

水资源部门能源消耗中的温室气体排放

ADMIT（构建中国农业和水资源适应和减缓气候变化的和谐机制）是中英合作项目，旨在评估中国农业用水中适应气候变化的碳成本。本简报通过综合评估水资源部门的能源消耗以及温室气体排放，概要论述了存在的主要认知不足和管理问题。

研究表明，更好的理解和明确水资源作为温室气体排放源的作用，对于避免适应和减缓间的左右权衡具有重要的意义。

重点行动建议

- 更深入阐明水资源利用中的水—能源关系
- 提高水资源部门能源消耗数据的收集和信息共享水平
- 构建有助于水资源部门碳计量和减排的标准化工具及机制
- 将能源消耗纳入水资源管理和适应气候变化规划中



引言

气候变化和能源安全对淡水资源的可持续管理提出了多重挑战。水资源管理面临着需水量增加、水质恶化、维持生态需水、适应气候变化并同时减少温室气体排放的综合挑战。由于需水量增加及水质恶化，导致环境和水质标准和规定更趋严格，获取水源困难性加大，输水距离变得更远，因此造成输水和淡水/废水强化处理过程的能源消耗量增加^[1]。

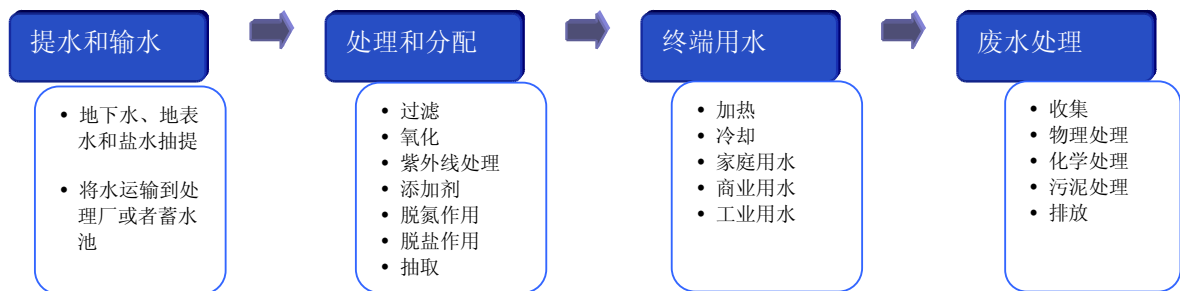
由于粮食需求和国际农产品贸易增长，灌溉农田的面积、种植强度和农业用水量持续增加。从全球范围来看，灌溉农田面积大约占总耕地面积的 20%，用水量却占总提水量的 70%，占总用水量的 90%以上，而产量只占到全球总产的 40%^[2,3,4]。提取灌溉水需要消耗大量的能源，对于大量提水灌溉的国家，其中的能源消耗要予以重视。

如果缺乏周密规划，由于生产/生活用水增加而引起的水管理方式调整、更为严格的水质执行标准、气候变化造成的灌溉用水增加都会导致能源消耗量迅猛增长。然而，我们系统性的文献综述表明，对于目前和未来水管理中所涵盖的能源消耗和温室气体排放问题，科学认知还很薄弱，仅在水资源管理和规划中被简单提及^[5]。本政策简报通过水资源部门能源消耗的综合评述，阐明了科学研究和管理方面有待解决的问题。

与水有关的能源消耗有多重要？

从全球尺度来看，输水过程的商业能源消耗占全球能源消耗总量 7%^[6]。图 1 给出了一个概念性模式用来说明水资源利用过程中的能源消耗。

图 1 水资源利用过程中的能源消耗概念性模式图



过去 20 年，水资源部门的能源消耗明显增加。如英国水资源部门的能源消耗是 1990 年的两倍且成为第三大能源消耗部门^[7]。英国水工业使用了全国总电量 3%，电力成本占到其总生产成本的 13%，而其中只有 10%的电力来源于可再生资源^[8,9]。由于水质标准的提高以及环境法规更趋严格，废水收集和处

理成为水工业能源消耗增长的最主要原因^[10]。美国的一项研究表明，水资源部门能源消耗的排放大约占全国温室气体排放总量的5%^[11]。

在南亚地区，与水有关的能源消耗和农业灌溉密切相关，该地区经历了地下水开采和输水迅猛发展过程。中国用于水生产及供应的电力强度(kWh/m³)在1997年~2005年间增加了约20%，而农业是用水量最大且水分利用率最低的部门^[11]。大量使用灌溉设备的国家如印度和中国，因为灌溉每年大约排放1亿吨CO₂当量的温室气体（分别占全国总排放量的6%和2%）^[12]。灌溉成为温室气体主要的排放源，尤其在依靠地下水进行大面积农业灌溉的国家。除此之外，为满足预期的全球粮食供求，农业灌溉也将起着至关重要的作用。

水具有重量，水管理过程中通常需要输水过程，有时甚至是长距离的输送，同时提水也是一个需要能源的过程，这就是为什么地下水灌溉能耗非常高的原因。根据通常理论物理关系推断，在能源利用率实现100%的情况下，将1m³水（生产1kg小麦即相当于一条面包，耗水量约为1.3m³）提取1m的高度需要耗电0.0027 kWh。

科学认知薄弱且对挑战的艰巨程度缺乏认识

虽然这些问题非常重要，但对水资源部门能源消耗的综合评估研究还非常有限，估算数据大多来源于技术报告和/或非正式出版物。在为数不多的现有研究中，由于研究方法、使用单位的不同，以及结果是否能真实反映能源消耗或温室气体排放的疑虑，也限制了水资源部门能源消耗的量化、对比和总量核算的可能性。此外，研究多倾向于关注水资源系统的某些具体部分，比如家庭“终端用水”部分。当关注灌溉能耗时，由于水的来源、灌溉系统和农业生产技术的不同^[5]，文献综述结果的灌溉能耗也从0.89 ~ 41.8 GJ/ha不等。由于缺乏详细的数据资料，经常需要对一些重要因子进行假设，因此估算结果相对比较粗糙并难以实现合计或对比。

其次，政策和从业者能力也会造成水资源和能源管理之间的脱节。环境目标和供水战略通常很少会和能源效率和气候变化政策联系起来。正如 Cederwall 等指出^[13]，“水资源专家经常会忽视水和能源间的内在关系，由此造成一种或几种资源的低效利用以及负面的环境和/或经济后果。水资源和能源专家的沟通可以而且应当得到加强，这样才能实现提高水资源和能源综合管理水平的目标”。目前，将水资源部门的能源消耗和温室气体排放联系起来的投稿文章数量非常少，再次佐证了两者的脱节。我们认为需要把水资源管理和能源利用效率紧密联系起来。

政府间气候变化专门委员会（IPCC）的第一次评估报告到第四次评估报告，在第二工作组的水利和/或水资源章节中都没有充分考虑能源问题；与水相关的能源消耗仅被顺便提及且多和水利发电有关。

水资源管理和规划的意义何在？

- **水资源部门的能源消耗信息和分析相对较少** — 强化水管理政策的连续性和创新性，确保实现环境和经济双赢目标。
- **可用数据不足且缺少统一的理论方法** — 水系统界定、温室气体排放量估算、对不同技术及不同国家或地区的判断力等都还具有局限性。

“国家、区域、地方决策者要全面了解国家水资源供给中的能源消耗，需要大量的水资源和能源消耗的数据资料[1: 35]”。

- **必须系统多角度地了解水资源部门** — 才能更全面评估其能源消耗。为掌握所有与水相关的能源消耗情况，必须考虑到水资源部门的所有过程（见图 1）。
- **水资源、能源、环境需要更深入的整合** — 以帮助水工业在管理体制内，发挥可再生能源的生产优势，并用其补偿行业内能源密集流程的耗能^[8]。另外，水在发电中的作用（包括水利发电和冷却）以及水的利用方式，特别是水作为能源需要而进行开发利用的，也都非常重要。
- **深入研究‘水—能源关系’**会促进水资源管理和能源利用效率的整合。应探索供水和污水处理的清洁技术，并给予研发支持。

更好地了解和阐明水资源部门作为温室气体排放源的作用具有重要意义，在水资源管理和适应气候变化规划中需要考虑能源消耗问题。

通过更深入理解水—能源关系，提高资料获取和共享水平，开发系统的工具和方法，可促进温室气体排放的计量和减少，使我们能够避免适应和减缓间的潜在冲突。

References

1. Griffiths-Sattenspiel, B. and W. Wilson, *The Carbon Footprint of Water*. 2009: River Network.
2. Bruinsma, J., ed. *World agriculture: towards 2015/2030. AN FAO PERSPECTIVE*. 2003, Earthscan: London.
3. Kundzewicz, Z.W., et al., *Freshwater resources and their management.*, in *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, O.F. Canziani, et al., Editors. 2007, Cambridge University Press: Cambridge. p. 173-210.
4. WRI, *Earth Trends Environmental Information*, in <http://earthtrends.wri.org/index.php>. 2000, World Resource Institute.
5. Rothausen, S. and D. Conway. Greenhouse gas emissions from energy use in the water sector. *Nature Climate Change* **1**, 210-219 (2011).
6. Hoffman, A.R. *The Connection: Water and Energy Security*. <http://www.iags.org/n0813043.htm> 2004
7. Allan, T. Energy And Water: Interdependent Production And Use, The Remediation Of Local Scarcity And The Mutuality Of The Impacts Of Mismanagement. *Renewable Energy in the Middle East: Enhancing Security through Regional Cooperation* 2009: p. 197-218.
8. CST, *Improving innovation in the water industry: 21st century challenges and opportunities*. Council for Science & Technology. 2009, London.
9. Zakkour, P.D., R.J. Gochin, and J.N. Lester, Evaluating sustainable energy strategies for a water utility. *Environmental Technology*, 2002. **23**(7): p. 823-838.
10. Zakkour, P.D., et al., Developing a sustainable energy strategy for a water utility. Part I: a review of the UK legislative framework. *Journal of Environmental Management*, 2002. **66**(2): p. 105-114.
11. Kahrl, F. and D. Roland-Holst, China's water-energy nexus. *Water Policy*, 2008. **10**(SUPPL. 1): p. 51-65.
12. Shah, T., Climate change and groundwater: India's opportunities for mitigation and adaptation. *ENVIRONMENTAL RESEARCH LETTERS*, 2009. **4**(3).
13. Cederwall, W., A. Shady, and G. Bjorklund, Workshop 4 (synthesis): bridge building between water and energy. *Water Science and Technology*, 2002. **45**(8): p. 149-150.

联系方式

中国

林而达 教授

中国农业科学院 www.caas.net.cn

电话: +86 10 82105998 / 10 82106030

Email: lined@ami.ac.cn

英国

Declan Conway 教授

英国 East Anglia 大学 www.uea.ac.uk

电话: +44(0)1603 592337

Email: d.conway@uea.ac.uk

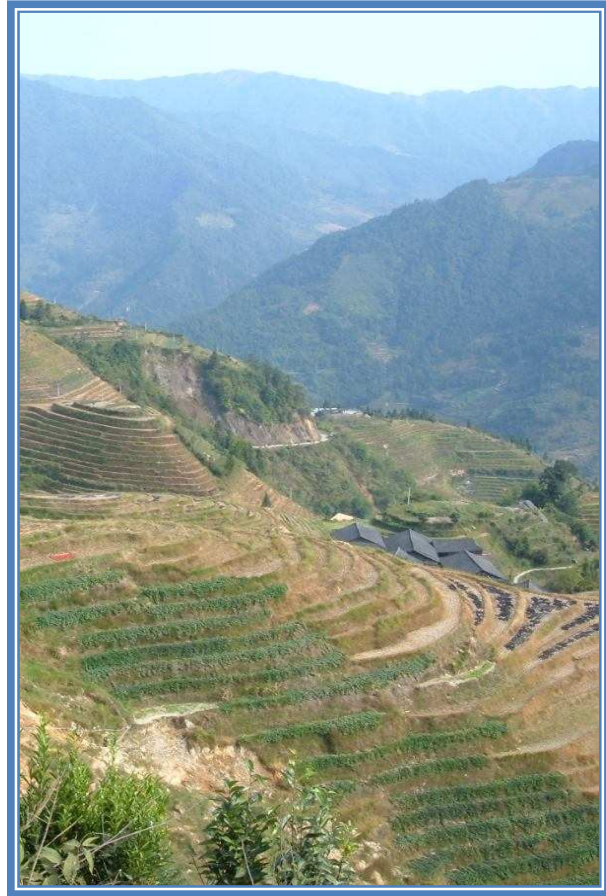
参加单位

中国农业科学院

中国农业政策研究中心

英国 East Anglia 大学

英国 Cranfield 大学



本简报来源于中英项目“ADMIT: 构建中国农业和水资源适应和减缓气候变化的和谐机制”的研究成果。本项目由中国农业部, 英国环境、食品和乡村事务部的国际可持续发展基金共同资助。由中国农业科学院林而达教授和英国 East Anglia 大学 Declan Conway 教授主持。本项目属于中英可持续农业创新协作网 (SAIN www.sainonline.org) 的组成部分。