



# 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Christina Swanson主任、钱京京主任、Mona Yew主任，以及高级顾问杨富强博士对本项目的指导和建议。这篇报告针对清华大学何健坤教授和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。清华大学的何健坤教授、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。NRDC的Jason Porter和 Hyoungmi Kim对报告摘要的英文翻译进行校对，以确保中英文内容的一致性。

# 目录

1. 研究背景	1
2. 我国水资源利用现状	4
2.1 我国水资源结构及其分布	4
2.2 我国水资源的利用现状	7
2.3 小结	13
3 能源消耗与水消耗的关系	14
3.1 我国能源消耗与水资源消耗之间的关系	14
3.2 电力部门的用水现状	17
3.3 其他重点部门的能源消耗与水消耗	21
3.4 小结	27
4 我国节能节水政策分析	29
4.1 节能节水相关政策研究	29
4.2 节能节水的组织机构分析	34
4.3 小结	35
5 节能产生的节水效果评价：“十一五”的实践到“十二五”的预估	36
5.1 “十一五”期间工业部门节能	36
5.2 “十一五”期间工业部门节能的节水效果	38
5.3 “十一五”期间电力部门节能的节水效果	40
5.4 “十二五”节能的节水效果预估	41
5.5 小结	44
6 结论与建议	45
6.1 结论	45
6.2 政策建议	47
名词解释	49
参考文献	51
附录1 节能与节水协同效益的方法学	53
附录2 投入产出系数的RAS过程	57

# 表 目 录

表 1	水资源管理的具体指标	1
表 2	“十一五”和“十二五”具体指标的对比	2
表 3	支出法能源消耗和水消耗的比较	16
表 4	节能节水指标	29
表 5	中国节能任务分工及重点领域	30
表 6	水资源管理重点领域分析	31
表 7	单位产品综合能耗 (kgce/t产品)	37
表 8	“十一五”我国的节能成效	38
表 9	分行业的节能量估计	38
表 10	一次能源部门的耗水系数	39
表 11	“十一五”节能的节水效果评价	39
表 12	重点部门的“十一五”节水效果	39
表 13	电力行业的节水效果	41
表 14	“十二五”时期分部门节能量预测	42
表 15	部门节能量预测	43
表 16	“十二五”期间一次能源部门的耗水系数	43
表 17	重点部门的“十一五”节水效果	44

# 图目录

图 1	我国水资源情况	4
图 2	我国供水情况	5
图 3	各个地区供水比重	6
图 4	分省市地区的供水情况 (亿立方米)	7
图 5	我国近年用水总量及年增长率	8
图 6	我国用水结构	8
图 7	我国近年人均用水量 (立方米)	9
图 8	我国近年分部门的用水量 (亿立方米)	9
图 9	我国分地区的指标对比	10
图 10	北方6区与南方4区的用水量比较 (亿立方米)	11
图 11	分省市用水量、人口及人均GDP的比较	12
图 12	各个地区分部门用水结构	12
图 13	我国近年能源消耗和用水量	14
图 14	能源消耗与用水量之间的关系	15
图 15	工业用水和耗煤量之间的关系	16
图 16	火电厂用水结构	17
图 17	我国近年火电用水量及占比	18
图 18	我国近年火电发电量、单位发电耗水量	19
图 19	各种发电技术耗水量比较 (立方米/MWh)	19
图 20	火力发电用水量与发电量的关系	20
图 21	近年来主要工业部门的用水量比重	21
图 22	近年来主要工业部门的用水量 (亿立方米)	22
图 23	近年主要工业部门单位产值的耗水强度 (立方米/万元)	22
图 24	主要部门的新鲜用水量、工业总产值和能源消耗比重	23
图 25	近年来主要工业部门的新鲜用水量 (亿立方米)	23
图 26	主要部门的能源消耗, 新鲜用水量与工业总产值的比较	24
图 27	近年来分部门的重复用水量 (亿立方米)	24
图 28	“十一五”始末各行业耗水强度的比较	25
图 29	分部门增加值直接耗水系数和完全耗水系数 (立方米/万元)	26
图 30	部门的完全能耗和水耗	27
图 31	节能与节水政策梳理	33
图 32	节能与节水工作的组织机构图	36
图 33	重点行业的节能与节水效果	40
图 34	各种产品之间的消耗关系	50
图 35	国产化系数的修正	55
图 36	能源消耗和水消耗分类	56

# 1 研究背景

能源和水资源是影响中国经济可持续发展的重要制约因素。我国已经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（简称碳强度）比2005年下降40%至45%，并作为约束性指标纳入国民经济和社会发展中长期规划。从“十一五”开始，我国就将控制温室气体排放纳入了国民经济和社会发展规划，并提出单位国内生产总值的能源消耗（简称能耗强度）将在“十一五”期间降低20%。与制定的能耗强度目标类似，“十一五”期间同时也制定了与淡水资源管理相关的目标，发展农业节水，基本实现灌溉用水总量零增长；重点推进火电、冶金等高耗水行业节水技术改造；抓好城市节水工作，单位工业增加值用水量降低30%，农业灌溉用水有效利用系数提高到0.5。

我国水资源面临的形势十分严峻。水资源短缺、水污染严重、水生态环境恶化等问题日益突出，已成为制约经济社会发展的主要瓶颈。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》（中发〔2011〕1号）的要求，中国提出了实行最严格水资源管理制度的意见。主要目标见表1所示<sup>1</sup>，可以看出，国家对用水总量提出了约束性的目标，对于工业用水提出了强度目标，工业节水是“十二五”期间的重要任务之一。

<sup>1</sup> 国务院关于实行最严格水资源管理制度的意见，[http://www.gov.cn/zwggk/2012-02/16/content\\_2067664.htm](http://www.gov.cn/zwggk/2012-02/16/content_2067664.htm)

表1 水资源管理的具体指标

	2015	2020	2030
全国用水总量（亿立方米）	6350	6700	7000以内
万元工业增加值用水量（立方米/万元）	比2010年降低30%	65以下	40以下（2000年不变价）
农田灌溉水有效利用系数	0.53以上	0.55以上	0.6以上
水功能区水质达标率	60%以上	80%以上	95%以上

“十二五”时期是我国全面建设小康社会的关键时期，也是深化改革开放、加快转变经济发展方式的攻坚时期。随着工业化、信息化、城镇化、市场化、国际化深入发展，我国经济将继续保持平稳较快发展，经济结构转型加快，经济社会发展和综合国力将再上一个新台阶。与此同时，经济增长的资源环境约束将进一步强化，“十一五”期间，我国一次能源消费总量净增8.9亿吨标准煤左右，年均增加1.78亿吨标准煤，达到32.5亿吨标准煤，预计“十二五”末我国一次能源消费总量可能要超过40亿吨标准煤。因此，未来十年我国经济社会的持续发展对能源与水资源的供应与安全保障提出了更高的要求。

2011年3月我国正式发布了“十二五”规划，除了与能耗强度和碳强度相关的具体指标之外，新加入与淡水资源管理相关的指标，如单位工业增加值用水量降低30%，农业灌溉用水有效利用系数提高到0.53。表2将“十一五”与“十二五”规划中相关的指标进行了比较。其中“十二五”规划中对于能耗强度和碳强度的目标，意味着将对水资源的消耗产生一定的影响，如工业部门推行的节能技术，可能会降低水资源的消耗；同时水资源的利用也会消耗一定量的能源，如新的污染物10%的氮氧化物减排目标，主要针对的是农业的化肥使用，减少其使用量，也减少其生产量，降低工业能源消耗。因此，能源与水资源管理之间的关系是紧密相关的。

表2 “十一五”和“十二五”具体指标的对比

目标	十一五预计目标	十一五实现目标	十二五预计目标
能耗强度	20 %	19.1 %	16 %
碳强度	n/a	16.2 %	17 %
二氧化硫减排目标	10 %	14.29 %	8 %
COD减排目标	10 %	12.45 %	8 %
氮氧化物减排目标（新）	n/a	n/a	10 %
氮氧化物减排目标（新）	n/a	n/a	10 %
单位工业增加值用水量	30 %	37 %	30 %
农业灌溉用水有效利用系数	0.50		0.53
非化石能源占一次能源比重	N/A	8.3 %	11.4 %

我国在制订国家宏观工业能源政策中，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（GHG）排放的影响。本研究从能源与水之间的关系与协同效果入手，通过建立投入产出模型，科学和系统地分析能源与水资源管理之间的相互关系，分析国家节能政策



---

中节水的协同效果。在此基础上本研究评价“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预测。本研究重点评价“十二五”工业节能政策与节水政策之间的协调性、有效性，为国家制定能源和水资源管理相关政策提供决策依据。

# 2 我国水资源利用现状

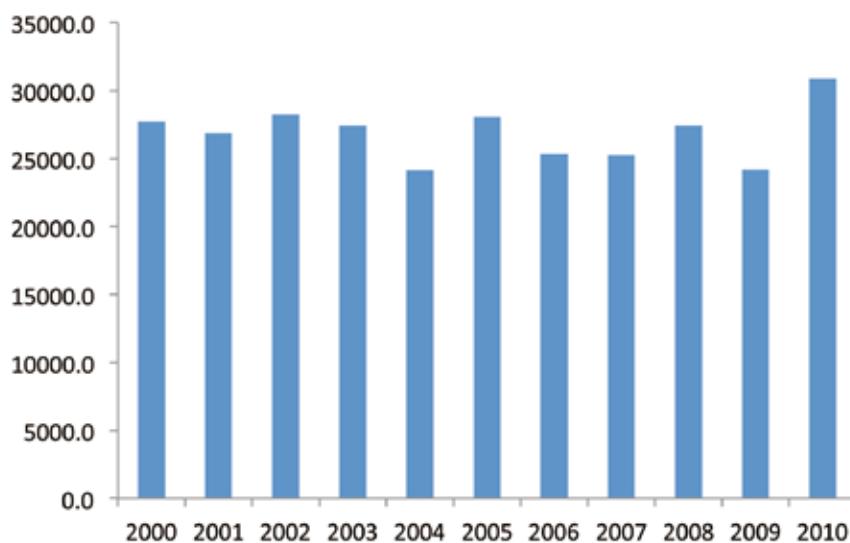
## 2.1 我国水资源结构及其分布

### 2.1.1 我国水资源的主要供应结构

我国水资源总量较丰富，排名世界第六，但人均水资源占有量极低，世界排名第128位<sup>2</sup>。根据中国统计年鉴相关数据，我国水资源总量从2000年的27700.8亿立方米提高至2010年的30906.4亿立方米，平均水资源总量为26870.8亿立方米。从2000年至2010年，各年水资源总量参差不齐，总计增长11.57%，如图1所示。具体来看，2000-2010年期间，地表水资源量年平均达到25818.0亿立方米，占水资源年均总量96.07%；地下水资源量年平均达到8043.8亿立方米，其占年均水资源总量29.98%；地表水与地下水资源重复量年平均达到6991.1亿立方米，其占水资源年均总量26.05%；人均水资源量年平均为2063.6立方米。

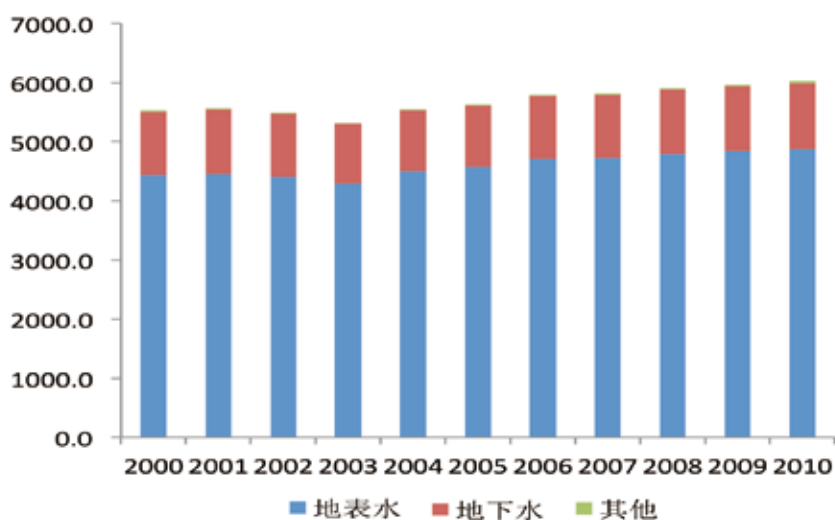
<sup>2</sup> The United Nations World Water Development Report, 2003

图1 我国水资源情况（亿立方米）



我国水资源的供应可由地表水、地下水以及其他水组成。根据中国统计年鉴及中国水资源公报数据，从2000年至2010年，全国总供水量年均值为5691.6亿立方米，如图2所示。其中，年平均地表水源供水量4600.5亿立方米，占年均总供水量的80.8%；年平均地下水源供水量1067.4亿立方米，占年均总供水量的18.8%；年平均其他水源供水量23.7亿立方米，占年均总供水量的0.4%。

图2 我国供水情况（亿立方米）

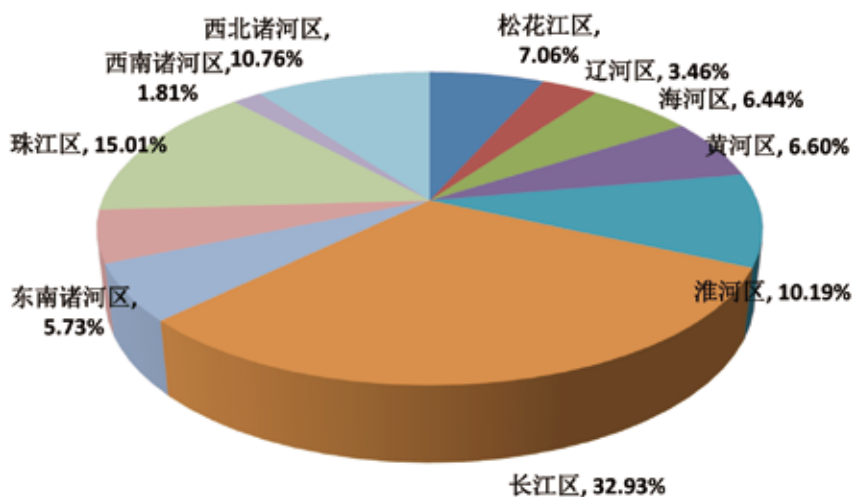


## 2.1.2 我国水资源分地区的供应情况

我国各水资源分区中，以2005年至2010年6年的数据为依据，北方6区年平均总供水量为2607.8亿立方米，占全国年平均总供水量的44.52%；南方4区年平均总供水量为3249.5亿立方米，占全国年平均总供水量的55.48%。具体来看，北方6区中，供水比重最大的为西北诸河区，达到10.76%（占比全国供水量，下同），其次是淮河区，达到10.19%；南方4区中，供水比重最大的为长江区，达到32.93%，其中包括太湖流域6.25%，其次是珠江区，达到15.01%，具体如图3所示。从整体来看，长江区、珠江区、西北诸河区和淮河区的供水量最大。在各区的供水来源中，地表水源始终是主要供水来源，所占比例年平均达到81.15%，最高可达96.75%（不包括太湖流域）。地下水占比次之，其他水源占比最少<sup>3</sup>。

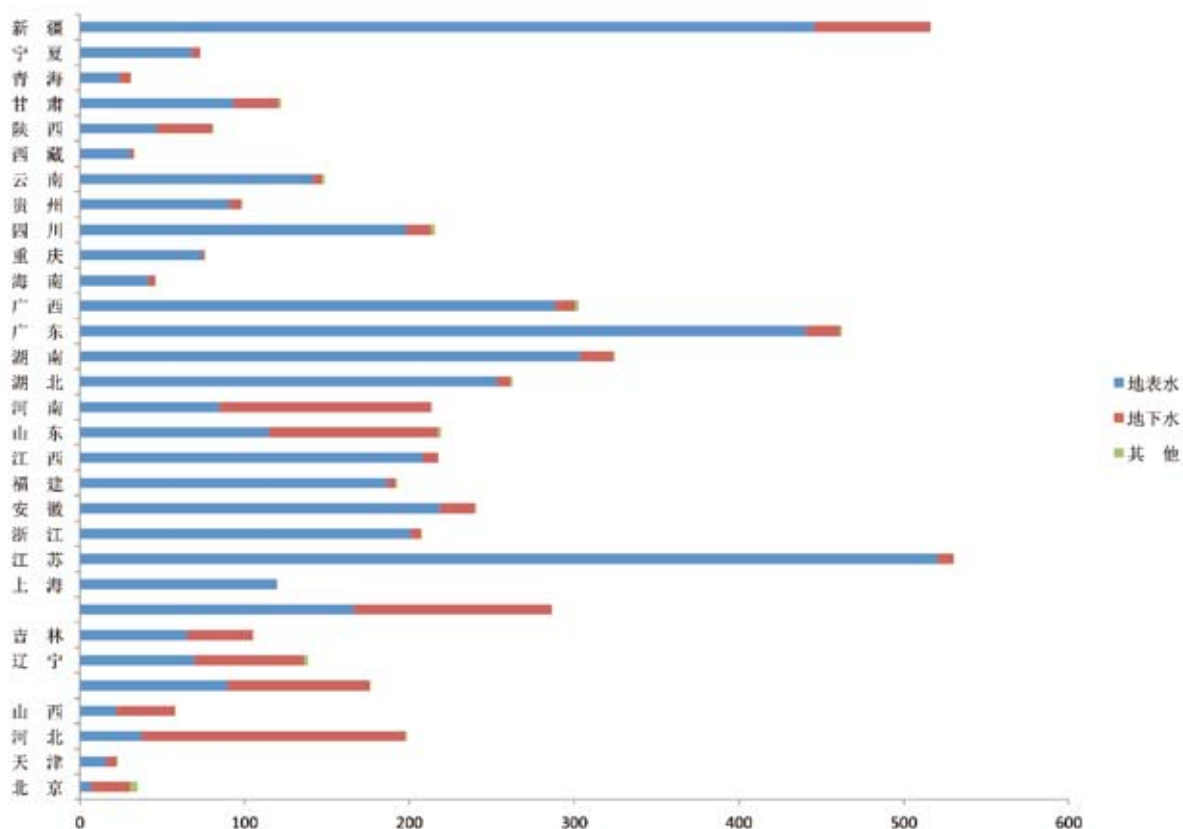
<sup>3</sup> 北方6区：松花江、辽河、海河、黄河、淮河、西北诸河6个水资源一级区；南方4区：长江（含太湖）、东南诸河、珠江、西南诸河4个水资源一级区。

图 3 各个地区供水比重



各省级行政区中，以2003年至2010年8年的数据为依据，东部地区年平均总供水量为2171.04亿立方米，占全国年平均总供水量的37.75%；西部地区年平均总供水量为1873.15亿立方米，占全国年平均总供水量的32.57%；中部地区年平均总供水量为1707.28亿立方米，占全国年平均总供水量的29.68%，具体如图 4所示。具体来看，东部地区，江苏、广东、山东、浙江的年平均供水量最多，分别达到24.43%（占各部年供水量，下同）、21.29%、10.09%、9.56%；中部地区，湖南、黑龙江、湖北的年平均供水量最多，分别达到18.99%、16.79%、15.37%；西部地区，新疆、广西、四川的年平均供水量最多，分别达到27.57%、16.16%、11.50%。从全国来看，江苏、新疆和广东的年平均供水量最多，分别达到9.22%、8.98%、8.04%。依次趋势，东部地区的年均供水量最多，西部次之，中部地区的年均供水量最少；但从标准差可以看出，中部地区的年供水量较稳定，各省之间年供水量差异相较于东部和西部地区小。

图 4 分省市地区的供水情况 ( 亿立方米 )

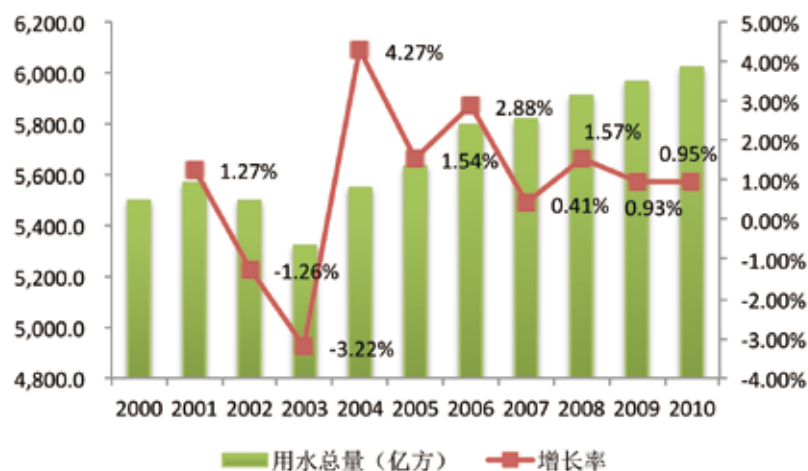


## 2.2 我国水资源的利用现状

### 2.2.1 我国的用水总量

我国用水总量总体呈上升趋势，从2000年的5497.6亿立方米提高至2010年的6022.0亿立方米，增长9.54%，年平均5688.6亿立方米，具体如图 5所示。除2002年和2003年环比增长为负以外，其它各年环比增长均为正，可见2001年和2003年后各年全国用水总量均有增加。从定基比指数来看，2006年及以后，以2000年为基准，各年增长率均为5%以上，2010年达到9.54%。

图 5 我国近年用水总量及年增长率



## 2.2.2 我国用水结构

根据中国统计年鉴的划分标准，我国的水资源利用分别划分为农业用水、工业用水、生活用水和生态用水四个方面。据统计，2000-2010年，全国总供水量年均值为5688.6亿立方米，其中，年平均农业用水3662.1亿立方米，占年均总用水量的64.4%；年平均工业用水1281.5亿立方米，占年均总用水量的22.5%；年平均生活用水672.6亿立方米，占年均总用水量的11.8%；年平均生态环境补水99.5亿立方米（始于2003年），占年均总用水量的1.7%，具体如图 6 所示；人均年用水量为436.7立方米，具体如图 7 所示。

图 6 我国用水结构

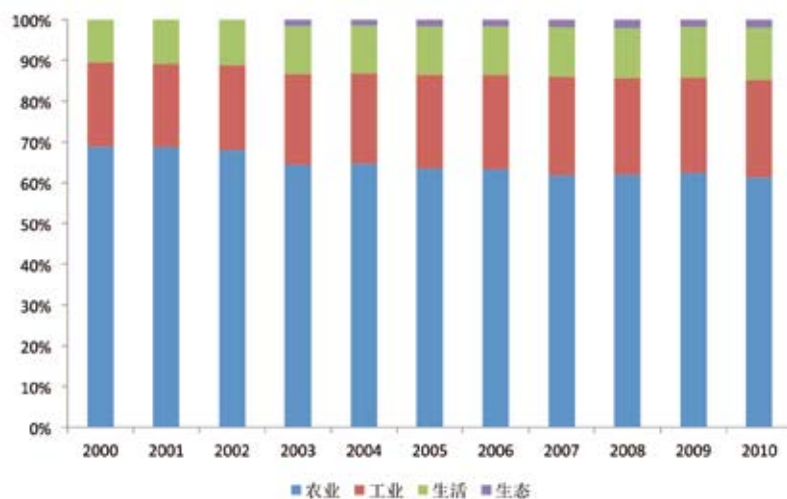
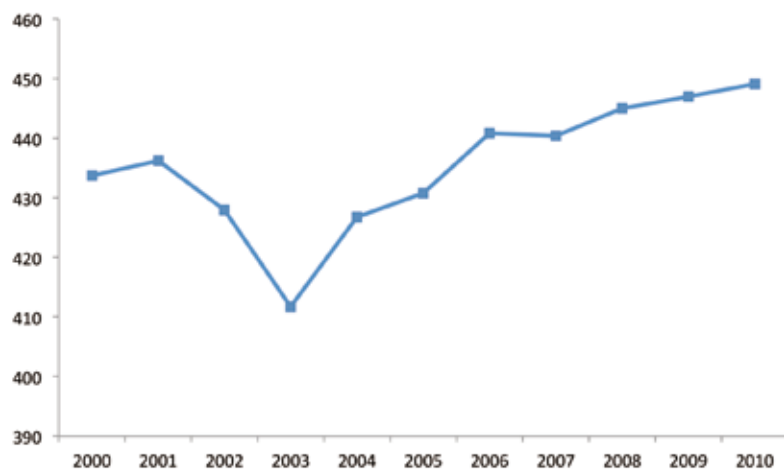
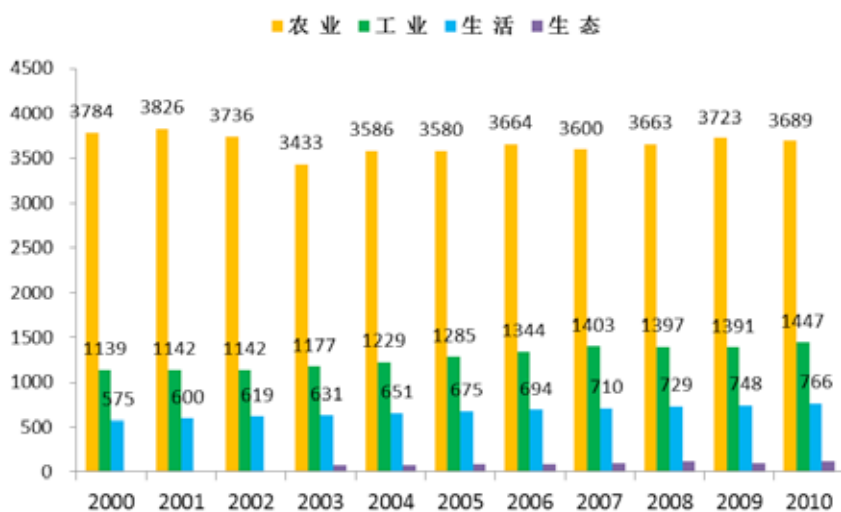


图 7 我国近年人均用水量（立方米）



农业一直是我国水消耗的主要部门，但是近些年来农业用水总量略有下降，工业用水和生活用水量均呈现增长的势头，而且其上升的速度高于整个用水量的速度，分别达到年均增加2.2%和2.6%，具体如图8所示。

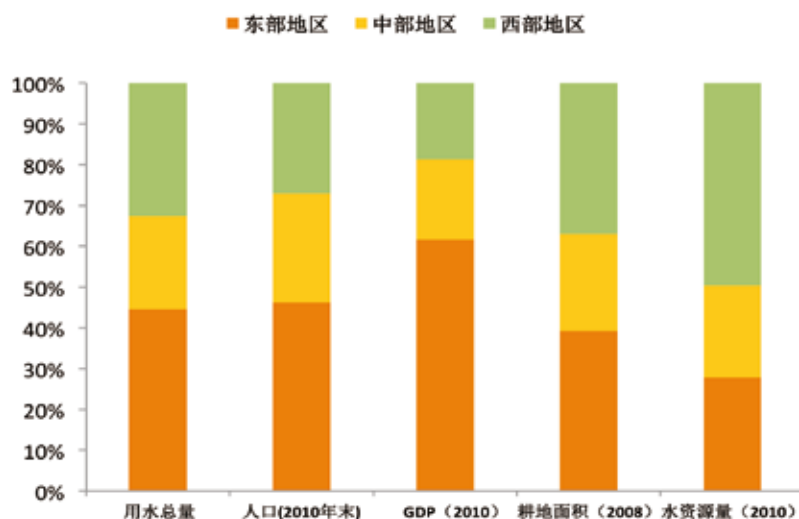
图 8 我国近年分部门的用水量（亿立方米）



### 2.2.3 我国分地区的用水情况

我国各地区的用水情况与其经济发展和产业结构密切相关，图 9 显示我国东部、中部和西部地区用水总量、人口、GDP、耕地面积以及水资源量的情况。东部地区人口密集，经济发展水平较高，但是耕地面积较少，其用水比重约占全国的44%，水资源量约占全国的27%；而中部地区人口密度较高，但是经济发展水平一般，尤其是农业耕地面积所占相对较高，因此其耗水比重约为23%；而西部地区经济发展水平最低，但是其水资源丰富，其主要耗水大户是农业耗水，显示我国西部水资源丰富。但是由于经济发展制约主要耗水是在农业，因此尽管其耗水量比重较高，但是其GDP占比确很小，而东部地区尽管水资源总量不高，但是其用水比重较高，主要是工业用水，其GDP比重也较高。

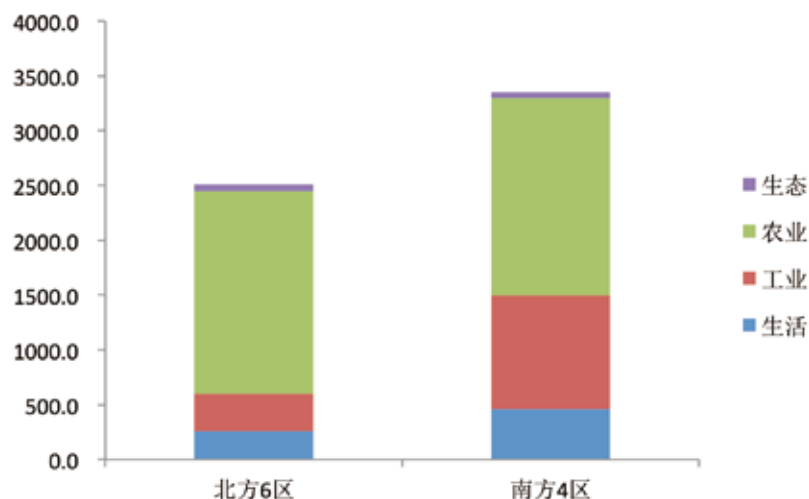
图 9 我国分地区的指标对比



各水资源分区中，以2005年至2010年6年的数据为依据，北方6区年平均总用水量为2607.8亿立方米，占全国年平均总用水量的44.52%；南方4区年平均总用水量为3249.5亿立方米，占全国年平均总用水量的55.48%。具体南北方10区各区的用水量比重与前文各区供水量分区比例相同。从各种水耗用途来看，农业用水仍占主导地位，平均占比67.72%，具体见图 10所示。



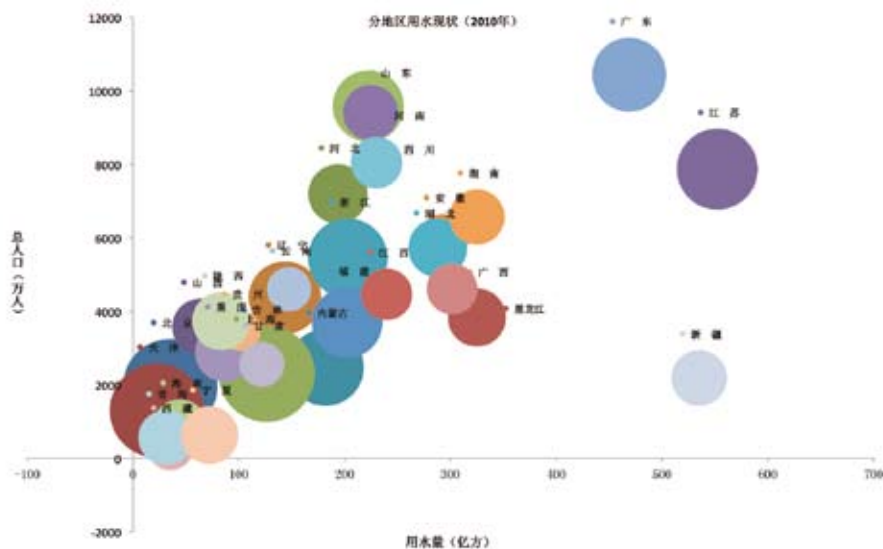
图 10 北方6区与南方4区的用水量比较（亿立方米）



各省级行政区中，以2003年至2010年8年的数据为依据，东部地区年平均用水总量为2171.04亿立方米，占全国年平均总用水量的37.75%；西部地区年平均总用水量为1873.15亿立方米，占全国年平均总用水量的32.57%；中部地区年平均总用水量为1707.28亿立方米，占全国年平均总用水量的29.68%。

图 11显示各省市人均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，当然其耗水量也与其经济结构相关，如山东省总人口及人均GDP总量均处于国内的前列，但是相比其用水量则稍低于广东和江苏省，这主要是因为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，其产业增加值高于传统的农业产业，因此尽管其用水量不高，但是人均GDP水平较高。

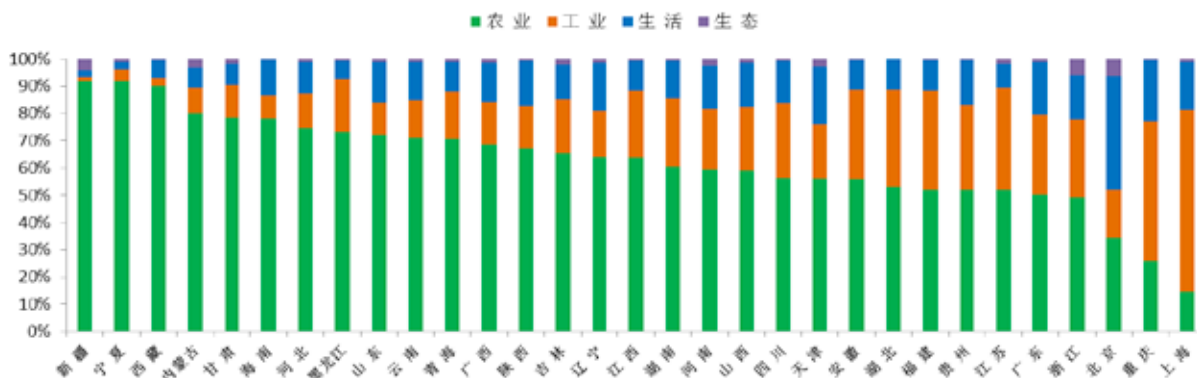
图 11 分省市用水量、人口及人均GDP的比较



注：气泡的大小表示各地的人均GDP（2010）

从各省耗水的用途来看，农业用水量比重最大的是西部地区，达到74.08%，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29.08%和14.59%，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，具体见图 12所示。

图 12 各个地区分部门用水结构



---

## 2.3 小结

(1) 我国的水资源总体丰富，但是人均水资源占有量低、且分布不均。在全球范围内，我们属于轻度缺水国家，中国用全球7%的水资源养活了占全球21%的人口。我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，但是水资源占有量却在46%。综上所述，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；但从标准差可以看出，中部地区的供水量较稳定，与地区相比，各省之间供水量差异相对较小。

(2) 近些年来，农业用水量一直是我国水消耗的主要部门，但是农业用水总量略有下降，工业用水和生活用水量均呈现增长的势头，而且其上升的速度高于整个用水量的速度，分别达到年均增加2.2%和2.6%。各地区用水情况与其经济发展和产业结构密切相关，东部地区人口密集，经济发展水平较高，但是耕地面积较少，其用水比重约占全国的37%；而中部地区人口密度较高，但是经济发展水平一般，尤其是农业耕地面积所占比重较高，因此其用水比重约为30%；而西部地区经济发展水平最低，其耗水量较高的主要原因是农业耗水比重较高。

(3) 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，当然其耗水量也与其经济结构相关，如山东省其人口及GDP总量均处于国内的前列，但是相比其用水量则稍低于广东和江苏省。从各用水用途来看，农业用水量比重最大的是西部地区，达到74.08%，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29.08%和14.59%，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。

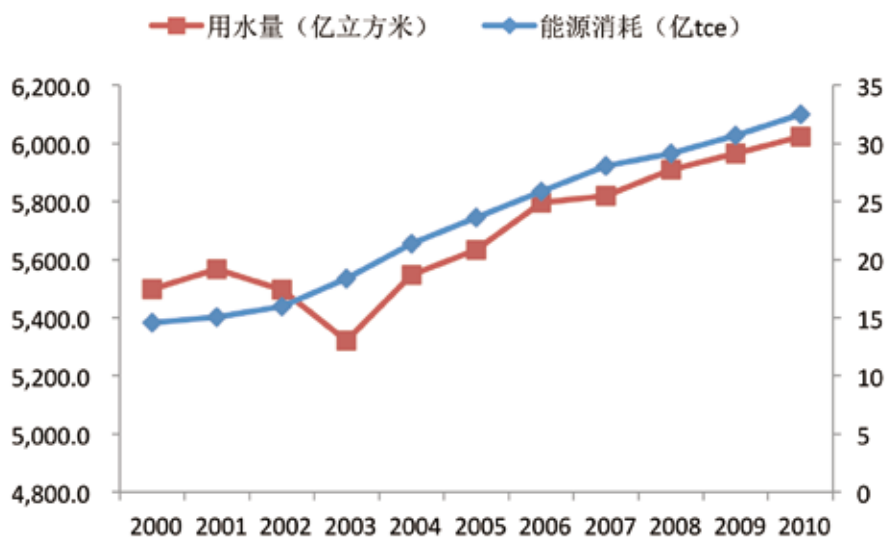
# 3 能源消耗 与水消耗的关系

## 3.1 我国能源消耗与水资源消耗之间的关系

能源消耗与水资源消耗的关系是紧密相关的。各种能源在其开采到最终利用的整个过程中会消耗大量的水资源；另一方面，水资源的管理利用中，如各类水利工程、用水设施和节水设备，都需要消耗能源。

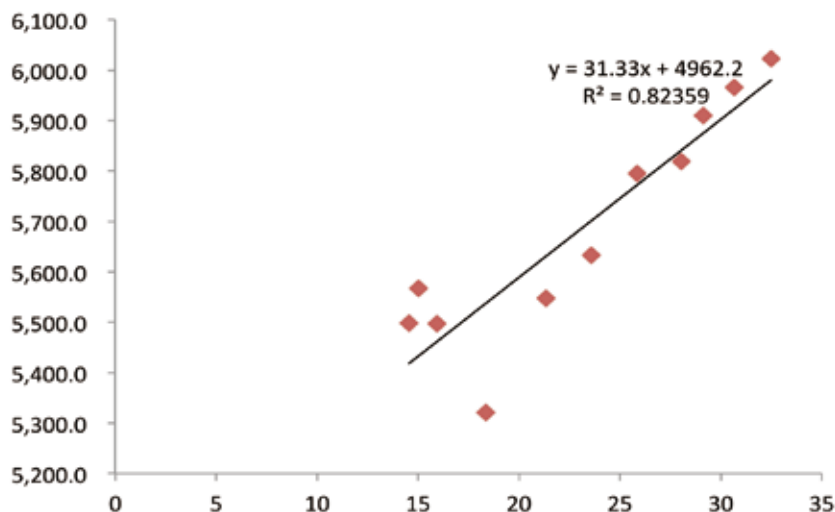
我国近几年经济快速增长，2010年GDP生产总值达到40.15万亿人民币，比上一年增长9.2%；2010年我国的能源消费总量达到32.49亿tce，比上一年增长6%，能源消耗弹性系数约为0.58。2010年我国用水总量为6022亿立方米，比上一年增长1%。由此可见，我国经济的快速增长促使水资源和能耗的增长，图 13显示能源消费量与用水量具有较高的相关关系。

图 13 我国近年能源消耗和用水量



将我国近期的能源消耗和用水量数据做一组散点图可以看出，能源消耗与用水量之间高度相关。

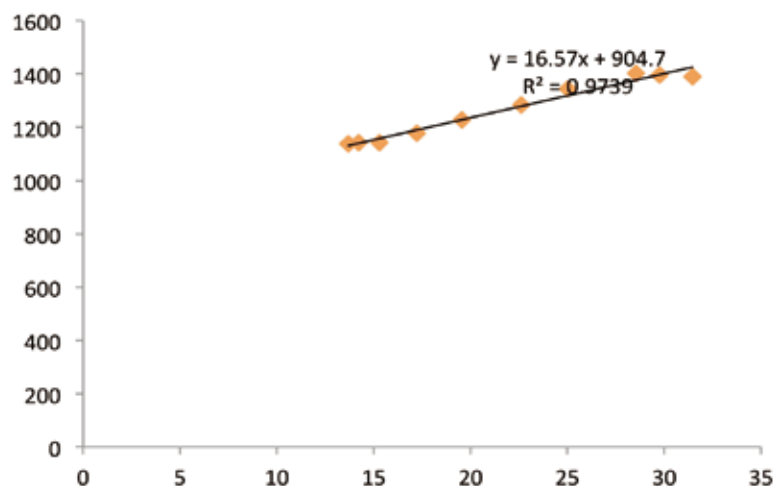
图 14 能源消耗与用水量之间的关系



若“十二五”末期我国能源消费总量控制在40亿tce，按照之前的能源与用水量的相关关系，也就是说保持目前的用水结构与技术，则相应的用水总量达到6215亿方，而日前水利部发布的《节水型社会建设“十二五”规划》中预计全国用水总量控制在6350亿立方米以内，因此实现“十二五”控制能源总量目标的同时有助于实现耗水总体目标。

工业部门近几年的水耗不断在增加。我国主要的能源消耗以煤为主，若将工业的煤耗量和耗水量进行拟合，如图 15所示，二者具有较高的相关性。国家发改委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，限制粗放型经济对煤炭的不合理要求，预计2015年消费总量宜控制在39亿吨左右，照此速度和规律，则“十二五”末期工业用水量将达到1550亿方，约占全国规划用量的比重为24%，尽管其总量增加，但是占比基本与“十一五”末期持平。

图 15 工业用水和耗煤量之间的关系



实现能源总量和工业耗煤量的总量控制，均有助于实现我国用水量的目标。因此能效政策的实施有助于实现节能节水的双重效果。

国内生产总值经常被用来衡量国家经济状况的指标。按照支出法，国内生产总值共有三个不同的组成部分，包括消费、投资和净出口，用公式可以表示为： $GDP = C + I + X$  式中：C代表消费、I代表投资、X代表净出口。一国能源消耗主要是支持本国GDP的发展，即支持国内投资、政府居民消费及进出口贸易，一国的能源消耗也可以按照以上三个方面进行划分以及测算。用水量也可以按照生产投资、政府居民消费及进出口贸易三个方面进行划分，按照投入产出表提供的数据，GDP、能源消耗和用水量的支出法划分结果表 3所示。

表 3 支出法能源消耗和水消耗的比较

	GDP	能源消耗	水消耗
国内消费	49%	31%	41%
国内投资	42%	44%	34%
净出口	9%	25%	25%

2007年全国用水总量为5818亿立方米，其中用于消费的水量占比最高，约为41%，用于投资的水消耗量占比34%，而其余用于出口消耗的水量，占比25%，同时能源消耗的情况也类似，但是从GDP的构成来看，我国的GDP主要靠国内投资和消费所拉动，出口对于GDP的拉动贡献不大，但是其能源消耗和水消耗的比重却并不低，说明我国的能源和水消耗有相当大的比重是为了

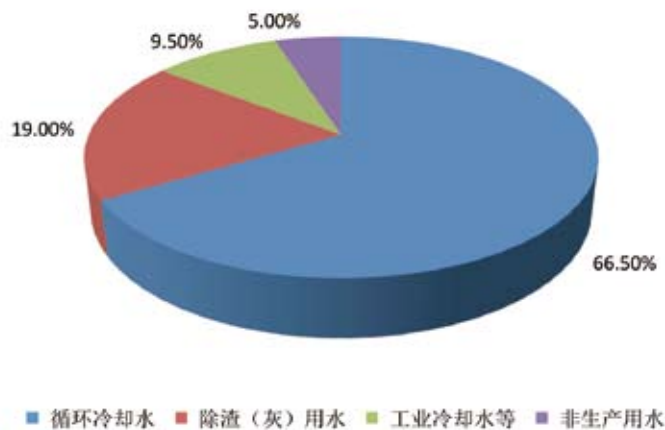
出口产品的服务。一方面国际贸易的开展扩大了贸易国经济活动的有效边界，实现了资源的全球配置，有利于环境技术的全球扩散，中国已经成为世界的加工工厂。另一方面国际贸易活动扩大了全球生产和生活的范围和规模，中国在从国外进口大量的能源商品的同时，也在生产非能源出口商品的过程中消耗了国内大量的能源以及水资源，因此贸易产品的生产过程可能会导致国内自然资源等的过度开采和利用，破坏整个自然生态系统，我国需要高度重视隐性能源和水资源的出口问题。

## 3.2 电力部门的用水现状

### 3.2.1 火力发电用水结构

工业是水资源消耗大户，其中电力部门的热电厂用水最大。火力发电厂用水分为生产用水和非生产用水两部分。生产用水在火力发电厂用水中约占95%，非生产用水包括生活用水、消防用水、清扫用水和绿化用水等，约少于火力发电厂总用水量的5%。火力发电厂用水主要包括：循环冷却水，除灰用水，工业冷却水等，具体比例如图16所示。

图 16 火电厂用水结构



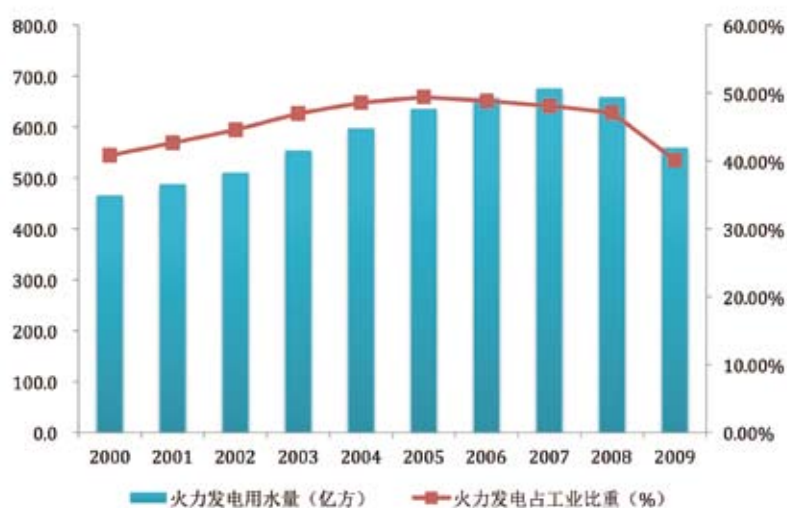
### 3.2.2 火力发电用水现状

火力发电一直是工业的用水大户，2000年-2009年期间，火力发电占工业用水比重整体上升之后呈现下降趋势，随着国家节能减排政策在火电行业相继实施，空冷、闭冷循环冷却技术的推广，火力发电的用水量比重也呈现了下降

的趋势，2009年约占工业用水量的40%，约占全国用水量比重9.35%。

2000年-2009年，我国火力发电量的总体水平持续上升。2009年我国火电装机约为6.5亿kW，火力发电达到29827亿kWh。10年间火力发电的用水量持续上升，仅在2009年有小幅的回落，达到558亿立方米，具体见图 17所示。

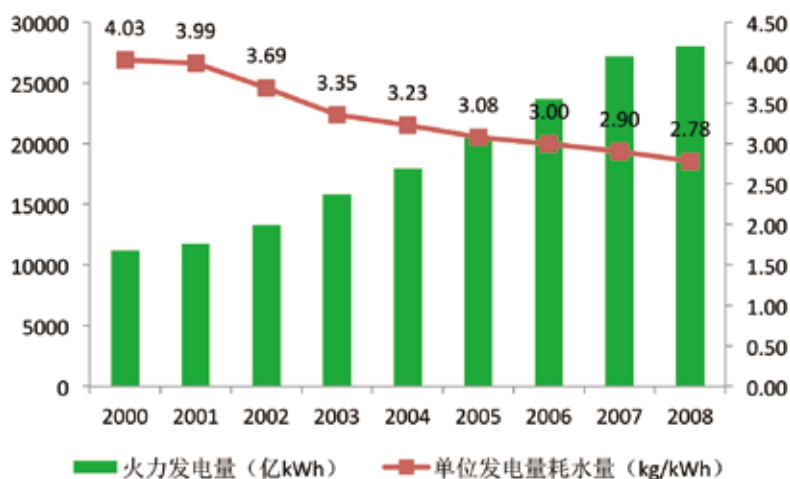
图 17 我国近年火电用水量及占比



从用水的效率角度分析，2000年以来，我国火力发电行业的环保政策日趋严峻，火力发电单位发电量的耗水量、排污量逐年递减，单位发电量的耗水量从2000年的4.03kg/kWh，下降到2008年的2.78kg/kWh（美国平均水平1.78kg/kWh），下降比例约为30%，但是与发达国家还是存在一定的差距。随着国家用水、排水收费制度（水资源费、排水费、污水处理费、超标费）的进一步完善调整，用水、排水大户的火力发电厂为减少耗水成本将进一步提高用水效率。

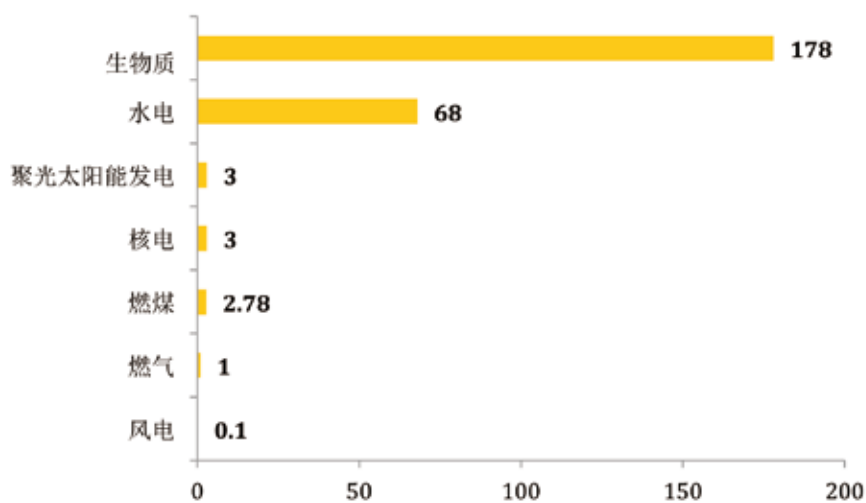


图 18 我国近年火电发电量、单位发电耗水量



若将各种发电技术的耗水指标进行对比，则结果如图 19所示，可以看出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和燃气电厂。由此可见，如果中国电力增加燃气发电、空冷发电和可再生能源发电的比例，则可在实现节能减排的同时，带来可观的节水效果。

图 19 各种发电技术耗水量比较 ( 立方米/MWh )



Source: 该数据的统计口径代表一个全生命周期的过程, McKinsey & Company, Wind Power Technology, (McKinsey, 2008)

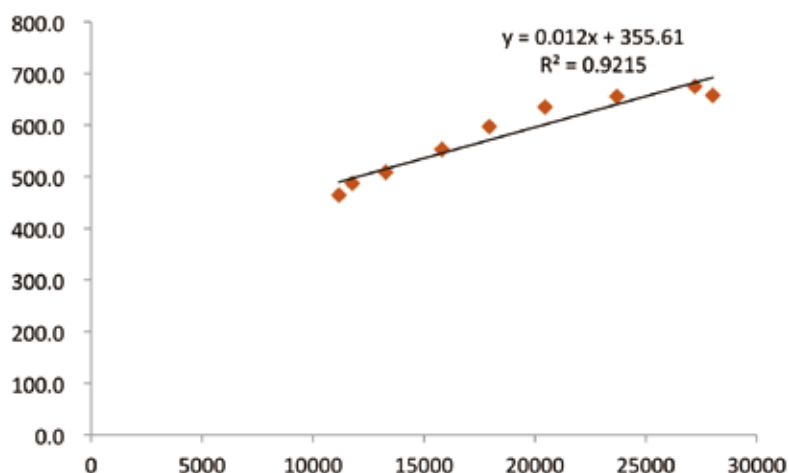
### 3.2.3 未来火力发电的用水量预测

随着我国经济的快速发展，我国未来火力装机容量还会继续增加，预计“十二五”末期，全社会电量需求为63354亿kWh，其中火力发电约占72%，即火力发电量约为45615kWh。根据2000年-2009年我国火力发电量与用水量的数据可以得到如下的拟合方程为：

$$y = 0.012x + 355.61$$

其中：x为火力年发电量，y为火力年发电的用水量。

图 20 火力发电用水量与发电量的关系

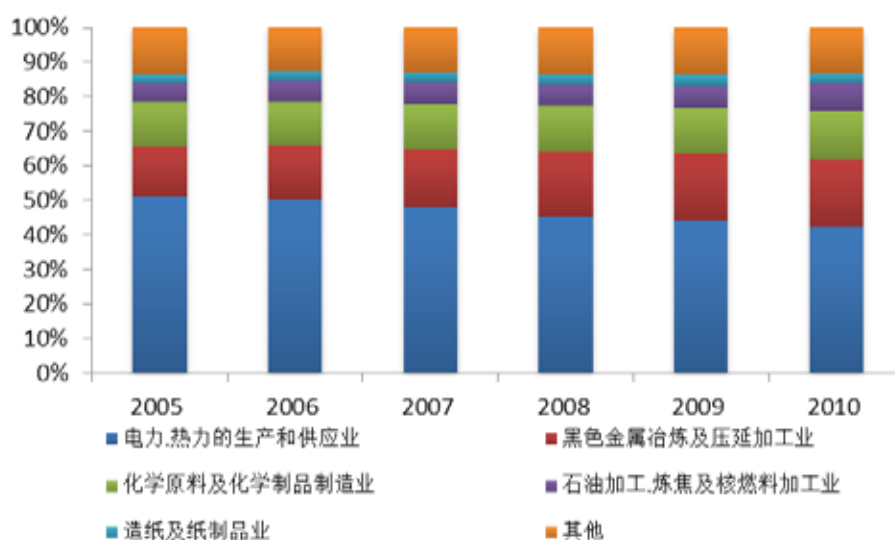


根据以上模型预测，预计到2015年火力发电的耗水量将达到903亿方（约占全国用水量的15%），比2009年增加约60%，预计未来10年我国电力供应仍然以燃煤电厂为主，则相应的也一定会消耗大量的水资源，因此确保水资源供应对我国未来电力发展至关重要。

### 3.3其他重点部门的能源消耗与水消耗

我国工业部门前10位的耗水部门<sup>4</sup>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、炼焦及核燃料加工业、造纸及纸制品业、化学纤维制造业、有色金属冶炼及压延加工业、非金属矿物制品业、纺织业和农副食品加工业，这10个部门总计的用水量约占工业总用水量的93%，其中前5个部门约占工业总用水量的86%，这5部门主要耗水情况见图 21所示，其中电力部门是工业中的用水大户，电力部门占比工业用水的比重有所下降，尤其是“十一五”后期，而黑色金属冶炼及压延加工业用水占比有所增加。

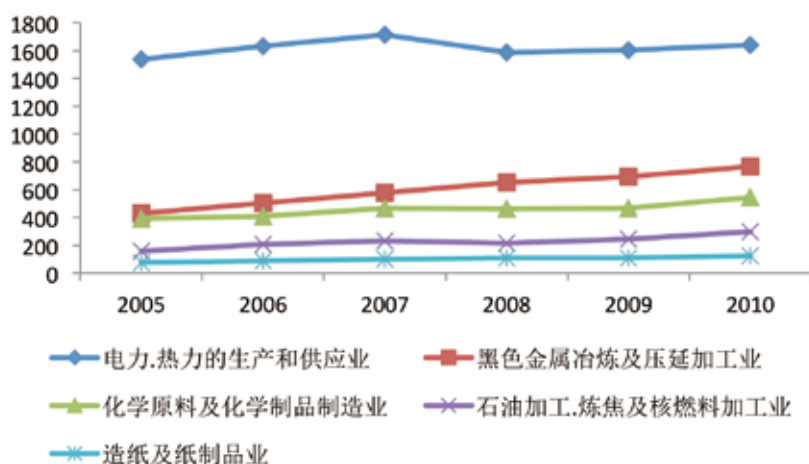
图 21 近年来主要工业部门的用水量比重



这5个主要部门的用水量近年来均有所上升，如图 22所示，其中黑色金属冶炼行业用水量上升速度较快，其他行业的用水量也是稳步上升。

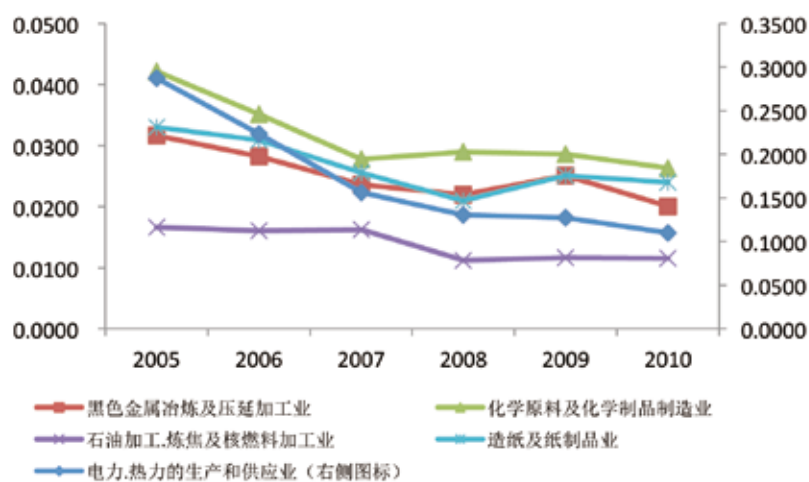
<sup>4</sup> 由于国家统计年鉴中没有细化的分部门耗水量数据，本节主要利用环境统计年鉴中关于部门的用水量和耗水量的数据，特此说明。

图 22 近年来主要工业部门的用水量（亿立方米）



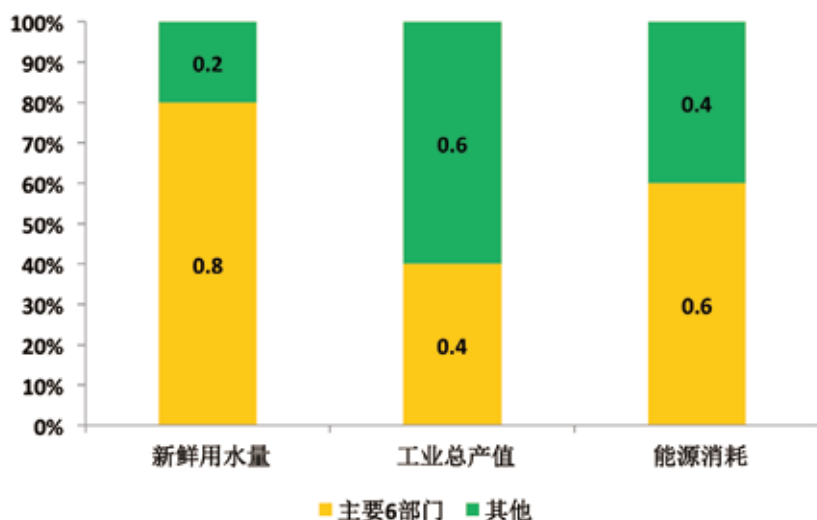
主要5个行业近年来单位工业产值的耗水强度如图 23所示。5个行业的用水强度均有所下降，其中造纸行业的强度下降速度最快，尤其是前3年造纸和化学原料的强度下降较快，而石油加工炼焦及核燃料加工业的强度下降较慢。

图 23 近年主要工业部门单位产值的耗水强度（立方米/万元）



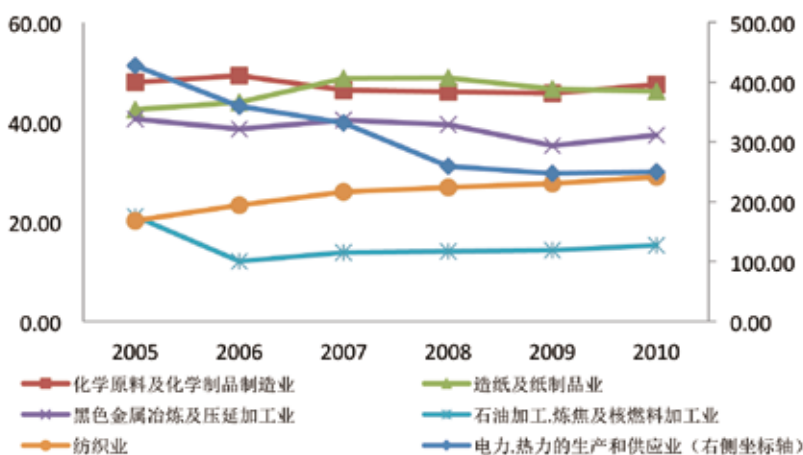
纺织行业也是传统的用水大户，加上前面提到的5个重点行业，这6个行业的新鲜取水量约占整个工业行业的比重为80%，见图 24所示，同时这6个行业也是传统的高能耗行业，其能源消耗量约占整个工业比重的60%，但是其工业总产值约占整个工业产值的40%，是典型的高能耗和高耗水的双高行业。

图 24 主要部门的新鲜用水量、工业总产值和能源消耗比重



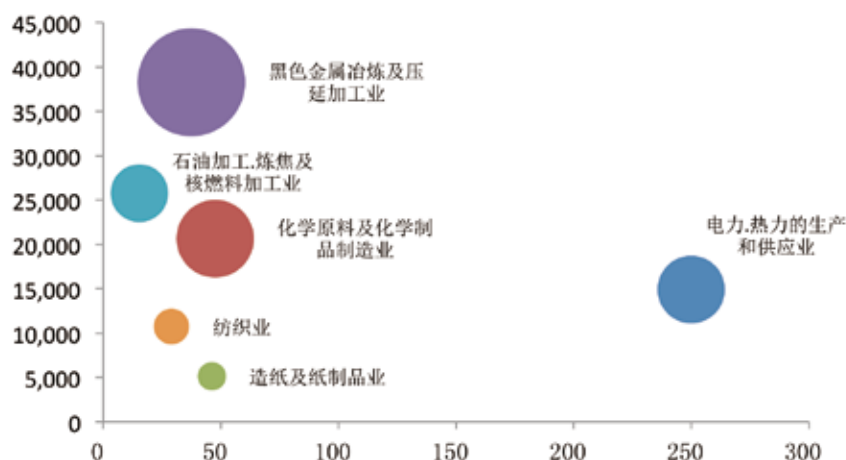
以上6个主要行业的新鲜用水量近几年来呈现出不同的发展态势，其中电力部门的新鲜用水量明显下降，黑色金属冶炼部门的新鲜用水量也曾现略微下降的趋势，其他行业的新鲜用水量则呈现上升的趋势，见图 25所示。

图 25 近年来主要工业部门的新鲜用水量（亿立方米）



这6个主要的能源消耗、新鲜用水量与工业总产值的气泡图如图 26所示，气泡的大小表示该行业的能源消耗量，可以看出电力部门的耗水和耗能都比较大，而黑色金属冶炼业的工业总产值与能耗比较大，纺织业比造纸业的耗水小一些，但是其能耗基本相当，造纸业耗水量较大，其产值也较低。

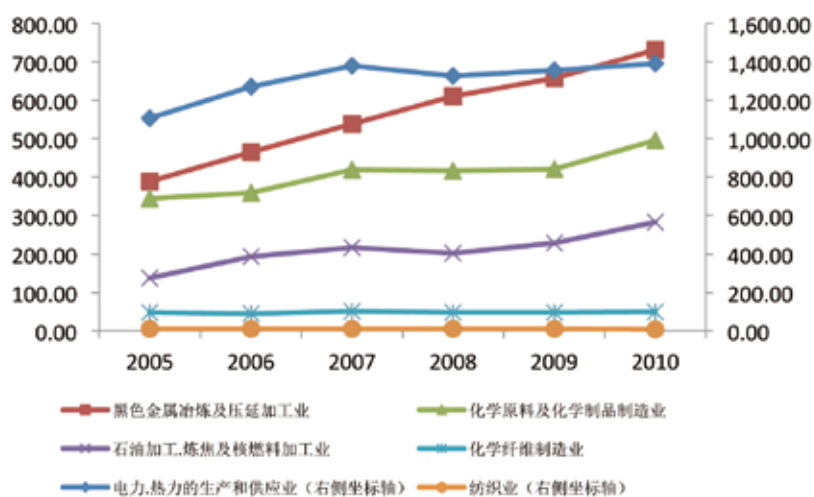
图 26 主要部门的能源消耗，新鲜用水量与工业总产值的比较



注：气泡大小表示该行业的能源消耗量

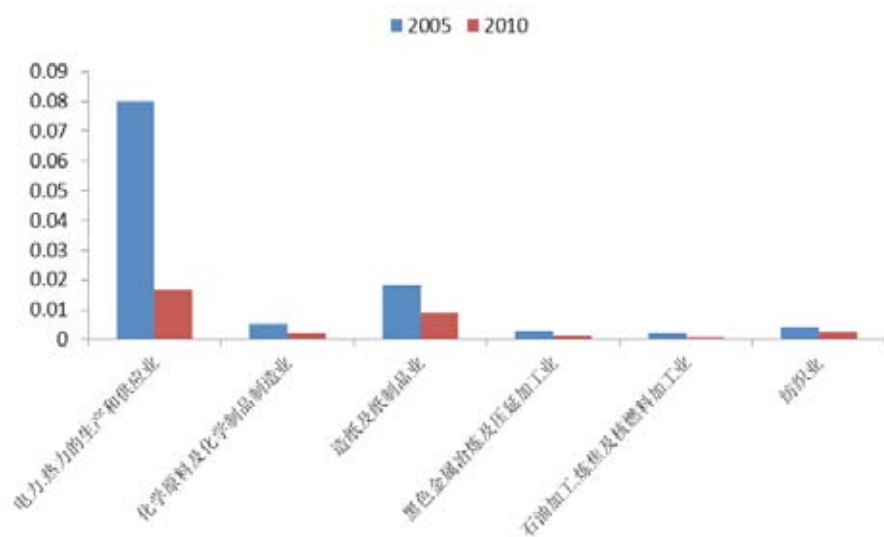
这6个主要行业的重复用水量近年来也均呈现上升的态势（图 27），说明“十一五”期间各个行业均采取了一定的技术改造，使得重复用水量得到了提高，尤其是黑色金属冶炼与压延加工业的重复用水量提高速度最快。

图 27 近年来分部门的重复用水量（亿立方米）



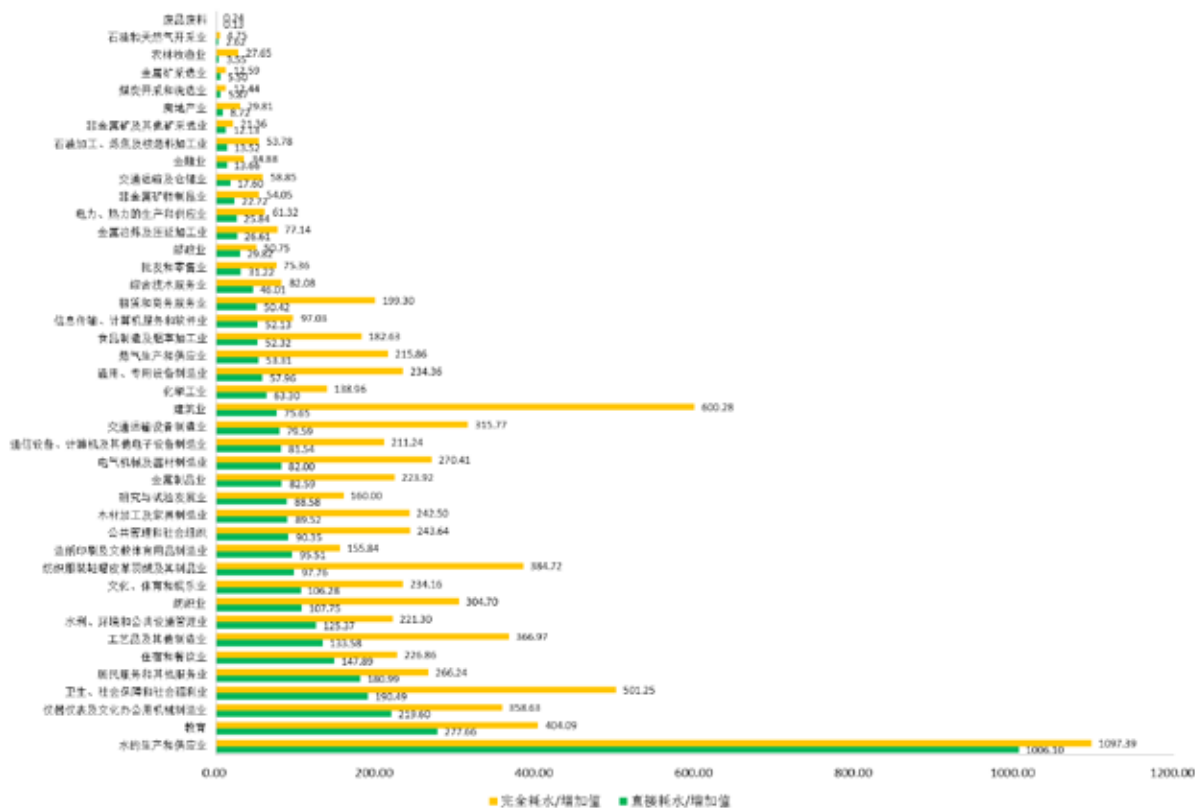
工业部门中5个主要部门如电力热力的生产和供应业、黑色金属冶炼及压延加工业、化学原料及化学制品制造业、石油加工炼焦及核燃料加工业与造纸及纸制品业的近年来尽管用水量均有所增加，但是用水强度还都是曾现下降趋势，造纸行业在“十一五”初期强度下降较快，而电力行业在“十一五”后期的新鲜用水量曾现较快下降趋势，电力行业和炼焦业强度均下降70%，纺织业强度大约下降了1/3，如图 28所示。

图 28 “十一五” 始末各行业耗水强度的比较



本节利用投入产出模型，对我国各部门的水耗状况进行了定量分析，结果显示：各部门的增加值完全耗水系数均高于其直接耗水系数，在某些部门完全水耗与直接水耗的强度值最大可能相差9倍，如农林业和建筑业，见图 29所示，说明这些行业的用水产业链较长，实现节水的潜力较大。

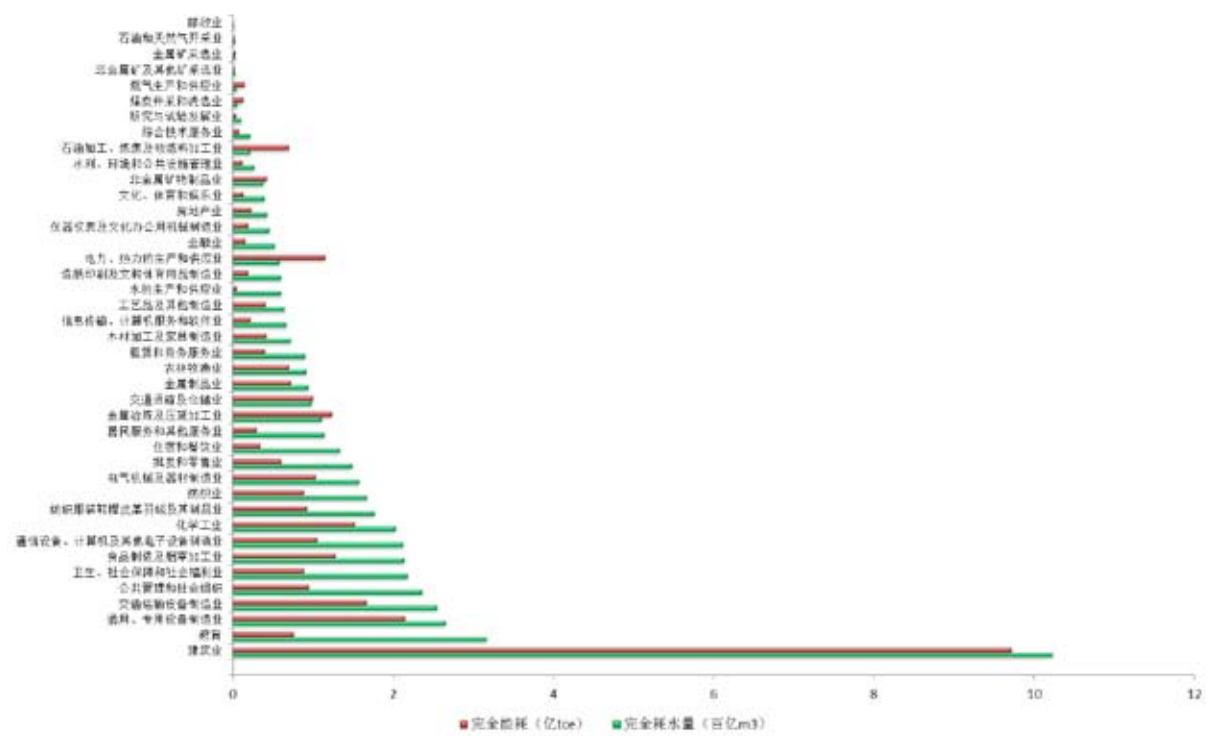
图 29 分部门增加值直接耗水系数和完全耗水系数（立方米/万元）



传统的水资源消耗大户如电力、化工、造纸、冶金、纺织、建材、食品、机械等行业也是传统的耗能大户，因此实现这些部门的节能也可以带来节水效果，见图 30 所示。



图 30 部门的完全能耗和水耗



### 3.4小结

(1) 能源消耗与水资源消耗的关系是紧密相关的。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同样需要能源作为保障。根据我国“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tce，则相应的用水量达到6215亿方，而日前水利部发布的《节水型社会建设“十二五”规划》中预计全国用水总量控制在6350亿立方米以内，因此实现“十二五”能源消耗的总量控制目标，有助于节水目标的实现。

(2) 工业是水资源消耗大户，其中火电行业的用水量最大。随着国家节能减排政策在火电行业相继实施，空冷、闭冷循环冷却技术的推广，火力发电的用水量也呈现出下降的趋势，2009年约占工业用水量的40%，约占全国用水量比重9.35%。火力发电单位发电量的耗水量、排污量逐年递减，单位

发电量的耗水量从2000年的4.03kg/kWh，下降到2008年的2.78kg/kWh，下降比例约为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1.78kg/kWh）。从耗水量指标分析，风力发电技术是缺水地区首选的技术，因为其耗水量远远低于燃煤和燃气发电技术。

（3）我国工业耗水前10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、化学纤维制造业、有色金属冶炼及压延加工业、非金属矿物制品业、纺织业和农副食品加工业，这10个部门总计的耗水量约占工业总用水量的93%，其中前5个部门约占工业总用水量的86%。如果加上纺织业，则6个行业的新鲜取水量约占整个工业行业的比重为80%，能源消耗量约占整个工业的比重为60%，但是其工业总产值约占整个工业产值的40%，是典型的高耗能和高耗水的双高行业。

# 4

## 我国节能节水政策分析

### 4.1 节能节水相关政策研究

水和能源是人类社会生存、发展过程中不可或缺的重要资源，在水资源日益短缺、全球气候变暖日益严峻的背景下，中国制定了一系列的政策措施来促进节能和节水工作的开展和落实，具体包含以下几方面：

#### 4.1.1 总量控制目标

在中国发布的“十二五”国民经济和社会发展规划中，节能目标为单位GDP的能源消耗下降16%左右；节水目标为单位工业增加值用水量降低30%。在应对全球气候变化方面，中国设定的目标为“十二五”期间单位GDP的二氧化碳排放降低17%。在规划中，节能和节水的强度目标为约束性目标，由此可见中国对节能节水工作的重视。上述两个约束性指标的基础变量——国内生产总值年均增长7%则是预期性目标。

表 4 节能节水指标

指标	2010年	2015年	年均增长 (%)	属性
国内生产总值 (万亿元)	39.8	55.8	7	预期性
单位工业增加值用水量降低 (%)		[30]		约束性
农业灌溉用水有效利用系数	0.5	0.53		预期性
单位国内生产总值能源消耗降低		[16]		约束性
单位国内生产总值二氧化碳排放降低 (%)		[17]		约束性

2012年，中国《煤炭工业发展“十二五”规划》中进一步提出“合理控制煤炭消费总量，降低煤炭消费增速，2015年消费总量宜控制在39亿吨左右”的预期性目标；相应的国务院发布了《关于实行最严格水资源管理制度的

意见》，该意见要求到2030年全国用水总量控制在7000亿立方米以内。由此可见，中国在水资源管理方面设立了严格的总量控制目标，在能源方面也努力向总量控制方向努力，但节能与节水目标的制定并无实质相关性。

#### 4.1.2 政策法规

为了应对全球气候变暖、推动全社会节约能源、促进经济社会全面协调可持续发展，中国对《中华人民共和国节约能源法》（简称《节能法》）进行了修订。根据《节能法》，中国节能工作的主管部门为国务院和县级以上地方各级人民政府，且对节能工作的报告和考核评价制度进行了详细的阐述。

《节能法》规定国务院和县级以上地方各级人民政府应当将节能工作纳入国民经济和社会发展规划、年度计划，并组织编制和实施节能中长期规划、年度节能计划，并每年向本级人民代表大会或者其常务委员会报告节能工作。标准化有关部门负责制定国家标准、行业标准化等节能标准体系；在此基础上，中国的节能工作要实施考核评价制度，落实节能目标责任制。各部门节能任务分工及重点如表5所示：

表5 中国节能任务分工及重点领域

交通部门	工业部门	建筑部门	用能单位
政府：制定规划；推行公交优先政策；发展环保汽车和清洁燃料；颁布燃料消费量限值标准	政府：制定节能技术政策	政府：制定建筑节能规划；实施供热分户计量制度；鼓励节能建筑材料的应用	政府：实施能源计量工作；加强能源管理；制定节能计划
交通部门：组织管理	企业：节能技术应用	房地产开发企业：建筑节能信息的披露	用能单位：推广节能技术措施；落实目标责任制
	电网公司：节能调度；实施有利于节能的电价政策 (DSM rules,2011)		

从总体来看，中国的节能工作是由国务院总体负责，实施目标分解和责任制，落实到县级以上各级人民政府具体实施。在节能工作方面，中国主要考虑了以下途径：

- 调整经济产业结构、企业结构、产品结构；
- 优化能源结构；
- 改进能源的开发、加工、转换和输送、储存、供应；

- 促进节能技术的研发、推广、利用；
- 加强对利益相关者的培训；
- 发挥新闻媒体的宣传作用，提高公众的认识和转变消费理念和行为。

对于水资源的管理，中国于2002年10月1日起开始实施《中华人民共和国水法》（简称《水法》），之后国务院于2012年发布的《关于实行最严格水资源管理制度的意见》。中国水资源管理的指导思想是以水资源配置、节约和保护为重点，强化用水需求和用水过程管理，由此可见，节水在中国的水资源管理中占据了重要位置。

与节能工作一样，中国的水利基础设施建设需要纳入本级国际经济和社会发展规划，同时需要制定全国水资源战略规划，各级政府需按照规定的权限对水资源的开发利用进行管理和监督。具体而言，中国对于水资源的管理主要集中在以下三大部分，即水资源的开发利用；水资源、水域和水工程的保护以及水资源配置和节约使用。各部分的重点领域如表 6所示。

表 6 水资源管理重点领域分析

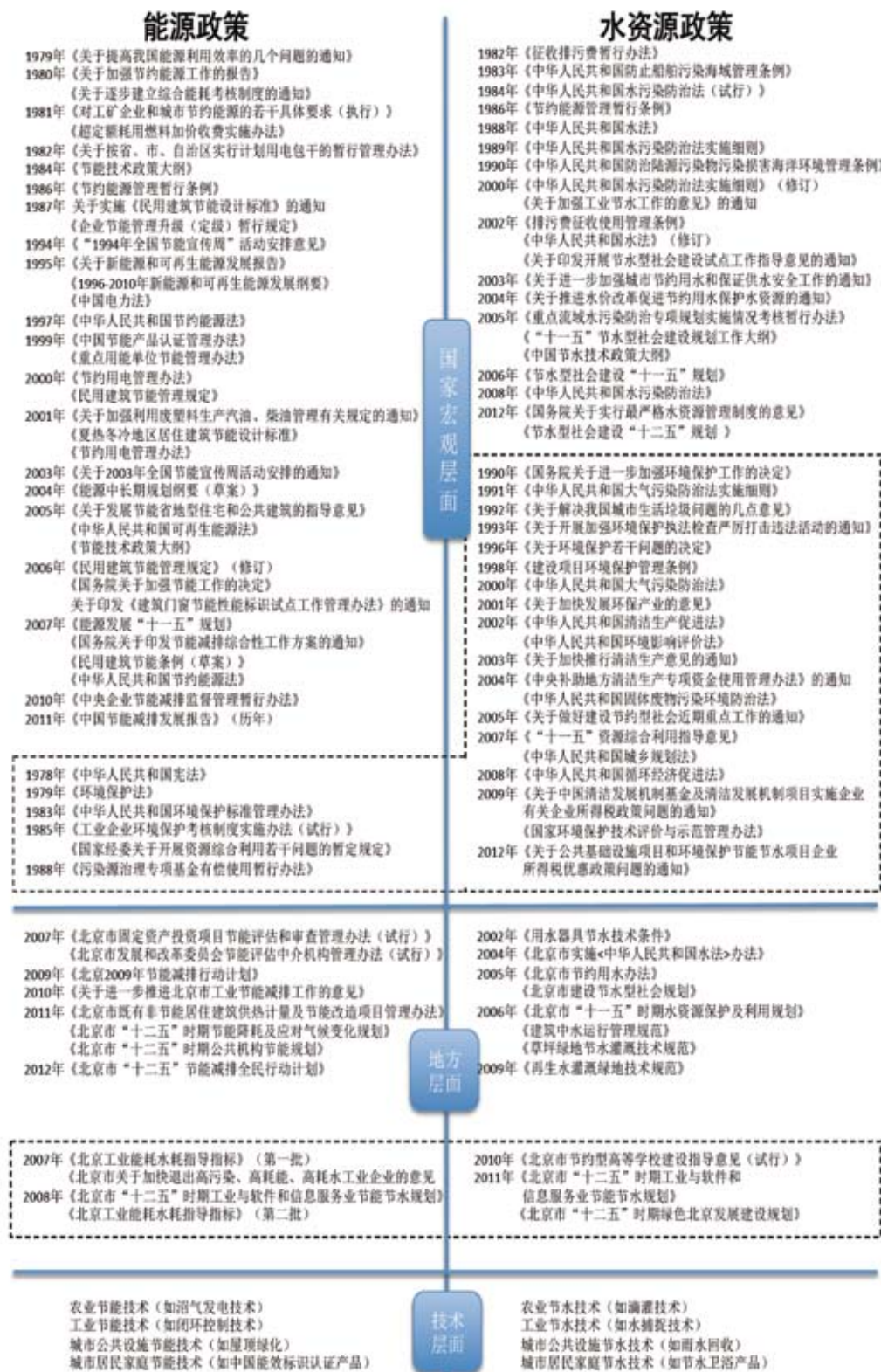
开发利用
原则：先满足居民生活用水，兼顾农业、工业和生态及航运
水资源、水域和水工程的保护
水资源不足的地区应对城市规划和建设耗水量大的工业、农业和服务业项目加以限制 环境保护行政主管部门负责水资源的开采、水质状况监测、饮水水源的保护
水资源管理和节约使用
政府发挥宏观调配功能，制定供求规划，促进节水
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 实施总量控制与定额管理相结合的制度</li> <li>• 用水实行计量收费和超定额累进加价制度</li> </ul>

根据《水法》，国务院对全国的水资源进行宏观调配，并制定中长期供求规划；同时实施“取水许可制度”和“有偿使用制度”，以期保证水资源开发利用过程的合理性和有效性。在《水法》的总体框架下，国家水利部于2006年12月发布的《节水型社会建设“十一五”规划》，其中指出农业节水、工业节水、城市节水和非常规水源利用为中国重点节水领域。同时还出台了《关于推进水价改革促进节约用水保护水资源的通知》、《中国节水技术政策大纲》、《节水型社会建设“十二五”规划》、《国务院关于实行最严格水资源管理制度的意见》等政策，从各种渠道推进节水工作的开展。

综上所述，从宏观层面分析，政府在制定具体的节能政策时并未提及其所能带来的节水效果，仅在具体的政策措施中略有涉及：

- 国家建设部于2005年5月31日发布的《关于发展节能省地型住宅和公共建筑的指导意见》规定，到2010年，建筑建造和使用过程的节水率在现有基础上提高20%以上；到2020年，争取建筑建造和使用过程的节水率比2010年再提高10%。
- 国务院于2005年7月发布的《关于做好建设节约型社会近期重点工作的通知》规定，以提高资源利用效率为核心，以节能、节水、节材、节地、资源综合利用和发展循环经济为重点。
- 国家建设部于2007年6月26日发布的《建设部关于落实〈国务院关于印发节能减排综合性工作方案的通知〉规定，完善城乡建设统计报表制度，强化城镇节约用水、污水处理、垃圾处理和公共交通指标，探索新的数据调查方式。

图 31 节能与节水政策梳理



## 4.2 节能节水的组织机构分析

从中国节能及节水的相关政策分析，国务院是这两项工作的总体负责单位，这就从源头上保证了节能节水工作实现协同管理的可行性。具体分析如下（图）：

根据《节能法》，中国的节能工作由国务院能源主管部门和县级以上地方各级人民政府负责，国家发改委管理全国的节能工作，地方由地方发改委相关处室执行，并由地方经信委能源科具体办理能源评价审核事宜；国家能源局负责能源行业节能和资源综合利用，发布能源信息等事宜。节能工作还涉及工信部、财政部、住房和城乡建设部等部门，省级政府将直接率领各部门下属的局、办对区域内的节能工作进行相应管理。

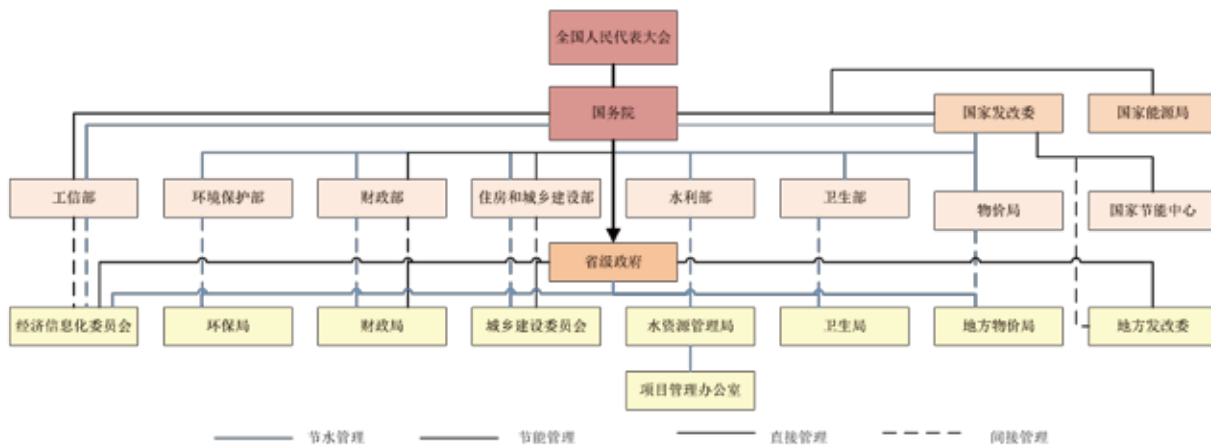
根据《水法》，水资源属于国家所有，水资源的所有权由国务院代表国家行使。国务院水行政主管部门负责全国水资源的开发、利用、节约和保护的有关工作。水利部作为国务院的水行政主管部门，是国家统一的用水管理机构。县级以上地方人民政府水行政主管部门按照规定的权限，负责本行政区域内水资源的统一管理和监督工作。县级以上地方人民政府有关部门按照职责分工，负责本行政区域内水资源开发、利用、节约和保护的有关工作。节水工作涉及的部门还包括工信部、环保部、财政部、住房和城乡建设部、卫生部和国家发改委。

鉴于对节能和节水管理组织机构的分析，可以发现在国家发改委、工信部、财政部、住房和城乡建设部这几个部门都涉及节能、节水的相关工作，其中工信部主要负责工业部门的节能和节水措施的制定及执行；住房和城乡建设部负责建筑领域的节能和节水政策；财政部则对各项节能节水工作的相关财政政策进行制定和经费拨付。

从宏观层面分析，虽然节能和节水工作都由国务院负责，但由能源主管部门和水行政主管部门分别管理，其下面对应的部委也分别为国家发改委、国家能源局和水利部。因此，在宏观层面，节能和节水的管理机构不存在交叉，也未实现协同管理；在部门层面，由于部分部门涉及节能和节水的具体管理工作，因此有少量政策同时涉及了节能和节水的内容，但并无实质性的协同管理。



图 32 节能与节水工作的组织机构图



### 4.3 小结

通过对上述中国目前发布的涉及能源或水资源的政策措施、法律法规、通知意见等进行分析，以及对节能、节水工作的组织机构进行梳理，我们可以总结出：

**在政策层面** 虽然节能节水领域涉及了较多的相关政策，涵盖了任务、标准、技术、经济手段等多方面内容，对各自的短期工作重点和中长期计划有了比较明确的规划，但从总体政策分析，节水与节能的协同效果尚未得到充分的认识和深入分析，目前的政策中节水政策很少涉及节能；节能政策中偶尔提及节水，但更多的概念的连接，并无实质的协同效果分析（图 31）。

**在管理层面** 国务院是节能、节水的主要负责部门，但分别由能源行政主管部门工信部、水行政主管部门进行分别管理，涉及了国家发改委、工信部、环保部、财政部、水利部、住建部、卫生部等众多机构。虽然，工信部、住建部和财政部均参与了节能节水的政策制定、执行，为两者的协同管理提供了基础，但目前尚未真正发挥协同管理工具的作用。

**在微观层面** 目前只在重点耗能、耗水企业中有对两种资源消耗量的统一统计，如：2007年市工业促进局、市发展改革委、市水务局和市统计局联合制定了《北京工业能耗水耗指导指标》（第一批）中，对各细分行业的产值能耗和产值水耗进行了规定，以利于加强分类指导，确保“十一五”工业节能降耗目标的实现；在此基础上，2008年四部门继续制定了《北京工业能耗水耗指导指标》（第二批）。

# 5 节能产生的 节水效果评价： “十一五”的实践到 “十二五”的预估

中国在“十一五”期间采取了一系列减缓和适应气候变化的重大政策措施，取得了显著成效。2011年制定实施的《中华人民共和国国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》确立了今后5年绿色、低碳发展的政策导向，明确了应对气候变化的目标任务。“十一五”期间，我国采取经济、法律等政策措施，大规模增加节能减排投资，单位国内生产总值能耗下降19.1%，大幅度削减其他污染物的排放，基本完成“十一五”节能减排目标任务<sup>5</sup>。我国以能源消费年均6.6%的增速支撑了国民经济年均11.2%的增速，能源消费弹性系数由“十五”时期的1.04下降到0.59，缓解了能源供需矛盾，为保持经济平稳较快发展提供了有力支撑。“十一五”通过节能降耗减少二氧化碳排放14.6亿吨。

## 5.1 “十一五”期间工业部门节能

工业部门是我国主要的耗能大户，约占我国能源消耗总量的71%（2010），而高耗能工业则是工业部门的主要耗能大户，“十一五”期间，我国主要高耗能工业能源消费量由高到低排序依次为钢铁行业、石化行业、建材行业、有色金属行业和造纸业，这五大行业能耗合计从2005年的10.76亿tce增至2010年的14.83亿tce，年均增速6.62%，略高于工业能源消费量的年均增速（6.49%）。这五大行业的能源消耗量约占工业能源消耗量的比重为65%。

“十一五”时期，我国把工业节能降耗减排治污作为调整产业结构和转变发展方式的重要举措，推动工业节能不断取得实质性成效。“十一五”期间，通过“上大压小”，累计关停小火电机组7682万千瓦，淘汰落后炼钢产能7200万吨、炼铁产能1.2亿吨、水泥产能3.7亿吨、焦炭产能1.07亿吨、造纸产能1130万吨、玻璃产能4500万重量箱<sup>6</sup>。电力行业30万千瓦以上火电机组占火电装机容量比重由2005年的47%上升到2010年的71%，钢铁行业1000立方

<sup>5</sup> [http://www.gov.cn/jdhd/2011-09/27/content\\_1957788.htm](http://www.gov.cn/jdhd/2011-09/27/content_1957788.htm)

<sup>6</sup> 中国应对气候变化的政策与行动（2011）

米以上大型高炉炼铁产能比重由48%上升到61%，电解铝行业大型预焙槽产量比重由80%提升到90%以上。钢铁、水泥、有色、机械、汽车等重点行业的集中度明显提高，重点行业能耗水平显著降低。2005年到2010年，火电供电煤耗由370克/千瓦时降到333克/千瓦时，下降10%；水泥综合能耗下降21.3%；乙烯综合能耗下降10.1%；煤基合成氨综合能耗下降4.5%，详细的信息如表7所示。

表7 单位产品综合能耗 (kgce/t产品)

	2005年	2010年	“十一五” 累计降幅	2010年产量 (万吨)	“十一五”实现的节能量 (万kgce)
	①	②		③	④= (①-②) * ③
黑金属行业:					
当量粗钢	861	805	6.50%	63722	3568432
石化行业:					
原油加工	114	104	8.80%	37500	375000
乙烯	986	886	10.10%	1421	142100
煤基合成氨	1487	1420	4.50%	3500	234500
烧碱	637	583	8.50%	2228	120312
纯碱	415	382	8.00%	2035	67155
电石	1120	1105	1.30%	1600	24000
建材行业:					
水泥	127	100	21.30%	188191	5081157
墙地砖	170	160	5.90%	15722	157220
卫生瓷	630	600	4.80%	300	9000
平板玻璃(kgce/重箱)	23	17	26.10%	66330	397980
有色金属行业:					
氧化铝	914	632	30.90%	2894	816108
电解铝(kWh/t)	14575	13979	4.10%	1577	939892
镁冶炼	8635	5500	36.30%	65	203775
矿产铜	452	360	20.40%	285	26220
矿产铅	466	454	2.60%	284	3408
电解锌	1063	1000	5.90%	420	26460
轻工重点行业:					
日用玻璃	520	440	15.40%	1993	159440
日用瓷	1230	1190	3.30%	550	22000
发酵	1220	900	26.20%	1800	576000
纸和纸板	1380	1130	18.10%	9270	2317500
电力行业				亿kWh	
供电煤耗 (g/kWh)	370	333	10.00%	33319.28	

由于没有官方的基于细致部门分类的节能量统计，官方仅就一些重点的工程节能量有所统计，如表 8所示。本文按照上述的产品节能下降率，再根据该产品2010年的实际产量，则可以推算出“十一五”期间主要高耗能部门的节能量。

表 8 “十一五”我国的节能成效

	节能量 (亿tce)	数据来源
千家企业节能行动	1.5	国家发改委, 2011
十大重点节能工程	3.4	国家发改委, 2011
淘汰落后产能	1.1	国家发改委, 2010

由于核算的口径测算的原因，本文将基于产品的能耗下降量归并到部门层面，进行部门节能量的测算依据，另外电力部门的节能量不能简单与其他工业部门进行加总，因为有重复计算的可能。根据本文测算，“十一五”期间主要高耗能行业的累积节能量为1.44亿tce，约占全国节能总量的24%，大约与千家企业节能行动的节能量相当，实现的节能量约占其行业能耗比重为9.2%，如表 9所示。

表 9 分行业的节能量估计

亿tce	黑金属行业	石化行业	建材行业	有色金属行业	轻工重点行业	小计
能源消耗量 (2010)	5.75	4.61	2.76	1.28	1.30	<b>15.70</b>
节能量	0.36	0.10	0.56	0.12	0.31	<b>1.44</b>
节能占比	6.21%	2.09%	20.45%	9.31%	23.65%	<b>9.20%</b>

## 5.2 “十一五”期间工业部门节能的节水效果

### (1) 基于全国平均水平的估计

按照附件介绍的方法学得到我国一次能源部门的耗水消耗系数如表10所示：

表 10 一次能源部门的耗水系数

立方米 /tce	直接耗水系数	间接耗水系数
煤炭开采和洗选业	0.43	0.90
石油和天然气开采业	0.52	0.94
电力、热力的生产和供应业	119.95	284.63
加权平均	40.87	96.88

依据“十一五”期间实现的节能量为6.08亿吨tce（折算系数为2.4），若应用直接耗水系数，则可以得到“十一五”期间节能的节水情况如表11所示，可以看出“十一五”期间实现的节能占全部能源消耗的比重为19%，同时实现的直接节水效果为4.13%，实现间接节水效果为9.78%

表 11 “十一五”节能的节水效果评价

	节能量 (亿tce)	消耗系数 (立方米/tce)	节水量 (亿立方米)	用水量 (亿立方米)	节水占比 (%)
直接耗水	6.08	40.87	248	6022	4.13
间接耗水	6.08	96.88	589	6022	9.78

## (2) 基于产品能效的部门节水评价

按照附件介绍的方法学，应用我国的直接和内涵耗水系数，可以得到分部门的节能和节水估计，如表 12所示。结果显示“十一五”期间我国工业实现节能的同时，也实现了节水效果。整体来看，主要工业部门实现的节能量占其能源消耗量的比重约为9.2%，实现了直接节水6.0%，全生命周期的节水5.5%。

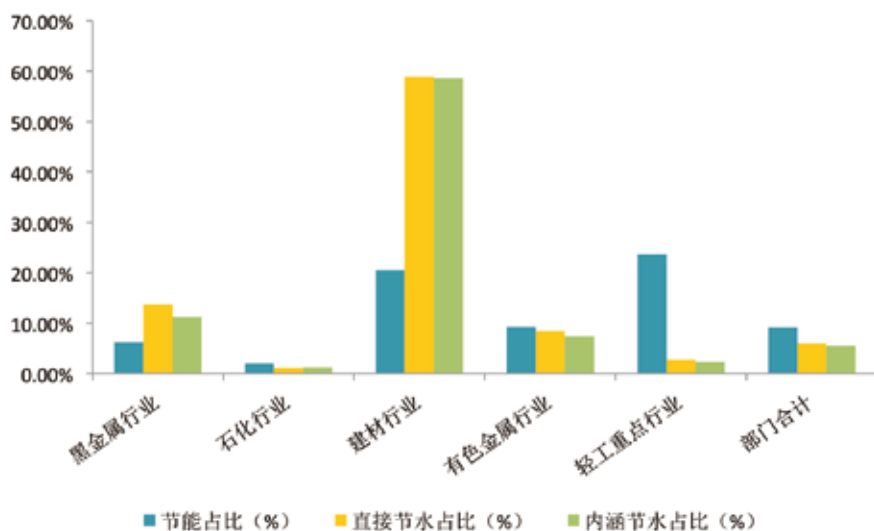
7 2010年

表 12 重点部门的“十一五”节水效果

	黑金属行业	石化行业	建材行业	有色金属行业	轻工重点行业	小计
能源消耗量 <sup>7</sup> (亿tce)	5.75	4.61	2.76	1.28	1.30	15.70
节能量 (亿tce)	0.36	0.10	0.56	0.12	0.31	1.44
节能占比	6.21%	2.09%	20.45%	9.31%	23.65%	9.20%
直接节水量 (亿方)	14.58	3.94	23.07	4.53	12.57	58.69
直接耗水量 (亿方)	106.01	328.65	39.20	53.39	451.50	978.75
直接节水占比	13.8%	1.2%	58.9%	8.5%	2.8%	6.0%
内涵节水量 (亿方)	34.57	9.33	54.69	10.75	29.79	139.13
内涵耗水量 (亿方)	307.37	721.51	93.25	144.78	1276.80	2543.70
内涵节水占比	11.2%	1.3%	58.7%	7.4%	2.3%	5.5%

但由于节能政策带来的节水效果在部门之间还是存在较大差异，图 33 显示了不同部门节能产生节水效果的差别，可以看出建材行业产生较大比例的节能的同时也产生了较大的节水效果，说明该部门中产品生产过程中除了耗费大量的能源外，同时也消耗较高比例的水资源，也说明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20.45%的同时也可以实现直接的节水58.9%，实现完全节水58.7%，因此，在这样的行业推行节能政策可以带来一定的节水效果。

图 33 重点行业的节能与节水效果



### 5.3 “十一五”期间电力部门节能的节水效果

电力行业是我国工业的主要耗能大户，尤其是我国以煤为主的能源结构，使得电力行业也是我国主要的排放大户。“十一五”期间，我国电力工业发展取得巨大成就，电力供应支撑经济社会发展的能力显著增强。电力工业在电价调整不到位、火电行业亏损的情况下，加快电力建设，发电装机容量从2005年底的5.17亿千瓦增加到2010年底约9.5亿千瓦，年均增长8000多万千瓦。“上大压小”关停小火电机组的力度空前，使电源结构和布局得到进一步优化。在2010年底全国发电装机容量8.74亿千瓦中，煤电占总容量的比重由2005年的72.8%，下降到2010年的68%<sup>8</sup>；火电机组平均单机容量稳步提高。2009年底，全国30万千瓦及以上火电机组比重达到65.2%，建成投产百万千瓦

<sup>8</sup> <http://www.ccec.org.cn/hangye/yanjiu/2011-03-10/48493.html>

级超超临界机组21台,成为世界拥有超超临界机组最多的国家,火电平均单机容量由2005年的5.68万千瓦提高到2009年的10.31万千瓦;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,位居世界先进水平之列。

火力发电的用水量约占整个工业用水总量的40%以上,因此火电行业节能减排的同时也可以实现节水。按照本文的测算,“十一五”期间电力行业实现节能量0.88亿tce,按照电力部门的水消耗系数,可以测算火力发电节能的同时带来的直接节水效果,实现直接节水105.6亿方,内涵节水250.64亿方,二者分别约占部门用水量的比重为18.9%和44.9%,二者总和相当于北京市十年的用水总量约为35亿方。

表 13 电力行业的节水效果

电力行业	2005年	2010年	2010年产量 (亿kWh)	实现的直接节水量 (亿立方米)	实现的间接节水量 (亿立方米)
供电煤耗 <sup>9</sup> (g/kWh)	370	333	33319	105.6	250.64
占比				18.9%	44.9%

## 5.4 “十二五”节能的节水效果预估

国务院总理温家宝在7月11日主持召开国务院常务会议,讨论通过《节能减排“十二五”规划》,会议要求形成加快转变经济发展方式的倒逼机制,建立健全有效的激励和约束机制,大幅度提高能源利用效率,显著减少污染物排放,确保到2015年实现单位国内生产总值能耗比2010年下降16%,化学需氧量、二氧化硫排放总量减少8%,氨氮、氮氧化物排放总量减少10%的约束性目标。

根据国务院2011年9月7日下发的《“十二五”节能减排综合性工作方案》,到2015年,我国万元国内生产总值能耗下降到0.869吨标准煤(按2005年价格计算),比2010年的1.034吨标准煤下降16%,比2005年的1.276吨标准煤下降32%。《方案》还以附件形式,明确了“十二五”各地区节能目标、各地区化学需氧量排放总量控制计划、各地区氨氮排放总量控制计划、各地区二氧化硫排放总量控制计划、各地区氮氧化物排放总量控制计划。同期,国内各行业也相继开展了行业“十二五”规划的制定和颁布阶段,预计“十二五”期间,我国将实现节约能源6.7亿吨标准煤,略高于“十一五”期间的节能成效。

<sup>9</sup>煤炭的折标系数 0.7143 kgce/kg

除了工信部制订的工业节能规划之外，各重点行业如建材工业、化肥工业、石化和化学工业、平板玻璃行业、铝工业、有色金属工业等均提出了详细的行业节能规划和具体的发展目标。依据这些规划和目标，并结合未来主要行业的产量，预计“十二五”期间重点行业的节能情况见表14所示。

<sup>10</sup> 部分预测数据来自于行业规划，部分数据来自于作者估算

<sup>11</sup> 基年是2010年

表14 “十二五”时期分部门节能量预测<sup>10</sup>

单位产品综合能耗 (kgce/t)	2010年	2015年	“十二五”预计降幅	2015年产量 (万吨)	“十二五”预计节能量 (万kgce) <sup>11</sup>
	①	②		③	④=(①-②)*③
<b>黑金属行业:</b>					
当量粗钢	805	772	-4.10%	75000	2475375
<b>石化行业:</b>					
原油加工	104	96	8%	60000	499200
乙烯	886	857	-3.27%	2700	78300
煤基合成氨	1420	1350	-4.93%	5637	394575
烧碱	583	548	-6.00%	3100	108500
纯碱	382	320	-16.23%	3000	186000
电石	1105	1050	-4.98%	2800	154000
<b>建材行业:</b>					
水泥	100	82	-18.00%	220000	3960000
墙地砖	160	152	-5.00%	19128	153026
卫生瓷	600	576	-4.00%	365	8760
平板玻璃(kgce/重箱)	17	15	-11.76%	106825	213650
<b>有色金属行业:</b>					
氧化铝	632	500	-20.89%	4252	561295
电解铝(kWh/t)	13979	13300	-4.86%	2400	1629600
镁冶炼	5500	4000	-27.27%	96	143259
矿产铜	360	324	-10.00%	364	13095
矿产铅	454	445	-2.00%	550	4994
电解锌	1000	900	-10.00%	720	72000
<b>轻工重点行业:</b>					
日用玻璃	440	380	-13.64%	3210	192585
日用瓷	1190	1110	-6.72%	886	70862
发酵	900	820	-8.89%	2899	231913
纸和纸板	1130	900	-20.35%	14929	3433768



因此，预计“十二五”期间主要部门的节能量见表 15所示，主要行业的节能量总和约为1.46亿tce，稍高于万家企业节能量的一半左右。

表 15 部门节能量预测

	节能量 ( 亿tce )
黑金属行业	0.25
石化行业	0.14
建材行业	0.43
有色金属行业	0.24
轻工重点行业	0.39
部门合计	1.46

依据动态的投入产出模型，本研究将我国现有的2007年的投入产出表动态化到2010年，并利用2010年的投入产出系数修正一次能源部门的耗水系数如表 16所示。结果显示，煤炭开采和洗选业的水耗系数有所上升，而天然气和电力部门的耗水系数均有所下降，煤炭开采业的直接耗水系数增加了四分之一左右，而内涵耗水系数则增加了大约一半。

表 16 “十二五”期间一次能源部门的耗水系数

立方米 /tce	直接耗水系数	间接耗水系数
煤炭开采和洗选业	0.54	1.35
石油和天然气开采业	0.34	0.57
电力、热力的生产和供应业	75.63	190.36
加权平均	25.46	64.06

结合“十二五”期间的行业节能量的预测，并应用最新的耗水系数，可以预测“十二五”期间工业节能政策实施的同时产生的节水效果如下：

(1) 按照“十二五”期间预计节能6.7亿吨标准煤，则产生直接节水量为170.60亿方，产生的间接节水量为429.20亿方，按照水利部预测的2015年全国用水量为6350亿方，分别带来2.69%和6.76%的节水效果。

(2) 按照工业分重点部门的“十二五”节能和节水预测结果见表17所示，结果显示各个工业部门实现节约能源的同时产生了一定的节水效果，但是产生的效果大小在不同部门之间有所不同。尤其是在建材行业在节能的同时产生了较大的节水效果，说明这些部门的推广节能技术的同时也可以产生一定的

协同效应。这5个重点行业预计产生1.46亿吨标准煤的节能效果，同时还会直接节约37.14亿方的水，产生间接的节水量为93.43亿方，分别约占5部门耗水量的3.53%和3.14%。

表 17 重点部门的“十二五”节水效果

	黑金属行业	石化行业	建材行业	有色金属行业	轻工重点行业	部门合计
节能量 (亿tce)	0.25	0.14	0.43	0.24	0.39	1.46
直接节水量 (亿方)	6.30	3.62	11.04	6.17	10.01	37.14
直接耗水量 (亿方)	103.18	474.63	39.86	69.96	365.46	1053.09
直接节水占比	6.11%	0.76%	27.70%	8.82%	2.74%	3.53%
内涵节水量 (亿方)	15.86	9.10	27.77	15.53	25.17	93.43
内涵耗水量 (亿方)	346.89	1192.65	113.41	208.89	1115.99	2977.85
内涵节水占比	4.57%	0.76%	24.49%	7.43%	2.26%	3.14%

## 5.5 小结

(1) “十一五”期间实现的节能占全部能源消耗的比重为19%，同时实现的直接节水效果为6.00%，全生命周期的节水效果为9.78%。

(2) 主要工业部门实现的节能量仅占其能源消耗量的比重约为9.2%，实现了直接节水6.00%，全生命周期的节水5.47%。

(3) 不同部门节能产生节水效果的差别，可以看出建材行业产生较大比例的节能的同时也产生了较大的节水效果，说明该部门中产品生产过程中除了耗费大量的能源外，同时也消耗较高比例的水资源，建材行业实现节能20.45%的同时也可以实现直接的节水58.9%，实现完全节水58.7%。

(4) 火力发电的用水量约占整个工业用水总量的40%以上，因此火电行业节能减排的同时也可以实现节水。按照本文的测算，“十一五”期间电力行业实现节能量0.88亿tce，按照本文测算的电力部门的水消耗系数，可以测算火电节能的同时带来的直接节水效果，实现直接节水105.6亿方，内涵节水250.64亿方，二者分别约占部门用水量的比重为18.9%和44.9%，大体相当于北京市十年的用水总量约为35亿方。

# 6

## 结论与建议

### 6.1 结论

气候变化问题已经成为人类迄今为止面临的巨大挑战，影响未来国家经济发展的主要不确定因素。当前我国能源和水资源均面临着严峻的形式，能源和水资源短缺、水资源污染严重、生态环境恶化等问题日益突出，已经成为制约我国经济社会可持续发展的主要瓶颈。“十二五”时期是我国全面建设小康社会的关键时期，也是深化改革开放、加快转变经济发展方式的攻坚时期。随着工业化、信息化、城镇化、市场化、国际化深入发展，我国经济将继续保持平稳较快发展，经济结构转型加快，经济社会发展和综合国力将再上一个新台阶。与此同时，经济增长的资源、环境约束将进一步强化，未来十年我国经济社会的持续发展对能源与水资源的保障和资源供应与安全提出了更高的要求。目前在国家制订的宏观能源政策中，没有考虑对于水资源的影响，而有关水资源的政策中也没有考虑到对能源消耗以及GHG排放的影响，忽略二者之间的联系可能会导致不可持续发展，因此如何协调节能和节水政策之间的内在联系，最大化二者之间的协同效果，是未来摆在我们面前的重要课题。

(1) 我国的水资源总量丰富，但是人均水资源占有量低。我们属于轻度缺水国家，中国用全球7%的水资源养活了全球21%的人口。我国水资源空间分布不均匀。华北地区人口占全国的三分之一，而水资源只占全国的6%。我国的西南地区，人口占全国的五分之一，但是水资源占有量达46%。东部地区的供水量最多，西部次之，中部地区的供水量最少。但从标准差可以看出，中部地区的供水量较稳定，各省之间供水量的差异少于东部和西部间的差异。

(2) 农业一直是我国水消耗的主要部门，但近年来，农业用水总量略有下降，工业用水和生活用水量均呈现增长的势头，而且其上升的速度高于整个

用水量的速度，分别达到年均增加2.2%和2.6%。各地区用水情况与其经济发展和产业结构密切相关，东部地区人口密集，经济发展水平较高，但是耕地面积较少，其用水比重约占全国的37%；而中部地区人口密度较高，但是经济发展水平一般，尤其是农业耕地面积所占比重较高，其耗水比重约为30%；而西部地区经济发展水平最低，其耗水量较高的主要原因是农业耗水比重较高。

(3) 工业是水资源消耗大户，其中热电用水最大。随着国家节能减排政策在火电行业相继实施，空冷、闭冷循环冷却技术的推广，火力发电的用水量也呈现了下降的趋势，2009年约占工业用水量的40%，约占全国用水量比重9.35%。火力发电单位发电量的耗水量、排污量逐年递减，单位发电量的耗水量从2000年的4.03kg/kWh，下降到2008年的2.78kg/kWh（美国平均水平1.78kg/kWh），下降比例约为30%，但是与发达国家相比，还是存在一定的差距。可再生能源发电是缺水地区首选的技术，因为其耗水量远远低于燃煤和燃气电厂。

(4) 能源消耗与水资源消耗的关系是紧密相关的。一方面各种能源技术在生产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，包括开源与节流，都需要经济发展为其提供必要的资金和能源保障。若我国2015年能源消费总量控制在40亿tce，按照之前的增长速度，则相应的用水量达到6215亿方。日前水利部发布的《节水型社会建设“十二五”规划》中预计全国用水总量控制在6350亿立方米以内。实现能源控制总目标，有助于实现用水目标。

(5) 我国工业部门前10位的耗水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、化学纤维制造业、有色金属冶炼及压延加工业、非金属矿物制品业、纺织业和农副食品加工业，这10个部门总计的耗水量约占工业总用水量的93%，其中前5个部门约占工业总用水量的86%。如果加上纺织业，则6个行业的能源消耗量约占整个工业的比重为60%，但是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行业。

(6) 根据本文测算，“十一五”期间实现的节能量占全部能源消耗的比重为19%，同时实现的直接节水效果为0.41%，全生命周期的节水效果为0.9%。而主要工业部门实现的节能量占其能源消耗量的比重约为9.2%，实现了直接节水2.81%，全生命周期的节水2.45%，高于全国平均水平，不同部门

---

节能产生不同的节水效果，建材行业较大比例节能的同时也产生了较大的节水效果，说明该部门中产品生产过程中除了耗费大量的能源外，同时也消耗较高比例的水资源，建材行业实现节能20.45%的同时也可以实现直接的节水15.91%，实现完全节水14.82%。

(7) 火力发电的用水量约占整个工业用水总量的40%以上，因此火电行业节能减排的同时也可以实现节水。按照本文的测算，“十一五”期间电力行业实现节能量0.88亿tce，按照本文测算的电力部门的水消耗系数，可以测算火电节能的同时带来的直接节水效果，实现直接节水105.6亿方，内涵节水250.64亿方，二者分别约占部门用水量的比重为18.9%和44.9%，二者总和大体相当于北京市十年的用水总量（约为35亿方）。

(8) 按照“十二五”期间预计节能6.7亿吨标准煤，则产生直接节水量为35.65亿方，产生的间接节水量为88.44亿方，按照水利部预测的2015年全国用水量为6350亿方，则分别带来0.56%和1.39%的节水效果。在建材行业节能的同时产生了较大的节水效果，说明这些部门的推广节能技术的同时也可以产生一定的协同效果。5个重点行业预计产生1.46亿吨标准煤的节能效果，同时还会直接节约7.76亿方的水，产生间接的节水量为19.25亿方，分别约占5部门耗水量的3.35%和2.90%。

(9) 中国目前对节能节水协同效果的研究尚处于起步阶段。虽然在统计和标准制定过程中有部分政策进行指导，但在宏观层面尚未出台相应的政策对这两种重要的资源进行统筹管理。在制定能源发展规划和水资源规划中，均未提及两者之间的相互消耗、相互制约关系，也难以对地方的资源综合利用和可持续发展提供更加科学的指导。

## 6.2 政策建议

(1) 结合节能和节水之间的内在联系与规律，增强我国节能节水政策目标制定上的协调。预计未来20年之内，随着我国城市化、工业化进程的加快，我国能源和水资源消耗还会继续增长，这不仅仅是我国能源和水资源供应短缺的问题，还事关我国产业竞争优势没有办法实现转变的核心问题，节能-节水已经成为我国国民经济系统的重要组成部分，节能政策的实施有助于实现节水，而用水总量目标的实现则间接对能源总消耗提出了制约，因此尽管目前节能目标

并不是基于总量来设计，但是由于节能-节水之间的关系，节水目标也间接提出了能源消耗的总量控制，因此需要进一步加强政策目标的协同制定。

(2) 合理制定行业规划，提升节能-节水政策制定的协同关系。我国现行的节能规划中是可以附带产生节水效果的，但是由于缺乏清晰的节能-节水协同效果理论支持，使得节能-节水的协同效果并没有体现在实际的政策和规划制定中，缺乏系统的制定规划的理论和方法。节能-节水与未来经济产业结构和能源结构的调整是紧密相关，我国生产用能和用水分别占总消耗的90%，尤其是工业行业，具有较大的节能节水潜力，合理制定如煤炭、电力等行业发展规划，设定煤炭消耗总量控制，非化石能源占比等目标，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，不断提升我国节能-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、耗水企业中统一统计能源和水消耗量，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，严格执行各项环保政策。示范建立自愿节能-节水制度，对于完成承诺的行业或者是突出的企业给予一定的政府奖励。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，充分发挥节能节水的协同效果。

(4) 充分利用现有的管理制度，加强节能节水管理机构实施协同管理的能力。我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，在国家总体和各部门内部具有较强的管理和执行能力，其中工信部、住建部分别涉及到工业部门、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-节水的政策要求。

---

# 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。



---

## 参考文献

1. Fredrich Kahrl and David Roland-Holst. China' s water-energy nexus. *Water Policy* not known (2008) 1-16.
2. Debborah Marie Marsh. The water-energy nexus: a comprehensive analysis in the context of new South Wales. 2008, University of Technology, Sydney.
3. Horvath, A.. Life cycle energy assessment of alternative water supply systems in California, 2005, Report Number CEC-500-2005-101, California Energy Commission, PIER Energy Related Environmental Research.
4. Cohen, R. et al. Energy down the drain, the hidden costs of California' s water supply. 2004, NRDC and Pacific Institute, Oakland, CA.
5. Antipova, E. et al. Optimization of Syr Darya water and energy uses. *Water International* 2002, Vol. 27, no. 4, pp. 504-516.
6. Schuck, E.C. & Green, G. P. Supply-based water pricing in a conjunctive use system: Implications for resource and energy use. *Resource and Energy Economics*, 2002, Vol. 24, No. 3, pp. 175-192.
7. Nowak, O. Benchmarks for the energy demand of nutrient removal plants. *Water Science and Technology*, 2003, vol. 47, No. 12, pp.125-132.
8. Nunn, J. et al. A lifecycle assessment of the NSW electricity grid. Report Number 25, Cooperative Research Centre for cola in Sustainable Development, 2002, Pullenvale, Queenslan.
9. Lei, M. Integrated input-output accounting for natural resources-energy-economy-environment. 2000, 13<sup>th</sup> International Conference on Input-Output Techniques, 21-25 August, Macerata, Italy.
10. Lenzen, M. & Foran, B. An input-output analysis of Australian water usage. *Water Policy*, 2001, vol.3, pp. 321-340.
11. Lundie, S. et al. Life cycle assessment for sustainable metropolitan water systems planning,. *Journal of Environmental Science and Technology*, 2004, vol. 38, pp:3456-3473.
12. 梁赛, 王灿. 北京市节水技术的节能效应分析. *节水灌溉*, 2007年第4期.
13. 宫鲁. 钢铁冶金行业用水节水研究. *冶金动力*, 2011年第1期.
14. 王华亮. 河北省农业灌溉工程节水技术效益分析与计算. *南水北调与水利科技*, 2010年2月第8卷, 第1期.
15. 孙根年, 王美红, 康国栋. 基于节能(水)-减排的我国工业环境友好度评价. *陕西师范大学学报(自然科学版)*, 2009年1月, 第37卷第1期.

16. 陈特, 李毛. 建筑给排水工程节水及节能措施探讨. 山西建筑, 2011年11月, 第37卷, 第31期.
17. 史智国, 陈俐俐. 浅谈建筑给排水工程中节能节水技术的应用. 山西建筑, 2011年4月, 第37卷, 第10期.
18. 刘振宏, 王平, 郑守利. 浅谈建筑给排水设计中节水节能问题. 建筑节能, 2008第6期(总第36卷, 第208期).
19. 刘春平. 石化企业节水减排现状与对策. 石油化工安全环保技术. 2008年第24卷第1期.
20. 顾阿伦, 何建坤, 周玲玲, 姚兰, 刘滨. 我国进出口贸易中的内涵能源及转移排放分析. 清华大学学报, 2010年第9期(第50卷), P1456-1459.
21. 韩买良, 火力发电行业用水分析及对策, 工业水处理, 2010年2月, 第30卷第2期.
22. 韩买良: 火力发电厂水资源分析及节水减排技术, 化学工业出版社, 2011年.
23. 中国统计年鉴2011.
24. 中国环境统计年报2006-2010.
25. 中国能源统计年鉴2011.
26. 中国电力年鉴2010.
27. 煤炭工业发展“十二五”规划, 国家发展和改革委员会, 2012年3月.
28. “十二五”节能减排综合性工作方案, 国务院, 2011年8月.
29. 中国2007年投入产出表, 国家统计局.
30. 平板玻璃行业“十二五”发展规划, 中华人民共和国工业和信息化部, 2011年12月.
31. 有色金属“十二五”发展规划, 中华人民共和国工业和信息化部, 2012年1月.
32. 工业节能“十二五”发展规划, 中华人民共和国工业和信息化部, 2012年2月.
33. 建材工业“十二五”发展规划, 中华人民共和国工业和信息化部, 2011年12月.
34. 化肥行业“十二五”发展规划, 中华人民共和国工业和信息化部, 2012年2月.
35. 石化和化学工业“十二五”发展规划, 中华人民共和国工业和信息化部, 2012年2月.

# 附录1

## 节能与节水协同效益的方法学

### 1) 基本概念

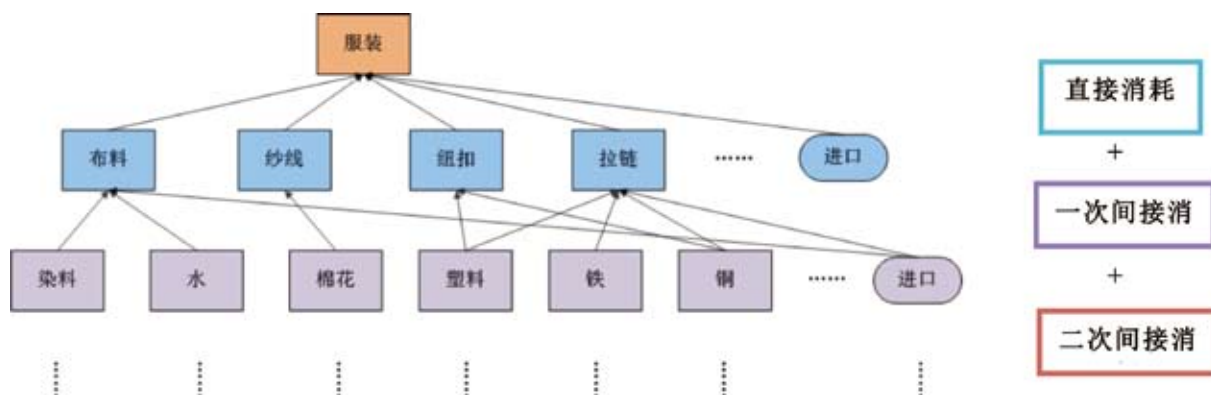
虚拟水是国外20世纪90年代才提出的新概念，是指生产产品和服务所需要的水资源。虚拟水不是真正意义的水，而是以“虚拟”的形式包含在产品中的看不见的水，因此，虚拟水也被称为“内涵水”、和“外生水”，本文称其为内涵水。

“虚拟水”是英国学者Tony Allan在1993年提出的概念，用以计算食品、消费品以及产品在生产与销售过程中的用水总量。“虚拟水”指在生产产品和服务所需要的水资源数量，即凝结在产品和服务中的虚拟水量。因此，“虚拟水”用来计算生产商品和服务所需要的水资源数量，是从全生命周期角度，来衡量生产某产品的用水量，显然内涵水消耗要大于产品在最终加工环节的直接用水量。

根据这一概念的涵义，不仅仅是农业的灌溉，居民的引用和淋浴等过程中需要直接消耗水，其实在消耗其他产品的时候也消耗了大量的内涵水，例如一台台式电脑含有1.5吨虚拟水，一条斜纹牛仔裤含有6吨虚拟水，一公斤小麦含有1吨虚拟水，一公斤鸡肉含有3到4吨虚拟水，一公斤牛肉含有15到30吨虚拟水<sup>12</sup>。可以利用意见简单的图示表示各种产品之间的消耗关系。

<sup>12</sup> <http://baike.baidu.com/view/465009.htm>

图34 各种产品之间的消耗关系



## 2) 投入产出表及消耗系数

投入产出分析方法可以追溯最终需求产品的所有直接和间接的消耗。投入产出分析方法涉及的主要概念如下：

直接消耗系数：表示第j个部门的单位产品在生产过程中直接消耗的第i个部门产品的数量。如果用  $X_j$  代表第j部门的产值，用  $X_{ij}$  代表第i部门产品用作第j部门生产消耗的数量，用  $a_{ij}$  代表直接消耗系数，整个经济中共有n个部门，则

$$a_{ij} = \frac{X_{ij}}{X_j} \quad (i, j=1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

完全消耗系数：在产品的生产过程中不仅包括直接消耗，还包括间接消耗。完全消耗系数表示第j个部门的单位产品在生产过程中直接消耗以及间接消耗的第i个部门产品的数量总和。如果用  $b_{ij}$  表示第j部门产品对第i部门产品的完全消耗系数，则有：

$$b_{ij} = a_{ij} + \sum_{k=1}^n a_{ik} a_{kj} + \sum_{s=1}^n \sum_{k=1}^n a_{is} a_{sk} a_{kj} + \sum_{t=1}^n \sum_{s=1}^n \sum_{k=1}^n a_{it} a_{ts} a_{sk} a_{kj} + \dots \quad (2)$$

$$(i, j=1, 2, \dots, n)$$

用矩阵B表示由  $b_{ij}$  组成的完全消耗系数矩阵，则有：

$$B = A + A^2 + A^3 + A^4 + \dots \quad (3)$$

$$\text{进一步推到可得, } B = (I - A)^{-1} - I \quad (4)$$

其中，I为单位矩阵。

完全需要系数与全能源消耗：完全需要系数矩阵等于完全消耗系数矩阵加上单位矩阵，即每个行业的单位产出所需要的各行业投入加上这个单位产出本身。与完全需要系数相对应的能源消耗，本文定义为全能源消耗。也就是说，全能源消耗表示每个行业单位产出所消耗的能源以及能源行业本身的单位产出。用C表示完全需要系数矩阵，则有：

$$C = B + I = (I - A)^{-1} - I + I = (I - A)^{-1} \quad (5)$$

## 3) 国产化修正系数

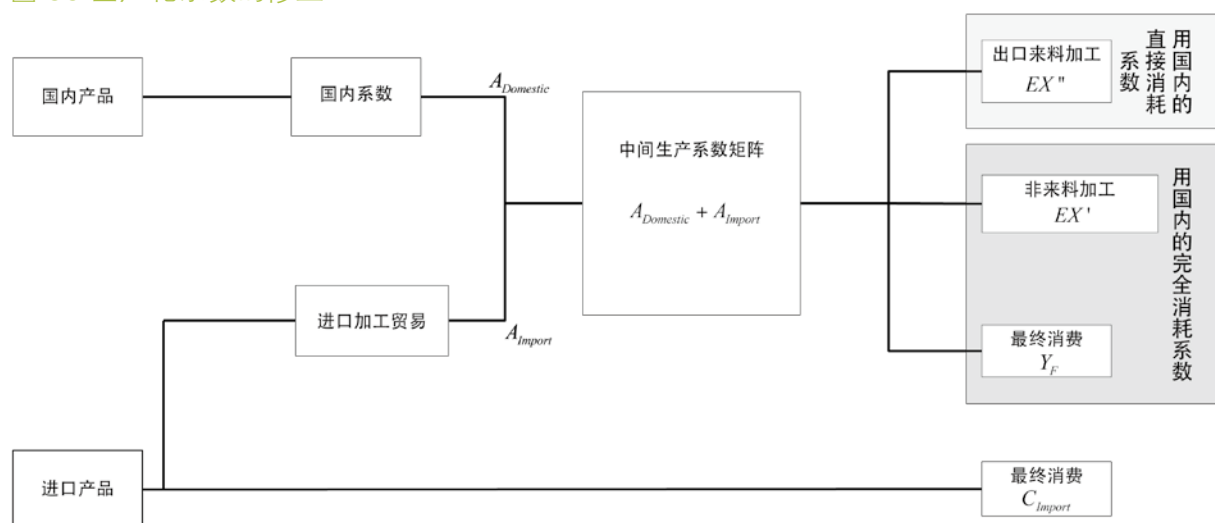
由于我国进出口的特殊特点，每年进口的商品中，有较大比例作为中间投入参与了国内的生产，也就是说国内生产过程除了消耗本国国内产品，同时也消耗了一部分进口产品，如图 35所示。因此，需要对消耗系数进行修正。令  $\Lambda$  为进口系数矩阵。假定部门i对部门j的投入中进口非加工贸易中间投入的比

例相同，则  $\Lambda$  为一个对角矩阵，反映了部门*i*对进口非加工贸易产品的依赖程度，其主对角线上的每一个分量  $h_i = IX'_i / (X_i + IX'_i - EX_i)$ ， $IX'$  进口非加工贸易向量。则有修正后的直接消耗系数与完全消耗系数矩阵分别为：

$$A' = (I - \Lambda)A \quad (6)$$

$$B' = (I - (I - \Lambda)A)^{-1} - I \quad (7)$$

图 35 国产化系数的修正



#### 4) 节能节水协同效益评价方法

本文主要研究在部门产生节能效果的同时，由于减少能源消耗所带来的节水效果，因此文中利用各个部门对于一次能源的能源消耗，再计算一次能源部门的耗水系数，最后在核算分部门产生节能效益的同时带来的节水效果。

本文将GDP按照支出法分解为三个部分：消费、投资和出口，则每个部门的增加值均可以按此进行划分，分别测算分部门的消费、投资和出口的能源消耗，在利用这三个部门对于供水部门的消耗系数，折算其单位能源的水耗系数。

分部门的一次能源消耗为：

$$e_i = p_i e_i + p_i e_c + p_i e_e \quad (8)$$

其中： $i$ 为煤炭、石油、天然气以及水电等一次能源， $e_i$ 为部门投资的一次能源消耗； $e_c$ 为部门消费的一次能源消耗； $e_e$ 为部门出口的一次能源消耗， $p_i$ 为实物量与价值量的比值（万tce/万元）。

图 36 能源消耗和水消耗分类



分部门消费的一次能源消耗为：

$$ec_i = \sum_j b'_{ij} TC_j \quad (9)$$

分部门投资的一次能源消耗为：

$$ei_i = \sum_j b'_{ij} GCF_j \quad (10)$$

分部门出口的一次能源消耗为：

$$ee_i = \sum_j b_{ij} EX'_j + \sum_j a_{ij} EX''_j + \sum_j a_{is} a_{sj} EX''_j \quad (11)$$

其中： $\sum_j GCF_j$ ， $\sum_j TC_j$  分别为资本形成总额及最终消费总量， $\sum_j EX'_j$  为非来料加工的出口向量， $\sum_j EX''_j$  为来料加工的出口向量，

$s$ 为二次能源，（电力，热力等，这里为了简化处理，只考虑电力）。

#### 5) 转换系数

$p_i$  为实物量与价值量的比值（万方/万元），为实物量与价值量的转换系数，产值为I/O表的总产出（万元），水的消耗量取自中国统计年鉴（万方）。

#### 6) 数据处理

本文所使用的数据资料包括，2007年全国42部门的投入产出表，《中国统计年鉴》中公布的各能源行业总产量。为了避免重复计算，只考虑煤炭、石油和天然气等一次能源部门以及电力部门中的水电、风电和核电部分。

---

## 附录2

# 投入产出系数的RAS过程

投入产出的编制需要花费大量的人力、物力和财力，所以，世界各国的投入产出表一般每隔5年编制一次，而各5年期间的投入产出表则是在前一次投入产出表的基础上采用一定的方式进行调整。调整的方法主要是通过对直接消耗系数进行修正。直接消耗系数的修正方法按修正的全面程度，可分为全面修正法和局部修正法。全面修正法通过重新编制投入产出表来全面修正直接消耗系数；局部修正法只选择变化较大的直接消耗系数，根据技术、经济、自然等因素和有关统计资料，局部地进行调整。世界大部分国家一般都在5年左右重新编制，在编制新表期间则采取局部调整，RAS则是一种对直接消耗系数进行局部调整的常用方法。RAS法，也称适时修正法，是英国经济计量学家R·斯通提出的。

### (1) RAS基本原理<sup>13</sup>

RAS法的基本原理是首先假设部门间直接消耗系数矩阵A的每一个元素 $a_{ij}$ 受到两个方面的影响，其一是替代的影响，即生产中作为中间消耗的一种产品，代替其他产品或被其他产品所替代的影响，它体现在流量表的行乘数R上；其二是制造的影响，即产品在生产中所发生的中间投入对总投入比例变化的影响，它体现在列乘数S上。设基期的直接消耗系数矩阵为 $A_0$ ，以后年份的直接消耗系数矩阵为 $A_1$ ：

### (2) 修订过程

运用2007年（基期）的直接消耗系数矩阵，求出2015年（报告期）的直接消耗系数矩阵。

第一步，根据基期的直接消耗系数矩阵和报告期的总产出，计算出一个流量矩阵，然后按行相加，得一个中间产品合计列向量 $U(1)$ ；按列相加，得劳动对象消耗合计行向量 $V(1)$ ；它们与报告期实际的中间产品合计列向量和劳动对象消耗合计行向量都不相等，为了先消除各行的差额，计算得出第一次行乘数 $R_1=UT/U_1$ 。

第二步，对该流量矩阵的每行上分别乘以各行行乘数，再按列相加，得到一个行向量 $V_1$ ，并与报告期的劳动对象消耗合计行向量 $V_T$ 相比较，计算第一

<sup>13</sup> <http://lab.shufe.edu.cn/sjyx/gmijhs-al2.htm>

次列乘数 $S1 = VT/V1$ 。

第三步，由第二步求出的流量矩阵的每列分别乘以各列列乘数，按行相加，得到一个列向量 $U2$ ，并与报告期列向量 $UT$ 相比较，计算第二次行乘数 $R2 = UT/U2$ 。

第四步，由第三步求出的流量矩阵的每行分别乘以各行行乘数，按列相加，得到一个行向量 $V2$ ，并与报告期行向量 $VT$ 相比较，计算第二次列乘数 $S2 = VT/V2$ 。

按第三第四步方法各行各列逐步调整。当调整进行到第六次时，行乘数均为0.99，列乘数均为1.01，可以认为收敛于1，即 $U=UT$ ， $V=VT$ 。据此，通过六次调整，2001年投入产出表修订宣告完成。

根据公式 $a_{ij}=x_{ij}/X_j$  ( $i, j=1,2,3\cdots, n$ )，可以得出报告期直接消耗系数矩阵。



---

## 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。





