



21世纪交通版高等学校教材

隧道与地下工程灾害防护

Disaster Protection of Tunnel and Underground Engineering

张庆贺 廖少明 胡向东 主编
杨林德 主审



人民交通出版社
China Communications Press

21 世纪交通版高等学校教材

隧道与地下工程灾害防护

张庆贺 廖少明 胡向东 主 编
杨林德 主 审

人民交通出版社

内 容 提 要

本书为同济大学“十五”规划教材,介绍了隧道及地下工程在施工建设和使用全过程常遇到的灾害风险分析与评价、火灾的防护、工程抗震设计、防水排水、战争的防护、地下工程事故灾害的防护等内容。

本书可作为土木工程专业隧道及地下工程专业方向研究生和高年级本科生开设的必修或选修课教材,也可以用作防灾及减灾工程、岩土工程、铁路工程、道路工程、桥梁与隧道工程、民防及防护工程、重大市政建筑工程业主、监理和保险等专业技术工作者及大专院校师生参考书,还可用于土木工程风险分析、灾害评价防护的辅助教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

隧道与地下工程灾害防护/张庆贺等主编. —北京:人民交通出版社, 2009.9

ISBN 978-7-114-07876-7

I. 隧… II. 张… III. ①隧道工程—灾害防治—高等学校—教材②地下工程—灾害防治—高等学校—教材
IV. U456.3 TU94

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 110560 号

21 世纪交通版高等学校教材

书 名: 隧道与地下工程灾害防护

著 者: 张庆贺 廖少明 胡向东

责任编辑: 曲 乐 丁润铎

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)59757969, 59757973

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京凯通印刷厂

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 27.5

字 数: 690 千

版 次: 2009 年 9 月 第 1 版

印 次: 2009 年 9 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-07876-7

印 数: 0001—2000 册

定 价: 45.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

21 世纪交通版 高等学校教材(公路与交通工程)编审委员会

顾问:王秉纲 (长安大学)

主任委员:沙爱民 (长安大学)

副主任委员:(按姓氏笔画排序)

王 炜 (东南大学)

陈艾荣 (同济大学)

徐 岳 (长安大学)

梁乃兴 (重庆交通大学)

韩 敏 (人民交通出版社)

委员:(按姓氏笔画排序)

马松林 (哈尔滨工业大学)

王殿海 (吉林大学)

叶见曙 (东南大学)

石 京 (清华大学)

向中富 (重庆交通大学)

关宏志 (北京工业大学)

何东坡 (东北林业大学)

陈 红 (长安大学)

邵旭东 (湖南大学)

陈宝春 (福州大学)

杨晓光 (同济大学)

吴瑞麟 (华中科技大学)

陈静云 (大连理工大学)

赵明华 (湖南大学)

项贻强 (浙江大学)

郭忠印 (同济大学)

袁剑波 (长沙理工大学)

黄晓明 (东南大学)

符铎砂 (华南理工大学)

裴玉龙 (哈尔滨工业大学)

颜东煌 (长沙理工大学)

秘书长:沈鸿雁 (人民交通出版社)

总 序

当今世界,科学技术突飞猛进,全球经济一体化趋势进一步加强,科技对于经济增长的作用日益显著,教育在国家经济与社会发展中所处的地位日益重要。进入新世纪,面对国际国内经济与社会发展所出现的新特点,我国的高等教育迎来了良好的发展机遇,同时也面临着巨大的挑战,高等教育的发展处在一个前所未有的重要时期。其一,加入WTO,中国经济已融入到世界经济的发展进程之中,国家间的竞争更趋激烈,竞争的焦点已更多地体现在高素质人才的竞争上,因此,高等教育所面临的是全球化条件下的综合竞争。其二,我国正处在由计划经济向社会主义市场经济过渡的重要历史时期,这一时期,我国经济结构调整将进一步深化,对外开放将进一步扩大,改革与实践必将提出许多过去不曾遇到的新问题,高等教育面临加速改革以适应国民经济进一步发展的需要。面对这样的形势与要求,党中央国务院提出扩大高等教育规模,着力提高高等教育的水平与质量。这是为中华民族自立于世界民族之林而采取的极其重大的战略步骤,同时,也是为国家未来的发展提供基础性的保证。

为适应高等教育改革与发展的需要,早在1998年7月,教育部就对高等学校本科专业目录进行了第四次全面修订。在新的专业目录中,土木工程专业扩大了涵盖面,原先的公路与城市道路工程,桥梁工程,隧道与地下工程等专业均纳入土木工程专业。本科专业目录的调整是为满足培养“宽口径”复合型人才的要求,对原有相关专业本科教学产生了积极的影响。这一调整是着眼于培养21世纪社会主义现代化建设人才的需要而进行的,面对新的变化,要求我们对人才的培养规格、培养模式、课程体系和内容都应作出适时调整,以适应要求。

根据形势的变化与高等教育所提出的新的要求,同时,也考虑到近些年来公路交通大发展所引发的需求,人民交通出版社通过对“八五”、“九五”期间的路桥及交通工程专业高校教材体系的分析,提出了组织编写一套21世纪的具有鲜明交通特色的高等学校教材的设想。这一设想,得到了原路桥教学指导委员会几乎所有成员学校的广泛响应与支持。2000年6月,由人民交通出版社发起组织全国面向交通办学的12所高校的专家学者组成21世纪交通版高等学校教材(公路类)编审委员会,并召开第一次会议,会议决定着手组织编写土木工程专业具有交通特色的道路专业方向、桥梁专业方向以及交通工程专业教材。会议经过充分研讨,确定了包括基本知识技能培养层次、知识技能拓宽与提高层次以及教学辅助层次在内的约130种教材,范围涵盖本科与研究生用教材。会后,人民交通出版社开始了细致的教材编写组织工作,经过自由申报及专家推荐的方式,近20所高校的百余名教授承担约130种教材的主编工作。2001年6月,教材编委会召开第二次会议,全面审定了各门教材主编院校提交的教学大纲,之后,编写工作全面展开。

21世纪交通版高等学校教材编写工作是在本科专业目录调整及交通大发展的背景下展开的。教材编写的基本思路是:(1)顺应高等教育改革的形势,专业基础课教学内容实现与土木工程专业打通,同时保留原专业的主干课程,既顺应向土木工程专业过渡的需要,又保持服务公路交通的特色,适应宽口径复合型人才培养的需要。(2)注重学生基本素质、基本能力的

培养,为学生知识、能力、素质的综合协调发展创造条件。基于这样的考虑,将教材区分为二个主层次与一个辅助层次,即基本知识技能培养层次与知识技能拓宽与提高层次,辅助层次为教学参考用书。工作的着力点放在基本知识技能培养层次教材的编写上。(3)目前,中国的经济发展存在地区间的不平衡,各高校之间的发展也不平衡,因此,教材的编写要充分考虑各校人才培养规格及教学需求多样性的要求,尽可能为各校教学的开展提供一个多层次、系统而全面的教材供给平台。(4)教材的编写在总结“八五”、“九五”工作经验的基础上,注意体现原创性内容,把握好技术与教学需要的关系,努力体现教育面向现代化、面向世界、面向未来的要求,着力提高学生的创新思维能力,使所编教材达到先进性与实用性兼备。(5)配合现代化教学手段的发展,积极配套相应的教学辅件,便利教学。

教材建设是教学改革的重要环节之一,全面做好教材建设工作,是提高教学质量的重要保证。本套教材是由人民交通出版社组织,由原全国高等学校路桥与交通工程教学指导委员会成员学校相互协作编写的一套具有交通出版社品牌的教材,教材力求反映交通科技发展的先进水平,力求符合高等教育的基本规律。各门教材的主编均通过自由申报与专家推荐相结合的方式确定,他们都是各校相关学科的骨干,在长期的教学与科研实践中积累了丰富的经验。由他们担纲主编,能够充分体现教材的先进性与实用性。本套教材预计在二年内完全出齐,随后,将根据情况的变化而适时更新。相信这批教材的出版,对于土木工程框架下道路工程、桥梁工程专业方向与交通工程专业教材的建设将起到有力的促进作用,同时,也使各校在教材选用方面具有更大的空间。需要指出的是,该批教材中研究生教材占有较大比例,研究生教材多具有较高的理论水平,因此,该套教材不仅对在校学生,同时对于在职学习人员及工程技术人员也具有很好的参考价值。

21世纪初叶,是我国社会经济发展的重要时期,同时也是我国公路交通从紧张和制约状况实现全面改善的关键时期,公路基础设施的建设仍是今后一项重要而艰巨的任务,希望通过各相关院校及所有参编人员的共同努力,尽快使全套21世纪交通版高等学校教材(公路类)尽早面世,为我国交通事业的发展做出贡献。

21世纪交通版
高等学校教材(公路类)编审委员会
人民交通出版社
2001年12月

前 言

本书得到同济大学教材、学术著作出版基金委员会资助,为同济大学“十五”规划教材。

本书可作为土木工程专业隧道及地下工程专业方向研究生和高年级本科生的必修或选修课教材,也可以用作防灾及减灾工程、岩土工程、铁路工程、道路工程、桥梁与隧道工程、民防及防护工程、重大市政建筑工程,以及监理和保险等专业技术工作者及大专院校师生参考书,还可用于土木工程风险分析、灾害评价防护的辅助教材。

本书第一章概略介绍了隧道及地下工程在施工建设和使用全过程常遇到的风险及灾害分类、特点、通常对策及土木工程防灾减灾新的理论及技术。

第二章介绍隧道及地下工程风险特征、规律,风险致灾机理过程,风险灾害评价方法,并结合近年来城市地铁工程出现的若干灾害案例进行了定性或定量评价,提出减少风险及灾害的有效对策和方法。

第三章介绍了火灾对地下工程破坏的特点,论述了地下工程火灾烟雾扩展的数据模型,以及地下工程防火和防灾设计方法。

第四章结合国内外工程实例简略介绍了地震成因及对地下工程破坏的特点,论述地下工程抗震动力分析的方法实用性及工程抗震设计构造措施。

第五章总结阐述了水体对地下工程危害、防水标准和防水设计基本原则,介绍了当前地下工程防水的新材料、新工艺、新技术。

第六章介绍了现代战争的特点,以及常规武器、核武器、生化武器和“恐怖活动”破坏特点及防护方法,举例说明民防部设计方法。

第七章介绍各种地下工程施工期灾害成因、危害及多媒体监控方法,并按不同工法举例论述隧道地下工程施工阶段灾害特点及对策。

本书由同济大学张庆贺、廖少明、胡向东主编,杨林德主审。第一、二章由同济大学张庆贺、柳献执笔;第三、四章由同济大学廖少明执笔,闫治国和柳献作了修改和补充;第五章由同济大学马险峰执笔;第六章由上海市地下建筑设计研究院于晓音、郭莉、熊诚执笔;第七章由同济大学胡向东、赖允瑾、张庆贺执笔,上海市政设计研究院高卫平执笔编写沉管隧道施工及灾害防护一节,重庆交通大学韦良文为盾构进出洞土体加固提供工程实例。全书由张庆贺统稿和校对。同济大学土木工程学院地下建筑与工程系许多老师为本书编写提出指导和建议。人民交通出版社的编辑、校审人员为本书出版付出辛勤劳动。此外,研究生原华、王海平、郭海柱、赵天石等为本书打印、校对、编排做了许多工作。为此,在本书付梓之日,作者向为本书编写、出版给予支持和帮助的所有同志表示衷心感谢。

编 者

2009年5月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 灾害的概念、类型与特点	3
第二节 隧道及地下工程常遇灾害及对策.....	6
第三节 防灾、减灾技术理论新进展	8
思考题.....	9
第二章 灾害风险分析与评价	10
第一节 灾害风险的概论	10
第二节 灾害风险分析	12
第三节 减灾决策	28
第四节 隧道及地下结构受灾的可靠度分析	31
第五节 地下铁道工程全寿命期风险管理实例	43
思考题	60
第三章 火灾的防护	62
第一节 火灾对地下工程的破坏特点	62
第二节 隧道及地下工程的火灾模型	67
第三节 隧道及地下工程防火设计	80
第四节 地下工程消防系统及设计要点	93
思考题.....	117
第四章 地震灾害抗震设计	118
第一节 引言.....	118
第二节 地震成因及对地下工程破坏特点.....	118
第三节 地下工程抗震设计.....	153
思考题.....	176
第五章 隧道及地下工程防水及排水	177
第一节 水的危害及其防治.....	177
第二节 防水设计基本原理与方法.....	182
第三节 地下工程主体自防水.....	186
第四节 地下工程外防水.....	192
第五节 地下工程接缝构造防水.....	198
第六节 地下工程渗漏及洪涝灾害治理.....	219
思考题.....	232

第六章 战争灾害的防护	233
第一节 概述.....	233
第二节 核武器的爆炸效应及防护原理.....	240
第三节 常规武器的破坏作用及防护对策.....	249
第四节 人民防空工程设计实例.....	259
第五节 恐怖袭击及其防御.....	277
思考题.....	279
第七章 地下工程事故灾害的防护	280
第一节 深基坑工程事故灾害.....	281
第二节 矿山法隧道工程事故灾害.....	312
第三节 盾构法隧道施工的风险灾害及对策.....	324
第四节 联络通道施工风险及对策.....	382
第五节 大型沉管隧道施工风险及对策.....	388
第六节 冻结法及其他辅助工法工程事故灾害防范.....	400
思考题.....	421
参考文献	422

第一章 绪 论

所有地层表面以下建筑物及构筑物统称为地下工程,也称为岩土工程。隧道是地下工程的一个重要分支,它是铁路、道路、水渠、各类管道(给排水、供电、供热、供气、动力及通信电缆等)遇到岩土、水体等障碍物时开凿的穿过山体或水体的内部通道,是“生命线”工程。铁路隧道、公路隧道和地铁区间隧道属于交通隧道,是主要的隧道类型。各类市政管道集中在一起置于一个较大隧道断面内,又称之为城市的共同沟。按照使用功能,地下工程还包括地下工业建筑、地下民用建筑、地下军事工程、地下仓储工程、地下文化娱乐和体育设施等。随着我国城市化的加快,城市建设快速发展,城市规模不断扩大,城市人口急剧膨胀,许多城市不同程度地显现了建筑用地紧张,生存空间拥挤,交通阻塞,生态失衡,环境恶化等问题,被称之为“城市病”,给人类居住条件带来很大影响,也制约了经济和社会的进一步发展,成为现代城市可持续发展的障碍。对于人口和经济高度集中的城市,无论是战争或是自然灾害,都会给城市带来大量人员伤亡、道路和建筑物的破坏、城市功能瘫痪等重大灾难性的后果。1991年至2000年10年间世界各地发生的灾害与前10年相比并无明显差异,然而因灾害造成的损失增加了3倍,比20世纪60年代增加近10倍。造成灾害损失迅速增加的重要原因是城市化进程的加速。众所周知,地下工程具有良好的抗震、防空袭和防生化武器等多种功能,是人们抵抗自然灾害和战争危险的重要场所。当今发达国家的城市已把地下空间开发利用作为解决城市人口、环境、资源三大危机的重要设施和医治“城市综合征”、实施可持续发展的重要途径。

截至2003年5月,我国大陆现有运营铁路隧道约5700多座,累计总长2800km。中国铁路隧道占世界铁路隧道总长的1/5,居世界第一位。公路隧道近2000座,总长度约835km。我国大陆现有北京、上海、广州、深圳、天津和南京等城市地下铁道系统投入运营,共计约250km。正在建设城市轨道交通的城市有北京、上海、广州、天津、南京、深圳、大连、武汉、重庆、长春等,共计约300km。合肥、成都、杭州、苏州、西安、沈阳、哈尔滨、宁波、无锡等也在积极筹备建设城市地铁。全国各城市以地铁为主的快速轨道交通网规划已达数千公里。城市地下空间开发应做好立体规划,分层开发。地下第一层3~5m,布置市政公共事业管网的干线支线、共同沟。地下二层深度6~10m,布置地下步行商业街,地下停车场,地铁车站,地下文化娱乐设施等。地下三层10~30m,配置地下铁道的区间隧道,物流管道,地下河(排水、引水沟渠),立型地下停车场,地下垃圾收集站,加工厂。放射性和有毒的固体垃圾,应存放在100m以下坚硬不透水的地层中。为了解决市区中心地段停车难,大量利用高层建筑箱形基础修建地下停车库是发展方向。自20世纪80年代以来,我国城市地下空间开发执行平战结合,与城市建设相结合,以地下铁道工程为主体,陆续建成一批经济效益和社会效益明显的地下商场和地下综合体。上海地铁1号线修建的人民广场、徐家汇地下商业街,既疏散了客流,又方便了居民的购物。沈阳新客站综合开发体,鞍山、西安、石家庄、郑州、武汉、洛阳、大连、长沙等铁路站前广场综合体,西安、吉林、长春、哈尔滨和成都的地下商业街初具规模。哈尔滨市若干地下

商业街连成一体,形成面积为 25 万 m^2 的地下城。

我国使用沉管法相继建成广州珠江隧道、宁波甬江常虹隧道和上海黄浦江外环线越江隧道。其中黄浦江越江隧道为双向八车道水下公路交通沉管隧道,工程全长 2 870. 127m,沉管管段横断面为 $9. 55\text{m}\times 43\text{m}$,共设七节管段,每节长 100~108m 不等,最大埋深 33m,设计时速 80km/h,其规模位于全国之首,亚洲第一,总造价 19 亿元。上海外环隧道规模大,工期紧,技术复杂,是集多领域新技术于一体的综合性系统工程。

上海市自 20 世纪 60 年代以来,用盾构法先后建成打浦路隧道、延安路隧道、大连路隧道、翔殷路隧道、复兴路隧道等共七条跨越黄浦江的公路隧道。此外,武汉和南京市跨长江公路隧道,沪崇苏越江通道(南隧北桥)相继开工。南京纬七路长江隧道工程是长江上长度最长,工程难度最高,挑战性最大的工程之一。北起浦口新市区的浦珠路,经梅子洲跨长江后,向南与河西新城纬七路相接,工程线路全长 5 724m,设计时速 80km/h,总投资达 30 亿元,预计 2009 年建成通车。上海长江口的沪—崇—苏大通道自浦东竹园口穿越长江主航道到达长兴岛,再经过崇明,到江北江苏启东,工程总投资 200 多亿元人民币,南线主航道下的盾构法隧道总长达 7. 5km,盾构直径达到 15. 43m,其施工难度,工程的艰巨、复杂是罕见的。举世瞩目的南水北调工程,在东、中、西三条线中,有许多长距离山岭隧道,跨黄河江底隧道,工程地质条件均十分复杂,施工风险大。

正在建设的厦门海底公路隧道、青岛跨胶州湾海底隧道,正在设计规划的连接香港—澳门—珠海的珠江口隧道,跨越琼州海峡海底隧道,其工程规模,施工难度是空前的。海峡隧道以其全天候、大运输量、低能耗、安全高效等优点,越来越引起各国工程界的重视。特别受日本青函隧道、东京湾隧道和英法海底隧道等工程的鼓舞,在世界范围内兴起修建海底隧道热。我国不少有识之士提出跨越渤海湾的南桥北隧联络通道,甚至有人提出兴建把大陆与台湾连接起来的台湾海峡隧道。

进入 20 世纪 90 年代以来,随着建设规模的不断扩大,我国建筑行业生产力得到迅速的发展,施工能力不断提高,超高层、大跨度房屋施工技术,大跨度预应力张拉技术,悬索桥梁施工技术,大型复杂配套设备安装技术等达到或接近国际先进水平,并依靠自己的力量相继建成一大批大型工程项目和基础设施项目。如号称世界第一拱桥黄浦江上卢浦大桥(跨径 550m),润扬长江大桥(世界第三,主跨 1 490m),上海上中路隧道(当今世界最大直径的双层隧道),广州会展中心和哈尔滨会展中心,南京奥体中心,全长 18. 46km 的秦岭双线铁路隧道。战胜高地应力、高地热、多瓦斯、多处塌方,地质条件恶劣,号称天下“第一险洞”的南昆铁路安竹青隧道,海拔最高,气候环境十分恶劣,全长达 4 160m 的川藏公路二郎山隧道等。上述许多工程项目突破现行技术标准,超大、超长、超深、超厚结构不断涌现。外观新颖,风格独特,结构体系复杂,新技术、新工艺、新材料层出不穷,技术风险突出,对于确保工程质量提出了新的挑战。

然而,一些工程项目盲目追求新颖,结构体系不合理,缺少必要的试验检验和论证分析,存在潜在的技术风险。人们对于客观规律认识不足,管理不善,酿成重大工程事故。如上海轨道交通 4 号线工程,在地处 30m 以下地层采用冻结法加固暗挖法施工区间隧道联络通道。某日凌晨,大量水和砂从作业面涌入隧道,引起隧道部分结构损坏及周边地区地面沉降,造成三栋高层建筑严重倾斜,防汛大堤局部倒塌,防汛墙围堰管涌,直接经济损失估计为 1. 5 亿人民币。再如,哈尔滨“人和世纪广场”基坑垮塌事故。2004 年 8 月 16 日 19 时 30 分,哈尔滨市南岗区奋斗路和花园街交叉口处,正在施工的“人和世纪广场”地下商业街工程发生坍塌事故,塌陷面

积近百平方米,深度 17m 左右。塌陷事故引起地下自来水管破裂。由于塌陷区正处于繁华地段人行道上,导致多名施工人员和路人遇险,造成 15 人死亡,8 人受伤的特大事故,直接经济损失 415.2 万元。

第一节 灾害的概念、类型与特点

所谓灾害,一般指那些可以造成人畜伤亡和物质财富毁损的自然或社会事件,它们源于天体、地球、生物圈等方面以及人类自身的失误,形成超越本地区防救力量的大量伤亡和物质的毁损。根据联合国灾情调查报告,世界性大灾在过去 30 年内增加了数倍,主要灾害有:雪崩、寒流、干旱、疫病、地震、饥饿、火灾、洪水、滑坡、热浪、暴风、海啸、火山爆发、战乱、恐怖活动 15 类。实际上,灾害的种类可达数百种之多,但一般灾害成因可概括为自然灾害和人为灾害两大类。

一、自然灾害

自然灾害(Natural disaster)是指由于自然力的作用给人类造成的灾难。由于我国土地辽阔,人口众多,环境复杂,自然变异强烈,而经济基础和减灾能力又相对比较薄弱,所以我国的自然灾害强度大,分布广,种类多,是世界上自然灾害最严重的国家之一。新中国成立以来,每年仅气象、洪水、海洋、地质、农作物病虫害、森林灾害等 7 大类自然灾害造成的直接经济损失(折算成 1990 年不变价),在 20 世纪 50 年代平均约 480 亿元,60 年代平均约 570 亿元,70 年代平均约 590 亿元,80 年代平均约 690 亿元,90 年代前五年平均约 1 190 亿元,其中 1994 年直接经济损失高达 1 800 多亿元。其损失约占工农业总产值的 5%~25%,平均每年有 1 万~2 万人死于各种自然灾害。

1. 自然灾害成因

- (1)由大气圈变异活动引起的气象灾害和洪水;
- (2)由水圈变异活动引起的海洋灾害及海岸带灾害;
- (3)由岩石圈变异活动引起的地震及地质灾害;
- (4)由生物圈变异活动引起的农、林、病虫、草、鼠害;
- (5)由人类活动引起的自然灾害。

2. 灾害的特点

(1)气象灾害:包括干旱、雨涝、暴雨、热带气旋、寒潮、冷害、冻害、寒害、风灾、雹灾、暴风雨、龙卷风、干热风、沙尘暴、雷暴等。随着全球变暖趋势的进一步加剧,气象灾害已成为人类社会面临的最严重的自然灾害。风灾是自然灾害中影响最大的灾种之一。在 1960 年至 1990 年三十年间,世界范围内主要风暴的次数明显增加,导致经济损失直线上升。1994 年的 9415 号台风侵袭浙江温州,经济损失达 177.6 亿元,其中房屋倒塌 80 多万间,由此引起的死亡人数 1 100 多人,损失十分严重。2008 年初,一场半个世纪以来最为严重的冰雪灾害席卷锦绣江南大半个中国。冰雪发生在我国传统佳节——春节到来前夕。近 15 000 万农民工返乡过节,各大专院校学生纷纷放假回家,客运量急增。运往各大城市的过节蔬菜、瓜果等农副产品,煤电用量也处于高峰。然而低温雨雪天气使南方多数输电线路被破坏,机场、高速公路关闭,火车被迫停运,大量旅客滞留车站、机场,甚至被围困在回家途中。一棵棵大树不堪冰挂重负,无一

例外断臂折腰。电线杆上手指粗的电线,被冰冻层层严密包裹,变成像胳膊一样粗的冰棒。高大的电塔拦腰截断,钢架像麻花一样垂了下来。据不完全统计,灾区有 6 905 条输电线路停运,834 座变电站停运,110V 以上的输电线杆塔倒 1 574 座,波及 90 个县市,2 259 万人。冰雪致使通信部门的基站几乎瘫痪,电脑无法上网,手机无信号,交通又中断,有 3 000 个村庄成了一个“孤岛”。这场低温雨雪冰冻灾害造成直接经济损失约折合人民币 1 516.5 亿元。由于森林成片倒伏,大片草本植物冰冻枯死,大批野生动物和昆虫冻死,对灾区生态环境造成的结构性创伤更为严重,影响更深远。

(2)海洋灾害:包括风暴潮、海啸、海浪、海水入侵、赤潮、潮灾、海平面上升和海水倒灌等。2004 年 12 月 26 日印度尼西亚苏门答腊岛西北部(3.037°N,95.94°E)海底 40km 发生里氏 9.0 级地震。地震引发的海啸造成 20 万人死亡,60 万人无家可归。海啸产生几米到几十米高的“水墙”快速涌向海岸,巨大的冲击压力使房屋瞬间倒塌,将室内人员压在废墟之下,或受伤后被海浪冲走。海啸带来的倒塌建筑木料、汽车、其他密度小的固体物向陆地高速推进,这些固体物对人体的冲击是人员直接伤亡的另一个原因。海啸冲击使房屋、桥梁倒塌,海水倒灌使地下供水、排水、通信、电力、地铁、交通隧道等基础设施破坏,增加了灾后重建难度。

(3)洪水灾害:包括洪涝灾害和江河的泛滥等。

(4)地质灾害:包括崩塌、滑坡、泥石流、地裂缝、塌陷、火山、矿山突水(瓦斯)、冻融、地面沉降、土地的沙漠化、水土流失、土地盐碱化等。

上海所处的地层是由长江冲积携带的泥沙堆积而形成的厚达 300m 的软土层结构,含水丰富,孔隙大,像一块海绵,非常容易变形。1921 年至 1965 年短短 40 余年,上海市地面平均沉降 1.69m,年平均下沉 37.6mm。据我国国家海洋局 1989 年公布的数据,近年来中国海平面平均上升率为 0.14cm/a,而上海地区海平面平均上升率则为 0.20cm/a。观测资料显示海平面上升的趋势在加快。沉降中心区累计最大沉降达 2.63m。由此造成排水不畅,污水外溢,暴雨形成内涝,建筑物倾斜下沉,地下设施和地下管道不能发挥作用。苏州河的外滩至真北路 21 座桥桥身下沉,桥下净空缩小,影响船只通航。黄浦江几处越江隧道地坪开裂,坑坑洼洼不平。据推算到 2050 年吴淞口地面沉降 0.25m,地壳下沉 0.06m,海平面上升 0.21m,防汛墙需增高 0.46m。

(5)地震灾害:包括由地震直接引起的各种灾害以及由地震诱发的各种次生灾害,如沙土液化、喷沙冒水、基础设施破坏、河流及水库决堤等。我国是世界上的多地震国家之一。近十年来,我国地震活动较为频繁,据统计,我国每年发生五级以上地震 18 次左右。到 2008 年 9 月 4 号止,除汶川大地震及强余震外,中国内地已发生 21 次五级地震。2008 年 5 月 12 日 14 时 28 分四川省汶川县发生里氏 8.0 级强烈地震。震中在龙门山断裂带上的汶川县映秀镇,北纬 31.01°,东经 103.38°。震源深 15km,属浅源地震,发生在地壳脆韧能转换带,破坏性大。它是印度板块向亚欧板块俯冲、逆转、右旋、挤压、碰撞引起的。2008 年 9 月 4 号国家测绘局和中国地震局联合公布汶川地震地形变化监测结果表明,汶川地震引起震中区域监测点水平位移达 238cm,沉降量达 70cm,隆起量达 30cm。龙门断裂带西侧块体向东偏南运动,位移达 20~70cm;东侧块体向西偏北运动,位移达 20~238cm。东西块体上下错位达 30~70cm。陕西南部区域向西北方向运动,最大位移达 4cm;甘肃陇南区域向东北运动,最大位移达 5cm。青藏高原珠峰地区监测点向西偏南运动,水平与垂直方向位移分别达到 2cm 和 3cm。汶川地震是 1949 年以来破坏性最强,波及范围最大的一次地震。陕

西、甘肃、重庆、云南等地震感强烈；湖南、湖北、河南、江苏、广西、广东、青海、西藏、北京、上海等几乎所有省及直辖市，甚至整个东南亚和东亚地区都有震感。仅四川省受灾面积就达 25.2 万 km²。

(6) 农作物灾害：包括农作物病虫害、鼠害、农业气象灾害、农业环境灾害等。

(7) 森林灾害：包括森林病虫害、鼠害、森林火灾等。

我国的自然灾害种类繁多，而且灾害的强度大，频次高，危害面广，破坏性大以及具有韵律性、群发性、转移性、继发性和相互制约性等特点。

二、人为灾害

人为灾害也称技术灾害 (Technological disaster)，是由于人们行为失控和不恰当的改造自然行为，打破了人与自然和谐的动态平衡，导致了科技、经济和社会系统的不协调而引起的灾害。它是人类认识的有限与无限，科技发展和欠发展等矛盾的必然表现形式，有时也是人和人所在的社会集团的有意行为。

人为灾害主要分为：战争、恐怖袭击、空难、海难、车祸、火灾、爆炸、噪声、水土流失、沙漠化、核泄漏、核污染、土地退化、酸雨、毒雪以及生态环境的日益退化等。

(1) 战争。在我国古代称为“兵灾”或“兵祸”，它对于城市基础设施、人类生活物资财富的破坏力量最大。当今世界，国际恐怖活动日益盛行，成为危害国家和社会安定的“毒瘤”。恐怖分子利用高新技术手段，对城市地铁等基础设施的破坏以及对人类生存的威胁是人类灾害防护课题面临的新挑战。

(2) 人类对于大自然资源的过量开采，超过了大自然的承受能力。由于人类在科技、经济、社会关系上处理不当，在运用新的科研成果和开发新资源与新能源，利用新技术时出现失误，引起人与自然关系失调，造成重大的人力、物力和自然资源的损坏。

上述人为灾害，若按人的活动范围和行为主体分，可以概括为四类。

(1) 生产活动型：人类为了生存、繁衍和发展要从事各种各样的生产性活动，限于人的生理和心理特征，科技文化素质，生产技能水平，对事物的判断能力的限制，难免产生人为失误。这些失误无论是技术性的、生理性的还是心理性的，都可能使灾害风险在生产及其经营活动中诱发成灾难，如噪声、化学事故（核泄漏）、土地退化、建筑结构老化、酸雨、职业病等。我国安全生产的形势非常严峻，2004 年生产事故人员伤亡 15 万人，伤残 70 万人，经济损失 2 500 亿元。在建筑业、危险有毒化工产品生产行业、地方小煤窑采煤业、烟花爆竹业、铁路公路水上交通五大高危险生产行业中，仍不时出现群死群伤特大灾害事故。例如 2008 年 9 月接连发生三起煤矿灾害事故，先是 9 月 8 日山西省临汾市襄汾县塔山矿区新塔矿业公司的尾矿库溃坝，随后 9 月 20 日黑龙江省鹤岗市富华煤矿突发火灾事故，紧接着 9 月 21 日河南省登封市郑州广贤有限公司新丰二矿发生煤与瓦斯突出矿井灾害事故。

(2) 社交活动型：也称非生产活动型，指在人类生存活动的领域，由于个人和群体的失误，破坏了社会活动的正常秩序，危害了和谐的生存环境而诱发的社会性灾害，如车祸、空难、海难、环境污染、疾病的流行等。

(3) 人为致灾型：也称人祸天灾型或天灾人祸型，它是因为人为因素而引发的灾害，如战争、核污染、火灾、通信信息病毒等。

(4) 次生灾害型：火是人类文明的发源，但是若火失去了控制就形成火灾，将给人类的生命

财产和社会的资源造成极大的损失。近年来我国每年发生数万起火灾,死亡人数逾千人,直接经济损失以十亿元人民币计。其中个别严重的案例,一次火灾就使数百人死亡。火灾可能因为雷电、地震等自然灾害引发,也有可能因为生产和生活中违章作业,设备的老化,电器的短路等生产事故引起,甚至因战时敌人炸弹空袭,核弹袭击光辐射,恐怖分子引爆引燃爆破装置、易燃易爆产品而发生。

根据国家安全生产监督管理局统计资料,2003年全国共发生各类灾害事故963976起,死亡136340人,与上年同比分别下降10.5%和1.9%。其中工矿企业发生的伤亡事故15597起,死亡17315人,同比分别上升10.2%和16.0%;消防火灾事故254811起,死亡2497人,同比分别下降1.4%和4.0%;道路交通事故667507起,死亡104372人,同比下降13.7%和4.6%;水上交通事故634起,死亡和失踪498人,同比下降6.8%和上升7.6%;铁路路线伤亡事故12640起,死亡8530人,同比分别上升6.0%和3.8%。

第二节 隧道及地下工程常遇灾害及对策

地下工程在施工和运营期间可能发生的灾害大致分为两大类:自然灾害和人为灾害。自然灾害主要有洪涝、水淹、地震、雪灾、台风、泥石流、滑坡等;人为灾害主要有战争(炮弹、炸弹、核弹、生化武器)、交通事故、火灾、泄毒、化学爆炸、环境污染、工程事故[靠近地铁站或隧道打(压)桩、开挖深大基坑、抽取地下水等]和运营事故等。大的灾害往往同时伴随一种或几种次生灾害,如大的地震往往伴随着大范围火灾、暴雨;核武器爆炸将引起火灾、放射性灾害。对资源的过度开采,违反客观规律的大型工程活动,也会导致自然灾害频率增加,例如泥石流、滑坡、局部地表沉陷等地质灾害大都与不合理采石开矿有关联。地下工程四周为围岩介质包裹,对来自外部的灾害防御能力好,对来自内部的灾害抵御能力差。在地下狭小空间里,人员和设备高度密集,一旦发生灾害,疏散和抢救十分困难。从世界地铁100多年的历史教训看,地铁灾害中发生频率最高,造成损失最大的是火灾。地下工程常遇灾害及防治对策见表1-1。

地下工程常遇灾害及防治对策

表 1-1

灾害分类	破坏特点	灾害成因	防护对策	
自然灾害	气象灾害	暴雨、涝灾、海啸潮水倒灌淹没车站、隧道设施,冲垮高架桥墩,台风卷走高架桥、接触网、供电设备,雷电击穿通信、信号、供电系统,雪掩埋地面高架轨道设施等	大气内部的动力和热力过程演变,温带和热带气旋,海洋低气压热带风暴,对流强烈的积雨云系	1. 有效排洪涝泵站设备; 2. 出入口、风口汛期封堵措施; 3. 增加高架桥系统的抗风安全度
	地震灾害	强烈的垂直、水平震动,地面突沉开裂,使高架桥墩台剪坏,梁板塌垮,隧道车站开裂,渗漏水,甚至倒塌,引起次生火灾等	地球板块挤压、运动	1. 按抗震规范设计、施工; 2. 特殊重点部位做好基础隔震减震; 3. 增加结构抗震安全度
	地质灾害	泥石流、滑坡毁坏掩埋地铁车站、隧道、桥梁等	干旱、风化、不合理采伐	合理采伐,绿化护坡,对危险地段长期监控

续上表

灾害分类	破坏特点	灾害成因	防护对策
人为灾害	战争灾害	政治、经济、民族矛盾冲突激化	按人防工程要求等级设计,做好平战功能转换,预留技术储备
	运营事故	管理、维修不合理,监控系统不完善	严格规章制度,加强管理,建立自动监测、报警系统,设置处理预案
	工程事故	野蛮施工,缺少监督机制	制订地铁工程施工保护技术规程,加强施工监控

各类灾害表现形式不同,其共同的特点是空间分布有限性,潜在性,突发性,发生灾害的时间、空间及强度随机性。对其发展发生的规律、机理,人们还缺少充分认识,因此无法避免灾害的发生。随着人们认识的提高,许多自然灾害在未来将逐步得到抑制,相反人为造成的灾害往往因失控而增长。各种自然灾害之间,人类活动与灾害之间,原生灾害、次生灾害、衍生灾害之间有着必然的联系。灾害作用和破坏极其复杂,而我国抗灾减灾经验不足,特别是地下工程防灾方面技术相对落后,相关的研究远不适应我国迅速发展的城市地下空间开发规模。地下工程的灾害防护在今后相当长时间内应予以足够重视。

各种灾害对地下工程人员、设备等的破坏状况见表 1-2。

灾害对地下工程破坏程度

表 1-2

分类	灾害名称	土建工程				设备安装工程					人员
		地下工程	隧道	高架桥	轨道结构	车辆	电气	环卫	通信	信号	
自然灾害	地震	○	○	◇	□	□	○	○	○	○	◇
	洪涝	○	○	○	○	○	◇	◇	◇	◇	○
	暴风	△	△	◇	△	△	△	△	△	△	□
	雷击	○	○	○	□	□	◇	□	◇	◇	◇
	泥石流、滑坡	○	◇	◇	○	△	△	△	△	△	○
	沼气瓦斯	○	◇	△	△	◇	◇	◇	◇	◇	◇
战争灾害	核武器	○	○	◇	○	□	○	○	◇	◇	○
	常规武器	○	○	◇	□	○	○	○	○	○	○
	生化武器	◇	◇	△	△	△	△	△	△	△	◇
工程事故	火灾	△	△	△	□	◇	◇	◇	◇	◇	◇
	交通事故(碰撞追尾)	△	△	△	○	◇	□	□	□	□	◇
	环境扰动(打桩、基坑、降水)	○	○	○	○	△	△	△	△	△	△
	渗漏水	○	○	△	□	□	○	□	○	○	□
备注	◇—产生严重破坏 ○—一般性损坏 □—轻微损坏 △—基本无损坏										

第三节 防灾、减灾技术理论新进展

一、完善管理机制

建筑工程安全生产管理必须坚持“安全第一,预防为主”的方针,建立健全安全生产的责任制度和群防群治制度。20世纪初,美国的钢铁工业受宏观经济萧条的影响很不景气,企业的生产事故经常发生。1906年,美国钢铁公司总经理在修改公司的经营方针时,把原来的“质量第一,产量第二”修改为“安全第一,质量第二,产量第三”。经营方针改变后,安全措施取得成功,事故减少了,质量与产量也提高了,在欧美国家实业界产生了强烈反响。1912年美国芝加哥创立了“全美安全协会”,研究制订有关安全的法律草案。1917年英国伦敦也成立了安全协会。从此,“安全第一”的口号为西方国家很多企业和管理部门所接受。直到现在日本企业的安全管理,仍提倡这一口号。

对已建和在建隧道及地下工程,要有明确的灾害防护的责任人,制订完善的灾害预防控制及安全生产的规章制度。建立健全安全生产管理体制,班组设安全员,项目部设安全组,公司设安全科,安全生产管理贯穿整个工程全时段,全方位,不留死角;每一重要地下工程一旦灾害事故发生,应立即向上级主管部门和专业对口指导部门汇报,并与消防、公安部门、民防办公室、医疗卫生部门联系,取得救灾减灾方面技术指导。地下工程的重大灾害事故,例如,越江隧道内连环撞车伴随火灾爆炸,地铁车站受到恐怖分子泄毒或引燃爆炸装置,因施工引起大面积地面沉降、山体滑坡及大范围内停水停电、中断交通等重大灾害事故,均应有当地政府主管领导调动全市救灾技术装备、物资储备,请求部队支援,迅速制止灾害蔓延,尽快恢复居民正常生活,组织生产自救,将灾害损失减少到最小程度。

二、加深对地下工程灾害发展规律性认识

(1) 调研隧道及地下工程灾害发生的特点,总结防灾减灾经验教训。

(2) 对重大工程风险灾害进行风险分析、风险评价,制订防灾减灾预案。

(3) 依托国家级防灾减灾试验室,组织产学研结合攻关队伍,针对地下工程常遇重大灾害进行各类模拟对比试验,逐步认识灾害发生发展的机理和规律,给防灾减灾提供理论支持和技术指导。

(4) 通过计算机进行防灾减灾数值模拟分析,包括预测灾害发生规律,灾害损失定量分析,应对措施的减灾效果等。已经初步建立并得到一定应用的神经网络,模糊数学,智能控制,专家系统,可靠度理论等计算方法和模型有待进一步完善和进行更多工程实践检验。

(5) 加强国际交流。国内还处于大量建设隧道及地下工程阶段,对于地下工程风险管理及灾害防护研究落后于西方发达国家及日本,通过交流及时吸收发达国家灾害防护先进成果,可以促进我国在该领域里迅速接近、赶超世界先进水平。

(6) 加强城市防灾减灾立法建设,使此项工作逐步有法可依。建立灾难恢复系统,制定灾难恢复评价参数。加强防灾救灾专用队伍的建设和训练,作为防灾救灾的物质储备。

三、提高风险防范意识和安全生产管理

(1) 对参与工程建设与管理的所有员工定期进行安全生产教育,新员工上岗要进行操作规程及安全生产培训,持证上岗。