

中国节能政策的 节水效果评价

清华大学能源环境经济研究所



国际自然资源保护协会



关于清华大学能源环境经济研究所：

清华大学能源环境经济研究所（Institute of Energy, Environment and Economy, Tsinghua University）创建于1980年，是清华大学校级跨学科研究机构，致力于创造、发展和传播建立可持续能源体系和应对气候变化所需的先进知识、理念和方法学，为中国和世界向可持续能源系统过渡、有效应对气候变化和实现低碳发展提供综合解答，是中国高校中最早开展能源与应对气候变化系统分析的研究单位。

关于国际自然资源保护协会：

国际自然资源保护协会（Natural Resources Defense Council, 简称NRDC）是最具成效的非营利环境保护组织之一。自1970年成立以来，NRDC通过法律和科学研究，在130万会员和网上行动者的大力支持下，为守护我们的地球，保障人类和万物生灵共同的健康生存环境而不懈努力。NRDC的员工由400余名环境律师、科学家和政策研究专家组成，现已在纽约、华盛顿、芝加哥、洛杉矶、旧金山、蒙大拿州和中国北京建立了常设办公室。

作者：

清华大学能源环境经济研究所：顾阿伦，滕飞，王宇

国际自然资源保护协会：刘明明

致谢

本报告由清华大学能源环境经济研究所的顾阿伦、滕飞、王宇与国际自然资源保护协会的刘明明共同撰写。顾阿伦副教授主要从事能源系统模型、气候变化政策研究以及水泥部门的技术评价研究；滕飞副教授从事气候变化政策的研究工作多年，是中国政府在NAMAs和三可方面的主要支持专家之一；王宇博士主要从事电力部门的能源技术评价与气候变化战略研究；刘明明博士主要从事能效政策研究工作。

本项目由国际自然资源保护协会（NRDC）资助，并得到NRDC不同项目专家的大力支持，特别感谢杨富强博士、Christina Swanson博士、以及Mona Yew和钱京京女士对本项目的指导和建议。报告根据清华大学何建坤教授和NRDC杨富强博士提出的建议进行了修改和完善。环保部环境规划院的刘兰翠和中国水利水电科学研究院水资源研究所的褚俊英对报告进行审阅并提供审稿意见。清华大学的何建坤教授、国家应对气候变化战略研究和国际合作中心的刘强、丁丁，环保部的於俊杰以及发改委能源研究所的朱松丽出席报告终审会并提供意见和建议。NRDC的李玉琦、Hyoungmi Kim对报告提出修改建议。

长期以来，中国在制订国家宏观能源规划和政策中，较少考虑其对水资源的影响。而有关水资源的规划和政策的制定也经常忽略其对能源消耗以及温室气体排放的影响，导致两者的规划和管理缺乏协同性和有效性。在此背景下，国际自然资源保护协会（NRDC）与清华大学能源环境经济研究所共同开展了“中国节能政策的节水效果评价”课题的研究。该报告从能源与水资源之间的关系和协同效果入手，通过投入产出模型，分析能源与水资源管理之间的相互关系，在此基础上评价了“十一五”工业节能政策中的节水效果，并对“十二五”期间所实施节能政策的节水效果进行了预估。

1 研究背景

能源和水资源是人类社会赖以生存和发展的物质基础，是经济社会发展的重要推动力。中国能源消耗总量大、增长快。中国人均淡水资源只有世界平均占有量的四分之一，即用全球7%的水资源养活了全球21%的人口。中国能源和水资源的空间分布不均，导致主要经济发达地区缺乏能源与水资源的有效供应。水资源和能源资源短缺已经成为影响中国经济发展、生态环境改善和生活质量提高的重要制约因素。能源消耗与水消耗的关系是紧密相关的。一方面能源在开采到终端利用的整个过程中会消耗大量的水资源；另一方面，水资源的管理，如各类水利工程的实施，包括用水供应和节水设施，都需要能源提供动力。

中国政府高度重视能源和水资源问题。从“十一五”开始将降低能源强度作为强制性目标，“十二五”将控制温室气体排放纳入了国民经济和社会发展规划，并向国际社会做出公开承诺：到2020年中国单位国内生产总值二氧化碳排放量比2005年下降40%至45%，同时也确定了单位工业增加值用水量、农业灌溉用水有效利用系数等水资源管理目标。

“十二五”时期除了继续强化能源强度和碳强度目标之外，为了贯彻落实好中央水利工作会议和《中共中央国务院关于加快水利改革发展的决定》的要求，中国还提出了实行最严格水资源管理制度。节能与节水成为“十二五”期间的重要任务。这些均体现了中国政府积极推进生态文明建设，高效地发挥能源和水资源对中国经济社会发展的重要作用。

2 中国水资源利用现状

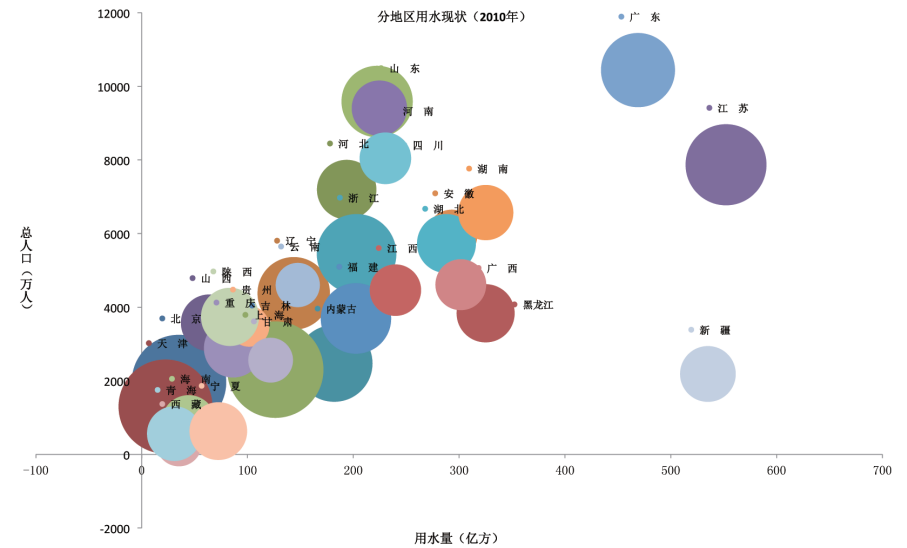
中国水资源及利用具有以下一些特点：

（1）中国的水资源总量丰富，但是人均水资源占有量低且分布不均。在全球范围内，中国属于轻度缺水国家，用全球7%的水资源养活了占全球21%的人口。中国水资源空间分布十分不均匀，华北地区人口占全国的三分之一，而水资源只占全国的6%；西南地区人口占全国的五分之一，但是水资源占有量达46%。中国东部地区的供水量最多，西部次之，中部地区的供水量最少。节约水资源和跨地区调配水资源是核心问题。

（2）农业部门一直是中国用水大户。2000–2010年间农业年均用水占比64.4%，远高于工业的22.5%和生活用水的11.8%。工业和生活用水增长势头较快，年均增速分别为2.2%和2.6%，高于全国总用水量年均0.8%的增速。从用途来看，农业用水量比重最大的是西部地区，2010年达到74%，中部次之，东部最小；反之，工业和生活用水量比重最大的是东部地区，达到29%和14.6%，中部次之，西部最小；生态方面，西部比重最大，东部次之，中部最小。

（3）地区耗水量与其经济结构和产业结构相关。从各省市GDP、用水量与总人口之间的关系可以看出，经济比较发达、人口比较密集的地区其GDP总量较高，同时其用水量也较高：东部地区人口密集，经济发展水平较高，其用水比重约占全国的44%；西部地区经济发展水平最低，但因农业耗水比重较高，其耗水量也相对偏高，占全国的33%；中部地区人口密度较高，但是经济发展水平一般，其用水比重约为23%。以山东为例（见图1），山东省总人口及人均GDP总量均处于国内前列，但用水量低于广东和江苏省，主要原因是山东省的工业用水比重低于广东和江苏省，而其渔业比较发达，产业增加值高于传统的农业，因此尽管其用水量不高，但人均GDP水平较高。

图 1 分省市用水量、人口及人均GDP的比较



注：气泡的大小表示各地的人均GDP（2010）

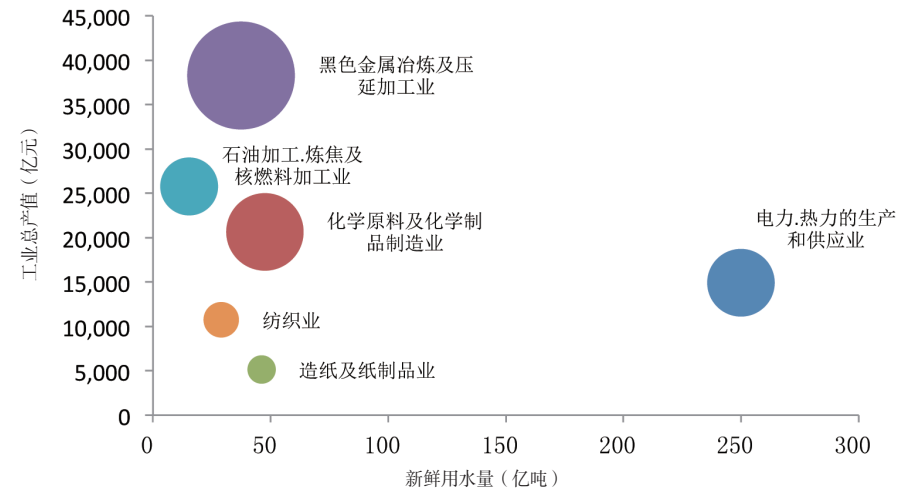
3 能源消耗与水消耗的关系

能源消耗与水资源消耗之间的关系不仅存在整个社会发展中，在工业部门，尤其是电力部门，存在着最为密切的关系。

（1）能源消耗与水资源消耗的关系紧密相关。一方面，在能源开采、转换、加工、利用的整个链条上都会消耗大量的水资源；另一方面，水资源的开发、调配、输送、利用和回收处理各环节消耗能源。根据中国“十二五”规划的经济发展和节能目标进行测算，2015年中国能源消费总量应控制在40亿吨标准煤，相应的用水量则为6215亿立方米。水利部发布的《节水型社会建设“十二五”规划》中预计全国用水总量应控制在6350亿立方米以内，因此以实现“十二五”能源总量控制目标，有助于完成节水目标。

（2）工业部门是中国主要的耗能大户，也是主要的用水大户。2010年工业约占能源消耗总量的71%，耗水总量的24%。中国工业耗水前5位的部门依次为电力热力的生产和供应业、黑色金属冶炼及压延加工业、化学原料及化学制品制造业、石油加工/炼焦/核燃料加工业、造纸及纸制品业，如果加上传统用水大户纺织业，则6个重点耗水行业的能源消耗量约占整个工业的比重为60%，新鲜取水量约占工业行业的比重为80%，而其工业总产值约占整个工业产值的40%，是典型的高能耗和高耗水的双高行业。

图 2 主要部门的能源消耗，新鲜用水量与工业总产值的比较（2010年）



注：气泡大小表示该行业的能源消耗量

（3）电力行业是中国工业的主要耗能耗水大户。2009年火电装机容量占全国总装机容量比重为74.6%，用水量约占整个工业用水总量的40%，约占全国用水量的9.35%。随着国家节能减排政策在电力行业的实施，火力发电单位发电量的耗水量从2000年的4.03千克/千瓦时下降到2008年的2.78千克/千瓦时，下降约30%。但是与发达国家相比还是存在一定的差距（美国平均水平1.78千克/千瓦时）。预计未来10年中国电力供应仍然以燃煤电厂为主，会继续消耗大量的水资源。根据报告中模型测算，预计到2015年火力发电的耗水量将达到903亿立方米，比2009年增加约60%。因此确保水资源供应对中国未来电力发展至关重要。

（4）若将各种发电技术的耗水指标进行对比，结果显示风力发电技术是缺水地区首选的技术，其耗水量远远低于燃煤发电技术。与燃煤发电相比，燃气发电耗水量明显地少许多。由此可见，如果中国电力向燃气发电和风电技术转移，则可在实现节能减排的同时，带来可观的节水效果。

4 “十一五”期间节能政策的节水效果评价

通过从不同角度——全社会、五大重点耗能行业、火电行业——分析节能带来的直接节水和间接节水效果，结果显示，“十一五”期间的节能政策取得了很好的节水效果，尤其是火电行业效果明显。

（1）“十一五”期间通过节能降耗等重要政策举措基本实现了能源强度降低20%的目标，节水效果的协同效应也很显著。“十一五”期间全社会实现的节能量为6.08亿吨标准煤（约占2010全部能源消耗的19%），应用本研究取得的直接耗水系数和间接耗水系数¹，测算出“十一五”期间节能政策实现直接节水248亿立方米，占2010年用水总量比为4.13%；实现间接节水量589亿立方米，占用水总量的9.78%。

（2）根据报告中的方法学，得到分部门的节能和节水量估计值。结果显示，“十一五”期间工业节能取得了很好的节水效果。本研究测算了五大重点耗能行业²，其2010年能源消费量占工业能源消费量的59%。“十一五”期间这五个高耗能行业节能1.44亿吨标准煤³，约占其行业能源消耗量的9.2%。通过测算，五大重点耗能行业的节能措施，实现直接节约用水58.7亿立方米，占2010年直接用水量的6%；节约上下游产业用水139亿立方米，占用水量的5.5%；单位节能带来的直接节水效果为40.2立方米/标准煤，上下游节水效果为95立方米/标准煤。与《节水型社会建设“十一五”规划》中工业节水134亿立方米的预期目标相比，这

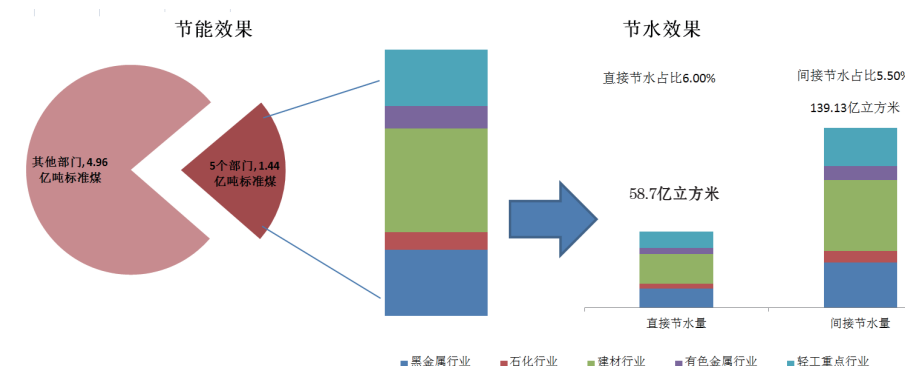
¹ 间接耗水系数，表示全生命周期的耗水强度，通常间接耗水系数要高于直接耗水系数。

² 五大重点高耗能行业包括：黑色金属冶炼、石化、建材、有色金属以及轻工业重点行业。

³ 五大重点高耗能行业的节能量分别按照各个行业单位产品的能源强度进行测算。

5个部门通过节能产生的直接节水量对工业节水的贡献率为43%。

图3 五大重点耗能行业节能实现的节水效果



（3）节能政策带来的节水效果在部门之间存在较大差异，不同部门节能会产生不同的节水效果。如建材行业，在实现较大节能量的同时也产生了较大的节水效果，说明该部门产品生产过程中除了耗费大量的能源外，同时也消耗较多的水资源，即该行业的水资源消耗链较长。“十一五”期间，建材行业实现节能0.56亿吨标准煤，占其2010年用能量的20.45%；同时实现直接节水量23.07亿立方米，占其2010年用水量的58.9%；实现上下游行业节水58.7%。

（4）火电行业节能减排的节水效果明显。“十一五”期间电力行业节能减排力度很大，“上大压小”关停小火电机组的力度空前，电源结构和布局得到进一步优化，供电煤耗进一步下降。2010年平均供电煤耗较2005年下降37克/千瓦时，达到333克/千瓦时，提前完成了“十一五”355克/千瓦时的目标，位居世界先进水平。根据测算，“十一五”期间电力行业实现节能量0.88亿吨标准煤，占其2010年用能量的39%；实现直接节水105.6亿立方米，带动上下游行业节水250.64亿立方米，二者分别约占部门2010年用水量的18.9%和44.9%。通过电力行业节能实现的直接节水量，可满足北京市三年的用水需求⁴。

⁴ 北京市2010年用水总量约为35亿立方米。

5

“十二五”期间节能政策的节水效果预估

通过建立的动态投入产出模型，结合“十二五”期间行业节能量的预测，可以预测出“十二五”期间节能政策的节水效果如下所示：

（1）在“十二五”国民经济和社会发展规划中，与2010年相比，单位国内生产总值的能源消耗下降16%左右，单位工业增加值用水量降低30%。**工业节能与节水是“十二五”期间的重点任务。**

（2）水利部发布的《节水型社会建设“十二五”规划》中预计2015年全国用水总量控制在6350亿立方米。根据中国“十二五”规划的经济发展和节能目标进行测算，**若2015年中国能源消费总量控制在40亿吨标准煤，则相应的用水量达到6215亿立方米，略低于6350亿立方米用水总量控制目标。**

（3）国家发改委2012年3月份发布的煤炭工业发展“十二五”规划中提到合理控制煤炭消费总量，2015年煤炭消费总量宜控制在39亿吨左右。照此煤耗总量测算，“十二五”末工业用水量将达到1550亿立方米，约占全国规划用水量的24%。尽管其工业用水总量增加，但是占总用水量的比重基本与“十一五”末持平。**这些限制方案一方面对能源消耗增长过快的趋势产生了抑制作用，同时也改善用水紧张的局面，有助于推进整个社会经济的可持续发展。**

（4）“十二五”期间预计节能6.7亿吨标准煤，可产生直接节水量170.6亿立方米，上下游产业的间接节水量为429.2亿立方米，分别占2015年全国用水量6350亿立方米的控制目标的2.69%和6.76%。五个重点耗能行业预计节能1.46亿吨标准煤，会直接节水37.14亿立方米，上下游产业的间接节水量为93.43亿立方米，分别约占5部门2015年耗水总量的3.53%和3.14%，由于耗水系数的降低，“十二五”预计的节水占比低于“十一五”期间的水平。

	“十一五”		“十二五”	
	直接节水	上下游节水	直接节水	上下游节水
5部门节能的节水效果小计	58.69	139.13	37.14	93.43
整体节能的节水效果	248.49	589.03	170.60	429.20
	直接节水占比	上下游节水占比	直接节水占比	上下游节水占比
	直接节水占比	上下游节水占比	直接节水占比	上下游节水占比
5部门节能的节水效果小计	6.00%	5.47%	3.53%	3.14%
整体节能的节水效果	4.13%	9.78%	2.69%	6.76%

6 研究发现要点

本研究的结论要点如下：

（1）能源和水的关系是紧密相关的。目前国家制定宏观能源和水资源利用政策时，并没有考虑到二者之间的协同效应关系。中国节能与节水的政策目标、执行措施以及制度保障之间的协调尚处于摸索阶段。本文的分析显示，中国节能政策的实施附带着很好的节水效果，但在制订国家的宏观能源政策中，没有考虑其对水资源的影响。而有关水资源政策的制定也没有考虑到对能源消耗以及温室气体排放的影响。尽管“十二五”期间设定了能源强度和用水强度的约束性目标，但是二者目标的制定过程没有考虑它们之间的紧密关联。

（2）从节能及节水的相关效果分析看出，国务院应加强对两项工作关联性的领导，从政策制定的源头上保证节能节水工作实现协同管理和实施。虽然节能节水领域各自涉及到政策、战略标准、技术、经济手段等，对各自的工作重点和计划比较明确。但从总体政策协调上，节水与节能的具有很强的协同效应，但目前缺乏深入的了解和分析，缺乏统筹管理和协作实施。

7 政策建议

基于上述研究，我们提出以下几点政策建议：

（1）深入了解节能和节水之间的内在联系与规律，加强中国节能节水政策目标制定上的协调。预计未来20年之内，随着中国城镇化、工业化进程的加快，中国能源和水资源消耗还会继续增长。中国能源和水资源面临供应安全的挑战，节能-节水是中国资源节约和生态环境保护的核心内容。节能政策的实施有助于实现节水，反之亦然。用水总量目标的实现则有利于能源和煤炭总量控制目标的设定，需要进一步加强政策目标制定中的相互协调。

（2）合理制定行业规划，提升节能-节水政策制定的协同实施。由于缺乏清晰的系统节能-节水内在关联的理论和 method 支持，使得节能-节水的协同效果并没有统筹地体现在各自的政策和规划制定中，尤其是中国工业行业，具有很大的节能节水潜力。合理制定煤炭、电力等行业发展规划，设定煤炭消耗总量控制和非化石能源发展等目标，有助于推进节能减排，优化能源结构，同时带来可观的节水效果，不断提升中国节能-节水政策的协同关系。

（3）在重点行业设定用能用水标准、相关法律法规以及重点节能节水技术推广目录等多种措施与手段，发挥节能节水的协同效果。积极推动在重点耗能、耗水企业中统一计量能源和水消耗量，对行业的产值能耗和产值水耗进行标定，以便在行业内部推广节能节水目录，

加强技术指导。对企业在能源和水开发利用的全过程实施严格的环保政策。示范建立自愿节能-节水制度，对于完成承诺的、表现突出的企业给予政府表彰和经济奖励。适当在设立行业、企业节能目标的同时，参考节水效果设定节水目标，反之亦然，充分发挥节能节水的协同效果。

（4）充分发挥现有的管理制度，加强节能节水管理机构实施协同管理的能力。中国目前对节能和节水管理均拥有比较完备的组织管理机构，在国家规划部门和各主管部门具有较强的管理和执行能力，其中工信部、住建部分别对工业部门、建筑部门节能和节水具体执行工作，而财政部则需要为各领域节能、节水工作的开展提供财政支持。由此可见，中国具备对节能节水实施协同管理的基础，未来应在各部门制定具体政策时更注重提高节能节水的协同管理能力，从而获得更大的经济、社会和环境效益。而财政部可通过分拨财政专项资金、税收减免优惠等方式支持各部门实施协同管理的实现、及协同技术的研究与开发，加大对成熟的节能-节水技术的推广的支持力度，强化节能-节水政策的实施能力。

名词解释

水资源总量 是指当地降水形成的地表和地下产水总量，即地表产流量与降水入渗补给地下水量之和。

供水量 是指各种水源为用水户提供的包括输水损失在内的毛水量之和，按受水区分地表水源、地下水源和其他水源。

用水量 是指各类用水户取用的包括输水损失在内的毛水量之和，按农业、工业、生活三大类用户统计。

耗水量 用水消耗量指在输水、用水过程中，通过蒸腾、土壤吸收、产品带走，居民和牲畜饮用等各种形式消耗掉，而不能回归到地表水体或地下含水层的水量。

火力发电的用水量 是包括厂区和厂前区各系统生产、生活所使用的新鲜水和复用水量，不包括厂外生活区用水量。

火力发电的耗水量 是指全厂实际从水源总取水量，包括厂区和厂前区生产、生活耗水量，不包括厂外生活区耗水量，当火力发电厂冷却系统有排水返还水源(例如采用直流、混流或混合供水系统)时，全厂实际总耗水量应等于从水源的实际总取水量中扣除返还水源的实际排水量后的实际总净取水量。

数据定义（1）水利部门对于用水量和耗水量的统计定义：用水量，一个企业的引水量减去排水量；耗水量，为工农业所供水量中耗于蒸散发而逸失于大气和构成产品成分的部分水量，或者是，输水、用水过程中消耗掉，而不能回归到地表水体或地下含水层的水量。（2）环境部门的统计定义是（以火电行业为例）：用水量，正常情况下设计循环水量、串用水量和回收利用的水量，可以重复计算；耗水量，全厂实际从水源总

取水量，当火力发电厂冷却系统有排水返还水源（例如采用直流、混流或混合供水系统）时，全厂实际总耗水量应等于从水源的实际总取水量中扣除返还水源的实际排水量后的实际总净取水量。

数据统计口径：（1）统计年鉴中工业用水指工业企业在生产过程中用于制造、加工、冷却、空调、净化、洗涤等方面的用水，按新水取用量计，不包括企业内部的重复利用水量。（2）中国环境统计年报对于工业用水量是包括重复利用水量的。《中国环境统计年报》和《中国环境年鉴》上的数据是“按行业分重点调查工作汇总情况”，采用的是把用水工业企业分成重点与非重点，对重点企业进行检测，根据检测到的数据对非重点企业进行估算，从而得到用水量。

工业用水量=工业重复用水量+工业用新鲜水量。

新鲜用水量 从水源地引过来的水，一般是自来水。

重复用水量 在企业内部，对生产和生活排放的废水直接或经过处理后回收再利用的水量，不包括企业从城市污水处理厂购买的中水。

生态用水 仅包括部分河湖、湿地人工补水和城市环境用水。

部门增加值完全耗水系数 单位部门增加值的完全耗水强度，表示该部门全生命周期的耗水强度。

部门增加值直接耗水系数 单位部门增加值的直接耗水强度，表示该部门的直接耗水强度，通常部门增加值的完全耗水系数要高于其直接耗水系数。

课题组介绍

顾阿伦 博士，清华大学副研究员。2003年毕业于清华大学公共管理学院获得管理科学与工程博士学位，同年进入清华大学核能与新能源技术研究院工作。自2003年以来，主要从事能源系统模型、气候变化政策研究以及水泥部门的技术评价研究。2005年以来，在国内外期刊及会议上发表20篇文章及论文。

滕飞 博士，清华大学能源环境经济研究所，副研究员。2003年从清华大学毕业，获得管理学博士学位。2004至2005年在法国国家科学研究中心（CNRS）从事博士后研究工作。自2003年毕业后，一直从事气候变化政策的研究工作，尤其是国际气候制度的研究工作。自2007年起，一直作为中国政府代表团成员参加减缓相关议题、发达国家减缓承诺和发展中国家国内适当减缓行动等议题的国际谈判。973气候变化重大专项首席科学家。参与编写《气候变化国家评估报告》和《应对气候变化国家方案》，是《中国应对气候变化白皮书》的主笔专家之一。

王宇 博士，清华大学能源环境经济研究所，助理研究员。2006年从中国科学院研究生院毕业，获得管理科学与工程博士学位。主要致力于电力部门的能源技术评价，气候变化战略研究。作为项目负责人和项目骨干参加了国家能源局重点项目，国家自然科学基金青年基金项目，科技部创新方法工作专项课题，环保部对外委托课题公开选聘项目，及国际合作项目等研究。参与编写了《气候变化国家评估报告》和《气候变化绿皮书》等报告。

刘明明 博士，国际自然资源保护协会（NRDC）政策分析师。2009年加入NRDC以来，一直致力于电力需求侧管理工作，为在中国推动能效作为一种资源而提供有效的解决方案。2007至2009年在清华大学核能与新能源技术研究院从事博士后研究工作。在此期间，她参加了多个与能源、环境相关的项目研究，包括应对气候变化、水资源管理等等。她具有能源经济分析、技术经济分析、管理经济学、金融分析等方面的知识，并发表学术论文10多篇。

