DOI: 10.3724/BNSFC-2025-0166

系统分析框架下的国际科技合作:IIASA实践与中国系统分析能力建设路径*

张秀明** 张少辉

国际应用系统分析研究所,拉克森堡 2361

[摘 要] 在气候变化、能源危机、粮食安全等多重风险交织叠加的背景下,全球可持续发展治理正从单一目标优化转向多目标协同决策。中国“双碳”转型亟需跨尺度、跨领域的系统分析能力支撑。国际应用系统分析研究所(International Institute for Applied Systems Analysis,IIASA)在综合评估建模、科学—政策转化和多边科技合作方面积累了成熟经验。本文围绕中国转型需求、本土模型短板、IIASA优势、合作瓶颈与能力建设的逻辑主线,系统分析IIASA实践的借鉴价值,提炼其可迁移的科学—政策整合框架,提出模型本土化、跨学科研究、政策协同、人才培养等合作深化方向,为中国提升系统分析能力和参与全球可持续发展治理提供参考。

[关键词] 系统分析;综合评估模型;国际科技合作;能力建设;IIASA

当前,全球可持续发展面临气候变化、能源危机、粮食安全、生物多样性丧失、空气污染和水资源短缺等多重危机的叠加冲击。这些问题并非相互独立,而是通过能源消费、土地利用、产业结构、国际贸易、技术扩散和政策反馈等过程形成高度耦合的复杂系统[1,2]。例如,化石能源削减有助于温室气体减排和空气质量改善,但也可能引发能源安全、产业转型成本和区域就业结构调整问题;大规模生物质能源部署有助于碳中和目标实现,但可能与粮食生产、生态保护和水资源利用产生竞争;农业氮素管理既关系到粮食安全,也关系到氨排放、$PM_{2.5}$污染、氧化亚氮排放和水体富营养化。对于中国而言,“双碳”目标的实现不仅意味着能源系统低碳化,也将深刻影响空气质量改善、产业结构调整、农业生产方式、土地利用格局、水资源配置和区域协调发展[3]。因此,面向“双碳”目标和生态文明建设的政策设计,已无法依赖单一部门、单一尺度或单一目标的线性分析方法,而需要系统分析和综合评估模型,提供跨部门、跨尺度、跨情景的科学支撑。

近年来,中国在能源—经济—环境建模方面已形成较强基础。国家发展和改革委员会能源研究所的IPAC模型、清华大学China-TIMES模型、北京大学IMED模型、GCAM-China模型等,为国家能源战略、碳达峰碳中和路径、污染治理和宏观经济影响评估提供了重要支撑[4]。然而,从全球气候治理和中国深度绿色转型的需求来看,本土模型体系仍面临若干能力边界。第一,部分模型更加侧重国家尺度能源—经济系统优化,全球—区域之间的双向反馈机制仍有待加强。第二,能源、土地、水、粮食、空气质量、生物多样性和健康影响之间的多圈层耦合仍不充分。第三,模型数据标准、参数校准、情景假设和版本管理的开放性与可追溯性仍需提升。第四,科学成果进入政策制定过程的制度化接口仍不够稳定,模型分析与政策窗口之间存在“最后一公里”问题。

IIASA的实践经验为破解上述问题提供了重要参照。IIASA成立于冷战时期东西方科学对话背景下,是

收稿日期:2025-11-07; 修回日期:2026-07-03

* 本文根据国家自然科学基金委员会第419期“双清论坛”讨论的内容整理。

** 通信作者,Email:zhangx@iiasa.ac.at

本文受到欧盟“地平线欧洲”玛丽·居里博士后项目(101149335-SynCAN)的资助。

引用格式: 张秀明,张少辉. 系统分析框架下的国际科技合作:IIASA实践与中国系统分析能力建设路径. 中国科学基金,2026,40(4):614-622.
Zhang XM,Zhang SH. International science and technology cooperation under the systems analysis framework:Iiasa's practical paradigm and China's capacity building pathways. Bulletin of National Natural Science Foundation of China,2026,40(4):614-622.(in Chinese)

以系统分析为核心方法的独立国际科研机构[5]。半个多世纪以来，IIASA在能源、气候、空气污染、土地利用、水资源、人口、风险治理和可持续发展等领域形成了具有国际影响力的综合评估模型体系，并通过国家成员组织（National Member Organizations，NMOs）驱动的多边治理机制，构建了科学中立、跨国协同和面向政策的研究平台。其经验不仅体现为模型工具本身，更体现为“模型研发—能力建设—政策对话—国际治理”之间的制度化连接。

中国自2002年通过国家自然科学基金委员会（以下简称“自然科学基金委”）作为国家成员组织加入IIASA以来，双方围绕气候变化、空气质量、能源转型、粮食安全、水资源管理和可持续发展等议题开展了持续合作，并在联合研究、模型本地化、人才培养和政策支撑方面取得了积极进展。与此同时，合作中仍存在数据壁垒、领域分布不均衡、科学—政策接口不足和人才知识持续性不强等问题。如何将IIASA的系统分析经验转化为中国本土能力建设路径，已成为深化国际科技合作和提升中国全球环境治理能力的重要议题。

基于上述现实需求与战略互补性，本文旨在系统梳理IIASA在系统建模与政策评估方面的国际实践经验，系统回顾中国自2002年加入IIASA以来的合作基础，并重点分析2020—2025年的合作进展、成效与瓶颈。在此基础上，文章将围绕模型数据本土化、合作领域深化、科研与政策协同、青年人才培养等关键方向，提出面向未来的合作深化路径。本文的研究成果，既可为优化中国与IIASA的战略合作提供可操作的实施指引，也可为中国依托国际科研平台提升全球治理参与能力提供理论参考，助力中国在双碳转型进程中实现本土高质量发展与全球责任担当的协同统一。

1　IIASA的系统分析框架与科学—政策转化机制

1.1　组织使命：以系统分析支撑全球复杂问题治理

IIASA的组织使命建立在系统分析方法之上。系统分析并非简单地将多个学科叠加，而是通过模型、数据、情景和制度化对话，识别复杂系统中不同要素之间的相互作用、反馈机制、协同效应与权衡关系。与传统单部门分析相比，系统分析更强调跨尺度连接、跨部门耦合和面向决策的不确定性管理。IIASA的独特性在于其多边中立的组织结构。作为独立的非政府国际科研机构，IIASA由各国家成员组织共同参与治理。这一架构使其能够在地缘政治分歧和国家利益差异之间保持科学中立性[6]，并为不同国家、国际组织、学术机构和政策部门提供相对可信的第三方平台。正是这种制度安排，使IIASA能够在酸雨治理、气候变化谈判、空气污染控制、能源转型和可持续发展目标评估等议题中长期发挥科学外交功能[7]。

1.2　模型体系：从单一工具到多模型耦合集成平台

基于系统分析思想的综合评估模型（Integrated Assessment Models，IAMs）开发与应用是IIASA实现其使命的核心。该机构开发并维护着一套世界领先的综合评估模型平台（图1），其中最具代表性的包括：GAINS模型[8]（温室气体—空气污染物相互作用与协同效应模型），主要用于评估温室气体和空气污染物协同减排路径，能够量化不同部门减排措施的成本、污染物减排潜力、健康收益和环境效益，该模型已广泛应用于欧洲和亚洲多国空气质量与气候政策评估，并在中国大气污染治理和减污降碳协同研究中发挥了重要作用[9]；MESSAGEix模型[10]（能源供应系统战略替代方案及其综合环境影响模型），作为政府间气候变化专门委员会

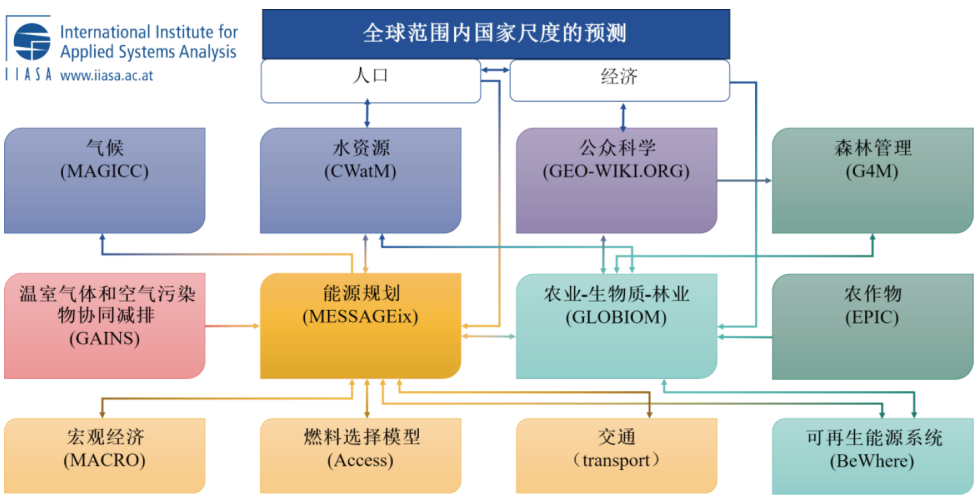

图1　IIASA核心综合评估模型体系

Fig.1　Core Integrated Assessment Modeling Framework of IIASA

(Intergovernmental Panel on Climate Change,IPCC)评估报告的核心综合评估模型之一,被广泛用于设计全球及区域层面的长期能源转型与气候减缓路径;GLOBIOM模型[11](全球生物圈管理模型)专注于土地利用、农业、林业间的权衡关系,为评估生物能源发展对粮食安全和生物多样性的影响等复杂议题提供定量分析。近年来,MESSAGEix-GLOBIOM进一步向水—能—粮—土地耦合方向拓展,增强了综合评估模型对水资源约束和气候影响的刻画能力[12]。

上述模型的价值并不主要体现在单一模型精度上,而在于多模型耦合形成的系统集成能力。通过能源、土地、水、空气质量、健康和经济模块之间的连接,IIASA能够对政策方案产生的跨部门外溢效应进行评估。例如,能源结构调整不仅影响碳排放,也会改变空气污染、健康负担、土地需求和水资源压力;农业氮素减排不仅影响粮食系统,也会影响氨排放、$PM_{2.5}$浓度、生态系统氮沉降和温室气体排放。这种跨系统评估能力正是中国"双碳"与生态文明建设所急需补强的关键能力。

1.3 科学—政策接口:从模型结果到政策影响

IIASA的国际影响力并不只来源于模型研发,更来源于其将模型分析嵌入政策过程的能力。其工作模式可概括为"模型研发—能力建设—政策对话"三位一体。首先,模型研发保证科学工具处于前沿,IIASA长期维护开放、透明、可验证的模型平台,并不断吸收气候科学、经济学、工程技术、生态学、人口学和风险科学的新进展。其次,能力建设保证方法扩散和知识传承,通过青年科学家暑期项目(Young Scientists Summer Program,YSSP)[13]、博士后项目、暑期学校、访问学者和IIASA Connect等机制,IIASA建立了覆盖研究生、博士后、青年学者、资深专家和政策参与者的国际人才网络[14]。最终,政策对话保证科研成果进入决策场景,IIASA长期与IPCC、联合国系统、欧盟委员会、世界银行和各国政府保持合作,其模型和情景结果被用于全球气候评估、空气污染控制、能源转型规划和可持续发展目标分析[7]。因此,IIASA的科学—政策转化机制不是"论文发表后自然产生影响",而是通过研究议题共设、情景共同设计、模型结果解释、政策简报转化和国际评估嵌入等环节,将科学证据持续输入政策过程。

1.4 IIASA可迁移的科学与政策整合框架

基于对IIASA实践经验的系统梳理,本文提炼出IIASA可迁移的科学与政策整合的四层框架(图2)。需要注意的是,IIASA经验不能被机械复制,因为其与中国的行政体系、政策周期和组织机制等方面存在差异(表1)。IIASA可迁移的不是具体机构形态,而是"开放模型工具—持续能力建设—中立协同平台—嵌入式政策互动"这一机制组合。

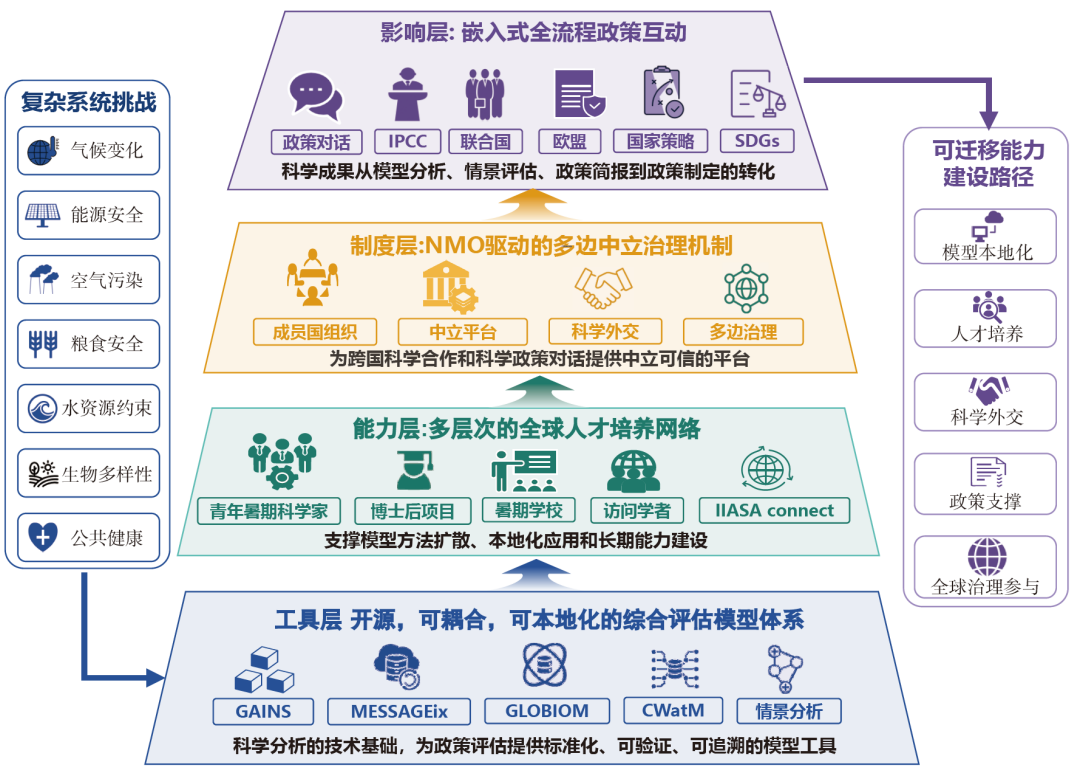

图2 IIASA可迁移的科学—政策整合框架

Fig.2 Transferable Science-policy Integration Framework of IIASA

表1 IIASA/国际机制与中国科学—政策转化机制比较

Table 1 Comparison between International Mechanisms of IIASA and China's Science-policy Translation Mechanism

比较维度	IIASA/国际机制	中国现有机制	对中国能力建设的启示
议题形成	成员国协商、国际议程牵引、专家共同定义	国家战略目标牵引、部门任务分解、地方治理需求驱动	在国家目标基础上增强国际议题设置能力
模型体系	开放、透明、可耦合,强调国际可比	贴近本土政策需求,但模型接口和参数标准有待统一	建设中国化参数库、情景库和模型版本管理体系
科学—政策关系	保持边界,强调科学中立和政策相关	科学界与政策部门距离较近,响应速度快	在政策嵌入中保持方法透明和科学独立性
成果转化	评估报告、情景数据库、政策摘要、国际谈判	规划编制、专项行动、试点工程、部门评估	建立适合中国行政语境的政策简报和决策工具
组织机制	NMO、多边平台、专家网络	部门协同、地方试点、政策支撑机构	构建常态化IIASA—中国政策对话机制
人才培养	YSSP、博士后、暑期学校、国际校友网络	项目制培养和单位内部团队为主	建立长期职业追踪和模型维护人才网络
优势	科学中立、国际可比、模型透明、网络稳定	目标明确、执行力强、场景丰富、试点快速	推动“国际模型能力”与“中国治理场景”耦合
短板	政策执行依赖成员国吸收转化	模型开放性、跨部门接口和长期维护不足	推动由单次项目合作向长期机制共建转变

第一,工具层是开源、可耦合、可本地化的综合评估模型体系。工具层是科学—政策转化的技术基础。IIASA的模型体系具有开放透明、模块化、可追溯和可耦合特征,能够支持不同国家根据本地数据和政策需求开展模型本地化。对中国而言,工具层的可迁移重点不是简单引入国际模型,而是在开放框架下形成中国化数据接口、参数库、情景库和不确定性分析流程。

第二,能力层是全周期、多层次的全球人才培养网络。能力层是模型持续应用和方法本地化的核心支撑。IIASA通过YSSP、博士后、暑期学校和访问学者机制,为成员国培养系统分析人才。其可迁移价值在于形成从学生培养、青年科学家训练、项目合作到政策沟通能力提升的完整链条。对中国而言,关键在于避免“短期访问—知识中断”的碎片化模式,转向长期、稳定、可追踪的人才网络建设。

第三,制度层是国家成员组织驱动的多边中立治理机制。制度层是科学外交和国际合作可信度的保障。IIASA通过NMO机制形成多国共同参与、科学中立和议题共设的平台。这种制度安排使其能够在全球公共议题上跨越政治分歧,开展基于证据的对话。对中国而言,制度层的可迁移重点在于通过自然科学基金委、高校、科研院所和政策支撑机构之间的协同,形成稳定的国际合作组织机制。为防止政策嵌入削弱模型中立性,其具体运行应建立跨部门共同设题、独立技术复核和信息披露机制,明确科学评估与政策决策的责任边界,在回应政策需求的同时维护模型方法和结论的独立性。

第四,影响层是嵌入式、全流程的政策互动机制。IIASA的政策影响来自研究问题设定、模型开发、情景评估、结果解释和政策反馈的全过程嵌入。对中国而言,关键在于将系统分析结果转化为适应中国行政语境的政策简报、部门方案、地方试点和规划评估工具,使模型成果不仅停留在学术论文,还能进入五年规划、专项行动方案和地方治理实践。

2 IIASA与中国合作的现状、成效与瓶颈

2.1 合作基础:从成员机制到多领域合作网络

中国与IIASA的制度性合作始于2002年,由自然科学基金委作为中国国家成员组织对接与支持。经过二十余年发展,双方已围绕气候变化、空气质量、能源转型、粮食安全、水资源管理、可持续发展目标和公共健康等领域建立了较稳定的合作网络。从合作主体看,中国与IIASA的合作已覆盖高校、科研院所、政府智库和政策支撑机构。北京大学、清华大学、浙江大学、中国科学院、北京航空航天大学、生态环境部环境规划院、中国环境科学研究院、天津大学、南京大学等机构均与IIASA开展了不同形式的合作。根据IIASA年度报告和中国合作数据面板统计,2020—2025年,以中国为主要研究对象的出版物约225篇,与中国机构合作发表的出版物约425篇,由中国籍研究人员主导或参与的出版物约186篇,双方共同开展的研究项目累计约287项,其中由中方基金资助的项目9项[15]。

从人才培养看,IIASA已形成覆盖研究生访问、YSSP、系统分析暑期学校、联合博士后和早期职业研究者的多层次培养通道。2020—2025年,中国籍博士生持

续入选YSSP，累计入选约60人次，占项目总人数约22%，系统分析暑期学校中方累计参与约500人次[16]。联合博士后和早期职业学者项目也逐步形成中国青年学者参与IIASA研究网络的重要渠道[17]。

2.2 模型本地化：从工具引入到政策应用

IIASA与中国合作的一个重要方向，是将国际领先的系统分析模型与中国本土政策需求相结合。GAINS模型在中国的本地化应用尤为典型。例如，在区域空气质量治理方面，IIASA与北京航空航天大学、河北省生态环境科学研究院和河北省发展和改革委员会等合作开发GAINS—河北模型，对河北省大气污染治理行动方案进行评估，优化了钢铁、焦化行业错峰生产方案，在同等减排目标下，企业合规成本降低12.7%，推动河北省$PM_{2.5}$浓度超额完成下降18%的约束性目标，相关人群健康效益达23.6亿元/年，为“十四五”时期大气污染防治提供了科学支撑[18]。该案例体现了国际模型工具与地方治理需求结合的路径，即通过本地排放清单、行业活动水平、控制措施成本和空气质量目标约束，将模型结果转化为地方可操作的减排方案。

在京津冀区域协同治理方面，IIASA与中国环境科学研究院等单位共同开发GAINS—京津冀2+26城市模型，对错峰生产、部门减排和区域联防联控方案进行模拟评估，使京津冀区域秋冬季$PM_{2.5}$浓度较基准情景下降17%，重污染天数减少21天/年[19,20]，相关成果已被纳入《京津冀及周边地区2021—2022年秋冬季大气污染综合治理攻坚方案》。该案例说明，系统模型可以帮助政策部门识别跨城市、跨行业、跨污染物的协同减排潜力。

在国家尺度减污降碳协同方面，GAINS—China模型与生态环境部环境规划院中国碳中和技术平台结合，用于评估“美丽中国”目标、碳中和路径和空气质量改善之间的协同关系[21]。该平台累计为全国31个省（自治区、直辖市）、200余个地市的双碳规划编制提供了技术支撑，平台内技术路径模拟结果被17项省级双碳政策文件直接引用，累计服务科研与政策用户超440万人次，推动了减污降碳技术数据库和情景模拟工具面向政策部门和公众开放，扩大了系统分析成果的传播和应用范围。

除GAINS外，MESSAGEix、GLOBIOM、CWatM等模型也逐步进入中国能源转型、水资源约束、土地利用和可持续发展路径研究。未来，如何将这些模型与中国统计体系、行业数据、地方治理制度和政策周期深度衔接，是模型本地化从“可用”走向“好用”的关键。

2.3 代表性科研成果：从合作发表到政策支撑

IIASA与中国合作已在国际高水平期刊形成一批代表性成果（表2）。相关研究覆盖碳氮协同治理、氨减排与$PM_{2.5}$控制、碳中和与水资源红线、地球系统边界、系统性风险防范、野火健康负担和可持续发展路径评估等方向。例如，碳氮协同治理研究揭示了碳减排、氮污染控制和环境政策成本优化之间的协同关系，为中国构建减污降碳协同治理体系提供了科学依据[22]。氨减排与$PM_{2.5}$污染控制研究表明，农业氨排放控制在部分情景下具有较高成本效益，为中国将氨排放纳入空气质量管理提供了依据[23]。碳中和与工业用水目标研究揭示了省级尺度碳中和路径与水资源红线之间的协同和权衡关系，体现了多目标系统分析在国家战略评估中的价值[24]。这些成果说明，中国与IIASA的合作已经从单纯学术交流转向“高水平研究—模型工具—政策问题”的联动阶段。

2.4 合作瓶颈：四类结构性挑战

尽管中国与IIASA合作取得显著进展，但从中国能力建设和长期战略合作角度看，仍存在四类结构性挑战。

第一，数据壁垒与模型本地化深度不足。系统建模高度依赖高质量、高分辨率和可持续更新的数据。当前，国际模型与中国本土数据之间仍存在统计口径不一致、部门分类不匹配、参数缺口和数据更新滞后等问题。例如，能源平衡表、行业活动水平、污染治理措施、农业管理参数、土地利用分类和水资源数据往往需要复杂转换，增加了模型本地化成本，也影响模型结果的时效性和可信度。

第二，合作领域存在结构性失衡。目前双方合作较集中于气候、能源和空气污染等优势领域，而在水资源综合管理、生物多样性保护、绿色金融、供应链风险、适应治理和区域韧性等新兴交叉领域仍有拓展空间。尤其是在中国“山水林田湖草沙”一体化保护、生态保护红线、河湖长制和国土空间治理背景下，亟需发展水—能—粮—土地—生态—金融耦合模型。

第三，科学—政策转化机制仍不够常态化。IIASA在欧洲和国际组织层面已形成较成熟的科学—政策互动机制，而中国合作中仍缺少稳定、制度化、常态化的科学—政策对话平台。许多模型分析结果未能及时进入政策窗口，研究成果表达形式也往往偏学术化，难以直接转化为政策部门可使用的简报、方案和决策工具。

第四，人才培养与知识持续性不足。YSSP、暑期学校和博士后项目培养了大量青年人才，但部分学者回国后缺少稳定团队、模型维护环境和持续项目支持，导致前沿模型方法难以长期嵌入国内研究体系。若缺乏职业追踪、校友网络和本土技术平台，容易形成“引进—中断—再引进”的知识断层。

表2 2020—2025年IIASA—中国合作代表性成果与政策支持案例

Table 2 IIASA-China Cooperation Representative Achievements and Policy Support Cases during 2020 to 2025

年份	类别	中方伙伴	成果描述
2025	高水平论文	浙江大学、北京大学等	在*Science*发表中国碳氮协同治理研究,构建碳减排、氮污染控制与环境政策成本优化的综合评估框架,为中国减污降碳协同治理和农业氮素管理政策提供科学依据[22]
2025	高水平论文	清华大学	在*Nature*发表全球变暖加剧野火健康负担及不平等影响研究,揭示气候变化、极端事件、公共健康和社会公平之间的系统性关联,拓展了气候风险评估的国际科学议程[25]
2024	高水平论文	北京大学、浙江大学、香港科技大学	在*Science Advances*发表强化氮素减排干预研究,量化氮减排对空气质量改善和生态系统保护的协同效益,为中国农业氨排放治理和生态环境保护政策提供支撑[26]
2024	高水平论文	中国科学院、北京师范大学等	在*Nature Communications*发表中国长期可持续发展系统性风险研究,从能源、粮食、水资源、生态和社会经济等维度识别系统性干扰因子,服务国家可持续发展战略评估[27]
2023	国际科学议程参与	中国科学院,未来地球计划中国委员会	参与*Nature*“安全与公正的地球系统边界”研究,中国科学家在水资源、氮磷循环等边界界定中发挥重要作用,提升中国在全球公域治理和地球系统科学议程中的参与度[28]
2022	高水平论文/多目标政策评估	北京大学、生态环境部环境规划院、北京师范大学	在*One Earth*发表碳中和与工业用水目标协同研究,量化省级尺度碳中和路径与水资源红线之间的协同和权衡关系,体现系统分析在多目标政策设计中的应用价值[24]
2021	高水平论文/政策支撑案例	浙江大学、北京大学	在*Science*发表氨减排与$PM_{2.5}$污染控制成本效益研究,表明农业氨减排在部分情景下比氮氧化物减排具有更高成本效益,为中国将氨排放纳入空气质量管理体系提供科学依据[23]
2021	政策支撑案例/模型本地化	生态环境部环境规划院、北京航空航天大学	GAINS—China、GAINS—河北和GAINS—京津冀2+26城市模型用于空气质量改善、错峰生产优化和减污降碳协同评估,为“蓝天保卫战”“十四五”大气污染治理和“美丽中国”目标路径提供技术支撑
2020—2025	国际科学议程参与	清华大学地学系	参与《柳叶刀人群健康与气候变化倒计时》中国年度报告等国际评估工作,推动气候变化、公共健康、空气污染和适应政策之间的综合评估,为中国卫生健康和气候适应政策提供参考[29]
2020—2025	人才培养机制	自然科学基金委、国内高校与科研院所	依托YSSP,系统分析暑期学校、联合博士后和访问学者机制,形成覆盖博士生、博士后和早期职业研究者的多层次人才培养通道
2020—2025	模型平台建设/政策支撑案例	生态环境部环境规划院等	共建中国碳中和技术平台,形成减污降碳技术数据库和协同减排路径模拟工具,支撑中长期减排规划、技术筛选和政策情景评估[21]

注:表中案例根据IIASA年度报告、IIASA—China dashboard、相关模型平台资料及代表性合作论文整理。表格旨在突出2020—2025年IIASA—中国合作中具有代表性的科研产出、模型平台、政策支撑、人才培养和国际科学议程参与案例,并非完整项目清单。

3 面向中国能力建设的合作深化路径

针对上述四类瓶颈,本文提出以下中国能力建设的合作深化路径建议(图3),旨在通过强化数据治理体系、拓展跨学科边界,构建双轨协同机制和创新人才培养模式,将中国与IIASA的合作提升至新的战略高度。

3.1 完善数据支撑与模型本地化体系

数据与模型本地化是提升系统分析能力的基础。建议依托自然科学基金委、高校、科研院所和政策支撑机构,联合IIASA建设中国化系统分析数据与模型协作平台。

第一,建立面向中国情景的模型参数库。围绕能源技术成本、污染控制措施、农业管理、土地利用、水资源约束、健康暴露和生态影响等关键模块,形成可追溯、可更新、可共享的参数体系。

第二,建设模型数据接口和统计口径转换工具。针对国际模型分类与中国统计体系不一致的问题,开发标准化转换表和自动化数据处理流程,降低模型本地化门槛。

第三,推广开放、透明和版本化的模型管理方式。借鉴MESSAGEix和ixmp的开放协作经验,建立数据版本、情景假设、代码修改和模型结果的可审计记录,提升研究复现性和政策信任度。同时,模型与数据开放应遵循安全合规和分级管理原则:非敏感数据可开放共享,敏感数据应通过授权访问、脱敏或聚合处理等方式受控使用,以兼顾研究复现性与数据安全。

第四,推动动态数据与模型反馈。对于碳达峰碳中和、空气质量改善和生态保护等快速变化政策议题,应将遥感数据、污染源普查、企业排放数据、能源消费数据和地方政策执行进度逐步纳入模型更新机制,增强模型对中国政策变化的响应能力。

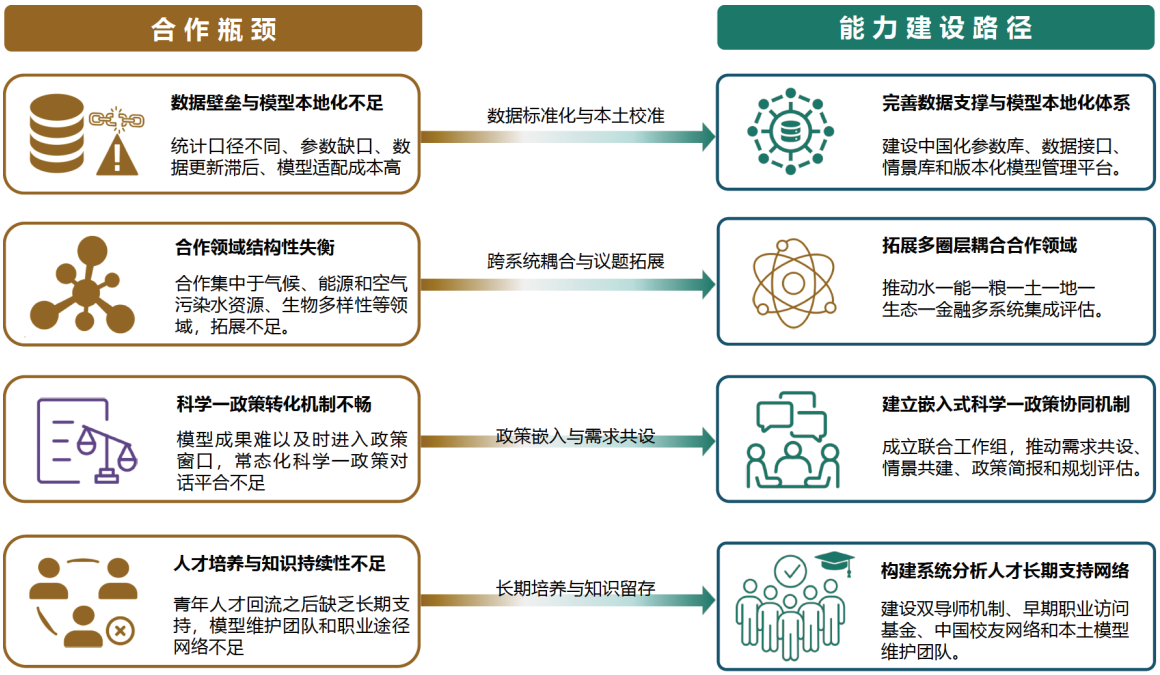

图3 中国—IIASA合作瓶颈与能力建设路径

Fig.3 China-IIASA Cooperation Bottlenecks and Capacity Building Pathways

3.2 拓展多圈层耦合的跨学科合作领域

未来合作应从传统优势领域进一步拓展到水—能—粮—土地—生态—金融等多圈层耦合方向。

第一,设立定向主题合作项目。建议围绕水资源安全、生物多样性保护、农业氮磷管理、气候适应、绿色金融和供应链韧性等方向,设立自然科学基金委与IIASA定向联合项目,弥补当前合作领域的结构性短板。

第二,推动模型耦合服务中国重大治理场景。中国的生态保护红线、河湖长制、国土空间规划、区域重大战略和“双碳”目标,为系统分析提供了丰富应用场景。应推动MESSAGEix、GLOBIOM、CWatM、GAINS等模型与中国本土模型软连接或深度耦合,服务“山水林田湖草沙”一体化治理。

第三,强化多目标协同与权衡分析。未来研究不应只回答“能否实现碳中和”,还应回答“以何种成本、何种区域分担、何种资源约束、何种健康收益、何种生态风险实现碳中和”。这需要将减排成本、空气质量、健康收益、土地竞争、水资源压力和生物多样性影响纳入统一评估框架。

3.3 建立“嵌入式”科研与决策双轨协同机制

提升合作影响力的关键,是打通模型分析进入政策过程的制度通道。第一,建议成立“IIASA—中国系统分析与政策对话联合工作组”。工作组可由自然科学基金委牵头,联合生态环境部环境规划院、国家发展和改革委员会能源研究所、中国环境科学研究院、高校和IIASA科学家,围绕双碳路径、空气质量改善、水资源安全和全球气候治理开展定期政策对话。第二,推广需求驱动的嵌入式合作模式。政策部门应在项目设计初期参与问题定义和情景设定,避免科研人员在项目结束后再寻找政策应用场景。模型开发、情景设计、结果解释和政策反馈应形成闭环。这一过程中,应公开模型假设、数据来源、参数设置及不确定性,并通过跨部门参与和独立复核,确保过程透明、结果可验证,避免模型服务于预设政策结论。第三,改进成果表达形式。除发表高水平论文外,还应形成政策简报、技术指南、模型说明书、可视化平台和地方试点报告。特别是面向中国政策部门,应将模型结果转化为“目标—路径—成本—风险—协同收益—政策工具”的表达形式,提高政策可用性。第四,建立政策窗口对接机制。围绕五年规划、专项行动方案、地方碳达峰方案、美丽中国建设评估和国际气候谈判等关键时间节点,提前布局模型评估任务,使科研成果能够在政策制定窗口期发挥作用。

3.4 构建系统分析人才培养与支持网络

人才是模型本地化和国际合作持续深化的根本。第一,建立“双导师”培养机制。支持中国博士生和青年学者在国内导师与IIASA导师共同指导下开展研究,形成“国内问题—国际方法—本土应用”的培养模式。第二,探索“1+2+1”联合培养路径。博士生可在国内完成基础训练,在IIASA开展2~3年系统建模研究,再回国完成本土应用和政策转化,增强国际方法与中国问题的结

合。第三，建立早期职业学者访问基金。支持中国青年教师和科研骨干以3~6个月为周期赴IIASA开展模型开发、数据对接和政策评估合作，避免短期培训后缺乏持续联系。第四，建设IIASA中国校友网络和职业追踪机制。通过定期研讨、模型工作坊、联合项目和数据平台维护，将YSSP、博士后、访问学者和合作研究人员连接成长期学术共同体。第五，支持本土模型维护团队建设。系统分析能力不能只依赖个别学者掌握模型，而应形成稳定技术团队，负责模型代码维护、数据更新、情景库建设和政策应用服务。

4 结 论

在全球可持续发展挑战日益复杂的背景下，系统分析已成为连接科学研究、政策制定和国际合作的重要方法。IIASA的实践表明，国际科研机构的影响力不仅来自高水平模型和论文产出，更来自其将模型工具、人才培养、多边治理和政策互动连接为完整机制的能力。本文基于IIASA经验，提出“工具层—能力层—制度层—影响层”四层可迁移科学与政策整合框架，并据此分析中国与IIASA合作的现状、成效和瓶颈。展望未来，中国应以IIASA合作为重要支点，进一步完善系统分析模型数据基础，拓展多圈层耦合研究，建立嵌入式科学与政策协同机制，构建系统分析人才长期支持网络。通过这些路径，中国不仅可以提升本土“双碳”目标和生态文明建设的科学决策能力，也可以在全球气候治理和可持续发展议程中贡献更具系统性、可验证性和国际影响力的中国方案。

致谢　衷心感谢国际应用系统分析研究所(IIASA)能力发展与学术培训项目(CDAT)院长Fabian Wagner提供的相关资料与支持。

参 考 文 献

[1] 傅伯杰，张军泽. 全球及中国可持续发展目标进展与挑战. 中国科学院院刊，2024，39(5)：804—808.
Fu BJ，Zhang JZ. Progress and challenges of Sustainable Development Goals (SDGs) in the World and in China. Bulletin of Chinese Academy of Sciences，2024，39(5)：804—808. (in Chinese)

[2] 张宇冕，张军泽，王帅，等. 人地系统可持续发展评估模型与情景分析研究进展与展望. 地球科学进展，2025，40(3)：255—270.
Zhang YM，Zhang JZ，Wang S，et al. Progress and prospects of research on assessment models and scenario analysis for sustainable development of Human-Earth Systems. Advances in Earth Science，2025，40(3)：255—270. (in Chinese)

[3] 顾佰和，于东晖，王琛，等. 进一步深化碳达峰、碳中和战略转型路径的若干思考. 中国科学院院刊，2024，39(4)：726—736.
Gu BH，Yu DH，Wang C，et al. Insights on further deepening carbon peaking and carbon neutrality strategy and pathways. Bulletin of Chinese Academy of Sciences，2024，39(4)：726—736. (in Chinese)

[4] 段宏波，汪寿阳. 中国的碳中和：技术经济路径与政策选择. 管理科学学报，2024，27(2)：1—17.
Duan HB，Wang SY. China’s carbon neutrality：Tech-economic pathways and policy options. Journal of Management Sciences in China，2024，27(2)：1—17. (in Chinese)

[5] IIASA. The founding of the institute：IIASA’s first director Howard Raiffa on the negotiations that led to IIASA’s creation. (2002-02-01)/[2025-10-10]. https://iiasa.ac.at/about-iiasa/institute/history/founding-of-institute.

[6] IIASA. A brief history of IIASA and Schloss Laxenburg. (2022-02-01)/[2025-10-01]. https://iiasa.ac.at/about-iiasa/institute/history.

[7] Duller M，Dayé C. Globalisierte Gültigkeit：Internationale Politikanalyse am IIASA，1972–1992// Pichler R，Heinze T，eds. Organisationsformen der Erkenntnisgewinnung：Organisatorische Gestaltung und Wissensproduktion in der außeruniversitären Forschung. Wiesbaden：Springer Fachmedien Wiesbaden，2024：327—345.

[8] Amann M，Bertok I，Borken-Kleefeld J，et al. Cost-effective control of air quality and greenhouse gases in Europe：Modeling and policy applications. Environmental Modelling & Software，2011，26(12)：1489—1501.

[9] IIASA. GAINS 4.0 Online model. [2025-10-02]. http:/www.iiasa.ac.at/.

[10] Huppmann D，Gidden M，Fricko O，et al. The MESSAGE ix Integrated Assessment Model and the ix modeling platform (ixmp)：An open framework for integrated and cross-cutting analysis of energy，climate，the environment，and sustainable development. Environmental Modelling & Software，2019，112：143—156.

[11] Havlík P，Valin H，Gusti M，et al. Climate Change Impacts and Mitigation in the Developing World：An Integrated Assessment of the Agriculture and Forestry Sectors. Washington，DC：World Bank，2015.

[12] Awais M，Vinca A，Byers E，et al. MESSAGEix-GLOBIOM nexus module：Integrating water sector and climate impacts. Geoscientific Model Development，2024，17(6)：2447—2469.

[13] IIASA. YSSP-Young Scientists Summer Program. [2025-10-02]. https://iiasa.ac.at/early-career/yssp.

[14] IIASA. IIASA Connect. [2025-10-02]. https://connect.iiasa.ac.at/.

[15] IIASA. International Institute for Applied Systems Analysis. IIASA Hub statistics. (2010-10-01)/[2025-10-01]. https://iiasahub.sharepoint.com/ startedResponseCatch=true.

[16] IIASA. IIASA-China dashboard. [2025-10-02]. https://iiasa.ac.at/members/china/dashboard.

[17] IIASA. IIASA Postdoctoral Fellowships. [2025-10-02]. https://iiasa.ac.at/capacity-development/postdoctoral-fellowships.

[18] Xu M，Qin ZF，Zhang SH，et al. Health and economic benefits of clean air policies in China：A case study for Beijing-Tianjin-Hebei region. Environmental Pollution，2021，285：117525.

[19] Meng WJ，Kiesewetter G，Zhang SH，et al. Costs and benefits of household fuel policies and alternative strategies in the Jing-Jin-ji Region. Environmental Science & Technology，2023，57(51)：21662—21672.

[20] Shu Y，Hu JN，Zhang SH，et al. Analysis of the air pollution reduction and climate change mitigation effects of the Three-Year Action Plan for Blue Skies on the “2+26” Cities in China. Journal of Environmental

Management,2022,317:115455.
[21] 生态环境部环境规划院碳达峰碳中和研究中心. 中国碳中和技术平台. (2022-06-27)/[2025-10-10]. https://cntd.cityghg.com/pages/index.
[22] Xu X,Zhang XM,Zou YY,et al. Integrated carbon and nitrogen management for cost-effective environmental policies in China. Science,2025,388(6751):1098—1103.
[23] Gu BJ,Zhang L,Van Dingenen R,et al. Abating ammonia is more cost-effective than nitrogen oxides for mitigating $PM_{2.5}$ air pollution. Science,2021,374(6568):758—762.
[24] Liu XY,Dai HC,Wada Y,et al. Achieving carbon neutrality enables China to attain its industrial water-use target. One Earth,2022,5(2):188—200.
[25] Zhao JR,Zheng B,Ciais P,et al. Global warming amplifies wildfire health burden and reshapes inequality. Nature,2025,647(8091):928—934.
[26] Guo YX,Zhao H,Winiwarter W,et al. Aspirational nitrogen interventions accelerate air pollution abatement and ecosystem protection. Science Advances,2024,10(33):eado0112.
[27] Li K,Gao L,Guo ZX,et al. Safeguarding China's long-term sustainability against systemic disruptors. Nature Communications,2024,15:5338.
[28] Rockström J,Gupta J,Qin DH,et al. Safe and just earth system boundaries. Nature,2023,619(7968):102—111.
[29] Cai WJ,Zhang C,Zhang SH,et al. The 2024 China report of the Lancet Countdown on health and climate change:Launching a new low-carbon,healthy journey. The Lancet Public Health,2024,9(12):e1070—e1088.

International Science and Technology Cooperation under the Systems Analysis Framework: IIASA's Practical Paradigm and China's Capacity Building Pathways

Xiuming Zhang* Shaohui Zhang

International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg 2361, Austria

Abstract Against the backdrop of intertwined and overlapping multiple risks such as climate change,energy crises,and food security,global sustainable development governance is shifting from single-objective optimization to multi-objective collaborative decision-making. China's "dual-carbon" transition urgently requires support from cross-scale and cross-domain systems analysis capabilities. The International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) has accumulated mature experience in integrated assessment modeling,science-policy translation,and multilateral scientific and technological cooperation. Following the logical thread of China's transition needs,shortcomings of domestic models,IIASA's advantages,cooperation bottlenecks,and capacity building,this paper systematically analyzes the reference value of IIASA's practices,extracts its transferable science-policy integration framework,and proposes directions for deepening cooperation including model localization,interdisciplinary research,policy coordination,and talent cultivation,thereby providing a reference for China to enhance its systems analysis capabilities and participate in global sustainable development governance.

Keywords systems analysis;integrated assessment models;international scientific and technological cooperation;capacity building;IIASA

张秀明 奥地利国际应用系统分析研究所研究员,玛丽居里学者。主要研究领域为碳氮循环、可持续发展目标、减污降碳及其费效分析等。在*Nature*、*Science*等期刊累计发表学术论文60余篇。

(责任编辑 贾祖冰 张 强)

* Corresponding Author,Email:zhangx@iiasa.ac.at