

THE FIRST SCIENCE VIEW | 第一科学视野

★ 众多**诺贝尔奖**得主及世界**顶级**科学家倾力撰写

★ 荟萃从**爱迪生**到**比尔·盖茨**都喜欢阅读的**大众科普**文章

能源与环境

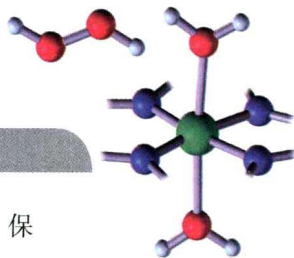


电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

《环球科学》杂志社 编
飞思科普出版中心 监制

内容简介



能源短缺、环境污染是当今社会面临的难题之一，利用可再生能源、保护地球环境成为21世纪科学发展的一大课题。人类如何解决淡水危机，如何开发太阳能，如何开启新能源时代……这些新的课题在本书中都有详细的阐述。此外，书中还介绍了科学家为解决气候变化、核污染和生态破坏等问题所取得的最新研究成果，是相关领域的研究人员和科普爱好者的首选读物。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书的部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

能源与环境 / 《环球科学》杂志社编. — 北京: 电子工业出版社, 2011.1
(第一科学视野)
ISBN 978-7-121-12347-4

I. ①能… II. ①环… III. ①能源—普及读物②环境保护—普及读物
IV. ①TK01-49②X-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第227550号



责任编辑: 郭晶 李娇龙
文字编辑: 彭婕
印刷: 北京画中华印刷有限公司
装订: 北京画中华印刷有限公司

出版发行: 电子工业出版社
北京市海淀区万寿路173信箱 邮编: 100036
开本: 889×1194 1/16 印张: 17.75 字数: 624.8千字
印次: 2011年1月第1次印刷
定价: 65.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话: (010) 88254888。
质量投诉请发邮件至zlts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至dbqq@phei.com.cn。
服务热线: (010) 88258888。

第一科学视野

能源与环境



《第一科学视野》
丛 书 编 委 会

丛书主编

郭 涛 刘 芳

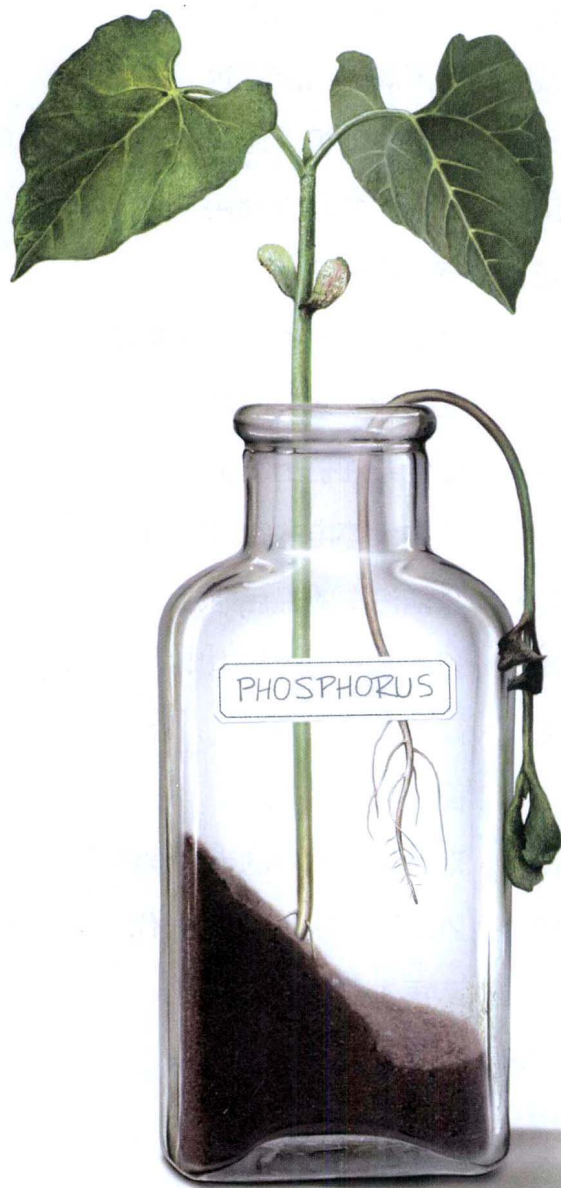
丛书编委 (按姓氏音序排列)

曹丽敏 陈宗周 褚 波 贺 佳
罗丽聪 罗 绮 申宁馨 虞 骏

THE FIRST
SCIENCE VIEW

第一科学视野

《环球科学》杂志社 编
飞思科普出版中心 监制



能源与环境

电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

目录 CONTENTS



006 无法抉择的恐慌：要水，还是要能源？

012 决战淡水危机

020 水文学研究简史

022 磷：逼近枯竭线

029 乙醇燃料风波骤起

036 超级发动机 让汽车更省油

042 石油 100 年都用不完

050 将草炼成油

058 产业圆桌：拷问生物能源

060 生物能源研究简史

062 绿色柴油机上路了

070 终结大停电的智能电网

078 氢能汽车的最后瓶颈

087 氢电合一的超级电网

094 建筑节能新方向

098 图解可再生能源

104 对可持续发展的十大误解

108 2030 开启新能源时代

116 可再生能源政策简史

118 2030 我们开什么车

122 核能有竞争力吗

130 未来核能箭在弦上

138 巧用核废料

146 太阳世纪

- 156 太阳能应用简史
- 158 太阳能发电日渐蹿红
- 159 马桶里的磷肥矿
- 160 全球铀储量可用多久
- 161 天然气火箭
- 162 氮污染：地球生命隐形杀手
- 171 甲烷：从北极冻土中爆发
- 178 生病的碳市场
- 186 吃 1 千克牛肉 = 开车 70 千米
- 190 冰川流失正在加速
- 199 气候变化的伦理抉择
- 206 气候变化研究简史
- 208 给地球撑把遮阳伞
- 218 围剿碳排放全球行动计划
- 226 核冬天一触即发
- 235 核废料该埋在哪
- 242 寻找中国的尤卡山
- 244 酸化：全球海洋告急
- 252 清洁地球的神奇小分子
- 261 即将诞生的海洋
- 268 拆除水坝的生态隐患
- 275 DNA 追踪非洲象大屠杀现场
- 282 捕大鱼放小鱼错了？



无法抉择的恐慌： 要水，还是要能源？

生产能源需要水，运输水又需要能源。
两种资源彼此约束，得到任何一方都要以付出另一方为代价，它们又同时濒临枯竭。
我们的出路在何方？

撰文/迈克尔·E·韦伯 (Michael E. Webber)

翻译/王浩 王明娜



2008年6月，美国佛罗里达州政府作出了一个不同寻常的决定——起诉美国陆军工程兵团，理由是该军团计划减少从佐治亚州的水库注入阿巴拉契科拉河的水

量——这条河沿着佐治亚和亚拉巴马的边界流入佛罗里达。佛罗里达州的理由是，限制流量将威胁一些濒临灭绝的物种。与此同时，亚拉巴马州也反对该计划，他们的担心来自亚拉巴马州多森附

近的法利核电站：核电厂需要从河道中大量取水用于反应堆的冷却，减少河道的水量甚至可能导致核电站关闭。

然而，佐治亚州却有充分理由将宝贵的水留在自己境内：一年前，该

州遭受旱灾侵袭，多条河流水量急速下降，核电厂不得不关闭几个星期。形势非常糟糕，以至于2008年1月，该州某位立法者引用1818年一份错误的勘界报告，提议将佐治亚州北部边界扩展1.6千米，以吞并田纳西州的一个淡水资源地。整个2008年，佐治亚州、亚拉巴马州和佛罗里达州一直在为宝贵的水资源争吵不休，而由议会授权管理水资源的陆军工程兵团则被夹在中间。干旱缺水只是矛盾激化的原因之一。快速增长的人口，尤其是亚特兰大地区的人口爆炸，以及水资源过度开发和缺乏合理规划，正在使该地区的河流日渐干涸。

水和能源是现代文明最根本的两大要素。没有水，人类就会死亡；没有能源，就无法种植粮食、运行计算机，不能给家庭、学校、办公楼供电。随着世界人口及富裕程度的持续增长，对这两种资源的需求也比过去任何时候增长得都快。

被严重低估的还有这样一个事实：我们对这两种宝贵日常资源中任意一种的使用，都可能快速消耗另一种资源。发电消耗大量的水，同时我们又大量耗电以获得干净的水。许多人都在担心石油峰值（peak oil）带来的危机，即廉价成品油耗尽；也有少数人在呼吁应该关注水峰值（peak water）。但几乎没有人注意到两者的紧张关系：水资源短缺限制了更多能源的提供，而能源问题，尤其是不断上涨的价格，减少了洁净水的供给。

这种矛盾正在不断加剧。2008年1月，美国北卡罗来纳州夏洛特附近的诺曼湖水位下降至28.56米，比杜克能源公司麦圭尔核电站所能允许的最低水位只高了不到0.3米。而在拉斯韦加斯，由科罗拉多河供水的米德湖，经常比历史水位低30米左右。如果水位再下降15米的话，该市将不得不限制用水定额，那时胡佛大坝中的大型水力发电涡轮机将很难或根

本不能发电，这座蓬勃发展的沙漠城市或许将陷入一片黑暗。

2008年6月，美国地质勘探局的科学家格雷戈里·J·麦凯布（Gregory J. McCabe）向美国国会重申了这一观点。他指出，如果美国西南地区的气温平均上升0.83℃，就将危及科罗拉多河向内华达州和其他6个州以及胡佛水库的供水能力。2008年初，加利福尼亚州斯克里普斯海洋研究所（Scripps Institution of Oceanography）的科学家宣布，如果全球气候按预测中的趋势变化，对用水又不加以限制，米德湖将在2021年干涸。

圣迭戈是一个迫切需要饮用水的地区。该市计划沿海岸线建一座海水淡化厂，却由于将消耗大量能源而遭到当地激进分子的反对——因为当地电力供应能力非常弱；出于相同的原因，英国伦敦市长也在2006年否决了一个拟建海水淡化厂的提案，只是他的继任者后来又撤销了这一否决；乌拉圭的许多城市不得不作出艰难抉择：是将水库中的水喝掉，还是用来发电；沙特阿拉伯则在犹豫，究竟是把石油和天然气以创纪录的高价卖掉，还是用这些资源来生产自己最缺少的东西——百姓生活和城市发展必需的淡水。

在没有充分认识到电厂对淡水供给影响的前提下，我们不能建造更多的发电厂。而我们也无法在不提高能源需求量的情况下，建造更多的供水和净水系统。解决这一难题，需要有新的国家政策对水和电能进行综合考虑，还要发展一种新的技术，在提高一种资源供应量的同时不至于耗尽另

一种资源。

●●● 恶性循环

农业和发电消耗了大量淡水，淡化咸水、长距离运水和处理附近的不洁水源，都要消耗大量能源。

地球上拥有约0.35亿立方千米的淡水资源——是人类年均消耗量的数万倍。不幸的是，这些水大多蓄存在深层地下、永久冰川和雪山中，只有极少量存在于可被人类利用且不断被补充的河流湖泊中。

此外，现有的淡水往往不清洁，或离人口居住中心较远。例如，美国菲尼克斯市很大一部分的淡水供应，是通过一条长达540千米的输水管道从科罗拉多河运来的。城市供水往往还会受到工业、农业和废水排放的污染。根据世界卫生组织的报告，全球约有24亿人口生活在用水高度紧张的地区。两种主要的解决方案——长距离运水或处理附近的不洁水源，都要消耗大量能源，而能源的价格正不断飞涨。

从美国全国范围来看，最大的两个淡水用户是农业和发电厂。消耗煤炭、石油、天然气或铀的火电厂，满足了90%以上的美国电力需求，但它们耗水量巨大，仅仅是电厂的冷却用水就影响了其他所有淡水供应。虽然有相当一部分水最终被排放回来（另一些则被蒸发），但这些废水具有不同的温度，还包含有不同的化学组成，会对环境构成威胁。在是否应对废水进行处理的问题上仍有争议，美国最高法院将

本文作者

迈克尔·E·韦伯是得克萨斯大学奥斯汀分校国际能源和环境政策中心副主任，机械工程专业助理教授。

本文译者

王浩教授，中国工程院院士，中国水科院水资源研究所所长，长期从事水文水资源研究，主持完成了国家科技攻关项目、国家973项目、中国工程院重大咨询项目等重大项目10余项，并完成多项国际合作项目；创立并发展了我国水资源合理配置理论方法体系，提出了流域水循环二元演变模式和水资源全口径层次化动态评价方法，并在流域水循环模拟、水资源调度、节水型社会建设、水价、生态需水等方面取得重大突破。

王明娜，中国水利水电科学研究院博士，师从王浩院士，完成过“黑河下游泄水量与植被面积变化关系的模拟研究”。



▲高风险：包括贝拉吉欧酒店（上）在内，拉斯韦加斯每天消耗大量的电能和水资源。而它附近的米德湖（下）却处于历史最低水位，严重威胁水资源的供给和胡佛大坝的发电能力。

听取美国环境保护署作出的个案分析，可能要求电厂改造它们的系统，以尽量减少对当地的水源和水生生物的影响。

与此同时，我们还耗用大量能源来运输和处理水，有时运水路线会跨越相当长的距离。横跨两座山脉向缺水的沿海城市运送融雪水的加利福尼亚水道（California Aqueduct），是

该州最大的电力消耗部门。方便开发利用的水资源渐渐枯竭，供应商不得不挖得更深，寻找更远的水源。除此之外，当地还必须净化来水和处理排水，总计消耗州电力资源的3%左右。卫生标准通常会变得越来越严格，因此，每升用水所消耗的能源必然会越来越多。

拥有大量人口而水源有限的国家，则正在考虑艰巨的超大规模工程，例如中国计划从三个水资源丰富的南方地区输水到缺水的北方地区，路程达数千千米，要消耗大量的能源。老一代投资者，如曾通过投资石油和天然气赚了几十亿美元的T·布恩·皮肯斯（T. Boone Pickens），现在转而投资水资源，包括一个在得克萨斯州铺设管道的项目。以美国埃尔帕索为代表的很多城市，也在试图发展建在地下咸水（brackish water）层上的脱盐处理厂——这要花费大量的能源和金钱。

●●● 从进口石油到国内水资源
电力或生物燃料等汽油替代品会消耗更多的水资源，实际上是将对进口石油的依赖转化为对本土水资源的依赖。

两种资源间的紧张关系还体现在局部的艰难选择——尤其是在地域封闭和水资源短缺的美国西南干旱地区。对缺水城市而言，究竟是直接进口淡水好，还是输入电能，淡化深层地下咸水好？或者，干脆将居民迁移到水资源丰富的地区去？如果有无限的能源，我们总有办法得到淡水。但是即使一个国家的能源是无限的，决策者仍然面临着限制二氧化碳排放的压力。气候变化可能改变干旱、洪水和暴雨的周期，燃烧更多的能量以获得水资源的方案可能有双重危险。这些挑战将变得更加艰巨，因为美国现在终于认清，解决能源和安全问题的最好方法是打破对进口石油的依赖。由于运输部门是最主要的石油消费和二氧化碳排放主体，它已成为政策制定者、革新者和企业家改革的基本突破口。当前两种最流行的汽油替代品似乎是可以驱动交通工具的电力和生物燃料。两种方式各有优点，但都比我们现行的汽油汽车更耗水。

电动汽车特别有吸引力，因为管

任何将能源消耗由汽油
转为电力或生物燃料的
战略决策，都将使我们
由依赖外国石油转而依
赖国内的水资源。

或许下列标志性事件能够唤醒我们的集体意识：美国堪萨斯州刚刚在一场州际用水官司中输给了密苏里州，堪萨斯州的农民将不得不重新考虑他们的作物种植方式和种植结构。用水配给制度肯定会给社会发出一个警告，而这才刚刚是个开始。我的家乡、得克萨斯州的奥斯汀市正在实行严格的草坪浇水限制。由于遭遇历史降雪新低，加利福尼亚州已经在全境要求市政当局节约用水，实行用水定额分配——这让人想起20世纪70年代美国的汽油管制制度。

有一天，我们或许会用一种怀旧

理全美国1500座热电厂的排放，显然比管理数以亿计的汽车排气管更容易。电力基础设施已经就位，但电力部门会大量耗水。得克萨斯大学奥斯汀分校的一项研究表明，生产一辆汽车行驶一公里所耗燃油的耗水量，是生产油电复合动力车和全电动车行驶一公里所需电量耗水量的10倍；电动车行驶时的耗水量也是汽车的3倍。

生物燃料则更糟。有关分析表明：从对农场上生长的作物进行灌溉，到把生物燃料灌进汽车，生物燃料的整个生产周期所耗水量，要比生产让汽车跑同样距离的汽油多20倍以上。考虑到美国人年均旅行里程高达4.35万亿千米，水很有可能会成为限制因素。如何平衡供水和生物燃料企业不断增长的用水需求，已经让许多市政当局头痛不已。伊利诺伊州小镇尚佩恩和厄班纳的 시민，否决了当地一家乙醇企业提出的申请，他们打算每天从地下取水757万升，以便每年生产3.78亿升乙醇。随着农场水井干涸加剧，这种抵制情绪必然越来越强。

无论这些方案的提出者有没有意识到，任何将汽油消耗转换为电力或生物燃料的战略决策，都会将我们对外国石油的依赖转化为对本土水资源的依赖。尽管这些“替代能源”看起来比降低能耗更有吸引力，我们仍应理智，首先查明我们是否拥有足够多的水资源。

●●● 我们也需要新的心态

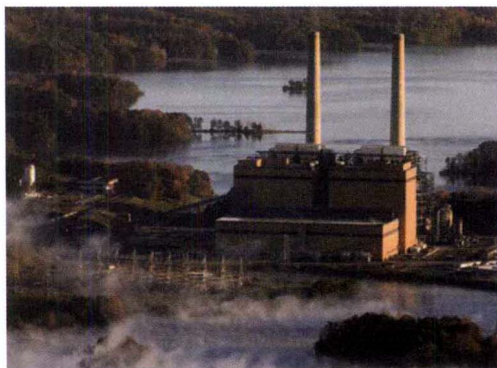
石油的缺乏会导致缺水，石油产量下降和用水需求的增长叠加在一起时，风险变得更大。

无论是哪种能源在支撑全世界，水都比油更重要，因为它对维持生命更关键，而且不可取代。我们似乎正在接近“水峰值”，廉价的水资源将变得越来越少。这应该已经算是危机了，但公众却缺乏紧迫感。

石油峰值的风险思想确实更加深

入人心。因为石油峰值会带来各种各样的后果——从大规模饥荒和资源战争到复杂的体系（能产生新技术来扭转乾坤的市场）。但石油供应短缺和价格暴涨正在逐步增强那些“替代能源”支持者的信心。政策杠杆和市场力量也在发挥作用，寻找廉价石油的替代品。

我们要付出什么代价，才能应对正在逼近的水峰值，或者说更进一步，同时解决水和能源的危机呢？石油产量下降的预期和用水需求的增长叠加在一起，会让风险变得更大。因为水的生产正日益成为能源密集型产业：我们常常依赖化石燃料从深层地下取水或长距离输水。任何石油峰值都必将带来水峰值。缺少石油或许会使一些人生活不便，但缺水将带来更严重的后果：每年已有上百万人死于淡水供应不足，这一数字可能会增加一个数量级。



产生1000千瓦时
电能需要耗水：



燃气/蒸汽联合循环发电：28 000~75 700升



煤和油发电：79 500~189 000升



核电：94 600~227 000升

（注：数据来自电厂的提取水和转储水，有冷却塔的电厂用水量较少）

■ 需水

燃烧化石燃料的发电厂，如燃煤发电厂（左）和核电站（下），需要大量取水（通常取自河道或湖泊），改变了居民、农场和工业的供水状况。





■ 电力需求

由污水处理厂（左）和海水淡化厂（下）等设施供应的净水需要消耗大量能源，代价高昂。

每提供100万加仑（约378.5万升）的净水需要消耗能源（千瓦时）：



与好奇的眼光，回头看看曾经肆意挥霍浪费的日子——主妇们在草坪上喷洒“液体黄金”使草儿生长，只是为了让我们能在周末点燃“黑色黄金”来割草。我们的子孙后代或许会百思不得其解：他们当初为什么这样愚蠢？

●●● 强制解决方案

要解决水和能源间日益加剧的紧张关系，首先应该整合国家决策制定进程，制定综合决策规划。制定合理的水价和技术创新也可以减少社会对淡水的提取和消耗。

水和能源间日益加剧的紧张关系令人不安，但它也给我们提供了一个机会。我们能够解决这个问题。首先就是要整合美国的决策制定进程。虽然两种资源高度依存，但能源和水资

源管理机构却分开运作，它们有不同的资金流、问责机制以及政府监督和立法委员会。水资源的规划者以为他们可以得到需要的所有能源，而能源规划者却以为水的供应不成问题，我们必须让他们坐在一起共同商讨对策。

美国联邦政府长期以来一直就有能源部，却没有水资源管理部门。美国环境保护署负责监测水质，地质勘探局负责采集数据和监测供水，但没有一个联邦机构致力于确保水资源的有效利用。美国国会应对水资源实行单一监管，可以由内政部（由于水资源环境的重要性）或商务部（因为水资源在经济中的重要作用）负责。目前，水资源的监管责任大部分被下推给了州和市一级政府，部分原因在于，历史上水量多是当地自产。当地含水层、河流和流域跨越多个城市或州时，地方性政策就很容易失败。想想另一个城市截流了你的水会发生什么事情？

联邦能源局和水管理机构应制定一项综合决策规划。现在，电厂业主在某一地址申请修建电站的建筑许可时，他们必须证明新设施能够达到美国环境保护署发布的空气质量标准。新的机构也应该提出类似要求，使电站能够

达到用水量的标准。在发放用水许可的讨论会上，能源规划人员也应到场，以加强对项目地区电力需求量增加的关注。在对发电厂进行选址及申请许可时，水资源专家也应到场，以综合考虑资源稀缺的潜在风险。这些互动都可以通过简单合作的形式来完成。

这些交叉讨论也应该告知那些为气候变化立法的机构。2008年5月，城市水务局协会（Association of Metropolitan Water Agencies）副执行官迈克尔·阿西诺（Michael Arceneaux）就单枪匹马地出面警告美国国会，那些正在考虑的、引起公众广泛关注的法案，特别是碳限额交易体系，会对水供应造成严重的影响，而且这个问题从来没有被考虑过。

就像美国的政策制定过程可以更协调一样，技术创新也可以减少社会对淡水的提取和消耗。农业是第一个着眼点。滴灌需水更少（不像田间喷水那样会造成大量蒸发），而且可以直达作物根部。美国科罗拉多河东部高原的农民几乎都从奥加拉拉地下蓄水层（美国最大的地下蓄水层）取水，使蓄水层以每年115亿立方米的速度枯竭，远远超过了当地降雨、径流所能实现的地下水回补速度。整个区域开采的地下水94%都用于农业灌溉。为了自身利益着想，他们应改用滴灌。

把水冷系统转换为气冷系统或水气混合冷却技术，可以大量降低电厂的耗水量。虽然气冷系统价格昂贵，操作效率相对低，但它们几乎不用取水。

生活污水和工业废水的循环利用，同样可以节约供水，并减少输水过程的能源消耗。虽然很多人一想到“从马桶到水龙头”这种把废水处理成饮用水的循环过程就浑身起鸡皮疙瘩，但空间站上的宇航员和新加坡居民却已经在每天饮用处理过的废水，而且没有任何不良反应。即使这一方案让很多消费者不爽，市政当局还可以把再生水用于农业和工业，甚至用作电厂的冷却水。

联邦政府应该对水资源实行单一监管，美国国会应制定一项综合考虑水和能源的决策机制。

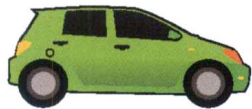
▼ 进退两难的选择

替代交通工具：它们消耗的石油较少，但生产它们需要的燃料却要消耗更多的水。

每行驶160千米消耗的水量（升）：



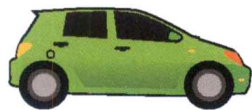
乙醇汽车：492~23 500



氢燃料电池汽车：159



插入式油电混合动力汽车：90



汽油汽车：26~53

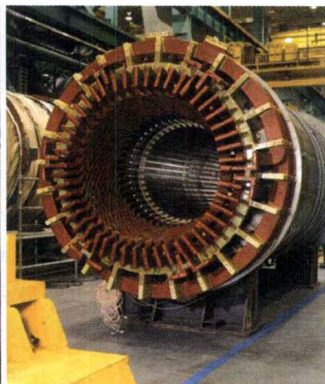
（注：乙醇的耗水计算从玉米的灌溉开始。燃料电池中的氢是对水进行标准电解得到的。油电混合动力汽车的耗水包括本地电厂为给汽车供电所要消耗的冷却水和处理水。对汽油而言，是指石油开采和提炼过程中的耗水。）

技术上的突破也可能使水处理不再成为“能源密集型”企业。比如，纽约石溪的石溪净水公司正在研发先进的薄膜技术，以便更有效地处理污水和淡化咸水。不论是谁，只要发明一种技术，能够用最少的能量完成水的净化，都可以成为世界上最富有的人，并名垂千古。

智能监控可以减少生活和商业上的用水浪费。洒水装置在炎热的下午（一天中蒸发量最高和灌溉效率最低的时段）全力喷洒草坪或者在下大雨时洒水的情况并不少见。一些公司，如奥斯汀的 Accuwater 公司，结合了传感器、智能软件和网络实时气象资料，能够很好地对这些系统进行控制。

推广太阳能热水器，居民就可以省下烧热水的能量。这一简单的技术方便、可靠，经得起时间的检验，很快就能收回成本。但可能因为这项技术不够前沿，没有得到美国联邦政府的大力支持，市场占有率仍然偏低。

我们也将不得不作出对社会有利的选择，节约能源和水意味着我们可能要放弃对玉米制造的酒精燃料的青睐。



■ 解决方案

技术创新可以减少水和能源之间的竞争性需求。用滴灌来替代喷灌，可以减少蒸发损失（左上图）；气冷发电机可以取代电厂中的水冷设备（右上图）；采用更好的薄膜技术脱盐可以减少能源消耗（左下图）。

我们应该认识到，水的价值超过世上的任何东西。我们必须摆脱长期以来形成的、认为“水应该免费或廉价”的思想，给水制定一个现实的价格。否则就会给人们留下一个错误的讯号——“水资源可以随便浪费”。

一旦制定了真实的水价，美国或许就可以更进一步，让消费者和监管机构了解到水价对能源价格上涨的影响，以及能源价格对水价上涨的影响。这两项指标可以促使我们直面这一两难困境，节约资源，并最终找到有效的解决方法。

决战淡水危机

由于淡水需求量不断增加，地球上淡水资源的供给正变得越来越不可预料。现有科学技术能够阻止全球水危机，但须尽快付诸行动。

撰文/彼得·罗杰斯 (Peter Rogers)
翻译/夏军

淡水危机

- 全球淡水资源正受到用水需求不断攀升的威胁。不断增长的人口，导致饮用水、卫生、健康、食品、生产、工业等方面用水需求的增加。同时，气候变化也被认为会加剧干旱缺水问题。
- 政策制定者需要了解，如何在破坏滋养水源的生态系统的前提下，提供充足的淡水。
- 现有的低环境影响技术途径有助于防治水资源短缺，增加淡水供给，例如改进的海水淡化方法等。
- 各级政府需要尽快建立起有效保护水资源的政策，并加大在基础建设方面的投资。

我有一位朋友居住在印度首都新德里的一个中产阶级小区。尽管该地区每年都有相当数量的降雨，但他每天早晨都会被扩音器里刺耳的通知声吵醒——那是在提醒人们，淡水只会在接下来的一个小时内供应。他只能匆匆忙忙地在浴缸和其他容器里灌满水，以维持一整天的用水。新德里大面积缺水的主要原因在于，水资源管理者在几年前决定，把上游河流和水库的水大量取用到农田灌溉，导致了城市用水紧缺。

我儿子居住在气候干旱的美国凤凰城，很少看到洒水装置为草坪和高尔夫球场洒水。尽管凤凰城位于美国索诺兰沙漠 (Sonoran Desert) 腹地，他却享受到了真正无限制供水的快乐。当地政府允许将农场灌溉用水引入城市和郊区提供生活用水，并把再生水用作城市景观用水和其他非饮用水。

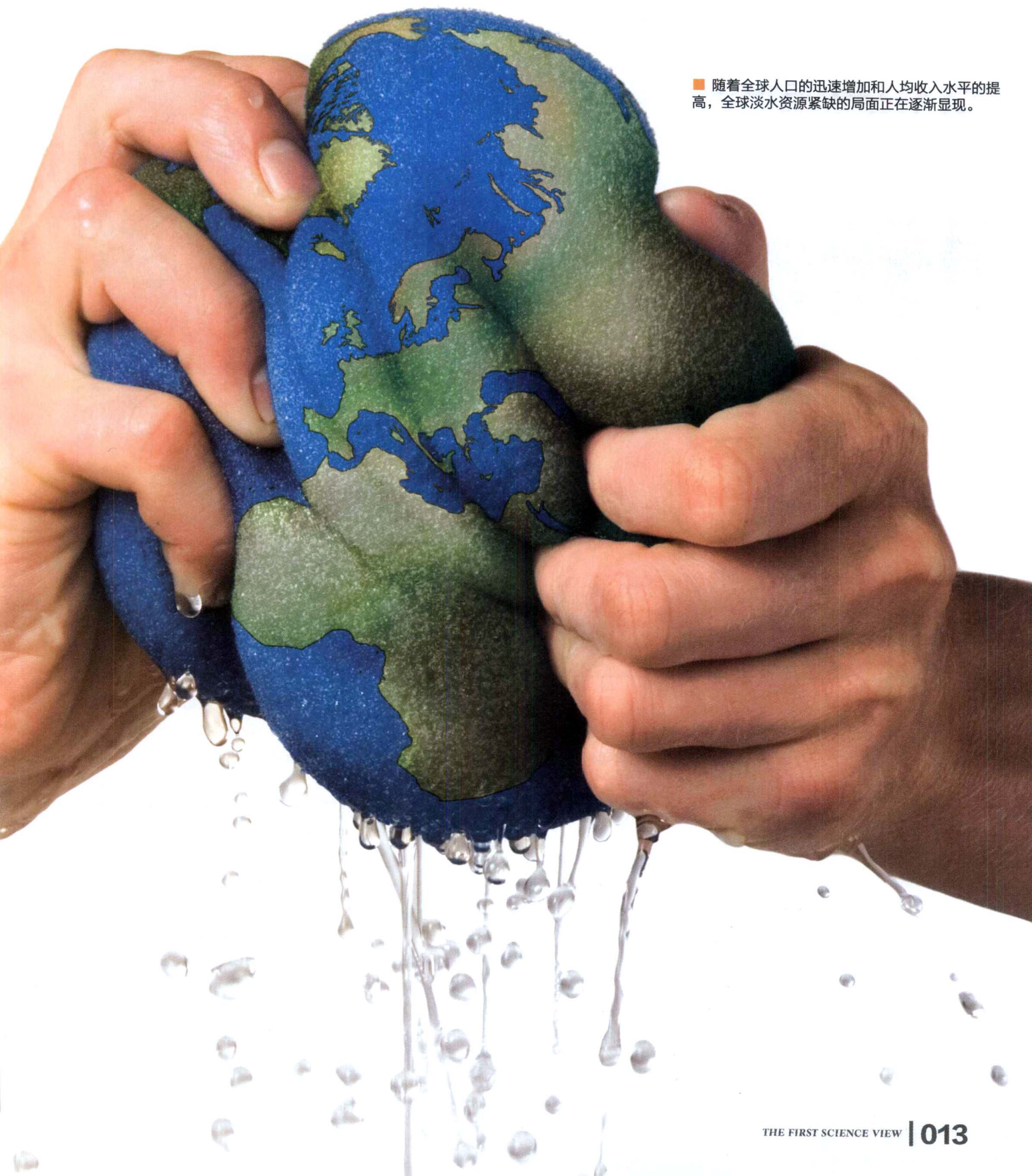
与新德里和凤凰城一样，在如何管理水资源方面，世界上任何一个地区的政策制定者都掌握着影响力巨大的决策权。如何明智地行使这项权力变得越来越重要，因为在全球许多地区，淡水资源的需求量正在增长，甚至超过了当地的淡水供给量，而且这种状况没有任何减缓的征兆。全世界每6个人中，就有一个因无法获得安全的淡水而饱受折磨，总人数超过了10亿！根据联合国提供的资料，到2025年，全球半数以上的国家将面临巨大的供水压力（即淡水供应量无法满足民众日益增长的用水需求），甚至出现供水不足。到21世纪中叶，世界上3/4的人口将面临严重的淡水资源短缺。

科学家估计，缺水问题会越来越普遍，主要原因是世界人口正在增长，很多人变得更加富有（因此用水需求也大大增长），全球气候变化也会导致许多地区干旱加剧、供水量减少。此外，许多水源还受到不恰当垃圾处理、工业废弃物排放、农业化肥污染和海水倒灌等的严重威胁，导致可利用的淡水资源进一步减少。淡水短缺能够导致饥饿、疾病、社会动乱甚至武装冲突，因此，一旦对这一问题处置失当，就会引发严重的危机。

值得庆幸的是，已知的科学技术和政策措施能在很大范围内保护现有淡水资源，并且寻找到更多的水源。我会讨论几项看起来特别有效的技术和政策，但现在最紧迫的就是实际行动。各国政府和各级主管部门必须建



■ 随着全球人口的迅速增加和人均收入水平的提高，全球淡水资源紧缺的局面正在逐渐显现。



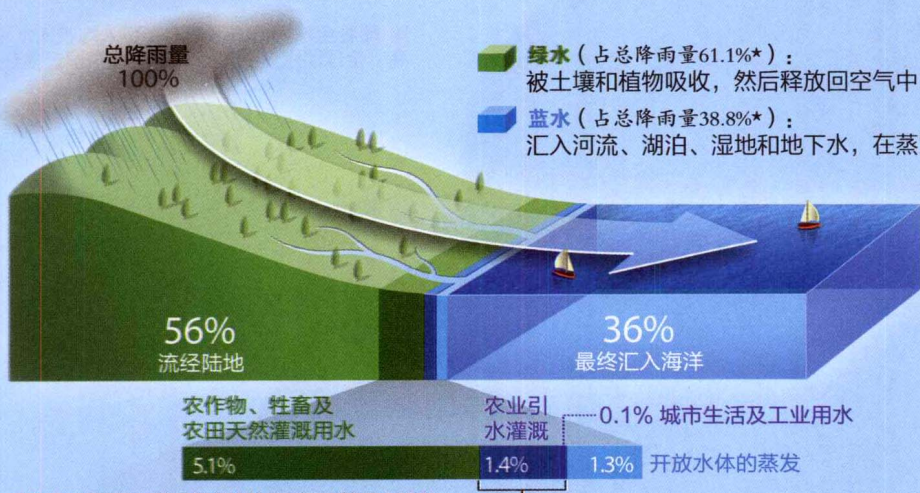
现状



水量充足，但并不总是“按需分配”

每年，从天而降的雨水总量高达11万立方千米，相当于世界最大淡水湖——苏必利尔湖（Lake Superior）蓄水量的10倍左右。如果这些雨水能够在人们需要水的时候输送到用水地点的

话，它们就能轻而易举地满足地球上每一个人的用水需求。但是大部分雨水都无法采集（上图），分布也极不均匀（下图）。



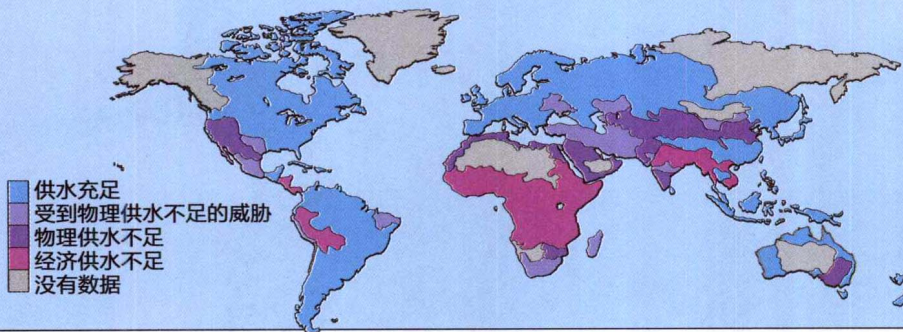
*由于水循环，这些数据相加可能不等于100%。

雨水到哪儿去了？

落在陆地上的雨水超过半数都不可能直接被收集或储存，因为它们直接被地面和植物吸收，并蒸发释放到了空气之中，这部分水被称为绿水；其余的雨水汇入了河流、湖泊、湿地和地下水，成为能被我们直接取用的水资源，这部分水被称为蓝水。从这些天然水体中引水灌溉，是人类利用淡水资源最重要的方式。城市生活用水及工业用水只占淡水资源总量很小的一部分，但这部分用水需求量的急剧增加往往导致周围环境用水被侵占。

世界水资源供给现状

南北美洲和北欧的大部分地区水资源供应充足，但其他地区或多或少遭受到供水不足的折磨。有些地区的缺水是“物理”原因造成的，即当地用水需求超过了实际的供水能力。其他地区，包括中非、印度次大陆部分地区和东南亚，缺水则是“经济”原因造成的，也就是说尽管当地水资源充足，但技术低下、管理不善和经济落后使他们无法取用到足够的淡水。



立和实施具体计划，实施政治、经济和技术上的各项措施，确保现在和未来几十年内的用水安全。

短缺的水资源

许多地区淡水供不应求，一些河流甚至出现经常性断流。

要解决世界水资源问题，首先必须了解每个人究竟需要多少淡水，以及世界不同地区影响淡水供需的不同因素。斯德哥尔摩国际水资源研究所（Stockholm International Water Institute）的马林·法尔肯马克（Malin Falkenmark）和其他专家估计，平

均来说，地球上每人每年最少需要消耗1 000立方米淡水——相当于奥运会标准游泳池蓄水量的2/5，以满足饮用、卫生及生产粮食用水。人们是否能够获得足够的淡水，在很大程度上取决于他们居住在哪里，因为全球水资源的分布差异巨大。

在人口众多且干旱肆虐的不发达国家或发展中国家，供应充足淡水成了一项特别艰巨的挑战，因为这些地区水的需求量高而供给量低。尼罗河、约旦河、黄河、恒河等河流不但超负荷供水，近年来甚至出现了经常性长期断流。在新德里、北京和其他许多蓬勃兴起的大都市，地下水位也都明显下降。



每个人用于饮用、卫生和种植粮食所需的最低用水量，相当于奥运会标准游泳池蓄水量的2/5。

即使在发达国家, 淡水资源短缺问题也越来越普遍。以美国为例, 曾经发生的严重干旱, 让佐治亚州北部和美国西南大片地区的许多城镇陷入了用水恐慌。米德湖 (Mead) 和鲍威尔湖 (Powell) 就是两个最明显的例子。这两个人工湖的湖水都引自早已超负荷供水的科罗拉多河。湖水中的碳酸盐会凝结在湖边峡谷两岸的山壁上, 记录下每年的水位高度, 就像用久的浴缸壁上会出现层层水垢痕迹。从这些记录中可以看出, 两个湖的水位都在持续下降, 当年的高水位如今已经高悬在峡谷山壁之上了。

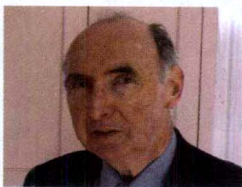
●●● 经济规律

让水资源按照经济规律自由分配, 往往让穷人没水用, 甚至连环境和生态用水都无法保障。

当然, 地理位置并不能完全决定某一地区水资源的可利用性, 支付能力也会起到相当重要的作用。美国西部流传着这样一句谚语: “水往低处流, 钱却能让水往高处走。” 换句话说, 当某种资源供应不足时, 经济规律就会牺牲低效益行为, 把这种紧俏资源集中投放到高效益行为中。因此, 有钱人有水用, 其他人就没水用。

这种分配方式往往让穷人或周边生态系统中的动植物得不到充足的供水, 正好验证了西方的另一句格言: 再好的初衷也会被追求经济效益最大化的现实所扭曲。

澳大利亚东南部的墨累-达令河流域 (Murray-Darling River Basin), 是世界上河流水资源分配管理最为成功的地区之一。几十年前, 当地政府和农学家按照均衡和经济效益最大化原则, 在葡萄种植者、小麦种植者和绵羊饲养者这三种用水者之间, 进行了科学合理的水资源分配。为了谋求效益最大化, 当地的水资源规划者甚至允许用水者之间进行水权交易。除此之外, 当地政府还给周边生态系统及动植物特别预留了部分水资源——



本文作者

彼得·罗杰斯 1966 年在美国哈佛大学获得博士学位, 现任哈佛大学环境工程学教授及城市与地区规划学教授。罗杰斯还是全球水伙伴组织 (Global Water Partnership) 的资深顾问, 该组织致力于改善全球水资源管理措施。他还获得过古根海姆基金会 (Guggenheim Fund) 和二十世纪基金会 (Twentieth Century Fund) 的研究资助。

本文译者

夏军教授, 中国科学院水资源中心主任, 主要研究陆地水文学及水资源, 是我国水文水资源重点学科中青年学术带头人之一。他在这里感谢他的博士研究生李浩、潘新瑶和张依章在本文翻译过程中给予的协助。

这些“用水者”最容易被人忽视, 但它们才是确保该地区良性健康发展的关键。以大大小小的水生及沼泽植物为例, 正是它们在水流经它们生活的生态系统时努力清除人类排放的废弃物, 才让许多水源免受严重污染。

然而事实证明, 规划者预留的水量不足以满足当地生态系统的需求。在周期性干旱发生时, 特别是过去 6 年来, 给当地造成重大经济损失的特大旱灾暴发时, 生态用水的短缺尤为

明显。墨累-达令河流域周边地区水源干涸, 近年来又数次遭遇大范围自然火灾的侵袭。

所有能够产生经济效益的用水者都“合理”分配到了充足的淡水, 唯独没有考虑到自然环境的需求; 当原本就不够充足的水量供应在干旱时降至临界水平, 自然环境就付出了惨重的代价。如今, 墨累-达令河流域管理委员会正急于寻求解决办法, 让该地区从水资源整体分配不合理造成的

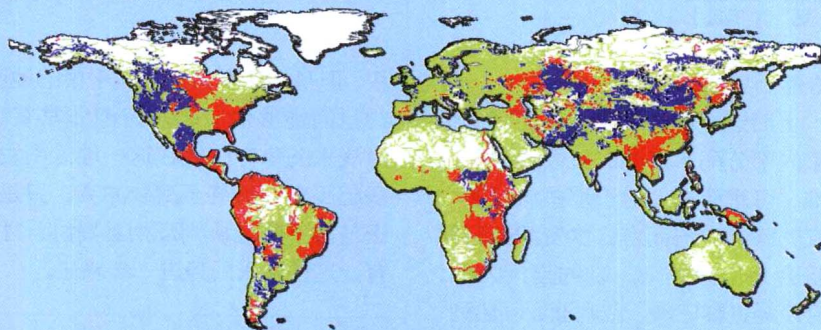
淡水危机日益显现



气候变化和人口增长带来的压力

计算机模拟了气候变化和人口及经济增长到 2025 年对全球可利用水资源的影响, 结果表明气候变化本身就会使许多地区 (上图) 面临水资源短缺。但是人口增长会带来更严重的危险。如果不采取全球统一的节水措施, 人口增长和气候变化会使出现水资源匮乏的地区越来越广 (下图)。

气候变化会导致水资源短缺……



……但人口增长加上气候变化就可能导致灾难性后果。

