

RELIABILITY PLANNING OF URBAN LIFELINE
BASED ON COMPLEX NETWORK THEORY

城镇生命线

复杂网络系统可靠性规划

黄 勇 石亚灵 等 / 著



科学出版社

城镇生命线复杂网络系统 可靠性规划

黄 勇 石亚灵 等 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书以城乡人居环境建设发展的现实需求和可靠性研究的理论需要作为研究科学问题的出发点,在城乡规划学和复杂系统科学的交叉领域,运用复杂网络分析等技术方法,瞄准城镇生命线系统可靠性科学问题,提出对城镇生命线系统可靠性机制的科学认识。对西南山地人居环境建设发展中区域空间尺度的铁路交通系统,城镇空间尺度的排涝、地面公交、公园绿地系统以及街区空间尺度的商业步行系统等典型的生命线系统,进行复杂网络模型的构建和定量分析,总结出一些规律性特征,探讨提升西南山地城镇生命线系统可靠性服务能力的规划设计基本原理及方法。

本书主要适用于城乡规划学、风景园林学、建筑学等相关学科的学者、规划设计者以及管理人员。

图书在版编目(CIP)数据

城镇生命线复杂网络系统可靠性规划 / 黄勇等著. —北京: 科学出版社, 2018.12

ISBN 978-7-03-057418-3

I. ①城… II. ①黄… III. ①城镇-城市规划-系统可靠性-研究 IV. ①TU984

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 103780 号

责任编辑: 罗 莉 陈 杰 / 责任校对: 彭 映

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

*

2018 年 12 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2018 年 12 月第一次印刷 印张: 23 1/4

字数: 570 千字

定价: 178.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

本书对应研究受以下科研课题资助

国家重点研发计划“村镇空间扩展的时空模拟关键技术”(2018YFD1100804)

重庆市社会事业与民生保障科技创新专项“重庆山地城镇排涝网络规划关键技术及工程示范”(cstc2016shmszx30001)

重庆市研究生科研创新项目“重庆山地历史街区社会网络评价与保护规划技术研究”(CYB17028)

本书对应课题主要研究人员

黄 勇 石亚灵 万 丹 郭凯睿 王亚凤 冯 洁 张启瑞
邓良凯 宋洋洋 李 林 张美乐 齐 童 张四朋 王雷雷
常笑笑 李欣蔚 张 然 胡东洋 姜俊宏 蔡浩田 魏 猛

前言

本书尝试在城乡规划学和复杂系统科学交叉领域,瞄准城乡人居环境发展过程中城镇生命线系统的可靠性科学问题,运用复杂网络分析(complex network analysis, CNA)等技术方法,刻画城镇生命线系统内部各个要素之间的相互作用和关系,揭示城镇生命线系统的互通性、传导性、协同性等作用机理及客观规律,探索城乡人居环境可靠性建设的规划设计原理及方法。

人类聚居的发展,自先祖“冬则居营窟,夏则居橧巢”的迁徙状态,次第发展出血肉丰盈的固定聚落,直至演进为形神兼具的人居环境系统,一方面构建出满足世俗人性需求的物质空间,另一方面也传递出典雅脱俗的精神意境。从中国古代《周礼·考工记》记载的王城营建制度,到古希腊维特鲁威《建筑十书》描绘的“理想城市”构想,大抵如此。但不管城镇物质空间如何建构,传递出何种精神意境,人居环境的营建过程和事实形成的空间场所通常都是“受控”的,不会超出“人”作为一个使用者的感官体验、经验理解或认知能力。恰如古代城镇的规模,往往不会“突破步行可达和听觉所及的范围”^①,基本都在人的真实生命或外在自然节奏的掌握之中。西方工业革命之后,城乡建设迅速进入了另外一番“空间的生产”图景^②。无论是城市早期的美化运动或晚近的精明增长模式,不管是西方国家普遍存在的“城市蔓延”现象或我国大规模的城镇化进程,当代人居环境的演变轨迹和发展结果,虽然在物质的基本形式和精神的诉求方式方面仍然保持着与传统人居环境相对稳定的承继脉络,但就人与聚居物质环境的构成关系而言,正在展现出深刻的变革。尤其是全球化、信息化以来的城乡建设实践显示,人类“有意识”的人居环境营建模式正在向人居环境作为一个有机体“自发性”生长的趋势转变。一方面,人在整体上获得了较过往更为全面的物质环境支撑和丰富的空间场所体验;另一方面,城乡人居环境越来越深刻地摆脱了人的思维能力和认知方式所能够掌控的范畴,成为一个不可控的“超空间”复杂巨系统^③。这也可以理解为,提升城乡人居环境的可靠性能力,不管是平时满足城乡居民日常生活的稳定运行能力,还是灾时保障居民生命财产免受灾害侵袭的防灾适灾能力,已非某几个城市需要偶然应对的突发事件,而正在发展成为人居环境建设必须面对的普遍客观规律。可靠性矛盾,已经成为城乡人居环境建设发展的主要科技问题和城乡规划科学研究的关键任务之一。

可靠性研究发端于工业生产领域,主要关注工业产品在规定条件和时间内完成预定功能的能力,如结构的安全性、适用性和耐久性等。因其面对不同复杂系统在结构稳定性及

① 芒福德 L. 城市发展史[M]. 宋俊岭, 倪文彦, 译. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.

② Lefebvre H. The Production of Space [M]. Oxford (UK), Cambridge, Mass: Blackwell, 1991.

③ 爱德华·W. 苏贾. 后现代地理学——重申批判社会理论中的空间[M]. 北京: 商务印书馆, 2004.

功能保障研究方面具有广泛的适应性,关注焦点从单一产品生产逐渐发展到复杂系统构成和运行规律研究,研究内容快速扩展到人居环境建设的功能布局、空间结构、组织管理、工程系统、防灾减灾等方方面面。

城乡人居环境发展的诸多经验教训表明,保障和提升城镇生命线系统的平时稳定运行能力和灾时应急保障能力是化解人居环境可靠性矛盾的关键途径。城镇生命线系统在防灾避难工作中,或提供有形的产品与设施,如城镇通信、供电、供水、供气等系统,或发挥防灾避难的应急保障功能,如交通、防洪、抗震、避难公园绿地等系统,它们共同为城乡人居环境的稳定运行和防灾减灾提供物质保障。

随着城镇化进程的迅速推进,我国城乡规划建设进入新的历史发展阶段。城镇规模急剧扩张,资源集聚程度不断提升、要素复杂程度迅速提高,与之对应,城镇生命线系统结构也愈发复杂,可靠性分析亟待科学水平和技术手段的不断提升。受益于近年来国内外针对城乡交通、市政基础设施和区域空间格局等领域与复杂网络交叉研究成果的启发,城镇生命线系统在内在机理上具有共同性,无论城镇规模大小或类型差异,或是要素多寡、构成繁简,总是可以抽象为以各要素为“节点”(node)、要素间相互作用为“连接”(link)的复杂网络模型。该模型在拓扑结构(topology)方面通常存在小世界性(small-world)、无标度性(scale-free)等复杂性特征,故称复杂网络(complex network)。犹如一栋建筑需要“结构”来支撑自身的稳定和运行,复杂系统同样需要复杂网络这个基础“结构”的支撑。就此而言,针对城镇生命线系统抽象出来的复杂网络模型展开可靠性规律研究,也成为研究城镇生命线系统可靠性问题和提升城乡人居环境防灾减灾能力的关键技术之一。

综合以上认识,本书选择重庆、四川、云南等我国西南地区的一些具有代表性的城镇作为研究样本,运用复杂网络分析原理和方法,在人居环境的区域、城镇和街区三个空间尺度上,分别针对铁路交通、排涝、地面公交、公园绿地以及步行等生命线系统进行抽象、建模和刻画分析。在区域空间尺度上,以成渝城市群为典型样本,从铁路基础设施和车流去向角度分别构建物理网和车流网,对这些复杂网络的可靠性进行研究,提出区域铁路交通系统发展的一些规划策略。在城镇空间尺度上做三方面的工作:一是以重庆的长寿区、綦江区和潼南区为典型样本,构建城镇排涝复杂网络模型,明确城镇排涝网络特征、识别雨水管网结构风险生成机制、模拟雨水管段故障情况下的排涝风险,提出城镇排涝规划策略;二是以重庆和成都的两个主城区为典型样本,提炼重庆主城区公交系统在空间地理约束下的可靠性特征及成因机制,对山地城镇公共交通系统的可靠性建设提出一些规划策略;三是以四川内江市、云南玉溪市和重庆涪陵区为典型样本,分析公园绿地的协同服务能力。在街区空间尺度上,以解放碑等重庆主城区五个典型商业街区为样本,聚焦步行系统的可靠性机制,提出商业街区步行系统可靠性建设的一些具体做法。

西南地区山水环境复杂,生态敏感,城乡建设造价高、难度大、技术力量薄弱,是国家城乡规划和建设的弱点和难点地区。城镇化的人工建设活动作用于山地的特殊地表结构和敏感的自然生态环境,引发的人地矛盾突出,面临着灾害频发等诸多现实问题。加之地域经济社会水平尚不发达,传统社会和文化形态的灾害承受能力更为薄弱等特点,城镇人居环境可靠性和防灾减灾规划难以套用平原地区的技术模式。对城镇生命线系统可靠性问题的研究,源于研究人员长期在西南地区城乡规划实践工作中的一些感性认识,尤其是对

“汶川大地震”“芦山大地震”等一系列重大灾害导致人民群众生命财产安全损失的反思，希望借此途径对提高城镇人居环境可靠性能力和规划科技水平有所讨论，或对解决地方城乡防灾减灾规划建设中遇到的一些实际问题有所帮助。

本书是研究组共同学习和探索的结果。在整理出版工作中，石亚灵协助统筹串接了全书文字及图片，石亚灵和万丹参与了第1章的文字整理工作，王亚风、郭凯睿、齐童、常笑笑参与了第2章、第3章的文字整理工作，万丹、张然参与了第4章的文字整理工作，张启瑞、冯洁、石亚灵、王雷雷、张四朋参与了第5章、第6章的文字整理工作。宋洋洋、邓良凯、李林和张美乐等参与了附录整理、各章图片及文字的校对工作。

研究工作也得益于各个方面的支持和关怀。“十三五”国家重点研发计划、重庆市社会事业与民生保障科技创新专项项目为本书对应研究提供了研究经费资助。重庆、四川、云南和贵州等省、市及各级地方政府和职能部门，支持研究人员深入实际工作，为发现问题和开展研究提供了宝贵的机会，为研究工作提供了丰富的基础资料、工作案例和实践平台。重庆大学建筑城规学院、建筑学部、山地城镇建设与新技术教育部重点实验室等学术单位和平台的支持和帮助，使研究工作得以持续展开。同时，本书的出版也得到了科学出版社的大力支持，在此一并致谢。

当然，鉴于自身的认识水平和研究能力所限，这些工作还比较粗糙。面对当前我国城乡建设规划领域的深刻变革，理论与实践研究在科学的道路上不断成长。我们也希望将自己今后的工作进一步与国家和社会地区的发展需求结合起来，不断学习和积累，力求有所创新和突破。

黄勇

2018年12月，重庆

目 录

第1章 城乡发展的可靠性问题	1
1.1 城乡建设的可靠性矛盾	1
1.1.1 可靠性矛盾是城乡发展客观规律	1
1.1.2 应对可靠性问题的城镇生命线系统	7
1.1.3 城镇生命线系统可靠性的科学认识	11
1.2 系统科学的复杂网络理论	15
1.2.1 系统科学渊流	15
1.2.2 复杂网络理论体系	18
1.2.3 复杂网络分析方法	21
1.2.4 复杂网络的多学科应用	23
1.3 复杂网络的可靠性测度	24
1.3.1 可靠性分析框架	24
1.3.2 静态结构可靠性测度	24
1.3.3 动态功能可靠性测度	29
1.4 城镇生命线系统可靠性探索	31
1.4.1 科学问题	31
1.4.2 研究思路	33
1.4.3 基本框架	35
1.4.4 研究内容	36
1.4.5 目的与意义	37
第2章 区域铁路交通可靠性：以成渝地区为例	39
2.1 铁路交通系统研究现状与问题	39
2.1.1 国内外研究与实践进展	39
2.1.2 成渝城市群铁路交通系统建设问题	42
2.2 铁路交通系统可靠性研究设计	47
2.2.1 研究方案	47
2.2.2 模型构建	49
2.3 铁路网络可靠性分析	52
2.3.1 铁路网静态可靠性分析	52
2.3.2 铁路网动态可靠性分析	72
2.4 铁路交通系统可靠性规划策略	84
2.4.1 铁路线网结构可靠性优化	84

2.4.2 铁路站点及路段功能提升	86
2.4.3 交通运营及应急管理优化	89
2.5 本章小结	92
第3章 城镇排涝系统可靠性：以西南典型城镇为例	93
3.1 排涝系统研究现状与问题	93
3.1.1 国内外研究与实践进展	93
3.1.2 西南典型城镇排涝建设现状	99
3.2 排涝系统可靠性研究设计	104
3.2.1 研究方案	104
3.2.2 模型构建	108
3.3 排涝网络可靠性分析	112
3.3.1 排涝网络整体特征分析	113
3.3.2 网络拓扑结构静态可靠性	117
3.3.3 网络功能运行动态可靠性	126
3.4 排涝系统可靠性优化策略	136
3.4.1 排涝风险区辨识	136
3.4.2 排涝风险区规划控制策略	141
3.4.3 排涝风险区工程修复措施	145
3.5 本章小结	148
第4章 城镇公交系统可靠性：以重庆主城区为例	149
4.1 公交系统研究现状与问题	149
4.1.1 国内外研究与实践进展	149
4.1.2 重庆公交系统建设现状与问题	158
4.2 公交系统可靠性研究设计	164
4.2.1 研究方案	164
4.2.2 模型构建	166
4.3 公交网络可靠性分析	169
4.3.1 拓扑结构的静态可靠性	169
4.3.2 故障环境下动态可靠性	183
4.4 公交系统可靠性优化策略	189
4.4.1 结构机理特征与规划优化原则	189
4.4.2 公交系统整体结构优化	195
4.4.3 公交网络局部均衡性提升	197
4.4.4 公交站点及线路分类分级策略	198
4.5 本章小结	199
第5章 城镇公园绿地可靠性：以西南典型城镇为例	200
5.1 公园绿地研究现状与问题	200
5.1.1 国内外研究与实践进展	200
5.1.2 西南典型城镇建设现状与问题	202

5.2 公园绿地系统可靠性研究设计..... 205

5.2.1 研究方案 205

5.2.2 模型构建 206

5.3 公园绿地协同网络可靠性分析..... 211

5.3.1 协同网络静态可靠性分析 211

5.3.2 协同网络动态可靠性分析 220

5.4 公园绿地协同服务可靠性规划策略..... 224

5.4.1 公园绿地协同网络优化 224

5.4.2 公园绿地系统规划 225

5.5 本章小结..... 229

第 6 章 街区步行系统可靠性：以重庆商业街区为例 230

6.1 步行系统研究现状与问题..... 230

6.1.1 国内外研究与实践进展 230

6.1.2 重庆建设现状与问题 232

6.2 步行系统可靠性研究设计..... 237

6.2.1 研究方案 237

6.2.2 模型构建 238

6.3 步行网络可靠性分析..... 244

6.3.1 统计特征 244

6.3.2 地理空间网络静态可靠性分析 251

6.3.3 步行设施网络动态可靠性分析 259

6.4 步行系统可靠性规划策略..... 273

6.4.1 步行路网整体结构优化 274

6.4.2 步行系统设计引导策略 276

6.5 本章小结..... 279

参考文献..... 280

附录..... 290

后记..... 332

彩色图版..... 333

第 1 章 城乡发展的可靠性问题

生命线系统可靠性是提升城乡建设防灾减灾能力，保障人民群众生命财产安全的主要着力点。城镇生命线系统是典型的复杂系统，其结构特征和动态响应规律是可靠性研究的工作起点。复杂网络理论是复杂系统科学的前沿理论之一，注重从整体层面理解和分析系统结构，把握系统内在关系，被广泛应用于社会学、经济学、城乡规划学等多个领域。在城乡规划学、系统科学和可靠性研究交叉领域，凝练城镇生命线系统可靠性科学问题、构建研究思路、建立分析框架、进行城镇生命线系统灾时应急保障和平时稳定运行能力提升的研究探索是城乡规划理论与实践研究的新任务。

1.1 城乡建设的可靠性矛盾

随着我国城镇化进程的不断深入，城乡人居环境灾害性事件频发，城乡建设发展的可靠性问题日益凸显。城镇生命线系统作为人居环境系统的重要组成部分，为城乡空间各项功能提供基础支撑，其可靠性水平已成为决定城乡环境可靠性的核心影响要素。城镇生命线系统的可靠性内涵，可以从单体和整体两个层面来理解，后者是问题研究的主要方面，其形成机理表现为较为明确的网络化复杂结构特征。本书将运用复杂网络方法，从宏观和整体的视角，对生命线系统可靠性问题展开探索。

1.1.1 可靠性矛盾是城乡发展客观规律

1.城乡建设发展的现象剖析

自古以来，为了获得更好的生存空间，人类不断创建和改造聚居环境，逐渐形成规模巨大、功能丰富的现代人居环境系统，为现代生产和生活方式提供了适宜的空间场所，对于提升人类整体生活品质起到了至关重要的作用。然而，在庇护自身安全、抵御灾害侵袭、维护正常社会秩序和日常生活等基本需求方面，现代城乡人居环境系统仍然显得较为脆弱。

近年来，国内外城乡人居环境灾害性事件频发。从诱发因素来看，可以分为“人工系统自身故障”和“自然灾害等外力干扰”两个主要方面；从影响范围来看，灾害性事件通常表现在人居环境的街区、城镇、区域等不同空间尺度上(表 1-1)。

表 1-1 不同诱发因素和空间尺度下的城乡环境灾害性事件

城乡环境灾害性事件		典型案例
故障原因 划分	道路交通系统相关	2005 年 6 月长春满载乘客轻轨列车脱轨事故; 2006 年 10 月 1 日重庆市沙坪坝区 711 路公共汽车坠桥事故; 2008 年 4 月 28 日山东淄博胶济铁路火车相撞事故; 2011 年 9 月上海市豫园路站两辆地铁相撞事故
	给水排水系统相关	2011 年 6 月 17 日武汉城市内涝; 2011 年 7 月 3 日成都城市内涝; 2011 年 7 月 5 日扬州城市内涝; 2011 年 7 月 26 日郑州城市内涝; 2012 年 7 月 21 日北京城市内涝
	能源供给系统相关	2003 年 8 月 28 日伦敦地区大停电事故; 2007 年 2 月江苏省南京市牌楼巷与汉中路交叉口北侧南京地铁 2 号线施工造成天然气管道断裂爆炸事故
	邮电通信系统相关	2016 年 10 月 21 日美国互联网大面积断网事故; 2016 年 11 月 28 日德国大面积网络故障事故; 2017 年 5 月 WannaCry 电脑勒索病毒事件
	园林环卫系统相关	2008 年株洲连续 20 天冰冻和降雪导致大量园林树木倾覆、折断或冻死; 2016 年 6 月巴黎环卫工人罢工引发城市垃圾堆集事件
	防灾减灾系统相关	2003 年 2 月 18 日, 韩国大邱市地铁发生人为纵火事故, 地铁消防救援系统未能有效处置, 最终酿成近 200 人死亡、数百人受伤、车站设施损坏等严重后果
空间尺度 划分	自然灾害等外力干扰	2008 年 1 月南方九省大暴风雪引发的城乡灾害性事件; 2008 年 5 月四川汶川地震引发的城乡灾害性事件; 2010 年 8 月甘肃省舟曲县特大山洪泥石流引发的城乡灾害性事件
	街区尺度	2014 年 9 月 10 日, 山东省济南市二环西路供水主管网发生爆管漏水事故, 导致数万户居民家庭停水, 居民只能通过紧急送水车获取基本的生活用水
	城镇尺度	2012 年 7 月 21 日, 北京遭遇特大暴雨, 引发严重的城市内涝, 全市受灾人口达到 190 万人
	区域尺度	2003 年 8 月 15 日前后, 北美五大湖区域大规模停电事故, 事故持续 2 天, 波及 5000 万人口

上述灾害事件, 虽然在诱发条件、表现形式、破坏程度、影响范围等方面存在一定差异, 但都可表现为“环境失能-致损致灾”的因果传导关系。随着城镇化进程的不断深入, 此类事件展现出发生频率更高、影响范围更大、恢复时间更长的特征, 成为影响城乡居民整体生活品质的重要因素。事实表明, 现代城乡人居环境系统虽然在总体上提供了相比过去更为丰富的空间活动体验和空间环境支撑, 但基本的功能稳定性仍然存在较大不足。提升空间环境对于城乡居民正常生活生产活动的稳定支撑能力, 成为当前城乡建设工作的重要方面之一。

2. 可靠性研究发展历程及现状

现代建筑运动以来, 人类空间营建活动被置入社会化大生产的语境, 住宅被认为是“居住的容器”, 城乡环境被认为是社会化大生产和消费过程中的“人造环境”, 是空间生产的“产品”^[1, 2]。因此, 城乡环境的功能异常现象频发, 也可以理解为城乡人居环境作为一种空间产品在可靠性方面出现了问题。

可靠性研究作为一门独立学科, 诞生于工业生产领域, 用于研究工业产品在规定的条件和时间内, 完成预定功能的能力, 研究内容包括结构的安全性、适用性和耐久性等, 后

来逐渐扩展到社会经济分析、项目管理、城乡建设等多个领域，成为研究多领域复杂系统功能稳定性的综合手段。可靠性研究发展历程主要分为四个阶段(表 1-2)^[3]。

表 1-2 可靠性研究历程及标志性事件

发展阶段	时间范围	标志性事件
萌芽阶段	20 世纪 40 年代	美国“真空管研究委员会”成立；美国无线电工程学会可靠性技术组
创建阶段	20 世纪 50 年代	AGREE 报告发布；日本成立质量管理委员会
全面发展阶段	20 世纪 60 年代	1965 年美国军用标准 MIL-STD-785 颁布；日本成立了电子元件可靠性中心，将可靠性研究成果应用于民用工业，尤其是民用电子工业
深入发展阶段	20 世纪 70 年代至今	1980 年美国国防部指令 DODD5000.40 “可靠性及维修性”和修订的 MIL-STD-785B 标准

20 世纪 40 年代是可靠性研究的萌芽阶段。二战期间，美国军方针对电子管大量失效的问题，于 1943 年成立“真空管研究委员会”，致力于研究电子管的可靠性问题，被认为是可靠性研究作为独立学科的开端。1949 年，美国无线电工程学会成立了可靠性技术组，这是第一个可靠性专业学术组织。20 世纪 50 年代是可靠性研究的创建阶段。美国电子设备可靠性顾问委员团(American Group Reliability of Electronic Equipment, AGREE) 1957 年提出了《军用电子设备的可靠性》报告，被认为是可靠性研究正式成为独立学科的标志。1956 年，日本从美国引进可靠性技术和经济管理技术后，成立了质量管理委员会。20 世纪 60 年代是可靠性研究的全面发展阶段。1965 年颁布的“MIL-STD-785”美国军用标准是其中的显著成果。苏联发射第一艘有人驾驶宇宙飞船时引入了可靠性研究；日本成立了电子元件可靠性中心，将可靠性研究成果应用于民用工业，尤其是民用电子工业，使得电子工业产品品质大幅提升。20 世纪 70 年代以后是可靠性研究的深入发展阶段。代表性成果是 1980 年美国国防部指令 DODD5000.40 “可靠性及维修性”和修订的“MIL-STD-785B”标准。

可靠性研究发展至今，其应用范围逐渐从工业产品过渡到多学科领域，关注对象逐渐从单一个体发展到复杂系统，成为应用领域广泛、综合性强的学科门类，被用于研究多领域内复杂系统在复杂条件下的功能实现能力和保障提升手段，应用于社会经济分析^[4、5]、项目管理^[6]、软件开发^[7-9]、机电系统^[10-14]、工程机械系统^[15、16]等多个方面。在城乡建设领域，可靠性研究及应用也得以广泛开展。如在道路交通方面^[17]，对轨道交通遭受模拟攻击后的可靠性进行分析^[18]；给水排水方面^[19、20]，对供水管网可靠性进行优化设计^[21](图 1-1)；能源供应方面^[22-24]，对输电网络的脆弱结构进行可靠性分析；邮电通信方面^[25]，针对以太网数据传输进行可靠性设计^[26]；园林环卫方面，针对森林公园的山体稳定性进行可靠性分析^[27]；防灾救援方面^[28]，针对地震应急决策系统进行可靠性建模与仿真研究^[29]等。

总之，可靠性问题作为城乡环境营建的核心环节，得到行业广泛重视，针对城乡环境中各类复杂系统的可靠性研究，已经成为当前可靠性研究的重要领域之一。



图 1-1 可靠度下沈阳主干供水管网优化图^[19]

3. 城乡环境可靠性问题发展辨析

从城乡人居环境可靠性问题的发展历变过程来看,伴随城乡人居环境系统自身的不断发展,其可靠性问题也逐渐凸显。在城乡人居环境规模相对较小,自身复杂程度相对较低的原始营建阶段,人类原有的认识论体系尚能基本满足城乡人居环境可靠性建设需求,随着城乡人居环境系统的“自发性”生长趋势愈发明显,人类传统认知与物质环境可靠性之间的矛盾日渐凸显和加剧。

人类聚居系统诞生早期,人类先祖从“冬则居营窟,夏则居橧巢”的迁徙状态,逐渐发展出原始的固定聚落,演进为功能丰富的城乡人居环境系统^[30],在此过程中,人类聚居系统在满足世俗性活动的空间需求外,逐步被赋予精神意向传达的含义。中国古代城镇在空间安排上往往体现出政治上的中央集权色彩,统治者的宫殿通常位于城镇中心区域,起到统领城镇空间的作用。《周礼·考工记》将王城的建设规模设定为“方九里”,在空间组织上提出王宫居中,四周布设宗庙、社稷、市场、朝会处等设施的规划形制(图 1-2),对后世城镇营建造成深远影响(图 1-3)。与中国早期的营城思想类似,古希腊人同样重视城镇空间在政治和宗教意义上的意向表达,出于追求共同政治、宗教和社会传统的目的,古希腊城镇通常在中心位置布置集中的宗教区域、市政厅建筑及公共广场,服务于整个城市^[31](图 1-4)。维特鲁威在对“理想城市”的设想中,总结出中央空间统领全局的空间结构框架(图 1-5),且有学者根据塔楼间距估算出城镇规模约 3hm^2 。但不管城镇如何发展和扩张,表现为何种精神性需求,古代中西方典型的城镇营建过程和形成的生活生产场所通常是“受控”的,不会超出人自身的感官理解能力和活动能力,城镇的建设及最终结果受到自然节奏和真实生命的掌握。

近代以来,城乡空间生产范式迅速进入另外一番图景,不仅城乡物质环境的扩展蔓延方式发生变化,原有精神性表达对城乡空间组织模式的影响方式也率先在欧洲发生重大变革。英国、法国分别于 17 世纪后半叶和 18 世纪末完成资产阶级革命,城市空间意向不再服从于彰显国王和教会的特权,转而表达新兴资产阶级的诉求,同时逐渐摆脱“人”的真

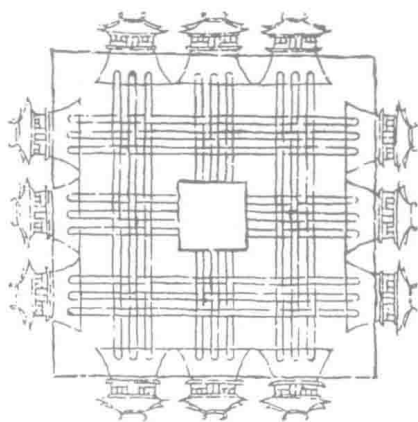


图 1-2 周王城图^[32]



图 1-3 清代北京城平面图^[32]



1.中心广场; 2.剧院; 3.神庙; 4.竞技场

图 1-4 普南城平面示意图^[33]

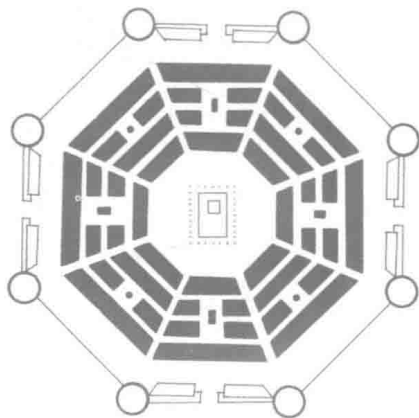


图 1-5 维特鲁威“理想城市”模型^[33]

实生命和所处自然节奏的控制，城乡空间生产的主要目的变为满足和适应新的资本主义生产方式。“1666 年伦敦规划”明确表达了资产阶级改造城市空间的意图(图 1-6)。18 世纪 60 年代开始的工业革命，进一步刺激了城乡空间重构的需求，并提供了充足的生产力条件支撑，城市空间的外延和内涵迅速改变。至 20 世纪下半叶，美国及欧洲各国城市普遍进入了蔓延发展阶段，20 世纪 80 年代，中国局部地区也开始产生城市蔓延现象(图 1-7)，现代城乡空间扩展模式表明，人类城乡环境营建活动存在进一步脱离理性秩序，陷入盲目无计划发展的趋势和风险^[34]。

城乡营建史的变迁过程或能说明，以工业革命为分界，近现代城乡环境相对古代而言，虽在物质基本构成和精神的诉求途径上存在相对稳定的脉络承继，但从人与物质环境的构成关系来看，已经发生了深刻变革，表现为建设规模不断扩大，城乡空间的边界变得越来越模糊和容易突破，越来越显示出人类“有意识”的城乡环境营造模式正在向城乡环境有机体“自发性”生长格局转变。城乡聚居环境在全球资本和技术发展的支撑下，越来越明显地展现出自身独特的发展规律和趋势。一方面，城乡建设实践的自发性使我们在整体上

迅速获得了更为全面的空间环境支撑和更为丰富的空间环境体验；另一方面，认知能力和引导意识的滞后性使得城乡空间环境越来越深刻地脱离了人的思维能力和认知方式所能掌控的范畴，城乡空间环境的不可控性和脆弱性问题逐渐凸显。



图 1-6 1666 年伦敦规划图^[35]

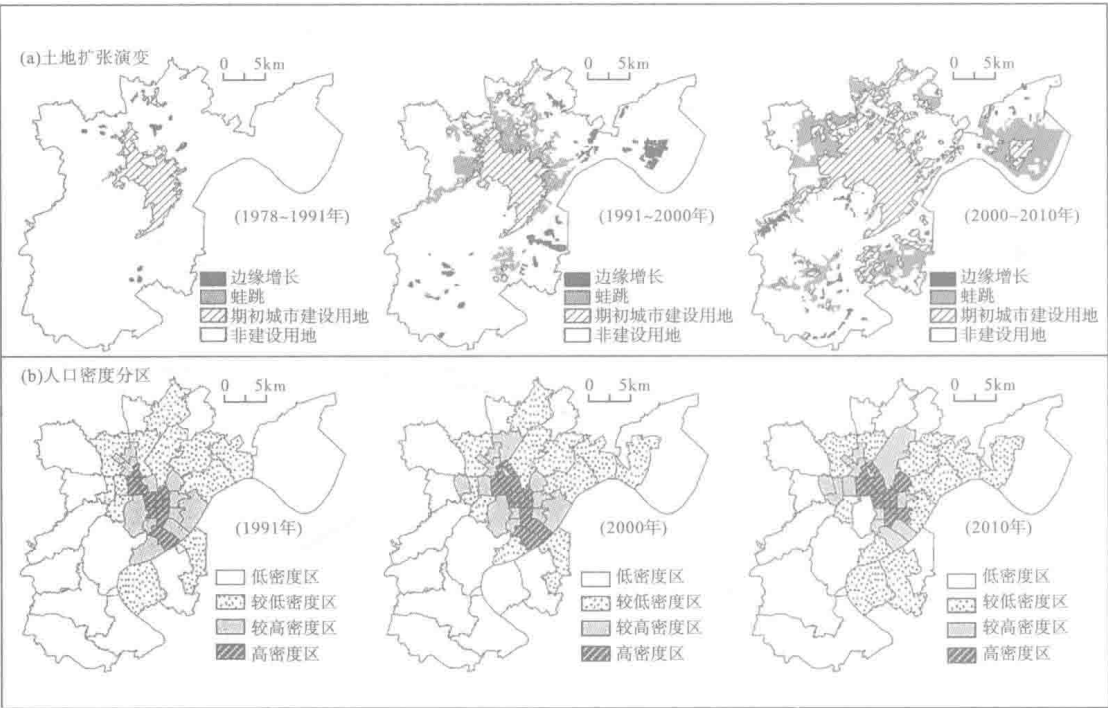


图 1-7 杭州市土地扩张与人口密度时空演变^[36]