

► 清华大学土木工程系列教材

# 防灾减灾工程与技术

## Disaster Prevention and Mitigation

任爱珠 许镇 纪晓东 陆新征 编著

REN Aizhu XU Zhen JI Xiaodong LU Xinzheng

清华大学出版社

► 清华大学土木工程系列教材

# 防灾减灾工程与技术

## Disaster Prevention and Mitigation

任爱珠 许镇 纪晓东 陆新征 编著

REN Aizhu XU Zhen JI Xiaodong LU Xinzheng

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书结合国内外近 30 年来在防灾减灾领域中的研究成果和工程应用,将土木工程学科涉及的地震、地质、火灾、风灾、洪灾的防灾减灾工作与灾害学的基本原理相结合,为读者系统地讲解了各种灾害产生的原因,对人类社会的危害,以及从社会层面和工程层面应对灾害的方法和技术。

全书共分 14 章。主要内容有:灾害的基本知识;自然灾害概况;防灾减灾法律法规;灾害的风险分析;防灾减灾规划;灾害的应急管理;防灾减灾中的经济问题;抗震防灾工程与技术;消防工程与技术;台风防灾减灾工程与技术;防洪减灾工程与技术;地质灾害防灾减灾工程与技术;3S 等高新技术在防灾减灾中的应用;防灾减灾计算机软件。本书内容的选取和安排基于作者多年的研究工作和教学实践,在面向土木、建筑专业背景的基础上,也考虑了其他专业背景的特点,同时也给出一些实例,使本书内容尽量深入浅出,使不同背景的读者都能通过本书受益。

本书可作为土木、建筑、水利、环境类高等院校“防灾减灾工程与技术”课程的教材,也可以作为从事防灾减灾研究与管理工作的人员的参考书。同时,本书还可以作为法律、新闻、传媒、经管等专业的大学选修课“灾害及其对策”的教材(其中有关抗震、抗风等涉及土木工程专业知识的内容可适当删减)。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121993

### 图书在版编目(CIP)数据

防灾减灾工程与技术/任爱珠等编著. —北京:清华大学出版社,2014  
清华大学土木工程系列教材  
ISBN 978-7-302-36999-8

I. ①防… II. ①任… III. ①土木工程—自然灾害—灾害防治—高等学校—教材 IV. ①TU3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 139519 号

责任编辑:秦 娜  
封面设计:陈国熙  
责任校对:王淑云  
责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质 量 反 馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

印 刷 者:清华大学印刷厂

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:29.25 字 数:707 千字

版 次:2014 年 9 月第 1 版 印 次:2014 年 9 月第 1 次印刷

印 数:1~2500

定 价:59.00 元

产品编号:053121-01

# 前言

我国幅员辽阔、地形复杂、气候多变,是一个自然灾害种类多、强度大、分布广、频度高的国家,灾害对我国国民经济的持续、稳定、协调发展产生了重大影响。1998年长江全流域洪水以及2008年汶川大地震以后,我国越来越重视防灾减灾工作。清华大学土木工程系也于20世纪90年代后期开始分别为本科生开设“灾害及其对策”,为研究生开设“灾害学”等课程。作为清华大学土木工程系防灾减灾研究所的一个教学研究团队,作者在承担科技部科技支撑计划项目、国家自然科学基金项目、省部级科技项目等的研究工作,以及承担“灾害及其对策”和“灾害学”等课程的教学过程中,积累了大量研究成果和教学素材。通过本书的写作,作者希望将我们在灾害教学和研究方面的成果和心得介绍给全国读者,也为本校的灾害教学提供一本相对系统和全面的教科书。

防灾减灾工程与技术一书跨越了多个学科和门类,要把地震、洪水、台风、滑坡泥石流、火灾这几个灾种的防灾减灾工程与技术都讲清楚,篇幅将极其宏大,也不是一门32学时的课程所能容纳得下的。本书力求从实际出发,深入浅出,并通过一些实例,以期使读者在了解防灾减灾工作所包含的内容的同时,也能掌握一些具体的工作方法和技术。虽然本书的主要内容是防灾减灾工程和技术,但是为了兼顾防灾减灾学科的系统性和相关知识的完整性,本书还介绍了我国防灾减灾法律法规、灾害的风险分析、灾害的应急管理和灾害经济等防灾减灾非工程对策。

全书共分14章。第1章介绍灾害的基本知识、自然灾害的特点和灾害对人类社会的危害。第2章介绍全球自然灾害概况、我国自然灾害概况、我国各地区自然灾害分布和自然灾害产生的背景。第3章介绍我国防灾减灾法律法规。第4章介绍灾害的风险分析方法和实例。第5章介绍防灾减灾规划编制方法和实例。第6章介绍我国灾害管理的领导和协调机制,灾害预警、预报体系,应急响应体系,应急预案建设和灾后恢复重建制度。第7章介绍灾害对国民经济发展的影响,灾害损失评估,防灾减灾费用及效益和防灾减灾决策。第8章介绍地震的危害、中外重大地震灾害、地震的类型与成因、地震的基本概念、世界地震带分布、我国的地震活动和地震灾害、地震预报和预警、工程抗震设防、房屋抗震设计和结构抗震计算。第9章介绍火灾的危害、火灾的燃烧过程、常见的火灾原因、建筑火灾的扩散与蔓延、建筑的耐火等级和建筑构件的耐火

性能、建筑防火设计、建筑火灾探测与报警和建筑灭火系统。第 10 章介绍台风的危害、中外重大台风灾害、台风的次生灾害、台风的形成与分类、台风的监测、预报与预警和建构筑物的抗风设计。第 11 章介绍我国的洪涝灾害、洪涝灾害的特点、洪涝灾害的成因、防洪减灾的工程对策和非工程对策。第 12 章介绍地质灾害实例、滑坡灾害的定义与分类、滑坡的发生机理、滑坡的力学分析、滑坡的监测与预报和滑坡的防治对策,崩塌灾害、泥石流灾害和地面沉降灾害及其防治对策,第 13 章介绍 GIS、GPS、RS 和 VR 在防灾减灾中的应用和应急救援技术。第 14 章介绍防灾减灾相关软件,并介绍地理信息系统软件——ArcGIS、场景可视化平台——OSG、火灾动力学模拟软件——FDS 等防灾减灾应用软件的使用和应用实例。

本书第 1~7、9、13 章由任爱珠编写;第 11、12、14 章由许镇编写;第 8 章由纪晓东编写;第 10 章由陆新征编写。全书由任爱珠统稿。

本书例 4.2 选用了李梅玲,路世昌在“体育场馆火灾风险评估研究”(李梅玲,路世昌. 体育场馆火灾风险评估研究[J]. 消防技术与产品信息,2011(6).)一文中的例子。例 4.3 选用了作者的学生潘国帅博士在博士论文“基于 GIS 和数据挖掘技术的城市区域火灾风险评估”(潘国帅. 基于 GIS 和数据挖掘技术的城市区域火灾风险评估[D]. 北京:清华大学博士学位论文,2006.)中的一个例子。例 4.4 选用了胡波等在“台风灾害风险区划模型”(胡波,严甲真,丁焯毅,等. 台风灾害风险区划模型[J]. 自然灾害学报,2012(10).)一文中的例子。例 4.5 选用了作者的学生邹亮博士在博士论文“基于 GIS 的台风灾害预测与救灾管理研究”(邹亮. 基于 GIS 的台风灾害预测与救灾管理研究[D]. 北京:清华大学博士学位论文,2008(6).)中的一个例子。例 5.1 选用了刘晶波,杜义欣的“××经济技术开发区防灾减灾规划文本——第二篇 防震减灾规划”(刘晶波,杜义欣. ××经济技术开发区防灾减灾规划文本——第二篇 防震减灾规划,2002)中的部分内容。例 5.2 选用了作者和学生陈驰在“××经济技术开发区防灾减灾规划文本——第四篇 火灾防灾减灾规划”(任爱珠,陈驰. ××经济技术开发区防灾减灾规划文本——第四篇 火灾防灾减灾规划,2002)中的部分内容。例 5.3 选用了胡和平等的“××经济技术开发区防灾减灾规划文本——第三篇 防洪减灾规划”(胡和平等,××经济技术开发区防灾减灾规划文本——第三篇 防洪减灾规划,2002)中的部分内容。例 6.1 选用了童林旭等“××经济技术开发区防灾减灾规划文本——第五篇 人民防空规划”(童林旭. ××经济技术开发区防灾减灾规划——第五篇 人民防空规划,2002.)中的部分内容。作者向上述同志表示衷心的感谢。

此外,特别感谢国家重点基础研究发展计划(973)(编号:2012CB719703),国家科技支撑计划(编号:2014BAL05B04,2013BAJ08B02,2012BAJ07B01),以及国家自然科学基金(编号:51222804,51178249,51378299)对本书所涉及的科研工作的支持。

本书在编写过程中,参阅了许多学者的著作,汲取了他们的学术营养,作者在此向他们表示深深的敬仰与谢意。大部分被作者引用的书名或论文名已在本书每一章后列出。但是由于本书内容繁多,有些参考资料可能在使用过程中由于疏漏而没有被列入,敬请谅解。

由于作者水平所限,疏漏和错误之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

作者

2014 年 2 月 28 日

# 目 录

## 第一篇 绪 论

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 第 1 章 灾害的基本知识 .....   | 2  |
| 1.1 灾害与灾害链 .....      | 2  |
| 1.2 灾害的特点 .....       | 6  |
| 1.3 灾害对人类社会的危害 .....  | 7  |
| 参考文献 .....            | 12 |
| 第 2 章 自然灾害概况 .....    | 13 |
| 2.1 全球自然灾害概况 .....    | 13 |
| 2.1.1 世界七大洲主要灾害 ..... | 14 |
| 2.1.2 世界主要自然灾害带 ..... | 20 |
| 2.2 我国自然灾害概况 .....    | 21 |
| 2.2.1 我国的地震灾害 .....   | 21 |
| 2.2.2 我国的地质灾害 .....   | 25 |
| 2.2.3 我国的台风灾害 .....   | 28 |
| 2.2.4 我国的洪涝灾害 .....   | 29 |
| 2.2.5 我国的干旱灾害 .....   | 32 |
| 2.3 我国各地区自然灾害分布 ..... | 33 |
| 2.4 我国自然灾害产生的背景 ..... | 36 |
| 参考文献 .....            | 37 |

## 第二篇 防灾减灾非工程方法

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 第 3 章 防灾减灾法律法规 .....  | 42 |
| 3.1 防灾减灾法律法规综述 .....  | 42 |
| 3.2 国外的防灾减灾法律法规 ..... | 45 |
| 3.3 我国的防灾减灾法律法规 ..... | 47 |
| 3.3.1 防震减灾法律法规 .....  | 48 |
| 3.3.2 消防法规 .....      | 51 |

|            |                         |            |
|------------|-------------------------|------------|
| 3.3.3      | 台风防灾减灾法规 .....          | 54         |
| 3.3.4      | 洪涝灾害防灾减灾法规 .....        | 57         |
| 3.3.5      | 地质灾害防灾减灾法规 .....        | 59         |
| 3.3.6      | 其他防灾减灾法规 .....          | 60         |
|            | 参考文献 .....              | 61         |
| <b>第4章</b> | <b>灾害的风险分析 .....</b>    | <b>63</b>  |
| 4.1        | 风险分析方法 .....            | 63         |
| 4.2        | 地震灾害风险分析 .....          | 66         |
| 4.3        | 火灾风险分析 .....            | 74         |
| 4.4        | 台风灾害风险分析 .....          | 87         |
| 4.5        | 洪涝灾害风险分析 .....          | 94         |
|            | 参考文献 .....              | 99         |
| <b>第5章</b> | <b>防灾减灾规划 .....</b>     | <b>102</b> |
| 5.1        | 防灾减灾规划与城市总体规划的关系 .....  | 102        |
| 5.2        | 抗震防灾规划 .....            | 105        |
| 5.3        | 消防规划 .....              | 119        |
| 5.4        | 防洪减灾规划 .....            | 127        |
|            | 参考文献 .....              | 136        |
| <b>第6章</b> | <b>灾害的应急管理 .....</b>    | <b>138</b> |
| 6.1        | 灾害应急管理概述 .....          | 138        |
| 6.2        | 国外的灾害应急管理 .....         | 141        |
| 6.3        | 我国的灾害应急管理 .....         | 144        |
| 6.3.1      | 我国灾害管理的领导和协调机制 .....    | 144        |
| 6.3.2      | 我国的灾害预警、预报体系 .....      | 145        |
| 6.3.3      | 我国的自然灾害应急响应体系 .....     | 147        |
| 6.3.4      | 我国的应急预案建设 .....         | 151        |
| 6.3.5      | 我国的灾后恢复重建制度 .....       | 155        |
|            | 参考文献 .....              | 156        |
| <b>第7章</b> | <b>防灾减灾中的经济问题 .....</b> | <b>158</b> |
| 7.1        | 灾害对国民经济发展的影响 .....      | 158        |
| 7.2        | 灾害损失评估 .....            | 160        |
| 7.3        | 防灾减灾费用及效益 .....         | 164        |
| 7.4        | 防灾减灾决策 .....            | 168        |
|            | 参考文献 .....              | 172        |

## 第三篇 防灾减灾工程与技术

|            |                        |            |
|------------|------------------------|------------|
| <b>第8章</b> | <b>抗震防灾工程与技术 .....</b> | <b>176</b> |
| 8.1        | 地震的危害 .....            | 176        |

|       |               |     |
|-------|---------------|-----|
| 8.1.1 | 直接危害和间接危害     | 176 |
| 8.1.2 | 地震灾害的特点       | 179 |
| 8.1.3 | 中外重大地震灾害      | 180 |
| 8.2   | 地震的类型与成因      | 194 |
| 8.2.1 | 地震类型          | 194 |
| 8.2.2 | 地震成因          | 194 |
| 8.3   | 地震的基本概念       | 197 |
| 8.3.1 | 断层与震源         | 197 |
| 8.3.2 | 地震波           | 199 |
| 8.3.3 | 地震震级与烈度       | 201 |
| 8.3.4 | 地震序列          | 205 |
| 8.3.5 | 地震动           | 205 |
| 8.4   | 世界地震带分布       | 207 |
| 8.5   | 我国的地震活动和地震灾害  | 208 |
| 8.5.1 | 我国地震活动特点      | 208 |
| 8.5.2 | 我国地震带分布       | 209 |
| 8.5.3 | 我国地震灾害情况      | 209 |
| 8.6   | 地震预报和预警       | 211 |
| 8.6.1 | 地震预报          | 211 |
| 8.6.2 | 地震预警          | 212 |
| 8.7   | 工程抗震设防        | 213 |
| 8.7.1 | 地震区划          | 213 |
| 8.7.2 | 抗震设防目标和范围     | 216 |
| 8.7.3 | 抗震设防分类和设防标准   | 217 |
| 8.7.4 | 抗震设计方法        | 217 |
| 8.8   | 结构抗震设计原则      | 218 |
| 8.8.1 | 场地和地基         | 218 |
| 8.8.2 | 建筑形体及结构布置的规则性 | 220 |
| 8.8.3 | 抗震结构体系        | 226 |
| 8.8.4 | 结构材料          | 227 |
| 8.8.5 | 非结构构件         | 228 |
| 8.9   | 结构抗震计算        | 229 |
| 8.9.1 | 结构抗震计算方法      | 229 |
| 8.9.2 | 设计反应谱         | 235 |
| 8.9.3 | 水平地震作用计算      | 236 |
| 8.9.4 | 竖向地震作用计算      | 240 |
| 8.9.5 | 构件截面抗震验算      | 242 |
| 8.9.6 | 结构抗震变形验算      | 243 |



|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 参考文献                      | 245 |
| <b>第 9 章 消防工程与技术</b>      | 247 |
| 9.1 火灾的危害                 | 247 |
| 9.2 火灾的燃烧过程               | 251 |
| 9.3 常见的火灾原因               | 252 |
| 9.4 建筑火灾的扩散与蔓延            | 254 |
| 9.5 建筑的耐火等级和建筑构件的耐火性能     | 255 |
| 9.5.1 建筑耐火等级              | 255 |
| 9.5.2 建筑构件的耐火性能           | 257 |
| 9.6 建筑防火设计                | 258 |
| 9.6.1 总平面和建筑平面防火设计        | 259 |
| 9.6.2 防火分区设计              | 260 |
| 9.6.3 人员疏散设计              | 262 |
| 9.6.4 建筑结构耐火设计            | 265 |
| 9.6.5 建筑防烟和排烟             | 267 |
| 9.7 建筑火灾探测与报警             | 269 |
| 9.8 建筑灭火系统                | 270 |
| 参考文献                      | 273 |
| <b>第 10 章 台风防灾减灾工程与技术</b> | 275 |
| 10.1 台风的危害                | 275 |
| 10.2 中外重大台风灾害             | 278 |
| 10.3 台风的次生灾害              | 283 |
| 10.4 台风的形成与分类             | 284 |
| 10.5 台风的防灾减灾对策            | 287 |
| 10.5.1 台风的监测、预报与预警        | 287 |
| 10.5.2 建(构)筑物的抗风设计        | 296 |
| 参考文献                      | 311 |
| <b>第 11 章 防洪减灾工程与技术</b>   | 312 |
| 11.1 我国的洪涝灾害              | 312 |
| 11.2 洪涝灾害的特点              | 315 |
| 11.3 洪涝灾害的成因              | 318 |
| 11.3.1 自然因素               | 318 |
| 11.3.2 人为因素               | 320 |
| 11.4 我国的防洪减灾对策            | 321 |
| 11.4.1 防洪减灾工程对策           | 321 |
| 11.4.2 防洪减灾非工程对策          | 346 |
| 参考文献                      | 360 |

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| <b>第 12 章 地质灾害防灾减灾工程与技术</b> .....     | 361 |
| 12.1 地质灾害概述 .....                     | 361 |
| 12.2 滑坡灾害及其防治对策 .....                 | 362 |
| 12.2.1 滑坡灾害实例 .....                   | 362 |
| 12.2.2 滑坡定义与分类 .....                  | 364 |
| 12.2.3 滑坡的发生机理 .....                  | 367 |
| 12.2.4 滑坡的力学分析 .....                  | 369 |
| 12.2.5 滑坡的监测与预报 .....                 | 372 |
| 12.2.6 滑坡的防治对策 .....                  | 374 |
| 12.3 崩塌灾害及其防治对策 .....                 | 376 |
| 12.3.1 崩塌的定义与危害 .....                 | 376 |
| 12.3.2 崩塌的类型与成因 .....                 | 378 |
| 12.3.3 崩塌的防治 .....                    | 380 |
| 12.4 泥石流灾害及其防治对策 .....                | 381 |
| 12.4.1 泥石流的定义与危害 .....                | 381 |
| 12.4.2 泥石流分类与形成条件 .....               | 383 |
| 12.4.3 泥石流的防治对策 .....                 | 386 |
| 12.5 地面沉降灾害及其防治对策 .....               | 389 |
| 12.5.1 地面沉降定义与灾害 .....                | 389 |
| 12.5.2 地面沉降类型与成因 .....                | 391 |
| 12.5.3 地面沉降控制与治理 .....                | 393 |
| 参考文献 .....                            | 394 |
| <b>第 13 章 3S 等高新技术在防灾减灾中的应用</b> ..... | 395 |
| 13.1 GIS 在防灾减灾中的应用 .....              | 396 |
| 13.2 GPS 在防灾减灾中的应用 .....              | 399 |
| 13.3 RS 在防灾减灾中的应用 .....               | 403 |
| 13.4 VR 在防灾减灾中的应用 .....               | 405 |
| 13.5 应急救援技术 .....                     | 409 |
| 参考文献 .....                            | 417 |
| <b>第 14 章 防灾减灾计算机软件</b> .....         | 419 |
| 14.1 防灾减灾相关软件概述 .....                 | 419 |
| 14.2 地理信息系统软件——ArcGIS .....           | 422 |
| 14.2.1 ArcGIS 软件介绍 .....              | 422 |
| 14.2.2 ArcMap 基本操作 .....              | 424 |
| 14.2.3 应用实例——建立简单的校园 GIS 数据库 .....    | 428 |
| 14.3 场景可视化平台——OSG .....               | 431 |
| 14.3.1 OSG 平台介绍 .....                 | 431 |

|        |                         |     |
|--------|-------------------------|-----|
| 14.3.2 | OSG 基本开发 .....          | 435 |
| 14.3.3 | 应用实例——校园建筑震害场景的可视化..... | 440 |
| 14.4   | 火灾动力学模拟软件——FDS .....    | 443 |
| 14.4.1 | FDS 软件概述 .....          | 444 |
| 14.4.2 | FDS 基本操作 .....          | 445 |
| 14.4.3 | FDS 应用实例——室内火灾模拟 .....  | 449 |
|        | 参考文献.....               | 455 |

# 第一篇 绪 论

# 灾害的基本知识

## 1.1 灾害与灾害链

灾害是指危害人类生命、财产、社会功能以及资源环境的事件或现象。也可以说,凡是危害人类生命财产和生存条件的各类事件或现象都可以称为灾害。

被广为认可的是世界卫生组织和联合国“国际减轻自然灾害十年”专家组对灾害所做的定义。世界卫生组织对灾害的定义是:任何引起设施破坏、经济严重受损、人员伤亡、健康状况及卫生条件恶化的事件,如其规模已超出事件发生社区的承受能力而不得不向社区外寻求专门援助时,就可称其为灾害。联合国“国际减轻自然灾害十年”专家组对灾害的定义是:灾害是指自然发生或人为产生的,对人类和人类社会具有危害后果的事件与现象。

以自然力的作用为主因而给人类造成的灾难,称为自然灾害。如地震、火山爆发、泥石流、滑坡、水土流失、森林火灾、干旱、洪涝、台风、风暴潮、海啸、低温、霜冻、冰雹等。自然灾害主要是由人类赖以生存的地球的运动和变化,以及太阳、月球和其他星球对地球的影响所引起的。太阳对地球辐射能的变化,地球自身运动状态的改变,地球表层岩石圈、水圈、气圈和生物圈的运动和变化,以及人类和其他生物的活动,时常会破坏人类生存条件的平衡,从而导致灾害的发生。比如,台风、风暴潮、低温、霜冻、冰雹等灾害主要是由大气圈运动与变异所引起的;洪水主要是由水圈中大陆部分地表水体运动所引起;地震、火山爆发、泥石流、滑坡主要是由岩石圈活动所引起的。自然灾害的形成虽然主要是由自然因素引起的,但是人为因素的影响大到一定程度时也会发展成自然灾害。自有人类以来,人类便开始了对自然界原有生态平衡的干预。人类社会早期由于人口少、生产力低,对自然界的改造与破坏的程度还不大。但是随着人口的增长、科学的进步,人类向自然索取和改造自然的能力越来越大,使地球生态环境日益恶化,从而引发自然灾害或加剧了自然灾害的严重程度。例如,人类对森林的过度采伐,造成了严重的水土流失,导致滑坡、泥石流频发,加大了洪水的危害程度;对地下水的过度开采,使地下水位降低,造成地面沉降、地面塌陷、地裂缝、海水入侵等灾害。

以人的行为为主因而给人类造成的灾难,称为人为灾害。人为灾害是由于人的行为失控或失当,或不合理、不科学地向自然索取或改造自然的行为,打破了自然界的生态平衡和人类社会运行的规律而引起的灾难,如战争、恐怖袭击、火灾、爆炸、核泄漏、交通事故、生产或工程事故、环境污染等。典型的人为灾难有:煤气泄漏引起的火灾、爆炸;江河堤坝质量事故引起的决堤以致洪水泛滥;环境污染造成的大气和水源质量降低,从而危害人类的健康,影响人类的正常生活;对草场的过度放牧引起土地的荒漠化等。

许多自然灾害,特别是等级高、强度大的自然灾害发生以后,常常会诱发一连串的其他灾害,这种现象叫灾害的连发性或者灾害链。例如,1960年5月22日智利接连发生了7.7级、7.8级、8.5级三次大地震。这三次强烈地震在震源附近的瑞尼赫湖区周围的山体上分别引发了300万 $\text{m}^3$ 、600万 $\text{m}^3$ 和3000万 $\text{m}^3$ 的三次大滑坡;这些滑坡滑到瑞尼赫湖里,使湖水上涨了24m;湖水外溢后淹没了湖东65km处的瓦尔的维亚城,全城水深2m,造成100万人无家可归。这次地震还引发了大海啸,在智利附近的海面,浪高达到了30m,使智利中部沿海的房屋和码头设施全被冲垮。巨浪以每小时640多km的速度横扫太平洋。在夏威夷的希洛,巨浪冲毁了防波堤和沿岸的楼房、电线杆,约4m高的巨浪袭击了日本本州和北海道的太平洋沿岸地区,海港设备和码头设施遭到严重破坏。在这个灾害发生发展过程中,地震—滑坡—洪水构成了一个灾害链。灾害链中最早发生的、起主导作用的灾害称为原生灾害,在这场智利大灾难中,滑坡和洪水都是由地震引起的,因此地震就是原生灾害。由原生灾害所诱发的灾害称为次生灾害。在这场智利大灾难中,是强烈的地震引发了滑坡,进而滑坡引发了洪水,因此滑坡和洪水都是地震的次生灾害。有时,次生灾害造成的损失甚至比原生灾害的损失要大得多,甚至超过原生灾害许多倍。

我国甘肃省每次大地震都造成大量的滑坡。1718年通渭7.5级地震,造成大于500 $\text{m}^3$ 的滑坡337个,永宁镇2000余户被埋。1920年宁夏海原8.5级大地震,造成了甘肃657处大滑坡,至今还保存着41个滑坡堰塞湖。1933年8月5日四川茂县发生的7.5级地震,触发了几百处岩崩,大量的岩崩滑塌体阻断了该地的岷江干流及一些支流,形成了十多个堰塞湖,其中有四座堆石坝高达百米。此次地震之后第40天,岷江上游连日阴雨,使这些堰塞湖不断蓄水,5天后堰塞湖相继溃坝,水头高达60m左右,冲击了茂县以下沿江的10个县城和几乎全部的村镇,顷刻间卷走了2万多人,冲毁农田5万多亩。

在原生灾害或次生灾害作用下,在灾害发生以后的某个时间段内,由于受灾地区居民的生存条件和社会环境遭受了破坏,由此导生出一系列其他灾害,这些灾害泛称为衍生灾害。如1988年孟加拉国大洪水破坏了自来水管网,大量生活在贫民区的居民只能饮用肮脏的水源,从而造成了痢疾、伤寒的流行。疾病流行就是洪水的衍生灾害。1920年我国宁夏海原8.5级地震造成大量房屋倒塌、衣服食物被埋,灾民在严寒的冬季里无衣、无食、无居所,再加上大量尸体无法及时掩埋加剧了疾病流行,死于冻饿疾病者不计其数。最终,总死亡人数达到了23.4万人。

两个或两个以上灾害在同一区域或相近地区相继发生的现象,即灾害链,从表面上看是一种客观存在的现象,从内在本质看,是能量的守恒、能量的转化和传递与再分配。在天地生大系统内部,基于自然界的能量守恒性,前一灾害未释放完的能量可以由后续的危害来继续释放,比如1960年5月22日智利接连发生的7.7级、7.8级、8.5级三次大地震中,后两次地震的发生均是由于第一次地震的能量没有释放完而引起的。有的灾害发生后,该灾害

的能量转化为其他形式的能量形成新的灾害,比如智利 1960 年这三次强烈地震引起的瑞尼赫湖区山体的 300 万  $\text{m}^3$ 、600 万  $\text{m}^3$  和 3000 万  $\text{m}^3$  的三次大滑坡。灾害链发生的内在原因,在理论上和实际发生过程上是极为复杂的,现有的理论和实际知识还不能完全解释历史上发生的许多灾害链现象,还有待进一步的研究和探讨。对灾害链本质的研究,有助于人类更好地开展防灾减灾和应急抢险工作,我们期待着国内外的科学家们在灾害链的研究上取得更多更好的成果。

从现有的研究成果看,灾害链基本上可以归纳为以下 5 种。

### 1. 因果型灾害链

因果型灾害链表现为前一次灾害与后一次灾害有因果上的联系,即前一次灾害为后一次灾害提供了诱发条件,或前一次灾害转化成了另一种灾害的发生。因果型灾害链在历史上是很多的。例如,1739 年我国宁夏平罗大地震引起了地面开裂,从地下喷出的地下水与河水一起造成了一二百里范围、深 2m 左右的水患。宁夏平罗的这次大地震形成了地震—建筑物倒塌—火灾,地震—沙土液化—喷砂冒水—水灾两条因果型灾害链。

此外,像地震以后引起瘟疫,暴雨引起水库决口,暴雨引起滑坡,旱灾引起森林大火等,都表现为因果型灾害链。一次大的地震会导致严重的灾害链。如果地震发生在高山或高原地区,地震后会引发滑坡、崩塌、泥石流、地裂缝、地面沉降等地质灾害,甚至进一步造成堰塞湖,引起洪水灾害;如果地震发生在城市和人口稠密区,地震造成的建筑物倒塌会引起有毒有害气体泄漏,地震次生火灾,交通、供电、供气、供水等系统瘫痪;如果地震发生在沿海或海底地区,则会引发巨大的海啸。

### 2. 偶排型灾害链

偶排型灾害链表现为一些灾害偶然在相隔不长的时间内在邻近地区发生,但它们是否存在因果关系、是否有内在联系及各自发生的机理等目前尚为未知的现象。例如,干旱与地震、洪水与地震、风暴潮与地震等就属于这类灾害链。

我国历史上有不少关于偶排型灾害链的记载。如 1556 年 1 月 23 日陕西关中发生大震,死亡 83 万人,而在这个大震前,即 1553—1555 年陕西和其相邻地区发生了大旱。1920 年 12 月 16 日甘肃发生 8.5 级大地震,死亡 20 万人,大震当年陕豫冀鲁晋五省大旱,灾民 2000 万,死亡 50 万人。

关于洪水与地震的偶排型灾害链,历史上也有过不少记载。例如,1603 年泉州诸府海水暴涨,溺死万余人,次年 12 月 29 日泉州海外发生 8 级大地震,1607 年秋又再次发生强震。

关于地震与风暴潮间的相关性,历史上也有记载。1936 年 4 月 1 日在广东西部灵山发生 6.75 级地震,死亡近百人,伤两三百人,就在此次地震后的第二年,即 1937 年 9 月 1 日,强台风袭击珠江口,仅香港一地就死亡 11000 人,沉没和损坏的船只以千计。又如 1969 年 7 月 26 日广东阳江发生了 6.4 级地震,震后两天,即 1969 年 7 月 26 日广东汕头几层楼高的大浪涌入海堤,数十条山洪冲出峡谷,汕头市内平均进水 1.5~2m。这次潮灾仅汕头就死亡 1000 人,伤 9200 人,淹没农田 140 万亩,毁坏房屋 121.9 万间。

### 3. 重现型灾害链

重现型灾害链表现为同一种灾害两次或多次重现造成的灾害链。2001年7月6日发生在我国沿海地区的台风尤特(0104),它的自身强度、登陆强度都是很小的,最大风速只有60节,登陆大陆风速大约只有46节(仅属于强热带风暴级别)。然而,该台风却造成了169.65亿元的经济损失,其中,仅广西一地就造成137.24亿元的经济损失。造成此次巨灾最直接的原因除了台风带来的强降雨外,还缘于台风尤特与前一次台风榴莲(0103)的登陆仅相隔4天(台风榴莲登陆时间为7月2日),如图1.1所示。这是同一种灾害重现的例子。所以,在预防和减轻灾害带来的危害时,特别要考虑这种重现型灾害带来的灾害叠加效应。

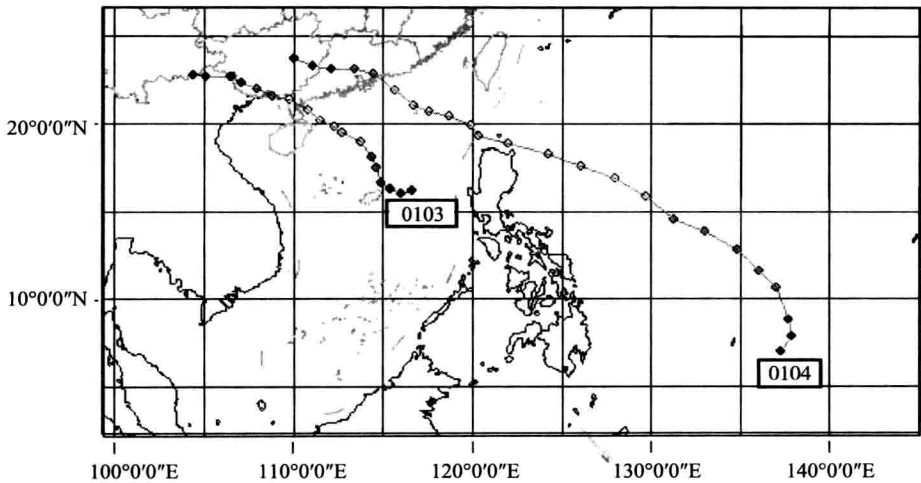


图 1.1 台风榴莲(0103)、尤特(0104)路径图

实际上,大地震后的强余震也是灾害二次重现的例子。在我国强余震和续发性强震是比较常见的。例如1976年唐山7.8级大地震后,紧接着在当天就发生了7.25级余震;1976年云南龙陵两次7.4级大地震也发生在同一天;1922年台湾的7.25级、7.5级两次地震则相隔13天。这种现象在建筑的抗震设防设计中需要非常重视。

### 4. 互斥型灾害链

互斥型灾害链表现为前一灾害发生后另一灾害就不再出现,或者减弱的现象。我国民间有“一雷打九台”的说法。这个谚语的意思是说当地有雷电时,就不会来台风。根据我国广东、福建、浙江三省许多气象台站的观察,当附近海面上有台风但尚未影响到本站时,若本站有系统性雷暴出现,则台风一般不会影响本站。

历史上曾有大雨截震的记载。1733年8月2日云南东川曾发生7级地震,大震后发生了一系列余震,但经过一次大雨后余震就不再活动了。又如1830年6月12日河北磁县地震,地震的震级达7.5级,大震后也有一系列余震发生,但也是一次大雨后余震就停止了。



## 5. 同源型灾害链

当两个或两个以上灾害链中后一个发生的灾害均源自前一个灾害时,这两个或两个以上灾害链就称为同源型灾害链。例如 1923 年日本关东大地震后引起了大面积火灾;同时强烈的地震又引起了附近海域的海啸。地震—火灾,地震—海啸这两个灾害链就同源自地震。又比如 1556 年发生在我国陕西华县的 8.5 级大地震,不仅引发了大规模的滑坡,还引起了大范围的火灾和水灾。地震—滑坡,地震—火灾,地震—水灾这三个灾害链均同源自地震。再如发生在我国陕、晋、冀、鲁、豫的 1920 年特大旱灾,不仅因旱灾造成了蝗灾和火灾,同时作物的歉收带来了大范围的饥荒。旱灾—火灾,旱灾—蝗灾和旱灾—饥荒这三个灾害链的共同源头就是旱灾。同源型灾害链的例子还有水灾造成的滑坡泥石流和水库垮塌;水土流失造成的土壤沙漠化和缺水、暴洪以及泥石流灾害等。

## 1.2 灾害的特点

自然灾害的成因和发生发展过程是极其复杂的,在我国乃至全球,自然灾害的发生,不论在地区分布或时间尺度上,都是不均匀的。在科学技术极为发达的今天,许多灾害的预测预报对于科学家来讲仍然是一个大难题。尽管如此,我们仍然可以从历史上关于国内外自然灾害的记载中,发现自然灾害发生发展的以下特点。

### 1. 区域性特点

在空间分布上,不同的自然灾害表现出各自的区域性特点。例如,地震灾害主要发生在新构造活动活跃的板块缝隙附近及地质构造带上。在我国,属于前者的有东部环太平洋地震带和喜马拉雅地震带,属于后者的有华北、西北和川西地震带。山区有利的地形,加上季节性的暴雨,则常是泥石流和滑坡最易生成的地区,如我国的泥石流密集地带是从西藏高原的东南部,绕经滇西北的横断山区,折向东北,经川西,沿秦岭、太行山及黄土高原西部直到冀西、辽西山地。每年登陆我国的台风,则主要发生在东南沿海地区的海南、广东、福建、浙江、上海、江苏一带。自然灾害的区域性特点为防灾减灾工作提供了灾害在空间分布上的规律,有助于人类从地理分布的角度去认识灾害,制订防灾减灾规划和应急救灾预案,进行防灾减灾资源的分配和调度。

### 2. 群发性特点

许多自然灾害,特别是等级高、强度大的自然灾害发生以后,常常会诱发出一连串的其他灾害,形成各种灾害链。台风登陆可以引起近海区的风暴潮灾害,台风带来的降水会形成洪涝灾害和山区的泥石流、滑坡。一次大地震,除直接摧毁房屋、桥梁、大坝外,还可以引起一系列其他灾害,如山崩、滑坡、泥石流、砂土液化、地裂缝和地面塌陷等。灾害的群发性特点在防灾减灾工作中尤其需要关注。在制订城市或区域抗震减灾规划中,除了要应对地震本身造成的建筑物损坏和人员伤亡外,同时还要应对地震以后可能伴随而来的火灾、滑坡、泥石流、水库垮塌等次生灾害。仅考虑地震危害不考虑地震次生灾害的抗震减灾规划是不完备的。