

中国水源—能源—粮食 路线图

“全球瓶颈” 报告

CHINA'S WATER-ENERGY-FOOD ROADMAP

作者 詹貽琛 吴嵐 栾栋 麦怡瑞 白韞雯

创绿中心
GREENOVATION:HUB

Wilson
Center

二零一五年 三月

致谢

作者谨此向能源基金会的中国可持续能源项目及斯科尔应对全球威胁基金会致谢，感谢他们对中国水源-能源团队的交流活动以及本报告撰写工作的大力支持。此外，亨利·鲁斯基金会、洛克菲勒兄弟基金会、蓝月亮基金、美国国际开发署、佛蒙特法学院也给予了本报告很大的帮助。另外，我们还要对参与本文撰写的中国水源-能源团队，以及本报告发表前进行审阅的诸位友人表示衷心的感谢。他们是：Vatsal Bhatt、Christine Boyle、Pamela Bush、Heather Cooley、Fred Gale、Ed Grumbine、贾绍凤、贾仰文、Peter

V. Marsters、孙庆伟、Vincent Tidwell、杨富强、张超、以及赵立建。中国环境论坛一批研究助理也为本文的出版提供了巨大帮助，这其中包括尹德瑞、梁修培进行的修改和润色，韩思琦的信息图创作和周沁楠对报告中中文版的出色编辑。我们感谢来自中外对话的王亚男、黄露珊和赵东峻迅速、出众的翻译工作。另外，还要感谢陆康甜最后对本文的编辑和修改。本文若有不足或失误之处，均由作者负责，与上述诸位无关。本文观点也仅代表作者的立场，与威尔逊国际学者中心、创绿中心、或其他资助方无关。



VERMONT LAW SCHOOL



伍德罗·威尔逊国际学者中心

Jane Harman 主席，总裁兼首席执行官

Thomas R. Nides 董事长

Sander G. Gerber 副主席

公职理事

James H. Billington, 美国国会图书馆馆长; John Kerry, 美国国务卿; Albert Horvath, 史密森尼学会代理秘书长; Arne Duncan, 美国教育部长; David Ferriero, 美国国家档案局局长; William Adams, 国家人文学科捐赠基金会主席; Sylvia Mathews Burwell, 美国卫生及公共服务部部长

Fred P. Hochberg

美国进出口银行主席兼总裁

私营机构理事:

John T. Casteen, III, Charles E. Cobb, Jr., Thelma Duggin, Lt. Gen. Susan Helms, USAF (Ret.), Barry S. Jackson, Nathalie Rayes, Jane Watson Stetson

威尔逊国家内阁成员:

Eddie & Sylvia Brown, Melva Bucksbaum & Raymond Learsy, Sue & Chuck Cobb大使, Lester Crown, Thelma Duggin, Judi Flom, Sander R. Gerber, Joseph B. Gildenhorn & Alma Gildenhorn大使, 哈曼家族基金会, Susan Hutchison, Frank F. Islam, Willem Kooyker, Linda B. & Tobia G. Mercurio, Dr. Alexander V. Mirtchev, Wayne Rogers, Leo Zickler

Woodrow Wilson International Center for Scholars

One Woodrow Wilson Plaza

1300 Pennsylvania Avenue, NW

Washington, DC 20004-3027

(202) 691-4000, fax (202) 691-4001

www.wilsoncenter.org

目录

关于《路线图》	vii
执行摘要	1
中国的瓶颈：水在哪里？	5
能源之渴	9
煤炭：噬水之王	11
污染严重	11
水电：无水无电	15
天然气：异军突起	15
清洁（但耗水）能源前景	16
可再生能源	16
核电大发展	16
用水需能	19
水资源大挪移：南水北调工程	19
押宝海水淡化	22
废水处理：被遗忘的能源密集型产业	23
未来展望	23
粒粒辛苦	25
粮食用水	27
处于困境	27
五颜六色的毒水河	27
粮食用能	28
能源用粮	28
生物燃料	28
粮食瓶颈的前进方向	29
顺水行舟：透视美国瓶颈	33
美国政府针对瓶颈问题采取的措施	33
开展区域内和流域内瓶颈问题的规划行动	34
瓶颈问题研究及非政府组织开展的活动	34
美国商业领域的瓶颈投资	35
水能交融：寻找共通的解决方案	37
行动领域 #1. 认识水能—能源—粮食问题的严重性	38
行动领域 #2. 优化水源—能源—粮食关系的管理	40
行动领域 #3. 加强中美合作网络建设	40
水到渠成：中国解开瓶颈问题的机遇	45
附录A：中国水源—能源研究团队日程安排	47
附录B：中国水源—能源研究团队成员履历	47



INNER MONGOLIA
MONGOL

Beijing

Datong

Jining
Huai'an

Baoding

Shijiazhuang

Taiyuan

Handan

Wutai Shan
3058

Tianjin

HEBEI

SHANXI

Liaoning

关于《路线图》

水源—能源—粮食的瓶颈问题是一个我们不得不重新审视的问题。淡水资源不断减少，能源需求不断增加，粮食供应不确定性愈加严重，这三个问题之间相互影响，给世界各国的经济、政治、以及环境带来了不小的冲击。作为世界上人口最多的国家和能源消费第一大国，中国的能源、粮食以及环境安全也深受这些瓶颈问题的威胁。我国有关部门如何应对水源—能源—粮食的挑战将给国内外带来深远的影响。

2010年，伍德罗·威尔逊国际学者中心 (Woodrow Wilson Center) 中国环境论坛 (CEF) 与总部位于密西根州的蓝圈组织 (Circle of Blue) 合作启动了“瓶颈：中国”项目，对中国这个世界第二大经济体所面临的水源—能源—粮食挑战进行一次总体评估，并首先研究得出中国燃煤发电年耗水量占全国总用水量20%的关键结论。此外，我们的报道更指出了令人警醒的问题，即我国用水需要消耗大量能源，但其间的能源足迹问题却常常被人忽视。二十多篇有关中国瓶颈问题的多媒体报道已引起决策层、研究人员、国内外非政府组织的兴趣，从而促进了新的研究工作、政策讨论及项目的开展。

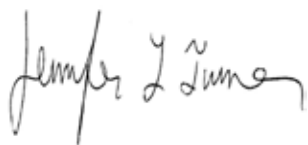
为了继续加深这一领域的对话、突出可能的解决方案，中国环境论坛与北京的环保组织创绿

中心携手，2013年8月共同组织了第一次中国水源-能源团队(China Water-Energy Team) 交流活动。在为期一周的交流活动中，小组成员与中国政府研究机构、智库、非政府环保组织、大学、企业共开展了六次闭门讨论及两次公开讨论。

本《路线图》提纲挈领地总结了此次交流活动的要点，特别是中美环境和能源工作者的多次深度访谈，并力图做到以下三点：

1. 阐述中国的水源—能源—粮食问题的趋势并指出相关组织；
2. 认识解决中国水源—能源—粮食瓶颈的研究空白与政策缺口；
3. 提出可能的解决方案，并强调中美合作解决两国面临的水源—能源—粮食挑战的重要意义。

中国环境论坛和创绿中心的目标是打破中美两国政府、研究机构、企业、非政府组织之间和内部的壁垒，加强知识共享，藉此促进决策的优化和环境的绿化。我们希望通过该《路线图》为两国更好地应对水源—能源—粮食挑战尽一份绵薄之力。



吴崮 卢思聘
主任，中国环境论坛
伍德罗·威尔逊国际学者中心



Lo Sze Ping
创绿中心创始人



执行摘要

水源—能源—粮食三者之间错综复杂的联系不仅对中国是个挑战，对全世界而言也是如此。能源发展需要水，水资源的净化和调度也需要能源，粮食生产更是从灌溉到配送的各个环节都离不开水和能源。作为世界上人口最多的国家和加工制造中心，我国对这三种资源的需求日益增加，由此产生的资源短缺也让中国的经济发展面临严重的瓶颈。在这三种制约中国发展的因素中，尤以水资源短缺最为关键。

路线图导览

如何确保为能源和农业生产提供充足、洁净的水资源以满足国内需求，这是中国面临的一大挑战，它对未来也将产生深远影响。为系统地总结我国面临的瓶颈挑战，并引发更多的思考和行动，《路线图》以中国的水源—能源—粮食三者错综复杂的趋势作为开篇，首先阐述了能源（包括煤炭、水电、可再生能源、天然气）部门的水荒问题，第二部分探讨常被忽视的用水的能源足迹问题，第三部分则概述了中国粮食部门对水资源和能源的需求。接着《路线图》总结了美国在应对水源—能源—粮食挑战中的经验教训。最后，《路线图》对中国政府部门、企业、民间团体提出相关建议，包

括如何对现状进行全面评估，并采取行动应对瓶颈问题。

能源之渴

煤炭我国的能源结构中依然占主导地位。据国际能源署 (IEA) 资料显示，2013年，中国煤电产量占电力产量的80%左右¹。初步研究估计，煤炭开采、加工、粉尘控制、火力发电循环冷却等环节用水占中国用水量的11%-20%²。煤炭从开采到使用的整个环节无论在哪个国家都是耗水产业。然而，煤炭之“渴”让本就水资源匮乏的中国进退两难。我国人均水资源占有量仅为全球平均水平的三分之一³。不仅如此，中国大部分水资源都集中在南方，而农业生产和煤炭储备则大多集中在北方。

为了减少空气污染，中国制定了新的能源战略⁴，用耗水量更大的煤制气电厂取代燃煤电厂。此举加剧了水资源紧张的局面。水电是我国当前第二大电力来源。十二五规划更是着力加快大坝建设，力求将水电总装机容量从2010年的1.99亿千瓦扩大到2020年的4.2亿千瓦。然而，愈加频发的干旱以及水电项目对下游社会群体造成的破坏很可能会阻碍它的持续发展⁵。同时，



核能、天然气、风能、太阳能等电力生产模式虽然碳足迹相对较低，但耗水量却十分可观。对于世界任何一个国家而言，电力生产都需要占用大量的水资源。而在中国，缺水局面更是随着能源需求的日益上升以及农业和工业生产过程中的低效浪费而不断恶化。

用水需能

虽然中国在政策层面上将提高用水效率摆在了显著位置，但决策者却始终强调通过供应方管理寻求解决之道，例如建设能源密集型的大规模调水项目（如南水北调）和海水淡化设施等。水资源污染也给我国的能源资源带来了压力。由于政府着力降低市政、工业、农业对水资源的污染，污水处理设施的需求量随之提高，这将消耗更多能源。

粒粒辛苦

尽管粮食生产在瓶颈问题中的角色常常为人忽视，但却不容低估。粮食生产从灌溉到加工，再到配送的各个环节都离不开水和能源。干旱以及城市和电厂（尤其是燃煤电厂）对水资源的竞争导致粮食连年减产。此外，随着国人膳食结构中肉制品比例的不断增长，工业化畜牧养殖的规模也在不断扩大。这些养殖方式既耗能又耗水，产生的排泄物又常常得不到处理，从而渗入土壤和水，造成土壤污染和有害藻类的大量繁殖。

最后，为了提高粮食安全以及农村地区收入水平，中国大力推动工业化农业生产模式的转型，而这一生产模式同样需要大量的水和能源。由于对灌溉的依赖和大量浪费，仅农业部门的用水量就占到中国总用水量的一半⁶。

美国经验：寻找共通的解决之道

中国并不是唯一面临水源—能源—粮食生产瓶颈问题挑战的国家，同样的问题也困扰着美国。加利福尼亚州连续三年遭受历史罕见的干旱袭击，使水电生产受到重创，迫使该州不得不更多地依靠天然气、风能和太阳能⁷。加州的农业生产也深受其害。一些农户不得不缩减生产规模，要么转而种植耗水量较少的作物，要么完全停止生产⁸。此外，人们围绕美国的页岩气革命以及生物燃料展开了激烈的辩论。这让水源—能源—粮食生产之间的瓶颈问题更加受到人们瞩目。

过去十年，美国的国家能源实验室、智库、大学、以及NGO组织一直都处在全球水源—能源—粮食瓶颈问题研究的前沿，致力于提高政策领域和商业领域对该问题的认识。美国在应对这一问题上取得的进展或许能够为我国应对此类问题提供有益的借鉴。

行动领域

《路线图》明确三大瓶颈领域，供中美合作以加强学术研究及政策发展。

1 认识瓶颈问题的严重性 填补瓶颈问题，尤其是水资源利用所需能源的数据空白。中国研究人员和决策者首先应对中国水源—能源—粮食生产三者之间的相生相制所带来的经济和环境成本进行计算。具体、量化的数据将有助于确立研究方向，并为全面实施水资源、能源、粮食管理政策和法规提供相应的框架。由于全国各地水资源情况千差万别，因此，数据搜集不应局限于国家层面，还应包括省、市、自治区一级的数据。虽然人们在某种程度上已经认识到能源的水足迹问题给发展带来的重大挑战，但水的能源足迹却往往受到忽视，因为人们通常认为水是免费或廉价的资源。有关水资源利用所需能源方面的数据搜集将有助于相关部门制定相应政策，从而达到节约用水、节约能源、节约粮食的目的。

2

加强需求侧管理政策与实践 强调综合规划，重新制定水资源、能源、粮食节约政策。通过数据揭示水处理和灌溉的能源成本将会进一步强调节水、管水在现有能效政策中的重要性，如《中华人民共和国节约能源法》及《电力需求侧管理办法》等。应在现有能源需求侧管理政策和项目的基础上制定更加全面、统一的水资源使用管理办法。除了强制执行能源消耗强度目标和用水总量控制及定额管理外，规划者们还需着重采用综合手段，全面地考虑水资源与能源使用之间的联系，尤其是建筑行业和工业部门中这两者之间的关系。

3

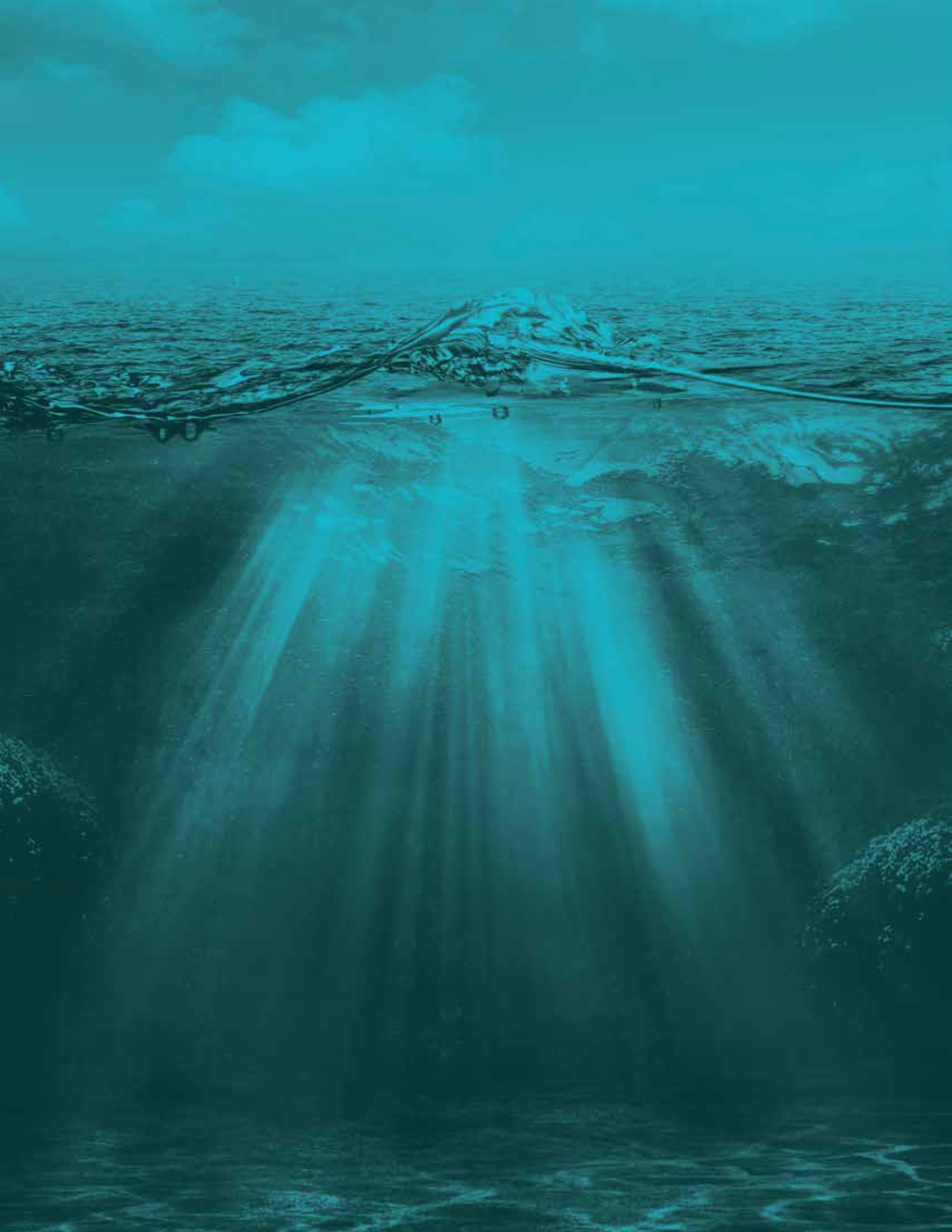
加强中美之间的合作网络 寻求中美在瓶颈问题上的合作机会。虽然美国的一些研究人员、NGO组织以及基金会正在着手研究水源—能源—粮食问题的解决之道，两国政府以及商界在应对中国面临的这些错综复杂的自然资源挑战方面却不如其人意。2014年11月北京APEC会议期间，中美在有关气候变化的联合声明中宣布将资助中美清

洁能源联合研究中心（CERC）的水源—能源关系的新研究项目，这是值得期许的进展。机构合作方面，现有的能源和环境项目应该继续增强就瓶颈问题展开的双边或多边合作。另外，中美各州、省、市在应对水源—能源—粮食三者相关的问题时各有其独到的办法，因此，各国间展开地区层面的合作十分重要。最后，从企业的角度来看，中美两国节水、节能技术市场广阔，因此这些部门展开技术合作潜力巨大。

解决水源—能源—粮食问题并非易事，但本《路线图》的目的在于抛砖引玉，帮助中国的利益相关者及其合作伙伴探索合适的解决框架，应对中国所面临的瓶颈问题。

过去三十年中国所经历的前所未有的经济增长都是以水、能源、粮食这三种密不可分的资源为依托。能源从生产到消费的整个环节都离不开水，而水的调集和净化也需要能源，粮食生产对二者的需求更是有增无减。





中国的瓶颈：水在哪里？

水资源短缺是中国当前面临的最重要的挑战，也是阻碍其未来发展的最大问题。我们必须解决这个难题。

—清华大学国情研究中心副主任王亚华

中国的瓶颈问题错综复杂，而水则是这个问题的核心。我国的淡水资源储量居世界第五位，但人均淡水资源占有量却只有世界平均水平的三分之一⁹。跟很多国家一样，中国的水资源也存在价值低估的问题，从而造成了资源的过度开采、浪费和污染。因此，中央政府发出警告称，尽管目前出台了一系列节水措施，但中国将在2030年前后出现水资源供不应求的局面，而能源部门则是导致水资源供应趋紧的主要原因。

气候变化进一步加剧了我国水资源短缺的局面。过去二十年，海河流域主要干流水量减少了41%，而黄河和淮河流域则减少了15%。这三条河流滋养着干旱、人口密集的中国东北部大部分地区¹¹。因此，其水量减少尤为令人担忧。造成这一状况的原因有65%要归于气候变化¹²，而剩下的则主要是城市、工业、农业、矿产开采等行业对水资源的过度开发所致。

中国面临的水资源挑战不仅是水量匮乏，水质问题也同样严峻。据世界银行估计，水危机导致我国每年GDP折损约2.3%，其中近一半是由污染造成的¹³。为了强调水量与水质之间的联系，中国政府甚至还提出了“水质性缺水”一词。以下数据向我们揭示了中国水资源污染的严重性和紧迫性。

总的来说，2009年以来，多数流域的水质都有所改善。但是，大部分城市地区四分之三的地表水以及55%的地下水仍然不宜饮用¹⁴。

- 中国主要河流系统内约15%的水已经失去了使用价值¹⁵。
- 2013年，中国环境监管部门将中国主要河流系统内28%的水列为不适于人体直接接触的严重污染级别¹⁶。



- 污水灌溉面积达到405万公顷（占中国灌溉耕地面积的7.4%）¹⁷。

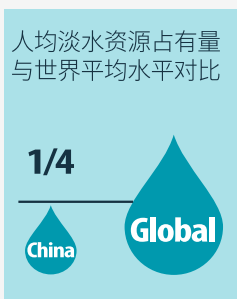
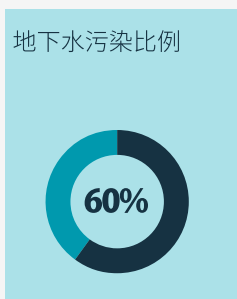
中国水资源分布极为不均，这对其能源发展策略也产生了一定的影响。中国83%的水资源集中在长江流域以南的省份，给当地发展水力发电提供了得天独厚的条件。而华北地区则较为干旱，水资源仅占全国水资源总量的17%，而人口却占全国总人口的41%，耕地面积占全国总量的56%，并且还是国家的主要煤炭产地。因此，该地区水资源过度开采的现象严重¹⁸。海河流域仅占全国水资源总量的1.5%，然而却支撑着京津两地1.3亿人口（占全国人口的10%）的用水需求¹⁹。

2014年夏，陕西省遭遇百年不遇的特大干旱，受灾人口达25万人²⁰，并造成自2009年来华北平原首次玉米减产²¹。即便是在水资源历来充沛的南方，2010年以来也屡屡遭受旱灾的侵袭，并且一年比一年严重。

到2030年，中国的需水量预计达到8180亿立方米，而目前供水量仅有6180亿立方米，供需缺口巨大²²。严重的工业污染和居民污水污染让供需之间的差距进一步拉大²³。随着未来15年还将有3.5亿左右的人口涌入城市地区，城市核心区域周边地下水抽取速度将超过自然补给速度，从而造成地下水水位的迅速下降。

中国水资源危机

中国水资源面临供应短缺、污染严重、分布不均等一系列问题。同时，供水、净水和运水也需要消耗大量能源。

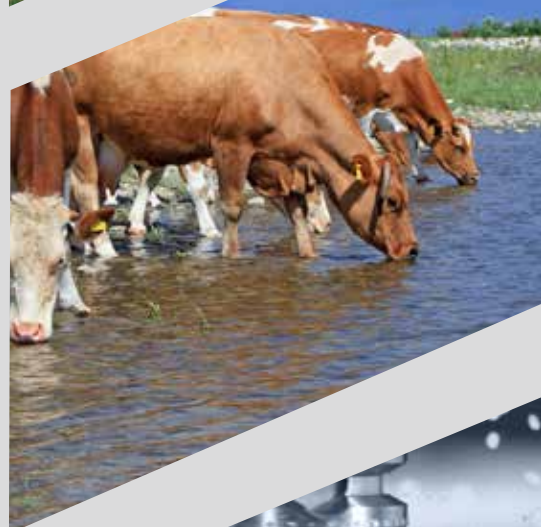


Sources: The 2030 Water Resources Group, Circle of Blue, World Bank.

示例一：水的定义

以下为本文中水资源相关术语的用法，它们有时容易被混淆ⁱⁱⁱ。

- **采水（量）**是指取自某一水源并用于满足人类某些需求的水，其中既包括已经消耗的水，也包括尚未消耗的水。
- **用水（量）**在本路线图中等同于采水（量），两者可以互换使用。
- **水资源消耗**是指从某一水源提取、并且由于转换成蒸汽、在蒸发过程中消失、渗漏至盐湖水域、或者遭受污染等原因而导致其在同一水域无法重新利用的水资源。举例来说，被货物生产或动植物组织吸收的水无法重复利用，因此这些水即产生了水资源消耗。
- **水足迹**是指产品与服务在生产过程中所消耗的淡水总量；人们可以计算某一产品、城市或者国家的水足迹。





能源之渴

中国的用水量正在逼近峰值，而能源需求到2040年将翻一番。如何能满足此能源需求并解决用水紧张的局面是比当下水资源危机更为严峻的问题。

— 中国科学院水资源研究中心副主任贾绍凤²⁴

中国所有能源中煤炭的耗水量最大；但其他增长之中的能源如水电、核电、天然气等也会对供水和水质产生重大影响。尽管风能和太阳能发电的单位耗水量最低，但由于二者装机总量仅占发电能力的5.2%，因此在节水方面的贡献仍微乎其微²⁵。将能源的水足迹优先纳入发展规划的国家不多，这种忽视导致水资源安全受到投资和发展的严重挑战。

能源用水数据在全球范围内都十分不足，因此更加需要人们对这一问题的关注和研究。哈佛大学贝尔福科学与国际事务中心近期所

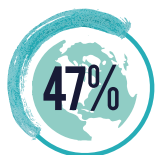
做的一项研究发现，以中国能源生产总量推算，我国能源部门每年的采水量达到614亿立方米，用水量达到108亿立方米，排出的废水达50亿立方米，各项在全国总量中的占比分别为12.3%，4.1%和8.3%²⁶。我们在“瓶颈：中国”的报道过程中发现，整个煤炭生产环节的采水量占全国总量的20%左右，导致华北地区水量超采严重。据中国学者刘培估计，煤炭部门用水量几乎占到全国总量的11%²⁷。这些估值的出入表明有必要加强数据建设，统一测量标准和术语的使用。（参见示例一）



解不了的能源之“渴”

煤炭：噬水之王

2011年, 中国煤炭消费量占世界总量的47%。



目前, 中国70%的电力由燃煤供应。



与此同时, 中国高达20%的用水量消耗在煤炭开采、加工、粉尘控制、火力发电循环冷却等环节中。*



水电水电，以水换电

3 1 2 水电是中国第二大电力来源

水电占全国发电总量的22%

除了扰动河水流量、破坏河流生态系统, 西南地区水电产业的发展膨胀提供了大量廉价电力, 吸引了更多如电解铝、钢铁制造等高耗能、高污染的产业, 对河流生态造成严重破坏。



清洁能源也离不开水

生命周期需水量 (吨/兆瓦)

494



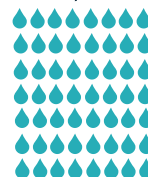
太阳能光伏**

1,767



风能

48,667



光热发电

* 生命周期用水
** 单晶硅和多晶硅

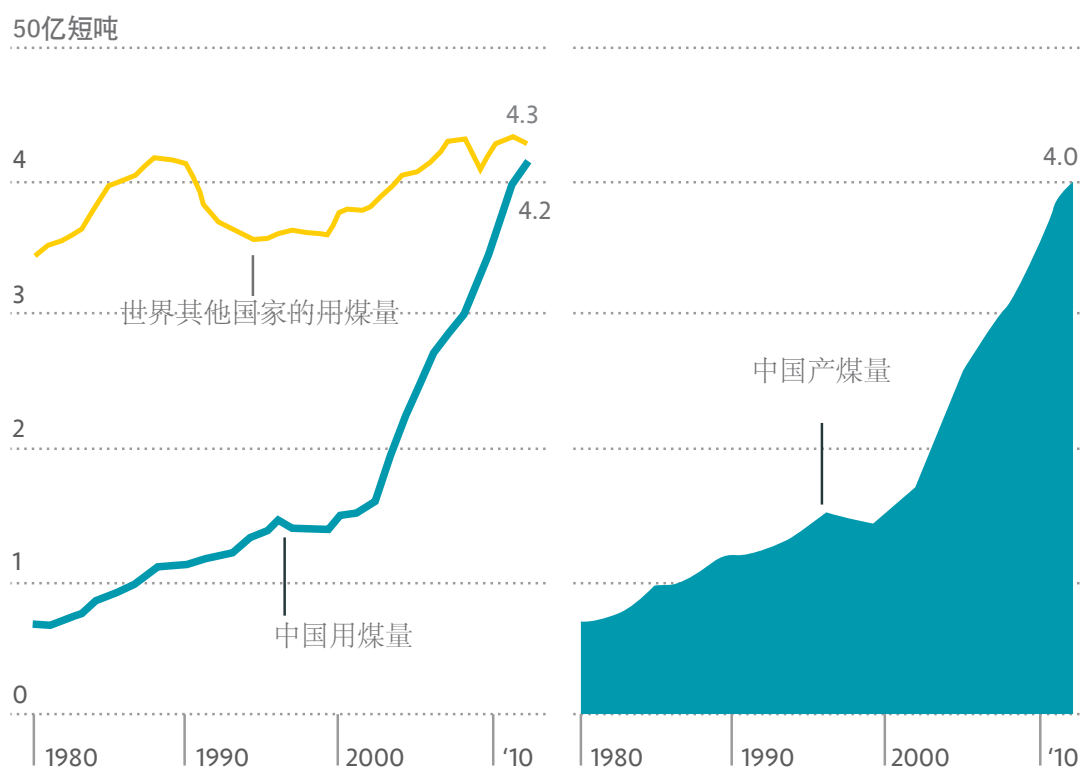
Sources: U.S. Energy Information Administration, China Country Analysis, Chao Zhang and Laura Diaz Anadon.

煤炭： 噬水之王

1986年后，中国便一跃成为全球最大的煤炭消费国²⁸，2011年煤炭消费量占全球总量的47%，几乎相当于世界其他国家煤炭消费量之和²⁹。（参见图一）2000年以来，全球煤炭需求增量中有82%来自中国³⁰。煤炭对空气污染的贡献也成为一个重大的社会政治焦点问题，促使中国不得不从政策层面快速做出回应。例如，2014年8月，北京宣布2020年底前将在六个主要城区全面禁用燃煤³¹。2014年9月，有关部门宣布将对低质、高灰份高硫煤的进口加以限制³²。

2013年9月，国务院还出台了《大气污染防治行动计划》，其中包括要求实现全国空气质量总体改善等一系列措施。国务院副总理张高丽近期表示，中国将确保实现2020年碳排放强度比2005年下降40%-45%的目标。对此，占煤炭消费量44%的12个省份做出了具体的控煤承诺，其中六省甚至还在行动计划中纳入了总量控制目标³³。（参见示例二）

图一：能源结构及/或煤炭消费



数据来源：Richard Martin (2014).¹



示例二：治理空气污染

为了应对公众对治理主要城市空气污染日益强烈的呼声，中国国务院于2013年9月印发了《大气污染防治行动计划》。该行动计划提出了一系列前所未有的政策性措施：

- **降低煤炭消费总量**：北京、上海、广州三个大城市禁止新建燃煤电站。作为“重点城市群”，这三个城市必须在2017年之前实现煤炭消费总量负增长。
- **强化各地区细颗粒物减排指标**：到2017年，京津冀地区细颗粒物(PM2.5)浓度必须在2012年的基础上下降25%。长三角和珠三角区域的细颗粒物浓度分别下降20%和15%。
- **必须实现改善全国空气质量的目標**：到2017年，全国可吸入颗粒物(PM10)浓度必须比2012年至少下降10%。
- **能源多样化**：到2015年，新增天然气干线管输能力1500亿立方米以上。到2017年，运行核电机组装机容量达到5000万千瓦，非化石能源消费比重占中国全部能源消费的比例由2013年的10%提高到13%。

该行动计划并不是解决中国大气污染问题的灵丹妙药，但是它展示了中央政府降低煤炭在全国能源结构中占比的决心。在2013年11月召开的中国共产党第十八届中央委员会第三次全体会议将环境保护列为当务之急。2014年春，李克强总理发出了向“大气污染宣战”的号召，全国人大也25年来首次通过了环保法修订草案，政府在环保方面的政治决心丝毫不减。环保法修订案的内容包括：对污染企业加大处罚力度、提供环境公益诉讼的机会、加强环保法庭的举措等。这些内容将对一直乏力的地方执法工作起到极大的促进。2014年APEC领导人会议上，中美两国共同发布了气候变化联合声明。作为声明的一部分，中国政府承诺于2030年达到煤炭消费峰值，这表明中国政府已经将解决煤炭问题作为重中之重。

尽管煤炭的水足迹问题十分严重，但是直到最近才引起国内有关部门及从事中国能源环境问题研究的国际组织的关注。煤炭开采加工过程消耗的淡水量在中国工业用水中占比最大，虽然目前还缺少这方面的采水量数据，但即便是不全面的分析也能凸显出煤炭行业耗水问题的严重性。例如，世界资源研究所（WRI）针对中国煤炭开采、化工生产及转化行业水足迹所作的一份分析报告估计，如果2012年计划兴建的所有燃煤电厂都建成的话，到2015年，我国煤炭部门每年的采水量将达到100亿立方米³⁴，相当于亚洲第三大河流——黄河年采水总量的四分之一。然而，该报告并未对电厂循环冷却或沉渣池的耗水量进行分析。（参见示例三）

作为2011-2015年中国社会经济发展的路线图，政府制定的“十二五”规划呼吁巩固西北部地区的煤炭生产和燃煤发电能力。该政策理论上能更好地控制污染，促进资源的循环利用，并为那些身处危险的工作环境、生命时刻受到威胁的矿工提供更高的生产安全保障。“十二五”规划提出，将在水资源形势最为严

峻的西部地区建成14座大型煤炭生产基地和16个煤电基地。

绿色和平根据2012年的数据推测，到2015年，内蒙古、山西、陕西、宁夏等省煤炭部门（包括开采、发电、煤化工）的用水需求将超过该地区整个工业部门目前的用水量³⁵，并且预测，2015年，这些省份及其它现有的大型煤炭基地的用水需求将达到每年99.75亿立方米³⁶，超过黄河正常年份可采水量的四分之一。其中，煤炭开采用水占比约三分之二，煤化工占11%，发电占22%³⁷。除了用于电厂的冷却循环和蒸发掉的一部分外，大部分都被排回了水系。

煤炭部门的洗煤、开采用水即使可以循环使用，也限制了其用于其它部门的可能性。水源保护区内非法经营的煤炭企业则是对水源的另一个挑战，如绿色和平曾公开披露的青海省的部分煤炭企业，以及那些违反污水管理条例的企业等。这些企业的行为都加重了水资源的开采和污染，而且这些情况很有可能从官方统计中无法得到体现³⁸。





示例三：各个环节的用水需求：中国煤炭行业的水足迹

煤炭是耗水量最大的一种能源，其生命周期的每一个阶段都需要水。蓝圈组织和威尔逊中心开展的瓶颈研究表明，2010年，中国煤炭行业用水量达到1200亿立方米，约占全国总用水量5990亿立方米的20%。其它研究则认为煤炭用水量的百分比介于11%到17%之间。这说明我们需要更多、更准确的数据。预计到2020年，煤炭生命周期所消耗的水资源将占到全国总用水量6700亿立方米的28%^{iv}。以下简要介绍了水资源在每个阶段的使用情况：

- **采矿**：在煤矿开采阶段，水主要用于冷却设备、减少粉尘、清洗隧道。
- **清洗**：煤炭需要经过冲洗，从而去除灰尘和硫磺，提高能源成分。目前，中国有55%的煤炭都要经过清洗环节，而10年前这个比例仅为30%。每清洗一公吨煤炭需要消耗0.11到0.15立方米水，每年清洗煤炭的用水达到1.78亿至2.38亿立方米^v。
- **发电**：在发电阶段，发电厂需要抽取大量的水用于产生蒸汽以及冷却。中国大约95%的热电厂采用水冷。尽管大部分冷却用水是循环使用，但是还是有大约12%由于蒸发而损耗掉^{vi}。
- **煤灰处理**：煤灰处理是煤炭生命周期中仅次于冷却的第二大耗水环节。燃煤电厂的用水中有一半是用于处理池塘或者“灌溉”田中的煤灰。此类池塘流出的水含有重金属，有时候甚至含汞，因此会对附近的地表水和地下水造成污染。
- **煤炭转化**：中国日益壮大的煤炭转化行业也使耗水量节节攀升。根据柴油、化工产品、天然气等转化产品的不同，转化单位公吨煤炭需要耗费3-15立方米的水。目前中国的煤炭转换项目每年消耗50多亿立方米水。由于煤炭转化行业的利润空间要远远高于燃煤电厂^{vii}，因此这一数字还将继续增长。

污染严重

除了大量耗水之外，煤炭产业排出的废水还会污染附近的水系，往往造成水体铅、砷等重金属超标。电厂的锅炉和冷却系统所使用的水有时未经处理和循环就排入湖泊、河流。污泥和煤灰经常会被倾倒入没有任何隔离措施的填埋场和蓄水池。废料中的重金属和有毒物质会对饮用水造成污染，给当地生态系统带来危害。煤炭燃烧过程中释放的二氧化硫和一氧化氮会形成酸雨，使湖泊河流的水质酸化，从而给水体生态系统造成威胁。

水电：无水无电

水力发电在中国过去几十年的经济发展历程中扮演着非常重要的角色。目前为止，全国共建成46000多座水电大坝，几乎遍布大大小小的每条河流³⁹，其中将近一半都是用来发电，其余的则是为了防洪和农业灌溉⁴⁰。如今，水电已是我国第二大电力来源，占全国发电总量的22%⁴¹。截至2013年年底，中国水电总装机已达2.8亿千瓦，距离实现“十二五”规划制定的2015年年底的目标只有1000万千瓦之遥。而且，照这一势头发展，实现政府制定的2020年4.2亿千瓦的目标已毫无悬念⁴²。

然而，过去五年，中国西南部地区屡屡遭受严重的旱灾，影响了水电大坝的发展速度和效率。2010年年初，持续的干旱不仅让湄公河、怒江、长江的水位下降，而且导致中国第二大水电站——640万千瓦的龙滩水电站差点停运。2011年旱情最严重时，三峡大坝水库的水位比发电机组有效运转所需的最低水位还要低4米（13英尺）⁴³。

大坝水库不仅有利于上游地区的灌溉，还能发挥防洪抗洪的作用，但同时也会给社会和环境带来负面影响。水库的蒸发量很高，所以水力发电会对其他部门的用水构成影响，使下游居民、农田、以及各行各业在干旱面前变得更加脆弱⁴⁴。河水流量的变化会破坏河流的生态体系，从而给人们的生计以及生物多样性带来威胁。最后，我国西南部地区水电事业蓬勃发展的势头也带动了铝业和钢铁制造业等高污染、高能耗产业的发展，给农业、渔业、以及当地百姓的生活用水造成了污染⁴⁵。可是，目前，有关部门还未出台任何政策应对水力发电与污染之间的负面联系。

天然气：异军突起

中国的常规和非常规天然气储量都很丰富。因此，一直以来，天然气都被看成是有可能帮助中国改变其能源现状，降低对煤炭依赖的一种能源。哈尔滨工业大学的刘恒伟认为，政府“向污染宣战最核心的内容就是到2017年将煤炭占能源消费总量比重从2012年的69%降到65%以下。为了实现这一目标，中央政府正着力提高天然气在能源消费结构中的占比，计划到2020年将其从2012年的4.7%提高至10%。”这就意味着，在短短八年的时间里要将产量从1440亿立方米提高至4000亿立方米，增量达到178%。相比之下，过去八年美国经历的“页岩气革命”也只将天然气产量提高了31.2%⁴⁶。

随着减排压力的不断加大，中国对清洁能源的需求也在不断增长。因此，中国的石油企业都在努力拓宽战略，进军天然气领域，不断加大对常规天然气、致密气、合成天然气的投资，并且扩大了天然气的进口，以满足国内的短期需求。虽然与燃煤电厂相比，煤制气的空气污染程度一般较低，但却需要消耗大量的水。生产单位立方米的合成天然气需要消耗6-12升水，与因耗水严重而备受诟病的页岩气相比，高出50-100倍⁴⁷。目前投产运营的煤制气厂只有两家，但在建或计划兴建的却多达四十多家，其中有五家位于缺水的新疆和内蒙古。这两个地区早已面临着严重的水资源短缺问题。因此，虽然这几家煤制气企业有可能会创造良好的短期效益，但却势必会给当地的环境带来破坏，从经济角度而言，也非明智之举⁴⁸。

倍受热炒的页岩气在中国的发展也受到水资源可利用量的限制。虽然我国技术可开采的页岩气储量排名世界第一，但现有的开采手段需要消耗大量水资源⁴⁹。美国采用水力压裂法开采页岩气每口井的耗水量从7570 m³到18927 m³不等（参见表一），而每个页岩气田都要开凿数以千计的气井，这也就意味着需要消耗大量的水⁵⁰。中国的目标是到2015年实现全国页岩气产量达到65亿立方米⁵¹，这就需要1380万立方米的水。虽然与工业用水总量相比，水力压裂法的耗水量并不算大，但耗水量的增加却会给当地带来巨大的影响⁵²。2010年，拥有全国40%页岩气储备的西南地区5省（四川、重庆、贵州、云南和广西）遭受了持续6个月的严重干旱⁵³。而在水资源较为匮乏的地区也

出现了页岩气压裂开采与其它用水部门抢水的局面，如陕北某地为了进行页岩气开采试验，当地政府部门领导就曾下令暂时中断该地的市政供水⁵⁴。

此外，尽管水力压裂技术发展很快，耗水量在不断减少，但如何控制污染仍然是一个非常具有挑战性的问题。压裂过程中使用的水通常又被称为回流水或采出水，其成分包括压裂液中的化学物质、原岩中溶解出来的盐分、各种矿物元素、挥发性有机物、以及放射性物质等。这些物质都有可能给环境和公众健康带来风险⁵⁵。

尽管中国制定了大规模开发页岩气的发展目标，并加大了投资力度，但目前这一行业仍处于起步阶段，发展缓慢，究其原因是在页岩气盆地储层地质特征测绘方面仍相对薄弱，并且市场相对封闭，阻碍了小型和探索型生产企业的进入，而这两点正是促使美国页岩气生产迅猛发展的关键因素。实际上，与美国的10万口页岩气井相比，2013年中国开钻的100口测试井可谓是小巫见大巫⁵⁶。然而，这种相对迟缓的发展态势也有它好的一面，那就是可以让中国的监管部门有时间吸取美国的经验教训，并将其纳入自己的法规和实践，特别是水源保护和节约用水方面的法律和实践。

清洁（但耗水）能源的前景

中国煤电、水电产量居世界前列，而且自2010年开始，中国也迅速成长为世界上规模最大、发展速度最快的核能、风能以及太阳能电力市场。“十二五规划”又进一步扩大了清洁能源在我国能源结构中所占的比重，计划到2015年和2020年分别将非化石能源占一次能源消费比重提高到11.4%和15%⁵⁷。

可再生能源

虽然多数非化石能源耗水量远远低于燃煤电厂，但如此有计划地大规模推广可再生能源同样会导致用水需求的迅速增长⁵⁸。据劳伦斯伯克利国家实验室(Lawrence Berkeley National Laboratory)的研究人员称，2010年至2030年间，中国风能、太阳能发展预计需耗水8.13亿立方米，几乎相当于所有北京市民一年

的用水量，而北京市的人口要比整个纽约州的总人口还要多⁵⁹。不仅风力发电和太阳能发电设备的生产环节需要用水，太阳能电厂还需要用水来清洁太阳能发电板。

一套陆上风力发电设备在其整个使用寿命期限内平均每兆瓦装机容量需耗水1767立方米，太阳能光伏发电设备则根据电池技术的不同每兆瓦需要耗水25立方米至615立方米不等⁶⁰。其中，制造和生产风力涡轮机和太阳能电池板是耗水最多的环节。因此，随着这两个行业的发展，其耗水量也将增加。

与近期美国所采用的熔盐技术不同的是，中国的光热发电项目仍需要通过将水转化为蒸汽带动涡轮机进行发电。所以，其耗水量目前也是各种可再生能源技术中最高的，使用寿命期间平均每兆瓦装机容量耗水4.8万立方米⁶¹。光热发电目前仍处于试点阶段，装机容量只有5万千瓦，但中国未来将大规模推广这一技术，计划到2015年和2020年装机容量分别达到100万千瓦和300万千瓦⁶²。光热作为一种大规模分布式太阳能发电技术发展前景广阔，不仅能够为本地用户供电，还能向电网输送电力。然而，耗水量应该是一个决定是否推广以及在何地推广该技术的关键因素。

风力发电和太阳能发电项目大都集中在我国干旱的西北部地区。风力发电项目集中的四个省份——内蒙古、河北、辽宁、吉林都处于全国十大缺水省份⁶³。随着项目规模的不断扩大，即便是可再生能源也难以摆脱中国北部地区水资源匮乏的限制。

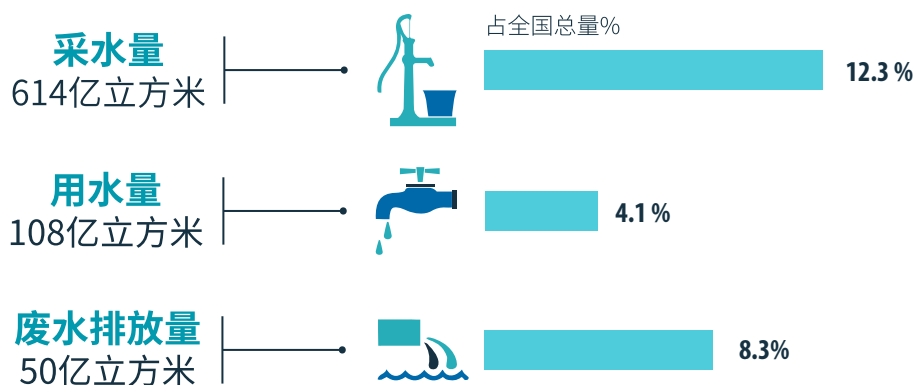
核电大发展

2013年中国核电装机1400万千瓦，仅占总发电量比重2.1%⁶⁴。尽管如此，政府官员仍对核电寄予厚望。中国目前在运核电机组20台，在建核电机组28台，计划到2020年运行核电装机容量达到5800万千瓦，将比现在增加三倍以上⁶⁵。

欧美各国的核电设施都曾因干旱停运⁶⁶，随着气候变化日趋严重，这种情况将越来越频繁。美国和欧洲的核电发电量因为电站彻底或部分关闭而大幅下滑的可能性预计将增加将近三倍⁶⁷。或许是吸取了他们的经验教训，核电是我国少数几个能在发展规划阶段就将水资源因素考虑在内的能源之一。

出于安全考虑，我国目前在建的27台核电机组全都位于沿海地区，以获得稳定的冷却水供应⁶⁸。我国一台利用海水进行直流一次循环冷却的核电机组每天需水量约为8百万立方米，超过了传统化石燃料电厂的平均日耗水量⁶⁹。虽然中央一再要求谨慎发展内陆核电机组，“十三五”规划期间，国家预计将亮起内陆核电的绿灯，开建一部分规划内的试点项目⁷⁰，以测试技术及安全措施。由此可见，增加核电机组可能会加剧中国内陆地区用水紧张的局面。

能源产业到底用掉中国多少水？*



* Lifecycle water withdrawals

Sources: U.S. Energy Information Administration, China Country Analysis, Chao Zhang and Laura Diaz Anadon.



用水需能

为了应对人口和经济增长以及气候变化，中国必须开发新的能源密集型采水和用水方法。

—王东，中国环境规划院水资源研究员⁷¹

我国水资源分布与用水集中地区分布极不协调。因此，工程手段成为解决国家未来水资源短缺问题的重要手段，而工程手段大多规模巨大，耗能极高。中国是为数不多的具备人力、财力条件以工程手段解决水资源短缺问题的国家之一，然而将水资源调度至干旱地区需要耗费大量的能源，决策层并没有针对这个问题展开充分的讨论。

据2004年的一项研究估算，电力支出占我国水资源生产和调度成本的33%。2004年之后，调水、抽水的能源足迹更是骤然上升⁷²。据我们所知，我国目前还缺少有关水资源供应、输送、处理过程中电力消耗占比方面的研究，世界其他国家在水资源输送、净化、使用过程中所耗的电力也在不断增加。例如，

- 地下水抽取和海水淡化消耗的电力占沙特阿拉伯年电力消耗总量的9%⁷³。

- 水资源抽取、运输、处理、调集、使用，以及污水的收集、处理、处置等环节耗能占美国能源消耗的13%⁷⁴。

- 在美国，加利福尼亚州的水利部门能耗最高，从水源到用户再到废水处理，整个水资源循环过程的能耗占该州能源消耗总量的19%⁷⁵。

水资源大挪移：南水北调工程

几百年来，中国在建造大型水利基础设施方面成绩斐然，用于灌溉和防涝的京杭大运河就是一例。1952年，华北地区严重干旱，毛泽东提出，“南方水多，北方水少，如有可能，借点水来也是可以的”⁷⁶。五十年后，耗资620亿美元、人类历史上规模最大的输水工程——南水北调工程终于动工⁷⁷。南水北调工程计划每年将大约280亿立方米的水调送到数百英里之



外，以解决华北平原及4.4亿人口的缺水问题⁷⁸。该工程调水量相当于加利福尼亚州调水工程的10倍。东线工程是三个线路中首个完成的线路，中线则在2014年底通水，而能够解决煤炭储量丰富的西北部地区用水问题的西线工程则因为要穿越青藏高原，需要花费十年时间进行建造，所以目前仍处于规划阶段⁷⁹。

调水需要能源，但目前还没有南水北调工程调水所需能耗和建筑材料中内嵌能耗的相关统计数据。此外，南水北调工程还需要建设大规模水处理设施，这也会产生巨大能耗。从长江中抽取出来的东线水水质堪忧，在输送到天津之前，需要建设400多座污水处理

设施对水进行净化，水污染控制支出占东线工程50亿美元投资的44%⁸⁰，中线则计划建设474个水处理厂，然而，截至2013年12月，距离中线充水仅有半年的时间，只有10%的水处理设施完成了建设⁸¹。（参见示例四）

项目成本和能源消耗使调水价格大幅提高。尽管可以将用水成本提高看成是一种鼓励节水的方法，但事实上，用水成本提高却促使很多北方城市青睐于我们下面将要讨论的另一种能源密集型供水策略——海水淡化。



示例四：中国南水北调工程

南水北调工程是当前世界上规模最大的水资源调运基础设施项目。水资源调运一直就是缓解中国各地区区域性水资源短缺的解决方案，尤其是缺水的首都北京。自上世纪80年代起，江苏、天津、广东、河北、山东、甘肃、山西、辽宁、吉林等地^{viii}已经建成了至少20个大型的跨流域水资源调运项目，以及无数个中小型项目。这些项目将水资源源源不断地输往城市，以满足市政、工业、农业灌溉的用水需求，帮助减少污染。

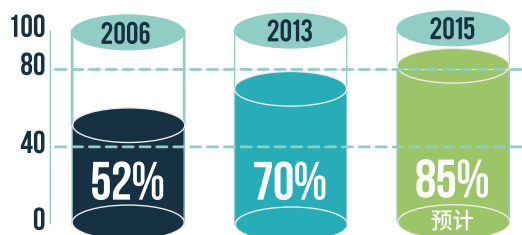
在美国，气候干燥的加利福尼亚州有着自己造价昂贵的引水项目。由于当地降雨无法满足居民及其它领域的用水需求，加州水资源项目北水南调，为洛杉矶以及农业提供用水。这一世界上最大的运水“电梯”穿越富庶的中央山谷农业区，爬上近2000英尺的特哈查比山，消耗整个加州2-3%的用电量，每年将74亿立方米的水运送200多公里以外的地方。

随水流走的能源

废水处理，被遗忘的能源密集型产业

随着水资源形势的日益严峻，污水处理、循环利用对于保障居民用水需求和生态环境的重要性已不言而喻。

中国城镇污水处理率(%)



然而，由于能源消耗巨大、财政预算紧张，一些地方政府并不能保证污水处理厂的正常运行。

海水淡化，能耗更高

海水淡化的耗电量是污水处理的两倍。为了应对水资源短缺，中国积极发展海水淡化技术，同时也面临着能耗问题。

海水淡化



污水处理



千里运水，能源先行



相当于美国加利福尼亚州调水工程运水量的10倍
或一场覆盖德克萨斯州降水量66毫米的暴雨



南水北调工程所消耗的能源总量，包括项目建设和调送水源等，这一切数据都仍有待调查验证。



Sources: Pacific Institute, U.S. Energy Information Administration, G.K. Pearce, Office of the South-to-North Water Diversion Project Commission of the State Council.

押宝海水淡化

中国紧随以色列、沙特阿拉伯等缺水国家的脚步，将海水淡化作为解决其水资源短缺问题的另一个关键策略。2011年杭州海水淡化工业园区的开幕标志着我国海水淡化产业的起步⁸²。除了解决沿海地区居民和工业的用水问题之外，中国还计划通过海水淡化解解决内陆煤炭行业的用水紧张问题。

2012年底，中国已建成海水淡化厂95个，分布于沿海各省，日产淡化水总规模达到778182立方米⁸³，在全国16亿立方米日耗水量中仅占不到1%。按照计划，到2015年反渗透海水淡化产能将扩大三倍⁸⁴，但关键在于如何在满足现有能源需求的基础上再兼顾这一新生的高耗能产业。

与其它供水和水处理方法相比，海水淡化需要消耗更多的能源⁸⁵。目前，中国海水淡化单位耗电2.3-4 kWh/m³，比废水处理高出两倍多（废水处理的单位耗电量为0.8-1.5 kWh/m³ ⁸⁶）。中央制定的目标是到2015年实现海水淡化日均220万立方米，这就相当于要消耗三峡大坝总发电量的2-4%。海水淡化所需的大部分电力都来自燃煤发电，也就意味着这是用中国目前耗水量最大的能源来生产更多的水。（参看示例五）

能源消耗大幅度提高了淡化海水的价格。在沿海的舟山市，能源支出占海水淡化成本的58% ⁸⁷。尽管我国淡化水的成本与全球平均水平持平⁸⁸，但根本上而言，海水淡化是应对严峻的水资源挑战的一种能源密集、资本密集和土地密集型的方法⁸⁹。

示例五：海水淡化：不断发展的新兴产业

在中国的十二五规划中，将天津、大连、青岛这三座沿东北海岸线的城市指定作为海水淡化的科研基地。中国目前最大的海水淡化项目——北疆发电厂海水淡化项目位于天津滨海新区，总投资额高达40亿美元^x。其中国家投资占64%。北疆是中国海水淡化行业蓬勃发展的基石。到2015年，中国对这一行业的投资额将达到约200亿元人民币（合32亿美元）^x。不断注入资金的目的在于促进海水淡化的推广与技术创新，从而不但满足国内的用水需求，还要打造出一个重要的新型技术出口行业。

高价的液体

北疆厂是中国循环经济发展的一个典范，其宗旨是鼓励水资源的再循环和再利用。按照这一思路，四座100万千瓦的燃煤电厂为生产淡水的海水泵及淡化系统提供电力^{xi}。淡化处理后的浓缩海水随后被用于制造工业用盐，而电厂的煤渣则用于生产建筑材料^{xii}。

即便是对废水再利用，淡化水的价格依旧高于中国现行水价。2012年，天津地区民用水和工业用水的价格

分别为每吨4元和7元，而淡化水的价格为每吨8元。麻省理工学院的David Cohen-Tanugi认为，海水淡化的成本是“节水措施成本的数倍，由地方政府为额外的成本提供补贴^{xiii}。”多数情况下，地方政府没有能力持续地为海水淡化提供补贴。中国的一些海水淡化企业已经不得不减产甚至关停；据报道，2012年北疆厂每天仅生产1.8万吨水，远低于其10万吨的生产能力^{xiv}。

昂贵的技术

对北疆以及其它中国企业来说，另外一个挑战是绝大多数海水淡化技术都来自于国外。目前，中国只有四家大型海水淡化厂（日均产能高于16万吨）在建造过程中没有得到来自国外的技术支持。北疆的设备是从以色列进口的。机器设备的价格、中国技师培训过程中学习任务艰巨、以及系统维护的多种不便使本就成长缓慢的中国海水淡化行业更加举步维艰。鉴于这些障碍的存在，充分挖掘推广水处理与循环再利用的巨大潜力应该是一个性价比更高的供水保障策略。

废水处理：被遗忘的能源密集型产业

中国很多城市的天空都笼罩在灰色的雾霾之中，河流和湖泊也被工业、农业生产和工业化农场排放的污染物染成了五颜六色。根据香港“中国水危机”组织的资料显示，2012年中国废水排放量达到685亿立方米，相当于黄河的年径流量⁹⁰。这或许表明，清理中国的河流湖泊所花费的成本会比清理空气污染的成本要高得多。

在耶鲁大学2014年全球环境绩效指数中，我国的废水处理指标在178个国家中排名第67位，落后于其他新兴经济体国家，如墨西哥（排名49）和南非（排名56）⁹¹。该指标反映了各国在将居民生活污水及工业废水排放到环境中之前对其进行处理的情况⁹²。2013年9月，国务院出台了市政基础设施建设计划，目标是到2015年使城市废水处理率达到85%⁹³。愿望是好的，但由于中国缺少对固体废物进行三级处理的基础设施，大部分污水处理厂只能对废水进行二级处理。有毒污泥的大肆倾倒已加剧土壤、水和农作物污染，而且很难清理。防止此类有毒污染的方法是实施三级处理，由此增加的能源消耗是合理的，但这更要求提高废水管理的效率。在美国，几乎所有的废水都要经过三级处理，这一过程需消耗大量能源，相当于美国市政能源消耗的30%-40%，但对环境和人类健康而言，这样做

更加安全⁹⁴。美国的一些城市正在探索分布式可再生能源和垃圾发电等模式，从而降低废水处理的能源足迹。

废水处理成本是地方政府的一项重要支出，对于规模不大的小镇或城市而言，有时甚至相当于其总预算的三分之一⁹⁵。因此，尽管过去十年，污水处理厂的规模不断扩大，但地方官员为了省钱经常会关闭这些设施。没有中央政府的支持，很多地方政府别无选择只好让这些处理厂闲置，任由废水污染其他水源。

2014年6月，国家环保部向国务院提交了《水污染防治行动计划（草案）》，最终的计划包括投资3210亿美元（2万亿元人民币）在全国各地增设废水和废料处理、回收、及中水利用等设施⁹⁶。改进水质的措施姗姗来迟，它们可能加大中国水处理的能源足迹，但却是必须的。

未来展望

展望未来，水资源无疑是事关粮食生产和能源发展最关键的因素。如何对水资源的利用进行监管对中国未来的持续发展和繁荣至关重要。目前的政策说明，我国依然在沿袭老路，试图通过工程技术的手段走出困境。然而在水资源短缺和污染问题不断激起民众不满，财政投入和工程量不断加大的情况下，节约用水和需求侧管理所发挥的作用将变得更加明显。





粒粒辛苦

水土流失、土地退化、农业生物多样性降低、自然灾害频繁，化肥农药的过量使用和不当使用，造成农业生产自身污染、农村生活环境污染都相当严重。农业和农村生态破坏将导致包括食品安全问题在内的一系列问题。

—赵阳, 中央农村工作领导小组办公室⁹⁷

粮食生产过程，从灌溉到加工再到配送的每一步都需要水和能源。尽管中国农业的水源—能源—粮食瓶颈问题日益严峻，但却经常为人所忽视。农作物生产和畜牧养殖业的耗水量占我国淡水总量的62%⁹⁸，温室气体排放量占全国总量的17%至20%⁹⁹。蓝圈组织在中国开展的民调结果显示，很多行业和城市为了“节省”能源经常会关闭废水处理设施，造成中国1.2亿公顷的耕地中，有将近1000万公顷受到污染¹⁰⁰。农业部门的化肥、农药和动物粪便等物质残留也是中国河流湖泊水资源污染的罪魁祸首，华北地区的煤炭开发与农业生产之间已经明显出现了用水冲突。（参见示例六）

随着收入水平的提高和城市化进程的加快，中国居民膳食结构中肉制品增加，而肉类生产比蔬菜需要更多的水和能源，因此不可忽视。城市居民的肉类消费高于农村居民，随着城市人

口从1990年的3亿到去年的7.21亿¹⁰¹，增加超过一倍，肉类需求也达到原来的四倍¹⁰²。

我国人口从农村到城市迁徙，导致农村地区人口骤减。此外，美国农业部经济研究所高级经济师Fred Gale表示：“随着人力和牲口作为生产力资源逐渐被柴油动力设备和合成肥料替代，粮食体系对化石燃料的依赖也在不断增长¹⁰³。”

为了应对居民粮食需求的变化，中国政府推进了土地改革，并加速推进农业现代化建设。世界银行中国水资源和粮食安全报告的撰稿人之一Christine Boyle表示，“现代中国只开展过两次主要的农村土地改革，分别在20世纪50年代初和80年代初¹⁰⁴。”她认为，虽然中国政府尚未出台新的全国土地整治政策，但已决心尽快改善土地管理灌溉系统以及农业综合生产力。然而，在干旱的华北地区，扩大农业生产





示例六：煤炭和农业：水资源的竞争者还是合作者？

需要抽取更多的地下水，而随着地下水位降低，将需要更多的电力。

摘录自Keith Schneider与Nadya Ivanova合著的《瓶颈问题系列报道：中国一瞥》^{xv}

位于宁夏回族自治区的宁东能源基地拥有全国最大的煤炭基地、20座发电厂及煤炭化工制品转化设备、2万多名员工、以及2000万千瓦的发电能力。它充分展示了中国在为这个世界第二大经济体的发展提供能源动力的同时，应对华北地区淡水供给持续减少的能力。农业占用了宁夏大约93%的水资源。但是，为了增加城市水供应、给煤炭生产、燃烧、以及煤炭化工产品提供更多的水资源，农业用水计划将在这个十年结束之前降至78%。

为了调和能源用水与农业用水之间的矛盾，大量取用黄河水的宁夏能源产业已经开始资助灌溉改进项目，从而保障农业用水。根据这一水资源交易项目的要求，相关行业及发电企业投资改造了宁夏60多公里（合37英里）的陈旧水渠、约170公里（合105英里）的子流渠，并重建了2500多个辅助设施。这些项目每年节水

达6400万立方米，而节约下来的这些水则从农业转向了工业。

为了能够更有效地利用交易所得的这些水资源，宁夏的发电企业采用了尖端的节水技术。华电公司灵武电厂运行着一台100万千瓦的超临界风冷燃煤机组，该机组工业作业和制冷每天耗水达9000立方米。而同样规模的传统燃煤电厂每天则需要消耗44660立方米水，几乎是新机组的五倍。这里的矿区也实现了煤炭加工用水100%循环再利用，电厂的水循环利用率则达到95%。

这类水资源使用权交易项目说明，为水资源定价可以使能源企业的行为发生巨大变化。随着中国煤炭生产和消费的增长、以及水资源供给的减少，此类水资源交易机制几乎可以肯定会在盆地地区变得越来越普遍。

粮食用水

中国的粮食保障和食品安全问题的核心不仅仅是要确保水源的充足，还要确保淡水水源的洁净。

处于困境

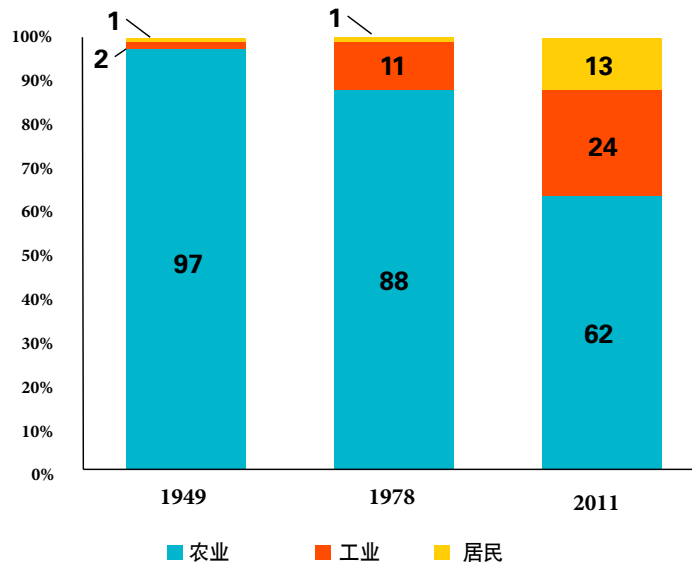
中国中部地区的河南省是全国第二大粮食产区，2014年，该省遭受40年一遇的旱灾¹⁰⁵，干旱导致农作物枯萎，近26万人、8万头家畜受到缺水的影响¹⁰⁶。华北地区几十年来一直受到水资源短缺的困扰，但不断上升的用水压力使该地区在频繁持久的干旱面前更加不堪一击¹⁰⁷。

中国以世界6.5%的淡水资源¹⁰⁸、9%的耕地养活了占世界20%的人口¹⁰⁹。中国粮食保障问题面临的核心挑战是水土资源空间分布不均，华北地区耕地面积占全国耕地面积的三分之二，但水资源仅占全国总量的五分之一¹¹⁰，因此，当地地下水开采严重，70%的灌溉用水都取自地下¹¹¹。从20世纪50年代到21世纪，地下水开采量增加了十倍¹¹²，造成华北平原的地下水位以每年大约3米的速度迅速下降¹¹³。

过去60年，快速的工业化和城市化进程使中国水资源消耗与日俱增。农业用水占比急剧下降，从1949年的97%下降到2011年的62%¹¹⁴（参见图2）。20世纪60年代和70年代期间，政府投资改进水利基础设施，虽然极大地提高了农作物产量和农民收入，但灌溉水利用效率仍然很低¹¹⁵。由于基础设施落后，灌溉方法效率低，只有45%的水被目标农作物吸收¹¹⁶。举例来说，传统的漫灌方式用水效率非常低，而使用洒水装置可以将用水效率提高到70%，滴灌能使农作物用水效率达到90%¹¹⁷。

中国膳食需求的变化，尤其是肉类消费的增加进一步加剧了淡水供应的压力。1961年至2003年间，粮食生产用水量增加了三倍多，从255立方米增加到860立方米¹¹⁸。肉制品的单位卡路里耗水量远远高于农作物，卡路里的牛肉所需用水是一卡路里谷物用水的20倍¹¹⁹。

图2: 中国的水资源利用（按行业区分）



数据来源: Wang, Jinxia, Jikun Huang, and Scott Rozelle (2014)^{xvi}

五颜六色的毒水河

畜禽粪便、工业废料、过度施肥产生的污水不仅渗入饮用水源，还被用来灌溉耕地和养鱼，让人不得不对中国粮食供应的诚信问题心生警觉。

保证食品生产用水越来越成问题，保证水源的清洁和安全也越来越困难。中国有五分之二的耕地受到重金属和其它有毒物质¹²⁰的污染，四分之三的城市地表水不适合饮用或鱼类生存¹²¹，公众越来越担心食品安全问题¹²²。

《新世纪周刊》2011年所作的报告显示，中国10%的大米都被工业排放中所含的镉污染，全国甚至国外都意识到了问题的严重性¹²³。

2010年，中国首次开展全国污染源普查，结果发现，农业尤其是畜禽养殖业已经超过工业成为中国水土污染的主要根源¹²⁴，这主要是因为生猪生产规模化，以及舍饲或“工业化养殖”模式加剧了对环境的破坏¹²⁵。目前，我国肉制品产量占世界总量的三分之一，生猪存栏量占世界总存栏量的二分之一¹²⁶。

工业化养殖可以说能更有效利用土地，但美国农业部的Fred Gale表示，这种集中养殖产生的粪肥很少用作肥料，因为大部分农场如今更愿意使用化肥。将近80%的工业化养殖场的动物排泄物未经处理就直接排放到河流和小溪中，给环境和食品安全带来严重的威胁¹²⁷。隐藏在粪便中的病原体、重金属和高浓度硝酸盐成分会使有害藻类大量繁殖，不仅鱼类无法生存，渔民或其他人与水接触后也会产生皮疹。

因为重金属生产和矿产开采过程中的废料会渗入土壤和水源，因此，工业废料是威胁中国食品安全的另一个因素¹²⁸。2013年，广州市在对饭店使用的大米进行检查时发现，约一半的大米中不同程度的含有重金属致癌物质镉¹²⁹。大部分含镉的大米都来自湖南省，湖南省是有色金属和大米的出产地之一。在线新闻网站《中外对话》引用的一份报道显示，湖南有色金属工业的镉、汞、铅排放量分别占这几种物质全国排放量的32%、59%和25%¹³⁰。因为问题严重，中国水道污染的治理工作将会消耗大量的能源，因此，对水资源利用和污染治理过程中不断增长的能源足迹进行计算是一个值得中国、乃至全世界研究者和决策者关注的问题。

粮食用能

从种植、加工、包装，再到储存、分销，能源在粮食体系中的每一个阶段都发挥着重要的作用。例如，天然气和石油不仅是生产农药化肥的原料，还能用来为农用机械提供动力。同时，化石原料通过燃烧还能够为食品冷藏、加工、包装等环节提供电力。为了提高食品质量，我国食品加工企业、卡车、仓库、零售商都纷纷装上了新的冷藏系统，这些都提高了食品行业的能源需求¹³¹。虽然目前还缺少中国食品行业总能耗的相关数据，但根据全球数据估算，食品行业能源消耗占世界能源消费总量的30%，同时其温室气体排放占排放总量的22%¹³²。

随着中国食品行业农场化经营规模和超市配送体系覆盖面积不断扩大，用于灌溉、机械加工、交通运输和基础设施建设方面的投资也在不断增加，而这些都是需要耗费大量的能源¹³³。例如，增加化肥使用，以及用机械替代人力和畜力不仅提高了生产效率，也提高了我国农业对能源的需求¹³⁴。

Gale认为，政府通过补贴推动农业现代化的举措也使中国的食品体系变得更加能源密集化。政府从2006年开始实施惠农补贴政策以抵消化肥及柴油价格的上涨，购买农用机械的补贴高达30%，同时降低农民在农田灌溉和电力使用上的开销。这些政策带来的负面影响是农民不愿投资改善灌溉设施的灌溉效率以及提高用电的能效，事实上，灌溉系统是政府对农业最大的支出项目。同时，补贴也降低了食品供应商的电力开销，Gale说道¹³⁵。

面对地下水位不断下降的局面，中国农民为了保证农业灌溉不得不消耗更多的电力从更深层的地下水取水¹³⁶。这种灌溉方式的年二氧化碳排放量达到3300万吨，相当于整个新西兰全年的排放量¹³⁷。

从消费者层面来看，随着中国中产阶级的不断壮大，对冰箱、微波炉、洗碗机等家庭电器的需求也不断增加，因此，与食品相关的家庭能源消费也将继续上升。从1995年到2007年，中国国内城市家庭中电冰箱的占有率从7%提高到了95%¹³⁸。2007年，中国冷藏存储容量达到2.5亿立方米，预计到2017年，这一数字将会比2007年增长20倍¹³⁹，冰箱和冰柜在家庭食品相关能耗中的占比预计会达到40%¹⁴⁰。

能源用粮

生物燃料

虽然政府将生物燃料视为一种具有战略意义的可再生能源，但以牺牲粮食安全为代价来促进其发展的做法是值得商榷的。我国的耕地面积有限，因此政府对以糖和植物油等作物为原料的第一代生物燃料的生产进行了限制，规定其年产量不得超过180万吨¹⁴¹。

21世纪初，中国政府出台了生物燃料行业补贴和鼓励措施，批准4家企业以玉米和小麦为原料生产生物乙醇¹⁴²。尽管如此，为了减少对进口石油的依赖，中国国家发展和改革委员会2005制定目标，计划到2020年将生物燃料消费量提高至交通燃料消费总量的15%左右¹⁴³。为此，2008年起，中国政府在6个产粮大省（安徽、广西、黑龙江、河南、吉林、辽宁）强制推广使用生物乙醇，要求这些省份的中石油和中石化在其汽油中必须混合10%的生物乙醇。

世界银行在2012年的一份报告中预测,受非粮原料不足,缺少政策激励,技术发展缓慢等因素所累,中国实现其2020年生物燃料目标的可能性很小。即使如此,我国交通运输部门生物燃料的粮食消耗量依然很大¹⁴⁴。

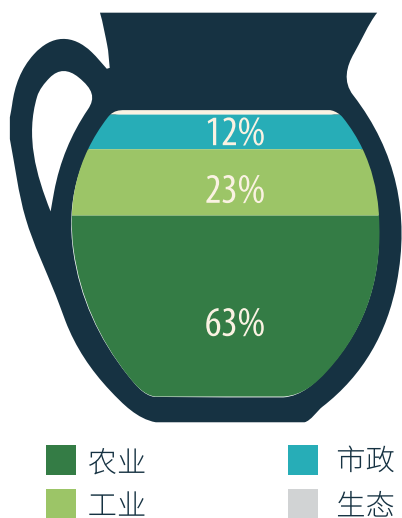
尽管第二代和第三代生物燃料不会给粮食储备带来直接影响,但它们的生产过程耗水量较大。根据国际能源署(IEA)的数据,从现在起到2035年,全球能源生产所需的700亿立方米的水中有30%用于生物燃料生产¹⁴⁵。由此看来,生物燃料可能会挤占掉粮食生产所需的一部分水资源。

粮食瓶颈的前进方向

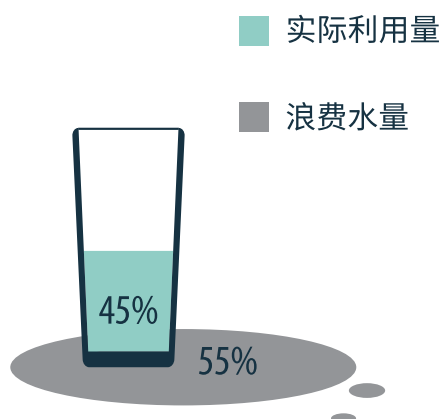
随着我国有关部门农业现代化结构调整的不断推进,降低农业部门水足迹和能源足迹的机会不断增多。要想解决这些瓶颈问题,就需要从提高供给环节的生产效率和降低粮食浪费和水资源浪费两方面同时入手(参见示例七)。国家有关部门要想合理有效地开展农业和水资源定价改革,必须首先搞清楚各省之间及中国粮食出口的“虚拟水”的流动情况。

水泉灌溉, 粳稻陶遂

2013年中国各产业用水比例



农业灌溉效率十分低下



Sources: See page 31



示例七. 中国粮食部惊人

如果出现粮食损失，水资源和能源也会随之被浪费。据联合国粮农组织的粗略估算，粮食损失和浪费占全球粮食产量的三分之一^{xvii}。粮食损失是指在生产、收割、加工等供应链环节上产生的损失，而粮食浪费则是指在零售阶段以及消费者层面产生的浪费^{xviii}。

尽管缺少有关中国食品行业低效的官方统计数据，但是研究表明，中国的粮食收割后损失情况严重^{xix}。中国小型农户数量达到2.4亿个，农业体系高度分散，许多工作仍旧靠手工完成，因此工作效率低、加工时间长^{xx}。例如，超过80%的谷物装卸依靠人力。仅去年一年^{xxi}，装卸系统不足导致中国损失了3500万吨稻谷^{xxii}；这不仅意味着大量的粮食损失，还意味着大量水资源的浪费。

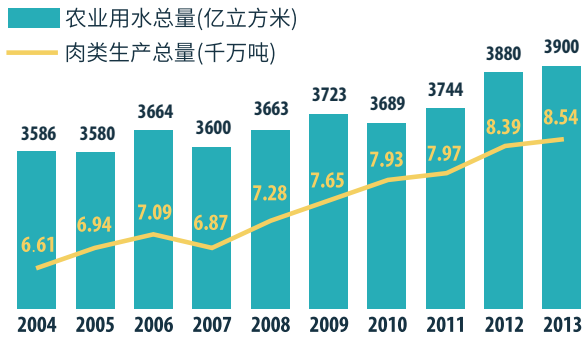
值得欣慰的是，有很多迹象表明，粮食浪费已经引起人们越来越多的关注。北京和上海的许多餐馆都贴上了提醒顾客不要浪费粮食的标识。作为习近平主席提出的“八项规定”的一部分，中央已经明令禁止奢华的政府宴请，其中一个目的也是要减少粮食浪费。考虑到这个问题在中国的严重程度，不断开展宣传活动提高节约意识并改善配送供应链，将在减少粮食浪费以及相关水资源和能源消耗方面起到重要作用。

吃货帝国的水电账单

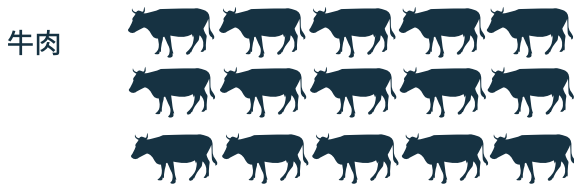
在农业生产中,从种植、加工、包装,再到储存、运输,每一步都需要大量的水和能源。资源已十分紧缺的中国,正面临着更大的挑战。

肉类加工“水分”足

为满足肉类消费的快速增长,淡水资源将承受更大压力。



生产一公斤肉需要消耗多少水?



牛肉

15立方米



猪肉

4.9立方米



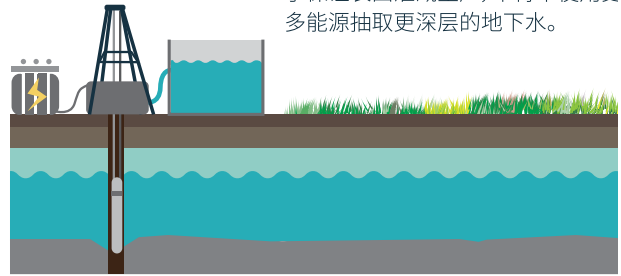
鸡肉

3.9立方米

Sources: FAO, Ministry of Water Resources of China, The Guardian, National Bureau of Statistics of China, Junlian Zhang, New York Times.

地下水透支严重

随着地下水位不断降低,中国农民为了保证农田灌溉生产,不得不使用更多能源抽取更深层的地下水。



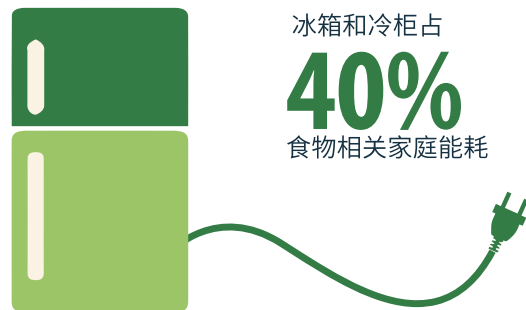
同时,农业灌溉所造成的环境影响也不容忽视。



冰箱——家中的电老虎

随着中国中产阶级日益壮大、整体消费需求上升,冰箱、微波炉、洗碗机等厨房家用电器将不断助长家庭能耗。

中国城市家庭冰箱拥有率(%)





顺水行舟：透视美国瓶颈

美国能源部在科研、技术、分析等领域实力雄厚，能够帮助中国更好地发展其能源—水系统。

美国能源部长欧内斯特·莫尼兹¹⁴⁶

威尔逊国际学者中心/蓝圈组织撰写的“瓶颈：中国”报道的研究及呼吁或多或少地促使中国的有关部门、研究机构和环境非政府组织逐渐认识到水源—能源—粮食三者之间联系的重要性。这一新兴趋势在政府机构、非政府组织和研究机构在能源环境领域近44年的合作基础上，为中美两国开辟了新的合作机会。下面我们将概述美国是如何开始解决其日益增长的瓶颈问题的。这一部分不仅为阐述中国可能采取的步骤进行了铺垫，同时还强调了中美两国可以展开合作的领域。这一部分内容虽然并不能完全涵盖美国政府机构、非政府组织、研究中心和企业为了应对瓶颈问题而采取的各项措施，但却可以让那些一直致力于通过综合研究和行动帮助美国应对水源—能源—粮食困境的机构走到台前。

美国政府针对瓶颈问题采取的措施

- **美国能源部的水—能源路线图项目**：2008年，国会要求美国能源部围绕水—能源关系问题给美国带来的挑战开展一项概括性研究¹⁴⁷。能源部邀请桑迪亚国家实验室成立了一个由来自国家实验室和大学的科研人员组成的水—能源关系问题研究小组。小组的任务是建立国家水—能源关系路线图项目。为了对美国能源系统在应对主要瓶颈发展趋势过程中的薄弱环节进行评测，以及对能源部及其他联邦机构现有的水—能源联系问题相关项目的有效性进行评估，随后还开展了一系列的研究和座谈活动。
- **美国能源部水—能源问题技术小组 (WETT)**：2012年秋，为了提高人们对水—能源关系问题的认识，美国能源部在部门内部成立了水—能源问题技术小组。2014年6月，技



术小组发表了一篇题为《水—能源关系问题带来的挑战和机遇》的报告。报告勾勒出美国所面临的水—能源问题挑战，并提出能源部及其合作伙伴应优先展开合作、进行研究的六个领域¹⁴⁸。

- **美国参与亚太经合组织国家应对水—能源关系问题行动**：美国与亚太经济合作组织(APEC)论坛的其他国家合作，通过建立模型对能源生产过程中的用水及水利部门的用能情况进行研究，并发现其中的薄弱环节——特别是城市地区存在的薄弱环节。该项目由美国、中国和澳大利亚共同资助，由亚太经合组织能源智能社区倡议组织负责开展，目的是对各项定义进行标准化，以及为研究水—能源关系问题制定数据收集战略，并对亚太经合组织国家的相关数据进行汇集。这些工作将为我们了解该地区的水—能源关系问题提供基准，发现水—能源问题存在的数据空白，以及国家在水—能源关系问题面前可能存在的薄弱之处。该项目的目标是找到能够有助于减轻水—能源关系影响的优先策略，鼓励以能效更高、更加可持续的方式使用能源和水¹⁴⁹。亚太经合组织能源工作组的清洁化石能源专家组也开始对水—能源关系问题，特别是燃煤能源系统的水—能源关系问题展开研究。这个项目由美国、中国、日本和澳大利亚四国共同资助，将在以下几个方面实现信息共享：(1) 提高包括发电、煤制气、煤化工在内的煤炭能源系统的效率，降低耗水量；(2) 加强煤炭能源生产用水的回收再利用，包括使用替代水源、与碳捕集封存与利用(CCUS)等环节实现再生水共享；(3) 推进APEC成员国煤炭能源生产中水—能源问题相关政策、法规的完善。

开展区域内和流域内瓶颈问题规划和行动

- **大湖能源—水关系问题(GLEW)行动**：该行动为衡量发电用水对水产资源的影响制定了新的分析框架，同时还对影响电力能源市场、公共事业、电厂选址的相关政策进行了考察，从而寻找机会，将环境资源影响更好地纳入未来的能源政策和监管工作之中。这项由大湖委员会牵头、为期21个月的工作获得了大湖保护基金的支持，并获得了由不同领域专家组成的项目咨询团队的指导，主要项目合作伙伴包括：康奈尔大学、桑迪亚国家实验室、大湖环境法律中心以及环境法律与政策中心¹⁵⁰。

- **特拉华流域管理委员会(DRBC)**：特拉华河流域横跨特拉华、新泽西、纽约、以及宾夕法尼亚等州，人口1500多万，约占美国人口的5%。自1961年起，委员会就负责该流域的水资源规划、开发和监管。委员会最主要的任务就是公平地分配水资源，协调各方的用水需求，并保持特拉华河干流的水质。作为高耗水行业，页岩气行业的蓬勃发展给该流域马塞勒斯页岩气产区的水资源数量和质量提出了新的重大挑战。在发动当地群众、非政府组织、页岩气行业三方共同开展活动，保护流域水资源的过程中，DRBC发挥了核心作用，而水资源对于四个州未来的经济发展和居民生活的质量至关重要。

瓶颈问题研究及非政府组织开展的活动

- **太平洋研究所(Pacific Institute)**：加利福尼亚州的非政府组织——太平洋研究所对加州调水工程的能源使用情况展开了广泛研究。这项研究的项目带头人Heather Cooley也是我们中国水—能源问题研究小组的成员之一。该项目的工作是对水的能源足迹问题进行考察，并找到能够降低美国及其他国家水—能源冲突的战略措施。
- **忧思科学家联盟(Union of Concerned Scientists)**：该非营利倡导组织曾发表数篇报告，对能源与水之间的关系进行了深度分析，详细研究了天然气、核能、煤炭等发电方式所消耗的水量。2011年，该组织发表了《美国电厂的淡水使用情况：电力行业正在耗尽宝贵的资源》的报告¹⁵¹。
- **美国节能联盟(Alliance to Save Energy)**：为了解决市政供水和废水处理系统的水—能源联系问题，1997年，这个总部设在华盛顿特区的非政府组织发起了水能源计划(Watergy Program)。该联盟可以提供包括能耗评估、培训、推广、游说电力和天然气公用事业企业、融资机制研究和政策分析等内容在内的多种服务。1997年至今，水能源项目在全球100多个城市设计并开展了自己的项目，共计节电超过2080万千瓦时，节约运营成本达500万美元。

美国商业领域瓶颈投资

水已经成为许多企业关注的重要问题¹⁵²，企业领导人逐渐意识到瓶颈问题会给企业业务构成重大的风险。2013年，当美国商会基金会（U.S. Chamber of Commerce Foundation）召开会议，帮助企业加强用能和用水的管理。各企业纷纷表示，他们面临的“最紧迫的挑战就是使企业的运营能够更好地应对能源、水资源、粮食的短缺。”第二年，此基金会发表了题为《能源—水—粮食关系：商界的见解》的报告。

据Vox全球及太平洋问题研究所（Vox Global and Pacific Institute）的一项调查显示，60%的受访企业表示，水资源短缺将在未来五年给企业的盈利能力带来负面影响。同时80%的受访者表示，企业选择在哪个地方设厂时会考虑当地的水资源可利用量（参见图三）。以下列举了一些美国企业将瓶颈问题作为优先考虑事项的例子：

- **陶氏化学（Dow Chemical）**：陶氏化学公司旗下的陶氏水处理及过程解决方案事业部发表的报告包括《可持续性挑战：满足水—能源关系的需求》¹⁵³及《中国的用水之渴》。该公司的理念是，用生态系统服务的价值来衡量其商业决策，将自然的价值纳入其商业决策¹⁵⁴。
- **通用电气（GE）**：作为一家跨国集团公司，通用电器在公司上下展开了节水活动，提高公司经营各环节的用水效率，尤其是提高其设在印度班加罗尔等缺水地区工厂的用水效率。该公司及旗下一家子公司还承诺提供2000万美元用于非洲的基础设施和医疗卫生设施建设，其中一个项目就是为医院安装缺水环境下的供水系统，从而为就诊患者提供清洁、安全的放心水¹⁵⁵。通用电气还为世界资源研究所的Aqueduct项目提供了资助，该项目已在中国展开其水—能源风险分析工具的建设。
- **可口可乐（Coca-Cola）**：作为一家全球知名的食品饮料巨头，可口可乐的目标是到2020年，将其饮料产品及生产过程所消耗的水等量、安全地回馈给社区和大自然。公司与世界资源研究所和2030水资源集团展开合作，不断加强水—能源—粮食瓶颈环境下的水资源管理。



水能交融：寻找共通解决方案

我们需要找到一种新的增长模式，特别是水资源和能源领域…因为这是我们国家的瓶颈。

-- 张永生，中国国务院发展研究中心高级研究员¹⁵⁶

随着我国城市化和工业化进程的快速发展，水源—能源—粮食瓶颈问题也日益严重。同时，国家有关部门、研究机构、以及民间团体组织目前还没有针对这些日益严峻的挑战形成一个全面统一的战略。我国电力部门和农业部门正在争夺日益短缺的水资源；同时，由于污染问题不断恶化，水资源的调集和处理环节也需要消耗更多的能源。中国正面临着—系列的压力，这些压力使本就脆弱的资源供给面临着极大的威胁，并加剧了其水资源、能源、以及粮食安全所面临的风险。

然而，正如水、能源、粮食之间错综复杂的竞争关系会产生负面的多米诺效应一样，如果能够对三者进行有效的管理，那么同样也会产生积极的指数效应。具体来说就是，对其中一种资源进行有效的管理可能会使其它资源受益。例如：

- 提高能效可以减少能源部门的耗水量，从而增加粮食生产和其它部门的用水；
- 防治水污染可以降低水处理设施的能源需求，并且避免对粮食作物造成污染；
- 减少耗水作物的种植、减少粮食浪费能够节省大量的水和能源，并且能够提高农村地区生活水平。
- 将用水成本纳入电力生产成本，并对能源价格政策进行相应改革的做法不失为一项提高能源使用效率的有效市场工具。

认识这些不同问题之间存在的联系使我们有机会从新的角度对政策、法规、激励手段、投资进行思考，从而更加积极地推动资源保护。在“瓶颈：中国”的报道过程中，我们通过研究、交流、以及访谈活动，发现了三个值得有关部门、研究机构以及民间团体组织重点关注



并优先采取行动的领域，从而为开展水源—能源—粮食管理打下坚实的基础。

1. 优化水源—能源—粮食问题的管理
2. 加强中美合作网络

行动领域一. 认识水源—能源—粮食问题的严重性

由于缺少原始数据，特别是缺少水利部门的能源需求数据，对水资源、能源、粮食的管理进行整合困难重重。即使是现有数据也分散在不同的机构和研究中心，由于缺乏沟通合作，数据统计的方法也有所出入。为了克服这种碎片化的数据管理缺陷，中国需要建立固定的研究中心和网络，分部门、分地区的对水资源、能源、粮食三者整个生命周期内的原始数据进行收集和分析。以下是就如何在中国建立瓶颈问题研究和对话信息交换中心的几点建议。

1 成立瓶颈问题永久性的跨学科研究中心和网络。

为了帮助收集有关瓶颈问题的原始数据，我国政府组建一个由能源、水资源、农业政策智库机构和大中学校顶尖研究人员组成跨领域研发团队是非常有价值的。最好能够由发改委、水利部或科学技术部等相关中国政府部门为数据收集和研究工作提供一部分启动资金。国家发改委下属国家能源局已经开始着手围绕水—能源问题展开研究，因此，发改委理应成为推动瓶颈问题深入研究的核心。

2 收集原始数据。

中国迫切需要完善水资源和能源之间相互影响的原始数据，填补这一重要的数据空白有助于通过建模更加准确地进行预测，从而为中国的有关部门、研究机构、以及民间团体组织采取行动缓解水源—能源—粮食三者之间的竞争对抗局面，加强对这些资源的管理提供更加准确的指导，下面列举了一些应优先收集数据并进行分析的领域。(参见示例八)

3 建立水源—能源—粮食问题模型。

中国可以从美国经历的挑战和教训中吸取经验，通过建模，帮助有关部门更好地了解当前局势，对未来的需要进行预测。模型应该包括以下内容：

- 整合水、能源、粮食资源的管理和规划，并考虑气候变化、人口增长、城市化、经济发展、技术进步等因素。
- 评估农业智能技术：它如何能以最具成本效益的方式降低耗水量并保持产出。
- 提供瓶颈问题发生时间及严重程度的信息。
- 评估其它处理瓶颈问题的缓解和适应策略：其有效性及可能的后果。
- 创建工具以帮助家庭用户了解日常用水对能源和气候的影响，例见太平洋研究所的水—能源—气候计算器¹⁶⁰。
- 为有关部门和管理人员提供能源—水关系影响评估工具，如布鲁克海文国家实验室建立的纽约市能源—水分析模型¹⁶¹，或国家可再生能源实验室的区域能源调度系统模型等。这些模型在针对美国国内各项发电技术及输电基础设施的长期产能扩张模型中纳入了水资源约束因素。

我国的目标是在有限的资源下保持长期的增长，这就需要建立一个新的前瞻性的决策模型，从而能够根据当地的水资源环境确定优先发展的领域。上文讨论的数据、研究、以及模型将有助于建立瓶颈问题研究框架，从而帮助中央及地方有关部门和研究人员更好地对水资源、能源、粮食生产、以及环境保护目标的各项成本进行评估和权衡。有了足够的数据和模型，中国专家就可以：

- 在各级地方政府水、能源、粮食管理部门中开展联合规划工作。
- 在全国范围内针对水利发电及其对径流量的影响，以及造成的污染展开全面的评估
- 协调关键政府部门和研究机构的数据收集工作。例如，美国能源部为了更好地对水—能源问题进行管理，要求美国能源信息管理局和美国地质调查局负责制定电厂用水数据收集统一标准。

示例八：数据和分析优先级举例

用水所需能源的数据

所有发电技术的用水强度（要将取水量和消耗量区别开来）

- 所有发电技术的用水强度（要将取水量和消耗量区别开来）
- 对能源生产、制造业、粮食生产、加工和配送等全周期耗水量分析。中国作为世界工厂，了解其进出口产品中所包含的耗水量（如通过进口耗水量高的农作物和能源，以及出口衣物、电子产品、燃料等）将会非常具有价值。对食品加工整个过程中所消耗的能源和水量进行分析也存在很大的不足，完善这类追溯性信息还有助于加强对食品安全的监管。
- 国家、省、市一级水源水输送、处理所耗能源的数据。其中应当包括灌溉、调度、污水处理、海水淡化等环节的能耗数据。

能源用水数据

- 产煤用水。煤炭作为我国主要的电力来源，确保其水足迹相关数据的准确非常重要。目前，国内外机构所作的一些为数不多的估算之间相差很大，部分原因是因为各自采用了不同的衡量标准，另外一部分原因是因为中国发展迅速、幅员辽阔，这种情况下，要想获得准确的数据难度很大。另外，还有一些数据没有将煤炭的整个生产过程都考虑进去，而是仅仅考虑了发电环节的用水情况。例如，中国水利部近期发布的一份报告称，国内工业取水占全国总量的22.5%，并表示火电直流冷却系统取水占全国总量的7.5%。然而，这一估算只考虑了燃煤电厂本身，并没有全面地考虑整个供应链的用水情况，而且也没有包括煤制气或煤制油产业的用水情况¹⁵⁷。
- 燃料耗水。结合流域水资源调查，对燃料开采（特别是煤炭和天然气）和生产（尤其是SNG和汽油）的用水量展开研究对瓶颈问题管理而言至关重要。

利用原始数据对瓶颈风险进行评估

- 收集和分析省和地区水—能源数据。地一级水—能源关系的分析对于评估国家重点地区未来用水需求起着至关重要的作用。太平洋研究所（Pacific Institute）撰写的《能源用水：未来电力用水需求》¹⁵⁸和《流失的能源》¹⁵⁹两篇报告为量化研究地区供水系统的能源需求提供了有用的模型。
- 供应链用水风险。包括研究中国能源和工业领域供应链造成的水资源污染和浪费的严重程度，了解能源及其他行业在获得清洁用水方面所面临的问题。
- 解决瓶颈问题带来的协同效益。需要对降低用水环节的能源足迹带来的空气污染和温室气体排放减少以及其它收益进行估算。



行动领域二：优化水源—能源—粮食关系的管理

中国应更多地注重提高需求侧水、能源和粮食管理的管理效率，并且应该针对能源生产、发电、以及终端消费者的用水情况制定能效提高政策。同时，这些政策还应有助于解决水资源管理、处理、分配以及终端使用过程中的能源效率问题。国家发改委于2014年出台的水价改革方案或许是朝着这个方向迈出的第一步¹⁶²。在过去的两个五年规划期间，有关部门一直将提高能效作为首要任务，不仅大大地节约了能源，还有效地提高了灌溉效率，降低了水污染¹⁶³。政府制定的目标包括将能源密度降低16%，并且将非化石能源消费比重提高至11.4%¹⁶⁴。能够提高中国经济能效的机会很多，归根结底，节约能源就意味着节约水资源。

1 水与能源的能效标准与规范：政府鼓励节能、节水消费方式的另外一种途径就是通过实施和执行行为标准和准则。例如美国加利福尼亚州为花洒、马桶以及其它设施用水限制了最大流量，并以补贴的形式鼓励个人和相关行业淘汰老旧低效的卫生洁具，使用节水节能的新款产品¹⁶⁵。另外，我国建筑在照明、供暖、制冷的能效方面也有很大的提升空间。

2 优先开展节水和污染防治：

- **降低能源水足迹。**尽管中国政府能够迅速地以政策和投资的方式全面推动能效的提高和可再生资源的发展，但是在应对水资源浪费，尤其是能源部门的水资源浪费方面反应却相对滞后。《能源发展十二五规划》中首次强调，政府应首先着手解决煤炭领域的水足迹问题。2014年年初，国家水利部出台了煤炭企业水量定额分配的办法，进一步扩大和严格执行能源、其它产业以及市政部门的节水目标对于保护我国脆弱的水资源而言至关重要。
- **利用清洁能源减少水污染。**污染也是造成中国水资源流失的原因之一，2013年国家出台了《污染防治行动计划》和《环境保护法（修正案）》等一系列以强化污染治理、保护水质为目的的自上而下的重要举措。而贯彻落实现有水污染防治法规的关键在于弥补管理漏洞，强化地方问责机制。能源成本高阻碍了对污水的处理，所

以中国几乎从来不对废水进行三级处理，从而导致中国有毒污染物排放随处可见。为了解决污水处理受能源成本所累的问题，中央及省级政府可采取以下措施：

- 1) 优先采用分布式可再生能源发电满足废水处理的能源需求；
- 2) 为工业化农场配备生物降解装置，防止动物粪便流入河流湖泊。

3 增加奖励措施，鼓励相关行业和消费者在终端节能节水：

- **继续提高效率目标。**最近，自然资源保护委员会（NRDC）和清华大学的一项研究发现，“十一五”规划期间，中国整个电力部门的增效项目所节省下来的水资源足以满足北京市三年的用水需求¹⁶⁶。因此，应当进一步强调能效提高对水资源管理的积极意义，反过来说，如果拿节约能源的成本与海水淡化和调水工程的建设成本相比，节约用水将更具吸引力。
- **提高用水价格，完善用水跟踪体系。**虽然过去二十年中国的水价不断上涨，然而比起其他国家，我国的水价仍然偏低，特别是农业部门的用水价格¹⁶⁷。提高价格，扩大水权交易试点可以促进水资源保护，提高用水效率。
- **开展宣传活动，提高公众意识。**除了效率目标和调价，以节约能源、节约粮食、节约用水为主题高调开展宣传也是一个重要手段。中国著名篮球明星姚明参与抵制鱼翅消费的宣传，这可能使得鱼翅销售量锐减了70%¹⁶⁸。
- **加强教育，提高地方官员对瓶颈问题内在联系的认识。**水资源保护和污染治理方面的法律法规已经列入国家政策议程多年，但是执法力度却普遍存在不足。中央地方各级党校开设水源—能源—粮食三者关系学习班和培训可以让官员从根本上了解如何针对水源—能源—粮食关系展开综合管理，在缓和用水、用能压力的同时提高粮食安全。

行动领域三：加强中美合作网络建设

作为世界上最大的两个能源生产国和消费国，水、能源、粮食三者间的关系对中美两国的经济与生态健康有着至关重要的影响。利好的是，现有的清洁能源研究中心（CERC）将在2015年10月左右启动一个新的水—能源关系项目，这一项目将在五年时间内获得5千万美元的资金，用以推动中美合作，应对共同的水—能源问题挑战¹⁶⁹，这笔经费将由两国分担，通过政府和私营渠道筹措。针对两国合作的建议还有以下几点：

1 建立致力于两国瓶颈问题研究的双边水源—能源—粮食关系研究中心。清洁能源研究中心（CERC）水—能源项目为来自大学、业界、政府、非政府组织的科研人员、工程技术人员、以及政策专家提供了一个共同开展瓶颈问题研究和技术开发的平台。有潜力的合作领域包括：

- **绘制经济活动过程中虚拟水的交互流向图。**绘制这类图表可以利用现有研究¹⁷⁰所建立的模型，将一国边境内外生产、消费、贸易等环节的用水情况全面直观地展现在决策者的面前。
- **加强节水、节能技术的合作研究和开发。**近期针对中国11个省份进行的研究发现，采用经过改良的灌溉管理措施，如流量计量、灌溉调度、或简单的定期维护等，可以减少20%的抽水量¹⁷¹。很多这些技术已经作为试点项目在地方开展起来。

2 建立地方合作。美国一些最具创造性和创新性的水源—能源—粮食管理解决方案来自市级政府和区域性组织。中国各大城市迫切需要尽快解决日益严峻的能源、水资源以及污染方面的挑战，因此，这些城市是检验新的政策和试点项目在提高水资源、能源、粮食可持续性方面是否有效的理想伙伴。

- **将水资源纳入地方能源规划。**美国亚利桑那州和科罗拉多州已经率先将水资源纳入各自的能源规划。比如，亚利桑那州电力监管部门早在十多年前就将耗水量纳入了电力资源规划。该部门为了保护地下水资源，拒绝向拟建的天然气发电厂颁发许可。此外，它还鼓励本州最大

的电力公司建设新的太阳能电厂以减少用水¹⁷²。另一个例子是科罗拉多州丹佛市的沃茨水项目（Watts to Water Program），这是一个专注于降低城区能耗和用水量的可持续发展项目，该市加入此项目的楼宇和企业通过共享自己的水、能消耗数据，不仅能够获得能源之星技术员提供的无偿技术支持，提高楼宇的能效，还能获得补助并获赠有助于节水节能的材料¹⁷³。

- **鼓励城市之间的交流。**城市往往缺少能够反映水、能源、粮食三者流动过程中如何相互影响的数据。建立此类数据框架将有助于领导人发现他们能够发挥最大影响的领域。举例来说，某些地区管道泄漏和压力不均意味着水在输送过程中损失严重，进而导致着能源的严重流失。作为经济损失的一项指标，伦敦50%的城市供水费用来自非税收收入；中国这一比例为大城市20-30%，规模较小的城市或新兴城市为6-7%¹⁷⁴。中美两国城市越来越多地参与城市气候合作网络（如C-40城市气候领导集团），致力创建智慧城市，连一些中美友好城市项目也越来越重视环境问题的研究。布鲁克海文国家实验室帮助八座美国城市和七座中国城市结对，共同开展能源和环境合作。此外，还有六座中国城市和四座美国城市参与了该机构负责的中美低碳生态试点城市项目（U.S.-China Joint EcoCities）¹⁷⁵。最近，通过美国国务院和中国国家发展和改革委员会管理的一个项目，洛杉矶港和上海市建立了生态合作伙伴关系¹⁷⁶。中美两国城市面临着类似的水—能源挑战，这些城市，如加利福尼亚州的奥克兰和深圳或广州等港口城市，可以通过现有的友好城市或生态合作伙伴关系建立商务和政策对话，分享有关降低能源和水足迹的最佳实践。

3 扩大民间团体、跨国组织、工商业界的参与。示例九简要介绍了过去两年中国出台的一些与水源—能源—粮食问题相关的举措。这些非政府参与者可以在协助有关方面召集商界、社会、政策等领域的相关利益方共同开展瓶颈问题研究、项目、以及政策发展方面发挥重要价值。非政府组织能够帮助阐明不可持续的用水方式给各个社会群体带来的影响，同时鼓励提高今后项目决策过程的透明度和参与性。随着中国工业取水量的不断增加，由于能源及粮食生产部门挤占了我国的水资源供给，各行各业面临的风险也随之增加¹⁷⁷。因此，依靠私营企业的力量提高公众的意识十分重要，它们能够帮助人们了解水和能源浪费是如何

4

加剧企业可持续发展的风险的。

将水源—能源—粮食项目纳入中美农业和粮食合作伙伴关系，进一步寻求两国农业经济领域的贸易机会。

- 贸易或许是帮助我国满足其国内粮食需求的最具可持续性的一种方式，同时贸易还可以为美国农业出口创造机会。中国对谷物及其他粮食作物进口日益增长在某种程度上是由水资源短缺所致，而粮食作物进口也代表了“虚拟水资源”的进口。更好地了解“虚拟水”在各省及国际间的流动，以及贸易在对“虚拟水”流动进行管理的过程中所扮演的角色，对中国的粮食和资源未来至关重要。美国的耕地能够以更加可持续的方式满足中国的肉类需求，但前提是能够出台合适的政策，鼓励这类投资。美国农业部高级经济师Fred Gale表示：“比起自给自足地生产国人所需的猪肉和鸡肉，从美国等土地资源更丰富的国家进口肉类制品……或许可以帮助中国人

降低其肉类消费增长带来的环境足迹¹⁷⁸。”

- 2014年4月，美国一批农业企业启动了美国农业粮食合作伙伴（U.S. Agriculture and Food Partnership）项目，该项目为中美两国粮、农领域的公私部门合作发挥了重要的协调作用。该项目共设七个项目领域，包括作物链、家畜链、机械、粮食加工、投资、金融服务、及食品安全。特别是在家畜链和食品安全这两个领域，美国的农业企业完全有机会从水源—能源—粮食管理的角度重新对各自在中国的供应链实践进行评估，并且在评估的过程中与中国的农产品行业合作，将资源保护、控制污染的最佳实践介绍给中国的同行。

示例九 中国新近开展的瓶颈问题应对工作实例

- **威尔逊中心的中国环境论坛**继续与蓝圈组织及其它中美伙伴合作开展《瓶颈问题系列报道：中国一瞥》的工作，将研究和对话范围扩展至中国的水源-能源-粮的对峙格局，并且继续寻找中美双方的合作机遇。下一项主要的计划是开展《瓶颈问题系列报道：港口城市》的研究工作，将对深圳、奥克兰、加利福尼亚州的水-能源瓶颈问题展开调查，并同时关注降低污染的协同效益。
- **世界银行的饥渴能源倡议活动**近期在中国展开。作为能源局2016-2020年国家能源五年规划的一部分，该倡议活动将为中国国家能源局设计并实施一套整合水资源和能源的模式。除了国家能源局，世界银行还将和与中国水利部有直接合作关系的水利水电资源研究院进行合作，以确保中国的能源计划工具中充分考虑了水资源的局限性，以及主要能源盆地发电及冷却所需的投资。初步成果有望于2015年2月推出，可以及时用于第十三个五年规划的制定。
- **自然资源保护委员会**的“中国煤炭消费总量控制计划与政策研究”集结中国顶尖的能源与环境智库组织开展深度的研究与对话，在其“煤炭消耗总量控制协同效益研究”中已经纳入了水资源的部分。这一涉及内容广泛的研究工作将就如何降低中国的煤炭消耗提出政策建议以及具体的行动计划。
- **中国水危机**是一家位于香港的非政府组织。2012年以来，该机构所作的水资源风险研究及报告的内容已经扩展至对煤炭与水资源冲突的研究。其中最突出的是为汇丰银行撰写的题为《没水就没电：中国有无足够水源供持续扩建电站？》（No Water No Power: Is There Enough Water to Fuel China's Power Expansion）的报告，以及一系列关于煤炭与水资源关系的案例和信息图表^{xxiv}。
- **太平洋环境组织与全球护水者联盟**同中国各地的草根环保团体合作，通过地方工业透明度计划以及市民监测煤炭与重工业污染等活动，向公众宣传煤炭对空气和水的影响，从而减轻中国对煤炭的依赖。
- 中国的各大中院校和智库组织已经开始投身瓶颈研究。英国石油及清华大学清洁能源中心是中国第一个对国内煤炭生产周期水足迹进行评估的高校科研机构。南京大学环境管理中心则是第一个从另外一个方面对中国水资源能源足迹进行评估、建模的中国研究小组，并将一部分研究重心放在研究节约城市用水如何能够减轻污染、降低温室气体排放上²⁵。中国国家发改委下设的能源研究所已经针对不同能源技术的水足迹进行了一系列初步研究。
- **在北京的世界资源研究所（WRI）水资源团队**正在研究中国中央和省级能源与水资源管理方面的政策法规，目的在于找出造成中国水生态系统压力的缺口。WRI的Aqueduct项目已经制作出在线地图等工具，能够帮助企业、投资商、政府、社区更好地理解世界各地水危机出现的地区以及表现形式。他们最初的原型工具将重点放在了中国的黄河上。
- **绿色和平组织中国办公室**继续开展“无以至渴的煤”宣传活动，进行实地考察，宣传在华北扩张煤炭基地如何令中国当前的水危机进一步恶化。2014年的一份“无以至渴的煤”报告的主要内容是关于神华原煤液化厂的污染及水资源过度开采问题，其中着重讲述了华北地区煤炭生产所带来的日益严重的地下水资源枯竭与污染的问题。
- 2014年春，位于神华科学技术研究院的世界煤炭协会出版了一份煤炭和水资源问题特刊，内容包括若干篇聚焦中国的文章，文章的作者不仅包括神华的科研人员，还包括WRI和英国石油及清华大学清洁能源中心的研究人员。



水到渠成：中国解开瓶颈的机遇

化解水—能源矛盾的唯一办法就是从设计、到建设、再到操作，以一种更加有效的方式掌控全局。

——公众环境研究中心主任、威尔逊中心国际学者马军¹⁷⁹

面对日益严重的水源—能源—粮食瓶颈问题，中国要展开一场力量悬殊的较量。水资源污染和匮乏使目前用于保障粮食供应的耕地面积日益萎缩，我国向着政府确定的1.2亿亩耕地红线又逼近了一步。北方城市水资源紧张日益严重：2011年，北京的年均用水缺口约5.15亿立方米，即便南水北调工程竣工，年均用水缺口仍将达到1.9亿立方米¹⁸⁰。同时，中国的燃煤发电能力将在2020年增至12.5亿千瓦¹⁸¹，即使其中包括一批新建的高效燃煤电厂，到2020年这些增加的产能仍意味着每年大约340亿立方米的用水¹⁸²。直到最近，中国有关部门才开始意识到这些瓶颈的存在。但正如本《路线图》所述，有关方面已经开始采取积极措施应对这些问题，如近期宣布的中美清洁能源研究中心水源—能源关系项目。以下是一些颇有前景的发展趋势：

中国的实践证明，政治意愿会推动政策变革，但最关键在于落实。过去十年中，中央政府已拨款4万亿元人民币（6080亿美元）作为清理河

流湖泊、修复供水系统以及推动节约用水的专项资金¹⁸³，同时，政府官员也在大力推动相关政策提高农业部门的用水效率。在能源部门，政府目前要求北方各省的新型超超临界燃煤发电厂使用风冷技术，从而使他们跻身于世界最节水的发电厂之列。

中国基础设施的完善带来更多的节水机遇。北京新建建筑都配备了中水系统，回收的废水可以用来洗车和冲马桶¹⁸⁴。北京工业用水已经减少了40%。到2015年，北京的废水循环利用率将提高至75%，污水处理率将达到98%¹⁸⁵。1995年至今，上海共耗资503亿元（81亿美元）建立了一个由52家处理厂组成的污水处理网络，目前处理着全市80%的废水¹⁸⁶。如果上海市能够加大屋顶太阳能的投资力度，提高废水处理领域的政策激励，那么将会形成一种低碳发展的新模式，同时带动水资源的保护。农村地区正在由家庭农业模式向产业化农业模式过渡，节能、节水技术在这一领域也会大有用武之地。



中国加工制造业基础雄厚，人口众多，因此在高效技术推广方面具有得天独厚条件。我国政府从资金、政策等方面大力鼓励清洁能源的发展，成为太阳能、风能、清洁燃煤技术领域的世界领头羊，我国已经成为测试和完善碳捕获和封存、整体煤气化联合循环发电等清洁能源技术的全球实验室。同时，我国还有机会在解决其水源—能源—粮食冲突的过程中发挥领导作用，如提高海水淡化和污水处理的能效、新的垃圾转能源技术等。

水源—能源—粮食之间的冲突非常复杂，不是一篇文章就能解决的。但是我们希望，与中国相关的组织及合作伙伴能够在本《路线图》的基础上，为缓解我国日益严峻的瓶颈问题建立一个全面的框架。



Photo courtesy of Circle of Blue © J. Carl Ganter

附录A: 中国水源—能源研究团队日程安排

2014年8月4日至7日

水源—能源问题战略会议

- 自然资源保护委员会
- 商道纵横—地点：美国强生公司北京办事处
- 国务院发展研究中心
- 公众环境研究中心
- 中国科学院地理科学与资源研究所
- 国家发展和改革委员会能源研究所
- 中国环境规划院
- 北京大学
- 北京能源与环境圆桌会议

附录B: 中国水能—能源研究团队成员履历

Vatsal Bhatt, 美国能源部下属布鲁克海文国家实验室高级政策顾问。他曾多次参与国内外的研究项目, 协助美国能源部、美国国务院、美国环境保护署以及一些基金会和别国政府从事能源、水资源和气候变化缓解政策方面的研究。Bhatt先生同时也是中美生态合作伙伴关系秘书处的一名高级政策顾问, 并且代表美国能源部为中印两国政府提供低碳城市发展战略、生态城市规划和发展等方面的技术支持。

Pamela Bush, 特拉华流域管理委员会书记和法律顾问, 就各种程序及政策问题解答员工及专员的疑问, 1999年起负责与州及联邦有关部门就委员会的宗旨进行沟通。特拉华流域管理委员会是一个由四个州和联邦政府组成的紧密组织, 管辖着13500平方英里的水域资源。2008年以来, 随着马塞勒斯页岩气产区天然气生产的异军突起, 这个耗水量巨大的产业几乎占据了她的大部分工作时间。她现任职于美国律师协会环境、资源与能源委员会理事会, 并且是该委员会旗下水资源委员会的前任主席。

Heather Cooley, 太平洋研究所水资源项目的联合主任, 负责实施和监督水资源和能源之间关系、水资源的可持续利用和管理、以及气候变化的水文效应等一系列问题的研究。为了表彰她在农业用水保护和效率方面的杰出贡献, 美国环境保护署曾授予其杰出成就奖。2011年太平洋研究所获得的第一个美国水奖就是对她工作的充分肯定。她曾在美国国会就气候变化对农业的影响作证, 并提出解决萨克拉门托圣华金三角洲面临的水资源挑战的创新性方案。

贾绍凤目前担任中国科学院水资源研究中心副主任、中国科学院地理科学与资源研究所水资源和土地资源研究中心主任、中国水利学会水资源专业委员会副主任委员、中国国土经济学会董事、并且是《国际水杂志》、《地理研究杂志》、《地理学的进步杂志》、《水资源经济学期刊》等刊物的编委。他的研究方向包括水资源管理、流域综合管理和区域可持续发展。

贾仰文目前担任中国水利水电科学研究院水资源研究所副主任，是国家河流流域水循环模拟与调控重点实验室的学术带头人、国际期刊《水环境研究杂志》副主编、国际水利工程研究学会亚太分会执委和全球水伙伴中国委员会技术委员会委员。他的主要研究方向为水文研究、水资源规划和管理以及水资源、社会经济和生态系统之间的相互作用。

Keith Schneider 现为蓝圈组织的资深编辑。蓝圈组织 (Circle of Blue) 是一家国际公认的，集研究、新闻报道、科学、设计、会议筹办为一体的组织。该组织致力于制定和传达解决全球重要的资源问题，特别是全球淡水资源危机不可或缺的信息。蓝圈组织力争成为一流的独立机构，通过新闻、科研、网上传播以及召开会议等方式，帮助提高人们对解决全球最重要的资源限制之一的最新资讯和政策的关注。Keith Schneider是全国知名的新闻工作者、网络传播专家和环境政策专家，曾担任纽约时报的国家通讯员超过十年，目前是纽约时报能源、地产、商业和技术板块的特约作家。

孙庆伟曾以气候和能源活动组织者的身份任职于绿色和平组织东亚分部，并负责煤-水关系的研究。同时他还负责撰写了两份《噬水之煤》的报告，报告揭露了中国西北部生态脆弱地区发展煤炭产业的巨大环境成本。在加入绿色和平组织之前，曾在中国科学院担任副教授和助教职位，研究方向包括旱地环境、水资源和气候变化。

Vincent Tidwell 现为美国桑迪亚国家实验室的一名杰出的技术人员，在水资源管理、核能、危险废弃物储存/修复以及协同建模等领域的基础项目/应用项目方面有着二十多年的研究和管理经验。目前他负责的几项研究可以帮助地方、州以及联邦机构理解和应对水资源、能源以及气候变化等方面的问题。Tidwell博士同

时还负责一项由多个实验室共同开展的项目。该项目为西部电力协调委员会、德州电力可靠性委员会、美国西部州际水资源委员会、以及美国西部州长协会提供支持，帮助他们将水资源和气候问题纳入美国西部长期电力输送计划。

杨富强现为美国自然资源保护委员会北京办事处气候变化、能源与环境高级顾问，从事能源和环境问题研究超过三十年。2008年到2010年期间，杨先生曾担任世界自然基金会全球气候变化应对计划主任，并在2000年至2008年期间担任美国能源基金会副主席兼北京代表处首席代表。在其职业生涯早期，杨先生在美国能源部劳伦斯伯克利国家实验室工作，从事中国能源和环境问题研究工作。1984年，他以世界银行研究员的身份赴美国康乃尔大学工作，从事区域能源规划工作。在1984年搬到美国之前，杨先生在中国国家发展与改革委员会能源研究所从事可再生和农村能源政策、能源模拟与预测、项目评估和长期规划研究工作。

组织团队

赵立建，美国能源基金会北京办事处环境管理项目和中国可持续能源项目主任

吴崑，美国伍德罗·威尔逊国际学者中心中国环境论坛主任

詹貽琛，美国伍德罗·威尔逊国际学者中心中国环境论坛研究员

卢思骋，创绿中心首席执行官

白韞雯，创绿中心气候与金融政策研究中心主任

郭虹宇，创绿中心气候与金融政策研究中心项目专员

注释

1. 国际能源署, “全球煤炭供给对世界范围电价的影响” 2014 http://www.iea.org/publications/insights/insightpublications/ImpactGlobalCoalSupply_WorldwideElectricityPrices_FINAL.pdf
2. Pan, Lingying; Liu, Pei; Ma, Linwei; and Li, Zheng. “基于供应链对中国煤炭工业水问题的评估” 能源政策 2012. 48:93-102. 中国水资源公报; 中华人民共和国水利部 “2012 年中国水资源公报” 2013年12月15日 http://www.mwr.gov.cn/zwzc/hygb/szygb/qgszygb/201405/t20140513_560838.html; Cai, Beiming; Zhang, Bing; Bi, Jun; and Zhang, Wenjing. “中国能源渴望水源” 环境科学与技术. 2014. 48(20):11760-11768 <http://dx.doi.org/10.1021/es502655m>
3. 世界银行, “人均可再生内部淡水资源 (立方米)”, 世界银行数据库. 2012 <http://data.worldbank.org/indicator/ER.H2O.INTR.PC>
4. Cai, Beiming; Zhang, Bing; Bi, Jun; and Zhang, Wenjing. “中国能源渴望水源” 环境科学与技术. 2014. 48(20):11760-11768 <http://dx.doi.org/10.1021/es502655m>
5. “中国落后于2020年水利目标” 中国数字时代. 2014年3月11日 <http://chinadigitaltimes.net/2014/03/china-falling-behind-2020-hydro-goals/>
6. 中国水危机, “行业类别: 农业” <http://chinawatererrisk.org/sectors/>
7. Garthwaite, Josie. “加州干旱令水利发电枯竭, 但电力保持供给” 国家地理 2014年3月11日 <http://news.nationalgeographic.com/news/energy/2014/03/140311-california-drought-dries-up-hydro-but-power-stays-on/>
8. Bjerga, Alan. “加州干旱令全球粮食市场转型” 彭博社. 2014年8月11日 <http://www.bloomberg.com/news/2014-08-11/california-drought-transforms-global-food-market.html>
9. 世界银行, “人均可再生内部淡水资源 (立方米)”, 世界银行数据库. 2012 <http://data.worldbank.org/indicator/ER.H2O.INTR.PC>
10. 2030水资源集团, “描绘我们未来水资源的蓝图: 经济框架将为决策提供信息” 2009年. http://www.2030waterresourcesgroup.com/water_full/Charting_Our_Water_Future_Final.pdf
11. 国家发改委《中国应对气候变化国家方案》2007年6月. <http://en.ndrc.gov.cn/newsrelease/200706/P020070604561191006823.pdf>
12. Piao, Shilong; Ciais, Philippe; Huang, Yao; Shen, Zehao; Peng, Shushi; Li, Junsheng; Zhou, Liping, 等人 “气候变化在中国对水资源和农业的The Impacts of Climate Change on Water Resources and Agriculture in China.” 《自然》. 2010. 467:43-51.
13. Xie, Jian; Lieberthal, Andres; Warford, Jeremy; Dixon, John; Wang, Manchuan; Gao, Shiji; Wang, Shuilin, 等人 “解决中国水资源短缺的问题: 就遴选的水资源管理问题提供建议” 世界银行 2009. <http://documents.worldbank.org/curated/en/2009/01/10170878/addressing-chinas-water-scarcity-recommendations-selected-water-resource-management-issues>
14. 中国水危机 “全局: 污染状况” 2011. <http://chinawatererrisk.org/big-picture/pollution-status/>; Turner, Jennifer. “陷入困境: 中国水资源的生态破坏” 《水资源和能源在城市化亚洲的未来》2007. 战略与国际研究中心 http://www.wilsoncenter.org/sites/default/files/turner_csis_article.pdf.
15. Ivanova, Nadya. “有毒的水: 中国的许多地区, 大面积庄稼被工业和农业用水径流灌溉” 蓝圈 2013年1月18日 <http://www.circleofblue.org/waternews/2013/world/toxic-water-across-much-of-china-huge-harvests-irrigated-with-industrial-and-agricultural-runoff/>
16. 中国水危机 “2013年环境状况报告评论” 2014年7月9日 <http://chinawatererrisk.org/resources/analysis-reviews/2013-state-of-environment-report-review/>
17. Xie, Jian; Lieberthal, Andres; Warford, Jeremy; Dixon, John; Wang, Manchuan; Gao, Shiji; Wang, Shuilin, 等人 “解决中国水资源短缺的问题: 就遴选的水资源管理问题提供建议” 世界银行 2009. <http://documents.worldbank.org/curated/en/2009/01/10170878/addressing-chinas-water-scarcity-recommendations-selected-water-resource-management-issues>
18. 国家统计局 “中国统计年鉴” 2005年 中国统计出版社, 北京.
19. Xie, Jian; Lieberthal, Andres; Warford, Jeremy; Dixon, John; Wang, Manchuan; Gao, Shiji; Wang, Shuilin, 等人 “解决中国水资源短缺的问题: 就遴选的水资源管理问题提供建议” 世界银行 2009. <http://documents.worldbank.org/curated/en/2009/01/10170878/addressing-chinas-water-scarcity-recommendations-selected-water-resource-management-issues>
20. 中华人民共和国水利部 “中国聚焦: 华中华北遭遇旱灾” 2014年8月1日 http://www.mwr.gov.cn/english/Medianews/201408/t20140801_572264.html
21. Bloomberg News. “China’s Drought to Shrink Corn Harvest First Time Since 2009.” Bloomberg. August 8, 2014. <http://www.bloomberg.com/news/2014-08-08/china-s-drought-to-shrink-corn-harvest-first-time-since-2009.html>
22. 2030水资源集团, “Charting Our Water Future: Economic Frameworks to Inform Decision-Making.” 2009年. http://www.2030waterresourcesgroup.com/water_full/Charting_Our_Water_Future_Final.pdf
23. 2030水资源集团, 同上
24. 在中国环境规划院组织的中国水源-能源小组交流活动, 2013年8月7日.
25. 美国能源信息管理局, “China Country Analysis.”, 2014年2月4日, <http://www.eia.gov/countries/cab.cfm?fips=CH>
26. Zhang, Chao; Anadon, Laura; Mo, Hongpin.; Zhao, Zhongnan.; Liu, Zhu. “The Water-Carbon Trade-off in China’s Coal Power Industry.” 2014年10月7日. 48:19. Environmental Science and Technology.
27. 中国环境论坛, “The Thirsty King: Digging into the Water Footprint of China’s Coal.” Woodrow Wilson Center, 5th Floor. July 24, 2012. Event. <http://www.wilsoncenter.org/event/the-thirsty-king-digging-the-water-footprint-china-s-coal>
28. Sun, Guodong. “Coal in China: Resources, Uses, and Advanced Coal Technologies.” 2010. Coal Initiative Reports. Pew Center on Global Climate Change. <http://www.circleofblue.org/waternews/wp-content/uploads/2011/03/Coal-in-China.pdf>.
29. 美国能源信息管理局, “China Consumes Nearly as Much Coal as the Rest of the World Combined.” 2013年1月29日, <http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=9751>
30. 美国能源信息管理局, 同上

31. Al Jazeera. "China Plans to Ban Coal Use in Beijing by 2020." August 5, 2014. Al Jazeera America. <http://america.aljazeera.com/articles/2014/8/5/china-to-ban-all-coaluseinbeijingby20201.html>
32. Hornby, Lucy; Smyth, Jamie; and Hume, Neil. "China Ban on Low Grade Coal Set to Hit Global Miners." 2014年9月16日. Reuters. <http://www.ft.com/intl/cms/s/0/7b025356-3d3d-11e4-a2ab-00144feabdc0.html> - axzz3G41onzAg
33. Duggan, Jennifer. "China Pledges to Cut Emissions at UN Climate Summit." 2014年9月23日. The Guardian. <http://www.theguardian.com/environment/chinas-choice/2014/sep/24/china-pledges-to-cut-emissions-at-un-climate-summit>
34. Luo, Tianyi; Otto, Betsy; and Maddocks, Andrew. "Majority of china' s Proposed Coal-Fired Power Plants Located in Water-Stressed Regions." World Resources Institute. 2013年8月26日. <http://www.wri.org/blog/2013/08/majority-china-s-proposed-coal-fired-power-plants-located-water-stressed-regions>
35. 绿色和平组织东亚办公室. "Thirsty Coal: A Water Crisis Exacerbated by China' s New Mega Coal Power Bases." 2012年8月. 绿色和平组织. <http://www.greenpeace.org/eas-tasia/publications/reports/climate-energy/2012/thirsty-coal-water-crisis/>
36. 绿色和平组织东亚办公室, 同上。
37. 绿色和平组织东亚办公室, 同上。二十世纪九十年代末以来, 黄河每年断流长达250多天, 因此, 水利部一直对黄河流域实行严格的水量分配制度。
38. Kalman, Jonathan. "Illegal Coal Mine Encroaching on Nature Reserve in North-West China." August 6, 2014. The Guardian. <http://www.theguardian.com/environment/2014/aug/07/illegal-coal-mine-nature-reserve-china>; Greenpeace International. "World' s Biggest Coal Company Shenhua to Stop Exploiting Groundwater in China." April 8, 2014. Greenpeace. <http://www.greenpeace.org/international/en/press/releases/Worlds-biggest-coal-company-Shenhua-to-stop-exploiting-groundwater-in-China/>
39. 中国水利普查, 《第一次全国水利普查公告》, 2013年3月26日, 中国水利部及中国国家统计局. <http://www.mwr.gov.cn/2013pcgb/merge1.pdf>
40. 中国水利普查, 同上。
41. 美国能源信息管理局, "China Country Analysis." 2104年2月4日. <http://www.eia.gov/countries/cab.cfm?fips=CH>
42. David Stanway. "China Falling Behind on 2020 Hydro Goals as Premier Urges New Dam Building." , 2014年3月10日. 路透社 <http://uk.reuters.com/article/2014/03/10/china-parliament-hydropower-idUKL3N0M70VN20140310>
43. Ivanova, Nadya. "Rains bring relief for six-month China drought, but chronic water problems loom." 2011年6月10日. 蓝圈组织. <http://www.circleofblue.org/water-news/2011/world/rains-bring-relief-for-six-month-china-drought/>
44. Ivanova, Nadya. 同上。
45. Luan, Dong. "Rock, Metal, and Electronic: Yunnan' s Environmental Discord Between Mining, Aluminum, and Hydropower." 2013. Wilson Center. http://www.wilson-center.org/sites/default/files/Rock, Metal %26 Electronic_1.pdf
46. Luan Dong (Ed.). "Clearing the Air: Is Natural Gas China' s Game Changer for Coal?" 2014. Insight Out: Expert Voices on China' s Energy and Environmental Challenges. Issue 1. Page 2. Woodrow Wilson Center.
47. Gass, Henry and ClimateWire. "China Push into Synthetic Natural Gas has Pollution Consequences." Scientific American. 2013年10月2日. <http://www.scientificamerican.com/article/china-push-into-synthetic-natural-gas-has-pollution-consequences/>
48. Liu, Coco and ClimateWire. "Can China' s Bid to Turn Coal to Gas Be Stopped?" 2014年10月29日. Scientific American. <http://www.scientificamerican.com/article/can-china-s-bid-to-turn-coal-to-gas-be-stopped/>
49. 华尔街日报中国版, 《中国页岩气储量全球第一 全部开采或是灾难》, 2014年9月3日. 华尔街日报, <http://wallstreetcn.com/node/207784>
50. Susan Shifflett在北京对Vincent Tidwell的采访, 2013年8月8日。
51. Bloomberg News. "China Shale Boom Seen by Honghua as Pollution Cuts Coal Use." Bloomberg. 2014年4月25日. <http://www.bloomberg.com/news/2014-04-25/china-shale-boom-seen-by-rig-maker-honghua-as-coal-use-recedes.html>
52. Forbes, Sarah. "The United States and China: Moving Toward Responsible Shale Gas Development." 2013年9月. Brookings Institution. http://www.brookings.edu/~media/events/2014/2/06_china_clean_energy/uschina_moving_toward_responsible_shale_gas_development_sforbes.pdf
53. Accenture. "Water and Shale Gas Development: Leveraging the U.S. Experience in New Shale Developments." 2012. Accenture. <http://www.accenture.com/sitecollectiondocuments/pdf/accenture-water-and-shale-gas-development.pdf>
54. Forbes, Sarah. "The United States and China: Moving Toward Responsible Shale Gas Development." 2013年9月. Brookings Institution. http://www.brookings.edu/~media/events/2014/2/06_china_clean_energy/uschina_moving_toward_responsible_shale_gas_development_sforbes.pdf
55. Veil, John; Puder, Markus; Elcock, Deborah; and Redweik, Robert. "A White Paper Describing Produced Water from Production of Crude Oil, Natural Gas, and Coal Bed Methane." 美国能源部委托撰写, 能源技术实验室, 2004年1月. <http://www.circleofblue.org/waternews/wp-content/uploads/2010/08/prodwaterpaper1.pdf>
56. Marsters, Peter V. "A Revolution on the Horizon: The Potential of Shale Gas Development in China and its Impacts on Water Resources." 2013. China Environment Series, Issue 12.
57. 中外对话, 《中国绿色革命: 能源、环境与“十二五”计划》, 2011年4月, https://www.chinadialogue.net/UserFiles/File/PDF_ebook001.pdf
58. 中外对话, 同上。
59. Zheng, Nina and Fridley, David. "Quenching China' s Thirst for Renewable Power: Water Footprint of Solar, Wind, and Hydro Development." 2013. China Environment Series, Issue 12.
60. Zheng, Nina and Fridley, David, 同上。
61. Zheng, Nina and Fridley, David, 同上。
62. 中国核电厂同行评估与经验交流委员会, 《2013年年度全国核电运行情况》, 2014年2月11日. <http://www.china-nea.cn/html/2014-02/28745.html>

63. Zheng, Nina and Fridley, David. "Quenching China's Thirst for Renewable Power: Water Footprint of Solar, Wind, and Hydro Development." 2013. China Environment Series, Issue 12.
64. 中国工业和信息化部, 《2014年中国光热发电产业发展制约因素分析及投资前景展望》, 2014年3月31日。http://cyzy.miit.gov.cn/node/4362
65. 世界核能协会, "Nuclear Power in China." 2014年10月。http://www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Countries-A-F/China--Nuclear-Power/
66. Wald, Matthew L. "Heat Shuts Down a Coastal Reactor." 2012年8月13日。The New York Times. http://green.blogs.nytimes.com/2012/08/13/heat-shuts-down-a-coastal-reactor/
67. Reuters. "Nuclear, Coal Power Face Climate Change Risk-Study." , 2012年6月4日。http://www.reuters.com/article/2012/06/04/climate-water-energy-idUSL3E8H-41SQ20120604
68. 世界核能协会, "Nuclear Power in China." 2014年9月30日。http://www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Countries-A-F/China--Nuclear-Power/
69. 世界核能协会, 同上。
70. 新华社, 《国家能源局拟重启内陆核电站 列入下个五年规划》, 2014年3月7日, 新华社, http://news.xinhuanet.com/energy/2014-03/07/c_126233138.htm
71. 环境保护部环境规划院的一能源源团队交流会议, 2013年8月7日。
72. Kahrl, Fredrich; and Roland-Holst, David. "China's Water-Energy Nexus." 2008. Water Policy. 1-16. http://are.berkeley.edu/~dwrh/Docs/Cn_H2O_Erg_KRH080109.pdf
73. Siddiqi, Afreen; and Anadon, Laura Diaz. "The Water-Energy Nexus in Middle East and North Africa." Energy Policy. Belfer Center for Science and International Affairs, John F. Kennedy School of Government, Harvard University. 2011年5月20日, 39:4529-4540.
74. Copeland, Claudia. "Energy-Water Nexus: The Water Sector's Energy Use." Congressional Research Service. 2014年1月3日。http://fas.org/sgp/crs/misc/R43200.pdf
75. Copeland, Claudia, 同上
76. Kuo, Lily. "China Has Launched the Largest Water-Pipeline Project in History." 2014年3月7日, The Atlantic. http://www.theatlantic.com/international/archive/2014/03/china-has-launched-the-largest-water-pipeline-project-in-history/284300/
77. Kuo, Lily, 同上
78. 国务院, 《南水北调工程总体规划内容简介》, 国务院南水北调工程管理委员会办公室。http://www.nsb.gov.cn/zx/gcgh/200308/t20030825_195165.html
79. Wong, Edward. "Plan for China's water crisis spurs concern." The New York Times. 2011年6月1日。http://www.nytimes.com/2011/06/02/world/asia/02water.html
80. Wong, Edward, 同上
81. 《南水北调水质忧虑》, 财新周刊, 2014年2月24日。http://magazine.caixin.com/2014-02-21/100641443.html
82. Cohen-Tanugi, David. "A Pinch of Salt. Why China's Brute Force Push Toward Desalination May Leave the World Better Off." 2013年。China Environment Series, Issue 12, pp. 32-34. http://www.wilsoncenter.org/sites/default/files/China Environment Series 12 Small_0.pdf
83. 国家海洋局发布《2012年国家海水利用报告》, 中国中央人民政府, 2013年12月27日。http://www.gov.cn/gzdt/2013-12/27/content_2555516.htm
84. Cohen-Tanugi, David. "A Pinch of Salt. Why China's Brute Force Push Toward Desalination May Leave the World Better Off." 2013年。China Environment Series, Issue 12, pp. 32-34. http://www.wilsoncenter.org/sites/default/files/China Environment Series 12 Small_0.pdf
85. Cooley, Heather. "Desalination and Energy Use... Should We Pass the Salt?" 2013年5月28日, 太平洋研究院。http://pacinst.org/desal-and-energy-use-should-we-pass-the-salt/
86. Pearce, G.K. "UF/MF Pre-treatment to RO in Seawater and Wastewater Reuse Applications: A Comparison of Energy Costs." , 2007年5月, Desalination. 2008. 222: 66-73.
87. "人大代表直言海水淡化电费过高 建议采用居民电价", 2014年1月19日, 人民网, http://energy.people.com.cn/n/2014/0119/c71890-24161985.html
88. 新华社消息, "国家海洋局: 中国海水淡化成本接近国际, 每吨5到8元", 2014年6月13日, 新华社。http://news.xinhuanet.com/energy/2014-06/13/c_1111131705.htm
89. Luan (Jonathan) Dong 采访David Cohen Tanugi, 2014年6月24日。
90. Hu, Feng; Tan, Debra; & Lazareva, Inna. "8 Facts on China's Wastewater." , 2014年3月12日, 中国水资源危机。http://chinawaterrisk.org/resources/analysis-reviews/8-facts-on-china-wastewater/
91. 耶鲁大学, "What's Behind the Numbers in China's Wastewater Treatment Plan." 2014, 环境绩效指数。http://epi.yale.edu/the-metric/whats-behind-numbers-china-wastewater-treatment-plan
92. 耶鲁大学, 同上
93. 耶鲁大学, 同上
94. 美国节能联盟, "水-能关联", 2013年8月12日, https://www.ase.org/projects/watergy
95. Jennifer Turner采访参与乔治城大学交流项目、参观华盛顿威尔逊国际学者中心的几位市长, 2013年1月16日。
96. 《南京日报》, "我国将出台水十条治理水污染 计划投资超两万亿", 2014年6月11日。http://www.njdaily.cn/2014/0611/860558.shtml
97. Meng, Yang, "过度化肥农药威胁中国农业", 2012年7月9日, 中外对话。https://www.chinadialogue.net/article/show/single/ch/5153-The-damaging-truth-about-Chinese-fertiliser-and-pesticide-use
98. Li, Y等, "中国的水源-能源关联: 工业使用地下水产生的温室气体排放", 2012, 环境研究快报。http://www.tyndall.ac.uk/publications/journal-article/2012/china%E2%80%99s-water%E2%80%93energy-nexus-green-house-gas-emissions-groundwater
99. Wang, Jinxia; Rothausen, Sabrina; Conway, Declan; Zhang, Lijuan; Xiong, Wei; Holman, Ian; and Li, Yumin, "中国的水源-能源关联: 工业使用地下水产生的温室气体排放", 2012, 环境研究快报。
100. Schneider, Keith. "Food supply, fracking, and water scarcity challenge China's juggernaut economy." October 17, 2012. Circle of Blue. http://www.circleofblue.org/waternews/2012/world/choke-point-china-ii-introduction/Schneider, Keith, "食物供给、水力压裂和水短缺对中国强大的经济发起挑战", 2012年10月17日, 蓝色循环组织。http://www.circleofblue.org/waternews/2012/world/choke-point-china-ii-introduction/
- 世界银行数据库, "世界发展指标: 城市人口", 2014 http://databank.worldbank.org/data/views/reports/tableview.aspx

102. 美国公共广播公司新闻时间, “90亿人的食物: 满足中国不断增长的肉类需求”, 2012年11月13, 美国公共广播公司。http://www.pbs.org/newshour/bb/world-july-dec12-china_11-13/
103. Fred Gale向Susan Chan Shifflett发送的邮件, 2014年7月22日。
104. Christine Boyle向Susan Chan Shifflett 和 Jennifer Turner发送的邮件, 2014年7月28日。
105. 安徽新闻, “中国焦点: 受干旱困扰的中部和华北地区”, 2014年8月1日。http://english.anhuinews.com/system/2014/08/01/006503164.shtml
106. 安徽新闻, 同上。
107. Yu, M.; Wand, S.; Rothausen, D.; Conway, L.; Zhang, W.; Xiong, W和 Holman, IP, “根据标准的沉淀蒸散指标: 1951-2010, 中国干旱会变得更频繁或严重吗?” 国际气候学杂志, 2013. 34: 545-558. http://www.tyndall.ac.uk/publications/journal-article/2012/china's-water-energy-nexus-greenhouse-gas-emissions-groundwater
108. Zhang, Moran, “梦幻之地? 你不想成为中国农民的七个原因”, 2013年8月22日, 国际财经时报。http://www.ibtimes.com/field-dreams-7-reasons-why-you-dont-want-be-farmer-china-1394965
109. Zuo, Changsheng, “中国和拉丁美洲之间农业商品的贸易发展和模式”, 联合国粮农组织。http://www.fao.org/fileadmin/templates/tci/pdf/presentations/Zuo-Changshen-Developments_and_patterns_of_trade.pdf
110. Kinver, Mark, “中国农业对水的需求增长的痛苦”, 2014年6月24日, 英国广播公司新闻。http://www.bbc.com/news/science-environment-27978124
111. Yu, M.; Wand, S.; Rothausen, D.; Conway, L.; Zhang, W.; Xiong, W和 Holman, IP, “根据标准的沉淀蒸散指标: 1951-2010, 中国干旱会变得更频繁或严重吗?” 国际气候学杂志, 2013. 34: 545-558. http://www.tyndall.ac.uk/publications/journal-article/2012/china's-water-energy-nexus-greenhouse-gas-emissions-groundwater
112. Wang, Jinxia, “中国的水源—能源关联: 工业使用地下水产生的温室气体排放”, 2012, 环境研究快报。http://m.iopscience.iop.org/1748-9326/7/1/014035/article
113. 世界银行, “城市中国: 朝着高效、包容和可持续城市化发展”, 2014年7月。世界银行和中华人民共和国发展研究中心, 345页。https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/18865?hottPostID=7922558b9cdda4d2a2b-1267dea350b11.
114. 世界银行, “中国: 13万农民从增强的工业水资源生产力和收入中获益”, 2012年5月10日。http://www.worldbank.org/en/news/press-release/2012/05/10/china-130000-farmers-to-benefit-from-increased-agriculture-water-productivity-and-incomes
115. Huang, Qiuqiong; Rozelle, Scott; Lohmar, Bryan; Huang, Jikun; and Wang, Jinxia, “中国的灌溉、农业生产情况和减贫”, 粮食政策, 2006. 31: 30-52. http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306919205000485
116. 联合国粮农组织, “中国”, 2010. 联合国粮农组织。http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/china/index.stm
117. Marlow, Jeffrey, “滴灌公司的商业发展”, 2009年9月17日, 纽约时报。http://green.blogs.nytimes.com/2009/09/17/business-booming-for-drip-irrigation-firm/
118. McGlade, J., Werner, B., Young, M., Matlock, M., Jefferies, D., Sonnemann, G., Aldaya, M等, “测量绿色经济中的水利用, 工作小组有关国际资源小组节水效率的报告”, 2012. 联合国环境规划署。
119. 水足迹网络组织, “产品展示: 牛肉”, 2012. http://www.waterfootprint.org/?page=files/productgallery
120. Duggan, Jennifer, “中国五分之一的农田被污染”, 2014年4月18日, 卫报。http://www.theguardian.com/environment/chinas-choice/2014/apr/18/china-one-fifth-farm-land-soil-pollution
121. Xie, Jian; Lieberthal, Andres; Warford, Jeremy; Dixon, John; Wang, Manchuan; Gao, Shiji; Wang, Shuilian, Jiang, Yong; and Zhong Ma, “解决中国的水短缺”, 2009. 世界银行。http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/IW3P/IB/2009/01/14/000333037_20090114011126/Rendered/PDF/471110PUB0CHA010OFFICIAL0USE0ONLY1.pdf
122. Wang, Hongyi, “食品安全是公众关注的重中之重”, 2013年8月21日, 中国日报。http://usa.chinadaily.com.cn/china/2013-08/21/content_16909023.htm
123. 宫靖, “中国米污染”, 2012年4月11日, 中外对话。https://www.chinadialogue.net/article/show/single/ch/4197-China-s-tainted-rice-trail
124. Schneider, Mindi, “中国污染人口普查: 粪肥和沼气”, 2010年7月19日, 农业和贸易政策研究所。http://www.iatp.org/blog/2010/07/chinas-pollution-census-manure-and-biogas 和 Levitt, Tom, “美国的密集农作不是解决中国肉类问题的方法”, 2014年3月3日, 卫报。http://www.theguardian.com/environment/blog/2014/mar/03/us-intensive-farming-chinas-meat-problem
125. Levitt, Tom, “美国的密集农作不是解决中国肉类问题的方法”, 2014年3月3日, 《卫报》。http://www.theguardian.com/environment/blog/2014/mar/03/us-intensive-farming-chinas-meat-problem
126. Levitt, Tom, 同上
127. Shifflett, Susan C, “海鲜牛排: 中国队猪肉和海鲜的需求队环境的影响”, 2014年5月7日, 新安全政策。http://www.newsecuritybeat.org/2014/05/surf-turf-environmental-impacts-chinas-growing-appetites/
128. Schneider, Keith, “食物供给、水力压裂和水短缺对中国强大的经济发起挑战”, 2012年10月17日, 蓝圈组织。http://www.circleofblue.org/waternews/2012/world/choke-point-china-ii-introduction/
129. Buckley, Chris, “华南地区发现大米被镉污染”, 2013年5月21日, 纽约时报。http://www.nytimes.com/2013/05/22/world/asia/cadmium-tainted-rice-discovered-in-southern-china.html?_r=0
130. 何光伟, “中国面临土壤修复挑战”, 2014年7月14日, 中外对话。https://www.chinadialogue.net/article/show/single/ch/7079-China-faces-long-battle-to-clean-up-its-polluted-soil
131. Twilley, Nicola, “中国饺子与全球变暖有什么关系呢?” 《纽约时报》。2014年7月25日。http://www.nytimes.com/2014/07/27/magazine/what-do-chinese-dumplings-have-to-do-with-global-warming.html
132. 联合国粮农组织, “政策简报: 能源智能食品系统” 2011。http://www.fao.org/docrep/014/i2456e/i2456e00.pdf
133. 联合国粮食和农业组织。同上, 第7页
134. 联合国粮食和农业组织。同上, 第20页

135. Fred Gale的邮件来自Susan Chan Shifflett.2014年7月22日
136. Zhang, Junlian “中国西北黑河流域下游水资源市场壁垒“农业水资源管理”。2006年8月1日。87:32-40。”
137. Watts, Jonathan. “中国灌溉系统对气体排放负责,研究显示” 2012年3月14日,《卫报》。http://www.theguardian.com/environment/2012/mar/14/china-irrigation-emissions
138. Twilley, Nicola, “中国饺子与全球变暖有什么关系呢?” 2014年7月25日。《纽约时报》。http://www.nytimes.com/2014/07/27/magazine/what-do-chinese-dumplings-have-to-do-with-global-warming.html
139. Twilley, Nicola. 同上
140. 联合国粮食和农业组织。“政策简报:能源智能食品系统案例”第15页。2011年。http://www.fao.org/docrep/014/i2454e/i2454e00.pdf.
141. Mukherji, Biman. “未来的能源可以从农业废弃物中提取”, 2014年7月4日。《华尔街日报》。http://blogs.wsj.com/moneybeat/2014/07/04/future-of-energy-could-lie-in-fuel-from-agricultural-waste/
142. Riedel, Michael, “中华人民共和国:粮食和饲料的年鉴”, 2013年3月29日。美国农业部 http://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Biofuels%20Annual-Beijing_China%20-%20Peoples%20Republic%20of-9-9-2013.pdf
143. Bogdanski, A.; Dubois, O.; and Chuluunbaatar, D., “综合食品能量系统。项目评估在中国和越南” 13页。2010年。最终报告。粮农组织。http://www.fao.org/energy/33467-0140d2e14b981e9923be4670c73e05c95.pdf.
144. Chang, Shiyang; Zhao, Lili; Timilsina, Govinda; and Zhang Xiliang “在中国发展生物燃料:技术、经济和政策” 2012年10月。世界银行。http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/IW3P/IB/2012/10/17/000158349-20121017152604/Rendered/PDF/wps6243.pdf
145. Lavelle, Marianne and Thomas Grose. “水对能源的需求在2035年翻倍” 2013年1月30日。国家地理新闻。http://news.nationalgeographic.com/news/energy/2013/01/130130-water-demand-for-energy-to-double-by-2035/
146. 能源部。“能源部发布水源—能源关系的报告” 2014年6月18日。Energy.gov。http://www.energy.gov/articles/department-energy-releases-water-energy-nexus-report
147. 美国能源部。“能源对水资源的需求-报告给国会关于能源和水的相互依赖关系” 2006。http://www.sandia.gov/energy-water/docs/121-RptToCongress-EWwEIAcomments-FINAL.pdf
148. 美国能源部。“水源—能源关系:挑战和机遇” 2014。http://www.energy.gov/downloads/water-energy-nexus-challenges-and-opportunities
149. Thomas-Kerr, Elena “清洁和高效使用能源 - 水源——启动一个亚太经合组织能源 - 水源的路线图和最佳实践” 2014。亚太经合组织 https://aimp2.apec.org/sites/PDB/Lists/Proposals/DispForm.aspx?ID=1561
150. 五大湖委员会。“整合能源和水源决策在五大湖下游” 2011年10月。五大湖水源—能源关系团队。http://glpf.org/sites/default/files/project_files/922_GLEW-Phase-I-Report-FINAL.pdf
151. 忧思科学家联盟。“美国电厂淡水使用:电力对宝贵资源的渴求” 2011年11月。http://www.ucsusa.org/clean-energy/our-energy-choices/energy-and-water-use/freshwater-use-by-us-power-plants.html
152. Vox全球和太平洋研究所:“桥接问题与行动: 美国公司对迫在眉睫的水挑战做好准备了吗?” 2014年4月。http://voxxglobal.com/wp-content/uploads/Water_Study_Executive_Summary_2014-04-12.pdf
153. Desai, Snehal “可持续性的挑战:满足水源—能源的需求关系” 2013年6月。陶氏化学。http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDOWCOM/dh_08d7/0901b803808d-7f4b.pdf?filepath=liquidseps/pdfs/noreg/609-02232.pdf&fromPage=GetDoc
154. Gerholdt, Jennifer, “陶氏化学根深蒂固的可持续发展已深入到公司的DNA” 2014年6月3日。美国商会基金会。http://www.uschamberfoundation.org/blog/post/how-dow-chemical-ingrained-sustainability-companys-dna/31788
155. 企业社会责任网络“通用电气宣布扩大在非洲缺水救灾工作; 通用电气水短缺的解决方案要创造重要的淡水供应” 2005年10月4日。http://www.csrwire.com/press-releases/25674-GE-Announces-Expansion-of-Water-Scarcity-Relief-Efforts-in-Africa-GE-Water-Scarcity-Solutions-Creating-Critical-Supplies-of-Fresh-Water
156. Schneider, Keith. “中国很热衷水源—能源的联系” 2013年8月12日。蓝圈组织 http://www.circleofblue.org/waternews/2013/cob/choke-point-china-2/china-takes-a-keen-interest-in-water-energy-connections/
157. WECalc “家庭水源—能源—气候计算器” 2010。太平洋研究所。http://www.wecalc.org/
158. Bhatt, Vatsal; Friley, Paul; and Lee, John “综合能源和环境系统分析方法来实现低碳城市,可再生能源和可持续能源,美国物理研究所。“可再生可持续能源” 2010。
159. Spegele, Brian and Kazer, William. “To Conserve Water, China Raises Prices for Top Users.”, 2014年1月8日。Wall Street Journal。http://online.wsj.com/articles/SB10001424052702303870704579297410328066466
160. Larson, Christina. “China Begins to Get Serious About Water Conservation.” 2014年1月。威尔逊国际学者中心, 中国环境论坛。http://www.wilsoncenter.org/sites/default/files/Christina_Larson_Water_Conservation_0.pdf
161. Lewis, Joanna. “Energy and Climate Goals of China’s 12th Five Year Plan.” 2010年3月。Center for Climate and Energy Solutions。http://www.c2es.org/international/key-country-policies/china/energy-climate-goals-twelfth-five-year-plan
162. Cooley, Heather; Donnelly, Kristina, and Ajami, News-ha. “Energizing Water Efficiency in California: Applying Energy Efficiency Strategies to Water.” 2013年12月。Pacific Institute。http://pacinst.org/wp-content/uploads/sites/21/2013/12/energizing-water-efficiency-pacinst.pdf
163. 顾阿伦、腾飞、王宇和刘明明,《中国节能政策的节水效果评价》, 2013年, 自然资源保护委员会与清华大学能源环境经济研究所
164. Spegele, Brian and Kazer, William. “To Conserve Water, China Raises Prices for Top Users.” 2014年1月8日。Wall Street Journal。http://online.wsj.com/articles/SB10001424052702303870704579297410328066466
165. Duggan, Jennifer. “Sales of Shark Fin in China Drop by Up to 70%.” 2014年8月7日。The Guardian。http://www.theguardian.com/environment/chinas-choice/2014/aug/08/sales-of-shark-fin-china-drop-70
166. Walton, Brett. “U.S.-China Climate Deal Includes Provision on Water-Energy Nexus.”, 2014年11月13日, 蓝圈组织。http://www.circleofblue.org/waternews/2014/world/u-s-china-climate-deal-includes-provision-water-energy-research/

167. Zhang, Chao; and Anadon, Laura. "A Multi-Regional Input-output Analysis of Domestic Virtual Water Trade and Provincial Water Footprint in China." *Ecological Economics*. April 2014. 100:159-172. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800914000421>; Guan, Dabo and Hubacek, Klaus. "Assessment of Regional Trade and Virtual Water Flows in China." *Ecological Economics*. 2007年2月. 61:159-170. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800906000930>; Feng, Kuishuang; Hubacek, Klaus; Pfister, Stephan; Yu, Yang; and Sun, Laixiang. "Virtual Scarce Water in China." *Environmental Science and Technology*. 2014. 48(14):7704-7713. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es500502q>; Dalin, Carole; Hanasaki, Naota; Qiu, Huanguang; Mauzerall, Denise; and Rodriguez-Iturbe, Ignacio. "Water Resources Transfers Through Chinese Interprovincial and Foreign Food Trade." *PNAS*. 111(27): 9774-9779. <http://www.pnas.org/content/111/27/9774>; Guan, Dabo and Hubacek, Klaus. "Assessment of Regional Trade and Virtual Water Flows in China." *Ecological Economics*. 2007年2月. 61(1):159-170. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800906000930>; Wildau, Gabriel. "Small Chinese Cities Steer Away from GDP as a Measure of Success." 2014年8月13日. *Financial Times*. <http://www.ft.com/intl/cms/s/0/a0288bd4-22b0-11e4-8dae-00144fe-abdc0.html?siteedition=intl#axzz3A3WRY9It>; "Pay for Public Transit Pass or Phone Card With Recycling." 2014年8月17日. *Pangea Today*. <http://www.pangeatoday.com/get-free-public-transit-pass-or-phone-rebate-for-recycling/>
168. Zhang, Qingtao; Xia, Qing; Liu, Clark; and Geng, Shu. "Technologies for Efficient Use of Irrigation Water and Energy in China" 2013年8月. *Journal of Integrative Agriculture*. 12(8):1363-1370. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095311913605444>
169. Zerrenner, Kate. "Energy-Water Nexus Spans Across Western United States." 2013年8月22日. *Forbes*. <http://www.forbes.com/sites/edfenergyexchange/2013/08/22/energy-water-nexus-spans-across-western-united-states/>
170. ACEEE. "Watts to Water: Tap the Power." <http://www.wattstowater.org/>
171. 2013年8月5日在商道纵横召开的一能源源团队交流会议。
172. Bhatt, V. and Ginsberg, M. "Metro Solutions to Macro Visions: Partnerships between US-China-India Cities Promote Efficient, Green Futures, Proceedings of the ACEEE 2010 Summer Study." 2010年8月15日 - 20日. 第十五届 ACEEE建筑能效双年会
173. 查看更多有关此项目或其他地方合作项目的信息, 请点击此链接: <https://ecopartnerships.lbl.gov/>
174. 世界经济论坛, "Water Security: The Water-Food-Energy-Climate Nexus." 2011. <http://www.weforum.org/reports/water-security-water-energy-food-climate-nexus>
175. Shifflett, Susan C. "Surf and Turf: The Environmental Impacts of China's Growing Appetite for Pork and Seafood." 2014年5月7日. *New Security Beat*. <http://www.newsecuritybeat.org/2014/05/surf-turf-environmental-impacts-chinas-growing-appetites/>
176. Ganter, J. Carl. "Q&A: Ma Jun on China's Economic Development and Water Resources." 2011年4月11日. 蓝圈组织. <http://www.circleofblue.org/waternews/2011/world/qa-ma-jun-on-chinas-economic-development-and-water-resources/>
177. Ivanoca, Nadya. "Off the Deep End: Beijing's Water Demand Outpaces Supply Despite Conservation, Recycling, and Imports." 2011年5月3日, 蓝圈组织. <http://www.circleofblue.org/waternews/2011/world/off-the-deep-end-beijings-water-demand-outnumbers-supply-despite-conservation-recycling-and-imports/>
178. Schneider, Keith. "Bohai Sea Pipeline Could Open China's Northern Coal Fields." 2011年4月5日, 蓝圈组织. <http://www.circleofblue.org/waternews/2011/world/desalinating-the-bohai-sea-transcontinental-pipeline-could-open-chinas-northern-coal-fields/>
179. Schneider, Keith,同上。
180. Ivanoca, Nadya. "Off the Deep End—Beijing's Water Demand Outpaces Supply Despite Conservation, Recycling, and Imports." 2011年5月3日, 蓝圈组织. <http://www.circleofblue.org/waternews/2011/world/off-the-deep-end-beijings-water-demand-outnumbers-supply-despite-conservation-recycling-and-imports/>
181. Schneider, Keith. "Bohai Sea Pipeline Could Open China's Northern Coal Fields." 2011年4月5日. *China Environment Series 12*.
182. Ivanova, Nadya. "Off the Deep End: Beijing's Water Demand Outpaces Supply Despite Conservation, Recycling, and Imports." 2011年5月3日, 蓝圈组织. <http://www.circleofblue.org/waternews/2011/world/off-the-deep-end-beijings-water-demand-outnumbers-supply-despite-conservation-recycling-and-imports/>
183. Hite, Brittany. "Beijing Now Has Almost As Many People As Australia." 2014年6月19日. *Wall Street Journal*. <http://blogs.wsj.com/chinarealtime/2014/06/19/beijing-now-has-almost-as-many-people-as-australia/> and Schneider, Keith. "Building China's 21st-Century Megacity: Shanghai's Experiment with Water and Nature." 2011年9月30日. 蓝圈组织. www.circleofblue.org/waternews/2011/world/manmade-lake-and-nature-preserve-at-center-of-new-shanghai-borough/
184. Schneider, Keith. "Bohai Sea Pipeline Could Open China's Northern Coal Fields." April 5, 2011. *China Environment Series 12*.
185. Ivanova, Nadya. "Off the Deep End: Beijing's Water Demand Outpaces Supply Despite Conservation, Recycling, and Imports." May 3, 2011. *Circle of Blue*. <http://www.circleofblue.org/waternews/2011/world/off-the-deep-end-beijings-water-demand-outnumbers-supply-despite-conservation-recycling-and-imports/>
186. Hite, Brittany. "Beijing Now Has Almost As Many People As Australia." June 19, 2014. *Wall Street Journal*. <http://blogs.wsj.com/chinarealtime/2014/06/19/beijing-now-has-almost-as-many-people-as-australia/> and Schneider, Keith. "Building China's 21st-Century Megacity: Shanghai's Experiment with Water and Nature." September 30, 2011. *Circle of Blue*. www.circleofblue.org/waternews/2011/world/manmade-lake-and-nature-preserve-at-center-of-new-shanghai-borough/

示例及图片注释

- i. Martin, Richard. "China's Great Coal Migration." , 2014年7月11日. Forbes. <http://fortune.com/2014/07/11/coal-china/>
- ii. 美国能源信息管理局, "China Country Analysis." 2014年2月. <http://www.eia.gov/countries/cab.cfm?fips=ch>
- iii. 邮件采访太平洋研究所水资源项目主任Heather Cooley, 2014年6月27
- iv. Schneider, Keith. "Double Choke Point: Demand for Energy Tests Water Supply and Economic Stability in China and the U.S." , 2011年6月22日. 蓝圈组织. <http://www.circleofblue.org/waternews/2011/world/choke-point-china-us-comparison/>
- v. Schneider, Keith. "Bohai Sea Pipeline Could Open China's Northern Coal Fields." , 2011年4月5日. 蓝圈组织. <http://www.circleofblue.org/waternews/2011/world/desalinating-the-bohai-sea-transcontinental-pipeline-could-open-chinas-northern-coal-fields/>
- vi. 陈伟欣. 《中国煤炭和电力产业面临用水挑战》. 2013年7月8日. 中外对话. <https://www.chinadiologue.net/article/show/single/ch/6187-The-water-challenge-facing-China-s-coal-and-power-sector-is-inescapable->
- vii. Schneider, Keith. "Bohai Sea Pipeline Could Open China's Northern Coal Fields." , 2011年4月5日. 蓝圈组织. <http://www.circleofblue.org/waternews/2011/world/desalinating-the-bohai-sea-transcontinental-pipeline-could-open-chinas-northern-coal-fields/>
- viii. 中国水电水利规划设计总院. 《我国跨区域调水工程建设现状、存在问题及对策》. 2003年11月17日. 北京. 中国水利部[http://www.giwp.org.cn/upload/file/history/\(86\)003-18.doc](http://www.giwp.org.cn/upload/file/history/(86)003-18.doc)
- ix. Wines, Michael. "China Takes a Loss to Get Ahead in the Business of Fresh Water." , 2011年10月25日. 纽约时报. <http://www.nytimes.com/2011/10/26/world/asia/china-takes-loss-to-get-ahead-in-desalination-industry.html?pagewanted=all>.
- x. 《海水淡化“十二五”规划落地》. 2012年12月24日. 新华网. http://news.xinhuanet.com/fortune/2012-12/24/c_124135979.htm
- xi. 《天津淡化海水将实现点对点供水》. 2014年1月8日. 新华网. http://news.xinhuanet.com/local/2014-01/08/c_118878844.htm
- xii. Branigan, Tania. "One-third of China's Yellow River 'Unfit for Drinking or Agriculture.'" 2008年11月25日. 卫报. <http://www.theguardian.com/environment/2008/nov/25/water-china>
- xiii. Cohen-Tanugi, David. "A Pinch of Salt: Why China's Brute Force Push Toward Desalination May Leave the World a Better Place." 2013. Wilson Center. China Environment Series, 12.
- xiv. 鲍小东. 《海水淡化的春天真的到了?》. 2012年3月19日. 南方周末. <http://www.infzm.com/content/64678>
- xv. Schneider, Keith. "China's Other Looming Choke Point: Food Production." , 2011年5月26日. 蓝圈组织. <http://www.circleofblue.org/waternews/2011/world/chinas-other-looming-choke-point-food-production/>; Ivanova, Nadya. "Water Rights Transfers and High-tech Power Plants Hold off Energy-Water Clash in Northern China." 蓝圈组织, 2011年3月8日. <http://www.circleofblue.org/waternews/2011/world/from-agriculture-to-industry-efficiency-upgrades-transfer-water-use-rights-on-china-s-yellow-river/>
- xvi. Wang, Jinxia, Jikun Huang, and Scott Rozelle. "Urbanization, Agricultural Water Use and Crop Production in China." 2013. 世界银行和国务院发展研究中心, 中国农业政策研究中心. P.344 <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/18865?hottPostID=7922558b9cdda4d2a2b-1267dea350b11>
- xvii. 联合国粮农组织. "Food Wastage Footprint: Impacts on Natural Resources." 2013. UN FAO. <http://www.fao.org/docrep/018/i3347e/i3347e.pdf>
- xviii. 联合国粮农组织. 同上.
- xix. Liu, Gang. "Food Losses and Food Waste in China: A First Estimate." 2013年6月15日. 挪威科技大学能源与处理工程系. 第三页. http://www.oecd.org/site/agrfcn/food%20losses%20and%20waste%20in%20china_gang%20liu.pdf
- xx. Liu, Gang. 同上. 第三页.
- xxi. Liu, Gang. 同上. 第11页.
- xxii. Marshall, Andrew. "China 'No Cash Cow' : ANZ." , 2014年7月5日. The Land. <http://www.theland.com.au/news/agriculture/agribusiness/general-news/china-no-cash-cow-anz/2703729.aspx>
- xxiii. Vox全球及太平洋问题研究所. "Bridging Concern with Action: Are U.S. Companies Prepared for Looming Water Challenges." 2014年4月. <http://voxblog.com/wp-content/uploads/Bridging-Concern-with-Action-Are-US-Companies-Prepared-For-Looming-Water-Challenges-v14.pdf>
- xxiv. 中华人民共和国水利部. "2012中国水资源公报" 2013年12月15日. <http://www.mwr.gov.cn/zwzc/hygb/szygb/qgszygb/201405/t20140513-560838.html>
- xxv. Cooley, Heather; Fulton, Julian; and Peter Gleick. "能源对水的需求:电力在西部对未来水的需求" 2011年11月3日. 太平洋研究所. <http://pacinst.org/publication/water-for-energy-future-water-needs-for-electricity-in-the-intermountain-west/>
- xxvi. Wolff, Gary; Cohen, Ronnie; and Berry Nelson. "能源枯竭:加州供水的隐性成本" 2004年8月24日. 太平洋研究所. <http://pacinst.org/publication/energy-down-the-drain-the-hidden-costs-of-californias-water-supply/>
- xxvii. Tan, Debra. "No Water No Power: Is There Enough Water to Fuel China's Power Expansion?" 2012年10月. 中国水危机. <http://chinawaterrisk.org/resources/analysis-reviews/china-no-water-no-power/>
- xxviii. Zhou, Yuanchun; Zhang, Bing; Wang, Haikun; and Bi, Jun. "Drops of Energy: Conserving Urban Water to Reduce Greenhouse Gas Emissions." Environmental Science and Technology. , 2013年6月11日. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es304816h>
- xxix. 神华科技研究所 "Cornerstone: The Official Journal of the World Coal Industry's Special Issue on Reducing Energy's Water Footprint." 2014年春季刊. 2(1). http://www.nxtbook.com/nxtbooks/wiley/cornerstone_2014spring/#/10

Roadmap Authors



Susan Chan Shifflett is program associate at the Wilson Center’s China Environment Forum where she focuses on China’s food safety and food security. She previously interned at the U.S. Department of State’s Office of Global Food Security, working on the Feed The Future initiative. From 2007-2010, she lived in Beijing where she worked as a program assistant at China’s Center of Disease Control and Prevention researching high-risk HIV/AIDS populations in Yunnan Province. Susan received an M.A. in International Economics from Johns Hopkins University’s School of Advanced International Studies and a B.S. in Biology from Yale University.



Jennifer L. Turner has been the director of the China Environment Forum at the Woodrow Wilson Center for 15 years where she creates meetings, exchanges and publications focused on a variety of energy and environmental challenges facing China. Water-energy nexus challenges and environmental civil society are at the heart of her current research interests. She received a Ph.D. in Public Policy and Comparative Politics in 1997 from Indiana University, Bloomington where she examined local government innovation in implementing water policies in China.



Luan “Jonathan” Dong is a project assistant at the Natural Resources Defense Council office in Beijing where he works on their Coal Cap project. From January 2013 to July 2014 he was a research assistant and consultant for the Wilson Center’s China Environment Forum. Jonathan also worked as the Global Warming Research Assistant at Greenpeace in Washington DC and as a research assistant for the Institute of Public and Environmental Affairs in Beijing. He completed a Master’s in International Affairs and Sustainable Development at George Washington University in 2013.



Ilaria Mazzocco is a research intern at the Woodrow Wilson Center’s China Environment Forum and a program associate at the SAIS China Africa Research Initiative. She is currently pursuing an M.A. in International Relations and International Economics at the Johns Hopkins School of Advanced International Studies. Previously she worked at the Asia Society in New York City and was a research fellow at the Global Environmental Institute in Beijing. She holds a Master’s in International Relations and European Studies from Central European University in Hungary and a B.A. from Bard College.



Bai Yunwen is the co-founder and the deputy director of Greenovation Hub where she leads the Climate and Finance Policy Centre. Her research focuses on international financial flows, climate and energy policy and financing schemes. She leads Greenovation Hub’s evidence-based research and policy analysis, which aims to influence debates to accelerate China’s green development. She has over 10 years of experience working with international NGOs and foundations on climate issues. She also serves on the board of the China Climate Action Network. Yunwen holds MSc degrees in Environmental Science and Environmental Policy & Management.



One Woodrow Wilson Plaza
1300 Pennsylvania Avenue, N.W.
Washington, DC 20004-3027

 www.wilsoncenter.org/cef

 cef@wilsoncenter.org

 [facebook.com/chinaenvironmentforum](https://www.facebook.com/chinaenvironmentforum)

 @WilsonCEF

 202.691.4000