

策划编辑：邹燕红
责任编辑：张潭

微信号：Waterpub-Pro



唯一官方微信服务平台

销售分类：环境科学

ISBN 978-7-5170-4898-5



9 787517 048985 >

水管理、水安全与应对气候变化：早期影响和必要响应

Water Management, Water Security and Climate Change Adaptation:
Early Impacts and Essential Responses

中国水利水电出版社

全球水伙伴技术委员会技术文件

第14号

水管理、水安全与应对气候变化：早期影响和必要响应

Water Management, Water Security and
Climate Change Adaptation:
Early Impacts and Essential Responses

[美国] Claudia Sadoff (克劳迪娅·萨多夫)

著

[南非] Mike Muller (迈克·穆勒)

全球水伙伴中国委员会 (Global Water Partnership China) 译

 中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

摘要

气候变化影响人类、生态环境和经济的主要媒介是水。因此，水资源管理应首先将应对气候变化作为重点。然而解决水问题并非是对气候变化的全部，还需要广泛采取措施；水既是气候变化问题的一部分又是应对气候变化的解决方案之一。因此，水应该是我们首先关注的问题。

在全球范围内气候变化对淡水资源的整体影响是不利的。但其中还有很多未知因素。我们对气温升高与降雨变化之间的关系已经做了详细的模型实验，但尚未建立气候变化对河流流量和地下水回灌的影响模型。积雪和冰川融化带来的难题以及对水质的影响都有待进一步研究。

应对气候变化的主要行动是强化水管理。要掌握气候变化当前的变量和未来的动态，因为这些会影响到所有用水部门之间的供需关系。要加强能力建设和及时掌握动态，这样才能更好地进行水资源管理。在提高应对当前气候挑战的能力的同时，也需提高适应未来气候变化的能力。

我们通常将实现和维持水安全定义为挖掘水的潜在生产力和减少水的破坏力，这既构成应对战略的核心，也是我们的行动框架。对于尚未实现水安全的国家，气候变化将加剧实现水安全这一目标的难度；对于已经实现水安全的国家，维系水安全也不容易。我们都需要另辟蹊径管理好水资源。

水安全的重点是提前准备一套完备的应对方案；让弱势群体和服务匮乏地区的人们直接受益，从而推进“千年发展目标”的实现。与此同时，对气候风险长期管理制度加以完善并加强能力建设。许多国家都有意继续在水管理领域投资，不仅是为了实现水安全，还

希望通过更加合理的用水进一步提升经济、社会和环境效益。

实现水安全需要我们在三个方面进行投资：更加便利地获取更为详细的信息（Information）、建立强大和适应变化的机制（Institutions）以及修建天然和人工储存、运输和处理水的基础设施（Infrastructure）。这三项需求应在项目、社会各阶层、国家、流域和全球范围等所有层面加以体现。对机构和能力建设等所谓“软件”和基础设施“硬件”投资加以平衡和排序是一项复杂的工作，信息、磋商和适应性管理不可或缺。此外，在平等、环境和经济之间确定优先顺序时，我们不可避免地会面对难以取舍的情况。“适应性”水管理的最佳境界是实现三“I”（信息、机制和基础设施）的最佳组合，从而使三“E” [公平（Equity）、环境（Environment）和经济（Economics）] 之间取得完美平衡。

水资源综合管理（IWRM）既是管理动态因素的一种方法，也在各层面间起到串联作用。水资源综合管理是国际上通用的切实可行的水管理方法，它既兼顾水循环的整体特征，也考虑平衡关系的重要性；水资源综合管理还强调有效机制的重要性；其本身就具有适应性。

实现水安全需要资金。有效的水管理是应对气候变化的关键，然而在最贫穷国家这是最薄弱的环节。这些国家目前正遭遇着最为多变的气候影响，还将面对未来气候变化所带来的最为不利的影响。这些最贫穷国家需要大量的投资。

因此，当务之急是将国家水资源管理能力、机制和基础设施方面的投资作为应对气候变化适应性投资的重点。只有为可持续发展注入资金才能获得适应性收益。重点投资将有助于确保机构长期、持续地开展能力建设，使其有能力应对多重变化，同时也将防止气候变化融资手段复杂化和分散化以及规划碎片化和只着眼于项目。

对于跨界河流流域而言，任何国家的最佳应对投资都可能超越国界的范畴，如建立流域监测系统及在邻国共同投资建设或者共同运营基础设施。一旦获得专项适应性投资，我们应将各国的利益进行整合，以合作的方式开展跨界流域管理。这不但经济有效，还可使沿岸国家获得最大的利益。

前言

全球水伙伴的宗旨是共建水安全世界，使社会经济发展的需要得到满足；使水灾、旱灾和水传播性疾病得到有效防御，使环境得到保护。全球水伙伴的使命是为各个层面实施可持续水资源管理和开发提供支撑。

“2009—2013”五年战略中明确了全球水伙伴在未来几年的宗旨和使命。全球水伙伴将积极探索保障水安全和应对重大挑战的解决方案。毋庸置疑，气候变化将是其中的挑战之一，它会给世界大部分地区的可用水量及水循环特性带来根本性变化。

正因如此，《水管理、水安全与应对气候变化：早期影响和必要响应》一书重点关注气候变化通过哪些途径对水造成影响，更为重要的是水管理能对缓解气候变化以及应对气候变化造成的不可逆转影响作出多大贡献。

展望2009年在哥本哈根举行的联合国气候变化框架公约（UNFCCC）缔约国第十五次会议以及会后将采取的行动，我们得到这样一个关键信息，即水是气候变化影响人类、生态系统和经济的主要媒介。

我们需要围绕水资源管理能力建设采取一系列措施。其传递了第二个关键信息：目前正在研究中的新的适应性手段应当支持上述措施的实施。《水管理、水安全与应对气候变化：早期影响和必要响应》的出版将为目前有关如何应对气候变化及其后果这一话题作出重要贡献。虽然水资源管理并不能给出所有答案，但应当将其视为适应气候变化的初期重点领域。

我十分感谢克劳迪娅·萨多夫在与共同作者迈克·穆勒和作家萨拉·卡里格一起为准备本技术文件所付出的艰辛劳动。另外，

我还要感谢全球水伙伴水资源综合管理和气候变化工作组的成员，特别是迈克尔·斯库勒斯、瓦蒂姆·索科洛夫和汉博托·佩纳，他们提供了地区案例研究的材料。虽然各位作者在与全球水伙伴技术委员会的讨论中受益匪浅，但本技术文件只反映作者的观点，不代表技术委员会或全球水伙伴的立场。本技术文件不求面面俱到，只着重关注一些当务之急，对其他同行已发布的现有资料进行补充。

我坚信本技术文件将成为非常有价值的工具，将充分体现全球水伙伴致力于应对气候变化带来的挑战，为解决关键水安全问题所付出的努力。

全球水伙伴技术委员会主席

哈特穆特·布吕尔

目录

摘要

前言

1 水与应对气候变化：问题的构成	1
1.1 水是早期气候变化影响的主要媒介	1
1.2 水安全是适应气候变化和当前的重点	4
1.3 投资水安全就是对应对措施投资	8
2 水管理面临的气候变化挑战	12
2.1 自然科学	12
2.2 社会和经济动态	23
2.3 综合因素	44
3 通过改善水管理应对气候变化	50
3.1 适应的首要目标和框架：水安全	51
3.2 通过水资源综合管理保障水安全	53
3.3 应对气候变化的水资源综合管理	66
4 为适应性水资源管理融资	72
4.1 水管理融资的核心是为应对气候变化筹措资金	75
4.2 跨界融资：为合作应对提供激励	77
5 结论	78

专栏目录

专栏 1	以埃塞俄比亚为例说明降雨变化与经济增长的联系	6
专栏 2	气候变化条件下的投资决策：莱索托高地项目	10
专栏 3	气候变化对智利-阿根廷安第斯山脉的影响	20
专栏 4	缺水导致依赖水电的国家缺电	34
专栏 5	大坝引发的争议：莫桑比克的姆潘达·恩库瓦 (Mphanda Nkuwa)	35
专栏 6	为水电和气候变化融资	37
专栏 7	地中海地区的气候变化：可能的威胁与应对措施	46
专栏 8	新加坡通过开创水重复利用和采集实现了水安全	52
专栏 9	为了解气候变化对水资源影响拟定的行动计划 (摘自《21世纪议程》)	55
专栏 10	把水纳入气候议程：中亚案例研究	59
专栏 11	艰难的取舍：南非卡万戈 (Kavango) 河案例	65
专栏 12	莫桑比克千禧年大洪水的经验教训	68
专栏 13	气候变化给非洲撒哈拉以南城市带来的成本支出	74

图目录

图 1 埃塞俄比亚：降雨、GDP 和农业 GDP	7
图 2 降水量变化预测图	13
图 3 墨西哥及中美洲地区 2080 年径流变化预测	15
图 4 A1B 设想下年极端降水量变化	18
图 5 2004 年世界水力发电量及水力发电潜力柱状图	36
图 6 对投资水利基础设施和投资水管理进行平衡和排序	63
彩图 1 埃塞俄比亚：降雨、GDP 和农业 GDP	79
彩图 2 降水量变化预测图	79
彩图 3 墨西哥及中美洲地区 2080 年径流变化预测	79
彩图 4 A1B 设想下年极端降水量变化	80
彩图 5 2004 年世界水力发电量及水力发电潜力柱状图	80

表目录

表 1	气候变化对主要农业系统影响的类型	27
表 2	2003 年电网可再生发电能力统计	33

1 水与应对气候变化：问题的构成

许多可预见的气候变化会通过水产生影响。由于降雨和河流流量模式改变会给所有用水户带来影响，不断增加的不确定性和农作物水需求的改变对靠天吃饭的贫困农民尤其构成威胁，愈发严重的旱灾、水灾、台风和季风令越来越多的人不堪一击，随着水传播疾病事件、冰川融化、冰川湖导致的水灾和海平面上升的出现，风险和不确定性也在不断增强。

值得关切的是气候变化影响对贫困地区最为明显，而这些地区无论是现在还是将来都处于无力应付气候变化的状态。虽然影响的确切本质和程度还不能绝对肯定地被预测，水资源管理的长期本质却意味着必须现在就采取相应的对策。幸运的是，良好的水资源管理将有助于驾驭当前多变的气候问题和由此造成的冲击。目前，世界上最贫困国家发展的根本问题是提高水资源管理水平。

1.1 水是早期气候变化影响的主要媒介

人们对全球变暖和相关气候变化所带来挑战的了解越来越深入，对这些挑战的规模和程度也逐渐取得共识。联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）最新的一份综合报告^①显示，这些挑战

① 即《联合国政府间气候变化专门委员会第四次评估报告》第二工作组的报告——《气候变化 2007：影响、应对和脆弱性》，由帕里（M. L. Parry）、坎及阿尼（O. F. Canziani）、帕鲁蒂科夫（J. P. Palutikof）、范德林登（P. J. van der Linden）和汉森（C. E. Hanson）编辑，剑桥大学出版社 2007 年于英国剑桥出版。

已不再仅仅是潜在的威胁，而是已成为无法回避的现实。

因此，很有必要对迅速发生的气候变化所造成的影响（适应）和测定推动变化的诱因（减缓）给予足够重视。正如政府间气候变化专门委员会指出的：“不论是否采取减缓措施，都需要采取适应性措施。”^① 我们要把重点从仅仅减缓气候变化过渡到采取更加一体化的措施，既包含减缓措施又包括适应性措施。

该报告还明确指出，气候一旦发生改变，水资源将是受影响最为严重的领域。这已不是新发现，该论断首次出现是在 1990 年举办的第二次世界气候大会科学专题会的最终声明里。该声明指出：“气候变化最大的影响体现在水循环和水管理体系中，以及由此对社会经济体系产生的影响。”^②

气候变化的某些影响体现了水对其他所有生命的作用。灌溉农业受其影响将不得不适应新的降雨模式。医疗保健体系将不得不对疾病发病率的变化，如由于生态变化导致的霍乱和疟疾。公路和建筑等各类基础设施以及人类的安居之所也需改变，以适应降雨量及河流流量的变化。

气候变化的影响会在水环境中加剧。人们预测得出，仅仅几摄氏度的温度变化以及随之发生的降雨量变化就可导致河流平均流量及可支配用水量在某些地区增加 10%~40%，而在另一些地区则减少 10%~30%。

温度的微小变化所带来的“杠杆”效应将造成河流流量发生巨大变化，给不断增长的城镇居民用水需求以及给为了满足居住和运输需求而建设的基础设施带来影响。可持续性降低，会妨碍工业企业的发展，使满足人们需求的农业产品供应难以维系。

此外，人们预测全球气候将以水旱灾害频发和强度变大为主

① 见《联合国政府间气候变化专门委员会第四次评估报告》第三工作组的报告——《气候变化 2007：减缓气候变化》，剑桥大学出版社 2007 年于英国剑桥和美国纽约出版。

② 见第 45 届联合国大会秘书长报告《履行 44/207 决议为我们自身和后代保护全球气候所取得的进展》附件第 9 页（1990 年 11 月 8 日）。

要特征。相比温度变化和降雨模式变化所带来的危害，民众会更容易感受到愈加频繁的风暴洪水的危险性，因为媒体对于风暴洪水造成的人员伤亡和破坏场面均有报道，如 2005 年新奥尔良的卡特里娜飓风（Hurricane Katrina）事件和 2007 年特强气旋风暴锡德（Cyclone Sidr）导致的孟加拉国大洪水，后者夺去了 3400 条生命并让近 100 万人无家可归。

由于水环境下的气候变化影响会加剧，因此其危害远远超出了水行业的范畴。如果不了解气候变化与水环境的相互作用，其他部门应对气候变化的策略在实际工作中可能会导致气候变化的进一步加剧，使人们以及所处环境在面对自然和人为灾害时变得更加不堪一击。

由于急于提高生化燃料的产量，许多地区面临着缺水带来的巨大压力，该问题已经出现在我们面前。另外一个例子是肯尼亚的反对灌溉蔬菜和花卉出口运动，理由是货运飞机对环境产生破坏。这些抗议活动主要发生在商业化灌溉普及的地区，尽管提高灌溉用水效率创造了就业机会，但有可能导致大范围失业，从而激化这些资源贫乏的农村地区存在已久的矛盾。

除此之外，不考虑气候变化因素解决水问题会加剧其不利影响。防洪工程也许可以保护生活区不受“一般性”洪水的袭击，但是基础设施无法抵御灾害时，这些地区将面临着巨大风险。例如 2008 年发生在尼泊尔和印度克溪（Koshi）河上的洪水，受灾人口达到 300 多万。在气候变化条件下，洪涝灾害极端事件的破坏程度可能会进一步加剧。如 2005 年新奥尔良发生洪涝灾害时，密西西比河上修建的防洪设施导致湿地面积逐渐萎缩，而这片湿地本可以起到缓解卡特里娜飓风的作用。还有一些应对缺水的方法，如耗费能源的海水淡化的大量使用也会对气候变化产生更多的负面影响。

因此，无论是降低风险还是提出解决措施，水都在应对气候变化问题上起到核心作用。但并不是说做好水管理一切问题就迎刃而解了，还需要其他部门采取相应措施。水既是气候变化问题的一部分，也是解决气候变化措施的重要组成部分。

1.2 水安全是适应气候变化和当前的重点

重视水安全可作为初期行之有效的应对战略，通过给弱势群体和贫困人口带来直接效益，从而推进“千年发展目标”的实现，同时强化长期气候风险管理制度并提高相应能力。

但“水安全”究竟意味着什么？人们通常将“水安全”与“粮食安全”和“能源安全”相提并论，即：能获得充足供应的状态^①。我们这里强调水资源的安全性，水安全的定义范围要广，水的许多破坏作用都会在气候变化作用下放大。

根据格雷和萨多夫（2007年）的提法，我们把水安全定义为：“水的数量和质量均能保障人们的身体健康以及生活和生产需要，并且涉水风险在可控范围之内^②。”

为实现水安全，需要在水的储存和运输、废水处理和重复利用以及健全制度、信息资料和相关能力等方面进行投资，制订计划并应对气候变化^③。这类投资将有助于社会适应长期气候变化、妥善处理当前的气候变量和由此引发的冲击，从而为世界上最贫困的人群和国家提供安全保障。

有些国家希望在水安全之外利用节水等措施获得更大的经济、社会和环境效益。在气候变化条件下实现可持续性水安全，以及超越水安全范畴提升水对经济和社会福祉的贡献，这两点都是采取适应性措施的核心问题。

① 联合国粮农组织《世界粮食首脑会议行动计划》（1996年罗马）把粮食安全定义为：“只有当所有人在任何时候都能够在物质上和经济上获得足够、安全和富有营养的粮食来满足其积极和健康生活的膳食需要及食物喜好时，才实现了粮食安全。”（见 <http://www.fao.org/docrep/003/w3613e/w3613e00.HTM>）还应指出的是，粮食安全在很大程度上与水安全有关，不过这层联系可通过粮食进口来避开。

② 见大卫·格雷（David Grey）和克劳迪娅·萨多夫2007年发表于《水政策》第9卷第6期第545~571页的《沉没还是游泳？增长和发展的水安全》。

③ 这里所说的制度，广义而言，不仅包括正式组织机构，还包含直接影响水分配、水质、水权和水价、资产管理和提供服务的行政系统、政策、规章和激励机制。

对于未实现水安全的地区，气候变化将加剧实现水安全的难度

目前仍有许多国家没有实现水安全。降雨稀少和水资源匮乏时贫困地区的贫困程度会加重，并且当地矛盾更容易被激化。另外，洪水等灾害让贫困人口曝露于毁坏经济和健康的风险之下。

埃塞俄比亚等国农村人口的生计，甚至人的生命，主要取决于变幻莫测的降雨量（见专栏 1）。几次干旱就会使该国多年来逐渐积累的繁荣进程和社会进步功亏一篑。非洲其他国家的情况也是如此，肯尼亚、津巴布韦和埃塞俄比亚等国的经济命运都与降雨量紧密联系在一起。萨赫勒（Sahel）地区也是一样，长期干旱造成的水匮乏加剧了当地的社会矛盾。

尽管大多数国家都意识到降雨量与经济繁荣和社会和谐关系紧密，但没有哪个国家能像非洲南部的小国莱索托那样对此体会得如此深刻。在那里，“Khotso! Pula! Nala!”（“和平、雨水和繁荣”）是传统的问候语和国家的座右铭。在邻国博茨瓦纳，“Pula!”不仅代表雨水，也暗指“运气、生活和繁荣”，这也是当地人认为在婚礼或其他活动时下雨非常吉利的原因。

在亚洲、中美洲和加勒比地区，洪水对贫困人群造成的灾难性影响比旱灾严重得多。从越南和菲律宾到洪都拉斯、尼加拉瓜和古巴，飓风和台风造成巨大破坏和洪水泛滥，冲走人们的财产，使当地人长期贫困，并加剧了当地经济的脆弱性。

那些对极端气候习以为常的地区遭遇的灾害事件表明气候正在发生变化。例如，2005 年的洪水使印度孟买陷于瘫痪，短短 24 小时的降雨量接近 1000mm，这超过了大多数国家一年的降雨量。这种“两千年一遇的洪水”将在更多的地区频繁出现，使本已贫困不堪的地区更加贫困。

在水灾和旱灾变得越发难以预测且难以应对的情况下，气候变化将使水安全的目标更加难以实现。

在已实现水安全的地区，气候变化会通过加大或改变风险加剧破坏力

在过去的几十年里，致力于安全和可靠供水的项目都将重点放在体制和财务方面，因为技术基础虽然成本很高但并不过分复杂。

同样，许多国家的农村地区都在自然资源的富裕和不足之间寻找平衡点，并利用与世界更广泛接触的机会提高生活质量。发展中国家利用水电建立工业基础，水力发电迄今仍是世界可再生能源的最主要来源。

可是，如果水安全所依赖的基础遭受破坏，水安全就会成为幻影。

在这种情形下，气候变化会构成严重威胁。许多国家的水供给都是以假设水库能提供一定供水为前提的。如果平均降雨量减少或旱灾持续的时间比预期长，那么这种假设将无法成为现实，居民供水将面临风险。农户和其他大型用水户也面临相同的威胁。无论是印度、尼泊尔、肯尼亚、乌干达，还是智利和巴西，旱灾给当地带来的更为严重的影响是电力供应减少，因为降雨减少就意味着通过水轮机发电的水也会减少（见专栏 4）。

不过悲观并非笼罩所有地区。人们预测，有些地区降雨量会增加从而获取更多可用水量，虽然还存在洪水和以水为媒介的疾病蔓延等问题。

在气候变化背景下实现并维持水安全是当前采取应对措施需直接面临的挑战

实现水安全已成为发展的一项根本任务。除了驱动水循环的自然天气变异，还有许多需求对这一基础和定量资源构成竞争。这包括由于工业增长、逐步改善的生活以及膳食和生产模式的变化（如生物燃料生产的扩张）导致的用水需求增长。在许多国家，人类生活垃圾和工业废料造成的污染也在减少可用水量。

如果把气候变化这个复杂因素加进来，水管理者及各国努力满足新需求所面临挑战的复杂性将进一步被加剧。因此，问题的关键不仅是在气候变化条件下实现水安全和承受即将到来的所有压力，还要考虑如何将水安全持续下去。

专栏 1 以埃塞俄比亚为例说明降雨变化与经济增长的联系

水文变量严重阻碍了埃塞俄比亚的经济增长，使该国贫困状况无法得到改善。据估计，水文变量带来的经济损失超过该国平均年增长潜力的 1/3，而经济增长这方面的损失会随着时间的推移变得愈发复杂。

包含水文可变因素的经济模式显示，由于该因素的存在，埃塞俄比亚的年均 GDP 增长率下降了 38% 之多^①。埃塞俄比亚的人均水库蓄水能力不足北美洲的 1%，无法应对与之相比变化幅度更大的水文变量。

埃塞俄比亚的经济增长对水文可变因素非常敏感，即使在 12 年内仅出现一次旱灾（历史平均值是每 3~5 年出现一次），整个 12 年周期的平均增长率仍下降 10%。水文可变因素的影响可通过降雨对陆地、农业产量、耗水工业和电力生产的直接影响反映出来。

埃塞俄比亚缺乏直接减少水文可变因素的水资源基础设施和相应机制，同时通过促进国内受影响（亏损）地区和未受影响（过剩）地区之间的农业贸易来减轻可变因素对经济影响的市场基础设施也未建立起来，因此在更广泛经济体范围内，在进口、价格和收益效应作用下，可变因素的影响被进一步扩大。整体影响表现为埃塞俄比亚的经济增长与降雨牢牢捆绑在了一起（见图 1）^②。

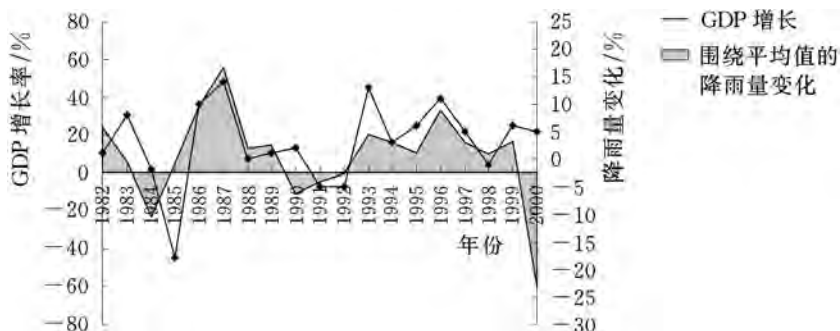


图 1 埃塞俄比亚：降雨、GDP 和农业 GDP（见彩图 1）

资料来源：世界银行 2006 年在华盛顿出版的《管理水资源以最大化可持续增长：埃塞俄比亚的国家水资源援助战略》。

^① 该数字是在经济体范围内一个随机多市场模型基础上得出的，涵盖了降雨不足和降雨过多对农业和非农业领域的影响。

^② 该图表明相互关联的因果关系未必成立。该图提出了一个有趣的问题：为什么雨水过多没有同更低的 GDP 增长联系在一起？一种可能的解释可通过肯尼亚的例子得到体现（世界银行，2005 年）。旱灾导致的经济损失大部分体现为农业收入的减少，而水灾的经济损失则表现为基础设施（例如道路和桥梁）遭受破坏。在计算 GDP 时，农业损失直接降低 GDP。而基础设施遭到破坏后，如果能及时得到修复，则在进行国民经济核算时可视为进行了投资，实际上增大了 GDP。这也就解释了为什么雨水过多反而会带来 GDP 的大幅提高。

1.3 投资水安全就是对应对措施投资

正如减缓气候变化需要社会生产以及能源利用方式发生一系列根本改变一样，应对措施也需要社会管理、利用水（和陆地）资源的方式在某种程度上发生根本改变。

强化水管理行动本身就属于应对行为。改善水资源管理意味着当前要着眼于自然恢复以及未来要采取更有效的应对措施。这些行动需要有水与气候领域翔实的相关信息、科学研究和最佳实践作为支撑。

鉴于水循环的复杂性以及我们必须对水循环管理作出决定这一特性，信息必不可少，具备掌握和应用信息的能力则更为重要。许多国家普遍存在的情况是核心水管理机构——确切地说他们的信息收集能力——都是薄弱环节。其应对当前挑战的能力十分有限，更不用说应对未来的状况，因此提高能力迫在眉睫。他们在面临短期资金压力时，通常会削减预算，从长远角度来看，这会导致这些地区和国家更加脆弱。

应对水管理挑战的措施伴随着文明进程应运而生，新的环境产生许多新需求的同时，也为创新和新思路带来了机遇。从事实际工作的各界人士以及公众都需要尽可能地获取最完备的信息，包括世界范围内提出的问题解决方案，这样会确保他们选择的方案最合适，不至于在未来陷入困境。在信息搜集和交换方面需要更多的投资，这样才能确保从事实际工作的各界人士和用水户组成的各类团体作出明智的决策。

需要有能力的机构搜集和分析信息并据其采取行动

我们制定的水政策和措施应当以提高相关机构预测、计划和应对季节性和年度气候可变因素的能力为宗旨，以作为适应长期气候变化的一种战略。为实现水安全和发展目标，用水户和水资源管理者之间应加强沟通，共同提高应对不确定性的能力，有能力应对新的挑战。

我们会在不同层面感觉到气候变化作用下变量影响的逐渐加剧，因此我们的应对措施需要在不同层面展开。无论是农民、商业组织、城市居民还是国家政府，都不得不面对这一难题并作出艰难抉择。由于每一级的决策都会对整体资源造成影响，因此这些决策要想发挥作用就必须彼此一致。

为此，建立有效和集中的体制管理水资源，使其在决策过程中对不同利益相关者提供支撑十分重要。这种体制应当在不同行政管理级别之间建立联系。同时，由于水管理影响到众多其他活动，因此这种体制应当成为政府整体工作的一部分。

需要对三“**I**”（信息、机制和基础设施）进行投资

尽管目前人们普遍认为工程解决方案非常重要，是未来水管理措施不可分割的部分，但其本身不足以解决世界范围内的水资源问题。我们面临一系列社会、经济和政治难题，同样我们也拥有相应的硬件和软件措施来解决这些难题。

实现水安全需要我们在三个方面进行投资：更加便利地获取更为详细的信息（Information）、建立强大和适应变化的机制（Institutions）以及修建天然和人工储存、运输和处理水的基础设施（Infrastructure）。这三项需求应在项目、社会阶层、国家、流域和全球范围等所有层面加以体现。对机构和能力建设等所谓“软件”和基础设施“硬件”投资加以平衡和排序是一项复杂的工作，信息、磋商和适应性管理不可或缺。

同样，在三“**E**”——平等、环境和经济之间确定优先顺序时，我们不可避免地会面对难以取舍的情况。这三方面最基本的要求是在宏观意义上实现可持续发展，并且在微观意义上做好水管理。

“适应性”水管理的最佳效果是实现三“**I**”（信息、机制和基础设施）的最佳组合，从而使三“**E**”（公平、环境和经济）之间取得完美平衡。

专栏 2 气候变化条件下的投资决策：莱索托高地项目

气候变化带来挑战的一个实例是为南非约翰内斯堡城市地区及其周边工业核心区确定新供水水源时所作的决策。当时面临两种选择：

- 对“莱索托高地调水工程”进行扩建，即从奥兰治河（Orange River）水系调水到瓦尔（Vaal）河。奥兰治河发源于莱索托山区，经纳米比亚边境流入大西洋。

- 从大陆分水岭的另一边取水，即从图盖拉（Thukela）河和其他由东海岸流入印度洋的更短、流域面积更小的河流取水，输送到瓦尔河流域。

两种方案造价均非常昂贵，需要超过 10 亿美元的资金，花费 10 年时间来计划和实施，因此作出决策并非易事，并且两种方案的相对成本相差无几。

影响决策的因素包括运营成本的差异（其中一种方案提水成本相对较低）以及政治考虑（莱索托和南非目前签订的条约允许对现有调水方案进行进一步调整，而进一步调整将为莱索托带来大量的资金）。不过资金成本一直是调水总成本的重要决定因素，因此两种方案的相对成本成为了主要问题。但如果作为两种方案基础的水文预测不可靠或不可比较的话，那么这两种方案计算出的单位水成本间的显著差异就变得毫无意义。

在作此类决策时，气候科学只能提供有限帮助。目前南非的降雨量情况表明，西部和西南部地区将变得越来越干旱，东部地区降雨量将维持不变，或可能变得更加潮湿。

在这种情况下，气候预测表明选择东部河流作为水源风险会小一些，因为预计东部河流受气候变化的影响要小，在维持不同水源平衡方面具有一定的优势，水系的调节能力更强。但上述预测的可信度很低，因为不同模型的测试结果并不一致，在缺少准确气候信息的条件下，项目成本信息来源的可靠性不得不大打折扣。不过，最后作出选择莱索托方案的决策却是出于气候之外的其他因素，因为从减排的角度考虑，若选择从东部提水，能源需求将是难以回避的重大问题。

南非水利和林业部表示，选择莱索托高原方案有以下几个原因：“该方案的能源需求较低，水可以通过自流的方式进入南非；而图盖拉方案则不同，必须通过绝壁提水，因此非常消耗能源。此外，选择该方案还能提高目前莱索托高原调水工程一期的水力发电能力，该项目将为莱索托带来实质利益，并给地区带来效益，因为该项目能减少碳排放”（内阁磋商结果，2008年12月4日）。

上述实例说明了为什么许多人认为，水管理者，特别是低收入国家的水管理者，在设计供水项目时不会考虑应对气候变化的内容。同样，在制定投资方案时，也应当以未来气候发展趋势为基础进行设计。因此，目前面临的挑战是通过减少水文循环各阶段互相叠加的不确定性，包括气温预测以及降雨量、蒸发量、吸水量和流量预测，从而完善对未来发展趋势的预测，获取真实可信的河流水量和地下水水量的相关信息。只有更好地对流量进行预测，才能对其进行更好的管理。

资料来源：（南非）水利和林业部2008年12月4日发布的有关瓦尔河水系水资源和调水问题内阁磋商成果的新闻公告，迈克·穆勒2007年发表于《环境与城市化》第19卷第1期第99~113页的《适应气候变化：水管理为提高城市恢复力服务》。

2 水管理面临的气候变化挑战

为了了解我们所面临的挑战，我们需要从自然、社会和经济等多角度来观察气候变化及其带来的影响。对那些对资源构成压力的因素加以考虑也很有帮助，因为这些因素已使我们的应对能力达到极限。

2.1 自然科学

在气候变化对全球淡水循环将产生严重不利影响方面，人们达成了基本共识。政府间气候变化专门委员会指出：

全球范围内，气候变化在未来对淡水系统的负面影响将超过正面影响（高度确信）。到 21 世纪中叶，气候变化导致面临的水紧缺压力上升的陆地面积预计将是水紧缺压力下降的陆地面积的 2 倍。河流流量减少的地区将面临水资源所提供服务的价值大幅降低的威胁。某些地区预计年降雨量会增加，将导致总体供水增加。但这一有利因素在许多地区可能会被雨量增加的负面影响所抵消，降雨变化程度加大和季节性流量改变将增大洪水风险，并对供水和水质带来不利影响（高度确信）^①。

然而，从自然科学的角度来看，人们并未完全了解气候变化

① 见贝茨 (Bates, B. C.)、昆兹维奇 (Z. W. Kundzewicz)、吴 (S. Wu) 和帕鲁蒂科夫 (J. P. Palutikof) 编辑的《气候变化与水》(政府间气候变化专门委员会秘书处于日内瓦出版的政府间气候变化专门委员会技术文件) 的第 3 页。

与水文学之间的联系。我们需要做大量努力来模拟和预测由气候变化引发的水文循环变化，不仅在全球范围内，还要在决策层面重视这项工作。本章将回顾一些关键性技术问题，并将其与政府间气候变化专门委员会水和气候技术小组的最新发现联系起来。

正在发生改变的降雨模式

当前的降雨预报仍旧相对笼统，更倾向于可能性而非确定性（见图 2）。虽然地区预测的精确度正在提高，但这些预报整体上未经检验，只能以此对可能出现的挑战的类别加以描述。这种情况同样也出现在气候变量的另外一个关键因素上，即有关可能出现更多极端事件的预测。

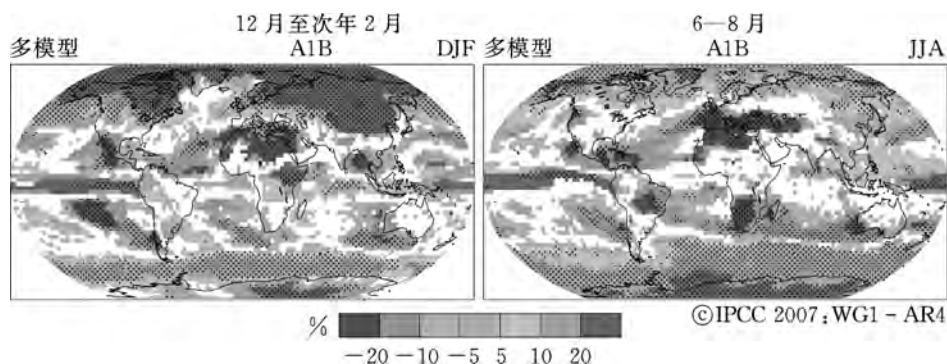


图 2 降水量变化预测图（见彩图 2）

对照 1980—1999 年的情况，对 2090—2099 年间降水量百分比变化情况进行预测。采用的是基于 SRES A1B 情境的多模型平均值。白色区域代表有不足 66% 的模型与变化特征相符，加点区域代表超过 90% 的模型与变化特征相符。

资料来源：政府间气候变化专门委员会 2007 年发布的《决策者摘要》。出自所罗门 (Solomon, S.)、秦 (D. Qin)、曼宁 (M. Manning)、陈 (Z. Chen)、马奎斯 (M. Marquis)、阿韦里特 (K. B. Averyt)、提格诺 (M. Tignor) 和米勒 (H. L. Miller) 编辑的《气候变化 2007：自然科学基础》第 16 页的图 SPM.7。这是《政府间气候变化专门委员会第四次评估报告》第一工作组的报告，由剑桥大学出版社于英国剑桥和美国纽约出版。

2008 年 4 月，政府间气候变化专门委员会的技术小组就这个问题只提到：

各种模型对 21 世纪气候进行模拟，其结果在高纬度地区降水增加方面是一致的（可能性很大），部分热带地区也是如此；而某些亚热带地区和中低纬度地区降水将减少（有可能）。在这些区域以外，各模型预测变化的特征和量级均不相同，导致降水预测具有极大的不确定性。因此，对一些地区的未来降水变化预测应更全面。空间范围越小，各模型对降水的预测数值越不一致^①。

同样，在极端事件的可能性方面，技术小组的总体结论如下。

预计降水强度和可变因素增加，会导致许多地区水灾和旱灾风险加大。21 世纪暴雨发生的频率（或暴雨占总降雨量的比率）在大多数地区很可能会增加，从而形成由雨水导致水灾的风险。同时，内陆地区，特别是亚热带地区和中低纬度地区，夏季正逐渐趋于干旱；此外，地表的极端干旱比例在任何季节都将会有所增加（有可能）^②。

要正确预报未来的降雨和暴风雨并非易事，要预测变化的温度和降雨对河流、湖泊和地下水源可用水量的影响则更加困难。

虽然降雨量和降雨时间对某些用水户，特别是对农民十分重要，但大多数用水户是从河流或湖泊等类似的地表水源或者地下水源来获取水的。尽管这些水源主要靠降雨补给，但降雨量与河流、湖泊或地下水可用水量之间的关系却很复杂。

径流及流量

全球变暖对水环境造成的最为严重的影响恐怕是径流减少。降雨从地面“流过”形成河流，或渗入地下含水层之后涌出形成泉水。在其他条件不变的情况下，更为炎热的气候将导致地表更

^{①②} 见贝茨（Bates, B. C.）、昆兹维奇（Z. W. Kundzewicz）、吴（S. Wu）和帕鲁蒂科夫（J. P. Palutikof）编辑的《气候变化与水》（政府间气候变化专门委员会秘书处日内瓦出版的政府间气候变化专门委员会技术文件）的第 3 页。

加干燥和蒸发量增加，因此汇入河流的水量减少，渗入深层地下含水层的水量也会减少（墨西哥和中美洲地区的情况见图 3）。这就是气候变化在水循环中会被“加剧”的原因。

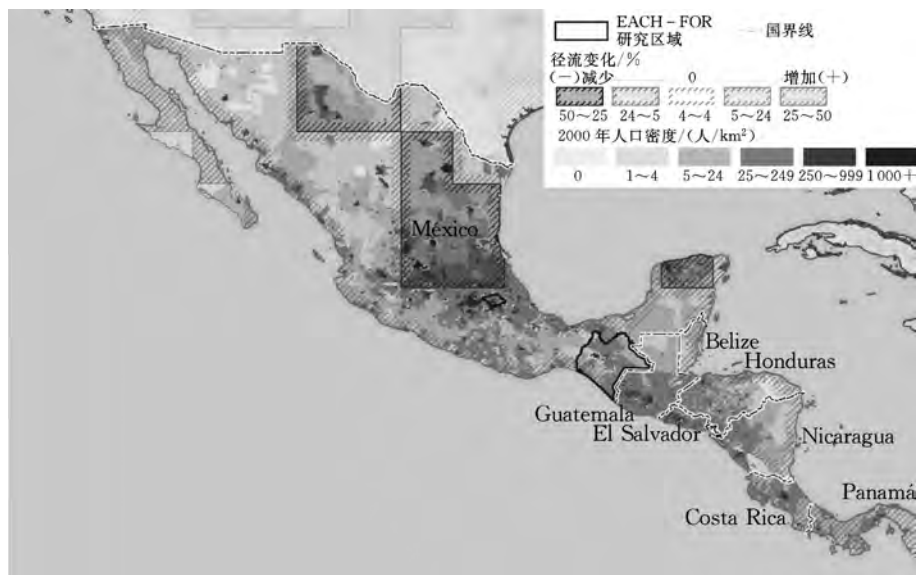


图 3 墨西哥及中美洲地区 2080 年径流变化预测（见彩图 3）

但“其他条件”，包括植被类型以及降雨时间和强度，并非保持不变。植被会因温度、降雨和二氧化碳浓度的变化而改变。降雨强度和时间的变化会由于大气整体变暖导致的循环模式变化而发生。

对于一些较为干旱的地区，特别是撒哈拉以南的非洲大陆、地中海地区、南非和澳大利亚，人们可以断言河流流量将会减少 50% 以上^①，许多常流河将会变成季节性河流，而有些河流则会永久干涸。这一变化将给人类活动带来灾难性影响，并永久改变生态系统，会使许多物种灭绝。

^① 见马尔滕·德威特 (Maarten de Wit) 和亚采克·斯坦凯维奇 (Jacek Stankiewicz) 2006 年发表于《科学》第 311 卷第 5769 期第 1917~1921 页的《在可预测气候变化下非洲地表水供给的改变》(2006 年 3 月 1 日网上出版, DOI: 10.1126/science.1119929)。

墨西哥和中美洲的河流流量预计将大幅减少。这会导致取水量减少，将极大影响该地区的农业，给靠天吃饭的贫困农户带来不可估量的影响。即便是作为墨西哥粮仓的大型灌区，也将受到影响。

资料来源：《寻找庇护所：剖析气候变化对人类迁徙的影响》第7页。2008年美国援外合作社（援外社）版权所有，授权使用。

另一种极端现象是大量降雨将导致地面以更快的速度达到水分饱和。如果降雨一直持续，将有更多的水汇入河流，形成的洪涝灾害将更为严重、更具破坏性。

对于上述研究成果，政府间气候变化专门委员会总结如下：

预计到21世纪中叶，在气候变化的影响下，高纬度地区和一些潮湿的热带地区的河流年均流量和可用水量会增加，中纬度的干旱地区和干旱的热带地区则将减少。许多半干旱和干旱地区（如地中海流域、美国西部、非洲南部和巴西东北部）受到气候变化的影响尤为严重，预计这些地区会出现因气候变化而导致的水资源减少的情况（高度确信）^①。

温度、蒸发和干旱

如上所述，温度上升的影响之一是蒸发速度加快。由于蒸发量和降雨量之间的平衡决定气候潮湿还是干旱，在温度上升但降雨量没有随之增加的地区，干旱程度将日趋严重。降雨时间和强度的变化还可导致气候由潮湿向干旱转变。干旱程度的变化将对地表水径流和地下水补给产生实质性影响。

干旱在专业领域中被定义为降雨量和潜在蒸发量之比。这种关系可通过“布迪科曲线”来解释。该曲线描述了集水区“径流”以何种方式对潜在蒸发量和降雨量之间的平衡形成依赖。潜在蒸发量由集水区的能量量决定，该能量通常为阳光。在潮湿气候条件下，蒸发量少于降雨量，可确保多余的水“流入”河流和湖泊或渗入地下。在干旱气候条件下，潜在蒸发量超过降雨量，而实际蒸发量取决于可用于蒸发的水量。只有在降雨量超过蒸发量时，

① 见《气候变化与水》第3页。

径流或地下水渗入才会产生。

理解这层关系为我们预测未来变化提供了强有力的工具，但这仍存在局限性。主要是分析中几乎没有涉及植被的变化。

地下水的补给和储备在不断变化

水资源管理中最具挑战性的是监测和管理地下水，而许多地区完全依靠地下水供水。由于地下水本身属于“看不见的”资源，只有在水抽不出时人们往往才意识到用水已变得不可持续。温度变化和土地利用方式不仅对降雨径流流入河流的量产生影响，渗入地下的水量也同样受到影响。

在温带地区和潮湿的热带地区，雨季时水分通常会在地表停留数天到数周，因此可以慢慢渗透进地下含水层。在比较干旱的气候条件下，形势则很难预测。在更为温暖干旱的气候条件下，土壤通常比较干硬，第一场降雨通常被最顶层的土壤吸收；如果随后是一段干旱时期，这些水分将被植被利用或又通过蒸发回到大气层。只有集中数天出现相对较多的降雨时，地表和较上层土壤才能积累足够的水分，从而让多余的水分渗入地下含水层。

因此，降雨强度和持续时间在确定降雨最终对含水层补给的影响方面尤为关键；土壤最初的干旱程度和覆盖土壤的植被类型相互关联。所有这些在大多数气候变化情境下都会发生改变。

水质

地表水资源吸纳、溶解和清除人类废弃物的能力取决于流入的水量。只要河流流量减少，其纳污能力就会有所降低，就需要额外进行投资，以确保环境保护达到相同的标准或用来处理废水并对其进行再利用。

径流模式与气温变化可导致水质发生改变，使水变得无法利用（如农业生产中，盐度是一个起主要决定因素的变量），或使用户付出额外的处理成本（如居民生活供水产生富营养化）。

沿岸地区淡水受到海水入侵的影响是气候变化引起的另一种后果。该情况不仅会发生在受海平面上升影响的地区，还会发生

在因河流流量减少而导致海水倒灌的地区。随着入海口和地下水的含盐量增加，沿岸地区人类和生态系统所能获取的淡水将减少。

洪水、干旱以及更强烈和更频繁的暴风雨

降雨模式改变所产生的最直接和最显著的影响是洪水和干旱的发生频率出现改变。气温升高将加大海洋和其他水源的蒸发量，转而可能形成更加强烈的降雨。这一过程将使目前罕见的洪水和干旱灾害变得更为频繁，新的极端现象也将开始出现。

正如气候变化带来的诸多影响一样，与气候有关的灾害主要影响贫困人口。2008年《联合国人类发展报告》显示，2000—2004年间，每年约2.62亿人遭受与气候有关的灾害影响，其中超过98%的受灾人口来自发展中国家。

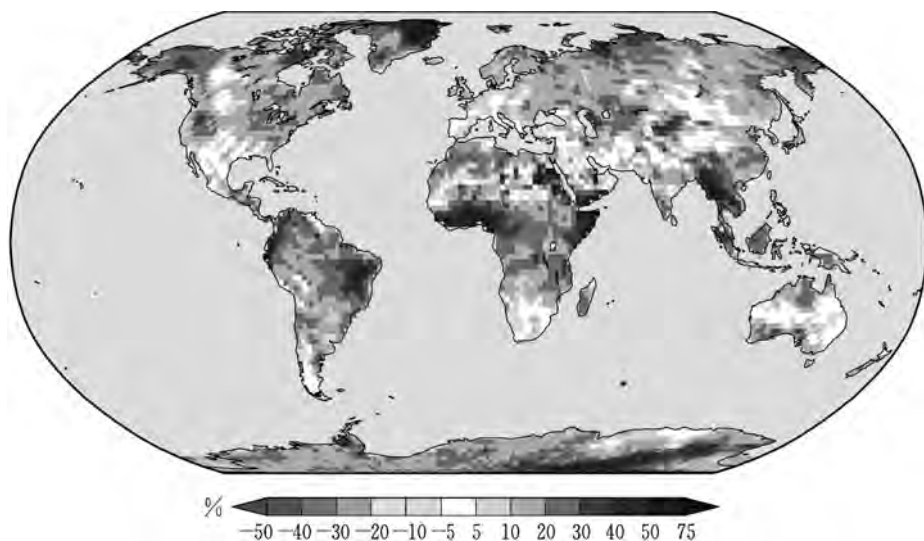


图4 A1B设想下年极端降水量变化（见彩图4）

年极端降水量在此被定义为特定年份内出现的连续5天最大降雨量。图4显示了1961—1990年与2071—2100年两个为期30年的时间段内的年极端降水量平均值的百分比变化。

资料来源：安德鲁·索（Andrew Thow）和马克·德布罗斯（Mark de Blois）编写的《气候变化与人类脆弱性：为人道主义活动指明未来趋势和风险热点》第2卷《技术附件和附图》第13页。2008年援外社版权所有，授权使用。

冰川和积雪融化与蓄水量减少

冰川融化和雪原中水“储藏”量减少是气候变化对水资源造成的最初期影响之一。直至今日，人们依然还没有充分认识到雪原和冰川在“缓解”降雨变量中发挥的作用。而气候变化威胁已使其发生了改变。

目前，这些地区是巨大的天然水库，在冬季以雪的形式收集和储存水，到夏季就以融水的形式缓慢释放。在大多数全球变暖情境中，积雪和冰川融水，数十年的时间内首先增大、随后会减小河流流量。这将导致洪水频发，之后干旱接踵而至。新裸露的地表很可能遭受侵蚀从而对水质产生影响。

全球 1/6 人口的供水依赖于冰川和积雪消融^①。而更多的人口依赖靠冰雪融水补给的河流为其提供饮用水、农业用水、航运和发电。冰川消融对于南美洲的安第斯山区（见专栏 3）和南亚的喜马拉雅山区西部尤其重要。在安第斯山，供水通常直接依赖冰川和积雪的消融。例如，厄瓜多尔的首都基多 50% 的供水来自于安提扎那（Antizana）和科托帕希（Cotopaxi）冰川流域^②。1.8 亿人口居住的农作物丰富的印度河流域，多达 50% 的河流流量都来自于冰川融水^③。

与此相关的一种风险是形成冰湖溃决洪水（GLOF）。在冰川

① 见巴尼特（T. P. Barnett）、亚当（J. C. Adam）和莱登麦尔（D. P. Lettenmaier）2005 年发表于《自然》第 438 卷第 303~309 页的《气候变暖对积雪地区取水量的潜在影响》。

② 见维加拉（W. Vergara）、迪布（A. M. Deeb）、瓦伦西亚（A. M. Valencia）、布拉德利（R. S. Bradley）、弗朗库（B. Francou）、扎尔扎尔（A. Zarzar）、格伦瓦尔特（A. Grünwaldt）和霍伊思林（S. M. Haeussling）2007 年发表于《Eos：美国地球物理学会议事录》第 88 卷第 25 期的《安第斯山冰川快速消融的经济影响》（DOI: 10.1029/2007EO250001）。

③ 见国际山地综合发展中心（加德满都）于 2009 年在伊斯坦布尔发布的第五届世界水论坛观点文件——《变化的喜马拉雅山——气候变化对大喜马拉雅地区水资源和生计的影响》，由马茨·埃里克松（Mats Eriksson）、徐建楚（Xu Jianchu）、阿伦·巴克塔·什雷斯塔（Arun Bhakta Shrestha）、拉梅什·阿南达·维迪雅（Ramesh Ananda Vaidya）、桑托什·尼帕尔（Santosh Nepal）和克拉斯·桑德斯特伦（Klas Sandström）编写。

消融过程中，融水经常会被冰碛——冰川作用过程中夹带的石头和土壤——形成的天然堤坝阻塞形成堰塞湖。随着冰川的融化，这些湖泊积水不断增加，天然形成的堤坝由于水位上升承受的压力也不断增加，结果是发生难以预测或者灾难性的溃决洪水。国际山地综合发展中心（ICIMOD）在印度-库什-喜马拉雅山系已经确认了近 200 座存在溃决风险的冰川湖^①。

监测变化——数据与水文

水资源管理需具备追踪变化并设计和实施应对措施的能力。这需要更广泛的数据以及分析及解释这些数据的能力，以便指导规划并使更广大的群体了解这些数据的意义。

虽然自 1977 年马德普拉塔会议以来，所有关于水和可持续发展的联合国会议上都强调了水文监测的重要性，但在过去十几年里，世界范围内所能获取的水资源数据却在减少。有证据表明，许多国家水文数据的质量自 1992 年里约峰会以后急剧下滑。德国全球径流数据中心（GRDC）关于全球河流流量的大部分数据已经 30 多年没有更新过了。2008 年，国际社会终止了全球环境监测系统项目，该项目本是全球水质数据的知识库。虽然现在已恢复了部分投资，但仍然还不够。

专栏 3 气候变化对智利-阿根廷安第斯山脉的影响

安第斯山脉对于阿根廷和智利的水文资源具有十分重要的意义，因为山区降雨最多可以占到智利中部和阿根廷内陆省份可用水量的 80%。

这些资源对于智利中部地区和阿根廷西部的绿洲地区、库约地区和巴塔哥尼亚北部地区有着特殊的意义。这些区域为干旱或半干旱气候，有着地中海式的降雨类型，是高产的灌溉农业聚集地，其中智利有 130 万 hm^2 、阿根廷有约 40 万 hm^2 的土地依赖由山顶融雪形成的泉

^① 见国际山地综合发展中心（加德满都）于 2007 年发布的《冰川和冰湖详细目录以及喜马拉雅山区受全球变暖影响形成潜在冰湖溃决洪水的推测》（DVD/CD-ROM）。

水和夏季溪流进行灌溉。这里的地形还适合水力发电，智利的总装机容量达 4000MW，阿根廷为 750MW。

全球气候模型一致预测上述区域的温度将升高，干旱情况将恶化^①。鉴于水资源对于这些区域经济的重要性，两国已合作研发出更为精确的气候预测模型来预测流域范围内更为真实的安第斯山效应。

这一研究的结果表明，21 世纪末山地地区温度将平均升高 4℃，东部山坡（智利）和山地区域降雨变化更加明显，降雨平均减少 15%，西部山坡丘陵地区（阿根廷）的降雨则增加^②。

该区域的水文特点导致预测的温度上升将对水流产生更为严重的影响。温度的升高将抬高雪线，冬季积雪的区域减少，并导致更多的降水以雨水而非雪的形式下落。另外还会加速积雪的融化，从而造成冬春两季的河流流量增加，夏秋两季的河流流量减少。

温度每升高 3℃，即使没有降雨的变化，也会导致智利中部地区的某些流域冬季每月的流量增加 100% 之多，而夏季则减少约 30%^③。针对 21 世纪末气候变化的模拟预测降雨将会减少，夏季流量减少将超过 50%^④。伴随着这些可怕预测的还有该区域冰川的消融。

温度上升导致植物的水分蒸发量增加，大约占到其总需水量的 80%，这一效应加上取水方面的变化，将对地区农业水安全构成严重威胁。水电可能不会受到影响，因为目前的电量需求在冬季要大一些，而冬季的河流流量也会大一些。

除了影响不同用途的取水外，高温还会增加洪水风险。对智利而言，这一影响可能严重威胁到安第斯山脚下主要城市的安全。以智利

① 见阿根廷环境部 2009 年发布的《阿根廷的气候变化》、智利全国环境委员会发布的《2008—2012 年气候变化国家行动计划》。

② 见 PNUD - SECYT 1997 年发布的《安第斯高地南纬 29°~38° 绿洲的脆弱性》(ARG/95/G/31 项目)，智利大学地球物理系、智利全国环境委员会 2006 年发布的《21 世纪智利气候变量研究》。

③ 见温贝托·培尼亚 (Humberto Peña) 1987 年在智利水利工程协会第 20 次代表大会上发表的《梅波河流域水文体系对气候变化的敏感性》。

④ 见巴尔加斯 (X. Vargas)、卢比奥 (E. Rubio)、马多内斯 (G. Mardones) 和梅纳 (D. Mena) 2008 年在智利水利工程协会第 10 次弗朗西斯·哈维尔·多明格斯讨论会上发表的《智利气候变化流域效应的水威胁分析》。

首都圣地亚哥为例，如果 21 世纪末气候变化情境成为现实，上升的温度会把雪线抬高 500m，而径流面积将增加 3 倍。由此导致的洪水流量将超过目前排水系统能力的数倍^①。同样，对高山地区的各类活动和基础设施，如水坝、矿山、道路、水电厂、旅游设施和其他建筑都会产生影响。

此外，以冰雪为主改为以降雨为主的水文地理变化，将从根本上改变流域沉积物的转移和整个地貌的动态，从而极大地影响排水系统及控水和储水设施^②。

这些挑战连同其他与气候有关的挑战，驱使智利和阿根廷政府在最近几年组建了多部门合作小组，负责研究气候变化和制定公众适应性政策。相继提出了不同的行动方案，例如制定监测和研究计划、建坝和更好地管理水量的季节变化、使作物种植结构适应不同气候条件并与取水量相匹配、加强缺水条件下水资源管理能力以及建设适应洪水的设施。这些行动方案目前还在评估之中，但相信在未来几年内会开始取得成果。

作者：温贝托·培尼亚。

从国家层面看，特别是对于众多贫困国家，在将稀缺资源分配到更加急需的地区时，水文信息系统由于承受压力而能力减退。当预算不足时，水文通常是首先被舍弃的功能。不幸的是，记录一旦丢失或“损坏”就很难恢复。这不仅是发展中国家面临的问题。即使在发达国家，监测所应达到的目标也没有实现，就像美国最近的报告所展示的那样^③。

① 见温贝托·培尼亚 1989 年发表于《智利水利工程协会学报》第 4 卷第 2 期的《洪水控制的水文方面》。

② 见安德雷德（Andrade B.）和温贝托·培尼亚撰写的《智利地形学和水文学：响应全球变化》，出自哈罗德·穆尼（Harold Mooney）、爱德华多·富恩特斯（Eduardo Fuentes）和芭芭拉·克朗伯格（Barbara Kronberg）编辑的《响应全球变化的地球系统：北美和南美对比》，由学术出版社 1993 年于伦敦出版。

③ 见《支持美国地质调查局河道测量项目——致美国国会委员会主席和众议院拨款委员会内务、环境和相关机构分会的请愿信》（<http://www.asiwpca.org/home/docs/StreamgageLtr2House.pdf>，2008 年 2 月访问）。

造成数据减少的原因有很多。除了内部矛盾和预算不足外，有时候是数据虽然可获取，但随着水资源竞争加剧，拥有数据的一方不愿与其他利益相关方共享。

还有一种观点认为，遥感技术改变了人们对大气系统认知的同时也改变了人们对水文系统的认知，可惜这并非事实。虽然已经有人在努力寻找利用遥感技术提供有关流量和水质信息的方法，但目前为止还没有找到可供广泛应用且有效的方法。即使找到了新方法，物理观察对于“地面实况”遥感将依然发挥重要作用。

政府间气候变化专门委员会的技术总结再次强调了这些问题：

有关气候变化与水的观测和研究需求方面的认识仍存在一些差距。观测和获取数据是适应性管理的前提，但观测系统网络正在日渐萎缩。有必要在决策层面提高对问题的认识并对与水文循环有关的气候变化建模。气候变化中水相关影响的信息还不完善，特别是与水质、水生生态系统和地下水有关的信息，包括其对于社会经济方面的影响。总而言之，目前仍缺乏综合评价适应性手段以及对依赖水的各部门需采取的减缓措施^①。

2.2 社会和经济动态

降雨的雨量变化、时间变化和稳定性变化以及由降雨形成的水资源发生变化将影响到所有用水部门。其影响范围覆盖国家经济的各个层面、环境以及社会需求，对贫困国家的影响更大。在高效水管理对于实现千年发展目标至关重要的前提下，变化所带来的影响可能会对千年目标进程的可持续性构成威胁。但气候变化对水资源的影响远远超过了千年发展目标的范畴。

降雨分布和时间发生改变将对水的获取方式产生影响，某些地区的水量会过多，而其他地区则用水竞争加剧。解决这些不断

① 见《气候变化与水》第4页。

出现的水文问题对水管理提出了很高要求。

降雨多变性加剧将对增长产生潜在影响并提高实现水安全的成本。事实上，对于管理来说，多变性可能比稀缺性构成更大的挑战，因为天平的两端（水太少和水太多）都需要管理，现在则需要在更大不确定性下实施管理。研究表明，如果水稀缺同经济发展的相互关联性很低，那就与变量存在明显的相互关联性（见专栏 1）^①。

随着气候多变性的增加，应对气候变化的基础设施、信息和系统的成本也随之升高。从另一角度看，不断增加的多变性使人们无法有效应对而增加了社会成本，因此就需要更多的投资来避免出现这种情况。气候变化对众多领域的重要影响体现在增加水服务的成本，尤其是提高服务保证率的成本。这不仅是饮用水供水方面存在的问题，也是农业、发电和工业用水面临的问题。

随着水成本的增加，生态系统用水将处于非常不利的境地。没有几个国家能确保生态系统得到充足的用水，而且生态系统用水通常是首先被放弃的。

洪水和干旱灾难的增加会影响到脆弱地区的居民、生活、土地价值和投资积极性。鉴于防御和保险机制以及水管理干预有助于降低这些风险，因此愈发脆弱的地区前景将会发生变化。总体上说，贫困人口居住的地区将是愈发脆弱的地区，与相对富裕的地区相比，他们搬离危险地区或不稳定地区的可能性很小。脆弱地区在面对水灾、海平面上升、地下水受侵蚀、耕地损失时会变得更加脆弱，贫困人口将成为主要受害者。

水安全条件发生改变将促使经济活动在空间分布上发生变化。出于安全考虑，经济活动将远离供水得不到保障的地区，而转移到水安全的地区。久而久之，就像水影响部门经济收益一样，水安全条件不断变化会影响经济结构，即部门的组成以及运作规则。

^① 见凯西·布朗（Casey Brown）和乌普马努·拉尔（Upmanu Lall）2006年发表于《自然资源论坛》第30卷第4期第306~317页的《水与经济发展：变量的作用和弹性框架》。

全球范围内，水密集型产品（“虚拟水”）的贸易会随着水安全模式的改变而增多。在缺少其他刺激的情况下，贸易会促使富水地区更多地出口水密集型产品，同时缺水地区则更多地进口水密集型产品。

下节将详细论述气候变化如何影响水资源，进而影响社会和经济生活的各个方面。

城市地区发生的改变

多数情况下，气候变化的主要影响将是增加提供最基本服务的成本，因此贫困国家和社区可获取的服务将会减少。城市地区将在未来数年内面临巨大的人口压力，导致现有服务无法支撑，扩展服务也受到阻力，特别是对于贫困人口而言。在非洲和亚洲，城市人口预计将在 2000—2030 年间翻一番。到 2030 年，超过 80% 的城市居民将居住在发展中国家的城市^①。降雨模式和河流流量的变化将对人类定居点产生直接影响，而其中许多定居点已经不能提供可靠和人们能够负担的服务了。

气候变化不仅将会影响饮用水供水能力，也会对大城市的废水处理以及其他类型基础设施的建设与维护成本产生影响。有些问题已经相当明显：

- 为大型定居点供水是一项高成本的服务。如果气候变化减少了可用水量，大型都市将不得不改变其消耗模式或从更远的区域取水。

- 作为气候变化的后果，降雨强度增大以及由此引发的水灾将使修建道路、暴雨排水系统和防汛工程的费用增加。

还有一些间接影响：

- 如果河流流量减少，其纳污能力会降低，就需要加强污水处理能力以确保水质或实现水的重复利用。为实现健康、水和环保千年发展目标，城市污水的收集和处理^②已成为基础设施中成本最

^① 见联合国人口基金编写的《2007 年世界人口状况：释放城市增长的潜力》，由联合国人口基金 2007 年于纽约出版。

^② 见巴里（A. Bahri）编写的《从另一个角度开展水循环管理：变废水为资产》（全球水伙伴技术委员会第 13 号技术文件，由全球水伙伴 2009 年于斯德哥尔摩出版）。

高的项目^①，而且处理成本会随着所需的处理等级升高而增加，气候变化对实现这些千年发展目标带来沉重负担。

- 洪水风险会影响人类定居点的陆地面积以及抬高保护脆弱陆地免遭洪灾的成本（应对海平面上升是另一项与此有关但又独立的挑战，应对海平面上升同许多沿岸城市有关，但这里暂不考虑这项挑战）。

- 从更远区域取水不仅增加用水成本，还加大了用水城市之间的竞争。这会对经济造成影响，或者是农产品价格上升，或者是农村地区失业情况加剧，从而促使人口向城市迁移。

大型工业在主要用水户和污染者间不断变化的角色

耗水型工业也将感受到气候变化带来的影响。越来越多的人将水安全视作私营领域的一个“供给链”问题^②。工业用户不断增加的用水需求和所能获取水的数量与质量的不确定性都会对生产带来影响。对于工业型农业和农产品加工业而言，其将会进一步受到农业用水模式和农作物水需求改变带来的影响。作为应对措施，许多工业企业目前正着眼于确保其水权和最大程度减少其水足迹；同时，像“农业可持续发展计划”这样的食品和饮料工业联盟已经开始为处于其供给链之中的农民们在水管理培训方面进行投资。

许多大型工业，从纺织和皮革加工到纸浆、纸和钢铁生产业，通常不仅在其生产过程中消耗大量的水，还制造出大量的废水，从而污染河流。在极端严重情况下，受污染的河水将无法再利用。不过因气候变化造成的环境影响，人们开始担忧并已经采取更为负责的做法，特别是在欧洲和北美等发达国家，通常由国家制定法律强制推行。

工业企业的一项应对措施是寻求调整其生产方式来减少用水量和排污量，在某些行业甚至采用封闭循环和零排放。虽然实现封闭

① 见温彭尼（J. Winpenny）编写的《为全人类进行水筹资——水利基建融资世界小组报告》，发表于第三届世界水论坛（2003年3月16—23日于日本京都）。

② 见世界经济论坛编写的《为农业、工业、人类健康和环境管理我们未来的水需求——世界经济论坛2008年年会讨论文件》，由世界经济论坛2008年于日内瓦出版。

循环和零排放的生产模式是可行的，但这通常需要大量的创新和投资。国家通过制定不同的标准为工业企业改进生产设立了具有广泛意义的评价准则和强制措施，促使他们为此付出积极努力。

农业发生的改变

在大多数国家，农业作为最大的经济行业占有最多的河流和地下水取水量。这还并不包括只靠降雨生产的“旱地农业”。在最贫困的国家，农业也提供了最多的就业机会。气候变化将从许多不同的方面对农业产生影响。最近的《世界水发展报告》对此进行了很好的总结（见表1）。

“旱地”耕作农户与采用灌溉作业的农户所面临的挑战从根本上没有区别，但其表现形式却有很大差别。降雨的短期和长期量变对旱地农户都有影响；但灌溉作业的农户可保护自身不受短期变量的影响，可一旦极端事件发生，他们会更容易遭受重创，其供水可能会完全中断。两类农户均无法承受因特大的风、暴雨和水灾所引起的破坏。

表 1 气候变化对主要农业系统影响的类型

系统	当前状态	气候变化推动力	脆弱性	适应性
融雪水系				
印度河	高度开发，水短缺开始出现；存在泥沙和盐碱化	经过 20 多年的流量不断增加后，随之而来的是地表水和地下水补给量大幅减少；径流季节性变化大，并有洪峰出现。雪区的降雨更多，洪峰和洪水流量增加；盐碱化加剧；生产率适中	非常高（河流流速），中等程度（大坝）	适应性有限（所有基础设施均已建造）
恒河-雅鲁藏布江	地下水储量丰富，存在水质问题；低生产率		高（地下含水层正在下降）	中等（仍有开发地下水的可行性）
中国北部	极端缺水，高生产率		高（从全球角度看，高粮食需求对价格产生巨大影响）	中等（适应性随财富的增加而增加）
红河和湄公河	高生产率，洪灾风险高，水质差		中等	中等
科罗拉多河	水短缺，盐碱化		低	中等，对资源构成过多压力

续表

系统	当前状态	气候变化推动力	脆弱性	适应性
三角洲				
恒河-雅鲁藏布江	人口密度大，地下含水层浅并被过度开发，可适应洪水，低生产率	海平面不断上升，风暴剧增，基础设施受到破坏；飓风频率更高（东亚和东南亚）；海水入侵地下水与河流，洪水频率增加，地下水补给有可能增加	非常高（洪水、飓风）	很低（除了盐碱度）
尼罗河	对径流和阿斯旺水坝储量高度依赖，对上游开发比较敏感		高（人口压力）	中等
黄河	气候严重干旱		高	低
红河	目前具有适应性，但提水灌溉和排水系统造价昂贵		中等	高（除了盐碱度）
湄公河	三角洲地区适宜地下水利用，对上游开发比较敏感		高	中等
半干旱和干旱热带地区，融雪有限且地下水有限				
季风地区：印度次大陆	低生产率，流域（地表水和地下水）过度开发	降雨增加，降雨变量增加，旱灾和洪灾增加，温度升高	高	低（地表灌溉），中等（地下水灌溉）
非季风地区：非洲撒哈拉沙漠以南地区	土壤贫瘠，水系存在时间短，部分地区过水分配过度并有人口压力	降雨变量增加；旱灾和洪灾频率增加；降雨减少，温度升高；径流减少	非常高，雨养农业产量降低	低
非季风地区：澳大利亚南部和西部	水系存在时间短，水分配过度，各行业用水竞争激烈		高	低

续表

系统	当前状态	气候变化推动力	脆弱性	适应性
湿润的热带地区				
水稻：东南亚	地表灌溉，高生产率但处于停滞状态	降雨增加；温度高到临界值；降雨变量增加，旱灾和洪灾发生	高	中等
水稻：中国南部	地表水和地下水结合使用，与中国北部相比产量低		高	中等
地中海地区				
欧洲南部	用水压力增加	降雨严重减少，温度升高；水紧缺加剧；径流减少；地下水储量损失	中等	低
非洲北部	水严重匮乏		高	低
亚洲西部	用水压力增加		低	低
小島				
小島	脆弱的生态系统，地下水枯竭	海平面上升，海水入侵，飓风增多	高	可变

资料来源：世界水评估计划编写的《联合国世界水发展报告 3：处于不断变化世界的水》第 114 页，由联合国教科文组织（巴黎）和地球瞭望（Earthscan）出版社（伦敦）2009 年出版。

在上述背景下，农业就等于是风险管理。一年四季中，旱地农户都必须在不确定情况下作出决定。种植太早，如果土壤湿度不够或种植季节早期持续干旱一段时间，秧苗将无法生长。种植太晚，农作物生长时间不够或者无法抵御害虫和疾病。

在这种情况下，气候变化可能带来灾难性影响。地区研究表明，在非洲撒哈拉沙漠以南地区，最坏的情境是到 2100 年农作物净收入减少 90%，小型农场受到的影响最为严重。虽然应对措施可减少一些不利因素，但这仍旧会给人类生计带来灾难性后果^①。

^① 相关案例见彼得·琼斯（Peter G. Jones）和菲利普·桑顿（Philip K. Thornton）2009 年 6 月发表于《环境科学与政策》第 12 卷第 4 期第 427~437 页的《从农民到牧民：气候变化给 2050 年非洲居民生计带来的变化》。

拥有大型农场的农户可以通过保险和其他经济手段以及技术来应对这些不确定性，对自身加以保护。小型农户和贫困农户通常没有什么选择余地。不过短期和中期天气预报可向农民提供关于季节性变化的有价值信息，让他们能够在合适的时机进行种植。

在某些地区，长期天气预测具有一定的精确度，这有助于旱地农户作出季节性决策。不过对于某些地区和某些季节来说，长期预测的价值则非常有限，且其可信度通常也不是很高。长期预测通常很笼统，对雨养农业生产的规划基本不起作用（例如对于非洲南部的预测，只能给出正常、高于或低于平均降雨量的可能性估值，而且这种预测的准确度很少会超过 50%）^①。

其他应对气候变化的措施包括选择更适于新条件下生长的作物和种子。同样，在此类地区大型商业农户更有能力采取应对行动。贫困农民和贫困国家的应对能力相对有限。传统的种子品种即使一直应用于某个地区，也不再适于长期种植。农业科研与推广服务本应对确定种子品种提供指导，帮助农户适应新的种子，可这方面的支持也已大幅减少。

灌溉经济的转变，确定性的价值在提高

鉴于降雨和河流流量受变化因素的威胁更大，合理的应对措施是在水管理能力上进行投资，争取更大的安全性和可靠性。这并不意味着一定要建设大型水坝进行储水，有许多本土农耕系统主要依赖当地的小型水库在干旱季节提供有保障的水供应。当地降雨充足时，本地蓄水的好处之一是不需要修建大型工程将水从河流引到田地里。

不过这种做法会遇到一些复杂的情况，特别是在干旱和用水紧张的地区，大部分可用水量已经被用完。蒸发作用会导致大多数小而浅的水库的水损失量比蓄水深的大型水库多很多，随着干

^① 案例见《第 12 届南非地区气候展望论坛宣言》（该论坛于 2008 年 8 月 27—28 日在南非比勒陀利亚举行，相关宣言见 http://www.sadc.int/dmc/SARCOF/Sarcof12_Statement28_08_09.pdf）。

旱程度加剧，这种情况还将恶化。储存地下水是当地人的另一种选择，但通过建造工程增加补水量同样会减少来自降雨的径流，从而影响下游的用水户。

无论是靠河流供水，还是靠地下天然储水或人工修建的水库储存的水，灌溉似乎比降雨更加可靠，但这种可靠性其实是一种误导。当直接从河流中取水时，灌溉无法在严重干旱的条件下发挥作用。当从水库取水进行灌溉时，我们可以对整个季节的缺水情况发出预警，但如果管理环节薄弱，农民就无法指望预警系统发挥作用。

地下水也面临同样的情况。地下水丰富的地区很幸运，既不用储水也无需远距离调水。出于这个原因，许多这类地区发展了以提取当地地下水为依靠的新兴农业，采用先进的提水技术并使用易获得补贴的能源（通常是这样）为提水提供动力。

另外一个优势是地下水循环比地表水循环要慢，因此干旱对地下水储量的影响不像对地表水那么直接。不过这也可能成为缺点，因为相比之下地下水资源更加难以观测和掌控。

其结果就是，在许多严重依赖地下水的地区，用水户通常还没有意识到风险来临时就已经开采过量了。中国北部、印度的大片区域、中东大部分地区和美国西部相当一部分地区都在大量“开采”地下水。如果开采量不能与地下水回补量相匹配，这些地区将面临灾难的风险。而气候变化为地下水管理带来更多的不确定性。

许多农户和地区对水的依赖越来越强烈，特别是对蓄水或地下水资源的依赖，而不再是直接依赖降雨。一般情况下，当出售作物能提供足够的回报，且用水成本或缺水状况都在可承受的范围之内时，人们愿意进行投资以提高用水效率。无论是农户个体，还是整个农民群体，对水管理进行投资都可保持产量增长，同时能抵御气候的反复无常及多变性。在农民自己进行投资的地区，他们通常非常注重用水成本，更愿意采纳有效的用水方式。

灌溉农业对于全球粮食生产至关重要，联合国粮农组织预测其重要性将进一步提高。预计到2030年，发展中国家的灌溉面积

将增加约 20%^①。目前，占耕地总面积 16% 的灌溉面积出产了占总产量 40% 的作物^②，且全球灌溉面积正以每 10 年 5% 的速度稳步增长。

这种能提高生产率和有效管理气候变量及风险的投资模式，可作为减贫的重要推动力，也可为满足不断增长人口的粮食需求作出重大贡献。不过随着气候变量的加大，应对气候变量的基础设施的运行成本也将随之增加。除非有相应的机制对此加以应对，否则后果将是贫困程度加剧以及满足世界粮食需求的能力进一步降低^③。

从经济的角度看，未来农业生产还是充满希望的，因为世界某些地区的农业生产可能会受益于气候变化，这预示着在生产模式发生转变后粮食需求可以得到满足^④。不过这种转变可能以某些最贫困国家和地区的生计和粮食安全——甚至是长期可持续性为代价，因此其带来的社会影响恐怕是灾难性的。

水力发电的动态改变与可再生能源需求

到目前为止，水力发电仍然是全球范围内最主要的一种可再生、无二氧化碳排放的能源生产方式（见表 2）。利用水从高向低流入海洋产生的潜在水能，我们可获得安全可靠且供给灵活的电力资源，从而替代燃煤或核电的使用。水力发电生产还克服了利用再生能源的一大障碍，它可以高水位形式“蓄水”，在需要电力时通过水轮机释放能量。作为众多常规电网的组成部分之一，“抽水蓄能”的确已经成为像太阳能或风能这些更新和更易利用的可

① 见联合国粮农组织编写的《世界农业：面向 2015/2030 年》，由联合国粮农组织 2002 年于罗马出版。

② 见戴维·蒂尔曼（David Tilman）、肯尼斯·卡斯曼（Kenneth G. Cassman）、帕梅拉·马特森（Pamela A. Matson）、罗莎蒙德·内勒（Rosamond Naylor）和斯蒂芬·博拉斯基（Stephen Polasky）2002 年 8 月 8 日发表于《自然》第 418 卷第 671~677 页的《农业可持续性集约型生产实践》。

③ 见布朗（C. Brown）和卡里克里（M. Carriquiry）2007 年发表于《水资源研究》第 43 卷的《以期权合同和水库指标保险管理水文气候对供水造成的风险》。

④ 见农业用水管理综合评估编写的《粮食之水、生命之水：农业水管理的综合评估》，由地球瞭望（Earthscan）出版社（伦敦）和国际水管理研究所（科伦坡）2007 年出版。

再生能源一样，为我们提供了最为灵活和最经济划算的发电形式。

水电开发拥有巨大的潜力，通过开发可再生能源可减缓气候变化，是适应气候变化（通过多用途大坝获得抗旱和防洪效益）和减缓气候变化影响的有效措施。根据国际能源署的数据，2004—2030年间，水力发电和其他可再生能源的发电量将以年均1.7%的速度增长，到2030年整体增长60%。

但水电开发也面临着诸多挑战。要想获取水流，就必须采取截流和控制的方式将水储存起来，这要求修建大型工程。虽然这些工程建成后运营成本会相对较低，但初期的建设成本相当可观。而且在某些情况下社会成本甚至会更高。中国三峡工程生产的电量高于很多国家总体的电力消耗，但为了建坝而搬迁的人口达100万以上，移民加上环保措施的费用，已经远远超过了大坝和水电站的建设费用^①。

表 2 2003 年电网可再生发电能力统计

发电类型	所有国家/GW	发展中国家/GW
小水电	56.0	33.0
风能	40.0	3.0
生物质能 ^①	35.0	18.0
地热能	9.0	4.0
太阳能光伏（连接电网）	1.1	<0.1
太阳热能	0.4	0
“新可再生”能源发电能力总计	141.5	58.0
对比		
大型水电	674.0	303.0
发电能力总计	3700.00	1300.00

① 不包括城市固体垃圾燃烧和垃圾填埋气体产生的能量。

资料来源：《世界水发展报告 2：水是我们共同的责任》第 315 页，由联合国教科文组织（巴黎）和博格翰图书出版社（纽约）2006 年出版。

① 见杨晓柳（Yang Xiaoliu）和迈克·穆勒（Mike Muller）所著的《依照水资源综合管理加强基础设施开发来治理长江》，出自罗伯特·伦托（Roberto Lenton）和迈克·穆勒编辑的《为优化水管理实行水资源综合管理》，由地球瞭望出版社 2009 年于伦敦出版。

未来江河流量的不确定性正成为人们在设计、改进和运营水电站时所面临的愈发严峻的挑战。气候变化意味着我们将不得不修改将来可用于蓄水和水轮机运转的水量的估算值，可能是提高也可能是减少。许多依靠水力发电的国家由于可获取水量出现意想不到的减少，已经面临电力供给短缺的问题（见专栏 4）。

专栏 4 缺水导致依赖水电的国家缺电

21 世纪初，乌干达的电力供应受到欧文瀑布水电站下游水坝工程延期的制约，加上维多利亚湖水位意外地下降了 2m，该国电力供应几乎中断。在马拉维，其电力的主要来源马拉维湖也面临同样的问题。在肯尼亚，水电供应减少导致本已高昂的电费又上涨了 2 倍，国家不得不依赖以石油为燃料的发电站。在上述三个案例中，虽然缺雨季节延长是主要原因，但土地利用方式的改变，特别是小户农民耕种面积的扩大也是重要原因。

另一个值得关注的问题是大坝是用来抵御“潜在的特大洪水”的，而这通常根据以往的水文条件进行预测。考虑到气候变化，这种预测将需要修正，以确定大坝是否安全可靠以及运行条件是否有修改的必要。径流模式不断变化会改变水电项目的经济可行性，可导致其发电量降低或增加。对于新提出的项目而言，这增加了决策所面临的不确定性。

此外，尽管人们广泛认为需要清洁能源，但是水电仍存在争议。这主要是因为大坝对江河生态系统带来影响（拦截和改变径流模式）招致环保主义者反对，以及在有些地区建坝会使当地居民搬迁。还有人提出，大坝上游淹没区被浸泡的植被会产生温室气体——沼气，不过近期的生命周期评估表明，水电项目总体排放的净温室气体较少^①。

① 政府间气候变化专门委员会认为水库产生的沼气不是温室气体的主要来源，表示“尽管将来新的水电项目会带来一定量的温室气体排放，特别是在热带地区……但在缺乏更全面的现场数据情况下，我们认为这些项目与其他方式的能源生产或农业活动相比，其 CH₄ 的排放量较低”。因此在《排放情境的特别报告》（SRES）中，水电并没有作为单独的排放类别列出来。详见联合国环境规划署、世界气象组织 2006 年发布的《政府间气候变化专门委员会关于排放情境的特别报告》。

围绕大坝的争议致使国际社会决定不承认“大型”水电为可再生能源，虽然“小型”水电被视为可再生能源。这就切断了大型水电获取某些资助和资金来源的可能性（见专栏 6）。具有讽刺意味的是，将大型水电站从气候缓解专项资金排除在外的一个原因是，它会“排挤”其他更新但经济效益较差的可再生能源技术。

水电技术在欧洲和北美的发达国家得到了广泛应用，目前占到世界电力生产的 20% 左右。亚洲、非洲和拉丁美洲的可开发水电潜能极大。由于发达国家和中等收入国家的水电开发已经相当发达（见图 5），这给受到电力制约的较贫困地区，特别是南亚和非洲国家，提供了机遇。

专栏 5 大坝引发的争议：莫桑比克的姆潘达·恩库瓦 (Mphanda Nkuwa)

姆潘达·恩库瓦大坝是一个典型的案例，正是由于大坝引发的争议以及人们不确定“大型水电站”是否能被视为可再生而导致项目推迟建设。根据国际标准，该项目被认定为大型水电项目，计划装机容量 1300MW，比卡布拉巴萨（Cahora Bassa）水电站略小。后者修建于 20 世纪 70 年代中期，装机容量为 2075MW。

姆潘达·恩库瓦位于卡布拉巴萨和泰特（Tete）间的赞比西河段，被认为是世界上最具潜力的未开发水电项目之一。该项目水文风险较小，并且拥有较长时间序列的水流数据。坝址所在位置的地质风险很低，可以每千瓦装机容量 640 美元的成本进行开发，与燃煤电厂相比优势明显，特别是相比之下运营成本低很多。由于目前上游已建有卡布拉巴萨大坝、卡里巴（Kariba）大坝和卡富埃峡（Kafue Gorge）等多个大坝，可对赞比西河进行调节，因此该项目可开发成蓄水量较小的径流式电站，对环境的不利影响非常有限，且受到影响的当地居民寥寥无几。

即使当地电力短缺，大量资金投入到了对环境产生不利影响的燃煤发电厂，大坝的建设仍被搁置了数年。

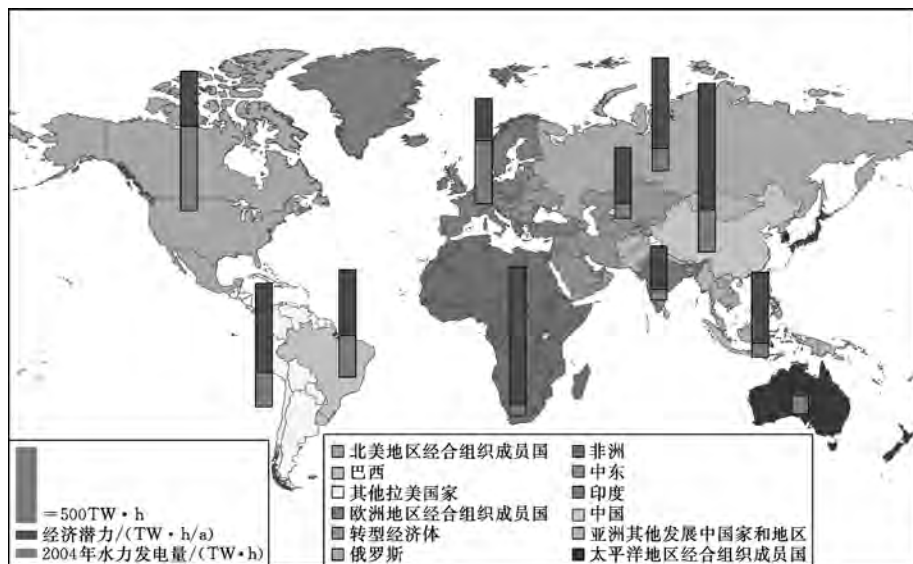


图 5 2004 年世界水力发电量及水力发电潜力柱状图（见彩图 5）

资料来源：《联合国世界水发展报告 3》第 119 页。

风险的动态变化以及跨部门体系的可靠性

由于新建水电项目的影响远远超出电力生产的范畴，因此这些项目所面临的挑战是如何在更大的水管理框架内突出其重要性。这些项目的影响不都是负面的，多目标开发可产生一系列效益，包括流量调节和洪水管理以及为农业、工业和城市提供更可靠的水供应。

以中国的三峡工程为例，除了巨大的水电生产能力，项目还保护数百万人免受洪水的侵害，改善航道从而支持内陆地区的发展，并为东北部干旱地区提供额外的水源^①。该项目的成功某种意义上取决于从一开始就将其定位为地区发展规划的一部分，而非单纯是一个水电项目。

气候变化的影响促使所有行业重新审视以往的设想，多行业联合采取措施已逐渐被广泛采纳。在多数情况下，人们对水文风险自身特性的理解变得更加透彻，并将其与更广泛的社会风险以

① 杨晓柳和穆勒，2009 年。

及可预测性和可靠性价值联系起来，加深了采取妥善管理措施对其进行管理的必要性的认识。检验水资源管理有效性的一个重要指标就是看其是否能帮助不同行业管理各自的风险。

认识的提高，体现在用户愿意为有助于降低风险的水管理承担费用，水管理体现了服务可靠性提高后产生的价值，以及人们愿意承担因供给不稳定而造成的损失和消极后果。对于农业企业，供水的可靠性对于多年生作物来说，比一年生作物更为重要。多年生作物通常需要多年的投资才能获得所有的产品，因此其损失也就比一年生作物更为严重。种植多年生作物的农民也就愿意为更具可靠性的供应多承担费用。

水在工业领域的生产价值通常比其在农业要大得多。因此工业部门应准备好为提升水安全做更大的投资，而有些地区也的确是这么做的。

缺水的情况下，水分配的先后顺序并非只取决于哪个行业出的价钱最高，这其中包含许多社会因素。例如，基本生活用水就不能用传统意义上的价值去衡量，通常该需求比其他用水需求享有更高的优先权，这反映出人类生命的内在价值。工业用水通常比农业用水产生更多的效益，但在许多国家，工业并不能帮助依赖于农业和没有经济安全保障的最贫困人口。有效的水管理体系可通过定价或分配机制或者两者兼顾，在经济与社会优先程度之间实现平衡。

专栏 6 为水电和气候变化融资

尽管水电基本被认定为可再生能源，但目前水电投资只能依托减缓气候变化项目进行融资，而且受到一系列限制。具体为：

- “超大型”水电项目均被排除在“清洁发展机制”（CDM）融资之外，除非其能满足特定的、以生产单位电力对应的水面面积衡量的“功率密度”标准。
- “欧盟碳排放权交易制度”（ETS）框架（世界上最大的多国碳排放权交易体制）为超过 20MW 的“清洁发展机制”水电项目设置了

另一个障碍，要求其符合相关的国际标准和准则，包括世界水坝委员会（WCD）2000年报告中所提出的标准和准则。

- 美国也有同样的限制条件，目前美国的《气候变化法案》只把“增量”水电定义为可再生能源。

国际水电协会（IHA）认为，“清洁发展机制”资金对水电项目的典型作用是将其收益率提高2%~3%，足以把一个勉强可行的项目转为盈利的项目。因此，一系列限制性条件所形成的直接约束和交易成本束缚了水电项目潜在效益的发挥：

- 对能减少温室气体排放和有利于减排的活动起到了阻碍作用。
- 对于除了火电没有其他电力生产供应的地区而言，能源成本增加。
- 限制了贫困地区投资建设有益于提高适应性的多用途水利工程的可能性。

但这一情况在某些方面正在发生改变：

- 虽然世界水坝委员会的报告并非在实践中必须采纳的标准或行政措施，但世界水坝委员会有关程序中的一项成果强制水电行业以更公开和更直接的方式对其自身的可持续发展进行阐述。

- 发展中国家中的领头羊，如中国和中东国家，正在改变对基础设施进行双边融资/援助的做法，其中就包括水电项目。

- 也许正是出于这个原因，欧洲和北美国家已经改变态度，愿意重新审查其以往的做法。

水电评估论坛目前正在审阅国际水电协会的《水电可持续发展纲要》（HSG）（2004年）和《水电可持续发展评估协议》（HSAP）（2006年），论坛成员包括来自发达国家和发展中国家的政府机构、水电部门、社会和环境方面的非政府组织（包括世界自然基金会和大自然保护协会），以及商业银行和发展银行的代表。该项目旨在摸索出能被广泛认可并且可持续的评估方法，指导水电行业开展业绩评审。

此外，联合国教科文组织国际水文计划与国际水电协会正在联合领导开展一项研究，主要针对水库的温室气体排放，因为该问题已被视为限制大型水电项目开发的理由。

在上述讨论中，水库温室气体状况发挥着重要作用；但目前存在一个严重问题，就是我们在如何衡量水库温室气体状况问题上仍未达成科学上的共识。这导致从全球到地方都难以采取行动。例如，政府间气候变化专门委员会正在等待国家温室气体清单指导目录方面取得的科研成果，而联合国气候变化框架公约正在为排放权交易寻找量化碳抵消的方法（测量和预测建模）。整体上看，由于目前缺乏对相关情况的了解，因此在制定能源、水和气候方面的政策时不得不采取折中的方式。这对全球都会产生影响，特别是对发展中国家^①。

鉴于清洁发展机制和欧盟碳排放权交易制度将在2009年12月哥本哈根会议后进行审议，因此将有机会形成监管机制，对大型多用途水库的适应性效益加以考虑，并确保其优化利用和生产可再生能源以实现减排的目标。

澳大利亚墨累-达令流域（Murray - Darling Basin）近期发生的大旱为我们提供了实例，政府部门以行政的手段对用水施加限制，从而确保受旱灾影响最为严重的行业得到供水。澳大利亚墨累-达令委员会前主席这样解释道：

澳大利亚用水通过水权制度进行管理，以此来确定水量和供应保证率。在旱灾严重期间，许多用水户只能享受到“正常”分配量的一小部分。这完全是通过水权制度而非定价机制来强制实施，可将水进行再分配，从低价值利用转到高价值利用；尽管降雨和江河流量大幅减少，但流域内的农业产值几乎没有受到影响^②。

通常蓄水被视为提高供水可靠性的主要方法，但是还有许多

① 见联合国教科文组织、国际水电协会项目（2008/2011）——“淡水水库温室气体状况”的项目总结，由国际水电协会2008年于伦敦出版。

② 见唐·布莱克莫尔（Don Blackmore）和约翰·布里斯科（John Briscoe）2008年10月2日发表于《经济学人》的《致编辑的信》。

其他选择。在某些情况下，限量供水可用做“分级可靠性”供给体系，可以是城市自来水限令或者是削减农业用水配额。虽然限量供水对大范围用户的作用并不明显，但该方法被证明是适当有效的管理手段。水管理还有其它方法，粮食储备可用来弥补偶尔干旱造成的歉收，以保险作为资金“储备”可预防供给中断并有助于减轻气候变量带来的影响。

在许多情况下，天然蓄水以最小的成本提供最大的利益，但其本身并不能提高可靠性。蓄水只是“天然基础设施”所需的一个要素。

许多国家，特别是非洲干旱地区的贫困国家，没有足够的蓄水能力。即使有能力，如在南非的赞比西河上建造了非洲最大的两座大坝，也不是所有用水户都能获得用水保障，除非再修建昂贵的引水和输水设施。在拥有自然蓄水的地区情况也是一样，如东非的湖泊储蓄了大量的水，但远离湖泊的地区还是用不到水。

有时候蓄水能力充其量是望梅止渴，大量蓄水的存在往往给人们制造出有充足可用水的假象。可蓄水只有被调出才能起到作用，这就是为什么像北美五大湖这样大的水体，从可持续的角度看也只能维持相当少的取水量的原因。

多部门管理体系面临的一项挑战（和机遇）是确定可实现多目标的方法，从而使蓄水为下游用户提供可靠的供水和发电保障，并减少洪水灾害。然而要实现所有这些目标，必须确定好这些目标的优先顺序。

有个经典案例可着重说明不成功的规划和多用途项目运行所带来的危害。1974年莫桑比克脱离葡萄牙殖民统治获得独立后不久，卡布拉巴萨水电项目开始在赞比西河上运行。那时，刚建成不久的卡布拉巴萨大坝由一家葡萄牙公司运营，当时这家公司的目的是最大限度地榨取利益以分期偿还高昂的建造费用。结果，该公司尽可能抬高大坝水位以取得尽可能多的水，驱使水轮机不停地运转发电。这就意味着如果上游发生强降雨，水库就无法再储蓄更多的水，洪水只有向下游排放，对下游地区造成破坏。

在多用途大坝设计和实际运行中需要有明确的目标准则。中

国三峡大坝的运行准则中对防汛和发电都作了考虑。这要求水库水位在洪水季节来临时大幅降低，腾出“空间”储蓄洪水以减轻洪水的影响，否则洪水会危及下游数百万人口的生命财产。虽然降低水库水位会大幅减少电力生产，但这是大坝为长江流域提供最大利益所必须作出的牺牲。除此之外，大坝运行准则也会考虑航运和供水等其他功能。

根据提前获取的季节性降雨模式预测信息对大坝运行进行调整，可为所有用户提供最大化利益。也可通过设计金融手段来缓解变量对多目标用户群体产生的影响^①。不过这些功能只有在蓄水成功的前提下才可得以实现。因此，水电开发的重要性在于为蓄水创造了条件，为提高适应性提供了保障，同时还可生产清洁可再生能源为减缓气候变化作出贡献。

环境的变化动态

如果气候变化给人类社会用水提出诸多实质性挑战，那么由水资源作为组成部分的自然环境也是如此。气候变化的确对当前环境管理和保护的一些基本设想提出了质疑，如通过减少人类干预来维持现有生态系统；因为如果没有人类干预，生态系统最终也将受到气候变化的影响。因此，我们明确知晓环境的最终状态会是怎样，即人类设计干预和自然演变的结果没什么两样。

大范围环境变化是气候变化和人类对气候变化所作反应的共同结果。气温和水文变化将会影响植被覆盖，并进一步影响江河与湿地的生态系统和生物多样性。森林管理和土地利用等方面采取的措施以及加大水电开发和生物燃料生产也将影响生态系统。

在水变得越来越稀缺的情况下，现有自然环境将首先受到影响。只有少数国家制定了有效机制来确保江河和地下含水层有足够的水，以维持水生生态系统及其生物多样性。在大多数情况下，面对其他用水领域（家庭、农业和工业）的竞争时，生态系统会

^① 见布朗（C. Brown）和卡里克里（M. Carriquiry）2007年发表于《水资源研究》第43卷的《以供期权合同和水库指标保险管理水文气候对供水造成的风险》。

最先丧失竞争力。而在气候不断变化的情况下，保持恰当的平衡将比现在更加困难。

水文变量、气候变化与经济增长

降雨与江河流量的可变性将随气候变化而加剧，这将极大影响经济增长，特别是对贫困国家而言。有关缺水和可变性对经济影响的研究表明，只有那些已用人力和财力来治理气候变化的国家和地区才不会因气候变量而减缓发展。

无论是主动还是被动地应对水文变量都将付出高昂的经济、社会和环境代价。应对不断加剧的水文变化需要一笔不小的费用，而且无论是否采取行动都将产生成本。因此，在那些很难抵御频繁洪水的脆弱地区，必须以人员伤亡和财产破坏程度来测算不作为成本，并以此确定搬迁易受灾害侵袭的家庭、加强防洪工程和预警系统等行为的社会、政治和财务成本。

对于这些成本以及产生这些成本的环境必须理解到位，并在其产生的特定背景中进行结构性分析。在当地环境变化多端的情况下，我们没有统一的解决办法。关键是采取有组织的行动，考虑到所有的问题、可能的回应并在系统分析基础上进行决策。

发展的空间分布

人类经济活动趋向于向水安全状况更好的地区转移，回避那些供给不稳定或涉水灾害加剧的地区。这反过来加剧了水安全地区的竞争，对该地区的水安全带来潜在危害。

总体而言，较不安全地区居住的都是较贫困的人口。由于脆弱地区在面对洪水、海平面上升、海水入侵地下水和耕地减少等问题时更加难以应对，因此贫困人口受到危害的比例更高。

随着水安全模式的改变，耗水型产品（“虚拟水”）贸易可能会增加。如果缺水国家可从水源充足的国家进口粮食，那么这种贸易可以缓解气候变化的一些负面影响。不过，近期粮食价格的波动凸显了粮食大量依赖进口所带来的长期隐患。

富裕国家面对这种情况所采用的应对策略是在海外购买土地。例如，沙特阿拉伯最近在南亚和中亚购买了大量农业用地，中国

已经在苏丹和莫桑比克进行投资，一些媒体报道韩国正准备在马达加斯加经营农场。世界最大的食品公司雀巢集团的主席表示，这些行动更主要的目的是获取水，而不是土地^①。

水安全条件不断发生变化还将推动人类定居点空间分布的改变。美国援外合作社（CARE）近期的一份报告指出，气候变化导致的干旱、洪水、冰川融化、海平面上升和农业种植模式改变将是引发大规模社会动荡的主要诱因。

气候变化已经造成人类迁徙和无家可归的后果。虽然还无法确定本世纪中叶将要搬迁的具体人数，但搬迁范围和数量都将大大超过以往任何历史时期。欠发达国家和岛屿国家的居民将最先受到影响，且影响程度最为严重。这将对几乎所有领域的发展和人类安全造成严重的后果，对政治稳定也将带来重要影响^②。

经济发生结构性改变

如果水安全条件在一个特定地区发生变化，特定经济活动回报也将发生改变。在更多地以水安全为前提开展活动的情况下，作为经济生产一部分、导致水安全性降低的活动会适时减少。

以适应性为基础作出响应将有助于发展抵御水文变量弹性的技术，提高基础设施建设和改善水管理实践，并鼓励人们对水安全经济领域进行投资^③。

在此背景下，农业用水管理的改进主要取决于农产品贸易条件。只有农民获得足够的回报，他们才会对提高用水效率进行投资，而这项投资能够帮助他们应对可用水量减少的状况。在供水

① 见包必达（Peter Brabeck - Letmathe）2009年发表于《外交政策》5—6月刊的《下一个热门话题：水》。

② 见援外合作社和国际地球科学信息网络中心（CEISIN）2009年发表的《寻找庇护所：映射气候变化对人类迁徙的影响》第IV页。

③ 实例参见《2008年世界的状态：可持续经济体的革新》一书中由盖尔·伯坎普（Ger Bergkamp）和克劳迪娅·萨多夫所著的《可持续经济体的水》，该书由地球瞭望出版社2008年于华盛顿出版。

量保持不变的地区，这将减少农民的用水量并将水用于其他用途。

“虚拟水”贸易有助于维持粮食生产并确保其流向最具潜力的地区，但这一过程可能以牺牲潜力不足的贫困地区居民的利益为代价。因此，虽然世界拥有足够的粮食，但气候变化的影响会导致许多国家的贫困人口没有钱去购买粮食。

2.3 综合因素

气候变化给社会各界带来的影响对水资源管理构成了严重挑战。然而这还不是唯一的威胁。事实上，造成变化的其他诱因至少从短期和中期来看也十分紧迫。这些诱因构成威胁的重要组成部分，迫使水管理部门必须采取措施应对气候变化。

这些诱因包括：人口增长、经济发展和消费模式的相关变化、技术发展、气候缓解战略以及城市化和土地使用的变化。

人口变化

针对“水紧张”或“水缺乏”的大多数管理措施是以人均可用水量为基础的。比起绝对可用水量，变化性与发展程度的关联更为紧密，但因缺水产生的影响仍然很重要。特别是在非洲，不过亚洲和拉丁美洲也存在同样的情况，即水资源短缺日益严重主要是水量不变的情况下不断增长的人口用水竞争加剧所导致的结果，而不是因为可用水量本身发生了变化。

经济发展和消费模式的相关变化

在经济发展提升个人收入的地区，人们的消费模式会改变。特别是饮食变化对水需求有着重要影响。具体说来，从谷物到肉食消费的转变就与人均用水量的大幅增加有关。生活标准提高导致的消费变化将使个人“水足迹”升高。

技术发展

技术变化在很多方面会影响到水和水管理。这些影响可能是有利的，比如节水技术的发展可缓解资源紧张的压力。但许多时候技术发展也对水资源产生不利影响，尤其是对水质的影响。许

多新型化学技术产品和药剂通过水循环进行处理和分解，这会对人类健康会造成不可预测的后果^❶。开发新能源，诸如油页岩等，对许多地区的水质也构成了严重威胁。

城市化和土地利用变化

即使没有气候变化，洪水也是水资源管理面临的主要挑战。洪水造成的损失不断升高，不仅是由于洪水强度和频率的变化，还同人口增长以及将人口和资产推向脆弱境地的城市化和土地利用方式改变有关。因此，城市化和土地利用规划也构成水和人类社会之间相互影响的推动力。

缓解气候变化战略

缓解气候变化战略本身也可能加剧气候变化对水行业的影响，虽然看起来有些矛盾，但却是事实。水电开发或新生物燃料的发展都将对水资源产生影响。因此，解决能源问题的同时会增加水资源的压力，同时对粮食供应产生压力。好的做法是在审查缓解气候变化战略时将其对水资源产生的影响作为考虑因素的一部分。

不确定性和时间范围

不确定性会体现在适应气候变化规划的各个方面。许多人因此认为这是推迟行动的理由。大多数影响预计将在未来几十年内产生，而影响的范围可能因为一系列因素而大不相同，这取决于缓解的努力是否奏效和覆盖面有多广、目前使用的模型精准度如何，以及不能建模的非线性临界点的可能值等。

但是，调整水资源管理以作出响应的时限也在同一个时间范围内。因为主要水利设施，如大型水库或渠道的设计和施工通常需要十年以上。这些设施的使用寿命也会很长。目前建造的设施在100年后仍会矗立原地且有希望照常运行。同样，目前收集的水文数据和信息将为未来数十年监测、理解和管理全球不断变化的水文状况提供宝贵的依据。

❶ 参见尼古拉斯·克里斯多夫（Nicholas D. Kristof）于2009年6月28日在《纽约时报》发表的《是时候向青蛙学习了》一文对水供给中内分泌干扰物的关注。

对特定的中期优先领域进行排序是一项复杂的工作，及时又明智的做法是将重点放在弄清各种挑战，并加强应对挑战的能力。抓住现存机遇进行干预也同等重要，可以加强江河治理和蓄水设施建设；可以强化水文信息系统，特别是针对我们不熟悉的战略水资源，如地下水和冰川融水；可以引入有难度的“软件”措施，例如节能计划和激励措施来减少污染，以此改变我们的行为，避免人类在未来变得更加脆弱。

专栏 7 地中海地区的气候变化：可能的威胁与应对措施

所有气候变化情境预测都指出地中海将成为受影响最为严重的地区之一。水旱灾害的强度和频率将增加，水资源的数量和质量都将受到影响。这些挑战将加重该地区的大部分区域内目前已很严重的水紧缺，包括北非、中东和东南及南部欧洲。但从下述观点可看出其影响和后果在该地区的表现并不一致。

北非

气候变化将加大该地区解决贫困和确保生计的难度。预计农业、日常生活、旅游业等对水资源的竞争将更加激烈，每年的水需求将增加 50 000m³。健康问题（洪水导致污水进入供水系统造成潜在传染）将恶化，人口迁移以及共享水资源国家间发生冲突的风险将有所增加。

气候变化的后果包括：严重干旱、径流和流量大幅下降（将达 50%），以及由于降雨减少和气温升高导致土壤湿度降低，从而反过来导致蒸发率和干旱度增加，森林火灾和沙漠化风险增高。

在马格里布（Maghreb）地区，农业生产主要依靠非灌溉式的小型农场，现代化进程缓慢，难以满足人口增长的需求。预计（到 2080 年）干旱频率不断增加将使农业减产超过 20%，摩洛哥和阿尔及利亚农业减产幅度最大，可达近 40%。粮食进口量的增加将对当地国家的经济构成压力。由于当地农业为 40% 的人口提供就业，因此减产也会造成严重的社会影响。

在本已大规模开采“化石”水的地区，如努比亚砂岩和北撒哈拉含水层，预计开采量还将增加，从而引发一系列的次生问题。此外，模型建模表明，地中海南岸沿线的地下水补充将大幅减少，到 2050 年

将减少超过 70%。阿尔及利亚和突尼斯还容易受到洪水等自然灾害侵袭，另外与摩洛哥一样可能也会受到海平面上升的影响。

中东

大部分气候情境下，随着降雨模式的变化和水蒸发的增加，整体而言，埃及和中东的可用水量将大幅减少。这将对该地区的主要作物造成影响，例如大米、柑橘类水果、甘蔗。当地 80% 的农业依赖于灌溉（例如埃及、黎巴嫩和约旦）。联合国粮农组织称，温度上升 3~4℃ 就可导致当地作物减产 25%~35%。

高山地区（例如黎巴嫩和土耳其境内）的降雪，特别是积雪覆盖的区域预计将受到水文地理、生态和经济影响（例如冬季旅游和水电生产）而大幅减少。

该地区内和跨界区域的用水竞争将更加激烈，使本已严重的冲突、暴力事件和政治动荡日益加剧。

尼罗河三角洲尤其容易因海平面上升而遭受洪水侵袭。

欧洲东南部

在欧洲东南部，农业、旅游业、工业和能源等依赖可用量的经济活动将受到不利影响。巴尔干半岛西部的阿尔巴尼亚、波黑和塞尔维亚等依赖水电的国家，降雨的减少和山区积雪覆盖时间的缩短将进一步影响能源安全。

在亚得里亚海沿岸，洪水、侵蚀和水土流失（风暴和海平面上升造成的）风险的增加将威胁到人类定居点和沿岸的自然栖息地，其中包括对生物多样性非常重要的湿地。

欧盟的地中海国家

南部的欧盟国家，严重干旱会更加频繁地发生，特别是夏季干旱会更加严重。温度上升导致用水需求增加，可能使情况更加恶化。受影响最为严重的将是塞浦路斯、马耳他、希腊（主要是克利特岛、伯罗奔尼撒半岛、阿提卡和爱琴海岛屿）、意大利南部及其岛屿以及西班牙东南部，干旱和缺水事件发生的频率和严重程度都将增加。热浪可能会严重影响当地旅游业以及人们的健康，且用于降温的能源消耗将增加。

除了目前的严重缺水状况外，该地区的岛屿国家（塞浦路斯和马

耳他) 也特别容易受到海平面上升的影响, 包括有价值的生物栖息地在内的一些地区处于易受影响的高风险区。

生态系统

许多科学家和环保专家预测, 气候变化对沿岸地区的生物群落有着严重的不利影响。特别是对水质和防汛构成重要缓冲区的湿地正受到由于可用水量减少、取水量加大以及高温引起的高蒸发率所带来的直接威胁。

湿地生态功能的降低所带来的影响远远超过了调节当地水平衡和保护含水层不受海水入侵的影响。例如, 尼罗河三角洲外围地区的大幅缩减不仅改变了当地的营养平衡和主要鱼类资源的储量, 还大幅削弱了苏伊士运河到地中海入海口低盐度地带形成的保护屏障。这道“屏障”过去一直用来阻止来自红海和印度洋的外来物种的侵入, 但如今其效力已经受到严重破坏。

另外, 由于湿度的降低, 地中海地区的森林和马基群落的植被覆盖变得更加容易受到野火侵袭, 从而降低植被覆盖率。这一情况反过来又会加速干旱和半干旱地区的土地退化和土壤侵蚀, 导致更多的温室气体排放。

地中海地区拥有数十万大大小小的垃圾填埋场。洪水的增加将加大渗漏对地表水和地下水体造成的污染, 同时考虑到许多非法垃圾填埋场就在森林附近, 焚烧垃圾引发森林火灾的风险增加, 这将导致大气污染更为严重。

地中海地区与水相关的适应性措施

气候变化对水的影响程度在某种程度上取决于水利基础设施的状况。但确保生态系统服务和水需求管理发展的制度体系也同样重要, 因为这些措施往往要比工程措施更加廉价和有效。

在解决地中海地区缺水问题时, 分析一致认为应首先对不断增加的用水需求进行管理, 主要是引进更加有效的新技术、调整价格和系统性地开展宣传、培训及推动水资源保护。

政策、策略规划和制度措施

气候变化应对措施将意味着各个层面的政策、策略和措施高度统一, 无论是国家还是流域和地区层面。这其中包含了一系列行动, 从

应对气候变化引起的破坏和灾难到旨在降低脆弱性的积极政策。

在所有的水计算和预测中采用更高的“限额”，该方式在水和可持续发展规划中都是可取的。有些国家已经在这方面作出了重要努力，例如摩洛哥的《国家人类发展倡议》。

为了让水行业不受气候变化的影响，可广泛应用诸如气候设想、脆弱性评估、优先适应选择和气候风险管理机制等适应性措施，为各级决策提供便利。进行机构间合作也是非常有效的。民事防护（例如重新安置沿岸地区或江河流域容易受到频繁洪水袭击的社区）中的土地使用规划，特别是水基础设施的谨慎设计，都是特别有用的措施。

未来还需要制定和执行适当的调节性框架，建立的制度也需要进行改革，从而全面应对新出现的气候风险。个人、机构以及权威部门的应对能力也需要加强。

技术解决方案

节水和提高用水效率对于保护地下水资源尤为重要。这些措施应与法律和社会经济措施紧密结合在一起，具体包括家庭使用节水龙头、用水计量和采取经济刺激措施——如根据消费水平实施居民用水差价，以及研制节水设备、配水网络减少渗漏、农业滴灌和工业及能源领域的清洁生产 and 循环技术等。已经有几个国家开始鼓励发展滴灌和使用其他节水设备。

供给侧措施对于满足人类和不同经济领域不断增长的水需求也十分必要。许多这类措施已经得到了广泛应用，非常规水资源的开发也得到了普遍应用，如在各地区以不同形式进行的雨水收集、经过处理的废水再利用（在各地出于文化目的推广“再生”水）、海水淡化技术以及小型和中型的集水和蓄水系统、大坝、可持续排水系统、流域间调水和人工补给地下水。

为确保防范气候相关灾害，需要在区域和国家/地区层面制定应急规划方案。这意味着要加强水文监测能力、建立早期预警系统、民事防护机制（如灭火装备）、干旱管理计划和洪水风险缓解机制（如将流域管理与土地规划相结合）。水利设施（如大坝、集水设施）的气候防护也构成气候风险管理的另一个方面。

作者：米海尔·斯库勒斯（Michael Scoullos），全球水伙伴地中海地区委员会主席。

3 通过改善水管理应对气候变化

决策者要认识到水是气候变化影响发展的主要媒介，在总体发展规划和管理中对此应加以具体化。同样，水管理者和用水户适应未来发展十分重要。水资源管理措施应做到发现和应对挑战及不确定性。

我们可通过从根本上改变生产和利用能源的方式来缓解气候变化带来的挑战。我们可以从为社会各项活动提供燃料的资源做起，从资源利用和能源生产方式做起，以及采用适宜城市和公共交通系统的定居方式。这个理念可扩展到生产、消费和交易模式，所有一切都以减少二氧化碳和其他温室气体排放为目的。

用水领域也要采取类似的手段。从根本上改变水资源管理和开发模式来缓解气候变化带来的挑战。水资源和能源不同，水很难进行长距离运输，其利用模式非常本土化，在各国之间以及本国内部都会存在差异^①。

水的来源虽然不同，却常常在水循环中相互关联。山坡上种植森林会消耗山谷的地下水，某地区过度开采地下水可导致附近的河流干涸，截流发电会影响到下游河口地区的鱼类数量和渔民的生计。

因此，水资源管理、利用和再利用必须充分体现可用水量，水的不确定性、稀缺性和充裕性以及不同区域、地区和全球用户间相互的关联性。

^① 关于调水和输水的独特经济意义的探讨，参见《水与卫生：关于2008哥本哈根共识的挑战性文件》，戴尔·惠廷顿（Dale Whittington）、迈克尔·哈纳曼（W. Michael Hanemann）、克劳迪娅·萨多夫和马克·朱兰德（Marc Jeuland）著（哥本哈根：哥本哈根共识中心，2008年）。

我们的主要目标是确保所有用水户和其他利益相关方知晓会对他们造成影响的水挑战，帮助他们采取不同的方法加以应对，并在制度和管理上积极应对。这将确保在更广泛的气候变化和发展策略框架下应对我们面临的水挑战。

然而最为重要的是明确水资源管理目标，首先是实现基本的水安全。在此基础上，我们要寻找一种方法，使水和水管理以可持续的方式为社会和经济发展作出更大的贡献。

3.1 适应的首要目标和框架：水安全

考虑到水具有改善生活和生计方面的多种作用以及水也会造成灾难的特点，实现水安全应当是我们的首要目标。尽管许多国家已经苦于应付这些挑战，可在气候变化的作用下目前情况正趋于恶化，世界上更加贫困和脆弱的群体受到的影响将更为严重。

水安全因此成为应对气候变化的核心。水安全的定义为“在数量和质量上能满足健康、生活和生产的可用水量，并可承受一定程度的涉水风险^❶”，水安全为最低限度也是最为现实的一揽子计划。我们无法做到避免全部风险，但可将其控制在可接受的范围内。同样，健康和生计无法实现最优，但通过水管理可使其达到社会发展可接受的最低程度。许多情况下，健康、生计和预防自然灾害主要取决于保护自然环境的可持续性，因此保护自然环境势在必行。

总之，虽然“水安全”不像许多人所希望的能解决更大的社会和经济问题，或其涵盖在各领域的环境目标内，但它明确指出在何种条件下水都不应成为实现这些目标的障碍。

还需要注意的是，水安全不仅仅是将水作为资源，保护和确保充足的可用水量。水资源保护、开发和管理与供水服务的管理和交付相互关联但区别明显。两者都对水安全构成挑战。从源头

❶ 格雷和萨多夫（2007年）。

获取安全可靠的水通常需要修建基础设施，并有相应的机构持续不断地提供供水服务，尤其是在大型城市。确保供应商提供有效的服务面临的挑战不是本文探讨的话题，但很明显如果资源本身匮乏，那么提供良好的服务也会变得困难。如果水服务不考虑气候变化因素以及水资源面临的其他压力，服务将注定失败。

鉴于上述考虑，我们应立即开始适应性行动，而且目前的机构和设施对未来行为模式的制约和影响或许会持续若干年。除非现在就采取行动，否则我们将错失更加容易应对变化的机会以及确保可持续长久未来的机会。

此外，实现水安全并非一劳永逸之事，特别在面对气候变化的情况下，我们需要采取一系列行动来保证水安全，并减轻气候变化给对水资源构成压力的关键驱动因素带来的影响。水安全需要技术和制度创新，为改善服务质量和促进经济活动的开展创造机会。这方面的一个典型例子是新加坡。新加坡展示了一个国家如何通过采纳和强制实施整体协调措施实现了水安全，并远远超出了预期（见专栏 8）。

专栏 8 新加坡通过开创水重复利用和采集实现了水安全

新加坡是一个人口密集的小型岛国，位于马来西亚海岸。虽然处于热带降雨区，但新加坡有限的地表面积意味着其水资源有限，一直以来都依赖邻国马来西亚供水。该国发生的事情证明除气候变化外，其他推动因素通常更具现实意义。由于马来西亚提出重新开启供给协议谈判，明确暗示可能会限制未来供水量，新加坡意识到水安全受到了威胁。

为了确保水安全，新加坡采取的对策是对以节约、高效、创新和重复利用为重点的战略进行投资。这样做的结果是当前水需求得到了保障。更重要的是新加坡自身技术实力得到显著提升，其经验已被其他国家广泛借鉴。

“为了实现水可持续发展，新加坡一直在研究和技术方面进行投资。目前国家已建成一套多元化的可持续供水系统，

利用被称作‘国家四大水龙头’（当地降水、进口水、称作‘新生水’的再生水以及海水淡化）四种不同的水源。

通过整合系统以及最大限度提高四大水龙头的效率，新加坡具备了为本国持续增长提供稳定和可持续供水的能力^❶。”

毋庸置疑，通过上述措施新加坡有计划地降低了自身在应对气候变化上的脆弱性。事实上，新加坡充分利用了极端降雨带来的好处，在人造沿海潟湖存储雨水，减少需要淡化的水量，以此来减少碳足迹。

3.2 通过水资源综合管理保障水安全

要实现和持续保证水安全，水管理措施必须体现水循环的综合一体性，妥善处理不同用户、用途、威胁和受威胁资源之间的关系。水资源综合管理就是这样的一种方法。水资源综合管理对水管理中需要组织和管理一些必然要作出的妥协有明确的认知。水资源综合管理还对一种用途会影响其他用途而这些都依赖于资源基础的综合性有明确的认识。

为有效适应气候变化，改善水资源管理必须将“硬件”（基础设施）措施和“软件”（制度）措施相结合，其范畴远远超出通常意义上的“水行业”。更为关键的是气候变化应对战略要求我们对农业、工业和总体人类定居点的管理措施进行重大改革。

无论是气候变化对发展构成的挑战还是许多可能的应对方法都不是新近才出现的。其中许多挑战和对策在 1992 年里约峰会上首次提出，会议对危险发出了警告并提出一揽子行动计划，试图

❶ 《国家四大水龙头为所有人供水》，见 <http://www.pub.gov.sg/water/Pages/default.aspx>，2008 年 11 月 13 日访问。

在环保和贫困世界的发展需求双重目标下取得平衡并寻求解决问题的办法。1992年的峰会对水资源综合利用和管理达成共识，将其作为解决环境问题的手段，以确保人类特别是贫困人口的需要得到妥善解决。

虽然1992年里约峰会召开以来成果显著，但进程却依然缓慢，而且发展程度参差不齐。除了机构对改变通常存在抵触外，政府和个人也不愿意将资源从短期优先领域转移到解决长期问题上。其他原因还包括隐藏在问题内部的复杂性，同时也缺乏提出干预措施和将其落实到实践方面的经验。

水资源综合管理自1992年里约热内卢峰会首次提出后，2002年约翰内斯堡世界可持续发展峰会上对此方法给予了进一步肯定，目前已被世界各国广泛认同和采纳。

我们对里约峰会作出的最终决议，即应对气候与水问题的《21世纪议程》作了较为深入的介绍（见专栏9的摘录）。因为不仅从历史的角度考虑具有价值，更重要的是它证明了从认识问题到采取有效行动存在难度，证明了人们在利用早期预警上基本是失败的。正如《21世纪议程》有关水资源综合开发和管理的提议一样（首次在全球范围内正式达成一致），与近20年前相比它所提出的许多建议同样适用于目前情况。

里约峰会《21世纪议程》中与水相关部分最重要的一点是，我们应以综合一体化为基础进行水管理。这不仅涉及将不同用户的利益综合加以考虑，还必须意识到不同的水源（江河、湖泊和地下水）都通过水循环体系相互关联，社会经济发展中无论是城市服务扩展还是新工业增长都可能对水资源产生重大影响，只有采取有效的水资源管理才可能从长远上取得成功。

需要对水资源进行综合规划与管理的原因在于，世界许多地区淡水资源普遍稀缺并遭到不断破坏和严重污染，同时过度开发进一步加剧了问题的严重性。综合考虑应涵盖相互关联的所有淡水体，包括地表水和地下水，并同时考虑水的数量和质量。

专栏 9 为了解气候变化对水资源影响拟定的行动计划（摘自《21 世纪议程》）

G. 气候变化对水资源的影响

行动依据

18.82. 对全球的气候变化的预测捉摸不定。虽然区域、国家和地方各级的这种不确定性更大得多，但最为重要的决定正需要在国家层面作出。气温升高和降水量减少将导致供水量下降和对水的需求增加，这可能引起淡水体变质，给许多国家供求之间业已很脆弱的平衡造成压力。即使在降水量可能增加的地方，也不能保证会在能被利用的时节降水，并且，还有可能发生更多的水灾。海平面的任何升高往往会导致盐水侵入港湾、小岛屿和沿海蓄水层，并使沿海低洼地区泛滥成灾；这使低洼国家面临巨大的风险。

18.83. 第二届世界气候大会的部长级宣言提出：“这种气候变化的潜在影响可能给环境造成其规模迄今鲜为人知的威胁；甚至会威胁到一些小岛国和低洼沿海地区及干旱半干旱地区的生存。”会议认识到，气候变化最重大的影响将是对水文周期和水利管理系统的影响，以及因这些对社会、经济制度的影响。气候异常，例如水旱灾害发生次数增加，将使灾难发生率上升和更为严重。因此，会议要求加强必要的研究和监测方案，交换有关的数据和信息。这些行动将在国家、区域和国际各级采取。

目标

18.84. 这一课题的性质本身首先要求提供更多有关所面临的威胁的信息和更深入了解这一威胁。按照《联合国气候变化框架公约》，这一课题可具体为下列目标：

- (a) 理解和量化气候变化对淡水资源可能产生的影响；
- (b) 当威胁性的影响被认为足以证明应当采取有效的国家对策时，促进这种对策的执行；
- (c) 研究气候变化对水旱灾频仍地区的潜在影响。

行动

18.85. 所有国家可按照其能力和现有资源，通过双边或多边合作，

包括斟酌情况通过联合国及其他有关组织进行下列活动：

(a) 监测水文体系，包括土壤水分、地下水平衡、水质渗透和蒸腾，以及相关的气候因素，特别是在最易受气候变化不利影响的那些区域和国家以及在易受这些影响的具体位置应当加以界定的那些地点；

(b) 开发和应用有关的技术和方法，通过气温、降水量和海平面上升的变化，评价气候变化可能对淡水资源和洪水危险产生的不利影响；

(c) 开展个案研究，以确定气候变化与当前发生在某些区域的旱灾和水灾有无关系；

(d) 评价由此带来的社会、经济和环境的影响；

(e) 制定和开始实行各种应变战略，对付那些认定的不利影响，包括变化中的地下水水位，减轻蓄水层所受的盐碱侵蚀；

(f) 发展以使用半咸水为基础的农业活动；

(g) 促进正在目前各项国际方案的构架内进行的研究活动。

资料来源：1992年里约峰会期间联合国发布的联合国行动计划——《21世纪议程》，见 <http://www.un.org/esa/dsd/agenda21/index.shtml>。

在社会经济发展的背景下开发水资源的多部门性质，以及水资源对用水供应和卫生、农业、工业、城市发展、水力发电、内陆渔业、运输、娱乐、低平地管理和其他活动的多方面利益用途，都必须得到确认。在为开发地表水和地下水供应源和其他潜在来源拟定合理的用水计划时，还必须以同时采取节约用水和尽量减少浪费的措施予以支持。^①

尽管对水资源综合管理的概念在某些领域还存在争议，有时也会成为学术上争议的焦点，但水资源综合管理的三大关键属性，仍然使其成为应对气候变化对世界水资源构成的挑战的最好方法：

^① 《21世纪议程》18.3节。

- 该方法认可水循环作为整体的特性，并试图使受水影响或对水产生影响的所有行业协同一致，从而确保一个行业的行为不会通过水对另一行业带来损害。

- 该方法认识到我们只有建立有效的机制才能成功且公平地解决不同活动和利益方之间的冲突并作出权衡。

- 该方法本身就具有适应性。水资源综合管理认识到水管理方法将必须随着其他社会领域的改变而改变，没有一次性解决所有问题的方法。

水资源综合管理的原则明确指出，气候变化将加剧水管理面临的诸多挑战。但这在实践中意味着什么？如何才能让水管理政策和实践保持一致，从而帮助人类社会、生态系统和环境适应气候变化？要实现这一切还需要做些什么？

应对措施制度化

主要重点应当是确保水资源管理的体制框架有效运作。水政策和实践的目标必须是建立制度、信息和预测能力，计划和应对季节性和全年的气候变量，以作为适应长期气候变化的一项战略。这些机制必须能够促进社会和经济改革，这涉及作出一些重要的权衡。

在这种情况下，机构体制不仅仅包括正规的组织；不过事实上，我们倾向于这样的正规组织，即他们所面临的主要挑战和需要担负的主要职能都清楚明白。机构体制的形式可以更加广泛，如非正式的协调活动、信息收集和整理、通过立法或合作制定规则并监测和遵守这些规则。所有这些活动都十分重要，而且可在不同层次开展，甚至可以在没有正式组织的情况下执行。用户社区积累的良好管理实践，比正式机构从外部强加的规则更具有持续性。

为了实现水安全和发展目标，用户和资源管理者必须采取互动的方式，加强双方应对不确定性和挑战的能力。良好水管理的一个组成部分是确保所有用水户获得对其造成影响的涉水挑战信息，以及能够帮助他们找到应对方法。这也将确保气候变化和发

展战略的覆盖范围足以应对涉水挑战。

水资源机构在管理挑战中面临的一项重要任务是要在不同用水户之间作出权衡，特别是水资源条件有限的国家。而其中最直接和最具争议的权衡是提高蓄水能力以确保防洪和供水安全，还是顾虑建设项目对居住在该地区居民所造成的影响。虽然提高蓄水量的社会效益相当可观，但对当地居民生计、社会结构和环境造成的影响也会是毁灭性的。在许多国家还存在一个很具挑战性的选择，即是满足农业需求以维持大多数人口所需要的口粮，还是向城市经济倾斜，从而获得分布极不平均但却难以取舍的财富。

通过设立制度来决定谁得到多少份额，无论在富足时期还是在稀缺时期，其根本上都是政策问题，这需要强有力的机制促使所有利益相关方都能接受。此外，随着水需求的增长以及供水能力达到极限，我们需要作出抉择，在自然环境保护、依赖自然环境的人类生计以及其他社会和经济活动的需求之间取得平衡。

由于水在几乎所有社会和经济生活方面都发挥作用，并且在环境中起到基础性作用，水资源利用和管理模式中的任何变化都将影响到不同的利益相关者。虽然我们总是希望获得双赢的局面，但仍无法避免作出某种程度的取舍，且这种取舍的过程也需要制度化。

软件措施和硬件措施投资

在过去几十年里，我们实行水资源管理措施所得到的重要认识是，我们发现工程措施作为未来管理手段的组成部分固然重要，但其本身却并不能解决世界所面临的所有水问题。还有一系列的社会、经济和政治挑战需要应对，而各种“软”措施可用来弥补“硬”基础设施的不足^①。

水资源综合管理有助于“硬件”基础设施和“软件”措施的实施。事实上，正是“软硬兼施”的明智策略为各国提供了成功

^① 见《对基础设施进行投资：水资源综合管理方法的价值》（全球水伙伴技术委员会第7期政策简报），由全球水伙伴2009年于斯德哥尔摩出版。

应对气候可变性和气候变化的最佳机会^①。

专栏 10 把水纳入气候议程：中亚案例研究

中亚地区属于半干旱和干旱地带，数千年来一直处于自然缺水状态。卡拉库姆（Karakum）沙漠、克孜尔库姆（Kyzylkum）沙漠和穆云库姆（Muyunkum）沙漠覆盖了当地一半以上的区域。咸海也位于该区域，这是世界上最著名的与水有关的环境灾难地之一。

自然与社会的竞争，即环境需求与不断增长人口的水需求之间的竞争，已变得十分严重，甚至在人们考虑气候变化的可能影响之前就已如此。在这种情况下，气候变化极有可能阻碍未来的地区经济发展，给地区生态和人类福祉带来严重的不利影响。

气候变化对中亚的主要影响是可再生水资源的减少。要适应这一情况就需要在水消耗上进行重大改革。由于农业是最大的用水行业（当地约 85% 的水资源用于灌溉），目前急需在新的温度和干旱条件下对灌溉用水需求做出评估，适当采取作物混合耕种以提高适应性，并采用田间节水措施。

有观点认为，气候是逐步变化的，没有必要为此担心——“我们逐渐会适应的”。但关于水资源管理和发展方面的决策的制定通常需要很长时期，结果要 10~20 年才能显现。这意味着现在就需要采取适应性行动。政策制定者、规划机构和水管管理者已经在着手解决下列问题：

- 通过终端用户（农民）采取短期措施进行节水实践和改变作物种植结构应对干旱。

- 在国家和地区层面采取长期措施推动合理用水和水分配，如在粮食安全和水需求方面做出新规定。

不仅如此，还需要采取一些紧急行动：

- 提高人们对可能出现的气候变化及其影响的认识。

^① 见《对基础设施进行投资：水资源综合管理方法的价值》（全球水伙伴技术委员会第 7 期政策简报），由全球水伙伴 2009 年于斯德哥尔摩出版。

- 论证克服这些影响的可能途径。
- 计划未来行动的主要方向。

还需提高公众在以下方面的认识：

- 中亚是一个缺水地区。
- 作为生存之本的水是最容易受气候变化影响的体系。
- 由于水是健康之本，将出台新的水质标准。
- 了解缺水的极限程度至关重要，而了解可供水量可能出现的波动更为重要。

一些中亚国家正在通过《京都议定书》中“清洁发展机制”框架下的投资项目为气候变化作好准备。

例如，乌兹别克斯坦政府指定经济部为国家清洁发展机制执行机构，并通过了一项关于“清洁发展机制”投资项目开发和实施的专项法规。根据该法规，提议的实施项目必须满足下列可持续发展的国家标准。

经济：

- 减少单位产量的能源和原料消耗量。
- 通过提高前沿技术改进生产效率或自然资源利用率。
- 促进乌兹别克斯坦私营部门的市场发展。

环境：

- 推动环境保护和退化防治。
- 自然原材料消耗最小化和废物利用。
- 引进原料循环利用和/或可再生自然资源利用的技术。
- 缓解对环境造成的不利影响。

社会：

- 促进就业并且增加居民实际收入。
- 改善参加项目实施人员以及项目实施地点居民的健康状况。
- 提高公众认识，关注自然资源管理问题。

上述清单表明，水并没有从一开始就作为重要问题来考虑。乌兹别克斯坦直到最近才意识到许多与气候有关的问题只能通过水管理来解决，其政府最近公开呼吁所有机构都参与制定一项气候变化适应战略，重点关注与水有关的各种行动。

因此，尽管我们知道如何实施《京都议定书》，但在实际适应行动方面我们才刚刚起步。

作者：(乌兹别克斯坦) 维克多·杜克霍夫尼 (Victor Dukhovny) 教授、瓦季姆·索科洛夫 (Vadim Sokolov) 博士、加林娜·斯图林娜 (Galina Stulina) 博士、纳塔利娅·阿加茨娃 (Nataliya Agaltseva) 博士。

“硬件”措施

应对气候变化对水资源影响的一个方法是通过“硬件措施”来积蓄和控制水，包括大型水坝和家庭集水设施。

其他重要的水利工程包括运河、隧道和管道，这些工程不仅能直接满足人类的需求，其相互之间构成相互关联的体系，尽管这一点表现的并不明显。由于水的来源多样，这些工程受变量影响较小，具有更大的灵活性，从而能强化供水安全。同样，完善的污水处理和雨水排放系统也可提高社区在极端天气事件下不间断运行和保护公众健康的能力，同时重复利用可降低整体需求量。

“软件”措施

水管理者应对变化和极端事件的方法不仅局限于基础设施，制度机制同等重要。这些措施有助于应对气候变量，实现为居民、工业和农业供水的目标，维持生态系统并保护居民区免遭水灾。这些“软件”措施可通过水分配、保护、节约和土地使用规划来应对需求变化和增加供给量。这些软件措施与基础设施硬件措施相比更为廉价，而且会更加有效，并可以作为硬件措施的补充以确保其有效发挥作用。因此，在应对潜在的缺水危机时，我们应对需求管理给予与增加供应相同的重视程度，在引进高效技术的同时倡导节约。这对于供水能力整体下降的地区显得尤为重要。

许多国家已经开始尝试实行软件措施。如在供水紧张时期对农业实行早期用水限制。城市水网减少渗漏等目标明确的技术手段不仅可通过节水减少自己承担的费用，还可节约能源，有助于缓解气候变化。

需求管理在鼓励有效用水方面也具有很大潜力。富裕家庭可

大幅减少资源消耗，农民可获得更高产值；工业企业在严格监管之下可实现较高的单位产量，还可将用水密集型产业放置到水充足的地区。我们可通过管理措施或者“交易”鼓励用水户进行水配额交换，这种激励方式有助于更好地实现水的有效利用，但必须要审慎处理相关的社会影响。

全球贸易体系对水利用具有广泛和深远的影响——既有有利影响也有不利影响，这需要我们了解和面对。正如以上论述，如果在这方面的规划和管理不得当，极力推进将生物燃料作为能源，这将进一步加剧水资源短缺的局面。

除了采取直接的水管理方式，如果社区能获得可靠的洪水数据，利用土地规划等制度手段也可大幅减少社区面对涉水灾害时的脆弱性。这表明我们可选择应用一套软件措施或者硬件措施来提高应对能力。因此，在提高洪水应对能力方面，我们既可以建设保护性基础设施，也可以通过规划限制居民在洪泛区定居。

城市规划同样可发挥作用。虽然城市化迅速发展被视为环境问题，但它也带来了环境效益。其中之一是人口稠密城市地区的家庭用水需求往往要比人口稀少的地区要低，部分原因是用于浇花园的水要少一些。规划和建设紧凑型城市被证明是有可能遏制生活用水需求更加有效的方法之一。

平衡与排序

硬件（基础设施）和软件（机制）措施的投资组合是任何情况下实现水安全都必不可少的。完美的组合需汇集水文、经济、社会政治和环境等多种因素。从历史情况看，当水利基础设施不多时，投资建设（人造和自然）设施可取得相对较高的回报。随着更大和更加复杂的基础设施相继建成，对管理能力以及基础设施运行机制进行投资会变得更加重要（见图6）^①。

特大洪水和干旱灾害的强度不断加大表明气候变化将使投资

① 见戴维·格雷和克劳迪娅·萨多夫所著的《水对于增长和发展的意义》（第四届世界水论坛专题文件）（墨西哥城：国家水委员会，2006年）。

基础设施的回报提高，这有利于管理者在“更加不稳定”的条件下对水资源进行控制、储存和输送。另外，变量和水文不确定性不断增加表明，信息以及具备适应性的灵活管理机制的价值将大幅提高。

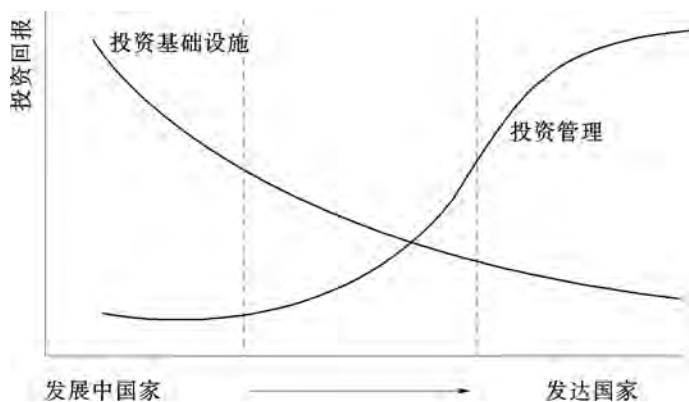


图6 对投资水利基础设施和投资的回报率进行平衡和排序

资料来源：世界银行2002年发布的《中国国家水资源援助战略》。

不同要素需要适当的排序。如，在建造蓄水设施等获取额外的水资源之前，不需要先配置新的水分配系统。但在此之前，必须有足够的信息以便设计有效且可持续储存水的设施。同时，适当的组合和排序还体现出我们在公平、较高经济效益和环境可持续性之间实现平衡所面临的挑战。

信息与基础设施设计

目前最大的担心是现有的对基础设施进行的投资将无法应对未来的挑战。有证据表明，部分现有设施在未来不宜继续使用，最好重新设计或停止使用。在降水明显减少的地区，现有的用于灌溉的水库和用于水力发电的大坝将无法再按照其构想和设计的初衷提供相应的水量，从而也就无法发挥等量的效益。另外，如果降雨显著增加，基础设施将面临被淹没的风险，可能导致管道爆裂和水库溢流。而更长远的挑战是现有的设计标准不再适用于未来的发展形势。

水文设计参数需要反映出气候变化产生的变量所带来的风险。

要想在这一方面取得进展就必须在修复水文监测设施和恢复现有数据基础上获取新的数据。如果无法重新构建提供水资源相关信息的基础系统，新建水坝就存在无法获得预期水量或电量的风险，新配置的水最终将被“耗尽”。

我们除了要面对掌握足够信息以确保基础设施设计正确这个直接且显著的挑战之外，更大的挑战是监测供水和用水的趋势。应对措施的成功与否取决于农业用水效率是否提高，因此必须监测农业用水和产出。基于对城市污水会污染江河水质的担心，必须监测水处理设施的扩建和运行情况，并对江河的水质做定期检测。

目前，各地的监测水平参差不齐，而且比较倾向于关注热点问题，因此危机出现前的趋势是监测体系很难形成。针对这一缺陷，需要采取一系统行动加以解决。联合国统计司鼓励各国将“水核算”作为首先采取的措施，使其成为国家审计体系的一部分。联合国统计司指出：

只有整合经济、水文、其他自然资源和社会各个领域的信息，方可在掌握信息的情况下制定统一政策。决策者需充分掌握用水对经济可能产生的结果后再决定需水量，这样的决定将促使工业部门在把水资源作为生产过程中的投入或者进行废水排放时，必须总体考虑其行为对水资源和环境带来的长期影响^①。

在所有层面采取行动

水资源管理所面临的挑战之一是在正确的层面采取正确的行动。在工程领域的投资应当以适应气候变化为目的。在农村层面，我们采取的措施应当以降低社会、经济和环境应对气候变化的脆弱性为目的。经济规划应当考虑气候变化及其对特定行业或空间区域的影响。在全球范围内促进水密集型产品贸易（虚拟水贸易）和有针对性地进行技术转让都将有利于适应气候变化。

① 见联合国统计司 2009 年于纽约发布的《水的环境经济审计体系（终稿）》。

不同层面都能感受到的气候变化加剧导致的变量带来的影响，这种影响也必须在各个不同的层面加以应对。个体农民必须就种植何种作物和何时种植作出决定，他们需要信息的支持。电力公司必须明确电力供应的来源并据此作出相应计划。城市居民要求，代表他们所作出的决定要能满足维持可靠供给和商业用水的需要。理想情况下，有效的决策过程会“扎根”在水管理的体制中。

气候变化给不同地区带来的影响差别巨大，这意味着单一的行动方案无法解决所有的问题。

取舍仍不可避免

残酷的现实是气候变化将迫使人类作出取舍。从上述有关水与气候变化之间相互影响的大致描述可清晰看到，无论是个人、社区还是社会，在未来都要应对气候变化的不确定影响，并没有快速解决问题的办法。

无论是限制家庭用水以减少早已让河流不堪重负的污染，还是开发湿地满足当前用水，抑或降低水电生产以增加城市供水的可靠性和持续性，都是艰难的抉择（见专栏 11）。

专栏 11 艰难的取舍：南非卡万戈（Kavango）河案例

气候变化将导致卡万戈河流量减少，减少量预计将远远超过目前提出的任何一个卡万戈河水取水替代方案所能减少的取水量，但不会超过目前流量的 5%。决策者面临的挑战是要在以下两者之间作出抉择：是因为奥卡万戈（Okavango）三角湿地受到威胁而反对任何新增取水的行为，还是承认无论怎样变化都不可避免，从而允许一些额外用水，作为对变化环境的适应措施的一部分。

虽然湿地在纳污和调节洪水流量方面作用明显，但这些生态系统服务功能可能会消耗大量的机会成本。在博茨瓦纳的干旱气候下，与奥兰治河同等规模的流量仅仅被用来维持河流的生态系统。进入奥卡万戈内陆三角洲的水直接蒸发掉了，而奥兰治河却为南非大部分经济行业提供用水，同时还剩余足够多的水量用以支撑沿岸农业发展及其入海口的湿地。

鉴于奥卡万戈地区受《湿地公约》保护，而且是博茨瓦纳极为重要的旅游景点，当地居民强烈反对邻国纳米比亚提出的每年从卡万戈河提取一小部分流量（2%）用于国内居民和农业生产的提议。另外，人们对安哥拉境内人口稀少的集水区格外关注，担心该地区的农业和水电潜力得到开发，因为卡万戈河的大部分河水来源于此。不过最近的研究表明，“目前报告中提到的所有灌溉项目全部实施的话，预计河流年流量将减少2%”。同时，该报告认为“气候变化的影响预计比开发造成的影响还要大”，2070—2099年间预计该河年流量将减少高达26%^①。

在已经处于干旱的地区，如果气候变化按照预测的那样使当地降水减少，纳米比亚将面临严峻的挑战，该国必须作出权衡，是满足人类的需求还是维持无论如何都将“自然”退化的奥卡万戈湿地生态系统。好的对策是由纳米比亚、博茨瓦纳和安哥拉这三个国家共同承担责任，即使是湿地面积会进一步缩小，也要抽取一定的水量。这需要形成制度体系来加快这一进程，只有大家都认为任何一项用水需求，如环境、社会或经济用水都不是不可更改的，并接受必须作出取舍这样的事实，这项制度才会奏效。

3.3 应对气候变化的水资源综合管理

气候变化需要我们重新审视当前采取的治水措施、城市定居点以及更广泛的经济和社会基础设施等许多组成部分的总体设计。在这种情况下，过去的经验教训和从正在遭受极端气候条件破坏地区所学到的知识十分宝贵。尽管水管理一般视各地的情况而定，但各国需要对工作的新领域加以明确并提高关注度。

① 见洛塔·安德森（Lotta Andersson）、朱莉·威尔克（Julie Wilk）、马丁·托德（Martin C. Todd）、丹尼斯·休斯（Denis A. Hughes）、安东·厄尔（Anton Earle）、多米尼克·克尼维顿（Dominic Kniveton）、拉塞尔·莱贝里（Russel Layberry）和休伯特·萨韦尼耶（Hubert H. G. Savenije）2006年11月30日发表于《水文学杂志》第331卷第1~2期第43~57页的《气候变化和开发对奥卡万戈河径流模式的影响》。

灾害风险管理

明智和适应性对策取决于我们对潜在风险的系统性认识、对气候变化影响的系统性认知以及如何在具体情况下对此加以应用。这需要水文学家和工程师与保险业风险管理从业人员以及灾难管理专家和地区规划者紧密合作。灾难风险管理虽然在某些地区已经起步，但各国和各专业机构还必须系统地加强互动，以确定新的和不断变化的风险为目的，根据可能产生的影响和出现的概率按重要性进行排序，并制定降低风险的策略。

体制挑战所面临的一个特殊情况是将灾难管理系统与更广泛的水管理机制结合在一起。专门从事灾害管理的机构对如何管理极端事件具有丰富的知识，如果假设这类极端事件会更加频繁地发生，这方面的知识将有着更为广泛和普遍的应用性。

在适应过程中，许多挑战是来自社会的挑战，也有来自技术和机制的挑战。首先政治家们需要对自然界将来发生的问题性质有一定的认识，这样他们才愿意投入时间和资源。要想避免已经确认的风险，就必须在社区层面作出修正。通过近期治理严重洪涝灾害得出的经验，我们得知必须重视极端事件发生前的灾难管理工作，确保社区获悉风险的存在状况并知道如何应对极端事件。这项工作体现出不幸与灾难之间的差别所在（见专栏 12）。

信息与合作

如前文所述，强化对日益加剧的不确定性和全系统水文变量的管理将全方位提高水管理中信息与整体合作产生的效益。因此，有必要进一步强调信息的重要性。

虽然我们可以对可能发生的事件和出现模式作出理论估计，但监测实际趋势以减少不确定性并获得更高效率将变得越来越重要。

目前，有关实际用水的可靠信息十分有限，而且并不完整。因此，虽然城市供水企业可详细报告其供水量和水分配情况，但这些数据并不包括其他水源（例如井水和钻孔井水），而这些水源对于某些城市社区来说十分重要。农业用水通常是根据历史调查

进行评估的，这就为有效评估当前用水水平及用水效率变化带来困难。水质更是难以评估，尤其是在许多区域内，污染者担心遭到起诉，不愿意共享他们的资料。

“水核算”过程是一个重要的开端。虽然只有少数国家有能力编制完整的水账目，但气候变化的影响越来越大，会促使人们在该领域采取进一步行动。人们会发现，如果要掌握国家水资源的真实状况，必须在水管理者和用水户之间建立伙伴关系，并加以强化。

专栏 12 莫桑比克千禧年大洪水的经验教训

2000年莫桑比克发生的洪灾导致700多人死亡，数万人无家可归，而且对大部分经济基础设施造成破坏。虽然极端气候引发了这场洪水，但灾害管理部门与水资源管理部门开展合作避免了更为严重的后果。两个部门通过合作能预测出绝大部分影响并采取措施保护弱势群体。

莫桑比克面对的是技术、社会和政治挑战的结合体。其中的结论是：

地面和卫星数据支持建模是短期内精确预测洪水的重要手段。除林伯波（Limpopo）河外，该国的河流流域都还没有建立校准模型。准确预测不仅是对公众所发布警告的可信度的先决条件，也是预警系统可信度的先决条件，从而成为政界分配资源的先决条件。

资料来源：《莫桑比克的洪水管理》，见赫尔穆（Hellmuth, M. E.）、墨尔海德（Moorhead, A.）、汤姆森（Thomson, M. C.）和威廉姆斯（Williams, J.）编辑的《非洲的气候风险管理：从实践中学习》，由哥伦比亚大学国际气候与社会研究所（IRI）2007年于美国纽约出版。

水质

气候变化将要求人们加强对水质动态的关注。政府间气候变化专门委员会确信，水温升高和频繁的洪涝灾害将影响水质和加剧各种类型的水污染。一个简单事实可以说明其带来的后果，即

江河流量减少可导致其溶解消除污染物的能力降低。洪水冲刷陆地会携带更多的沉积物、病原体和农药进入水体。海水入侵则是气候变化加剧带来的另一项挑战。

掌握这些动态对于避免损害生态系统、人类健康和水系统的可靠性以及控制运营成本至关重要。这是水资源管理中必须要加强的另外一个方面。

水权和分配机制

随着极端事件和不可预测性的加剧，水权和分配机制已开始纳入决策者和水管理者考虑的范畴。水权和水分配一般以历史供水状况为依据。由于气候变化将导致未来的供水偏离以往的供水状况，以往已经达成协议的分配机制将不再适用。这就需要建立或加强水权体系、强化水分配及冲突解决机制以应对这些新的情况。还需要建立灵活的体系来应对供水不足和其他不可预测的极端事件。

虽然人们经常提到给水定价和交易是不断变化环境下用水户之间进行水分配最好的方式，但这些通常没有考虑自然资源利用的长期特性及挑战性，这可能导致无法在不同用水户之间进行水交换以满足短期用水变化需要。澳大利亚墨累-达令流域近期发生了连续多年干旱，通过水分配系统确定用户分配的先后顺序可使经济损失有所降低。

在可用水量因气候变化影响而减少的情况下，许多国家为迎接这一特殊挑战，试图寻找有效的方法调整现有的水权。虽然交易的确可以起到辅助作用，但更重要的是我们要认识到水分配体系的运作环境正在发生变化，可用水量也在不断变化，因此分配体系也应适应这些变化。

南非的水法规通过限定时间长度来应对上述挑战，规定用水许可最长为 40 年。水法还规定如有需要，每五年对流域内的水分配进行重新审核^❶。

❶ 南非政府：《1998 年国家水法》。

如果没有定期审查制度，将来有可能会出现问题。因此，在澳大利亚人们普遍认可为保护生态系统提供足够的水量，甚至在气候变化带来影响之前就应该减少抽水量。在没有其他解决办法的情况下，澳大利亚联邦和州政府只得出高价“购回”分配的水量，以弥补现有用户损失的水量。

重新考虑蓄水、调水和再利用

气候变化不仅对蓄水量的多少产生影响，还将影响蓄水方式（天然、人造、小型和大型）。人们探讨蓄水时趋向于关注大型人造水坝，但除此之外还有其他选择。这包括天然蓄水池，如地下水（天然或人工补充）、湿地和湖泊以及各种规模的人造蓄水池，包括家庭型雨水收集系统、传统的居民区集水箱、小型水坝和围堰以及大型水库。

除了天然和人造蓄水方法，还可通过“虚拟”和“金融”机制来“储存”水的效益。蓄水是从根本上避免因无水导致效益损失的措施。战略粮食储备可视为对“嵌入式水”的存储，在高产年份大量储存，在低产年份重新分配。天气和作物保险项目可视为金融储备机制，通过金融手段保证农业收入，而不是通过提高灌溉可靠性（需要更多的灌溉水量）来保证农业产出。当蓄水是为了提高水密集型产品（农业或制造业）供应保障率时，可以用水密集型产品交易或“虚拟水”交易来替换实际蓄水这种方式。

在比较不同蓄水类型时，其优势和劣势将随着气候变化而发生改变。以前认为不理想或不必要的蓄水方式可能在不久的将来成为很好的选择。过去认为不错的选择未必在将来一成不变。我们可能会需要新的蓄水方法，而现有的一些蓄水方法将不能再用。某些情况下可调整基础设施的运行方式以应对变化，比如在水库水位低时为水库大坝增加额外的取水口；还可以改变设施的运行方式适应变化。在其他情况下，让设施停止运行可能更为合理，同时污水再利用将变得更加重要。在新情况下必须重新审视基础设施的可选范围，并重新评估相关利弊。

该议题引申出来的另一话题是在不同流域之间调水的可能性。

在气候变量和水资源压力不断加剧的情况下，把水从一个流域调入另一个流域具有很高的吸引力，特别是城市和主要经济行业用水需求快速增长的情况下。中国已开始大规模从长江流域向黄河流域调水。印度、澳大利亚和西班牙等国也修建了类似的工程并引发了激烈的争论。南非、墨西哥和美国等国则已广泛建设调水工程。

调水可以将水从一个地区分配到另一地区。其重要性在于可提高供给的可靠性，从而增加体系的弹性，因为不同流域往往有着不同的变量模式。这种弹性的提高有助于使跨流域调水在气候变化情境下发挥更加重要的作用，帮助我们解决实施调水时面临的环境问题。

避免各自为政

鉴于集体行动存在巨大的不确定性和挑战性，无论是适应性措施还是水资源管理都不能视作“一劳永逸”的项目。这关乎构建有活力的组织机构，具备能力和手段有效应对环境变化。为实现这一目标，相关行业的管理者和决策者必须对挑战达成共识，并采取适当的应对措施。

由于水只是社会和经济发展中的一个因素，所以针对水的管理应当与覆盖范围更广的规划和开发活动联系在一起。国家制定发展规划时，确保水管理者的有效参与十分重要。要实现这一目标，同样重要的是经济决策者和其他关键用水部门的决策者要意识到参与水管理的必要性^①。

目前存在因过分关注适应规划而忽略水资源管理的危险。因此整体的政策建议是，在明确重点工作并启动适应战略的同时，与正在进行的水资源管理工作相结合，避免各自为政的情况发生。两方面工作都需要有效地融入更高层面的国家发展战略中，尤其在发展援助方面要避免走特别程序^②。

^① 见迈克·穆勒所著《如何把水资源综合管理同国家发展计划和战略相结合》（全球水伙伴技术委员会第6期政策简报），由全球水伙伴2009年于斯德哥尔摩出版。

^② 见（英国）发展研究所汤姆·米切尔（Tom Mitchell）、西蒙·安德森（Simon Anderson）和萨里穆尔·哈克（Saleemul Huq）2008年发表的《提供适应性资金的原则》。

4 为适应性水资源管理融资

自 1977 年马德普拉塔会议以来，虽然每次国际涉水会议都强调水资源管理的重要性，但必须承认我们并没有对水资源管理融资给予足够的重视。这不利于评估是否需要额外分配资源以加强现有的水资源管理，使其能够应对气候变化挑战以及其他更为直接的压力。

世界水理事会、全球水伙伴和第四届世界水论坛秘书处为保持“康德苏小组”（Camdessus Panel）的发展势头而建立的“为全人类进行水筹资”特别工作组，主要负责应对农业和地方政府的筹资需求，也特别强调：

流域是管理土地和水等空间资源的单元，通过流域我们能清楚地了解水资源管理涉及的全部问题。水资源综合管理方法重点强调不同方面的关联与协作，这项措施正在迅速地被决策者们所接受。水资源综合管理数据的创建、计划的制订和协调能力的建设本身都需要适当的融资。上述提到的某些功能比其他功能更加容易筹措资金，而其中某些功能（如防汛和数据收集等提供“公众利益”的部分）必须面向公众进行筹资。农业供水的总体需求应当在资金方面一并进行考虑^①。

据报道，可持续发展世界首脑会议《约翰内斯堡实施计划》中关于制订和实施水资源综合管理计划的进展并不令人满意。主要问题在于对提出的活动如何进行筹资。2008 年可持续发展委员

① 见温彭尼（Winpenny）（2003 年）。

会第 16 届会议（CSD 16）上有代表提议：“各国应当为实施各自的计划制定路线图和筹资策略，同时‘外部支助机构’（包括联合国、捐赠机构和非政府组织）根据需求为各国提供支持。”^①

上述内容为我们呈现了两条一致的信息：首先，水资源综合管理与开发是十分重要的活动；其次，我们还未能满足水资源综合管理的融资需求且尚未制定相关的融资策略。为弥补这一缺口，现已开始围绕水资源综合管理明确融资需求，寻找合适的资金渠道为水资源综合管理融资，这么做的部分原因是有关气候变化政策的辩论向我们提出了挑战。

历史上全球大部分国家忽略水资源管理融资，这很大程度上是因为我们把重点放在了解决短期涉水问题、将解决贫困当做眼前的首要任务（如提供基本供水和卫生服务）以及“有效益”的活动（如水力发电和工业用水供应）。

在许多较为贫困的国家，由于多年机构调整导致公共开支缩减，这导致水资源管理能力有所削弱。通常情况下供水和卫生被当为短期优先领域，水资源管理和水文功能受到的影响最为严重。这一做法导致的后果是许多国家甚至无法对目前的气候变量进行管理，不是因为所需的策略不够明确，而是因为缺乏实施这些策略的途径。这些国家不断地质疑，如果没有能力治理今天的干旱，何苦要费力去应付明天的气候变化。

时至今日，有关有效应对气候变化全球进程的大讨论已将重心转向如何缓解气候变化带来的挑战。我们强烈呼吁将采取行动作为当前的首要任务，降低人类引发变化的程度。鉴于发生巨大变化的可能性越来越明显，应对适应性给予更多的关注。

要应对气候变化就必须妥善解决适应性融资所遇到的问题，而负担较为严重的贫困国家将更加不愿面对。尤其像非洲和南亚会出现最为极端的变化，而这些地区恰恰是世界上应对能力最为薄弱的地区，无力应对这些挑战。在气候变化的程度和范围都相

^① 见联合国水计划 2008 年发布的《可持续发展委员会第 16 届会议关于水资源综合管理和节水计划现状的报告》。

似的地区，如果拥有管理水资源的机制和能力，这些国家和地区遭受的影响将比那些不具备机制和能力的国家要小。

出于这个原因，我们需要动员各种资源为适应行动融资。融资被越来越多的国家所认同，相关的谈判也在进行中。适应性融资所面临的情况变化多端，本文将不对目前的进程提出具体建议。

专栏 13 气候变化给非洲撒哈拉以南城市带来的成本支出

非洲现有的城市水基础设施的适应性成本每年预计在 10.5 亿～26.50 亿美元：

城市蓄水 5 亿～15 亿美元（资本成本）

5000 万～1.5 亿美元（等效年值）

废水处理每年 1 亿～2 亿美元

发电每年 9 亿～23 亿美元

（这还不包括修复被毁坏设施的费用）

新建设成本也可能增加至每年 9.9 亿～25.5 亿美元。总的来说，为城市地区供水而进行的水资源开发边际单位成本随着新供应增量而增加。因此，适应气候变化的新建设成本按保守的估计会与现有设施体系类似：

城市蓄水 1.5 亿～5 亿美元（资本成本）

（新供水 1.5 亿 m³）1500 万～5000 万美元（等效年值）

废水处理每年 7500 万～2 亿美元（假设额外增加 1 亿 m³ 处理能力）

发电每年 9 亿～23 亿美元（假设装机容量增加 1 倍）

在水循环过程中，城市地区还会遇到许多其他附加成本。农村缺水对城市地区的经济影响尤其难以量化。不过城市移民是几乎所有非洲城市管理面临的问题，任何农业产量减少都将对城市经济造成二级影响。

道路和排水系统建设、洪水对土地使用造成的损失以及现有定居点的额外防汛措施也会产生额外费用。这些影响和其他间接作用都具有针对性，不易在地区层面测算成本。

洪水带给我们一个较为突出的问题是气候变化带来的影响并非全

是负面的。降雨减少可对城市定居点可用土地带来有利影响。不过如果特大风暴发生的频率和强度都有所增加的话，即使未来气候更加干旱，洪水警戒线仍不会发生太大变化，这会阻碍宜居地的拓展。

资料来源：迈克·穆勒 2007 年发表于《环境与城市化》第 19 卷第 1 期第 99～113 页的《适应气候变化：水管理为提高城市恢复力服务》。

在讨论资金来源时我们应对这些资金的用途有更好的了解，这往往会被忽略^❶。适应性筹资的总体原则已经确立^❷，它强调很有必要确保最弱势群体的利益得到优先考虑。

由于适应性筹资开发对水资源管理产生影响，因此，有三项基本原则可用来对其加以指导：

- 作为水资源管理的良好典范，水资源综合管理在本质上就具备适应性，因此任何新的筹资协议都应当把它当作核心筹资的长期和首要目标。

- 对水资源管理基础设施投资除了可产生供水或发电效益外，还可产生其他公益效益，这一点应在筹资政策中加以体现。

- 由于水资源不以行政界限划分，因此，无论是在当地、省市还是国家层面为水资源管理项目筹资时，都应考虑这种特殊情况。

4.1 水管理融资的核心是为应对气候变化筹措资金

《关于援助实效的巴黎协议》应当成为贫困国家为应对气候变化筹资的指导原则，使其避免任何可能的特殊目的和利益干预。以往开展的治水和管理气候变化影响工作实践中，一个不断重复的主题是将这些活动作为总体发展规划和管理的“主流”。

❶ 实例参见新经济基金会的斯普拉特（S. Spratt）2009 年所著的《评估可选方案：为发展中国家缓解和适应气候变化融资》（www.stampoutpoverty.org/climatefinancereport）。

❷ 见米切尔、安德森和哈克（2008 年）。

因此，对国家水资源管理能力、机制和基础设施提供可持续的资助应被视为重点援助的首要任务。其目的是确保有能力进行长期建设，并将这种能力融入应对未来变化的机制当中。

虽然管理机构在用水需求不断上升的情况下可以向用水户收取更多资金，管理体系自身能力也随之不断提高，但在用水需求相对较低的发展中国家，建立新体系通常需要更长的时间，仍需要由公共部门进行筹资。而且，“公益”会一直成为水资源管理的重要属性，有理由得到公共部门的支持。

在这种情况下，对水资源管理的投资应被视为可持续发展融资，可产生适应性效益。水电开发等多目标项目（能同时提供防洪抗旱效益）为缓解气候变化影响融资创造了机会，这同样可产生适应性效益。这种多重底线的投资需要我们进一步探索，并在适应性融资体系中加以推广。

水资源管理工作大多具有公益效益或公益性特点。也就是说，水资源管理可造福广大的公众群体而不是为特定的用户服务；而且即使是特定群体受益，这些效益也值得由公共部门筹资。

提供和共享水资源信息是说明其公益性的一个典型实例。人们对水资源状况了解得越多，就越容易适应水量或其资源所承担的其他压力的变化。正因如此，我们有充分的理由给水资源管理机构更多的预算支持，重点开展资源监测和信息分析，并就制定和应用应对战略措施与公众开展沟通和交流。

防洪措施，包括对易受洪灾影响地区的土地进行更加合理的划分或修建防洪和蓄水设施，都具有典型的公益性。不仅个别社区居民从减轻洪水影响中获利，整个社会都可不必承担洪水造成的破坏和抗洪费用而从中获利。

为水资源管理以及相关的水资源开发融资时，应承认和侧重工程的公益性。特别是水资源管理效益的发挥通常需要很长一段时间（重大防汛工程可长达数百年），这需要我们建立有效的筹资机制，而非传统的项目融资机制。在这方面水资源管理与应对气候变化措施面临着相同的挑战，因为投资水资源管理要经过很长一段时间才能获益，而且水资源管理并非“挣大钱”的买卖。

4.2 跨界融资：为合作应对提供激励

我们筹措到特别应对资金时，应不局限于解决某个国家的问题，应使其产生公共效益并促进合作解决跨界河流流域问题。为应对措施融资不仅是为了某个国家实施干预措施，而是促进多国开展富有成效的合作。对于联邦制国家修建的地方性设施这一点同样有效。

在跨界河流流域中，最好的应对气候变化的措施是各国建立流域信息和监测系统，在上游进行基础设施投资和（或者）在邻近沿岸国运行。根据当前的援助实效协议，各国应将应对措施开展国际融资作为主要手段，同时还应建立机制鼓励各国探索合作方式，并促进国与国之间开展合作进行水资源管理。

例如，在恒河流域人们长期以来一直在讨论如何控制洪水以及增加印度和孟加拉国（沿岸下游国家）的旱季流量，最佳方案应当是在尼泊尔（沿岸上游国家）投资建设蓄水设施。

不过，为应对措施融资向来是以国家为中心的。为推行最优解决方案，应对措施融资应以流域为基础制订措施。应采取激励性措施鼓励各国探索合作方式，并在最适合的领域开展合作制订应对方案。

另外还需要考虑在较低行政级别开展跨界合作。水资源管理基本上按照水文单元进行，采取的行动措施往往会超出行政管理的区域范畴。这会导致融资安排难以落实，还会导致各行其是事件的发生，如两个城市在同一个流域分别修建了蓄水设施，而两者共享蓄水设施会更加经济有效。

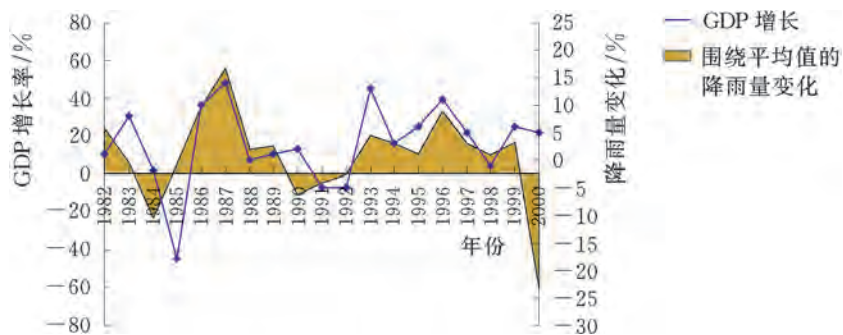
利用创新机制鼓励跨界合作的同时，开展横向投资获得直接融资也很有必要。目前开展的水资源综合管理融资审议中，应当把这些问题放在国家层面和仅次于国家层面（对于联邦制国家而言）加以考虑。

5 结论

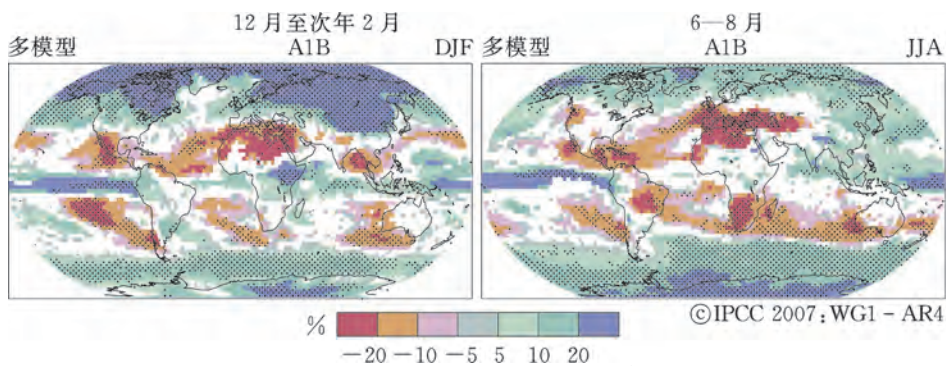
气候变化总与长期性以及特别不确定性分不开，因此需要各种适应性应对（即应对措施），这不仅带来直接效益还有利于建立具有持久弹性的稳定的适应性机制。水资源管理投资完全符合上述特点，对水资源管理进行投资从根本上就是投资应对措施。

将实现和保证水安全作为重点工作可为缺少服务和不堪重负的贫困人群提供直接效益，也可提高今后管理风险的能力。我们应当把今天在水安全方面的投资作为长期应对战略的一部分，在未来建设一个更具恢复力的世界。

只有将重点放在水资源管理信息体系建设、体制建设和投资领域，而不是分散的“抵御气候变化”的水项目，加上有效援助实践原则得以充分体现，我们才能建立持久有效的框架体系保障水安全，并将应对气候变化列为国家发展规划的重点。



彩图 1 埃塞俄比亚：降雨、GDP 和农业 GDP



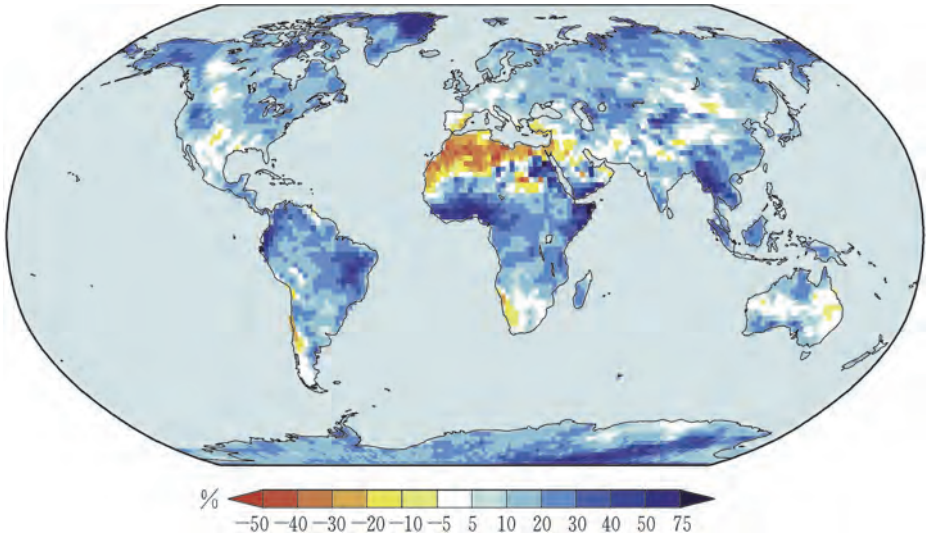
审图号：GS (2016) 239 号

彩图 2 降水量变化预测图



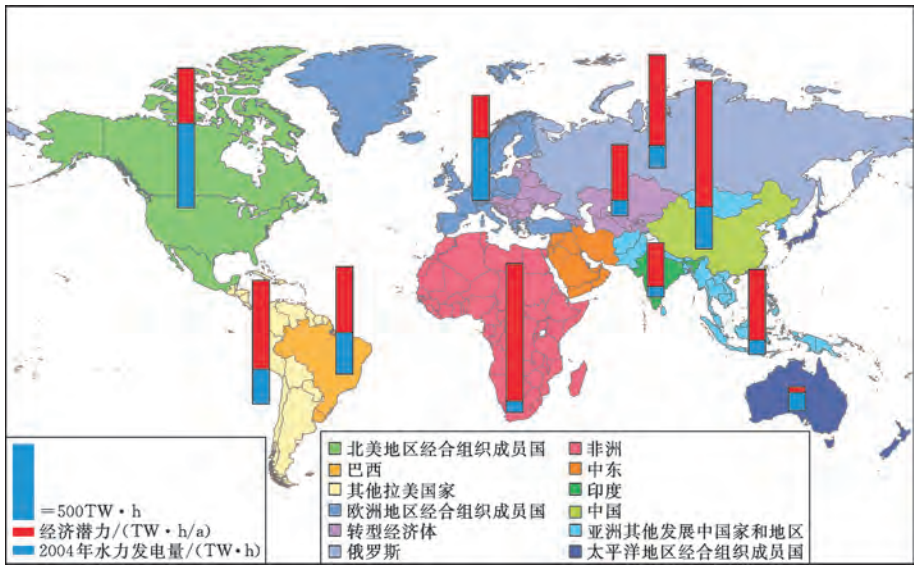
审图号：GS (2016) 1275 号

彩图 3 墨西哥及中美洲地区 2080 年径流变化预测



审图号：GS (2016) 239 号

彩图 4 A1B 设想下年极端降水量变化



审图号：GS (2016) 1275 号

彩图 5 2004 年世界水力发电量及水力发电潜力柱状图