

全球能量与水循环试验以及淮河流域能量与水循环试验概述

黄勇^{1,2}, 张文建³

(1 安徽省气象科学研究所, 大气科学与卫星遥感安徽省重点实验室, 合肥 230031; 2 寿县国家气候观测台, 中国气象局淮河流域典型农田生态气象野外科学试验基地, 寿县 232200; 3 世界气象组织, 日内瓦 1211)

摘要: 全球能量与水循环试验 (GEWEX) 是国际科学理事会与世界气象组织为了研究气候异常、解决长期预报, 以防灾减灾、保证粮食生产为目的, 而设立的世界研究计划, 致力于了解地球表面和地下以及大气中的水循环和能量通量。从20世纪80年代开始, GEWEX共分为3个阶段。通过调研, 理清GEWEX发展脉络, 总结试验第一和第二阶段的主要内容和成果, 概述现阶段 (即第三阶段) 试验拟解决的四大科学问题 (降水观测和预报、全球水资源系统、极端变化、能量与水循环及其过程) 和重点关注的七大研究领域 (数据集、分析、流程、建模、应用、技术转换、能力建设)。淮河流域能量与水循环试验 (HUBEX, 1998—2000年) 是第一阶段全球能量与水分循环试验/亚洲季风试验 (GEWEX/GAME) 在东亚热带半湿润地区, 以淮河流域为中心开展的气象、水文科学试验。在总结HUBEX所取得成果的基础上, 指出现阶段的发展需求, 并结合淮河流域现状, 提出第二次淮河流域能量与水循环试验 (HUBEX-2) 的建议与思考。

关键词: 全球能量与水循环试验, 淮河流域能量与水循环试验, 概述

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2020.05.012

Summary of Global Energy and Water Exchanges (GEWEX) Project and Huaihe River Basin Energy and Water Cycle Experiment

Huang Yong^{1,2}, Zhang Wenjian³

(1Anhui Institute of Meteorological Sciences, Anhui Province Key Laboratory of Atmospheric Science and Satellite Remote Sensing, Hefei 230031 2Shouxian National Climatology Observatory, Huaihe River Basin Typical Farm Eco-meteorological Experiment Field of CMA, Shouxian 232200 3 World Meteorological Organization, Geneva 1211)

Abstract: The Global Energy and Water Exchanges (GEWEX) is a world research project established by the International Council for Science (ICSU) and the World Meteorological Organization (WMO) for the purpose of studying climate anomaly, developing long-term forecast, disaster prevention and mitigation, and ensuring food production. The project is dedicated to understanding Earth's water cycle and energy fluxes at, and below the surface and in the atmosphere. Since the 1980s, GEWEX has been experienced three stages. The main contents and achievements of the first and second stages of the project are summarized. And then the four major scientific problems to be solved in the current stage (the third stage) and the seven key research fields are clarified. The Huaihe River Basin energy and water cycle experiment (HUBEX, 1998–2000) is a meteorological and hydrological joint scientific experiment carried out in the first stage of GEWEX Asian Monsoon Experiment (GAME) in the subtropical and semi humid region of East Asia. The report summarizes the achievements of HUBEX, affirms the scientific significance of these achievements, and points out the development needs at the present stage. Based on the comparison of the four major scientific problems to be solved and the seven major research fields to be focused on by GEWEX at the present stage, combined with the current situation of Huaihe River Basin, suggestions and thoughts are put forward for the second Huaihe River basin energy and water cycle experiment (HUBEX 2).

Keywords: GEWEX/GAME, HUBEX, summary

收稿日期: 2020年10月14日; 修回日期: 2020年10月21日
第一作者: 黄勇 (1980—), Email: hy121_2000@126.com
资助信息: 国家重点研发计划项目 (2016YFC0201900);
安徽省公益性联动专项项目 (1604f0804002)

0 引言

能源是地球上生命的基础, 地球大气系统通过大气、云、陆面和海洋等媒介, 吸收太阳短波辐射能量和释放长波辐射, 产生能量循环。水循环则通过降水、蒸发、地表和地下水径流等环节, 平衡水资

源^[1]。全球水循环包含了水在地球表面、大气和地球表面之下不断移动的过程。云、降水、水蒸气、表面辐射、气溶胶和其他现象都在这个循环中起作用。

研究能量与水循环，对提升全球和区域气候模式预报以及气象防灾减灾有着重要意义，并能产生显著的经济效益和社会效益^[2-5]。国外学者们先后开展了多次大型能量与水循环试验，包括全球能量与水循环试验（GEWEX）、协调能水循环观测计划（CEOP）、全球变化的地球和前沿研究系统计划（FRSGC）、水文循环中的生物学作用计划（IGBP/BAHC）等^[6-13]。

GEWEX是国际科联理事会与世界气象组织为了研究气候异常、解决长期预报，以防灾减灾、保证粮食生产为目的，而设立的世界研究计划，重点关注大气、陆地、辐射、水文、耦合相互作用，致力于了解地球表面和地下以及大气中的水循环和能量通量^[14]。从20世纪80年代开始，GEWEX到目前为止共分为3个阶段。第一阶段为1990—2002年，侧重于开发分析工具和模型，使用业务和研究型卫星、大尺度区域分析和过程研究来支持全球气候模型的反馈过程（与云和土地有关）参数化研究。第二阶段为2003—2012年，开始对新型卫星传感器的数据进行科学开发。在第一阶段和第二阶段的成果和经验的基础上，2013年GEWEX又开启了第三阶段（2013—2022年），制定了新的目标和战略规划，并根据世界气候研究计划（WCRP）提出的挑战确定了将要解决的4个科学问题。

1 全球能量与水循环试验（GEWEX）简介

GEWEX是WCRP的4个核心项目之一，研究大气的动力学和热力学以及与地球表面的相互作用。GEWEX共分为4个研究组，分别为：全球陆地/大气系统研究小组（GLASS）、全球大气系统研究小组（GASS）、水文气候学小组（GHP）以及数据和数据分析小组（GDAP）。

GLASS是以模型开发和评价为核心目标，通过协调新一代陆面过程方案相互比较和评价，及其对广泛感兴趣的科学问题的应用，促进陆面模式的发展。主要包括：植被物候、植被动态结构和碳库模型的发展；湿地、城市、农田与地下水之间的相互作用、养分循环、冰冻圈过程和土地属性表征的改进；优化卫星光谱间隔，以方便卫星数据的数值同化应用。

GASS目的是发展和提高天气和气候模型中对大气系统的描述能力。GASS支持全球合作开展观测和数据使用，以及过程研究和数值模式试验，通过协调科学项目来汇集全球专家，为大气数值模式的发展做

出贡献。

GHP的目标是理解和预测大陆尺度到局地尺度的水文气候及其应用。GHP致力于从综合的角度提高我们对区域尺度能量和水循环的理解。在区域尺度上处理水循环可以让我们从物理到经济再到社会方面，更好地理解该系统的许多组成部分。GHP中主要有3类项目：理解和预测水文气候的区域水文气候项目；在全球范围内传播和综合成果的跨领域项目；收集和分发重要数据的全球数据中心。

GDAP主要通过汇集与云过程有关的辐射相互作用和气候反馈的理论和试验发现，回答“地球气候对辐射和其他强迫力的变化有多敏感？”这一核心问题。这将使我们能够更好地预测暂时性的自然气候变化（如厄尔尼诺），以及理解自然和人为导致的气候变化的后果。

GEWEX自1980年代建立以来，共经历了3个阶段。第一阶段（1990—2002年）被设计为建设阶段，第二阶段（2003—2012年）强调充分利用第一阶段的理解和工具，依赖升级后的模式和同化系统以及新的环境卫星系统，以期对气候科学作出更大的贡献。第三阶段（2013—2022年）根据新的挑战制定了新的目标和战略规划。

2 GEWEX第一和第二阶段试验

GEWEX第一阶段（1990—2002年）在新型卫星正式投入使用之前，最大限度地研究当前运行的卫星及其数据，侧重于开发分析工具和模型，使用业务和研究型卫星、大尺度区域分析和过程研究来支持全球气候模式的反馈过程（与云和土地有关）参数化研究。第一阶段由3个重点研究领域组成：辐射项目（GRP）、水文气象项目（GHP）、模式与预测项目（GMPP）。GEWEX亚洲季风试验（GAME）隶属于GHP。第一阶段形成了解决水和能量循环中关键要素的项目，项目重点是云、水汽、气溶胶、地表辐射、降水以及地表和近地层气象要素的全球分布和变化，主要活动包括全球数据集开发，过程研究以及模式开发。

经过多年研究，GEWEX第一阶段产生了大量研究成果，如：揭示了区域水循环和能量平衡接近闭合的事实，及其循环和日变化对区域气候预测有着重要作用；得到了10~25年的云、降水、水蒸气、地表辐射、气溶胶全球数据集；改进了大多数区域和全球的地表和云参数化方案，提高了降水预测能力。此外，GEWEX第一阶段的研究成果也产生了重大影响，包括：分发了15000个数据光盘，被20多个学术期刊关

注, 成果引用超过5000条; 发展了水文学和大气科学之间新的跨学科关系(着重于陆地与地面之间的相互作用), 创立学术期刊——《水文气象学杂志》(*Journal of Hydrometeorology*)。

GEWEX第二阶段(2003—2012年), 着重在第一阶段基础上, 研发新型卫星传感器的数据应用, 并依赖升级后的模式和同化系统以及新的环境卫星系统, 来对气候科学作出更大的贡献。第二阶段开发和应用了从全球气候模式到区域和中尺度模式的多个不同尺度数值预报模式, 并发展了降尺度方法, 以开发适用于与水文相关的, 可以在当地水资源管理中使用的较小时空尺度的模式。第二阶段的成果还包括: 1) 形成了连续的数据集, 附有地球能量平衡和水循环数据的误差因子和它们在年际到几十年时间尺度上的变化趋势, 用于气候系统分析以及模式开发和验证; 2) 加深了对能量和水循环过程如何发挥作用的理 解, 并量化了它们对气候反馈的贡献; 3) 确定了陆地区域主要能量和水循环变量可预测性的空间和季节变化特征, 并通过与WCRP合作确定了全球能量和水循环的可预测性; 4) 改进了水文气象过程和大气环流模式反馈机制的参数设置, 以更好地预测能量和水循环; 5) 与水文气象服务业务部门和水文研究计划开展了联合活动, 证明了第二阶段GEWEX的预测能力, 以及数据集和模式等工具对评估全球变化的价值。

3 GEWEX第三阶段试验

在第一阶段和第二阶段的成果和经验的基础上, GEWEX第三阶段(2013—2022年)制定了新的目标和战略规划, 根据WCRP提出的挑战确定了将要解决的4个科学问题和7个研究领域。GEWEX第三阶段仍分为GRP、GHP、GMPP这3个小组。将全球能量和水循环作为核心重点, 同时还要强调区域性。突出水文和陆面过程, 模式, 以及与大气的相互作用, 还保留了与水和能量循环有关的大气成分, 将涉及到辐射, 云, 边界层, 对流, 降水, 地表通量, 径流和人为活动影响的科学问题相关联, 而这些问题也包括在观测, 过程理解和建模方面。

GEWEX第三阶段关注的4个科学问题分别是: 1) 降水观测和预报: 如何能够更好地理解和预测降水变化? 2) 全球水资源系统: 地表和水文的变化如何影响过去和未来水资源供应和安全的变化? 3) 极端变化: 全球增暖如何影响极端气候, 尤其是干旱, 洪水和热浪, 陆地过程如何造成影响? 4) 能量与水循环及其过程: 如何能够更好地改进和表述对不断变化的气候中水和能量交换的影响和不确定性的理解?

第三阶段的7个研究领域提供了GEWEX 2013—2022年的战略观点, 构成了GEWEX科学问题(GSQ)的重点框架。这7个研究领域分别是: 1) 数据集: 促进发展与大气、水、土地、能量相关的气候数据集, 包括元数据和不确定性评估; 2) 分析: 描述和分析与水和能量有关数据中观察到的变化, 趋势和极端天气(例如热浪, 洪水和干旱); 3) 流程: 发展方法以提高对能量和水循环的理解, 支持改进地表和大气模型; 4) 建模: 通过加快开发地表和大气模型, 改进对全球和区域降水、云、地表水文和整个气候系统的模拟和预测; 5) 应用: 总结变化、趋势和极端天气的原因, 并与WCRP合作确定全球和区域能量和水循环的可预测性; 6) 技术转化: 与气候和水文气象服务部门合作, 开发新的观测, 模型, 诊断工具和方法, 数据管理及其他研究产品, 以实现多种用途, 并过渡到运营应用。7) 能力建设: 通过对科学家的培养和用户推广促进能力建设。

4 淮河能量与水循环试验简介

淮河地处我国南北气候过渡带, 河流纵横交错, 土壤肥沃, 光、热、水资源丰富, 水旱灾害频发, 是我国夏季旱涝灾害最频发的地区, 直接威胁着人民的生命财产安全。1998年和1999年夏, 在中国和日本国家自然科学基金委的支持下, 与GEWEX/亚洲季风试验(GAME)合作, 进行了淮河流域能量与水循环试验(HUBEX)^[15-20], 该试验被誉为20世纪末我国大气科学领域4个科学试验之一, 试验中涉及了8种来自中国和日本的多普勒和常规天气雷达以及大量先进的水文气象观测仪器、数十个高空探测站、数百个水文气象站以及来自中国和日本的数百名工程师和科学家。

HUBEX取得了圆满成功, 得到了全面而丰硕的成果, 并于2005年出版了试验的最终报告, 全面总结了在9个方面取得的主要成果, 分别是: 1) HUBEX试验期东亚大尺度环流特征和天气系统分析; 2) HUBEX试验期暴雨中尺度系统与洪水灾害; 3) 梅雨的水气源和输送; 4) 陆面过程; 5) 暴雨机理; 6) 区域/流域尺度的水分/能量收支; 7) 淮河流域径流观测和预测; 8) GAME/HUBEX的四维资料同化分析; 9) 暴雨与洪水预报的前景。

HUBEX观测到了江淮梅雨爆发前、梅雨期间, 以及梅雨结束后不同天气气候条件下的重要降水过程, 提供了大量宝贵的地面、探空、雷达、水文、卫星及辐射、通量等多种加密和特殊的观测资料; 分析了梅雨期东亚大尺度环流特征和天气尺度系统, 发现东亚梅雨是多尺度天气与气候变率和系统的产物,

大大深化了人们对梅雨发生发展的大尺度和天气尺度条件的认识；建立了由3个X-波段多普勒雷达站（寿县、淮南、凤台）组成的观测阵，并据此获得中小尺度扰动的三维动力结构和生命史演变；发现了梅雨锋降水系统主要由多尺度系统组成，并将天气尺度的梅雨锋划分为副热带气团内梅雨锋与融合型冷锋梅雨锋两类，总结出两类梅雨锋锋面的概念模型；发展了陆面过程与淮河流域区域水文模式。

5 未来展望

HUBEX已过去20年，其取得的研究成果在推动相关科学研究和业务科技发展上起到了重要作用。然而，在全球气候变化和人类活动共同影响的背景下，淮河流域的能量与水循环正在发生改变，出现了一些未知的新规律和新特点，并引发了极端灾害性天气。现有的数据和数值模式，尚不能完全表征这些变化，刻画影响及其反馈过程，给淮河流域科技和业务发展带来了一定的阻碍。因此，需要我们对淮河流域能量与水循环的改变，以及相应气象与水文灾害风险的变化，进行更深入、更全面的研究和探索，掌握和认识新的气候、环境与水文变化规律。

吸收第一次淮河流域试验的经验，依托以寿县国家观象台为中心淮河流域多尺度观测网、以及多种国内外先进探测设备，结合前文总结的GEWEX最新科学问题和研究领域规划，针对计划开展的第二次淮河流域能量与水循环试验（HUBEX-2）提出建议和思考。并进一步加强和WMO区域和全球计划的合作，在新的国际和区域合作框架下加强对淮河流域能量与水循环的更高层次的研究业务能力发展。

1) 建设观测网，开发数据集

建设天地空一体化、微波-激光探测等相融合的淮河流域综合观测平台，实现立体化观测，尤其是气溶胶-云相互作用等微物理过程协同探测，和全流域陆面过程的地空联合观测。收集整理观测期间地面、雷达、地基遥感、卫星遥感、探空等常规和特殊观测资料，利用新质控方法和技术手段开发高质量数据集，附元数据和不确定性评估。

2) 分析数据，揭示规律

分析数据获取信息，揭示淮河流域能量与水循环的特征规律，并从温室气体排放、土地利用变化造成的辐射强迫和城镇化、大气污染、生态修复等下垫面人类活动的影响着手，揭示能量与水循环异常的形成机制，及其对旱涝灾害影响。

3) 开发模式，加以应用

建立适合淮河流域的变尺度数值预报模式，优

化云微物理过程和陆面过程的参数化方案，提高旱涝灾害预报准确率。建立淮河流域农业旱涝评估模型，突破灾害防御技术，提高旱涝灾害风险预测和应对能力。将模式应用至一线业务中，检验模式的可用性，并针对可能出现的问题加以改进。

4) 技术转换，能力建设

将开发的数据集，模式及其分析应用结果与科学家，政府和其他机构之间共享，以确保更广泛的用户可以使用发展。鼓励、欢迎领域内科研技术人员参与工作，进一步培养人才。

参考文献

- [1] 张家诚. 水循环与气候背景. 水科学进展, 1999, 10(3): 265-270.
- [2] 郭东林, 杨梅学, 屈鹏, 等. 能量和水循环过程研究: 回顾与探讨. 冰川冻土, 2009, 31(6): 1116-1126.
- [3] Dickinson R E. Land processes in climate models. Remote Sensing Environment, 1995, 55(1): 27-38.
- [4] 赵柏林, 丁一汇. 淮河流域能量与水份循环研究(一). 北京: 气象出版社, 1999.
- [5] Chahine M J. GEWEX strategies and goals are affirmed by the Joint Science Committee. GEWEX Newsletter, 1997, 7(3): 2.
- [6] Sorooshian S, Lawford R G, Try P, et al. Water and energy cycles: investigating the links. WMO Bulletin, 2005, 54: 1-7.
- [7] GEWEX Project Office. GEWEX phase I overview. 2003: 1-36.
- [8] Roads J, Benedict S, Koike T. Towards a New Coordinated Energy and Water-Cycle Observation Project (CEOP): integration of the coordinated enhanced observing period (formerly known as 'CEOP') and the GEWEX Hydrometeorology Panel (GHP) a rationale. CEOP Project Office, 2007: 1-9.
- [9] Leese J. Coordinated Enhanced Observing Period (CEOP) implementation plan, IGPO Publication Series No. 36. 2001.
- [10] Roads J. Coordinated energy and water-cycle observation project. Strategic Implementation Plan, CEOP, 2008: 1-64.
- [11] Frontier. Frontier research system for global change. Frontier, Japan, 1997: 1-14.
- [12] Matsuno T. Establishment of frontier research center for global change (FRGC). Frontier, 2004.
- [13] 杨彦春, 王长耀. 水文循环的生物圈方面(BAHC计划)研究进展. 地理科学进展, 2000, 2: 97-103.
- [14] Koike T. The coordinated enhanced observing period-an initial step for integrated global water cycle observation. WMO Bulletin, 2004, 53(2).
- [15] 张雁. 淮河流域能量与水份循环试验和研究. 气象科技, 1998, 4: 33-38.
- [16] 赵柏林. 全球能量与水循环试验. 气象科技, 1992, 2: 18-20.
- [17] Ding Y H, Zhang Y, Ma Q, et al. Analysis of the large-scale circulation features and synoptic systems in East Asia during the intensive observation period of GAME/HUBEX. Journal of the Meteorological Society of Japan, 2001, 79: 277-300.
- [18] Hao Z C, Su F G, Xie Z H. Macroscale hydrological modeling over the Huaihe River basin. Acta Meteorologica Sinica, 2002, 16(3): 363-373.
- [19] Kato K J, Matsumoto J, Zhang Y. Preliminary report on the Meiyu frontal activity and the Asian monsoon during the GAME/HUBEX IFO period in 1998. In proceedings of the Third International Scientific Conference on the Global Energy and Water cycle 16-19 June, 1999. Beijing, China, International GEWEX Project Office, 1999: 434-435.
- [20] Fujiyoshi Y, Ding Y H. Final report of GAME/HUBEX-GEWEX Asian Monsoon Experiment/Huaihe River basin experiment. GAME Publication, 2006.