

# 总 序

党的二十大胜利召开，吹响了以中国式现代化全面推进中华民族伟大复兴的前进号角。习近平总书记强调“教育、科技、人才是全面建设社会主义现代化国家的基础性、战略性支撑”<sup>①</sup>，明确要求到2035年要建成教育强国、科技强国、人才强国。新时代新征程对科技界提出了更高的要求。当前，世界科学技术发展日新月异，不断开辟新的认知疆域，并成为带动经济社会发展的核心变量，新一轮科技革命和产业变革正处于蓄势跃迁、快速迭代的关键阶段。开展面向2035年的中国学科及前沿领域发展战略研究，紧扣国家战略需求，研判科技发展大势，擘画战略、锚定方向，找准学科发展路径与方向，找准科技创新的主攻方向和突破口，对于实现全面建成社会主义现代化“两步走”战略目标具有重要意义。

当前，应对全球性重大挑战和转变科学研究范式是当代科学的时代特征之一。为此，各国政府不断调整和完善科技创新战略与政策，强化战略科技力量部署，支持科技前沿态势研判，加强重点领域研发投入，并积极培育战略新兴产业，从而保证国际竞争实力。

擘画战略、锚定方向是抢抓科技革命先机的必然之策。当前，新一轮科技革命蓬勃兴起，科学发展呈现相互渗透和重新会聚的趋

---

<sup>①</sup> 习近平. 高举中国特色社会主义伟大旗帜 为全面建设社会主义现代化国家而团结奋斗——在中国共产党第二十次全国代表大会上的报告. 北京：人民出版社，2022：33.

势，在科学逐渐分化与系统持续整合的反复过程中，新的学科增长点不断产生，并且衍生出一系列新兴交叉学科和前沿领域。随着知识生产的不断积累和新兴交叉学科的相继涌现，学科体系和布局也在动态调整，构建符合知识体系逻辑结构并促进知识与应用融通的协调可持续发展的学科体系尤为重要。

擘画战略、锚定方向是我国科技事业不断取得历史性成就的成功经验。科技创新一直是党和国家治国理政的核心内容。特别是党的十八大以来，以习近平同志为核心的党中央明确了我国建成世界科技强国的“三步走”路线图，实施了《国家创新驱动发展战略纲要》，持续加强原始创新，并将着力点放在解决关键核心技术背后的科学问题上。习近平总书记深刻指出：“基础研究是整个科学体系的源头。要瞄准世界科技前沿，抓住大趋势，下好‘先手棋’，打好基础、储备长远，甘于坐冷板凳，勇于做栽树人、挖井人，实现前瞻性基础研究、引领性原创成果重大突破，夯实世界科技强国建设的根基。”<sup>①</sup>

作为国家在科学技术方面最高咨询机构的中国科学院（简称中科院）和国家支持基础研究主渠道的国家自然科学基金委员会（简称自然科学基金委），在夯实学科基础、加强学科建设、引领科学研究发展方面担负着重要的责任。早在新中国成立初期，中科院学部即组织全国有关专家研究编制了《1956—1967年科学技术发展远景规划》。该规划的实施，实现了“两弹一星”研制等一系列重大突破，为新中国逐步形成科学技术研究体系奠定了基础。自然科学基金委自成立以来，通过学科发展战略研究，服务于科学基金的资助与管理，不断夯实国家知识基础，增进基础研究面向国家需求的能力。2009年，自然科学基金委和中科院联合启动了“2011—2020年中国学科发展

---

<sup>①</sup> 习近平. 努力成为世界主要科学中心和创新高地 [EB/OL]. (2021-03-15). [http://www.qstheory.cn/dukan/qs/2021-03/15/c\\_1127209130.htm](http://www.qstheory.cn/dukan/qs/2021-03/15/c_1127209130.htm)[2022-03-22].

战略研究”。2012年，双方形成联合开展学科发展战略研究的常态化机制，持续研判科技发展态势，为我国科技创新领域的方向选择提供科学思想、路径选择和跨越的蓝图。

联合开展“中国学科及前沿领域发展战略研究（2021—2035）”，是中科院和自然科学基金委落实新时代“两步走”战略的具体实践。我们面向2035年国家发展目标，结合科技发展新特征，进行了系统设计，从三个方面组织研究工作：一是总论研究，对面向2035年的中国学科及前沿领域发展进行了概括和论述，内容包括学科的历史演进及其发展的驱动力、前沿领域的发展特征及其与社会的关联、学科与前沿领域的区别和联系、世界科学发展的整体态势，并汇总了各个学科及前沿领域的发展趋势、关键科学问题和重点方向；二是自然科学基础学科研究，主要针对科学基金资助体系中的重点学科开展战略研究，内容包括学科的科学意义与战略价值、发展规律与研究特点、发展现状与发展态势、发展思路与发展方向、资助机制与政策建议等；三是前沿领域研究，针对尚未形成学科规模、不具备明确学科属性的前沿交叉、新兴和关键核心技术领域开展战略研究，内容包括相关领域的战略价值、关键科学问题与核心技术问题、我国在相关领域的研究基础与条件、我国在相关领域的发展思路与政策建议等。

三年多来，400多位院士、3000多位专家，围绕总论、数学等18个学科和量子物质与应用等19个前沿领域问题，坚持突出前瞻布局、补齐发展短板、坚定创新自信、统筹分工协作的原则，开展了深入全面的战略研究工作，取得了一批重要成果，也形成了共识性结论。一是国家战略需求和技术要素成为当前学科及前沿领域发展的主要驱动力之一。有组织的科学研究及源于技术的广泛带动效应，实质化地推动了学科前沿的演进，夯实了科技发展的基础，促进了人才的培养，并衍生出更多新的学科生长点。二是学科及前沿

领域的发展促进深层次交叉融通。学科及前沿领域的发展越来越呈现出多学科相互渗透的发展态势。某一类学科领域采用的研究策略和技术体系所产生的基础理论与方法论成果，可以作为共同的知识基础适用于不同学科领域的多个研究方向。三是科研范式正在经历深刻变革。解决系统性复杂问题成为当前科学发展的主要目标，导致相应的研究内容、方法和范畴等的改变，形成科学研究的多层次、多尺度、动态化的基本特征。数据驱动的科研模式有力地推动了新时代科研范式的变革。四是科学与社会的互动更加密切。发展学科及前沿领域愈加重要，与此同时，“互联网+”正在改变科学交流生态，并且重塑了科学的边界，开放获取、开放科学、公众科学等都使得越来越多的非专业人士有机会参与到科学活动中来。

“中国学科及前沿领域发展战略研究（2021—2035）”系列成果以“中国学科及前沿领域2035发展战略丛书”的形式出版，纳入“国家科学思想库-学术引领系列”陆续出版。希望本丛书的出版，能够为科技界、产业界的专家学者和技术人员提供研究指引，为科研管理部门提供决策参考，为科学基金深化改革、“十四五”发展规划实施、国家科学政策制定提供有力支撑。

在本丛书即将付梓之际，我们衷心感谢为学科及前沿领域发展战略研究付出心血的院士专家，感谢在咨询、审读和管理支撑服务方面付出辛劳的同志，感谢参与项目组织和管理工作的中科院学部的丁仲礼、秦大河、王恩哥、朱道本、陈宜瑜、傅伯杰、李树深、李婷、苏荣辉、石兵、李鹏飞、钱莹洁、薛淮、冯霞，自然科学基金委的王长锐、韩智勇、邹立尧、冯雪莲、黎明、张兆田、杨列勋、高阵雨。学科及前沿领域发展战略研究是一项长期、系统的工作，对学科及前沿领域发展趋势的研判，对关键科学问题的凝练，对发展思路及方向的把握，对战略布局的谋划等，都需要一个不断深化、积累、完善的过程。我们由衷地希望更多院士专家参与到未来的学

## 总 序

科及前沿领域发展战略研究中来，汇聚专家智慧，不断提升凝练科学问题的能力，为推动科研范式变革，促进基础研究高质量发展，把科技的命脉牢牢掌握在自己手中，服务支撑我国高水平科技自立自强和建设世界科技强国夯实根基做出更大贡献。

“中国学科及前沿领域发展战略研究(2021—2035)”

联合领导小组

2023年3月



# 前 言

资源与环境科学是以人地耦合的地球系统为核心研究对象，综合运用地球科学、化学、生物学、计算机科学、工程技术科学和社会科学等学科的知识和技术手段，研究在自然条件和人类活动影响下地球系统资源和环境的演变过程、相互关系及其调控原理，揭示地球系统资源的形成和演化规律、各类环境问题的发生发展规律及区域可持续发展规律的应用基础科学。资源与环境科学强调综合集成和交叉研究，为人类合理利用自然资源、加强生态建设和环境保护、推动实现可持续发展，提供了关键理论、方法和技术。

全球变化背景和生态文明建设为资源与环境科学发展提供了重要历史契机，资源与环境科学正在发生着深刻变革：研究内容从原本描述区域性的资源环境特征，转变为关注全球性的环境变化与人类福祉；研究主题从传统的资源环境格局向格局与过程耦合、可持续发展议题延展；研究方法、研究手段走向综合性、系统性与定量化。总的来说，资源与环境科学正在实现微观过程机理与宏观格局相结合，历史脉络把控与未来情景预测相结合，呈现出丰富繁多的发展趋势。2021～2035年是我国迈向社会主义现代化强国的关键时期。其间，资源与环境科学领域应面向国家重大战略需求，聚焦重大资源、环境与灾害问题，深化学科交叉，强化理论与技术创新，为国家生态文明建设与可持续发展做出新的重要贡献。

为推动资源与环境科学发展、服务国家重大战略需求，国家自然科学基金委员会、中国科学院于2020年启动了学科发展战略研究项目“资源与环境科学发展战略研究（2021—2035）”。该项目旨在探索资源与环境科学内在发展规律和特点，系统梳理和分析学科发展态势，提炼重大科学问题，提出学科发展方向与布局，形成推动学科发展的政策建议。项目研究过程中，项目组在系统分析资源与环境科学内涵，研究资源与环境科学总体发展战略的基础上，以“水、土、气、生、矿、人”等地球系统要素和观测技术为基本框架，划分了水循环与水资源、土壤与土地科学、油气与煤化石能源资源、矿产资源、气候变化影响与适应、生态系统科学、环境科学与技术、区域可持续发展、自然灾害风险、遥感与地理信息十个学科领域，开展分支学科或前沿领域的发展战略研究。

项目研究期间，项目组通过召开工作组会议、学术研讨会、出版资源与环境科学前沿进展专辑等多种方式和途径，组织专家学者开展学科发展战略研讨。来自中国科学院生态环境研究中心、北京师范大学、中国科学院地理科学与资源研究所、中国科学院南京土壤研究所、中国地质科学院地质研究所、中国科学院城市环境研究所、中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所、中国科学院兰州文献情报中心、清华大学、北京大学、复旦大学、武汉大学、厦门大学、长安大学、中国地质科学院地球深部探测中心、中国科学院地球化学研究所、中国科学院地质与地球物理研究所、中国科学院广州地球化学研究所、中国科学院过程工程研究所、中国科学院沈阳应用生态研究所、中国农业科学院农业资源与农业区划研究所、中国石化石油勘探开发研究院、核工业北京地质研究院、南京大学、中国农业大学、南京农业大学、河南大学、浙江大学、西南大学、中国地质大学（北京）、中国地质大学（武汉）、华南农业大学、华中农业大学、青海师范大学、沈阳农业大学、西北农林科技大学、

自然资源部第一海洋研究所、中国极地研究中心等单位从事资源与环境科学研究的 200 余位专家学者参与了本书撰写。本书部分观点或内容已发表于《地理与可持续性》(*Geography and Sustainability*) 2021 年的资源与环境前沿进展专辑。

全书首先从学科整体出发,论述资源与环境科学的基本内涵与战略价值、发展规律与研究特点、发展现状与发展态势,明确了学科发展总体布局,提出了学科发展思路与发展方向;在此基础上,分别从水循环与水资源、土壤与土地科学、油气与煤化石能源资源、矿产资源、气候变化影响与适应、生态系统科学、环境科学与技术、区域可持续发展、自然灾害风险、遥感与地理信息十个方向,明晰了各分支学科或前沿领域的发展战略。全书紧扣国际前沿科学问题和社会发展的重大需求,力图从学科发展战略层面展现当代资源与环境科学的前沿方向,以期服务学科发展和人才培养需求。

全书分为十二章,各章撰写人员如下:第一章为傅伯杰、吕一河、赵文武、刘焱序、王聪、李长嘉、姜维、尹彩春;第二章为夏军、杨大文、杨雨亭、汤秋鸿、刘俊国、熊立华、田富强、王磊、秦伯强、袁星、缪驰远、宋进喜、杨涛、徐宗学、刘家宏、郭庆军、高扬、李小雁、赵建世、程丹东、张赐成;第三章为张佳宝、张甘霖、李保国、骆永明、沈其荣、孙波、颜晓元、陈新平、傅声雷、黄巧云、焦硕、彭新华、仇荣亮、史舟、史志华、宋效东、滕应、王秋兵、汪景宽、韦革宏、韦中、吴华勇、吴文斌、吴克宁、徐建明、杨飞、张旭东、赵永存;第四章为金之钧、彭平安、郝芳、邹才能、杨树锋、代世峰、秦勇、王云鹏、张水昌、刘文汇、刘全有、邱楠生、胡文瑄、朱东亚、王晓梅、王华建、陈汉林、张立飞、刘池阳、黄雷、韩作振、刘可禹、何治亮、罗晓容、庞雄奇、操应长、刘华、朱伟林、解启农、孙卫东、马峰、董宁、黎茂稳、田辉、腾格尔、张旺;第五章为翟明国、胡瑞忠、蒋少涌、王汝成、李建威、

王焰、陈华勇、杨志明、吕庆田、齐涛、石学法、李院生、刘建明、李子颖、祝禧艳；第六章为张人禾、吴绍洪、效存德、孙颖、王林、王开存、吴统文、江志红、陈显尧、蔡榕硕、刘小莽、周广胜、孙松、杨林生、郑循华、姜克隽、张继权、马欣、吴建国、何春阳、苏勃；第七章为于贵瑞、朴世龙、刘玲莉、牛书丽、彭建、张扬健；第八章为陶澍、朱永官、朱东强、毕军、阚海东、骆永明、应光国、曾永平、赵方杰、祝凌燕、陈伟强、瞿晓磊、郑煜铭；第九章为吕永龙、樊杰、刘彦随、刘俊国、苑晶晶、宋帅、于名召、蔡永立、陈伟强、陈雯、陈亚宁、程和发、方创琳、冯起、韩广轩、贺桂珍、刘竹、龙华楼、吕一河、史雅娟、严重玲、张平宇、张文忠、仲伟俊；第十章为崔鹏、彭建兵、史培军、唐辉明、欧阳朝军、葛永刚、李长冬、刘连友、何思明、陈晓清、邹强、胡凯衡；第十一章为周成虎、龚建雅、裴韬、刘瑜、黄昕、张立强、董卫华、秦承志、苏奋振；第十二章由秘书组在集成分支学科与前沿领域政策建议的基础上完成。文献计量分析部分由曲建升、郑军卫、吴秀苹、董利苹、刘文浩、刘燕飞、裴惠娟、曾静静、刘莉娜、刘文浩、牛艺博完成。全书由傅伯杰统稿。此外，赵文武、王帅、刘焱序、李琰、詹天宇、陈泓文、龚学敏、侯焱臻、尹彩春等参与了书稿资料的整理与校对工作。

资源与环境科学是一门富有综合性、交叉性和实践性的快速发展学科，覆盖知识浩瀚如海，而作者水平有限，书中不足之处敬请读者批评指正。



“资源与环境科学发展战略研究（2021—2035）”项目组组长

2022年10月

# 摘 要

## 一、资源与环境科学的科学意义与战略价值

资源与环境科学是资源科学与环境科学高度交叉融合的学科，由水循环与水资源、土壤与土地科学、油气与煤化石能源资源、矿产资源、气候变化影响与适应、生态系统科学、环境科学与技术、区域可持续发展、自然灾害风险、遥感与地理信息等一系列分支学科或研究领域组成。资源与环境科学研究可为推动其他相关学科和技术的发展、实施国家科技发展规划及其他科技政策战略提供重要支撑。

资源与环境科学的科学意义与战略价值主要表现在以下五个方面。

1) 服务于资源高效利用与区域协同发展。全球经济社会的快速发展以及人口增长，使得人地矛盾进一步激化。自然资源约束尤其是水土资源约束是区域发展不平衡的重要原因之一。基于区域资源环境承载能力，资源与环境科学通过协调国土生产、生活和生态空间格局，应对水土资源短缺等问题，为自然资源高效利用与区域协同发展提供基础支撑。

2) 服务于气候变化适应、生态保护与生态安全。气候变化及其

导致的生态风险提升是全球面临的科学挑战，其影响是多尺度、全方位、多层次的。资源与环境科学通过明确过去和未来气候变化的趋势和驱动因素，应对复杂多变的气候系统，提高生态系统的适应能力并降低其脆弱性，为农业、生态、社会 and 环境的可持续发展提供科学指导。

3) 服务于环境保护、环境安全与健康。环境问题涉及水、土、气、生、矿等多种要素与过程，与人类社会经济活动和身体健康息息相关。社会经济活动又有可能导致资源错配、产生环境问题。资源与环境科学通过研究环境污染发生机制、检测与监测、迁移转化过程与机制、生态与健康效应、系统模拟、风险分析和管控、削减控制和系统修复的应用基础理论、方法学和管理策略，为人类健康提供重要安全保障。

4) 推动我国生态文明建设与可持续发展。2035年我国将基本实现社会主义现代化，将广泛形成绿色生产生活方式，碳排放达峰后稳中有降，生态环境根本好转，美丽中国目标基本实现。生态文明是可持续发展的最终成果，作为资源与环境科学重要组成部分的可持续发展研究为我国推进生态文明建设、实现人与自然和谐共生的现代化提供了全面指引。

5) 科学支撑全球命运共同体建设。人类命运共同体的建设有赖于全球不同国家和地区对生态环境良性运转、社会经济稳定发展的维持。基于资源与环境科学基本原理，中国积极落实联合国“2030年可持续发展议程”，引导应对气候变化国际合作，促进全球发展更加包容、更可持续。

## 二、资源与环境科学的研究特点、发展规律和发展趋势

资源与环境科学具有广泛的科学、技术和管理内涵，其总体内

涵表现为资源与环境科学是以人为中心的“大科学”。一方面，人类不合理开发自然资源，使人类活动影响下的自然资源产生错配，是引发环境问题的根源；另一方面，人类通过合理改造自然环境，协调人地关系，改善资源与环境，是走向可持续发展的基本途径。以人为中心的“大科学”的研究特点，主要体现在理论方法、研究主题、研究对象、研究途径、决策支持、技术方法六个方面。

1) 理论方法源于多个学科，具有综合性和交叉性。资源与环境科学以地理信息、测绘遥感为主要技术支撑，以水、土、气、生、矿、人为核心研究对象，揭示人地系统关系及其环境、灾害效应，为区域和全球可持续发展服务。资源与环境科学强调综合集成和交叉研究，推动了系列新兴学科、交叉学科和跨学科的发展。资源与环境科学借助综合理论和模型，将一般到个别的演绎和个别到一般的归纳相结合，发挥学科交叉优势，在指导资源环境管理的实践过程中充分展现出其综合性优势。

2) 研究主题面向国家需求，具有应用性和紧迫性。当前，全球许多区域生态系统呈现出由结构性破坏向功能性紊乱演变的发展态势，生态系统更不稳定，生态系统服务功能下降，生态风险加剧。我国环境容量有限，生态系统脆弱，污染重、损失大、风险高的生态环境状况还没有根本扭转，独特的地理环境加剧了地区间的不平衡。面向国家生态文明建设战略需求，提升我国资源与环境科学研究的实践应用能力具有时代紧迫性。

3) 研究对象存在于不同尺度，具有系统性和复杂性。资源环境要素和过程是全球性的也是区域性的，是一个等级嵌套的整体，具有多尺度特征。任何特定的资源环境管理都要与特定的人地系统特点相匹配，全球性的评估不能够满足国家和区域尺度决策者的需要。不同尺度上的资源环境过程都可以与更大和更小尺度上的资源环境过程产生关联，呈现出系统性结构。尺度关联和尺度转换也是资源

与环境科学领域研究的难点，具有高度复杂性。

4) 研究途径受益于技术进步，具有阶段性和动态性。不同历史时期的技术条件会对资源与环境科学的研究范式和成果产生重要的影响。早期的研究范式是描述性的，主要介绍植被、土壤、河流、山川、工矿、城市等自然资源的分布。当前阶段的资源与环境科学研究需求是把格局和过程耦合起来。在技术进步的推动下，未来资源与环境科学研究将进入对复杂人地系统和可持续发展系统的模拟，进而为决策提供更准确的科学依据。

5) 决策支持需要因地制宜，具有区域性和多样性。经济发展与资源稀缺和环境恶化之间相互作用的复杂性，致使人们很难找到一条普适的应对途径。为了使环保政策的激励机制更加公平、公正、有效，人们必须认识并且推行多样化的资源环境保护方式，通过资源的可持续利用、保护生物多样性和生态系统平衡、适应气候变化等方式来实现保护与发展的双赢。

6) 观测与模拟技术方法快速发展，具有实时性和预判性。联网实时观测与数据同化技术的发展，提高了资源与环境要素和过程的模拟预测精度，大数据、人工智能、机器学习等新技术在资源与环境领域的应用，使得模拟自然过程、社会经济活动乃至人的行为模式影响下全局与局部要素之间相互作用演化过程成为可能，资源与环境过程模拟技术的快速发展为各领域方向的决策制定提供了更精准的依据。

目前，资源与环境科学已形成独特的发展规律，主要体现在学科发展、学科方向、学科分支、研究范式、研究对象、国家战略六个方面。

1) 资源与环境问题驱动学科发展。随着人类活动对自然系统作用的增强，地球进入“人类世”，人类活动显著改变了自然与环境的相互作用关系，并且这种改变呈现加速的趋势，增加了全球跨尺度

系统性生态环境风险，并对区域社会经济发展带来负面影响。当前与未来阶段世界及区域面临的重大环境资源问题直接驱动资源与环境科学理论与方法的创新发展。

2) 国际科学计划引领学科方向。对于区域及全球性的重大资源与环境问题，由政府组织、科研机构等联合发起的重大研究计划的设立可以整合多学科方向，开展跨方向、跨领域的融合研究，契合资源与环境科学高度交叉的学科属性。目前，围绕气候变化、生物多样性、土地利用变化、全球环境变化、可持续发展等所开展的一系列重大国际科学计划，引领了资源与环境科学发展的研究方向。

3) 学科交叉融合催生新的分支。当前全球及国家、区域尺度上面临的粮食安全、水安全、生态安全、能源安全等一系列资源与环境问题，存在多个相互关联尺度上的动态反馈循环，多学科、多尺度、多要素的集成研究已成为解决复杂资源与环境问题的必然要求，学科交叉融合驱动了资源与环境科学发展，并衍生了新的学科分支方向，如生态水文学、社会水文学、土壤生物学、水文土壤学、环境信息学、社会地质学、城市灾害学、可持续性科学等。

4) 技术进步驱动研究范式变迁。地球表层系统是由多个要素、多个子系统组成的复杂系统，精细同步、全面系统、定量联网的实时观测技术，为研究多圈层相互作用规律及驱动机制提供了数据支撑，为圈层相互作用模拟提供了数据基础。地理信息、测绘遥感、计算机、大数据等技术推动了资源与环境科学由定性和统计分析为主向模拟预测发展，技术进步驱动了学科研究范式的变迁。

5) 学科研究对象根植于自身土壤。水土气污染治理、国土空间生态修复和增值增效、生态脆弱区生态安全调控、应对气候变化和绿色低碳发展、综合风险防范、区域协调及可持续发展途径已成为当前资源与环境科学的重要研究对象。我国地理跨度巨大，生态系统类型多样，人类活动影响显著，为资源与环境科学综合研究提供

了广阔的研究场所。气候变化、人口激增、经济高速发展、城市快速扩张、工业化进程加速、能源与资源大量消耗等带来一系列资源与环境问题，为我国资源与环境科学的发展提供了最佳研究对象。

6) 国家战略提供重大发展契机。我国整体资源与环境承载力已经达到或者接近上限，同时也进入了有能力有条件解决资源与环境问题的关键时期。我国围绕区域经济发展、生态文明建设等实施的系列国家重大发展战略，为我国资源与环境科学的发展提供了重大发展契机，也在科学认知及政策服务方面对资源与环境科学提出了更高的要求。

近年来，资源与环境科学研究内容、研究主题、研究方法、研究手段均发生明显变化，主要表现在以下五个方面。

1) 研究视角注重统筹兼顾、全域协调。资源与环境是包括自然、建筑、经济、文化等因素的综合空间和功能实体，资源与环境科学研究需要将地圈、生物圈的组分和过程加以整合。近年来的资源与环境研究逐渐关注系统的综合属性，强调层次嵌套和时空延展性，集成众多学科理论与知识，解构人类与环境的交互作用，对其耦合关系及其时空特点做出系统阐释。

2) 研究目标转向人地耦合，服务于可持续发展。资源与环境科学研究将人类及其活动视作人地耦合系统的重要内容，把人类感知、价值观、文化传统及社会经济活动与自然科学研究结合，强调用系统学的观点把人文系统与自然系统联系起来，深入揭示资源环境与区域发展要素相互作用的内在机理，并构建不同情景模拟下的区域发展与响应机制，服务于全球、国家和区域可持续发展。

3) 研究方法的系统性和综合性。资源与环境涉及多种复杂系统，聚现特征、相变以及阈值或临界行为是各类系统作为空间异质非线性系统所具有的普遍特征。目前，资源与环境系统研究更多地从系统整体出发，发展结合一般到个别的演绎方法和个别到一般的

归纳方法的综合研究方法，并尝试进行系统模拟。

4) 学科研究的交叉性和应用性。资源与环境科学强调系统等级结构和多尺度研究，突出空间结构和生态过程在多个尺度上的交互作用，关注大尺度上的人类活动对自然系统的影响，强化人地系统和可持续发展的科学理念。无论是从时空尺度看还是在组织水平上，资源与环境科学研究所跨越的学科范围广泛，研究的具体内容广泛，常涉及不同组织层次的格局和过程及其在不同时空尺度上的关系，因此需要多学科交叉，以及基础研究与应用实践相结合。

5) 研究方式的广泛国际合作。在资源与环境科学研究国际影响力上，中国学者逐渐从“跟跑”走向“并跑”。随着海量地理信息数据的储存与共享，全球长期监测计划、重大研究计划、国际合作计划、国际大科学计划之间的相互配合势必更加密切。要实现我国资源与环境科学的快速发展必须加强国际合作与交流，实现平台共建、信息共享、人才共育，进一步体现其在国际竞争中的科学地位和作用。

### 三、资源与环境科学的关键科学问题和重点方向

根据资源与环境科学的研究特点、发展规律和发展趋势，凝练出 10 个学科领域方向的关键科学问题。

1) 水循环与水资源领域关键科学问题包括：全球变化下陆地水循环演变机制、极值特征和可预测性；气候-生态-水文耦合机理，极端气候条件下生态水文过程与水旱灾害的相互作用；流域生态水文过程、生物地球化学过程、社会经济过程之间的耦合与集成；人-水耦合系统与水资源可持续利用；水-粮食-能源-生态环境之间的耦合互馈关系与流域综合管理。

2) 土壤与土地科学领域关键科学问题包括：多尺度土壤时空变

异及其表征；土壤污染过程、作用机制及生物效应；土壤环境质量演变与食品安全、生物健康的内在关系；作物根系生长的适宜物理状况及土壤-植物-大气连续体系统水分/养分运输模拟；土壤养分库增容与养分循环过程的耦合机制；土壤有机质驱动土壤生产力形成的机制及有机质提升目标和途径；土地系统认知与时空演变机制；土地利用对生态环境的影响；国土空间优化与资源要素耦合机理；土地资源安全、耕地质量提升和土壤健康环保等多元目标的协同与权衡。

3) 油气与煤化石能源资源领域关键科学问题包括：全球大陆聚合裂解及多重构造应力作用下盆-山耦合、含油气盆地形成与演化机制；含油气盆地沉积-成岩-改造过程与源-储-盖发育机制及分布规律；地球各圈层相互作用及高温高压条件下物质和能量传输-转换动力学与油气生成-运移-聚集成藏与保存机制。

4) 矿产资源领域关键科学问题包括：地球多圈层成矿元素循环机制；巨量成矿物质聚集机制；找矿模型与勘查技术；矿产资源高效、清洁、循环利用技术的相关理论基础。

5) 气候变化影响与适应领域关键科学问题包括：气候系统一体化观测技术、气候变化尤其极端事件的检测与归因、更先进的地球系统模型研发，提高预测预估能力；气候变化与自然系统和社会经济系统的多尺度和多过程耦合机制及其致灾与致利影响；气候变化减缓与适应策略；具有气候恢复力的可持续发展路径。

6) 生态系统科学领域关键科学问题包括：生态系统稳态维持和可持续的系统动力学机制；全球环境变化和人为活动等多重因素驱动下的生态系统演变规律；生态系统变化对地球环境系统的反馈、调节和影响机制；生态系统对人类社会的可持续发展的支撑作用。

7) 环境科学与技术领域关键科学问题包括：污染物迁移转化机制；污染物区域环境过程；污染物生态毒理效应；污染物环境暴露

与健康；污染物分析与监测；污染物控制与削减；受污染环境修复；环境系统模拟与风险管理。

8) 区域可持续发展领域关键科学问题包括：全球可持续发展目标及其中国实践的理论与方法学；全球环境变迁的区域响应；可持续城镇化与乡村振兴的协调发展；水-土地-能源-粮食-材料的关联关系与调控机制；资源型城市/地区转型发展与可持续生计；特大城市与城市群发展的生态环境效应与综合治理；经济发展的环境效应及其自然承载能力的时空演化；陆基人类活动对海岸带生态系统的影响；典型流域/区域的环境与发展问题；区域社会生态与可持续发展模式。

9) 自然灾害风险领域关键科学问题包括：多圈层相互作用孕灾机制与风险源判识；内外动力耦合灾变机制；自然灾害演化规律与复合链生机理；灾害风险时空演进规律；灾害风险综合管理理论与机制；人与自然和谐的韧性社会模式构建；灾害精准感知与智能监测技术；自然灾害精准预测预报预警技术；灾害风险精细化动态评估技术；重大灾害风险综合防控技术；高效应急救援技术与专业装备；灾后恢复与重建关键技术。

10) 遥感与地理信息领域关键科学问题包括：复杂地理系统的表达、分析、模拟和预测；地理时空大数据管理、分析和决策的高效智能化；地理时空信息服务的社会化和大众化；资源环境动态监测关键技术。

资源与环境科学具有广泛的科学、技术和管理内涵，解决上述关键问题的根本在于推动学科发展、核心在于加强人才培养、导向在于服务国家需求、保障在于提升支撑能力，以上四个方面构成了推动学科发展布局的总体思路，体现为以下四个资源与环境科学发展的重点方向。

1) 深化学科交叉。以陆地表层系统及其形态、过程、功能和演

化作为纽带，扩大各分支学科的研究深度，充分深化它们之间的关联和交叉，从而解析全球变化影响下多尺度、多过程的人地系统耦合机制，提高资源利用效率，服务于国家发展战略。

2) 面向重大环境与灾害问题。加强环境污染治理能力和灾害风险应对能力是人类社会的当务之急。资源与环境科学应充分发挥其在环境与灾害问题方面的显著优势，以提供环境污染治理与修复方案，发展灾害风险预警、防范与应急管理模式，从而推动生态文明建设。

3) 服务全球与区域可持续发展。联合国可持续发展目标涵盖自然环境、基础条件、人类福祉等多个方面，其中气候、土壤、水资源、能源、生物多样性等皆是资源与环境科学的核心研究内容。我国资源与环境科学的未来发展应立足于全球可持续发展目标，创新区域可持续发展模式，并为全球与区域可持续发展提供中国方案，推动建设人类命运共同体。

4) 突破“卡脖子”技术。面向资源环境要素和过程的全面监测、评估、模拟、预测技术需求，高质量数据观测和复杂系统模型可以捕获不同自然过程、人类活动及其结果之间的相互作用和机制，是应对气候变化和环境问题不可或缺的决策支持工具。将资源环境大数据、基于过程的模型与机器学习相结合，扩展技术方法，将提高资源与环境科学不同领域的决策和管理支持能力。

#### 四、资源与环境科学未来发展的政策建议

在资助机制方面，建议从支持领域、数据平台、评价机制、资助结构四方面提供资源与环境科学发展的政策支持。

1) 面向国家需求，突破瓶颈问题，优化资助支持领域。资源与环境科学发展应以社会经济发展需求为指引，充分发挥国家自然

科学基金等的引导作用，凝练制约我国经济和社会可持续发展的重大关键科学问题，加强研究成果对社会、经济和生态效益等方面的支撑能力。通过顶层设计，找准学科定位，凝练战略重点，明确优先资助领域，制订重大资源与环境研究计划，构建符合资源与环境科学知识体系内在逻辑结构且与科学前沿和国家需求相结合的学科布局。

2) 加强对数据平台支撑方向的支持力度，建立组织协调机制。加强支持定量研究的基础数据信息搜集工作，逐步建立包括水、土地、能源、生物多样性等基础资源数据，以及人口、城市化、产业结构、气候信息等因素与技术和管理理念在内的综合数据库；加大对关键要素监测、过程模拟、平台建设等方向的支持力度。建立长期稳定的支持机制。

3) 完善资助评价机制，建立信用档案，提供合理“容错”空间。随着我国资源与环境科学的发展，部分方向的研究工作逐渐从过去跟踪型研究向开创型、引领型研究转变。因此，要完善资助评价机制，在项目申请评审中突出创新性，加大具有潜在开创性、引领性项目的资助力度，切实提升培育重大原创成果的能力，夯实创新发展的源头。在项目结题评审中，建立信用档案，提供合理“容错”空间。

4) 改善资助结构，促进学科交叉研究。项目组织形式上既要鼓励科学家自由选题，开展探索性研究，又要根据国际科学发展的动态和我国实际情况，通过国家相关的资助机构，加强系统设计，围绕总体目标开展系统性研究。采取项目群体资助、科研补助、学科交叉和指定/竞争立项方式等的资助机制与政策，加强对学科交叉问题研究特别资助的机制。组织多学科和跨学科综合研究计划，促进学科的交叉和融合，在解决国家需求的同时培养新的学科增长点。

在人才队伍建设方面，建议从全谱系、多元化、分类型三方面

提供资源与环境科学发展的政策支持。

1) 完善全谱系人才支持体系, 拓展人才项目年龄限制。针对人才发展学科广泛性、路径多样性等特征, 完善稳定支持机制, 对不同年龄段优秀人才实行全谱系支持, 为各年龄段人才施展才华、探索创新提供舞台, 尤其是考虑对优秀博士研究生和 45 周岁以上中年人才的项目支持。

2) 建设多元化、区域化、国际化人才梯队。资源与环境科学的基本特点是空间异质性, 不同研究区域的自然禀赋、气候条件、社会经济发展差异导致面临不同的资源环境问题, 建议完善区域人才资助, 稳定资助重点区域的多元化人才队伍, 并吸引国外优秀人才来中国长期工作, 推动建设区域化、国际化人才梯队。

3) 分类培养人才, 建立技术研发与支撑人员的资助体系, 注重学科交叉人才培养。资源与环境科学领域强调综合集成与交叉研究, 涉及自然科学、社会科学、管理科学、工程科学等多学科领域, 对人才的综合素质要求很高。建议通过顶层设计, 在从基础理论、方法技术、工程示范到监管政策链条式的科技专项、重点项目和重大项目为重点资助宏观框架下, 开展交叉型领军人才或团队项目在多层次项目计划中的部署, 并设立基础教育人才培养特别资助项目; 支持多学科融合, 探索人才基地建设。

在科研平台建设方面, 建议从资源共享、协同观测、信息平台、决策支持、专家智库五方面提供资源与环境科学发展的政策支持。

1) 建立资料与基础研究设施共享机制。基础研究设施是进行高水平科学研究的基本条件。建议健全资源与环境科学数据与资料共享机制, 建立大型仪器委托管理中心与大型公共模拟实验室。建立信息网络研究基础设施, 支持大规模研究实验平台建设和使用, 加强科研数据库和工具库等资源共享。

2) 整合长期定位观测站点, 建立协同观测网络。建议围绕国家

和各生态功能区的突出问题，通过科学的顶层设计和规划，整合和联合区域内多个研究站点，在研究设计、研究方法、数据监测和共享等方面形成统一的规范和体系，建立国家尺度的“天-空-地”一体化、观测-实验-模拟三位一体、多尺度-多要素-多过程协同观测网络。

3) 构建大数据信息平台。鼓励新技术应用和技术创新，加强观测与实验平台建设，根据研究领域的特点、重大需求和国家重大工程建设，增强原始数据的采集能力和水平，提升数据采集的精度。大力扶植大数据、人工智能、物理模拟与数值模拟技术应用开发，构建数值模拟软件、大数据和人工智能融合平台，为重大基础理论突破和应用需求提供科技支撑。

4) 推动创建耦合模型与决策支持平台。重点关注我国具有自主知识产权的社会-经济-自然耦合模型及决策支持平台的创建，创新全面集成网格化管理、多源大数据融合、视频识别分析、环境治理多场景动态感知物联网等技术，实现区域生态保护与环境治理的智能化管控。完善多级信息数据间的相互关联以及生态环境数据交换共享与保密机制，实现国家、省、市、县（区）政府、生态环境部门及科研院所互联互通、实时共享和成果共用。

5) 建设国家资源与环境科学专家智库。推动建设集中统一、标准规范、安全可靠、开放共享的国家地理信息科学数据库和资源与环境科学专家智库，及时补充高层次专家，细化专家领域和研究方向，更好地满足项目评审要求，严格项目成果评价验收，加强国家科技计划绩效评估。

在国际交流合作方面，建议从全球性议题对话、主导国际重大研究计划、国际联合资助、国际科技合作政策、“一带一路”科技合作、国际人才合作网络、协同科研管理机制七方面提供资源与环境科学发展的政策支持。

1) 科技创新政策的制定者、科研机构、高校及科学家应积极参与到全球性议题对话与研究中,提高国际影响力和话语权。应对全球重大挑战,是当前主要国家开展国际科技合作的主要动因之一。这包括围绕联合国可持续发展目标,在可持续经济发展、农业与食品安全、能源、水资源、气候变化、减贫等领域推进全球科技合作;也包括多国合作资助、运用大科学设施和设备、围绕关键议题共同开展大规模合作研发。

2) 以国家自然科学基金委员会为依托,拓展国际合作研究项目,主导国际重大研究计划。全球环境变化数据经常涉及全球各个主要国家甚至所有国家,而目前国际项目的形式很难做到多国共同参与。应当鼓励国际资源与环境科学的多边合作,明确国际政治形势对资源与环境科学研究的正负效应,促进国内学界理解国际环境变化带来的人地关系变迁,在未来政治多极化、贸易全球化、学术国际化的形势下,为我国资源与环境科学发展营造良好的国际环境。

3) 通过双边、多边联合资助机制,围绕“共同兴趣”,推进实质性国际科研合作。发展阶段与合作能力的提升要求我国站在更高的起点开展“以我为主”的国际科技合作,今后要依托双边、多边联合资助机制,进一步加强对国际科技合作的支持,持续加大我方投入力度,推动开展体现“我方需求”的实质性国际科技合作。

4) 针对不同合作主体,构建和实施差异化的国际科技合作政策与机制。我国与发达国家、主要发展中国家所开展的科研合作需要进行精细化布局,针对不同国别、区域确定差异化合作策略和机制,在特定研发领域和阶段与不同类型的创新主体开展差别化的国际科技创新合作,有效提升合作效率和效益。

5) 以“一带一路”为纽带,激励国际前沿创新。结合我国优势领域,积极与共建“一带一路”国家开展国际合作项目,扩大我国资源与环境科学研究成果的影响力,并将技术应用服务于共建“一

带一路”国家。建议优先支持瞄准世界科学前沿和国家重大战略需求的项目，并依托项目建立中外联合实验室与联合研究中心。

6) 鼓励人才交流，强化国际合作网络建设。通过国际合作项目促进国内外人才的相互访问和交流，提高国内人才的创新和探索能力，发挥国际及国内人才各自的优势，形成合力机制。利用项目渠道向中国学生和青年研究人员提供国际合作研究与培训机会，培养全球视野和全球科技活动参与能力，强化国际合作的人才培养与合作网络建设功能。

7) 建立有效协同科研管理机制，精准发力，推动资源配置的科学性。资源与环境科学领域国际科研合作属于交叉管理领域，需要多个职能部门特别是外事部门和科研管理部门的通力合作。科研管理部门比外事部门更了解学科优劣势和研究领域，但是由于项目多、任务重，无法给予国际科研合作较多的关注。因此，亟待建立有效的联合管理机制，提升管理专业性和资源配置的科学性。



# Abstract

Resources and environmental science takes the human-earth coupled earth system as the core research object, and comprehensively uses the knowledge and technology of earth science, chemistry, biology, computer science, engineering technology science and social science to study the evolution, interrelationship and regulation principle of earth system resources and environment under the influence of natural conditions and human activities. Resources and environmental science aims to reveal the formation and evolution of earth system resources, the occurrence and development of various environmental problems, and the principle of regional sustainable development. Resources and environmental science emphasizes comprehensive, integrative, and interdisciplinary studies, and provides key theories, methods and technologies for human beings to rationally utilize natural resources, strengthen ecological construction and environmental protection, and achieve sustainable development.

Resources and environmental science is a highly integrated discipline originating from resources science and environmental science, consisting of a series of sub-disciplines including water cycle and water resources, soil and land resources, oil, gas and coal fossil energy resources, mineral resources, climate change impact and adaptation, ecosystems, environmental science and technology, regional sustainable development, natural disaster risk, remote sensing, geographic information science and

technology. These fields together form a disciplinary system of resources and environmental science, which can be divided into resources science, environmental science, regional sustainable development, and remote sensing and GIS technology, etc. Resources and environmental science research provides important support for promoting development of other related disciplines and technologies, implementing national science and technology development plan and other science and technology policy goals. The strategic value of resources and environmental science is mainly manifested in five aspects: ① serving the efficient use of resources and the regional coordinated development; ② serving climate change adaptation, ecological protection, and ecological security; ③ serving environmental protection, environmental safety, and health; ④ promoting the ecological civilization construction and sustainable development strategy of China; ⑤ supporting the construction of a global community with a shared future.

Resources and environmental science has a wide range of scientific, technological, and management connotations. Its overall connotation is that resources and environmental science is a human-centered “big science”. On one hand, the excessive exploitation of natural resources by human beings causes a mismatch for natural resources, which is the root cause of environmental problems. On the other hand, rationally transforming the natural environment and coordinating human and nature to improve resources and the environment are the basic ways towards sustainable development. The research characteristics of human-centered “big science” are mainly reflected in six aspects: ① theoretical methods originate from multiple disciplines and are comprehensive and interdisciplinary; ② the research topic is oriented to national needs, aiming for application and urgency; ③ the research objects exist at different scales with systematic and complex features; ④ the research approach benefits from technological progress and has phased and dynamic

features; ⑤ decision support needs to be localized, regional, and diversity; ⑥ the rapid development of observation and simulation technologies and methods provides more real-time and predictive bases for decision-making.

At present, the discipline of resources and environment has formed a unique development law, which is mainly reflected in six aspects: ① resources and environmental issues drive the development of disciplines; ② the international science program leads the direction of the discipline; ③ interdisciplinary integration has spawned new branches; ④ technological progress drives the change in research paradigm; ⑤ subject research objects have their own roots; ⑥ the national strategy provides a significant opportunity for development.

In recent years, the research on resources and environmental science has changed from describing the characteristics of regional resources and environment to focusing on global environmental changes and human well-being. The research methods are becoming comprehensive, systematic and quantitative, and are realizing the combination of the micro-process mechanism and the macro-pattern, the historical context control and future scenario prediction, showing a variety of development trends, mainly manifested in the following five aspects: ① the research perspective toward overall planning and overall coordination; ② the research goal turns to human-land coupling to serve sustainable development; ③ systematic and comprehensive research methods; ④ interdisciplinary research and application; ⑤ extensive international cooperation in research.

The fundamental solution to the above key problems lies in promoting the development of disciplines, strengthening personnel training, serving the nation's needs, and improving the supporting capacity. The above four aspects constitute the general idea of promoting the development of the discipline. They are reflected in the following four key directions for the development of resources and environmental science: ① deepening the

interdisciplinary subjects; ② facing major environmental and disaster issues; ③ serving global sustainable development; ④ breaking through the “stuck-neck” technology.

Regarding funding mechanism, it is recommended to provide policy support for the development of resources and environmental science from four aspects: ① facing the nation’s needs, breaking through the bottleneck problem and optimizing the field of funding support; ② strengthening the support for data platform, and establishing an organization and coordination mechanism; ③ improving the fund evaluation mechanism, establishing credit files, and providing reasonable “fault tolerance” space; ④ improving the funding structure and promoting multidisciplinary research.

In terms of talent team construction, it is recommended to provide policy support for the development of resources and environmental science from three aspects: ① improve the full-spectrum talent support system and expand the age limit for talent projects; ② build a diversified, regional, and international talent team; ③ cultivate talents by classification, establish a funding system for technical development and personnel, and pay attention to cultivating interdisciplinary talents.

In terms of scientific research platform construction, it is suggested to provide policy support for the development of resources and environmental science from five aspects: ① establish a sharing mechanism for data and basic research facilities; ② integrate long-term *in-situ* observation sites and establish a collaborative observation network; ③ build a big data information platform; ④ promote the development of coupled models and decision support platforms; ⑤ build a national resources and environmental science expert think tank.

In terms of international exchanges and cooperation, it is recommended to provide policy support for the development of resources and environmental science from seven aspects: ① the policy makers for

technological innovation, scientific research institutions, universities and scientists should actively participate in the dialogue and research on global issues to improve international influence and voice; ② expanding international cooperative research projects and leading major international research projects with the help of the National Natural Science Foundation of China; ③ promoting substantive international scientific research cooperation around “common interests” through bilateral and multilateral joint funding mechanisms; ④ constructing and implementing differentiated international science and technology cooperation policies and mechanisms for different cooperation entities; ⑤ taking “the Belt and Road” as a link to stimulate international frontier innovation; ⑥ encouraging talent exchanges to strengthen the construction of international cooperation networks; ⑦ establishing an effective collaborative management mechanism to make precise efforts and promote scientific resources allocation.



# 目 录

总序 / i

前言 / vii

摘要 / xi

Abstract / xxvii

## 第一章 资源与环境科学总论 / 1

第一节 学科内涵与战略价值 / 1

第二节 发展规律与研究特点 / 12

第三节 发展现状与发展态势 / 20

第四节 学科发展总体布局 / 38

本章参考文献 / 45

## 第二章 水循环与水资源 / 47

第一节 战略定位 / 47

第二节 发展规律与研究特点 / 49

第三节 发展现状与发展态势 / 55

第四节 发展思路与发展方向 / 83

本章参考文献 / 98

### 第三章 土壤与土地科学 / 113

第一节 战略定位 / 113

第二节 发展规律与研究特点 / 118

第三节 发展现状与发展态势 / 123

第四节 发展思路与发展方向 / 140

本章参考文献 / 152

### 第四章 油气与煤化石能源资源 / 155

第一节 战略定位 / 155

第二节 发展规律与研究特点 / 160

第三节 发展现状与发展态势 / 168

第四节 发展思路与发展方向 / 175

本章参考文献 / 190

### 第五章 矿产资源 / 196

第一节 战略定位 / 197

第二节 发展规律与研究特点 / 199

第三节 发展现状与发展态势 / 203

第四节 发展思路与发展方向 / 217

本章参考文献 / 221

### 第六章 气候变化影响与适应 / 224

第一节 战略定位 / 224

第二节 发展规律与研究特点 / 228

第三节 发展现状与发展态势 / 239

第四节 发展思路与发展方向 / 257

本章参考文献 / 273

## 第七章 生态系统科学 / 276

第一节 战略定位 / 276

第二节 发展规律与研究特点 / 280

第三节 发展现状与发展态势 / 284

第四节 发展思路与发展方向 / 308

本章参考文献 / 319

## 第八章 环境科学与技术 / 325

第一节 战略定位 / 325

第二节 发展规律与研究特点 / 327

第三节 发展现状与发展态势 / 330

第四节 发展思路与发展方向 / 349

本章参考文献 / 372

## 第九章 区域可持续发展 / 380

第一节 战略定位 / 380

第二节 发展规律与研究特点 / 390

第三节 发展现状与发展态势 / 400

第四节 发展思路与发展方向 / 412

本章参考文献 / 428

## 第十章 自然灾害风险 / 442

第一节 战略定位 / 442

## 中国资源与环境科学2035发展战略

第二节 发展规律与研究特点 / 449

第三节 发展现状与发展态势 / 457

第四节 发展思路与发展方向 / 476

本章参考文献 / 486

## 第十一章 遥感与地理信息 / 492

第一节 战略定位 / 492

第二节 发展规律与研究特点 / 497

第三节 发展现状与发展态势 / 512

第四节 发展思路与发展方向 / 530

本章参考文献 / 539

## 第十二章 资源与环境科学资助机制与政策建议 / 548

第一节 资助机制 / 548

第二节 人才队伍 / 552

第三节 科研平台 / 555

第四节 国际交流合作 / 559

第五节 政策建议 / 562

本章参考文献 / 563

## 关键词索引 / 565

# 资源与环境科学总论

## 第一节 学科内涵与战略价值

### 一、资源与环境科学的内涵

资源与环境科学体系为解决当前的区域环境问题提供了新的认识论和方法论，具有综合性、区域性和实践性，具体表现在较大尺度上整合生态学、地理学、经济学和社会学等理论，强调区域单元内部不同功能体之间的结构合理配置、功能相互匹配和过程有序联通，致力于解决人类在生产生活实践中遇到的生态问题，进而促进区域协调发展。

资源与环境科学是资源科学与环境科学高度交叉融合的学科，由水循环与水资源、土壤与土地科学、油气与煤化石能源资源、矿产资源、气候变化影响与适应、生态系统科学、环境科学与技术、区域可持续发展、自然灾害风险、遥感与地理信息等一系列分支学科或研究领域共同形成资源与环境科学的学科体系，可以分为资源科学、环境科学、区域可持续发展和遥感与地理信息四个大的方面。

## （一）资源科学方面

资源科学研究主要包括水循环与水资源、土壤与土地科学、油气与煤化石能源资源、矿产资源等领域与学科交叉方向。

1) 水循环与水资源研究旨在解析变化环境下（包括自然变化和高强度人类活动多重影响下）地球水循环与水资源演变过程、相互关系，揭示地球水资源的形成和演化规律、各类水问题的发生与发展规律以及支撑区域可持续发展的水资源可持续利用的规律与政策。水循环与水资源研究主要包括对地球水运动规律的认识，对水循环与地球表层其他因素相互作用的研究，以及对水资源可持续利用途径的探索等。

2) 土壤与土地科学研究主要包括认知土壤资源要素在自然和人为影响下的演变转化及时空分布特征规律；结合国家经济社会发展需求，研究土地本身特性及作为生产资料、自然经济综合体的土地变化及其合理利用的规律；同时，利用遥感（remote sensing, RS）、地理信息系统（geographic information system, GIS）、全球定位系统（global positioning system, GPS）（合称3S技术），探究全球变化背景下，土地利用与土地覆盖多尺度变化规律及其人为和自然驱动因素。

3) 油气与煤化石能源资源研究主要针对油气和煤化石能源资源形成的地质背景、盆地演化与沉积充填-改造、源-储-盖发育与分布、物质和能量传输-转换的动力学过程、油气生成-运移-聚集成藏机制，以及油气、煤化石能源资源的富集、示踪、“甜点”评价技术与方法，为深层、深水和非常规油气资源的高效勘探提供科学依据。

4) 矿产资源研究主要针对矿床的物质组成、赋存状态、成矿物质来源、不同地质背景下成矿元素活化-迁移-沉淀形成矿床的过程、矿床的时空分布规律，以及矿床/矿体定位技术与方法，为寻找和利用矿产资源提供科学依据。

## （二）环境科学方面

环境科学研究主要包括气候变化影响与适应、生态系统科学、环境科学与技术等领域与学科交叉方向。

1) 气候变化影响与适应研究是全球环境研究的核心，重在分析气候环境

变化过程及时空特征，揭示气候变化过程动力学机制，综合辨识气候变化对农业、水资源、森林与其他自然生态系统、海岸带、冰冻圈、重大工程、人类健康与环境质量等的影响，并进行风险评估，提出气候变化的适应措施，为社会经济系统应对全球气候变化提供科学依据。

2) 生态系统科学是生态学研究的核心内容。生态系统科学将生物有机体及其环境视为一个整体，探讨生态系统的生物群落与非生物环境之间如何通过能量流动和物质循环相互联系、相互作用。作为地球系统的重要组成部分，生态系统是与人类活动最为密切的生物圈的核心，生态系统科学在揭示地球生物多样性维持机制，阐明生物地球化学循环与生物环境控制因素，探究生态系统服务的形成及其权衡关系等方面做出了重大贡献，为人类社会可持续发展提供了不可或缺的理论基础。

3) 环境科学与技术是伴随环境问题的产生和发展形成的新兴交叉学科，涵盖化学、物理学、生物学、生态学等自然学科，以及社会学、经济学、政治学等社会学科，环境科学与技术研究人类-环境系统之间的相互作用关系，探究环境要素与环境过程之间的适应与反馈，以人类与环境之间的协调发展为最终目标，其主要任务是研究环境污染发生机制、检测与监测、迁移转化过程与机制、生态与健康效应、系统模拟、风险分析和管控、削减控制和系统修复的应用基础理论、方法学和管理策略。

### (三) 区域可持续发展方面

区域可持续发展研究主要包括区域可持续发展和自然灾害风险等领域与学科交叉方向。

1) 区域可持续发展涵盖了广泛的研究主题，涉及自然科学和社会科学的许多学科，是多学科交叉的研究领域。区域可持续发展是以区域人地关系为研究对象，揭示水、土等自然因素与人口、经济等人为因素之间的相互作用关系，探究人地系统要素耦合机制和时空变化规律，实现自然与人协调发展的科学。

2) 自然灾害风险研究是重在探讨综合风险防范的新型交叉学科，将致灾因子、孕灾环境条件及承灾体（承险体）组成的灾害系统视为地球表层的异变系统，研究致灾因子与承灾体相互作用过程与机理，揭示灾害的时空变异

特征及演化规律，开发防灾、抗灾、救灾等的技术装备，制订综合灾害风险防范措施，支撑区域可持续发展。

#### （四）遥感与地理信息方面

遥感与地理信息研究主要包括遥感与地理信息等领域与学科交叉方向。遥感是从远离目标的不同工作平台上，通过传感器对地球表面的电磁波辐射信息进行探测，然后经信息的传输、处理和译解分析，对地球的资源与环境进行探测与监测的综合性技术。地理信息科学是伴随地理信息系统、遥感和全球定位系统发展而形成的新兴学科，涵盖了地理学、地图学、测量学、数学、感知科学、计算机与信息科学等学科，主要利用计算机技术对地理信息进行处理分析，开展地理信息的空间表达及分析，为空间规划、生态系统评估等提供支撑。

## 二、资源与环境科学的科学意义

资源与环境科学涉及资源科学、环境科学、区域可持续发展、遥感与地理信息等方面，对于推动相关学科和技术的发展，以及实施国家科技发展规划及其他科技政策目标具有十分重要的科学意义。

### （一）推动相关学科和技术的发展

#### 1. 资源科学方面

水文学是研究地球上水的起源、存在、分布、循环运动等变化规律，并运用这些规律为人类服务的知识体系（杨大文等，2018；夏军等，2020）。随着水文多尺度观测、陆面-水文-社会耦合模拟及多源观测-模型同化技术等研究领域的深入，水文学研究的深度和广度不断拓展，衍生出多种交叉研究领域与分支学科，如生态水文学、气象水文学、冰冻圈水文学、遥感水文学、同位素水文学、城市水文学、社会水文学等。资源与环境科学在支撑水文学发展的同时，也促进了地理学、生态学、气象学、经济学、遥感与信息技术等学科和技术的发展。

土壤学研究土壤组成、土壤理化性质和生物学特性、土壤发生和分类,以及土壤开发、保护、利用等方面。现代土壤学更加注重土壤与环境、土壤质量与肥力、土壤生态与人体健康之间的关系,因此需要研究土壤本身及其与人口、资源、生态、环境、社会、经济的协调发展(沈仁芳,2018)。土壤学内部分支学科间的融合,以及土壤学与其他基础科学的交叉渗透,产生了众多新的研究方向和分支学科,如土壤生物物理、土壤微生物和微生态、土壤计量学等。

土地科学以人地系统耦合为对象,重点研究土地利用与土地覆盖变化的过程、机制及效应等问题。土地利用与土地覆盖从本质上反映人类-自然系统的综合复杂性,而格局与过程是地理学综合研究的重要途径和方法(傅伯杰,2014)。长期以来,土地系统变化不仅是地理学的研究热点,也是资源环境经济学、生态学、城市规划等多学科领域关注的主题(戴尔阜和马良,2018)。

### 2. 环境科学方面

气候变化影响与适应研究是全球环境研究的核心,重在分析气候环境变化过程及时空特征,揭示气候变化过程动力学机制,综合辨识气候变化对农业、水资源、森林与其他自然生态系统、海岸带、冰冻圈、重大工程、人类健康与环境质量等的影响,并进行风险评估,提出气候变化的适应措施,为社会经济系统应对全球气候变化提供科学依据。

生态系统科学聚焦于生态系统结构—过程—功能—服务,面向可持续发展和管理等科学问题,服务于生态监测和评价、生态保护和修复、生态区划和生态系统管理。生态系统科学和其他学科交叉形成了生态遥感、生态经济学等众多学科,不仅推动了地理学和区域可持续发展等学科的发展,也促进了生态学共享和监测技术的开发。

环境科学是一门涉及水、土、气、生物、固废等多介质的系统学科,为正确认识和解决环境问题提供了科学依据(陈宜菲,2009)。环境科学已成为一门介于自然科学、社会科学、人文科学和工程技术科学之间的新兴交叉学科,横跨地学、生物学、农学、物理学、化学、工程学和经济学等多个学科,是现代科学向深度、广度进军的标志。环境问题本身的整体性和综合性决定

了环境科学在学科形态上的多学科交叉，既有对环境科学基本理论和方法的研究，又包括如何实现环境保护的工程技术。经过近 20 年的发展，环境科学逐步发展并形成了环境地学、环境化学、环境生物学、环境物理学、环境工程和环境管理学等一系列学科，为防治环境污染和维护人群健康提供了科学依据和技术方案，也为应对气候变化等全球性环境问题提供了科学依据和解决方案。

### 3. 区域可持续发展方面

区域可持续发展研究旨在全面分析区域内经济、社会、资源、环境、人口等系统间的联系，对该区域可持续发展能力和发展水平进行评价，提出区域可持续发展的战略对策和建议，构造区域内经济、社会、资源、环境、人口子系统互为协调的可持续发展框架。区域可持续发展系统涉及多个子系统，且包含要素众多、功能多样、结构复杂，构成了一个时空耦合、非线性、动态和开放的复杂巨系统（陆大道和樊杰，2012），需要从系统科学的角度进行研究，综合运用经济学、社会学、地理学、人口学和环境科学等多个学科优势，对抽象复杂的区域可持续发展系统进行综合评价。区域可持续发展面向国家发展的战略需求，促进了各学科的交叉融合。此外，在全球变化的背景下，需建立全球变化与区域可持续发展耦合模型，探索气候变化、人类活动、区域可持续发展的相互作用机制，寻求适应全球变化的发展途径（邬建国等，2014）。

城镇化是一个全球性的经济社会演变过程（陆大道和陈明星，2015）。城镇化研究具有综合性、复杂性特征，涉及的学科与研究方向非常广泛，有利于地理科学、经济科学、人口科学、社会科学、管理科学和资源环境科学等学科的发展。国内的城镇化研究由于“以任务带学科”的发展模式，该领域的研究具有明显的“立足国情，服务经济社会发展战略需要”的特点。

随着自然灾害系统论的提出和不断深入，灾害学研究关注灾害系统的多物理场、多维度、多尺度耦合效应（庞西磊等，2016）。自然灾害风险研究包括灾害风险的评估、监测、预警、适应、防范和治理等方面，与地理科学、环境科学、经济学、遥感与信息技术科学密切相关。

#### 4. 遥感与地理信息方面

遥感与地理信息以地球为研究对象，对地球资源、环境及人类活动进行观察、探测和监测，从全球、区域乃至局部等各种尺度，系统化地研究地球各圈层及圈层间的互动关系与内在规律（熊盛青等，2017）。遥感与地理信息是地球空间信息科学的技术基础，表现为 3S 技术及其集成。遥感与地理信息不仅被广泛应用于大气、水、土地、生物等领域，进行资源环境监测和分析，还被应用于农业、交通运输业、人口与健康、城镇化、灾害风险等多个领域，是支撑资源与环境宏观监测、评估、预警的理论基础和现代化技术手段，在资源与环境科学和地球系统科学中占有重要地位。近年来，无人机的快速发展大大丰富了遥感的内涵，为实现自动化、智能化、专用化地快速获取资源与环境等方面的空间观测信息提供技术支持。

大数据与信息化利用 GEE（Google Earth Engine）云计算平台监测、管理地球的资源与环境，提供及时或实时的决策支持，为地学、环境科学及相关学科领域提供了先进的研究技术和工具。另外，人工智能作为一种人、机器、方法、思想的结合体，已被应用于多个研究领域，如在资源与环境的监测和分析中，可建立资源与环境状况大型空间数据库和分析平台，进而为相关部门提供决策支持。

#### （二）为实施国家科技发展规划及其他科技政策目标提供支撑

科学技术部、国家自然科学基金委员会、自然资源部、生态环境部等国家部委的科技规划或专项规划，往往把资源与环境科学相关领域的研究列为主要内容之一。

《“十三五”国家基础研究专项规划》总体学科发展布局中，资源与环境科学属于综合学科，其学科定位是为解决可持续发展和改善民生的重大瓶颈问题奠定了科学基础。针对国家重大战略任务部署基础研究，围绕土壤及地下水污染防治、生态修复、深地资源勘探开发、废物处置与资源化、海洋环境安全、深海技术装备、重大自然灾害监测预警与防范、水资源综合利用、大气污染成因与控制、青藏高原多层圈相互作用及其资源环境效应、海洋生态环境与可持续发展、土壤-生物系统功能及其调控等方向开展重大科学问题研究。

《国家自然科学基金“十三五”发展规划》学科布局中强调资源与环境科

学是以人类生存发展相关的环境要素及其综合体为研究对象的学科。“十三五”期间中国科学院地球科学部优先发展资源与环境科学学科，涉及地表环境变化过程及其效应，水、土资源演变与可持续利用，以及人类活动对环境和灾害的影响等领域；中国科学院生命科学部优先发展资源与环境科学学科，涉及生物多样性及其功能等领域；中国科学院化学科学部优先发展资源与环境科学学科，涉及环境污染与健康危害中的化学追踪与控制等领域。《国家自然科学基金“十三五”发展规划》将资源与环境科学作为一个重要学科进行整体战略研究，表明学科在国家总体学科发展布局中具有重要地位，也是国家可持续发展和生态文明建设对该学科重大需求的体现。

《“十三五”国家科技创新规划》面向国家重大战略任务重点部署的基础研究中，资源与环境科学涉及地球系统过程与资源、环境和灾害效应。战略性前瞻性重大科学问题中，资源与环境科学涉及全球变化及应对。科学考察与调查中，资源与环境科学涉及重大综合科学考察、种质资源普查与收集等。

### 三、资源与环境科学的战略价值

#### （一）服务于资源高效利用与区域协同发展

资源与环境科学的发展为合理利用与保护水土资源和区域协同发展提供科学依据和技术支持。全球淡水资源短缺且分布不均匀，我国水资源人均占有量不足世界的1/4。我国降水总体呈“南北多、中间少”的空间分布，涝重于旱，降水年际变化大。水资源短缺成为制约我国经济、社会发展的重要因素。目前，我国面临着水污染、地下水过度开采、水生态环境破坏等一系列问题。近年来，气候变化和人类活动，加剧了水资源的不确定性。我国干旱半干旱地区面积大，水资源短缺容易在植被、土壤、生态系统中产生不可逆转的影响，不利于区域可持续发展。在生态文明建设的背景下，黄河流域生态保护和高质量发展、长江经济带发展等一列国家重大战略的实施，对于区域水资源的利用保护、水源涵养、水土保持以及区域经济社会的发展具有积极影响。

我国经济社会的快速发展和人口增长,使得人地矛盾进一步增加。在国土空间优化的大背景下,如何协调生产、生活和生态用地格局,需要进一步研究。我国人口约14亿,坚守18亿亩<sup>①</sup>耕地红线,确保我国粮食安全不动摇,保证耕地资源的数量和质量,是从根本上保住粮食生产能力的必然选择。生态保护红线政策的全面推进,有利于我国生态环境的保护和生态文明建设的持续推进。通过在生态功能重要的区域和生态敏感区划定生态保护区域,以发挥应有的生态系统功能,是自然资源部实现“山水林田湖草沙”生命共同体的重要途径。生产、生活、生态空间的布局和优化是我国对自然资源在国土空间中有效利用和保护的重要表现。

### (二) 服务于气候变化适应、生态保护与生态安全

气候变化是全球面临的科学挑战,其影响是多尺度、全方位、多层次的。全球气候变暖可引起海平面上升、冰川和湖泊退缩、湖泊水位下降、冻土融化等一系列问题。气候变化影响地表径流,形成旱涝灾害,会对农业生产造成直接的经济损失。我国海岸线漫长,气候变暖会导致海平面上升,威胁海岸的生态环境。我国干旱半干旱地区面积大,气候变化影响干旱区的植被生长、植物群落和生态系统。气候变化影响水热组合条件,对生态系统的结构、功能和过程产生影响,同时极端的气候条件会对生态系统产生负向影响。

为了积极应对气候变化带来的挑战,全球应该共同践行绿色发展,减少碳排放。中国作为负责任的大国,在世界公共事务中承担着重要的角色。加强国际政府部门的科学交流和合作,对于应对全球环境变化具有重要意义。我国全方位地践行生态文明理念,倡导低碳经济和清洁能源的利用。明确过去和未来气候变化的趋势和驱动因素,可为应对复杂多变的气候系统,提高生态系统的适应性、减少其脆弱性,支撑农业、生态、社会和环境的可持续发展提供科学指导。

我国越来越重视生态系统的安全健康与发展,生态系统科学研究可为国家生态保护和生态恢复提供有力的科学支撑,为生态经济、生态恢复、生态补偿以及生态管理提供理论和实践方法。国家为保障生态安全,相继建立了主体功能区、生态保护红线以及国家公园体制,确保生态系统良好有序发展。

<sup>①</sup> 1亩≈666.7 m<sup>2</sup>。

我国生物多样性较为丰富，生物资源的类型较多、数量较大，但生物栖息地的丧失、自然资源的过度消耗、外来物种的入侵等都对我国生物多样性造成挑战和威胁。为了保护自然资源、生态系统的完整性，我国逐渐推行国家公园体制，以保护生物多样性和栖息地。中国已建立自然保护区、风景名胜区等 8000 余处保护地，占国土面积的 18%（周睿等，2016），从国家、省、市、县不同层面进行分级管理和调控。

### （三）服务于环境保护、环境安全与健康

环境问题涉及水、土、气、生等多方面，与人民的经济生活和身体健康息息相关。我国生态环境不容乐观，大气污染、水污染、垃圾处理不当、土地荒漠化、水土流失、旱涝灾害、生物多样性破坏等问题严重。环境污染问题威胁着人类的健康，影响社会的可持续发展。我国大气污染较为严重，破坏生态系统和人类的生存环境。工业废气、汽车尾气等是造成大气污染的主要原因，进而影响身体健康、农业生产。我国人均水资源占有量偏低，华北等地区地下水超采严重。农村地区水污染严重，由于化肥施用不合理、农药使用过量、地膜、禽畜养殖业的影响，产生水污染，并且有城市水污染向农村水污染转移的趋势（莫欣岳等，2016）。

环境科学与技术为防治环境污染和维护人群健康提供科学依据和技术方案，为维护生态系统平衡、保障环境安全和促进可持续发展提供理论、方法和技术。例如，污染物的迁移转化过程研究有助于理解和认识复合环境污染的起因、特征和生态健康效应，为科学制定环境质量标准和环境管理政策、控制复合污染提供理论依据和技术支撑。环境暴露与健康效应研究可以为建设健康中国做出重要贡献。面对全球复杂而严峻的环境问题，需统筹推进环境污染治理技术攻关，为制定促进环境-经济协调发展、预防和应对环境风险的决策提供科学依据与解决方案，从而支撑我国打赢污染防治攻坚战。

### （四）推动我国生态文明建设与可持续发展战略

2035 年我国将基本实现社会主义现代化，将广泛形成绿色生产生活方式，碳排放达峰后稳中有降，生态环境根本好转，美丽中国目标基本实现。资源的合理有效利用和环境保护对我国经济社会的发展有着至关重要的作用，对