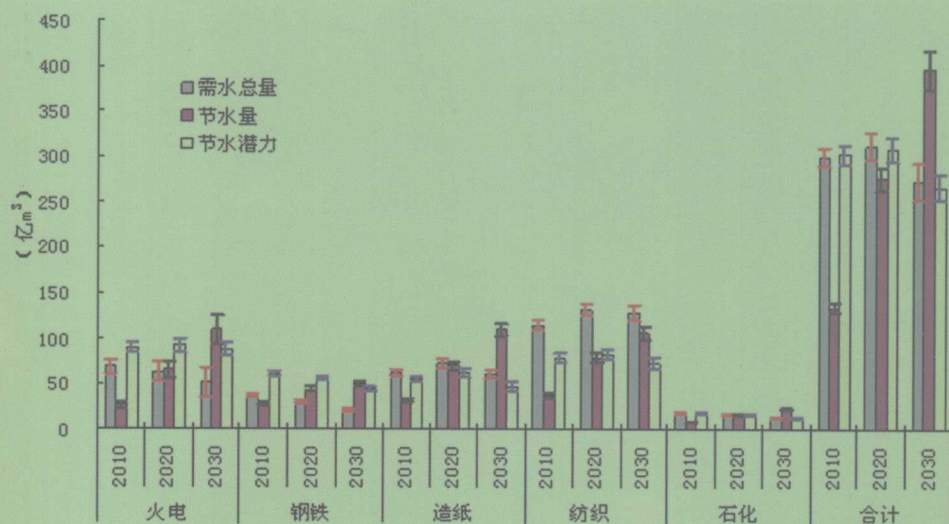


中国工业节水的 潜力分析与战略导向

Potential Analysis and
Strategy Guide of
Industrial Water Conservation
in China

杜 斌 著



中国建筑工业出版社

中国工业节水的潜力分析 与战略导向

Potential Analysis and Strategy Guide
of Industrial Water Conservation in China

杜 斌 著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

中国工业节水的潜力分析与战略导向/杜斌著. —北京:
中国建筑工业出版社, 2007
ISBN 978-7-112-09750-0

I. 中… II. 杜… III. 工业用水—节约用水—研究—
中国 IV. TU991.64

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 178932 号

责任编辑: 石枫华

责任设计: 董建平

责任校对: 刘 钰 陈晶晶

中国工业节水的潜力分析与战略导向
Potential Analysis and Strategy Guide
of Industrial Water Conservation in China

杜 斌 著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京千辰公司制作

北京市密东印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 20¼ 字数: 397 千字

2008 年 3 月第一版 2008 年 3 月第一次印刷

印数: 1—2 000 册 定价: 48.00 元

ISBN 978-7-112-09750-0
(16414)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

序

水是生命之源，而水紧缺是全球性的大问题。总体上说，我国缺水问题相当突出。全国 600 多座城市中，400 多座供水不足，110 座缺水比较严重。改革开放以来，工业用水从 1980 年的 457 亿 m^3 猛增到 2006 年的 1302 亿 m^3 。2006 年，万元 GDP 用水量为 279 m^3 ，约为世界平均水平的 3 倍，是美国等先进国家的 5~7 倍。因此，在全国建立节水型社会的努力中，如何准确地分析工业节水的潜力和把握住节水战略的导向，这是很有意义的。

杜斌博士撰写的《中国工业节水的潜力分析与战略导向》，既有相当高的学术水平，也适应了当前及今后一段时期内的实际需要，是一本有价值的专著。我认为，它有以下三个特点：

（一）紧紧地围绕国情，即中国正处于重化工工业发展阶段和对外贸易递增阶段。这是我们目前 GDP 增长所依赖的，也是一时难以逾越的。作者始终抓住 5 个高耗水行业（火电、钢铁、造纸、纺织和石油化工），细致地分析了它们的用水现状、节水潜力、技术选择和管理改革等，其脉络是清晰和贴切的。

（二）收集了从 1980 年以来的 20 多年的详尽数据，在此基础上建立了我国工业节水潜力分析和技术综合评价模型，估算了未来 25 年内不同情景下的工业用水需求和节水潜力，评估了有关的工业技术和发展战略，提出了技术升级和结构优化的政策框架和战略导向，由于工作比较扎实，其结果比较可信。

（三）1992 年联合国环境与发展大会后的各国经验表明，技术是重要的，而“管理比技术更重要”。杜斌博士在其综合评估模型研究及其专著中，恰恰积极体现了工程技术、管理科学和宏观政策的结合，故而他不仅提供了这些高耗水行业的节水技术及进步趋势，还细致地分析了水价影响、结构优化以及其他进一步激励工业节水潜力发挥的政策框架，从而使本书具有较大的参考与实用价值。

水的问题永远是一个复杂的经济、社会和环境问题综合体，随着人口增加和经济增长，肯定还会不断出现一些新情况。希望杜斌博士的这本书出版后，能够经得起实践的检验，并在实践中不断得到修正和提高。

张坤民

清华大学、中国人民大学 教授、博士生导师

中国可持续发展研究会 副理事长

全球水伙伴中国委员会 理事

前 言

中国是一个水资源紧缺的国家。随着经济社会的快速发展和人口增长,“水”的问题已日益成为制约中国经济社会发展的重要因素。1980~2006年间,中国工业用水量年均增长4.1%,工业用水量占总用水量的比重不断上升。工业化的加速和“世界制造中心”向中国的逐步转移,将使中国工业持续高速增长,水资源和环境面临严峻考验。

节约用水、高效用水是缓解水资源供需矛盾的根本途径。国家有关部委于2005年发布的《中国节水技术政策大纲》指出:“水资源可持续利用是我国经济社会发展的战略问题,核心是提高用水效率,要把节水放在突出位置”。2006年国务院颁布的《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020)》提出,根据全面建设小康社会的紧迫需求、世界科技发展趋势和我国国力,必须把握科技发展的战略重点。要把发展能源、水资源和环境保护技术放在优先位置,下决心解决制约经济社会发展的重大瓶颈问题。《国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》也提出如下目标:根据全面建设小康社会的总体要求,“十一五”时期要努力实现产业结构优化升级和资源利用效率显著提高,实现单位工业增加值用水量降低30%。

因此,未来10~15年间,工业节水的成效是实现我国经济社会可持续发展的重要环节。工业节水和水资源管理对于建设资源节约型、环境友好型社会,改变中国工业的高耗水强度现状具有重大的应用意义。综合考虑技术进步、市场激励以及政策引导和规范等多方面因素,充分挖掘工业节水潜力,是关系到我国能否实现全面、协调、可持续发展的重大研究课题,对于进一步明确我国工业节水战略,指导行业节水工作有着重要意义。

从工业节水的研究领域来看,对行业工业节水的具体技术、节水途径进行介绍的较多,但从系统的、技术经济的角度进行综合评价和优选的相对较少;对节水效果进行概述的较多,进行量化统计分析的相对较少。本书尝试将行业的用水需求与行业的结构优化、技术升级紧密结合在一起,紧扣国家科技发展战略和产业发展趋势,将节水同节能减污以及产业升级相关联,对未来不同情景的发展模式进行分析。因此,本书尝试总结了高耗水行业的工艺流程和技术变化特征,识别了其用水技术的历史变化规律;对中国未来25年不同情景下的工业用水需求

和节水潜力进行了趋势性分析和模拟评估；识别了工业用水关键技术和实施的优先序以及可实现的技术节水潜力，并进行了综合的政策分析；对政策层面的影响因素，如水价等，进行了一些扩展性研究并提出了建议。相信本书对相关部门在制定“十一五”及中长期的工业技术发展战略和水资源可持续利用决策方面，具有一定的参考意义和应用价值。

本书具体分析了 1980 年以来，我国工业，尤其是高耗水行业的技术水平、技术进步趋势和用水效率变化特征，识别出制约工业用水效率提高和节水潜力发挥的主要因素包括：整体技术水平不高，工艺结构落后；规模结构、原料结构和布局结构不合理等。在此基础上，综合了自下而上建模法、行业用水统计分析法、终端用水分析法、技术成本效益分析法、系统优化方法以及不确定性分析方法等研究手段，建立了工业节水潜力分析和技术评估综合评价模型（IWCPA 模型）。基于 IWCPA 模型，首先，以 2002 年为基准年，模拟计算了 2003~2030 年不同情景下我国工业的用水需求和节水潜力；其次，模型筛选了影响高耗水行业用水的关键技术，通过技术综合评价，确定了重要工业用水技术实施的优先序，建立了重要工业用水技术的优选清单；再次，系统估算了模型参数的不确定性影响，分析了水价等重要影响因素对未来工业用水需求和节水潜力的影响力度，识别了工业用水敏感技术和关键技术发挥节水潜力的作用范围；最后，探讨了高耗水行业的规模结构、原料结构和布局结构对未来用水需求和节水潜力的影响，提出了激励工业节水潜力发挥的经济政策框架和战略导向。

本书的研究结果表明，未来 10~15 年是控制我国工业用水总量增长的最关键时期。我国工业需水总量将保持增长趋势，到 2020 年后水资源压力方可望得到缓解。只有实施以技术升级和结构调整为核心的工业水资源可持续利用战略，才可实现工业取水从微增长到负增长的转变。为确保未来工业节水潜力得到充分挖掘，在若干工业用水关键技术的研究、应用和推广方面应取得突破，其中，关键共性技术产生的节水潜力占高耗水行业的 60% 以上，而生产工艺的节水效益远大于单一的重复利用和回用技术；提高工业水价势在必行，而现有水价远未达到能有效刺激工业节水潜力发挥的程度；规模结构、原料结构和布局结构应调整和优化，从而缓解北方地区的水资源短缺问题，使高耗水工业布局向水资源丰富的沿海地区调整。

限于作者的理论水平和实践经验不足，书中难免存在缺点和欠妥之处，恳切希望读者批评指正。

杜 斌

2007 年 8 月 1 日

Foreword

China is a country scarce in water resources. In company with population growth and swift growth of social economy, the water issue has become one of the dominant factors which could restrict the socioeconomic development of China in the future. The amount of industrial water use in China increases with an average growth rate approaching 4.1% per year from 1980 to 2006. The proportion of industrial water use to total water use increases constantly. More pressure will be imposed on China's water resources and environment by the continuous fast growth of industrial economy, which will be evoked by the speeding of industrialization and the transfer of world manufacture center to China.

The National Development and Reform Commission, Ministry of Science and Technology, Ministry of Water Resources, Ministry of Construction and Ministry of Agriculture had jointly worked out the China Water Conservation Technology Policy Outline, which was released in 2005, to provide guidance to the development and application of water conservation technology, push forward the progress of water conservation technology, enhance the efficiency of water use and its benefits, and promote the sustainable utilization of water resources. In China Water Conservation Technology Policy Outline, it was pointed out that water conservation and high efficiency in using water would be the fundamental path to release the tension between the supply and demand of water resources.

In the Outline of National Plan for Medium to Long-term Scientific and Technological Development, released by China State Council in 2006, it was emphasized that to develop energy techniques, water resources techniques and environmental protection techniques should be put on the first strategic position according to national conditions and the pressing demand of building a well-off society in an all-round way. Furthermore, according to Outline of the 11th Five-Year Plan for National Economic and Social Development, China will strive to achieve

the goals to optimize industrial structure, enhance the efficiency of resource utilization, and reduce water consumption for every 10000RMB of industrial value-added by at least 30 percent during the period of the 11th Five-Year Plan.

In the next 10~15 years, the effectiveness of industrial water conservation will be a key point to realize the sustainable development of the economy and society in China. Industrial water conservation and water resource management will be very important to construct source saving-oriented and environment-friendly society. How to excavate the potential of industrial water conservation sufficiently, with the comprehensive consideration of technical progress, market stimulation, and policy guide, is an urgent and significant research subject related to the china's sustainable development. It has an active significance to advance and implement the industrial water conservation strategy and enhance the efficiency of industrial water conservation.

In the research field of industrial water conservation, experts almost always focus more on special water-saving techniques and measures than integrated evaluation from systematic, technical and economic aspects, and focus more on qualitative description to water conservation effectiveness than quantized statistical analysis. By analyzing national science&technology development strategy and industry development trends, this monograph attempted to integrate industrial structure optimization and technology upgradation into industrial water demand analysis of different prospective scenarios, and associate water conservation with energy conservation, emission reduction and industry upgradation.

This monograph analyzed current technical level, trends of technological progress and varying characteristics of water efficiency in China's industries, especially in water-intensive industries. Dominant factors in restricting the improvement of industrial water efficiency and realization of Industrial Water Conservation Potential (IWCP) were identified, which include whole technical level hanging behind, unreasonable scale structure, material structure, spatial distribution and so on. To achieve the research goals, an integrated model of industrial water conservation potential analysis (IWCPA model) was developed, coupling with several methods/theories of bottom-up modeling approach, statistical analysis, end use analysis, cost effective analysis, system optimization, and uncertainty analysis. Based on IWCPA model, firstly, China's industrial water demand and IWCP of different scenarios in 2003~2030 were calculated with base year

2002. Secondly, key technologies of water use in water-intensive industries were selected, comprehensive evaluation was adopted to determine their application priorities, and an optimum inventory of technology application was established. Thirdly, Monte Carlo method technique was used to assess uncertainty influence of model parameters. Incidences of key parameters to prospective industrial water demand and IWCP, such as water price, were analyzed. The acceptance ranges of sensitive technologies of industrial water use for realization of IWCP were identified. Finally, the adjusting of scale structure, material structure and spatial distribution in water-intensive industries was discussed to meet prospective industrial water demand. Economical policy framework and strategy guide were designed to stimulate the realization of IWCP.

Results show that the most important period to control the growth of industrial water use in China is the next 10~15 years. The total industrial water demand will keep increasing until 2020. Sustainable water resources utilization strategy, characterized by technology upgradation and structure adjusting, must be implemented. It is the only approach to realize the transition from a small amount of growth to negative growth of industrial water use. In order to excavate IWCP sufficiently, there should be a breakthrough in the research, application and promotion of key technologies on water use. The IWCP of important general technologies, which are suit to most industries, accounts for more than 60% of total IWCP in water-intensive industries. The water conservation benefits of manufacturing techniques are much more than that of water recycling and reclamation techniques. Current water price for industry is too low to stimulate the realization of IWCP, therefore, it is very necessary to raise water price. Scale structure, material structure and spatial distribution should be adjusted and optimized to release high water pressure in north China, so as to promote the distribution of water-intensive industries to coastal areas.

I hope this monograph will have some important reference values for related departments on mid-and-long term strategy formulation of industrial technology development and policy-making of sustainable utilization of water resources during the period of the 11th Five-Year Plan.

Du Bin

August 1, 2007

缩 略 语

3Es-Model

ABM

ABS

ACC

AN

AOX

APMP

BAT

BAU

BCTMP

BOD

BPT

CAS

CBA

CDQ

CEA

CFB

CFBC

Cl₂

ClO₂

CO

CO₂

COD

CPL

DMT

DOE

dpi

ECF

经济-能源-环境模型

基于主体的建模方法

丙烯腈-丁二烯-苯乙烯三元共聚物

直接空冷凝汽器

丙烯腈

可吸附有机卤素

碱性过氧化氢化学机械法浆

最佳可得技术

基准方案

化学热磨机械浆

生化需氧量

最佳实用技术

复杂适应系统

成本效益分析

干熄焦

费用效果分析

循环流化床锅炉

大容量循环流化床发电

氯气

二氧化氯

一氧化碳

二氧化碳

化学需氧量

尼龙 66 盐

对苯二甲酸二甲酯

美国能源部

每英寸的像素数

无元素氯漂白

EFCC	间接燃烧空气轮机联合循环
EG	乙二醇
EMCC	延伸改良连续蒸煮
EUA	终端用水分析
FC	燃料电池
GDP	国内生产总值
GIS	地理信息系统
GP	磨口磨木浆
GPS	全球定位系统
GTCC	燃气-蒸汽联合循环发电
H ₂ O ₂	过氧化氢
H ₂ S	硫化氢
HCN	氢氰酸
HIPPS	高性能发电技术
HYP	高得率浆
IEA	国际能源署
IEPE	法国能源政策和经济研究所
IGCC	整体煤气化联合循环发电
IIASA	奥地利国际应用系统分析研究所
IPN	互穿聚合物网络
IRM	综合资源管理
IRP	综合资源规划
ITC	等温连续蒸煮
IWCPA	工业节水潜力分析
k · Wh	千瓦时
LNG	液化天然气
m ³ /(s · GW)	立方米/(秒 · 百万千瓦机组容量)
MCC	改良连续蒸煮
MDEA	醇氨净化技术
NH ₃	氨气
NHD	聚乙二醇二甲醚净化技术
NIES	日本国立环境研究所
PAC	粉末状活性炭
PE	聚乙烯

PET	聚酯
PFBC-CC	增压流化床联合循环发电
PGACC	部分气化空气预热燃煤联合循环
PP	聚丙烯
PRC	温和化学预处理加盘磨化学处理浆
PSA	变压吸附
PTA	精对苯二甲酸
PVC	聚氯乙烯
RS	遥感技术
SEI	斯德哥尔摩环境研究所
SO ₂	二氧化硫
SS	悬浮物
SSM	水资源供给管理
tce	吨标准煤
TCF	全无氯漂白
TMP	木片热磨机械浆
TRT	高炉炉顶煤气压差发电技术
USC	超临界和超超临界发电
USDA	美国农业部
WDM	水需求管理
WEC	世界能源委员会
XML	可扩展标记语言

目 录

序	III
前言	IV
Foreword	VI
缩略语	IX
第 1 章 绪论	1
1.1 工业用水的严峻形势	1
1.2 工业用水需求管理战略	4
1.3 本书阐述的主要问题	5
1.4 本书的主要内容与框架	6
第 2 章 工业用水技术水平评价	8
2.1 我国工业用水的特点和现存问题	8
2.2 高耗水行业技术水平和用水效率评价	10
2.2.1 火电行业技术水平和用水效率评价	10
2.2.2 钢铁行业技术水平和用水效率评价	13
2.2.3 造纸行业技术水平和用水效率评价	17
2.2.4 纺织行业技术水平和用水效率评价	22
2.2.5 石化行业技术水平和用水效率评价	24
2.3 小结	28
第 3 章 工业节水潜力分析和综合评价的方法学概论	29
3.1 工业节水潜力的定义	29
3.2 工业用水和节水研究方法学综述	30
3.2.1 工业用水和节水潜力分析的研究进展	30
3.2.2 综合评价模型的研究进展	38
3.3 综合研究方法的选择	41
3.4 工业节水潜力分析和综合评价的 IWCPA 模型	42
3.4.1 模型研究的基本框架	42
3.4.2 模型计算方法	51

3.4.3	模型运算与界面开发	64
3.4.4	参数识别与模型验证	67
3.5	小结	67
第4章	中国工业用水情景分析和节水潜力估算	69
4.1	情景分析的方法	69
4.2	情景设置及意义	70
4.2.1	情景方案设定	70
4.2.2	情景分析宏观设置	71
4.3	未来工业用水情景分析和节水潜力估算结果	74
4.3.1	工业需水总体趋势	74
4.3.2	高耗水行业共性技术的节水潜力分析	76
4.4	小结	85
第5章	分行业用水情景设置和节水潜力估算	87
5.1	火电行业情景分析	87
5.1.1	情景设置	87
5.1.2	计算结果分析	93
5.2	钢铁行业情景分析	96
5.2.1	情景设置	98
5.2.2	计算结果分析	104
5.3	造纸行业情景分析	107
5.3.1	情景设置	108
5.3.2	计算结果分析	112
5.4	纺织行业情景分析	114
5.4.1	情景设置	115
5.4.2	计算结果分析	120
5.5	石化行业情景分析	123
5.5.1	情景设置	124
5.5.2	计算结果分析	129
第6章	高耗水行业关键用水技术的评估和选择	133
6.1	技术选择过程	133
6.2	技术评估和技术选择分析	135
6.2.1	技术选择设定	135
6.2.2	分行业技术评估和技术选择	136
6.2.3	行业耦合技术评估和技术选择	195

6.3 小结	197
第7章 工业节水的政策分析和战略导向	199
7.1 未来工业节水潜力的关键影响因素分析	199
7.1.1 不确定性分析与灵敏度分析	199
7.1.2 模拟结果的不确定性范围	201
7.1.3 敏感的影响因子识别	203
7.2 水价分析与政策	205
7.2.1 工业水价影响及分析	205
7.2.2 能源价格变化的影响	210
7.2.3 水和能源的综合影响	210
7.2.4 水价政策	211
7.3 结构优化及政策分析	212
7.3.1 规模结构优化分析	212
7.3.2 原料结构优化分析	217
7.3.3 布局结构优化分析	218
7.4 进一步激励工业节水潜力发挥的政策框架	224
7.5 小结	226
第8章 未来中国工业节水的前景展望	228
8.1 中国工业节水的前景展望	228
8.2 对进一步开展工业节水研究的展望	231
附录A 中国节水技术政策大纲 (2005—2010)(节选)	232
附录B 全国节水规划纲要 (2001—2010 年)(节选)	241
附录C 工业取水定额国家标准	246
附录D 钢铁产业发展政策	275
附录E 全国林纸一体化工程建设 2010 年专项规划 (节选)	283
参考文献	288
后记	304

图、表和专栏目录

第1章 绪 论	1
图 1-1 我国工业年取水量变化情况	1
图 1-2 国内与国际单位产品取水量比较	3
图 1-3 主要高耗水产品产量增长情况 (1980~2005)	3
图 1-4 本书的结构框架	7
第2章 工业用水技术水平评价	8
图 2-1 火电行业技术进步相关指标对数图	11
图 2-2 火电行业用水概况	12
图 2-3 火电行业单位用水比较	13
图 2-4 火电行业不同冷却方式发电机组用水效率比较	13
图 2-5 钢铁行业技术进步相关指标对数图	14
图 2-6 钢铁行业用水概况	16
图 2-7 钢铁行业单位用水比较	16
图 2-8 造纸行业技术进步相关指标对数图	17
图 2-9 造纸行业用水概况	18
图 2-10 造纸行业单位用水比较	19
图 2-11 造纸行业典型产品单位取水量比较	19
图 2-12 主要纺织产品产量增长情况	22
图 2-13 印染布单位用水比较	23
图 2-14 石化行业技术进步相关指标对数图	25
图 2-15 加工吨原油用水比较	26
表 2-1 国内先进制浆造纸生产线不同产品取水量	21
专栏 2-1 不同工艺造纸企业节水技术应用现状	20
第3章 工业节水潜力分析和综合评价的方法学概论	29
图 3-1 工业用水系统示意图	42
图 3-2 模型结构示意图	44
图 3-3 模型部门结构示意图	45
图 3-4 IWCPA 模型中具工业节水潜力的技术分类	47

图 3-5	火电行业产品、工序和技术匹配示意图	51
图 3-6	工业需水和节水潜力运算示意图	64
图 3-7	IWCPA 模型运行界面	66
图 3-8	IWCPA 模型对部分行业的输出结果	67
表 3-1	不同建模方式的能源模型比较	40
表 3-2	不同研究方法的特征比较	41
表 3-3	模型选取技术一览表	47
表 3-4	IWCPA 模型参数一览表	50
第 4 章	中国工业用水情景分析和节水潜力估算	69
图 4-1	基于 IWCPA 模型的工业节水潜力情景分析过程示意图	69
图 4-2	情景设置示意图	70
图 4-3	产量预测变化趋势设定	72
图 4-4	未来中国工业各情景需水总量预测	75
图 4-5	高耗水行业共性技术的技术节水量 (中方案)	76
表 4-1	高耗水行业主导产品产量预测	72
表 4-2	高耗水行业的情景设计比较	73
表 4-3	各情景未来需水总量估算结果	75
表 4-4	高耗水行业中废水回用技术在未来各情景下的技术节水量	77
表 4-5	高耗水行业中空冷技术在未来各情景下的技术节水量	78
表 4-6	补充水率随浓缩倍率的变化	79
表 4-7	高耗水行业中循环水高浓缩倍率技术在 未来各情景下的技术节水量	79
表 4-8	高耗水行业中海水利用技术在未来各情景下的技术节水量	82
表 4-9	华能北京热电厂污水回用总运行成本	85
表 4-10	高耗水行业中城市污水再生利用技术在 未来各情景下的技术节水量	85
专栏 4-1	循环水分级浓缩串联补水技术在电力行业的应用	80
专栏 4-2	《海水利用专项规划》相关内容节选	82
第 5 章	分行业用水情景设置和节水潜力估算	87
图 5-1	未来火电行业发电量设定	88
图 5-2	未来各规模机组发电比例设定	91
图 5-3	火电行业未来技术应用趋势	92
图 5-4	各情景单位发电量取水计算结果	93
图 5-5	火电行业各情景需水量	93