



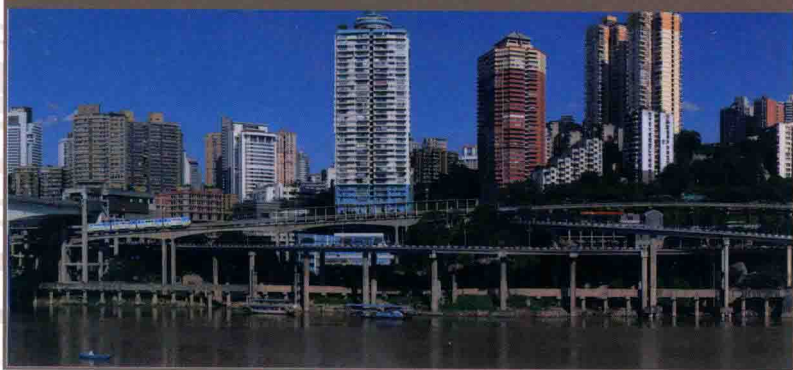
山地城镇建设安全与防灾协同创新专著系列

山地城市排水管网

结构安全性评估与预警系统

——以重庆主城排水干管为例

陈朝晖 何 强 著



科学出版社

山地城镇建设安全与防灾协同创新专著系列

山地城市排水管网结构安全性 评估与预警系统 ——以重庆主城排水干管为例

陈朝晖 何 强 著



科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书针对山地城市特有的地形地质条件,全面论述降雨、滑坡、洪水冲击、污水腐蚀等多种管道破坏风险分析理论;结合管道结构力学性能分析理论和方法、结构耐久性分析与检测的研究成果,研究山地城市排水管网系统在多种荷载综合影响下的结构损伤破坏机制与失效模式;结合系统风险分析理论和方法的研究成果,建立山地城市排水管网系统综合风险评估方法与预警理论;介绍适于山地环境的雨量、管道流量、边坡位移、复杂地形条件下土压力以及管道力学效应等城市排水管网结构安全监控技术;论述基于地理信息系统的山地城市排水管网结构安全性监测与管理数字化系统构建原理与方法,并提供示范应用工程——重庆主城排水主干结构安全运行网络化监控与预警示范工程。

本书可作为相关工程设计人员与管理人员的参考书,也可供土木工程、给排水与市政工程等相关专业的高年级本科生与研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

山地城市排水管网结构安全性评估与预警系统:以重庆主城排水主干管为例/陈朝晖,何强著. —北京:科学出版社,2019.1

(山地城镇建设安全与防灾协同创新专著系列)

ISBN 978-7-03-059709-0

I. ①山… II. ①陈… ②何… III. ①山区城市-排水系统-安全评价-重庆 ②山区城市-排水系统-预警系统-重庆 IV. ①TU992.03

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 263179 号

责任编辑:韩卫军/责任校对:王萌萌
责任印制:罗 科/封面设计:墨创文化

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

四川煤田地质制图印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2019 年 1 月第 一 版 开本:720×1000 B5

2019 年 1 月第一次印刷 印张:14 1/4

字数:290 000

定价:150.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

山地城镇建设安全与防灾协同创新专著系列

编委会名单

主 任 周绪红

副主任 张四平 毛志兵 文安邦 王清勤 刘汉龙

委 员 (按姓氏笔画排序)

卢 峰 申立银 任 宏 刘贵文 何 强

杜春兰 李正良 李百战 李英民 李和平

吴艳宏 陈宁生 单彩杰 胡学斌 高文生

黄世敏 蒋立红

总 序

中国是一个多山国家,山地面积约为 666 万 km^2 ,占陆地国土面积的 69%,山地县级行政机构数量约占全国的 2/3,蓄积的人口与耕地分别占全国的 1/3 和 2/5。山地区域是自然、文化资源的巨大宝库,蕴含着丰富的水力、矿产、森林、生物、旅游等自然资源,也因多民族数千年的聚居繁衍而积淀了灿烂多姿的历史遗迹与文化遗产。

然而,受制于山地地形复杂、灾害频发、生态脆弱的地理环境特点,山地城镇建设挑战多、难度大、成本高,导致山地区域城镇化水平低,经济社会发展滞后,存在资源低效开发、人口流失严重、生态环境恶化、文化遗产衰落等众多经济社会问题。截至 2014 年,我国云南、贵州、西藏、甘肃、新疆等省、自治区的山地城镇化率不足 40%,距离《国家新型城镇化规划(2014—2020 年)》提出的常住人口城镇化率达到 60%左右的发展目标仍有很大差距。因此,采用“开发与保护”并重的方式推进山地城镇建设,促进山地城镇可持续发展,对于推动我国经济结构顺利转型、促进经济社会和谐发展、支撑国家“一带一路”倡议具有不可替代的重要意义。

为解决山地区域城镇化建设的重大需求,2012 年 3 月重庆大学联合中国建筑股份有限公司、中国建筑科学研究院、中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所等单位共同成立了“山地城镇建设协同创新中心”,针对山地城镇建设面临的安全与防灾关键问题开展人才培养、科技研发、学科建设等创新工作。经过三年的建设,中心围绕“规划—设计—建造—管理”的建筑产业链,大力整合政府、企业、高校、科研院所的优势资源,在山地城镇建设安全与防灾领域汇聚了一流科研团队,建设了高水平综合性示范基地,取得了有重大影响的科研理论与技术成果。迄今为止,中心已在山地城镇生态规划、山地城镇防灾减灾、山地城镇环境安全、山地城镇绿色建造、山地城镇建设管理五大方向取得了一系列重大科研成果,培养和造就了一批高素质建设人才,有力地支撑了山地城镇的重大工程建设,并着力营造出城镇建设主动依靠科技创新、科技创新更加贴近城镇发展需求的良好氛围。

山地城镇建设安全与防灾协同创新专著系列丛书集中展示了山地城镇建设协同创新中心在山地城镇生态规划与文化遗产保护、山地灾害形成理论与减灾关键技术、山地环境安全理论与可再生能源利用、山地城镇建设管理与可持续发展等领域的最新科研成果,是山地城镇建设领域科技工作者智慧与汗水的结

晶。本套丛书的出版，力图服务于山地城镇建设领域科学交流与技术转化，促进该领域高层次的学术传播、科技交流、技术推广与人才培养，努力营造出政产学研高效整合的协同创新氛围，为山地城镇的全面、协调与可持续发展做出新的重大贡献。

中国工程院院士、重庆大学校长

周绪红

2015 年 12 月

前 言

随着我国城市化进程的加快,城市排水管网系统快速增长,整体规模持续扩大,其科学合理的管理任务日益艰巨。长期以来,我国缺乏有效的管网结构性能状态评估和监测手段,不能及时准确地把握管网运行状况,基于在线数据的管网系统结构性能分析与监测管理模式鲜有应用案例,缺乏全面完整、科学有效的管道结构性能评价数据库,排水管网系统维护随意性与主观性大,难以做到有的放矢。

为此,本书针对山地城市特有的地形地质条件,综合应用统计分析、物理建模、理论分析、数值模拟、系统分析等方法,从建立山地城市排水管道危险工况模型入手,研究管道失效机制与失效模式,确立管道安全性临界状态及其相应参数。结合系统风险分析理论和方法,兼顾理论普遍性与工程实用性,以定量计算与定性分析相结合、技术手段与理论方法相支撑的思想,建立山地城市排水管网系统安全性分析理论与方法,基于地理信息系统(GIS)技术,构建山地城市排水管网结构安全性监测与管理数字化系统的原理与方法,并提供示范应用工程——重庆主城排水主管结构安全运行网络化监控与预警示范工程。

本书共 10 章。第 1 章概述我国当前山地城市排水管网运行总体现状以及实施安全性评价、监测与管理存在的关键技术难题。第 2 章基于历史降雨记录,统计分析山地城市降雨时间变化规律,修正排水管道设计暴雨强度,并对强降雨下重庆主城排水主管实际排放能力进行风险评估。第 3 章建立降雨型滑坡危险性分析与预警理论。第 4 章和第 5 章在研究山地城市埋地管道土压力分布特点与冲沟洪水荷载模型的基础上,建立架空管道和埋地管道结构安全性分析与评价方法。第 6 章介绍管道腐蚀机制及其耐久性检测修复技术。第 7 章为多种荷载工况与破坏模式并存下排水管网系统安全性综合分析理论。第 8 章和第 9 章构建低能耗、高环境适应性、多参数并存、易于维护的山地城市排水管网安全在线监控网络化技术。第 10 章以重庆主城 A 线排水管网结构安全性监控与管理示范工程为例,阐述山地城市排水管网结构安全性监测与管理数字化系统的构建原理及方法。

本书为山地城市排水管网系统安全运行提供监控、预警与管理决策系统的理论及方法,为构建应对多种风险综合影响下的排水管网安全监控预警和维护管理体系、保障山地城市排水系统安全运行、充分发挥污染治理设施效用提供技术支撑。本书所建立的排水管网体系风险分析、监控与预警理论和方法对我国其他长

距离输运管网系统的安全评估监控与预警、维护与管理决策提供有益且实用的参考价值。

本书是在作者主持和参与的城市重大基础设施的风险分析、评估与监测、决策的研究成果基础上总结而成的，并得到了国家“十一五”科技支撑项目“三峡库区山地城市排水系统安全运行与预警系统研究与示范”和山地城镇建设与新技术教育部重点实验室（重庆大学）的大力支持。本书其他作者包括范文亮、文海家、黄景华、王桂林、谢强、卿晓霞、金超等，李环禹为本书图表排版等做了大量烦琐的工作，在此一并表示由衷的感谢。

目 录

第 1 章 绪论	1
参考文献	6
第 2 章 山地城市降雨规律与排水管道设计暴雨强度	7
2.1 极值分析方法概述	7
2.2 降雨量统计分析	11
2.2.1 重庆市最大日降雨量统计分析	11
2.2.2 针对降雨型滑坡的有效降雨量统计分析	17
2.3 排水管道设计暴雨强度公式修正	20
2.3.1 降雨样本提取及概率分布模型	20
2.3.2 降雨重现期-暴雨强度-降雨历时关系	23
2.3.3 设计暴雨强度公式	24
2.4 重庆主城排水干管排水能力分析	29
2.4.1 二级管网流量分析	29
2.4.2 排水干管排水能力分析	31
参考文献	31
第 3 章 山地城市降雨型滑坡危险性分析与预警	33
3.1 山地城市边坡危险性区划方法	34
3.1.1 边坡危险性区划研究方法概述	35
3.1.2 管道沿线边坡危险性区划指标体系	36
3.1.3 边坡危险性区划模型	42
3.1.4 重庆主城排水干管 A 线边坡危险性区划	43
3.2 降雨与滑坡关系的研究	47
3.2.1 降雨与滑坡关系的统计分析	47
3.2.2 降雨与滑坡关系的理论研究	52
3.3 降雨型滑坡风险研究	57
3.3.1 有效降雨量模型	57
3.3.2 降雨型滑坡气象预报预警模型	59
3.3.3 重庆地区降雨型滑坡风险分析	61
3.3.4 气象预报预警模型应用实例	63
参考文献	65

第4章 山地城市架空排水管网结构安全性分析与评价	67
4.1 山地城市排水管网系统概述	67
4.2 架空箱形管道静力作用下力学性能试验研究	69
4.3 冲沟洪水对架空箱形管道的作用	74
4.3.1 洪水对架空箱形管道的水平作用力	75
4.3.2 洪水对架空箱形管道的竖向作用力	76
4.3.3 洪水作用下架空箱形管道力学性能分析	77
4.4 船舶对架空箱形管道的撞击效应	80
4.5 山地城市架空排水管道结构安全性评价	83
参考文献	84
第5章 山地城市埋地管道结构安全性分析与评价	86
5.1 概述	86
5.2 水平地段埋地管道横截面土压力分布特性	87
5.2.1 管-土相互作用对管道横截面土压力的影响机制	87
5.2.2 管-土相互作用有限元分析模型	88
5.2.3 基础刚度不均匀对管道受力性能的影响	90
5.2.4 管-土相对摩擦系数对土压力分布的影响	91
5.2.5 回填土弹性模量对土压力分布的影响	92
5.3 水平地段纵向基础刚度不均匀对管道受力性能的影响	94
5.4 斜坡地段埋地管道性能研究	98
5.4.1 斜坡地段管道埋置位置对土压力的影响	98
5.4.2 斜坡地段管道土压力分布特性分析	101
5.4.3 斜坡地段埋地管道的力学性能	103
5.5 山地城市排水管道结构安全性评价与预警	110
参考文献	113
第6章 山地城市排水管道腐蚀机制与检测修复技术	114
6.1 概述	114
6.2 混凝土排水管道耐久性判定标准	114
6.2.1 排水管道腐蚀机理	114
6.2.2 污水腐蚀下混凝土强度变化规律	119
6.2.3 排水管道的耐久性评定标准	124
6.3 城市排水管道故障检测方法	124
6.3.1 排水管道检测项目	125
6.3.2 排水管道直接检测技术	126

6.4 排水管道修复技术	131
参考文献	133
第7章 山地城市排水管网结构安全性综合评价体系	134
7.1 概述	134
7.2 基本理论	134
7.2.1 决策与决策方法	134
7.2.2 典型的决策方法	135
7.2.3 层次分析法在安全性评价中的应用	144
7.3 排水管网结构安全性综合评价体系	147
7.3.1 体系总体架构	147
7.3.2 山地城市排水管网结构安全性综合评价递阶层次分析模型	147
参考文献	151
第8章 山地城市排水管道安全性远程监测系统	152
8.1 概述	152
8.2 山地城市排水管道安全性网络化监测系统	153
8.2.1 系统结构	153
8.2.2 系统硬件设备的研发	154
8.3 山地城市排水管道安全性网络化监测技术	161
8.3.1 ZigBee 网络的孤立点问题	161
8.3.2 基于接收信号强度指示定位技术的山体滑坡监测技术	163
8.3.3 山地城市排水系统安全运行监测与安全故障诊断技术	168
参考文献	171
第9章 山地城市排水管网结构安全性监测与分析	173
9.1 监测与检测内容	173
9.2 监测方案总体制订原则	173
9.3 边坡位移监测与分析	178
9.3.1 盘溪河入口管段边坡位移监测与分析	178
9.3.2 大佛寺大桥管段边坡位移监测与分析	183
9.3.3 茅溪管段边坡位移监测与分析	185
9.3.4 黑石子管段边坡位移监测与分析	186
9.4 排水管道结构安全性监测与分析	189
9.4.1 埋地管道结构安全性监测与分析	189
9.4.2 架空管道结构安全性监测与分析	191
9.5 其他信息的监测	193

参考文献	193
第 10 章 山地城市排水管网结构安全性监测与管理数字化系统	194
10.1 排水管网数字化管理系统基本理论与框架	194
10.1.1 我国城市排水管网数字化管理系统概况	194
10.1.2 地理信息系统基本功能与结构	195
10.2 系统建设内容与总体架构	197
10.2.1 系统建设内容	197
10.2.2 系统总体架构	198
10.3 软件系统总体架构	199
10.4 系统数据库设计与架构	200
10.5 管网模型构建	201
10.5.1 模型初步构建	202
10.5.2 模型参数的识别与动态更新	202
10.5.3 模型的验证与动态更新	205
10.6 系统平台设计与应用	206
10.6.1 地图基本操作模块	207
10.6.2 图层控制模块	208
10.6.3 管道监测与查询模块	209
10.6.4 边坡监测与查询模块	210
10.6.5 管道耐久性及日常巡查模块	213
10.6.6 管道维护与管理模块	213
10.6.7 其他随机事件风险分析模块	213
参考文献	214

第1章 绪 论

城市排水管网系统是保障城市正常运转的重要生命线工程，具有收集城市生活污水与各类工业生产废水、及时排除城区雨水的多重功能，是保障城市公共卫生安全、控制水体污染和排洪防涝的基础工程。排水管网一旦发生管道破损、开裂、变形或倾覆，将对人们的生产生活造成巨大影响，对环境造成极大污染。

目前我国绝大多数城市存在排水管网系统布线复杂、老化现象普遍且严重、使用状况良莠不齐的现状。城市排水管网的管理水平较低、排水管网设施的老化和排水管网连接关系的复杂化，导致排水管网坍塌、污水溢流、城市内涝等问题日益突出；管道耐久性损伤、市政施工、有害气体爆炸或其他人为因素导致管网结构安全性下降。而对于山地城市，城市管网系统的正常运营还受强降雨及其诱发的地质灾害、洪水荷载等自然灾害的威胁，管道的排放能力以及设计内压承载力在强降雨下面临严峻考验（图 1.1 和图 1.2）。

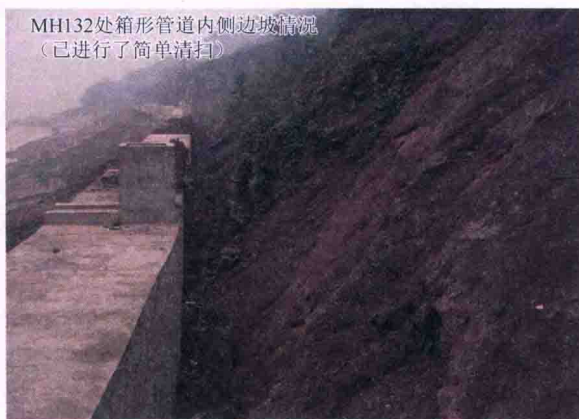


图 1.1 山地城市降雨导致的地质灾害

随着城市发展速度的加快，城市区域的不透水地表比例加大，从而破坏了原有的自然降雨径流过程，导致地表径流量增大，如果不及时排除，不仅会给城市居民生活和城市工业生产带来不便，而且可能引发洪涝灾害，导致严重后果。我国现有城市排水系统设计排放能力依据的是暴雨强度公式，推导的数据区间大多不满足规定的最低十年样本数据的要求，而且基础资料陈旧，与近年来强降雨普遍加剧的趋势不吻合。近年来，我国许多大中城市经常发生由于降雨造成的城市



图 1.2 洪水对管道的威胁

内涝现象, 对社会秩序、城市功能、环境与资源等造成了不同程度的破坏^[1-3]。因此, 如何科学有效地管理维护错综复杂的排水管网, 已经成为城市管理者面临的难题之一。

随着我国城市化进程的加快, 城市排水管网系统快速增长, 整体规模持续扩大, 排水管网管理的难度也越来越大。长期以来, 我国排水管网系统中存在的问题主要包括以下六个方面^[4]:

(1) 管理法规和相关技术标准不完善, 缺乏完善可靠的排水管网数字化管理技术规范, 各个城市排水管网数字化管理水平和技术标准差异较大;

(2) 大部分城市排水管网数据资料管理方式分散、不系统, 数据存储方式多样, 部分城市“重建设轻管理”, 造成排水管网数据不完整、不准确, 对排水管网资产状况掌握不全面;

(3) 现有分散和不系统的管理模式以及低效的查询分析方法, 难以体现管网的复杂网络特征和上下游关系, 使分析决策水平还停留在主观判断和简单推理的层面;

(4) 排水管网的调度控制分析、布局优化分析和应急事故分析缺乏科学依据, 流域级别的综合管理模式无法实现, 在应对城市防汛抢险等危机事件过程中, 现有的管理调度手段略显乏力;

(5) 缺乏全面完整、科学有效的管道养护数据库, 难以制订高效的管道养护计划, 排水管网及排水设施的管理养护随意性与主观性大, 养护效果也较难评估;

(6) 缺乏有效的管网结构性能状态评估和运行监测手段, 不能及时准确地掌握管网运行状况的变化, 基于在线数据的全管网系统分析和动态模拟管理模式少有应用案例。

而对管网结构运行工况的全面把握、管道结构性能的科学分析、管道运行安全性的合理评价、评价参数的选取以及评价标准的制定是解决上述问题的基础与关键。因此, 只有从影响城市排水管网结构性能的主要外因入手, 确立荷载工况

的物理模型,分析管网结构性能,把握管道失效机制与表征其运行状态的关键参数,建立科学合理可行的评价方法与指标体系,才能有的放矢地实施城市排水管网结构安全运行的监测与管理。

降雨是城市排水管网系统安全运营面临的主要危险之一,也是其他管网危险工况的重要诱因之一,因此应从降雨入手进行排水管网荷载工况的研究。降雨具有典型的区域性和时间性,各地区极值降雨规律以及降雨的年度分布规律均有所不同,表现出空间与时间的不均匀性。近年来,随着全球气候变化,部分城市的降雨呈现频度高、强度大的趋势。因此,为合理评估降雨对城市排水管道排放能力与设计内压承载能力的影响,需对我国城市降雨规律进行统计分析,并在此基础上对相应城市的现行设计暴雨强度公式予以合理修正。

与平原城市不同,山地城市排水管道多分布于斜坡地段,受滑坡、基础不均匀沉降、土压不均匀、冲沟洪水冲击等威胁。而降雨是诱发滑坡、洪水等灾害的主要因素。大量降雨型滑坡案例分析与理论研究表明,降雨型滑坡的时空分布受降雨区域、降雨时间与降雨强度的影响显著。雨量越大的地区滑坡越发育,且滑坡剧烈活动的时间与降雨时间基本吻合或略滞后^[5-7]。目前,对于滑坡和降雨主要采用针对滑坡案例的统计研究,通常从降雨历时、降雨量、降雨强度及降雨形式等方面着手,一般只适用于本区域或类似的地区,对地质条件与降雨的耦合机制定量研究尚不成熟,成果的应用范围存在一定局限性。而对滑坡灾害预报预警的研究也大多局限于根据降雨情况预测灾害可能发生的区域,未将滑坡风险区划成果与所预报区域的城市基础设施的风险评价相结合,导致在制定减灾防灾预案时缺乏针对性。

城市排水管道大多埋于地下,直接与间接土压力是其主要外部荷载,由于受管-土相互作用、管道与回填土之间的摩擦、基础刚度不均匀等影响,管道横截面土压力存在偏压;实际工程中,回填施工质量、基础不均匀沉降等还导致管道纵向基础刚度的非均匀性,使设计所采用的连续支撑 Winkler 弹性地基梁理论不适用于实际管道结构承载力与安全性评估。山地城市埋地管道往往经过大量斜坡地段,管道本身存在大量地质偏压段,其土压力分布情况较平原地带更为复杂多变。而目前我国管道结构设计规范采用的土压力分布形式,未考虑斜坡地形、管-土相对刚度等对管道周围土压力的影响,而这个不合理的土压力分布形式会导致对服役期埋地管道受力性能与安全性评价的误判。

架空管道是山地城市排水管道跨越冲沟惯用的结构形式,也称为“过水桥梁”。强降雨致山洪对跨越结构的破坏受到世界各国的普遍关注,但目前研究多集中于洪水波浪荷载对桥梁的作用,对山地城市排水架空管道洪水作用的研究并不多见。架空排水管道不同于桥梁,前者无通航要求,设计净高较小,而山地冲沟一般较狭窄、坡度陡,在强降雨下,冲沟极易汇水成山洪,淹没或冲击架空管

道。管道在冲沟洪水的侧向冲击力与竖向上浮力共同作用下, 存在整体倾覆或移位的风险, 对冲沟洪水荷载特性的研究是山地城市架空管道的力学性能分析与安全性评估的重要依据。

以架设支撑方式区分, 山地城市排水管道可分为埋地管道与架空管道两大类, 根据地形地质条件、管道材料、排水系统的等级要求、管道截面形状与几何尺寸等因素, 各类管道又有具体差别, 同一类型管道在不同荷载工况下以及不同类型管道在相同荷载工况下, 其力学性能不同。因此, 排水管道结构安全性评估需针对管道类型及其使用过程中的典型工况加以区别, 不能以一概全。应在土压力分布、洪水荷载分布、强降雨下流量超载、滑坡风险等多种工况与使用条件下, 有针对性地研究相应管道的受力变形特点、失效机制与失效模式, 提取管道结构安全运行临界状态的关键参数, 从而确定评定标准与检测、监测方法。

我国城市现有排水管道部分修建于 20 世纪 50 年代左右, 多采用钢筋混凝土管道, 距今已超过 50 年的使用寿命。它们在污水长年累月的磨蚀和腐蚀以及其他外界因素的作用下, 容易受到破损而引起污水泄漏 (图 1.3), 造成环境污染, 严重影响人们的身体健康、工业生产和城市发展。而污水管道多埋于地下, 破损不易发现。近年来, 我国经济的飞速发展, 对环境保护的要求也相应提高, 全国各大城市原有的地下污水管网已远远满足不了现在的要求, 城市污水管网新、扩建速度快、规模大。因此, 城市排水管道的污水腐蚀机理研究, 对有效制定现有老化管道维护维修措施、保障新建管道的使用功能与使用寿命, 并以此制定相应检测、监测方法十分迫切和必要。



图 1.3 受生活污水腐蚀的钢筋混凝土管道

山地城市排水管道运行工况复杂多样, 管道结构安全性受多种自然或人为因素

影响,对其进行合理的结构安全性评估、对管网运行参数实施有效监测与检测、对在线监测数据进行合理分析与应用、构建高效的管理与预警系统是保障山地城市排水管网安全运营的有力手段。

山地城市排水管网的管道类型与管道数量多样、分布范围广、管道所处环境的地形地质条件复杂,多种荷载工况并存且具有耦合效应。管道内部水利和水质条件复杂,监测内容综合性强,而潮湿多雨的环境不利于常规室外监测设备的长期稳定运行,监测设备的能源供应较高,施工难度和风险大。因此,山地城市排水管道结构安全性在线监测、管理与预警系统的构建还应充分考虑监测参数的针对性与可测性,监测对象的典型性与集中性,设备安装的可行性、低能耗与易维护性,以及管理与预警系统的可视化、实时性与有效性。

综上所述,山地城市排水管网所处地形地质条件复杂,地势起伏大,降雨密集,崩塌、滑坡等地质灾害时有发生,威胁着管道的安全,与边坡位移监测技术相结合的降雨滑坡气象预报预警技术是预防和减轻滑坡等地质灾害的有力手段;强降雨导致山洪对跨越结构的破坏已引起了世界各国的普遍关注,但研究多集中于洪水荷载对桥梁的作用,缺乏对山地城市跨越冲沟的管网破坏风险的研究;城市污水、环境腐蚀介质等导致管道材料的腐蚀破坏,对管道结构性能影响程度的评定目前也缺乏全面合理的理论依据和适用方法;频发的强降雨导致管道排放能力超载,而市政工程改造会造成管道土压超载,工程施工不当等也对管道的安全运营造成威胁(图 1.4)。为实现山地城市排水系统的高效安全运行,有效减少城市污水管网泄漏造成的环境污染,对山地城市排水管网系统结构安全性分析、监测和预警的研究及应用迫在眉睫。



图 1.4 市政施工对管道的潜在威胁

因此,本书总结国家“十一五”科技支撑项目“三峡库区山地城市排水系统