



高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列规划教材

Disaster Prevention and Mitigation Engineering

# 防灾减灾工程学

· 研究生课程 ·

主编 李耀庄



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列规划教材

# 防灾减灾工程学

主 编 李耀庄  
副主编 何旭辉



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

防灾减灾工程学/李耀庄主编. —武汉:武汉大学出版社,2014.6  
高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列规划教材  
ISBN 978-7-307-12915-3

I. 防… II. 李… III. 灾害防治—高等学校—教材 IV. X4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 050212 号

责任编辑:余 梦

责任校对:李嘉琪

装帧设计:吴 极



出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:whu\_publish@163.com 网址:www.stmpress.cn)

印刷:武汉科源印刷设计有限公司

开本:880×1230 1/16 印张:20.25 字数:646千字

版次:2014年6月第1版 2014年6月第1次印刷

ISBN 978-7-307-12915-3 定价:41.00元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

# 高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列规划教材

## 学术委员会名单

(按姓氏笔画排名)

主任委员:周创兵

副主任委员:方志 叶列平 何若全 沙爱民 范峰 周铁军 魏庆朝

委员:王辉 叶燎原 朱大勇 朱宏平 刘泉声 孙伟民 易思蓉

周云 赵宪忠 赵艳林 姜忻良 彭立敏 程桦 靖洪文

## 编审委员会名单

(按姓氏笔画排名)

主任委员:李国强

副主任委员:白国良 刘伯权 李正良 余志武 邹超英 徐礼华 高波

委员:丁克伟 丁建国 马昆林 王成 王湛 王媛 王薇

王广俊 王天稳 王曰国 王月明 王文顺 王代玉 王汝恒

王孟钧 王起才 王晓光 王清标 王震宇 牛荻涛 方俊

龙广成 申爱国 付钢 付厚利 白晓红 冯鹏 曲成平

吕平 朱彦鹏 任伟新 华建民 刘小明 刘庆潭 刘素梅

刘新荣 刘殿忠 闫小青 祁皓 许伟 许程洁 许婷华

阮波 杜咏 李波 李斌 李东平 李远富 李炎锋

李耀庄 杨杨 杨志勇 杨淑娟 吴昊 吴明 吴轶

吴涛 何亚伯 何旭辉 余锋 冷伍明 汪梦甫 宋固全

张红 张纯 张飞涟 张向京 张运良 张学富 张晋元

张望喜 陈辉华 邵永松 岳健广 周天华 郑史雄 郑俊杰

胡世阳 侯建国 姜清辉 娄平 袁广林 桂国庆 贾连光

夏元友 夏军武 钱晓倩 高飞 高玮 郭东军 唐柏鉴

黄华 黄声享 曹平周 康明 阎奇武 董军 蒋刚

韩峰 韩庆华 舒兴平 童小东 童华炜 曾珂 雷宏刚

廖莎 廖海黎 缪宇宁 黎冰 戴公连 戴国亮 魏丽敏

## 出版技术支持

(按姓氏笔画排名)

项目团队:王睿 白立华 曲生伟 蔡巍

## 特别提示

教学实践表明,有效地利用数字化教学资源,对于学生学习能力以及问题意识的培养乃至怀疑精神的塑造具有重要意义。

通过对数字化教学资源的选取与利用,学生的学习从以教师主讲的单向指导的模式而成为一次建设性、发现性的学习,从被动学习而成为主动学习,由教师传播知识而到学生自己重新创造知识。这无疑是锻炼和提高学生的信息素养的大好机会,也是检验其学习能力、学习收获的最佳方式和途径之一。


本系列教材在相关编写人员的配合下,将逐步配备基本数字教学资源,其主要内容包括:

### 课程教学指导文件

- (1)课程教学大纲;
- (2)课程理论与实践教学时数;
- (3)课程教学日历:授课内容、授课时间、作业布置;
- (4)课程教学讲义、PowerPoint 电子教案。

### 课程教学延伸学习资源

- (1)课程教学参考案例集:计算例题、设计例题、工程实例等;
- (2)课程教学参考图片集:原理图、外观图、设计图等;
- (3)课程教学试题库:思考题、练习题、模拟试卷及参考解答;
- (4)课程实践教学(实习、实验、试验)指导文件;
- (5)课程设计(大作业)教学指导文件,以及典型设计范例;
- (6)专业培养方向毕业设计教学指导文件,以及典型设计范例;
- (7)相关参考文献:产业政策、技术标准、专利文献、学术论文、研究报告等。

 本书基本数字教学资源及读者信息反馈表请登录 [www.stmpress.cn](http://www.stmpress.cn) 下载,欢迎您对本书提出宝贵意见。

# 丛书序

土木工程涉及国家的基础设施建设,投入大,带动的行业多。改革开放后,我国国民经济持续稳定增长,其中土建行业的贡献率达到1/3。随着城市化的发展,这一趋势还将继续呈现增长势头。土木工程行业的发展,极大地推动了土木工程专业教育的发展。目前,我国有500余所大学开设土木工程专业,在校生达40余万人。

2010年6月,中国工程院和教育部牵头,联合有关部门和行业协(学)会,启动实施“卓越工程师教育培养计划”,以促进我国高等工程教育的改革。其中,“高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划”由住房和城乡建设部与教育部组织实施。

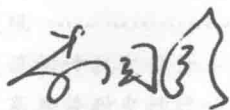
2011年9月,住房和城乡建设部人事司和高等学校土建学科教学指导委员会颁布《高等学校土木工程本科指导性专业规范》,对土木工程专业的学科基础、培养目标、培养规格、教学内容、课程体系及教学基本条件等提出了指导性要求。

在上述背景下,为满足国家建设对土木工程卓越人才的迫切需求,有效推动各高校土木工程专业卓越工程师教育培养计划的实施,促进高等学校土木工程专业教育改革,2013年住房和城乡建设部高等学校土木工程学科专业指导委员会启动了“高等教育教学改革土木工程专业卓越计划专项”,支持并资助有关高校结合当前土木工程专业高等教育的实际,围绕卓越人才培养目标及模式、实践教学环节、校企合作、课程建设、教学资源建设、师资培养等专业建设中的重点、亟待解决的问题开展研究,以对土木工程专业教育起到引导和示范作用。

为配合土木工程专业实施卓越工程师教育培养计划的教学改革及教学资源建设,由武汉大学发起,联合国内部分土木工程教育专家和企业工程专家,启动了“高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列规划教材”建设项目。该系列教材贯彻落实《高等学校土木工程本科指导性专业规范》《卓越工程师教育培养计划通用标准》和《土木工程卓越工程师教育培养计划专业标准》,力图以工程实际为背景,以工程技术为主线,着力提升学生的工程素养,培养学生的工程实践能力和工程创新能力。该系列教材的编写人员,大多主持或参加了住房和城乡建设部高等学校土木工程学科专业指导委员会的“土木工程专业卓越计划专项”教改项目,因此该系列教材也是“土木工程专业卓越计划专项”的教改成果。

土木工程专业卓越工程师教育培养计划的实施,需要校企合作,期望土木工程专业教育专家与工程专家一道,共同为土木工程专业卓越工程师的培养作出贡献!

是以为序。



2014年3月于同济大学四平路校区

# 前 言

自古以来,人类就和灾害进行着不懈的斗争。随着社会经济的发展,人类对自然界改造的力度越来越大,灾害给人类生命和财产造成的损失也越来越大。我国幅员辽阔,灾害种类繁多且发生频繁,其中尤以地震、火灾、洪水、台风等为甚。为了使土木工程专业的学生增强防灾减灾意识,掌握土木工程防灾减灾的基本原理、设计方法和处置措施,全国多所高校将防灾减灾工程学作为土木工程研究生的平台课程来开设。但是由于防灾减灾工程学涉及的专业知识面广、学科交叉性强,而且各种灾害及其防治技术差别巨大,要想以有限的篇幅对各种灾害进行论述是十分困难的,且受学时所限制,也不可能面面俱到。

本书将土木工程常见的四种灾害——火灾、地震、地质灾害、风灾作为重点进行介绍。全书分为6章,包括:绪论、火灾灾害、地震灾害、地质灾害及其防治对策、风灾灾害及其防治和灾害风险管理,是在中南大学多年硕士研究生试用讲义的基础上经修改充实后编撰而成的。

本书由李耀庄担任主编,何旭辉担任副主编。第1章和第2章由李耀庄编写,第3章由李耀庄和熊伟编写,第4章由申永江编写,第5章由何旭辉和邹云峰编写,第6章由王薇编写。全书由李耀庄负责统稿。

本书在编写过程中引用了大量的参考书籍,包括科技论文、著作、标准规范和新闻图片等,在此向各位作者表示衷心的感谢。但是参考文献可能有遗漏或引用不当之处,还请作者给予理解和指正。

由于时间仓促,编者水平有限,书中难免存在不足甚至失误之处,恳请读者批评、指正,并将意见和建议发送到邮箱:liy@zhuang@mail.csu.edu.cn,以便日后修改完善。

本书在编写过程中,得到了武汉大学出版社的大力支持,在此表示衷心的感谢。

编 者

2014年1月于中南大学

# 目 录

1 绪论	(1)	2.4.2 火灾发展阶段(AB段)	(24)
1.1 灾害	(1)	2.4.3 火灾猛烈燃烧阶段(BC段)	(24)
1.1.1 灾害及其分类	(1)	2.4.4 火灾熄灭阶段(CD段)	(24)
1.1.2 灾害的特征	(2)	2.5 描述火灾的几个参数	(25)
1.1.3 灾害的危害	(3)	2.5.1 火灾荷载密度	(25)
1.1.4 灾害概况	(4)	2.5.2 火灾燃烧速度	(29)
1.2 防灾减灾工程学的学科定位和研究内容	(4)	2.5.3 火灾全面发展的持续时间	(31)
1.2.1 防灾减灾工程学的学科定位	(5)	2.5.4 火灾全面发展的室内温度	(31)
1.2.2 防灾减灾系统工程	(5)	2.6 建筑材料高温性能	(34)
1.2.3 防灾减灾工程学研究内容	(6)	2.7 钢材的高温性能	(35)
1.3 国内外防灾减灾发展概况	(7)	2.7.1 钢材高温力学性能	(35)
1.3.1 我国防灾减灾发展概况	(7)	2.7.2 钢材高温物理性能	(39)
1.3.2 国外防灾减灾发展概况	(8)	2.8 混凝土的高温性能	(40)
1.4 防灾减灾工程的发展趋势	(11)	2.8.1 混凝土高温力学性能	(41)
1.4.1 灾害源发生机理研究	(11)	2.8.2 混凝土高温物理性能	(43)
1.4.2 灾害的作用机制、分析和抗灾设计	(11)	2.9 结构抗火设计方法简介	(45)
1.4.3 工程结构的灾害控制	(12)	2.9.1 基于试验的构件抗火设计方法	(46)
参考文献	(12)	2.9.2 基于计算的构件抗火设计方法	(47)
		2.9.3 基于计算的结构抗火设计方法	(47)
2 火灾灾害	(13)	2.9.4 基于火灾随机性的结构抗火设计方法	(47)
2.1 火灾定义、分类、特征及其危害	(13)	2.10 处方式建筑构件的抗火设计	(48)
2.1.1 火灾的定义	(13)	2.10.1 建筑构件燃烧性能和耐火极限	(48)
2.1.2 火灾的分类	(13)	2.10.2 建筑构件抗火设计	(49)
2.1.3 火灾的特征	(15)	2.10.3 提高构件耐火性能的措施	(50)
2.1.4 火灾的危害	(15)	2.11 钢结构构件抗火设计	(52)
2.2 火灾科学主要研究内容	(18)	2.11.1 钢结构构件抗火设计步骤	(52)
2.2.1 建筑防火	(18)	2.11.2 钢构件升温计算	(52)
2.2.2 结构抗火	(19)	2.11.3 钢结构抗火极限承载力与作用效应组合要求	(55)
2.2.3 火灾后结构的损伤鉴定与加固	(20)	2.11.4 基于抗火极限承载力的验算方法	(56)
2.3 火灾基本知识	(20)	2.11.5 基于临界温度的验算方法	(58)
2.3.1 燃烧条件	(20)		
2.3.2 防火和灭火	(21)		
2.3.3 燃烧的基本类型	(22)		
2.4 建筑火灾发展过程	(23)		
2.4.1 火灾初起阶段(OA段)	(23)		



- 2.12 混凝土结构构件抗火设计 ..... (65)
- 2.12.1 混凝土结构构件抗火设计方法 ..... (65)
- 2.12.2 混凝土构件截面温度场计算 ..... (65)
- 2.12.3 钢筋混凝土构件抗火验算方法 ..... (67)
- 2.12.4 混凝土的爆裂 ..... (77)
- 参考文献 ..... (77)
- 3 地震灾害** ..... (79)
- 3.1 地震概述 ..... (79)
- 3.2 地震的基本概念、类型与成因 ..... (79)
- 3.2.1 地震的基本概念 ..... (79)
- 3.2.2 地震的类型 ..... (79)
- 3.2.3 地震的成因 ..... (80)
- 3.2.4 地震波 ..... (81)
- 3.3 地震震级与烈度 ..... (83)
- 3.3.1 地震震级 ..... (83)
- 3.3.2 地震烈度 ..... (84)
- 3.4 地震活动及其分布 ..... (87)
- 3.4.1 世界地震活动 ..... (87)
- 3.4.2 中国地震活动 ..... (89)
- 3.4.3 各类建筑的抗震设防标准 ..... (90)
- 3.5 工程结构抗震设防 ..... (91)
- 3.5.1 抗震设防目的和要求 ..... (91)
- 3.5.2 建筑抗震设防分类和设防标准 ..... (91)
- 3.5.3 建筑抗震设计方法 ..... (92)
- 3.6 地震的破坏作用 ..... (92)
- 3.6.1 地震中地表的破坏 ..... (92)
- 3.6.2 地震中工程结构的破坏 ..... (94)
- 3.6.3 地震次生灾害 ..... (94)
- 3.6.4 有关地震记载 ..... (95)
- 3.7 减轻地震灾害的对策和措施 ..... (95)
- 3.7.1 工程性措施 ..... (95)
- 3.7.2 非工程性措施 ..... (96)
- 3.8 抗震概念设计的总体原则 ..... (96)
- 3.8.1 建筑物场地选择 ..... (96)
- 3.8.2 建筑物体型的确定 ..... (99)
- 3.8.3 结构抗震体系的选取 ..... (103)
- 3.8.4 结构延性的实现 ..... (104)
- 3.8.5 多道抗震防线的设置 ..... (106)
- 3.8.6 非结构构件的处理 ..... (107)
- 3.8.7 建筑材料的选择和施工质量 ..... (108)
- 3.9 工程结构地震反应分析方法 ..... (109)
- 3.9.1 结构抗震设计理论的发展和回顾 ..... (109)
- 3.9.2 结构地震作用计算的基本原则 ..... (110)
- 3.9.3 单自由度体系的地震位移反应分析 ..... (111)
- 3.9.4 单自由度体系的水平地震作用和反应谱 ..... (112)
- 3.9.5 多自由度体系运动方程的建立 ..... (116)
- 3.9.6 多自由度无阻尼体系自由振动 ..... (117)
- 3.9.7 多自由度体系地震反应计算的振型分解反应谱法 ..... (117)
- 3.9.8 多自由度弹性体系地震作用计算的底部剪力法 ..... (122)
- 3.9.9 结构基本周期的近似计算 ..... (124)
- 3.9.10 水平地震作用下地震内力的调整 ..... (129)
- 3.9.11 考虑水平地震作用扭转影响的计算 ..... (130)
- 3.9.12 竖向地震作用的计算 ..... (131)
- 3.9.13 多自由度体系弹塑性地震反应的时程分析法 ..... (132)
- 3.9.14 结构静力弹塑性地震反应分析法 ..... (136)
- 3.10 工程结构抗震验算 ..... (137)
- 3.10.1 地震作用效应和其他荷载作用效应的基本组合及截面抗震验算 ..... (138)
- 3.10.2 结构抗震变形验算 ..... (140)
- 3.11 工程结构减震与隔震 ..... (143)
- 3.11.1 结构隔震技术 ..... (143)
- 3.11.2 消能减震技术 ..... (148)
- 3.12 防震减灾规划 ..... (149)
- 3.12.1 防震减灾概述 ..... (149)
- 3.12.2 城市抗震防灾规划目标 ..... (149)
- 3.12.3 城市抗震防灾规划的主要内容 ..... (150)
- 3.12.4 抗震防灾规划参考指标 ..... (151)
- 3.12.5 城市规划中的地震应急避难场所 ..... (151)
- 参考文献 ..... (152)

<b>4 地质灾害及其防治对策</b> .....	(153)	4.7.4 地质灾害的防治体系建设 .....	(192)
4.1 地质灾害及其分类 .....	(154)	参考文献 .....	(193)
4.1.1 地质灾害的定义 .....	(154)	<b>5 风灾灾害及其防治</b> .....	(195)
4.1.2 地质灾害的分类 .....	(154)	5.1 大气边界层的风特性 .....	(195)
4.2 滑坡灾害及其防治 .....	(155)	5.1.1 自然风 .....	(195)
4.2.1 滑坡的定义和形态要素 .....	(155)	5.1.2 平均风特性 .....	(197)
4.2.2 滑坡的识别 .....	(156)	5.1.3 脉动风特性 .....	(198)
4.2.3 滑坡活动的阶段性 .....	(157)	5.1.4 基本风速和风压 .....	(201)
4.2.4 滑坡分类 .....	(157)	5.2 桥梁抗风设计及风振控制 .....	(203)
4.2.5 滑坡的形成条件 .....	(159)	5.2.1 桥梁风灾灾害 .....	(203)
4.2.6 滑坡的治理 .....	(160)	5.2.2 桥梁风荷载 .....	(205)
4.2.7 抗滑桩的设计计算 .....	(161)	5.2.3 风致静力失稳 .....	(205)
4.2.8 滑坡实例 .....	(172)	5.2.4 涡激振动与控制 .....	(207)
4.3 崩塌灾害及其防治 .....	(174)	5.2.5 颤振振动与控制 .....	(215)
4.3.1 崩塌的定义与分类 .....	(174)	5.2.6 抖振分析与抑制 .....	(220)
4.3.2 崩塌的形成条件 .....	(174)	5.2.7 斜拉索风雨振及控制 .....	(225)
4.3.3 崩塌的运动学特征 .....	(175)	5.2.8 驰振分析 .....	(230)
4.3.4 崩塌的防治措施 .....	(176)	5.3 建筑结构抗风设计及风振控制 .....	(231)
4.4 泥石流灾害及其防治对策 .....	(178)	5.3.1 建筑结构风灾灾害 .....	(231)
4.4.1 泥石流的形成条件 .....	(178)	5.3.2 极值风压 .....	(231)
4.4.2 泥石流特征 .....	(179)	5.3.3 等效静力风荷载 .....	(236)
4.4.3 泥石流的分类 .....	(181)	5.3.4 低矮房屋的风致内压 .....	(239)
4.4.4 泥石流的预防与治理 .....	(183)	5.3.5 高层建筑抗风设计的特点与 风振控制 .....	(241)
4.5 地面沉降及其防治 .....	(185)	5.3.6 大跨结构抗风设计的特点 .....	(244)
4.5.1 地面沉降概述 .....	(185)	5.4 电力设施抗风设计及风振控制 .....	(249)
4.5.2 地面沉降的地质环境 .....	(186)	5.4.1 电力设施风灾灾害 .....	(249)
4.5.3 地面沉降的成因 .....	(186)	5.4.2 输电塔的抗风设计及风振 控制 .....	(250)
4.5.4 地面沉降的控制与治理 .....	(187)	5.4.3 冷却塔的抗风设计 .....	(257)
4.6 土木工程领域其他常见的地质灾害 及其防治 .....	(187)	参考文献 .....	(270)
4.6.1 隧道工程中常见的地质灾害 及其防治 .....	(187)	<b>6 灾害风险管理</b> .....	(272)
4.6.2 路基工程中常见的地质灾害 及其防治 .....	(188)	6.1 灾害风险概述 .....	(272)
4.6.3 基坑工程中管涌及其防治 .....	(189)	6.1.1 灾害风险概念 .....	(272)
4.6.4 房屋地基不均匀沉降及其 防治对策 .....	(190)	6.1.2 灾害风险分析评估的意义 和发展 .....	(275)
4.7 地质灾害防治规划 .....	(191)	6.1.3 灾害风险分析流程 .....	(276)
4.7.1 地质灾害防治规划的目标 .....	(191)	6.2 风险分析方法 .....	(278)
4.7.2 地质灾害防治规划的内容 .....	(191)	6.2.1 灾害风险辨识方法 .....	(278)
4.7.3 地质灾害的预报制度和防治 方案的内容 .....	(192)	6.2.2 灾害风险概率估计方法 .....	(279)

6.2.3 灾害风险损失估计方法 .....	(284)	6.3.3 灾害的风险控制绩效评价 .....	(291)
6.2.4 灾害风险评价方法 .....	(286)	6.4 案例 .....	(292)
6.3 风险控制 .....	(289)	6.4.1 火灾风险分析方法及案例 .....	(292)
6.3.1 风险控制原则 .....	(289)	6.4.2 地震灾害风险分析及案例 .....	(297)
6.3.2 风险控制措施 .....	(290)	6.4.3 地质灾害风险分析及案例 .....	(304)
		参考文献 .....	(309)

# 1 绪 论

## 1.1 灾 害 >>>

### 1.1.1 灾害及其分类

在介绍防灾减灾工程之前,首先必须阐述灾害的概念。对于灾害,大家都十分熟悉,例如我们生产和生活中常见的地震、火灾、风灾、洪水、泥石流等。但是到目前为止,没有一个大家都接受的统一定义。“灾”原指自然发生的火灾,在《左传·宣公十六年》中这样描述:“人火曰火,天火曰灾。”后泛指水、火、荒、旱等造成的祸害。世界卫生组织给出的灾害定义为:任何引起人员伤亡、经济损失的恶性事件,当其超出社区承受能力而必须向外界求援时称之为灾害。日本学者矢野给出的灾害定义为:异常的自然现象作为外力克服了阻力,打破平衡,造成国土和设施破坏,或生命财产损失以及使其功能降低的现象称之为灾害。联合国“国际减轻自然灾害十年”给出的灾害定义为:指自然发生或人为产生、对人类社会具有危害后果的事件或现象。从上述定义可以看出,判断某种现象是否为灾害,主要看它是否造成了人员伤亡和(或)财产损失。例如,发生在荒无人烟的深山上的山体崩塌是不是灾害?如果没有造成人员伤亡或财产损失,就不是灾害。但是,如果山体崩塌阻断河流形成堰塞湖,堰塞湖溃决,淹没了下游的农田、毁坏了村庄等,这种山体崩塌就是灾害。又如,每年都会发生多次陨石撞击地球事件,由于地球上海洋占绝大部分面积,大部分陨石坠入大海,不会造成灾害。但是,如果陨石坠落在人类聚居的地区,将可能造成灾难性的后果。如2013年2月15日发生在俄罗斯乌拉尔山脉东麓的车里雅宾斯克州萨特卡市的陨石坠落引发强烈冲击波,导致车里雅宾斯克州近300栋房屋窗户破损,造成1200多人受伤,10亿卢布的经济损失,很显然,此次陨石坠落事件就是灾害。

总之,灾害是自然或(和)人为的原因对人类的生存和发展造成祸害的现象或事件。灾害种类较多,可以从不同的角度对灾害进行分类。

第一种分类方法:根据灾害形成的原因,它可以分为自然灾害和社会灾害(也称为人为灾害)。自然灾害是给人类生存和发展带来祸害的自然现象,又分为地质灾害、气象灾害、生物灾害和天文灾害等,例如常见的地震、崩塌、泥石流、滑坡、洪涝、冰雹、地面沉陷、干旱、传染病等。社会灾害是由于人类社会行为失调或失控而产生的危害人类生存和发展的社会现象,例如温室效应、水体和大气污染、水土流失、人口膨胀、爆炸、核泄漏、水库溃坝、交通事故、战争、金融风暴、社会动乱等。应当指出的是,自然灾害和社会灾害往往不可完全区分,正所谓“七分天灾,三分人祸”。表面上看来,地震、火山喷发、陨石坠落等是纯自然灾害,而战争、金融风暴、恐怖袭击等则是纯社会灾害。但是,人为因素如乱砍滥伐森林、围湖造田造成水土流失,增加了洪水和干旱灾害的发生频率,工程建设中偷工减料、质量低劣等造成地震灾害的加重,都是人为因素引发或加重自然灾害的例子。

第二种分类方法:从灾害发生的过程及其特点,它可以分为突变型、发展型、持续型和演变型四种类型。突变型灾害的发生往往缺乏先兆,发生的过程历时较短,但是破坏性巨大,例如地震灾害发生往往只有十几秒到几分钟,却能造成毁灭性的破坏,唐山地震就是一个例子。发展型灾害一般有一定的先兆,其发展往往

也是比较迅速的,其过程和结果有一定的可预估性,例如暴雨、洪水和台风灾害等。根据目前的技术,对台风灾害的发生和发展可以进行一定的预测,包括台风的强度、路径等。持续型灾害持续的时间往往较长,一般持续时间为几天到几年,而且也有一定的先兆,例如干旱、洪水、传染病等灾害。演变型灾害是长期自然过程的累积,但是其发展缓慢,不易引起人们的注意,而且这种灾害往往难以控制和减轻。演变型灾害有一定的可预报性,例如沙漠化、水土流失、地面下沉、海面上升等。我国北京、太原、西安、郑州等大城市出现的地面下沉,在几十年前就已经出现了。近年来,由于地下水的过量开采以及气候的变化等原因,这些城市的地面有加速下沉的趋势,对建筑和地下设施造成的危害越来越严重,不可小视。

第三种分类方法:从灾害发生的时间次序来划分,它可以分为原生灾害、次生灾害和衍生灾害。灾害发生往往是相互关联的,形成一个灾害链。在灾害链条中最早发生、起主导作用的灾害称为原生灾害,而由原生灾害所诱发的其他灾害称为次生灾害。在灾害发生后一定时间内造成人们生存条件和社会环境变化而产生的社会危害称为衍生灾害。例如,地震发生所产生的一系列灾害,其中地震造成的房屋倒塌、人员伤亡和财产损失等是原生灾害;由地震所引发的洪水、海啸、崩塌、滑坡、堰塞湖、火灾、爆炸等为次生灾害;地震灾害发生后,幸存者所产生的心理疾病、社会秩序混乱、经济发展停滞等则是衍生灾害。

第四种分类方法:从灾害造成的经济损失和人员伤亡进行分类。从灾害的定义来看,不管什么灾害,都会造成一定的经济损失或人员伤亡,因此从该角度进行分类具有一定的可比性。根据我国的基本国情,将灾害分巨灾、大灾、中灾、小灾和微灾五级(表 1-1)。

表 1-1

我国灾害分级

灾害分级名称		死亡人数	经济损失
A 级	巨灾	>10000 人	>1 亿元
B 级	大灾	1000~10000 人	1000 万~1 亿元
C 级	中灾	100~1000 人	100 万~1000 万元
D 级	小灾	10~100 人	10 万~100 万元
E 级	微灾	<10 人	<10 万元

注:在具体区分灾害等级时,经济损失和死亡人数两个指标,只要满足其中一个即可。

国内外的灾害分级标准尚难统一,因为它涉及一个国家承受灾害的能力及灾情处理的层次和职责划分。将灾害分为巨灾、大灾、中灾、小灾和微灾五级的标准也是根据我国目前的实际情况确定的,并将随着经济发展的水平、承灾能力的变化等发生变化。在进行灾害等级评估时,其经济损失应包括直接经济损失和间接经济损失。直接经济损失是指一次灾害发生过程中由原生灾害和次生灾害所造成的经济损失的综合。间接经济损失是指一次灾害基本结束以后,由于此次灾害所造成的工农业生产、经济贸易、社会公益和管理等方面的停顿、减缓、失调以及卫生防疫所造成的损失,对应于上述衍生灾害造成的损失。

### 1.1.2 灾害的特征

一般来说,灾害具有以下特性:

① 危害性。这是灾害最本质的特性。灾害对人类生命、财产、生存的环境等产生严重的危害,其破坏程度巨大,往往在本系统内部无法承受而需要外界的援助。

② 突发性。在目前技术条件下,小部分灾害可以提前预报,但是大部分的灾害还不可预报或者难以精确预报,因此灾害具有突发性,往往短时间发生,造成巨大的损失,例如地震、泥石流、爆炸和恐怖袭击等。

③ 永久性。自然灾害不以人的意志而改变或转移,是自然界客观存在的,是自然界运动的结果。例如地震、海啸、台风、洪水等。只要人类存在,这些灾害就不会消失。

④ 反复性。各种灾害按照自身确定或不确定的规律反复发作,相互之间交叉影响、交叉诱发。尽管地震、洪水、台风等灾害发生具有一定的周期性,但是它们的发生往往不会十分准确地按照周期发生,而且由于人类对自然的认识有限,无法对灾害进行准确预报,因此这些灾害会长期、反复地发生。

⑤ 广泛性。各种灾害在全世界广泛分布,但是,具体到某种灾害又具有一定的区域性。例如,超大地震

往往发生在环太平洋地震带和欧亚地震带上,其他的区域很少发生,这是由地震成因决定的。不同地区自然环境、经济条件、社会政治不同,灾害类型、成因、特点及其产生的影响也不同。

⑥ 群发性。灾害分布具有时间和空间上的群发性。许多自然灾害往往在某一时间段或某一区域相对集中出现,形成群发性的局面。

此外,自然灾害还具有偶然性、区域性、多因性、潜在性、周期性、季节性、阶段性、共生性和伴生性等特征。

### 1.1.3 灾害的危害

我国灾害类型多样,发生频繁,灾害破坏形式多样,对人类的生存和发展造成了巨大的危害。小的自然灾害造成一定的经济损失和人员伤亡,例如,地震灾害造成地裂、喷水冒砂、建筑结构倒塌、水坝开裂;大的地震灾害可能在顷刻间造成整个城市的毁灭。灾害发生后,长期存在的衍生灾害也将对社会发展造成一定的影响。因灾亡国、因灾绝族这样的事件在中外史书也时有记载。例如,我国科学家多次考察了古代楼兰王国的遗迹,大量的证据表明楼兰古国的灭绝可能是由于一次大的自然灾害。

自然灾害的危害是多方面的。第一,对人民群众的生命财产构成严重威胁,造成巨大人员伤亡和财产损失。1556年1月23日,陕西潼关8.5级地震,83万人死亡;1920年12月16日,宁夏海原8.5级地震,23.55万人死亡;1976年7月28日,唐山7.8级地震,24.2万人死亡;1954年长江中下游特大洪水,3.3万人死亡。第二,对人们正常的生产生活秩序造成影响,大的自然灾害往往需要几年甚至几十年才能够恢复。例如水资源遭受污染以后,靠天然净化进行恢复不仅需要大量的物质保障和经济投入,而且往往需要十分漫长的时间。第三,对建筑结构、交通、水利工程设施、通信设施、电力工程设施、城市生命线工程设施、机械设施、农业设施等造成巨大影响。第四,可能引发某些疾病的爆发和流行,造成人们心理恐慌。第五,造成社会治安问题,引发犯罪和社会动荡。第六,破坏资源和环境,威胁国民经济的可持续发展。灾害和环境具有密切的关系,环境恶化导致自然灾害,自然灾害反过来会导致环境恶化。例如,森林资源的减少会导致水土流失、土地沙漠化等灾害,而水土流失又会加剧森林资源的减少。

据统计,在发达国家,自然灾害损失占国民生产总值和财政收入的比例均很低。例如,美国灾害损失占国民生产总值的0.27%,占财政收入的0.78%;日本灾害损失占国民生产总值的0.5%;而我国灾害损失占国民生产总值的5.09%,占财政收入的27%,显然,与发达国家相比,我国自然灾害的损失更加严重。表1-2是20世纪中后期我国自然灾害损失占工农业生产总值的比重。从表1-2中可以看出,我国自然灾害损失占工农业生产总值的比重在下降,但是下降的幅度逐渐减小。而且,由于我国经济的飞速发展,尽管灾害比重在下降,但是工农业生产总值增加的幅度更大,实际造成的损失还是在不断地增加。

表 1-2 20 世纪中后期我国自然灾害损失占工农业生产总值的比重

年代	50 年代	60 年代	70 年代	80 年代	90 年代
比重	15%	9.4%	4.6%	2.5%	2.1%

我国是世界上受灾害影响最为严重的国家之一。根据1995年发布的《中国灾情报告》分析,在我国各种自然灾害造成的直接经济损失中,气象灾害损失最大,约占68%,其余依次是农业生物灾害、地震灾害、森林生物灾害、海洋灾害、地质灾害以及其他灾害。因灾死亡人数方面以地震灾害最多,约占54%,其后依次是气象灾害,约占40%,地质灾害约占4%,海洋灾害和森林灾害约占2%。

需要说明的是,尽管灾害给人类造成了巨大危害,但是从长期的角度来说,有些灾害也会给人类带来财富。例如,俄罗斯公布的一个超大钻石矿就位于西伯利亚地区的一个名为“珀匹盖”的陨石坑内,是类似陨石一样的物体撞击现有钻石矿后形成的产物。矿内钻石储量估计超过万亿克拉,是全球其他地区钻石储量之和的10倍,能满足全球宝石市场3000年的需求。又如,我国著名的长白山天池就是因为1702年火山喷发后火山口积水形成的,湖面面积9.2 km<sup>2</sup>,平均水深204 m,是松花江、图们江和鸭绿江三江之源,是世界上最高的火山湖,现在是我国著名的旅游胜地。

### 1.1.4 灾害概况

#### 1.1.4.1 全球自然灾害概况

世界七大洲主要灾害分布如下。

① 亚洲。它是世界上灾害最多的洲,主要灾害有地震、火山和沙漠化等。日本和中国都是世界上地震发生频繁的国家,日本附近地区平均每年释放的能量约占全球总释放能量的 1/10,而中国在 20 世纪发生七级以上强震的次数占全球总次数的 35%。此外日本有活火山 270 多座,占世界活火山总量的 10%。

② 欧洲。其自然灾害较少,但洪水、酸雨、污染及森林大火等灾害时有发生,如 2002 年 8 月发生的百年一遇的洪水,仅德国就损失 40 亿欧元。瑞典、挪威、德国则酸雨严重,导致湖泊酸化,鱼类死亡。森林火灾在法国也时有发生。

③ 非洲。它是古老而稳定的大陆,地质灾害较少,但是沙漠化严重。撒哈拉沙漠每年向南推进 10 km,加之人口过快增长,导致粮食严重短缺,世界上 33 个最不发达国家中有 27 个在非洲,其最严重的灾害为周期性旱灾。1984—1985 年因旱灾引发的饥荒致使 100 多万人死亡。

④ 北美洲。自然和人为灾害并重。龙卷风每年在美国西部发生数百起,飓风、地震灾害在美国和墨西哥不断出现。酸雨严重影响加拿大和美国。同时,森林火灾在北美洲也是非常严重的灾害之一。

⑤ 南美洲。哥伦比亚曾发生火山地震,智利是地震频发的国家之一。

⑥ 大洋洲。新西兰和太平洋岛屿上地震频发。家养生物野生生化造成的灾害较多。澳大利亚的盐碱化面积占世界盐碱化总面积的 37.4%。

⑦ 南极洲。由于全球变暖,冰雪消融加快,冰体污染加重,动物减少。

#### 1.1.4.2 中国自然灾害概况

我国是世界上自然灾害最为严重的少数国家之一。大陆地震频度和强度居世界之首,占全球地震能量的 10% 以上,台风登陆频次平均每年达十次,旱涝灾害、山地灾害、海岸带灾害连年不断。我国自然灾害呈现三个特点:一是种类多,几乎囊括了世界上各种类型的自然灾害;二是发生的频率高、强度大、损失重;三是时空分布广,灾害地域组合明显。

① 气象灾害。它包括热带风暴、龙卷风、雷暴、大风、干热风、暴风雪、暴雨、寒潮、冷害、霜冻、雹灾和旱灾等。

② 海洋灾害。它包括风暴潮、海啸、潮灾、海浪、赤潮、海水入侵,海平面上升等。

③ 洪水灾害。它包括洪涝灾害和江河泛滥等。

④ 地质灾害。它包括滑坡、崩塌、泥石流、地裂缝、塌陷、火山喷发、矿井突水突瓦斯、冻融、地面沉降、土地沙漠化、水土流失、土地盐碱化等。

⑤ 地震灾害。它包括由地震引起的各种灾害以及地震诱发的各种次生灾害,如砂土液化、喷砂冒水、城市大火、河流和水库决堤等。

⑥ 农作物灾害。它包括病虫害、鼠害、农业气象灾害、农业环境灾害等。

⑦ 森林灾害。它包括森林病虫害、森林鼠害和森林火灾等。

## 1.2 防灾减灾工程学的学科定位和研究内容 >>>

灾害伴随着人类的产生而产生,人类文明的发展历史就是不断与灾害进行斗争的历史。我国古代漫长的历史长河中就留下了无数人类与自然灾害进行斗争的故事。

西汉刘安(公元前 179—前 122 年)所著《淮南子》中记载的“羿射九日”可能是最早的人类与干旱作斗争的故事。家喻户晓的“大禹治水”是人类与洪水作斗争的历史记载。东汉天文学家、地震学家张衡(公元

78—139年)发明了世界第一台监测地震的仪器——候风地动仪,尽管该地动仪不能对地震的发生进行预报,但可以对地震发生的方位进行记录。

近现代以来,随着科学技术的进步,人类与灾害的斗争也有了长足的发展。人类在与灾害斗争的过程中形成和发展了较为系统的防灾减灾学科体系。

### 1.2.1 防灾减灾工程学的学科定位

防灾减灾工程学就是研究各种灾害的成灾机理与灾害监测、预报、防治的现代工程和管理科学技术,以及改变灾害发生的频率、缩小灾害的影响范围、降低灾害的破坏程度,达到减少灾害危害的目的的一门学科。防灾减灾工程及防护工程是土木工程一级学科下的一个二级学科(土木工程下属二级学科包括结构工程、岩土工程、市政工程、供热供燃气通风及空调工程、防灾减灾工程及防护工程、桥梁与隧道工程)。防灾减灾工程学是土木工程专业学生的一门重要的基础平台课程,是一门具有显著交叉性的新兴学科,它涉及地质、气象、地震工程、建筑学、土木工程、水利工程、信息科学、管理科学、经济学、人文科学等多个相关专业领域。

防灾减灾工程实际上包括不可分割的两部分内容:防灾工程和减灾工程。防灾就是在灾害发生前,采取适当措施避免灾害的发生;减灾就是在灾害发生以后,采取适当措施,降低或减小灾害造成的损失。而实际上由于防灾和减灾密不可分,通常不加区分地称为防灾减灾工程。

### 1.2.2 防灾减灾系统工程

灾害之间存在复杂的因果关系,形成一个复杂的系统。因此,防灾减灾也不可能在一个部门、一个地区、一门学科之内进行,必须采用系统的观点和方法,采取综合的对策和措施。防灾减灾的各项措施和对策必须相互衔接、紧密配合。因此,建立一个具有综合防灾减灾功能的部门,协调各方面的技术和力量进行灾害教育与立法、灾害防御、规范标准、灾害监测与预报、规划设计、防灾抗灾救灾、灾后重建、灾情评估、灾害保险等就显得尤为重要。防灾减灾系统工程是一个由多种防灾减灾措施组成的有机整体,主要包括灾害监测、灾害预报、防灾、抗灾、救灾、灾后重建、灾情评估等多个环节(图1-1)。

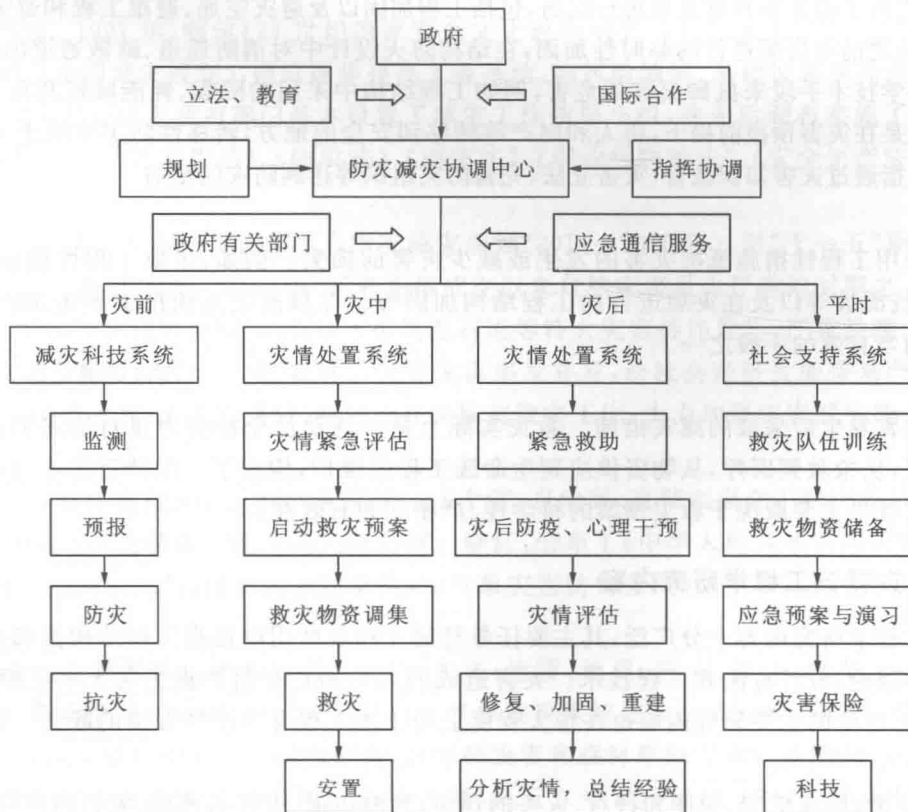


图 1-1 防灾减灾系统工程



### (1) 灾害监测

灾害监测是指运用各种观察、测量手段,对灾害孕育、发生、发展和致灾成灾的全过程相关因素进行观察和监视。监测工作的直接目的是取得自然因素的变化资料,用来认识灾害的发生、发展规律并进行预报。自然灾害的检测方式包括卫星与航空遥感监测、地面台站检测、深部和地下孔点检测、水面和水下监测、政府部门与群众哨卡监测等。自然灾害监测系统主要起到灾前预警、灾中跟踪、灾后评估以及提出减灾决策方案等作用。灾前预测,即对潜在灾害,包括发生时间、范围、规模等进行预测,为有效防灾做准备;灾中监测,即随时监测各种灾害,快速、准确地提供如洪水、干旱、地震等重大灾害灾情信息,为紧急救援提供帮助;灾后评估,即在灾情发生后对灾情进行准确的评估,它是灾后重建的最主要依据之一。我国运用现代科学技术手段建立了各种自然灾害监测系统。

### (2) 灾害预报

灾害预报是根据灾害发生发展规律、孕灾环境的变化和动态监测资料,对自然灾害发生的可能性及时间、地点、强度、影响范围和可能造成的危害程度进行预测和通报。灾害预报一般分为长期预报、中期预报和短期预报。目前,因为对自然灾害监测能力有限,且不平衡,所以对自然灾害的预报水平还比较低。随着科学技术的进步和对灾害规律认识的提高,灾害预报水平也将逐步提高。例如,地震预报从世界范围来说仍处于探索阶段,目前尚未完全掌握地震孕育发生的规律,我国的地震预报主要是根据多年积累的观测资料和地震实例而作出的经验性预报,因此不可避免地带有很大局限性。目前我国地震预报水平和现状,大体概括如下:对地震孕育发生的原理、规律有所认识,但还没有完全认识;能够对某些类型的地震作出一定程度的预报,但还不能预报所有的地震;作出的较大时间尺度的中长期预报有一定的可信度,但短临预报的成功率还相对较低,特别是临震预报。

### (3) 防灾

防灾是在灾害发生前采取一定的措施防止灾害的发生或减小灾害的损失。防灾包括规划性防灾、工程性防灾、技术性防灾、转移性防灾和非工程性防灾。规划性防灾是指在进行设计规划和选址时尽量避开灾害危险区。例如,在进行工程建设时,尽量避开地震断裂带和地质灾害易发地段等。工程性防灾是指在工程建设时,充分考虑灾害因子的影响程度从而进行设防,包括工程加固以及避灾空地、避难工程和避灾通道的建设等。例如,在台风来临之前对房屋进行的临时性加固,在结构防火设计中对消防通道、疏散通道的设计等。技术性防灾是指运用科学技术手段来抵御灾害的危害,例如工程结构中采用的隔震、耗能减震和振动控制技术来避震。转移性防灾是在灾害预报前提下,将人和财产等转移到安全的地方,转移性防灾依赖于灾害的成功预报。非工程性防灾是指通过灾害知识教育、灾害立法、完善防灾组织等达到防灾的目的。

### (4) 抗灾

抗灾是指采用工程性措施抵抗灾害的发生或减少灾害的损失。例如,采取工程性措施进行的抗震、防火、抗风、抗洪、抗滑坡等以及在灾后进行的工程结构加固等。在目前灾害预报水平还比较低的情况下,工程抗灾措施是相当有效的手段之一。

### (5) 救灾

救灾是在灾害发生后采取的减灾措施。救灾实际上是一场动员全社会力量对抗灾害的斗争。从指挥运筹到队伍组织,从抢救到医疗,从物资供应到生命线工程的维护,构成了一个严密的系统,需要周密计划、严密组织。救灾效果主要取决于救灾预案的科学性、严密性和有效性。

## 1.2.3 防灾减灾工程学研究内容

防灾减灾工程学研究内容十分广泛,其主要任务是建立和发展用以提高工程结构抵御自然灾害和人为灾害能力的科学理论、设计方法和工程技术。灾害造成的人员伤亡和财产损失与土木工程有很大的关系,因此,防灾减灾工程学的主要研究内容也在很大程度上与土木工程有着千丝万缕的联系。其主要研究内容包括:

① 灾害的分类、形成机理、规律和特点、灾害的预防、预测预报、灾害的评估、灾害的模拟与仿真、灾害区划、灾害的政策与法律法规、灾害经济和灾害保险、灾害心理、灾害教育、灾害管理。