）开展详尽的地震地质调查和地震活动性的研究，作好地震区划和圈划地震危险区工作。

（2）在城市和工程建设中，尽量选择地震安全区。

（3）工程建筑要根据本地区的基本烈度和抗震设防标准进行施工。

（4）开展对老旧房屋抗震性能的普查工作，并相应采取一些加固和防震措施。

（5）加强地震监测和地震预报工作，提高预报水平，根据政府的规定发布预报信息，采取地震对策，同时注意防止地震谣言的发生。

（6）在城镇建设规划中，应注意布设避震安全角。

（7）在地震重点监视区内的政府部门应制定防震救灾预案。

（8）普及地震与防震减灾知识，提高民众的防灾意识和应震能力。

（9）作好防御地震次生灾害的工作。

（10）作好震后稳定社会秩序，迅速恢复生产重建家园的工作。

二、抗震防灾工作方针

在上述减灾措施的基础上，又制定了以下抗震防灾工作方针、原则和目标：一是以“预防为主，常备不懈”为指导方针，

建立中央到省、地、市、县各级政府的抗震防灾管理体制。二是制定一系列抗震防灾法规、规定和标准、规范，使防震减灾工作走上法制的轨道，1998 年颁布了《防震减灾法》，《防震减灾法》第十七条规定："新建、扩建、改建建设工程，必须达到抗震设防要求。"，同时明确规定："重大建设工程和可能发生严重次生灾害的建设工程，必须进行地震安全性评价"。并进一步说明可能发生严重次生灾害的建设工程，是指受地震破坏后可能引发水灾、火灾、爆炸、剧毒或强腐蚀性物质的设施以及其他可能发生严重次生灾害的建设工程。相应各省（市、区）制定了有关法律、法规。三是做好地震监测预报，准确地提供震情趋势意见。四是加强工程建设抗震设防的管理，提高和改善工程的抗震能力。五是编制企业、城市的抗震防灾规划。六是保障城市生命线工程和可能造成严重次生灾害工程的安全。七是制定各项应急预案，包括：地震区人员避震与疏散、供电、供水、供气、通信、交通、卫生、粮食、消防等生命线系统，有关国计民生重要工程、防止次生灾害、房屋、工程设施、设备排险抢修，必要的物质、设备、队伍准备等。

抗震防灾工作应遵循"平震结合，全面规划，综合防御"的原则。以"在遭遇破坏性地震时，保障城市生命线工程的安全和震后人民生活的基本需要，保障重要工矿企业和关系到国计民生的关键部门不受破坏，排除重要设施引起次生灾害的隐患，确保居住建筑和重要公共建筑、指挥部门的安全"等为目标。抗震救灾的具体措施是：做好地震监测预报工作和地震震害经验总结；搞好地震区新建工程抗震设防工作；编制城市、企业抗震防灾规划；做好房屋建筑、工程设施、设备的抗震鉴定、加固工作；做好广大农村的抗震防灾工作；广泛开展抗震防灾科研和抗震防灾知识的宣传教育工作；抓好抗震防灾的立法和执法工作；预防地

震次生灾害。

我国抗震防灾的战略和对策为：

一是贯彻执行《防震减灾法》，做好地震安全性评价工作。地震安全性评价工作的内容有：

(1) 主要评定内容：①地震基本地震加速度复核评定；②地震危险性分析和设计谱的确定；③区域性地震区划和地震小区划；④场地地震动参数的确定和地震安全性评价；⑤水库诱发地震研究与评价；⑥震灾预测及抗震防灾规划；⑦断层活动性及隐伏断层的探测等。

(2) 地震地质研究内容：地震地质、地震构造的调查和编图，近场和场区的地震和地震构造的调查和各种图件的编拟，场地工程地震条件的研究，活动构造调查和研究，地震危险性带的划分，新构造图的编制，地震构造区的划分，潜在震源区的划分以及地震区划和地震小区划等。

二是《防震减灾法》第十九条规定："建筑工程必须按照抗震设防要求和抗震设计规范进行抗震设计，并按抗震设计进行施工"。为此，在工程建设的场址选择、规划、设计、施工、质量监督到竣工验收全过程中，必须按防震减灾行政部门提供的场地地震安全性评价的参数而确定的抗震设防标准实施，为减轻建筑的地震破坏，国家颁布了《建筑抗震设计规范（GBJ11－89）》，该规范对建筑物的地基、结构体系的抗震做了明文规定，即：

(1) 地基和基础设计要求：①同一结构单元的基础不宜设置在性质截然不同的地基上；②同一结构单元不宜部分采用天然地基、部分采用桩基；③地基为软弱粘土、液化土、新近填土或严重不均匀土时，应采取地基处理措施和加强基础的整体性和刚度。

(2) 结构体系要求：①应具有明确的计算简图和合理的地震

作用传递途径；②宜有多道抗震设防，应避免因部分结构或构件破坏而导致整个体系丧失抗震能力或对重力荷载的承载能力；③应具备必要的强度、良好的变形能力和耗能能力；④应具备合理的刚度和强度分布，避免因局部削弱部位，产生过大的应力集中或塑性变形集中，对可能出现的薄弱部位，应采取措施提高抗震能力。

（3）结构及构件要求：①砌体结构应按规定设置钢筋混凝土圈梁和构造柱、芯柱，或采用配筋砌体等；②混凝土结构构件应合理地选择尺寸、配置纵向钢筋和箍筋，避免剪切破坏先于弯曲破坏、混凝土压溃先于钢筋的屈服、钢筋的锚固粘结先于构件破坏；③预应力混凝土的抗侧力构件，一般采用有粘结的预应力筋，并应有足够的非预应力钢筋，以保证结构具有必要的耗能能力，对采用预应力的桁架下弦和悬臂大梁，还应考虑竖向地震对预应力构件的不利影响；④钢结构构件应避免局部或整体失稳的可能。

（4）结构各构件间的连结要求：①构件节点的承载力，不应低于其连接构件的承载力；②预埋件的锚固承载力，不应低于连接件的承载力；③装配式结构的连接，应能保证结构的整体性；④预应力混凝土的预应力筋在节点核心区以外锚固。

三是制定震前、震时、震后的减轻地震灾害的对策、措施和实施计划。特别是在未来可能发生中强地震的地区，应根据国务院颁布的《破坏性地震应急条例》和地方性《破坏性地震应急预案》，制定相应的应急预案。

四是制定区域、城市、单体工程三个层次的减轻地震灾害的对策和措施。

五是为了更好地实施抗震防灾的战略和对策，我国明确抗震设防职能为：省、市（地）及以下工程的抗震设防标准均由同级

防震减灾主管部门审定，具体实施由建筑部门把关执行。

三、政府及有关部门震前的准备工作

根据我国防震减灾和抗震防灾的方针、对策，各级政府在震前需要做好以下工作：

(1) 依照《防震减灾法》和《破坏性地震应急条例》制定大震应急预案，作好各部门的协调工作，随时检查落实情况。

(2) 做好群众性的防震减灾宣传教育工作，增强群众防灾自救能力。

(3) 做好建筑物抗震设防和施工质量检查，对那些抗震性能较差的建筑物进行加固，提高生命线工程的抗震能力。

(4) 根据环境条件确定人员疏散路线。

(5) 做好应付破坏性地震的生活物资储备工作。

(6) 对在地震时可能造成次生灾害的源地——易燃、易爆品贮存、生产地，进行专门的抗震设防处理，减少次生灾害。

(7) 社会的稳定是抗震救灾的重要保障，因此应加强治安保卫工作。

总之，各级政府相应的职能部门应在党和政府的领导下，采取谐调一致的行动，要尽最大的努力，把地震灾害减少到最低的程度。地震、建设、民政、计划、公安、通信、粮食、物质、医疗、运输、电力、保险等政府职能部门按照各自的职责范围，做好防震减灾和大震应急的准备工作。

各级政府的有关职能部门在防震减灾工作中的职能分别为：

· 地震部门：各级地震部门是同级人民政府主管防震减灾工作的职能部门，应充分行使、发挥其政府职能，组织做好监测、预报、科研以及工程地震、震害预测、震害评估等业务工作，为国务院和政府进行有关地震问题决策提供科学依据；积极主动地

给国务院和地方政府出谋划策，当好参谋，指导帮助地方政府制定本地区地震工作规划、计划和大震应急预案、综合地震对策方案。

· 建设部门：指导和管理城镇建设及工业与民用建筑的抗震、设防。

· 民政部门：负责农村救灾工作，掌握灾情，指导生产自救，发放救灾款物；检查监督救灾款物供用情况；发展农村救灾合作保险。

· 计划部门：负责组织协调抗震救灾工作。

· 其他部门的防震减灾职能按《破坏性地震应急预案》中的规定尽职尽责。如：

· 教育部门：①加强对师生防震减灾知识的教育；②学校领导和教师要掌握地震应急的方法；③采取切实措施，排除学校次生灾害隐患（如实验室）；④做好校舍的抗震加固工作，拆除危险建筑；⑤当有地震谣传或谣言在社会流传时，应积极配合有关部门采取平息谣传和谣言的措施。

· 公安部门：制定治安、消防、交通等方面破坏性地震应急预案。做好震区的交通管理、消防准备、重要部门的保卫和严厉打击各种犯罪分子的准备工作。

· 建筑管理部门：根据第三代烈度区划图和防震减灾业务部门对重要工程和特殊工程的场地地震安全性评价给出的抗震设防标准等，做好建筑抗震设防的宣传工作，按抗震规范把好技术关，具体工作如下：①检查鉴定旧建筑物、构筑物的抗震性能，对抗震性能差的采取相应加固措施；②对新建筑物要按批准的抗震设防标准严格把好技术和质量关；③加强对建筑市场的管理和对建筑施工队伍的抗震防震建筑施工的技术培训。

· 矿山管理部门：①加强矿山重点工程和关键部位的抗震设

防工作；②对广大矿山职工进行防震减灾知识教育；③配备地震应急使用的安全出口和备用电源；④组织应急专业矿山救护队和辅助矿山救护队，建立医疗救护网点；⑤设置专门的地震应急无线或有线通信联络网；⑥制定矿山大震应急对策，建立防震救灾指挥部，作好必要的物质准备。

· 邮电部门：搞好地震通信服务，优先处理地震部门的观测数据传递的电话和电报；制定破坏性地震应急预案，做好防震抗震与救灾准备，成立抗震救灾通信领导小组；作好本系统的抗震加固工作；组建应急电讯抢修队伍和抢修通信物资的准备。

· 卫生部门：制定破坏性地震救护、卫生应急预案；建立抗震救灾医疗救护组织；广泛进行抗震救灾卫生知识普及宣传；培训医护人员的伤员救治技术，提高紧急救治水平；做好应急药品器材储备。

· 涉及化工、易燃、有毒工作部门：

有中长期地震预报时的工作：①新建的放射性、细菌、电脑系统等部门的建筑，应做好建设前的场地地震安全性评价工作，按基本地震动参数据实际情况相应提高设防；对已有建筑进行检查，对没有达到抗震设防要求的，应采取相应的抗震加固措施。②最好在动力、化工、电力系统的重要机械设备安装自动保护、放散、断闭装置。③做好灭火、防毒、防菌、防放射性的各种器材和药品等物资准备。④做好消防知识普及教育，建立专门消防组织。

当发布短临地震预报后，应做好以下工作：①防震减灾指挥系统的组织落实，配备指挥系统专用的通讯、交通工具；②制定易产生次生灾害的重点单位的消防、防爆、防毒分工，制定预防、救治灾害的预案；③建立应急抢险队伍，配备运输、抢险工具；④分散分类保管易燃、易爆、有毒物品，减少库存量，降低

存放物品的高度；⑤油库要建筑或加强防护堤，尽力减少库存量，重大石油储存系统，应做好防火准备；⑥储气系统要降低压力，停用危险设备；⑦电力系统应检查导线牢固度，加固不稳电杆，切断不使用电路的电源。

·生命线工程部门：生命线工程是国家和城市的动脉和神经，它对社会生活、生产有着重大的影响，是人民生活的重要保障。生命线工程具有其他行业和单位所不能替代的特殊作用，某一环节或局部遭到破坏、失控，都会导致城市功能的丧失和瘫痪。

生命线主要包括公安、消防、交通、通信、供电、供水、粮食、卫生、消防工程等的；铁路、公路、港口、机场、城市道路、立交桥、地铁等；电报、电话、电视、传真、邮政等；电站、电厂、电力枢纽、电网等；水源井、水源库、输配水管道、管网；粮库、粮油副食供应；热力、煤气；污水处理系统、排水管道、卫生设施、药品加工、医疗手术救护室、病房、药房、医疗器械库、血库等。

生命线工程受到灾害袭击将影响到一个系统和其他系统，乃至影响社会，如在1995年1月17日日本神户7.2级地震中，神户市受灾最严重。市内房屋倒塌严重，停水断电。由于煤气管道破裂，发生200余处火灾。全市基本处于瘫痪。救助工作十分困难，许多受伤人员因断水断电而无法进行手术治疗，因断水或街道堵塞，消防车无法到现场灭火，等等。特别是在现代化社会高度发展的今天和未来，生命线工程起的作用越来越举足轻重，加强生命线工程的防灾抗灾能力是提高一个地区、城市整体抗灾防灾能力的关键，为此，生命线工程必须具备足够的抗震和快速恢复能力。

从以下几方面可增强生命线工程的抗震防灾能力：①按《防

震减灾》认真做好建设工程的地震安全性评价工作，严格遵循抗震防灾规划的要求，确定生命线工程的布局、结构和规模。②按照场地地震安全性的区划结果，参照有关工程地质勘察资料，选择有利建设的场址，避开危险场地。③严格按照国家有关规范和设防标准进行工程设计。④选用符合设计要求的轻而柔软、强度高、耐火及有利抗震的建筑材料。⑤按照国家抗震设防规范设计要求，确保工程施工质量。⑥按多源、复线、回路、环状的配置布局，进行配备水源、电源等。⑦平时应加强应急技术力量和快速反应能力，贮存足够的备用物质。⑧充分认识生命线工程在抗震防灾中的重要地位和作用，普及防震减灾知识，增强抗震意识，做好震前各项准备工作。

第六节 地震灾害防御知识

一、提高建筑物抗御震灾的性能

建筑物的抗震性能指建筑物抵御地震破坏的综合能力。地震造成的经济损失和人员伤亡，主要是建筑物抗震性能差所致。

1. 提高建筑物的抗震性能

(1) 慎重选择建筑场地，做到房屋基础牢固，场地地下水位埋藏较深，地震时地基不致开裂、塌陷或液化。以下情况必须首先做好地基处理：地下水位较高的土层；新填平的坑、塘和软硬土交界处，半挖半填的山坡；古河道、河渠、陡坡、陡崖、冲沟附近；容易引起砂土液化的含水细砂层或淤泥等地基。

(2) 建筑物平、立面力求整齐，高度不超过规定，避免跨度大，过于空旷（预制钢筋混凝土梁的跨度不宜超过 5 米），尽量开间小，隔墙多，以增加水平抗剪能力。如有特殊要求，必须事

先采取措施。

(3) 保证砌墙质量，做到墙体系统规整。墙体是否牢固可靠，是鉴别房屋抗震能力好坏的主要内容。墙体的抗震性能主要取决于材料、结构和施工质量三大方面。资料表明，我国农村房屋中的灰砂砖墙、三合砖墙和火砖墙抗震性能较好；土砖墙和木柱土坯墙次之；土坯墙较差；实心卧砖砌墙比空斗陡砖砌墙好。同一墙体不要采用两种材料。

砌墙务使墙体构成整体，墙与墙之间必须相互咬接。在根基和层檐之间加放钢筋或其他抗拉材料，增强墙体的整体性。还可用打圈梁的方法来提高建筑物的整体性。墙体的砌筑应做到：纵横墙和火砖柱墙、土砖柱墙同时砌筑；砖墙、内外墙、纵横墙要同时夯砖；在外转角或“丁”字接头处加放钢筋等抗拉材料。另外，外墙拐角和纵横墙交接处，必须同时咬槎砌筑。

保证施工质量，提高抗震性能。保证砖或土坯的砌筑质量以及混凝土浇灌和养护质量。①保证砂浆强度和灰砂（泥浆）的饱满度，砌缝均匀，忌用只在砖的四边抹浆的“带刀灰”作法。②清净砖表面，火砖要浸湿，提高灰浆与砖块的粘结能力。③不用鹅卵石砌墙；石块灰浆砌筑砌墙时，根基和墙转角处、纵横墙交接部位，选用大而平整的大石块搭咬砌筑。如用毛石砌筑基础，在砌筑时，应用坐浆法，不得用先铺后灌浆的方法，石块要丁顺交错，无通缝，并根据地基承载力和房屋重量合理选择砂浆强度等，不得用干插石或用泥浆砌筑。④在土坯砌墙或筑土墙时应掺草筋等拉结材料。土坯卧砌，不宜斗砌，泥浆要饱满，错缝搭接。墙面要抹碎稻草泥浆和刷一层灰水，这样既可防风雨侵蚀，又可增强房屋的整体性。

(4) 房屋布局要合理，屋顶使用轻质材料，减轻上部结构重量。在房屋布局方面要做到房屋设计简单实用，布局匀称，跨度

不宜过大；高度适当，以降低重心。我国农村房屋屋顶为瓦顶、草顶、泥顶三种。其中，草顶和泥顶比较轻巧；瓦顶如不是太的草泥灰卧瓦或附设其他装饰物，其抗震性能也是较好的。加强梁、檩、格间的连接，保证屋顶的整体性。另外，不要建造地震时容易被破坏的牌楼、挑檐、门脸、挡水墙、女儿墙等装饰部分。

(5) 经常检查维修，延长房屋寿命。房屋年久就会发生裂缝、鼓包、酥松，屋架支撑断裂，木头被虫蛀或腐烂等。所以，对房屋要进行仔细检查，对那些不能维修的变形房屋要拆除或局部拆除重新翻建。一般的维修加固方法有：①加固前后墙：前后墙与内墙连接不好或向外倾倒，就要用钢筋或铁丝经内墙两侧将前后墙拉紧。②加固山墙，用墙缆使房屋山墙和房架连接起来，防止山墙出现外倾或檩条脱落。③在柱梁之间加斜撑。对柱顶架的房屋加固时，用加木夹板钉钉牢柱、梁的两侧的斜撑。④在房四周加铁箍和竖筋，用水泥砂浆加固，这种方法主要用在窗间墙及砖柱有裂缝或局部被破坏的房屋加固。⑤在山墙两端、前后墙的屋架下、后砌隔断墙以及连接房屋的敞口墙处设置扶壁垛。

2. 隔震和减震措施

在地震防御工作中，仅对建筑物进行抗震设计是不够的，还应提高建筑物的抗震性能以减轻地震对建筑物的影响。目前采用减震技术和方法大致有以下几类：

(1) 绝缘法（隔震构造法）：

在建筑物与地基间设置使建筑物与地基适当连接、又允许有适当变形的隔离支承，从而减小地基传给上部结构的地震力。常用的绝缘法措施有：

①软垫层隔震。在场地基础上安放软垫层，隔离其上建筑物的地震反应。这种软垫层一般采用天然橡胶和人工合成橡胶等材

料。

②摩擦滑动层隔震。在场地基础上铺设摩擦系数较小的滑动层隔离水平地震，减小其上建筑物承受的地震反应。滑动材料一般选取滑石、石墨、聚四氟乙烯以及精选过的圆型砂粒等。

③变形滚球层隔震。众所周知，圆形滚球可百分之百的隔离水平振动。但是，为防止圆球上的物体作任意水平移动，采用各种变形滚球，使建筑物在一定范围内水平移动。类似的还有设置滚球轴承或聚四氟乙烯纤维隔层，或设置三重柱构造等。

④耗能器隔震。耗能器有阻尼器、铅阻尼器、软钢阻尼器、干摩擦阻尼器等，主要功能是减少建筑物的地震反应。

(2) 调节固有周期：

在建筑物上设置减震装置，使建筑物的固有周期远偏离地基的卓越周期域，以减小建筑物的地震反应。用于调节建筑物固有周期的材料或设备有：

①积层橡胶：由橡胶和钢板组成，主要利用天然橡胶耐臭氧、耐油、耐酸、耐化学作用能力较强的特性，使建筑物在压缩方向可以得到较高的钢性，而在剪切方面可以得到较低的钢性。有时为提高其塑性，在橡胶积层内可以放置铅块插销。最近日本在修筑高速公路时，在梁柱中注入了橡胶物质以提高抗震能力。

②橡胶轴承：用滑板或轴承板来承担建筑物的自重，让橡胶轴承只具钢度。

③弹簧圈：利用弹簧在方向上进行限制的伸缩来减震。

(3) 吸能：

以建筑物上的装置吸收地基输给建筑物的地震能，减小建筑物的地震反应。目前，用作吸能的装置有以下几种：

①利用粘性体的粘性阻尼特性的粘性阻尼器。

②利用金属或预制混凝土板的库仑摩擦特性的摩擦阻尼器。

③利用软钢在压缩、伸长、弯曲、扭转等塑性变形时吸收能量这一特性而制作的阻尼器。

(4) 催化剂：

在混凝土内加入氧化硅微粒催化剂，提高其材料之间的结合力和承受压力、抗弯强度，从而增强混凝土预制构件抗御地震能力。

二、加固老旧房屋、普通民房

对老旧房屋加固，常用的方法有以下几种：

(1) 墙体的加固。地震时，墙体破坏较多，为开裂和歪闪，所以，加固的方法有拆砖补缝、钢筋拉固、设置“墙箍”（一头是钢板紧贴在墙外，一头是钢筋穿过墙体，拉紧在屋架上，使山墙与屋架连成一体）、附墙加固、增加附壁柱、扶壁垛等方法。

(2) 楼盖和屋盖的加固。用水泥沙浆重新填实，配筋加厚的方法，对预制板裂缝或破损进行加固；用铁管支顶或砌砖垛方法处理屋顶移动；砖木结构的房屋，可用“扒钉”加强木屋架与檩条的连结；用垫板加强山墙与檩条的连结，木柱之间加斜撑加固；屋顶倾斜要扶直；糟朽、劈裂的木屋架要增设附梁与附柱。

(3) 其他方面。对烟囱、女儿墙、高门脸、出屋顶的水箱间、楼梯间等突出部分的加固，应采取适当措施设置竖向拉条，同时，拆除不必要的附属物。

三、高层建筑震灾防范措施

从地震防灾角度来看，高层建筑存在着许多不利因素。

(1) 高层建筑高度大，房屋的固有安全周期与地震振动周期相近，容易形成共振，所以抗震性能要求比较高；而且，地震时

高层建筑的振动比低层建筑的大，这就要求建筑物应具较高水平的抗拉强度。地震力在对相同质量的房屋作用时，高层建筑物更容易遭到破坏。如：1985 年 9 月 19 日，墨西哥海域发生8.1 级地震，使距震中4.0 公里的墨西哥城倒塌 1229 栋房屋，其中大多是 10～15 层的高层楼房。

（2）高层建筑里的人员疏散困难，不利避震。在高层建筑里的人员通过楼梯疏散到室外所需要的时间长。加之，震时停电等其他不利因素，就更增添了应急疏散人员的难度。

（3）强震时，高层建筑的次生灾害严重。随着地震时建筑物的大幅度摇晃，建筑物内遍布各个角落的管道系统产生较大变形，导致断电、漏水、煤气泄漏、电线短路等事故；分散在各处的水源在地震时，也极有可能因为来不及关闭而导致水灾的发生。因此，火灾、水灾是高层建筑地震时防范的重点。

（4）高层建筑救灾困难。强烈地震造成的高层建筑倒塌散落范围大，遮掩路面、阻塞交通，会妨碍救援工作的进行。高层建筑具有整体性强、构件重大的特性，在实施清理时，必须要采用相应的机械设备，然而，这些机械设备在震后很难快速赶到。另外，目前，救援设备一般升高在 20 米左右，最好的云梯升高也不超过 60 米，救火供水高度也只有 20 多米，无法进行高层建筑的上部救援工作。

（5）城市高层建筑装饰隐框玻璃幕墙容易引发地震次生灾害，是城市新的灾害隐患。镶嵌在高档宾馆、酒楼、商厦等建筑物四面的隐框玻璃幕墙和广告牌在强烈地震时，容易飘落砸伤行人，造成人员伤亡。

高层建筑的防范措施和对策有：

（1）按地震烈度区划和国家有关的规定，做好高层建筑的抗震设防；做到采用适当的原材料，符合抗震设防标准的结构设计

和保证施工质量。

（2）合理地选定建设场地、建筑高度、规模造型；同时，留有救灾和应急疏散需要的通道、广场绿地；在高层建筑内应设置实用、安全的利于人员紧急疏散的辅助设施。

（3）在有中期地震预报的地区，制定高层建筑地震应急疏散方案，定期对高层建筑配备的救援设备和防灾设施进行检查和维护。对高层建筑的工作人员进行防震减灾知识的教育和技能的培训。

（4）地震时，高层建筑内的人员，一定要沉着冷静，就近躲避到厨房、厕所等小开间房屋内，千万不要拥塞在楼道和楼梯，避免不必要的挤伤、踩伤、摔伤，更不得跳楼。震后，为了预防强余震的袭击，在其内的人员一定要听从统一指挥，有秩序地疏散到室外。

四、普通民房抗震设防的设计和施工

（1）避开活动断层，选择基岩和干燥密实土层地基，不宜在松散的砂层、淤泥层、人工填方、古河道、旧池塘、河滩地和容易液化的砂层、容易产生开裂、沉陷、滑移的陡河坎等处建造房屋。

（2）潮湿多雨地区或靠山坡、坡体上的房屋四周应挖明沟排水，不能修建地下暗沟穿越墙体。

（3）房屋平面力求与主轴对称，尽可能简单，避免出现凹凸形状；墙角不宜开门窗。

（4）房屋重心要低，屋顶要轻，不做女儿墙、高门脸等既笨重又不稳定的装饰性附属物。

（5）视本地区的实际情况，限制房屋的高度和平面尺寸，房屋之间应留建防震缝。

(6) 力求结构匀称，采取一些加强连接点的强度和韧性的措施。

(7) 为减小地震水平力的危害，内墙和斜撑可加强结构联系。墙柱分配要求均匀。

(8) 墙体交接和拐弯处要咬合砌筑，最好设置圈梁，并在横墙上拉通，加强房屋的整体性。横墙密度应适合，墙体尽量少开洞，设置的门、窗的孔洞亦不宜过大。屋顶与墙体应联结为整体，预制板在墙或梁上支撑长度应适当，一般在墙上不小于 10 厘米，在梁上不小于 8 厘米。

(9) 要选择比重轻、强度大、并富有韧性的建筑材料。

(10) 木构架力求稳固，要固定檩条或屋架，尽量简化或不设置室内装饰性部分。

(11) 施工时应注意土坯砖块错缝咬砌、砌筑灰浆饱满、砌前干砖浸湿、榫眼构件恰当等。

(12) 美化住宅或搞室内装修，只能按原平面布局进行，不得拆改墙体、改变房屋结构体系和原设计功能。进行改造、装修或加层扩建，必须保证房屋结构的安全，并相应采取抗震加固措施。

五、个人或家庭平时的防御准备

常言道“有备无患”。如果家庭和个人防震意识强，就可以有效地减少地震损失。以往经验说明，地震直接造成人员伤亡主要是下落物体砸压造成的，尽管对于个人来说地震造成的影响有很大的偶然性，但是只要我们平时采取一些预防措施，就可增加幸存的可能性。我们根据减轻生命和财产灾害的措施作出相应的反应，即：①平时要学习和掌握防震减灾知识，只有这样才能在地震时保持冷静的头脑，运用避震和防护方法，果断地采取正确

避险措施；②平时备放一个有手电筒、水、食品、急救药箱、本地地图（标注社会服务性机构的方位）等物品的防震用具包；③备放一个或多个灭火器，将浇灌用软管套好在水龙头上备用于地震时进行灭火；④在家和经常游玩或工作、学习的地方掌握怎样关闭煤气、电灯、水等方法，并在煤气阀门附近备放一把规格合适的扳手；⑤在电话机旁写下医院、消防队和公安局的电话号码；⑥将那些在地震时可能翻倒的书架及一些重家具固定在墙上；⑦将易燃、易爆、有毒等危险品安放在不会倾倒或砸开的安全地方；⑧确定你是否居住或工作在地震时会引起水坝破坏而引起水灾的地区或在山崩或遭受海啸破坏的地区，如果是，你与家里人、邻居、同事应制定一个疏散方案，并商订事后集中的地点；⑨为防患于未然，一切通道通行无阻，便于地震时人员疏散和援救人员出入，应在工作地点或日常活动中，制订避免物体、自行车、小汽车等阻塞走廊、门口、通道的规则；⑩在个人衣袋里装上有家庭成员名单及工作单位、本人血型记录等基本情况的卡片或笔记本，以便震后的救护工作；⑪备一台半导体收音机，以便地震时及时了解政府的通告和震情发展动态。

六、地震瞬时避险和防护

遭到强烈地震的突然袭击后，常常会引起人们一时认知失调，判断失误。如果缺乏必要的地震知识，容易引起行为的异常，在灾难降临时，不是采取有效的避险行动，反而慌乱无措或措施失当。因此遇震时，应最大限度地保持冷静，避免慌乱，正确判断和利用身边的避险条件，进行自我防护。要求避震和防护行动果断，力戒犹豫。

通常从地震发生至房屋的倒塌间隔时间有十几秒钟。因此，我们可以充分利用这个时间差，采取果断的措施就近躲避。此

外，在地震紧急避险过后，为了防止更大的地震或余震的袭击，人们要立即撤离现场，疏散到指定的安全地方，直到震情解除及抢险救灾工作结束。

地震时我们应根据当时情况和环境作出相应的对策：

（1）楼房内遇震：首先要沉着冷静，千万不可拥塞在楼房结构脆弱的楼道和楼梯口，或翻身跳楼；应充分地利用周围有利条件，果断就近躲在床下、桌子下、支撑点多、不易倒塌的家具下，墙角处（内承重墙角），和承重墙较多、跨度小、管道多的厨房、厕所。切忌躲在最不安全的室内中间部位。待地震后，再迅速转移到安全地带。

（2）住平房遇震：如果在时间和条件允许的情况下，应夺门越窗冲出房间避开危险源到空旷的地方，往屋外转移时，要用被子、枕头或安全帽等保护头部，如果来不及跑出或附近没有安全的空旷场地，可迅速躲避在比较坚固的桌子或床板等家具下，在农村的平房内遇震时，应立即跑出屋外，转移到空旷场地。

（3）住在大宾馆内的人遇震：注意避免接近玻璃窗或隐框玻璃幕墙，最好头顶被子、枕头等物，躲到落下物、倒塌物少的空间，并防大吊灯的伤害。地震后，服从工作人员的统一指挥，安全撤离到室外。撤离时不要使用电梯，以防停电困于电梯内，或因地震造成建筑物摇晃变形而使电梯卡轨或发生其他意外事故。

（4）在影剧院内遇震：影剧院大都是采用屋顶轻、跨度大的房屋结构，震时不易塌落，就是塌下来重量也不大。再者，影院内的排椅是九合板及铸铁架螺丝联结的，一排排椅背联结起来，具有很强的支撑力。因此，千万不要慌乱跑，应就地蹲或趴躲在排椅下，前排观众可躲在舞台或乐池下，门口的观众可以迅速跑出。然而，应注意影剧院人多门窄，加之，门附近往往是建筑物的脆弱部位，不便跑出时，一般采用室内就近避震方法为佳。

(5) 在百货商店遇震：避开可能下落或翻倒的广告牌、照明灯、货架和商品陈列橱等，就近躲在大柱子和大商品旁边，或屈身蹲下躲避在没有障碍的通道。楼上的顾客，原则上向底层转移为好。但不能蜂拥到楼梯，因为楼梯是建筑物抗震的薄弱部位。此时，商店工作人员要组织群众就近躲避，震后安全撤离。

(6) 车间遇震：首先应关闭易燃、易爆、有毒气体阀门和运转设备，降低高温、高压管道的温度和压力。厂房面积大，周围房屋密集，人多时不易跑出，应就近躲在车、机床及较高大设备下。震后，大部分人员可撤离现场，在有安全防护的前提下，留少部分人员在现场监视险情，处理意外事件，防止次生灾害。

(7) 矿井下遇震：井下相对地面要安全些。但应迅速撤离井巷内的支护差和临空面暴露多的掌子面或竖井出口、巷道口。若井口或井巷塌方，被困于井下时，要保持沉着冷静，成立井下临时抗震指挥部，迅速作出脱险的方案，由专人指挥，尽力保存体力，等待救援。

(8) 学校人员遇震：最主要是学校领导、教师应保持冷静并果断指挥。指挥学生躲避在课桌下、讲台旁，教学楼内的学生可以到开间小、管道支撑多的房间里，决不可让学生们乱跑或跳楼。震后指挥学生有秩序地撤离。

(9) 在街上走时遇震：用皮包或柔软的物品护住头部，无物品时可用手护着头，撤离到街心和比较空旷的地方。应避开高大建筑物、广告牌、霓虹灯架、窄巷、大烟囱、水塔、高压线、变压器，并避开桥梁、陡崖、危岩滚石地带。绝不可躲避到桥下。

(10) 行驶的车辆遇震：司机应采取紧急制动措施，要稳、缓，逐步刹闸。乘客（特别在火车上）应牢牢抓住拉手、柱子或座席等，注意防止行李架上物品掉下伤人。面朝行进方向的乘客，应将胳膊靠在前坐席的椅垫上，护住面部，身体倾向通道，

两手护住头部。背朝行进方向的乘客，应两手抱住头部，作好抬膝护腹、紧缩身体的防御姿势。

（11）地震时遇有毒气扩散时：平时要了解自己居住区和活动区及附近有否毒气源，学习掌握一些防毒气常识。地震时，首先要辨清风向，迎风跑出毒气影响区，避难到地势高的地方。同时，要用湿毛巾或手帕捂住口鼻。

（12）地震被埋压时：应该镇定地仔细观察所处环境，努力创造供生存的安全空间和易于被外面人发现的条件。同时，采取设法出动或保存体力的方法。扒开眼前的障碍物（特别是把头部和胸部的杂物挪开），扒开一定的空间或用砖石等支撑残垣断壁以利呼吸和免遭后续地震破坏而被进一步砸埋。但千万不能随便移动身旁的障碍物，特别是注意不要碰倒直立或斜躺着的起支撑作用的柱子。要用毛巾等捂住口鼻，谨防烟尘呛闷窒息的危险。在原地等候救援时，不可盲目呼救，尽量减少体力消耗，寻找一切可以充饥的食品；千方百计与外面救援人员进行联系（如敲地、击器物、呼喊），为扒救人指明埋压的位置，积极主动配合地面营救。

（13）地震时被卷入人流中时：在极为短促的突发灾害过程中，人们往往是毫无思想与精神准备。由于在恐慌人流的环境影响下引起了内在心理变化，使人过于惊恐而暂时丧失理智，激发起逃避灾害的本能，从而使之失去控制，采取不当的逃避行为。如果，大多数人都开始混乱、奔逃、拥挤时，更会加剧人本身的思维混乱状态，降低了人的理智思考能力，使灾害现场更为混乱而无法控制。人群前部的人们往往被紧紧压在一起无法移动，而后部人群密度较小，如果此时由于开门、栏杆倒塌、人员摔倒等因素，使前部的压力突然释放，后部人们误为前部开始运动从而更加用力地向前，此时最容易发生踩死踩伤人。再者，由于恐慌

人流或拥挤人群的密度大，增大了建筑物结构的载荷，如是在楼梯、看台等建筑物薄弱结构部位，便容易造成倒塌伤害人员事故。另外，由于建筑物设计不合理会增大人群规模和密度，即楼梯设计过长过陡，这种楼梯容易造成人员摔倒。一旦有人绊倒，很容易引起连锁反应，造成人员混乱，后部人流不明真相，继续向前行进，使人流顺势绊倒重叠，压死压伤人；安全门设计过少过小，不利人流疏导和分流，致使人群密度、规模递增，从而加大成灾的可能性。

被卷入恐慌人流或拥挤人群时，应保持冷静沉着，迅速判断处境，果断地采取自救或援救他人的行动。同时，选定自己的避难路线，尽快远离人流。如不能很快脱离人流时，应采取如下防御姿势，即用双手抱头，两肘朝外，尽快松开衣扣，确保呼吸畅通和心脏不受挤压，用肩和背部承受外部压力，脚要站直，注意避免使自己的身体靠在墙下或被挤到墙壁、栅栏旁边，要尽快走近通道；如果被挤倒时，应双手抱着后脑勺，双肘支地胸部稍离地面，以免窒息。

七、地震火灾的防范措施

地震火灾的原因主要有：①由于地震的剧烈振动（包括地基振动、建筑物振动、地基和建筑因振动而变形或破坏等），家庭、企业等用火设备（如火灶、煤气炉、电炉、液化气罐等），火源失控燃烧引起火灾。②大型油库、火药库、化学物品防范不当，引起可燃物的起火以及火源落在可燃物上引起的火灾，如学校、医院、科研单位实验室的化学药品因器皿震碎引起药品混合致火或易燃品倾倒自燃。③地下燃气或输油管道和高压线路，地震时，引起管道破裂爆炸或高压线相碰起火等。④地震之后，人们多住在临时棚舍，燃灯点烛，稍不小心，易发生火灾。目前，随

着城市现代化的发展，使城市人口密度增大、河流和各种水源（水井等）自然水利减少、避难场所和空区少、火灾消防能力低。地震时交通不畅阻碍消防活动等亦加重了地震火生灾害所造成的经济损失。

平时应重视预防和消除震时和震后的火灾隐患等防范措施。预防地震火灾的重要措施有：①地震时，首先关闭或灭掉火源，然后再避震；②大型储油罐尽可能安放在远离市区的偏僻场所，并埋在不易被地震力破坏的地下；③根据当地设防的地震烈度对煤气管道进行抗震设防；④震时，厂矿企业的燃爆物质生产、运输、使用工序或高温工序等，应立即关闭，切断电源，熄灭明火或采取降温降压的紧急措施。震前制定综合消防对策，如防火的宣传教育、防火知识普及、火具使用范围的抗震耐火，使用耐火材料、防止建筑物高层化引起的烟囱效应现象，改良燃料、城市防火区划等综合消防对策。在具有中强地震背景、人口稠密、工业集中的地区，应在制定地震应急反应和防灾规划时，制订地震火灾灭火作战方案，同时，结合城市建设总体规划，搞好抗震防灾设施，适当拓宽主要街道，加固供水管道，增设消防“龙头”，机关、学校、工厂应自备水源，配备灭火器材，培训一支专群综合消防队伍。

八、地震时应谨防次生水灾

在地震的次生灾害中，水灾的威胁也是很大的。

地震时发生的水灾主要有以下几种：

（1）伴随地震发生的头等水灾是发生在沿海地区的地震海啸。

（2）地震作用使河岸或河堤下沉、倾倒、决口等引起的水灾。

（3）地震时，河湖地区地基液化，使河流工程设施发生滑陷

或隆起、河湖堤岸裂缝、水坝开裂、水溢出而造成的水灾。

（4）发生在梅雨季节的地震，引起河流水量猛涨、堤防破坏或决口等造成的水灾。

地震时发生的水灾，后果是造成人畜伤亡；房屋、道路、桥梁等冲毁；农田和农作物被毁坏等。

地震时的地下喷水冒砂和水管断裂等也有可能造成局部水灾，但其影响不会很大。

九、搭建防震棚注意事项

震后，房屋倒塌，灾民住宿问题亟待解决。这时防震棚应运而生。搭建防震棚时应注意以下问题：

（1）防震棚的建造要因地制宜，既能避风雨又能防震，既经济实用又简便。同时要注意通风、透光、处置好照明设施。根据地理位置，寒冷的北方地区可采取半地下式，潮湿多雨南方地区可建在相对高处。

（2）建造防震棚时，要注意场地的选择和布局。一要考虑安全因素，避开危楼、烟囱、水塔、高压线等危险地带和避开麦垛草垛、灶房等火灾隐患处，避开危崖、陡坎、河流的冲刷以及山区的河滩；二不要阻碍交通，不要建在汽车站、火车站、码头、飞机场的广场和跑道附近，及道口、公共场所上；三要注意便于管理，按基层单位居民委员会分片搭建，防震棚区要留好消防、救护道。

（3）尽量就地取材，以家庭为单位，选用自家的倒塌房屋可用之材，避免挖掘别人的房屋材料酿成纠纷，提倡邻里互助的精神。禁止随意砍伐林木、破坏公共设施的违法行为。为了做好防火工作，采用竹帘、麦秸等易燃材料搭建的防震棚，应在内外用泥巴或沙浆糊住竹帘和麦秸，棚顶上有烟筒的，要在洞壁处埋压

防火护皮。

(4) 搞好环境卫生，建好各片厕所和垃圾站。

(5) 组建临时居委会，制定防火、防盗、防疫、防余震公约。

第四章 滑 坡

滑坡是斜坡上的岩体或土体沿着一定的软弱面或带，作整体或分散顺坡向下滑动的一种物理地质自然现象。滑坡亦称其为地滑或“走山”。滑坡与山崩、泥石流一样，是破坏性极大的自然灾害，往往破坏道路和桥涵，堵塞河道，引起洪水泛滥，毁坏工厂矿山，淹没农田、工程设施和居民住地，破坏生态环境，对于经济建设和人民生命财产所造成的损失仅次于地震。

第一节 滑坡成因及类型

滑坡是内外动静环境因子产生山体滑落的产物。产生滑坡的主要条件有地质和地貌、内外营力和人为作用。

一、滑坡成因

1. 滑坡环境条件

(1) 岩土地质类型：结构松散，抗剪强度和抗风化能力低，在水作用下容易发生变化的松散覆盖层、黄土、粘土、页岩、泥岩、煤系地层、凝灰岩、片岩、板岩、千枚岩等是产生滑坡的内在物质基础。岩土力学强度较弱与较坚硬岩层互层结构的碎屑岩组亦利于滑坡的形成。

(2) 地质构造及岩土结构：岩层中的各种节理、裂隙、层理面、岩性界面、断裂发育的斜坡，平行和垂直的陡倾构造面及顺

坡缓倾的构造面是产生滑坡的内在地质环境条件。

（3）地形地貌：相对高差较大，山体坡角较陡，即坡角大于10度、小于45度、下陡中缓上陡、上部成环状的坡形是产生山体滑坡的内在地貌环境条件。特别是在斜坡向与岩层结构面倾向一致时易于滑坡的形成。

（4）地下水作用：地下水使岩土软化、降低岩土的抗剪和粘结强度，产生动水压和孔隙水压力，潜蚀岩土，增大岩土容重，对透水岩石产生浮托力等是产生滑坡的水文地质条件。

2. 滑坡诱发因素

（1）大气降水、生产生活用水、河湖倒灌水、各种水体的渗漏、地下水等作用在山体斜坡上，能增加坡体上重量；浸泡软化易滑地层，形成粘泥薄层，使抗剪强度大幅度降低；水充满裂隙时形成静水压力，出现水头差时形成动水压力；干湿交替导致岩土体裂开，使更多的水进入坡体促进斜坡失稳。

（2）沟谷、河流、湖泊、海洋水流冲刷岸坡，淘蚀坡脚、削弱支撑力，当下滑力大于抗滑力时，斜坡就会滑动，如滑体滑入沟、河湖、海洋中，则前部堆积就成为斜坡抗滑阻力，一旦这些堆积物被冲走，则斜坡将再次失去平衡而发生滑动。

（3）人为工程活动破坏坡体平衡作用。

①开挖坡脚与增加荷载。由于建筑、填方、倾倒、筑堤等引起边坡超载。另外，边坡削方挖土，堆积物搬迁与增加荷载使坡脚压力增大，使坡脚下部失去支撑，在斜坡上增加荷载使斜坡支撑不了过大的重量而失去平衡，沿软弱面下滑。

②地下采掘活动引起地表坡体失稳。地下大规模的开矿采空区及坑道密布，会造成山坡坡角增大和引起顶板岩层的变形，进而引发滑坡。

③人为开挖形成斜坡或增大原有坡体的坡角。在采石、修

路、大型建筑场地及基础开挖等工程活动中，往往有破坏坡脚岩土人为增大斜坡的角度，或将原本不存在的斜坡的山体或平台人工开挖后形成了较陡峻的边坡，从而为滑坡创造了条件。

④人为提高地下水及地表水位，造成斜坡失稳。当水库区蓄水后，水位提高，加之库岸边坡的再造，促使滑坡的发生。

⑤爆破、重型运输等引发的动力震动促进山坡失稳滑坡。

(4) 地震动的作用：一是使斜坡承受的惯性力发生改变；二是造成地表形变和裂隙增加，降低岩土的力学强度，引起地下水的变化。于是在触发滑坡的滑动和促进滑坡体的形成等方面创造了条件。

(5) 乱砍滥伐人为活动。在山坡土乱砍滥伐使坡体失去保护，便利水体的渗入而诱发滑坡。

二、滑坡类型

滑坡通常根据滑体的物质组成分类（堆积层滑坡、黄土滑坡、粘土滑坡、岩层滑坡或称基岩滑坡（图 4－1））、根据主滑面成因分类（堆积面滑坡、层面滑坡、构造面滑坡、同生面滑坡）、根据滑体厚度分类（滑坡影响深度小于 6 米的浅层滑坡、6～20 米的中层滑坡、20～50 米的厚层滑坡、大于 50 米的巨厚层滑坡）、根据滑体体积分类（滑坡体积小于 3 万立方米的小型滑坡、3～50 万立方米的中型滑坡、50～300 万立方米的大型滑坡、大于 300 万立方米的超大型滑坡）、根据滑坡发育过程和变化特征的分类（幼年期滑坡、青年期滑坡、壮年期滑坡、老年期滑坡）等。现就以滑体物质组成划分的类型概述如下：

1. 黄土滑坡（图 4－1（a））

黄土滑坡指发生在各种类型黄土层的滑坡。按滑坡的成因又划分洪积老黄土滑坡、洪积风积黄土滑坡和风积坡积黄

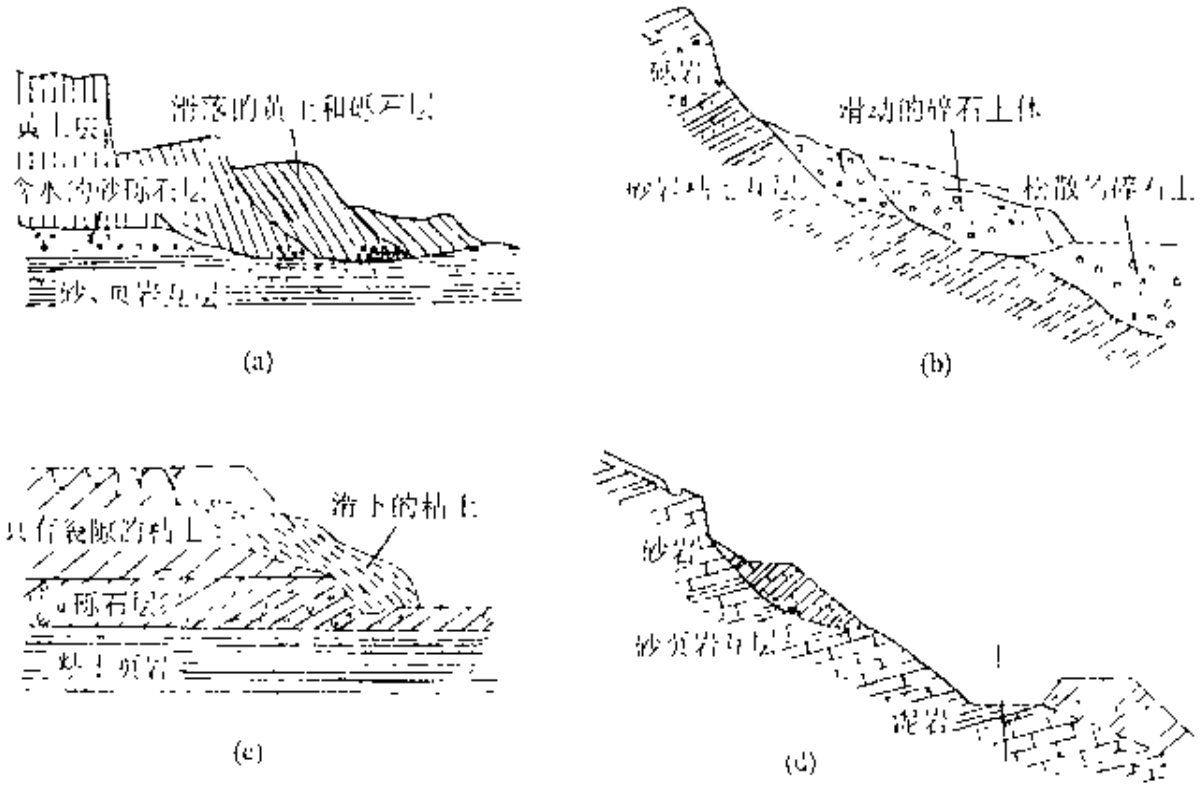

图 4－1　滑坡类型图

（a）黄土滑坡；（b）堆积层滑坡；（c）粘土滑坡；（d）岩层滑坡

土滑坡等。

2. 堆积层滑坡（图 4－1（b））

此类滑坡指第四纪地层中的松散堆积层滑坡，以及人工堆积层滑坡。滑体物质组成为：人工填筑的路堤土及废弃土碴；河谷两岸缓坡上的坡积、洪积的砾石土和碎石土；崩塌和古滑坡的碎石土；松散破碎岩石等。根据滑坡形成的原因和物质组成特征又分为坡积层滑坡、洪积层滑坡、残积层滑坡、混合成因堆积层滑坡、冰水堆积层滑坡和人工堆积层滑坡。

3. 粘土滑坡（图 4－1（c））

这类滑坡指发生在粘土、砂质粘土、粘质砂土等层内的滑坡。按粘土成因类型划分有堆积残积粘土滑坡、冰水沉积粘土滑坡、海相粘土滑坡、河湖相粘土滑坡等。

4. 岩层滑坡（图 4－1（d））

这类滑坡指发生在各种基底岩层中的滑坡或以基岩为主体的滑坡。根据岩层组成物质，即岩性的滑坡，如砂岩滑坡、页岩滑坡、泥岩滑坡、碳酸盐岩滑坡、火山碎屑岩滑坡和花岗岩滑坡等等亚类。

第二节 滑坡灾害实例

滑坡的成灾主要是滑坡体运动过程中的推挤、岩土破坏的形变、岩土的压埋作用及由此引起的次生灾害生成的（图 4－2）。

我国是世界上滑坡灾害比较严重的国家，自建国以来，滑坡造成的直接经济损失达 60 亿元以上，数万人伤亡。我国滑坡灾害主要分布在四川、陕西、云南、甘肃、青海、贵州、湖北等 23 个省（自治区），其中最严重的是四川省，受灾频度约占全国的 1/4（图 4－3）。

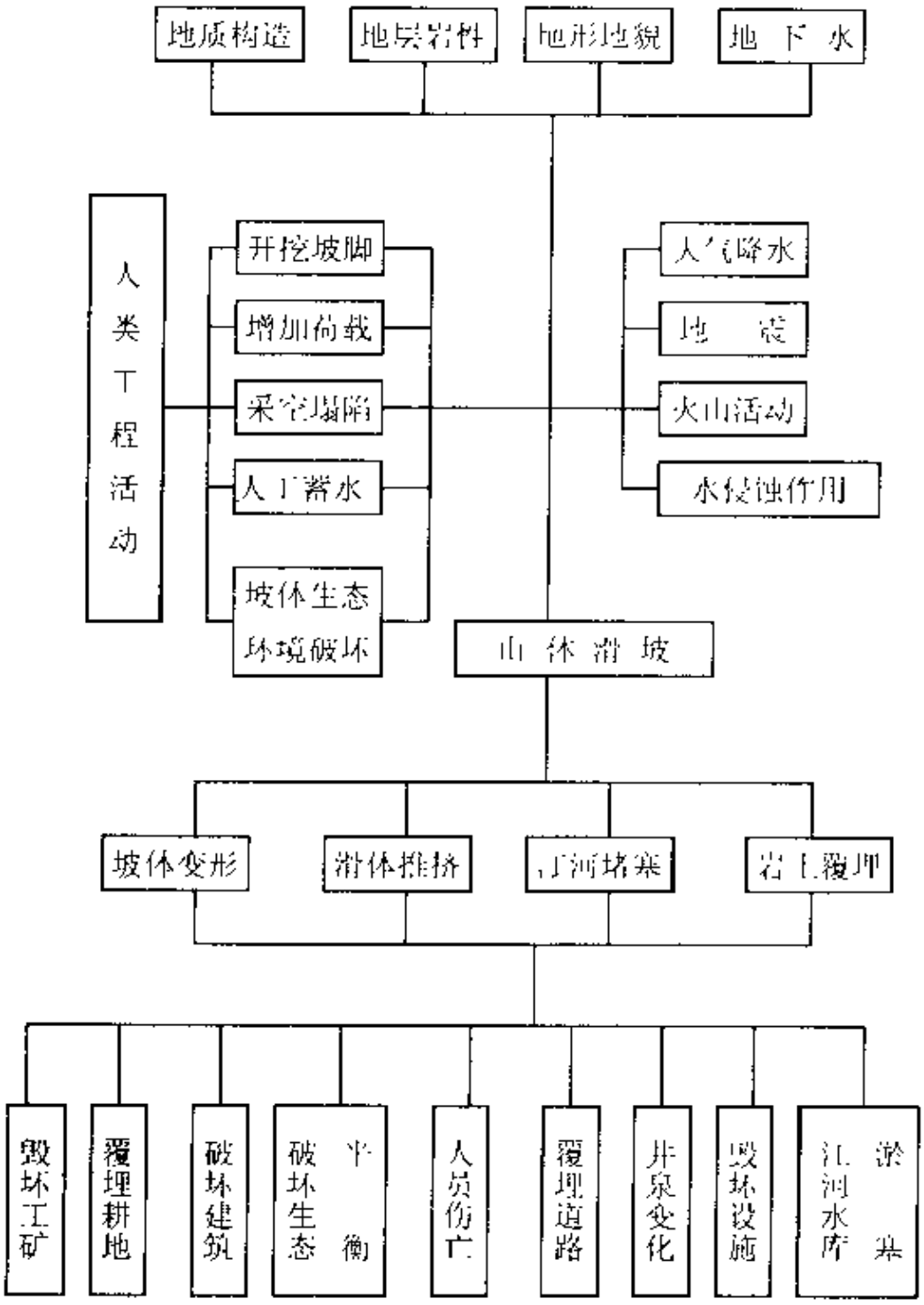
地质构造
地层岩性
地形地貌
地下水
人类工程活动
开挖坡脚
增加荷载
采空塌陷
人工蓄水
坡体生态环境破坏
大气降水
地震
火山活动
水侵蚀作用
山体滑坡
坡体变形
滑体推挤
江河堵塞
岩土覆埋
毁坏工矿
覆埋耕地
破坏建筑
破坏生态平衡
人员伤亡
覆埋道路
井泉变化
毁坏设施
江河水库淤塞

图 4－2　滑坡灾害链框图

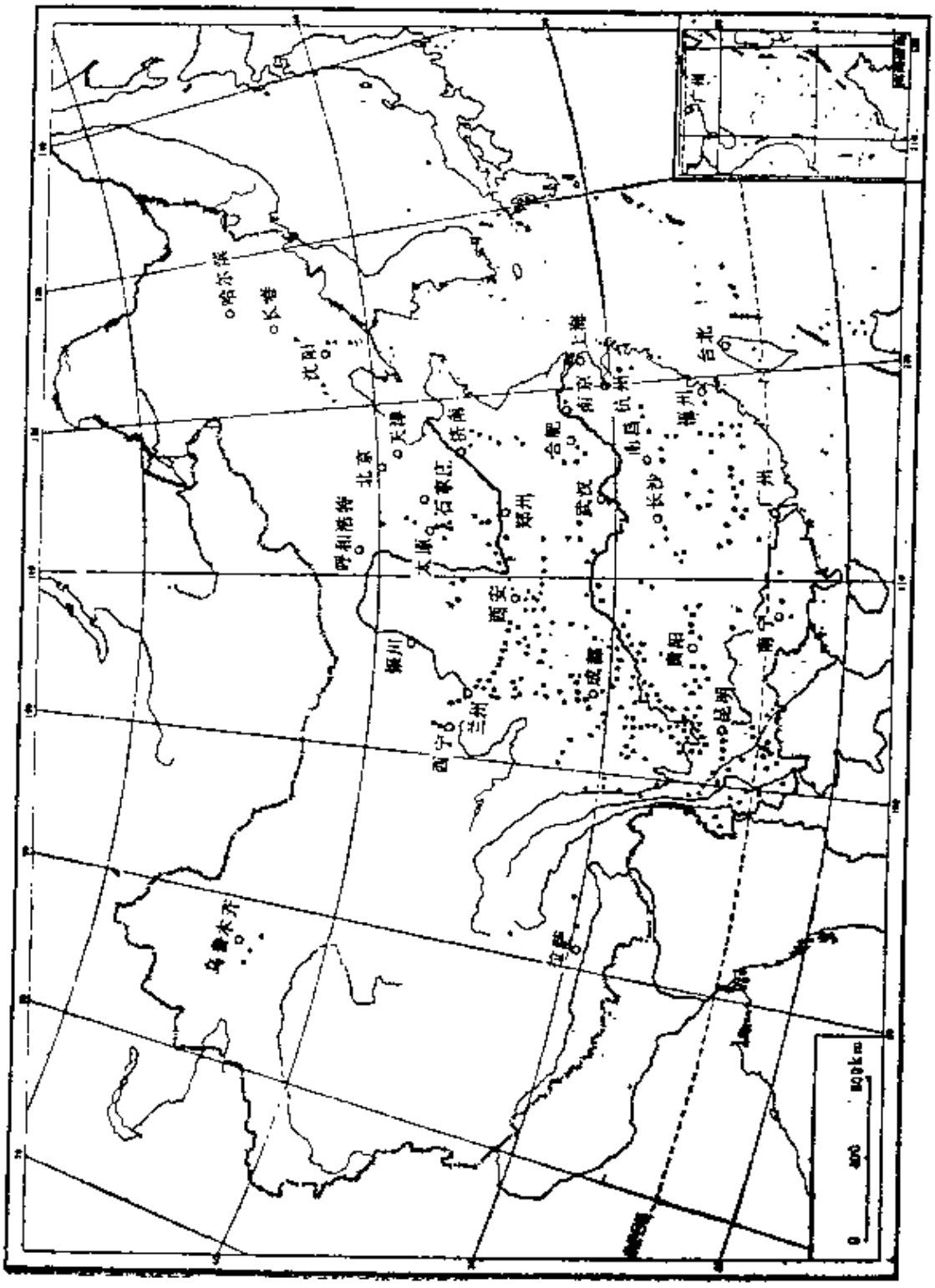

图 4－3 中国滑坡灾害分布图

我国境内地势起伏大，多山，山结构脆弱，加之我国多异常暴雨，致使我国每年都有滑坡活动，尤其是中部地区常发生大型滑坡事件。表4－1所示为我国较大的滑坡灾害。20世纪90年代发生的较为严重的滑坡有：

1996年7月25日至27日，宁夏彭阳县红河、城阳、孟塬、沟口等乡山体滑坡，埋没居民房屋、窑洞，造成30人死亡重大灾害。其中红河乡黑牛沟村和庙湾自然村7月27日凌晨4时许，山体滑塌面积约1平方公里，垂直滑落30余米，水平滑移约200米，11户人家的54间住房、71孔窑洞全部被毁，该村死亡23人，伤7人，造成99头家畜死亡，数十亩农田被毁。

1996年9月19日凌晨1时许，距印江土家族苗族自治县峨岭镇（县城）4.1公里处的印江至松桃苗族自治县公路旁，山体从长250米，高60～400米的边坡下部剪切滑落，滑坡体滑落后继续顺印江河谷高速滑动。滑坡体在印江河谷中，堆积体顺河长300米，顶部长66米；横断面顶长180米，底长60米；堆积体顶部与河床底部相对高差49.656米。滑坡体达157万立方米，形成了拦河大坝，使上游蓄水500万立方米，即后水位以每小时18厘米的速度上涨。滑坡引起地震，其震感波及范围半径2公里左右。该滑坡虽只造成1人死亡，但造成上游沿河两岸的农田、房屋、学校、果园被淹没，仅群众直接经济损失就达6720万元左右，另估计滑坡整治处理需耗1.5亿元。

表 4－1 我国较大的滑坡灾害情况表

地 点	时 间（年－月－日）	滑坡体基本情况	灾 情
甘肃省东乡县洒勒村滑坡	1983－3－7	滑坡体长度最长1600米、最宽达1700米、覆盖面积1.4平方公里，土石方约5000万立方米	淤埋48万立方米和97万立方米两座水库、毁坏耕地2500亩、灌溉设施四处、公路及高压电线1.3公里长、掩埋致死237人、重伤27人、群众财产损失40万元
四川省阳县鸡扒子滑坡	1982－7－18	滑坡体面积0.5万立方米、土石方量1500万立方米	最大滑距约120米，横截长江，江床淤高30米；毁坏房屋1730间、经济损失约600万元
甘肃省舟曲县滑坡	1981－4－4	滑坡体长1700米平均宽350米，土石方总量3000～4000万立方米	滑坡水平位移量为600～700米，巨大滑坡体壅塞白龙江，形成水深22米，蓄水1300万立方米，对上游舟曲县城和下游武都县城构成威胁

续表

地　点	时　间 (年－月－日)	滑坡体 基本情况	灾　情
成昆铁路铁西站滑坡	1980－7－3	滑坡体长445米，宽260米，厚约30～60米总体积220万立方米	掩埋铁路长160米，铁西隧道进口堵塞，瓦底沟拱涵被埋没，洞口看守房和扳道房被毁坏，中断铁路行车40天
四川省雅江县唐古栋滑坡	1967－6－8	滑坡体面积1.7平方公里，土石约6800万立方米	庞大滑坡体滑入雅砻江，筑成拦河大坝，使下游断流九昼夜后溃堤洪水泛滥，由于事前有预报未造成损失
湖南省柘溪水库库岸滑坡	1961－3－6	滑坡量165万立方米	滑坡体以25米/秒速度倾泻入50米深水库，产生21米涌浪，造成40余人死亡和财产损失
云南省禄劝县烂泥沟大滑坡	1965－11－20至23	滑坡体三次分别为：2.5亿、5000万、900万立方米	引起4.4级滑坡地震，掩埋房屋283间，443余人死亡。

续表

地 点	时 间（年－月－日）	滑坡体基本情况	灾 情
湖北省秭归县新滩滑坡	1985－6－12	滑坡体总量3000万立方米	激起涌浪54米高，击毁击沉机帆船13艘，木船64只，9人死亡冲毁水泥仓库一座
青海共和县查纳村滑坡	1943－2－7	滑坡体长3600米，宽1500米，厚度15～17米，今残留体积1.27亿立方米	最大水平位移（向北）3000米，最大垂直位移300米，掩埋千亩农田，114人死亡，堵断黄河约8（或19）小时

第三节 滑坡调查及预测

滑坡防治的根本在于破坏滑坡的形成条件，使滑坡不再继续滑动并逐步稳定下来。滑坡的调查、勘探、动态监测、模拟试验、预报等是滑坡防灾减灾的主要措施。

一、滑坡调查

通常使用航空像片解译判读与野外实地验证相结合的方法调查滑坡。利用航空像片进行滑坡调查效率高、视野广阔、准确度高，有利于了解滑坡发生的基础条件和某些诱发因素。通过航片判读确认滑坡地形和推断滑坡的范围，在此基础上，还需利用滑坡附近一带的地质图，掌握地质构造；尽可能利用万分之一的地

形图，以掌握滑坡地形；研究工作区的滑坡历史和过去的调查资料；研究附近滑坡分布和调查资料，查阅有关大气降水、地下水、流量、灾害等资料。然后，进行实地踏勘，其工作内容有：①推断滑坡范围；②根据露头调查地层的产状、节理和裂缝的力学性质，调查岩锥性堆积物的性质；③调查确定断裂、破碎带的存在和分布，并测定其产状；④调查泉水、沼泽、湿地等分布以及井水位、灌溉水渠等的分布与漏水、有无渗透、有无特殊的水质及其性质；⑤调查已发生地裂缝的方向、台地的状态及其倾角和小型崩塌的分布。最后，根据调查的结果，对滑坡运动的块体进行划分，弄清滑坡的运动机理。

二、滑坡的勘探

运用钻探、挖探和物探（声频大地电场法、综合电磁法、激电测深法和浅层地震反射波法、跨孔声波探测法等）技术，确定滑坡的三维边界，探测滑坡体的厚度与隐伏裂隙及滑面，特别是探测深大隐伏裂隙或滑面的位置、发育深度及剖面形态等，为滑坡动态监测、岩石破坏机制模拟试验打下基础。

三、滑坡的动态监测

滑坡动态监测的内容主要包括地形变、裂缝形变、岩土位移、软弱层的压缩变形和收敛变化、地声、地应力、地下水位、地下水温、孔隙水压、泉水流量、地下水中敏感型离子含量、大气降水、地表径流、河流水位、地震等。动态监测可以确定滑坡体的应力变化、应变过程、岩土的破坏机制和滑坡的滑移特征，捕捉临滑前的坡体或滑坡体的前兆信息以及诱发滑坡的相关因素，不仅可以表示出滑坡动态要素的定量数据，而且可以体现出动态要素的演变趋势，为临滑预报、定量评估坡体稳定性和工程

防治提供依据。在动态监测的同时，运用自动雨量计，自动水位计，水温与地下水位探测计监测降雨量及其变化、水位变化、水温与地下水位变化等环境因素。

地裂缝及其上建筑物的变形是山体或滑坡活动的产物，观测地裂缝和建筑物变形的发展，可得到滑坡活动定量数据。因此，当山坡或滑坡体上出现明显失稳变形时，可以用以下简易监测滑坡动态的方法：

（1）在地裂缝两侧设置观测标志，即横跨裂缝（平行滑动方向），在两侧各设置一测量桩，起初应测量、固定两桩的水平距离和两桩间的垂直高差位置，作为观测的基数，定时测量两桩的距离和高差变化，于是可监测裂缝的位移速度和幅度。测量标志最好设在滑坡体后缘地裂缝处，这样可监测滑坡体脱离母体滑落动态变化。

（2）在滑坡后缘断壁处，将两个标尺分别置于滑动体和不动体（母体），即滑动体上标尺垂直埋设，不动体上标尺水平扦入岩、土体内，使两标尺垂直相交，可以定时观测两者间的变化情况。也就是说，无论滑坡是垂直滑落，还是水平拉张，都会在两标尺上显示出来。

（3）在滑坡活动引起山体变形的同时，必然牵动其上建筑物（房屋、桥涵、挡土墙、护坡、排水沟等）裂缝、沉陷、倾斜等变形。通过对这些建筑物变形的发生时间、部位、产出状态、力学性质、影响范围等调查和观测，可以了解滑坡的活动情况，如在变形部位设置测量标志，可得到滑坡活动的资料。

四、模拟试验

利用土力学、岩石力学和岩体力学的试验技术和差热分析、X射线分析、电子扫描等试验分析手段进行离心模拟、光弹和光

塑性模型、滑坡模型等物理模型的模拟试验，利用流变计算模型、极限平衡法、应力－应变分析法（有限单元法、边界元法及离散元法）、偏微合议程法、工程图解法、赤平投影法等进行数值模拟试验，确定滑坡的滑动模式和坡体或滑坡处于临滑坡状态的警戒值，从而实现滑坡预报。

五、滑坡的预报

依据对边坡或滑坡的稳定性分析成果，采用多种监测手段以土力学方法模拟试验和数值模拟对滑坡活动的时间、范围、规模、方向作出预测。判断坡体或滑坡现状的稳定性、综合分析出能够直接影响坡体或滑坡稳定性的诱发因子，及未来可能变化的时间和程度，从而判断坡体或滑坡失稳的时间，对滑坡的发生或古老滑坡的复活进行趋势预报（指未来数月、数年、数十年、甚至百年以上的预报）。

我国滑坡成功预报的实例，是1985年6月12日发生在长江西陵峡新滩北岸大滑坡预报。该滑坡的成功预报，主要是依靠宏观调查和形变监测科学成果。该滑坡前，1964年在长江西陵峡南岸链子崖常有崩落。北岸广家崖下存有古堆积坡，据史料，该处曾有山崩和滑坡的记载，即汉帝于二年（公元100年）、晋太元二年（公元377年）、宋天圣七年（公元1029年）、明嘉靖二十一年（公元1542年）及1935年农历六月、1958年、1964年等北岸广家崖曾多次山崩和滑坡。为此，引起了国家的重视，并组织有关专家、工程技术人员对北岸广家崖进行了专题调查和研究，同时在崖坡上设置了岩体位移监测点网，监视岩体的变形运动。结果发现岩体的位移逐年有加快的态势，即1974～1980年临江段岩体以2～3毫米/年的速率向北东移动；自葛洲坝水库蓄水后，速率明显加快（即3～5厘米/年）。1982年3月新滩滑坡

体后缘发现裂缝，岩体裂开的同时并有错落现象。1983 年原两侧南北向裂缝继续扩展，于此同时，东侧又出现一条长 1000 米的南北向弧形拉张裂缝。1985 年 5 月，仪器监测到中部岩体下滑速率为 23 厘米/月。综合地质、力学、测量、遥感等学科的研究资料，确定了大滑坡前斜坡的安全系数（用力学方法反演结果），对滑坡的活动趋势进行预测。结合临滑前，形变监测速率有加速现象（表 4－2），特别是在滑坡前 28 天，10 个灵敏测点的运动曲线有 9 个出现拐点。（在滑坡新生滑面前，岩体形变监测点即使有加速移动，运动曲线弯曲也不会改变方向，只有在滑面形成后，滑体由蠕变转为剧变时，运动曲线弯曲的方向才会改变，并会在曲线上出现“拐点”异常。）这一异常为成功预报奠定了科学基础。由于临滑前的准确预报和预防措施得力，滑区人员全部撤离，无一人伤亡，取得了显著的社会和经济效益。

表 4－2 新滩大滑坡体活动速率表

滑体段落	安全系数	滑体水平位移速率			滑坡下滑量
		1984.7～11	1984.11～1985.5	1985.5～滑前	
上段	0.94	0.3～0.9 米/月	0.5 米/月	小于中段 23 米/月	200m
中段	0.86	0.3 m/月	0.2 米/月		200m（东部）
下段	1.10	无变化	无位移		82.5 m

近年来，我国在滑坡机理研究方面得以进一步深入，特别是在黄土地震液化滑坡和滑坡动力学机制研究上有了新的突破。在综合勘探技术、防治措施、监测手段等方面都运用了新的理论和方法。先后成功预报了甘肃永靖县黄茨大型滑坡（临滑预报时差

22小时)、青藏铁路关角隧道大滑坡（临滑预报时差仅有3小时52分，系世界性第三次时间最短的成功预报），使我国滑坡预报研究进入国际先进行列。

第四节　滑坡灾害的防御措施

治理滑坡灾害的基本原则是：对症下药，综合治理，彻底根治，以防后患。

一、整治工程措施

1. 阻水和排水，消除水的诱发影响

排截地表水和地下水工程（暗沟、明暗沟、水平钻孔、长水平钻孔、集水井、泄水隧洞、立体排水工程及截断地下水工程、地表水沟、防渗工程，图4－4）是防治滑坡的有效措施。沿滑坡区周围设置截水沟，及时截住滑坡区以外坡面上的地表水并加以排除，以免渗入滑坡区和滑坡面内，也可在滑坡区表面喷浆、勾缝或表面种植植被保护，防止或减缓地表水的下渗。另外，在滑坡体内布设排水洞，排除渗水和降低地下水位。

2. 开挖、削坡，增加滑坡稳定性

如果滑坡体的规模、深度不大，可采用开挖工程，将不稳定的岩体挖除。在进行开挖工程时，应考虑开挖后边坡表面盖层的稳定性。当滑坡体规模、深度不大时，可采用减重开挖（即刷方减重工程）和堆填工程（图4－5（c））；具体实施措施是：将滑坡顶部的岩体搬运到坡脚（施工注意挖土原则为先上后下，先高后低，均匀减重，防止不均匀造成滑坡的分解和恶化）增加坡体的稳定性。对于那些陡峻坡面滑坡，可进行削坡工程来减缓坡角，提高坡体的稳定性。在河岸坡可采取建筑防砂堤、河床加固、

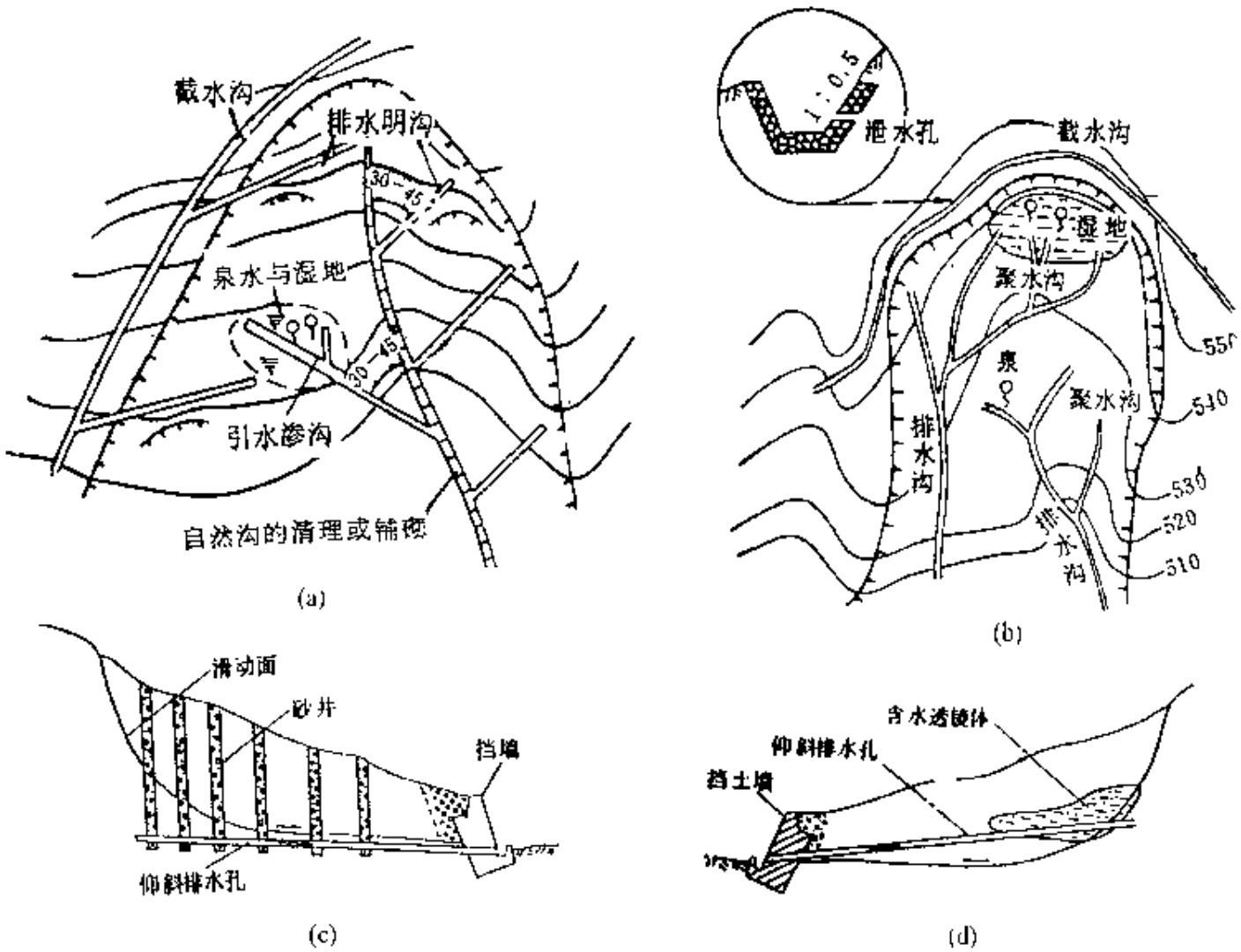

图 4－4　滑坡排水治理工程图

(a) 滑坡上树枝状排水系统；(b) 滑坡区地表排水系统；(c) 砂井－仰斜排水孔；(d) 仰斜排水孔

护岸、导流建筑物，增强岸坡的稳定性。

3. 用物理或化学方法改变土体性质

对于软基和由软土构成的边坡，可采用电渗排水、焙烧、爆破灌浆和离子交换等方法改变土地性质，提高边坡的稳定性。

（1）电渗排水：利用电场作用排除地下水，降低土层的含水量从而稳定滑坡。这种方法仅适用于粒径0.05～0.005毫米的粉质砂土。

（2）焙烧法：利用气态或液态燃料与空气压入导洞焙烧滑坡脚部的滑带土（图4－5（d）），当烧土达到一定温度后，砂粘土就会变成像砖块一样，具有相当高的抗剪强度和抗水性。

（3）爆破灌浆法：运用炸药爆破破坏滑动面随之将浆液灌入滑带及其上下部的裂隙中，使之置换滑带水固结滑带土，提高土的密实性和强度。

（4）离子交换法：利用阳离子的扩散效应，由溶液中的阳离子交换出土中的阳离子，使滑坡体稳定。

4. 支挡、加固建筑物

对于失去支撑而引起的滑坡，或滑坡床陡、滑动快的滑坡，在滑坡坡脚或表面、内部修筑支挡和加固的建筑物提高滑体的抗滑力。

（1）抗滑片石垛：对于滑坡面低于坡脚不深的中、小滑坡，可采用垒砌石块阻止滑坡体下滑的抗滑工程措施（图4－5（b））。在工程实施中应注意：①片石垛的基础应埋置于可能形成滑面以下0.5～1.0米处，基础为厚约0.5米的浆砌片石或混凝土筑成；②垛高应超出可能产生滑动面的上部位置，垛顶宽大于1米，垛外侧坡度为（1:0.75）～（1:1.25）；③平行基底分层码砌，石块间应相互咬紧；④在垛后应置放砂砾滤层，保证石垛良好的透水性能。

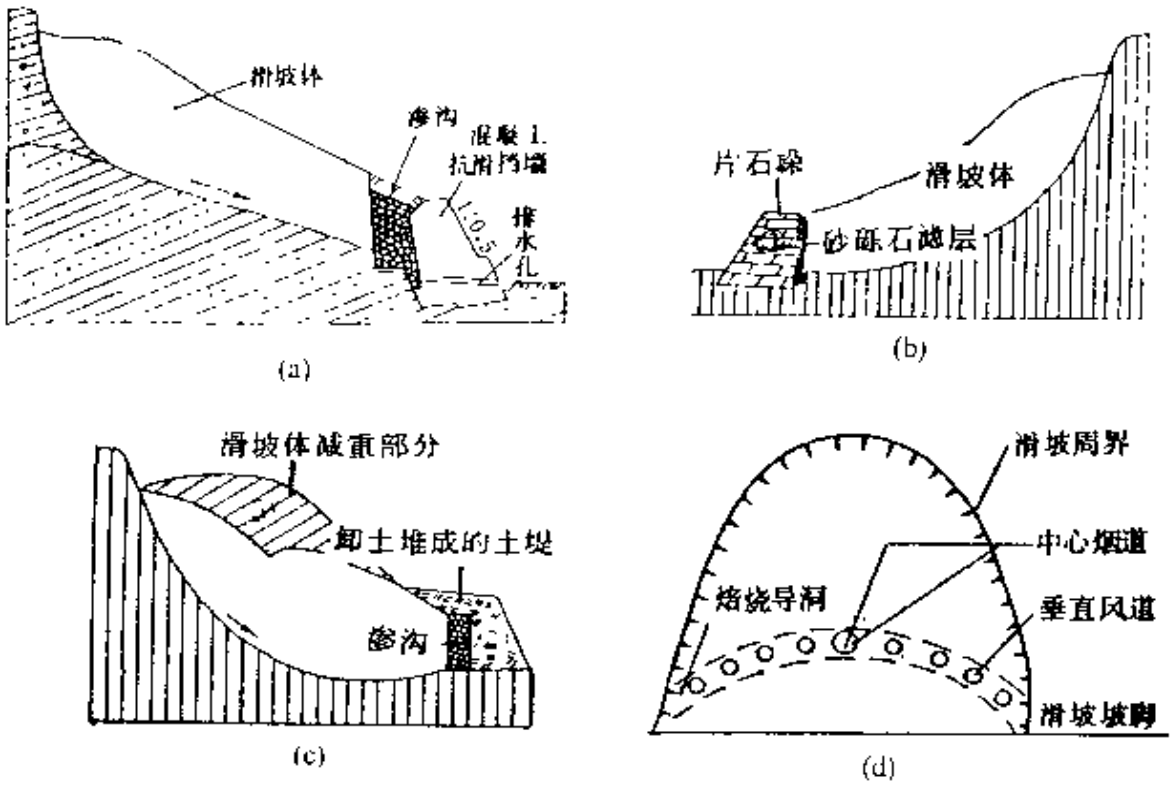

图 4－5 滑坡治理工程图

(a) 抗滑挡墙；(b) 抗滑片石垛；

(c) 减重与反压治理工程；(d) 焙烧导洞平面图

(2) 抗滑挡墙：在治理河流冲刷或人为切割支撑部分产生的中、小型滑坡，可采用阻挡滑坡体滑动的抗滑挡墙（图 4－5 (a)）。挡墙设置在滑坡前缘的完整稳定的岩层或土层之中，挡墙的胸坡越缓越好，(1:0.3)～(1:0.5)或(1:0.75)～(1:1)，其后应设置平行墙体的渗沟，排除墙后的地下水，墙上应设置泄水孔防止墙后积水。抗滑墙比一般的挡墙外形要宽大些。

(3) 抗滑桩：采用打入法、钻孔法和挖孔法，在滑体中下部设置抗滑桩，以阻止滑体滑动。对浅层的粘性土和黄土滑坡，可用重锤将木桩、钢轨桩、钢管柱、钢筋混凝土管柱等打入；另外

中厚层的大型滑坡，应采用钻孔法和挖孔法施工。

二、滑坡的预防措施

（1）严禁在不稳定的山体上进行大量兴建楼房、修建重型工厂、大量堆填土石和矿渣；排放工业生产用水和废水、农业灌溉、修建渠道；乱砍滥伐、劈山开矿爆破；开挖坡脚或修建长期浸泡坡脚的池塘等促进滑坡的违反自然规律的人类活动。

（2）密切注意山体滑动的预兆，提前做好防御措施。常见的滑坡预兆现象有：①滑坡脚下堵塞的泉水突然复活、泉井突然干枯或水位突变；②滑坡体中、前部出现地裂缝，特别应注意滑坡后缘的裂缝急剧扩展，并存有从裂缝中冒热气或冷气现象，有时坡上建筑物出现裂缝或变形；③滑坡脚下土体出现上隆的鼓包，在陡坡脚部出现沼泽、洼地或其他负地形；④滑坡体上有岩石开裂或被剪切挤压的异常音响；⑤滑坡体周围岩体（土体）出现小型坍塌和松弛现象；⑥滑坡体上树木枯萎或歪斜。

（3）准确地识别滑坡体和其稳定性。不稳定的滑坡常表现为：①滑坡体坡陡、延伸长、坡面高低不平；②滑坡体分布有泉水、湿地或新生冲沟；③滑坡体有不均匀的沉陷痕迹；④滑坡体上树木歪斜，如山坡上“马刀树”（由于滑坡活动引起滑体上树木歪斜，经过一段时间歪树重新垂直生长，但下部歪斜部分无法伸直，而形成弯曲似刀的树）、“醉汉林”（由于滑坡活动引起山坡上树林东倒西歪）。

（4）遇滑坡灾害时，应保持冷静，迅速环顾四周，撤离到较安全的地段。撤离时，以向两侧跑离为佳，切忌向滑坡上部或向下跑离。如果滑坡呈整体性滑动时，来不及撤离，可原地不动，或紧抱滑坡体上的大树等物。

（5）暴雨往往是诱发滑坡的重要因素，因此，处于不稳定山

体上或下方的居民在暴雨或连续降雨等气候时，应谨防山体滑坡，地方政府应组织监视滑坡活动的巡逻队伍，遇险情时立即组织居民撤离建筑物，向安全的地段转移。

第五节 滑坡、崩塌、泥石流三者关系

滑坡、崩塌、泥石流这三种地质灾害多发生在山区，故又称之为山地地质灾害。这类灾害在我国发生的频度大，据统计，本世纪初至今我国共发生崩塌几十万余次，发生滑坡几万余次，灾害性的泥石流1000余次，我国26个省市范围内均有不同程度的危害和影响。这类地质灾害的严重程度也是触目惊心。

崩塌（崩落、垮塌或塌方）与滑坡具有无法分割的联系，常常相伴产生。它们产生于相同的地质构造环境和地层岩性构造条件下，并具相同的触发因素。有时岩土体的重力运动介于崩塌式和滑坡式时是难以区分的。为此，称这种山体活动现象为滑坡式崩塌，或崩塌型滑坡。在一定条件下，崩塌、滑坡可相互诱发、互相转化。

滑坡与崩塌之间有以下区别：

(1) 滑坡呈较好的整体性沿滑动面滑落，具一定几何形态。而崩塌多呈锥形、堆积物杂乱无章、无规则的滑动面；

(2) 滑坡与崩塌均为山体失稳向坡脚运动，但崩塌是以垂直运动为主，而滑坡则以水平运动为主；

(3) 滑坡与崩塌两者的破坏作用大都为急剧、短促、猛烈，然而有的滑坡的破坏则较缓慢；

(4) 滑坡与崩塌的生成地质环境常相同或近似，但山地坡度和高度有一定的差别，即崩塌发生在坡度大于50度、高度大于30米以上的陡坡，滑坡多发生在坡度小于50度的斜坡。

滑坡、崩塌与泥石流关系密切，常常发生滑坡、崩塌的区域，具备一定的水源条件，崩塌和滑坡的物质则可作为泥石流的重要固体物质源，从而在滑坡、崩塌运动过程中可直接转化为泥石流，滑坡、崩塌发生后的一段时间内，其堆积物在一定的水源条件下亦可形成泥石流。此外，泥石流与滑坡、崩塌有许多相同的触发因子。鉴于滑坡、崩塌、泥石流的类似性，为此，在防御崩塌、泥石流时可参照滑坡的防御措施。

第五章 崩 塌

崩塌是位于陡崖、陡坎、陡坡上土体、岩体及它们的碎屑物质在重力作用下失稳而突然脱离母体发生崩落、滚动、倾倒、翻转堆积在山体坡脚和沟谷的地质现象。它又称之为崩落、垮塌或塌方。

第一节 崩塌成因条件

1. 崩塌形成的内在条件

(1) 地貌条件：地貌是崩塌的首要条件。崩塌作用表现在以下地形地貌条件下，一是大于 45 度高陡斜坡、孤立山嘴或凹形陡坡地形；二是在河流强烈切割、地势高差较大、坡度陡峻的高山峡谷区，特别是海、江、河湖（或水库）、沟的上游、河流强烈侧蚀的凹岸、海岸和水库库岸；三是铁路、公路边坡、工程建筑物边坡及其各类人工边坡等地形地貌。

(2) 地质条件：崩塌作用主要发生在对山坡体切割、分离的节理、裂隙面、岩层面、断面等地质构造面，特别是具垂直节理的坚硬、脆性块状结构的岩层上，如石灰岩、砾岩、砂岩、砂质页岩、石英岩、花岗岩、辉长岩、玢岩、玄武岩等。如果这些坚硬岩层与软弱岩层互层就更容易风化掏蚀，使坚硬岩层突悬发生崩塌。山坡体裂隙发育、与山坡体倾向平行的陡倾构造面，最利于崩塌的形成。另外，构造运动强烈、地层挤压破碎、地震频繁

的地区容易发生崩塌现象。

(3) 气候条件：崩塌作用与强烈的物理风化作用密切相关。在日温差、年温差较大的干旱和半干旱区、冻－融交替过程强烈的物理风化作用强烈，只要有陡崖、陡坎、陡坡的地方都可能出现崩塌。因此，崩塌主要出现在初冬和早春季时期。

2. 崩塌的诱发因素

(1) 强烈融冰化雪、打雷、暴雨和长时间连续降雨等都是崩塌的诱发因素。其中暴雨是最常见的诱发因素。因为暴雨具有增加岩体负荷；使地表水渗入坡体，破坏岩体的固结性；软化岩、土及软弱面，使上覆岩层失去支撑；雨后经强烈日晒引起岩、土剧烈收缩等诱发作用。

(2) 地震引起地动山摇，破坏了山坡体平衡而引起山坡的崩塌。此外，还可使一些本来不具备崩塌条件的山坡发生崩塌。因此，地震是引起崩塌最强烈的诱发因素。

(3) 河流等地表水体冲刷、浸泡坡脚和软化岩土，削弱坡体支撑，降低坡体强度，从而诱发崩塌。

(4) 修筑公路、铁路时开挖坡脚；煤矿、铁矿、磷矿、石膏矿、粘土矿等采掘矿产资源活动形成采空区；水库蓄水和渠道泄水，从而造成水对山体的浸润和软化作用，以及水在岩土体中的静水和动水压力；堆渣填土人为增加崩塌荷载；火车机车、工厂锻轧机械震动及爆破振动等人类活动都可诱发崩塌的活动。

第二节　崩塌类型

按崩体的物质组成及崩塌所处地形地貌分为：

(1) 土崩：崩塌发生在土体中的称为土崩；

(2) 岩崩：崩塌发生在基岩（即岩体）中的称为岩崩；

(3) 山崩：岩崩体规模大，涉及山体的称为山崩；

(4) 岸崩：崩塌发生在河流、湖泊、海岸的称为岸崩或崖崩。

按崩塌体规模、山坡陡角、块度大小可分为剥落、坠石和崩落等三大类（表 5－1）。

表 5－1 崩塌分类表

类 型	剥落型崩塌	坠石型崩塌	崩落型崩塌
块度大于0.5 m 的比例	25%以下	50%～75%	75%以上
山坡角	30°～40°	30°～40°	大于 40°

第三节 崩塌与滑坡区别

崩塌与滑坡都是在重力作用下山体边坡失稳活动。但两者间的形成机理和活动形式存在一定的差异，归纳有以下不同之处：

(1) 由于从陡崖、陡坡上崩塌下来的物质，开始时有的是以坠落方式出现，有的以倾倒、滚动、翻转方式出现的，接着又以跳动、滚动的方式继续前进等运动形式，使崩塌物多呈结构零乱，毫无层序，呈锥形堆积在山坡脚；滑坡体却是沿袭滑坡面作整体性的滑落，所以，堆积物多具原岩体的上下层位和新老关系没有多大的变化。

(2) 崩塌、滑坡与山体（母体）的关系，崩塌体完全脱离母体，滑坡体很少完全脱离母体。

(3) 崩塌体的垂直位移量大于水平位移量，重心位置降低幅

度大；而滑坡则相反，滑坡体水平位移量大于垂直位移量，大多数滑坡体的重心位置变位不大。另外，滑坡下滑的速度一般比崩塌崩落速度缓而慢。

（4）滑坡体表面一般发育具一定规律的纵横裂缝，而崩塌堆积物表面不具这种特征，其崩塌地裂缝发育在崩塌体后缘、悬崖后缘。

第四节　崩塌灾害及实例

崩塌常常砸埋房屋，伤害人畜，摧毁农田、工厂、学校、机关单位和毁坏森林、道路，以及水利水电设施，给人民生命、生产和水利水电工程、公路、铁路、航运及海洋工程方面构成重大的危害。

湖北省远安县盐池河磷矿矿层在山体下部的谷坡底部。该矿采用房柱及全面空场采矿方法。该矿 1969 年建井，生产能力为年产量 8 万吨，采矿数年，矿区已大面积采空，地表已出现不均沉降的变形，促进了崩塌快速发展。加之，地形陡峻、沟谷狭窄，崩塌体处于突出的山嘴，三面凌空，岩体内的构造裂隙发育。1978 年在陡崖上出现一条约 1 米裂口的地裂缝。1979 年 7 月该矿改用大规模爆破房间矿柱放顶管理方法，加速了山体上部地表的变形，地裂缝发展到 10 条，其中最长的有 190 米，裂口最宽达 77 厘米，垂直错动量最大达 148 厘米。这些地裂缝均分布在采空区与非采空区交界部位。地裂缝在发展过程中，大量的雨水（崩塌前三天连续降雨）渗入裂缝，加速了裂缝滑动位移的增加。终于 1980 年 6 月 3 日发生巨大的岩石崩塌，岩崩使海拔 830 米的山体从 700 米处俯冲于海拔 500 米的谷地。岩崩堆积物覆盖面积南北长 560 米、东西宽 400 米、厚 30 米，崩塌堆积体

近 100 万立方米，其中最大岩块有 270 多吨。顷刻磷矿的五层大楼被掩埋掀倒，307 人死亡。同时，岩崩体堵塞河道，在盐池河上筑起高 38 米的堤坝，形成一个崩塌湖泊。

甘肃省东乡族自治县的洒勒山（海拔 2283 米），1983 年 3 月 7 日山体突然崩裂，土石飞滚，洒勒山南麓台地的房屋、树林、公路被抛向 1 公里远的河谷，埋深 60 米的红胶泥和白垩土层被翻裸地面，约 6000 万立方米的土石方崩落。崩塌堆积物覆盖面积达 3 平方公里，在其下构成一扇形，高达 60 米，长约 1600 米的土丘。这次崩塌事件致使 3000 亩水田和两座水库被毁坏，277 人死亡。在山崩前一年，洒勒山峰顶部曾出现东西走向、裂口宽 5～6 厘米的地裂缝，继后不断扩展；临崩落前 4 天，地裂缝裂口宽达 60～70 厘米；前两天裂缝扩展速度猛增，裂缝裂口宽已加大至 1 米左右。由此可见，崩塌之前有山体裂缝预兆。因此，只要我们对裂缝进行监测，密切注视裂缝的发展动向，认真分析监测资料，是可以准确地及时作出崩塌的预报，使崩塌所造成的损失减少到最低限度。

1933 年 8 月 25 日发生在四川省叠溪（原属茂县）7.5 级地震，造成周围山峰崩塌、坠落堵塞岷江，形成三堵高达百米以上的拦江大坝。40 多天后，在大坝后面形成了三个“堰塞湖”（地震湖）。湖水位越堵越高，终在 10 月 9 日下午 7 时许，位于前面的大坝被冲开，湖水溃决，洪水排山倒海急泻而下，两个钟头后到达茂县，第二天凌晨 3 时到达灌县，使这些远离地震、崩塌中心（相距 100 多公里）的地方也蒙受灾祸。据不完全统计，灌县被冲毁 9000 多亩良田，死亡 1600 多人。所造成的人畜伤亡和财产损失远比地震和后来的崩塌直接造成的损失还要大。据调查，受灾达 2 万多人，冲毁农田 5 万余亩。这是地震诱发的山体崩塌次生水灾的典型实例。

第五节　崩塌防治与对策

一、防治崩塌的工程措施

防御崩塌灾害重要的是能识别可能发生的崩塌体，根据可能崩塌体的特征才能对症治理。那么怎样识别可能发生崩塌体呢？其途径主要是从地质结构和地形地貌方面进行山体崩塌危险性分析，即一是山体的坡大于45度，相对高差大，特别是那些山体中的孤立山嘴和凹形陡坡，都是利于崩塌的地形；二是山体岩层中裂隙发育，尤其是那些利于与母体（山体）分离的垂直和平行山坡走向的高倾角裂缝、顺坡裂隙、软弱带、山体上部张性或张剪性裂缝、切割坡体的裂缝等发育，这些都是使山体崩塌的地质构造条件；三是山体边坡存在临空空间，或是有崩塌活动堆积物的部位，也就是说，曾经发生过崩塌的地方仍存在再次发生崩塌的危险。如果具备上述崩塌条件时，我们应采取防治措施。通常采用的防治崩塌的主要措施有：

(1) 在中小型崩塌或人工边坡崩塌的防治中，通常采用修筑明硐、棚硐等遮挡斜坡上崩塌落石的工程；

(2) 在山体坡脚或半坡上，设置拦截落石平台和落石槽沟、修筑拦坠石的挡石墙、用钢质材料编制栅栏挡截落石等工程防治那些雨季容易发生坠石、剥落和小型崩塌地区和地段；

(3) 采用支柱、支挡墙或钢质材料支撑在岩石突出悬空或陡崖、坡上的大孤石下面；

(4) 在易风化剥落的边坡地段，修筑护墙护坡；

(5) 用片石充填空洞，用水泥沙浆密合缝、隙等以防裂隙、缝、洞的进一步扩展；

(6) 采用以治理滑坡的刷坡削坡和排水工程（详见滑坡章

节)。

二、崩塌对策

人为不合理活动是诱发崩塌发生的重要因素，为此，在山体坡脚和江河、湖库上严禁滥挖滥采、破坏植被等可能引起崩塌的工程活动。近年来，超量开采江沙，不仅破坏了河床结构，造成险沟险滩，而且使某些河段河流改道，影响安全航行和危及堤坝的安全。如长江航道上无序的采砂乱挖江沙，发生长江崩岸、淤积泥沙严重、堵塞航道、船舶搁浅、触礁等事件。因此，应做好山坡和岸坡稳定性的保护工作。

当崩塌发生时，现场人员应发出危险性警报。此外，当可能崩塌的山体上部的张性或张剪性裂缝不断扩大加宽、其速度突增、并有小型坠落现象时，表明崩塌已处于临界状态，特别是在雨季，崩塌就会一触即发。在这种情况下，应发出崩塌警报，撤离其下居民和转移财物，从而减轻崩塌的灾害。

崩塌的发生，不但整体性岩土体崩落可引起灾害，而且伴有的滚石也可造成灾害。所以，当遭遇山体崩塌时，应保持冷静，采取因时因地的瞬间防护和躲避措施。在逃离、躲避时，应向两侧逃跑，来不及逃跑时，应就地躺在附近的地沟或陡坎下。

崩塌体一旦将江河堵塞时，应尽快炸开崩塌体构筑的“大坝”泻流，避免坝内集水过多后溃坝形成特大洪水，酿成下游的严重侵蚀和水灾。

第六章　泥　石　流

泥石流是黄土、粘土、松散岩石碎屑层在水的掺合下的泥浆，由于震动或在暴雨、冰雪融水等激发下，沿坡面或槽沟作突然的流动现象。它是界于水流和土体滑动间的一种运动现象，亦称之为山啸。泥石流具有突然爆发性，往往给人类生命财产构成危害。

在某种意义上，泥石流与洪水同属山地洪流。即它们都是大量水分携带山体泥、沙的流体沿沟、槽汇聚呈急泻而下的洪流。两者之间的区别在于流体中水分与泥、沙组分的含量比例多少，其洪水中的水分大于泥与沙总和，洪流体中虽然携带大量泥、沙，但仍表现为稀水状态；泥石流流体的水分含量虽然很大，但与掺拌的泥、沙组成的流体呈稀粥或稠液状态。

第一节　泥石流形成条件及特征

一、泥石流形成条件及机理

泥石流形成主要有固体物质、地形地貌和水分等条件，即：

(1) 有松散物质来源。泥石流固体物质来源主要有：一是在新构造活动强烈、地质构造复杂的地区，岩石破碎和风化强烈，滑坡、崩塌发育及其山坡上松散堆积物多，这些皆为泥石流提供了固体物质来源；二是岩层疏松软弱，节理发育或软硬岩性互层地区等为泥石流的形成提供了碎屑物质；三是滥伐森林造成水土

流失，开山采矿、采石弃渣等可为泥石流形成提供人为物质来源。

（2）要具有利于水和物质汇集和泥石流流动的高山深沟、陡峻地势、坡降大的沟河流域等地形。泥石流形成区多为地形比较开阔、周围山高坡陡、岩石破碎、植被差等利于水和碎屑物质集中的三面环山、瓢状或漏斗状地貌；泥石流的流通区的地形具有能够使泥石流急泻而下的深狭谷、大陡降谷床特征；泥石流的堆积区一般为能使碎屑物堆积的开阔山前平原和河谷阶地地形。

（3）水是泥石流土石成为液化流体、激发和搬运介质的重要组成部分和动力因子。水源来自大量长时间的降雨、暴雨、冰雪融水和水库、塘、池溃决水体。

在上述条件都具备的情况下，水和土砂砾融为稀粥液状，在自身的重力作用下而流动。泥石流的土砂流多数以推移式，前缘的大岩块作翻转滑移。在流动过程中，泥石流具较强的侵蚀力，溪谷两岸被挖削，溪床物质被卷入。泥石流形状为中心高，两侧低，前缘微鼓起。直推进式泥石流可漫越沿途小山体。后续泥石流在水充分的情况下，它可跨越前面泥石流流体和静止的堆体。

由于泥石流主要受大量集中降雨和暴雨的激发，所以，具有与降水相关的季节性。另外存在与洪水、地震周期大体一致的规律。

概括起来，泥石流形成机理有：固体物质遭受水体片蚀作用；固体物质先遭受水体冲刷作用，而后又遭受片蚀作用；河床固体物质的冲刷作用和片蚀作用；天然坝或人工坝阻塞物溃决作用；坡地土体及河床松散碎屑物质平衡条件遭破坏而引起滑坡作用；河床碎屑物质平衡条件遭破坏而引起的岩堆作用；河床岸缘崩落作用；冰碛层崩落引起的冰川溃决型等泥石流形成机

理。

二、泥石流特征

我国泥石流明显受控于地形地貌、地质和降水条件，其分布主要集中在青藏高原与次高原和盆地的过渡带上，沿袭大断裂、深大断裂发育的河流沟谷两侧。泥石流往往集中在构造带内的板岩、片岩、片麻岩、混合花岗岩、千枚岩等变质岩系及泥岩、页岩、泥灰岩、煤系软弱岩系和第四系堆积物中。在空间分布上还表现出高频率泥石流集中在气候干湿季较明显、较暖湿、局部暴雨强度大、冰雪融块的地区，如云南、四川、甘肃、陕西、西藏等地；低频率稀性泥石流主要在东北和南方地区。

泥石流的流态取决于固体物质的岩性和流体稠度、流量与暴雨特点、堵塞崩溃形式有关，流速受制于地形地貌、流体内外阻力等因素，冲淤与水流、地形、侵蚀基面相关。归纳起来，泥石流有以下特征：

（1）稀性泥石流中细粒质、粘土物质少，流体稠度小，容重小，浮托力弱，石块以翻滚、跳跃运动为主，沿途具粗、细粒径分先停积，泥石流呈流向不定的紊流运动，容易改道漫流，即有股流、散流和潜流现象；粘性泥石流中细粒物质及粘土多，流体粘度大，容重大，浮托力强，固体物质呈悬浮状，无流线集中和停积分选性，呈整体性运动、阵发性流动。

（2）暴雨强大、沟槽弯曲堵塞严重、阵流间隔时间长，泥石流量大；降雨持续时间长，泥石流活动过程亦长。稀性泥石流体透水性强，沿途流量逐渐损失；粘性泥石流渗水性差，流量损耗小。

（3）泥石流夹带固体物质多，动能消耗大，其流速小于等量洪水流速。由于沟槽中颗粒粗大，河床粗糙，稀性泥石流流速一

般偏小；粘性泥石流中的细粒物质多，容重大，凝聚力大，惯性大，流速大。另外，泥石流流体表面中泓流速高于两侧，阵性流头流速高于尾部，表面流速高于底部。

(4) 随着泥石流稠度的增加，其直进性（连续性）随之增强，随着颗粒的变大，其冲击力亦变大。稠度大泥石流遇急弯沟岸或障碍物会产生冲越爬高现象。

(5) 泥石流过程中，冲淤表现为涨水冲、退水淤，先冲后淤；枯水期冲，洪水期淤；改道时冲，阻塞时淤；流道集中时冲，分散时淤；水流汇入槽时冲，漫滩时淤；水深时冲，水浅时淤；大水时冲滩，小水时冲槽；漫滩淤槽，归槽冲底；流量大，冲淤变化大，流量小，冲淤变化小；沟槽深窄为冲，浅宽为淤；尖底归槽带冲，平底散流带淤；沟槽卡口处冲，突变放宽处淤；沟槽弯道外侧冲，内侧淤；沟床坡度大时以冲为主，坡度缓时以淤为主，坡由缓变陡时冲，由陡变缓时淤；山区泥石流沟侵蚀基面随主河水位上升而上升，常发生淤积，反之为冲刷下切；准山前和山前区泥石流堆积扇发育完整，常为溯源延伸淤积；泥石流发展期淤多冲少，衰退期有冲有淤，停歇期以冲为主等特征。

第二节 泥石流分类

泥石流的分类颇多，根据泥石流的物质成分、物质状态、成因类型、规模及地形、发展阶段等可划分出不同的种类。

按泥石流物质成分划分：土石流（由大量粘土和大小不等的砂砾组成）、泥流（以粘土为主，含少量砂砾呈稠泥状）、水石流（以水和大小不等砂砾组成）。

按泥石流物质状态划分：粘性泥石流（粘性大，固体物质占

40%～60%，最高达80%，稠度大，石块呈悬浮状态）、稀性泥石流（粘性土少，固体物质占10%～40%，石块以滚动或跳跃状态）。

按泥石流成因划分：冰川型泥石流、降雨型泥石流、共生型泥石流（即滑坡型泥石流）、山崩型泥石流、湖岸溃决型泥石流、地震型泥石流和火山型泥石流；

按泥石流地形划分：沟谷型泥石流、山坡型泥石流；

按泥石流规模划分：大型泥石流、中型泥石流、小型泥石流；

按泥石流发育阶段划分：幼年期泥石流、壮年期泥石流、老年期泥石流（表6－1）。

表6－1　据发育阶段对泥石流的分类

发展阶段	发　展　期	旺　盛　期	衰　退　期
形成区表现	山坡以凸形为主，扇面新鲜，淤积作用逐渐加快，形成区逐步扩大，流通区较短，有少量崩塌、滑坡	山坡由凸形转为凹形，形成区扩大，流通区向上延伸，原地土体储量增大，漫流现象严重	山坡为凹形坡，面积缩小，土层趋于稳定
泥石流体特征	流体趋向浓稠，冲淤增强，流体运动明显	流体以粘性为主，规模和冲淤变大，流体运动激烈	流体以稀性泥石流液为主，冲淤减小，流体逐渐挟带沙流体运动减缓

第三节 泥石流灾害及实例

泥石流集中冲刷、撞击磨蚀、漫流淤积、弯道直进性爬越壅高、堵河阻水、侵蚀河岸、剥蚀山体等作用致灾。即泥石流冲进乡村、城镇，摧毁建筑物、淹没人畜，毁坏土地，殃及人民生命；泥石流可埋浸交通路基、桥涵，颠覆火车、汽车；泥石流还可堵塞河流，引起河道变迁；另外，泥石流可冲毁电站、淤积水库、摧毁矿山、淤埋矿井巷道，等等（图 6－1）。总之，泥石流会给国民经济建设和人们造成巨大的灾难。

我国是多山之国，地形陡峻，地质构造复杂，岩石破碎，山体稳定性较差，加上丰富水源条件，使我国泥石流十分发育（图 6－2），危害相当严重。表 6－2 所示为我国著名泥石流。

我国铁路史上最大的泥石流灾害是发生在 1981 年 7 月 9 日凌晨，四川省凉山彝族自治州甘洛县的利子依达沟谷内。由于当时高山局部地区强暴雨（持续 2 小时的降雨量达 100 毫米左右的暴雨）诱发沟岸滑坡、崩塌堵塞沟后而溃决泻下，强大的泥石流的推覆作用施于主沟中，造成揭底刨切深 4～6 米，暴雨水与大量的松散固体物质搅拌成高密度的粘稠泥石流体急倾推进，冲毁其下成昆铁路桥，推覆格里平至成都 442 次列车的两辆机车（一节邮政车、一节客车）入咆哮奔腾的大渡河，造成 300 余人死亡，数十人受伤。同时，泥石流横冲宽达 120 米的大渡河，将其拦腰截断，筑起最大坝高 26 米的堵河坝体，使大渡河断流 4 小时之久。上游回水浸淹工矿设施、冲毁公路 830 米，致使交通阻断半年之久。大量的泥石流体造成大渡河下游堵塞和龚嘴水库严重淤积。

云南省东川支线铁路老干沟，1958 年修筑公路时的弃渣堆积沟内，1959年修筑的盘山水渠大量渗漏，引起山坡坍塌、滑

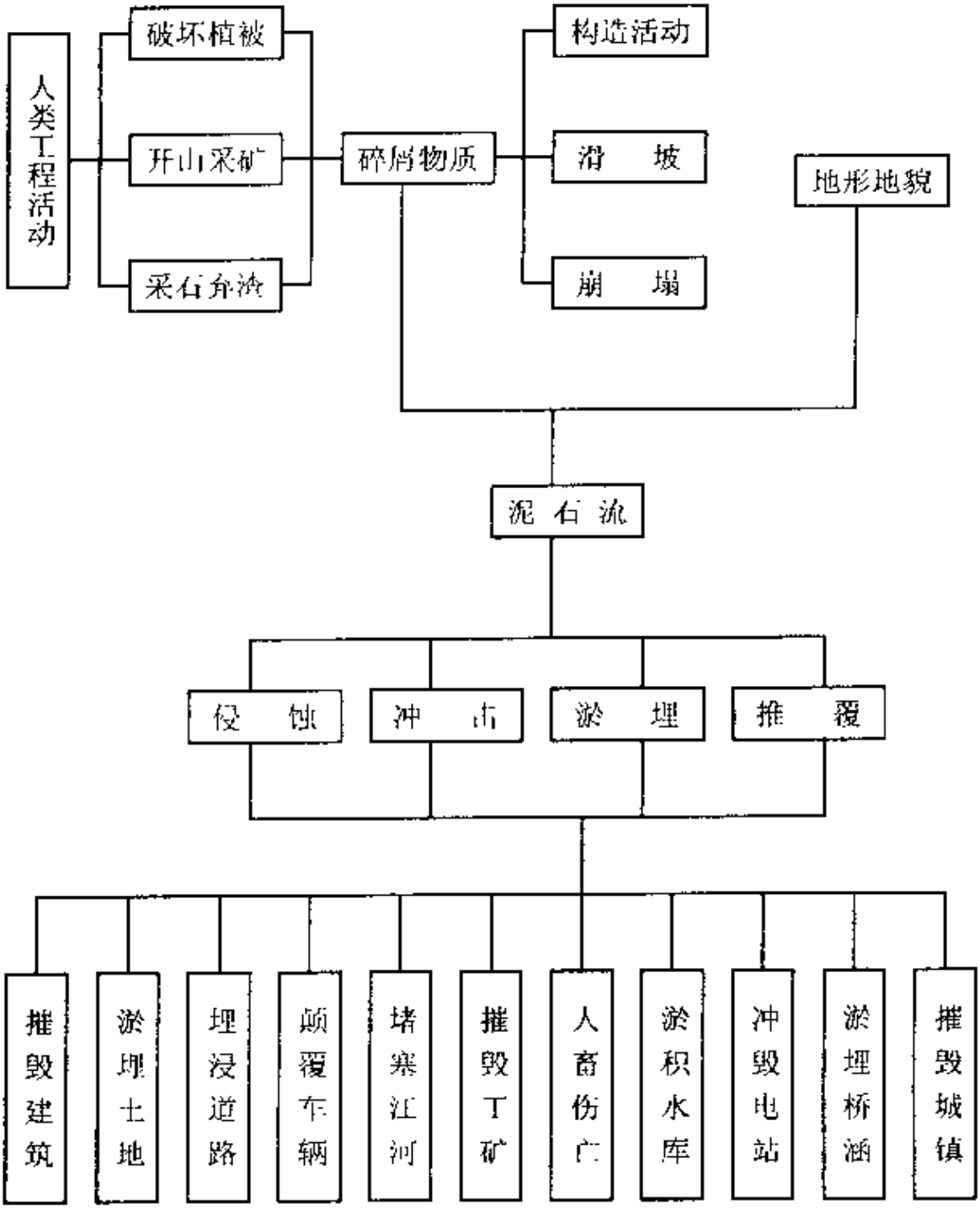

图 6－1　泥石流灾害链框图

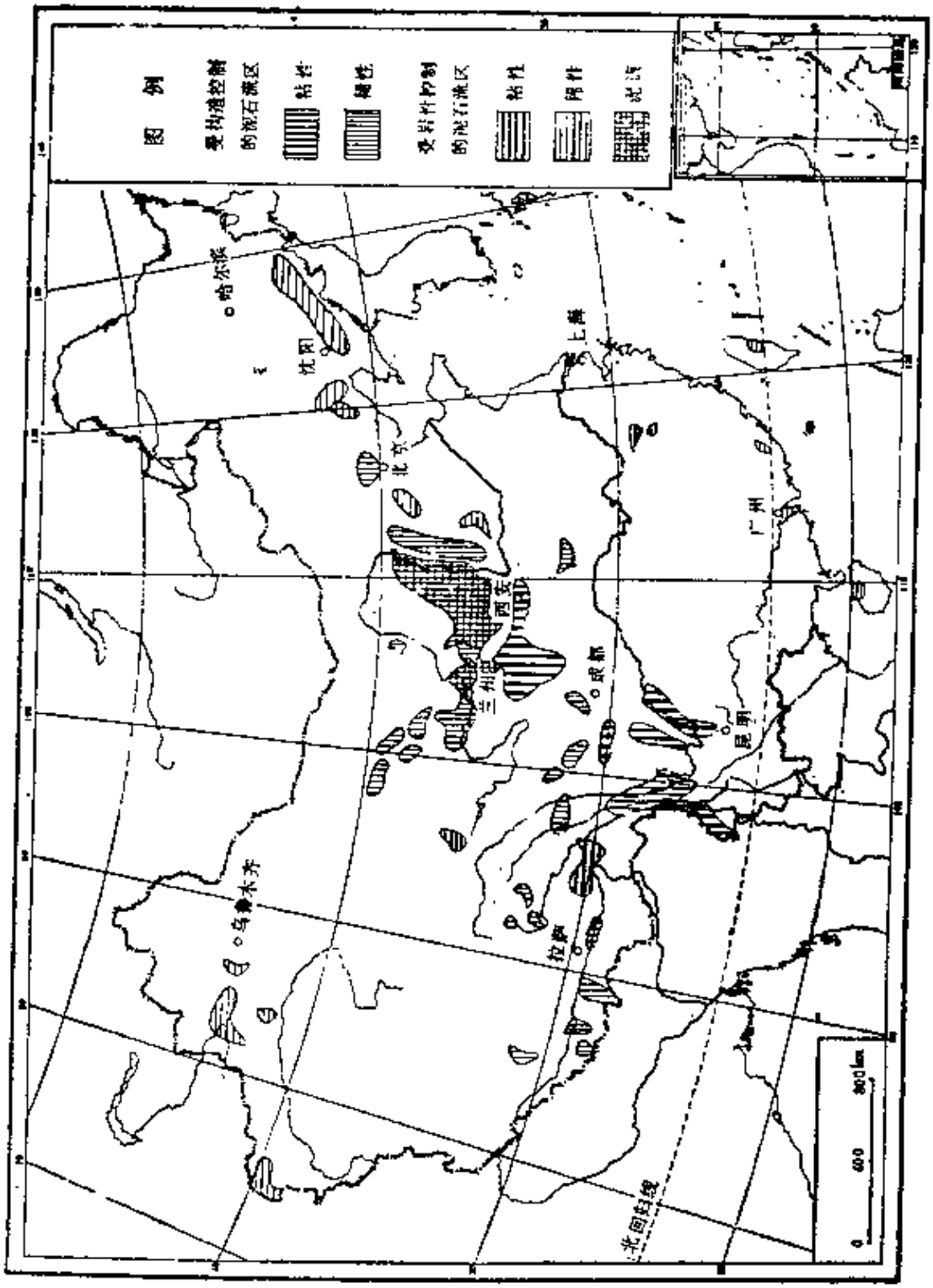

图 6-2 中国泥石流分布图

坡。同年雨季，沟内发生泥石流，此后泥石流泛滥成灾，日益严重。另外沟内为泥石流形成提供的物质（松散固体物质）储量逐年增加，1963年9月18日夜间，一场强暴雨激发了泥石流，那时沟内松散物质储量仅有40万立方米，1966年2月东川连续发生6.5、6.2级地震，使山体开裂崩滑现象增加，至1977年沟内松散物质储量跃到1450万立方米。由于泥石流的活动，使其下淤积速度加大，即淤积速率已达1米/年，时常淤埋铁路，严重威胁铁路运营，为维持正常通车也只有靠经常清淤，之后被迫改建明硐。

表6-2　我国著名泥石流

名　称	时　间 (年-月-日)	基　本　情　况
云南蒋家沟泥石流	1977-7-27	持续时间不长（27日6时25分至12时30分），共发生168次阵性泥石流，总量8万多立方米，搬运总量7万多立方米，泥石流容重2.2吨/立方米，冲击力达60吨/立方米，泥石流龙头高5米左右
西藏波密县古乡沟泥石流	1953-9-29	系冰川泥石流，持续时间为29日21时许至30日凌晨1时左右，泥石流总流量约1710万立方米，其中固体物质1000万立方米，水710万立方米，泥石流龙头高100米，大片原始森林被毁，阶地夷平，田地、道路和房屋被埋没，大量人畜伤亡，将波得藏布江截断，使上游水位突涨5.6米，埋没大片农田、森林

续表

名 称	时 间（年－月－日）	基 本 情 况
四川喜德县城泥石流	1974－5－27	该次泥石流冲毁县自来水厂沉淀池、防疫站、肉食站和其他许多设施。据统计，1901 年至 1974 年，喜德县城共发生大规模泥石流 8 次，淤埋 100 余间房屋，500 余亩耕地毁坏
四川雅安泥石流	1979－11－2	系旱季爆发性泥石流，持续时间仅 30 分钟，流速达 10 米/秒，冲毁、淤埋农田 840 亩，361 间房屋毁坏，水利工程设施和输电线路毁坏，川藏公路被阻断，青衣江和陇西河淤塞断流（其中青衣江淤塞泥石流堆积物约 5 万立方米，使河床淤高 2.74 米）
四川利子依达沟泥石流	1981－7－9	持续时间约 1 小时，固体物质输移量达 84 万立方米，其中 60 万立方米倾入大渡河，造成下游河道阻塞，淤积龚嘴水库，成昆铁路利子达河铁路被冲毁，442 次列车，两辆机车、一节邮政车、一节客车及一批旅客被洪流推入大渡河
陕西南部泥石流群	1981－8－9	宝成铁路陕西南部至川北广元两侧因暴雨触发大量滑坡和泥石流，据广元以北铁路沿线统计，200 余条沟谷爆发泥石流，冲毁桥梁，淤埋铁路，泥石总量 18 万立方米，红花铺车站内堆积土石约 5 万立方米，四股道、七节货车厢被掩埋，泥流长 100 米，厚 4～5 立方米，中断行车 663 小时

续表

名　称	时　间 (年－月－日)	基　本　情　况
祁连山天涝池沟泥石流	1972－8－21	持续时间3小时，泥石流龙头高达8米，流速最大达10米/秒，龙头最大流量500米/秒，泥石流总流量约100万立方米，沟内300吨堆放煤被扫光，沟口寺大隆林场三幢新建宿舍被毁，林材加工厂四间房屋和卫生防疫站14间房屋被吞埋，11间被毁坏，沿岸3500立方米原木和一部水轮机被卷走，计国家财产损失近百万元
甘肃化马泥石流	1967－7－1和25	7月1日泥石流，8公里内堆积泥石量达15万立方米，中断交通35天；7月25日泥石流，在近60平方公里范围内，冲走700～800万立方米砂石，掩没三个村庄，58人死亡，15公里长公路被毁坏，淤积量40万立方米，中断交通40天，耗资超过600万元（其中抢修费100万，改建费超过500万元）
甘肃文县城关泥石流	1982－8－6	泥石流龙头高10余米，最大泥石流量163立方米/秒，造成24人死亡，冲毁500余间房屋，经济损失260万元
四川西昌黑沙河泥石流	1964	1874年至1964年间共爆发特大型泥石流5次，1964年泥石流，毁房74间，淹没田地1114亩

1997年5月初，云南昭通地区连续发生两次大型泥石流，

造成近百人死亡，几千万经济损失。1997 年 5 月 6 日夜 22 时，地处深山区的云南省昭通地区大关县黄葛乡，密集冰雹和倾盆暴雨急骤而至，瞬间降雨量 3 毫米/分钟，短时间的特强暴雨诱发急聚性山洪形成泥石流，泥石流携带上吨的石头滚滚而下，激发泥浆跳跃高度 12 米，在短短的 1 个小时内，造成 39 人死亡，85 人受伤，毁坏房屋 627 间，直接经济损失 5000 万元以上；相隔两日，5 月 8 日 19 时，昭通地区鲁甸县龙头山乡突然下起暴雨夹冰雹，当时最大雨量为 12 分钟降雨46.7 毫米，10 分钟后，山沟内约 50 多吨石头和上千吨泥浆顺势而泻，冲毁其下 16 间办公室、304 间民房、乡中学教学大楼，造成 15 人死亡，直接经济损失 2000 万元。

据有关资料，世界上泥石流造成人员伤亡最大的是 1985 年 11 月 14 日南美哥伦比亚路易斯火山爆发诱发的泥石流，死亡 25000 人；冲毁房屋最多的是 1965 年 7 月 7 日甘肃省天水市泥石流，冲毁房屋 3800 多间；造成铁路中断最长的是 1981 年 8～9 月间陕西西南部泥石流群，冲毁桥梁，淤埋铁路，中断行车 663 小时；中断公路通车最长的是 1985 年 6 月 20 日西藏培龙沟发生的泥石流，它不但冲走汽车 80 辆，而且使公路中断通车长达 9 个月。

据最新资料，1999年12月中旬，委内瑞拉北部加勒比海沿岸连降暴雨（按常规已进入旱季），特别是北部沿海地区3天内降雨量相当平常年份的80%左右。山洪暴发，雨水挟带着大量泥土、石头、树木的泥石流急泻而下，冲毁沿海城市，80%的公路破坏，市区水、电中断，国际机场被迫关闭，数百幢民房被卷走，……。据统计，委内瑞拉因泥石流造成33.7万人受灾，14万人无家可归，3万余人死亡，财产损失超百亿美元。

第四节　泥石流灾害预防对策

一、泥石流瞬时避险和对策

(1) 处在泥石流区时，应迅速向泥石流的横向（两侧）逃离，切不可顺泥石流沟向上游或下游跑动。

(2) 处于泥石流上游的，应立即通知下游可能波及的乡村、城镇和工矿单位做好撤离工作，同时，密切注视泥石流的发展动态，对可能毁坏或引起次生灾害的生命线工程进行保护措施。在泥石流的流径区和堆积区的群众听到泥石流的声响或泥石危险警报时，应立即往主河道两岸高山区的安全地带逃离，注意：在泥石流流通区两岸和泥石流注入主河道的对岸处应跑到一定的高度才安全。

(3) 有关政府部门应立即组织危险区群众撤离和抢险救灾。根据危险性、经济等权衡效益分析，确定采用工程措施还是搬迁，当危险性大时，应立即组织泥石流堆积区、淤塞区、流径区的居民、工厂、矿山等搬迁疏散。

(4) 制定应急措施和成立抢险救灾指挥部，对泥石流沟沿线实行管理，酌情限制和指挥过往车辆、行人通行，维护灾害现场社会秩序。

(5) 在泥石流活动频繁的地区，建立泥石流动态监测站(网)，随时掌握泥石流的发展趋势和规律。特别是在雨季应增派巡逻队昼夜值班，遇险情时应发出警报。

二、泥石流灾害预报方法

我国对泥石流地质灾害建立了专门的研究机构。1988 年初，在云南东川蒋家沟设置了第一个半自动化泥石流观测研究站，这

个站由7个观测系统组成，能够进行暴雨泥石流的预报。

目前，泥石流预测预报采用的途径有：一是在泥石流沟进行定点观测研究，取得有关泥石流形成动态参数或调查潜在泥石流沟有关资料；加强水文、气象预报工作；建立有记录泥石流沟流域要素、形成条件、灾害情况及整治措施等技术资料档案；据地质和地形地貌环境、松散固体物质分析，圈划未来泥石流危险区、潜在区；建立泥石流防灾警报系统。

三、泥石流防治工程措施

在泥石流治理方面，主要采取工程防御体系、生物水保防御体系、管理防护体系、社会管理体系和预测预报体系等综合防御体系。

泥石流综合治理措施甚多，概括有工程措施和生物措施二大类（表6－3），现就通常采用的工程防治措施简述如下：

(1) 在泥石流沟上方修筑桥梁、涵洞跨越避险工程，使泥石流有排泄通道，又能保证道路的畅通；

(2) 在泥石流下方修筑隧道、明硐和渡槽的穿越工程，使泥石流从上方排泄，下方交通不受影响；

(3) 对泥石流地区的桥梁、隧道、路基及重要工程设施修筑护坡、挡墙、顺坝和丁坝等防护工程，从而抵御泥石流的冲刷、冲击、侧蚀和淤埋等危害；

(4) 修筑导流堤、急流槽、束流堤等排导工程，改善泥石流流势、增大桥梁等建筑物的排泄能力；

(5) 修筑拦砂坝、固床坝、储淤场、支挡工程、截洪工程等拦挡工程，控制泥石流的固体物质和雨洪径流，削弱泥石流的流量、下泄量和能量，以减缓泥石流的冲刷、撞击和淤埋等危害。

表 6－3　泥石流防治措施一览表

措施	工程	工程项目	防治作用
工程措施	治水工程	蓄水工程	调蓄洪水，避免或减缓洪峰；
		引水工程	引、排洪水，减缓、控制泄洪量；
		截水工程	拦截上方滑坡或水土流失地段径流；
		控制冰雪融化工程	人为促使冰雪提前融化，控制避免大量冰雪提前融化，加固或预先铲除冰碛堤
	治泥工程	拦坝、谷坊工程	拦蓄泥沙、稳固滑坡、节节拦蓄、减缓沟底坡度；
		挡墙工程	稳固滑坡、崩塌体，拦蓄泥沙；
		护坡、护岸工程	加固边坡、岸坡，增强坡体抗滑抗流能力；
		削坡工程	降低坡角，削弱泥石流侵蚀力；
		潜坝工程	稳固沟床，防止泥石流下切
	排导工程	导流堤工程	排导泥石流，防止泥石流冲淤；
		顺水坝工程	调整导流向，排泄泥石流；
		排导沟工程	排泄泥石流，防止泥石流漫溢；
		导槽工程	在道路上方或下方筑槽排泄泥石流；
		明硐工程	以明硐形式排泄泥石；
		改沟工程	将泥石流沟口改至相邻沟道
	拦蓄工程	蓄淤场工程	利用开阔低洼地，蓄积泥石流；
		拦泥库工程	利用平坦谷地，蓄积泥石流
	农田工程	水田改旱地工程	减少水渗透量，防止山体滑坡；
		渠道防渗工程	防止渠水渗漏，稳定边坡；
		坡地改梯田工程	防止坡面侵蚀和水土流失；
		田间排水、截水工程	排导坡面径流，防止侵蚀；
		夯实地面裂缝、田边筑埂工程	防止水下渗，拦截泥沙，稳定边坡

续表

措施	工程	工程项目	防治作用
生物措施	林业工程	水源涵养林 水土保持林 护床防冲林 护堤固滩林	改良土壤，削减径流； 保水保土，减少水土流失； 保护沟床，防止冲刷、下切； 加固河堤，保护滩地，防风固沙
	农业工程	梯田耕作 立体种植 免耕种植 选择作物	水土保持，减少水土流失； 扩大植被覆盖率，截持降雨，减少地表径流； 促使雨水快速渗透，减少土壤侵蚀； 选择保水保土作物，减少水土流失
	牧业工程	适度放牧 圈　　养 分区轮牧 改良牧草 选择保水保土牧草	保持牧草覆盖率，减少水土流失； 护养草场，减轻水土流失； 防止草场退化和水土保持能力降低； 提高产草率，增加植被覆盖面积，减轻水土流失； 提高保水保土能力，削减土壤侵蚀

第七章　地　裂　缝

地裂缝是一种常见的自然现象。它是指在天然和人为因素作用下地表岩层、土体形成一定长度和宽度的裂缝的地质现象。地裂缝发生在人类活动的地区便会酿成灾害。地裂缝灾害是影响人类活动和经济建设的主要地质灾害之一，它穿越居民区、厂矿、农田、道路、地下管道等设施，会导致建筑物错断损坏、农田毁坏、道路变形、管道破裂，严重影响人民生活和厂矿安全。

第一节　地裂缝成因及分类

地裂缝是地球内部的内营力（地壳运动、岩浆活动、地热传递等产生的力）和外营力（地球表面的重力作用、气候变化、流水作用、波浪与潮汐、化学作用和人为工程活动等产生的力）作用于岩层、土体使之沿一定方向破裂，在地面上形成的裂缝。

目前，常见地裂缝分类有按几何形态、力学性质、成因类型等三种（表 7－1）。现将常见的地裂缝类型简述如下：

一、地震地裂缝

地震地裂缝是地震时在地表形成的一种破裂现象，它是发震构造或活动断层活动在地表的直接反映。地震地裂缝可以发生在松散的沉积层中，也可以发生在基底岩石中。按其成因分为构造和非构造两大类地裂缝。

第七章 地 裂 缝

地震构造地裂缝一般分布在极震区，呈规律的线性展布。由于它受控于活动构造，因此具有一定的方向性，穿越性强，不受地形地貌、岩层和土体性质及其他障碍物限制的特性。这些地裂缝的空间位置往往与活动断裂带相吻合，往往表现为条带状，力学性质表现为形成机制为统一应力场的张性、张剪性、剪切性、压性和压剪性，即有雁行张裂缝、破裂旁侧的羽状裂缝、拉张裂缝、拉张为主的剪切裂缝、剪切为主的拉剪裂缝、破裂尾端张裂缝、拉张阶区的张裂缝、网格状裂缝。

表 7－1　地裂缝分类表

地裂缝 几何形态分类	地裂缝 力学性质分类	地裂缝成因类型分类	
		内营力型	外营力型
直线形地裂缝、弧形地裂缝、“S”与反“S”形地裂缝、锯齿状地裂缝、“Z”或“N”形地裂缝、环形地裂缝、雁列式地裂缝、“入”或“人”字形地裂缝、“X”或网格状地裂缝、扫帚状地裂缝、放射状地裂缝、向心状地裂缝	压性地裂缝、张性地裂缝、剪切性地裂缝、压剪性地裂缝、张剪性地裂缝	地震地裂缝、火山地裂缝、构造蠕变地裂缝	膨胀土地裂缝、崩塌地裂缝、滑塌地裂缝、塌陷地裂缝、陷落地裂缝、湿陷地裂缝、渗蚀地裂缝、干旱地裂缝、融冻地裂缝、盐丘地裂缝、泥火山地裂缝

地震非构造地裂缝（或称为地震次生地裂缝）是地震时由于地震力作用，引起重力作用形成的地裂缝。如地震触动滑坡体沿着滑动面下滑，滑坡体后缘形成拉张裂缝，滑坡体前部由于受阻

形成隆丘及横向张性裂缝，在两侧由于围岩对滑坡体的摩擦力，往往出现雁列状剪切裂缝；在平原或河湖中，地震时由于震区水文地质条件和结构发生变化而下沉，形成沿这些地区分布的密集地裂缝；溶洞或其他洞穴的顶部及周围岩石（或土层）地震时塌陷，形成环状地裂缝；地震时，会对冰冻风化作用、胀缩土的失水形成的地裂缝起到促进作用，等等。

地震地裂缝常常伴生有喷水冒砂、泄溢气体或烟雾奇异现象。如地震时，埋藏在第四世沉积物中的潜水和流沙，受到振动和挤压，往往会顺裂缝冲出地表，形成喷水冒砂（如河间6.3级地震、海城7.3级地震、唐山7.8级地震均有此种地裂缝）；再如据史载，1933年8月25日四川省叠溪7.5级地震出现的地裂缝，在大地震动时忽开忽合，并从裂缝中冒溢出黄色烟雾。

总之，地震地裂缝的平面展布及其组合形态、力学性质皆受震源破裂方式、发震构造的控制。因此，可以对地震地裂缝进行研究，有助于我们认识地震发生的机制。

二、构造蠕变地裂缝

构造蠕变地裂缝和地震地裂缝都是活动构造变形的产物。然而，两者间却有活动构造运动快慢的区别，即活动构造运动缓慢蠕变无震和快速运动地震效应之别。也就是说，构造蠕变地裂缝是活动构造在平稳缓慢的构造应力作用下，驱动地表岩层、土体缓慢变形的结果。随着构造应力平稳缓慢作用的增强，构造蠕变地裂缝会逐渐发展扩大。构造蠕变地裂缝主要发生在应变积累地段（即活动断裂带、活动褶皱轴部、活动构造力学转折和交汇部位）、岩石脆弱地段、活动构造激烈变化地段。

构造蠕变地裂缝往往是地震发生的征兆。据研究，大地震发

生前，发震构造经历了缓慢应变能积累过程，往往在震源体上方或周围形成一个应变积累区，在这个区内震前可能出现大量构造蠕变地裂缝。如：河北省邯郸、邢台等地于 1960～1961 年间出现大量地裂缝，1966 年 3 月 22 日在该地裂缝区的东北部——河北省宁晋东南发生了7.2 级地震；1975 年初，河北省三河县等地出现地裂缝异常，1976 年 7 月 28 日在地裂缝区的东部——河北省唐山发生了7.8 级地震。

然而不是所有构造蠕变地裂缝都对应震前应变积累，有些可能是断裂蠕滑破裂的结果。为此，我们要对构造蠕变地裂缝进行认真的分析，才能识别它是否是地震前构造活动生成的地裂缝。

构造蠕变地裂缝具有以下特征：

（1）广泛性：地质构造运动体现在是一个区域性的运动，并非孤立的局部变化。因此，地壳激烈变动时产生的构造蠕变地裂缝具有不受土质、岩性的影响，不受外营力变化的限制，分布很广的特征。

（2）定向性：由于构造蠕变地裂缝受构造应力场的控制，则发育与其成生力学性质配套的几组不同产状地裂缝，产状相同者力学性质一致。其中有一组发育特别好，即与其有关的活动构造延伸方向相吻合的优势方向。

（3）成带性：构造蠕变地裂缝往往密集呈带状展布在活动构造带中，尤与活动断裂带中最为突出，其次是新构造的拱隆轴、运动力学性质转折地带。

（4）统一性：同一时期，同一区域的构造蠕变地裂缝，不同地点的地裂缝所受区域应力作用的性质不变，因此不同走向不同力学性质的构造地裂缝彼此组合配套，反映出统一构造运动和主压应力作用方向。

三、火山地裂缝

火山地裂缝的成生受控于岩浆活动。在火山喷发前，地壳深部的岩浆活动增强了对上覆盖层推顶或气体的膨胀作用形成的推挤力，使盖层温度升高而膨胀，从而引起地表变形和破裂；岩浆沿喷溢通道——裂隙向上侵入，可使地表拱隆和形成锥状体；上述两种岩浆活动均可在地表产生放射状的张性破裂——地裂缝。当岩浆喷出地表后，下伏岩浆源区密度减小、压力急剧降低，上覆盖层的支撑力也相应减小，火山口周缘会出现塌陷坑伴生的地裂缝。另外，火山口附近岩浆的冷却收缩和塌陷也可产生一些环状地裂缝；地表溶岩流冷却结成硬壳时，由于收缩作用形成地裂缝。

四、土层地裂缝

上层地裂缝是水和冷冻作用下，砂土层膨胀收缩、湿陷、渗蚀等形成的地裂缝。现就几种常见的土层地裂缝简述如下：

1. 膨胀土地裂缝

膨胀土地裂缝是发生在具有膨胀性和收缩性很大的胀缩土、裂隙土等特殊粘性上中。从成生因子分析，膨胀土性质是导致膨胀土地裂缝发育的内在因素；气候、地下水与地表、地形地貌、植被及人为活动工程等是膨胀土地裂缝发育的外部因素。

膨胀土具有湿胀干缩的特点。在雨季膨胀土吸水急速膨胀时；在地下水埋藏较浅和水位变化较大时；在地势较高，地形崎岖不平或谷坡、山坡地带临空面大，蒸发时大；因植被造林不当，引起树木吸收土中大量水分时；因为人为工程不当，破坏膨胀土的表层结构，加速内部吸水与失水作用时等皆可引起膨胀土的胀缩变化与地裂缝的发育。

膨胀土地裂缝通常具规模较小，地裂缝延伸方向与建筑物的排列方向平行，在剖面上，地裂缝呈上宽下窄的“V”字形，裂缝面粗糙，两壁直立，并大多被一些泥土充填等特征。在膨胀土失水干缩和吸水膨胀周面复始的作用，造成地裂缝时而闭合时而裂开。膨胀土地裂缝一般以竖直开裂为主，同时，引起地面局部隆起和下沉，并伴生局部侧向压应力，及引起剪切变形，使后期部分地裂缝呈兼具压性或剪切性。

膨胀土地裂缝在生产建设中危害极大，主要造成地基的不均衡隆起、下陷和结构物裂缝等。在房屋中的开裂破坏形式有：墙壁端角出现上大下小倒“八”字、伴有一定水平位移和转动的角端裂缝；在窗台下与勒脚下出现水平错开与地基外转，外纵墙外倾或局部鼓出的外纵墙水平裂缝；在横隔墙中部出现竖直裂缝；在高层建筑物中多呈竖直向裂缝，平房多为斜向交叉裂缝；外廊柱发生折断和水平位移或转动、墙壁为水平裂缝；纵向裂缝带和一些网格状裂缝，伴生地坪隆起；竖直或斜向裂缝贯穿整栋房屋；膨胀土边坡表层滑动，引起建筑物开裂等破坏。

膨胀土地裂缝的防治措施主要有：①防水保湿。②地基处理，即一是剥去表层膨胀土，回填其他土质并夯实；二是深挖地基，使建筑物基础穿透气候层；三是在结构物底脚设置垫块或加固钻孔桩基础；四是平整地基，减少微地形的影响；五是建筑物不建在不同地貌、不同土层的接触部位。③在膨胀土上的建筑物力求简单，切忌局部突出或拐弯过多、门窗跨度过大等。④加固建筑物结构，设置滑动接头或伸缩缝。⑤建筑物周围不宜种植吸水量大的阔叶树木。

2. 湿陷、渗蚀和干旱地裂缝

(1) 湿陷地裂缝：在地下水和地表水的浸泡下，黄土层内部含水超饱和状态、结构发生变化引起抗外力强度降低，呈液化的

软塑状态，由于重力作用形成湿陷洞、湿陷漏斗、湿陷坑、湿陷洼地等特殊的地貌形态。在这些地貌的周围往往发育一系列地裂缝，即湿陷地裂缝。

湿陷地裂缝受黄土湿陷形成的地貌形态制约，常常围绕黄土湿陷的近圆形的洼地呈向心状或环状展布。其地裂缝的疏密状况取决于湿陷规模、湿陷深度和黄土柱状节理等。如在柱状节理发育的黄土内，湿陷洼地边缘的地裂缝较密集。湿陷地裂缝的影响深度一般较浅，均不超过湿陷性黄土层。

湿陷土层和湿陷地裂缝可引起地基湿陷，危害建筑物，使其倾斜或塌陷，湿陷地裂缝会加剧建筑物的倾斜或塌陷，造成建筑物开裂。

(2) 渗蚀地裂缝：当雨水或地下水落在未胶结的砂土层和砂砾层表面时，就会沿着砂土颗粒间的孔隙渗入到地下。渗透过程中，流水带走孔隙中的充填物或细砂粒，使砂土层的孔隙度增大。同时，渗透水起到了润滑作用，减小了砂土颗粒间的摩擦阻力，在重力的作用下，使疏松的砂土渐渐坚实。上述流水渗透作用使土体密实度增大、孔隙度加大，势必在土层内部和表层形成虚空区或坑洞，当这些悬空的坑穴陷落时便生成了地裂缝。

渗蚀地裂缝主要出现在人工堆积的河堤、土坝、广场、打谷场、矿山尾坝等土体内，在自然界的土层中极为少见。人工堆积造成渗蚀地裂缝主要原因是建筑大坝或河堤、平整广场和打谷场时砂土夯实不十分紧密，甚至没有夯实，地表水沿裂隙渗透而产生渗蚀地裂缝。

(3) 干旱地裂缝：在干旱气候下，由于土层中失水，土质中的有机质和盐分的急速固结收缩，使土层迅速开裂，形成了我们常见土层中的龟裂状地裂缝。这种地裂缝一般发生在土层的表面，延伸深度不大。

3. 融冻地裂缝

众所周知，水结冰具有使水的体积膨胀的特性，即0.9立方米的水冻结成冰时，其体积将增大至1立方米。倘若这种冻膨胀发生在土层中，便可使土层局部膨胀拱隆，形成冻胀丘而伴生出冻胀地裂缝。冻胀地裂缝的形态取决于冰冻胀丘的规模和组合。如冻胀丘体较大时，冻胀地裂缝为放射状；坡度平缓的冻胀丘常被网格地裂缝切割成块状；群体冻胀丘呈线性排列时其主干冻胀地裂缝呈雁列式。如果其后又有地表水或地下水流入冻胀地裂缝中，流水再一次冻结成冰，使地裂缝又受到冷冻膨胀作用，原有地裂缝的裂口及长度、深度都会有进一步的扩大。

砂土层内的水分冻结成冰可引起砂土层的膨胀破裂产生裂缝。然而，当土层融解时，表层的粗粒物质在重力作用下，沿着解冻表层蠕滑，停积在地裂缝中。另外，冻结产生的地裂缝，在解冻时又成为砂土层的积水场所，再次遭到冻结成冰的膨胀力作用，裂缝将进一步扩大，如此反复冻结—解冻—冻结作用，驱使形成冻结石环和良好的冻胀裂缝。

在冻土地区的斜坡地带或细小的沟谷中，冻胀或融解－冻胀反复作用产生地裂缝，而且在解冻表层发生蠕滑形成融冻泥流，当泥流前缘受到阻塞或伸入平坦地带时，在前缘会隆起，并产生一系列横向地裂缝。

五、滑坡、崩塌地裂缝

1. 滑坡地裂缝

由于滑坡体的受力状态、滑动速度不同，便会产生许多地裂缝（图7－1）。

按其力学性质可划分以下四种：

（1）拉张地裂缝：因滑坡体向下滑动或蠕动，产生与母体

（基岩或山体）拉张脱离作用，于是在滑坡体上部形成拉张力学性质、与滑坡壁大致吻合或平行的弧形地裂缝，即滑坡主裂缝。这种裂缝可作为滑坡活动的前兆。

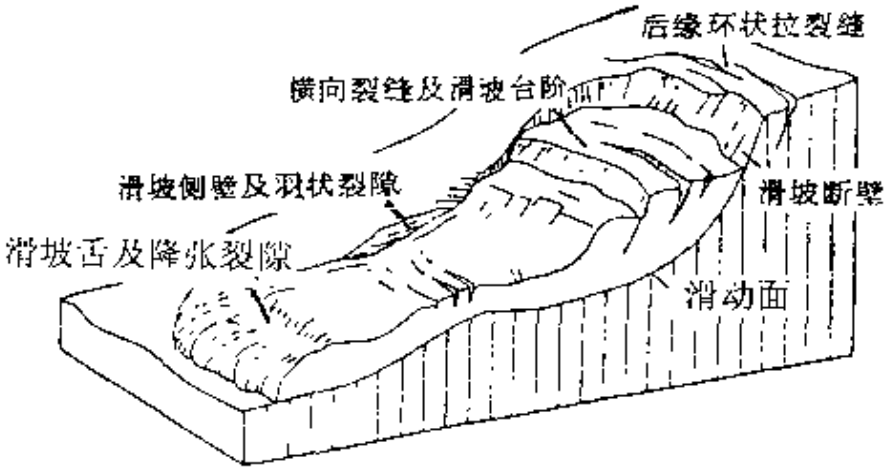

图 7－1　滑坡体与地裂缝图

（2）剪切地裂缝：由于滑坡体在滑落过程中，与相邻不动体的相对位移产生剪切作用，或是滑坡体中央部位比两侧滑落的速度快而产生剪切作用，在两侧发育一系列力学性质为剪切性的地裂缝。这些裂缝的走向通常与滑动方向平行，在剪切裂缝的两侧还派生有羽毛状平行排列的次级地裂缝。

（3）隆张地裂缝：在滑坡体滑落的过程中，由于受到阻挡或上部比下部滑动的速度快，就会在阻挡部位及滑动速率变化部位出现隆起和拉裂的隆张地裂缝。

（4）扇形张性地裂缝：滑坡体的下部在滑落的过程中，伴有向两侧扩散作用，于是形成了放射状的扇形张性地裂缝，这些地裂缝的走向在滑坡体中部大致与滑坡滑动的方向平行或成锐角，

在前缘的舌部则呈放射状。

2. 崩塌地裂缝

崩塌地裂缝一般比较简单，主要分布在崩塌崖的上部，即崩塌体与母体脱离部位。它的力学性质为拉张性，其形态多为直线状或锯齿状。

滑坡地裂缝、崩塌地裂缝主要是岩块或土体自身的重量和地球的重力作用于山体使其下滑或崩落的结果。影响其成生的因素颇多（详见滑坡、崩塌章节）。

六、塌陷与陷落地裂缝

塌陷指洞穴顶部岩层断错坍塌，形成塌陷井、塌陷槽的地质现象。陷落是洞穴顶部岩层虽有塌陷一样的下落力学过程，但其顶部岩层与周边没有明显的断错，仅表现为向下弯曲、破裂，呈中心凹陷的洼地。在发生塌陷与陷落前，地表往往先产生地裂缝，这些地裂缝就是塌陷地裂、陷落地裂缝。通常这种地裂缝分布在塌陷与塌落形成的塌陷漏斗、凹陷洼地或塌陷槽、凹陷槽的周围，呈环状或向心状展布。在塌陷或凹陷中心地裂缝较密集，裂缝口大而宽；背离塌陷或凹陷中心，地裂缝逐渐稀少，裂缝口小而细。

塌陷与陷落地裂缝多发育在碳酸盐岩地区，其成生与喀斯特地区地下洞穴密切相关。现就喀斯特地区塌陷与陷落导致的地裂缝介绍如下：

在地下水动力和化学作用下，喀斯特地区的可溶性岩层及岩层中的裂隙不断扩展，溶洞顶板的侵蚀和溶蚀加强，洞穴逐渐向地表发展，顶板逐渐变薄，同时洞穴悬空跨度相应增大，其支撑上部岩层、土层、建筑物及顶板自重等载荷的作用力降低，特别是大气降水使洞穴内的水位突升突降的振荡作用，及大量可流物

质流失，洞穴支撑顶板的强度降低，引起洞顶坠落。最初顶板及地表出现微裂隙，随着坠落的发展地裂缝亦相应扩大。当地裂缝急速扩展时便引起洞穴的塌陷或陷落。从上塌陷与陷落地裂缝的机理分析，不难得出此类地裂缝为洞穴的塌陷或陷落发展起到了促进作用，实质上这种地裂缝是塌陷或陷落于地表的具体表现形迹，通过对地裂缝的研究可以揭示洞穴塌陷或陷落发展过程，并可作为预测塌陷或陷落灾害的重要指标。

总之，塌陷与陷落地裂缝是一种常见的地质现象，其成生的原因颇多，即岩溶（喀斯特）地区洞穴塌陷或陷落、铁路与公路隧道造成地表塌陷或陷落、抽取地下水或石油引起地面陷落、河流冲积阶地在地下水机械潜蚀作用形成潜蚀的塌陷漏斗、地下暗河河道由于雨水大量冲走可流物质，地表失去支撑作用等等都可造成地表地裂缝。无论哪种机理的塌落或陷落地裂缝都是失去或减弱对地表的支撑力所致。

七、盐丘地裂缝与泥火山地裂缝

1. 盐丘地裂缝

盐丘指岩盐（即氯化钠、氯化钾、石膏等矿物）及石油、硫磺等物质形成的穹隆状构造。岩盐、石油等具有很大的可塑性，因此在上覆岩层的重压和地壳运动的挤压力作用下，这些可塑物质沿着某些裂隙或层面流动，造成上覆岩层上拱弯曲而形成盐丘。同时，地表的穹隆派生出引张力产生地面裂缝——盐丘地裂缝。

盐丘地裂缝形态和展布、发育程度均受盐丘产出状态、规模等制约。即平顶状盐丘产生平行状地裂缝；穹隆状、蘑菇状盐丘产生放射状地裂缝；由于盐丘近似竖直圆柱状，其边缘发育弧形或环状地裂缝；顶部低凹成湖盐丘产生向心状地裂缝；地裂缝展

布范围一般小于盐丘体的平面面积；盐丘地裂缝埋藏浅，其地裂缝与盐丘体塑性运动的幅度、速度及盐丘物质成分密切相关。如石油、软石膏等具较大塑性物质形成的盐丘，其隆起的速度较快，幅度也较大，地裂缝发育较好。硫磺、硬石膏、岩盐等物质形成的盐丘，其隆起速度较慢、幅度也较小，地裂缝发育较差。

2. 泥火山地裂缝

泥火山指夹带水、泥、砂和岩屑的地下天然气体，喷出地面堆积成与火山锥相似的锥形体的泥丘。由于泥火山喷发地表形成的地裂缝，称之泥火山地裂缝。

泥火山是地下析出的气体形成的，这些地下气体的聚集和涌溢可产生强大的压力，扰动地下水和泥浆的流动，使地表拱隆产生放射状地裂缝（即泥火山喷发前地裂缝形态）。当大量气体和泥浆喷出后，地下压力降低，泥火山体收缩，表面的引张力转变为压缩力，地裂缝的力学性质也由拉张转变为压缩（闭合）。如果地下气体重新聚集，当积累足够力量时，泥火山的放射状地裂缝又开始发育，力学性质又由压缩（闭合）转为拉张，这时泥火山可能再次喷发。从泥火山喷发与地裂缝发育关系看，地裂缝发育在泥火山临喷发时最旺盛，其喷发后，泥浆大量涌出及其泥火山周围的堆积，常常覆盖先前发育的地裂缝。当然，在泥火山喷发时，也可产生一些次生的杂乱无章的地裂缝。

第二节 地裂缝灾害实例

地裂缝常常给人民的生命财产带来严重的危害。在我国出现的地裂缝造成灾害的重要事件有：1974 年大别山北麓的地裂缝带，该带东西长约 200 公里，南北宽 70 余公里，横跨河南、安徽两省 11 个县，损坏 7000 余间房屋；1976 年唐山地震前后，在

长江、黄河中下游出现的地裂缝，危害程度远超出前述大别山北麓地裂缝；1976 年至 1985 年，渭河流域地裂缝损坏许多建筑物；1980 年湖北省远安县的盐池河和 1983 年甘肃省东乡县洒勒山因地裂缝发育扩展引起的山体崩塌（详见崩塌、滑坡章节实例）；1985 年位于长江三峡的新滩镇，在其北侧中低山体上地裂缝的扩展下，造成山体大规模滑坡，摧毁其下新滩镇，全镇 457 户人家坠入江中（滑坡前作出了险情预报，居民全部撤离、贵重物品安全转移，大大减轻了损失），并致使长江断航；等等。现就渭河沿线地裂缝中危害最大的西安地裂缝简述如下：

西安地裂缝自北东东向南西西呈带状斜贯西安古城。城区内有 7 条破坏较严重的地裂缝带，即①南郊新安砖厂至吉祥村地裂缝带；②东郊秦川机械厂地裂缝带；③和平门外古迹岭至小雁塔北地裂缝带；④城区西南西北工业大学至西北大学地裂缝带；⑤西郊丰镐路至粮油研究所地裂缝带；⑥城区东北八府庄至三合新村地裂缝带；⑦北郊辛家庙地裂缝带。这些地裂缝带中，以南郊新安砖石至吉祥村地裂缝带延伸最长，连续性也较好，累积长度达 6400 米，延伸的总体方向为北东 75 度。概括西安地裂缝带力学性质及组合形态，多为“S”或反“S”形和锯齿状，绝大多数具垂直张剪性，未发现明显水平位移迹象。

在地裂缝所经过的地面及地下设施均遭到不同程度的破坏。据 20 世纪 80 年代末调查的资料，共计破坏楼房 70 幢，平房 248 处，厕所 10 个，围墙 98 处，地下水管 10 处，人防工程 10 处，深井 3 口，大型路面 58 处，农田 11 处，文物古迹 3 处，采取相应加固措施后又遭裂缝破坏的建筑物 19 处，造成数千万元的直接经济损失。

破坏的基本类型有：①建筑物普遍出现上宽下窄倒“八”字张性裂缝；②地面和路面出现锯齿状、不均匀下沉或形成陡坎的

张性裂缝；③在有地表水活动的地区裂缝活动明显加强，如灌溉农田内沿地裂缝延伸方向排列呈串珠状陷坑；④地下设施——混凝土管道和金属管被拉断，防空洞顶部上拱，洞底裂缝。

综合分析造成西安地裂缝的因素有：地质构造作用为主（即基底存在北东东走向隐伏断裂），其次为地表和地下水的影响（承压含水层被集中大量开采）及大区域强震活动（地裂缝发育时期正处 1976 年前后大华北地区地震活动高潮期，即区域性构造应力场异常加强活动时期）等因素均对地裂缝活动破坏性增强有促进作用。

第三节 地裂缝研究意义及方法

一、地裂缝研究意义

地裂缝是地质构造及一些地质灾害发展的基本构造形迹要素。它不但是地下地质构造活动于地表的投影，而且是反映地震、滑坡、崩塌、塌陷与陷落、火山等地质灾害成生的先导条件，寻找地下资源的构造标志。因此，地裂缝具有极其重要的意义。

（1）地裂缝是探讨地震震源破裂机制，预测火山爆发、滑坡与崩塌、塌陷等地质灾害的重要科学依据。地震前后都可能出现地裂缝，对这些地裂缝的力学性质、时空分布、组合形态、发展阶段等研究，有助于分析震源区应变积累发展和释放能量、震源破裂方式，从而判断发震构造及未来地震趋势；地裂缝是山体滑坡、崩塌活动的产物，换而言之，地裂缝对滑坡、崩塌生成及活动起着重要的作用，为此，通过对山体坡上地裂缝的研究，可以圈划潜在滑坡体、崩塌体及其影响范围，从而作出滑坡、崩塌运动方式、灾害等预测，提前作出防灾及治理方案，减轻或避免灾

害的发生。总之，地裂缝是岩层、土层表面破裂形迹，受控于一定地应力场和地质构造，它是那些地质体变异的地质灾害类型于地面的一种表现。为此，对其进行调查研究与监测，可以作为预测预报的重要科学依据。

(2) 研究古老地裂缝，有助于分析地区性地质灾害活动史，探讨地壳活动状况。在滑坡活动强烈地区，通过对古老地裂缝的研究，可以圈划出活动滑坡体，得出滑坡活动期次，同时，对新、老地裂缝的时、空展布规律，可以确定滑坡活动迁移规律，即为叠瓦式向前（顺滑落方向）发展型滑坡，还是不断向后缘扩展的滑坡活动等；研究古地裂缝的力学性质、空间展布特征可以确定活动断裂带（地震带）的地面位置及破裂方式，从而作为地震破裂定性、定量的具体资料，进而为活动断裂破裂分段提供依据，为地区性地震活动度、复发周期、震源区划分、地震动参数确定等中长期地震危险性研究丰富第一手科学资料。

(3) 探明地裂缝成因和发展阶段，对保护和减轻建筑物损坏的防治措施制定具有重要的意义。在喀斯特地区，如果确定发育的地裂缝系塌陷或陷落地裂缝；在筑坝建堤的过程中，发现渗蚀地裂缝；在粘土质地区，建筑物周围发育膨胀土地裂缝等，我们可以提前作出预测和相应的防治措施，即采用发出警报，疏散撤离群众或防备措施；采用灌浆稳固土石坝及地基；防水保湿，改变建筑物的工程结构等防灾减灾措施。但是，应注意采取防治措施前，必须对地裂缝进行调查研究之后，综合有关资料科学分析才能得到其成因和发展趋势的结论，切忌因错误结论导致人为灾害和损失的事故发生。

(4) 地裂缝可为寻找矿产资源提供信息。盐丘地裂缝是寻找隐伏盐矿、硫磺矿、石膏等矿源的信息；泥火山地裂缝可以为我们指示地下深部可能蕴藏石油、天然气和沼气；在第四纪沉积层

中发育地裂缝，可能表明其下埋藏有古河道，是寻找富集地下水的线索，等等。

(5) 地裂缝是一种危害性较大的地质灾害，它对建筑、道路及地下工程等造成严重的损害。为此，搞清地裂缝的性质、成因等问题，对防灾抗灾及治理措施的制定和城乡建设的规划具有重要的意义。

二、地裂缝研究方法

在地裂缝研究方面，通常是借鉴地质学、地球物理学、测绘学和运用遥感技术对断裂构造的研究方法。

1. 地裂缝地质考察方法与内容

地裂缝地质考察方法与内容通常是借鉴断裂与节理研究方法与内容。考察地裂缝首先是查明其规模（裂缝长度、宽度和切割深度）、延伸方向、形态特征、发育时间及发展动态等。在野外考察中，首先，尽可能详尽地收集地裂缝单条裂缝规模、平面几何形态、裂缝不同段落的形态及细微结构、裂缝两盘错动方式及扩张状况、总体地裂缝带的组合关系等。二是为深入研究地裂缝可采取必要的工程地质探槽揭露，探槽应根据研究的目的布设，①为观察裂缝的宽度于剖面上的变化、裂缝的产状（局部走向、倾向、倾角）、形状、裂缝错距及随深度错距的变化情况、裂缝内充填物及裂缝面细微结构（擦痕、结构面光滑或粗糙度、阶步）等，可横跨裂缝布设探槽；②为进一步揭示多条地裂缝及地裂缝带的组合形态，主、次或旁系地裂缝相互关系及两者间的细微结构，可顺地裂缝走向布设探槽。三是在现场考察中，应对地裂缝所处环境进行调查，①地裂缝地质构造环境调查，查明地裂缝处于断裂构造或褶皱构造的部位；②地裂缝地貌地形环境调查，标明地裂缝所处山体、河流、沟谷等地形的具体位置，这对

其分析地裂缝的成因机制至关重要；③地裂缝水文地质环境调查，查明地表及深层有无水流作用；④人为工程活动环境因素调查，包括：附近有否开矿活动、有无抽排地下水资源活动、有无大型振动机械设备、有无建设工程活动等，对地裂缝发生或发展能起到作用的人为活动都应详细调查，这样有助于地裂缝的成因及发展动态的研究；⑤地裂缝介质环境调查，根据地裂缝处于喀斯特地区、松散沉积层中、土层等可以为我们初步确定地裂缝的类型提供基础资料；另外，根据地裂缝切割地层的分析，可以大致确定地裂缝的形成时代，必要时可在地裂缝内取样，鉴定地裂缝的形成和活动年龄；⑥地裂缝地区的植被、大气降水、气候等背影资料收集，特别是地裂缝发育时的大气降水和气候资料至关诱发因子的确定。总之，在地裂缝考察中，应从点、线、面综合进行，以便全面收集有关地裂缝成因、规律、发展趋势等研究的原始资料。

2. 地球物理与地球化学研究方法与内容

在地裂缝生成过程中，往往伴随着一些地球物理、地球化学的变异。通过对这些变异的研究，有利于地裂缝研究工作的深入。如在地震活动强烈的地区，对构造蠕动地裂缝带可以布设地震仪监测地下微破裂情况，探讨地表地裂缝与地下微破裂的相关性，进一步探讨地裂缝成生机制及其与活动构造的关系。运用超声波、电测深和人工地震等地球物理方法可以研究地裂缝的下切深度。另外，一些深切地裂缝常常出现地球化学变化和地热气、其他化学气体的溢冒、裂缝内喷火、闪光等异常现象，这些地球化学现象可能反映地裂缝所切地下深部地球化学平衡被破坏的情况。再者，气体组分具有很强的流动性和穿透力，它能从地壳深部沿裂缝向地表迁移，并在裂缝上方的土壤内富集。因此，提取和分析地裂缝中溢出气体，测试地裂缝溢冒的热气流的温度等地

球化学的研究，可以研究地裂缝的切割深度及其在地球化学变迁过程中所起的作用，有助于探索地壳深部物质迁移规律，为地裂缝的成因研究提供深部信息。

3. 历史考古研究方法及内容

地裂缝出现后，应用历史考古研究方法能够取得对该地区地裂缝发育的历史，从而研究它的发生、发展规律。地裂缝的历史考古方法有：①查阅史书、文献、地方志；②现场调访和勘察；③对地裂缝切割的文化层进行开挖发掘。地裂缝的历史考古研究主要是确定地裂缝的年龄和发育朝代，进而分析地裂缝活动的演化历史。

4. 形变测量方法

应用形变测量方法监测地裂缝的活动和发展趋势，可以为地震、滑坡、崩塌等地质灾害预测提供定量的科学资料。通常采用跨越地裂缝的短水准和三角网测量，短基线、连通管、伸缩仪、地倾斜仪和蠕变仪等对其活动进行监测。

5. 遥感技术研究方法

应用遥感技术的航片、卫星照片可以研究地裂缝带的整体组合形态和全貌、地裂缝活动动态，以及分析地裂缝活动的季节性变化和平均活动速率。特别是在交通不便地区，和难以实施形变测量的滑坡、崩塌地裂缝地区，采用遥感技术研究，可达到事半功倍的效果。

6. 模拟实验研究方法与内容

在实验室里，我们可以对地裂缝进行模拟试验和岩石破裂试验，以分析地裂缝发育时的应力状态和力学机制，也可以分析其力学环境，使我们认识地裂缝的发生、发展过程及其内外影响因素的作用，进一步揭示地裂缝的发生规律。

第四节　地裂缝灾害的防御

防御地裂缝灾害的主要措施有：

（1）加强地裂缝区的工程地质勘察工作，要求各类工程建筑应绕、避开地裂缝区段。同时，可以制定相关的条例、法规，以法的形式减轻地裂缝灾害。如制订“地裂缝区建筑场地勘察设计暂行条例”、按建筑物类型和重要程度规定避让距离等。

（2）认真贯彻《地质灾害防治管理办法》、《矿产资源法》、《水法》等有关法律和法规，用法律、行政管理的手段限制地下矿产资源的过量开采。在矿区开采中，增加预留保安柱。在位于建筑群、居民点及生命线工程等范围应限制开采区域。总之，对人类活动（如开采地下水、采矿、农田灌溉、人工蓄水等）都应谨防地裂缝的出现。

（3）回填、夯实已有地裂缝，在地裂缝区进行排水工程，防止地表水及大气降水渗入，促进地裂缝的扩展复活。同时，改善地裂缝区土体性能，特别是膨胀土地裂缝区应采取这种治理措施，即剥去表层膨胀土，回填其他土质。膨胀土地裂缝的防治措施详见本章第二节膨胀土地裂缝。

（4）在山坡、谷坡上，尤其是地基为半挖半填土质等地裂缝区，如要建造建筑物时，必须进行基础的坚固性的处理，提高建筑物的抗灾性能。同时，对已有建筑进行加固。在建设工程前，最好进行工程场地的地质和地震安全性评价工作，确保建筑物的抗御地裂缝的能力。

（5）利用各种监测手段，密切注视地裂缝的发展动向，特别是在雨季，应增派专人巡逻监视，如遇险情，应及时发出警报。

第八章 地面塌陷

地面塌陷指在人为和自然地质因素作用下，地表岩、土体中洞穴顶部向下断错坍塌，形成塌陷坑、塌陷洞、塌陷槽的一种地质现象。

第一节 地面塌陷成因及分类

一、地面塌陷成因

地面塌陷，实质上是岩、土体内洞穴的抗塌力（洞穴顶部支撑力）小于致塌力的结果。致塌力与抗塌力为一对方向相反的对抗力。归纳致塌力有：洞顶部岩、土体的自重；建筑物及堆积荷载重量，公路、铁路上机动车辆荷载；地下水在含水层中产生的渗透压力；大气降水渗入产生的渗透力；地下水位下降至洞穴内产生的吸蚀力；当地下水迅速升高，于密闭洞穴内气体被压缩形成的气体正压力；大气压作用力；由于地震、爆破、机械、车辆及固体潮汐等产生的振动力。抗塌力包括岩、土体内的凝聚力(粘结力)；岩、土体位于地下水位中的地下水浮托力；洞穴顶部岩、土体坍塌时与周边产生的摩阻力。

地面塌陷形成的原因复杂而种类繁多。归纳主要有①人为因素：抽取地下水、坑道排水、突水、地表水和大气降水渗入、荷载及振动等；②自然因素：河流水位升降与地震等。现将地面塌陷成因类型分述如下：

1. 抽取地下水致地面塌陷

洞穴的岩、土体位于地下水位中，便产生对洞穴顶板的静水浮托力。当抽取地下水使之水位下降时，支撑洞顶岩、土体的浮托力随之降低，洞顶岩、土体的自重相对增加。另外，洞穴空腔与松散介质接触面上下侧水、气流体，因地下暗管道内的水流发生变化而产生的压强差效应。为此，出现了与抽取地下水同步发展的塌陷现象。

①民用井抽取地下水致地面塌陷：过量抽取地下水，使地下水位降低，潜蚀作用加剧，岩、土体平衡被破坏，当地下潜伏有洞穴时，便可产生地面塌陷。1964 年前，山东省泰安市未曾发生过塌陷，之后，在抽水井逐渐发展到 26 个时，抽取地下水量达 5000 吨/天，地下水位下降 40 米，地面开始出现塌陷。在抽水井增加至 100 多个时，抽水量已达 100000 吨/天，水位降深增加，降水漏斗不断扩大，塌陷亦日渐增多，严重威胁火车的行车安全，造成路基下沉、房屋开裂或倒塌。

江西省景德镇硬石岭火车站附近，1984 年前居民饮用水均抽取上层的潜水，未见地面塌陷。之后，距铁路 53 ~ 500 米附近的厂、场掘成深达 120 米的机井 8 口，抽水量达 4820 吨/天，水位下降至基底岩层面以下 17 ~ 18 米，最大 30 米，于是在长3.72 公里、宽0.5 公里的范围内出现地面塌陷 100 多个。塌陷使铁路行车中断、房屋变形、道路裂缝、农田和果园遭到破坏，间接经济损失达 1000 万元。

②地下工程排水、突水致地面塌陷：采矿坑道、隧道、人防及其他地下工程，排疏地下水或突水作用，使地下水陡然下降，顶部地表岩、土体平衡失调，便会产生塌陷。位于山间溶盆边缘的广东省仁化县凡口铅锌矿，地面海拔高 106 ~ 122 米。采矿前盆地内有少量古塌陷坑。1963 年 4 月，该矿在 + 50 米、0 米、

-40米三个水平面上布置了疏干巷道地下水工程，群孔抽水，水位下降12小时后，便在钻孔附近出现了24个塌陷，随后因采矿继续放水、坑道排水、排泥沙等，塌陷逐渐增加，至1985年已发展到1950个。

2. 地表水、大气降水渗入致地面塌陷

当地表水、大气降水渗入地下时，水在岩、土体内的孔隙中运动，产生了一种垂向渗透力，改变了岩、土体的力学性质。当渗透压力值达到一定强度时，岩、土体结构遭到破坏，随着水流产生流土或管涌运移，进而形成土洞，最后导致地面变形、塌陷。地表渗水包括：河湖地表水、输水管渗漏或场地排水不畅引起地表水、工厂排污的化学污水和雨水等下渗。其中以雨水渗入致塌最为常见，尤其是碳酸盐岩分布的岩溶地区，人为挖掘的场地、机场、道路等降雨渗入后产生塌陷较为突出。1986年，广西忻城大塘乡遭遇春旱，地下水位下降产生了40多个塌陷，4月底一场大雨后，塌陷增至140多个，使两幢房屋倾倒，地面多处裂缝。村舍变电所场地开挖后，雨水蓄积渗入，也导致地面塌陷。

3. 河水涨落致地面塌陷

岩溶裂隙、洞穴管道中的地下水与附近河水相通时，随着河水位的升降，横向发育的岩溶裂隙、管道中的地下水位也随之升降，这种作用也可导致地面的塌陷。广西都安县位于红水河岸的一段公路，由于受河水涨落影响，公路路面上发生了塌陷。

4. 振动致地面塌陷

振动可引起砂质土的液化和粘质土由凝结状态发生液化而成为溶胶或悬液（即触变现象）与失去液化能力（即失去原有触变性的陈化现象），土体强度降低、抗塌力减弱，在振动产生的波动、冲击波的破坏作用下，可导致潜伏洞穴的塌陷。

振动致塌效应的关键在于振动致使土体液化。土体液化过程是：砂质土是一种没有或有很少粘性的散体，其主要靠砂粒间的摩擦力维持本身的稳定和承受外力，摩擦力与摩擦面上作用的垂直应力（即土体自重）成正比增加。当砂土体砂粒间的空隙中含水呈饱和状态时，受到振动后，砂粒则趋于紧密状态，孔隙水被挤压，但水具有体积难以压缩的力学特性，其土层内的水压力增大，土体骨架的垂直应力相应减少，不断地振动使水压递增，而垂直应力却呈递减，最终等于零，使砂土体完全呈现液状。

振动源有地震、爆破、机械等产生的振动力。振动仅是诱发塌陷因子，其内在因素是有否潜伏趋于失稳的洞穴。

贵昆线上的两次造成列车颠覆的塌陷都发生在列车尾部三节车厢；盘西线两处塌陷均发生在列车驶过之后。由此可见，这些塌陷是列车振动而诱发。

我国地震时发生的塌陷亦较为常见。1975 年 2 月 4 日海城 7.3级地震时，在弧山乡境发生 200 多个塌陷；1976 年 7 月 28 日唐山7.8 级地震时，也造成多处塌陷。

5. 荷载致地面塌陷

在有隐伏洞穴部位上人为增载（建筑物荷载、人为堆积荷载等），当这些外部荷载超过洞穴拱顶的承受能力时，将引起洞穴直接受压破坏，从而致使地面塌陷。

静水压力（人工蓄水使水体荷载增加）也是致地面塌陷的因素之一。然而，人工蓄水设施不仅在一定范围内增加荷载，而且使地下水位抬升和地下水潜蚀、冲刷作用加强，这些也是破坏下伏洞穴平衡状态的作用力。

6. 矿山采空致地面塌陷

地下采掘活动形成的采空区，其上方岩、土体失去支撑，导致地面塌陷。这种由于矿山采动引起地面塌陷的主要原因是人为

活动。此类地面塌陷在许多矿区都有发生，并造成相当程度的危害，即损坏交通设施、水利设施、建筑物、道路、农田等，甚至引起山体滑坡和崩塌。

二、地面塌陷类型

根据地面塌陷成因的主要原因可分为：

（1）自然地面塌陷：地表岩、土体由自然因素作用，如地震、大气降水、天旱、河水位升降、自重及地球化学、地质风化等作用，致潜伏洞穴顶部向下陷落或坍塌。

（2）人为地面塌陷：人为工程活动（矿山开采、挖掘隧道、防空洞等地下工程）形成的洞穴，并引起洞顶支撑力小于表层岩、土体自重而致地面塌陷，即有排水塌陷、渗水塌陷、抽水塌陷、荷载塌陷、蓄水塌陷、振动塌陷等。

（3）复合型（自然－人为）塌陷：自然及人类因素共同作用引起的塌陷，如因人为改变地表径流环境降雨入渗和表水渗漏、干旱灌溉等引起的塌陷。

根据塌陷区是否在喀斯特地区的岩溶发育地段分为：

（1）岩溶地面塌陷：在岩溶地区，由于隐伏下部岩溶洞穴扩大而致顶板岩体塌陷，或土覆岩土层的洞顶板在自然或人为因素作用下失去平衡产生的下沉或塌陷，导致地面塌陷；

（2）非岩溶地面塌陷：指非岩溶地区的土洞或岩洞在自然或人为因素作用下产生的下沉或塌陷。该类塌陷又分为基岩塌陷和土层塌陷。根据塌陷区岩、土体性质细又分为黄土塌陷、火山熔岩塌陷和冻土塌陷等许多类型。

按塌陷坑数量分为：塌陷坑大于 100 个者为巨型塌陷、50～100 个者为大型塌陷、10～50 个者为中型塌陷、小于 10 个者为小型塌陷。

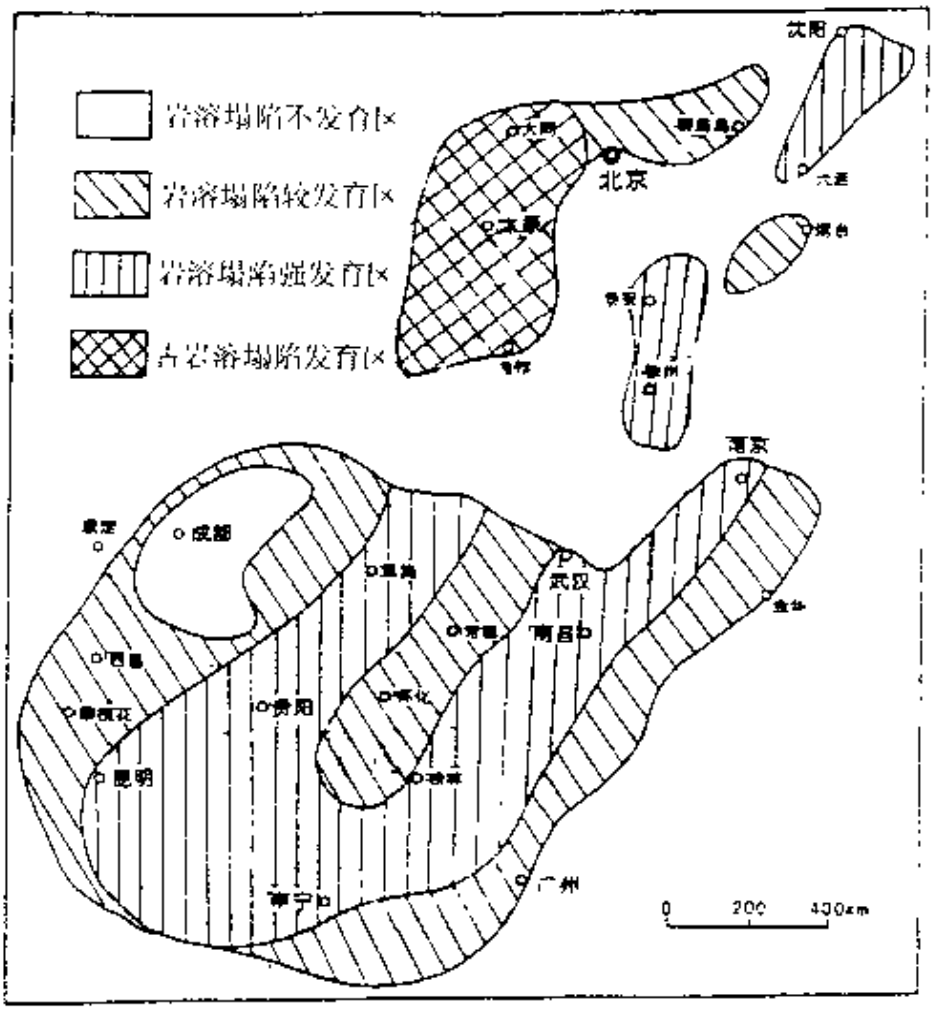

图 8－1　中国岩溶塌陷分布图

在各类地面塌陷中，我国以岩溶地面塌陷分布最广（已有22个省（区）发生此类地面塌陷，图8－1），危害最重。矿山采空区地面塌陷的分布和危害仅次于岩溶地面塌陷。

第二节 地面塌陷危害及实例

地面塌陷使大量的建筑物变形、倒塌；道路坍塌；田土毁坏；水井干枯或报废；名胜古迹、风景点破坏等，给国民经济建设和人民生命财产造成了很大的损失。现就地面塌陷危害最为突出的几个方面叙述如下：

1. 危害铁路运输

铁路遭受岩溶地面塌陷的危害及引起的经济损失非常突出。据不完全统计，我国铁路及车站场发生重大的塌陷50余处，造成车站建筑物毁坏、路基沉陷、道路悬空、桥涵裂缝倒塌、隧道施工受阻等，其中颠覆列车3次，累计中断行车2000多小时，部分塌陷的根治工程费就达亿元以上。给铁路造成了巨大的经济损失。

岩溶地面塌陷灾害较为严重的铁路线有：京广、贵昆、浙赣、津浦、沈大、渝达等铁路线。

在沈阳—大连线瓦房店K110+140段，距铁路600米处的瓦房店轴承厂，1983年在三家子村掘了4口深井。1986年3月有3口启用抽水，抽水量为5720吨/天，最大达7400吨/天，使水位下降幅度为12~50米（正常地下水位为0.5~5.0米，旱季为3~9米）。1987年8月近一个月里，在铁路线K111+K110~K111+K174间发生岩溶地面塌陷16处，并伴生有两条地裂缝。地面塌陷变形使44幢民房开裂；电线杆倾斜沉没于河床；致耕牛坠入陷坑内；10个自然村的水井水位下降、干枯；耕地开裂。造成沈大铁路线中断行车6次，使列车行进速度由100公里/小时减为10公里/小时。该线路在治理由于抽水致塌的勘察和措施实施过程中，历时18个月，耗费资金220万元。

在浙赣线分宜车站附近，距铁路线0.05～1.4公里范围内有抽水井9口，抽水引起地下水位下降至6～30米，铁路线附近出现岩溶地面塌陷50处，铁路之外有30处。铁路路面塌陷致使列车颠覆1次。

京广复线长达14.259公里的大瑶山隧道，因地面塌陷造成铁路下沉、行车中断、隧道施工受阻。该隧道穿越长达854米的碳酸盐岩地层，隧道埋深420～520米。施工后有6处涌水，造成两次停工。1985年4月11日于平导DK1994+213处的掌子面上，有6个钎孔发生涌水，涌水量达4175吨/天，地下水从竖井底部涌升405米。随后在清泥沙、抽排地下水时，地面发生几十处塌陷，引起附近的泉水干枯，地面裂缝，房屋地基沉降等。1987年5月中旬，一场暴雨使地表水沿塌陷坑流入隧道，流量达40000吨/天，淹没施工坑道，上行线中断行车近16小时，下行线中断行车近2小时。之后时有涌水或泥沙、中断行车的现象。估计经济损失超过1000万元。

2. 危害矿山

在矿山开采中，地下矿坑的抽排地下水及矿坑突水、涌水等都可引起矿区地面塌陷。矿区地面塌陷可造成其上及附近建筑物开裂、农田毁坏、道路中断、采矿滞产、停产、矿井报废等。矿山遭受塌陷的危害仅次于铁路运输。初步调查，我国产生岩溶地面塌陷灾害较严重的大型矿区有：湖南的恩口煤矿、斗笠山煤矿、桥头河煤矿、煤炭坝煤矿、水口山铅锌矿；湖北的宜都松宜煤矿、大冶大广铁矿、大冶铜录山铜矿、大冶叶花香铜矿；江西的丰域云庄煤矿、乐平桥头丘煤矿、乐平鸣山煤矿、乐平花亭锰矿；广西的西湾煤矿、泗顶山铅锌矿；广东的英德流铁矿、黑石岗黄铁矿、阳春硫铁矿、石录铜矿、凡口铅锌矿；山东的莱芜铁矿业庄矿区、莱芜顾家台铁矿；安徽的淮南煤矿、铜官山矿、铜

陵新桥铜矿；河北的唐山开滦煤矿范各庄矿等几十个矿区。

湖南恩口煤矿 1971 年先后有 4 个井田投产，最大排水量 8165 吨/小时，地下水位大幅度下降，排水疏干影响范围达 20 多公里。自 1972 年以来，因该矿开采引起地面塌陷达 25 平方公里，地面塌陷坑、洞 6000 多个，单个洞穴最大面积达 7946 平方米，塌陷使农田毁坏 9500 亩，50994 平方米民房破坏，及破坏桥梁 4 座，小型水库 8 座。至 1982 年总赔偿和治理费达 980 万余元。

湖南水口山铅锌矿始于 1959 年 2 月 26 日，当时出现坑道突水、地面塌陷 3 个。1964 年矿区作放水与水文地质试验，矿山开拓和抽排地下水，使地下水位下降29.27 米，这是该矿区塌陷发生最多的时期。1965 年 5 月在 -300 米水平面上抽排地下水，塌陷进一步向外围扩展（影响范围已达曾家桥、香花坪和桥头三个乡镇）。至 1986 年该矿的塌陷已达 850 多个，塌陷影响达3.2 平方公里。塌陷使面积约0.35 平方公里农田毁坏，因损坏而迁房 6643 平方米。仅 1966 ~ 1970 年的赔偿与抽排地下水费（指河水大量灌入坑道的抽排水）达 710 万元。

3. 危害农田水利

地面塌陷不但直接毁坏农田，而且破坏水利设施，使水利工程不能发挥应有的灌溉效能。

1980 年广西玉林市郊分界圩天大旱，地下水位下降 3 ~ 5 米，引起田土裂缝。为此，当年 10 月村民于小河边掘井抽水灌溉，抽水量达 2000 吨/天，使地下水位下降了 7 ~ 8 米，此时引起抽水点附近发生少数塌陷。1981 年 1 月 4 日凌晨 3 时许，从地下突然发出沉闷的地声，随之地面轻微震动，地面裂缝，并从裂缝中喷溢高达 5 ~ 6 米的水柱，地面塌陷。至当日下午，水田中发生塌陷 400 多个。塌陷毁田0.05 平方公里，影响面积0.67 平方公里，

毁坏鱼塘 1 口，破坏村民房屋 10 余间。

广西河池县肯研水库（库容 260 万立方米）蓄水后于 1959～1963 年间，库区发生塌陷 15 个，并在坝首及两侧伴有长达 30 米，裂口宽 3～20 厘米的地裂缝，引起库区严重渗漏，坝下多处渗水，使之不能正常发挥灌溉（设计灌溉面积2.67 平方公里）效能。

4. 危害城市建设

地面塌陷给我国许多城市建筑物、道路、管线及市政设施、风景点构成很大的危害。据不完全统计，我国遭受地面塌陷灾害较为严重的城市有：辽宁的大连；河北的秦皇岛、唐山；山东的济南、泰安、淄博、枣庄；湖北的武汉、黄石、咸宁；湖南的怀化、娄底、黔城、湘潭、郴州；江苏的南京；浙江的杭州；江西的九江、宜春、上高；云南的昆明；贵州的贵阳、水城、安顺、遵义、六盘水、清镇；广西的桂林、柳州、玉林；广东的广州、肇庆等城市。其中以贵州水城的地面塌陷引起的灾害最为突出。水城因水钢水源地内 16 口水井抽取地下水，致使约 5 平方公里范围内出现塌陷 1023 个，引起 89 幢房屋开裂或倒塌，423 亩农田毁坏，道路坍裂，电杆倾倒，直接赔偿和经济损失 260 余万元。

1988 年，武汉市武昌区陆家街突然发生地陷。地陷的巨大塌坑毁坏居民宿舍、工厂围墙和学校门房。2000 年 2 月 22 日，离陆家街不远的武汉市司法学校再度发生地陷。塌陷东西约 50 米、南北约 30 米的椭圆状，使该校食堂、锅炉、供水加压等设备无法使用。继后，4 月 6 日下午 3 时许，武汉市洪山区青菱乡烽火村突然发生大面积地陷。地陷不断向村外扩展，由当初的 7 个陷坑，发展到 18 个，塌陷面积达 6000 平方米，单个陷坑直径最大达 80 米，最深约 20 米。严重危及其内建筑物，并造成房屋

歪斜或歪塌，使烽火村 150 户 860 人有家不能归，幸无人员伤亡，然而经济损失达数百万元。

昆明市区内的翠湖是历史悠久的风景点，素称昆明一颗明珠。该湖原系与滇池相连的一个湖湾，因开挖海口河水灌溉，降低了滇池的水位，使翠湖与滇池隔开。50 年代初，抽水量为 2000 吨/天，1974 年增至 5000 吨/天，1975 年底翠湖出现湖水干枯。1983 年，翠湖附近 28 口掘井和人防工程的抽排水量达 3000 吨/天，在湖区出现一条长2.7 公里，宽 2 公里，中心水位下降 14.05 米的降水漏斗。自 1975 年以来，在3.01 平方公里范围内共有塌陷 117 个，数十条地裂缝。致翠湖湖水干枯；名泉九龙池变成落水洞；亭、榭、楼、桥开裂倒塌；农展馆、园能寺、连云巷宾馆、公园等建筑群开裂、倾斜，其内花、草、树枯死，湖无翠意。经济损失逾千万元。

第三节 地面塌陷预测预防

一、地面塌陷预测

地面塌陷预测分为对场地环境的区域性稳定作出的宏观预测——定性、对地面具备塌陷条件的地段进行的半定量及定量预测。地面潜在塌陷危险的条件和地段有：

(1) 在岩、土层中有频繁的地下水波动地段，当地下水迅速大幅度土升或下降时，即地下水下降形成压强及土颗粒运移，上升则可发生顶托，使土体结构散离，为土颗粒运移创造条件，对岩、土层构成破坏，产生洞穴塌陷。

(2) 在抽取地下水形成的降落漏斗范围或与岩溶管道相通的降落漏斗以外的地带，坑道渗漏、排水引起地下水下降地段，地表易于积水入渗地段，易发生塌陷。

(3) 在岩溶地区，岩溶发育且埋藏浅的覆盖层较薄（其厚度小于 10 米）、覆盖层系砂质土类、覆盖层系二元以上结构的地段，易于发生塌陷。

(4) 可溶岩与非溶岩交界带和利于岩溶发育的构造带内，易于发生塌陷。

(5) 有古老塌陷与漏斗分布、近期有塌陷发生的地段，塌陷有可能再度发生。

(6) 在较平缓斜坡、覆盖松软岩层或土层下部潜伏有暗河地段，具备塌陷发生的基本条件。

在上述定性的分析基础上，根据对以往塌陷的研究，综合评价塌陷影响因素，运用经验、模糊等预测方法，得出地面塌陷综合预测的半定量指标。然后，对已知洞穴进行宽度、高度，及致塌因子等分析其稳定性，同时用试验的方法，为塌陷的综合预测提供半定量和定量的依据。

二、地面塌陷预防

在对地面塌陷预测的基础上，可采取以下预防措施：

(1) 建设场地或交通、地下管道及缆线等线路应选址于覆盖层厚的地方或基岩裸露、抽排地下水井孔影响以外的地段。

(2) 在岩溶地区的洼地、谷地等负地形和岩溶平原内，有建筑物或地下工程时，应在附近 2 公里范围内，不得大量抽排地下水及采掘地下矿藏资源。对已有的抽排井孔与坑道，随时进行降水、抽水量监测，控制水位降深低于塌陷的临界水位，如有可能应保持或恢复原地下水位。

(3) 在地表布设排水设施，保持良好的排水状态，防止地表水或雨水集中渗入。同时，做好地下埋设管井的过滤层，防止可流物质（如泥、砂）大量流失致塌。

(4) 在建设工程施工前，应进行场地地质环境的安全性评价工作，运用地质雷达、浅层地震以及电磁波 CT 等方法探测场地有否潜伏洞穴，如有洞穴应进行稳固性的处理。

(5) 在塌陷危险潜在区，应对地面河床进行铺砌、加固、改道，堵塞落水洞，填补溶蚀坑洼，压浆固结岩土体，剥离地表较薄覆盖层；

(6) 在建设工程场地或建筑物附近，为减缓地下水活动致塌力，可在地下水的径流方向上设置压浆帷幕。

(7) 建筑物的主要承重、受力构件的基础应置于坚硬的基岩或经过坚固处理的地基上。

三、地面塌陷监测预报

监测地面、建筑物的变形和井泉或水库水量、水态变化，地下洞穴发展动态，及时发现塌陷前兆现象，对预防、减轻塌陷灾害损失非常重要。在地面塌陷频繁发生地区或潜在地面塌陷区内，可采取以下监测和预报措施：

(1) 在具备地面塌陷的三个基本条件（即塌陷动力、塌陷物质、储运条件）与岩溶低洼地形地区，在抽排地下水的井孔附近，应对地面变形（开裂、沉降）进行监测。

(2) 进行宏观水文监测，当出现地表积水或突然干枯，放水灌溉及雨季前期降雨都可视为可能发生塌陷的前兆。

(3) 注意收集或及时发现具塌陷前兆的异常现象，如出现建筑物开裂或作响、植物倾斜变态、井泉或水库突然干枯或冒水、溢气，地下水突升突降，地下有土层垮落声及动物惊恐等异常现象皆应警惕塌陷即将来临。

(4) 监测井泉内、坑道与水库渗漏点的地下水位降深是否超过设计允许值，地下水位升降速度有否骤然变化，渗漏水中泥沙

含量是否高。另外，可以在井孔内安装伸缩性水准仪，中子探针计数器、钻孔深部应变仪，及其他常规测量仪器等监测地下变形异常。

(5) 塌陷时地表会发生变形，地球物理场亦会发生一定的变化，利用这种特性，在洞穴上部埋设装有聚氯乙烯铜线的混凝土管，当临塌陷或大塌陷前，地表覆盖层发生变形时，混凝土管就会被折断从而发出警报；也可以监测重力的变化，将重力变化的信号转换为音响的报警装置进行报警。

第四节　地面塌陷灾害防御措施

根据地面塌陷的成因与影响因素，为保持地基稳定及地质环境平衡，消除地面塌陷隐患，通常对已形成和将要形成的地面塌陷采用地表封闭防渗、地下加固及结构跨越等三大整治措施。

1. 地表封闭防渗

地表水及雨水渗入是致塌原因之一。为此，采用防渗工程可以减缓或避免地面塌陷。具体措施有：

(1) 在土体边坡上种植草本植物（如小冠花），减少水土流失及边坡冲刷，防止雨水集中渗入致塌。

(2) 为防止降雨入渗，应确保地表水流畅，不致积水渗漏。另外，进行挖方堑顶外的天沟、路堑侧沟及填方坡脚的排水沟、建筑物基地的铺砌、桥涵排水等排水工程措施。

(3) 用混凝土层和氯丁橡胶板、玻璃纤维涂料等防渗隔水材料，铺设作为铁路中基床封闭防渗。

(4) 对深大塌陷坑的应急治理措施一般采用回填防渗方法，具体回填方法是其下部用大块石，土部夯填粘土，并用水泥抹面(抹面应高出四周)，在重要的承载地面，可用钢筋混凝土回填封

闭或在回填夯土的上部铺钢筋混凝土网络板。

2. 地下加固措施

为了防止地下水活动导致新的塌陷，对已成土洞及封堵开口的岩溶洞隙，一般采用地下加固措施。具体措施有：

(1) 在大量抽排地下水和矿坑与地下洞穴工程坑道涌水、排泄造成的地面塌陷时，恢复地下水位、维持地下水位平衡是防止地面塌陷的最佳措施，即采用废弃坑道施行堵水、停止取水或人工回灌、补偿地下水等措施。

(2) 控制地下水在设计允许的水位降深范围内，不致构成危及地面塌陷的程度。

(3) 采用在密闭的岩溶腔中钻孔，消除真空状态，可以减少或免除那些由于地下水下降，在密闭的岩溶腔中形成真空吸蚀引起的塌陷。

(4) 在增强顶板的抗塌力方面，常用压浆措施充填洞隙、固结岩土体，还可以形成帷幕隔绝水位变化，防止地面塌陷。压浆的效果取决于压浆参数（包括压浆深度、压浆段长、浆液浓度、凝结时间、压浆时间及压浆孔距）的选择及压浆工艺（即压浆工艺有：单斜、双斜、分段、间歇、封底、逐渐加密、双液、掺合、基岩面、土层、水位下、引孔、稳定等压浆，另外在注意有压控压，无压控浆，稳定压浆时间结束时，应速关进浆阀门等），压浆分为堵塞洞隙的充填压浆、增强土体强度的固结压浆、防止地下水渗入的帷幕压浆。

(5) 为增强土体密度、降低可压缩性，提高土体的抗塌力，可采用强夯各种土质的地基工程，另外，强夯还可直接破坏隐伏浅部的土洞，消除地面塌陷的隐患。

(6) 整治地面塌陷的作用在于提高易塌陷土体承受上部荷载的强度。为此，对粘性土、砂质土、砂砾破碎土等土体，可采取

旋转提升、高压喷射水泥浆凝结成桩柱或定向提升喷射成板墙的旋喷技术。这种旋喷桩可用于加固受塌陷危害的厂房及其建筑物基础。

(7) 在治理地层厚、陷穴深或基岩面不平且埋深浅的塌陷时，为防止塌陷的进一步发展和增强塌陷处的承受荷载能力，可沿陷穴处下挖或钻至基岩成柱，以桩作支挡的锚固柱和挖（钻）孔治塌的技术。

(8) 为截阻深部洞穴充填物被挤出、坍塌，导致塌陷，可用钻孔作钢筋混凝土桩栅栏。

(9) 可采用横向交叉布设锚杆治塌技术，增强填方路基的抗塌力，不致因下部岩溶受到影响。

(10) 在地面塌陷多发区的负地形中，道路填方的填料以碎石为好，因为，如果基底塌陷成坑，由于碎石颗粒松散无粘聚力，它可自行沉落充填塌陷坑。

3. *结构物跨越*

(1) 在治理跨度较大的塌陷穴或隐伏洞穴时，可进行横跨洞穴、架于周围非塌陷的稳定基础上的桥梁稳固措施。

(2) 在治理地形平坦，难以预测塌陷坑位的地段时，可采用以整体结构抗衡塌陷形成的局部悬空和应力集中的钢筋混凝土网络梁，如网络梁上还需填方时，应在网络梁上加筑钢筋混凝板。

(3) 在治理直径较大、深的塌陷坑，或直径小、密集群体塌陷坑时，其塌陷外围有稳定的岩土体，上部有较大的荷载或需承载时，可采用两端置于稳定基础上的钢筋混凝土梁或板跨治理措施。

第九章 地面沉降

地面沉降指地表岩、土层有塌陷一样的下沉力学过程，但其下沉部分与周边没有明显断错，仅表现为向下弯曲、破裂、凹陷洼地等地质现象。地面塌陷与沉降在洞穴顶部地表岩、土体塌陷变形时，两者有一定的相关性，地面沉降有时是地面塌陷的初始阶段于地面的一种表现形式。

第一节 地面沉降成因及类型

一、地面沉降成因

地面沉降是在自然或人类工程活动影响下，由于地下松散土层固结收缩压密作用，导致地表发生的下降运动。又称为地面下沉或地陷、地基下沉陷落等。地面沉降的变形形式以整体性、连续性为特点，具体表现为向下运动的弯曲、凹洼地、破裂等。

在地面塌陷中，在某些类型的塌陷发展过程中经历了地面沉降阶段，如抽水、排水、蓄水、荷载等类型的塌陷都有土层的收缩压密作用，在塌陷形成的初期有局部地基的沉降。其机理为：地下人为工程排水和过量抽取地下水，使土层及周围的水位下降，砂质土、软弱粘土层及砂砾层中的孔隙水大量流失，并存在可流物质的流失，同时失去地下水的浮托力，使土层或砂砾层在重力的作用下压密，引起局部地面沉降。

地面沉降的原因颇多，有地质构造、气候等自然因素，也有

人为原因。如天津地面沉降区就是位于干旱的华北平原东北部的渤海湾西岸，是现代构造沉降区，因此，为过量开采地下水引起地面沉降提供了地质构造背景。

目前，通常将地面沉降指人为大量抽取地下水、天然气、石油等液体资源，地面或地下大型工程建筑等引起基底地质构造、岩土性质变化、或形成大面积虚空区，改变地基荷载等导致大范围地面沉降。

地面沉降一般在未固结的松散砂、砾层中易于发生。在内陆盆地、海洋平原区等地形都会发生，但以后者相对发生的较多些。从地层结构而言，透水性差的隔水层（粘土层）与透水性好的含水层（砂质土层、砂层、砂砾层）互层结构易于发生地面沉降，即在含水性较好的砂层、砂砾层内抽排地下水时，隔水层中的孔隙水向含水层流动就会引起地面沉降。

在地面沉降成因中，人类工程活动是主要原因之一。人类工程活动不但是导致地面沉降的源缘，而且是加剧地面沉降的因子，其主要表现在以下方面：

（1）大量抽取液体资源（地下水、石油等）、地下气体（天然气、沼气等）活动是造成大幅度、急剧地面沉降的最主要原因。

（2）采掘地下固体矿藏（如沉积型煤矿、铁矿等）形成的大范围采空区，及地下工程（隧道、防空洞、地下铁道等）是导致地面下沉变形的原因之一。

（3）地面上的人为振动作用（大型机械、机动车辆等及爆破等引起的地面振动）在一定条件下也可引起土体的压密变形。

（4）重大建筑物、蓄水工程（如水库）对地基施加的静荷载，使地基土体发生压密下沉变形。

（5）由于在建筑工程中对地基处理不当，即地基勘探不周，

造成设计的偏差，或施工质量问题，使地基承重（指工程建筑载荷）后不均匀沉降。

上述人类大量开采地下资源等导致的地面沉降，一般是规模较大的大型地面沉降；采掘地下固体矿藏引起的地面沉降规模相对前者要小些；建筑物静荷载、人为振动等作用引起的地面沉降仅是小范围或局部地面沉降。

地面的沉降有以下特点：

（1）地面沉降的过程缓慢，短时间不易察觉，靠精密仪器才能发现这些微量的沉降，所以容易被人们忽视。

（2）在城市内因过量开采地下水引起的地面沉降，其波及的面积广。

（3）地面沉降具有不可逆特性，就是用人工回灌办法，也难使地面沉降的地面回复到原来的标高。

二、地面沉降类型

按地面沉降的规模可分为：①局部地面沉降：在几十至几百米半径范围内，地面不同程度沉降；②大范围地面沉降：地面沉降面积半径大于1公里。

按地面沉降的地质环境分为现代冲积平原地面沉降、三角洲平原地面沉降、断陷盆地地面沉降等三大类型。其中断陷盆地地面沉降又可分为近海地面沉降、内陆地面沉降两类。

根据地面沉降的成因分为：抽取地下水引起的地面沉降；采掘固体矿产引起的地面沉降；开采石油、天然气引起的地面沉降；抽取卤水引起的地面沉降；人为工程地基处理不当引起的地面沉降。

第二节　地面沉降危害及实例

随着经济和人口城市化的发展，地面沉降及其所造成的环境灾害已十分严重。地面沉降的危害性表现为：首先，使区域或地区性地面标高降低，导致海岸线向内陆迁移，防潮堤需要相应的增高，滨海平原潜水位亦升高，使土壤盐渍化、沼泽化增强。海河泄洪能力降低，河水倒灌，城市抗洪能力相应降低；其次，地面不均匀沉降引起地面裂缝不均衡下陷错动，建筑物、道路、井管等市政设施遭到破坏，引起河道纵坡降变形，城市排水管道功能降低；严重阻碍航运正常运行，由此而给国民经济建设和人民生命财产构成危害；导致大地水准类测量标志的失准；造成城市地面局部积水、道路不平、桥梁下沉，水井水管抬升；特别是近年来沿海地区的风暴潮灾害连续发生与地面沉降有着直接的关系。

据有关资料，我国发生不同程度区域性地面沉降的城市有：上海、天津、北京、西安、太原、宁波、常州、苏州、无锡、嘉兴、杭州、和台湾的屏东、彰化、云林、嘉义及台中、台北等市、县（市）。表 9－1 给出的是几大城市地面沉降运动情况。

我国北方是十旱少雨的地区，地面沉降较为突出。如河北平原年平均降水量为 500mm 左右，是半干旱地区。近年来旱情经常发生，而且越来越严重，使河流变成了季节河，地表水远不能满足经济发展的需要，于是导致大量开采地下水。据有关资料，河北平原每年可采地下水资源仅为 90 亿立方米，然而，每年的开采量达 107 亿立方米，超采 17 亿立方米。由此，导致了地下水位的大幅度的下降，削减了地表土体中的孔隙压力，颗粒被压密，引起地面沉降（表 9－2）。其后果是造成城市低洼不平，积

水难排；地面裂缝、房屋损坏、路面开坼；引起建筑物基础下沉、铁路路基下沉、铁轨凸起、桥墩错位、地下管道断裂、建筑物倾斜、抗震能力降低，加重了地震次生灾害等。

位于海口三角洲附近的滨海平原上的一座体育馆，建成后发现地面出现裂口宽 5～6mm 的地裂缝，该裂缝两侧存在相对的下沉，下沉量约 6～7mm；看台之间预留的沉降缝明显加宽，沉降缝呈“V”字型张性，前排看台下沉约30～50mm；馆内个别墙

表 9－1 我国地面沉降较严重城市情况表

地名		时间段	累计沉降量/米	沉降速率年/(毫米/米)	影响范围/平方公里	备注
上海		1921～1965 1966～1987	2.65 0.37	1.7	400	
天津		1959～1982 1982	2.15	94	900	沉降量 100 毫米的范围
北京	东北部	70～80 年代	5.9		600	
	城区	70～80 年代			440	
西安		1972～1983 1983～1988	7.77 1.34	30～70 26.8	200	沉降量 100 毫米的范围
太原	城区	1979～1982 1979～1982			254 7.1	沉降量大于 200 毫米的范围 沉降量大于 1000 毫米的范围
	吴家堡	1980 1982 1987	8.19 12.32 13.80	206 29.8		

表 9－2　河北平原地面沉降情况表

地名		时间段	累计沉降量/米	沉降速率(毫米/年)	影响范围/平方公里	备注
天津市沉降区		1970～1988	1.56	87	5700	
任丘市沉降区		1983～1988	5.50	34	2000	
唐山市沉降区	唐山市		7.56			最大沉降量
	宁　河		13.26			最大沉降量
	滦　县		9.64			最大沉降量
固安沉降区		1983～1988	2.12			
霸县沉降区		1970～1983 1983－1988	7.40	36.2 54.2		
肥乡沉降区		1977～1984	4.05	57.9		
邯郸市沉降区		1963～1968	2.00			最大沉降量
沧州市沉降区		1970～1988	0.93	52	3000	累计下沉量2.0米范围
营里沉降区		1969～1985	2.00			

角出现剪性裂缝，墙坡裂缝宽约 20～30mm。从施工图纸上可知，该馆的地基处理存在差异，即：体育馆主体部分为桩基基础；东西两侧前排看台采用天然地基的条型基础。上述损害现象主要集中分布在建筑物的桩基基础和条型基础的接合部。通过对该体育馆的地面不均匀沉降形变的监测，得出：造成不均匀沉降的主要原因是地基处理的缺陷（即由于地基勘探不详，使设计基础依据不足，引起地基的不同设计和处理，加之，地基施工存在问题等）所致。

在湖南省交通学校也发现这种不均匀沉降的现象，该校一栋

1982年建筑的五层宿舍楼，座北朝南，砖混结构，在该楼挑梁外走廊的西端，自底层至五层的同一位置上均有排水槽沟蓄水滞流，顶板上存有渗漏浸泡的水印和青苔，在附近的一台“步履式震动沉灌注桩机”工作时，五楼外走廊出现局部异常振动，异常点正在外走廊的排水槽滞流处，经调查，该处地基原是一水塘的边缘，所以，此处的地基比其他地方要深，并且地基处理亦不相同，即下挖基脚7余米，砌筑基脚结构为下面是3m厚的砂卵石层（未掺拌胶结物），其上是4m厚下大上小的锥形红砖垒砌基脚。这种基础的整体性差、抗震和承载能力较差，从外走廊的排水槽滞流分析，地基曾有过不均匀的微量沉降，并造成了该处建筑物的自振周期与桩机振动周期叠加的共振现象。

为此，我们在重视大量开采地下资源引起地面沉降的同时，不能忽视建设工程的地基不均匀沉降。

第三节 地面沉降监测

通常采用的地面沉降监测方法有：

（1）在地面沉降区或研究区内布设水准测量点，定期进行测量，监测地面沉降的变形。

（2）监测含水层地下水的抽排量、回灌量及地下水位的变化，观测地面沉降。

（3）用室内试验（常规试验、微观结构研究、高压固结、三轴剪切、长期流变、孔隙水压力消散、室内模型试验等）和野外试验（抽水试验、回灌试验、静力触探等），探索地面沉降发生、发展规律，并运用试验取得的数据进行经验性、理论性预测。

（4）在地面沉降区及附近，设立相对沉降、孔隙水压力和基岩等标志，监测各岩土层和含水层的变形及地下水位动态变化，

以便深入研究其规律，为地面沉降监测提供依据。

第四节　减轻地面沉降灾害的措施

过量抽排地下水或其他液体矿体、气体是导致地面沉降的主要原因。因此，减轻地面沉降灾害的措施主要是控制地下液体和气体矿藏的开采量，调整地下水开采、进行地下水人工回灌、改变城市用水结构、补充地下水资源等。普遍采用的措施有：

(1) 运用法规、行政管理手段，加强沉降区地下开采方面的统一管理，制定控制审批增打新井制度，倡导居民节约用水，压缩用水，严格控制地下水的开采量，达到用水与供需平衡，控制降落漏斗的扩展，在城区严禁采掘、城区外围限量开采地下矿藏等减缓措施，防止或控制地面沉降的继续发展。上述方法已在我国很多城市实践，并取得很好的效果。如上海市明文规定（《上海市深井与管理办法》）水井的管理办法，严格控制市区的地下水的开采量，开采量由原来 50 年代的 30 万立方米/天减少到 80 年代的 4 万立方米/天，地面下沉量得到控制，地面沉降量由原来的 22 毫米/年减到 5 毫米/年，地下水位明显回开。应该指出的是，在未发生地面沉降的地区，也应避免过量开采地下资源，防止地面沉降的发生。

(2) 调整开采层次是减轻地面沉降的一种辅助性措施。

(3) 用人工灌水方法补充地下水量，提高地下水位，缓和地面沉降速率。

(4) 进行地下水的采、灌数学模型研究，从而指导城市的地下水合理开发利用。

(5) 地面已发生沉降的城市，应在减少地下开采的同时，想法引调远方的客水，例如天津的引滦工程。新建城镇就尽量避开

致灾区，先找到充足的水源后再规划城市，不得先建市后寻找水源。

(6) 做好沉降区建筑场地的选勘工作，尽量避开断层活动引起的差异沉降、载荷造成软弱地基的差异沉降、地震引起砂土液化的不均匀沉降等沉降区。高大建筑应避开抽取地下水井的沉降漏斗区。再就是加强建筑工程场地的地基坚固性的处理。即首先应做好工程前地基的勘探，摸清地基力学性质，按照不同岩土层的承载能力，合理设计和精心施工，其次应注意建筑物地基的整体性，不得节料省钱，用未掺合任何胶结物搅拌的松散砂卵石填坑塞塘“奠基”。确保建筑物的建造质量，防止地基的不均匀沉降的发生。

(7) 在地面沉降区或易发生地面沉降的地区的建筑物高度不宜过高，高宽度比值适度。相邻建筑物规模或载荷差异较大时，两建筑物应拉开一定的距离；房屋的纵墙和横墙均匀对称布置；减少楼顶的自重，加强楼顶的刚度，设置整体性建筑结构。在建筑物以下部位设置沉降缝：①建筑平面形态拐折处；②建筑高度或载荷差异处；③过长的承重结构或框架结构的适当部位；④地基力学性质显著差异处；⑤建筑结构或基础类型差异处；⑥房屋分期建造的交界处。

第十章　火　　山

火山是地壳内部岩浆沿薄弱的深大断裂等通道喷出地表，喷出的岩浆和碎屑物在喷火口及其周围堆积的山体。火山喷出的物质有：火山气体、碎屑物、碎流、岩流、泥浆流和熔岩流等。伴随火山喷发的现象有：山崩、海啸、地震、空气振动、地形变、地壳运动、地势变化等。它具有为人类社会发展提供、扩大陆地和热源的有益的一面，另一方面，火山活动喷发的物质和伴生的地球物理、地质现象，对地球环境和人类社会构成威胁，是威胁人类安全的一大灾害。

第一节　火山成因及类型

一、火山成因

火山是地下岩浆喷出地表的结果，那么它怎样形成的呢？对火山成因科学解释的假说主要有以下几种：

（1）地热放散说：认为地壳不断放热收缩，压迫地球内部熔融体，熔融体受压后体积相应缩小而产生强大的欲维持原体积的“膨胀弹力”，在外部的压力不断增加的作用下，“膨胀弹力”不断增加，以致地球内部的岩浆和气体沿袭地壳薄弱的部位迸射而出，形成火山。

（2）火炉说：认为地球内部岩浆熔融体相当个火炉，其火炉在地壳放热冷凝的同时，造山运动断透地壳并与地球内部联通，

再者，联通了地壳表层的已成的火山体，于是火炉内的岩浆受到地壳的压力作用而喷出地表。

（3）岩石粉碎说：认为地壳收缩产生强大的压力，这种压力使地球内部产生地热，高温的热力能将岩石粉碎成熔融体，熔融体沿袭联通地表的渠道而喷出形成火山。

（4）气体膨胀说：认为在熔岩内含有气体，这种水蒸气和气体具有强大的张力，造成熔岩伴随气体喷溢而形成火山活动。

（5）裂缝喷出说：认为地球内部处于高温高压状态，如果地壳产生裂缝，就会降低该处的压力，固体岩浆便转化为流体沿着地壳裂缝喷出地表，形成火山活动。

（6）海水渗透说：认为海水大量渗入地壳深部的岩浆区，蒸发为水蒸气而产生强大的张力，发生爆炸，形成火山通道，同时迫使岩浆沿着通道喷出地表。

（7）陆升海降说：认为陆地不断抬升，海洋不断下沉，一升一降的结果造成高山和深渊紧邻，其交接处的地壳非常脆弱，发生褶皱、断裂。下沉的地壳迫使地下的岩浆沿断裂爆发，形成火山活动。

（8）分化作用说（又称层化作用说）：认为地壳是由处于平衡状态的硅铝层和硅镁层组成，倘若热力、重力或物质的变化，特别是放射性元素衰变产生巨大的热能，并逐渐将岩石融熔成岩浆，当热能转变为动能时，地壳的平衡遭到破坏，便产生强大的膨胀力，使岩层发生破裂。另外，地壳的收缩也产生或扩大断裂，在断裂部位是构造脆弱、压力相对较小的部位，地球内部岩浆及其中的水气和其他气体趁虚而喷出地表形成火山活动。

（9）地幔热柱说：地幔柱源于地幔深部圆柱形上升流，它携带地幔物质和热能上升至地幔上层，并在岩石圈和软流圈交接处扩散外流，地幔热柱的火山物质通过地壳内的断裂及断裂形成的

地堑和裂谷喷出地表形成火山。

以上各种火山成因假说，各有所长，也存在不足之处。气体膨胀说解释了火山活动时为什么总伴有大量的水蒸气和气体；海水渗透说解释了火山为什么都分布有太平洋、大西洋、印度洋、地中海等大洋沿岸；陆升海降说解释了为什么世界的火山带几乎分布在大洋沿岸和现在为陆地、过去是海洋的地方，等等。但是有些假说存在明显的缺陷，如海水渗透说，众所周知，水体的渗入深度是有限的，能否达到岩浆深处呢？再者，按地热增温率计算，地下3~4公里处水已成蒸气状态，为此不可能呈液态伸入到岩浆处。总之，火山的成因还有待地学科学的不断进步和探索。

二、火山类型

火山喷发表现有：猛烈喷发，喷出大量碎屑物，堆积成火山碎屑锥的爆发形式；岩浆从火山口溢出，流动性较好形成熔岩流的盾形火山，与爆发形式交替发生形成成层火山锥的喷溢形式；熔岩从火山涌出，堆积成岩钟、岩塔、岩针等侵出体的侵出形式。

按火山的活动特征分为：历史上有过喷发及现在仍活动的火山，称活火山；历史上有过喷发但现在处于休眠状态的火山，称为休眠火山；有史以来无喷发活动的火山，称为死火山（又称熄灭火山）。

按火山的形态、喷出物的性质及构造可分为：

（1）锥形火山（又称火山锥）：火山呈锥尖向上的圆锥形，锥顶为火山口或破山口低地，锥坡呈凹面向上，锥体中心由多次喷发的累积的熔岩层、火山碎屑岩或二者混合组成。

（2）盾形火山：火山的几何形态为基部较大盾形、坡度一般

在5~8度的宽广的锥体。此类火山喷出物多为熔岩，流动性较大、温度在1200℃左右、液态的玄武岩流和少量气体。

(3) 低平火山：是一种比较少见的火山类型。它是蒸气和气体一次喷发形成的小火山口，由火山作用冲开的地壳小缺口和通入地壳内部的垂直孔道组成。火山口呈规模不等的漏斗状，其中主要充填喷出物，常积水成湖。此类火山没有火山锥或只在火山四周由松散火山物质组成的环状围壁，没有或极少有溶岩流的溢出现象。

(4) 集块火山锥：在低平火山喷发的基础上，加强爆发，喷出大量物质，在火山口周围堆积成不大、主要由火山碎屑物组成的圆锥形火山。

(5) 块状火山：是由粘度小的熔岩和粘度大的熔岩交互成层、形态不规则的火山。

(6) 脊状火山：是由许多火山口相互毗连成脊状的火山。此类火山是由于火山通道口不断位移而成的。

(7) 复成火山和火山群：在火山侧面伴生有许多次级火山口，并同样喷发的火山，称复成火山。将在一定地区内，有若干在构造、岩性、规模上相似的火山群体，称火山群。

按火山喷发特点（按世界各地火山特点，并以火山所处地名命名）分为：

(1) 夏威夷式火山：系裂隙型火山通道，以熔岩喷泉（喷射高度几米至几十米，最高达800余米）形式喷出炽热的岩浆。

(2) 斯特朗博利式火山：以意大利西海岸附近的一个小岛的火山命名。此类火山的熔岩比夏威夷式火山的熔岩的粘度要大一些。它可连续几个月甚至几年平稳地喷发，并伴有间歇性爆发。喷出物为白热的火山渣、火山砾、火山弹，喷射高度为几十米至

几百米。

(3) 武耳卡诺式火山：以地中海西西里岛附近的火山命名。此类火山喷出的岩浆的粘性较大，喷发猛烈。喷发物有面包状壳状火山弹和不规则的火山块，还有大量火山灰和火山砾夹棱角状岩屑等。

(4) 培雷式火山：以西印度群岛中的马提尼克岛上的火山命名。此类火山喷发具有热崩碎屑流（由火山灰、水蒸气和气体高温混合而成的乳浊状物质），伴有岩钟的形成等特点。

(5) 布里尼式火山：以罗马的布里尼人名命名。此类火山喷发猛烈、规模大。岩浆粘性大，富含气体。喷发有浮石碎屑和火山灰，有时有岩流溢出，或热崩碎屑流或火山灰流沿地面喷出。

(6) 卡特迈式火山：以太平洋沿岸阿拉斯加半岛上的火山命名。此类火山的特点是接二连三地喷发火山灰流，形成熔岩结凝灰岩，并形成盾形山。常常有破火山口和地堑。

第二节　火山灾害

火山爆发具有强大的破坏力，它可直接使人类生命财产遭到损害，还会引起周围地壳的平衡遭到破坏和气候的变化，从而间接地造成严重的灾害（表 10－1）。

一、火山灾害分类

火山灾害分为二大类，即：

(1) 火山直接灾害：指火山喷发时的空气振荡、强烈振动、火光、浓烟、热流；及火山喷发引起山体崩溃、沉陷或形成新的山体、山谷等给人类和生物造成的灾害。还包括火山喷发熔岩、火山灰等摧毁和掩埋城镇乡村；火山喷发物和有毒气体污染空气、

表 10－1 火山灾害效应表

灾害源				灾害效应
直接灾害源	火山气体			气体中毒，空气、水质污染，平流层烟雾增多引起气候变化
	火山碎屑物	火山尘 火山灰	细粒	降落、粘附、掩埋、堆积
		浮石、火山岩渣 火山砾 火山岩块、火山弹	粗粒	降落冲击引起破坏，掩埋、堆积、引起火灾
	碎屑物流（高温、中—高速） 基底岩流（低温、高速） 火山泥流（低温、中速） 熔岩流（高温、低速）			流经地区遭到摧毁、破坏或掩埋、堆积、引起火灾
次生灾害源	山体崩塌 火山地震 空气振荡 地形变化	——海啸		山体稳定性破坏、山麓覆埋； 沿岸侵水、建筑物遭到破坏； 引起建筑物破坏、山崩地裂； 造成窗玻璃振裂或振碎； 引起火山体的扩展和破坏
	地壳变动			地壳隆起或沉降、地裂、断裂、扭曲、地表水、地下水系变化
	地热变化			地下水温、温泉变化

环境、水源、热源及影响太阳辐射，引起环境和气候异常变化所造成的灾害。

（2）火山次生灾害：指火山活动伴生的地震活动、海啸和喷出物引起的灾害。此外，还包括由火山喷发引起气候的变化，间接造成山体崩塌、泥石流、雪崩等灾害。

二、火山灾害特点

(1) 火山灾害源确定性。火山口的位置相对固定，即使变动，也离原喷发口不远。因此，火山灾害局限在活动火山的附近的一定区域。这有利于我们的监测、预报、预防工作。

(2) 火山灾害的突然性和严重性。火山喷发活动具有突然性，从而造成严重的灾害，如：1991 年 6 月 9 日，沉睡了 600 年的菲律宾皮纳图博火山突然复活爆发，造成 300 余人死亡，千余人受伤，经济损失数亿美元。

(3)火山灾害的周期长。火山活动周期一般在100～1000年。

(4) 火山灾害影响范围广、时间长。虽然火山灾害具有固定性，但是火山导致的环境、气候变化所引起的灾害波及地表至平流层广泛空间，波及海洋、大陆乃至全球。这种对环境和气候变化影响的延续很长。

(5) 火山灾害程度随火山规模变化。小火山影响仅几公里、中等火山可影响几十公里、大型火山影响至数百公里。

三、火山灾害实例

据统计，全球的活火山中有六分之一造成人员伤亡，总喷发次数中约有5%造成灾难，过去的400年里因火山喷发死亡26.6万人。表10－2为世界十大火山爆发引起人员死亡情况。

1980 年 3 月 27 日，位于美国华盛顿州西南部喀斯喀特山脉的圣海伦斯火山突然喷发。据估计，仅 5 月 18 日上午爆发，就从火山口喷出火山灰、熔岩达 10 亿立方米。到 1981 年 4 月 10 日止，由于火山喷发毁林 390 平方公里，附近沉积火山灰厚达数百米，距火山 8 公里的地区仍有1.3 厘米厚。火山喷发造成河流堵

表 10－2 世界十大火山爆发灾害表

火 山 名 称	喷发时间	死亡人数
意大利维苏威山火山	公元 79 年	2000 余人
意大利维苏威山火山	1631 年 12 月 16 日	18000 人
意大利西西里岛埃特纳山火山	1669 年 3 月 25 日	20000 人
冰岛斯卡普塔尔山火山	1783 年 6 月至 8 月	10000 人
印度尼西亚爪哇坦博拉火山	1815 年 4 月 5 日	92000 人
印度尼西亚喀拉喀托火山	1883 年 8 月 26 日	36000 人
西印度群岛马提尼克岛火山	1902 年 5 月 8 日	29000 人
印度尼西亚克卢特山火山	1919 年 5 月	5200 人
巴布亚新几内亚拉明通山火山	1951 年 1 月 15 日	约 5000 人
哥伦比亚内华蹩德尔罗兹火山	1985 年 11 月 13 日	22000 人

塞、桥梁冲跨、良田毁坏，损失达 16 亿美元。该次火山喷发为近代最严重的一次灾害。

欧洲最大的埃特纳火山，1979 年开始复活喷发，数次强烈的喷发。1979 年 8 月延续一个星期的爆发是自 1911 年来最猛烈的一次。至 1981 年又爆发，岩浆以每小时约 1 公里的速度汹涌而下，覆盖数十公顷树林和葡萄园，吞噬数百间房屋。

1082 年，位于墨西哥的钦乔纳尔火山突然爆发，火山顿时岩浆翻滚，飞砂走石，火山喷射物高达 8400 米。据估计，喷出火山灰 10 余亿吨，影响墨西哥东南部的五个州，使江河、井泉污染，房屋倒塌，村庄被埋于 1 米厚的火山灰之下，被毁咖啡和可可树损失达 5500 万美元。使 15 万人受灾，死亡 100 余人，数百人受伤。

地球上人口密度不断增加，经济日益发展，火山喷发将会造成更大的灾害和损失。

第三节　中国火山

我国境内发现的火山锥约900座，大部分为死火山和休眠状态的火山，活火山并不多，仅有台湾岛上的大屯山、观音山、七星山等近代活火山。再就是青藏高原克里雅河上游的卡尔达西火山群，及西藏地区火山晚期的残留的温泉和间歇泉等。据史载，东北的白头山，曾于1597年和1702年发生过喷发；黑龙江德都县五大连池火山群于公元1702年也喷发过。我国火山活动最新的是1951年5月27日新疆维吾尔自治区南部昆仑山区的火山爆发。

我国近代火山主要分布在：东北和内蒙古东部；晋北和冀北；东南沿海的台湾和雷州半岛、海南岛；滇西的腾冲地区和南疆的昆仑山区。在东北的东部和西北部等地发现32个火山群，系我国火山最多的地区。东部有总体方向呈北东的长白山－老爷岭火山带、长春－佳木斯火山带，系环太平洋火山系统。西部火山主要沿大、小兴安岭分布，系环蒙古高原系统；晋北和冀北的火山群，亦系环蒙古高原系统。晋北有大同火山群，冀北的火山分布在张北－尚义一带。台湾的大屯火山群最为著名，另外在台南和高雄间有很多泥火山。东南沿海的雷琼地区有80多座规模不大的火山。云南腾冲是我国西南著名的火山区，在400平方公里内分布有40座火山，其火山锥、火山口保留较完整。昆仑山火山沿新疆的克里雅河分布。

第四节 火山监测预报及防御

通过对火山活动性的地质及喷发史研究，可以评价火山的潜在危害性。据对火山地球物理和地球化学监测，可以对火山喷发作出预报。尽管有火山活动的国家（美国、意大利、日本、新西兰等）进行了一定的火山预报研究工作，现阶段仍无法准确地做出火山预报。目前，在火山灾害的监测预报方面的主要研究有：

（1）运用考古学的历史方法和地质学、地震学方法，研究火山的活动性，掌握火山的活动规律，如通过对火山物质的年龄测定，分析其火山的喷发史，得出活动周期的间隔时间来实现火山喷发预测。同时，由于爆发型火山对人类的危害性最大，所以要加强对此类火山的研究。

（2）运用地震、微震、地壳运动、重力、地热、火山气体等预测手段，监测地下岩浆的动态，在人口密集的火山地区，进行基准的地球物理监测和地球化学监测，捕捉火山喷发的前兆，尽可能对火山的喷发作出一定预报。如地温的异常升高，地震频繁发生，逸出带硫磺味的气体等往往是反应火山喷发的征兆，根据这一前兆，曾成功地对多次火山爆发作出的预测，即 1975 年 4 月，美国的地质学者根据火山的活动规律及前兆异常推测：在 20 世纪末以前，圣海伦斯火山将重新活动，而且喷发将是很猛烈的，其活动方式将与公元 79 年意大利维苏威火山的爆发相似。1980 年 5 月 18 日圣海伦斯火山的喷发证实了这一预测。

（3）根据火山喷发活动的规律，结合火山地区的地形、环境及社会、经济等状况，预测将要发生火山喷发的碎屑物下落范围、堆积量、火碎流、泥流、熔岩流等流经的区域，以及圈划火山地壳变形、海啸危险区等。对火山喷发潜在危害性进行评价，

其内容有通过研究火山沉积物和过去的喷发历史评定火山的潜在危害性，进而评价火山灾害发生的时期、特点、范围、规模等。

火山灾害的防御方面主要有：

(1) 根据对火山喷发潜在危害评价研究资料，制定必要的避难、防护对策，在事前进行危险区的居民迁移或做好预防工作，特别是在附近的工矿单位应作好一系列防灾减灾准备工作，包括对火山专业人员的技术培训。

(2) 制定火山喷发危害的应急对策，建立健全应急、防护系统，成立火山应急救援队伍，作好应急警报、疏散、应急反应方法和技术的准备工作。

(3) 为了防止火山喷发灾情的扩大，可采用改变熔岩流向，使不断涌出的火山熔岩流入到一个死火山口里的减灾措施。意大利在埃特纳火山进行上述措施并获得成功，1983 年 5 月 14 日凌晨 4 时，意大利政府在埃特纳火山口附近，进行了世界上首次用人工爆破法改变火山熔岩流向的实验，随着爆破的巨响，只见火山熔岩缓慢从爆破口流入人工渠道。

第十一章　水 土 流 失

水土流失是指雨水或地表水不能于山坡消纳，顺坡或沟流泻，冲刷地表松散土体和泥沙，使水分和土壤同时流失的地质现象。泥石流是水土流失最剧烈的表现形式。大量的水土流失会给工矿、交通、水利、农业等基础产业和基础设施造成危害。

第一节　水土流失原因

水土流失除有与泥石流相同的成生条件外，还有以下自然和人为的原因：

一、自然原因

(1) 坡度与坡长是发生径流冲刷的重要影响因素，一般坡度小于 3 度流失不明显；3～5 度轻度面蚀；5～15 度中度面蚀；15～25 度强度面蚀，出现少量切沟；25 度以上水土流失严重。因为，由于山坡面陡峻，水分于山坡的汇流时间短，流速快，渗透量小，相应增大了坡面水流的冲刷能力，造成地表松散物质的搬运、迁移现象。

(2) 母岩及土壤抗蚀、抗冲刷性能是水土流失的另一影响因素。风化花岗岩、泥页岩、粉砂岩等的抗蚀能力最弱，这些岩石分布地区易发生水土流失。另外，在地质构造复杂地区，断裂及节理发育，岩土层破碎松散；滑坡、崩塌、泥石流的山地地质作

用使山坡解体，改变了原土体性质，坚固性被破坏，土质变的疏松，或为土、砂、砾混合堆积体，并降低了土体的保水能力，为山坡水的冲刷—搬运作用提供了有利条件。

(3) 大气降水在水土流失方面起到了以下作用：

①雨滴垂落直接打击引起松散物质沿坡面发生迁移；

②雨滴对地表薄层径流的打击，改变了原来层流的结构，增强了薄层水流的搬运泥沙的能力；

③雨滴的打击，破坏了土壤的结构，使表土分散，为山坡面流水冲刷作用创造了条件；

④雨滴的打击作用，不但能使表土松散，而且使底土压实，使坡面渗流减小，加大了径流，助长了水流的冲刷能力。

因此，降雨越大上述雨滴对表土作用越大，水土流失也就越大。

(4) 坡面土体本身为砂质含量较高、腐殖质含量低的疏松土质，以及为山地残坡积松散层利于水土流失。

(5) 降水过于汇集的地形地貌亦是水土流失的重要原因。如山坡槽、沟等，其流水强度大，增强水的冲刷作用和携带泥沙的能力。

(6) 蒸发量大于降水量的干旱气候利于“风蚀”作用，也可造成水土流失。

二、人为原因

(1) 人类的垦荒造地，大量砍伐原始森林，极大地破坏了原生植被，大为降低了植被的覆盖率，大大减弱了山坡的雨水停留渗透量，加剧了水土流失作用。

(2) 不合理开发土地资源，治水治土措施不力，土地利用不当和耕种技术不合理，引发水土流失。如内蒙古东部农民有对山

坡耕地采用掠夺式的“游农”耕种，即在陡坡地上烧荒种田，二年后地力下降，单产最低时，便弃耕不管，另烧荒开辟新地垦种。这种耕种方式，延缓了地表自然植被的更新期，同时，裸地撂荒，失去植被保护，耕种过的田地表土也变得松散，易遭受“风蚀”和“水蚀”作用，加剧了水土流失。

(3) 人为建筑工程和开采矿藏活动改变了山坡地形，如削坡、掘挖坡脚、加大坡角、以及诱发山体滑坡、崩塌等，为水土流失作用创造了人为的条件。

第二节 水土流失危害

水土流失的后果是山上水土流失、山下遭殃。山上流下的泥沙造成江河、水库、湖泊淤积堵塞，引起调蓄泄洪功能降低，洪涝灾害频频发生，航运、灌溉、水产养殖、河川径流等综合效力减退，造成生态环境的恶化。归纳水土流失有以下主要危害：

(1) 造成土地生产能力下降或丧失。在长江、黄河两水系每年流失的26亿吨泥沙中，含有机肥达2500万吨。如此大量的土壤和土壤中氮、磷、钾肥料的流失，一方面使大量土地资源被蚕食、农用耕地减少；另一方面使土壤本身的保水能力降低、营养物质被带走，造成土地的生产力降低。

(2) 降低调蓄泄洪和灌溉能力、阻塞航运。水土流失淤积河道、湖泊、水库。据有关资料，40多年来洞庭湖减少容积120亿立方米以上，相当每年减少3亿立方米（其中包括人工围垦面积），每年淤积泥沙量约1.3亿～1.6亿立方米，从而降低了有效的分洪蓄洪的能力，使之频繁发生洪涝灾害，自建国以来，曾有36年发生洪灾，1998年遭受了特大洪灾，死亡609人，直接经济损失329亿元。

浙江省境8条水系的河床普遍增高0.2～1.0米，内河航程比60年代减少1000公里，在嵊县城至曹娥江1958年以前，可通行载重10吨的木船，现在由于泥沙淤塞，河床抬高，使河道不能通行而停航。

四川省嘉陵江、涪江、沱江等流域水土流失严重，由此流失的泥沙约有20%以上淤积在水库，从而降低了水库的调蓄水和灌溉能力，加重旱灾，缩短其使用寿命。

另外，湖泊淤积泥沙，不但降低了调蓄功能，而且改变了一些排水河的水位，造成渍涝，使一些土地沼泽化、高产良田变成"溶河田"；甚至有的河段泥沙淤积高度高出堤外地面，形成上悬河，为洪涝灾害的隐患。

(3) 污染水质，破坏生态平衡。

第三节　水土流失灾害实例

我国是世界上水土流失最严重的国家之一。全国水土流失面积约367万平方公里，占我国陆地面积的38.2%，在全国各省、自治区、直辖市均有分布。黄河流域是水土流失较为严重河流之一。黄河上中游地区总面积64万平方公里，水土流失面积就达43万平方公里。这个地区有300个县（旗、市），其中就有138个是水土流失严重县。水土流失加剧了干旱发展，还严重威胁着下游地区的安危，即由于泥沙淤积，使黄河下游的河床高出堤外地面4～10米，形成悬河，如果爆发洪灾，将波及京津和江淮地区，其造成的灾害损失无可估量。

现以黄河流域的水土流失灾害为例，阐述水土流失给国民经济建设带来的危害。水土流失严重地影响黄河经济发展，主要表现在：

(1) 水土流失使矿区遭受淹没之灾，影响着矿山的正常生产。如1989年7月21日，皇甫川和窟野河流域暴发洪水，因弃土弃渣堵塞河道，洪水漫延，使神府－东胜煤田的27处煤矿被水淹没，洪水卷走存煤70万吨，大量机械设备被毁。使矿山创造产值呈负面增长，严重地影响着该地区经济。

(2) 水土流失使公路遭破坏，造成交通重大损失。至1985年底，黄河上中游七省（区）通车公路里程约19.87万公里，70%分布在山区、丘陵和高原地区，许多路段水土流失严重。如山西省保德县，乡村土路平均每年每公里流失土壤780吨，40%的路段3～5年需改线一次。另外，陕北无定河流域，1980～1985年新修、改修公路计1557公里。

(3) 水土流失使土壤有机质和肥力降低，直接影响农业收成。据有关资料，黄土高原每年因水土流失的土壤中有氮、磷、钾养分4000万吨，直接影响着植物的生长和农业收成。如处于丘陵沟壑区，坡地实际产量一般年景为375～450千克/公顷，灾年150～225千克/公顷，甚至颗粒无收。特别是在砒砂岩地区，水土流失使表土冲蚀殆尽，土地几乎丧失生产能力。

(4) 水土流失不断蚕食耕地，使良田逐渐减少。据有关研究资料，1957～1979年宁夏固原县山沟沟头洪积扇向前推进5.32米，每年吞噬耕地333.3～400公顷；甘肃环县西北部毛井、车道两乡，山沟沟头洪积扇向前推进年均量在50m以上的占统计数的40%，年均量100m以上的占25%。1968年一次洪水使毛井乡陈家掌村的山沟沟头洪积扇推进量达500m。

(5) 水土流失使河道淤积堵塞，洪水泛滥成灾。黄土高原的泥沙不断下泄，造成黄河下游河道淤积堵塞，导致洪涝灾害接二连三。据史载，1949年前的2000多年里，黄河决口1500多次，较大的改道26次，三年两决口，百年一改道。

(6) 风沙危害铁路安全，使机车事故时有发生。从兰州到银川的包兰铁路，六次穿越腾格里沙漠，因铁路线上积沙，时常发生机车脱轨事故。如包兰线中卫甘塘段，自通车以来，因沙害发生事故 10 多起，1959 年、1960 年连续二年发生机车脱轨事故三次。

综上所述，防治水土流失是治理黄河的根本，是发展黄河流域地区经济发展的重要环节。

第四节　水土流失灾害对策

我国水土流失的状况日益严重。虽然进行了一些治理，水土流失现象有所控制，水土流失的速率也有所下降，但是，治理赶不上破坏，水土流失的面积仍在扩大。因此，要求我们采取行之有效的措施，制止不合理的开垦、乱砍滥伐植被森林、破坏生态环境平衡等人为活动，从而防治水土流失灾害。通常的防治方法有：

(1) 培育森林资源，加快生态林业工程建设速度。依照《森林法》规定，保护森林资源和山区生态环境。在进行勘察设计、建筑工程、采掘矿藏和进行其他建设时，应当不占用或少占用林地；在森林架设高压电线、通讯线路、旅游索道和铺设管道时，应当少采伐或不采伐林木。

(2) 尊重自然规律，保护天然森林资源。植树造林，提高地表覆盖率，防治水土流失。

(3)造护路林、护岸林及村落防护林。不但可以防风固沙，而且可以起到保持水土的作用。包兰铁路线上的中卫铁路固沙林场在沙坡地段营造铁路防护林，有效地控制了风沙的危害，保证了列车的行车安全。1972～1986 年，节省线路清理沙害费达 280 万

元，取得了可喜的经济效益。

②在梯田埂坎造林种草改善生产条件，保水保土又增收。陕西省韩城市在地埂种经济林木花椒树，提高了田间植被率，而且取得了经济效益，仅1989年就创收2000万元。在田间还可采用引洪漫地、引水拉沙、修建条田埝地和种经济作物等措施防治水土流失。

③在山坡面营造防护林和沟头防护林，防止坡面侵蚀和控制沟口洪积扇头向前推进。

(3) 禁止乱砍滥伐森林，封山育林，还原生态平衡。

(4) 保护地力，选择合理耕种方式和技术。改变耕种方式，合理规划土地，减少坡地水土流失。在土地规划方面尽量做到宜林则林，宜牧则牧，宜农则农。根据山地的具体情况可以按以下几方面规划：

①坡度大于25度的山地，应退耕还林，栽种水土涵养林。

②坡度在15～25度和地表破碎、纹沟、切沟发育者，可退耕种植牧草，以牧养农，以牧补农。

③坡度较缓的可以退耕种植经济作物，以副补农。

(5) 在山坡耕种的田地应实行修筑梯田，等高耕种。

(6) 修建谷坊、池塘、水库等，借以涵蓄水源，减少地表径流，巩固土壤表层。

(7) 为减轻水库区的水土流失和入库的泥沙，可采取在水库上游筑拦泥坝和修固沟保涧的措施。

第十二章　沙　漠　化

气候干燥、降水稀少、蒸发量大、植物贫乏的地区，称之为荒漠。荒漠按组成物质分为沙漠、岩漠、砾漠、泥漠、盐漠等。沙漠仅是荒漠中的一种类型。国内外对“沙漠化”未有统一的概念和定义，1977 年联合国沙漠化大会正式为其定义，之后 1990 年又重新定义为：“沙漠化是干旱半干旱及干燥半湿润地区（干旱地区）不合理人类活动所造成的土地退化。沙漠化是一个空间上广泛分布于干旱地区但不连续的退化过程，它与由卫星数据揭示的、气候波动相关的沙漠边缘植被生产力周期变化现象明显不同”。从以上定义看，指是荒漠化的范畴。为此，为了更能确切表达沙漠化的涵义，国内通过对沙漠化的研究，指出沙漠化为：“在具有一定砂物质基础和干旱大风的动力条件下，由于过度人为活动与资源、环境不协调所产生的一种风沙活动为主要标志的环境退化过程”。综前所述，沙漠化是在干旱多风、地表沙质环境中，由于过度地人为活动致脆弱的生态平衡遭到破坏，出现以风沙活动为主造成土地环境退化的过程。沙漠化是当前世界上重大灾害之一，是生态环境的一个重要问题，是一个突出的地质问题。它的危害性已日益引起人们的关注。

第一节　沙漠化的原因

在没有人类之前，沙漠的演化过程的成生原因是自然因素，

即强烈太阳辐射、干旱、蒸发、高温、低温、大风等。实质上，沙漠化是在气候炎热、温度变化激烈等环境下，岩石物理风化的产物。在沙漠化形成过程中，水分起着核心作用，植被和大风分别起着关键作用和动力作用。水分充沛，植被繁茂，风沙势弱；植被衰败，岩土裸露面积增大，日照蒸发、风吹干燥作用随之加强，岩土内水分大量缺失，为沙漠化的形成提供了沙源。自有人类活动后，沙漠的成因由单纯的自然因素转为自然与人为复合因素，随着人类活动的增强，沙漠成因的因素逐渐转为以人为活动因素为主，自然因素退之次要地位。致沙漠化的人为活动有过度放牧、陡坡耕作、灌溉不当、森林植被砍伐、工业开发等。由此可见，沙漠化是人类违背大自然规律的人为地质作用为主导引起土地沙化、生态环境平衡失调的一种地质灾害。它是一个包括植被退化、水蚀、风蚀、盐渍化与水渍等的复杂过程。

一、过度放牧、开垦，使草场植被破坏，土地沙化

（1）片面追求畜牧业发展速度，导致草场牧场严重超载，加快了沙化进程。据科学资料，每只成羊日食鲜草4千克，全年需1公顷草场，如羊群中的羊按平均日食鲜草3千克计算，每只羊全年也需0.73公顷。下面以内蒙古奈曼旗几苏木为例，朝古台苏木有草牧场3520公顷，而大小牲畜就有14286头（只），每头（只）牲畜占草场约0.25公顷；黄花塔拉苏木有草场708公顷，大小牲畜有13819头（只），每头（只）牲畜仅占0.05公顷，等等。这种超载的畜牧业，导致了草场草退沙进，载畜能力明显下降。许多沙丘原本就草木稀疏，加之牛羊的践踏变成了流动或半流动沙丘。

（2）盲目垦荒，致生态环境不断恶化，使绿洲与沙漠过渡带不断缩小。由于人口不断增加，沙丘上出现了盲目垦荒的现象，

然而，一般沙丘被开垦的头几年的收成较好，当它被风蚀逐渐演化为流动沙丘后，就会被遗弃，新的沙丘又被开垦，这种恶性循环导致了沙漠化的蔓延。如建国后，新疆开垦荒地约 5000 万亩，由于缺水、盐碱化等遗弃大量耕地。据有关资料显示，全新疆弃耕面积约 2300 万亩，仅是垦荒面积的一半。而遗弃的耕地中大部分已沙漠化。由于这种生态环境的恶化，绿洲与沙漠的过渡带受到严重的威胁。据科考资料，许多地方沙丘已伸入到绿洲的防护林内，假如遇到一场大风可使局部沙漠推进 2～3 公里。

（3）滥挖药材，导致草地植被破坏，助长了土地的沙漠化。新疆有丰富的中药资源，如党参、贝母、甘草等。据新疆国土资源调查资料，20 世纪 50 年代全疆有草地 2500 万亩，至 80 年代仅有 1000 万亩。由于挖药失控，使草地遭到破坏，不少土地已开始沙漠化或出现沙丘。再如：内蒙古是产麻黄草野生药材地，近年来，连根铲除的掠夺式采挖，破坏了药材资源的再生能力，使生长麻黄草的草原沙化。

二、河流干枯，湖泊萎缩，地表沙化

由于河流上游无节制地大量用水和人工湖泊的储截，下游流量锐减，甚至断流。这样以来，河流下游湖泊的面积缩小或干涸，如新疆的艾比湖的湖面 30 多年流域面积由 1200 平方公里减到 522 平方公里，干涸的湖周起沙，向荒漠发展。再如：著名的塔里木河，由于上游大量储水、用水，使河道缩短 340 公里，下游的台特马湖已消逝。另外，沿河长数百公里的胡杨林荒毁殆尽，使得河流下游流域内大量起沙。

三、乱砍滥伐，森林、灌木林被毁，促使沙漠化加剧

据有关资料，准噶尔盆地在 50 年代有灌木林约1.125 亿亩，

20世纪80年代仅剩下3559万亩，减少68%；塔里木盆地在20世纪50年代有胡杨林约793万亩，70年代末仅剩下346万亩，减少56%。再如：内蒙古奈曼旗蒙古族原来做饭、熬茶、取暖的燃料是木炭、树枝或较坚硬的植物干茎。几十年来，烧掉了覆盖沙丘的榆、杏、柳等原始的高低乔木，草场的灌木林不见了。山林和草场天然植被的破坏，使岩土体裸露，利于物理风化，于是出现了森林萎缩，沙漠推进等不协调的生态环境。

第二节 沙漠化危害

沙漠化是影响世界干旱地区社会经济发展与生态平衡的重大灾害。沙漠化直接影响着灌溉土地与旱作土地农作物的产量、草原鲜草量与植被的覆盖率、林木产出水平、可用水资源量等的降低和减少，造成极大的灾难。

联合国环境规划署对沙漠化的后果进行了总结，现归纳如下：

一、对社会经济方面的危害

(1) 沙漠化是造成世界可生产性土地资源减少的主要原因，由此降低了世界供养人口的能力。

(2) 沙漠化增加了受影响地区的经济不稳定性和政治骚乱，尤其加剧了贫乏土地资源占有的纷争。

(3) 沙漠化造成的食物缺乏与由此而引起的大量难民，使得沙漠化影响以外地区受到物资援助与接纳难民流的影响，对其加大了社会经济稳定性的压力。

(4) 沙漠化灾害极大地限制着沙漠化地区和国家，乃至全世界的持续发展。

(5) 沙漠化直接影响着人身，特别是儿童的身体健康与营养状况。

二、对环境方面的危害

(1) 沙漠化在环境污染、土壤流失等世界环境退化中起着日益重要的因素。

(2) 沙漠化导致世界生物多样性的严重损失，特别是沙漠化地区是世界主要农作物（如小麦、玉米等）的发源地。

(3) 沙漠化增大了世界生物量和生物生产减少与地表腐殖土壤的损耗，往往破坏了正常的地球生物化学循环。

(4) 沙漠化增加了日照的地表反射率，成为引起世界气候变化的重要原因之一。

目前，荒漠化已涉及六大洲的 100 多个国家，其中沙漠化灾害涉及的国家有 89 个，荒漠化土地面积达 3600 万平方公里，并以 5~7 平方公里/年的速率扩展。全球因沙漠化灾害造成的直接经济损失达 263 亿美元/年，其中灌溉土地、旱作土地与草地受沙漠化灾害影响造成的经济损失分别为 66 亿美元/年、123 亿美元/年和 74 亿美元/年。据估计，沙漠化灾害直接和间接的总损失达 12100 亿美元/年。1992 年在巴西召开了联合国环境与发展大会，将防治沙漠化列入国际社会优先采取行动的领域。1994 年 10 月，包括中国在内的 112 个国家的代表在巴黎签署了《国际防治荒漠化公约》，一个世界性防治荒漠化的行动正在全球展开。

我国是世界上荒漠化面积较大的国家之一，全国荒漠化土地为262.2 万平方公里，占国土面积的27.3 %，沙漠化每年以 2460 平方公里的速率扩展，沙漠化总面积已超过 100 万平方公里，多于可耕土地面积。另外，沙漠边缘的土地、草场仍在继续沙化。

每年国家因荒漠化损失的粮食 30 多亿公斤，少养牲畜 5000 万头(只)。

(1) 吞没良田。沙漠化土地面积不断扩大，可利用的农田、草场等土地面积锐减。据统计，20 世纪 50 年代至 80 年代中期我国由于沙漠化损失土地速率为18.3 万公顷/年。

(2) 在沙漠化过程中，土壤遭受风蚀作用，使土地面表粗化、砾石化，土壤中的有机质和养分大量吹失，引起土壤的肥力不足。据统计，我国各类沙漠化土地损失有机质、氮、磷量达 5590.68 万吨/年。

(3) 沙漠化可引起地力衰退，生产量下降，直接影响农牧业生产的持续发展。在我国北方地区，由于沙漠化影响，农田生产量普遍下降 75% ~ 80%。沙漠化不但造成草场牧草种类的减少、覆盖率降低，而且引起产草量的下降，大部分草场产草量下降 30% ~ 40%。

(4) 沙漠化灾害还可毁坏设施和建设工程。据不完全统计，建国以来，内蒙古伊克昭盟的南部乡村，流沙埋压房屋 2200 余间，约 700 户村民被迫搬迁；沙漠化地区铁路、公路常常被沙掩埋，酿成事故或中断行车等；风沙侵入河流、湖泊和水库等造成沙土的淤积，损坏水利工程设施，使水利工程不能正常发挥其效力。

(5) 使生态失调、气候干燥、降水减少，形成沙暴，污染空气等。在沙漠化过程中产生的沙尘，在风力作用下将扬起污染空气，并扩散到沙漠化以外的地区，造成严重的环境污染，从而危害人身健康。

以新疆准噶尔盆地内的艾比湖地区沙漠化灾害为例。艾比湖形成于第四纪高山冰雪融丰沛时期，是准噶尔盆地西部最低的集水中心，水源来自奎屯河、四棵树河、古尔图河、精河、阿恰勒

河、大河沿子河、博尔塔拉河等河流。由于人们在艾比湖周围和河流流域大量垦荒、砍伐林木，植被被破坏殆尽（表 12－1）；加之过量索取地表水，使引起生态环境日趋恶化。水源河有三条（奎屯河、四棵树河、古尔图河）部分断流，二条（精河、阿恰勒河）仅只有少量流水，艾比湖湖面急剧缩小（表 12－2）。艾比湖及其流域的沙漠化面积已达3.8 万公顷，正以每年39.8 平方公里的速率扩展。沙漠化的恶性循环给人们带来了风沙灾害，1999 年 4 月 22 日，新疆博尔塔拉蒙古自治州阿拉山口、精河县出现风速 25 米/秒的 8 至 9 级大风，沙尘随大风卷起形成沙尘暴，最大可见度为 100 米。据监测，悬浮颗粒物浓度（TSP）均值超标9.6倍。艾比湖的沙漠化造成严重的危害，具体表现有：

表 12－1　艾比湖盆地植被覆盖情况表(单位:万公顷)

时　期	梭梭林	胡杨林	芦　苇	草甸草场	荒漠次生林
20 世纪 50 年代	6.6	3.8	4.6	12	
20 世纪末期	2.8(精河境内)		0.26		4

（1）掩埋铁轨，堵塞桥涵，腐蚀电气设施，影响铁路正常行车。在长148.5 公里的阿拉山口至古尔图的铁道上，有63.4 公里沙害地段；在沙泉站工区的19.5 公里铁路两侧有 12.8 公里平沙地，4.5 公里沙害严重地段，仅 1966 年因风沙流堆积严重，中断行车 30 多次。随风卷起的碱土落在电线、信号机灯土，长期腐蚀造成短路，引起停电影响接发车，仅 1999 年 3 月至 5 月影响接发车 108 次，耽误行车 216 余小时（平均累计值）。为保障火车的安全和正常行车，已投入 1000 余万元治理经费。

表 12－2 准噶尔盆地内艾比湖变迁情况表

时 期	水域面积/平方公里	湖面减小速率/（平方公里/年）	蓄水量/亿立方米	矿化度/（克/升）	湖面高度/米
中更新世	3000	0．03	大于 700		280
晚更新世至建国前	1200		30	700 以下	
20 世纪 50～70 年代	520	22．6		87～100	
20 世纪 80 年代以来	500		7	100～115	189

（2）吞噬良田，填埋水渠，严重阻碍农场经济建设持续发展。由于风沙危害，使农五师三个团场的土壤沙化、盐渍化，良田被吞噬，水利工程被破坏，每年造成的直接经济损失达 1000 余万元。20 世纪 80 年代至本世纪末期，该师 82 团 4000 多亩良田被沙丘吞噬，20 多公里排水、进水渠道被积沙填平。

（3）浮沙尘天气严重危害人们生产和身体健康。由于艾比湖的干缩和周围沙漠化面积的增大，导致了浮沙尘天气由 20 世纪 60 年代年平均0.4 天上升到 20 世纪 90 年代的44.7 天。在精河县城每平方公里年降尘量达288.64 吨。降尘不但掩埋作物和牧草，而且影响地膜透光度（透光度降低 30%），引起作物减产、引起牲畜腹泻、羔羊死亡。另外，浮沙尘天气，浊尘笼罩，居民关门闭户，也难免盐尘污染引起胃病、皮肤病、眼病增多，严重影响着人们的身体健康。

1949～1977 年间，内蒙古鄂托克旗因流沙掩埋水井 1438 眼，埋压 2203 间房屋和 3312 间棚圈，698 户居民被迫搬迁。1993 年 5 月 5 日特大沙暴，4 个省区 72 个县旗的 40 万平方公里范围内，

造成 85 人死亡，264 人受伤，31 人失踪；12 万头（只）牲畜死亡或丢失，毁坏 4412 间房屋，直接经济损失达7.25 亿元。

从上述实例说明，沙漠化已对人民的生存构成了严重的威胁，阻碍着国民经济的持续发展。

第三节　沙漠化防治对策

党中央、国务院十分重视荒漠的治理。江泽民总书记 1997 年做出了“植树种草，治理荒漠”，“建设山川秀美的西北地区”的重要批示。我国防治荒漠化的目标是：到 2010 年基本遏制沙化土地和其它类型荒漠化土地扩展的趋势，荒漠化地区生态环境得到一定改善，完成治理开发面积2473.7 万公顷，林草覆盖率增加2.5 个百分点。为了加快防治荒漠化进程，要求做好以下工作：

(1) 制定和执行有关法律、法规，实行依法防治荒漠化。抓紧制定防治荒漠化专项立法，尽快将防治荒漠化纳入法制轨道。

(2) 制定和完善相关政策，充分调动各方面防治荒漠化的积极性。

(3) 走依靠科技防治荒漠化的道路，提高防治荒漠化科技水平。

(4) 把防治荒漠化与沙区经济发展结合起来。

向沙漠要耕地、要粮棉油、要肉蛋奶，就必须控制沙漠化的发展，才能达到开发沙漠的目的。我国治沙的主要技术方法有：

(1) 设置沙障治沙。即因地制宜用树林枝条、农作物秸秆、粘土（可取沙丘下粘土）等，在流动沙丘和半流动沙丘上设置连片方格状沙障固定流沙，使沙丘表面变得粗糙不平，以便阻挡风沙侵害，然后在方格内植树种草，以达固沙又改变沙漠的目的。

(2) 在沙漠上植树种草，选择固沙性能好、耐旱的树种——沙生灌林。如低矮型杨树，该树枝叶繁多，是挡风固沙的好树木；还可种金基尔之类的草本植物。

(3) 引水拉沙治沙。即利用沙区内的河流、湖泊和水库的水，自流引水或机械抽水，冲拉沙丘，把沙丘挟带到人们所需要的位置。

(4) 以草定畜。根据不同类型划场的产草状况，在保障恢复牧草生产能力的前提下，限制草场的数量和可能打草数量，规定合理的载畜量和存栏数，以恢复沙漠草场的覆盖面。

(5) 制止乱垦荒，并有计划地退耕还牧。

第十三章　煤矿地质灾害

人类在向大自然索取的同时，往往破坏了自身生存的地质环境而引起灾害。矿山是对地表地质环境影响最大的产业。特别是近年来，地方小窑的盛兴和乱采乱挖，地质环境日趋恶化。科学地掌握此类灾害的发生、发展规律，预测灾害趋势，采取有效的科学减灾对策，日益引起人们的重视。

矿山地质灾害主要有地震、滑坡、塌陷、地面沉降和煤与瓦斯突出等（图 13－1），严重地危及着矿山的正常生产。矿山地质灾害以煤矿区最为突出。

第一节　煤矿地震（矿震）

煤矿矿震是矿震类型中最多的一种，所造成的损失亦相当严重。据不完全统计，我国已有北京门头沟、吉林辽源、贵州化处、山西大同等煤矿和辽宁北票、山东陶枣、湖南涟邵（涟源－邵阳）等煤田 55 余座煤矿发生矿震或具备发生地震的潜在危险。为此，引起了地震和煤炭系统研究工作者的关注，并致力于煤矿矿震的研究。多年来，中国地震局和山西、陕西、辽宁、河南等省地震局与煤炭部门的有关研究机构、矿务局，对煤矿安全开采和减灾等方面进行了全面研究，取得了一批重要成果和良好的社会经济效益。

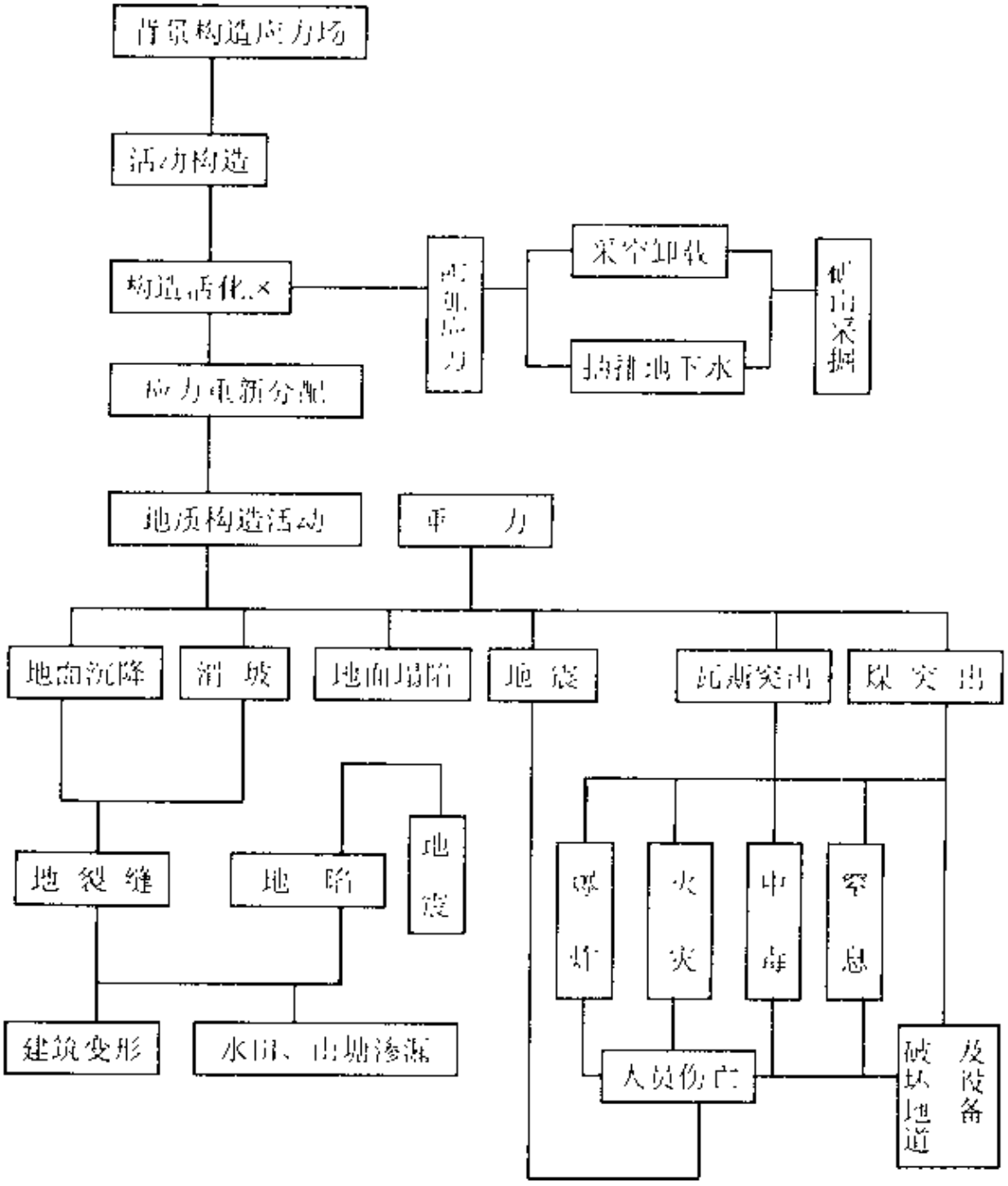

图 13 - 1　煤矿地质灾害链框图

一、煤矿矿震特征及灾害

煤矿矿震在各类诱发地震中危害性最大，它直接关系到矿山的安全和劳动生产率问题。概括煤矿矿震特征及成灾原因有：

(1) 煤矿矿震具震源浅，又处于矿山这种特殊条件下，地面上的建筑物会遭到损失，井下设施也会受到严重破坏，还会引起人员伤亡和惊恐。如 1977～1991 年间，山东省陶庄煤矿发生破坏性矿震 180 余次，摧毁巷道 3000 余米，伤亡 90 人。

(2) 煤矿矿震通常震级小（最大矿震为北京门头沟 1991 年 8 月 16 日4.3 级，一般矿震震级为 2～3 级左右），波及范围不大，但它造成灾害往往比较严重。如 1977 年 4 月 28 日辽宁省北票煤田3.8 级矿震，造成 113 间民房受损，几十家烟囱扭裂或倒塌，有 12 人受伤，其中 2 人重伤；再如 1991 年 12 月 28 日湖南省洞口县石下江煤矿1.6 级矿震，震落俱乐部墙面玛赛克，井巷掉落夹石。

(3) 煤矿矿震破坏程度随井巷深度而增加（表 13－1）。

表 13－1　辽宁省北票煤田3.8 级地震井巷破坏情况表

巷道深度	－400 米	－475 米	－550 米	－625 米
震害现象	料石墙变形，出现阶梯状裂缝	少量岩块冒落	矿车运输钢轨扭曲成“S”状	顶部冒落大量岩块，压风管和直径 6 厘米的水管被扭断

(4) 煤矿矿震往往引起矿区断层“复活”，矿震的发生又与开采有关，所以开采区边界断层部位比正常区破坏严重，远离开采层底砾岩层比距开采层较近的岩层开采区破坏严重，井巷工程位于岩层界面或其它较弱的介面比同一岩层破坏严重。如 1981

年8月22日辽宁省北票矿务局台吉煤矿3.3级矿震，井下－580m处，断层上盘向北、向上移动，造成轨道扭曲。

(5) 随着煤矿矿震的发生，矿区的塌陷和岩爆、岩炮、岩石突出等矿山压力现象增多、程度增大。如1986年5月7日，亚拉巴马州塔斯卡洛萨发生一次3.6级矿震，同时长壁煤矿中伴生岩爆和顶部塌陷。

(6) 煤矿矿震时，在强大的地应力作用下，岩层或煤层突然脱离母体向采空区闪射，同时产生强大的气流，引起井巷的破坏和人员伤亡。如1982年1月7日山东陶庄煤矿2.7级矿震，当时震中处井下工作面18名工人全被冲击波击倒。

二、煤矿矿震成生环境

煤矿矿震的发生依赖于特定的环境背景。据我国煤矿矿震的研究，概括成生相关的内外环境主要有：

1. 脆硬—软地层结构是煤矿矿震发生的内在介质力学环境

已发生地震煤矿地层多为古生代石炭纪—中生代侏罗纪的碳酸盐岩、碎屑岩沉积，均为砂岩、泥岩、灰岩及硅质岩层间夹煤层，自下而上为脆硬—软（煤）—脆硬介质力学性质的地层结构。这种结构的抗剪、抗压、抗冲击及抗溶蚀能力的差异性较大。较之单纯的岩浆岩、变质岩和碳酸盐岩、碎屑岩对外力敏感性和抵抗性均较脆弱，利于在强大水平应力作用下形成层间虚脱。这可能就是煤矿易于发生矿震的内在因素。

2. 褶皱是煤矿矿震孕育、发展，弹性能积累的构造环境

煤田大都处于褶皱构造之中，如山西大同煤矿处在大同向斜，湖南娄底和邵阳发生地震煤矿处在桥头河、恩口、斗笠山、牛马司、短陂桥等向斜构造。众所周知，褶皱是在水平挤压应力作用下的产物，当地壳内某一方向的应力减弱，可能造成物质的

弹性恢复运动，特别是在具旋扭力学性质的褶皱地区。譬如湘中南地区发生矿震的娄底煤田、短陂桥煤田的煤矿处于“S”型旋扭向斜构造之上，该构造两端深部积累了相当高的弹性能，若岩石在不断地变化过程中，由于某种原因导致应力减弱时，局部地段就可能出现弹性恢复现象，发生方向相反的回弹旋扭运动，以致湘中南地区煤矿矿震频繁发生。另外，值得指出的是，在向斜轴部、顶部随深度的增加弹性能蓄积就越大。这可能是煤矿矿震随开采深度而加剧的原因。

3. 活动构造引起的“活化区”是煤矿矿震产生的动力环境

发生煤矿矿震的山东省陶枣煤田处于郯庐深大活动性断裂带西侧；辽宁北票煤田存在挽近活动的龙潭、塔营子、尖山子、南天门等断裂；湘中南地区煤田（娄底、邵阳煤田及宁乡煤炭坝煤矿等）处在斜贯湖南省境的崇阳—宁乡—新宁活动断裂带旁侧（图 13－2）；等等。活动断裂的存在为煤矿矿震的孕育、发展提供了内在动力环境。

4. 地下水丰富和雨量充足是煤矿矿震发生的外界诱发因子

湖南省娄底煤田矿震 78% 发生在降雨量多的一、二季度；辽宁省北票煤田矿震 80% 以上发生在春季多雨时节。说明地表径流渗透矿区地下水与矿区开采的大量抽排水疏干，造成地下水位的突降突升，致使岩体内应力的突减突增，使活动断裂所受附加应力发生突变，大量抽排水造成开采层急剧减压及矿区碳酸盐岩中溶洞顶板及矿柱突然失去浮托力，从而诱发塌陷或构造活动的矿震。

5. 煤矿采掘卸载是诱发煤矿矿震的外界动力因子

通常煤矿区地壳深部围压处于均衡的应力状态，煤矿大量采掘形成采空区，地表对深部的载荷随之降低，必然使地壳内部所承受的竖直应力降低。此时，四周水平应力作用趁势加强，地壳

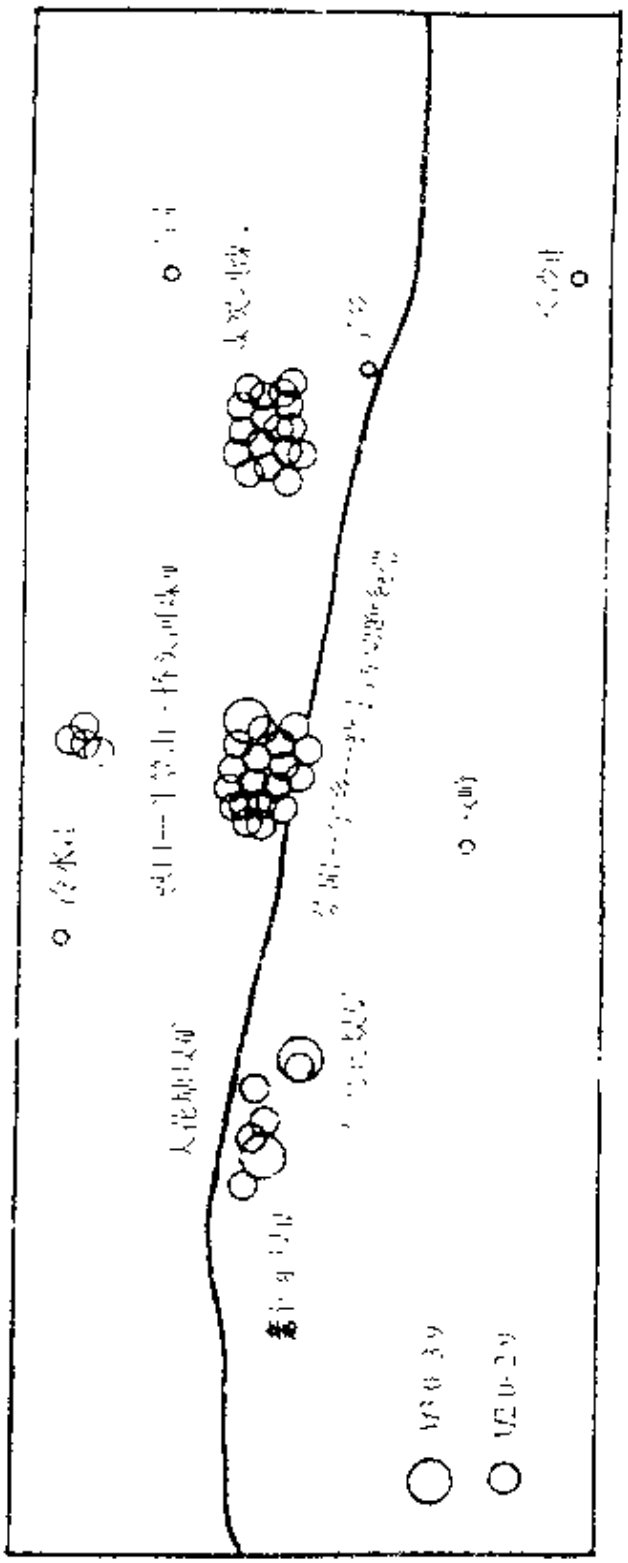

图 13－2　湖南省煤矿地震分布图

深部不连续面的地层层面或断裂面就会出现上下部脱离的岩层运动和断裂活动，利于孕育塌陷矿震和断裂瞬间倾滑激烈活动。

三、煤矿矿震类型及成因机理

从力学观点看，任何系统都存在于保持平衡的环境中，无论是内在动态、静态环境的改变，还是自然、人为的外界动力因子的作用，只要促其失稳的力度大于系统自身调整能力时，系统就会由一个平衡状态跃变到新的平衡状态。有鉴于此，煤矿区的采掘工程引起的附加应力会出现以下地震效应：当矿山顶板的重力或应力大于支撑力时，便会引起顶板整体或局部崩落的顶板冒落型矿震；如果顶板与地表“粘结”牢固，顶板在重力或应力作用下而积累的能量不能冒落释放时，只有通过自身调节——开裂变形来释放积蓄的顶板开裂型矿震；顶板不能以冒落和开裂形式释放能量，而附近又处于顶板和底板间的煤柱时，煤柱就会成为能量快速转移和积累的场所，进而引起煤柱断裂造成矿柱冲击型矿震；大量抽排地下水，矿区水位下降，流速加快，潜伏浅部的溶洞内的支撑力减弱，造成溶洞、矿洞塌陷型矿震；采掘卸载和抽排地下水诱发断裂构造瞬间“复活”引起构造矿震及上述矿震效应复合型，等等。从煤矿矿震类型看，除构造矿震的震级大、震源深（一般在1～8公里）外，其它类型矿震的震级都较小而震源浅，破坏力亦不及构造矿震。

综合发生地震煤矿的环境条件、煤矿矿震类型分析，得出以下煤矿矿震成因机制（图13－3）：地壳深部始终存在应力传递的“静态”应变调整运动，地壳内部每一质点都处在围压均衡状态，而在受活动构造牵动影响的“活化区”内，于褶皱轴部、顶部及构造扭曲面、拐点、复合点等特殊部位积累了相当大的弹性初始应力和应变能，加之，煤系地层对外力的敏感响应力和抵抗性

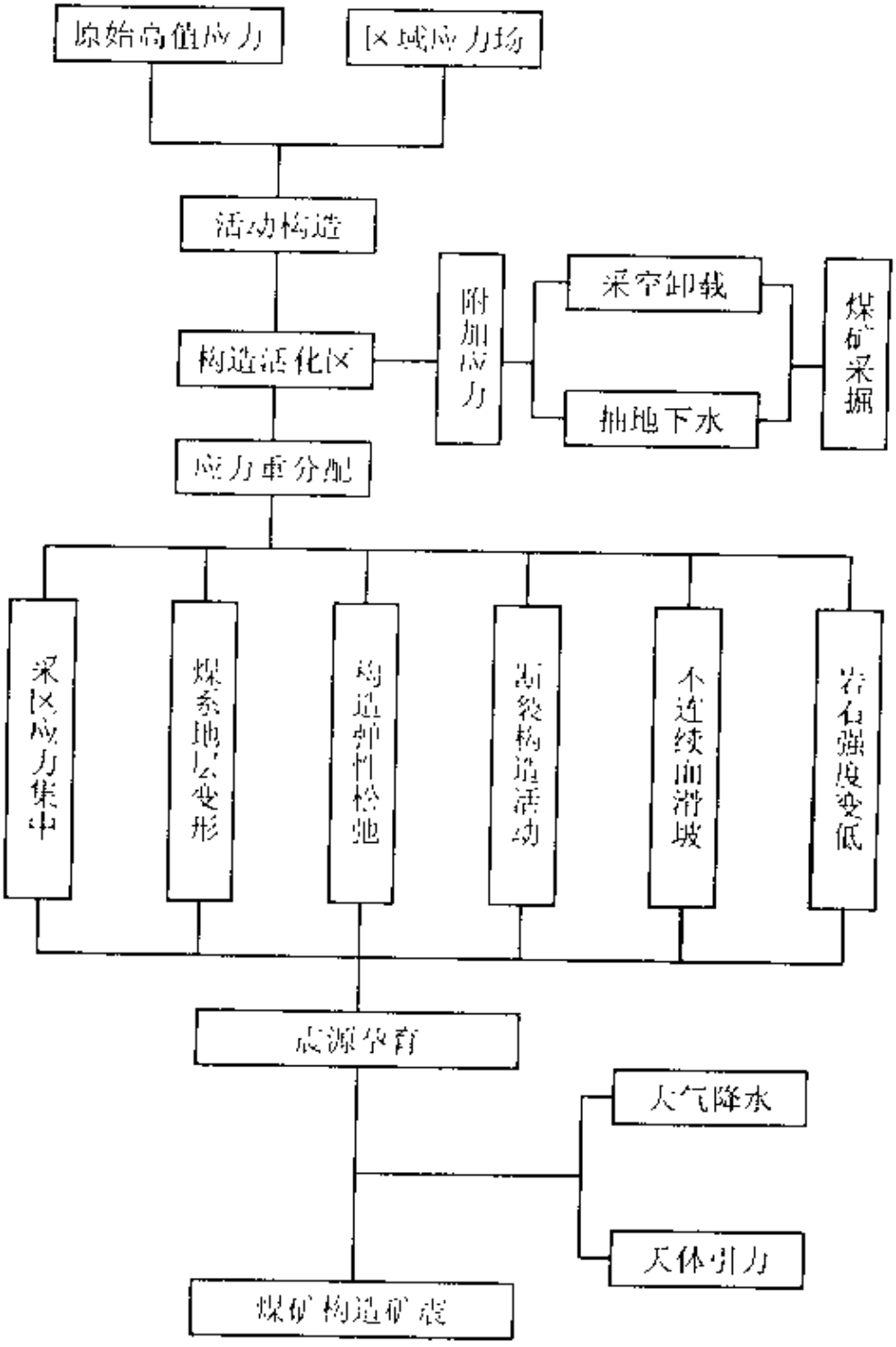

图 13－3 煤矿区构造矿震机理框图

脆弱的特性，煤矿区采掘的“卸载”附加应力作用使地壳内竖直应力降低，四周水平应力作用相对加强，此时，地壳深部不连续面出现虚脱现象，即深部隆起造成上下部的脱离，那些容易“复活”的能动地质构造进入应力积累状态，随着“卸载”附加应力逐渐增大，能动地质构造薄弱面上的岩石强度、摩擦力强度和粘滑度相应降低，特别是采掘工程不断向下深入，越来越接近能动构造的“闭锁”（障碍体）应力积累部位和地壳中实际竖直压力小于理论静压力的部位，以致诱发作用相应增大，当震源处于临界状态时，就引起了地质构造薄弱面局部瞬间激烈运动或构造塌陷释放应力、应变的地震效应。

第二节　煤矿滑坡

在煤矿开发建设的过程中，矿区存在不合理的人类工程活动，即削坡、修路、堆矸和开采等破坏了矿区的生态环境和山坡体的原始平衡，诱发了滑坡、崩塌和泥石流的发生。据不完全统计，我国煤炭行业每年用于此类灾害的治理费约 2000 万元以上，而这些灾害造成的经济损失上亿元。如 1994 年 1～7 月，全国有 12 座重点煤矿由于滑坡、崩塌造成设施损坏，经济损失 4900 万元。

在不稳定的山体深部进行采掘，易诱发边坡滑落或老滑坡再度活动。如位于湖南冷水江市城西南约1.5 公里处，资江煤矿在资水北西岸浪石滩深部采掘，1987 年以来，浪石滩之上的侯家岭山体向南东（资水河床）缓慢运动。同时，伴生地陷裂形变，截止 1997 年，滑坡后缘形成一条长约 2000 米，宽 5～100 米，可见深度 5～12 米的大规模地陷裂带；严重地危及着冷水江市的安全、群众的正常生产和生活，对数家大中型厂矿、湘黔铁路构成威胁；再如湖南新宁县社教煤矿采掘引起白羊山老滑坡体局部复活，出现

斜贯水田、山塘，长约 150 米，宽 3 米的地裂带，造成80.15 亩耕地、14 户 7 栋民房（计 88 间）不同程度受损，20 口小型山塘严重渗漏无法蓄水，11 口饮水井水源减少或干枯等灾情。

第三节 煤矿地面沉降及塌陷

地面塌陷是煤矿普遍发生的一种因开采引起的地质灾害，是制约矿区发展与生产的主要因素。据不完全统计，我国国营煤矿至 1995 年底，因开采引起塌陷土地面积约 35 万公顷，开采万吨煤就有0.2 公顷土地塌陷。仅 1993 年煤矿塌陷土地面积 2 万公顷，直接经济损失约 20 亿元。土地的塌陷造成东部平原煤矿积水、受淹和盐渍化，破坏耕地，增加了西部水土流失和沙漠化，同时，还诱发了山体的滑坡、崩塌、泥石流等灾害。特别值得指出的是，乡镇煤矿多开采浅部煤层，地表容易引起漏斗状的塌陷，它对土地资源和环境的破坏性更为突出。每年我国东部矿区，因开采塌陷灾害而搬迁 10 个村庄，仅此一项国家每年征占耕地约 1500 公顷，其经济损失巨大。

同时，在煤矿的开采过程中，地下开采工程破坏了采空区围岩的初始应力场，使采空区的岩石发生破碎、冒落乃至地表发生位移。然而，矿山塌陷是波及岩层结构、构造、岩性、成生等因素的复杂过程。目前，解释矿山塌陷的流行假说有：

（1）1907 年俄罗斯M.M.普罗托吉亚科夫提出的拱形冒落论，1928 年德国的哈元和吉列策尔提出的压力假说。拱形冒落论和压力拱假说认为：在采掘时，地下岩层中形成了空洞，引起上覆岩层支撑力和下伏岩层所受垂向压力的削减，在顶板和底板形成了压力拱，于是造成巷道顶板岩层的破坏和冒落。

（2）德国的舒尔茨和施托克提出了悬臂梁（板）冒落论，认

为：可将工作面和采空区的顶板看作梁式板，当悬臂梁或板的悬伸长度很大时，便发生周期性的折断和冒压。冒落的岩块可自然碎胀充填采空区，因此限制了顶板冒落（冒落岩块碎胀充填论）的发展（图 13－4（a））。

（3）俄罗斯的库兹涅佐夫提出冒落岩块铰结论，认为工作面上覆岩层塌落时，上部规则移动带的岩块铰合成多环节的铰链式相互联系，采空区上方表现为规则下沉。上覆岩层下部可由底部无规则的垮落和向上逐渐规则的不规则垮落带（图 13－4（b））。

（4）我国学者在冒落岩块铰结论的基础上，提出了砌体梁平衡说。认为工作面区主要受到断裂带的影响。然而，断裂带破断的岩块形成了平衡结构的如同砖石砌体——砌体梁，当开采后，上覆断裂带岩层分为矿壁支撑区、离层区和重新支撑区，每层的结构是靠破断岩块间水平挤压力引起的摩擦力保持平衡（图 13－4（c））。

除上述流行的假说机理造成矿山塌陷外，采空区不断扩展和大量抽排地下水，造成采空区和影响区的地下水重新分布、水力坡加大，形成大面积的降落漏斗，亦可引起地表的沉陷。

湖南省洞口县石下江煤矿出现沉幅达 10 余米的沉陷坑；湖南省邵阳市牛马司、短陂桥煤田区内，由于采掘引起地面不均匀沉降，使水田无法排水、房屋墙体开裂、地基塌落陷洞。另外，在岩溶水发育地区的煤矿则造成大面积塌陷，如湖南省娄底市恩口煤矿区开采－150 米水平，最大涌水量 8473 立方米/小时，地面塌陷面积 25 平方公里，塌坑 6000 多个。近年，在国营煤矿区，涌现出密布的小煤窑，特别是回采“保安煤柱”矿区，这种地面沉降运动更为明显和突出，其后果是：①加重了煤矿地质灾害的灾度；②出现了采掘影响叠加区，使采掘赔偿问题复杂化，以致酿成矛盾和纠纷。

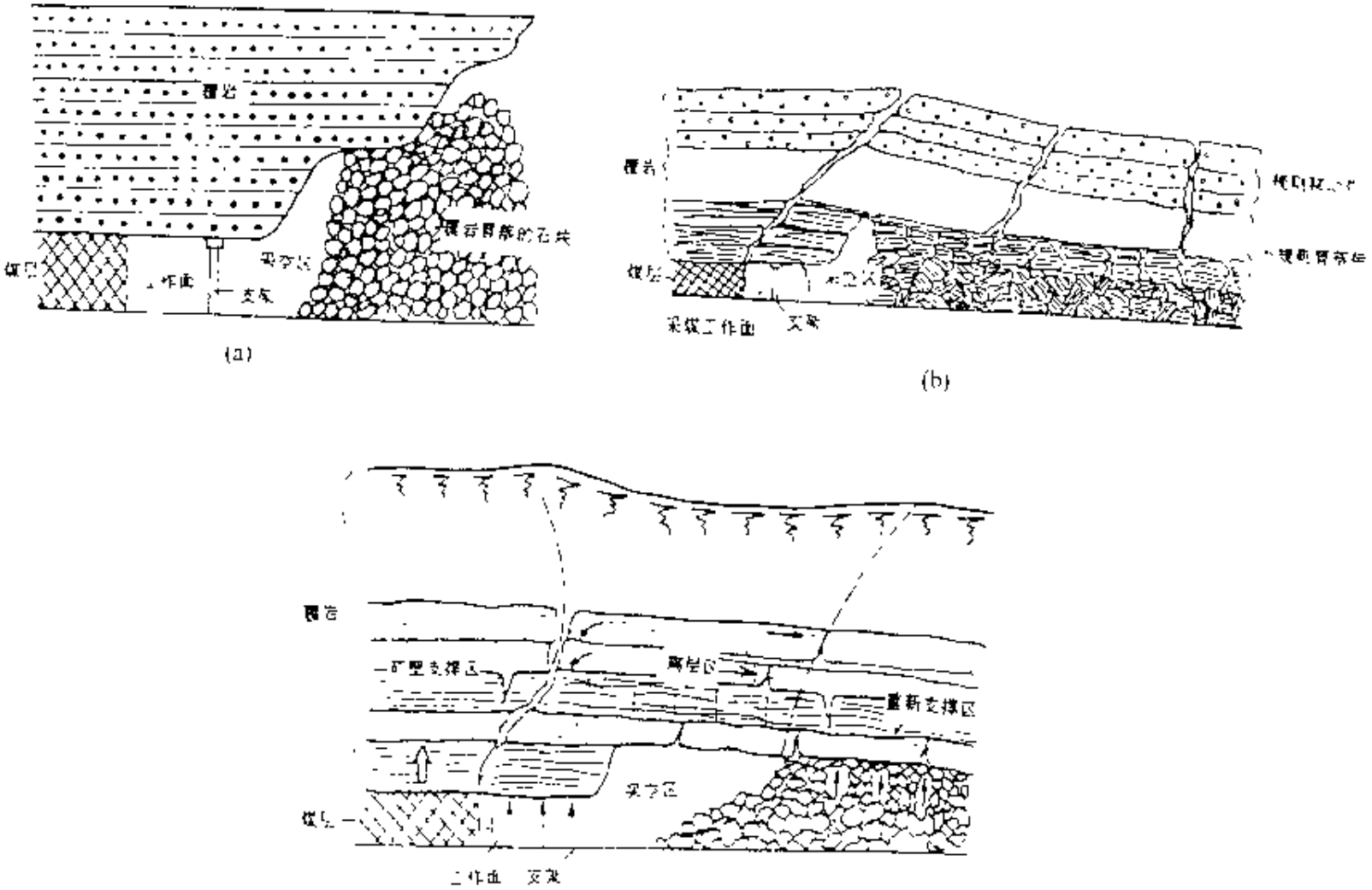

图 13－4　矿山塌陷机理图

采掘造成的滑坡、地面沉降、塌陷及地质构造活动皆伴有地裂缝，其中滑坡、地面沉降、塌陷等形成的地裂缝前面已叙述，下面就诱发地表地质构造活动造成的地裂缝灾害分析如下：

大规模开采引起共轭断裂的表层活动形成地裂缝。湖南省武冈市龙坪煤矿区，在国营煤矿正常采掘的基础上，1983～1988 年突增大小不等煤窑 141 个，而这些煤窑开采距地表 20 米左右的第一煤层，大规模的浅层采掘活动诱发了一组北西 60 度和一组北东 30 度的共轭断裂或节理蠕动，出现了与其相对应的地裂缝，导致民房开裂、顶梁柱东倒西歪、支柱倾斜和水田干枯或田坎陷落受损。特别是其内的胜利小学师生在地下炮声隆隆，墙体开裂的危房中上课，为了保障师生安全和良好教学环境，学校被迫迁址。

采掘引起岩层倾滑、触动走向断裂活动形成地裂缝。湖南省邵阳市短陂桥煤田的肖家冲煤矿三工区，自 1990 年开采以来，引起沿煤层走向地面不均匀沉降，这种沉降诱发了区内走向断裂（F5）活化，造成长达 300 米，宽 10 米，垂向位移 20 厘米的地裂缝带，使沿线田土高低不平、水塘渗漏、溢冒瓦斯气体，严重危及村民正常生产和生活。

第四节　煤和瓦斯突出

煤和瓦斯突出是煤体中突然喷出大量的瓦斯和粉碎煤的现象。它可摧毁井巷，掀翻矿车和引起火灾、爆炸等灾害，是煤矿主要灾害之一。

一、煤与瓦斯突出成因

关于煤与瓦斯的成因还未形成完整的理论来解释它，仅有一些假说解释这种现象，主要有：

（1）瓦斯为主导作用的假说有："瓦斯包"、突出波、裂缝堵塞、闭合孔隙、瓦斯膨胀、卸压瓦斯、火山瓦斯、瓦斯粉煤、地质破碎带、瓦斯解吸等假说。

（2）地压为主导作用的假说有：岩石变形潜能、集中应力、塑性变形、振动波动、应力叠加、放炮突出、顶板位移不均匀等假说。

（3）化学作用假说有：瓦斯水化物、"爆炸的煤"、"重煤"、地球化学、硝基化合物等假说。

（4）综合性假说有：能量、应力分布不均匀、破坏区、动力效应、游离瓦斯压力等假说。

无论哪种假说都不能圆满地解释煤与瓦斯的突出机理。但是，可以归纳其机理为：瓦斯是植物遗体成煤过程中，由于生物化学和物理化学作用转变而成的伴生物。其主要成分为甲烷（CH_4）、重烃（C_2H_6、C_3H_8、C_4H_{10}、C_5H_{12}）、二氧化碳（CO_2）、氢气（H_2）等的一种混合气体，它可以在储气封闭系统中，以吸附或游离状态赋存于煤层的孔隙、裂隙、缝隙之中，其煤体中具有很高的内能，即高值的地应力和瓦斯压力，当地应力作局部平衡调整时，储气封闭系统遭到破坏，使蓄积的气体外溢释放。喷出瓦斯携带煤，在自然和人为的某种作用下，亦可造成煤与瓦斯突出。

二、煤与瓦斯突出特征及分类

1. 煤与瓦斯突出特征

（1）随深度增加，煤与瓦斯突出的危险性随之增加。煤突出危险性随软分层厚度增加而增加。

（2）煤与瓦斯常发生在压扭性断裂带、向斜轴部和煤层扭转、煤层产状突变、煤层厚度突变等地区。

（3）煤与瓦斯突出都在煤层中留下椭球形或梨形等喷出空

洞，喷孔一般在巷道的上方及上隅角（也有在巷道下隅角的）。煤被抛出距离取决于突出的强度，另外，被喷出的煤具有较好的分选性，即靠近突出喷出孔和巷道下部为块煤，其次为碎煤，离突出空洞较远处和巷道顶部为粉煤。

(4) 煤与瓦斯突出均有前兆，即：地声（如劈裂、煤炮、闷雷般声响）和煤体变软、变暗，煤层层理紊乱、支架压力增大、落煤掉渣、煤面外鼓、瓦斯从钻孔涌出、打钻时有顶钻或夹钻现象等。

2. 煤与瓦斯突出分类

据煤与瓦斯突出的空洞形态及位置、喷出煤或岩石粒度及分选性和抛出距离及堆积坡度、喷出的煤量及岩石量、喷出瓦斯量及瓦斯流方向等，可将煤与瓦斯突出分为以下几类：

(1) 煤的突然倾出：由于瓦斯的进一步降低煤的机械强度，瓦斯压力促进重力对煤层的作用，使煤突然倾出。倾出的煤主要为碎煤，有时也能见到少量粉煤。

(2) 煤的突然压出：由构造应力或开采集中应力引起的，瓦斯起次要作用，煤被压出的现象。压出的煤没有被抛出的过程，也无分选性。

(3) 煤与瓦斯突出：在地应力和瓦斯的共同作用下，以构造应力为主要动力因子，发生煤与瓦斯一起喷出的现象。

(4) 岩石和瓦斯突出：在积累很高应力值、含瓦斯的岩体内，由于放炮的触动下，发生岩石和瓦斯一起喷出的现象。

三、煤与瓦斯突出的危害

我国是世界上煤与瓦斯突出最为严重的国家之一。据统计，1950～1981 年我国有 205 处矿井发生突出 9845 次，约占世界突出的总数的三分之一，强度在千吨以上的特大型突出就有 69 次。

另据有关资料，全国国有重点煤矿626处矿井中，煤与瓦斯突出矿井占49.5%；至20世纪末，我国煤矿已发生煤与瓦斯突出10万余次。仅1984～1995年间，因煤与瓦斯突出造成经济损失约100亿元。最严重的一次是1991年4月21日山西洪洞县三交河煤矿瓦斯煤尘爆炸，造成147人死亡。

煤与瓦斯突出的强大力可推翻矿车，掀翻巨石，破坏井巷支架，造成冲击气浪等，还可以引起爆炸、火灾和人员中毒、窒息等造成人员伤亡。如短陂桥煤田煤层瓦斯量达55立方米/吨，1960年12月8日，湖南省邵阳地区有关领导同志在新东煤矿采掘巷道检查工作时，突然瓦斯发生爆炸，当场遇难44人。另据湖南省涟邵矿务局对洪山殿、金竹山等七个煤矿的几个矿井统计，1960～1990年总共发生煤和瓦斯突出731次，突出最大强度1910吨（彭家冲），平均强度82.213吨，平均100万吨突出次数为21.834次（一般每吨突出煤和瓦斯20～120立方米/吨）。煤和瓦斯突出给生产和矿山安全带来严重威胁，仅涟邵矿务局所属煤矿1959～1991年就因此事故死亡252人。

第五节　煤矿突水

煤矿生产是地下作业，地质及水文地质情况非常复杂，经常会遇到地表水、潜水、承压水、老窑水以及断裂水的威胁。煤矿建井或采掘过程中，破坏了工作面围岩结构，引起地下蓄水大量涌入矿井的灾害事故。概括煤矿水突出主要有：煤矿岩溶突水、冲积层水灾、大气降水溃入矿井水灾等三大类。据统计资料，1956年到1995年中，全国发生突水灾害达50余次/年，淹井事故74起/年，死亡44人/年，经济损失达25亿元/年。近些年来，煤田内的乡镇、个体煤窑蓬勃兴起，这些煤窑大都赁着有限的采

掘经验，受利益驱动盲目生产，缺乏必要的技术力量，对安全生产不够重视，特别是对地质的水文地质技术指导更是不屑一顾；国营煤矿在强调经济利益的今天亦对安全生产有所放松，以致煤矿井巷突水事故时有发生。据不完全统计，乡镇煤矿此类灾害损失达数十亿元/年。如 1997 年 9 月 7 日湖南省邵东县界岭乡金华煤矿新开井巷突然穿水，汹涌的地下水淹没整个井巷，井下作业的 6 名矿工无一生还。在我国曾发生世界之最的淹井灾害，1984 年 6 月 2 日开滦范各庄煤矿发生突水淹井，突水量达12.32 万立方米/小时，淹没两座现代化大型矿井，造成地下水位下降 50～120m，使附近 20 万居民断水，波及 5 个矿，减产 850 万吨，死亡 11 人，直接经济损失高达5.6 亿元。

发生煤矿突水灾害的主要影响因子有含水层厚度、岩性、构造及隔水层厚度，以及大气降水等。在采掘工程中，当破坏储存地下水的封闭隔离构造时，便会造成透水涌溢的突水灾害；再就是地表水大量涌入井巷淹浸酿成灾害。由此可见，煤矿突水是水的自然变异和人为变异或复合作用造成的一种水灾，灾源是水。也就是说，水是造成突水灾害的基本条件。归纳突水水源主要有：

（1）老窑水：煤田内停采多年的老窑大多被地下水淹没，该类水多半是蓄积年代长久，水补给较差的“死水”，并具挂红、酸度大、水味涩等特征。

（2）断裂水：岩层为较破碎的断裂或存在裂隙时，往往利于地表和地下水的渗透积蓄，是水贮存的构造环境。此类水是通道较远、补给较充分的“活水”，井巷中断裂水在岩缝中可见淤泥和底部出现射流，水呈黄色。

（3）溶洞水：此类水源大多来自长期受水浸蚀的碳酸盐岩中溶洞。水色呈黄色或灰色，有时带臭味或挂红等现象。

(4) 冲积层水：在浅部掘井或隔离煤柱较小，回采冒落后，裂缝沟通过冲积层时，常遇到该类水。冲积层水的特点是：起始一般较小，往往夹带泥沙，继后逐渐变大，水色多呈黄色。

(5) 暴雨洪水：煤矿大多位于山区，因此常常遭到暴雨洪水溃入矿井成灾。

第六节　煤矿地质灾害防御措施

一、增强民众煤矿地质灾害的减灾意识

各级政府和有关部门应对防御煤矿地质灾害工作予以高度重视，开展各种形式煤矿地质灾害防治知识的宣传教育活动，以提高民众对灾害的承受能力，使市、县（区）、镇、乡各级领导及矿业管理员详细了解煤矿地质灾害灾情和掌握各项防灾减灾方法，积极主动地开展地质灾害防治工作，对可能出现地质灾害的煤矿地区，开展灾害预测和提出防范措施。

二、合理开采地下资源，保护地质环境

遵循《环境保护法》、《矿产资源法》合理开发利用和保护地质环境的准则，加强地质灾害防治管理工作，提高人们的环境意识，避免或减少煤矿地质灾害事件发生。各级煤矿（窑）应切实做到安全开采，在地面有生命线工程设施、人口稠密的居民区、建筑群和山体稳定性较差的地区，应科学地设置保安煤柱。各级矿管部门应加强管理和监督，防止只图经济效益和生产指标的完成，回采原留保安煤柱的采掘活动。

三、提高建筑物防灾能力，减轻煤矿地质灾害

在科学技术指导下，提高矿区民宅建筑材料和砌筑质量，增

强地基、上部结构牢固性，提高民宅建设总体抗灾性能，加强农民建筑队伍的整顿和管理，因地制宜地对其施工负责人进行工程抗灾知识重点培训。

四、做好预测工作，减少矿井煤和瓦斯突出

无论国营、集体煤矿，还是个体小煤窑，都应严格遵守《煤矿安全规程》的规定，配足风量和实行机械通风、分区通风、上行通风，建立瓦斯检查制度，及时处理超限和积存瓦斯矿井；禁止携带香烟及点火工具下井，在瓦斯矿井应选矿用安全型、矿用防爆型或矿用安全火花型电器设备，放炮前后进行瓦斯检测。同时，做好以下预测防治具体措施：

(1) 随时注视威胁煤层或原不危险的煤层出现突出的危险“信号”——前兆现象，特别是对工作面的危险性不断进行检查，发现险情，应立即撤出井下人员。

(2) 在煤田或井田开采前，应做好煤层突出危险性的评价工作，圈划出潜在危险区；进一步作出可能出现突出的临界深度或在煤层揭开前采区突出的危险度的预测工作；采掘过程中，应查明突出危险带，随时监测其发展动态。

五、防止突出的具体措施

1. 水力化防突出措施

(1) 水力冲孔法：以岩柱或煤柱作屏障，向突出危险煤层打钻孔，同时向孔内注水，通过钻头的切割和水射流作用，破坏煤体和引起应力重新分布，人为地导致喷孔的发生和发展，释放岩层、煤层的形变能和瓦斯的潜能，从而达到防止突出的目的。

(2) 水力冲刷法：通过高压水射流的作用，在工作面的前方煤体中形成超前孔洞，使孔洞周围的煤体卸压与排放瓦斯。

（3）水力疏松法：在工作面煤体注入高压水，使自然和生产形成的裂隙进一步发展，并生成新的裂隙，提高煤层的渗透能力，加速瓦斯的排放，同时使支承压力带移向深处，从而消除工作面附近的突出危险。

（4）水力挤出法：通过浅孔（4～7米深）向工作面附近煤体注入高压水，使含瓦斯煤体发生变形，从而导致破裂被挤出。

（5）微毛细湿润－低压长期注水法：用注入水将瓦斯封闭在煤的微孔隙内，以增加煤的塑性，减少煤突然脆性破坏的可能性，降低瓦斯的释放能力，避免发生突出。

（6）水力割缝法：在工作面前方煤体中钻打卸压排瓦斯的孔缝（一般孔缝为长150～200米，宽2米），使煤体卸压，在煤中形成互相沟通的裂缝系统，降低煤体内的瓦斯压力，使高应力和高瓦斯压力带移向煤体深处，从而消除工作的突出危险。

2. 石门揭开突出煤层防治措施

据有关资料，我国截至1981年，由于石门揭开煤层时的突出达5676次，占全国突出总数的5.8％，特大型突出中，大约有80%发生在石门揭开煤层。由此可见，石门揭开煤层具有很高的突出危险性。这是因为，在石门被揭开之前，煤层内具有很高的瓦斯压力，地应力值也较大，当煤层瞬间揭开时，应力状态发生突然变化，在煤壁上造成压力梯度，煤层中的形变能得以迅速释放，从而破坏煤体，发展成强大的煤和瓦斯突出。石门揭开突出煤层的防治措施有：

（1）多排钻孔法：在石门揭开煤层处，向断面以外布置多排扇形钻孔，在欲揭开的煤层内构成沿煤层走向长10～20米、沿倾向长8～10米的卸压排放带，在石门周围形成一个卸压区，增大煤层的透气度，以利煤体石门排放瓦斯和降低地应力，从而消除突出的危险。

(2) 金属骨架法：预先在石门断面周边钻孔插入钢管或钢轨(一端插入顶板岩石内0.5米，另一端支承在石门的支架上)，在石门周边形成一个卸压排放带，同时，依靠支撑骨架，又可以增加煤层的稳定性，达到防止突出的目的。

(3) 震动放炮法：采用多布置炮眼、多装药、一次放大炮造成强烈震动，诱导煤体及煤层突出。

3. 煤巷、回采工作面防治措施

(1) 超前钻孔法：在煤巷、回采工作面打超前钻孔，引起煤体内的地应力重新分布，使煤巷的地应力集中带移向深处，排放钻孔周围的瓦斯，从而在超前控制的范围内构成排放瓦斯的卸压带。

(2) 深孔松动爆破法：采用深孔爆破的方法改变煤体深处应力状态，使工作面前方的地应力集中带移向深处，煤体产生裂隙和松动，以达卸压和排放瓦斯的目的。

(3) 预先抽放瓦斯法：预先在煤体内解吸和排放瓦斯，可以起到使煤体温度、应力、瓦斯压力等降低，从而达到防止突出的发生。

(4) 卸压槽法：在工作面构成卸压槽，引起近工作面的部分煤体中卸压和排放瓦斯，当卸压和排放瓦斯带的宽度等于采掘深度与最小超前距离时，就可起到防止突出的目的。

在实施上述防治煤与瓦斯突出的措施时，应在专业技术人员的指导下，和由专业技术人员根据矿山的煤与瓦斯突出危险性评价的成果，精心设计，选择适合实际情况的防治措施，同时，应特别注意实施过程中的安全工作。

六、查明活动构造，规划煤矿工程活动，做好减灾防灾工作

活动构造是产生各种地质灾害的地质背景，人类工程活动使

致灾速度加快，致灾程度更为严重。为此，应查明矿区内新构造运动性质、特点及活动程度，寻找出现今仍在活动的构造或属不稳定易复活的断裂，分析、认识各种地质灾害产生原因及分布规律，合理规划矿区工程活动。应进行煤矿区地质灾害危险性的评价工作，按地质灾害类型圈划未来潜在地区，并作好灾害的预测，制定防治预案，切实做好减灾防灾工作。

七、调度、通讯畅通

为防御煤矿区地质灾害，确保险情的处理，应做到井上、井下、矿内、矿外调度通讯畅通。如煤矿井巷出现险情的紧急情况下，作业现场负责人或安全管理员应立即组织职工撤离危险现场。同时，成立井下临时抗灾指挥部，迅速制定出脱险方案。

第十四章　水库区地质灾害

水库是在河流上人工筑坝拦截蓄水的水利工程。它具有调洪蓄水、农业灌溉、发电等作用。由于水库工程建设和蓄水，改变了库区原平衡应力场、水文地质条件等，引起诸如水库地震、库岸坡变形、塌陷渗漏等地质灾害，直接危害着水库的安全和下游城市、工矿等的安全，并可能造成巨大的经济损失和人员伤亡。为此，对水库地质灾害应进行预防技术研究和政府行政管理防治措施，从而减免水库地质灾害的直接或间接灾害发生。

第一节　水库地震

水库诱发地震问题早在20世纪40年代就引起了人们的关注，到20世纪60年代新丰江（我国）、卡里马（赞比亚和津巴布韦交界）、克里马斯塔（希腊）和柯依那（印度）等水库先后诱发了6.0级破坏性地震后，水库地震更引起了国际学术界和有关政府部门的广泛重视。1969年联合国教科文组织建立了“与大型水库有关的地震现象”专家工作组。1970年、1971年、1973年专家组相继召开了座谈会，交流诱发地震研究的现状，分析了世界上30个大型水库和地震活动方面的资料。1975年在加拿大班城召开了第一届国际诱发地震会议，会议以水库诱发地震问题为主要议题；1995年11月于北京召开了以水库地震为中心议题的“国际水库诱发地震学术研讨会”。虽然如此，目前国

际和国内水库地震的研究仍处于积累资料、摸索方法、探讨成因机制、试做预测预报的阶段。

一、水库地震类型

水库如建在储能地质体——积蓄强大应变能的活动断裂带、具有较高重力位能的巨大重力梯级带和上地幔隆起带的边缘、储备有大量热能的深部岩体和具有大量化学潜能的硬石膏层和硅酸盐矿物组合的地层等上，由于构造面发育，岩石破碎，及渗水和不渗水地层的交织，山高谷深、基岩裸露，库水和其他地表水就可以促使储能体储存的能量的释放，诱发地震。水的作用是通过使岩石强度的降低、运动面间的阻力减少或使库区原应力场调整来诱发地震。

根据水库地震成因的不同，可以将其划分有以下类型：

(1) 构造型：在水库区存在地震孕育、发展和发生的地质构造地块或断裂活动环境条件，在构造应力场的作用下，产生变形和积累应力、应变能，由于水库荷载和地下水渗入基底产生的附加应力、物理化学作用的诱发下，库区储能地质体释放能量而发生地震。该类地震是水库地震中的主要类型。

(2) 重力型：在碳酸盐岩分布的岩溶洞穴特别发育的水库区，或者顺库岸断裂节理、裂隙极其发育的稳定性较差山坡，在库水和其他地下水的作用下，在重力场和岩体自重的作用下产生变形和积累能量，发生岩体崩塌、滑坡、洞穴塌陷等引起的地震。这类水库地震较多。

(3) 构造重力型：在活动断裂、活动盆地、活动地块和巨大重力梯级带上的岩溶发育地段，水库区储能地质体在重力场和区域构造应力场共同作用下，产生形变和积累能量，由于水库蓄水后的荷载作用和其他物理化学作用的诱发，活动构造作剧烈运动

和岩体崩滑运动而发生的地震。

(4) 热能型：在现代火山或其他高热能的水库区（如阿尔及利亚的乌德福达水库），在地热能的作用下，库区储能地质体发生变形、积累能量，在水库蓄水后形成的附加应力触发下，使上部断块、岩块或断裂产生运动而发生的地震。

(5) 化学潜能型：水库区内存在特殊矿物组成的地层或岩体，如硬石膏和硅酸盐矿物组成的地层等。在水库蓄水后，这些地层或岩体遇水发生水化、相变、体积膨胀，产生使上覆地层横向拉张、破裂而发生的地震。

二、水库地震危害及震例

水库地震的震害可能来自震动本身对坝体的破坏，也可是地震引起水体的振荡对大坝产生冲击波，还可以是遭受地震后库区内不稳定岸坡发生大规模崩塌或滑坡引起水体的猛烈冲击，导致库水越过坝体向下游急泻造成灾害，甚至溃坝造成下游水灾。截至目前，世界上仍未出现因水库地震溃坝酿成水灾的实例，但在我国历史上曾有过地震造成山崩使河道壅而复决的灾难事件，其性质与水库溃决有共同之处，即如 1786 年 6 月 1 日，四川省康定、泸定磨西间发生7.8 级地震，山崩将大渡河堵塞，10 日后，“泸水（大渡河）忽决，高数十丈，一涌而下，沿河居民悉漂以去，……叙、泸以下，山村房料，拥蔽江面，……”。1927 年 5 月 23 日甘肃古浪发生 8 级大地震，扎木河里沟峡由山崩堵塞河口，“水流闭塞数十日，寅夜冲坡，水高丈余，人登树梢山顶高楼峻墙间有生者，田地村庄扫地尽矣”。由此可见，如果水库地震造成溃决，将会给下游造成巨大的灾难。

我国最大的水库地震是 1962 年 3 月 19 日广东新丰江水库6.1 级地震。这次地震因震前曾对大坝进行了抗震加固，所以在地震

时大坝没有受到损坏，但是，仍在坝顶出现了 82 米长的水平裂缝，并有渗漏现象，发电厂局部破坏而停止运转。在坝区附近及河源县城建筑物遭到破坏，倒塌房屋 2000 余间，伤亡 80 余人。

第二节　水库区岸坡地质灾害

水库区岸坡地质灾害主要是水库岸坡变形，即岸坡变形引起的崩塌、滑坡、岩体蠕变和滑塌等。这种岸坡变形的发生与岸坡地形地貌条件、岩土性质、构造特征以及水库水位变化、水文地质条件等多种因素有关。此类灾害具有降低环境质量和地表生态平衡的作用，给国民经济和人民的生命财产带来一定的损失。

水库蓄水对岸坡稳态构成一定破坏性，主要表现在水库水位的涨落和波浪冲刷对岸坡的影响。再就是由于水库蓄水后，使库岸地下水位抬高，使易溶的碳酸盐岩体、风化岩体及坡积层内部应力及物理、化学性能发生变化，其凝聚力和抗剪强度大幅度下降，特别是库区内的山坡脚受到水浸泡软化，以及水渗入岩土体内，使库岸坡上堆积物内含水量增加，进而使库岸重量增加，摩擦力减小，引起了坡体不稳定，产生一系列岸坡地质灾害，如岸坡崩滑、岸坡倾斜变形、边岸塌陷等。水库边岸的塌陷会引起库岸的后退，使滨库地区的建筑物、农田遭到破坏，崩塌的堆积物则成为库区淤积物，进而减少库容。

1961 年 3 月 6 日，湖南省资江流域的柘溪水库大坝上游右岸 1.5 公里处的塘岩光发生一起重大滑坡。滑坡体约 165 万立方米，滑体土石以 25 米/秒的速度滑入深达 50 余米的山区水库，激起的涌浪漫过大坝顶部，造成 40 余人死亡，损失惨重。这起滑坡主要是库区断层、节理切割强烈，岸坡存在易脱离的不稳定因素，由于水库蓄水和当时连续 8 天降雨的诱发作用，导致的岸

坡滑坡灾害。

黄河小浪底水库区发生库岸倾倒变形，即由岩层面和构造节理切割的砌砖墙式岩体向岸坡下方发生旋转和倾倒（图 14－1），并呈叠置阶梯状的反翘变形陡坎，同时有滑坍现象。究其原因是在构造应力和岸坡岩体的自重应力共同作用下，加之，边坡开挖增加了坡脚的临空面，水库蓄水使部分坡体粘土岩层浸泡软化等促进作用，形成了岸坡坡体内砖墙式结构岩体发生倾倒变形。

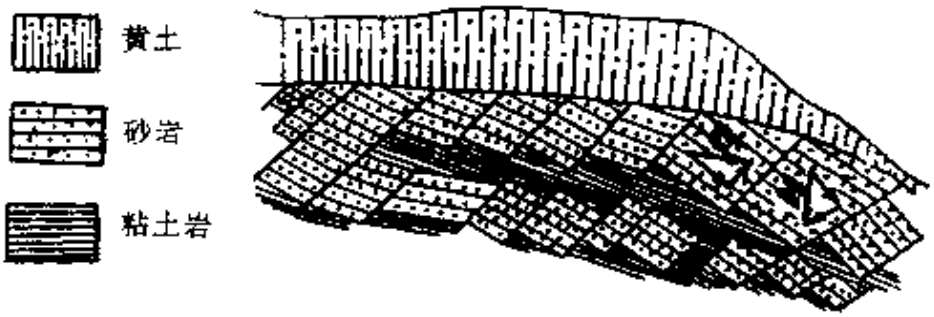

图 14－1　黄河小浪底库岸反翘变形图

在黄土高原上的水库，库岸塌陷较为普遍。因为黄土系比较疏松的粉砂组构的半成岩石，在水库水位升降波动和干湿交替的作用，易于土层膨胀裂缝、岸脚掏空而产生塌陷。在水库蓄水初期、高水位或汛期的洪水时，岸坡的塌陷尤为突出。据有关资料，1960 年三门峡水库蓄水以来，因库岸塌陷（最大塌陷宽达 650 米，累计塌陷土石方6.5 亿立方米）损失耕地 5500 公顷，毁坏机井 2175 眼，毁坏机电灌站 69 座，造成 105 个村庄约3.8 万人搬迁。

意大利的瓦依昂水库，1960 年 2 月蓄水，之后频繁发生地震，再者，库水的常年浸泡，使库岸山体边坡失稳，1963 年 10 月 9 日发生了大滑坡（滑体（250～300）$\times 10^6$ 立方米），滑入水

库，激起 70 米高浪，造成洪水倾泻而下，使下游的朗加伦镇荡然无存，2000 余人死亡。

从上述灾害实例看，岸坡的地质灾害需要在施工和水库运作中引起重视，并采取相应的措施和对策。

第三节　水库区淤积灾害

水土流失地质灾害给水库带来了淤积灾害。水库均位于山区或丘陵地区，由于库区上游和水库内山沟、小溪等将水土流失的沙土携带到水库，造成水库库容减少、淤塞等，严重影响着水库效力的正常发挥。如自 1982 年以来，陕西省榆林和延安地区，因泥沙淤积严重废除小型水库 29 座，总计淤积库容 6200 万立方米。因沙漠化过程中的流沙尘进入龙羊峡水库总量达 3130 万立方米，每年造成经济损失 4700 万元。据有关资料（至 1988 年资料），湖南省 13 座大型水库因淤积减少库容1.46 亿立方米，其中淤积严重的有 5 座，中小型水库被淤积的则更多，全省 210 座中型水库，有 1/6 严重淤塞。

水库库岸的塌陷也可增加库区的淤积。山西省榆社县云竹水库处蓄水以来，库岸平均塌宽 30～50 米，最大达 280 米，因岸坡塌陷淤损库容 200 万立方米，占水库泥沙淤积总量的 1/5。

第四节　水库区渗漏及塌陷

水库大坝如果夯得不实或坐落在碳酸盐岩分布的岩溶发育的岩层上，容易产生水库渗漏和塌陷地质灾害。如河南省望花亭水库，该水库是 1958 年筑建，总库容 3920 万立方米的中型水库。1968 年，在土坝左段上游发现一个直径 7 厘米的落水洞。1986

年，在坝轴线上游 50 米范围内，大坝桩 0 + 190 ~ 0 + 250 范围内，共发现落水洞 23 处。在大坝上造成了大面积的沼泽地，泉涌点有 10 多处，其泉流量在4662.408 立方米/天。并发现泉流量与库水位有直接联系。坝基长时间的渗漏，使其下溶洞内的可流物质流失，洞穴支撑力减弱，为此，存在形成塌陷的危险，直接危及着水库安全。

第五节　水库区地质灾害防御

（1）在水库选址阶段应进行拟建水库区的区域地震活动背景、库区岩体结构特征、水文地质条件以及库区地质灾害活动史等方面的可行性论证。对大型水库应进行坝址的地质灾害和地震危险性分析，做好地质环境、地震安全性评价工作。

（2）按抗震规范选定坝址，依据地震危险性分析结果对大坝的抗震强度和稳定性进行验算，据场地条件确定采取的相应工程抗震措施，并严格按设计要求施工，确保工程质量。

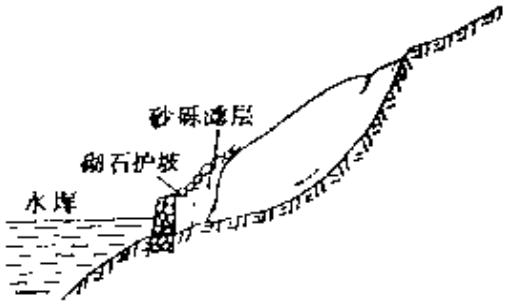

图 14－2　水库岸防护工程图

（3）对库岸坡岩土体进行稳定性研究工作，据岸坡普查和历史资料分析，确定岸坡的稳定性，并采取相应措施。应禁止在岸

坡上滥伐滥垦、滥挖滥采，禁止倾倒生产、生活和建筑固体垃圾，以免造成岸坡稳定性的破坏；在蓄水前对库岸稳定性、库岸变形作出预测。蓄水后，对可能发生大滑坡、大崩塌等不稳定的库岸，特别是大坝附近的不稳定岸坡，应加强水土保持的综合治理，筑砌边坡的护岸墙（图 14－2）、护岸砌衬、及沿岸抛置巨石等防护工程，用柔性结构的铅丝笼、竹篦石笼、堆石、土袋垒筑、分层压柳夯填等贴坡护岸，营造护岸林带、护堤林带，增强根系的固着作用，减弱水流和波浪对岸坡的侵蚀；进行长期观测，发现危险应及时采取措施，避免发生恶性地质灾害。

(4) 下游城市可在水库与城市间营造绿化林、修筑分洪设施，用以减缓上游水库意外事故时的灾度。

(5) 在岩溶地区的水库，事前应对库区岩溶发育情况进行探测，对潜伏浅部的溶洞或土洞进行坚固性处理。

第十五章　城市地质灾害

城市是国家或地区政治、经济、文化的中心；是人口、财富、信息聚集地。城市的地质灾害往往伤亡惨重、经济损失巨大、社会影响广。因此，减轻城市地质灾害是防灾减灾的重点工作，认真研究城市地质灾害更具现实意义。

随着城市的迅猛发展、社会生产力的发展和科学技术的进步，人为地质作用力越加强大，它们对环境地质的冲击亦更加强烈。特别是城市由平面开发转向空间开发、城市人类工程建筑活动和工业生产活动对环境地质的影响与日益俱增，由此而引起了地质灾害频繁发生。

城市是人口和财富集中地，一旦受灾，损失往往大于别处，也就是说，城市具有灾害的放大效应。在城市的各种灾害中，地质灾害造成的损失占相当大的比例。

第一节　城市地质灾害分类和实例

在自然和人为地质作用下，现代城市地质灾害尤为突出，主要有城市直下型地震、地面沉降、地面塌陷、地裂缝、滑坡及海平面上升引起的一系列地质灾害，严重地影响着城市的经济和社会持续发展（图15－1）。最为突出的城市地质灾害有：

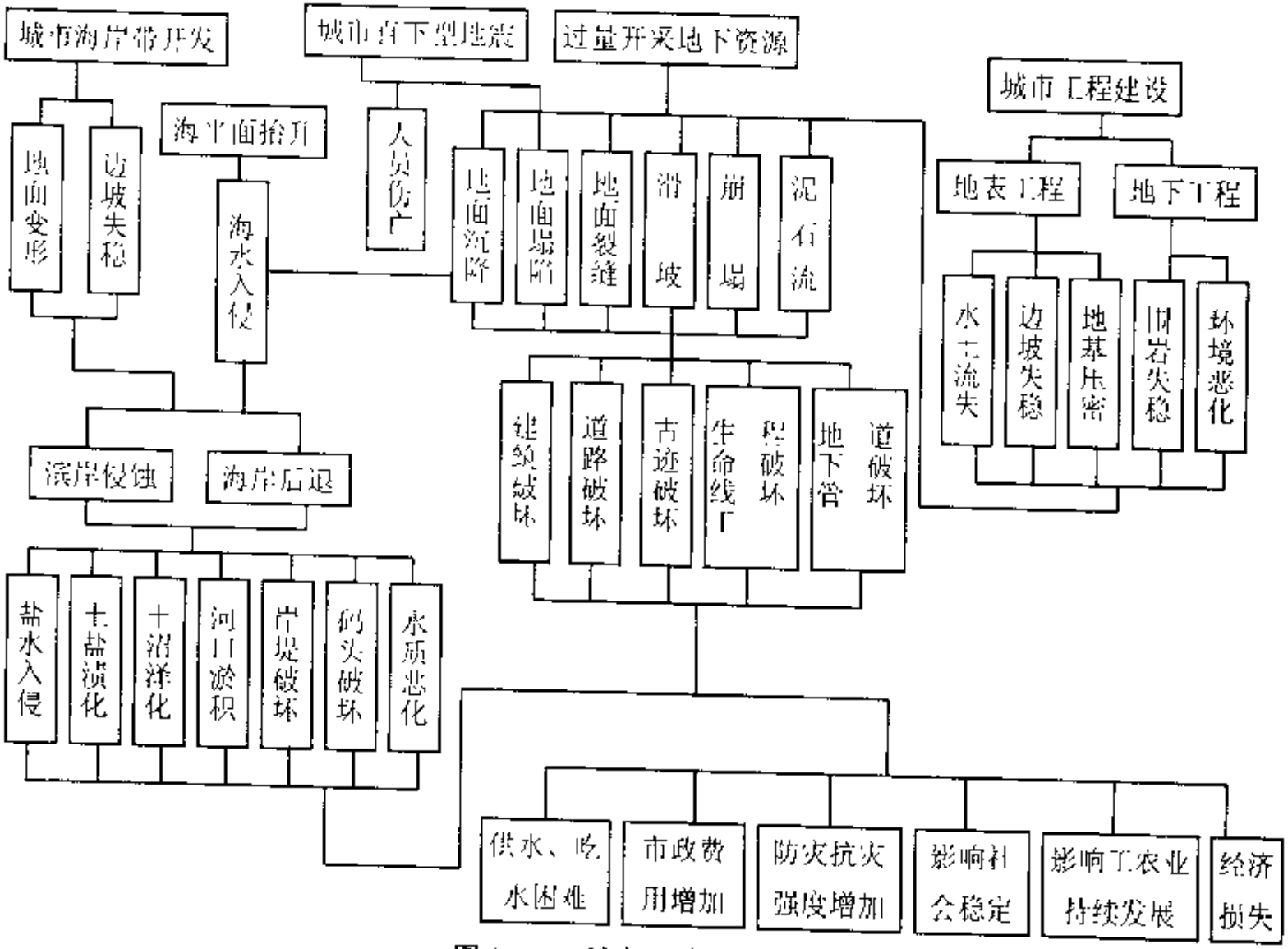

图 15－1　城市地质灾害链框图

一、城市直下型地震

城市直下型地震往往造成严重的灾害。在城市及附近发生的地震称为城市直下型地震。此类地震是1980年日本学者提出的。“震在荒原山崩地裂惊飞过，震在闹市房塌人亡惨悲号”。一个巨大地震发生在无人烟的偏远山区，就是山崩地裂，也不会给人类造成直接的经济损失和人员伤亡。如果发生在人烟稀少的荒僻山区，其灾害也甚微。然而，在人口、财富、信息聚集的城市发生一个中强（$M \geqslant 4.8$）以上地震，甚至有震感的微小地震都会造成社会的强烈反响和较大的经济损失，甚至引起人员伤亡。如在我国西部偏远山区，1950年8月15日西藏察隅发生8.6级地震，据有关资料，地震中约3300人死亡（我国境内1800人，印度境内1500人），压毙牲畜16738头；1951年11月18日西藏当雄发生8级地震，据调查统计，地震时，地面大规模裂缝、喷砂冒水，40余间房屋遭到破坏，34间房屋倒塌，仅3人受伤。再如，1997年11月8日在西藏那曲地区玛尼乡以北150公里处的无人区发生7.9级地震，这是20世纪90年代在中国大陆发生的最大一次地震，然而却是一震而过，未引起人们的关注。而1999年8月17日在土耳其人口聚集的城市发生7.4级地震，造成近2万人死亡，震区到处是惨景和悲号，顿时引起世人的惊憾和关切，地震一度成为新闻界和民众的话题。城市直下型地震强度虽然小，但造成的损失却巨大。世界地震灾害史上城市直下型地震突出的例子有：1976年唐山地震、1985年的墨西哥地震、1985年四川自贡地震和1995年日本阪神地震等（表15－1）。

我国相当数量的大中城市处于地震威胁之中。我国省会城市和直辖市处于基本烈度Ⅵ度和Ⅶ度以上的有22个，占总数的71%；50万人以上的大、中城市有33个，占总数的54.1%。我国大部分城市存在发生破坏性地震的潜在危险，我国省会、自治

区首府、直辖市、特别行政区、经济特区位于地震基本烈度Ⅷ度区的有：北京、昆明、太原、呼和浩特、拉萨、西安、兰州、乌鲁木齐、银川、海口、台北；位于Ⅶ度区的有：上海、天津、广州、沈阳、南京、成都、福州、郑州、长春、合肥、西宁、香港、澳门、深圳、珠海、厦门、大连、秦皇岛、烟台、连云港和湛江；位于Ⅵ度区的有：重庆、武汉、济南、长沙、哈尔滨、石家庄、杭州、南宁、贵阳、青岛、南通、宁波、温州和北海；小于Ⅵ度区的仅有南昌。因此，城市直下型地震引起了广大地震学者的重视，将其作为专题来进行研究，并成为我国防震减灾工作中的重要组成部分。

表 15－1 世界典型城市型地震灾害表

发震时间（年－月－日）	地 点	震级	死亡人数/人	受伤人数/人	房屋倒塌	经济损失	备 注
1976－7－28	中国唐山	7.8	24.2 万	16.4 万	630 万间	100 亿元	
1985－9－19	墨西哥	8.1	0.5 万	1.3 万	数千栋	80 亿美元	即震中 400 公里内灾情
1923－9－1	日本关东	8.3	10 万	10 万	70 万栋	28 亿美元	
1960－2－29	摩洛哥	5.8	1.31 万	1.2 万		1.2 亿美元	
1985－3－29	中国自贡	4.8	2	279	1 万平方米	1.06 万元	
1995－1－17	日本阪神	7.2	5488	2.7 万	1.2 万间	1000 亿美元	

城市直下型地震震灾大的原因还有：城市的地震次生灾害严重，即城市不仅人口稠密、房屋集中，还是交通、电力枢纽，一旦失火就可能引起火灾；一个电站发生故障，停止运转，也会带

来连锁反应，造成重大损失；地上、地下管道和线路的破坏，以及各种易燃、易爆、剧毒物品的生产和储存设备的震坏，都会带来严重的后果。特别是城市的动脉和神经——生命线工程的某一环节或局部遭到破坏、失控，都会导致城市功能的丧失和瘫痪，从而扩大灾情。

在以往的城市直下型地震中，也存在扩大灾情的人为因素。归纳主要有：一是因通讯中断，不能及时传递地震信息，延误抗震救灾决策时间，扩大了灾情；二是因交通阻塞，致使灾区待援时间过长，贻误了抢救生命的最佳时机，再者，救援人员在工具设备方面准备不够，使得救人效率低，从而扩大了灾情；三是发生城市直下型地震的城市大都在历史上未发生过破坏性地震，所以，从政府官员到平民百姓的防震意识薄弱，没有应付大震的心理准备，致使震时措手不及，部署救灾力量不足，使救灾行动迟缓，贻误时机，扩大灾情；四是对灾情掌握不准，对震害估计过低，使救灾工作迟缓，加重了人员伤亡和经济损失；五是建筑物的抗震性能差，就是进行过抗震设防的建筑中也存在选址和地基处理不当、偷工减料、建造质量差等问题，致建筑倒塌严重，如1988年12月7日亚美尼亚列宁纳坎附近发生7.0级地震，震源仅10公里，该次地震发生在没有抗震设防的地区，因此使震区大多数建筑物倒塌，其原因是：亚美尼亚70年代后期经济不景气，居民住宅需求增加，建筑部门擅自降低建筑抗震设计标准（将设计烈度Ⅷ度降至Ⅶ度以下）并将规范中层高限制的5层改为9层，同时多采用在工厂制造混凝土预制板，然后在现场装配的工程法、接口部分施工粗制滥造、牢固性极差，加上钢筋混凝土柱中所用钢筋不足，混凝土中掺沙过多，水泥质量差等一系列偷工减料、工程质量问题，由此降低了建筑物的抗御地震的能力，以致建筑物大面积的倒塌；六是城市人口密度过高、工矿企

业过于集中、高楼林立密度过大，没有人员疏散躲避的空旷场地，等等。

下面从唐山地震和日本阪神地震的震害分析，阐述城市直下型地震防灾减灾方面的教训。

1. 唐山地震教训反思

(1) 为了使城市市政建设具有抗震设防的科学依据，应认真做好大城市的地震动参数评定工作、震害预测等工作，特别是对城市的生命线工程（如供水、供电、通信、交通医院、水利工程等）建设场地的地震安全性评价工作，要提高建筑抗震设防的性能。

(2) 在城市建设选勘时，应避开不良的地基地段，即不得修建在活动断裂带、古河道、矿山采空区或塌陷区。

(3) 城市布局上应尽量避免工矿企业过于集中、人口密度过高，高楼密度应适度，保障街道效能畅通，预留一定的空旷场地，保证地震时有人员疏散躲避场所。

(4) 提高通讯设备现代化和通讯建筑的抗震性能，保障地震时通讯畅通，能及时传递地震信息，避免通讯中断延误抗震救灾决策时间，扩大灾情。

(5) 地震时往往铁路、公路被破坏，所以应事前准备快速机动能力，保障救援人力、物力及时达到灾区，同时做好救援工作的思想上、工具设备方面的准备，争取将损失降到最低限度。唐山地震时，因交通阻塞，外援大部队震后 30 小时才进入灾区，致使灾区待援时间过长，贻误了抢救生命的最佳时机，再者，救援部队未带任何工具和器材，使得救人的效率低，扩大了灾情。

2. 日本阪神地震教训反思

(1) 日本神户从政府官员到居民对大震没有心理准备，认为该地千年也难遇一次大地震，所以，在抗震设防方面普遍偏低，

而且地震观测体制也薄弱，对震前的小震和其他异常现象未引起足够的注意，导致震时措手不及，部署救灾力量不足，行动迟缓（救援部队在震后 10 小时后才进入震区），贻误时机，扩大了灾情。

（2）日本在防震宣传和防震演习，提高公众的防震意识方面投入较大，而在将防灾意识变成行为方面较差，应急反应表现迟缓。

（3）日本的抗震救灾体制为各部门自成体系，横向联系差，无法统一指挥和协调行动，给救灾工作构成了障碍。

（4）日本政府震后由于灾情掌握不准，对震害估计过低，致使救灾工作迟缓，加重了人员伤亡和经济损失。

（5）神户市的建筑物均建造在松软的沉积层和人工回填的地基上，地震时地基发生严重液化、沉陷，造成建筑物的倒塌。

（6）通过对建筑物破坏的情况和施工质量问题的调查，发现在建筑物和高架公路施工中存在偷工减料，即水泥柱钢筋不足、水泥厚度不够、水泥柱中有饮料空罐和木棍等问题，使不该发生的悲剧发生了。如在神户市中央区的叽上路的九层水泥建筑“1：B 中心公寓”，在阪神大地震时，受到严重破坏，底楼墙壁和柱子完全分离，梁柱多处断裂，震后经建筑专家检查，发现应埋入 7 根钢筋的水泥梁，实际仅埋了 3 根；设计注明墙壁和墙柱必须“一体化”地编织钢筋和灌注水泥，但是其中未有钢筋；一楼天花板水泥厚度不够、交叉铺设的主筋和辅筋没有捆绑；正面墙壁钢筋裸露；三楼水泥柱中发现饮料空罐等偷工减料问题。再如，在阪神大地震中，成段的高速公路翻倒，而附近建筑物都完好矗立，使人感到疑惑。震后，在山阳新干线高架桥脚的断裂处，发现施工时遗忘取走的木棍。

上述教训告戒我们：提高城市防震减灾工作效率的关键在于

做好地震基础研究、地震预报、抗震工程、应急反应、灾害管理与救灾等工作，进一步加强国民的防灾意识，改善城市规划，提高建筑物抗震设防标准，完善地震应急体制，加强救灾和恢复能力，特别是应抓好建设工程的施工质量，确保建筑物的抗震性能，将地震灾害降到最低限度。

二、地面沉降

地面沉降是制约城市经济和社会发展的重要地质灾害。据调查，我国有56个地级以上的城市发生地面沉降，明显成灾的有30个城市。

随着城市的发展，城市工业和人民生活对地下水资源需求增大，以致城市长期大规模开采地下水，忽视了地质环境的平衡，使地下含水层水压力大幅度降低或疏干、含水层和隔水层发生新的压密作用，引起局部地面沉降和下降漏斗的发展。特别是位于岩溶发育区的城市，地面发生地裂缝和塌陷，使大量的建筑物变形、倒塌、道路塌陷、水井干枯或报废、风景点遭到破坏等。如西安市开采地下水量已超过补给量的二倍以上，形成7个地面沉降中心，沉降面积已达160平方公里，至20世纪90年代初，平均累计沉降量仍有600毫米，沉降速率350毫米/年，最大累积沉降量为1.3米。地面沉降仍在不断发展，如陕西省咸阳市区的承压水位下降10～30米，形成区域沉降漏斗6个，面积达20平方公里。

林立的高楼大厦荷载相对地壳岩石圈而言，其地质作用微不足道，但是，在这种低荷载的持续作用下，土体或岩体的蠕变也可引起地基的缓慢变形，地面上的动荷载（振动作用）在一定条件下也可引起土体的压密变形。不但会引起地面的沉降，而且会使其上部的建筑物因这种不均匀沉降作用而出现裂缝或

倾斜。

建设工程对地基处理不当时，也可引起地基承载后的不均匀沉降。山东省禹城市一座集办公、商贸一体的某商厦，在1995年10月主体工程竣工后，该大厦基础出现不均匀沉降，引起裙楼墙体出现呈一定规律的裂缝，裂口宽10～20毫米，个别横梁部位亦出现裂口宽0.5～1.0毫米裂缝，严重损害了该楼的安全性能。该商厦坐落在黄河冲积平原冲积、沼泽相地层上，地层主要成分是粘土、粉土、粉细砂等，地下水埋深1.20～2.40米，系第四系孔隙潜水，水中无对建筑构件腐蚀的化学成分。该楼主楼设计11层，高49米，采用预制柱基础；裙楼设计4层，高19米，采用夯扩桩基础。通过观测分析，认为造成该商厦不均匀沉降的主要原因是：由于提供的地基土层物理、力学参数和承载力等数据有误，导致基础演算的错误，使之选择了不合适的持力层和基础型式，即原主楼基础设计为灌注桩，持力层为埋深21.35米（揭露层厚8.4米，仍未穿透）的第⑧层粉细砂层，可在施工时改为预制桩，持力层也变更为埋深12.1～13.5米的第④层粉细砂层（层厚1.4～2.9米）。裙楼亦相应发生变更。变更后的设计仅考虑桩基承载力，未考虑主楼与裙楼的沉降差，也未进行主、裙楼的整体性处理和预留后浇带或沉降缝，造成了主、裙楼间地基在承载后的压密调整存在沉降差，从而导致了裙楼的墙体裂缝。至1996年8月沉降速率达8毫米/年，一年半后仍有6毫米/年。

归纳造成我国城市地面沉降的主要原因有：一是大量抽水使地下含水层浮托力减小；二是粘土有效应力增加；三是渗透力的作用；四是城市建筑密度过大，建筑物荷载造成第四纪松散土层的压密。

三、地面塌陷

坐落在岩溶地区的城市会发生地面塌陷地质灾害。安徽省铜陵市，自 1989 年 9 月 5 日以来，该市内的长江路小街发生了大面积地面塌陷和地裂缝，造成我国城市少见的灾害，据不完全统计，塌洞 31 个，最大塌洞深 8 米（仍未见底），长轴 12 米，短轴 1～2 米，为圆形或椭圆形。灾害影响面积约 40 余万平方米，约建筑面积5.2 万平方米的房屋倒塌、倾斜、开裂、变形或下陷；同时造成专用铁路的铁轨扭曲、路基下沉 7 厘米（长达 400 米，使车速减至 20 公里/小时）；地下管道均遭到不同程度的裂开和错位；两条主干公路中断行车；当地的工厂、学校和商店受影响或遭到破坏。通过综合地质、地球物理的勘探，认为这是一起在岩溶比较强烈，喀斯特溶洞发育的地区，大量抽排地下水（在该区的南侧 500 米处有矿井作业），引起地下径流变化，溶洞内松软充填物流失，产生了顶部第四系沉积层大面积塌陷的灾害。

造成城市地面塌陷的原因有：开采地下资源引起塌陷和地表层岩溶活动。地面塌陷形成有其自身的物质基础和地质条件，即城市裸露或隐伏的可溶性基岩（指石灰岩、泥灰岩、白云岩、大理岩等各类碳酸盐岩）、第四系松散堆积物等岩性基本条件，加之，新构造运动断裂破碎带环境条件，皆为城市地面塌陷奠定了基础。人为开采地下资源的科学性差和不合理，会加速城市地面塌陷的发展，如人工打井破坏岩溶溶洞盖板平衡或溶洞之上已无岩石盖板，当抽取地下水时，便会在附近第四系松散堆积物中出现降水漏斗，从而导致地面下沉和突发性的塌陷；再如，当疏松的砂性土内空隙被水充填达到饱和状态时，如果存在上覆荷载压力或侧压力打桩震动的作用，便会引起砂土液化，导致地面的塌陷。

四、城市规划方面的问题

城市规划缺乏科学性，城市管理制度不健全是诱发城市滑坡灾害的重要因素。城市不加限制的建筑高楼大厦，地面承载加重；地表水排泄系统不完善，城市生活用水大量渗入地下，增加了土体的重量等都是诱发地质灾害的因子。如湖北省巴东县城于1995年10月29日发生12.8万立方米的大滑坡，经济损失巨大。

城市基建工程场地开挖的人为搬运地质作用破坏了地质体的稳定性，酿成的地质灾害更为突出。目前，城市正在开发边际土地，这些地区多地质环境质量较差。工程建筑活动为了平整地基或扩大土地使用面积，往往违背自然规律开挖坡脚、破坏护坡的自然植被，使坡体下部临空失去支撑而引起山体和边坡滑落。更有甚者，在滑坡腹地兴建厂房和宿舍，人为增载加大了山体和边坡的重力滑落作用，其结果是山体滑坡或崩塌推覆其下建筑物、致使上部和邻近建筑开裂、倒塌。总之，城市化地区地基、路基的开挖修建，山坡脚减载、山坡顶或腰部增加荷载、强烈的爆破和振动式桩机施工都可能降低坡地的稳定性，从而引起地质灾害。

归纳城市山坡地质灾害有：

(1) 由于城市化破坏了山坡上的草被和灌木丛，在一定的地表水和雨水作用下，在一定坡度的山坡风化壳和土壤层里产生破裂，引起土崩、浅层地滑或碎屑地滑。

(2) 在城市化过程中，破坏了天然或是人工填坡的重力平衡状态，形成滑动面，在地表水和雨水的作用下，部分岩土体就会发生重力作用下的滑坡。

(3) 城市在建设中，往往在山坡下挖脚造房，形成很陡的斜坡或直立坡，山体岩土在重力作用和大气降水等诱发因子触动

下，就会发生崩塌。

湖南省邵阳市汽车零件厂在马王山坡脚下，开挖坡脚，人为增大坡角，开成一近直立（坡角约 80 度）、高约 10 米的峭壁，使坡体下部失去支撑，破坏了山体边坡的稳定性。1994 年 7 月，该市连降暴雨，10 天内降雨量达 240 毫米，于是造成山体上部脱离母体的速率增大而开裂、坡体下滑也相应加快，强大的推覆力使坡下建筑物和水泥地面、挡土墙等裂缝、鼓丘、倒塌，滑坡体伸向其下的冲压、电镀车间和砂轮、发电机房，造成了严重的损失（图 15－2）。

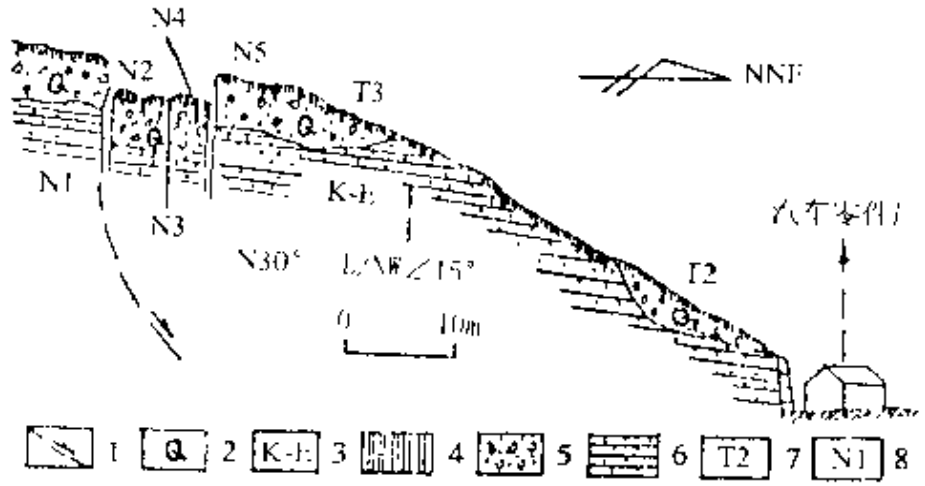

图 15－2 湖南邵阳市马王山滑坡图

1. 推测滑动面及方向；2. 第四系；3. 白垩系－早第三系；
4. 风化粘土；5. 冲积层；6. 红色砂岩；
7. 河流阶地及级数；8. 地裂编号

五、人为堆积

由建筑施工和工业生产的废弃物（如建筑碎料、旧建筑物拆

毁残渣、工业灰渣、矿渣废石、生活垃圾等）人为堆积地质作用引起的危害性更大。人类生活垃圾堆积土中含有许多有机物质，分解后产生甲烷气体，可能构成易爆炸的危险环境。另外，未经地质环境评价而倾倒或填埋的废物，极易被雨水淋滤、下渗污染地下水，或呈地表径流排入地表水体，造成新的污染。

六、采矿活动

城区或邻近地区采矿活动引起的人为剥蚀作用很大程度上破坏了地质构造的稳定性、改变了矿区地壳内的构造应力场，从而诱发地震活动。湖南省邵阳市郊东南石桥有一座年产量2.44万吨的新东煤矿，该矿的排水量为10立方米/小时，开采深度350米左右，1958年开始生产。由于该矿采掘的采空区面积不断扩大，经常性的抽排地下水，以及人为地卸载等形成的附加应力，破坏了矿区平衡应力场，触动了矿区北西向雷坡断裂活动，1985年2月发生了3.4、2.9、1.5的有感微震群，1994年震区又发生3.0级有感地震，虽然这些地震没有直接造成损失，但由于发生在人口稠密的城区，引起了社会的强烈反应和当地政府的关注。

七、洪涝灾害

我国许多城市分布在大江河的中下游，城市的高程低于江河的洪水位，城市安全受到威胁。加之，城市大量排放烟尘，为城市上空雨滴的形成提供了丰富的凝结核，上升气流和云量增多，使城市的降雨量比周围地区增加。另外，城市建设破坏了城区的植被，不透水的地面扩大，城市地表径流速度增大，特别是城市泄洪不畅，为此增加了城市遭受洪涝灾害的概率。

八、海平面上升

全球气候的变暖，冰盖融化，大气降水增多，加速了海洋中冰雪的融化，使海平面上升。海平面的上升给沿海城市带来了新的地质灾害，即有：

（1）土地的沼泽化和盐渍化：海平面的抬升使地下水位随之升至地表，引起地表土层过湿而沼泽化。继而，在强烈的蒸发浓缩作用下，海水中的盐分在岩土中积聚成盐渍土，从而改变了岩土原来的物理、化学性质，严重地影响着生产和生活。同时，岩土和地下水对建筑物的腐蚀作用增加。

（2）盐水向河口入侵：海平面的上升造成海洋动力作用延伸陆地，盐水沿河上溯，向上游纵深扩展，使河水严重恶化，直接影响着工业生产和居民的生活。

（3）盐水向地下入侵：由于城市过量开采地下水，使地下水位下降，加之海平面的上升，两者的共同作用下，加速了海水向地下入侵。

（4）增强了沿海河流淤积：海平面上升使河流的侵蚀基准面提高，比降相对减小，侵蚀作用减弱，导致堆积作用的增强，给城市排污、排洪带来了困难。

第二节　城市地质灾害对策

为了减免城市环境地质灾害，我们应重视分析地质环境各组成要素对城市建筑设施适宜性和城市工程的影响，经济活动对地质环境的可能影响，开展城市建设适宜性评价工作，并提出相应的监督管理措施。同时，重点做好以下工作：

（1）城市区地壳稳定性评价工作（包括地震活动性、断裂活动性及由地震诱发产生的各种不良地质作用强度）。根据《防震

减灾法》和《地质灾害管理办法》有关条款，作好建设工程，特别是重点、重大建设工程场地的地质环境、地震安全性的评价工作，由于现在大片土地转为城市用地，不免会有个别矿山被包括进来，为此，对这些矿山应进行限量生产和抽排地下水后的恢复工作，避免在城区或附近发生城市直下型矿山地震。

（2）城市直下型地震的防御措施有：

①将城市防震减灾纳入本地国民经济和社会发展的规划，制定好城市防震减灾规划和城市直下型地震的应急预案。加强地震监测的科学技术研究，提高城市地震监测水平的能力。同时，作好城市地震灾害的预测工作，对可能产生地震次生灾害的灾害源采取有效的防范措施。

②开展防震减灾知识的宣传教育，增强城镇市民的防震减灾意识和应震能力。

③依法加强重大建筑物、生命线系统工程和高科技设施的抗震设防，确保设计、施工及材料的质量。城市地区应严格遵循抗震防震规划的要求，确定生命线工程的布局、结构和规模，以及严格按照国家有关规范和设防标准进行工程设计、施工。城市布局上应尽量避免工矿企业过于集中、人口密度过高，高楼林立密度应适度，保障街道效能畅通，预留一定的空旷场地，保证地震时有人员疏散躲避的场所。特别应注意生命线系统对地震有着高度敏感性，它是引起地震次生灾害最重要的因素，所以，不能忽视生命线系统抗震设防工作。

④做好高层建筑的抗震设防，制定高层建筑地震应急方案，配备救援设备和防灾设施。目前，城市由平面开发向空间开发，城市高层大厦林立高耸。然而，在地震时，高层建筑存在容易产生固有周期与地震振动周期的共振、人员疏散困难、次生灾害源多、救灾难度大及高层建筑装饰隐框玻璃幕墙容易震落等不利因

素和次生灾害源。因此，应按有关法规，做好高层建筑的防震减灾工作。

⑤确保施工质量，提高抗震性能。为确保建筑物的抗震性能应做好以下工作：一是健全建筑工程的招投标法规，消除工程层层转包，层层盘剥，人为加大成本，人为降低工程结构、样式、取材等标准；二是抓好工程项目管理，建立质量责任制，不得违法转包给不具备资质的建筑施工队伍；三是在城市住房装修、加层扩建过程中，不得改变房屋的结构体系和原设计功能、拆除或破坏承重墙，必须保证房屋结构和安全，并相应采取抗震措施；四是加强工程质量监督与验收。

（3）地基稳定性评估（地基岩性、埋深、物理力学性质及地下水因素）。地基的好坏直接影响着建筑物和工程的基础稳定性和持久性，以及影响建设工程的造价。如在软土层、淤泥层、有机质含量高的粘性土等，易液化的砂层，其承载力很低，这些地基应进行坚固性的处理。因此，在地基地质评价时，应搞清不同成因、不同岩性的分布及其物理力学性质，还需评价地下水埋深、变幅和水的侵蚀性。只有这样才能保证建筑物的稳固性及提高抗御灾害的性能。

（4）水资源评价、合理开发、管理和保护。从城市地质工作的角度进行研究，对水资源进行评价，提出合理开发、管理和保护的技术措施，从而避免城市因严重超采造成的地下水干枯、滨海地区因过量开采引起海水入侵、在岩溶地区开采地下水引起地面塌陷、厚层松散层孔隙水区开采引起地面沉降、因污水污物的排放地下水遭到污染等环境地质灾害的出现。

（5）城市废物处理的地质条件评价和监测。为了避免造成地表水和地下水的污染，必须对垃圾处理（包括工业和生活垃圾的固体废物处理场、露天倾倒场地）场地的地质条件进行评价，以

选择适宜的场所。

（6）城市地质灾害的评价、监测和预测。城市地质灾害分为自然地质灾害（如地震、火山、滑坡、海啸、泥石流等）和城市工程活动诱发的地质灾害（如地面塌陷、沉降、裂缝和滑坡、海水入侵等）。突发性、直下型的自然地质灾害会给城市带来很大的危害，为此，我们应查明城区的地质环境背景和地质灾害活动史，综合评价出城区未来地质灾害的危险性。同时，应预测城区在人为活动影响下可能产生新的地质作用的趋势和强度，以便在城市建设中采取相应的对策，为当地政府制定的防灾减灾预案提供科学依据。

第十六章　地质环境与人身健康

地质构造不仅是地貌格局形成与差异的主要因素，也是导致地方疾病分布差异的基本控制因素。我国科学家在研究中发现，地质构造对崖石分布起着控制性作用，而崖石是由不同种类矿物质组成的，由于各地崖石的不同，其危害性矿物质对各地区人身影响是不同的，因此引发地方疾病呈区域性或地区性。如我国地方性氟中毒主要分布在塔里木盆地和昆仑褶皱带、天山褶皱系的接触部位。另外，我国热型地氟病主要集中在断裂构造的两侧。而砷煤所致的砷中毒均分布在平行于背斜轴发育的断层旁侧等。由此可见，人身健康与地质环境有着密切的关系，归纳与人身健康直接联系的因素有地貌、土壤、岩石、地气等。

第一节　岩土矿物与疾病

地方病是与地质环境有一定依存性的疾病。也就是说，地方性疾病致病物质除一部分直接来自人类生产和生活制品外，主要源于自然界的大气、水土、岩石中。换而言之，人类生长与发育与一定地区的水、土和生物化学元素含量有关，当某些元素含量过高或与人需要量不相适应时，就可能导致人发生某种疾病。归纳与地质因素有关的地方病有甲状腺肿、克汀病、克山病、硒中毒、氟中毒、铜毒、铅毒症、不孕症、食道癌、肝癌、布鲁氏菌病、鼻咽癌、口腔癌、乳腺癌等。现就主要的地方病简述如下：

(1) 甲状腺肿、克汀病：简称地甲病，俗称“大脖子”，是一种最古老的世界性地方病之一。在碘背景值含量低的地区，水中含碘量有随地形海拔增高而减少的规律，即 500 米以下为5.77 微克/升；500 ~ 1000 米为4.39 微克/升。山高流水快，从土壤中游离出来的碘易流失，另外高山峻岭的水土流失较严重，大量的营养元素随着水土流失而损失，由此，这些地方导致了缺碘的甲状腺肿病。如果孕妇患有地方性甲状腺肿病，就会使胎儿甲状腺发育不全，引起不同程度的智力低下，身体矮小，听力及神经运动障碍，甚至肢体瘫痪等症状的克汀病。

甲状腺肿、克汀病严重影响儿童生长和智力健康发育。在地甲病地区，无甲肿的正常人，人体的生长、智力发育都不同程度的低下，给经济建设和生产劳动带来严重的影响，并直接威胁着下一代的生长、发育和智力的发展。

据有关资料，地甲病、克汀病在我国新疆广泛流行，有 1289.9 万人受到威胁，约 400 万儿童受到缺碘的影响，近 160 万人患病；湖北省境内，受甲状腺肿和克汀病影响的人达 3232 万人；湖南省 1979 年以来，对全省 85 个县市、2000 万人的普查，共查出地甲病人37.32 万人，平均患病率1.87 %。

环境缺碘是导致人体缺碘的决定因素，一个缺碘的地球化学环境必然导致碘缺乏病的流行。再者，环境的地球化学能量和物质场都是与地质构造、岩石矿物成分等密切相关。据 1988 年资料，湖南省境缺碘病患病率大于 10% 的 11 个县的调查，这些地区出露的地层岩组最多是：30.17 % 为寒武系的不同岩性组；16.78%为奥陶系的不同岩性组；11.86 % 为震旦系的不同岩性组。上述除寒武系含碳酸盐岩建造外，其余均为碎屑岩、变质岩建造。岩石一般为板岩，页岩，粘土岩等含泥质较高、粒度细的岩石。湖北省境缺乏碘病流行在变质岩、碳酸盐岩、碎屑岩及花

岗岩等岩体分布区。上述岩性生成缺乏碘的原因是：由于碘是一种较活跃的元素，变质岩在高温度和高压力的变质岩过程中，使碘的迁移力加强，以及其后的热液变质等各种外力地质作用，皆引起变质岩地区碘的损失；由于在沉积碳酸盐岩及碎屑岩地区，裂隙和溶岩地貌发育，其内存在裂隙和岩溶水的作用，引起碘的流失；花岗岩等岩浆岩体在侵入地壳内时，因高温热流对碘的迁移影响，使岩体内的碘贫乏。进而分析，岩石是土壤的母体，岩石的化学成分及含碘量决定了土壤的结构和性质。同时岩石表层和地下水的化学成分亦对碘含量产生影响。由此可见，地区性岩性决定了水和土壤中碘含量的高低。

水是人类生活和生理的必需物质，水中碘含量的高低决定了缺乏碘病的流行程度。据专家的科学试验结果，饮水氘（氢的同位素）含量与碘缺乏病关系密切，碘缺乏病区是一个饮用水氘含量负值大的地质环境区。即在常温下，对水中氘有较强平衡交换力的岩性有板状页岩、砂质页岩，它可使水中氘减少38.93 %。由于碳酸盐岩中几乎不含氢，因此，它与水中氘的平衡交换力差，只使水中氘减少5.49 %。碘缺乏病区多取板岩、页岩中的地下水，水中氘含量低，符合病区的地质环境。环境氘含量低，人体机能活性高，基础代谢大，对碘含量需求亦大，当人体在环境中摄取的碘不能够满足甲状腺激素时，就会产生碘缺乏病。人体机能活性与碘缺乏病间存在一定的对应关系，在 20 岁前，人的机能活性最活跃，基础代谢也最高，碘缺乏病的患病率就大，随着年龄的增加，基础代谢趋于平稳，碘缺乏病患病率相应降低。

（2）氟中毒：在花岗岩和碱性岩浆岩风化壳、萤石矿和磷矿、及苏达盐渍土等地区氟的含量均较高。人体长期摄入过多氟会引起骨质改变，重者可引起脊柱弯曲，四肢变形等氟骨症。如

适量摄入氟可以预防龋齿和老年人骨质变脆。如果饮用含氟量高的泉水或温泉水，有可能患上氟斑釉齿和氟骨等氟中毒的病症。慢性氟中毒多发于干旱或半干旱气候，地下水径流条件不好，交替滞缓地带。由于这些地区地下水富集氟，使水土、作物中的氟含量均超出正常含量的几十倍，甚至几百倍。另外，在煤炭资源丰富的地区，由于燃烧不当，煤燃烧后释放出的高氟气体直接排放于室内，污染空气，导致氟含量上升，引起燃煤型氟病。

(3) 砷中毒：简称地砷病。砷（As）和砷可溶性化合物都是有毒的。砷主要以硫化物矿形式存在，如雄黄（As_4S_4）、雌黄（As_2S_3）、砷黄铁矿（FeAsS，毒砂）。在高砷环境条件下就会流行砷中毒的地方疾病。口服砷剂可引起剧烈呕吐、腹痛和腹泻等病症，甚至会产生虚脱和猝死。砷化氢、砷酸钙、砷酸铅等都对人、畜有毒。特别是长期吸入砷或其化合物的尘埃或气体可引起慢性中毒，出现皮肤损害、毛发脱落、消化不良、口腔齿龈发炎、感觉障碍、肌肉萎缩或指甲出现 1 ~ 2 毫米宽的白色横纹（米氏线）等症状。

(4) 在广泛出露含铀、钼、镍多种元素的岩层和矿产的特殊地质环境与地球化学条件下，可引起癌病、耳聋病和肺结核病等病症的高发。

(5) 据研究，人体健康与地下水和土壤中的钴（Co）含量有关，特别是与癌症关系明显。钴具有亲铁和亲硫双重性，以亲硫最强。在基岩裸露地区，处于良好的氧化环境，地下水径流较好，不利于钴离子的富集。尤其碳酸盐岩地区更不利钴离子的富集。而在平原地区，地下水地处还原环境，介质中富含有机质和钴，有利重碳酸盐钴（$Co(HCO_3)_2$）的稳定，利于钴离子的富集。在地下水为酸性时，钴容易富集。由此可见，地下水中的钴含量与岩土中钴含量有关，还与氧化还原条件和介质的酸碱条件

有关。由于钴含量的差异，导致癌症患者的死亡率不同，即胃癌、食管癌、结肠癌、肺癌死亡率随土壤中钴含量的增加而上升，而鼻咽癌死亡率则相反，宫颈癌死亡率随地下水中含钴量增大而下降。

第二节 地气与人身健康

地球内部所含的气体称之为地气。地气具有从高温、高压的地壳深部向近地表运动的本能，它可伴随着火山爆发、地震活动和构造运动而汇聚、逸散。地气中有毒气体有一氧化碳、硫化氢、氰化类等气体。二氧化碳虽是无毒气体，但是含量过高时，会对呼吸系统产生毒害。总之，许多地气可危害人身的健康。

(1) 在火山区一般都有含硫的温泉或含二氧化碳的碳酸泉等。伴随泉水和地下直接喷出的气体有水蒸气、二氧化碳、硫化氢、氢、氮、氯、氟、硫磺气等。喷出的气体中由剧热的蒸汽混合着一氧化碳和硫化氢等，具有致命的危害。特别是火山区有一些含硫化氢过高的硫磺泉，也有致命的危害。这些气体混合于大气，如果有毒的窒息性的气体浓度过大，就会引起人和生物的死亡。

1962 年 5 月 8 日早晨，加勒比海东部的培雷火山南坡地面突然裂缝，伴随一声巨响，一股由混合着一氧化碳和硫化氢的剧热蒸汽，挟带着白热化的火山灰和岩石碎屑的烟团腾空而起，并以 150 米/秒的速度沿坡向漂游，两分钟内，坡下圣皮埃尔市全城一片火海，3 万市民全部被火海和火山地气吞没，中毒而亡。同时，烟团冲入海里，海水顷刻咆哮、翻腾，席卷海港停泊的船只，使之全部毁坏，大部船员也被袭来的毒气窒息而死。

俄罗斯的堪察加是现代火山活动强烈地区，在火山活动区山

谷的一个长约两公里的地段，常常可见熊、狐狸、老鼠等野生动物和老鹰的尸体，在这个仅8000平方米的地区，人类和生物的进入都会迅速丧生，为此被人称之为“死亡谷”。

在我国的云南省腾冲火山区也有相类似的“扯雀塘”、“醉鸟井”。扯雀塘是一面积仅有1平方米的无水浅坑，经测试和化验，该坑里不断喷出一种有毒气体，其中含有二氧化碳、硫化氢和二氧化硫等，其内氧和氮含量比周围空气中的少二分之一，而二氧化碳比空气重，起到了“灭火剂”的作用，它使人类和动物呼吸而窒息死亡。醉鸟井是一口半米深地质勘探废弃的井，井的周围有许多动物尸骸，井壁上结着一层硫磺晶体。其内喷出硫质气体——硫化氢，当动物吸入后便死亡。

(2) 氡是无色无味的放射性惰性气体，是铀、镭放射性元素衰变产物。它可严重影响人身健康。在岩石破碎、裂隙发育的构造断裂带内，氡射气聚集的浓度相对增高。特别现在室内密闭或通风不良，采用了含铀、镭性元素的岩石、砖、混凝土等建筑材料修建的房屋，往往会从房屋的地基、地板、墙壁等处释放出来而聚集较高浓度的氡射气体。如人体吸进氡射气会对人体起着内辐射作用，导致肺癌、支气管癌、鼻咽癌等发病率增高的恶果。

(3) 断裂、裂隙冒溢的有毒地气。在地震孕育过程中，在地震前后，由于断裂的活动使封闭在地壳内的气体逸出。通过对海城、唐山和松潘大地震前后的地气采样分析，气体中的二氧化碳较高，最高达40%以上，比空气中的含量高出800多倍，人闻后会有不适的感觉或中毒。

(4) 煤矿的瓦斯气体突出的二氧化碳可引起井下矿工的急性中毒。高浓度的二氧化碳气体具有麻醉的作用，并可引起人和动物的生理缺氧。缺氧对机体主要脏器有严重影响，会出现胸憋、呼吸困难、晕倒、头晕、头痛、无力、下肢有沉重感、心动过

缓、恶心、呕吐等症状，如急救不及时或中毒严重时，会出现窒息而亡。1978 年 5 月 24 日凌晨，甘肃窑街矿务局三矿皮带斜井三采区北大巷，在掘进放炮时触发了岩石和二氧化碳（二氧化碳含量96.6 %，氮3.1 %，其它气体0.3%）的突出。二氧化碳迅速蔓延到附近巷道，一昼夜突出二氧化碳约 24 万立方米。在井下作业的 596 名职工，有 419 人安全脱险，87 人中毒住院，90 人死亡。

第三节 矿泉与人身健康

矿泉是地下含有一定数量特殊矿物质、微量化学成分、气体组与放射性元素、温度高或低的泉水。矿泉中的矿物质含量与所处岩石组分密切相关。

地球内部岩浆喷出或侵入到地壳内，冷却凝固的岩石——岩浆岩（或称火成岩，如花岗岩、玄武岩、安山岩等）内氧、硅、铝、铁、钙、钠、镁等元素占 90% 以上，其钾、钛、碳、磷与锰等元素占 10%。

岩石经过风化、侵蚀、搬运，沉积在河流、湖泊、海洋或陆地上再固结成的岩石——沉积岩（如石灰岩、页岩、砂岩等），还有未胶结或未完全胶结的松散岩层（如卵石、砾石、砂、粘土和土壤等），其内组分氧、硅、铝、钙、铁等元素占 90% 以上，钾、钠、镁、锰、钛、磷、锶、镍、硫、碳等元素占 10%。

岩浆岩和沉积岩在高温、高压的作用下，改变了原来成分和结构形成的另一种岩石——变质岩（如大理岩、板岩、千枚岩、片麻岩、石英岩等），其内氧、硅、铝、钙、铁、镁等元素占 90%，其钠、钾、钛等元素占 10%。

当水分从大气（大气中氮、氧两种元素占 98%，其余氩、

二氧化碳、氖、氪、一氧化二氮、甲烷、氡、氙、臭氧、氢等占2%）中降落到地面，再通过各种岩土渗入地下，在此过程中，水分溶解了大气、土壤和各种岩石的某些成分，使地下水具有各种的不同离子、化合物和气体，呈现富含矿物质的状态，喷溢地表的泉就是所谓的矿泉。

人们通过饮用、淋浴矿泉来治疗疾病。如内蒙古自治区呼伦贝尔盟一眼含较多二氧化碳和铁质的矿泉，人们吃了可以治疗胃病和其他一些疾病。但对肺结核疾病却起负面作用。也就是说，矿泉不是能治百病而无害，也有些矿泉对人身是有害的。另外，矿泉温度较高的温泉不仅含有矿物质，而且还有热力，人们用其淋浴可以治疗皮肤病和风湿等疾病。如北京城北小汤山温泉中含有氟、镭、氢、偏硼酸、硫化氢等物质，浴用该温泉对人体有医疗保健功效，对医治牛皮癣、神经皮炎、肠胃病、心血管疾病、泌尿疾病、关节炎、风湿性关节炎、神经衰弱和失眠等疾病疗效为74.4%～93.6%。

在地下贮藏石油的地区，涌出的矿泉中含有较高的硫化氢。这种矿泉能治疗心脏病和风湿病。矿泉在流经土中有放射性元素时，矿泉就会携带放射性元素一起涌出地表，利用刚流出的泉水可对一些疾病能起到特殊的治疗作用。但也应注意，有这种含带放射性元素的矿泉对人体有一定的危害。

总之，天然矿泉对人身有治病健身的特效，但是不能盲目地追崇，矿泉并非治百病，有些疾病是不宜浴用或饮用某些矿泉水，如患失眠症的不宜浴用硫化氢矿泉水，因为这种矿泉水能刺激皮肤神经末梢，促使神经系统兴奋，浴后就更睡不着了；胃酸过多的人不宜饮作氯化钠矿泉水；有兴奋型的神经官能症或脑出血倾向的病人，不宜使用碳酸矿泉水等。也就是说，每个人的身体机能、状态是有差别的，所含微量元素量是不同的，再者，我

们平时饮用水中本身就含有一定的微量元素，如果水中的微量元素已能满足身体的需求，就不必追求矿泉，过多摄入微量元素会造成负面影响。如锰是人体必须的微量元素，锰对于精氨酸酶、磷酸酶、羧化酶与胆碱酶有激活作用，对骨骼的正常生长发育具有重要的作用。一般成年人每天摄入锰 4 毫克左右就可以了。如果进入人体的锰过多会造成锰中毒，引起表症为肌肉强直、疼痛，行走时带痉挛性步态，易兴奋，言语障碍的“锰性癫狂”，还可引起“化学性肺炎”、类似胆汁性肝硬化的病症。再如锌是人体内必需的微量元素，锌能帮助肌体的细胞分裂，益于大脑神经细胞，使人增长聪明才智，还可治疗粉刺、皮疹等，一般成年人每天需锌 12～16 毫克，儿童 4～6 毫克，新生儿及学龄前儿童为0.3 毫克，虽然锌的毒性较小，但是过多摄入会引起恶心、呕吐、痉挛、下痢，偶有引嗜睡等。所以，我们应了解矿泉的性质、水的化学成分与含量，了解矿泉是否对自己有益等，必要时，可在医生的指导下进行浴用和饮用。

第四节　地方病防治

(1) 地甲病防治：推广以加碘盐为主的防治措施，生产和供应盐。防治地甲病的根本途径是：根据当地水文地质条件寻找碘含量适宜的地下水或地表水源，通过饮水达到增补碘防治地甲病。同时，采用以肌注碘化油、口服碘化胶囊等辅助措施；亦可因地制宜地采用手术等辅助治疗措施；对高碘性地甲病，采用甲状腺素或甲状腺制剂进行治疗。同时，大力加强植树造林，做好保土、保水的蓄碘，使生态环境向好的方向发展，并发展山区经济，提高缺乏碘病区人民的生活水平，从而达到增强人民抗病防病的能力。

（2）氟中毒病防治主要采取以改水（即选择低氟水源）为中心，以对症治疗（即减少人体氟的吸收，促进体内氟的排泄和对症止痛）为辅的对策。还可在氟含量低于 6 毫克/升的高氟饮水源，采用三氯化铝或碱式氯化铝等作混凝剂的混凝沉淀法；采用活性氧化铝降氟的吸附过滤法；及磷酸钙降氟等方法。具体预防措施有：饮用水最好是深层低氟地下水。在高氟含量地区，应进行饮用水的降氟处理，即集中式供水的可将活性氧化铝放在过滤池内，活性氧化铝厚度在1.0～1.5 米，原水以2.5 ～6 米/小时滤速自上而下通过滤层，这样可使水中氟量由 8 毫克/升降至 1 毫克/升。另外，水厂还可采用电渗析法除氟。分散式供水的可以采用以下降氟方法：①将0.5 克硷式氧化铝放入 1 升水中，搅拌约 30 秒，水中氟量可由 7 毫克/升降至 1 毫克/升；②用明矾和硷各 17 克放入 15 升水中，水中氟量可由 7 毫克/升降到1.2～1.5 毫克/升；③将水煮沸约 30 分钟，水中氟量可减少 1/3～5/6。此外，在高氟量地区禁用含氟高的化肥和农药。

（3）地砷病的防治，主要是选择低砷水源的改水方法，亦可对症治疗。即可采用注射二巯基丙醇或二巯基丁二酸钠，并用维生素为辅的治疗方法。

第五节　地气中毒防治与对策

（1）当遇有毒地气喷溢时，应迅速迎风跑离毒气影响区。同时，用湿毛巾或手帕捂住口鼻。如果在矿巷中遭遇瓦斯气体突出时，井下人员应迅速向地面或其他井巷转移，救护人员应尽快把中毒的人员救出现场，移至新鲜空气场所，解开其领口和上衣，维持心跳和呼吸，给氧吸入。在急救中应施行纠正缺氧、心脏复苏、恢复呼吸、对房颤病人可用直流电或药物除颤等措施。然

后，将病人转到医院治疗。医院的治疗措施仍继续解除缺氧，抢救呼吸衰竭，防治脑水肿和肺水肿的发生。同时，纠正酸碱失调和电介质紊乱，处理低血压和休克，控制和预防并发症的发生。其他地方遭遇有毒地气时急救可参照上述措施进行。

(2) 房屋建筑材料尽量不要用含铀、镭性元素的岩石、砖、混凝土等，如果采用上述具放射性建筑材料的，应经常对室内进行通风散气，以避免室内放射性气体浓度超标而影响人身健康。

第十七章　恐灾心理与对策

灾害是造成人类伤亡和物质财富毁损自然过程的社会事件。从人地关系上分析，灾害是人地矛盾激化的一种具体表现。换言之，灾害是相对人类社会而言的，没有人类社会也就无所谓灾害事件与灾害损失。在灾害面前，人是灾害的承受者和抵抗者。是被动承受，还是主动抵抗呢？这取决于人的生理条件、气质、情绪、意志力和对灾害的认识能力。因此，在防灾减灾方面，提高人们抗御灾害的心理素质非常重要。

第一节　恐灾心理

由于每个人具有的特性不相同，所以，在灾害的刺激—输入和响应—输出是不同的。也就是说，人在灾害的刺激下，由于每个人对灾害的承受力和认识水平有一定的差异，相同的输入不一定得出相同的输出。人有年龄、个性、文化水平、性别、家庭结构以及所处的环境不同，遭受灾害时作出的反映是不同的。然而，人在灾害瞬间的行为是大同小异的，即不同程度的反映出惊吓、恐慌，本能地在危险中寻找避难和脱险等行为。这种行为是由人们对环境的灾害变异难以适应，暂时的心理活动出现障碍，及对以往灾害性事件产生的房屋倒塌、人员伤亡等恐怖情形的记忆，在灾害出现的瞬间而诱发下产生的。

现以唐山地震为例，进一步阐述人们遭遇地质灾害的“恐慌”心理。1976年7月28日唐山7.8级地震是我国建国以来破坏和损失最大的一次地震。顷刻间一座“煤都”和“华北瓷都”的工业城、百万人口的都市夷为废墟。天空被建筑物倒扬起的灰沙、黄土、煤屑、烟尘等混合尘雾所笼罩，山崩地裂、房屋坍塌、桥梁折断、烟囱倾倒、列车颠覆、横尸遍地。此时此刻，幸存者失去了往日的理性和判断力，呆呆地伫立着，他们不知道抹去身上流淌着的鲜血，也不知道去救埋在废墟中的亲人，不知道找件衣服遮掩裸露的躯体，甚至来不及为死去的亲人哭泣，惊魂未定的人们在烟雾中步履踉跄地盲目走动，……。这些都是突发的强烈地震和悲惨情景给人们带来的“恐慌”、“恐怖”异常反应，是人们一时认识失调及缺乏抗御地震灾害知识所引起的行为异常。

唐山城市瞬间毁灭、人员伤亡惨重、损失巨大，震惊着每个人的心灵，引起广泛的恐震心理，全国一度漂浮着“地震恐慌”乌云。露宿在外的防震棚一度成为“时髦”建筑；各级政府均将地震工作作为头等大事来抓，不敢怠慢，纷纷成立地震机构；厂矿单位投入大量人力物力建立了地震观测站，真可谓是草木皆兵。特别是一些竹子开花、桔树异季开花结果与地震无关联的生物异常，及一些自然界地学灾害现象的出现，都会与地震挂起钩来，更是增添了人们心理的“恐慌”度。另外，只要谈到唐山地震，甚至只是谈到地震两个字，都会给人们蒙上一层阴影，带来“恐慌”，已到了“谈震色变”的地步，地震成了非常敏感的问题，地震部门不得不采取“内紧外松”的对策，谨慎从事。从另一个角度看，唐山地震是原地震部门“封闭”搞地震监测预报和科研体制形成的社会原因之一。由于防震减灾宣传工作的心理策略不佳，没有持续性的进行，使人们误认为地震宣传不搞了，地

震就不会发生了，如果地震宣传的掀起，则是“地震的预报”，以致新闻单位在刊录有关地震文章时慎而又慎，甚至不敢刊登带“地震”的文章，惟恐给社会带来负面影响，于是防震减灾的科普宣传在深度还是广度上都受到了限制。这种“地震慌”持续了十年有余。虽然唐山地震已过去二十多年，但现在人们只要谈到唐山地震仍心有余悸。社会上许多群众仍将唐山地震作为地震名词的注释。随着时间的推移，加之，我国近二十年来没有发生较大破坏性地震，以及人们的防震减灾知识大为提高，承受地震灾害心理能力也相应增加，人们渐渐淡忘了唐山地震及那些强烈地震造成的惨重教训，“恐慌”自然慢慢淡化，惊恐地震的心理才得以平息。

综上所述，“恐慌”是人们突然遭受强烈灾难时瞬间行为缺少平静的心情，及思维上的混乱而产生的。即“恐慌”是灾害派生的人们反常行为。

第二节　恐灾心理的后果

许多人在遇灾的一瞬间，表现出异常心理、出现极度恐慌、意识失常、盲目避险等心理。这种恐灾心理会造成应急时心慌意乱，注意力的分散和转移困难，行为失控，做出事与愿违的蠢事来，往往酿成灾害未伤人，无知使自残的悲剧。如：1994 年 12 月 31 日，北部湾发生6.1 级地震，影响到广东、广西和海南三省区，这次地震虽没有房屋倒塌，却造成广东 266 名中小学生受伤，广西 73 人、海南数十人受伤。再如：1995 年 9 月 20 日，山东省南部地区苍山发生5.1 级地震，建筑物基本未受破坏，没有直接造成人员伤亡，但强烈的震感却使不少的人惊慌失措，特别是正在上课的学生，一时蜂拥奔逃，跌伤、踏伤、挤伤、碰伤数

百人；企事业单位职工自伤的也不少。甚至在震后的第三天，郯城县第一中学的学生听到拖拉机声，亦引起慌乱，有两名学生性急之中翻身跳楼，摔成重伤。恐灾求生的心理，会引起众多人跳离险境拥向安全的地方，于是就形成了恐慌人流，当恐慌人流受阻时，便会造成人员的摔倒后互相践踏致伤致亡。同时，灾害前后的恐灾思潮都会给社会和人们带来负面的影响，灾前的恐灾思潮会引起社会的混乱、人心不安；灾后的恐灾思潮会影响救灾工作、甚至给个人带来灾祸。

由于人们遇灾在心理情绪上受到很大的损伤，灾后人们仍然存有恐灾心理。据调查资料，唐山大地震后一年的时间内，还有相当一部分人因恐震难以适应震后恶劣的环境，萌生离开唐山的想法，由此加重了震后社会和人们心理的无序状态。灾后人们心理上的极度恐慌、盲目避险等心理还会造成各种灾后次生灾害的发生，如1923年日本东京大地震后数万人因恐惧、慌乱的避险行为而葬身火海。同时，这种恐灾心理的消极作用，会使灾后初期最有效的自救丧失作用，加重灾区人民生命和财产的损失。在对唐山大地震幸存者的调查，震后已14年，回忆起地震时悲惨情景，仍有恐震心理。由此可见，恐灾心理的后效仍对人们的生活起着消极影响。

第二节 恐灾心理对策

在遭受地质灾害时，如何使社会和国民对地质灾害有一个客观的认识，减少极度恐慌带来非正常的损失呢？著者认为可从以下方面提高遭遇地质灾害的心理承受能力，减免“恐慌”，即：

一、增强建筑物抗御地质灾害的能力，是减轻“恐慌”的基本措施

“恐慌”造成的主要原因是灾害，而地质灾害引起人员伤亡和经济损失主要是由于建筑物抗灾性能差倒塌，以及伴随的次生灾害所造成的，如果减免了地质灾害其“恐慌”必然减轻。因此，在防震减灾方面，多地震国家都在建筑物的抗震方面采取了许多措施，即在隔震和减轻地震对建筑物的破坏方面进行了研究。然而，提高建筑物抗震性能其中建筑场地的稳定性至关重要。为此，我国颁布的《防震减灾法》第十七条规定：“新建、扩建、改建建设工程，必须达到抗震设防要求。”，同时明确规定：“重大建设工程和可能发生严重次生灾害的建设工程，必须进行地震安全性评价”，以法律的形式要求国民提高建筑物的抗震性能。于此同时，也应进行地质环境安全性的评价工作，以提高建筑物抗御地质灾害的性能。

二、提高民众对地质灾害的心理承受能力，是调适人们“恐慌”心理的重要途径

在强烈地震袭击的情况下，恐怖感和心理混乱是回避危险行为的失败，从而造成不必要的伤亡。为了排除心理障碍，防止遭受地质灾害时心理乱、手脚乱，在地质灾害面前具有意志力、自控力、毅力、坚韧不拔的精神等心理素质，著者认为：

（1）首先应对地质灾害有科学的认识，如地震与风雨、雷电一样，是一种极为普遍的自然现象，它直接造成的灾害并不大，而间接的造成次生灾害才具危害性。地震产生大地的强烈震动可以引起山崩地裂，及由此产生的海啸、涌浪、地下溢出气体和引起中毒等原生、直接灾害，这些灾害在震例中所占的比例甚微。由此地震本身并不可怕，可怕的是那些引起次生灾害源——人工

建筑或自然物破坏所引起的灾害。

（2）为什么人们对气象的洪涝灾害的“恐慌”度小呢？主要是这些灾害的受灾面积相对小、毁灭性不及地质灾害，而地质灾害具突发性和危害性大特点，在几秒钟可使一座城市遭到摧毁，这是人们产生“恐慌”的主要原因。然而，只要我们提高了抗御地质灾害的能力，就有可能最大限度地减轻地质灾害，“恐慌”度也会自然减小或消除。

（3）加强地质灾害预测预报是减小“恐慌”的有效途径之一。地质灾害预报正处在探索阶段。譬如：我国地震科学技术人员通过二十年的努力，无论在地震监测仪器现代化方面，还是预报水平都有了长足进步，年度中期预报的成功率由过去的1/4左右提高到1/3左右，并对1995年云南孟连7.3级地震，1996年新疆伽师两次6级地震，1998年云南宁蒗6.2级地震等多次6级以上地震和一些5级多地震前适时地作出了短临预报，使我国地震预报的水平继续保持世界的领先地位，并取得了较好经济和社会效益。

（4）增加地质灾害的防灾减灾宣传透明度。如：改变防震减灾工作那种封得密密实实、神秘兮兮的宣传方式，逐渐增大提高民众防灾减灾意识宣传力度，使民众从神秘、恐惧地震的心理中解脱出来，只有这样恐震心理才会得到缓解或消除，人们的防震抗震意识和能力才会增强。另外，防灾减灾宣传既要有理论，还要有运用防灾减灾知识的实例，以增强人们的接受能力和应用能力。宣传工作应根据实际情况，有针对性地加强宣传，不搞一阵风式的宣传。

（5）提高人们调适自己情绪的能力。情绪是心理变化的动力，它既有可以使人在灾难中增添力气的增力性，也有使人在慌乱中行为失控、失去理智的减力性，由于每个人的认识水平不同，以及所掌握防灾抗灾知识程度不同，有的人面临灾害时，灾

害客观刺激量已超过他的生理阈限和心理负荷，感到自己的能力不足，而产生害怕，内部需要与外部需要产生矛盾，即刻产生紧张情绪的心理要素逆向变化，而有的人在遭受灾害时，认为自己有能力对付它，就不会产生紧张的情绪，应急水平高的心理要素同向变化。为此，我们应在平时，有意识在提高自己的防灾知识，增强防灾和抗灾的能力，使自己在灾变中能及时作出正确的判断，理智驾驭情绪、临灾不乱、化险为夷。在灾变中应注意以下方面：①保持良好的心境；②避免急躁的消极作用；③及时调适心理状态；④自我消除恐惧心理；⑤冷静从事，不作出盲目从众的行为。

三、提高遭遇强烈地质灾害的瞬间避险和防护、自救能力，是消除“恐慌”的主观努力

据震例的研究，在房屋建筑倒塌严重情况下，幸免生存者，很大程度上取决于地质灾害时不“恐慌”，机智、冷静、有效地采取避险行为以保全自己，或者自行脱险，或者等待救援。然而，如果缺乏必要的防灾减灾知识，容易引起行为的异常，在灾难降临时，不是采取有效避险行为，反而慌乱无措或措施失当。因此，平时，我们要学习一些地质灾害瞬间避险和防护、自救知识，才能在遭遇地质灾害时避免出现“恐慌”心理。

总之，“恐慌”不是灾害直接产物，它是反映人们对灾害的心理承受力，即对地质灾害及有关事物、现象、原因的理解和接受程度的认识能力；在地质灾害面前心理素质、情感能力；在地质灾害时避险、救灾技能、技巧的实际操作的能力。为此，我们要提高综合防御地质灾害的能力，提高民众的防灾减灾意识，消除人们对地质灾害“恐慌”心理，共同努力作好地质灾害的防灾减灾工作。

结 束 语

地质灾害是地壳地质活动的结果，它不仅给人们带来灾难，而且给地表环境造成破坏和留下难以恢复的痕迹。近年来，地质灾害的频度增加，灾度不断上升。为此，地质灾害造成的经济损失和社会问题日益引起全社会各界的广泛的关注。地质灾害的防治乃是摆在各级政府面前亟待解决的现实问题。各级政府应像防洪和防治其他自然灾害一样将其纳入国民经济发展规划，纳入重要的议事日程，要明确领导分管，建立健全相应的工作机构，投入人力、物力、财力，对一些具有严重灾害后果的地质灾害潜在源地进行及时治理和预测预防工作，有效地减轻地质灾害，为我国地质灾害的防灾减灾工作奠定坚实的基础。

地质灾害的防治是与大自然作斗争的艰苦工作，需要动员全社会的力量，提高广大群众的防灾减灾意识，增强防御地质灾害的能力，才能实现减灾的目标。为此，要认真贯彻“以防为主，防治结合”、“预防为主，防御与救助相结合”方针，在预测预防、避险防护、治理工程等环节上狠下功夫，开展相应的地质灾害的科研和防御知识的宣传教育工作。

在编著的过程中，获得以下认识和体会：

一、地质灾害防灾减灾知识的宣传是传播者通过各种途径向社会成员传播、解释、灌输地质灾害防御知识的过程，目的在于说服、改变读者对地质灾害的态度，使之按照宣传者的意志而采取防灾减灾行动。当前，国民地质灾害的防灾减灾意识还很薄

弱，他们中间仍存在防灾减灾是政府、专业技术部门的事的消极态度，社会各界对防灾减灾的责任感和义务认识程度也有限，就新华书店和书摊而言，几乎见不到防灾减灾的科普读物和专业书籍，这样怎么能谈得上提高社会的抗御灾害的能力呢？因此，被动受灾和抗灾也就怪亦不怪。著者认为应在广大群众中广播地质灾害防御知识方面努力，特别是能将地质灾害防御常识溶于中、小学的常识课本中，会使地质灾害的防灾减灾宣传更为完善。作为个人具备地质灾害防御知识后，能够识别地质灾害的临灾异常，并能使专业技术部门和主管部门及时收集到这些前兆资料，从而采取主动的防治措施和对策；能够临灾不慌，采取果断、有效的自救互救行动，减少人员伤亡；能够辨别谣言和谣传，杜绝蔓延传播；能够自觉地进行建筑的抗灾设防和加固措施；等等。各级政府部门具有地质灾害的防灾减灾知识后，能够在地质灾害中发挥积极的主导作用，将地质灾害的防灾减灾工作纳入国民经济的发展规划中，并列入重要的议事日程。总之，地质灾害防灾减灾并非个人或某个组织的事，而是整个社会共同责任和义务，只有加大宣传力度，才能提高社会成员的地质灾害防御能力和防灾意识，才能增强政府的防灾功能，促进科技的进步，保障国民经济建设和社会稳步发展。

二、滑坡、泥石流、崩塌等地质灾害形成和发生与大气降水密切相关，即降雨是促进这些地质灾害重要的外界动力因子。所以，在汛期应提防地质灾害的发生，并采取相应的措施。1998年湖南、江西两省发生历史罕见的洪涝灾害，于此同时，在湖南省境内，发生了128起不同规模的崩塌、滑坡、泥石流，并造成100人死亡，50人重伤，直接经济损失1.13亿元；江西省在汛期因洪灾和地质灾害共死亡193人其中因地质灾害死亡112人。由此可见，今后在汛期里，不仅要做好防涝抗洪的工作，还要做好

地质灾害的防御工作。

三、各类地质灾害都是一定地质环境下地质构造变异的产物，均受之于地质构造的控制，特别是受稳定性较差的新构造和活动构造的制约。也就是说，在地质构造活动强烈的地区，不仅有地震活动，而且伴有频繁的滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害。某种意义上，地质灾害现象是地质构造于地表活动的具体表现，因此，不能将其分割或孤立地进行分析，而应将它们作为地质构造变异系统整体性的相关研究，这样才有利于地壳稳定性的判定。在地质灾害防灾减灾工作中，应重视地壳稳定性的研究。在城市规划、布局上及建设工程的可行性论证期间，一定要做好建设场地的地震安全性评价和地质灾害危险性的评估工作。

四、人为活动破坏生态环境平衡是引起地质灾害的重要外界因素，它可引起山体滑坡、崩塌、泥石流、水土流失、地面塌陷、土地沙漠化等地质灾害。为此，保水保土，维护生态平衡；严禁滥砍滥伐森林，盲目垦荒，恢复植被覆盖率，还原生态环境是防治地质灾害的重要环节，各级政府部门应据有关法规切实做好这项工作。

著　　者

中华人民共和国国土资源部令

第 4 号

《地质灾害防治管理办法》，已经 1999 年 2 月 24 日国土资源部第 4 次部务会议通过，现予发布，自发布之日起施行。

部　长：周永康（签字）

一九九九年三月二日

地质灾害防治管理办法

第一章　总　　则

第一条　为防治和治理地质灾害，减轻地质灾害造成的损失，维护人民生命和财产安全，保障社会主义现代化建设顺利进行，制定本办法。

第二条　本办法所称地质灾害，是指由于自然产生和人为诱发的对人民生命和财产安全造成危害的地质现象，主要包括崩

塌、滑坡、泥石流、地面塌陷、地裂缝、地面沉降等。

第三条 中华人民共和国境内地质灾害的防治管理，适用于本办法。但地震灾害的防御管理除外。

第四条 防治地质灾害，实行预防为主、避让与治理相结合的方针。

第五条 县级以上人民政府地质矿产行政主管部门对本行政区域内的地质灾害防治工作实行统一管理。

第六条 从事生产、建设活动的单位和个人，应当采取必要措施，防止诱发或者加重地质灾害。

第七条 各级人民政府地质矿产行政主管部门鼓励在地质灾害防治中运用先进适用科学技术，开展地质灾害防治知识的宣传教育，提高防治地质灾害的能力。

第二章 规 划

第八条 县级以上人民政府地质矿产行政主管部门负责组织开展本行政区域内的地质灾害调查。

第九条 国务院地质矿产行政主管部门组织编制全国地质防治规划。

县级以上地方人民政府地质矿产行政主管部门根据上一级地质灾害防治规划，组织编制本行政区域内的地质灾害防治规划。

跨行政区域的地质灾害防治规划，由其共同的上一级人民政府地质矿产行政主管部门组织编制。

第十条 地质灾害防治规划，应当包括下列内容：

（一）地质灾害现状；

（二）防治目标；

（三）防治原则；

（四）易发区和危险区的划定；

（五）总体部署和主要任务；

（六）基本措施；

（七）预期效果。

第十一条 地质灾害防治规划，必须根据实际情况划定地质灾害易发区和地质灾害危险区。

地质灾害易发区是指容易发生地质灾害的区域。

地质灾害危险区是指明显可能发生地质灾害且将可能造成较多人员伤亡和严重经济损失的地区。

第三章 预 防

第十二条 县级以上地方人民政府地质矿产行政主管部门按照国务院地质矿产行政主管部门的规定，编制本行政区域的年度地质灾害防灾预案，报同级人民政府审查批准后组织实施。

地质灾害防灾预案的内容包括：

（一）地质灾害监测、预防重点；

（二）主要地质灾害危险点的威胁对象、范围；

（三）主要地质灾害危险点的监测、预防责任人；

（四）主要地质灾害危险点的预警信号、人员和财产转移路线。

第十三条 对地质灾害应当实行动态监测。国务院地质矿产行政主管部门负责制定监测规范。县级以上地方人民政府地质矿产行政主管部门会同有关部门建立地质灾害监测网络。

负责监测任务的单位和个人，必须按照监测规范开展监测活动。

第十四条 县级人民政府地质矿产行政主管部门负责在地质灾害危险区边界上设立明显标志。

地质灾害危险区内，禁止从事容易诱发地质灾害的各种活动。

第十五条 城市建设、有可能导致地质灾害发生的工程项目建设和地质灾害易发区内进行工程建设，在申请建设用地之前必须进行地质灾害危险性评估。评估结果由省级以上地质矿产行政主管部门认定。不符合条件的，上地行政主管部门不予办理建设用地审批手续。

第十六条 地质灾害危险性评估包括下列内容：

（一）工程建设可能诱发、加剧地质灾害的可能性；

（二）工程建设本身可能遭受地质灾害危害的危险性；

（三）拟采取的防治措施。

第十七条 地质灾害防治管理实行预报制度。预报内容主要包括：

（一）发生时间；

（二）发生地点；

（三）成灾范围；

（四）影响强度。

第十八条 地质灾害的预报分为长期、中期、短期和临灾预报。

地质灾害长期预报，是指五年以上的地质灾害危险性的预报。包括地质灾害区划和易发区的圈定。

地质灾害中期预报，是指几个月到五年内将要发生地质灾害的预报。

地质灾害短期预报，是指几天到几个月内将要发生地质灾害的预报。

地质灾害临灾预报，是指几天之内将要发生地质灾害的预报。

第十九条 地质灾害长期预报和重要灾害点的中期预报由省、自治区、直辖市人民政府地质矿产行政主管部门提出，报省、自治区、直辖市人民政府发布。

地质灾害的短期预报和一般灾害点的中期预报，由县级以上地方人民政府地质矿产行政主管部门提出，报同级人民政府发布。

地质灾害的临灾预报由县级以上地方人民政府地质矿产行政主管部门提出，报同级人民政府发布。

群众监测点的地质灾害预报，由县级人民政府地质矿产行政主管部门或其委托的组织发布。

鼓励单位和个人提供地质灾害前兆信息。

第四章 治 理

第二十条 地质灾害治理责任，由县级以上人民政府地质矿产行政主管部门组织界定。

第二十一条 主要由自然作用形成的地质灾害，由当地人民政府地质矿产行政主管部门提出治理方案，报同级人民政府批准后组织实施。

第二十二条 主要由人为活动诱发的地质灾害，由诱发者承担治理责任。

地质灾害治理责任应当包括下列内容：

（一）提供地质灾害治理所需经费；

（二）制定或委托制定地质灾害治理方案；

（三）向有关部门报送地质灾害治理方案；

（四）承担或委托承担地质灾害治理工程。

治理责任人拟定的地质灾害治理方案，应当符合国务院地质矿产行政主管部门规定的地质灾害治理工程设计规范，按规定的

程序报县级以上人民政府地质矿产行政主管部门审批。

治理方案有重大改变的，必须报原审批机关重新审批。

第二十三条 地质灾害治理工程的施工，应当依据经批准的治理方案。

在地质灾害治理工程的施工过程中，建设单位和施工单位必须对已有的地质灾害险情进行监测，制定出现突发性异变情况时的应急措施。

第二十四条 地质灾害治理工程竣工后，必须经治理方案的审批机关组织验收。

禁止侵占、损毁或者破坏地质灾害治理工程设施。确有必要变动、关闭或者拆除的，必须征得原验收机关的同意。

第二十五条 承担地质灾害防治工程勘查、设计、施工及监理的单位，应当按照有关规定，取得相应的资格，领取资质证书。

第五章 奖励与惩罚

第二十六条 对在地质灾害防治管理工作中作出显著成绩的单位和个人，由地质矿产行政主管部门向当地人民政府提出建议给予表彰与奖励。

（一）在执行地质灾害防治管理任务时，组织严密，指挥得当，防治得力，出色完成任务者；

（二）从事生产建设时，防治措施有效，防止诱发或者防止加重地质灾害成绩突出者；

（三）采用先进科学技术，防治地质灾害成绩突出者；

（四）提供地质灾害前兆信息取得显著者；

（五）保护地质灾害治理工程设施成绩显著者；

（六）在抢险救灾工作中，保护国家和人民财产、抢救群众

有功者；

（七）有其他特殊贡献，成绩显著的。

第二十七条 违反本办法规定，有下列行为之一的，由县级以上人民政府地质矿产行政主管部门视不同情节处以警告或者按照国务院规定的数额罚款；应当给予治安管理处罚的，依照《中华人民共和国治安管理处罚条例》的规定处罚；构成犯罪的，依法追究刑事责任：

（一）在地质灾害危险区内从事容易诱发地质灾害活动的；

（二）故意发布虚假的地质灾害预报信息造成损失的；

（三）侵占、盗窃、毁损或者破坏地质灾害监测、治理工程设施的；

（四）阻碍防治地质灾害工程施工的；

（五）不按防灾预案要求承担监测预防任务的；

（六）人为诱发地质灾害的责任者，不履行治理责任的；

（七）负责地质灾害防治管理工作的国家工作人员徇私舞弊、滥用职权或者玩忽职守的；

（八）其他危害地质灾害防治管理工作的。

第六章 附 则

第二十八条 本办法自发布之日起执行。

参考文献

柴宗新，岸坡侵蚀及其防治，灾害学，1996，11（3），27～31.

常祖峰、谢阳、梁海华，小浪底工程库区岸倾斜变形研究，中国地质灾害与防治学报，1999，10（1），28～31.

车用太等，矿震及其前兆初探，中国地震，1993，9（4），334～340.

陈宝冲，城市化可能引起的地貌灾害及其防治，灾害学，1990，5（2），23～28.

陈德贻等，湖南娄底煤田矿山诱发地震分析，中国地震，1996，12（3），325～330.

陈国亮编著，岩溶地面塌陷的成因与防治，北京，中国铁道出版社，1994.

陈浩钿，赤峰南部黄土丘陵的水土流失与防治，中国减灾，1998，8（3），32～35.

陈绍绪、王川华等，河北平原的地面沉降，灾害学，1994，9（1），48～53.

地矿部《水文地质工程地质》编辑部编，环境地质研究，北京，地震出版社，1991.

丁宗洲，湖北省农业地质灾害及防治对策，灾害学，1992，7（2），68～71.

丁宗洲、安从俊，湖北省碘缺乏病流行特征及防治对策，灾害学，1996，11（4），39～42.

董瑞树、徐世杰，浅谈矿震灾害，灾害学，1990，5（1），65～66.

董玉祥，沙漠化灾害现状与损失评估，灾害学，1993，8（1），13～17.

杜兴信、李博，陕西关中地区城市灾害评价，灾害学，1994，9(3)，46～52.

段永候、罗元华、柳源等，中国地质灾害，北京，中国建筑工业出版社，1993.

高文学主编，中国自然灾害史（总论），北京，地震出版社，1997.
甘肃窑街矿务局职工医院二氧化碳中毒抢救小组，矿山二氧化碳突出事故所引起的急性中毒救治一例，灾害学，创刊号，1986，76～79.
宫辉力，地方病－水文地质环境灾害，灾害学，1989，3（3），64～66.
郭增建、陈鑫连主编，地震对策，北京，地震出版社，1986.
郭增建、秦保燕著，地震成因和地震预报，北京，地震出版社，1991.
郭增建、陈鑫连主编，城市地震对策，北京、天津，地震出版社、天津科技翻译出版公司，1991.
国家地震局第一形变监测中心，加强建筑物沉降监测，保障建筑物安全，城市减灾，1994（4），1～6.
黄尚瑶、胡素敏、马兰编著，火山·温泉·地热能，北京，地质出版社，1986.
胡连英，地质灾害防治现状及其对策，灾害学，1991，6（1），60～64.
湖南省地方志编纂委员会，湖南省志．第九卷．工业矿产志．地质矿产，长沙，湖南出版社，1994.
胡益兴，人类行为与地质灾害，灾害学，1999，12（3），84～88.
金性春，板块构造学基础，上海，上海科学技术出版社，1984.
纪万斌主编，塌陷与灾害，北京，地震出版社，1997.
纪万斌主编，塌陷与建筑，北京，地震出版社，1998.
况仁杰，长江西陵峡新滩北岸大滑坡，灾害学，1987，1（1），42～44.
康仲远，中外大城市灾例对比研究系列报告（二）——唐山地震和阪神地震，灾害学，1996，11（3），65～72.
梁鸿光，地气灾害几例，灾害学，1986，创刊号，120.
梁鸿光编，减灾必读，北京，地震出版社，1990.
梁留科、刘朝晖，论人与灾害关系的历史演变，灾害学，1994，9（1），89～93.
李永善、李金正等编著，西安地裂缝，北京，地震出版社，1986.
李相然、张绍河，滨海城市环境工程地质问题成灾特点分析，灾害学，1998，13（4），62～66.
李烈荣主编，地质灾害防治知识，国土资源部地质环境司、国土资源部宣

参考文献

传中心编印，1998.

刘颖、谢君斐等编著，砂土震动液化，北京，地震出版社，1984.

刘传正，我国岩溶塌陷分布规律的探讨，中国地质灾害与防治学报，1997，8（增刊），11～17.

卢振恒等编译，自然灾害及其对策研究，西安，陕西科学技术出版社，1987.

卢振恒编著，自然灾害常识，北京，海洋出版社，1993.

罗长军、张绍东等，河南望花亭水库坝基渗漏评价及其防治，中国地质灾害与防治学报，1999，10（1），39～43.

孟国正，山西大同煤矿采矿诱发地震，中国诱发地震，北京，地震出版社，1984，168～174.

聂高众、马宗晋、李志强，防灾减灾系统的国际对比分析及建议，灾害学，1998，13（4），67～71.

全国重大自然灾害调研组，自然灾害与减灾600问答，北京，地震出版社，1990.

邱泽华、张宝红著，构造塌陷地震，北京，地质出版社，1994.

商彦蕊，河北省地质地貌灾害与防灾减灾，灾害学，1999，14(1)，32～38.

宋永能，我国城市地下水开采诱发的灾害及对策探讨，灾害学，1992，7(3)，49～52.

宋德孝、高必春，1997年5月云南昭通两次大型泥石流灾害及防御对策，灾害学，1998，13（2），67～70.

太田裕，地震时人的行为与伤亡关系的研究，城市减灾，1994(4)，52～55.

覃子建，城市地震灾害与防震减灾对策，华南地震，1999，19(4)，72～76.

王答相、徐庭灿等，水土流失灾害防治与黄河经济开发，灾害学，1993，8(4)，41～50.

王虎栓，地震动对人生理反应的影响初探，灾害学，1991，6（2），76～79.

王若柏等，天津市地面沉降灾害及其防治工作，灾害学，1994，9(3)，

72～75.
王绍玉，论地震灾害心理研究的内容与目标，灾害学，1996，11（2），86～89.
温跨达，近40年来新疆沙漠化与人类活动，灾害学，1991，6(2)，54～59.
吴宏钊，地质环境中的氡及其对生态影响，湖南地学新进展，长沙，湖南出版社，1996，106～110.
吴积善、田连权等著，泥石流及其综合治理，北京，科学出版社，1993.
吴仪芳、宋文荣等，浅层物探在监测城市地质灾害中的应用，灾害学，1993，8（3），27～30.
肖和平，湖南邵阳市郊微震活动特征及成因，华南地震，1989，9（3），37～45.
肖和平，中国东部特殊地震带研究，西北地震学报，1996，18(2)，12～17.
肖和平，煤矿诱发地震研究，华南地震，1998，18（4），83～87.
肖和平，娄邵地区煤矿地质灾害，湖南地质，1999，18（1），57～60.
肖和平，煤矿构造矿震机理，湖南地质，1999，18（2、3），141～146.
肖和平，城市地质灾害及对策，灾害学，2000，15（2），38～42.
肖和平，后续地震类型及特征分析（待刊于西北地震学报，2000，22（3））.
肖和平编著，地震与防震减灾100问答，北京，地震出版社，1996.
谢广林编，地裂缝，北京，地震出版社，1988.
西藏自治区科学技术委员会、国家地震局科技监测司编，西藏察隅当雄大地震，拉萨，西藏人民出版社，1988.
奚树枫，安徽铜陵地面塌陷现象初析，灾害学，1991，6（3），71～73.
《新疆减灾四十年》编委会，新疆减灾四十年，北京，地震出版社，1993.
许福贵、刘利民、张建新，现代化进程中的我国城市地质灾害，灾害学，1997，12（1），59～63.
许永平，从人类违背自然规律的行为看奈曼旗的沙化过程，中国减灾，1998，8（3）41～44.
徐世杰等，“矿震”诱发机制的探讨，地震，1987，7（5），44～49.

参 考 文 献

燕乃玲、佟瑞清等，不均匀沉降对开元商厦的危害及其监测，灾害学，1999，14（2），55～59.

杨达源、闾国年，自然灾害学，北京，测绘出版社，1992.

杨梅忠、陈克良，中国煤矿灾害现状与减灾分析，灾害学，1997，12(3)，66～70.

于品清，水库地震成因探讨，中国诱发地震，北京，地震出版社，1984，30～34.

于石凡、白帆、刘明编，煤矿瓦斯防治技术，北京，中国经济出版社，1990.

曾昭华、曾雪萍，地下水中钴的形成及其与人群健康的关系，湖南地质，1995，14（4），250～257.

张虎男编，火山，北京，地震出版社，1986.

张金鉴等编译，世界重大灾难纵览，北京，东方出版社，1993.

张少泉、关杰等，矿山地震研究进展，国际地震动态，1994（2），1～6.

张少泉，《矿山地震学研究与进展专辑》索引，国际地震动态，1995(10)，1～29.

赵月霞、耿大玉等，地震灾害心理初探，灾害学，1990，5（2），83～89.

张以诚、钟立勋，滑坡与泥石流，北京，民族出版社，1987.

张业成，近40年中国地质灾害基本情况与主要特征，灾害学，1992，7（4），50～54.

周欢水、向众等，我国荒漠化灾害综述，灾害学，1998，13（3），67～71.

钟立勋，中国重大地质灾害实例分析，中国地质灾害与防治学报，1999，10（3），1～10.

钟以章、崔汝森，辽宁省北票煤田台吉井区采矿诱发的地震活动，中国诱发地震，北京，地震出版社，1984，162～167.

中国科学院兰州冰川冻土研究所、甘肃省交通科学研究所著，甘肃泥石流，北京，人民交通出版社，1982.

朱凤鸣、吴戈等编著，一九七五年海城地震，北京，地震出版社，1982.

[苏] C.M.弗莱施曼著，姚德基译，泥石流，北京，科学出版社，1986.