



国家自然科学基金委员会—中国科学院2011-2020
学科发展战略研究专题报告集

建筑、环境 土木工程

Architecture Environmental and Civil Engineering

茹继平 刘加平 曲久辉 李杰 主编

中国建筑工业出版社

国家自然科学基金委员会—中国科学院
2011—2020 学科发展战略研究专题报告集

建筑、环境与土木工程

Architecture Environmental and Civil Engineering

茹继平 刘加平 曲久辉 李杰 主编



中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑、环境与土木工程/茹继平等主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2011. 7
ISBN 978-7-112-13277-5

I. ①建… II. ①茹… III. ①建筑工程-学科发展-研究报告-中国-文集②环境工程-学科发展-研究报告-中国-文集③土木工程-学科发展-研究报告-中国-文集 IV. ①TU-53②X5-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 117327 号

本书是国家自然科学基金委员会与中国科学院组织进行的“2011—2020 年学科发展战略规划”研究工作的成果之一。内容主要涉及建筑、环境与土木工程学科的发展现状、重要科学问题与发展趋势与规划。研究报告作者均为我国在该领域的知名科学家。全书对本领域内的各个学科的最新发展进行了高度的概括和总结, 在审慎论证的基础上, 提出了在未来 10 年间本领域的战略研究方向和重点研究领域。本研究报告集分为 31 个专题, 其中包括: 建筑学 5 篇; 环境工程 5 篇; 交通工程 2 篇; 结构工程 9 篇; 岩土工程 3 篇; 防灾减灾工程 7 篇。

本书为国家自然科学基金委员会遴选“十二五”优化资助领域提供参考; 也可作为硕士、博士研究课题方面指导; 同时也可提供有关决策部门、科研院校以及社会公众参考。

* * *

责任编辑: 赵梦梅
责任设计: 董建平
责任校对: 王雪竹 赵颖

国家自然科学基金委员会—中国科学院
2011—2020 学科发展战略研究专题报告集
建筑、环境与土木工程
Architecture Environmental and Civil Engineering
茹继平 刘加平 曲久辉 李杰 主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)
各地新华书店、建筑书店经销
霸州市顺浩图文科技发展有限公司
北京云浩印刷有限责任公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 19¼ 字数: 460 千字
2011 年 9 月第一版 2011 年 9 月第一次印刷

定价: 49.00 元

ISBN 978-7-112-13277-5
(20725)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

建筑、环境与土木工程学科发展战略研究 工作组

组 长 李 杰

副组长 刘加平 曲久辉 王 炜 聂建国

陈云敏 吕西林

成 员 (以姓氏笔画为序)

王建国 王晓昌 牛荻涛 方 秦 许 斌

刘滨谊 杜修力 李 刚 李 惠 李大鹏

李宏男 李国强 李忠献 李建中 杨庆山

杨旭东 杨晓光 肖 岩 吴 波 吴 斌

何品晶 陈建兵 范 峰 欧进萍 金伟良

赵万民 茹继平 俞汉青 袁 勇 黄宏伟

常 青 梁建文 葛耀君 程水源 曾 坚

前 言

我国正处在快速迈向现代化的关键历史时期。2006年至2010年，我国基本建设投资占国民生产总值的比例达35%。规模空前的基本建设，不仅对土木工程科学与技术提出了新的现代化要求，也对环境科学、城市规划与建筑学提出了严峻的挑战。显然，对于支撑我国基本建设发展的建筑、环境与土木工程学科基础研究，我们需要理智的思考、科学的规划。

正是在这样的背景下，2009年春，国家自然科学基金委员会与中国科学院决定联合进行2011~2020年学科发展战略研究。根据这一部署，国家自然科学基金委材料与工程科学部组织了“建筑、环境与土木工程”学科发展战略的系列研讨活动。自2009年4月至2010年3月，我们邀请我国在建筑、环境与土木工程学科领域的知名中、青年专家，先后召开了六次工作会议，在充分进行学术研讨的基础上，形成了系列的专题研究报告。2010年4月至11月，学科工作组根据中国科学院“2011~2020年我国学科发展战略研究”咨询工作会议的咨询意见，进一步修改形成了“建筑、环境与土木工程”学科发展战略研究总报告和系列报告（第五稿）。上述工作的成果，一部分以工程学科总报告的组成部分，汇集在以欧进萍院士为专家工作组组长的“国家自然科学基金委员会-中国科学院2011~2020年学科发展战略研究报告（工程科学组）”之中，而作为上述总报告的基础的，则是呈现在读者面前的这本文集。

近20年来，我国建筑、环境与土木工程学科基础研究发展的历史表明：基础科学研究，既有国家发展需求的现实推动，也有本学科研究自身发展所形成的内在动力；既需要科学研究工作者的自由创新，也需要在充分论证、达成共识基础上的科学规划与聚焦研究。学科的发展，需要社会的关心、需要本领域广大科学工作者的共同努力与合力推动。

值此文集出版之际，我们希望对为学科发展战略研究做出贡献和给予关心的所有专家致以真诚的感谢。在本次发展战略研究工作期间，我们特别邀请了一些在学术界逐步崭露头角的青年专家参与工作。因此，我们也特别希望这个凝聚了众多智慧与心血的报告集的出版，能够唤起更多的青年科学家的兴趣、关注与参与，共同推动学术研究向纵深处发展。

建筑、环境与土木工程学科发展战略研究工作组

2011年5月

目 录

建筑、环境与土木工程学科发展战略研究报告.....	1
---------------------------	---

第一部分 建筑学学科

基于可持续性的城镇建筑环境规划设计理论和方法	12
可持续发展的乡村人居环境建设理论	21
城乡景观的生态化规划与设计理论	32
建筑技术科学学科发展战略	40
建筑环境控制与节能基础理论	47

第二部分 环境工程学科

饮用水质安全保障的新原理与新技术	54
城市污水资源化的新技术基础与风险控制	62
城市水体复合污染控制及水质改善的技术基础	71
城市区域大气复合污染防治的理论与方法	80
城市固体废物减量化、无害化与资源化的技术原理	89

第三部分 交通工程学科

主动引导式城市交通系统规划、设计与调控基础理论.....	104
复杂条件下网络交通流及其调控基础理论.....	112

第四部分 结构工程学科

土木工程新材料.....	122
土木工程材料的本构理论.....	130
计算结构工程与结构随机动力学.....	140
融合现代信息及控制技术的结构实验学.....	151
高性能结构体系.....	162
工程结构性能设计的理论与方法.....	170
大型复杂结构的健康监测、损伤积累与安全评定.....	175
工程结构耐久性与全寿命设计理论.....	186

工程结构可靠性与全过程风险控制·····	193
----------------------	-----

第五部分 岩土工程学科

城市地下工程与隧道工程·····	204
土动力学与岩土地震工程·····	213
环境岩土工程·····	227

第六部分 防灾工程学科

工程结构抗震与减震·····	238
结构风工程学科的发展·····	250
结构抗火关键科学问题·····	257
工程结构抗爆与防爆·····	264
结构抗灾动力分析方法·····	274
生命线工程防灾·····	282
工程结构的多重灾害防御·····	293

Contents

Report on the discipline—developing strategy of architecture, environmental and civil engineering	1
--	---

Part I. Architecture

Theory and method for sustainability—aimed planning and design of urban building environments	12
Theory for sustainable rural human settlementsenvironment construction	21
Ecological planning and design theory of urban and rural landscape	32
Discipline—developing strategy for architectural technology science	40
Basic theory for building environment control and energy saving	47

Part II. Environmental Engineering

Advanced principles and technologies for the quality security ensuring of drinking water	54
Fundamentals of advanced technique and risk control of urban sewage recycling	62
Technical foundation for the control of combined pollution of urban water body and water quality improvement	71
Theory and method for the prevention and control of combined pollution of urban regional air	80
Technical principles for urban solid waste reduction, innocent treatment and recycling	89

Part III. Transportation Engineering

Fundamental theory for planning, design and regulation and control for active- guiding urban traffic system	104
Fundamental theory for traffic flow of network and its regulation and control under complex conditions	112

Part IV. Structural Engineering

Advanced materials in civil engineering	122
---	-----

Constitutive theory of civil engineering materials	130
Computational structural engineering and stochastic dynamics of structures	140
Structural testing incorporating modern information and control technology	151
High—performance structural system	162
Theory and method for performance design of engineering structure	170
Health monitoring, damage accumulation and safety assessment of large complicated structures	175
Durability and life—cycle design theory of engineering structures	186
Reliability and life—cycle risk management of engineering structures	193

Part V. Geotechnical Engineering

Urban underground engineering and tunnel engineering	204
Soil dynamics and geotechnical earthquake engineering	213
Environmental geotechnology	227

Part VI. Disaster Relief Engineering

Earthquake—resistance and vibration mitigation of engineering structures	238
Advancement of structural wind engineering	250
Key scientific issues in fire—resistance of engineering structures	257
Explosion—resistance and prevention of engineering structures	264
Methods for anti—disaster dynamics of structures	274
Disaster prevention of lifeline engineering	282
Multiple—hazard prevention of engineering structures	293

建筑、环境与土木工程学科发展战略研究报告

发展战略研究组^①

1. 建筑、环境与土木工程学科的战略地位

建筑、环境与土木工程学科的研究对象包括与人类生活和生产活动相关的各类建筑物、构筑物、工程基础设施和相关人居环境。在国家自然科学基金资助范围内，本学科划分为建筑学、环境工程、交通工程、结构工程、岩土工程和防灾减灾工程等六个研究领域。

在我国工程科学的总体格局中，建筑、环境与土木工程学科居于不可或缺的战略地位。在过去 30 年间，我国基本建设投资占国民生产总值的比例平均达 30%~35%。2010 年，我国城市化水平已经达到 47.5%，正处在快速迈向现代化的关键历史时期。迅速扩展着的现代化城市、令人目不暇接的高层建筑、大跨桥梁、各类现代化的土木工程基础设施系统，既反映着我国社会的进步水平，也承载着现代社会可持续发展的希望。与此同时，必须十分清醒地意识到：在社会、经济迅速发展的同时，我国城市发展的瓶颈问题日益凸显、环境污染形势依然严峻、自然灾害对于工程结构与工程系统的破坏触目惊心。

建筑、环境与土木工程研究的基本任务，在于通过基础科学研究与应用技术的拓展，发展现代城市设计的基本理论，形成现代建筑设计的创新体系；揭示以城市为中心的环境演化规律，发展环境污染控制的新原理和新技术，为环境质量改善提供科学技术基础；阐明工程结构与工程系统在各种自然灾害与人为灾害下的破坏机理，为建造节约能源、节约资源、安全可靠的现代高性能结构提供科学基础。

在 2011 年~2020 年期间，建筑、环境与土木工程学科的基本发展目标可以概括为：在现代城市可持续发展、环境复合污染控制、高性能结构工程与工程防灾减灾等方向上，对带有共性、前瞻性的基础科学问题展开系列研究，取得一批具有原创性的、可以自立于国际学术舞台的创新成果，为我国建筑、环境与土木工程学科研究跻身国际学术研究前列奠定基础，为我国工程科学的发展和我国社会主义现代化事业的发展作出贡献。

2. 建筑、环境与土木工程学科的总体发展趋势

我国宏大的工程建设与史无前例的城市化发展，给建筑、环境与土木工程学科的发展带来了前所未有的机遇和挑战，也呼唤着我国在这一领域研究中的创新与超越。在未来 10 年内，本学科总体发展趋势主要表现在以下诸方面：

^① 执笔：李杰，同济大学；刘加平，西安建筑科技大学；曲久辉，中国科学院生态环境研究中心；王炜，东南大学；聂建国，清华大学；陈云敏，浙江大学；吕西林，同济大学

2.1 可持续发展的基本理念将促进建筑学和城市规划学科的变革

新世纪对建筑学学科的冲击，最大莫过于“可持续发展”理念的出现。全球性的能源危机、环境恶化及资源短缺，要求人类社会反思和调整自身的行为模式，以保持社会、经济和环境的可持续发展。而建立在资源无限、环境容量无限以及能源无限观念基础之上的现代建筑体系和建筑环境控制技术，在给人类社会提供了舒适安逸的生活空间的同时，也无意地加入了污染和破坏自然生态环境、掠夺性消耗人类资源的行列。我国建筑能耗已经占到国民经济总能耗 25%、温室气体排放占 35% 以上。研究建立可持续发展背景下的建筑学和城市规划理论体系，已成为当务之急。应该研究在建筑设计和城市规划与设计如何运用设计手段，在不断提高建筑生活环境质量标准的同时，减少对能源和其他自然资源的使用，减少污染物的排放。解决这个问题，需要调整建筑学学科的指导思想和行为模式。首先需要解决的是哲学观和历史观问题，应该将可持续发展的思想渗透和贯穿于学科研究每一环节之中，并真正用来指导城市规划和建筑设计创作。其次，需要研究解决替代技术及其适应性问题，为建筑与城市生态化设计提供技术支撑。同时，需要研究技术与规划和设计的结合问题，它既需要技术人员充分考虑技术成果在设计中应用的可行性，也需要设计研究者在设计理论和方法中具备消化吸收技术成果的能力。任何城市，任何建筑，走向生态、绿色与可持续发展，最终是要通过设计手段来实现的。

2.2 多介质环境的复合污染过程与控制成为环境工程研究的重点

环境污染和生态破坏的治理是全世界面临的严峻问题。在环境工程学科领域，将更加注重在区域尺度上深入认识和系统解决环境问题，重点研究区域尺度环境演化的过程机制及其调控方法，发展以城市污染控制和环境质量改善为核心的理论和方法体系。将复合污染问题作为区域生态环境问题研究的重要方向，阐明复杂环境体系中污染物及其不同介质间的非均相作用过程及界面转移转化规律，探索多介质环境的复合污染形成、效应、演化及控制的机理和方法，构建复合污染研究与治理的理论和技术体系。深入研究有毒有害污染物的生态与健康风险，并针对城市环境问题在分子、组织、细胞和个体水平上探索生物受体对污染物的响应，在种群水平和区域尺度上阐明污染对生态系统的影响，发展污染环境的风险控制的科学基础。综合研究环境中多介质的交互污染过程与调控方法，深入认识水、土、气、生物系统中污染物的交换、运移、反应及多界面行为，阐明不同区域或流域的多介质污染特征及其变化规律，建立多介质环境交互污染控制的原理和技术系统。同时，污染环境修复研究将备受关注，将继续开展以生物技术、生态调控等手段为重点的修复方法探索，建立基于不同环境背景和污染特征的修复原理和技术体系。

2.3 交通系统从被动型向主动控制型的转变构成交通工程研究前沿

在我国快速城镇化与机动化的社会发展背景下，条块分割、被动适应的城市交通系统已经完全不能适应现代城市发展的要求，建立一个主动引导型的城市综合交通系统已成为解决城市问题的必然趋势。这一发展趋势表现在：①城市规划与交通规划的互动及一体化。从宏观到微观的多尺度层面研究城市的物质空间规划对交通系统的作用机制以及综合交通系统引导下的物质空间规划，日益注重研究城市规划与交通规划的反馈性耦合。②交

通规划思想由被动适应型向主动式交通供需平衡转变。传统的交通供给优化思想以被动适应交通需求的增长为前提，城市形态、交通模式、供给布局等环节之间的宏观匹配和互动作用不够紧密。以系统的观点建立城市交通主动式供需平衡与耦合理论将为缓解城市交通问题提供科学的理论指导，对于城镇化进程高速发展的中国显得尤为重要。③公共交通规划理论由单一型常规公交优化向多元化公交系统优化转变。常规公交优化向多元化公交系统优化转变，快速发展的城镇化与机动化，使城市道路交通需求与日俱增，优先发展公共交通是缓解交通压力的根本途径，公交客流需求将呈现多层次、多等级的特征，城市轨道交通、快速公交与常规公交将共同组成多元化公交网络系统。多元化公交系统之下，公交客流生成与网络客流分布特征将发生重大变化，多元化公交系统衔接、协调规划理论方法需要新的突破。④现代网络交通流控制研究正向主动型、多目标协调优化发展。智能交通系统的建设使网络交通流出现了本质性变化，交通系统的高度信息化将突破传统的研究方法，为网络交通流及交通行为基础模型和理论研究提供前所未有的数据条件和实验研究条件。同时随着对交通安全、节能减排等的日趋重视，多目标最佳的网络交通流协调优化控制基础理论正成为发展趋势。网络交通流及其控制基础理论和技术将出现一场革命。

2.4 高性能结构体系及其现代设计理论正在孕育与发展

土木工程对我国经济和社会的发展起着重要的支撑作用。随着知识的积累、技术的进步、人类活动范围的拓展以及使用需求的提高，要求工程结构必须具备更高的综合性能，以抵御自然灾害作用下工程结构的灾难性破坏、减缓乃至消除长期自然环境侵蚀下工程结构的性能退化、保证工程结构的预期服役性能。从结构性能的角度出发，以高安全性能、高施工性能、高使用性能和高耐久性能等为特征的高性能结构（High Performance Structures）的发展，正在成为现代结构工程发展的重要标志。而以大规模、非线性、多场耦合问题为特征和发展趋势的现代工程计算理论，则为发展高性能结构工程提供了有效的技术支撑手段。20世纪90年代，土木工程领域的前沿科学家明确提出了结构全寿命周期设计的理念（Integrated Life Cycle Design of Structures）。进入21世纪，结构全寿命设计的理念受到国内外学者的广泛关注，形成了未来结构设计理论的发展方向和基本趋势，已成为国内外最活跃、最前沿的研究领域之一。在结构全寿命周期中全面综合地考虑安全性、适用性与耐久性三者的相互交叉、相互制约的关系，发展基于结构整体可靠度的全寿命设计理论，成为工程结构全寿命设计的重要内涵。研究高性能结构体系的全寿命设计理论及方法，正在成为土木工程领域具有十分重要意义的发展方向。

2.5 城市化与可持续发展的需求促进着岩土工程学科的跨越

我国迅猛的城市化进程，对地下基础设施建设和服役性能提出了更高要求，促进了城市地下工程和隧道工程的发展。然而，当前城市地下工程建设超常规发展使得建设难度剧增，面临的技术挑战和施工风险也越来越大。如何保证城市地下工程的施工安全、减小对周围环境的影响及保证服役性能是迫切需要解决的问题。随着当前全球气候变化与环境恶化的加剧，世界各国都意识到保护环境已成为极其重要的战略性课题，由岩土工程、环境工程及地下水工程交叉而成的环境岩土工程学科的兴起对于解决该问题具有重要意义。与传统岩土工程相比，环境岩土工程更强调大气和水以及生物和化学的作用。与此同时，20

世纪几次破坏性大地震以及 2008 年我国汶川大地震的发生、近几年我国大量高速铁路和地铁的兴建，都迫切要求进一步深入认识岩土材料的动力学行为及土工构筑物地震破坏规律，保障重大工程的建设与运营安全、减少动力灾害损失。因此，环境岩土工程、城市地下工程与隧道工程、土动力学与岩土地震工程等三个主要研究领域已成为我国今后若干年城市化与可持续发展的重大技术需求，岩土工程学科正面临着前所未有的跨越与发展。

2.6 多种灾害的综合防御正在形成新的研究方向

大规模土木工程基础设施是现代社会的物质基础，各类自然灾害（包括环境侵蚀）仍然严重地威胁着基础设施的服役安全。揭示灾害对构成土木工程基础设施主体的工程结构的作用机理及其时空效应，深入研究工程结构和工程系统在各种灾害作用下的损伤破坏机理、损伤模式，发展基于性能的工程结构与工程系统的抗灾性态设计与智能控制技术，仍然是世界性的热点研究课题，近十年来，研究各类灾害的耦合效应及其关联度，发展工程结构与工程系统基于可靠度理论的多重灾害抗灾设计理论的观点逐步受到人们的广泛关注，区域性防灾和多种灾害防御的研究将开拓新的学科发展空间。从多灾害角度，基于概率危险性分析，采用统一的概率可靠性指标和失效标准建立多重灾害极端事件极限状态、研究提高工程结构抵御不同灾害极端事件的能力、探索多灾害共同作用或相互作用下重大工程的反应与破坏特点、逐步建立重大工程的多重灾害预警和监测技术，是多重灾害综合防御的发展趋势。重视对于地震、风灾等灾害作用机理的研究，在非线性破坏机理研究方面从基本构件向材料本构关系、结构性能两端延伸，完善与健全减灾面向工程应用的分析理论和设计方法，发展工程结构抗倒塌研究和设计理论，以工程实际问题为出发点开发实用、高效的新型智能减灾装置，重视区域性灾害危险性分析与大型工程网络系统安全性、可靠性研究的结合，进一步发挥先进复合材料、智能材料、先进传感技术、现代信息技术将在综合防灾研究中的重要作用，是上述发展趋势的必由之路。与此同时，生命线工程系统的安全性监测、灾害预警技术与应急处置技术将得到高度重视和迅速发展，复合生命线工程系统的灾害模拟与灾场控制研究将引起更广泛关注，与城市综合防灾相关的防灾信息系统与灾害风险管理、灾害易损性分析与损失预测、遥感技术与防灾综合决策理论将得到进一步的发展。

3. 本学科未来十年的发展战略

综观本学科在过去 30 年的主要研究进展和当前研究现状，可以预测，在今后十年甚至相当长的一段时期内，本学科研究前沿将集中在以下诸方面：

(1) 可持续发展的地域人居环境和建筑设计理论，城乡建筑环境控制与节能技术原理，现代城市公共空间规划与功能布局优化，地域建筑学与历史建筑和文化遗产保护；

(2) 城市水质安全保障与风险控制，城市污水处理与资源化，城市大气复合污染控制，固体废物的减量化、无害化、资源化的过程机制与技术原理；

(3) 城市形态、土地利用、交通模式的宏观匹配模型，基于活动的居民出行行为分析，面向对象的网络交通流理论，全息信息环境下网络交通流动态优化调控理论，网络交通流在线分析、预测与预报基础理论，城市交通系统的综合优化理论；

(4) 高性能、多功能、高耐久的新型结构材料研究，工程材料的本构关系与结构随机非线性分析，工程结构的损伤、破坏机理与性能控制原理，高性能结构体系，重大工程的健康监测与智能结构系统，工程结构整体可靠度设计理论与全寿命设计理论；

(5) 土体的性能、固-液-气多相介质与复杂环境的相互作用，复杂环境下土工构筑物和基础工程的失效机理与性能设计；

(6) 考虑工程效应和社会影响、基于物理的灾害危险性分析，结构灾害作用与环境作用模型，复杂工程结构在多种灾害作用下的灾变行为、传播机理与风险控制，生命线工程系统的抗灾设计与性能控制理论，工程系统的安全性监测、灾害预警技术与应急处置技术。

在上述研究前沿中，学科发展的总体布局与优先领域包括：

3.1 重大交叉研究领域

3.1.1 环境变迁中的城市科学

关键科学问题包括：环境变迁与灾害风险，环境变迁与可持续发展的地域人居环境设计理论，环境变迁与历史建筑及文化遗产保护；重大工程与环境变迁的联系与互动。

重点研究方向包括：

(1) 环境变迁与灾害风险

研究工程灾害的中、长尺度危险性及其分析方法；建立重大工程的灾害危险性与设防标准；研究大规模工程系统的灾害风险及其分析方法；揭示重大工程对环境变迁的作用。

(2) 环境变迁与可持续发展的地域人居环境设计理论

研究城市与建筑环境质量下降的规律，揭示建筑能耗的长时变迁演化规律，发展城乡建筑防风灾、涝灾规划设计和建筑设计理论。

(3) 环境变迁与历史建筑及文化遗产保护

研究历史建筑的损毁机理，发展历史建筑的防护技术；揭示建筑文化遗产加速消亡原因，给出建筑文化遗产的保护策略。

3.1.2 多介质复合污染机制与调控原理

关键科学问题包括：城市水体复合过程、控制及修复原理，污水处理新技术原理与再生利用的风险控制，饮用水质的多介质转化规律与过程调控机制，区域大气二次污染物形成机理与调控途径。

重点研究方向包括：

(1) 城市水体复合过程与控制修复原理

深入研究城市水环境下水循环的基本规律，阐明污染物的源汇关系及复合污染的形成机制，揭示城市水体的复合污染特征与变化规律，建立城市水体及水循环利用过程中水质转化的调控方法与技术原理，发展受污染城市水体修复的技术原理，构建与保障水体水质相协调的城市水循环模式。

(2) 城市区域大气复合污染形成机制与调控原理

揭示城市区域大气复合污染的形成机制，研究一次污染物源解析及阻控技术原理和大气细粒子形成机理与环境效应及调控技术原理，研究复合污染效应评价与预测预警技术原理，发展大气特殊污染物控制新技术与方法。

3.1.3 现代交通系统优化与调控理论

科学问题包括：城市交通需求形成机理与演化规律，复杂条件下混合网络交通流形成机理与演化规律，主动引导式城市交通系统的供需平衡机理与系统耦合理论，全息信息环境下网络交通流调控理论。

重点研究方向包括：

(1) 城市交通需求形成机理与演化规律

城镇化水平与交通发展水平的耦合机制，城市物质空间规划对城市交通规划的需求机制，城市交通需求的形成机理、演化规律与合理性评价，城市形态—人口分布—土地利用—交通出行模式的匹配模型，城市土地开发强度及其功能划分与分布诱发交通拥堵的演化规律，交通对城市形态演变、土地利用布局及强度等的引导反馈模型，基于低碳城市的物质空间规划与现代交通系统的耦合规划设计理论和方法，城市物质空间与交通系统的耦合模型。

(2) 复杂条件下混合网络交通流形成机理与演化规律

研究多模式道路网络结构拓扑关系，发展信息环境下混合网络交通流选择行为理论；探索网络交通流在时间跨度和空间分布上的演化规律、动态\静态交通调控措施与网络交通流的相互作用机理，多元化交通系统和交通模式之间的转换机制，发展基于多源信息的动态 OD 估计与预测理论；研究网络交通拥挤的发生、扩散与消散规律，异常态网络交通流的演化机理。

(3) 主动引导式城市交通系统的供需平衡机理与系统耦合理论

研究基于个体出行行为特征的交通需求分析模型，揭示交通需求与交通供给的作用机理与互动关系，发展交通方式结构优化与交通资源配置优化的新一代模型。提出多模式城市综合公共交通系统、新一代高效能城市地面公交系统的规划与设计方法，建立基于公交主导型的城市综合交通系统规划理论体系。

(4) 全息信息环境下网络交通流动态优化调控理论

变结构网络交通流及其优化管理与控制基础理论，信息化条件下多重网络调控措施的组合作用机理及系统最优化的网络调控理论；基于实验科学的新一代网络交通流仿真理论。

3.1.4 高性能结构工程的全寿命设计

关键科学问题包括：工程结构与工程系统的全寿命风险分析；工程结构的损伤、灾变机理与性能控制原理；工程结构与工程系统的整体可靠性设计与全寿命风险控制。

重点研究方向包括：

(1) 工程结构与工程系统的全寿命风险分析

发展中长尺度灾害（地震、风暴等）危险性分析方法，建立工程结构与工程系统的灾害作用物理模型，研究工程结构环境作用模型，揭示环境与荷载耦合作用下工程结构性能演变机理；

(2) 工程结构的损伤、灾变机理与性能控制原理

采用多尺度随机力学方法研究工程结构的非线性行为与失效机理，发展基于微结构演化的材料-结构多尺度寿命预测理论和方法；发展工程结构受力全过程精细化分析理论与方法，建立工程结构生命周期全过程的结构性能评定理论与设计方法；确定工程结构性能

设计基准，建立定量化的结构性能评估理论和方法。

(3) 工程结构与工程系统的全寿命可靠性设计与风险控制

研究结构整体可靠度理论与计算方法，发展基于结构非线性受力全过程的结构整体可靠度评价理论与计算方法，逐步形成工程结构基于可靠度的结构性能优化与设计理论；研究整体结构全寿命、全过程风险控制理论与基于可靠度与全过程风险控制的性能优化与设计方法，实现工程结构精细化设计；开展风险通信、多种与多重灾害控制研究。

3.2 战略研究重点

3.2.1 可持续发展的人居环境与绿色建筑

可持续原则下的城镇空间发展演化机理、空间结构和形态组织模式及城市设计基础理论框架；低碳城市、绿色社区和零碳家庭的城镇建筑设计新方法；绿色城市和建筑设计准则体系和相关规程的构建；多目标性能化指标优化的数字化绿色城市建筑设计；基于多元、多样和适宜性的绿色设计理论和方法的探索和创新；高技术、中间技术、低技术、软技术及其在建筑中的组合应用，以及相关的评估检测方法、技术政策和行业技术标准等。

3.2.2 城乡建筑节能设计原理与技术体系

高品质建筑声、光、热环境设计理论和方法，人与建筑空间物理环境的关系，主、被动结合建筑热环境调节组合优化，建筑热湿环境热力学分析新方法，营造建筑热湿环境的末端调控方式优化，我国典型气候带建筑室内热湿环境营造机理，乡村建筑节能和人居环境改善技术基础理论和评价体系，工业建筑污染物控制通风理论及应用方法等。

3.2.3 城市交通系统的低碳保障技术与基础理论

研究城市交通系统居民出行方式结构与城市交通系统能源消耗总量、土地资源消耗总量、交通污染物排放总量、交通流噪声强度的相关关系分析模型，研究道路交通流运行状态特征指标与车辆能源消耗、污染物排放、交通流噪声强度的定量化分析模型，建立城市交通系统低碳评估的方法体系，提出面向低碳目标的城市交通系统规划设计方法与交通管理技术。

3.2.4 大型复杂结构的健康监测与安全评定

研究先进信号分析与信号融合方法，发展健康监测与无损检测相结合的损伤识别方法，研究分散子结构的有限元模型修正方法、随机有限元模型修正方法、多尺度有限元模型修正方法和非参数模型修正方法；研究基于健康监测的大型复杂结构失效模式搜索、结构状态评估、大型复杂结构构件与子结构及整体结构全寿命安全评定与时变可靠度预测方法。

3.2.5 多场环境下岩土工程灾变及控制

岩土体宏观静动力特性的微观机理；固体废弃物生化相变效应及多场相互作用；热-水-力（THM）三场耦合问题；城市软土地下工程的多场相互作用；场地与地下结构动力相互作用；岩土体多相演变和多场相互作用的试验模拟。

3.2.6 工程结构与工程系统的多重灾害防御

基于概率的多重灾害危险性预测理论与方法；基于统一可靠性标准的多重灾害作用强度和性能要求；灾害极端事件之间的关联度和概率组方法；多重灾害的耦合效应、时空效应及其作用机理；多重灾害共同和关联作用下结构效应；多重灾害共同和关联作用下实

验技术和实验验证；多重灾害的预警和监测技术；基于性能的工程结构多重灾害设计理论与方法；城市综合防灾中的关键技术；工程系统多重灾害的空间作用效应及其防御。

4. 未来 10 年本学科领域发展的保障措施

4.1 人才队伍建设

(1) 重视学科文化建设，加强学术道德培养，完善科学合理的评价机制，避免浮躁浮夸学风。

(2) 加强培养学科或学术带头人。基于我国的现实需求和国际的发展趋势，本学科未来 20 年的发展定位应该是争取成为世界研究潮流的引领者。为此，培养一批中青年的学科带头人及学术骨干，是实现这一目标的重要保障。

(3) 加强中青年学者之间的交流与合作，努力提高解决国家重大问题的能力；同时注意老、中、青结合，充分调动全体研究者的积极性和研究热情。学科带头人和有影响的教授应积极为中、青年学者创造条件，促使其早出成果、多出成果。

4.2 学科发展对策

我国与西方发达国家的发展阶段不同，工程结构学科所肩负的历史责任也不同。因此在跟踪欧美最新研究成果的同时，要密切结合我国现状，为解决实际工程需求开展原创性研究，引领在相关学科问题上的研究方向，避免盲目跟随或简单重复。应通过对科学问题的基础理论的创新研究，解决重大工程建设中涌现的、带有普遍意义的技术问题。

(1) 强化基础研究，注重工程应用。基础理论研究体现了国家科技创新的核心竞争力，同时可为应用研究打下扎实的基础；强化基础理论研究，就要结合我国大规模土木工程实践的特点，从大量应用研究中凝练出具有共性和普遍性的研究课题，持之以恒地加以探索，为创新性研究打下基础。

(2) 发展创新群体，探索创新模式。长期资助创新研究突出、学术组织严密、开放式的创新研究群体，积极探索建立长期的、具有突出创新特色的研究基地。

(3) 重视学科交叉，凝练重点学科。积极推动本学科与相关学科、学部的学术交流与协作，在学科交叉领域拓展研究空间，服务于学科发展。同时，对传统学科研究领域，要重视对于基本科学问题的凝练、挖掘与深层次创新，形成具有时代特色的重点学术研究领域。

(4) 扩大国际交流，力争有所作为。加大力度资助本学科各重点研究领域重大或重点项目承担者在国内或国外组织召开高水平国际会议、资助组团出国参加相关重大系列国际会议，进一步推动我国学者进入高水平的国际学术舞台并扮演重要角色。通过广泛开展实质性的国际合作与交流，保持与国际同行的密切联系，参与组织和引领世界相关研究的发展潮流。

(5) 注重示范推广、服务国家建设。结合我国重大工程建设与城市发展的工程实际问题与技术需求，积极完善和推广应用本学科创新研究成果，提升我国城市和重大工程建设的科技水平，促进建筑、环境和土木工程建设事业的健康发展。