



中国工程院战略咨询中心
Center for Strategic Studies, CAE

Clarivate 科睿唯安

全球工程前沿

2020

中国工程院全球工程前沿项目组 著

高等教育出版社

五、土木、水利与建筑工程

1 工程研究前沿

1.1 Top 10 工程研究前沿发展态势

土木、水利和建筑工程领域 Top 10 工程研究前沿汇总见表 1.1.1, 涉及结构工程、土木建筑材料、交通工程、建筑学、暖通空调、市政工程、测绘工程和水利工程等学科方向。其中, “基于地理时空大数据的智慧城市与智慧流域综合感知”“风-浪-流和地震作用下海洋工程结构与海床地基系统的耦合响应机理”“基于大数据的城市空间分析和优化方法”“面向适应性热舒适与室内空气品质营造的通风理论”“地下工程的动力灾变跨尺度预测”是非纯数据挖掘前沿, 为专家提名前沿或者是基于数据挖掘前沿凝练而成的前沿。“纳米改性土木工程材料”“减缓城市热岛效应的规划原理”“道路、轨道材料与结构的性能演变及耐久性设计原理”“极端水文事件的形成机理与演变规律”和“深部能源开采灾变效应与力学行为调控”是数据挖掘前沿。

各个前沿所涉及的核心论文自 2014 年至 2019 年的逐年发表情况见表 1.1.2。

1.1.1 基于地理时空大数据的智慧城市与智慧流域综合感知

综合感知是实现智慧城市和智慧流域的重要基础。在智慧城市和智慧流域中, 无处不在的智能传感器对物理城市与物理流域实现全面、综合的感知, 并实时感测城市运行和流域管理的核心系统, 把数字城市、数字流域与物理城市、物理流域无缝连接起来, 进而利用云计算等技术对实时感知获得的地理时空大数据进行即时处理, 为用户提供智能化服务。当前的主要研究内容有: ①智慧城市与智慧流域综合感知基础体系的构建方法, 实现监测资源大规模互联互通和多源异构感知资源协同; ②基于综合感知基础体系的城市与流域综合感知方法; ③智慧城市与智慧流域地理时空大数据的集成管理与实时分析方法。从 2014 年至 2019 年, 核心论文篇数

表 1.1.1 土木、水利与建筑工程领域 Top 10 工程研究前沿

序号	工程研究前沿	核心论文数	被引频次	篇均被引频次	平均出版年
1	基于地理时空大数据的智慧城市与智慧流域综合感知	36	924	25.67	2017.0
2	风-浪-流和地震作用下海洋工程结构与海床地基系统的耦合响应机理	40	1271	31.78	2016.3
3	基于大数据的城市空间分析和优化方法	58	2461	42.43	2017.1
4	面向适应性热舒适与室内空气品质营造的通风理论	544	16740	30.77	2016.6
5	地下工程的动力灾变跨尺度预测	93	2297	24.70	2017.5
6	纳米改性土木工程材料	74	3995	53.99	2017.2
7	减缓城市热岛效应的规划原理	188	6975	37.10	2016.9
8	道路、轨道材料与结构的性能演变及耐久性设计原理	56	1584	28.29	2017.5
9	极端水文事件的形成机理与演变规律	238	9287	39.02	2016.5
10	深部能源开采灾变效应与力学行为调控	105	3319	31.61	2017.3

表 1.1.2 土木、水利与建筑工程领域 Top 10 工程研究前沿核心论文逐年发表数

序号	工程研究前沿	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年
1	基于地理时空大数据的智慧城市与智慧流域综合感知	2	5	5	10	8	6
2	风-浪-流和地震作用下海洋工程结构与海床地基系统的耦合响应机理	11	5	4	6	8	6
3	基于大数据的城市空间分析和优化方法	5	5	4	20	12	12
4	面向适应性热舒适与室内空气品质营造的通风理论	69	97	88	102	92	96
5	地下工程的动力灾变跨尺度预测	6	7	6	19	24	31
6	纳米改性土木工程材料	3	6	11	19	20	15
7	减缓城市热岛效应的规划原理	21	23	30	44	29	41
8	道路、轨道材料与结构的性能演变及耐久性设计原理	6	3	5	5	16	21
9	极端水文事件的形成机理与演变规律	26	46	46	41	50	29
10	深部能源开采灾变效应与力学行为调控	5	14	10	22	27	27

为 36，被引频次为 924，篇均被引频次为 25.67。

1.1.2 风-浪-流和地震作用下海洋工程结构与海床地基系统的耦合响应机理

海港码头、防波堤、采油平台、海底管线、跨海桥隧、海上风电基础等海洋工程结构运行环境恶劣，安全风险大。在风、浪、流和地震等作用下，海床地基土体内孔隙水压力增加、有效应力降低，导致海床地基土体出现强度弱化、液化问题；同时波流作用使海床地基出现冲刷破坏。此外，动力荷载作用产生的结构运动也会引起海床地基内孔隙水压力和有效应力的变化，使海床地基承载力问题更加复杂。在风、浪、流和地震作用下海洋工程结构与海床地基系统的耦合响应机理，是海洋工程结构安全性和耐久性有待解决的关键问题。需研究解决的主要问题包括：①在波浪、地震及结构运动等不同周期循环荷载作用下，不同海床地基土体（碎石、砂土和软黏土等）的强度弱化、液化机理及其演化规律；②考虑循环荷载作用下海床地基土体强度弱化、液化、液化后超孔压消散固结及再次液化过程的弹塑性本构模型；③在波浪、水流作用下，考虑

渗流效应的不同海床地基（碎石、砂土和软黏土等）冲刷模型；④动力作用-海工结构-海床地基系统非线性动力分析的耦合数值模型及有效数值模拟方法；⑤动力作用-海工结构-海床地基系统承载特性研究的物理模型试验基础理论和试验技术。从 2014 年至 2019 年，核心论文篇数为 40，被引频次为 1271，篇均被引频次为 31.78。

1.1.3 基于大数据的城市空间分析和优化方法

互联网技术发展衍生的手机信令、公交刷卡、社交网站签到等地理位置大数据带来了城市空间分析方法的变革。与传统数据相比，具有大样本、高精度、长时间记录的优势，可动态、精准地记录城市各类活动的时空信息，为人们观察、认知城市空间及其发展趋势提供了新途径。基于大数据的城市空间分析和优化是当下与未来城市研究的前沿领域。相关研究机构主要集中在美国、英国、欧洲等发达国家或地区以及以中国为代表的快速发展国家和地区。西方发达国家拥有完善的科研体系和良好的研究基础；而以中国为代表的发展中国家拥有庞大的时空感知数据源、日新月异的感知途径和场

预报精度等目的。从排名前 10 的核心论文产出机构合作网络（见图 1.2.2）来看，各机构间有一定的合作关系。

施引核心论文产出前 5 的国家为中国、伊朗、美国、越南和澳大利亚（见表 1.2.3），施引核心论文产出前 5 的机构为越南的孙德盛大学、越南的维新大学、伊朗的德黑兰大学、伊朗的大不里士大学和澳大利亚的南昆士兰大学（见表 1.2.4）。

根据论文的施引情况来看，核心论文产出国排名前 5 的施引核心论文数也比较多，其中中国的发表论文数和施引论文数均排名第 1，说明中国

学者对该前沿的研究动态保持比较密切的关注和跟踪。

综合以上统计数据，在“基于地理时空大数据的智慧城市与智慧流域综合感知”研究前沿，与国外同行相比，中国学者略具优势，并逐步发展到领先地位。建议中国政府继续加大对这一研究领域的支持力度，加快向世界领先水平发展。

1.2.2 风-浪-流和地震作用下海洋工程结构与海床地基系统的耦合响应机理

海港码头、防波堤、采油平台、海底管线、跨



图 1.2.1 “基于地理时空大数据的智慧城市与智慧流域综合感知”工程研究前沿主要国家间的合作网络



图 1.2.2 “基于地理时空大数据的智慧城市与智慧流域综合感知”工程研究前沿主要机构间的合作网络

表 1.2.3 “基于地理时空大数据的智慧城市与智慧流域综合感知”工程研究前沿中施引核心论文的主要产出国家

序号	国家	施引核心论文数	施引核心论文比例	平均施引年
1	中国	258	24.86%	2018.7
2	伊朗	165	15.90%	2018.8
3	美国	151	14.55%	2018.4
4	越南	84	8.09%	2019.3
5	澳大利亚	73	7.03%	2018.8
6	印度	63	6.07%	2018.5
7	韩国	62	5.97%	2018.5
8	土耳其	50	4.82%	2018.3
9	马来西亚	47	4.53%	2018.6
10	加拿大	46	4.43%	2018.7

表 1.2.4 “基于地理时空大数据的智慧城市与智慧流域综合感知”工程研究前沿中施引核心论文的主要产出机构

序号	机构	国家	施引核心论文数	施引核心论文比例	平均施引年
1	孙德盛大学	越南	63	17.36%	2019.2
2	维新大学	越南	47	12.95%	2019.5
3	德黑兰大学	伊朗	40	11.02%	2018.3
4	大不里士大学	伊朗	33	9.09%	2018.8
5	南昆士兰大学	澳大利亚	31	8.54%	2018.4
6	中国科学院	中国	27	7.44%	2018.3
6	华中科技大学	中国	27	7.44%	2018.7
8	加利福尼亚大学圣塔芭芭拉分校	美国	25	6.89%	2018.0
8	河海大学	中国	25	6.89%	2019.0
10	伊利亚州立大学	格鲁吉亚	23	6.34%	2019.1

海桥隧、海上风电基础等海洋工程结构运行环境恶劣，安全风险大。在风、浪、流和地震等作用下，海床地基土体内孔隙水压力增加、有效应力降低，导致海床地基土体出现强度弱化、液化问题；同时波流作用也会使海床地基出现冲刷破坏。此外，动力荷载作用产生的结构运动也会引起海床地基内孔隙水压力和有效应力的变化，使海床地基承载力问题更加复杂。在风、浪、流和地震作用下海洋工程结构与海床地基系统的耦合响应机理，是海洋工程结构安全性和耐久性有待解决的关键问题。

海床地基的动力响应及其与结构的耦合作用是风-浪-流和地震作用下海洋工程结构与海床地基系统耦合响应的核心问题。关于海床地基响应模型，主要有拉普拉斯方程、扩散方程和 Biot 固结方程三类。拉普拉斯方程和扩散方程均假设土骨架不可变形，孔隙流体分别考虑为不可压缩和可压缩，这两类模型均没有考虑土骨架与孔隙流体的耦合作用。Biot 固结方程假设土骨架可变形，孔隙流体可压缩，流体运动满足达西定律，并且考虑了固液相加速度。Biot 固结模型可考虑土骨架与孔隙流体的耦合作用，但海床土的本构主要限定在弹性范围。关于风-浪-流和地震作用下海洋工程结构与海床地基系统的耦合响应问题，大都将各种动力作用作

为荷载施加在结构上，没有考虑动力作用下海床地基的响应效应。

需研究解决的主要问题包括以下几方面：

(1) 在波浪、地震及结构运动等不同周期循环荷载作用下，不同海床地基土体（碎石、砂土和软黏土等）的强度弱化、液化机理及其演化规律。

(2) 考虑循环荷载作用下海床地基土体（碎石、砂土和软黏土等）强度弱化、液化、液化后超孔隙压消散固结及再次液化过程的弹塑性本构模型。

(3) 在波浪、水流作用下，考虑渗流效应的不同海床地基（碎石、砂土和软黏土等）冲刷模型。

(4) 动力作用-海工结构-海床地基系统非线性动力分析的耦合数值模型及有效数值模拟方法。

(5) 动力作用-海工结构-海床地基系统承载特性研究的物理模型试验基础理论和试验技术。

风-浪-流和地震作用下海洋工程结构与海床地基系统的耦合响应机理的核心论文数为 40 篇（见表 1.1.1），核心论文的篇均被引数为 31.78。核心论文产出排名前 5 的国家为中国、澳大利亚、丹麦、英国和荷兰（见表 1.2.5），其中中国发表论文比例为 57.50%，是该前沿的最主要研究国家之一。篇均被引频次排名前 5 的国家为荷兰、美国、丹麦、英国和墨西哥，其中中国作者所发表的论文

篇均被引频次为 26.87，说明中国学者在该前沿的研究工作也逐步受到了关注。从排名前 10 的核心论文产出国家合作网络（见图 1.2.3）来看，中国、澳大利亚和英国间的合作相对频繁。

根据核心论文的产出机构情况（见表 1.2.6），该前沿排名前 5 的产出机构为澳大利亚的格里菲斯大学、丹麦技术大学、中国的河海大学、中国科学院和中国的上海交通大学。近年来，澳大利亚格里菲斯大学相关研究人员在波浪、水流作用下海床地基动力响应方面开展了深入系统的研究工作，丹麦

技术大学相关研究人员主要在波浪、水流作用下海底管线和直立桩周围海床冲刷方面开展了一些研究工作。从排名前 10 的核心论文产出机构合作网络（见图 1.2.4）来看，产出机构之间有着较为密切的合作关系。

施引核心论文产出前 5 的国家为中国、英国、澳大利亚、挪威和美国（见表 1.2.7），施引核心论文产出前 5 的机构为中国的河海大学、中国的上海交通大学、澳大利亚的格里菲斯大学、丹麦技术大学和中国海洋大学（见表 1.2.8）。根据论文的

表 1.2.5 “风-浪-流和地震作用下海洋工程结构与海床地基系统的耦合响应机理”工程研究前沿中核心论文的主要产出国家

序号	国家	核心论文数	论文比例	被引频次	篇均被引频次	平均出版年
1	中国	23	57.50%	618	26.87	2016.7
2	澳大利亚	19	47.50%	491	25.84	2016.8
3	丹麦	12	30.00%	458	38.17	2015.7
4	英国	10	25.00%	350	35.00	2016.5
5	荷兰	5	12.50%	230	46.00	2014.8
6	比利时	3	7.50%	80	26.67	2017.7
7	美国	2	5.00%	79	39.50	2014.0
8	土耳其	2	5.00%	33	16.50	2017.0
9	墨西哥	1	2.50%	28	28.00	2016.0
10	挪威	1	2.50%	17	17.00	2018.0

表 1.2.6 “风-浪-流和地震作用下海洋工程结构与海床地基系统的耦合响应机理”工程研究前沿中核心论文的主要产出机构

序号	机构	国家	核心论文数	论文比例	被引频次	篇均被引频次	平均出版年
1	格里菲斯大学	澳大利亚	16	40.00%	411	25.69	2016.8
2	丹麦技术大学	丹麦	12	30.00%	458	38.17	2015.7
3	河海大学	中国	10	25.00%	224	22.40	2017.6
4	中国科学院	中国	7	17.50%	241	34.43	2015.6
5	上海交通大学	中国	7	17.50%	185	26.43	2016.6
6	荷兰三角洲研究院	荷兰	5	12.50%	230	46.00	2014.8
7	布拉德福德大学	英国	5	12.50%	125	25.00	2017.6
8	浙江大学	中国	3	7.50%	54	18.00	2018.7
9	宁波大学	中国	3	7.50%	52	17.33	2017.7
10	邓迪大学	英国	2	5.00%	86	43.00	2014.5



图 1.2.3 “风-浪-流和地震作用下海洋工程结构与海床地基系统的耦合响应机理”工程研究前沿主要国家间的合作网络

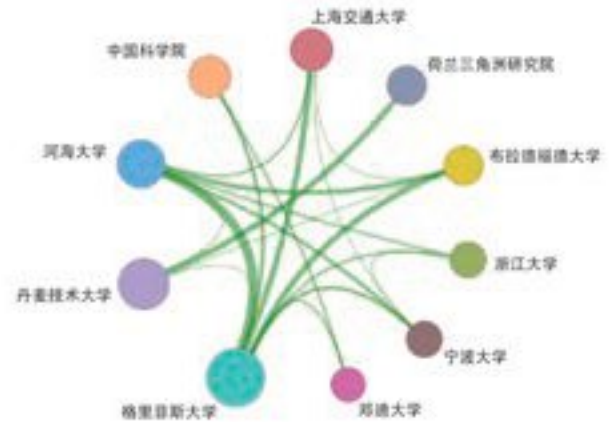


图 1.2.4 “风-浪-流和地震作用下海洋工程结构与海床地基系统的耦合响应机理”工程研究前沿主要机构间的合作网络

表 1.2.7 “风-浪-流和地震作用下海洋工程结构与海床地基系统的耦合响应机理”工程研究前沿中施引核心论文的主要产出国家

序号	国家	施引核心论文数	施引核心论文比例	平均施引年
1	中国	327	38.97%	2018.3
2	英国	109	12.99%	2018.0
3	澳大利亚	101	12.04%	2017.7
4	挪威	68	8.10%	2018.3
5	美国	62	7.39%	2018.2
6	丹麦	61	7.27%	2017.6
7	荷兰	27	3.22%	2016.7
8	意大利	25	2.98%	2018.5
9	法国	20	2.38%	2018.3
10	西班牙	20	2.38%	2017.7

表 1.2.8 “风-浪-流和地震作用下海洋工程结构与海床地基系统的耦合响应机理”工程研究前沿中施引核心论文的主要产出机构

序号	机构	国家	施引核心论文数	施引核心论文比例	平均施引年
1	河海大学	中国	70	17.07%	2018.4
2	上海交通大学	中国	60	14.63%	2017.8
3	格里菲斯大学	澳大利亚	52	12.68%	2017.9
4	丹麦技术大学	丹麦	41	10.00%	2017.4
5	中国海洋大学	中国	37	9.02%	2018.2
6	西澳大学	澳大利亚	32	7.80%	2017.3
7	中国科学院	中国	30	7.32%	2017.4
8	浙江大学	中国	26	6.34%	2018.6
9	大连理工大学	中国	24	5.85%	2017.8
10	挪威科技大学	挪威	20	4.88%	2018.2

施引情况来看，核心论文产出国排名前 5 的国家施引核心论文数也比较多，其中中国的发表论文数和施引论文数均排名第 1，说明中国学者对该前沿的研究动态保持比较密切的关注和跟踪。