

管理存在不确定性和风险的水资源

第一部分：

认识水的核心作用及其全球因素

在个人，家庭和社会等所有领域，是否能够取得水以供人们使用对人类的福祉至关重要。同时，水也对经济产值具有不可或缺的作用。水是自然环境和生态系统可靠运作的基础。因此，许多经济部门为有限的水资源展开了争夺。水是达成共同解决全球主要危机（粮食、能源、健康、气候变化以及经济危机等）的**唯一**媒介。为了就其用途合理分配水资源，以最大限度地实现跨各发展部门的利益，人们可能需要作出明确的取舍。这是一项极大的挑战，欲令其得以实现，在实践中是困难而复杂的。

公共政策和制度的重点应置于保护水资源，通过此类活动优化水资源的使用，并确保高耗水活动所得利益得到公平分配。这对各级水资源管理：（地方、区域、流域和中央管理机构）而言都是这样的。如无法从战略角度来处理这些水资源分配的问题，导致水资源管理各自为政，将危及水资源未来的可利用量和可持续性，并可能将经济和社会福利削减至低于可达到的水平。

直接参与水的提取、收集和使用的各方被称为“水务部门”，为社会、经济和环境方面的需要供应足量的水历来被视为该部门的责任。然而，整个水循环的水可利用量受到许多因素的影响，并不受水资源行政主管部门的直接控制。作出有效和可持续的水资源管理和分配，需要不同的利益相关者和各部门的“管辖权范围”之间的合作和协调。

在未来，全球水资源可能面临日益严重的压力。对水的需求不断增长的同时，气候变化亦将威胁到水的可利用量。水没有政治边界的限制。据估计，全球 148 个国家在其领土范围内拥有国际盆地，其中有 21 个国家和地



区完全处于其中。此外，全球约 20 亿人口依赖地下水供应，其中包括 273 个跨界含水层系。多样和不断增长的水资源利用动因及与之相关的不确定因素将可能使现行的跨界协定压力倍增。

归根结底，这些问题只能在国际论坛上得到解决。联合国气候变化框架公约 (UN Framework Convention on Climate Change – UNFCCC)、千年发展目标 (Millennium Development Goals – MDG) 和联合国可持续发展会议 (UN Conference on Sustainable Development – CSD) 就显得尤为重要。在各成员国的领导下，这些机构的活动必须辅以适当的磋商流程，以确保全球政策在国家/地区级得到有效实施。水资源共同体成员有责任告知这一流程，并提供指导。

水需求

水消耗的成因是什么？

对水的需求有四个主要来源：农业、能源生产、工业用途和人类消耗。

能源与水密切相关。所有能源和电力的来源在生产过程中都需要水：原料提取、热处理中的冷却、清洗过程、生物燃料作物的种植，以及涡轮机发电等。能源本身需要通过抽水、运输、处理、海水淡化和灌溉，使水资源可以为人类使用和消耗。

当前已有超过 10 亿人得不到电力和其他清洁能源。人口增长和经济活动的增加导致能源需求增加，预计将造成能源消耗的激增，特别是非经济合作与发展组织成员国的需求。

水和粮食生产有着直接的联系。农业和牲畜生产是高耗水产业，其中农业占据了联合农业、市政和工业部门（包括能源部门）所取淡水资源的 70%。特别是畜产品的爆发式增长需求带来对水的需求也日益增加。农业生产也影响了水质，进而降低了水的可利用量。负责任的农业用水管理将对未来全球水资源安全作出重大贡献。

据预计，到 2050 年全球对粮食的需求将增加 70%。然而，预测未来农业用水的需求还具有不确定性，这主要取决于采用的方法

和假设。农业用水的需求受人口水平、对粮食的需求类型及消耗数量的影响。农作物种类、产量和农业生产率也影响水的需求量，而气候变化增加了不确定因素。

未来全球农业用水（包括雨育和灌溉农业）的最乐观预测是到 2050 年增加约 19%。灌溉用水量增加的大部分将发生在已遭受水资源匮乏困扰的地区。

水在许多工业生产过程的一个组成部分，经济活动增加将导致工业用水的需求增长。

关于人类的水消耗，其需求主要源于城市社区需要水用于饮用、环境卫生和排水。世界城市人口 2009 年为 34 亿，预计将在 2050 年增长至 63 亿，这既说明了人口增长，又说明了人口从农村向城镇净迁移。自“千年发展目标”建立以来，未获相应服务的城市人口已经有累积，得不到改善供水和卫生设施的城市人口数量估计已增长了约 20%。

水资源：易变性、脆弱性和不确定性
理解水资源的时空分布和运动是达成有效水资源管理的关键。淡水供应呈不规律分布，尤其体现在地域和时间上。干旱和半湿润气候之间、雨季和旱季之间有相当大的变化。淡水的分布由少数大型气候因素驱动，如厄尔尼诺—南方涛动 (El Niño-Southern Oscillation - ENSO)。

如今，地下水是供人类消耗的主要来源，供应着世界上近一半的饮用水。地下水具有无所不在的特点和独特的缓冲体系，使得人们能够在降雨和径流稀缺或不可预知的干旱地区定居和存活。地下水对超过 10 亿生活在非洲和亚洲的贫困地区农村家庭的生计和粮食安全、对在世界其他地方的很大一部分人口的国内水供应都至关重要。

二十世纪，一个前所未有的提取地下水的“宁静革命”在世界各地爆发。全球地下水提取率在过去 50 年至少增长了两倍，大大提高了粮食产量，促进了农村发展。不管这些含水层中水的储量有多大，事实上其中大部

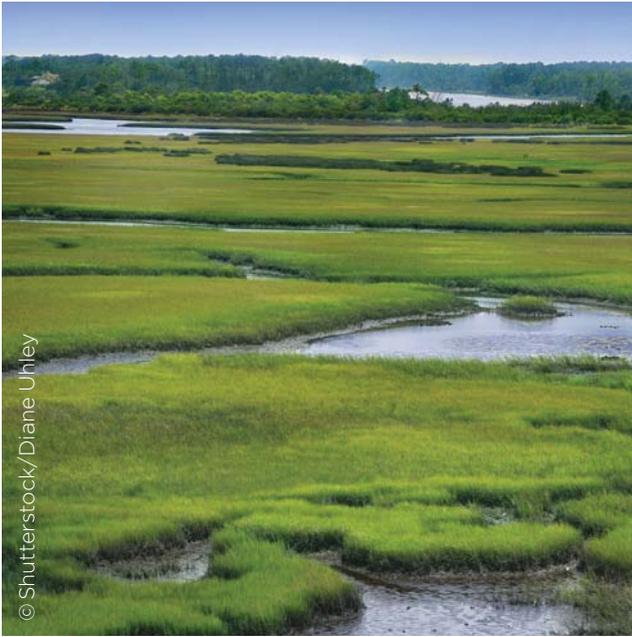


分是不可再生的，这意味着如果不妥善管理其使用，它们最终将会被开采枯竭。在一些热点地区，不可再生的地下水资源的可利用量已经达到临界极限。

虽然有着难以为继的提取率和污染等这些令人真正关注的问题，如果管理得当，地下水资源可以在满足未来对水的需求和适应气候变化方面作出重大贡献。未来将需要资金投入，以改善水的测量和控制，并在适当情况下，增加地表水和地下水的储蓄量，可储存在修建的水库，也可借助天然湿地和土壤保存。

冰川起到了缓冲带的作用。在降雪量小的年份，冰川融化成水；在降雪量大的年份，水以冰的形式保留在冰川里。短期内，冰川融化，给径流增加了水，超过了年降水量，因而增加了供水量。然而，从长远来看，冰川作为一个额外的水源，预计将会消失，尽管速度很缓慢。

可利用的水量还取决于其质量。被污染的水不能用于饮用、洗浴、工业用途或农业。水



污染的程度越严重，使其恢复至某个可用标准的治理费用就会越高。

水质不佳会损害人体健康，导致生态系统服务功能退化。在中东和北非地区的诸个国家中，水质差造成的经济成本占国内生产总值的 0.5% 至 2.5% 不等。

被形容为“水资源安全规划”的预防和协作方式已经证明了可以节约成本和改善水质。此规划需要主要利益相关者的参与，包括排放工业、农业或家居污水到集水区的土地使用者或住户，政府各部门监督各项环保法规的实施和执法的决策者，以及向水龙头端的消费者供应水的从业人员。

减少对水资源的压力

气候变化重中之重：气候变化受能源生产影响，对水资源有直接的影响。缓解措施的重点在于降低能源消耗，这将减轻能源驱动对水的需求产生的压力。适应性意味着要增加对水文和洪水、干旱和风暴等极端天气事件的规划和准备。其他可能会影响到能源部门用水量的措施是：为主要能源和电力开发更有效的节水技术。水资源和能源的政策往往由不同的政府部门或部委制定，未来将需要做到更加和谐，让决策得到更好的协调。

农业部门面临的主要挑战不是要在 40 年内增产 70% 额外的粮食，而是为人们就餐再供应 70% 的食物。减少存储和价值链带来的损失将在一定程度上抵消对更多产粮（和水）的需要。同时也需要创新技术，提高农作物产量和抗旱性，并提供更有效使用化肥和水的方式。工业化国家/地区具有采取这些技术的优势，但还必须使最不发达国家/地区有机会依据公平和非歧视性的条款来使用相关技术。

对于大多数工业生产而言，水迄今为止都未被视为一个问题。改善水资源管理，普遍反映在整体下降的工业取水或增加污水处理，突出了提高生产率与降低消耗和污水排放、减少污染之间的关联。然而，工业不会免于日益严重的水资源压力，其影响将超出工厂的范围，延伸至影响员工、客户、供应商和所在社区的成员。工业需要考虑的不仅是自身的直接利益，也需要考虑其他利益相关者和自然环境的利益。

据估计，全世界超过 80% 的废水是未经收集或处理的，而城市住区是点源污染的主要来源。公众需要更好的信息去了解自身消耗对水资源的数量和质量的影响。用于管理日益增长的城市用水需求的工具正在开发中，特别是，城镇水资源综合管理 (IUWM) 将淡水、污水和雨水管理连接到一个共同的资源管理体制。

水的社会和环境影响

改善水资源管理、增加安全饮用水和基本卫生条件的提供、提高卫生状况的各种措施有潜力去改善数十亿人的生活质量、降低儿童死亡率、改善孕产妇健康状况和减少水传播病的负担。支持妇女对水的可获率和控制将继续增加她们获得安全食品来源和生计的机会，这将有利于她们自身及其家人的健康。

与水有关的灾害是减贫和实现 MDG 等发展目标的主要障碍。一个特别紧迫的问题是荒漠化、土地退化和干旱 (DLDD)。最近的估计表明，全世界近 20 亿公顷土地（相当于中国国土面积大小的两倍）已经严重退化，其中

一些是不可逆转的。在全球范围内，DLDD影响着住在退化地区并与贫困密切相关的15亿人。它引起的水资源匮乏，导致受影响的地区粮食不安全和营养不良，在发展中国家尤其如此。

各生态系统支撑着水的可利用量，包括水的两个极端——干旱和洪涝，以及水质。生态系统提供了多种好处（服务），这是可持续发展的必不可少的条件。很多这些关键服务直接由水派生，都是以水为基础的。生态系统的发展趋势，包括它们所支撑的生活在告诉我们，事物失去了平衡。决策者和管理者需要认识到，生态系统不消耗水，相反，它们提供和回收水，从生态系统无节制地汲取水会削弱它们为我们提供所需益处的能力。

水资源的管理，机构和能力发展

了解水的方方面面和作用对作出有效治理至关重要。水影响着诸多行业范围内的社会福利和经济发展。人们对水的需求和用途往往处在相互孤立的管理状态（这可能会导致竞争部门之间的冲突），而不是作为一个使整个社会和经济体更佳地使用水总体战略的一部分。

有效的机构可以减少自然、经济、技术和社会带来的不确定因素。然而，在处理各种资源和使用/服务相关的问题中涉及到水资源管理的不同架构，反映在治理和管理水资源的现存机构的复杂性和零散性上。另一个问题是，许多水机构仍然主要集中精力在技术和其他供应方面的解决方案。为了应对必要的变化，这些机构将需要把重点转向流程和人员的管理。

水资源交叉于所有社会、经济和环境活动之中。水资源综合管理(IWRM)旨在协调所有相关部门、政策和机构进行水资源管理，以实现国家层面的水、食物和能源安全。它需要大家相互考虑水的不同用途，并提供了一个框架，让相互竞争的利益集团（供水公用事业、农民、工业和采矿业、社区、环保人士等），可以推敲出连贯的战略，以应付未来的挑战和不确定性。水资源综合管理在水



资源管理的“规则设定”过程中涉及广大利益相关者，在跨界水系统的情况下也将涉及国际合作。

明智决策

各国政府对水资源的总体状况、利用情况和管理状况拥有可靠和客观的信息正变得越来越重要。在此背景下，经济合作与发展组织(Organisation for Economic Co-operation and Development — OECD)已设定了一项名为“减少经济增长造成的环境压力”的政策目标。水资源利用的趋势是要加以监控的一个重要参数。

关于水资源的信息需要从社会的各个部分收集，从当地社区到全球多边组织，包括农民、城市规划者、饮用水和废水公用事业、灾害管理者、商业、工业和环保人士。关于地下水和水质的数据的可用性通常来讲都特别差。因而重要的是要建立可持续的数据收集和传播系统，建立共享此类信息的论坛。其中一个关键目标是减少水资源和其利用的不确定性，以改善风险管理。

目前各方已制定了一系列广泛的指标，用以监测水资源的状况、利用情况和管理状况。除了水资源的利用趋势之外，不同部门以单位体积用水量计量的用水效率可以成为一个有用的指标。在更广泛的社会层面上，被广泛应用的国家水紧张这一概念衡量的是一个国家的人均用水量。为了实现均衡分配和保护水资源这一目标，选用的指标应覆盖规例（如技术和性能标准）的配额设置、访问规则和分配程序，以及环境经济手段（尤其是定价机制和对生态系统服务的补偿）。



世界水资源评估计划 (World Water Assessment Programme – WWAP) 专家组 (指标、监测和报告小组 (IMR)) 考量了可用于增强数据流的数据可用性和可采取的措施。其研究结果之一是一组有限的关键“数据项”可以支持一系列多种不同的指标。

然而，在全球、国家、区域或流域级层面上，填充指标所需的数据很少成系统，也不够可靠。对气候变化的关注是其中一个因素之一，这一因素已促成各方明确表示“固定水文”这一假设不能再用作评估水资源可利用量的基础。这反过来又使大家重点关注数量有限的全球河道流量数据，这些数据是评估水资源可利用量不可或缺的基础。虽然可以通过遥感测量掌握降水量大量可用数据，但是要测量河流或地下水补给径流的变化要困难得多。从遥感测量（由气象水文网络和服务验证）获得的巨大资源库尚未被翻译成有用的处理过的正式信息流，以用于研究水资源和其利用情况。例如，远程监控水质指标将就水体富营养化趋势和影响湿地等自然生态系统状况的其他问题示警。

水资源的利用数据往往比水资源本身的状态信息更难获得。如今，使用远程访问的数据就可以可靠地评估农田作物直接利用水资源的情况，但实际从河流和水坝抽取用于灌溉农田的水量更难以确定。令人惊讶的是，我们对工业实际上抽取和消耗的水量知之甚少。因为水廉价、分布广泛，人们往往不会对水的使用作直接测量，而是依据对特定行业的耗水量的标准假设进行评估。有可能是人们不愿意分享信息。如果得不到实际使用的数据，就不可能跟踪水生产力的提高情况，即便是已经得到了巨大改善。

经济政策的决策者已经认识到水资源对国民经济有着重要的影响，但此影响大部分体现得不是很明显。努力改善水资源的信息流的最有效的动因将是在社会经济领域的政策制定者和决策者的一个需求。现在，全球社会的水资源相关从业人员、与水资源息息相关的水用户和更广泛的社区成员面临着重大的机遇——大幅度改善水资源信息的可用性和质量、使用情况、用户以及从中派生的利益、这些利益的分配情况、谁来承担费用和负面影响。

例子之一就是发展可以直接衡量农作物水蒸散量的技术。通过使用各手机发射塔之间的信号衰减数据可以准确评估降水量，这意味着电信服务供应商可以帮助填补数据空白。GRACE 系列卫星实现了远程重力测量，以确定特定地理区域总水量的“库存”变化，这一成果已经显示出监测大冲积盆地地下水储量变化的潜力。WWAP 的一个试点倡议（基于观测到的水文气象和地面高程数据相结合来估计现有水资源），获得了总体每年可再生水资源 (TARWR) 的长期移动平均线。

区域观点

非洲

水对非洲的发展作出的贡献是举世公认的。非洲大陆面临着普遍贫困、粮食不安全和普遍不发达的困扰。几乎所有非洲国家都缺乏可持续开发和管理其水资源的人力、经济实力和体制能力。不管是在城市还是在农村，其获得改善供水的人口仍是世界各地中最低的。大多数非洲国家没有为农业生产和扩大灌溉而充分利用现有耕地，而且其水力发电不发达。

在撒哈拉以南非洲地区，饮用水供水覆盖率仅占整体的 60%。2008 年，其农村地区的饮用水供水覆盖率已上升至 47%，而在城市地区则基本不变，自 1990 年以来一直保持在刚刚超过 80% 的水平。只有 31% 的人口得以使用改善了的卫生设施，虽然进行露天排便的人口比例正在下降，但其绝对数量则是增加的，1990 年为 1.88 亿，截止 2008

年已增长至 2.24 亿。从 20 世纪 90 年代中期到 2008 年，撒哈拉以南非洲地区营养不良的人数从 2 亿上升到 3.5 至 4 亿。20 世纪 60 年代中期以来，这一地区农业生产年均增长率不到 2%，而人口年均增长率以 3% 的速度上升。

总体而言，在非洲只有四分之一的人得以使用电力。水电提供了非洲三分之一的能源，但该地区拥有丰富的水电潜力，足以满足整个非洲大陆的电力需求。在非洲，只有 3% 的可再生水资源被开发用于水力发电。非洲各国已经开始着手解决跨界水的水电开发相关问题，如通过电力联营的模式经营，现成的例子有南部非洲电力联营集团 (South African Power Pool – SAPP) 和西非电力联营集团 (West African Power Pool – WAPP) 等。

在撒哈拉以南非洲地区，干旱是主要的气候风险。它破坏了经济发展和农民的食物来源，对三分之一非洲国家的 GDP 增长构成了主要负面影响。洪涝对基础设施和运输、货物和服务的流动也极具破坏力。洪涝污染源，增加了霍乱疫情等水生疾病的风险。

欧洲与北美

北美居民人均耗水量是全世界最高的，消耗率约为欧洲地区的 2.5 倍。各种评估表明，如果生活不作出改变，将需要约 3.5 个地球来维持全球人口实现欧洲或北美当前平均的生活方式。然而，这两个地区存在零星的缺水现象，特别是其中包括土著居民，在加拿大，超过 1 万个依赖储备水的家庭没有室内水管，四分之一储备的水或污水下水道系统不合格。在欧洲，大约有 1.2 亿人没有获得安全饮用水，更缺乏卫生设施，从而导致与水有关的疾病发病率较高。

欧洲和北美地区存在一个重要的问题，即河道受到农药（氮、磷和杀虫剂）的污染。在这两个地区现已存在相关法律框架来规范这个问题，而在地中海、东大西洋和黑海流域，反污染执法滞后，导致水质变差。



政府间气候变化专门委员会 (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC) 预测，水紧张将在欧洲中部和南部增加，到 2070 年前后，受影响的人数将由 1600 万上升至 4400 万。在南欧、中欧和东欧的部分地区，夏季水流量可能下降高达 80%。预计在此期间，欧洲的水电潜力将平均下降 6%。IPCC 认为，北美的气候变化将加剧用户之间对过度分配的水资源的竞争。

2000 年推出的欧盟水框架指令，与更多关于标准和地下水的最新指令一起，代表了世界上唯一超国家层面的水安排。它加快了跨界水资源管理的历史进程。

亚洲和太平洋地区

亚太地区正经历着快速的城市化、经济增长、工业化和广泛的农业发展。然而，资源集约利用伴随着这些趋势，给水生生态系统造成压力，并影响该地区满足其用水需求的能力。食品安全是一个紧迫的问题，因为全世界三分之二的饥饿人口生活在亚洲地区。内部迁移和城市化正在推动一些超大型城市的崛起和对市政水务不断增长的需求。

1990 年至 2008 年间，该地区获得改善饮用水的人口比例从 73% 提高到 88%，增加了 12 亿人。在此期间，全球约 19 亿人获得改善饮用水的水源，其中中国和印度合计占 47%。然而，关于卫生设施覆盖率的情况没能像这样令人鼓舞，26 亿未获得改善的卫生设施的人口中，72% 生活在亚洲。

亚太地区在世界上是最容易遭受自然灾害的地区。许多经济和人口的增长都发生在沿海和洪水易发地区，太平洋的小岛屿国家特别



容易遭受热带气旋、台风和地震等环境带来的自然灾害，并面临全球变暖造成海平面上升的极大威胁。

在水资源管理方面，亚太地区的许多国家/地区正在改变，将重点从水利基础设施的短期发展转移至更具战略性的办法，承认经济发展对生态的影响。

拉丁美洲与加勒比地区

拉丁美洲和加勒比地区 (LAC) 虽然包含了一些非常干旱的地区，但基本上是一个湿润地区。该地区的用水模式可形容为空间分布零星且高度集中在相对较少的地区。

在 1970 年到 2009 年间，LAC 地区的人口增长超过了 50%，但该地区的出生率正在迅速下降，人口的增长也在相应放缓。该地区居住在城市和农村地区的相对人口份额已经发生了巨大变化，经历了大型的移民潮，城市人口在过去 40 年增长了两倍。城市的增长已拔高了大城市（超过 100 万居民的城市）的比例，在某些情况下，人口高度集中在某一两个最大的城市里。然而，最近的趋势一



直是中小城市在快速增长。据估计，该地区 35% 左右的人口，约 1.89 亿人仍然生活在贫困中，其中约 14% 属于极其贫困的社会类别。

许多 LAC 地区的国家依赖出口高耗水型产品和服务，包括矿产、粮食和其他农产品、木材、鱼类和旅游业。近年来，全球需求已明显增加。这种“虚拟”水出口在该地区对竞争激烈的用水需求具有重要意义。虽然大多数 LAC 地区的国家享有覆盖水平高的改善水资源和卫生设施，在服务质量上却有着巨大的不同，而且在农村和城市地区之间、在国家/地区之间存在着重大差异。近 4000 万人仍得不到改善的水资源，近 1.2 亿人缺乏适当的卫生设施。那些没有获得服务的人大部分是贫困的农村居民。

跨界水资源造成了严重的地缘政治问题。LAC 地区有着 61 个盆地和 64 个含水层，均属于跨越国界的资源。许多 LAC 地区的国家都已经达成了跨界水协定，目的通常是管理水力发电，但政治上的障碍往往导致冲突不断。鲜有管理共享地下水的协议例子。

鉴于水资源管理能力相对薄弱，该地区位于中美洲、加勒比和安第斯地区最贫穷的国家面临气候变化造成的影响的风险最高。从积极的方面看，从适应厄尔尼诺事件造成的后果中学到的经验教训已促进技术创新和人力加强，在面对气候变化时适用于水资源管理。

阿拉伯与西亚地区

该地区地表水的三分之二源于本身以外的地域，这种现象不时会导致该地区与“上游”

国家的冲突。由于农业用水的需求量极大，水资源匮乏必然导致人们关注粮食不安全问题。进口食品，特别是粮食，占据了这一地区虚拟水消耗量的巨大份额。该地区已增加开采地下水用于灌溉，带动了当地的谷物产量。然而，由于含水层逐步减少，地下水抽取变得日益昂贵，而且是不可持续的。在水资源匮乏的背景下，影响该地区水资源的主要动因是人口增长和迁移，日益增长的收入、财富和消费，以及地区冲突。该地区的水治理迫切需要加强，以应对这些挑战。

气候变化预计将导致温度升高、土壤干旱，以及季节性降雨模式的变化（这已经在阿拉伯叙利亚共和国和突尼斯等国的一些旱作农业区得到了验证）。还可能更频繁的极端天气事件（洪涝和干旱），在一些山区降雪量减少、积雪融化，沿海地带含水层的海平面上升、淡水的盐度升高。

过去的冲突造成了大量的国内民众流离失所，这加剧了区域迁移，对难民接收地区的水资源和服务带来了压力。暴力冲突也在不同的时间破坏了贝鲁特、科威特和黎巴嫩的水利基础设施，吸收了民众休养生息所需要的资源。

为了化解围绕水资源的潜在冲突，人们已经尝试在整个地区以协调的方式来分享稀缺的水域资源。阿拉伯国家联盟建立了阿拉伯部长级水理事会和阿拉伯水资源安全战略。负责生产水的国家部委和部门往往与能源、农业和灌溉相关联。一些国家/地区已经通过了国家水资源管理法规，其中有许多国家/地区还在部署 IWRM。

区域 — 全球链接：影响和挑战

人们在全球范围都能感受得到来自区域挑战的影响。在世界大部分地区，自然灾害的发生率正在上升，经常影响社会经济的发展。撇开干旱对人类需求的直接影响不谈，干旱对农业生产有着重要的影响，导致食品价格飞涨、食品短缺。自 2010 年夏天以来，由于小麦的全球产量急剧下降，其成本几乎翻了一番。

水资源短缺问题对不同强度和规模的冲突也有影响。虽然这些冲突可能是局部的，但它们会造成更广泛的影响，如人口迁移、大规模移民、破坏生计、社会崩溃和健康风险，所有这些影响都会对全球社会留下阴影。



©Taco Anema

第二部分：

管理存在不确定性和风险的水资源

全球的政治和社会制度正在以不可预知的方式发生改变。技术在不断发展，生活水平、消费模式和预期寿命正在发生变化。人口在不断增长并向不断扩大的城市环境移动。结果，土地利用和覆盖也随之发生变化，正如气候变化一般。这些事件的变化率正在上涨，其长期影响是不确定的。

水作为主要媒介，人们通过水将能感受到这些变化对人类活动和气候的影响。碳循环（减缓气候变化的领域）和水循环（适应的领域界）是相互联系的：生态系统需要水来储存碳，这样做会对水资源产生影响。由于水资源匮乏、污染或洪涝，如果没有应对变化的适当的适应性措施或规划，数以亿计的人们将面临更大的饥饿、疾病、能源短缺和贫困的风险。

作为所有经济活动的投入，水资源将会受到广泛的部门和领域决策的影响，而这些决策通常跟用水政策没有直接的关系。在各部门或领域，风险管理将以不同的方式进行。向决策者提供工具，以显示提出替代方法后更广泛的水资源结果，将大大有助于更好地整体管理水资源，存在减少不利影响的可能性。

管理风险和不确定性

在水资源管理者和决策者必须作出的决定中，风险和不确定性是固有的，各种新兴的动因和影响往往不在传统的水资源舞台范围之内。对这些风险的理解越深刻，就可以越有力地设计和管理水资源系统，以减少未来变化的影响。

从历史上看，水资源规划者和工程师已经能够根据水循环和水力学的特点来做决定，这可以在已知的统计参数和稳定的概率分布内描述。然而，这些专业人士现今不得不应付未来可能的极端事件，这些事件是尚未被发现的，不在过去的事件所定义变化性范围之内。这些不确定性源于未来的人口增长和空间分布的变化、水消耗模式的改变、社会经

济的发展，以及加剧的气候变化性。后者会影响未来的降水、蒸发、地下水渗透、地表径流和河道径流，其方式是很难根据以往的经验来模拟的。此外，由于水是所有经济和社会活动的投入，决策者需要能反映他们的决定所造成的更广泛结果的规划工具。长期的决策往往有较高的固定成本，难以改变或逆转。这些成本包括水库、供水和污水处理系统等基础设施的投资。

处理现今在复杂的水资源管理问题中遇到的极端不确定性，有**适应性策略**和**稳健策略**。**适应性策略**方法可以选择修改的计划，以实现成果方面达到更好的表现。这些策略可以是对系统性能的新目的或目标的响应，也可以是对随时间变化而变化的输入的响应。

稳健策略先确定未来的情况，然后设法找出在该情况范围内能合理应用的方法。这种方法尤其适用于难以轻易修改或难以在未来以更节约成本的方式进行修改的决定。

情景分析同样是处理不确定性的适当和行之有效的办法。分析水资源的可持续发展问题需要一个长期的观点，要考虑到一些水文和相关社会过程的演变。情景是对事件序列的假设，构建的目的是集中关注因果过程、决策点和演变替代方法，以及分解出人类的行动可以决定性地影响未来的节点。在难以分配可能发生的事件或结果的概率的情况下，不管是否由于对相关流程有限的初步了解，或由于复杂的动态系统的内在非决定论，情景分析都特别有用。WWAP 目前正在开展一个项目，力争呈现出到 2050 年时世界水资源及其利用的潜在情景。

理解与关键动因相关的不确定性和风险

传统上，过去的气候记录的统计分析一直是水循环和极端水文预测的相当可靠的依据。历史气候和水文信息往往形成水资源管理的出发点，过去的推断则定期进行，用以模拟未来的水文条件。然而，水资源的紧张和可持续性是可利用的水资源及其抽取和消耗的功能。资源和水资源的预计压力这两项都在



水资源管理者的掌控之外。WWAP 世界水方案项目 (World Water Scenarios Project) 就变化的十种动因进行了以调查为基础的研究。每种动因的精确相关性在世界不同的地区各不相同。这些调查的参与者最终找到和量化了一些最有可能的动因，总结如下。

农业用水生产率的增长一直被列为影响水资源的最重要的发展。1961 年至 2001 年间，农业用水的生产率提高了近 100%。参与者估计，到 2040 年，农业生产率很可能会提高到另一个 100%。

气候变化将影响水文循环，继而影响到水资源的可利用量。参与者估计，遭受水紧张风险的人口可能在 2030 年之前达到 17 亿，在 2030 年代伊始将增长至 20 亿。可能发生的是，至 2040 年代初，三角洲土地受到严重洪涝灾害的几率将增长 50%。

参与者认为，作为基础设施的发展的成果，至 2040 年代初，全球人口的 90% 可能会获得合理可靠的**安全饮用水**来源，90% 将获得适当的**卫生设施**。

集雨的广泛采用，结合简单和廉价的方法净化收集的水，也被认为是 2020 年至 2030 年间可能的发展项目。更好地利用农学家发明的**经济实惠的技术**来检查作物和土壤水分还会增加灌溉调度的效率。

至 2034 年，世界总人口规模估计近 80 亿，至 2050 年代初则达到 90 亿，2050 年代之后将超过 104.6 亿。人口增长可能会抵消过去获得水资源和卫生设施所取得的收益，特



别是在发展中国家，最近获得供水和卫生的改善可能只会被否定。

发展中国家对水的需求可能会在 2011 年的水平上增加 50%。到 2020 年，超过 40% 的国家/地区，大多是低收入国家，或位于撒哈拉以南非洲地区和亚洲地区，可能会遇到严重的淡水资源匮乏。一个重要的风险是，获得水资源的机会不平等将制造新的经济极性，引起政治紧张局势。

发展有关水资源问题的网上论坛，包括当地政府和公民社会，可以帮助减少用户、供应商和决策者之间的信息不对称。在 2020 年到 2030 年间，至少有 95% 的国家/地区可以实现国家级的网络化协调，用于共享当地水务机构之间的信息和最佳做法。然而，重要的是，政府必须具备应对这些信息流的能力。令人担忧的是，来自政府和既得利益者的阻力可能会妨碍必要的灵活性、参与性和政府决策的透明度。

针对这些风险，世界水方案项目已构建了各种情景，探索未来的水资源可利用量及其对人类福祉、对提供生命支持的健康的生态系统

的影响。现已初步确定主要的因果联系，为了找到水资源可能的未来，研究某些动因如何互动、趋势如何积累极其有用。

在某一种可能的未来，没有进一步的干预，现状将继续维持下去。人口增长和饮食习惯导致粮食需求的增长，与城市化的持续变化共同作用，导致了对水的需求大大增加。人类住区范围扩大将会侵占脆弱或贫瘠的土地，加剧森林砍伐和污染。预计气候变化将导致许多地区的水资源可利用量下降，这加剧了富水和贫水国家之间以及国内各各部门或地区之间的经济两极化。这些影响的负担大部分可能会落在穷人头上。

第二种可能的未来是在其中充分利用技术进步，特别是脱盐的趋势。农业技术的发展促成了相当大规模的节约用水。在城市，水的生产和废水处理等技术的发展，也有助于减少对水资源的绝对抽取和浪费。快速吸收这些技术将伴随不断增加的对水资源匮乏的热门认识。

第三种可能的未来推断了目前的人口和技术的发展趋势，包括一组可以在未来二十年选

用的政策干预。到 2040 年，一个应对气候变化的具有法律约束力的国际协议将可能实现，同时为在低收入国家/地区提高认识度和适应度获得重大融资。由于大多数气候变化的影响是通过水感知的，这将对水资源融资的整体水平有积极影响。这可能意味着高层次的水利基础设施投资，从而减少废水排放，增加可持续动员，以及增加卫生网络覆盖。

这第三种情景也考虑了一些其他的政策干预。基于发展坚实的财产制度，登记土地使用权安排，建立明确的水权和分配制度，对水资源管理、保护，以及卫生进行投资，预计将有多个减贫好处。补贴鼓励低效利用土地、水和肥料，创造了一个偏向于青睐高耗水的使用者，这将逐步由灵活的、基于指数的保险计划取代，使生产者可以根据气候变率和极端作出短期的种植决定。水流域机构和权力下放当局将被赋予更多的权力和资源，有效地管理各国家/地区内部的水。这将在各用户之间、通过调节定价的便利，以及创新水权交易机制，促进当地的气候响应的水资源分配。

未估值的水资源对未来不确定因素的影响

水资源的压力越来越大，导致水短缺，满足不了所有的需求，有鉴于此，必须就如何在各部门内、从一个用户群到另一个群，或在采矿业、电力和旅游等行业之间共享、分配和重新分配日益稀缺的水资源作出选择。重视水的许多社会经济利益对改善各国政府、国际组织、捐助界、公民社会和其他利益相关者的决策来说是必不可少的。在不同状态和用途下，水的经济价值的升值是有效管理水资源的一个必要组成部分。在缺乏适当估值的情况下，水资源很容易遭受政治上的疏忽和管理不善。反过来，这导致了水利基础设施的投资水平欠佳，水资源政策在国家发展计划、减贫战略和其他政策中的低优先考虑。

水价 是供应商和用户之间的一项金融或财政交易，经常被公共当局严密控制，往往与它在特定用途下的价值或供应成本鲜有关系。然而，在运作良好的水资源市场，经济价值

本身将通过交易价格来确立。凡已建立这样的市场，一般在农民之间，价格通常会反映水资源的边际价值，这对确保水最宝贵或是水敏性的用途很有必要。更全面分析水资源价值是调控水交易的可取方法；例如，允许权利人之间进行交易是符合公众利益的。利用水资源价值来正确作出管理和分配政策，并不意味着市场不应该接受监管。公共部门需要进行干预，设定游戏规则，确保供应充足的水和卫生服务，以满足基本需求，保障公众健康。

促使水资源管理机构转型以应对变化

水资源行政主管部门所面临的挑战是：从规划一个明确的未来转移到使用计划来顺应一系列未来可能出现的情景，所有情景都是不确定的，但呈现了不同程度的概率。在这一新的模式之下，技术专家、政府决策者和更广泛的社会相互之间要进行互动。

在应对外界变化方面，水资源综合管理 (IWRM) 需要接受一种适应性的管理方式。另一种方式是要问今天能做什么，以塑造一个更可取的未来前景，具体方法是：寻求稳健的项目或策略（这些策略不需要对当前经济做重大修改）以及优化用于水资源管理中的决策规则。修改此类稳健的策略以便使其成为更好的可用信息，并且他们还可以使用电脑辅助分析来互动探索假说、选择和可能性。

随着 IWRM 变得更具适应性，它会涉及多部门和多学科的协作。同样，将有必要去超越传统上被认定的水资源管理，将它与土地管理、农业、矿业和能源等其他相关领域所作出的决定链接起来。



为一个更具持续性的未来在水资源方面进行投资和融资

投资水利基础设施是驱动经济增长和减贫的关键。为了达成可持续运作，水资源管理和水务必须比现在得到更好的资金投入。融资将不仅需要投资于基础设施，而且对数据的收集、分析和传播，以及人力资源和技术能力的发展等项目都是必需品。向决策者和管理者提供的数据是作出决策和减少不确定性的必要辅助，而目前这方面资金不足、数据提供不足。这些信息的提供可以被视为各国、各地区和广大国际社会的公共财富。投资于升级国家水资源信息库，就几个关键的“数据项”系统地作报告即可以展示良好的回报，国际发展机构正在对此寻求支持。

资金充足的水治理对减少不确定性和管理风险也是必不可少的。在环境控制、地下水监测和提取许可、污染监测和控制等领域的有效治理可以减少水资源过度开发、灾难性的地表水的污染，以及不可逆转的蓄水层污染所带来的风险。在这些治理职能中，部分有时可以通过水提取和污染罚款的方式自筹资金。

现有一系列发展基金可用于适应和缓解气候变化的项目，其中一些基金就是为这个目的而创立的。然而，大量适应/缓解的工作都将由民营企业、农民和各个家庭来承担，但这些群体都不能利用这些发展基金。对于他们来说，自身的资源或商业性融资将是至关重要的。公共机构可以使用专门的气候变化基金，其中一些基金的目的是用于适应水资源的工作。

为水利基础设施和服务提供融资需要务实而折衷的办法。某些项目类型，如废水处理、海水淡化、废水回收用与再利用等，可能适合借助独立的商业企业，从股票和其他类型的商业性融资获得资助。然而，由于2007年以来全球金融形势恶化，增加水资源的商业融资变得更加困难，已经挫伤了对水利基础设施项目的新生个人兴趣，不利地影响了风险资本和贷款融资的供应。一些与捐助机构的技术援助和风险分担一同发展的创新交易陷入了停滞状态。同时，尽管许多国家/地区

的政府部门受其财政状况制约，其余的国家政府部门受益于强劲的商品价格，已经将其财政资源投入包括水资源在内的基础设施。

因为大多数水务所产生的收入都以当地货币计算，外汇风险对公营和私营的水资源项目和供应商而言都是一个潜在问题。对冲贬值的风险是不切实际的主张。更具持续性的长期解决方案是从关税获取更多的内部收入，并尽可能依靠当地金融和资本市场。

许多捐助国和国际金融机构都提供了风险共担的产品，以刺激当地当前对水资源和其他基础设施投入的财政增长。一般而言，根据有关项目的风险状况和预期现金流来调整财务条款，财务违约的风险就可以得到管理。对于庞大而复杂的项目，越来越普遍的做法是融合不同类型的融资（商业贷款、优惠贷款和赠款、股票），以达到一个可接受的整体组合。

从水资源管理的角度来应对风险和不确定性

减少不确定性的最有效途径之一就是在现在、未来通过更好的数据收集、分析和预测来发展关于水资源的可利用量和水质的新信息。反过来，这将提高在重要方面所作决定的质量。

分散风险是另一种可行方式。国际水资源管理研究所 (International Water Management Institute - IWMI) 提出，多样化的蓄水方案都应该形成某个均衡的资助项目投资组合的一部分。这可以是小规模雨水贮蓄池，也可以是较大规模的水坝、人为补充地下水含水层的系统，以及增强土壤蓄水能力的方法。正如现代消费者使其金融控股公司多样化以降低风险一样，小农场主可以使用一系列“水账户”来为应对气候变化的影响提供一个缓冲，这其中包括干旱期所产生的对粮食安全的重要威胁。作为水资源基础设施的一个组成部分，自然环境应得到更好的利用。例如，湿地可以降低洪峰流量，以与污水处理厂相同的方式吸收许多有机废弃物。

对来自水之外的风险与不确定因素的应对举措

更多的发展通常意味着更大的用水量，而更高水平的经济增长往往会导致水体污染的增加。不同的经济增长途径和模式有不同的影响和风险。相反的，水资源匮乏可以作为一个技术变革的推动力。水是“绿色增长”的一个关键因素。

水—能源—粮食的三角关系说明了当今决策者面临的艰难选择、风险和不确定因素。关于有意或无意地提倡一个原因而非其他原因（如粮食安全而非能源或水安全）的后果有很多例子。一个关键的挑战将会是把复杂的互联融入到应对策略中去，这些策略顾及到各种取舍和不同利益相关者的利益。

保险是最古老的风险缓解机制之一。以指数为基础的（或是参数的）保险正在成为所有部门潜在的强力风险管理工具。这种形式的保险与某个指数或事件相关联，如降雨量、温度、湿度或农作物的产量等，而不是实际损失的金额。该方法解决了限制传统的保险方式在发展中国家应用的一些问题。其中一个关键的优势是交易成本较低。至少，在理论上，这使得指数保险对私营部门的保险公司而言是经济可行的，对个体生产者而言是实惠的。

那些关于共享跨界流域水量分配等的水资源条约或协定也可以通过增强各利益相关方之

间的信任来降低风险。同样，出于其他目的而签署的协议和条约也可能有助于降低在水资源方面的风险和不确定性，因为这些协议和条约对另一方对其他自然资源的行为提供了相互保证。

结论

根据长远目标，有必要用一种较广泛的框架体系取代基于部门决策的陈旧方法，考虑发展关联的多个层面、每个决定的多种风险和不确定性，以及成本和效益等。在这一点上，各国政府通过以下方式做出了巨大贡献：建立更强大、更多合作及灵活的机构，采纳适当的融资机制以确保水资源服务和基础设施的长期可用性，确保水资源考虑因素被纳入日常政策以及国际治理流程中。水资源管理人员有责任不断向市民告知这些流程并提高市民在与经济发展相关的事项中注意节约用水的意识。

当前经济危机可以看做是一次机会：它提供了反映理想的集体未来的机会，以及反映各国/地区、部门与政策之间的相互联系的关键一瞥。同样，以水为镜展望未来，还提供了所需的洞察力以便做出决策，最大化人民、环境以及全球经济的利益。

金融、粮食、燃料以及气候危机，个别甚至是严重的问题，但结合其各自的影响可为全球可持续发展带来灾难性的后果。WWDR4



通过风险和不确定性考虑，已设法提供一种新的方案，解决水资源现实问题。WWDR4 还已设法鼓励采取不同的方式考虑世界集体未来，通过识别工具和方法以及演示双赢场景使之成为可能。政界和商界领导以及水资

源管理人员、用水户和普通市民通过水资源问题，有唯一的机会看清过去直接的挑战和风险以及实现全面可持续发展繁荣的长期变化。

WWDR4

联合国世界水资源评估计划 (World Water Assessment Programme – WWAP) 由 UNESCO 牵头，与联合国 28 个水资源成员和合作伙伴共同编撰完成了《世界水资源发展报告》(World Water Development Report – WWDR)，此作品每 3 年发布一次。

这一旗舰报告是一个全面的综述，呈现出了世界淡水资源的大局。报告分析了各方面决策所带来的压力，这些决策推动对水的需求并影响其可利用率。报告在文中提供了工具和应对方案，以协助各政府、私营部门和公民社会的领导解决当前及未来的挑战。报告还就机构改革与调整作为的方式方法作出建议，并就水资源急需投资探讨了可能的资金来源。

《世界水资源发展报告》第四版 (WWDR4) 直接就各地域地区作报告，突出热点地区，是 WWDR 系列的一个里程碑，并已将性别平等纳入主流。报告引入了一个主题法“在充满风险和不确定性的环境中管理水资源”，背景是在世界处在变化当中，变化速度比以往任何时候都更快，变化的方式往往无法预见，不确定因素和风险持续增加。报告强调，历史经验将不足以平衡可用水的数量与未来不断变化的需求之间的关系。

WWDR4 同时也力图说明水资源在经济发展、社会福利等各个方面中发挥着核心作用，水资源的各使用方需通过一种综合性的方法来采取一致行动，确保水资源的诸多好处得以最大化、得以公平共享、与水资源相关的发展目标得以实现。

由联合国水评估计划出版

© UNESCO-WWAP 2012

