

中国自然保护地温室气体排放核算 框架构建研究

A Study on Greenhouse Gas Emission Accounting Framework for Protected Areas in China

钟乐
杨胜兰
许欢
唐佳乐
贺佳

ZHONG Le
YANG Shenglan
XU Huan
TANG Jiale
HE Jia

摘要: 自然保护地既是重要的碳汇, 也有可能成为排放源, 核算温室气体排放量是增强自然保护地减排增汇能力的关键, 具有重要意义, 中国尚无相关研究与实践。系统回顾、总结了国内外温室气体清单编制方法、国际自然保护地温室气体核算方法的经验。在此基础上, 建构了中国自然保护地温室气体排放核算框架: 首先, 提出了衔接国家标准、对标国际惯例, 自下而上为主、兼顾自上而下, 突出关键类型、强调自身特点3条核算原则; 其次, 从核算气体、核算边界、关键类别、排放水平、排放因子5个方面进行了详细阐述; 最后, 总结了核算方法, 并建立了包括前期准备、数据调研、具体核算3个阶段共7个步骤的核算流程。开创性地提出了中国自然保护地温室气体排放核算框架, 能够帮助提升自然保护地减排增汇、应对气候变化的能力, 助力碳达峰碳中和, 对相关研究与实践具有借鉴和指导意义。

关键词: 风景园林; 国家公园; 自然保护地; 排放清单; 低碳; 零碳; 联合国政府间气候变化专门委员会

文章编号: 1000-6664(2023)03-0014-06

DOI: 10.19775/j.cl.2023.03.0014

中图分类号: TU 986

文献标志码: A

收稿日期: 2022-11-29

修回日期: 2022-12-20

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金项目(编号2662020YLQD003)资助

Abstract: Protected areas are both vital carbon sinks and potential sources of emissions. Accounting for greenhouse gas emissions is the key to enhancing the capacity of protected areas to increase sinks and reduce emissions. It is of great significance, and there has yet to be any relevant research and practice in China. This paper systematically reviews and summarizes the experience of domestic and international greenhouse gas inventory methods and international greenhouse gas accounting methods for protected areas. On this basis, this paper constructs a framework for accounting GHG emissions from protected areas in China: three accounting principles are proposed, namely, connecting national standards and benchmarking with international practices, bottom-up focus, and top-down balance, highlighting key types and emphasizing their own characteristics; five key aspects are elaborated: accounting gases, accounting boundaries, key categories, emission levels, and emission factors; the accounting method is summarized. The study also establishes a seven-step accounting process that includes three stages: preliminary preparation, data research, and specific accounting. The study presents a pioneering framework for accounting of greenhouse gas emissions from protected areas in China, which can help enhance the ability of protected areas to increase carbon sinks and reduce carbon emissions, address climate change, and help achieve carbon peak and carbon neutrality, and is of reference and guidance significance to relevant research and practice.

Keywords: landscape architecture; national park; protected area; emissions inventory; low carbon; zero carbon; IPCC

全球气候变化对生态系统和人类健康福祉都产生了不利影响^[1]。人类活动造成的温室气体(Greenhouse Gas, GHG)排放是全球变暖的根源^[2], 减排增汇是应对气候变化的重要举措, 编制GHG排放清单是其中的关键。GHG排放核算可以认为是对一定范围内的各种GHG源的排放量进行核算, GHG清单即是一定范围内各种源的排放和各种汇的清除的详细清单^[3]。

编制GHG排放清单已成为中国自然保护地体系建设中的紧迫议题, 但目前尚无相关研究与实践。本文旨在建构中国自然保护地GHG排放

核算框架, 回答如下问题: 1)国际社会在GHG清单编制及自然保护地GHG核算方面取得了怎样的进展? 2)如何核算中国自然保护地的GHG排放? 本文提出的自然保护地GHG排放核算方法是该方向上的创新性思考。

1 重要意义与现实需求

中国已做出“2030年碳达峰、2060年碳中和”的郑重承诺, 编制GHG清单是实现“双碳”目标的基础性工作。相关的研究和实践在国家、省、城市等不同空间尺度层级上进行^[4-5],

并面向工矿业^[6]、农牧业^[7]、旅游业^[8]等不同行业展开, 但尚无针对自然保护地的探讨。自然保护地在应对气候变化方面潜力巨大, 已有研究聚焦于此展开^[9-11], 但自然保护地产生的GHG排放却较少受到关注, 事实上, 包括美国优胜美地国家公园、大峡谷国家公园等在内的部分自然保护地已成为GHG排放源^[12-13]。虽然人为的GHG排放主要集中于城镇, 但城镇总面积只占中国国土面积的0.98%^①, 其余99.02%的自然区域中的可能排放也不容忽视。中国在编制自然区域排放清单时, 主要遵照《IPCC国家GHG排放清单

指南》(以下简称《IPCC指南》)、《省级GHG清单编制指南(试行)》(以下简称《省级指南》)的方法,其原理是测算由土地利用改变、生物量变化所导致的排放,但这些方法应用于自然保护地时存在很大局限。自然保护地内的人为活动受到严格管控,这些活动不会引起明显的土地利用变化和生物量改变,但也能产生排放。

探索自然保护地的GHG排放核算及清单编制方法已成为中国自然保护地建设中重要且紧迫的议题。对于自然保护地体系而言,相关核算有助于提高中国国家GHG清单的精度,助力“双碳”目标的实现。中国自然保护地总面积已占中国国土陆域面积的18%;其访客众多,早在“十一五”期间,仅国家级风景名胜区就接待游客21.4亿人次^[14]。如此数量众多、访客规模庞大的自然保护地,其GHG排放已不容忽视。对于自然保护地个体单元而言,相关核算能帮助实现如下目的:1)摸清“碳家底”,精准识别自然保护地内的各类排放源,清晰反映排放水平、排放结构和排放特征;2)监测碳动态,依托核算工作建立起GHG排放监测体系,帮助建立长时间序列的排放清单,反映各部门各排放源的排放变化及发展趋势;3)实施碳减排,对核算结果进行深入剖析,帮助管理机构精准识别减排增汇的关键战略点,确定科学、合理的减排增汇目标,以更有效地制定应对气候变化的规划、行动和计划。

2 国内外进展与经验借鉴

2.1 GHG清单编制

编制GHG清单是世界各国合作进行气候变化治理的主要工作之一,也是中国提升气候变化治理能力的重要抓手。截至2022年11月,已有189个UNFCCC缔约方提交了国家GHG清单^②。中国已报告了1994、2005、2010和2014年的国家GHG清单^[15],31个省市已编制了省级GHG清单^[16],共发布了340个城市的城市GHG清单^[17]。

目前全球已有多种GHG清单编制方法,国际上的主流方法除《IPCC指南》外,还包括国际标准化组织(ISO)、世界可持续发展工商理事会(WBCSD)、国际地方环境倡议理事会(ICLEI)等多个国际组织开发的方法指南。中国发布了《省级指南》和24个行业企业的核算指南^[18],广东、重庆等发布了区县级指南,一些研究机构还开发了《城市GHG核算工具指南(测试版

表1 部分国家的国家公园温室气体排放核算典型做法举例

案例	评估气体	排放源			计算方法
		范围1	范围2	范围3	
英国	CO ₂ 、CH ₄ 、N ₂ O	固定燃烧、交通运输	购买的电力、购买的热力	公务差旅、废物处理(含污水处理)、自来水供应	排放因子法,排放因子来源于英国及国际研究中指出的最佳数据
美国	CO ₂ 、CH ₄ 、N ₂ O、HFCs	固定燃烧、交通运输、施肥、动物肠道发酵、废弃物处理、制冷剂使用	购买的电力	公务差旅、员工通勤	基于排放因子法,开发CLIP工具
澳大利亚	主要为CO ₂	交通、燃料、动物肠道发酵、无组织排放	电力	废物处理(含污水处理)、公务差旅(含住宿)、员工通勤、快递物流,以及特许经营商的能源消耗、电力消耗、纸张消耗	—
加拿大	CO ₂ 、CH ₄ 、N ₂ O、HFCs、PFCs、SF ₆	加拿大公园直接支付能源费用的车队和设施	—	员工住房(除非加拿大公园支付的能源费用)、飞机燃料、商务旅行的租赁车辆、租用的办公空间、非能源排放(如垃圾填埋场、火灾)	排放因子法,排放因子采用加拿大金融系统生成的数据报告计算

1.0)》^[19]《中国城镇温室气体清单编制指南》^[20]等。这些方法可以分为自上而下的利用统计数据测算,以及自下而上的利用调研数据进行测算2类。各类清单都将核算气体、核算边界、关键排放源和核算方法确定为重点内容,特点如下。

1)核算气体。以《京都议定书》为依据^[21],均将二氧化碳(CO₂)、甲烷(CH₄)、氧化亚氮(N₂O)、氢氟碳化物(HFCs)、全氟碳化物(PFCs)和六氟化硫(SF₆)作为主要核算气体。

2)核算边界。可分为地理边界和内容边界,前者划定了地理空间层面的核算界限,一般为组织核算的机构的行政管辖边界;后者限定了纳入核算的具体排放项目,可从生产/消费、直接/间接、组织运营/生命周期等多种角度进行划分。国家、省级层面的大尺度核算常基于生产者视角,而城市等局地尺度常采用生产者、消费者结合的视角,分为直接排放、可控制的间接排放、无法控制的间接排放3个范围(scope)^③。

3)关键排放源。根据核算区域内的具体排放特征,识别出关键类别的排放源纳入核算统计。以中国2005、2008年的国家GHG清单为例,在104个源和汇类别中,关键类别共66个,主要来源于能源活动、工业生产过程、农业、土地利用变化等领域^[22]。

4)核算方法。IPCC排放因子法、物料衡算法等是常用的计算方法,尤以前者应用更为广泛。

2.2 自然保护地GHG排放核算

相关研究与实践在国际层面已取得一定进展,但在中国还基本缺失。自然保护地GHG排放核算主要面向国家公园展开,英、美、加、澳等多国开展了相关工作,其中美、英两国最为突出,截至目前,美国国家公园体系下已有102个自然保护地单元完成了GHG排放核算工作^[23],英国完成了全部15个国家公园的GHG清单报告^[24]。

各国的自然保护地GHG排放核算特点主要有:核算气体均遵循《京都议定书》的建议并立足本国特色,如美国核算CO₂、CH₄、N₂O、HFCs,英国核算CO₂、CH₄、N₂O,且常将非CO₂气体转换为二氧化碳当量(tCO₂e);核算边界均以国家公园的管辖界限为地理边界,从生产/消费或组织运营的视角出发,将范围法作为确定内容边界的方法;核算方法上,大多基于IPCC排放因子法进行计算,以美国为例,虽然专门开发了“公园气候领导工具”(Climate Leadership in Parks, CLIP),但其内核仍为IPCC排放因子法(表1)。

3 中国自然保护地GHG排放核算框架

以国际自然保护地通用的GHG清单编制方法为借鉴,以中国各级各类清单编制方法为参考,立足中国自然保护地的管护特点和GHG排放特征,建构中国自然保护地GHG排放核算框架。

3.1 核算原则

1)衔接国家标准、对标国际惯例。核算框架与《省级指南》《省级二氧化碳排放达峰行动方案编制指南》等的要求一致,与中国《气候变化国家信息通报》形成有效衔接,并尽量符合《IPCC指南》的惯例和国际自然保护地GHG排放核算的通用做法。

2)自下而上为主、兼顾自上而下。一方面,中国并无专门针对自然保护地的能源平衡表^④和相应统计,采用自上而下的方法具有先天局限;另一方面,相较于城市地区,自然保护地的GHG排放活动较为简单,获取核算所需的各类数据也更为便利。因此,一般可采取更精细、准确的自下而上的核算方法,当无法获取精细数据时,可将自上而下的方法作为辅助手段。

3)突出关键类型、强调自身特点。自然保护地内的GHG排放主要由管理活动、社区活动和访客活动产生,且自然保护地内的人为活动类型受到严格管控,据此识别自然保护地内GHG排放的关键类别,充分体现自然保护地排放特点。

3.2 重点内容

3.2.1 核算气体

以《中华人民共和国气候变化第三次国家信息通报》所核算的6种气体为基准,其中部分气体源于一些被禁止在自然保护地内开展的生产活动类型,将此类气体剔除后,核算气体为CO₂、CH₄、N₂O。此外,还可依据自然保护地个体单元的实际状况,适当增减核算气体种类。

3.2.2 核算边界

包括地理边界和内容边界。地理边界即为自然保护地设立时或在总体规划中所确定的自然保护地管理机构管辖的空间边界。内容边界可分为“类别1”“类别2”和“类别3”,对应着直接排放和间接排放。其中,直接排放发生于自然保护地空间边界内,间接排放虽发生于自然保护地外,但却由自然保护地内的活动所引起;类别1是基础设施运维、社区生产生活、访客体验等产生的直接排放,类别2是电力、供热等的输入和外调所产生的可控制的间接排放,类别3是无法控制的上游生产和下游消费发生的间接排放,排放源包括自然保护地采购的食物、日用品等,以及转运至自然保护地外处理的废弃物。

3.2.3 关键类别

自然保护地内一般禁止采石、采砂、采矿,

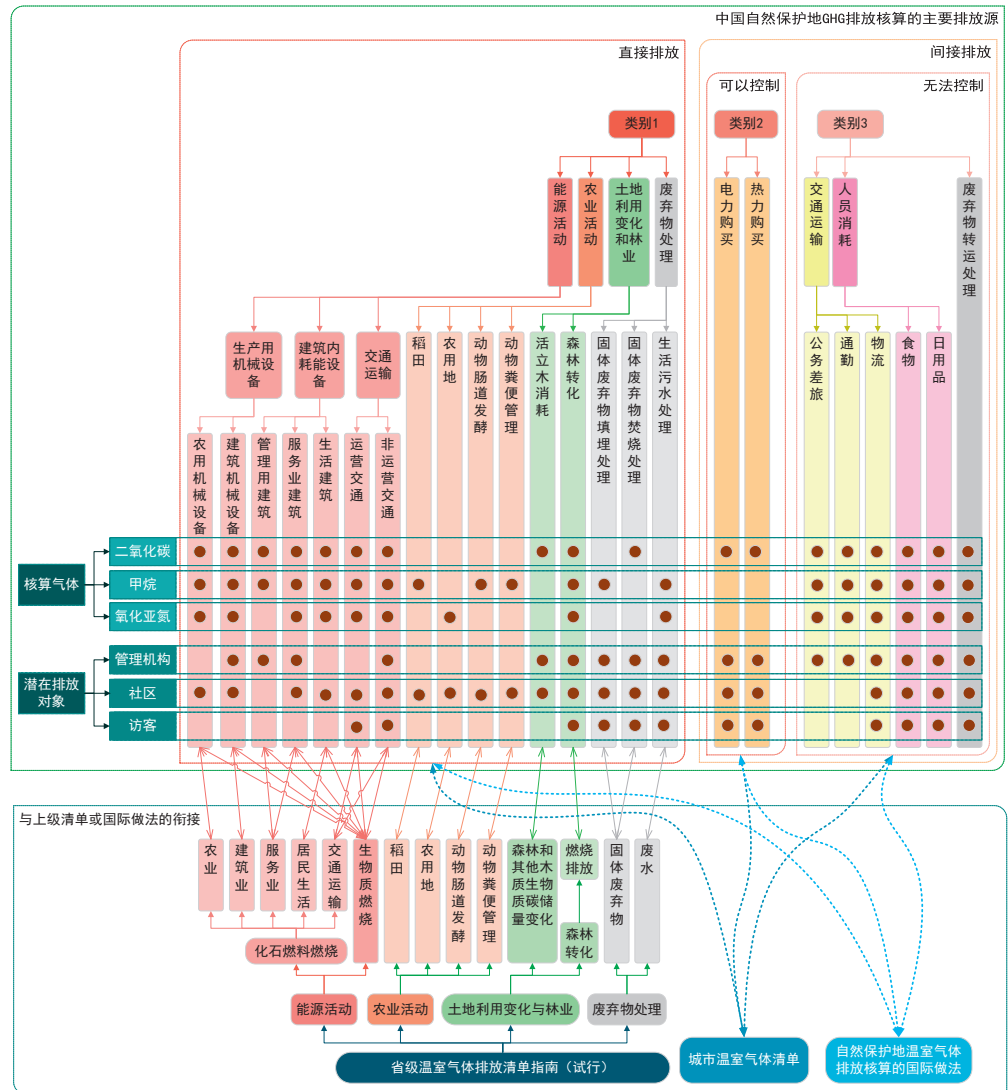


图1 中国自然保护地GHG排放源的基本信息

以及大规模、有污染、与自然保护的管护需求背离的生产活动^⑤,核算GHG时可将上述活动类型排除,最终确定的关键类别排放源包括3个类别(图1)。其中,类别1基于生产者视角,与《IPCC指南》《省级指南》的逻辑、思路一致,计算结果可无缝接入省级排放清单,以更精细、准确的数据替代原清单中相应区域的排放量。类别2和类别3基于消费者视角,因此不接入省级清单,但仍进行核算的原因有三:其一,计算的思路、逻辑与中国各类城市GHG排放清单编制一致,可无缝接入城市GHG排放清单;其二,类别的划分、计算的内容与国际自然保护地的计算方法基本一致,可实现与国际自然保护地的比较和交流;其三,能更精准地反映自然保护地GHG排放水平、结构与特征,帮助管理机构发现关键问题并科学施策,助力提升自然保护

地的减排增汇能力(图1,表2)。

1)类别1。

发生于自然保护地边界内的所有直接排放,包括能源活动、农业活动、土地利用变化和林业、废弃物处理4类。

能源活动。根据排放源的用途将其分为生产用机械设备、建筑和交通运输三大类型下的7个小类。为便于计算,以排放源所使用的燃料类型为依据,划分为化石燃料排放源和生物质燃料排放源,前者需核算全部3种气体,后者仅核算CH₄。7类排放源对应着不同的潜在排放者。

农业活动。分为稻田、农用地、动物肠道发酵和动物粪便管理4类,核算气体以CH₄、N₂O为主,不涉及CO₂,其排放均源于社区的农业、牧业生产,潜在排放者均为社区。

土地利用变化和林业。包括活立木采伐和森

林转化2类, 自然保护地制度严格管控了大规模采伐和土地利用改变, 因此仅计算由于管护所需的间伐等措施及人为火情所产生的排放。由高温干旱、天雷等自然现象引起的火情的排放量不列入GHG清单, 但应单独列项报告。

废弃物处理。包括固体废弃物填埋、焚烧和生活污水处理3类。根据处理地点可分为统一集中处理和分散处理2种, 前者一般发生于面积较大、建有垃圾填埋场等设施的自然保护地, 后者一般发生于地处偏远且无转运条件的社区或管理站点等。3类废弃物处理均不测算CO₂, 其潜在排放者均包括管理机构、社区和访客。

2)类别2。

包括自然保护地外购的电力和热力(含热水、蒸汽), 虽然GHG排放发生于其生产过程, 但却消耗于自然保护地内, 其核算气体包括全部3种, 潜在排放者为管理机构、社区和访客。

3)类别3。

包括交通运输、人员消耗和废弃物转运处理3种, 它们虽然发生于自然保护地边界外, 但源于自然保护地的运维需求。交通运输包括了

管理人员发生在自然保护地边界外的日常通勤、公务差旅, 以及沟通自然保护地边界内外的货物运输、垃圾转运等物流; 人员消耗主要为管理人员、社区居民和访客在自然保护地内所消耗的食物、日用品等; 废弃物转运处理指在自然保护地内收集并统一转运至自然保护地外进行集中处理的废弃物、生活污水等。

3.2.4 排放水平

收集各类排放源的排放水平数据, 以是否需要进行换算才能用于GHG排放核算为依据, 可将数据分为2类: 一类是可直接用于计算的数据, 如稻田排放核算中所需的各种水稻的种植面积; 另一类需先将数据进行换算, 如能源活动数据需先收集耗能设备信息, 进行换算后才能得到具体燃料的排放水平, 以汽油消耗量统计为例, 需收集自然保护地内每一台汽油设备的基准年耗油量, 再将其汇总求得总体汽油消耗量。

数据的获取方法可分为专家经验估算、管理机构提供、研究文献调研和现场调研4种: 专家经验法需要专家能精准掌握相关调研内容; 能够提供数据的主要机构有自然保护地管理机构, 以

及农业农村部门、住建部门、交通运输部门、林草部门和电力部门等; 文献调研的类型包括统计年鉴、统计报表、工作报告、各类研究文献等, 尤其是各级的能源、农业、牧业、农村、城乡建设、交通、林业等统计年鉴, 以及历次森林资源、国土资源、自然资源清查等; 现场调研的方法包括现场实测、现场资料收集、问卷调查、访谈等, 可分为普查和抽样调查, 主要面向管理机构展开的调研应为普查, 主要面向社区或访客的应为抽样调查(图2)。

3.2.5 排放因子

为精确反映当地排放特点, 原则上应通过实地测试来获得排放因子, 但中国自然保护地数量多、分布广, 实测获取的难度过高, 因此可依据《IPCC指南》《省级指南》《中国能源统计年鉴》等查找所需的排放因子。建议优先参考《中国产品生命周期温室气体排放系数集(2022)》^[25], 该数据集包括了工业、能源、生活、农业、废弃物处理、交通服务、碳汇等板块的1 081种产品的排放因子, 能满足自然保护地GHG排放核算的绝大部分需求。

表2

自然保护地关键GHG排放源及其界定、案例

排放源	界定	案例
农用机械设备	农用机械设备运维所消耗燃料释放出的排放	粮食烘干机、拖拉机、播种机、收割机等农机设备
建筑机械设备	建筑机械设备运维所消耗燃料释放出的排放	土木工程建设、建筑装修等所使用的机械设备
管理用建筑	建筑内的设备运维所消耗燃料释放出的排放	办公楼、行政服务中心等建筑内的耗能设备
服务业建筑		银行、邮局、商超、酒店、饭店等建筑内的耗能设备
生活建筑		社区居民房屋、管理人员宿舍等建筑内的耗能设备
运营交通	交通工具运维所消耗燃料释放出的排放	摆渡巴士、出租车、公交车、航空器、游船等商业用途的交通工具
非运营交通		公务车、航空器、船舶、私家车、摩托车等非商业用途的交通工具
稻田	耕作过程中从稻田土壤中释放出的排放	单季稻、双季稻等不同稻田类型
农用地	农用地当季N ₂ O输入	社区农业生产施用肥料
动物肠道发酵	动物代谢中消化道内的微生物发酵释放出的排放	社区畜牧业生产
动物粪便管理	施入到土壤之前所贮存和处理的动物粪便释放出的排放	社区畜牧业生产
活立木消耗	采伐引起活立木蓄积量变化而释放出的排放	为满足管护需求采取的间伐措施等
森林转化	森林火灾/现地燃烧导致土地利用类型改变而释放出的排放	人为因素引起的火情、火灾等, 自然现象导致的火灾、火情应单独报告排放量
固体废弃物填埋处理	填埋废弃物释放出的排放	垃圾填埋场、社区居民垃圾自行填埋等
固体废弃物焚烧处理	焚烧废弃物释放出的排放	垃圾焚烧处理设备、社区居民垃圾自行焚烧等
生活污水处理	处理生活污水释放出的排放	生活污水处理设备、社区居民自行排放生活污水等
电力购买	自然保护地从外界购买电力引起的排放	电器、电动机械设备、电动交通工具等
热力购买	自然保护地从外界购买热力引起的排放	集中供暖
公务差旅	因公务需要, 管理人员往返自然保护地与目的地所搭乘交通工具产生的排放	铁路、航运、航空、公路客运等
通勤	因通勤需要, 管理人员往返自然保护地与居住地所搭乘交通工具产生的排放	公交车、私家车、出租车、摩托车等
物流	从自然保护地边界至目的地的物流产生的排放	商品货运、垃圾清运等
食物	自然保护地内人员的食品消耗而产生的排放	社区居民、访客、服务人员、管理人员等的食品消耗
日用品	自然保护地内人员的日用品消耗而产生的排放	居民生活用品、管理人员办公用品、酒店洗漱用品等
废弃物转运处理	废弃物转运至自然保护地外集中产生的排放	固体废弃物转运填埋、焚烧, 生活污水转运处理等

少数排放源在核算时还需结合其他数据类型，如活立木消耗需考虑生物量转换系数，固体废弃物填埋处理需考虑氧化因子等，具体数据可查找《IPCC指南》《省级指南》获取。

3.3 核算方法

为更好地接入上层清单，在进行中国自然保护区GHG排放核算时，以《IPCC清单》《省级清单》所提供的排放因子法为主，其计算原理是用排放水平数据乘以排放因子。此外，有条件的自然保护区还可采用质量平衡法、空间估算法、实测法等多种方法校核。质量平衡法遵循质量守恒定律，认为投入某系统或设备的物料质量必然等于该系统产出的物料质量^[26]，以CO₂为例，其产生前后的关键元素碳具有质量恒定的特征，通过碳的质量计算即可反推CO₂的排放量。空间估算法^[27]是指利用具有精细空间尺度的GHG排放数据进行估算，其数据源主要包括碳卫星数据、多源地理数据及公开发布的排放地图数据库等。实测法^[28]则是基于排放源实测基础数据得到GHG排放量(表3)。

3.4 核算流程

中国自然保护区GHG排放核算流程包括3个阶段和7个步骤(图3)。前期准备是第一阶段，首先明确核算的具体地理边界和内容边界，即论证应核算哪些区域、哪些方面的排放；在此基础上确定关键的排放源类别，即确定具体有哪些排放活动须纳入计算；最后，根据关键排放类别确定需要核算的GHG种类。

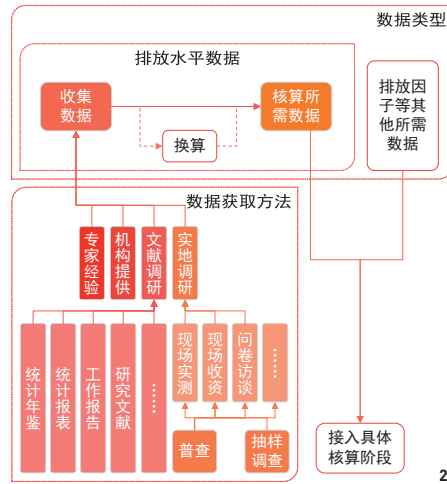
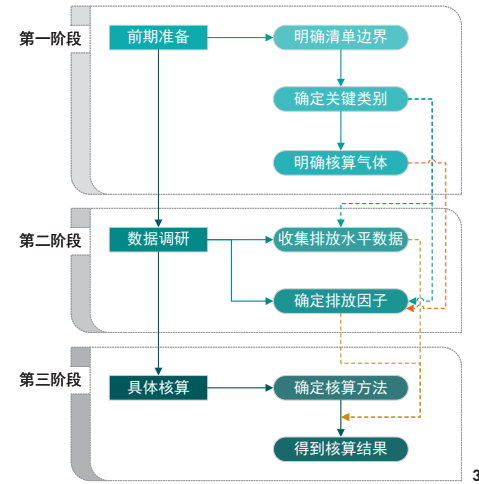


图2 核算所需数据类型及获取方法
图3 中国自然保护区GHG核算流程



第二阶段调研采集核算所需的数据，包括收集排放水平数据和确定排放因子2个并行的步骤。一方面，针对第一阶段所确定的各类关键排放源，逐一调研收集其排放水平数据；另一方面，由于不同排放源所需核算的气体类型各异，因此还应结合第一阶段所确定的核算气体类型，查找或测定不同排放源、不同类型气体的具体排放因子或其他所需数据。

第三阶段进行具体核算，首先确定各关键排放源、各类型GHG的核算方法，面向不同的排放源，可依据实际需要采用差异化的最适计算方法。确定计算方法之后，再将所收集的排放水平数据、排放因子及其他所需数据代入计算方法，即可计算求得GHG排放量，并依据具体的

用途，将核算结果进行分类报告，或是接入省级清单，或是接入城市清单，又或面向实际管理需求，进行全面比较、综合剖析。

4 结语

以国家公园为主体的自然保护区体系是中国自然生态系统中的精华部分，提升其减排增汇能力对中国实现碳达峰碳中和有重要的促进作用，精确计算自然保护区GHG排放量是必要前提。本文在总结国际经验的基础上，结合我国相关政策、标准，立足自然保护区的立地条件特点，提出了中国自然保护区GHG排放核算框架，对相关的研究、实践工作具有参考和借鉴意义。

中国自然保护区GHG排放核算的工作任重

表3

中国自然保护区GHG核算方法

方法	公式或原理	可用资源	
排放因子法	$E_{GHG} = \sum Activity_i \times EF_i$ E _{GHG} 为不同类型GHG的排放量；i为不同类型的排放源；Activity _i 为i排放源的排放水平数据；EF _i 为i排放源的排放因子，即每一单位排放水平的i排放所对应的GHG排放量	《IPCC指南》《省级指南》《城市GHG核算工具指南(测试版 1.0)》《中国城镇温室气体清单编制指南》等	
质量平衡法	$E_{GHG} = \sum_i (Material_i \times MC_i - Product_i \times PC_i - Waste_i \times WC_i) \times CC$ Material _i 为原料i；MC _i 为原料i的含GHG元素量，指形成该GHG的主要元素，如CO ₂ 的MC _i 即为其含碳量；Product _i 为从原料i生产出的产品i；PC _i 为产品i的含GHG元素量；Waste _i 为产品i生产过程中产生的废物i；WC _i 为废物i的含GHG元素量；CC为该GHG元素转换成GHG的转换系数		
空间估算法	碳卫星估算	通过卫星识别自然保护区边界内大气的气溶胶数据，进而遥感反演碳浓度	TANSAT、GOSAT、ENVISAT、AURA、AQUA、METOP-A等卫星
	多源地理数据估算	通过带地理位置信息的数据提升空间估算精度	交通大数据、手机信令数据、建筑物点位数据、兴趣点数据(POI)等
	排放地图数据估算	通过空间插值将公开发布的大尺度排放地图数据精细化到自然保护区边界内	全球大气研究排放数据库(EDGAR)、全球化石燃料数据同化系统(FFDAS)、全球近实时逐日碳排放地图(GRACED)、中国多尺度排放清单模型(MEIC)数据集等
实测法	通过现场对排放源采集排放气体，测量其流速、流量、浓度等，进而计算气体的排放总量	GHG气体自动监测设备、高精度GHG气体监测站等	

道远, 本文仅是对核算框架的初步思考, 还存在一些不足: 首先是聚焦于GHG排放, 未涉及GHG的吸收和贮存; 其次是由于研究定位的限制, 本文未能就具体的核算方法进行更深入地探讨, 也无法展现实证应用的案例。鉴于此, 未来的研究还可在以下3个方面有更多的探索: 1)增加有关自然保护地吸收贮存GHG能力计算的板块, 以更精确地测算“排”与“汇”的关系; 2)对关键排放类别识别方法、排放水平数据收集方法、排放因子测量和核算方法进行更深入地探索, 提升核算精度; 3)在中国国家公园和自然保护地中选取典型代表, 进行GHG核算的案例实证。希望本文能起到抛砖引玉的作用, 吸引更多的研究力量加入自然保护地GHG排放核算的研究与实践工作中, 为依托自然保护地应对气候变化、实现双碳目标作出更大贡献。

注: 文中图片均由作者绘制。

致谢: 感谢清华大学国家公园研究院院长助理、清华大学建筑学院景观学系副教授赵智聪对本文从立意到研究、撰写的全面指导。

注释:

- ① 2017年“全国城镇土地利用数据汇总成果”显示, 中国城镇土地总面积943.1万 hm^2 ; 国土总面积以960万 km^2 计算, 城镇总面积与中国国土总面积比值约为0.98%, https://www.mnr.gov.cn/dt/zb/2017/tdly/zhibozhaiyao/201806/t20180629_1965982.html.
- ② 根据联合国气候变化公约网页的信息整理, https://di.unfccc.int/ghg_profile_non_annex1; https://di.unfccc.int/ghg_profile_annex1.
- ③ “范围”概念由WRI和WBCSD于2004年发布的《温室气体核算体系: 企业核算和报告标准》(GHGP)首次提出, 范围1为直接温室气体排放, 排放来源由组织、机构或企业所有或控制; 范围2为间接温室气体排放, 主要为组织、机构或企业所购买的电力产生的排放; 范围3为除范围2以外的其他间接温室气体排放, 且排放源不受组织、机构或企业所有或控制。
- ④ 能源平衡表指的是以矩阵或数组的形式, 反映特定研究对象(国家、地区、企业)的能源流入与流出、生产与加工转换、消费与库存等数量关系的统计表格。中国全国及各地区的能源平衡表发布在《中国能源统计年鉴》。
- ⑤ 根据《自然保护区条例》《风景名胜区条例》《森林公园管理办法》《国家湿地公园管理办法》《地质遗迹保护管理规定》及正在征求意见中的《国家公园法》, 结合历次中央生态环境保护督察所反映的督查情况整理。

参考文献:

- [1] IPCC. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2022: 3-33.
- [2] IPCC. *IPCC Special Report on Impacts of Global Warming of 1.5°C above Pre-industrial Levels in Context of Strengthening Response to Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty?*[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2022: 1-24.
- [3] 联合国环境与发展大会.《联合国气候变化框架公约》[R/OL].(1992-06-04)[2022-11-26].[https://www.un.org/zh/documents/treaty/files/A-AC.237-18\(PARTII\)-ADD.1.shtml](https://www.un.org/zh/documents/treaty/files/A-AC.237-18(PARTII)-ADD.1.shtml).
- [4] 朱松丽, 蔡博峰, 朱建华, 等. IPCC国家温室气体清单指南精细化的主要内容和启示[J]. 气候变化研究进展, 2018, 14(1): 86-94.
- [5] 庄贵阳, 白卫国, 朱守先. 基于城市电力消费间接排放的城市温室气体清单与省级温室气体清单对接方法研究[J]. 城市发展研究, 2014, 21(2): 49-53.
- [6] 马翠梅, 戴尔阜, 刘乙辰, 等. 中国煤炭开采和矿后活动甲烷逃逸排放研究[J]. 资源科学, 2020, 42(2): 311-322.
- [7] 李迎春, 林而达, 甄晓林. 农业温室气体清单方法研究最新进展[J]. 地球科学进展, 2007(10): 1076-1080.
- [8] 孙瑞红, 高峻, 叶欣梁. 旅游目的地碳排放清单创新设计研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(S1): 289-292.
- [9] 钟乐, 赵智聪, 王小珊, 等. 基于气候变化与生物多样性协同的中国自然保护地建设路径[J]. 风景园林, 2022, 29(6): 56-62.
- [10] 赵智聪, 王小珊, 杨锐. 基于国际经验的中国国家公园气候变化应对路径[J]. 中国园林, 2022, 38(4): 6-13.
- [11] 贺利平, 钟乐, 邱文, 等. 基于情景规划的国家公园气候变化应对: 美国经验及对中国的启示[J]. 中国园林, 2022, 38(4): 38-43.
- [12] Collins M, Mitchard E. A small subset of protected areas are a highly significant source of carbon emissions[J]. *Scientific Reports*, 2017, 7: 11.
- [13] UNESCO, WRI, IUCN, 2021: World Heritage forests: Carbon sinks under pressure, Paris, UNESCO[R/OL]. [2022-12-26]. <https://www.iucn.org/resources/jointly-published/world-heritage-forests-carbon-sinks-under-pressure>.
- [14] 住房和城乡建设部. 中国风景名胜事业发展改革公报[R/OL].(2012-12-04)[2022-12-26].<https://www.mohurd.gov.cn/file/old/2012/20121204/w02012120419937414971793750.doc>.
- [15] 中华人民共和国气候变化第三次国家信息通报[R/OL]. [2022-12-26]. <https://tnc.ccchina.org.cn/archiver/NCCCcn/UpFile/Files/Htmleditor/202007/20200723152332694.pdf>.
- [16] 卢露. 碳中和背景下完善我国碳排放核算体系的思考[J]. 西南金融, 2021(12): 15-27.
- [17] 中国城市温室气体工作组. 中国城市二氧化碳排放数据集[EB/OL].(2022-10-07)[2022-12-26].<http://www.cityghg.com>.
- [18] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 建制度, 算好账, 筑牢碳达峰碳中和的数据基石[EB/OL].(2022-10-07)[2022-12-26].https://www.ndrc.gov.cn/fggz/hjzy/tdftzh/202208/t20220819_1333240.html?code=&state=123.
- [19] WRI, IUE, WWF, 等. 城市温室气体核算工具指南(测试版 1.0)[R/OL]. [2022-12-26].http://www.cbcsd.org.cn/sjk/nengyuan/standard/home/20130917/download/GHG_Accounting_Tool_for_Chinese_Cities.pdf.
- [20] 中国社会科学院产生发展与环境研究所. 中国城镇温室气体清单编制指南[R]. 北京: 中国社会科学院城市发展与环境研究所, 2014.
- [21] United Nations. Kyoto Protocol[EB/OL]. (1997-12-11)[2022-09-09]. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>.
- [22] 马翠梅, 于胜民, 李湘. 中国温室气体清单关键类别分析[J]. 中国能源, 2015, 37(12): 26-32.
- [23] U.S. National Park Service. Climate Friendly Parks Program[R/OL]. (2022-03-14)[2022-12-26]. <https://www.nps.gov/subjects/dimatchange/cfpprogram.htm>.
- [24] U.K. Department for Business, Energy & Industrial Strategy. UK local authority and regional greenhouse gas emissions national statistics[R/OL]. (2022-06-30)[2022-12-26]. <https://www.gov.uk/government/collections/uk-local-authority-and-regional-greenhouse-gas-emissions-national-statistics>.
- [25] 生态环境部环境规划院, 北京师范大学, 中山大学, 等. 中国产品全生命周期温室气体排放系数集(2022)[R]. 2022.
- [26] 郝干婷, 黄明祥, 包刚. 碳排放核算方法概述与比较研究[J]. 中国环境管理, 2011(4): 51-55.
- [27] 孔潇扬, 李琦. 能源碳排放的空间估算研究进展[J]. 测绘科学, 2022, 47(8): 146-156; 185.
- [28] 刘明达, 蒙吉军, 刘碧寒. 国内外碳排放核算方法研究进展[J]. 热带地理, 2014, 34(2): 248-258.

(编辑/刘欣雅)

作者简介:

钟乐
1983年生/男/江西兴国人/博士/华中农业大学园艺林学学院风景园林系副教授/研究方向为国家公园与自然保护地、城市生物多样性治理、风景园林与健康福祉(武汉 430070)

杨胜兰
1999年生/女/贵州贵阳人/华中农业大学园艺林学学院风景园林系在读硕士研究生/研究方向为国家公园与自然保护地、城市生物多样性(武汉 430070)

许欢
2000年生/男/云南曲靖人/华中农业大学园艺林学学院风景园林系在读硕士研究生/研究方向为城市自然保护地(武汉 430070)

唐佳乐
2001年生/女/湖南娄底人/华中农业大学园艺林学学院风景园林系在读硕士研究生/研究方向为国家公园与自然保护地(武汉 430070)

贺佳
2000年生/女/河北张家口人/华中农业大学园艺林学学院风景园林系在读硕士研究生/研究方向为风景园林与公共健康(武汉 430070)