

# 重大工程气候可行性论证进展

史军<sup>1</sup> 温康民<sup>1,2</sup> 穆海振<sup>1</sup> 刘校辰<sup>1</sup>

(1 上海市气候中心, 上海 200030; 2 中国地质大学(武汉)环境学院, 湖北 武汉 430074)

**摘要:** 论述了重大工程开展气候可行性论证的必要性及意义, 分析了当前我国重大工程气候可行性论证在技术、业务和服务方面的进展及存在的问题和解决问题的思路措施, 指出了重大工程气候可行性论证关键技术, 包括对极端天气气候事件变化的未来预估、对工程与环境间相互影响的数值模拟、对多源立体气候环境信息的综合探测、对灾害影响和致灾风险的动态评估, 以及对区域代表性气象参数的实时更新, 以期为我国重大工程项目气候可行性论证提供借鉴。

**关键词:** 重大工程, 气候可行性论证, 气候变化, 业务与服务, 进展

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2016.06.002

## Progress of Demonstrating Feasibility of Major Projects upon Climate

Shi Jun<sup>1</sup>, Wen Kangmin<sup>1,2</sup>, Mu Haizhen<sup>1</sup>, Liu Xiaochen<sup>1</sup>

(1 Shanghai Climate Centre, Shanghai Meteorological Bureau, Shanghai 200030 2 China University of Geosciences, School of Environmental Studies, Wuhan 430074)

**Abstract:** This paper discusses the necessity and significance of demonstrating feasibility of major project upon climate, analyzes the progresses and current problems; suggests some ideas and measures to solve these problems in technology, business and service for major projects in China; points out the key technologies, which include the project feasibility on the future extreme weather and climate events, the numerical simulation of the interaction between the major projects and surrounding environment, the comprehensive detection of multi-source and three-dimensional climate information, the dynamic assessment of disaster influence process and risk, the improvement of regional representative and real-time update of meteorological parameters. It offers future references for demonstrating feasibility of major projects upon climate in China.

**Keywords:** major projects, feasibility upon climate, climate change, business and services, progress

### 0 引言

气候可行性论证是指在重大工程项目实施之前, 从气候学的角度出发, 对与气候条件密切相关的规划和建设项目进行气候适宜性、风险性以及可能对局地气候产生影响的分析、评估活动<sup>[1]</sup>。其目的是合理开发利用气候资源, 避免或者减轻项目实施后可能受气象灾害、气候变化的影响, 或者可能对局地气候产生的影响。

气候可行性论证是应用气候学最重要的社会效益体现<sup>[2]</sup>。近年来, 我国学者在气候可行性论证的相关方面开展了较为深入的研究, 如黄世成等<sup>[3]</sup>探讨了大

型工程区气候要素极值计算方法和有效的空间插值计算方案, 初步建立了基于空间信息分析方法的工程气候可行性论证和系统流程; 房小怡等<sup>[2]</sup>阐述了我国低碳城市规划现状和主要内容, 探讨了在技术层面如何将气候可行性论证和城市低碳规划结合起来, 从而为低碳城市规划提供技术支撑和思路建议; 吴静等<sup>[4]</sup>指出大型工程项目在进行气候论证时要考虑建设过程对工程所在地雾-霾的影响, 将雾-霾作为局地气候变化的一个新指标, 突出了气候可行性论证更加注重工程项目对局地气候的影响; 张喜广等<sup>[5]</sup>探讨了气候可行性论证和气象灾害风险评估之间的关系, 为我国气候可行性论证和气象灾害防御立法研究提供基础法律理论支撑。

有鉴于此, 本文基于国内外已有的研究成果, 对重大工程气候可行性论证在技术和业务、服务方面的进展, 尤其是近年来的最新工作开展系统性的总结, 对存在的问题和解决问题的思路措施进行论述, 并对

收稿日期: 2015年11月9日; 修回日期: 2016年3月25日

第一作者: 史军 (1975—), Email: shij@climate.sh.cn

资助信息: 中国清洁发展机制基金赠款项目(2012043, 1212117); 国家自然科学基金(41401661, 41571044); 中国气象局气候变化专项(CCSF201503)

未来重大工程气候可行性论证的研究方向及关键技术方法进行展望, 以期气候可行性论证业务服务提供借鉴。

## 1 气候可行性论证的必要性和重要意义

### 1.1 开展气候可行性论证的必要性

气候可行性论证是重大工程的科学设计、安全运行和成本估算的需要。在一定时期内, 人类技术和经济的发展是有限的, 人类不可能抵御所有的自然灾害, 只能根据当前的技术经济能力与社会的需求, 综合考虑开发项目或建设工程本身抵御自然灾害的能力和灾害发生后救灾与恢复两者之间的成本平衡。大型工程、区域规划或开发项目等均是在预先确定的安全系数下开展规划、设计和建设, 与工程安全紧密联系的工程气象设计参数往往在很大程度上影响着工程投资成本, 甚至有可能成为工程建设的颠覆性因素。随着我国国民经济的飞速发展, 大型建设工程项目呈现出更高、更长、更宏大、更密集的发展特点, 其对环境尤其是极端气候事件也更加敏感, 灾害性气象因子已成为影响工程的安全性设计、运营效益和投资成本的关键因子<sup>[6]</sup>。气候可行性论证是在预先设定的安全系数情况下为工程项目算好经济账、保证社会重大建设工程项目顺利实施的基础性工作。

气候可行性论证是开发和保护气候资源、评估气候环境影响的需要。气候可行性论证在合理开发和保护气候资源、评估重大工程对局地或区域气候环境影响等方面发挥着重要的作用<sup>[7]</sup>, 它是城乡规划、大气污染防治、风能、太阳能资源的合理开发利用等重大工程不可或缺的环节。科学的气候可行性论证可以减轻区域环境污染和资源、能源短缺的压力, 避免风能、太阳能等高成本设备的规划布局失误所造成的严重浪费。如北京城市“摊大饼”式扩张模式<sup>[8]</sup>、京津冀地区雾-霾频发<sup>[9]</sup>都是这方面的典型案例。综合考虑气象和气候条件特点, 合理开发利用气候资源, 定量评估规划和建设项目功能布局对当地及周边环境的影响, 可以改善区域热环境和风环境, 减少空气污染, 并避免或者减轻项目实施中可能遇到的气候风险问题, 以及重大突发的自然灾害、事故灾难、公共卫生事件和社会安全事件, 从而实现区域环境状况的改善和居民生活质量的提高<sup>[10]</sup>。

气候可行性论证是应对气候变化、防灾减灾和前瞻性规划决策的需要。在全球气候变化的大背景下, 高温、暴雨洪涝和台风等极端性气候事件发生概率和强度都在增加, 沿海海平面也呈波动上升趋势, 加之近年来我国实施的快速工业化、城市化和下垫面

格局变化进程, 使得气象防灾减灾、适应气候变化以及应对极端天气气候事件都面临新的挑战, 如北京“7·21”特大暴雨<sup>[11]</sup>、2013年盛夏我国中东部强高温<sup>[12]</sup>等。气候变化通过对重大工程的设施本身、重要辅助设备以及工程所依托的环境的影响, 影响工程的安全性、稳定性、可靠性、耐久性, 以及运行效率和经济效益<sup>[13]</sup>。因此, 需要对大范围的气候变化及其未来影响, 包括城市生命线工程、高速铁路工程、重大水利水电工程、沿海港口码头工程和跨江(海)大桥工程等进行多方面深入的论证, 评估其对未来气候变化和气象灾害的敏感性及存在的风险, 从而为政府及规划、建设部门提供科学的、前瞻性决策和措施建议。

### 1.2 气候可行性论证的重要意义

对重大工程项目进行气候可行性论证, 一方面是可以增强工程建设和运营过程中抵御自然灾害的能力, 实现工程投资成本的经济化与效益的最大化; 另一方面, 可以充分适应和利用当地气候资源, 规避气候变化风险, 减缓重大工程对局地气候环境的不利影响, 从而服务于当地经济社会建设和居民生活。因此, 开展气候可行性论证工作对于合理控制建设成本、积极应对气候变化、避免和减轻气象灾害造成损失, 以及提供风险管理决策依据等都具有重要的意义和实用价值。

## 2 气候可行性论证工作取得的进展

### 2.1 业务服务进展

目前, 我国气候可行性论证广泛应用于能源(包括风能、太阳能、核电、火电、电网建设规划、输电工程等)、建筑(包括高耸、大跨度、复杂体型结构等)、交通设施(包括公路、铁路、桥梁、码头、机场建设和运营等)、化工(包括石化炼油、LNG等)、城镇规划(包括城市排水、城市环境、城市灾害)、农产品引进和旅游等领域。据统计, 2005—2010年, 我国气象部门共开展了988项气候可行性论证工作, 主要集中在风能太阳能电站选址、交通设施、核电、城乡规划和火电空冷等领域<sup>[2]</sup>, 其中, 风电场、太阳能电站选址占总数的38%; 核电占11%; 政府行业规划、城乡规划、交通设施和其他各占9%, 火电空冷占8%, 大型水利工程和输变电线路类所占份额较小。

随着我国气候可行性论证的发展, 我国各地区对于气候可行性论证技术各有侧重<sup>[2]</sup>, 如吉林和辽宁在风电场和太阳能电站选址方面比较擅长, 北京在城乡规划领域、广东在核电和风电选址领域、浙江和湖北在大型交通设施领域各有优势。中国气象局先后对三

峡工程、青藏铁路和南水北调等重大工程开展了开工前的气候可行性论证,并在建设过程中还持续进行气象保障服务<sup>[7]</sup>。这些论证成果为规划的编制和建设项目立项的论证提供了更加科学准确的结论,也为有效防御气象灾害和科学应对气候变化提供了基础性保障。

## 2.2 内容方法进展

不同的重大工程项目,气候可行性论证的内容和方法侧重点不同,但一般都包括工程区气候背景分析、主要气象灾害<sup>[14]</sup>、工程气象参数计算<sup>[15]</sup>和短期气象监测与气候影响预测分析等内容<sup>[16, 17]</sup>。对于输变电路工程,需要考虑电线覆冰以及最大风速推算、大风灾害调查评估;对于风能资源开发利用,需要进行风资源评估并考虑对当地气候的影响;核电站建设项目则需要考虑龙卷的情况;城市规划要考虑降水、风向对大气污染和城市下水管道的影响等问题。

工程气候可行性论证方法,包括通过分析各气候要素的平均值获得其平均状态;通过计算相对变率和绝对变率获得气候因素的稳定性;通过使用皮尔森-III型分布、极值 I 分布等模型推算气候极值,获得气候要素的极端情况;通过计算空气污染指数、大气混合层厚度、大气状况稳定度等分析重大工程的污染气象条件;通过采用差值线性内插法、比值线性内插法和全概率法等,对参考气象站与临时气象观测站同期观测资料,进行超短资料序列的订正延长等。

## 2.3 标准规范进展

伴随气候可行性论证工作的广泛开展,一些涉及重大工程设计参数和气候参数计算方法的行业标准或规范也得以发布实施,如《核电厂厂址选择的极端气象事件(不包括热带气旋)》(HAF 0112—1991)<sup>[18]</sup>、《公路桥梁抗风设计规范》(JTG/T D60-01—2004)<sup>[19]</sup>、《重大建设项目气候可行性论证技术规范》(DB45/T 445—2007)<sup>[20]</sup>、《高速公路交通气象条件等级》(QX/T 111—2010)<sup>[21]</sup>、《太阳能资源评估方法》(QX/T 89—2008)<sup>[22]</sup>、《露天建筑施工现场不利气象条件与安全防范》(QX/T 154—2012)<sup>[23]</sup>、《风电场风速预报准确率评判方法》(QX/T 243—2014)<sup>[24]</sup>、《太阳能光伏发电功率短期预报方法》(QX/T 244—2014)<sup>[25]</sup>、《分散式风力发电风能资源评估技术导则》(QX/T 308—2015)<sup>[26]</sup>、《城市总体规划气候可行性论证技术规范》(QX/T 242—2014)<sup>[27]</sup>、《大型活动气象服务指南工作流程》(QX/T 274—2015)<sup>[28]</sup>、《供暖气象等级》(QX/T 255—2015)<sup>[29]</sup>等。

中国气象局也先后组织专家编写并印发了《核电项目气候可行性论证技术指南》<sup>[30]</sup>、《城市总体规划气候可行性论证技术导则》<sup>[31]</sup>、《桥梁建设抗风设计气候可行性论证技术指南(第一版)》<sup>[32]</sup>、《城市通风廊道规划技术指南(第一版)》<sup>[33]</sup>和《工程项目采暖通风和空气调节气象参数分析技术指南(第一版)》<sup>[34]</sup>等气候可行性论证技术指南。各地气候可行性论证社会化管理也取得长足进展,如黑龙江、山西、广西、西藏、贵州、江苏、内蒙古、四川、吉林等地出台气候资源开发利用和保护相关条例与办法,辽宁、吉林、广东、海南、江西、安徽将气候可行性论证纳入行政许可与非行政许可,并开始履行政府职能,多个地市也印发了加强气候可行性论证的通知或出台气候可行性论证管理办法<sup>[35]</sup>。

## 3 存在的问题及解决问题的思路措施

### 3.1 存在的问题

我国气候可行性论证工作虽然取得了很大的进展,但还存在一些较为突出的问题。一是对气候可行性论证工作的普法宣传力度不够,导致社会上各行业没有充分认识到气候可行性论证工作的重要性,尚无具有约束力的法律法规对大型建设工程项目的气候可行性论证工作进行强制规范,许多重大工程项目也不进行气候可行性论证。二是气候可行性论证技术标准体系不完善<sup>[6]</sup>,目前有关论证方法和内容的基础研究还很欠缺,没有形成针对不同部门、行业的气候影响评价专用数据库和客观化、量化评价指标体系以及关键技术方法,也没有建立起专业化、自动化的业务流程、服务系统。三是气候可行性论证仅仅局限于规划设计阶段,很少开展项目施工运营阶段的后评估,对工程预期目标、指标是否达到,设计的气候参数是否合理有效等都缺乏明确的评估和反馈,也缺少对项目运营中出现的问题给出改进建议以及为未来新项目的决策提出建议这一环节。四是气候可行性论证工作服务领域局限、发展速度有限,对国家战略、区域规划服务的实时性不够,服务于区域农(牧)业结构调整和重大区域性经济开发建设等项目的可行性论证较少,业务人员的专业知识、实践经验及团队建设也不足,影响到业务服务的水平。

### 3.2 解决问题的思路措施

针对我国气候可行性论证存在的上述问题,提出以下对策及措施建议。一是加强宣传,提高认识,推进法律规范建设。利用各种媒体和宣传途径,提高社会认知度。广泛、深入地向全社会特别是工程项目的审批以及主管部门,包括发展改革、规划、建设、交

通和电力等宣传气候可行性论证的重要性和必要性，努力推进法律法规及规章制度建设，实现对应该开展气候可行性论证而实际上未开展论证的规划、建设项目不予审批、核准或备案，积极探索气候可行性论证的运行管理机制。同时，加强对普通公众的知识科普宣传，提高公众的认可和参与度，为顺利开展气候可行性论证工作打下良好的社会基础<sup>[7,36]</sup>。二是完善指标，创新方法，构建专业服务系统。建立和完善气候变化以及极端天气气候事件对农业、工业、交通、水资源、建筑及旅游等各个行业的影响评价专用数据库，加强气候可行性论证指标的定量化和评价技术方法的客观化、量化、动态化和精细化，集成相应的业务流程和服务系统。另一方面，加强多源、长序列气候资料的行业应用实践和论证技术方法研究，对一些成熟的方法和好的经验及时规范化和标准化，生成气候可行性论证技术标准体系和论证指南，以适应不同行业气候可行性论证的需要<sup>[36]</sup>。三是跟踪项目，总结经验，落实气候可行性论证后评估。对已经完成的重大工程，采用宏观和微观相结合、定量和定性相结合的前后对比或有无对比方法，系统、客观地分析气候可行性论证的效益、作用和影响，总结成功的经验和失败的教训。及时了解工程实施运营中的新变化、新情况，对于设计建设中没有考虑到的气候问题，给出有针对性的措施建议，并通过及时有效的信息反馈，为未来新项目的决策和提高气候可行性论证水平提出建议，同时也为宏观决策和管理政策的实施提供科学依据。四是拓展领域，建设团队，提升业务服务水平。围绕国家经济发展和结构调整，包括“一带一路”、京津冀协同发展、长江经济带以及低碳城市、新型城镇化等，积极对与气候条件密切相关的规划和建设项目开展气候可行性论证，融入区域气候承载力、极端天气气候事件风险评估、产业布局选址、城镇规划设计和农业结构调整等各个方面<sup>[37]</sup>。加强专业协作和团队建设，吸纳具有扎实、系统的专业知识和丰富的实践经验的人才，提高从业人员的业务能力和技术服务水平，为多领域、跨行业的气候可行性论证提供支撑。

## 4 重大工程气候可行性论证关键技术

### 4.1 极端天气气候事件变化的未来预估

2005年美国气象学会公报中提到，对大多数国家而言，在大气科学领域中对国民经济贡献最大的是气候资料与气候信息的应用。随着科学技术的进步以及社会经济的发展，应用气候学逐渐进入黄金时代<sup>[38]</sup>。气候可行性论证在合理开发、利用和保护气候资源，

维护城市资源环境安全方面发挥着重要作用，体现了可持续发展的内涵<sup>[39]</sup>。未来20~100年，我国气候变化仍将持续，高温热浪、极端干旱、暴雨洪涝和霾等高影响天气气候事件的发生频次、强度、区域、持续时间等均出现显著变化<sup>[40]</sup>。相对于气候平均态，极端气候事件的变化会对社会经济、生命财产和自然生态系统等造成更大的影响<sup>[41, 42]</sup>。据世界气象组织报告<sup>[43]</sup>，在21世纪最初10年，全球有超过37万人死于空前的极端天气和气候事件的影响。

和预估气候平均态一样，预估温室气体排放增加所引起的极端气候事件变化的主要手段还是数值气候模式。通过引入最新的IPCC第五次评估报告中全球气候模式集（Coupled Model Intercomparison Project Phase 5, CMIP5）资料，并在气候资料的多种降尺度（downscaling）方法和多模式集合（MME）预估方法的支持下，提高模式的分辨率和预估准确率，特别是水平分辨率的提高，生成区域气候变化预估数据集和未来极端天气气候事件变化预估数据集，并从气候平均态变化、极端天气气候事件的频数和强度变化，以及气象气候灾害变化等方面综合研究气候变化对重大工程的影响，根据气候变化趋势分析和未来气候预估等，为重大工程的设计运营、城市规划布局等提供必要的采暖、制冷、抗风、排水、防潮参数和技术支持。

### 4.2 工程与环境间相互影响的数值模拟

统计和概率计算技术、点式论证方法是目前气候可行性论证中采用最多的技术和指导规范。所谓点式论证方法就是直接将某点的数据或计算参数应用到大片区域上，而不管下垫面的复杂情况，这对复杂地形中重大工程项目的投资成本和经济效益估算来说，是十分粗放的。而将工程气象参数从点评估发展为场评估的重要途径就是高分辨率数值模拟技术。高分辨率数值模拟技术为复杂地形的风场和风能资源评估提供了可靠的技术方法<sup>[44]</sup>，如MM5中尺度数值模拟、CALMET降尺度模式或BDM三维准静力模式等技术已应用在风能资源评估或选址过程中。利用WRF中尺度数值模式模拟超强台风对跨海大桥或者海上风机所产生的影响，以之为跨海大桥建设或者海上风电场选址提出符合抗风要求的设计标准。

利用中尺度或微观尺度的数值模式，进行微观大气边界层以及大气成分模拟，以预测重大工程对相关气候背景条件的影响。在城市规划的气候可行性论证中，数值模拟趋向于完善中尺度数值模式，增加城市冠层以及城市人为热源等城市特征。通过采用多尺度数值模式系统开展城市尺度、小区尺度或单体尺度的

数值模拟,从而得到气温、湿度、风场等气象环境效应的定量分析结果,满足城市选址、城市功能区、建筑设计和建筑形式等的需求。

#### 4.3 多源立体气候环境信息的综合探测

随着气象现代化程度和环境监测技术水平的提高,立体多源观测数据,诸如地面、雷达、探空、卫星遥感等将在气候可行性论证中得到广泛应用,建立针对性和适用性较强的工程气象探测体系,确定重大工程专用基础气象数据筛选指标,针对重大工程气象风险评估进行数据筛选<sup>[6]</sup>,生成各类重大工程气候可行性论证适用的气象灾害事件数据库成为必然。根据各地灾害性天气和气候的特点,建立与本地相适宜的、先进的、长期的工程气象专业探测网并发展近地边界层精细探测技术,如超声波测量、激光雷达技术等是目前大气探测最主要的发展方向。针对一个城市甚至一个规划区进行加密观测及高分辨率遥感卫星资料的应用,并将城市用地类型同气候要素信息结合起来进行空间单元的热环境和通风环境分析将成为趋势。

与台站资料相比,遥感探测得到的信息具有空间分布均匀、区域代表性强等优点。如李晓萌等<sup>[45]</sup>利用2000和2010年极端高温发生时MODIS卫星的地表温度(LST)数据,结合DMSP/OLS夜间灯光数据,分别提取地表温度场信息以及城市化信息,并通过等温线分析、剖面分析、差值变化分析和栅格计算等方法,分析了北京市近10年来极端高温期地表温度的时空变化特征及其对城市化的响应。Nastos等<sup>[46]</sup>综合利用TRMM卫星降水资料和高分辨率格点降水资料,采用百分位阈值、绝对阈值和持续期三种指标,开展了地中海地区极端降水空间格局研究。应用WRF/UCM模式,并引入遥感提取的精细化下垫面信息,模拟北京<sup>[47]</sup>、南京<sup>[48]</sup>和广州<sup>[49]</sup>等城市下垫面改变对极端高温和强降水过程特征的影响,也取得很好的效果。一些研究也利用双轴跟踪、单轴跟踪的总辐射、直接辐射、散射辐射及反射辐射等多种太阳能辐射仪器,结合静止、极轨等多源卫星产品资料,采用辐射传输理论开展了太阳能资源反演和评估<sup>[2]</sup>。

#### 4.4 灾害综合影响过程与动态风险评估

重大工程投资大,施工建设和运营周期长,加之各种气象灾害存在着不确定性和随机性,气象灾害可能影响到工程的建设和运营。需要在极值理论和多种水文气象分布函数(如极值I型、皮尔森-III型等)支持下,开展各种致灾因子(高温、低温、暴雨、大风、积雪等)极值分析,构建不同重现期灾害要素频

数和强度的统计特征参数<sup>[50]</sup>,并借助于同类工程项目的灾害影响过程或灾情统计资料,通过类比推演法,构建不同强度致灾因子对所论证的重大工程规划设计的影响过程和等级损失关系曲线,编制损失标准和影响评估模型。同时,鉴于自然灾害的发生、发展都有其自身特点和复杂的气候、环境和人为活动背景,不同类别的自然灾害之间又存在着多方面的广泛联系。因此,灾害影响评估不仅要关注单项灾害,还应重大工程区域范围内多项灾害开展综合评估,尤其是基于灾害链的多灾种综合影响评估<sup>[51, 52]</sup>,不断提高灾害评估模型方法的精度和可信度。

灾害被认为是地球表层的孕灾环境、致灾因子和承灾体综合作用的产物,存在着大量不确定性和模糊性<sup>[51]</sup>。模型的应用使得定量描述自然灾害风险成为可能。通过对多种致灾因子和承灾体的单独分析和综合影响过程分析,建立重大工程区域内多灾种综合影响评估方法模型和承灾体易损性的评估模型与方法,绘制区域综合灾害风险图<sup>[52]</sup>,进一步利用统计、模拟及耦合等技术手段,开展灾害致灾因子动态和承灾体动态分析,并结合致灾过程的动态模拟和各种仿真技术,从情景分析的角度开展重大工程灾害动态风险评估<sup>[53]</sup>。借助于遥感、地理信息系统等空间信息技术,将基于栅格点的风险评估与基于行政单元的评估相结合,使气象灾害的致灾因子预报信息与地面背景数据有效地匹配,实现风险评估结果的精细化,提高灾害预警预报的实时性和可操作性<sup>[51]</sup>。

#### 4.5 气象参数的区域代表性和实时更新

在工程规划或设计中,需要根据工程区域内国家气象站30年甚至50年以上的历史气象资料计算工程气象参数,所以气象站观测数据能否代表该地区平均气候状况是影响工程设计参数的重要因素。改革开放以来,很多气象站的环境遭到破坏,观测数据失去了区域代表性,加之近年来各地迁站现象比较普遍,这必然会造成当地历史气象资料的不连续。因此,这些气象数据在使用之前,必须进行均一化检验<sup>[54]</sup>,检查数据的完整性和对工程区域气候环境的代表性。

在常规的气象评估方法中,由于工程区与邻近气象站地形地貌和观测环境的差异,评估结论与实际情况可能会有较大差异。为了获得较高分辨率的要素空间分布结果,便于研究较小空间尺度工程区气候要素特征,可对气象要素的趋势面进行空间分析。空间统计分析和空间趋势分析法很好地考虑了影响气象要素分布的地理、地形和下垫面环境等条件,评估结果更能代表真实地形下的客观情况,因此具有相对较高的

可信度<sup>[39]</sup>。基于空间分析的气候可行性论证方法,可有效补充当前气候环境评价中采用的简单气候统计方法,满足了工程规划、设计和运营等气象防灾减灾的需要。

此外,我国工程建设参照的技术规范中有关工程气象参数的内容目前多是依据20世纪80、90年代以前的气象数据来确定的,比较陈旧,与当前已经变化了的气候以及人为城市化影响的下垫面环境有显著偏差。所以,需要进一步在现有相关规范规定的气象灾害参数分析评估的基础上,根据最新的气象探测资料来计算工程设计参数,并评估其安全性,研究更为科学的气象灾害参数分析方案和计算方法,改进或研发气象灾害参数分析评估相关软件,如重大工程抗风参数计算软件以及其他一些风险评估计算软件<sup>[6]</sup>。

## 5 结论与讨论

气候可行性论证对合理控制建设成本、积极应对气候变化、避免和减轻建设项目对周边环境的影响,以及抵御气象灾害造成的损失都具有重要的意义。近年来,我国气候可行性论证已经在能源、交通和建筑等多个领域广泛开展,并在一些领域取得了应用价值较高的特色成果。气候可行性论证技术体系得到进一步完善,一些重大工程的设计参数标准和技术方法及气候可行性论证技术指南不断推出。

然而,我国气候可行性论证还存在着普法宣传力度不够,强制规范缺失,技术标准体系不完善,关键技术方法和业务流程、服务系统不健全,气候可行性论证缺少后评估环节以及服务领域有限,业务人员及团队建设不足等问题,需要在宣传认识,法律规范建设、指标方法完善和创新、业务服务系统构建、气候可行性论证后评估,以及服务领域拓展和团队建设、业务服务水平提高等方面加强发展。

准确可靠的气候可行性论证结果,需要气象观测和数值模拟及评估指标等基础技术的支持。建立具有较强针对性的工程气象环境信息综合探测体系,完善工程气象参数的区域代表性并实现参数的实时更新,是科学开展重大工程气候可行性论证的基础和保障。加强对极端天气气候事件变化的未来预估,深入模拟和分析重大工程与气候环境之间的相互影响,开展灾害综合影响过程与动态风险评估,是重大工程气候可行性论证的必要途径。

随着我国国民经济的飞速发展,重大工程项目呈现出更高、更长、更宏大、更密集的发展特征,重大工程的设计和施工运营对大气环境特别是气候变化和气象灾害的变化更为敏感。我国气候可行性论证项目

的规模和领域必将进一步扩大,技术水平和业务能力也会得到逐步提升,气候可行性论证在合理开发、利用和保护气候资源、维护区域生态环境安全、实现社会经济的可持续发展中将发挥越来越重要的作用。

## 参考文献

- [1] 气候可行性论证管理办法(中国气象局令第18号). 中华人民共和国国务院公报,2009,(20): 46-48.
- [2] 房小怡,郭文利,马京津,等. 低碳城市规划与气候可行性论证. 气象科技进展,2014,4(5): 42-47.
- [3] 黄世成,程婷,陈兵,等. 大型工程气候可行性论证中的空间分析方法与应用. 气象与环境学报,2012,28(4): 90-95.
- [4] 吴静,姚猛. 大型工程项目的气候可行性论证方法. 北京农业,2014(12): 164.
- [5] 张喜广,王海,王硕. 气候可行性论证和气象灾害风险评估关系浅析. 现代经济信息,2014,(15): 57-61.
- [6] 董永春. 重大工程气候可行性论证能做什么. 中国气象报,2011-04-14(3).
- [7] 伍毓柏,周显信. 我国气候可行性论证的现状、问题与对策. 闽江学刊,2012,(5): 51-56.
- [8] 欧志斌. 破解北京城市建设“摊大饼”困局. 国土资源导刊,2014,(4): 66-67.
- [9] 钱萌. 京津冀地区雾霾及影响因素研究. 资源节约与环保,2014,(8): 116.
- [10] 王晓云,汪光焘,房小怡,等. 新时期下城市规划建设中环境理念的科学实施——奥运场馆规划方案大气环境效应研究. 规划师,2005,21(10): 84-87.
- [11] 王元丰. 北京暴雨当浇醒对气候变化的漠视. 学习时报,2012-09-03(7).
- [12] Sun Ying, Zhang Xuebin, Zwiers F W, et al. Rapid increase in the risk of extreme summer heat in Eastern China. Nature Climate Change, 2014, 4(12): 1082-1085.
- [13] 陈鲜艳,梅梅,丁一汇,等. 气候变化对我国若干重大工程的影响. 气候变化研究进展,2015,11(5): 337-342.
- [14] 郭青,吴文婷. 气候可行性论证研究. 现代农业科技,2011,(22): 41-42.
- [15] 苏志,李秀存,周绍毅. 重大建设工程项目气候可行性论证方法研究. 气象研究与应用,2009,30(1): 37-39.
- [16] 苏志,黄梅丽. 气候论证的内容和技术方法探讨. 广西气象,2005,26(3): 17-19.
- [17] 李强,周绍毅. 气候可行性论证工作浅析. 广西气象,2005,26(2): 29-31.
- [18] 国家核安全局. 核电厂厂址选择的极端气象事件(不包括热带气旋)(HAF 0112—1991). 国家核安全局,1991.
- [19] 中华人民共和国交通部. 公路桥梁抗风设计规范(JTG/T D60-01—2004). 北京: 中国标准出版社,2004.
- [20] 广西壮族自治区质量技术监督局. 重大建设项目气候可行性论证技术规范(DB45/T 445—2007). 广西壮族自治区质量技术监督局,2007.
- [21] 中国气象局. 高速公路交通气象条件等级(QX/T 111—2010). 北京: 气象出版社,2010.
- [22] 中国气象局. 太阳能资源评估方法(QX/T 89—2008). 北京: 气象出版社,2008.
- [23] 中国气象局. 露天建筑施工现场不利气象条件与安全防范(QX/T 154—2012). 北京: 气象出版社,2012.
- [24] 中国气象局. 风电场风速预报准确率评判方法(QX/T 243—2014). 北京: 气象出版社,2014.
- [25] 中国气象局. 太阳能光伏发电功率短期预报方法(QX/T 244—2014). 北京: 中国标准出版社,2014.
- [26] 中国气象局. 分散式风力发电风能资源评估技术导则(QX/T 308—2015). 北京: 气象出版社,2016.
- [27] 中国气象局. 城市总体规划气候可行性论证技术规范(QX/T 242—2014). 北京: 中国标准出版社,2014.
- [28] 中国气象局. 大型活动气象服务指南 工作流程(QX/T 274—2015). 北京: 气象出版社,2015.

- [29] 中国气象局. 供暖气象等级(QX/T 255—2015). 北京: 气象出版社, 2015.
- [30] 编写组. 核电项目气候可行性论证技术指南. 《气候可行性论证技术指南》编写组, 2011.
- [31] 房小怡, 郭文利, 杜吴鹏, 等. 城市总体规划气候可行性论证技术导则. 中国气象局, 2011.
- [32] 编写组. 桥梁建设抗风设计气候可行性论证技术指南(第1版). 《气候可行性论证技术指南》编写组, 2011.
- [33] 编写组. 城市通风廊道规划技术指南(第1版). 中国气象局预报与网络司, 2015, 1-15.
- [34] 编写组. 工程项目采暖通风和空气调节气象参数分析技术指南(第1版). 中国气象局预报与网络司, 2015.
- [35] 顾建峰. 气候可行性论证技术论文集. 北京: 气象出版社, 2014.
- [36] 蒋运志, 彭振林. 关于气候可行性论证工作的思考. 安徽农业科学, 2012, 40(32): 15816-15817, 15855.
- [37] 孙英杰, 李宇飞, 李芬, 等. 气象部门在打造农村宜居环境中的作用分析. 天津农业科学, 2014, 20(11): 109-113.
- [38] 曾晓梅. 美国应用气候学研究与应用现状. 气象科技合作动态, 2006(1): 26-28.
- [39] 刘祥梅, 郭志华, 肖文发, 等. 基于GIS的三峡库区生态环境综合评价II. 气候评价. 自然资源学报, 2007, 22(4): 613-622.
- [40] IPCC. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation//IPCC. A special report of working groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge and New York: Cambridge University Press, 2012.
- [41] Easterling D R, J L Evans, P Ya Groisman, et al. Observed variability and trends in extreme climate events: a brief review. Bulletin of the American Meteorological Society, 2000, 81(3): 417-425.
- [42] Wang Q, Fan X, Qin Z, et al. Change trends of temperature and precipitation in the Loess Plateau Region of China, 1961–2010. Global and Planetary Change, 2012, 92-93: 138-147.
- [43] World Meteorological Organization. The Global Climate 2001–2010: a decade of climate extremes. WMO–No.1103. Geneva: World Meteorological Organization, 2013.
- [44] 宋丽莉. 我国气候可行性论证的作用与实践. 闽江学刊, 2013, (3): 31-34.
- [45] 李晓萌, 孙永华, 孟丹, 等. 近10年北京极端高温天气条件下的地表温度变化及其对城市化的响应. 生态学报, 2013, 33(20): 6694-6703.
- [46] Nastos P T, Kapsomenakis J, Douvis KC. Analysis of precipitation extremes based on satellite and high-resolution gridded data set over Mediterranean basin. Atmospheric Research, 2013, 131(2): 46-59.
- [47] 郑祚芳, 王在文, 高华. 北京地区夏季极端降水变化特征及城市化的影响. 气象, 2013, 39(12): 1635-1641.
- [48] Yang T, Hao X, Shao Q, et al. Multi-model ensemble projections in temperature and precipitation extremes of the Tibetan Plateau in the 21st century. Global and Planetary Change, 2012, 80/81(1): 1-13.
- [49] 蒙伟光, 张艳霞, 李江南, 等. WRF/UCM在广州高温天气及城市热岛模拟研究中的应用. 热带气象学报, 2010, 26(3): 273-282.
- [50] 史军, 徐家良, 谈建国, 等. 上海地区不同重现期的风速估算研究. 地理科学, 2015, 35(9): 1191-1197.
- [51] 叶金玉, 林广发, 张明锋. 自然灾害风险评估研究进展. 防灾科技学院学报, 2010, 12(3): 20-25.
- [52] 巫丽芸, 何东进, 洪伟, 等. 自然灾害风险评估与灾害易损性研究进展. 灾害学, 2014, 29(4): 129-135.
- [53] 庞西磊, 黄崇福, 张英菊. 自然灾害动态风险评估的一种基本模式. 灾害学, 2016, 31(1): 1-6.
- [54] 严中伟, 王君, 李珍, 等. 基于均一化观测序列评估城市化的气候效应. 气象科技进展, 2014, 4(3): 41-48.



## 认识碳卫星

■ 王婷波

2002年, 欧空局发射的Envisat卫星携带了可以测量二氧化碳的光谱仪, 开启了碳卫星时代。2009年1月, 日本发射了一颗温室气体观测卫星Gosat, 是世界上第一颗用于测量二氧化碳和甲烷两种主要的温室气体浓度的卫星。2014年7月, 美国国家航空航天局(NASA)发射了轨道碳监测2号卫星OCO-2 (Orbiting Carbon Observatory-2), 是第一颗专门监测二氧化碳的卫星, 它精确地记录下了地球表面的二氧化碳排放及吸收数据。这不仅可以帮助科学家更好地理解人类活动对气候变化所产生的影响, 更好地表征大气中CO<sub>2</sub>的变化, 进而更准确地预测全球气候变化, 同时, 也将为今后评测签署过碳减排的国家提供数据依据。

中国自主研发的首颗用于监测全球大气二氧化碳含量的科学实验卫星(碳卫星)计划于2016年底发

射, 它以二氧化碳遥感监测为切入点, 建立高光谱卫星地面数据处理与验证系统, 形成对全球的二氧化碳浓度监测能力, 监测精度优于4ppm, 已达到国际先进水平。

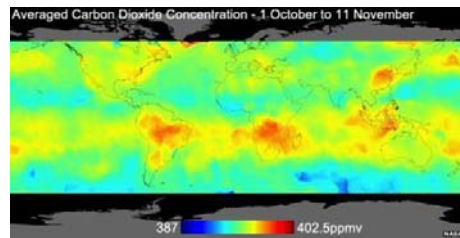


图 首张全球CO<sub>2</sub>地图  
(2014年10月1日—11月11日的碳排放数据图, 来源: NASA)

(作者单位: 中国气象局干部培训学院)