

能源电力规划 工程原理与应用

潘 霄 著

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书是作者在组织和参加辽宁省发改委下达“十三五”能源发展规划重大项目以及编制《辽宁省“十三五”能源发展规划》《辽宁省“十三五”电力发展规划》等重大工程实践中,运用能源电力规划工程系统动力学原理模型、能源电力规划工程“阶段性、时效性、持久性”总体建设策略,并指导能源电力规划工程实践取得成功经验,以及在工程应用理论和实践成果的基础上编著的。

全书分10章,主要内容包括国内外能源电力现状与发展趋势,我国能源安全和能源战略及发展方向、能源电力规划工程基本原理、能源电力规划工程技术领域基础知识及最新技术、能源电力规划信息平台与应用、能源规划工程技术与应用、电力规划工程技术与应用、电网规划工程技术与应用、大型电力企业规划工程与应用、能源电力规划工程项目管理与应用以及在能源电力规划工程实践中成功的案例。

本书系统地总结了运用最新能源电力规划工程理论和最新研究成果,组织和参加能源电力规划工程实践取得的成功案例。读者通过本书可以学习能源电力规划工程理论和基础知识,也可以通过大量实例掌握能源电力规划工程组织、管理和技术实现方法及系统应用案例。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

能源电力规划工程原理与应用 / 潘霄著. — 北京:清华大学出版社, 2017
ISBN 978-7-302-47029-8

I. ①能… II. ①潘… III. ①电力系统规划—研究—中国 IV. ①F426.61

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 080693 号

责任编辑:杨如林

封面设计:杨玉兰

责任校对:徐俊伟

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:18 字 数:382千字

版 次:2017年6月第1版 印 次:2017年6月第1次印刷

印 数:1~3500

定 价:39.00元

产品编号:073789-01

前言

自工业化以来的近三百年间，世界能源工业飞速发展，有力支撑了全球经济与社会发展。人类对能源的利用，从薪柴到煤炭、石油、天然气等化石能源，再到利用水能、风能、太阳能等清洁能源发电，每一次变迁都伴随着生产力的巨大飞跃和人类文明的重大进步。在这个过程中，传统化石能源的大量开发使用导致的资源紧张、环境污染、气候变化等问题日益突出，严重威胁着人类生存和可持续发展。全球化石能源资源有限，能源资源与能源消费分布不均衡，能源开发越来越向少数国家和地区集中，一些资源匮乏国家的能源对外依存度不断提高，能源安全问题十分严峻。

新中国能源电力工业发展的历程，大致可以分为三个阶段。

第一个阶段是1949—1978年，即计划经济时期。这一阶段能源电力工业发展的突出特点是以生产为导向，重在开发，以煤为主，自给自足。煤炭在终端消费中的比重长期保持在70%以上，石油和电力合计为25%左右。

第二个阶段是1979—2002年，即从改革开放到党的十六大。这一阶段能源电力工业发展的突出特点是以效率为导向，开发与节约并重，能源开发以电为中心、煤为基础、多元发展。煤炭在终端消费中的比重逐步降至50%左右，石油和电力合计为40%左右。期间，我国于1993年由石油净出口国变为净进口国。

第三个阶段是2003年至今。这一阶段能源电力工业发展的突出特点是以可持续发展为导向，节能减排要求贯穿能源开发、输送、消费的全过程。新能源开发和国际能源合作受到高度重视，能源开发、利用、配置、消费等方式发生了深刻变化，能源电力结构在不断地调整优化。

能源电力作为现代化的动力，关系到国计民生、关系到人类福祉。以新一轮能源电力变革为契机，加快建立安全可靠、经济高效、清洁环保的现代化能源电力供应体系，成为世界各国共同的战略目标。“规划的节约是最大的节约，规划的浪费是最大的浪费”逐步成为人们的普遍共识。世界发达国家采用的是随着经济社会的发展，由政府指导、法律约束、社会广泛参与的能源电力规划。我国的规划是随着计划经济时代的国民经济和社会发

展五年计划，逐步转变为社会主义市场经济时代的国民经济和社会发展五年规划。能源电力规划是依据一定时期的国民经济和社会发展规划，预测相应的能源需求，从而对能源电力的结构、开发、生产、转换、使用和分配等各个环节做出的统筹安排。近年来，我国不断加强能源电力规划体系建设，国务院办公厅关于印发《能源发展战略行动计划（2014—2020年）》国办发〔2014〕31号，国家发展和改革委员会、国家能源局关于做好电力项目核准权限下放后规划建设有关工作的通知 发改能源〔2015〕2236号，国家能源局关于印发《省级能源发展规划管理办法》的通知 国能规划〔2016〕46号，国家能源局关于印发《电力规划管理办法》的通知 国能电力〔2016〕139号等文件为规范能源电力规划工程管理、提高规划质量，发挥了十分重要的作用。

作者在组织和参加辽宁省发展和改革委员会下达辽宁省“十三五”能源发展规划重大课题研究，编制《辽宁省“十三五”能源发展规划》《辽宁省“十三五”电力发展规划》等重大项目中，提出了能源电力规划工程系统动力学原理模型、能源电力规划工程“阶段性、时效性、持久性”总体建设策略，以及规划项目全生命周期管理方法等，又本着力求反映能源电力规划最新发展理论与工程实践相结合的原则，通过能源电力规划工程实际成功案例，针对能源电力规划工程领域理论及工程技术问题提出了相应的解决方案。

本书分为10章，第1章绪论，介绍了国内外能源电力规划工程发展趋势，我国能源电力规划领域重大政策及发展方向；第2章介绍了能源电力规划工程技术基本理论及最新研究成果；第3章介绍能源电力规划工程基础知识及最新技术；第4章介绍国家能源安全与发展战略；第5章介绍能源电力规划信息平台与应用；第6章介绍能源规划工程技术与应用；第7章介绍电力规划工程技术与应用；第8章介绍电网规划工程技术与应用；第9章介绍大型电力企业规划工程与应用；第10章介绍能源电力规划工程项目管理与应用，以及在工程实践中成功的案例。

本书特点是系统总结了能源电力规划工程理论和最新研究成果，运用社会发展系统动力学原理，提出能源电力规划工程系统动力学原理模型、能源电力规划工程“阶段性、时效性、持久性”总体建设策略项目全生命周期管理方法以及组织和参加能源电力规划工程实践取得的成功案例。本着力求反映能源电力规划发展理论与工程实践相结合的原则，通过能源电力规划工程实际案例，针对能源电力规划工程领域的工程技术问题提出了相应的解决方案。读者通过本书既可以学习到能源电力规划工程的理论和基础知识，在能源、电力、电网、电力企业规划、能源电力规划信息平台建设及能源电力规划工程中的最新技术，也可以通过大量实例掌握能源电力规划工程组织、管理和技术实现的方法，是一本介绍能源电力规划工程原理与应用方面的工具书。此外，本书还可作为高等院校、能源电力等行业的培训教材，以及企事业单位从事能源电力规划工程原理与应用工作的领导、管理人员、工程技术人员的参考用书。

衷心感谢辽宁省电力有限公司经济技术研究院领导和规划评审中心的同事们对本书的

编著出版所提供的大力支持，衷心感谢辽宁省电力有限公司科技信通部、发展策划部、哈尔滨工业大学的领导和老师们的指导帮助。由于时间仓促，作者水平有限，书中的内容难免有不妥之处，敬请读者批评与指正。

潘 霄

2017年3月于沈阳

目 录

第1章 绪论	1
1.1 背景及意义	2
1.2 国内外能源电力及发展规划历程	3
1.2.1 我国国民经济和社会发展的变迁与发展	3
1.2.2 国内外能源电力规划发展历程及展望	5
1.3 新常态下我国能源电力规划工程重大举措	9
1.3.1 能源发展战略行动计划（2014—2020年）	9
1.3.2 国家推进电能替代的方针政策	15
1.3.3 我国全面实施电力规划管理办法	18
1.4 新时期能源电力规划工程面临的形势	23
1.4.1 能源电力发展面临转型升级的新机遇	23
1.4.2 市场经济条件下中长期规划的新思路	27
1.4.3 能源电力规划工程面临的形势及主要问题	30
第2章 能源电力规划工程基本理论	34
2.1 能源电力规划工程的基本概念	35
2.1.1 能源电力规划工程系统动力学原理模型	35
2.1.2 能源电力规划工程要处理的八大关系	37
2.1.3 系统工程理论在电力规划工程中的应用	42
2.2 能源规划工程理论及方法论	46
2.2.1 能源规划工程的基本概念	46
2.2.2 能源规划工程的目标及分类	46

2.2.3	能源规划工程的内容原则	49
2.2.4	能源规划工程的实施步骤	51
第3章	能源电力规划工程基础知识	54
3.1	能源与新能源基础知识	55
3.1.1	能源电力的基本定义	55
3.1.2	化石能源	56
3.1.3	清洁能源	58
3.2	能源电力行业发展面临的形势与挑战	60
3.2.1	我国电力供需形势分析	60
3.2.2	我国新能源发展与展望（2016—2020年）	65
3.3	能源电力与绿色发展	68
3.3.1	能源电力规划与绿色发展	68
3.3.2	绿色发展与经济社会发展	71
3.3.3	绿色经济与绿色能源	73
第4章	国家能源安全与发展战略	77
4.1	中国能源安全与发展战略面临的新挑战	78
4.1.1	能源安全与发展战略的基本概念	78
4.1.2	国内外能源安全“三要素”比较分析	80
4.1.3	我国能源安全面临的主要挑战	81
4.2	世界主要发达国家能源战略的演变及趋势	82
4.2.1	美国通过立法推动能源战略转型	82
4.2.2	法国实施3E能源政策	84
4.2.3	德国不断进行能源结构调整	85
4.2.4	日本通过政策设计约束能源发展	86
4.2.5	英国推动市场化低碳经济	87
4.3	世界能源展望（2016—2030年）	88
4.3.1	人口增速正在放缓，能源效率加速提高	88
4.3.2	消费增长日益依靠非化石燃料	89
4.3.3	液体燃料需求增速逐步放缓	90
4.4	能源战略与能源安全	91

4.4.1	全球能源格局与能源发展趋势	92
4.4.2	中国能源现状及面临的困难	93
4.4.3	中国能源需求对策与战略设计	95
4.5	中国的能源安全与能源战略	97
4.5.1	科学供给满足合理的需求	97
4.5.2	尊重能源开发与能源消费规律	98
4.5.3	我国能源安全与发展战略的展望	101
第5章	能源电力规划信息平台与应用	104
5.1	能源电力规划信息平台基础知识	105
5.1.1	信息技术与信息科学	105
5.1.2	信息工程的基本原理	107
5.1.3	PEST分析模型	108
5.1.4	SWOT分析模型	110
5.2	电网规划基础数据库的设计方法	112
5.2.1	规划基础数据存在的主要问题	112
5.2.2	需求分析与平台目标	113
5.2.3	基础数据库设计方案	116
5.2.4	数据库平台的主要功能	119
5.2.5	电网规划基础数据库实施方案	121
5.3	辽宁电力规划信息平台实施案例	122
5.3.1	ERP计划管理模块与规划计划系统	122
5.3.2	大规划与“四大平台”系统的建设与应用	128
第6章	能源规划工程技术与应用	133
6.1	能源规划的基础知识	134
6.1.1	能源规划工程的基本概念	134
6.1.2	全球能源互联网及其关键技术	135
6.1.3	世界能源分布情况与发展趋势	136
6.2	国家“十三五”能源规划工程策略	140
6.2.1	我国省级能源发展规划管理办法	140
6.2.2	推进“互联网+”智慧能源发展重点任务	143

6.2.3	新常态下能源规划工程的新挑战	149
6.3	辽宁省“十三五”能源发展规划案例	151
6.3.1	辽宁省能源工业发展现状	151
6.3.2	辽宁省能源发展形势分析	154
6.3.3	能源供需总量及结构预测分析	155
6.3.4	能源发展的战略方针及目标	157
6.3.5	“十三五”能源规划的重点任务	158
第7章	电力规划工程技术与应用	163
7.1	电力规划工程技术基础知识	164
7.1.1	电力系统规划设计原理	164
7.1.2	优化理论在电力规划和需求侧管理中的应用	166
7.1.3	系统工程理论与电力规划设计方法	168
7.2	电力规划工程应用技术与方法	172
7.2.1	电力市场条件下的电力规划工程	172
7.2.2	电力系统综合负荷预测技术	175
7.2.3	2020年我国电力发展规划与预测	179
7.3	辽宁省“十三五”电力发展规划案例	180
7.3.1	辽宁省电力工业发展环境分析	180
7.3.2	电源建设空间分析及规划方案	183
7.3.3	电网发展规划原则与实施方案	185
7.3.4	“十三五”期间电力发展主要措施	186
第8章	电网规划工程技术与应用	187
8.1	电力网络规划设计基本知识	188
8.1.1	电力网络规划设计基本方法	188
8.1.2	配电网规划分区电力负荷预测方法	191
8.1.3	电网规划设计的基本要求	194
8.2	城乡配电网规划工程技术规范	200
8.2.1	城乡配电网规划基本规划要求	201
8.2.2	城乡配电网规划技术原则	202
8.2.3	高压配电网	204

8.2.4	中压配电网	206
8.2.5	低压配电网	208
8.2.6	用户接入	209
8.2.7	分布式电源接入	210
8.2.8	配电网智能化	210
8.3	辽宁省“十三五”电网发展规划案例	211
8.3.1	电网发展概况	211
8.3.2	电力需求预测分析	212
8.3.3	能源布局和电力流	212
8.3.4	电网规划指导思想、总体思路和发展目标	213
8.3.5	主网架规划	215
8.3.6	220千伏电网规划	216
8.3.7	配电网规划	217
第9章	大型电力企业规划工程与应用	220
9.1	企业战略规划理论与方法	221
9.1.1	企业战略规划的基本概念	221
9.1.2	战略规划的制订原则、方式和内容	222
9.1.3	制订战略规划的步骤及评估方法	223
9.1.4	企业战略规划的21步法	225
9.2	企业规划管理及质量优化方法	227
9.2.1	大型企业集团公司规划管理工作办法	227
9.2.2	编制战略规划的优化方法	231
9.2.3	规划企业愿景的方法论框架	234
9.3	大型电力企业“十三五”发展规划案例	236
9.3.1	企业“十三五”发展规划编制概况	236
9.3.2	企业发展面临的形势和挑战	237
9.3.3	“十三五”期间企业发展规划的重点任务	238
9.3.4	“十三五”规划效果分析	243
9.3.5	“十三五”规划实施风险分析	244

第10章 能源电力规划工程项目管理与应用	246
10.1 能源电力规划项目管理基础理论	247
10.1.1 能源电力规划工程的基本特征	247
10.1.2 “阶段性、时效性、持久性”总体实施策略	250
10.1.3 能源电力规划工程总体实施策略模型	251
10.2 能源电力规划工程策略与管理规范	254
10.2.1 电力规划研究工作管理办法	254
10.2.2 电力发展规划工程管理工作指南	258
10.2.3 火电、电网项目规划建设管理规定	261
10.3 能源电力规划工程项目管理典型案例	265
10.3.1 项目及项目管理的基本概念	265
10.3.2 能源电力规划工程的项目管理	267
10.3.3 能源电力规划项目计划的综合论证	268
10.3.4 能源电力规划项目立项前期准备	270
10.3.5 能源电力规划工程过程管理	270
参考文献	273

第1章 绪论



世界各国正在将能源安全与能源战略上升到国家战略级别，在新常态下能源电力规划工程正在发生着重大转变。我国能源电力规划领域的重大政策及发展方向关系到国民经济和社会发展以及人民生活，也使得能源电力行业面临巨大的挑战和优化发展的重大机遇。

1.1 背景及意义

我国正在经历国民经济和社会发展的重大转折关键历史时期，两个一百年中国梦宏伟的目标，激励着亿万中国人为之奋斗。科学合理的能源电力规划工程将为助力能源电力健康发展，推动国家国民经济和社会发展稳步前进做出重要贡献。

能源供应和安全事关我国现代化建设全局。2013年，我国单位国内生产总值二氧化碳排放比2005年下降了28.5%，非化石能源在一次能源中的比重提高到9.8%，水电装机容量、风电装机容量、核电在建规模、太阳能热水器集热面积、农村沼气用户量均居世界第一位。国家应对气候变化规划（2014—2020年）明确提出，到2020年，我国要实现单位国内生产总值二氧化碳排放比2005年下降40%~45%、非化石能源占一次能源消费的比重达到15%左右。从2016年开始，我国大力推进供给侧结构性改革，主动调节供求关系，要用5年时间再压减粗钢产能1亿~1.5亿吨，用3到5年时间再退出煤炭产能5亿吨左右、减量重组5亿吨左右，中国单位国内生产总值用水量、能耗、二氧化碳排放量将分别下降23%、15%、18%。能源电力行业面临巨大的挑战，也是优化发展的重大机遇。

能源电力规划工程是依据一定时期的国民经济和社会发展规划，预测相应的能源需求，从而对能源电力的结构、开发、生产、转换、使用和分配等各个环节做出的统筹安排。国家或地区的能源电力规划最重要的是要加强能源需求预测和能源开发供应预测，做好能源统计和分析工作，对能源开发和节约的规划工作应加强可行性研究和技术经济论证，为正确做出决策提供科学依据。能源电力是国民经济发展的物质基础，能源电力是国家国民经济和社会发展的先行行业，因此，能源电力的发展与国民经济的发展必须保持适当的比例。在国民经济总体规划中，能源电力的发展既由国民经济发展所决定，同时对国民经济的发展也有促进和制约作用。能源电力规划工程应用研究对能源电力规划的编制与实施具有十分重大的现实意义和深远的历史意义。

1.2 国内外能源电力及发展规划历程

本节介绍的主要内容包括世界发达国家能源电力及发展规划经历的历程，我国国民经济和社会发展五年计划变迁与发展以及对能源电力规划的启示。

1.2.1 我国国民经济和社会发展的变迁与发展

我国的五年计划，后改称五年规划，全称为中华人民共和国国民经济和社会发展五年计划，是中国国民经济计划的重要部分，属中长期计划。回顾五年计划/规划的历史，不仅能描绘我国建国以来经济发展的大体脉络，也能从中探索中国经济发展的规律，从而指导未来的经济发展。

1. 十个“五年”计划回顾

中国从1953年开始第一个“五年计划”，编制了十个“五年计划”。从“十一五”起，“五年计划”改为“五年规划”。

注：除1949年10月到1952年底为中国国民经济恢复时期和1963年至1965年为国民经济调整时期外。

“一五”计划，1953—1957年发展国民经济的计划。“一五”计划时期，完成基本建设投资总额550亿元，新增固定资产460.5亿元，相当于1952年底全国拥有的固定资产总值的1.9倍。工业总产值比1952年增长128.6%，五年合计钢产量1656万吨，等于旧中国从1900年到1948年的49年间钢的总产量760万吨的218%，煤产量达到1.31亿吨，比1952年增长98%；工业产值所占比重由1949年的30%提高到56.5%，重工业的比重由26.4%提高到48.4%。1957年粮食产量达到3901亿斤，棉花产量达到3280万担，都超额完成计划。

“二五”计划，1958—1962年发展国民经济的计划。1956年9月召开的党的“八大”通过《关于发展国民经济的第二个五年计划的建议的报告》。“二五”计划时期，工业产值增长一倍左右，农业总产值增长35%，钢产量1962年达到1200万吨，基本建设投资占全部财政收入的比重由“一五”时期的35%增长到40%左右，基本建设投资总额比“一五”时期增长一倍左右，职工和农民的平均收入增长25%到30%。

“三五”计划，1966—1970年发展国民经济计划。“三五”计划时期，工农业总产值增长16.2%，农业总产值增长2.2%，工业总产值增长21.1%，煤炭开采6806万吨，发电机组容量860.4万千瓦，石油开采2777万吨，炼钢652.7万吨，铁矿开采3590.1万吨，合成氨244.4万吨，化肥204.16万吨，水泥1533万吨，新建铁路交付营业里程3894公里，新建公路31223公里，沿海港口吞吐能力1191万吨。

“四五”计划，1971—1975年发展国民经济计划。1971年3月，中共中央在批转1971年计划时，《“四五”计划纲要（草案）》的部分指标也作为附件下发。“四五”计划时期，工农业总产值完成计划的101.7%，其中农业完成104.5%，工业完成100.6%。具体包括粮食103.5%、棉花96.5%、钢79.7%、原煤109.5%、原油110.1%、发电量103.1%、铁路货运量98.7%，预算内基本建设投资完成101.6%，财政收入完成98%。

“五五”计划，1976—1980年发展国民经济计划。1975年，中共中央制定了《1976—1985年发展国民经济十年规划纲要（草案）》，“五五”计划提出后三年（1978—1980），建立独立的比较完整的工业体系和国民经济体系。“五五”计划时期，1978年社会总产值为6846亿元，比1977年增长13.1%，1978年国民生产总值达到3010亿元，比1977年增长12.3%，比1976年增长19.4%。财政收入和支出连续两年大幅度增加，扭转了1974—1976年连续三年财政赤字、财政收支恶化的状况。

“六五”计划，1981—1985年发展国民经济计划，是按照党的十二大提出的到本世纪末（20世纪末）经济建设的战略部署制定的，是继“一五”计划后的一个比较完备的五年计划。“六五”计划时期，工农业总产值平均每年增长11%，国民生产总值1985年达到7780亿元，与1980年相比，平均每年增长10%。1985年与1980年相比，钢产量增长26.1%，煤炭增长37.1%，发电量增长35.8%，原油增长17.9%，粮食产量年均增长21.4%，棉花增长92.8%。财政收入平均每年增加159亿元，年递增12%，实现了财政收支平衡。

“七五”计划，1986—1990年国民经济和社会发展规划，《中共中央关于制定国民经济和社会发展规划第七个五年计划的建议》，六届人大四次会议审议批准。在一个新的五年计划刚刚起步的时候，国家就制订出了完整的经济和社会发展规划，这在我国社会主义计划经济史上是第一次。“七五”计划时期，我国各项主要经济生产指数分别达到：粮食42500万吨，棉花425万吨，发电量5500亿度，原煤10亿吨，原油1.5亿吨，钢5800万吨，全社会各种货运量94亿吨，全社会固定资产投资12960亿元。

“八五”计划，1991—1995年国民经济和社会发展规划。“八五”计划期间取得的最大成就是提前五年完成了到2000年实现国民生产总值比1980年翻两番的战略目标。国民生产总值达到57600亿元，扣除物价因素，是1980年的4.3倍。总量居世界第一位的有煤炭、水泥、棉布、电视机、粮食、棉花、肉类；居世界第二位的是钢和化学纤维；发电量居世界第三位。“八五”期间全社会固定资产投资累计完成38900亿元，年均增长17.9%，比“七五”高13.6个百分点，其中国有单位投资年均增长22.9%，高于“七五”年均4.1%的水平。

“九五”计划，1996—2000年国民经济和社会发展规划，中共十四届五中全会通过了《关于国民经济和社会发展规划“九五”计划和2010年远景目标建议》。“九五”期间，中国经济与社会全面发展，顺利完成了社会主义现代化建设的第二步战略目标，在1997年比预期目标提前3年实现了人均国民生产总值比1980年翻两番的目标，5年间，国内生产总值（GDP）年平均增长8.3%，大大高于世界平均3.8%的增长速度，人民生活总体上达到了

小康水平，为进一步实现第三步战略目标奠定了良好的基础。

“十五”计划，2001—2005年国民经济和社会发展规划，是社会主义市场经济体制下的第一个五年计划。2005年，全年国内生产总值达到18.23万亿元，比上年增长9.9%；财政收入突破3万亿元，增加5232亿元；中国经济保持8.8%的年均增速；青藏铁路全线贯通，神舟六号载人航天飞行圆满成功，标志着我国在一些重要科技领域达到世界先进水平。城镇新增就业970万人；城镇居民人均可支配收入达到10493元，农村居民人均纯收入达到3255元，扣除价格因素，分别增长9.6%和6.2%。

2. “五年”计划改为“五年”规划历程

“十一五”规划，2006—2010年国民经济和社会发展的规划。从“十一五”起，国家将“五年计划”改为“五年规划”。

“十一五”以来，在国民经济年均增长超过10%的推动下，中国经济总量不断扩大。2010年国内生产总值超过39.8万亿，经济总量由“十五”期末的第4位，上升到第2位。二产增加值占GDP的比重由2005年的47.7%下降到2010年的46.9%，服务业占GDP的比重由2005年的40.3%上升到2010年的43.0%。从就业看，服务业就业比重呈上升趋势，由2005年的31.4%增加到2009年的34.1%。2009年中央财政“三农”支出是2005年的2.5倍，中央政府投资中用于农业和农村的比重超过40%。

“十二五”规划，2011—2015年国民经济和社会发展规划。期间国内生产总值年均增长7%，城镇新增就业4500万人，城镇登记失业率控制在5%以内，服务业增加值占国内生产总值比重提高4个百分点；研究与试验发展经费支出占国内生产总值比重达到2.2%，每万人口发明专利拥有量提高到3.3件；非化石能源占一次能源消费比重达到11.4%；单位国内生产总值能源消耗降低16%，单位国内生产总值二氧化碳排放降低17%；主要污染物排放总量显著减少，化学需氧量、二氧化硫排放量分别减少8%，氨氮、氮氧化物排放分别减少10%；森林覆盖率提高到21.66%，森林蓄积量增加6亿立方米。

1.2.2 国内外能源电力规划发展历程及展望

能源电力规划工程是促进能源电力工业健康发展的复杂的系统工程。长期以来，能源电力规划工程成功实践并支撑了中国能源电力工业的快速发展，面对能源电力规划工程所承担的重大历史使命，借鉴发达国家能源电力规划成功的经验与失败的教训，提高我国在社会主义市场经济条件下能源电力规划工程质量是十分有益的。

1. 美国电力市场与电力规划的特点

1992年之前，美国电力工业由200多个私营电力公司和约3000个公共电力实体组成。

私营电力公司拥有特定区域内的垄断经营权，为全国75%的电力负荷提供发输配售一体化服务。1992年美国国会制定《能源政策法》要求放开电力输送领域，标志着电力市场正式启动。根据联邦和州政府分权原则，各州政府有权自主决定改革方案和具体进度。美国的电力规划有以下特点：

1) 重视电力需求预测工作

美国能源信息署（EIA）负责整合石油、天然气、煤炭和电力等各部门信息，将电力工业作为能源生产、运输和消费路径之一进行综合规划，把电力需求预测作为能源需求预测的一部分加以考虑，规划期长达25年。

2) 电源建设由投资主体自主决策

电力市场化改革前，电源规划由各州主导，只有核电项目和水电项目需要联邦机构许可。电力市场化改革实施后，电源建设不再由各州PUC规划决策，在哪里建、何时建、建什么类型以及是否建电源都围绕着市场价格来决定。市场价格信号引导电源投资，发挥着传统电源规划的职能。

3) 电网发展规划流程公开、规范

NERC作为美国电力可靠性组织，负责制定发电和输电系统可靠性标准，每年发布长期可靠性评估报告（规划期为10年），指导电力公司新增发电容量和扩展输电项目，协调各区域输电网发展规划。区域输电网发展规划则由ISO或RTO负责，制订的规划编制流程与方法经各州PUC审核后公开发布，电力公司充分参与规划编制，按照规划方案负责实施。

2. 欧盟电力规划发展历程

1996年，欧盟发布《电力市场化改革法令》（96法令），要求各成员国实施电力市场改革，开放用户选择权，推进欧盟统一市场的建立，于2003年再次发布《电力市场化改革第二法令》（03法令），加大了推进欧盟统一市场的建设力度。欧盟委员会分别于2007年、2008年发布有关电力和天然气市场化改革的“第三议案”草案和“独立输电运行机构”方案的协议，从而实现彻底的产权拆分。2015年，欧盟正式宣告欧洲能源联盟正式成立。

英国电力市场从20世纪90年代开始改革以来，先后经历了从全电量竞价的强制性竞争市场POOL模式向双边交易模式为主的NETA交易机制，再从NETA转变为BETTA形成覆盖英格兰、苏格兰和威尔士的大英国市场，由英国电网公司统一负责系统调度交易和平衡市场运营，由APX等多家电力交易所负责双边交易外的其他电力交易。2011年7月，英国能源部正式发布了《电力市场化改革白皮书（2011）》。2013年，英国颁布了《2013年能源法案》，开始主要内容为低碳电源引入固定电价和差价合同结合机制、建立碳排放性能标准和容量市场的新一轮电力市场化改革。

法国于2000年正式开始电力市场化改革,在保持垂直一体化结构的前提下,在发电和售电侧引入竞争。目前法国输电网由EDF全资子公司RTE负责运行和平衡市场,其经营管理独立于EDF。在发电环节,有五家大型发电公司,其中EDF的市场份额占90%以上。PowerNext则负责市场交易,包括电力期货交易、日前市场和碳排放市场。

德国电力市场改革起步于1998年,但相对进展缓慢。自2004年正式成立电力市场监管部门后,改革步伐有所加快。目前,德国有近1100家电力公司,其中四大电力公司(E.ON、RWE、Vattenfall和EnBW)占全德发电市场80%和零售市场50%的市场份额。E.ON于2007年收到欧盟反垄断调查,2009年被迫将输电网出售,只保留发电、配电和售电业务。2010年,Vattenfall将其子公司50Hertz出售给比利时输电公司Elia和澳大利亚产业基金IFM。RWE于2011年7月出售其子公司Amprion的74.9%的股份。德国输电网分别由EnBW、TenneT、Amprion和50Hertz分区域调度运营,电力期货交易和日前现货交易主要是由欧洲最大电力市场交易所EEX负责进行。

3. 我国电力规划发展历程

1997年12月,在新中国成立40多年后,电力工业部编制和颁布了有关电力规划工作的第一部《原则》,即《电力发展规划编制原则》。过了近20年,2016年5月国家能源局颁布了《电力规划管理办法》。近20年来,国家层面的国民经济和社会发展五年计划(规划)纲要均按时发布,而电力规划目前查到的只有1996年电力部计划司出版的《电力工业九五计划汇编集》和2001年由国家经贸委发布的“十五”电力规划,其他电力规划均没有查到。

1949—2015年,我国共实施了12个五年计划。“一五”到“五五”,发电量预测年均增速都在10%以上,最高为23.3%,而预测偏差最大只有4.4个百分点,预测速度偏差为18.9%。在计划经济体制下,电力计划实质上是一种政府配置资源的手段。纳入计划的电力项目,由国家统一安排建设资金并控制建设进度。电力计划的执行结果主要取决于国家计划资金的落实情况。

“六五”到“九五”,发电量预测年均增速调整到7%以下,除“九五”外,实际增速均高于预期。偏差最大时在“八五”期间,预测年均增速6.6%,实际为10.2%,预测偏差3.6个百分点,预测速度偏差为54.5%。这一时期,我国开始由计划经济向市场经济转变,电力工业管理逐步引入市场经济办法,国家鼓励地方、部门和企业投资建设电厂,并在“九五”期间结束了我国长期缺电的历史。由于1997年出现亚洲金融危机,国内电力投资热潮受到影响,政府采取有力措施限制电源建设,有效解决了这一时期规划调节不灵,预测偏差过大的问题。

进入本世纪,特别是2001年我国加入世贸组织以后,市场经济快速发展,电力工业管理体制沿着市场化改革方向不断深入。然而在“十五”期间,电力规划预测目标严重偏

低，发电量预测年均增速5.2%，实际为13%，偏低7.8个百分点，预测速度偏差为150%。2005年全国发电量25003亿千瓦时，装机容量51718万千瓦；而在电力工业“十五”规划中，上述指标仅为17500亿千瓦时和3.9亿千瓦，装机总量相差1.27亿千瓦。

由于未见正式发布电力工业“十一五”和“十二五”规划，根据有关部门所做的研究成果，预测2010年全国装机容量为7.54亿千瓦，实际达到9.66亿千瓦，装机总量高出了2.1亿千瓦，相当于1995年全国装机的总和。“十二五”期间，受到2008年全球金融危机波及，以及我国经济发展逐步进入“新常态”，国家大力推进“能源革命”和“节能优先”发展战略，电力需求增速明显趋缓。装机容量在发展惯性等因素影响下，完成了14.9亿千瓦规划目标。“十二五”期间电力发展情况与“九五”类似，基本上是一种紧急刹车后的惯性结果，如果没有这个急刹车，预测误差将会更大，目前全国的装机富余情况将更加严重。

中国电力工业在总量上已经超过美国成为世界第一，电力规划系统工程如何改变以适应未来的能源革命及国家社会发展和国民经济的需要，没有现成的经验可以照搬。美国电力工业总量与我们最为接近，更为重要的是，美国市场经济比较完善，电力市场已经建立20多年；而我国电力工业的改革和发展没有跟上市场经济发展的步伐。在市场已经在资源配置中起越来越重要的基础性、决定性作用时，我国的电力规划系统工程观念、思路、管理体制、规划内容、方法，没有及时加以改变和调整。

4. 我国电力规划发展展望

中国电力工业一大特点是煤炭的基础地位。根据国家统计局数据，2016年1~6月全国发电量为27595亿千瓦时，其中火电占比74.6%。而美国2016年4月份各资源发电量占比为：煤炭25%、天然气35%、核电21%、可再生能源19%。第二大特点是我国资源分布与经济发展不均衡，“北电南送”“西电东送”是规划必须考虑的问题，而美国不存在这个问题。但中美两国在电力规划方面，存在更大的共同背景，一是电力市场化的改革方向，二是共同面临能源革命的机遇和挑战。

对我国电力规划发展的展望：

1) 进一步加强电力需求侧预测

电力需求预测与国民经济和社会发展密切相关，与能源需求密切相关，对规划人员的专业要求与电源和电网规划有很大不同。要把电力需求预测作为一项独立的工作，与电源和电网规划分开进行。

2) 调整电源规划重点

尽快建立和完善电力市场，放开电价，实行竞价上网，通过市场价格信号引导电源建设，提高电力系统的整体运行效率和效益。预计2016年火电利用小时很可能降至4000小时以下，如果视5000小时为正常的话，那就意味着有大约20%火电设备没有被利用，目前全国火电总装机约10亿千瓦，20%就是2亿千瓦。进一步加强全国的电源规划，突出总量平

衡, 突出跨区、跨省送电项目, 突出电源结构合理性, 突出新能源、分布式电源、储能技术等战略性问题。

3) 进一步完善和加强电网规划

加强国家层面的电网规划, 中长期电网规划应包括电源规划的内容, 将电力系统作为一个整体来考虑, 加强电力系统的战略性问题研究。例如, 未来中国电网的互联格局, 更高一级电压等级的必要性, “西电东送” “北电南送” 等远距离送电的发展前景, 风电、太阳能、分布式能源、储能技术、智能电网、能源互联网等因素可能对未来中国电网格局产生极其重要的影响, 这些问题仅仅靠五年规划是难以回答的。加强电网规划编制工作的规范性和公开性。

4) 电力规划必须纳入国家能源规划

常年进行全国的电力需求侧预测、电源规划和电网规划, 每年出版下一年度的电力需求侧预测报告, 同时修订五年规划的电力需求侧预测、电源规划和电网规划报告, 中长期电力规划报告每三年或五年修订出版。电力规划的最大效益是全社会的, 是一项极其重要的系统工程。必须有专门的电力规划机构进行五年规划的电力需求侧预测、电源规划和电网规划, 中长期电力规划报告编制, 在市场对资源配置起决定性作用的条件下, 创造性地做好能源电力规划。

“规划的节约是最大的节约, 规划的浪费是最大的浪费”。能源电力规划为了适应能源革命和电力市场化的改革方向, 需要进一步转变观念, 对现有的管理方式、管理体制、规划方法、工作内容等作出较大的改变, 否则将难以回答中国电力工业发展的宏观性和战略性的问题, 也难以避免今后的电力规划预测偏差过大或者发布不及时的情况。

1.3 新常态下我国能源电力规划工程重大举措

本节介绍的内容包括我国能源发展战略行动计划(2014—2020年)及主要任务, 国家推进电能替代的方针政策 and 我国全面实施电力规划管理办法等。

1.3.1 能源发展战略行动计划(2014—2020年)

1. 增强能源自主保障能力

1) 推进煤炭清洁高效开发利用

按照安全、绿色、集约、高效的原则, 加快发展煤炭清洁开发利用技术, 不断提高煤

炭清洁高效开发利用水平。清洁高效发展煤电。转变煤炭使用方式，着力提高煤炭集中高效发电比例。提高煤电机组准入标准，新建燃煤发电机组供电煤耗低于每千瓦时300克标准煤，污染物排放接近燃气机组排放水平。

提高煤炭清洁利用水平。制订和实施煤炭清洁高效利用规划，积极推进煤炭分级分质梯级利用，加大煤炭洗选比重，鼓励煤矸石等低热值煤和劣质煤就地清洁转化利用。建立健全煤炭质量管理体系，加强对煤炭开发、加工转化和使用过程的监督管理。加强进口煤炭质量监管。大幅减少煤炭分散直接燃烧，鼓励农村地区使用洁净煤和型煤。

2) 稳步提高国内石油产量

坚持陆上和海上并重，巩固老油田，开发新油田，突破海上油田，大力支持低品位资源开发，建设大庆、辽河、新疆、塔里木、胜利、长庆、渤海、南海、延长等9个千万吨级大油田。稳定东部老油田产量。以松辽盆地、渤海湾盆地为重点，深化精细勘探开发，积极发展先进采油技术，努力增储挖潜，提高原油采收率，保持产量基本稳定。

实现西部增储上产。以塔里木盆地、鄂尔多斯盆地、准噶尔盆地、柴达木盆地为重点，加大油气资源勘探开发力度，推广应用先进技术，努力探明更多优质储量，提高石油产量。加大羌塘盆地等新区油气地质调查研究和勘探开发技术攻关力度，拓展新的储量和产量增长区域。

加快海洋石油开发。按照以近养远、远近结合，自主开发与对外合作并举的方针，加强渤海、东海和南海等海域近海油气勘探开发，加强南海深水油气勘探开发形势跟踪分析，积极推进深海对外招标和合作，尽快突破深海采油技术和装备自主制造能力，大力提升海洋油气产量。

3) 大力发展天然气

按照陆地与海域并举、常规与非常规并重的原则，加快常规天然气增储上产，尽快突破非常规天然气发展瓶颈，促进天然气储量产量快速增长。加快常规天然气勘探开发。以四川盆地、鄂尔多斯盆地、塔里木盆地和南海为重点，加强西部低品位、东部深层、海域深水三大领域科技攻关，加大勘探开发力度，力争获得大突破、大发现，努力建设8个年产量百亿立方米级以上的大型天然气生产基地。到2020年，累计新增常规天然气探明地质储量5.5万亿立方米，年产常规天然气1850亿立方米。

重点突破页岩气和煤层气开发。加强页岩气地质调查研究，加快“工厂化”“成套化”技术的研发和应用，探索形成先进适用的页岩气勘探开发技术模式和商业模式，培育自主创新和装备制造能力。着力提高四川长宁—威远、重庆涪陵、云南昭通、陕西延安等国家级示范区储量和产量规模，同时争取在湘鄂、云贵和苏皖等地区实现突破。到2020年，页岩气产量力争超过300亿立方米。以沁水盆地、鄂尔多斯盆地东缘为重点，加大支持力度，加快煤层气勘探开发步伐。到2020年，煤层气产量力争达到300亿立方米。积极推进天然气水合物资源勘查与评价。加大天然气水合物勘探开发技术攻关力度，培育具有

自主知识产权的核心技术，积极推进试采工程。

4) 积极发展能源替代

坚持煤基替代、生物质替代和交通替代并举的方针，科学发展石油替代。到2020年，形成石油替代能力4000万吨以上。

稳妥实施煤制油、煤制气示范工程。按照清洁高效、量水而行、科学布局、突出示范、自主创新的原则，以新疆、内蒙古、陕西、山西等地为重点，稳妥推进煤制油、煤制气技术研发和产业化升级示范工程，掌握核心技术，严格控制能耗、水耗和污染物排放，形成适度规模的煤基燃料替代能力。

积极发展交通燃油替代。加强先进生物质能技术攻关和示范，重点发展新一代非粮燃料乙醇和生物柴油，超前部署微藻制油技术研发和示范。加快发展纯电动汽车、混合动力汽车和船舶、天然气汽车和船舶，扩大交通燃油替代规模。

5) 加强储备应急能力建设

完善能源储备制度，建立国家储备与企业储备相结合、战略储备与生产运行储备并举的储备体系，建立健全国家能源应急保障体系，提高能源安全保障能力。扩大石油储备规模。建成国家石油储备二期工程，启动三期工程，鼓励民间资本参与储备建设，建立企业义务储备，鼓励发展商业储备。提高天然气储备能力。加快天然气储气库建设，鼓励发展企业商业储备，支持天然气生产企业参与调峰，提高储气规模和应急调峰能力。

2. 推进能源消费革命

调整优化经济结构，转变能源消费理念，强化工业、交通、建筑节能和需求侧管理，重视生活节能，严格控制能源消费总量过快增长，切实扭转粗放用能方式，不断提高能源使用效率。

1) 严格控制能源消费过快增长

按照差别化原则，结合区域和行业用能特点，严格控制能源消费过快增长，切实转变能源开发和利用方式。推行“一挂双控”措施。将能源消费与经济增长挂钩，对高耗能产业和产能过剩行业实行能源消费总量控制强约束，其他产业按先进能效标准实行强约束，现有产能能效要限期达标，新增产能必须符合国内先进能效标准。

推行区域差别化能源政策。在能源资源丰富的西部地区，根据水资源和生态环境承载能力，在节水节能环保、技术先进的前提下，合理加大能源开发力度，增强跨区调出能力。合理控制中部地区能源开发强度。大力优化东部地区能源结构，鼓励发展有竞争力的新能源和可再生能源。控制煤炭消费总量。制定国家煤炭消费总量中长期控制目标，实施煤炭消费减量替代，降低煤炭消费比重。

2) 着力实施能效提升计划

坚持节能优先，以工业、建筑和交通领域为重点，创新发展方式，形成节能型生产和

消费模式。实施煤电升级改造行动计划。实施老旧煤电机组节能减排升级改造工程，现役60万千瓦及以上机组力争5年内供电煤耗降至每千瓦时300克标准煤左右。

实施工业节能行动计划。严格限制高耗能产业和过剩产业扩张，加快淘汰落后产能，实施十大重点节能工程，深入开展万家企业节能低碳行动。实施电机、内燃机、锅炉等重点用能设备能效提升计划，推进工业企业余热余压利用。深入推进工业领域需求侧管理，积极发展高效锅炉和高效电机，推进终端用能产品能效提升和重点用能行业能效水平对标达标。认真开展新建项目环境影响评价和节能评估审查。

实施绿色建筑行动计划。加强建筑用能规划，实施建筑能效提升工程，尽快推行75%的居住建筑节能设计标准，加快绿色建筑建设和既有建筑改造，推行公共建筑能耗限额和绿色建筑评级与标识制度，大力推广节能电器和绿色照明，积极推进新能源城市建设。大力发展低碳生态城市和绿色生态城区，到2020年，城镇绿色建筑占新建建筑的比例达到50%。加快推进供热计量改革，对新建建筑和经供热计量改造的既有建筑实行供热计量收费。

实行绿色交通行动计划。完善综合交通运输体系规划，加快推进综合交通运输体系建设。积极推进清洁能源汽车和船舶产业化步伐，提高车用燃油经济性标准和环保标准。加快发展轨道交通和水运等资源节约型、环境友好型运输方式，推进主要城市群内城际铁路建设。大力发展城市公共交通，加强城市步行和自行车交通系统建设，提高公共出行和非机动出行比例。

3) 推动城乡用能方式变革

按照城乡发展一体化和新型城镇化的总体要求，坚持集中与分散供能相结合，因地制宜建设城乡供能设施，推进城乡用能方式转变，提高城乡用能水平和效率。实施新城镇、新能源、新生活行动计划。科学编制城镇规划，优化城镇空间布局，推动信息化、低碳化与城镇化的深度融合，建设低碳智能城镇。制定城镇综合能源规划，大力发展分布式能源，科学发展热电联产，鼓励有条件的地区发展热电冷联供，发展风能、太阳能、生物质能、地热能供暖。

加快农村用能方式变革。抓紧研究制定长效政策措施，推进绿色能源县、乡、村建设，大力发展农村小水电，加强水电新农村电气化县和小水电代燃料生态保护工程建设，因地制宜发展农村可再生能源，推动非商品能源的清洁高效利用，加强农村节能工作。开展全民节能行动。实施全民节能行动计划，加强宣传教育，普及节能知识，推广节能新技术、新产品，大力提倡绿色生活方式，引导居民科学合理用能，使节约用能成为全社会的自觉行动。

3. 优化能源结构

积极发展天然气、核电、可再生能源等清洁能源，降低煤炭消费比重，推动能源结构

持续优化。

1) 降低煤炭消费比重

加快清洁能源供应，控制重点地区、重点领域煤炭消费总量，推进减量替代，压减煤炭消费，到2020年，全国煤炭消费比重降至62%以内。削减京津冀鲁、长三角和珠三角等区域煤炭消费总量。加大高耗能产业落后产能淘汰力度，扩大外来电、天然气及非化石能源供应规模，耗煤项目实现煤炭减量替代。到2020年，京津冀鲁四省市煤炭消费比2012年净削减1亿吨，长三角和珠三角地区煤炭消费总量负增长。

2) 提高天然气消费比重

坚持增加供应与提高能效相结合，加强供气设施建设，扩大天然气进口，有序拓展天然气城镇燃气应用。到2020年，天然气在一次能源消费中的比重提高到10%以上。实施气化城市民生工程。新增天然气应优先保障居民生活和替代分散燃煤，组织实施城镇居民用能清洁化计划，到2020年，城镇居民基本用上天然气。

稳步发展天然气交通运输。结合国家天然气发展规划布局，制订天然气交通发展中长期规划，加快天然气加气站设施建设，以城市出租车、公交车为重点，积极有序发展液化天然气汽车和压缩天然气汽车，稳妥发展天然气家庭轿车、城际客车、重型卡车和轮船。适度发展天然气发电。到2020年，天然气主干管道里程达到12万公里以上。扩大天然气进口规模。加大液化天然气和管道天然气进口力度。

3) 安全发展核电

在采用国际最高安全标准、确保安全的前提下，适时在东部沿海地区启动新的核电项目建设，研究论证内陆核电建设。坚持引进消化吸收再创新，重点推进AP1000、CAP1400、高温气冷堆、快堆及后处理技术攻关。加快国内自主技术工程验证，重点建设大型先进压水堆、高温气冷堆重大专项示范工程。积极推进核电基础理论研究、核安全技术研究开发设计和工程建设，完善核燃料循环体系。积极推进核电“走出去”。到2020年，核电装机容量达到5800万千瓦，在建容量达到3000万千瓦以上。

4) 大力发展可再生能源

按照输出与就地消纳利用并重、集中式与分布式发展并举的原则，加快发展可再生能源。到2020年，非化石能源占一次能源消费比重达到15%。积极开发水电。在做好生态环境保护和移民安置的前提下，以西南地区金沙江、雅砻江、大渡河、澜沧江等河流为重点，积极有序地推进大型水电基地建设。因地制宜发展中小型电站，开展抽水蓄能电站规划和建设，加强水资源综合利用。到2020年，力争常规水电装机达到3.5亿千瓦左右。

大力发展风电。重点规划建设酒泉、内蒙古西部、东部、冀北、吉林、黑龙江、山东、哈密、江苏等9个大型现代风电基地以及配套送出工程。以南方和中东部地区为重点，大力发展分散式风电，稳步发展海上风电。到2020年，风电装机达到2亿千瓦，风电与煤电上网电价相当。加快发展太阳能发电。有序推进光伏基地建设，同步做好就地消纳

利用和集中送出通道建设。鼓励大型公共建筑及公用设施、工业园区等建设屋顶分布式光伏发电。到2020年，光伏装机达到1亿千瓦左右，光伏发电与电网销售电价相当。

积极发展地热能、生物质能和海洋能。坚持统筹兼顾、因地制宜、多元发展的方针，有序开展地热能、海洋能资源普查，制定生物质能和地热能开发利用规划，积极推动地热能、生物质和海洋能清洁高效利用，推广生物质能和地热供热，开展地热发电和海洋能发电示范工程。到2020年，地热能利用规模达到5000万吨标准煤。

4. 拓展能源国际合作

统筹利用国内国际两种资源、两个市场，坚持投资与贸易并举、陆海通道并举，加快制定利用海外能源资源中长期规划，着力拓展进口通道，着力建设丝绸之路经济带、21世纪海上丝绸之路、孟中印缅经济走廊和中巴经济走廊，积极支持能源技术、装备和工程队伍“走出去”。加强俄罗斯中亚、中东、非洲、美洲和亚太五大重点能源合作区域建设，深化国际能源双边多边合作，建立区域性能源交易市场。

5. 推进能源科技创新

按照创新机制、夯实基础、超前部署、重点跨越的原则，加强科技自主创新，鼓励引进消化吸收再创新，打造能源科技创新升级版，建设能源科技强国。

1) 明确能源科技创新战略方向和重点

抓住能源绿色、低碳、智能发展的战略方向，围绕保障安全、优化结构和节能减排等长期目标，确立非常规油气及深海油气勘探开发、煤炭清洁高效利用、分布式能源、智能电网、新一代核电、先进可再生能源、节能节水、储能、基础材料等9个重点创新领域，明确页岩气、煤层气、页岩油、深海油气、煤炭深加工、高参数节能环保燃煤发电、整体煤气化联合循环发电、燃气轮机、现代电网、先进核电、光伏、太阳能热发电、风电、生物燃料、地热能利用、海洋能发电、天然气水合物、大容量储能、氢能与燃料电池、能源基础材料等20个重点创新方向，相应开展页岩气、煤层气、深水油气开发等重大示范工程。

2) 抓好科技重大专项

加快实施大型油气田及煤层气开发国家科技重大专项。加强大型先进压水堆及高温气冷堆核电站国家科技重大专项。加强技术攻关，力争页岩气、深海油气、天然气水合物、新一代核电等核心技术取得重大突破。

3) 依托重大工程带动自主创新

依托海洋油气和非常规油气勘探开发、煤炭高效清洁利用、先进核电、可再生能源开发、智能电网等重大能源工程，加快科技成果转化，加快能源装备制造创新平台建设，支持先进能源技术装备“走出去”，形成有国际竞争力的能源装备工业体系。

4) 加快能源科技创新体系建设

制定国家能源科技创新及能源装备发展战略。建立以企业为主体、市场为导向、政产学研用相结合的创新体系。鼓励建立多元化的能源科技风险投资基金。加强能源人才队伍建设，鼓励引进高端人才，培育一批能源科技领军人才。

1.3.2 国家推进电能替代的方针政策

电能替代是在终端能源消费环节，使用电能替代散烧煤、燃油的能源消费方式。当前，我国电煤比重与电气化水平偏低，大量的散烧煤与燃油消费是造成严重雾霾的主要因素之一。电能具有清洁、安全、便捷等优势，实施电能替代对于推动能源消费革命、落实国家能源战略、促进能源清洁化发展意义重大，是提高电煤比重、控制煤炭消费总量、减少大气污染的重要举措。稳步推进电能替代，有利于构建层次更高、范围更广的新型电力消费市场，扩大电力消费，提升我国电气化水平，提高人民群众生活质量。同时，带动相关设备制造行业发展，拓展新的经济增长点。

1. 指导思想及基本原则

国家推进电能替代的指导思想是，贯彻中央财经领导小组第六次会议精神，促进能源消费革命，落实能源发展战略行动计划及大气污染防治行动计划，以提高电能占终端能源消费比重、提高电煤占煤炭消费比重、提高可再生能源占电力消费比重、降低大气污染物排放为目标，根据不同电能替代方式的技术经济特点，因地制宜，分步实施，逐步扩大电能替代范围，形成清洁、安全、智能的新型能源消费方式，国家出台了关于《推进电能替代的指导意见》（以下简称《意见》）。

《意见》坚持改革创新、规划引领、市场运作和有序推进四个基本原则。

一是结合电力体制改革，完善电力市场化交易机制，还原电力商品属性。创新电能替代技术路线，加快电能替代关键设备研发，促进技术装备能效水平显著提升，应用范围进一步扩大。

二是统筹能源资源开发利用、大气污染防治和经济社会可持续发展，合理规划电能替代，引导电能替代健康发展。科学制订电力发展规划，主要通过可再生能源和现有火电满足电能替代新增电量需求。鼓励社会资本投入，探索多方共赢的市场化项目运作模式。

三是引导社会力量积极参与电能替代技术、业态和运营等创新，发挥市场在资源配置中的决定性作用。

四是结合各地区生态环境达标要求、能源消费结构和用能需求特性等，因地制宜、稳步有序地推进经济性好、节能减排效益佳的电能替代示范试点项目，带动推广实施电能替代。

《意见》还提出完善电能替代配套政策体系，建立规范有序的运营监管机制，形成节能环保、便捷高效、技术可行、广泛应用的新型电力消费市场。在2016—2020年，实现能源终端消费环节电能替代散烧煤、燃油消费总量约1.3亿吨标煤，带动电煤占煤炭消费比重提高约1.9%，带动电能占终端能源消费比重提高约1.5%，促进电能占终端能源消费比重达到约27%。

2. 重点任务

电能替代方式多样，涉及居民采暖、工业与农业生产、交通运输、电力供应与消费等众多领域，以分布式应用为主。应综合考虑地区潜力空间、节能环保效益、财政支持能力、电力体制改革和电力市场交易等因素，根据替代方式的技术经济特点，因地制宜，分类推进。

1) 居民采暖领域

在存在采暖刚性需求的北方地区和具有采暖需求的长江沿线地区，重点对燃气（热力）管网覆盖范围以外的学校、商场、办公楼等热负荷不连续的公共建筑，大力推广碳晶、石墨烯发热器件、发热电缆、电热膜等分散电采暖技术，来替代燃煤采暖技术。

在燃气（热力）管网无法达到的老旧城区、城乡接合部或生态要求较高区域的居民住宅，推广蓄热式电锅炉、热泵、分散电采暖。在农村地区，以京津冀及周边地区为重点，逐步推进散煤清洁化替代工作，大力推广以电代煤。在新能源富集地区，利用低谷富余电力，实施蓄能供暖。

2) 生产制造领域

在生产工艺需要热水（蒸汽）的各类行业，逐步推进蓄热式与直热式工业电锅炉应用。重点在上海、江苏、浙江、福建等地区的服装纺织、木材加工、水产养殖与加工等行业，试点以蓄热式工业电锅炉替代集中供热管网覆盖范围以外的燃煤锅炉。

在金属加工、铸造、陶瓷、岩棉、微晶玻璃等行业，在有条件的地区推广电窑炉。在采矿、食品加工等企业生产过程中的物料运输环节，推广电驱动皮带传输技术。在浙江、福建、安徽、湖南、海南等地区，推广电制茶、电烤烟、电烤槟榔等技术。在黑龙江、吉林、山东、河南等农业大省，结合高标准农田建设和推广农业节水灌溉等工作，加快推进机井通电工作。

3) 交通运输领域

支持电动汽车充换电基础设施建设，推动电动汽车普及应用。在沿海、沿江、沿河港口码头，推广靠港船舶使用岸电和电驱动货物装卸。支持空港陆电等新兴项目推广，应用桥载设备，推动机场运行车辆和装备“油改电”工程。

4) 电力供应与消费领域

在可再生能源装机比重较大的电网，推广应用储能装置，提高系统调峰调频能力，

更多地消纳可再生能源。在城市大型商场、办公楼、酒店、机场航站楼等建筑推广应用热泵、电蓄冷空调、蓄热电锅炉等，促进电力负荷移峰填谷，提高社会用能效率。

3. 保障措施

1) 加强规划指导

统筹制定规划。各地方政府应将电能替代纳入当地能源和大气污染防治工作，根据地区用电用热需求，结合热电联产、区域高效环保锅炉房、工业余热利用等多种能源供应方式，在城市总体规划、能源发展规划中充分考虑电能替代发展，保障电能替代配套电网线路走廊和站址用地规划。

加强组织领导。省级能源主管部门、经济运行主管部门、节能主管部门应加强本地区电能替代潜力分析，明确电能替代实施方向和路径，制定电能替代工作方案。明确职责分工，强化部门协作，形成有目标、有计划、有组织的工作机制。做好分区域、分年度任务分解，确保各项政策、措施和重点项目落到实处。

2) 发挥示范项目引领作用

鼓励试点示范。充分考虑地区差异，鼓励进行差别化的试点探索，实施一批“经济效益好、推广效果佳”的试点示范项目。鼓励创新引领，借力大众创新、万众创业，整合技术资金资源优势，探索一批业态融合、理念先进、具有市场潜力的项目。在电能替代项目集中地区，创建一批示范区（乡、镇、村）或示范园区。加强项目建设管理，及时跟踪、评估，确保达到示范效果。

加大宣传力度。借助多种传媒方式，大力普及电能替代常识，宣传电能替代清洁便利优点和节能减排成效，为电能替代项目实施创造良好的社会舆论环境。及时开展示范成果展示，推广复制成功经验。

3) 制定完善的配套支持措施

严格节能环保措施。严格环保和能效达标准入，加大对企业燃煤锅炉、窑炉、港口船舶燃油等排放物的监督检查力度。鼓励各地方政府在国家标准的基础上，出台更加严格的分散燃煤、燃油设施的限制性、禁止性环保标准。采取有效措施，确保电能替代的散烧煤、燃油切实压减。

推进电力市场建设。加快推进电力体制改革和电力市场建设，有序放开输配以外的竞争性环节电价，逐步形成反映时间和位置的市场价格信号。支持电能替代用户参与电力市场竞争，与风电等各类发电企业开展电力直接交易，增加用户选择权，降低用电成本。创新辅助服务机制，电、热生产企业和用户投资建设蓄热式电锅炉，提供调峰服务的，应获得合理补偿收益。

优化电能替代价格机制。结合输配电价改革，将因电能替代引起的合理配电网建设改造投资纳入相应配电网企业有效资产，将合理运营成本计入输配电准许成本，并科学核定

分用户类别分电压等级电能替代输配电价。完善峰谷分时电价政策，通过适当扩大峰谷电价价差、合理设定低谷时段等方式，充分发挥价格信号引导电力消费、促进移峰填谷的作用。鼓励地方研究取消城市公用事业附加费，减轻电力用户负担。

有效利用财政补贴。各地方政府根据自身实际情况，有效利用大气污染防治专项资金等资金渠道，通过奖励、补贴等方式，对符合条件的电能替代项目、电能替代技术研发予以支持。

积极探索融资渠道。鼓励电能替代项目单位结合自身情况，积极申请企业债、低息贷款，采用PPP模式，解决项目融资问题。

4) 加强配套电网建设改造

按照《国家发展改革委关于加快配电网建设改造的指导意见》（发改能源〔2015〕1899号）要求，配电网企业应加强电能替代配套电网建设，推进电网升级改造，加强电网安全运行管理，提高供电保障能力。对于新增电能替代项目，相应配电网企业要安排专项资金用于红线外供配电设施的投资建设。同时，建立提前介入、主动服务、高效运转的“绿色通道”，按照客户需求做好布点布线、电网接入等服务工作。各地方政府应对电能替代配套电网建设改造给予支持，简化审批程序，支持相应配电网企业做好项目征地、拆迁和电力设施保护等工作。

5) 加强科技研发与产业培育

加快关键技术和设备研发。鼓励自主创新和引进吸收相结合，加大电加热元件、储热材料、绝热节能材料等关键技术和设备的科研投入，促进设备升级换代，进一步提高产品能效，形成产业化能力。鼓励构建“产、学、研、用”相结合的体制机制，结合《中国制造2025》推进实施，鼓励行业内优势企业跨领域组建创新中心，加快与智能电网技术、新一代大数据信息技术的深度融合，发展高端电力设备与增值服务，提升电能替代设备的智能化生产和应用水平。

完善技术标准和准入制度。制定和修订电能替代建设和运行标准。加强知识产权运用和保护，促进成果转化。制定和完善电能替代产品准入制度，提高产品质量和可靠性，加强质量监管，增强企业质量意识和履约能力，健全售后保障。

创新商业模式，优化产业结构。探索建立商业化赢利模式，鼓励以合同能源管理、设备租赁、以租代建等方式开展电能替代。引导社会资本投向安全、高效、智能化的电能替代产品和服务。结合市场需求，鼓励企业提供多样化的综合能源解决方案，促进服务型制造发展。

1.3.3 我国全面实施电力规划管理办法

为加强电力规划管理，促进电力工业健康发展，依据《中华人民共和国电力法》等

相关法律法规和《中共中央国务院关于进一步深化电力体制改革的若干意见》要求，制定电力规划管理办法。电力规划是指导电力工业发展的纲领性文件，是研究和编制电力规划应展望十年至十五年电力发展趋势，国民经济和社会发展规划、能源规划的重要组成部分。

电力规划主要包括全国电力规划（含区域电力规划）和省级电力规划。全国电力规划由国家能源局负责编制，经国家发展和改革委员会审定后，由国家能源局公开发布（保密内容除外）。省级电力规划由省级能源主管部门负责编制，报国家能源局衔接并达成一致后，由省级人民政府批准并公开发布（保密内容除外）。全国电力规划指导省级电力规划，省级电力规划服从全国电力和能源规划及省级能源发展规划，全国电力规划和省级电力规划应做到上下衔接，协调统一。

电力规划工作可分为研究与准备、编制与衔接、审定与发布、实施与调整、评估与监督等环节。电力规划应遵循国家法律、法规，贯彻落实国家能源发展战略和相关产业政策，满足电力行业相关规程、规范和标准的要求，同步开展环境影响评价，注重提升覆盖面、权威性和科学性，增强透明度和公众参与度。

电力规划应在能源发展总体规划框架下，统筹衔接水电、煤电、气电、核电、新能源发电以及输配电网等规划：支持非化石能源优先利用和分布式能源发展，努力实现电力系统的安全可靠、经济合理、清洁环保、灵活高效；鼓励创新，促进电力产业升级，积极推动能源生产、消费、供给与科技革命，促进能源与经济社会创新、协调、绿色、开放、共享发展。

1. 组织与职责

国家能源局是全国电力规划的责任部门，省级能源主管部门是省级电力规划的责任部门，按照“政府主导、机构研究、咨询论证、多方参与、科学决策”的原则，分别组织编制全国和省级电力规划。规划编制的主要参与者包括：政府部门、研究机构、电力企业、电力行业相关单位和电力规划、环境保护专家等。电力规划研究机构是电力规划研究工作的主要承担单位，受国家能源局、省级能源主管部门委托，开展电力规划专题研究和综合研究。

电力企业是电力规划的主要实施主体和安全责任主体，应负责提供规划基础数据，积极承担电力规划的研究课题，提出规划建议，支持和配合规划工作，并按审定的全国、省级电力规划编制企业规划。电力企业联合会等行业协会、学会、科研机构 and 高校等相关单位应积极参与配合电力规划工作，向能源主管部门提出研究建议。建立完善电力规划专家库，聘请专家参与规划研究和论证，提供技术咨询。

2. 研究与准备

电力规划编制应从全面、深入、专业的研究入手，并以电力规划研究成果为基础。电

力规划研究包括电力规划建议、电力规划专题研究和电力规划综合研究3类。

(1) 电力规划建议是电力企业立足自身主营业务研究提出的规划建议, 以及电力行业协会、学会、科研机构 and 高校等自主或受托提出的规划建议, 是电力规划的关键支撑和基础。

(2) 电力规划专题研究是针对影响电力规划的重大问题开展的研究, 主要涉及电力需求、结构与布局、系统安全、经济评价、环境评价、科技进步、体制改革等。

(3) 电力规划综合研究是在规划建议、规划专题研究的基础上, 通过综合比选与平衡衔接, 提出全面系统的电力规划研究成果。综合研究是编制电力规划的核心技术支撑。

国家能源局和省级能源主管部门应按照能源规划工作总体安排, 提前两年开展电力规划编制, 及时启动专题和综合研究工作。电力规划专题研究和电力规划综合研究由能源主管部门通过招标或协商等方式, 委托电力规划研究机构或有资质的研究机构承担, 也可由有关单位及专家根据工作需要, 自行选题, 组织专题研究。

在研究过程中, 能源主管部门应通过专题调研和座谈会议等方式, 重点对电力需求、规模与布局、系统安全、电力流向等内容听取地方政府、电力企业和电力用户的意见和建议。重要的规划专题研究完成后, 应由能源主管部门组织咨询机构和专家评审, 并提出评审意见。规划环境影响评价研究和水资源供应研究应征询环境和水资源主管部门意见。

电力规划综合研究报告完成后, 由国家能源局或省级能源主管部门组织咨询机构和专家评审, 并提出评审意见, 作为编制全国和省级电力规划的依据。及时修订完善电力规划研究相关技术标准和报告内容深度规定, 不断提高研究水平和报告质量。

3. 编制与衔接

电力规划编制要以电力规划综合研究成果为依据, 充分吸收电力规划建议, 全面落实国家和地方经济社会发展目标要求, 深入分析电力工业现状、面临的形势以及政策、资源和生态环境等约束性因素, 提出电力发展的指导思想、基本原则、发展目标、重点任务及保障措施。全国电力规划应重点提出五年规划期内大型水电(含抽水蓄能)、核电规模及项目建设安排(含投产与开工), 风电、光伏(光热)等新能源发电建设规模, 煤电基地开发规模, 跨省跨区电网项目建设安排(含投产与开工), 省内500千伏及以上电网项目建设安排(含投产与开工), 以及省内自用煤电、气电规模。

省级电力规划应重点明确所属地区的大中型水电(含抽水蓄能)、煤电、气电、核电等项目建设安排(含投产与开工), 进一步明确新能源发电的建设规模和布局, 提出110千伏(66千伏)及以上电网项目建设安排(含投产和开工)和35千伏及以下电网建设规模。电力规划应在建设规模、投产时序、系统接入和消纳市场等方面统筹衔接水电、煤电、气电、核电、新能源发电等各类电源专项规划, 形成协调统一的电力规划。

电力规划编制中, 应通过联席会议、调研走访、专题讨论等机制和方式, 加强电力规

划与土地利用、城乡建设、环境保护、水资源利用等相关规划的协调，加强电力规划与交通运输、设备制造、供气供热、城市管网等上下游行业规划的协调，加强规划环境影响评价成果与规划草案完善的互动反馈。

电力规划应与能源发展总体规划衔接一致，按照省级电力规划服从全国电力规划和省级能源发展规划的原则，通过“两上两下”，对全国电力规划和省级电力规划进行衔接，对送电省电力规划和受电省电力规划进行衔接，保证上下级规划和相关省级规划之间的有效衔接、协调统一。

“一上”，规划编制工作启动后，各省级能源主管部门研究提出省级电力规划初稿，提交国家能源局。“一下”，国家能源局组织对省级规划初稿进行汇总平衡后，初步明确全国规划主要目标、总体框架和各省级规划的边界条件，并书面反馈各省级能源主管部门。“二上”，各省级能源主管部门根据反馈意见编制省级电力规划（含规划环境影响评价），报送国家能源局。“二下”，国家能源局对各省级电力规划综合衔接平衡，并书面反馈意见，省级能源主管部门按照反馈意见修改完善省级电力规划。

建立健全电力规划指标体系，加强电力规划指标的量化管理，提高规划的指导性和可操作性。电力规划草案形成后，应广泛征求政府部门、电力企业、其他相关单位和专家意见。电力规划上报审定前，宜委托有资质的中介机构进行咨询并提出咨询意见。研究探索电力规划听证制度。

4. 审定与发布

全国电力规划一般于五年规划第一年的五月底前由国家能源局报经国家发展改革委审定，由国家能源局公开发布。省级电力规划一般于五年规划第一年的六月底前由省级能源主管部门编制完成，报国家能源局衔接并达成一致后，按程序公开发布。

5. 实施与调整

电力规划审定发布后，各级能源主管部门及电力企业应全面落实规划明确的各项任务。已经纳入电力规划或符合规划布局的项目，业主单位可依据审定的规划向国土、城建、环保、水利等部门申请支持性文件；需要核准的，由相应主管部门按程序核准。核电项目相关规定另行制订。未纳入电力规划的重大项目、不符合规划布局的电力项目不予核准。特殊情况下，应先调整规划后再行核准。省级能源主管部门年度核准的新能源发电规模不应超过年度开发方案确定的当年开工规模。需要超过时，应及时调整规划并报告主管部门审定。未经核准的电力项目，不得进入电力市场交易，不得纳入电网准许成本并核定输配电价，不得享受电价补贴、税收减免等扶持政策。

电力企业应按照审定发布的电力规划制订企业发展规划，积极开展规划项目前期工作，有序推进项目建设，保障规划顺利落实。各级政府及能源主管部门应重视和支持电力

规划的实施，注重电力规划与土地利用规划和城乡建设规划实施的协调，保障电力建设项目厂址、站址和输电走廊用地。已经纳入电力规划但未按期实施的电源、电网建设项目，项目业主应及时向能源主管部门说明情况。无正当理由不按期实施、并造成严重后果的，能源主管部门应对业主通报批评；属于发电等竞争性领域的，能源主管部门可对无正当理由不按期实施的项目通过招标或协商等方式交由其他投资主体实施。

规划实施过程中，可根据实际情况对电力规划进行适当滚动和调整。电力规划发布两至三年后，国家能源局和省级能源主管部门可根据经济发展情况和规划实施情况对五年规划进行滚动。如遇重大变化，或应电力企业申请，也可由规划编制部门按程序组织对规划具体项目进行调整。开展电力规划滚动的，应在电力规划执行第二年组织开展专题研究工作，第三年编制滚动规划，并对滚动规划进行评审、审定和发布。

开展电力规划调整的，应委托规划研究机构开展专题研究，经专门机构评估论证后，按程序将新增电力项目纳入规划，或将相关项目调出规划。全国电力规划滚动调整由国家能源局组织，按程序公开发布（保密内容除外）；省级电力规划滚动调整由省级能源主管部门负责，经与全国规划衔接调整后，按程序公开发布（保密内容除外）。继续深化行政审批制度改革，逐步推行政府规划指导、企业自主决策的电力项目建设新机制。积极探索电源项目前期工作市场化和业主招标制。

6. 评估与监督

国家能源局及派出机构和省级能源主管部门应加强对电力规划实施情况的评估和监督。建立电力规划定期评估机制。规划实施两年后，国家能源局应委托中介机构开展全国电力规划中期评估咨询，省级能源主管部门应委托中介机构开展省级电力规划中期评估咨询，分别形成《电力规划实施中期评估报告》；五年规划结束后，形成《电力规划实施评估报告》。国家能源局派出机构应相应编制并发布《中期电力规划实施情况监管报告》和《五年期电力规划实施情况监管报告》，作为规划编制和滚动调整的重要参考。

电力规划实施情况评估工作应对电力规划成功的经验进行总结，对暴露的问题进行分析，并提出相关建议。在规划实施过程中，能源主管部门可定期进行监督检查，发现问题及时纠正。探索建立规划审计制度。

7. 保障措施

各级能源主管部门应加强对电力规划编制、实施、评估的组织领导，将规划管理工作作为推动电力发展的重要手段。做到五年规划指导年度计划。健全和完善国家和省级电力规划研究机构和技术支撑体系。国家电力规划研究中心等电力规划研究机构应充分发挥研究力量的支撑作用，与相关协会、学会、科研机构、高校和企业密切协作，构建强有力的规划研究支撑体系。重视电力规划人才的储备和培养，加强电力规划模型、软件、平台等

技术手段的研发，增强规划编制的技术支撑能力。各省应建立电力规划支撑体系。

建立健全电力规划标准体系，修订完善电力规划技术标准，推动电力规划工作标准化。加快电力规划信息平台建设，推进电力规划信息共享，为规划研究和编制提供全面、准确、开放的数据支撑。地方政府相关部门、行业协会、电力企业应为信息平台建设提供必要的基础数据和信息。规划研究、规划编制和信息平台建设及维护经费应纳入国家和各级地方政府财政预算。合理确定规划编制经费水平，保障规划编制工作经费需要。

1.4 新时期能源电力规划工程面临的形势

本节主要包括新时期我国能源电力发展面临转型升级的新机遇、社会主义市场经济条件下中长期规划的新思路，以及能源电力规划工程主要研究方向。

1.4.1 能源电力发展面临转型升级的新机遇

1. 能源电力发展面临的新形势

1) 经济和能源需求增长换挡降速

经济由高速增长进入到中高速增长阶段，能源消费增速也将保持中低速增长常态。

“新常态”的主要特征为：

(1) 增速换挡。经济增速从过去10%左右的高速增长转为7%左右中高速增长。2020年以后增速继续回落。

(2) 调整结构。经济和产业结构发生全面、深刻的变化，不断优化升级，第三产业逐步成为产业主体。预计到2020年，第三产业增加值占GDP的50%以上。

(3) 创新驱动。经济增长的内生动力从要素驱动、投资驱动向创新驱动转变。

(4) 多重挑战。面临房地产风险、地方债风险、金融风险等潜在风险，经济持续稳定增长的难度在加大。随着经济增长速度的回落，未来能源消费增速也将从以往的高速增长态势回落至中低速增长阶段。

2) 供给方式面临较大调整

煤炭等常规化石能源由“供给不足”转向“供给过剩”，新能源快速发展，但也面临着消纳难等问题。常规发电能源主要是煤炭，从供应侧来看，2013年中国煤炭产量36.8亿吨，产能约40.0亿吨，在建产能超过10.0亿吨，“十三五”将陆续投产和释放；从需求侧看，2013年全国煤炭消费量36.1亿吨，供给已经超过需求。而随着结构调整力度的不断加

强，煤炭需求增速放缓、供大于求的局面预计将长期存在，雾霾治理、生态压力和低碳发展的倒逼机制将使煤炭消费总量峰值时间明显提前。

3) 环境保护的约束进一步增强

当前中国的大气污染形势已十分严峻，在传统的煤烟型污染尚未得到解决的情况下，以PM_{2.5}和酸雨为特征的区域性复合型大气污染日趋严峻，突出表现在：全国特别是火电行业SO₂和烟尘排放量下降，但NO_x排放未得到有效控制；酸雨未能得到控制，由硫酸型酸雨逐渐向硫氮混合型酸雨转变；高浓度细颗粒物污染日益严重，在中东部区域屡屡发生持续多日的区域性重污染灰霾天气。未来，能源电力如何与生态环境协调发展面临巨大挑战。

4) 碳减排面临新形势、新挑战

“十三五”国家对于碳排放可能设定控制目标，如果实施则必须加快调整以煤为主的能源结构。国际社会把21世纪末全球平均温度升高控制在2℃之内作为共识。要实现2℃目标，一般研究认为，全球应在2020年之前碳排放达到峰值。2014年11月，《中美气候变化联合声明》中提出，中国计划2030年左右CO₂排放达到峰值且将努力早日达峰，并计划到2030年非化石能源占一次能源消费比重提高到20%左右。

5) 深化电力体制改革的影响

强调发挥市场的主体作用，能源价格形成新机制、电力市场化改革对“十三五”发展将会产生重要影响。习近平总书记在中央财经领导小组第6次会议上提出推进能源消费、供给、技术、体制“四个”革命，要求坚定不移地推进改革，还原能源商品属性，构建有效竞争的市场结构和市场体系，未来将主要由市场主导配置资源。

2. “十三五”规划应把握好新时期的新特点

中国电力工业已进入新的发展阶段，从以往侧重于满足供应需求转向追求发展质量，其基本特征是“安全、清洁、高效、经济”。在规划上应重点做好“总量、结构、布局、调配、体制”5个方面的平衡。

(1) 总量上做好供应和需求的预测、衔接和平衡。要以科学供应满足合理需求，在做好需求预测的基础上，利用需求引导供应，同时通过供应抑制不合理需求。逐步解决区域过剩与总体缺能的问题。

(2) 结构上做好清洁能源开发与化石能源利用的平衡。关键要做好化石能源清洁化利用和清洁能源有序开发，二者并重，做到发展目标可行，经济可承受。同时加快抽水蓄能等调峰电源建设，提高系统灵活性。

(3) 布局上做好存量调整和增量优化的平衡。存量上要着力解决东北等地区电力过剩、新能源弃风限电的问题，中东部重点区域老旧燃煤机组基本退出。增量上煤电、核电、新能源装机应统筹规划布局，高效利用。

(4) 调配上做好本地供应和跨区调运的平衡。中国能源供应的重心逐步西移、北移是大势，中东部地区用能缺口将逐步扩大。调配上既要充分挖掘本地供应能力，也要利用好区外、境外等多种渠道的资源。

(5) 体制上做好政府与市场、激励和约束的平衡。市场能够解决好的交给市场，市场失灵的领域做好政府监管。合理设计激励与约束机制，在公平开放的规则下，在售电侧引入多元购售电主体，逐步建立供需直接见面的大市场，从而在供需之间展开竞争，提高效率。

3. “十三五”及中长期电力发展的新挑战

1) 电力需求预测

(1) 能源和电力需求增速都将下降一个台阶，但电力增速回调的幅度要小于能源增速回调幅度。综合各方面判断，2020年中国能源需求总量为46亿~47亿吨标准煤，“十三五”期间能源需求年均增长3%左右，相比2004—2013年年均8.6%的增速有很大回调。

(2) 电力增长仍有较大空间，2020年全国全社会用电总量在8万亿千瓦时左右。从人均用电量水平来看，2013年，中国人均用电量为911千瓦时，接近世界平均水平，但仅为部分发达国家的1/3~1/4。预计到2020年，中国人均用电量将稳步增长至5500千瓦时~5800千瓦时，接近2011年英国、意大利、西班牙等欧洲国家的水平，相当于2011年日本人均用电量的2/3和美国人均用电量的约40%。

从拉动物电增长的动力来看，2013年四大高耗能行业合计用电量占全社会用电量的比重为31.1%，而第三产业和居民生活用电比重仅为11.8%和12.8%，远低于OECD国家30%以上的水平，未来将成为拉动全社会用电增长的主要动力。

2) 发电能源供应

(1) 大气污染治理要求减煤和煤炭清洁高效利用，主要途径是提高发电用煤比重。

当前，加大清洁能源开发力度已取得高度共识，治理大气污染、调整能源结构的关键是煤炭的减量和清洁利用。一是散煤的集中高效利用，需要更多的转化为发电，同时发电厂降低排放；二是煤炭总量减量，倒逼中国供应结构的转型。“十三五”期间是煤炭消费得到明显抑制的阶段，到2030年可实现更大规模的煤炭减量。

“十三五”期间，通过建设高参数低排放电厂，加大现有电厂超低排放改造，电厂污染物排放总量大幅降低。采用政策措施和经济激励手段，改变生产生活用能方式，大幅减少煤炭分散燃烧量，电煤在煤炭消费总量的占比将由目前的53%提高至“十三五”的60%，2020年以后可以进一步提高到70%，达到世界平均水平。

(2) 天然气资源稀缺，在中国不宜优先用于发电，而应以终端替代、分布式能源为主。

到2020年，中国天然气供应能力预计将达到4000亿立方米，相比2013年的1700亿立方米有很大提高，但其中有30%以上都依赖于进口，价格昂贵，保障程度不稳定。

天然气的利用方式主要有城市燃气、化工、工业燃料、发电等，从需求增长空间、利用效率和价格承受力来看，宜优先用于居民和商业用气，城镇散烧煤、燃煤锅炉的“煤改气”和部分交通领域“油改气”替代。天然气发电清洁，但是相比煤电甚至部分新能源发电都不具备经济竞争力，未来推广应以分布式能源为主，靠近终端用户，能效大幅提高，经济性也比较好。在北方地区，可适度发展调峰电厂和带稳定供热负荷的热电联产电厂。

(3) 发电能源中非化石能源地位提升，发电对实现15%预期目标的贡献率在80%以上。

“十三五”期间，中国水、核、风、太阳能等非化石能源发电仍将快速发展，常规水电新增装机规模或将达到0.6亿千瓦以上，核电0.3亿千瓦，风电1亿千瓦，太阳能发电0.7亿千瓦。发电量中非化石能源的比重将上升至28%，煤电降至66%。到2020年，非化石能源利用总量超过7亿吨标准煤，占一次能源消费比重达15%，其中，转化为电力的非化石能源占84%。电力在非化石能源开发利用中始终居于中心地位。2030年，非化石能源占一次能源消费比重有望达到23%~25%。

3) 电力装机结构和布局

(1) “十三五”期间电力结构调整的关键是风电和太阳能发电，水电和核电一直在中国电力结构调整中扮演主力角色，“十三五”仍需要加快开发，特别是核电，要在“十三五”期间保持一定的开工规模，为后续发展打下坚实的基础。为实现2020年非化石能源占比15%的目标和中长期碳排放目标，需要不断提高风电和太阳能发电的贡献度。

(2) “十三五”煤电装机增量空间在1.5亿千瓦左右，其中80%布局在西部、北部地区。“十三五”期间，根据电力供需平衡的结果，预计煤电装机还将增加1.5亿千瓦左右，到2020年煤电装机总量为10.5亿千瓦左右。受大气污染防治和碳排放双重约束，中长期煤电装机规模也应严格控制。

4) 新能源补贴政策的调整

政府有关部门提出，到2020年风电价格与煤电上网电价相当，光伏发电与电网销售电价相当，即新能源平价上网。根据研究分析，2020年实现该目标的难度很大。

(1) 新能源的发电成本下降空间有限。要实现平价上网，光伏和风电的发电成本年均降幅需要分别达到约5%和4%。预计“十三五”期间二者实际成本年均仅能下降约3%和2%。

(2) 电力调峰、跨区输电等系统成本在当前电价中疏导不足。大规模新能源并网系统需要付出额外的调峰、接网、输送成本，该成本目前大部分并没有纳入可再生能源基金补贴范围。初步测算，2020年抽蓄等调峰电源的加价需求在0.01元每千瓦时水平，而并网输送成本随着跨区输送规模的扩大将大幅提高，应予以充分重视。

5) 电力市场化改革对规划的影响

按照“放开两头，监管中间”的基本思路，应坚持顶层设计和试点先行相结合的原则，按照循序渐进的方式推动市场化进程。预计“十三五”期间电力市场化改革会取得重要进展，这在某种程度上要求调整规划思维。

(1) 规划的总体目标要统筹兼顾安全、绿色、高效、合理成本等关键要素。

(2) 规划要为建立全国电力市场创造条件，这是国情使然。

(3) 规划的实施要更多地依赖市场手段，如招标获取发电容量，通过市场发现价格，同时价格的形成一定要将环境成本和代价作内化处理，以鼓励清洁能源发展。

(4) 电力可持续发展需要更强有力的政策保障，比如风电和太阳能发电能够更有效地融入大电网。

(5) 创新驱动对提高电力发展质量至关重要，一方面是电力技术创新，另一方面是面向用户的商业模式创新，电力用户对于电能消费的话语权和选择权将得到明显提升。

(6) 规划能否摆脱过去“软弱无力”的印象，切实提高权威性，还取决于政府转变职能是否到位。规划实施的效果与科学的监管机制密不可分。

1.4.2 市场经济条件下中长期规划的新思路

在新的历史时期，中长期规划作为国家促进社会经济发展的重要手段，面临着许多新的挑战。在社会主义市场经济条件下，如何顺应形势发展的需要，进行规划理论和实践创新，将成为中长期规划工作的一个新课题。

1. 中长期规划的内涵和性质

在社会主义市场经济条件下，中长期规划不再是组织整个社会生产的经济运行机制，而是一种国家促进社会经济协调发展的重要手段。它是政府为实现国家或地区中长期的发展目标而制定的一定时期内社会经济发展的预期框架和优化的行动方案。它是一个完整的目标手段系统，又是一个社会公众民主参与的政治决策过程。它主要有以下几个方面的特征：

(1) 中长期规划是政府为落实长远发展战略而进行的积极、系统的干预。一般情况下，中长期规划都与国家在一定时期的发展战略相呼应。作为实现优于自然发展结果的社会预期目标的重要手段，中长期规划是政府在计划期内为落实长远发展战略而对社会经济施加影响的整体框架，是国家对自发的市场机制进行的一种有意识的积极干预。

(2) 中长期规划是一个民主的与政治的决策过程。发展计划是人们为了寻求集体的最大利益对自身行为进行理性的思考与安排的社会活动。中长期计划涉及千家万户的利益关系，国家的长远发展，许多重大社会经济问题都需要国家进行综合决策，带有明显的政

治性。

(3) 中长期规划是一个庞大的社会协作体系。为了追求更大的公共利益，人们需要协调各方的利益和行动，从而制定计划作为统一的行动方案。经过广泛的民主交流与协商而产生的计划又在统一价值观念、塑造合理预期、优化行动方案等方面为集体协作创造了良好的前提和基础。

2. 中长期规划的任务和功能定位

在新的历史条件下，计划不再是与市场相对立的一种经济运行机制，不再是进行全部生产要素配置和生产关系组织的一种社会经济制度，而是一种与市场相兼容的社会经济组织管理手段。政府通过中长期规划的制定与实施，致力于长期的经济发展、社会进步和可持续发展目标的实现。作为促进社会经济发展的重要手段，中长期规划至少具有以下几个方面的作用：

- (1) 将社会发展目标转换成行动方案、战略、政策和项目。
- (2) 引导社会、非经济的发展方向。
- (3) 创造良好的发展环境、宏观调控、公共服务。
- (4) 协调社会、经济和环境的关系。
- (5) 协调地区发展、平衡社会福利、创造公平的发展机会。
- (6) 处理重大社会经济问题。
- (7) 其他特定功能、比如稀有资源分配、促进技术进步等。

在新的历史时期，我们同时强调中长期规划的社会属性和组织功能。这是因为中长期规划是各级政府与广大人民群众共同分析社会经济问题的广泛而深入的学习与交流过程，是社会公众集思广益、积极参与国家建设和政府决策的重要形式，是协调各方面利益关系和各市场主体未来预期，协调政府决策和提高政府运作效率的组织管理手段。

3. 市场经济条件下中长期规划的内容和规划过程

在计划经济条件下，国家计划的主要内容是直接配置生产要素，组织社会生产。在市场经济条件下，市场在资源配置中发挥基础性作用，生产者与消费者自主决策，政策调节而不是生产要素分配成为政府干预经济的最重要的手段。对新时期中长期规划的内容框架，以及如何有效地开展中长期规划工作，进行适应性调整或制度性重构。

1) 中长期规划的体系

纵向的不同规划层次和横向的各种规划类型和形式共同组成中长期规划体系，它的具体构成随着规划形式的不断创新而发展。它包括国家规划和地方规划两个层次。其中，国家规划主要包括国家规划纲要、行业规划和重点专项规划等三种类型；地方规划包括省级、地市级以及县（市）级规划。部分省市和地区还编制了内部的区域发展规划、行业发

展规划和重点专项规划。重点专项规划的编制是规划工作的一个重要创新，它对完善规划体系和促进中长期规划实施具有重要意义。目前中长期规划的层次和结构是与政府管理体制相统一的，它的主要优点是规划的落实提供了组织保障和社会基础。同时，也存在一些明显的问题，主要是许多地方性规划的针对性不强，缺乏特色与创新。在规划体系的构造上应当更加灵活和富有弹性，只提出原则性的要求，而不对具体形式进行预先设定。

在新时期，除国家规划纲要与省级规划纲要以外，其他层次和形式的中长期规划一般可以参照以下原则进行编制：

(1) 需求导向。规划的编制要从解决一定问题、满足一定的现实需要出发，切实增强针对性。

(2) 现实可行。编制规划要充分考虑规划运行效率和成本，强调科学性和可行性，强调公众参与和民主监督，不可空喊口号，不能闭门造车。

(3) 灵活性和创造性。各级计划部门可以根据现实需要，在规划的内容，比如：为解决某一问题、规划的期限、任务需要的年限、规划的主体、一级组织或几级组织联合等方面灵活地设计。

(4) 协作性。协同作战是计划工作的最大优势之一。强调不同层次计划内部和彼此之间的密切合作，要成为计划工作者开展工作的重要理念。

2) 中长期规划的内容

中长期规划的内容要与其属性、任务和功能定位协调统一，具体的内容主要取决于社会经济现实发展的需要。在市场经济与改革开放的背景下，不确定因素明显增多。因此，新时期规划内容的设计需要更为及时和充分的信息支撑，需要动态地适应形势的变化，更加灵活的将不同层次、极其复杂的目标、任务和措施有机地揉合在一起。一般而言，国家规划纲要的内容主要包括以下几个方面：

- (1) 现状分析与发展预测。
- (2) 规划期的发展目标和主要任务。
- (3) 发展战略和发展道路的选择。
- (4) 相应措施的制定和方案部署。
- (5) 相应的组织机构与实施机制。
- (6) 不确定性警示与风险防范。

规划纲要的内容涵盖了国民经济和社会发展的各个领域，包括了发展目标、发展战略、长期预测与发展导向、政策方向与项目安排和组织实施。它明确了规划期内社会经济发展的主要难题，弱化了政府对竞争领域产业发展的干预，突出了社会经济发展动力机制的构建，强化了规划的组织与实施，这些都为进一步研究新时期中长期规划的内容设计奠定了基础。

3) 中长期规划过程

(1) 规划过程。规划过程大体可以概括为规划制定过程和规划实施过程两大部分。根据分析的需要,一般又分为前期研究、规划编制、规划审批、规划实施、规划评估以及规划修订或终止等环节,每一环节又包括许多具体的程序和内容,共同构成完整的规划过程。一般而言,从前期研究、规划编制到规划审批通过,属于规划的制定过程。规划实施是一个各种社会活动相互交织的复杂过程。规划评估与规划修订属于规划实施中的管理与维护,是规划实施的重要组成部分。规划纲要在规划前期研究中广泛动员了社会各界力量,编制过程中引入了社会公众参与,成立了专家咨询审议会,在编制完成后即开始着手研究中长期规划评估工作。这些创新是对新时期中长期规划工作的性质、形式和过程的有益探索。

(2) 规划实施与规划实施管理。在计划经济时期,依托特殊的经济运作机制与制度框架规划的制定会自动地延伸出计划的实施。在市场经济条件下,规划已经不再是一个系统性的经济运行机制,中长期规划制定与规划实施之间的自然关系已经不复存在,所以必须重新考虑新时期中长期规划的实施问题。

实施环节的薄弱是各国中长期规划工作中普遍存在的共性问题。特别是在市场经济条件下,规划的落实有赖于市场主体的参与与协作,更增加了实施的难度和不确定性,能否有效落实关系到中长期规划的成败。因此,有必要建立健全规划实施机制,加强规划实施过程的管理。规划实施管理是指政府为促进中长期规划有效实施而进行的各种管理活动。

(3) 规划过程与组织机构设置。中长期规划是政府导向的公共事业,规划过程的每一个环节都要与相应的组织机构相对应。合理的机构与职能设置是有效组织规划过程的重要前提。计划部门在规划过程的不同环节有着不同的职能和角色。以国家规划纲要为例,在规划编制过程中,遵照党中央的建议,在国务院的领导下,计划主管部门具体负责规划的编制。规划一经全国人民代表大会讨论通过,即由国务院负责组织实施。国家计划主管部门在国务院的领导下,具体负责规划纲要各项工作的全面落实,进行方方面面的协调,并将实施中出现的重大问题提请国务院决策。

除理顺职能分工以外,规划实施管理还需要强化相应的制度建设。比如,国务院各职能部门之间及其与地方政府之间的政策协商机制、规划实施的政府监督与民主监督机制,以及必要的约束与激励机制,都要适时建立与完善。同时,要切实加强相关工作之间的协调与合作,积极探索其他有效的方式,尽快建立与市场经济相适应的中长期规划实施的组织与管理机制。

1.4.3 能源电力规划工程面临的形势及主要问题

我国经济步入中高速增长的新常态、电力需求放缓,进入了全面深化改革的关键期。

为适应新形势下的发展需要，能源电力“十三五”规划面临的新形势、新问题，亟须对能源电力规划进行革命性调整和创新。明确各产业相关规划内容和研究方向，着力推动解决我国能源电力发展面临的一系列突出矛盾和问题。

1. “十三五”能源电力规划工程面临的新形势

经济新常态给传统能源电力规划模式带来挑战，我国能源电力规划应适应新常态，树立系统协调的规划理念，从根本上转变单纯依靠扩大规模满足能源电力需求的思路，合理规划好各种发电能源和输配电容量，以更清洁、高效、可持续性发展的方式满足安全供应。《能源发展战略行动计划（2014年—2020年）》规划我国未来能源结构体系为，到2020年一次能源消费总量控制在48亿吨标准煤左右，同时非化石能源占一次能源消费比重达到15%，煤炭消费比重控制在62%以内。展望“十三五”乃至更长时期，环保将成为我国能源电力行业发展的“硬约束”。

2014年6月习近平总书记在中央财经领导小组第6次会议上提出能源“四个革命、一个合作”，即推进能源消费、能源供给、能源技术、能源体制四个革命以及全方位加强国际合作战略构想，将对能源规划特别是能源电力规划提出更高的要求 and 期望。在我国资源节约与环境保护双重约束的国情下，过去那种只关注供应侧电力资源，不重视需求侧管理资源的传统规划方法必须彻底改革，否则难以实现“抑制不合理能源消费，坚决控制能源消费总量，加快形成能源节约型社会”的能源消费革命目标。

“十三五”能源电力规划关注电力系统的这一深刻变革，利用传统化石发电能源的灵活可控等优点来弥补可再生能源发电的随机性、不稳定性等缺陷，实现发电出力的协调可控；同时配合需求侧管理技术和储能技术，使需求侧用电负荷主动配合发电出力，形成相对协调的“双侧可控系统”。能源电力规划大力推进与新能源和分布式能源大规模发展相适应的微电网、智能电网、能源互联网等技术的发展，以小微、智能、就地平衡消纳为主要特征的国际电网发展新趋势，尽早解决清洁能源的“弃水、弃风、弃光”等问题。

能源体制改革是能源革命的保障。体制改革对于理顺改革各个相关方的关系，调整各方的相互影响和利益，确保改革的方向和路径通畅具有极其重要的作用。并且体制改革应当是政府主导的整体性顶层设计和体制改革，革命的对象应当是包括政府行政管理及监管体制在内的体制改革，同时还必须包括与之相配套的法律法规的制定。要坚定不移地推进改革，还原能源商品属性，构建有效竞争的市场结构和市场体系，形成主要由市场决定能源价格的机制，转变政府对能源的监管方式，建立健全能源法治体系。

2. “十三五”能源电力规划工程重点研究的主要问题

在电力规划中如何引入市场竞争机制的问题。“十五”电力规划发布以来，“十一五”“十二五”期间都未发布统一的电力规划。随着我国经济体制改革的深化，国

有企业改革和电力体制改革的推进，电力市场参与主体将更加多元化，电力市场交易将更加自由化，如何发挥市场的决定性作用和更好地发挥政府的作用，就成为“十三五”电力规划首先要解决的问题。

大规模可再生能源的并网消纳和可持续发展问题。可再生能源的规划尤其是风电和太阳能发电的规划更多的以自然资源论规划，在“十三五”时期将面临更大的挑战。《能源发展战略行动计划（2014—2020年）》要求“2020年风力发电成本与煤电相当、光伏发电实现用户侧平价上网”。如果新能源企业不将其作为一个硬性的约束条件，还是寄希望继续享受政府电价补贴追求数量扩张，那么，当新能源发展到较大规模后，电价较高、补贴不足、竞争力不强的缺点将会越来越制约其可持续发展。如何促进大规模可再生能源的并网消纳和可持续发展是“十三五”电力规划急需解决的问题。

燃煤发电在新增电源中的定位问题。目前已核准和已发路条火电项目的发电能力已超过“十三五”新增电力的需求，如果“十三五”电力规划不对煤电发展进行合理调控，到2020年煤电装机可能会超过我国长远所需要的煤电总装机峰值，这意味着煤电大规模过剩。煤电是实现“近零排放”之后继续上大容量担任基荷，如何对煤电进行合理调控和准确定位是“十三五”规划需要高度关注的问题。

需求侧资源如何纳入规划的问题。以往的电力规划更多是解决电力资源配置的问题，以建电厂和输配电线路等供应侧资源为代表，需求侧用户几乎是被遗忘的市场主体，除了被动接受电力供应外，对电力系统的运行基本上无能为力，在电力规划中的作用更未得到合理体现。在我国资源节约与环境保护双重约束的国情下，应及早变革规划思路，充分考虑需求侧调峰错峰和节能提效潜力，推行电力供应与需求紧密结合的综合资源规划办法。

3. “十三五”能源电力规划工程的新思路

改革能源电力规划机制，逐步引入市场竞争机制。要建立一种“自上而下，集中规划”的政府规划机制，逐步改变现有“自下而上、层层批准”的规划模式。首先，在规划制定环节，由国家能源局直接领导下的国家能源电力规划研究机构，并充分发挥行业协会、能源企业、电网企业、大型发电企业以及科研设计院等规划研究力量，制定中长期能源电力发展战略。在能源电力中长期战略的指导下编制能源电力五年规划，把能源电力规划关注的重点从项目审批逐步转移到对总量、结构以及布局的优化控制上。要改变“十二五”期间诸多专项能源规划、电源规划、区域电网规划的碎片化现象，将各类能源规划、电源规划、电网规划等均纳入电力发展总体规划，突出统筹电源与电网发展，煤电与清洁能源发展，发电与调度，各类电源基地布局与重要电力通道布局。

其次，在规划执行环节，逐步改变能源电力项目由各企业“跑马圈地”后政府审批的办法，将规划内的电源项目实行公开招标，通过招投标确定项目业主和价格，实际上相当于将能源电力市场竞争提前到建设环节。能源电网项目实行备案制，通过市场竞争方式选

择投资主体和确定基准（容量）电价，以利于从源头上控制能源电力系统成本。

创新电力规划方法，实现纵向源—网—荷—储协调优化。电力规划要逐步引入综合资源规划的理念，将电力供应侧和需求侧的各种形式的资源综合成为一个整体进行规划，从而达到整个规划系统的社会总成本最小。以提高需求方终端用电效率所节约的资源同样可以作为供应方替代资源这样一个新理念，使得可供利用的资源显著增加，这样可降低电源、电网新建扩建容量，节省大量供应侧资源投入，能够在保证经济增长水平的前提下，实现对能源消费总量的控制，大大降低环境污染物排放。另一方面，以智能电网技术、能源互联网技术、先进输电技术、需求侧响应技术以及相关储能技术作为支撑，实现电源与电网、电网与用户、电源与用户之间的资源优化配置，即实现纵向“源—网—荷—储”协调优化模式。尤其当未来大规模的间歇性、随机性新能源电力接入电网之后，电力需求侧管理及需求侧响应将成为未来新能源电力系统中重要的可调控资源，其将与传统电源、储能设施一起，成为保证电力系统安全稳定运行的重要支撑。

强化电力统一规划，通过构建高效能源传输平台，利用传统化石能源发电的可调控性、灵活性来弥补清洁能源的间歇性、波动性，实现“横向多能源互补优化”，形成多元化、集中式与分布式相协调、协同互动的电力能源供应体系，克服单一区域、单一类型新能源出力的波动。合理安排清洁能源发电与传统燃煤发电的组合优化，基于最大限度利用清洁能源的基本目标来配备燃煤发电机组的调峰容量，实现各能源体之间的相互协调配合，促进清洁能源电力的高效外送和消纳。调整新能源发电发展思路，风电和光伏发电发展应坚持集中与分散相结合原则，近中期优先鼓励分散、分布式开发。根据社会承受力，设定未来若干年可再生能源上网电价标准和补贴规模，并提前向社会公布，通过倒逼机制促进企业的技术进步和优胜劣汰，从而促进新能源产业的可持续发展。

第2章 能源电力规划工程基本理论



本章论述了能源电力规划工程系统动力学的基本原理，探索适合新时期我国经济发展需要的能源电力规划工程理论和方法论，总结了组织能源电力规划工程应该处理好的八大关系，介绍了在市场经济条件下电力规划系统工程理论的应用研究成果。

2.1 能源电力规划工程的基本概念

本节论述了能源电力规划工程系统动力学基本原理、在组织能源电力规划工程应该处理好的八大关系，介绍了在市场经济条件下电力规划系统工程理论的应用研究成果。

2.1.1 能源电力规划工程系统动力学原理模型

能源电力是人类社会和经济发展的物质基础。能源电力规划越来越成为当今各国十分重要的国家战略规划，对国家经济社会发展产生越来越重大的影响。在借鉴社会发展系统动力学原理，结合长期能源电力规划、计划、项目实施成功与失败的实践，应用信息化、网络化、智能化促进能源电力规划现代化的基础上，本文提出了能源电力规划工程系统动力学原理模型。

能源电力规划工程系统动力学的出发点和归宿点，是作为人类生存和社会经济发展运动整体的起点“社会经济环境”，它的本性是不断提出更高的“发展需求”，永远不会停留在一个水平上。正是这种社会进步和经济发展对能源电力规划工程的原动“需求”，成为推动人类社会和经济发展不断进步的能源电力规划工程的永恒原动力。

如图2.1能源电力规划工程系统动力学原理模型所示：

(1) 面对社会进步和经济发展对能源电力规划工程的原动“需求”，首先提供相关要求的“理论和理想”成果来响应。理论和理念可以在原理上启示社会成员包括能源电力行业怎样才能满足社会对能源电力规划工程的需求，但是抽象的理论和理想，本身无法直接满足社会进步和经济发展对能源电力规划工程实际需求的永恒原动力。

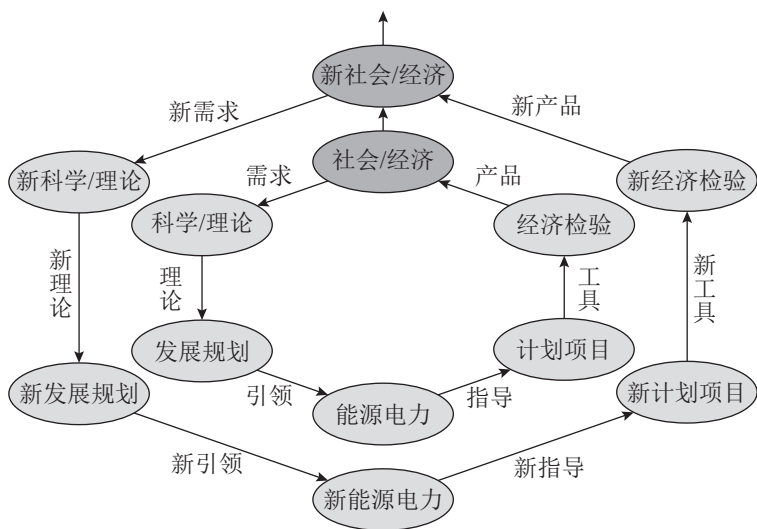


图2.1 能源电力规划工程系统动力学原理模型

(2) 面对社会进步和经济发展对能源电力规划工程“需求”的激励，在科学理论和远大理想的启迪与指导下，国家组织编制国民经济和社会发展规划及能源电力五年发展规划，阐明国家战略意图，明确政府工作重点，引导市场主体行为、市场监管、社会管理和公共服务，推动能源生产和消费革命，推动能源创新发展过程。能源电力规划工程为全体社会成员提供先进的“社会生产工具”，用于通过能源电力规划工程扩展社会成员的社会生产能力。

(3) 地方政府依据国家国民经济和社会发展规划，结合国民经济和社会发展规划及能源电力资源分布情况，组织编制地方国民经济和社会发展规划及能源电力五年发展规划，能源电力行业各成员组织编制能源电力五年滚动计划和项目资金计划，向能源电力行业各成员单位下达滚动计划和项目资金计划，通过能源电力规划工程的实施实现提供相应的“社会生产工具”来扩展社会成员的社会生产能力，提高社会成员实现社会需求的基本能力。各成员单位利用项目资金开展能源电力规划工程的社会生产活动，提高了能源电力行业“社会生产力”。社会成员之间相互结成一定的社会生产关系，这种社会生产力与社会生产关系的结合，就构成了相应的社会经济运转系统。

(4) 这样构成的“社会经济运转系统”，在新经济检验中可以生产一定数量、质量和品种的“物质产品和精神产品”来满足社会生存与经济实际“需求”，从而完成能源电力规划工程系统动力学原理模型的一个互动过程，使社会需求得到满足。即社会进步和经济发展对能源电力规划工程的原动“需求”。

但是，由于人类社会和经济发展的社会需求包括能源电力的原动性和永动性，原有的社会需求包括能源电力发展对规划工程的需求满足了，新的人类社会和经济发展的社会需求包括能源电力规划工程需求又随之产生。于是，又必须开始一个新的、水平更高的互动

过程。这种螺旋式前进的能源电力发展过程永远不会终结，从而形成了人类社会和经济发展的勃勃生机与无限前景。

这一原理也深刻揭示了作为推动人类生存和社会经济发展的能源电力规划工程是一项十分复杂的系统工程。人类生存和社会经济发展运动整体的“社会经济”，是不断提出更高的“发展需求”。面对社会进步和经济发展“需求”的激励，在科学理论和远大理想的启迪与指导下，在形成国民经济和社会发展五年规划纲要及能源电力五年发展规划过程中，必须调整全体社会成员（中央与地方、各行业、部门、各种资源生产与管理者）之间的社会生产关系，变革上层建筑，以全面提升全体社会成员提高国民经济和社会发展及能源电力“社会生产力”的能力。

结合地方国民经济和社会发展以及能源电力资源分布情况编制的地方国民经济和社会发展五年规划和能源电力五年发展规划，以及能源电力各成员单位能源电力五年滚动计划和项目资金计划下达实施，是为全体社会成员提供基于现代信息技术的先进“社会生产工具”，在开展能源电力系统社会生产活动中，创建信息时代社会生产力。在这一过程中，社会生产关系的调整和上层建筑变革是成败的关键。能源电力规划工程效率、效能和效力，在“社会经济运转系统”需求检验中，是判断能否满足和推动国民经济和社会发展包括能源电力发展的唯一标准。能源电力是人类社会和经济发展的物质基础。能源电力规划越来越成为当今各国十分重要的国家战略规划，对国家经济社会发展产生越来越重大的影响。能源电力规划工程系统动力学原理模型就是在借鉴社会发展系统动力学原理，结合长期能源电力规划、计划、项目实施成功与失败的实践，应用信息化、网络化、智能化促进能源电力规划现代化基础上提出的。

2.1.2 能源电力规划工程要处理的八大关系

1. 能源规划工程与能源战略、能源政策的关系

能源规划与能源战略、能源政策三者属于不同层面上的定义，既有联系又有差异。能源战略是从能源大系统的角度出发，围绕一定时期内国家能源政策目标的实现，制定和实施的一系列资源的保护利用、能源资源开发、能源利用效率、能源战略安全、能源结构调整、能源成本和能源可持续发展等战略措施，及国家能源发展的指导方针、目标、任务以及实施手段等系列战略措施。政策是国家、政党为实现一定的政治路线而制定的行动准则。能源政策是国家在能源领域为了实现一定的经济目标或环保目标而制定的一系列行动准则。

一般来说，能源规划是总体安排和布局，政策是特定的措施。能源规划就其本质来讲，是政府运用系统论、经济学、环境科学等理论指导和管理能源产业，采取措施干预能

源产业的发展以实现某种经济和社会目的，从整个国家能源产业发展的全局着眼而系统设计的一种完整的中长期计划。其内容主要包括能源产业战略目标、能源产业部门发展经济模式、能源产业管理体制、国家能源产业政策、能源产业战略的实施系统及预期结果等重大内容。

2. 能源规划工程与经济社会总体规划的关系

国民经济和社会发展规划是国家或者区域（城市）在较长一段历史时期内经济和社会发展的全局安排。它规定了经济和社会发展的总目标、总任务、总政策以及发展的重点、所需要经过的阶段、采取的战略部署和重大的政策和措施。能源系统是整个国民经济系统的重要组成部分。

能源系统向国民经济系统各部门供应它们所需的能源，同时能源系统本身的活动又需要其他部门向它提供非能源产品。能源需求和能源供应是两个相互联系的问题，所以能源系统不是一个封闭系统，不能离开国民经济这个大系统去分析能源系统。能源系统具有资本密集度高、建设周期长、服役期长、与生态环境密切相关等特点，任何关于能源的决策都会给整个国民经济系统带来重大的、长远的影响，因此能源规划是整个国民经济和社会发展规划中非常重要的一部分，需要优先考虑。

能源规划作为国民经济和社会发展计划体系中的一个子系统，或者说重要的有机组成部分，应该服从并服务于国民经济和社会发展规划。能源规划的指导思想必须与国民经济和社会发展的指导方针、指导思想相一致，这是我国社会主义市场经济的客观要求，也是建设有中国特色的社会主义理论和党的基本路线的要求。

3. 能源规划工程和能源统计的关系

能源统计是能源政策和能源规划中不可缺少的基础工作。缺少可靠的统计数字就无法衡量一项政策的效果，也无法做出科学的分析和预测。只有具备健全的统计工作基础，才能从事技术政策、技术措施和技术方案的研究，并对其效果做出正确的评价。只有在可靠的能源统计基础上，一个国家的决策领导机关才能确切地知道一项能源政策预计能产生的效果，才可以预测将来能源需求的变化趋势，并以此来综合平衡工业、交通、生活等各部门的需要以及整个经济发展计划的要求。

4. 综合能源规划与部门能源规划的关系

从规划的性质上来看，能源规划工程主要由综合规划、部门能源规划组成，两者互相影响、互相制约。

1) 部门能源规划

部门能源规划主要指各能源行业、各能源类别做出的独立的能源规划，比如煤炭规

划、石油规划、电力规划、新能源和可再生能源规划等。下面以我国新能源和可再生能源规划为例，简要对分散型规划加以分析。

我国新能源和可再生能源产业发展规划的基本思路是根据新能源和可再生能源的资源、技术状况和市场发展潜力，结合国家经济发展要求，提出技术和产品的推广应用目标、实现这些目标需要具备的设备生产制造能力和相应的配套服务体系，以及克服产业发展障碍因素的政策措施和实施行动。其发展目标是加速技术和产品的推广应用；增强我国设备制造和生产能力；建立产业化配套服务体系；健全法规和机制，实现新能源和可再生能源开发利用的商业化发展。可见，无论是从新能源与可再生能源规划指导思想，还是其基本思路与发展目标来看，新能源和可再生能源规划的落脚点都在新能源与可再生能源上。

2) 能源综合规划

综合能源规划意味着将各种能源问题都放在统一的政策体系中进行分析，以便求得解决国家长远能源问题的一整套办法。综合能源规划主要包括以下内容：对历史和现状进行调查，建立能源数据库；规划社会、经济、环境发展的目标和编制相应的方案；能源需求预测；能源资源评价；能源工艺评价；能源供应与需求平衡；各种影响分析和决策分析；编制投资和其他财务预算规划；制定能源供应与需求管理战略和相应政策措施。

在进行综合能源规划过程中，应在三个重要方面进行综合工作：一是经济规划与能源规划相结合；二是对能源各个子部门的规划进行综合；三是对每一子部门内各个工程项目进行综合。以上三个层次的综合并无固定的先后顺序，而是一个反复迭代的过程。综合资源规划不仅是在规划方法上的改进，更重要的是在于规划的实施。而规划的实施，涉及到一系列的管理体制、运行机制、政策措施等方面的问题。

5. 能源规划工程与环境保护规划的关系

能源是发展国民经济和提高人民生活水平的重要物质基础。但是，能源的开发、转换、加工、储运、利用等过程都会对环境产生污染。当前，能源在利用过程中产生的污染最为严重，因此，能源与环境有重大关系。人类的生存和发展，既要有充足的能源供应，又要有良好的环境。对环境污染危害最大、范围最广的是大气污染和水质污染，它危害人的身体健康、动植物的生长，并且对器物腐蚀严重。而能源又在开发和利用过程中对大气和水质的污染最为严重，引起了气候变化和土地退化。

能源是环境问题的核心，能源的生产和利用对当地、区域和全球大气环境产生重要影响：环境是能源决策的关键因素，环境评价应是所有能源项目立项的先决条件，环境应作为一种资源纳入综合资源规划；能源是环境外交的中心，耗能产品也是国际贸易绿色壁垒的对象；能源生产（特别是可再生能源）和使用（绿色照明、绿色建材，节能空调、冰

箱、绿色电脑等)是绿色运动的主要目标。

6. 能源规划与城市总体规划的关系

城市能源作为支撑城市经济社会运转的重要物质基础之一,在城市生产力发展日益集聚化、城市服务联系日益社会化、城市功能日益多样化、城市管理日益综合化、城市在区域范围乃至国民经济发展中的地位作用日趋突出的发展总趋势下,其自身的演变也表现出一定的规律性,并对城市经济社会的运行产生极大的推动和制约作用。城市能源消费的高度集中,导致城市“热岛”的形成,城市能源在生产、加工、转换、消费利用中所排放的大量废物,将对城市生态环境产生根本的影响。

城市总体规划是为了实现一定时期内城市的经济和社会发展目标,确定城市性质、规模和发展方向,合理利用城市土地,协调城市空间布局、进行各项建设的综合部署和全面安排。其意义在于它对城市发展的指导和控制,是一个过程。它贯穿在城市发展的整个过程中,是建设城市和管理城市的基本依据,是确保城市空间资源的有效配置及土地合理利用的前提和基础,是实现城市经济和社会发展目标的重要手段之一。

城市能源发展目标是城市总体规划的目标之一,对城市产业结构的调整、城市经济社会的发展起到重要的作用,因此城市总体规划中往往设定城市能源规划的相应篇章,比如电力规划、燃气规划、供热规划等。城市总体规划与能源规划的相互关系主要有以下三个方面:一是城市人口与经济发展;二是城市的产业结构与布局;三是城市的基础设施建设。城市能源规划的制定与实施可以确保城市建设和发展所需的能源,保障城市工业、居民的正常生产与生活,使城市走上可持续发展的道路。

7. 能源规划工程与国土规划的关系

国土规划是根据国家社会经济发展总的战略方向和目标以及规划区的自然、经济、社会、科学技术等条件,按规定程序制定的全国的或一定地区范围内的国土开发整治方案,其主要任务是确定本地区主要自然资源的开发规模、布局和步骤,确定人口、生产、城镇的合理布局,明确主要城镇的性质、规模及其相互关系;合理安排交通、通信、动力和水源等区域性重大基础建设;提出环境治理和保护的目标与对策。国土规划是国家和地区高层次、战略性、综合性的地域空间规划,它以可持续发展战略为指导,以土地利用总体规划为依托,协调、整合经济社会发展及其建设布局与国土资源和生态环境承载力的关系、各大类国土资源之间的关系、国土资源开发利用与生态环境保护的关系,是指导城市规划、自然资源规划、能源规划以及生态环境保护规划等的依据。

能源规划是国土规划的重要组成部分,为国土资源的开发与保护、国土环境综合整治提供技术支持和科学依据。国土规划为能源资源的开发、能源工业的发展提供指导性计划。两者的协调发展是我国的国情和实现长远发展目标的根本需要,对于我国现代化进

程、人口资源环境问题、全面小康社会建设、可持续发展战略的实施具有十分重要的现实意义和深远的战略意义。

8. 能源规划工程与实际的关系

我国能源的实际情况应该以能源规划为指导思想，能源规划应该考虑我国的实际能源情况，以便使能源规划更合理。我国的能源规划目标往往与实际情况存在较大的差异，下面以“十五”规划为例来列示一些能源规划中存在的问题。

1) 能源生产量

“十五”规划中预计了2005年一次能源生产总量，以及各主要能源的生产量，但是与2005年的实际生产存在较大的差异。一次能源生产总量实际比规划高35.95%（具体情况如表2.1所示）。

表2.1 “十五”能源规划目标与实际数据的差异

分类	年份	2000年	2005年规划	2005年实际	绝对差	相对差
	一次能源生产总量（亿吨标准煤）		12.9	13.2	20.61	-7.41
煤（亿吨）		12.99	11.7	22.05	-10.35	-46.9%
石油（亿吨）		1.63	1.65	1.81	-0.16	-8.84%
天然气（亿立方米）		272	501.65	493	8.65	1.76%
水电（亿千瓦时）		2224	3588.86	3970	-381.1	-9.60%
核电（亿千瓦时）		167	601.23	531	70.23	13.23%

2) 能源消费结构

“十五”规划中，2005年能源消费结构中煤炭占比为69.10%、石油21%、清洁能源9.9%，而实际能源消费结构中煤炭为63.87%、石油18.25%、清洁能源17.88%。与2000年相比，2005年煤炭在一次能源消费中的比重下降3.88个百分点；天然气、水电等清洁能源比例达到17.88%，提高约5.6个百分点。

2005年实际和规划的能源消费结构中占比为：煤69.10%、石油21.00%、清洁能源9.90%。

3) 能源强度

“十五”期间，单位产值能耗下降了15%~17%，节约能源总量约合3.0~3.4亿吨标准煤，相当于减排二氧化碳（以碳计算）1.5亿吨左右。事实上，按2000年不变价格计算，2005年万元GDP能耗是1.43吨标准煤，即使万元GDP能耗最低的年份2002年也只会比2000年下降了7.14%，远远低于规划的目标。

2.1.3 系统工程理论在电力规划工程中的应用

1. 目的及意义

电力规划是一项复杂的系统工程，其复杂性突出地表现在规模大、不确定因素多、涉及部门和专业领域广等特点，需要对有关社会经济发展有比较全面的认识和准确的把握。在市场经济条件下进行电力规划与计划企业，应以追求企业经济效益最大化为目标，充分考虑改革后，随着厂网分开，电源规划和电网规划协调统一显得尤为重要。因此，为充分发挥市场对资源配置的基础性作用，确保电源、电网、结构的科学性和合理性等，对电力规划提出了新的要求，迫切需要电力规划者拓宽规划思路，进行规划设计思想观念的变革。

系统工程就是用科学的方法规划和组织人力、物力、财力，通过最优途径的选择，在一定期限内收到最合理、最经济、最有效的效果。所谓科学的方法就是从整体观念出发，通盘筹划、合理安排整体中的每一个局部，以求得整体的最优规划、最优管理和最优控制，使每个局部都服从一个整体目标，做到人尽其才，物尽其用，以便发挥整体的优势，力求避免资源的损失和浪费。采用系统工程的一些理论、方法开展电力规划。思路清楚，事半功倍，考虑问题全面，可以使我国的电力规划工程有章可循，能够达到降低投资风险、提高投资经济效益和社会效益的目的。

2. 系统工程的基本理论与方法

1) 系统工程理论概述

系统工程理论自创立以来，以其集合性、相关性、目的性、环境性、适应性的优势，已广泛应用于各种领域，特别是在系统规划中的作用越来越重要。系统工程研究的对象是复杂的大系统。系统包含硬件单元，也包含软件要素，尤其是人的行为。因此，要有独特的思考问题和处理问题的方法，要应用多种社会科学的艺术手段。描述性、逻辑性、规范性、艺术性这些特点交织在一起，构成了系统独特的思想方法、理论基础、基本程序和方法步骤。系统工程的基本特点是：研究方法强调整体性、技术应用强调综合性、管理决策强调科学性。

2) 在规划中系统工程理论应用的基本原则

(1) 整体性与目标优化原则。系统工程的全过程及其各个方面要服从于整体目标，且系统的最优化观念贯穿于管理活动的始终，它是工程学的指导思想和追求目标。

(2) 有序相关原则。系统工程各内部子系统之间的关系错综复杂，所以，要把管理注意力集中于系统内部各要素之间，以及各分系统之间的相互关联上，抓好系统内部的组织管理协调工作。

(3) 动态性与等效性原则。对不同系统工程和同一系统工程不同的管理手段, 系统工程的方法论具有等效性, 并在动态变化中求得系统的整体优化。

(4) 分解综合原则。系统工程的分解是将具有比较密切相关关系的组成部分进行分组或归纳出相对独立、层次不同的分系统, 这对运用计算机进行管理是极为有利的。综合则是在分解的基础上完成新系统的筹建过程, 即选择具有性能好、适用性高的分系统, 设计出它们的相互关系, 形成具有更广泛价值的系统, 提高管理效益。

3) 系统工程分析方法

(1) 将内部条件与外部环境相结合进行综合分析。因为在实践中, 环境的变化往往对考察系统的运作产生很大的影响。

(2) 将局部与整体相结合进行综合分析。一个系统往往由许多子系统组成, 应从局部和整体相结合的角度来对系统进行综合分析。

(3) 将定性分析与定量分析相结合进行综合分析。在现实经济生活中, 有些指标是可以量化表示, 有些则不能, 只有通过定性与定量的反复循环确认, 才能达到系统优化的目的。

3. 在市场经济条件下电力规划系统工程理论的应用研究

电力规划是电力工业改革发展的重要环节, 如何做好厂网分开后我国市场经济条件下的电力规划, 是一项复杂的系统工程。在应用以上系统工程的基本理论与基本分析方法的基础上, 应用一套科学的电力规划系统方法就显得尤为必要。

1) 电力规划思想必须创新

随着我国电力市场的逐步建立, 电力供应将由市场需求来决定。因此, 电力规划的战略方针必须适应新形势的要求进行规划设计思想的变革, 要在充分研究电力市场的基础上综合考虑电力供应方案的技术经济性, 需求侧管理、环境、社会经济等因素, 从而使综合资源利用最优, 达到最佳的经济效益、环境效益和社会效益。这样才能使我国电力工业得到健康、持续、稳定发展。

2) 电力规划要有整体性思想

电力规划系统工程要从系统整体的优化出发, 不仅要把由一些具体的项目规划构成的整个电力系统规划看作是一个为完成整体优化目标而由若干个项目结构要素有机结合而成的整体来处理, 还要把这个整体看作是它所从属的国民经济大系统的组成部分来考察, 研究适合电力系统优化发展且使其服从于国民经济大系统需要的最佳的规划方案。

3) 电力规划应充分考虑系统内部各因素相互之间的关系及影响

厂网分开后电源规划和电网规划这两个内部因素不能相互独立, 这是由电力商品的特殊性决定的。它们需要协调统一, 以求社会经济利益最大化。以电网规划带动电源规划的战略, 即电网公司根据市场需求情况, 积极做好输电扩容规划, 并为电源规划, 新电厂厂

址及装机容量的选择提供参考意见。

4) 电力规划应具有动态性和开放性

电力规划在规模、结构、层次、相互联系等方面高度复杂，且系统的各组成要素随时间和环境的变化而变化，系统与投资环境之间呈开放态势。因而电力规划应顺应要求，应具有长远的眼光和开放的意识为电力发展与电力市场开拓提供指导性意见。

5) 电力规划所采用的方法综合化

电力规划系统工程应强调综合运用各个学科和技术领域内所获得的成就和方法，使得各种方法相互配合以完成系统优化的规划目标。对各种方法的综合应用，并不是将各种方法进行简单地堆砌叠加，而是从规划的总目标出发，将各种相关的方法协调配合、互相渗透、互相融合，进而综合运用的。应充分应用内部条件和外部环境综合分析、局部和整体相结合分析、定量分析和定性分析相结合的综合分析等方法，寻找规划问题的最优解。

6) 电力规划要积极寻求应对模糊性与灰色性的策略

由于电力规划是面向未来的灰色系统，且电力规划技术结构复杂、涉及面广，影响投资建设的因素较多，规划的经济计算所采用数据大部分来自预测和估计。受这些主客观因素的影响，电力规划决策必然包含某些不稳定因素和风险。所以，市场经济条件下电力规划中的模糊性与灰色性对管理工作提出了挑战，需要一套科学的应对策略，使由于不确定性带来的决策的失误降到最低。

7) 采用综合资源规划IRP的方法进行电力综合资源规划

IRP方法是指在规划期内开发资源来满足用户电力增长的需求，它的特征是采用若干类指标，包括技术、经济、财务、环境、社会经济等，对发电规划、需求侧管理DSM、社区能源规划、电价、输电和配电等方面进行综合评价。IRP方法与传统的规划相比具有以下特点：规划方案的选择基于明确的规划目标，对电力供应方案和DSM等进行统筹规划，使资源开发的选择范围更大，在规划阶段考虑环境和社会经济影响，认真对待各种不确定因素，决策者和利益相关者的参与，以及对各种资源开发的选择过程进行更明确的权衡分析。IRP目标的确定要考虑与其他战略规划的目标相协调，反映各部门和利益相关者，如环境、电力公司内部利益等的价值，确定各种资源的特征及其重要服务，并且有利于环境和社会，使客户总的支出费用最低。

8) 重视宏观经济预测分析

宏观经济预测的主要任务是，根据规划人口、国民核算体系、投入产出表、行业主要经济指标等有关数据，应用宏观经济预测模型对规划区域的社会和经济发展进行预测，揭示规划区域未来经济发展的各种可能的情景，为了解未来电力需求情况和科学合理地进行电力规划提供外部环境分析资料。

9) 加强电力市场调查研究分析

加强电力市场调查研究、充分挖掘潜在的用电资源、对电力市场进行跟踪分析、提高

电力需求预测的准确性,是电力企业项目决策、资金投向等发展战略的基础,也是电力企业把握市场、开拓市场、实现效益最大化的基础。需求预测主要是在宏观经济和电力市场分析的基础上,对规划期内社会各个行业、各种能源终端用户的电力消耗进行预测分析,从而得出全社会的电力需求水平。根据终端用能的特点,通常可将终端用户分为几个行业来对能源需求进行全面预测,如工业、居民、商业、交通运输业、农业等。在进行分行业终端需求预测时,除了研究这些行业的宏观经济综合指标外,还需将这些行业分为若干个子行业进行详细研究终端用能情况,如工业可分为冶金、化工、纺织等子行业,居民可分为电器、炊饮、取暖、照明等终端用户。这样,我们将一个庞大的能源消费市场分解成若干个终端用户进行详细分析研究,就可以较容易地掌握其中能源消耗变化的规律和用电负荷特性的变化,对电力市场和电力需求做出较客观的分析和预测。

10) 对各种有效资源进行综合评价

认真分析目前和未来的能源资源结构状况,用最经济的资源供应方案满足电力需求,实现最大范围的资源优化配置。在电力需求预测完成后就要考虑开发能源资源来满足规划期内电力需求的增长。但是开发哪种资源投资效益最好,对社会、电力企业、用户、环境有利等选择就摆在了规划者的面前。在进行能源资源分析时首先要对现有和未来的能源资源进行认真分析的内容有,现有和未来各类发电和输变电容量、规模、比例、效率、设备利用情况等,各种终端用户节能节电情况和潜力,现有能源资源的结构与电力负荷结构的关系,现有能源资源和电源结构存在的问题和相应的调整计划,未来满足电力负荷需要的能源资源供应状况和代价,以及需求侧管理的效益和代价,重视和鼓励可再生能源的利用和发展。通过对供应方和需求方资源的综合分析,分析者要产生一系列资源组合方案,包括各种发电资源、从区外进口电力、需求侧管理等组合方案,用来比较各种可选择的能源资源,筛选后的每种组合方案都要满足负荷增长,电力和电量、可靠性及备用容量等需求原则。

11) 电力规划工程组织管理上应科学化、现代化

电力规划系统工程的整体化要求管理上的科学化,其应用方法综合化要求管理上的现代化,否则会出现严重的混乱状态,致使资金用不到刀刃上。又由于它研究的对象具有高度的复杂性与非线性学科的综合应用日益广泛,这就使得那种单凭经验的小生产方式的经营管理不可能适应客观需要。因此,没有管理上的科学化和现代化,就难以实现整体化和应用方法的综合化,也就不能充分发挥出投资项目系统的效能。管理科学化和现代化为规划过程服务,使规划目标明确、思路清楚、方法先进,只有这样才能提高规划的效率与效益。

12) 电力发展规划要坚持可持续发展战略

在获得资源开发备选方案后,就需要考虑各备选方案对环境和社会经济协调发展的影响等相关因素。多因素权衡评价MATA是根据政府对国家发展政策和战略目标,从资源开

发的技术经济、环境和社会经济三方面对各种备选发展方案进行综合权衡分析比较，从而得到在一定的权重，包括子权重系数下各备选方案相对的综合指标。在技术经济方面，重点研究能源开发的成本费用、财务、运行等有关指标。具体目标考虑如下：投资成本、运行成本、总的投资及运行成本，现值、运行约束，如水电弃水、财务及电价影响、资源多样化。环境分析是把能源发展方案的环境影响加到能源开发方案的评估中。在环境影响方面，一般主要考虑如下目标：不可再生能源、生物多样性、大气排放、液体排放、固体废物、环境容量。社会经济影响分析主要基于两个原则，一是能源开发方案中厂址的社会影响，二是能源开发方案有可能造成的对整个社会经济效益、成本的影响。一般采用以下目标来衡量对社会经济的影响：移民、家庭收入、农业投资、商业投资、乡镇企业产值、消费支出、健康状况。通过对技术经济、环境、社会等因素的权衡分析，并且对不确定因素和风险，如负荷变化、燃料成本、贴现率等进行敏感性分析，确定在不同目标下电力发展规划各备选方案的优劣次序。对结果进行分析评价，在此基础上提出电力规划方案的政策建议。

2.2 能源规划工程理论及方法论

能源规划是国民经济规划的重要组成部分，能源规划是一项十分复杂的系统工程，探索适合新时期我国经济发展需要的能源规划工程理论和方法论，为宏观决策部门科学制定“十三五”甚至更长远的能源规划提供决策支持。

2.2.1 能源规划工程的基本概念

能源规划是一种综合分析。能源规划与传统的部门规划不同，即与电力部门规划、炼油和石油部门规划或工业发展规划不同。能源规划的本质在于综合分析，了解各种燃料之间的相互替代（而不是仅研究某种燃料的最有效供应系统），了解能源与经济相互关系（而不是仅仅考虑一个部门的发展规划对能源的需求），以及了解能源部门的投资需求和非能源部门的投资需求之间的竞争关系（而不是传统上孤立地分析问题，即投资密集的电力部门决定其本部门的发展规划）。

2.2.2 能源规划工程的目标及分类

能源规划的目的就是实现预定的能源发展目标。能源规划目标是能源战略的具体体

现,是能源发展和管理的基本出发点和归宿。能源规划的目标是能源规划的核心内容,是对规划对象未来某一阶段能源发展方向和发展水平所做的规定,它既体现了能源规划的战略意图,也为能源管理活动指明了方向,提供了管理依据。通过加强能源规划,制定和实施与市场经济体制相适应的政策法规体系,开发和推广先进的、环境无害的能源生产和利用技术,提高能源效率,合理利用能源资源,减少环境污染,实现能源工业的可持续发展,满足国民经济和社会发展的需要。

能源规划工程的目标一般应当满足以下基本要求:

(1) 具有一般规划目标的共性。能源规划目标必须有时间限定和空间约束,可以计量并能反映客观实际,而不是规划人员和决策者的主观要求和愿望。

(2) 与经济社会发展目标相协调。能源规划的根本目的是保证国民经济和社会健康发展,实现能源工业的可持续发展。能源规划目标应该集中体现这一方针,与经济社会发展目标进行综合平衡。从某种程度上来说,能源规划就是一种经济规划,是国民经济发展规划的重要组成部分。因此,能源规划应该在对社会各部门经济结构和产品结构的现状和发展的调查和分析中,对能源需求进行预测,确定规划期内社会对能源系统的需求,建立与经济发展相适应、无害环境的能源供应体系和消费模式。

(3) 提供规划期内能源供应的最佳方案。由于能源供应具有可替代性,因此可以有多个供应方案来满足需求。通过规划,合理调整能源系统内部各部门、各环节的增长速度、比例和结构,确定最佳的能源供应方案。

(4) 合理有效地利用能源资源和可能提供给能源系统的投资。当前,我国能源生产和利用效率、效益与世界先进水平还存在着较大差距,高耗能产品能源单耗比发达国家平均水平高40%左右,单位产值能耗是世界平均水平的2.3倍。这些使得我国本不富裕的能源资源形势更为严峻,因此要对可能采取的重大节能措施进行技术经济评价和投资分析,以达到能源资源的有效利用和能源系统投资的合理发挥。

(5) 与环境目标相协调。能源是发展国民经济和提高人民生活水平的重要物质基础,但是,能源的开发、转换、加工、储运、利用等过程都会对环境产生污染。人类的生存和发展既要有充足的能源供应,又要有良好的环境。因此在制定能源规划的过程中,应该充分考虑能源给环境带来的影响,达到能源、环境、经济发展的协调和平衡。

中国能源规划是在对中国能源生产、供应和消费的现状和历史资料调查研究和分析的基础上,为满足中国国民经济和社会发展的需求而对一段时期内能源发展所做的计划、设想和部署。

中国能源规划按不同的分类标准可分成不同的类型:

(1) 按地域范围,分为国家能源规划和地区能源规划。中国国家能源规划是为满足中国国民经济和社会发展的需求所做的能源规划。中国政府每隔5年制订一个国民经济发展的五年计划,能源是国民经济发展的基础,因此通常要制订相应的国家能源规划以满足

国民经济5年发展计划对能源的需求。中国地区能源规划是国家某一地域范围的能源发展规划，通常又可分两类：地方行政单元地区能源规划和区域能源规划。

地方行政单元地区能源规划是指按中国省、市行政单元所做的地区性能源规划，是中国地方政府为发展当地经济而制订的，如山东省能源规划、太原市能源规划等。区域能源规划是中国关于某一地域的能源规划，其规划地域跨越省、市、地、县行政单元地区，如中国农村能源规划、中国西部地区能源规划、长江三角洲经济区能源规划等。该区域内的各地区往往在社会经济、人文、地理资源和科学文化等方面具有共同的特点，中国政府通常设立专门的机构进行统一管理。在区域能源规划中，由于“三农”（农业、农村和农民）问题和西部地区开发战略问题是中国政府长期关注的重点问题，因此，中国农村能源规划、中国西部地区能源规划是中国最重要的区域能源规划。

(2) 按能源种类，分为煤炭、石油、天然气、电力、核能、新能源和可再生能源等单项品种的能源规划。原国家经贸委规划司制订了“十五”部门能源规划，包括煤炭“十五”规划、石油“十五”规划，新能源和可再生能源“十五”规划等部门能源规划。在部门能源规划中，中国常常启动一些对国民经济和社会发展的全局有重大战略影响的能源规划工程项目，如电力部门举世瞩目的三峡水电工程、“西电东送”工程，天然气部门的“西气东输”工程等。

(3) 按时间长短，分为短期能源规划（5—10年）、中期能源规划（10—20年）、长期能源规划（20—50年）。中国共产党和中国政府制订了发展国民经济分三步走的宏伟战略目标，中国的国民经济发展计划是按五年一个时间段制订的，而能源规划又是为实现经济建设目标服务的。因此，中国能源规划大部分是5年的短期规划，一般不超过20年，尤其是国家能源规划和地方行政单元（省、市）能源规划是为实现国民经济发展五年计划编制的，一般规划期为五年。

专项规划、区域规划的规划期，可根据规划对象的特点合理确定，不要求均以五年为规划期。科技、教育、能源、交通、水资源、生态建设、环境保护、城镇化等，可以规划到2020年，今后可以滚动修订。有些领域的专项规划，可以根据完成任务的需要确定规划期，可以是三年、四年等。如广东省编制了《广东省能源发展“十五”规划及2015年远景目标纲要》，展望到2015年。

(4) 按全局和局部，分为综合规划和专项规划。综合能源规划是为满足国家或地区国民经济发展的需求，综合考虑所有能源品种及与能源生产、加工转换、运输、供应和消费有关的社会经济和环境等因素所做的能源规划。专项规划一般来说是对总体规划中的重要专题进一步进行具体的规划。如电力规划是电力部门的总体规划，而“西电东送”和三峡水电工程规划是电力规划中的专项规划。

(5) 按特定目的，有北京奥运能源规划、节能规划等。北京奥运能源规划是为落实申奥时北京向国际奥委会在能源环境方面所做的承诺而编制的能源规划。节能规划是为节

约能源资源、实施中国能源可持续发展战略而做的规划。

2.2.3 能源规划工程的内容原则

能源规划工程包括预测和安排，即：预测能源的需求量和对能源的开发、生产、转换、使用和分配进行统筹安排，使供求相适应的过程。能源预测的基本任务是分析社会对能源需求的变化以及能源系统能否满足这些需求。可以把前者称为需求预测，后者称为供应预测。前者所研究的主要不是能源系统本身，而是整个国民经济系统；后者则主要研究能源系统本身，主要包括能源资源预测、生产能力预测和技术发展预测。

优化就是在综合平衡的前提下，使经济规划的某项指标达到最优或多个指标实现共同合理分配，综合效果达到最优。在科学的规划中优化是一项突出的内容，是传统的规划方法难以实现的。能源规划中的优化，主要是研究能源供应的优化，例如目前水平不能满足规划期的需求，则应如何安排能源系统的改造与发展等。由于能源系统部门和品种繁多，影响供应的环节、因素很多，而且各种能源之间能有条件地相互替代，使得上述问题的解决方案不是唯一的。问题在于如何得到相对于某一目标或某一组目标是最优的方案，以确定整个能源系统的最优结构和最优发展方向。能源规划应遵循以下原则：

1. 能源供应安全原则

城市对能源的依赖性越强，能源供应中断带来的损害就越大，因此能源供应把能源安全作为能源规划的首要议题。解决能源的供应安全问题主要通过两个途径，一是实现能源结构多元化，二是进一步完善能源供应体系。

从能源发展的历史进程来看，每种能源都可能存在从发展到衰减的趋势，因此，为了保证能源供应安全，能源消费也要从单纯依靠一种能源向使用多种能源转变。多元型的能源消费模式是指不偏重于某一种能源类型，所消费的任何一种能源的比例不超过50%，两项不超过70%。发达国家如美国、加拿大、比利时、法国和日本等属于多元型，英国和意大利属于二元型。虽然我国受资源条件限制总体上是以煤为主的单一型能源消费模式，但对我国一些城市与地区而言通过能源结构的调整完全可以实现多元化的能源消费模式。能源供应体系包括供应来源和输配体系两个方面。

在供应来源方面，应通过加大区域经济合作保障能源供应安全，从单纯的立足国内资源向适当进口国际能源发展。在输配体系方面要进一步加大能源设施的建设力度，保障能源（特别是清洁能源）的供应通道安全畅通。

2. 可持续发展原则

能源规划的可持续发展原则包括两个方面：一是生态环境保护和防止大气污染，二是

资源的可供性。要围绕环境保护和治理目标，逐步优化能源结构。随着城市能源消费量的不断增长，能源使用带来的环境问题日趋严重，与能源有关的二氧化硫、氮氧化物、可吸入颗粒物的排放污染已使城市的空气质量严重下降。

为了改善大气环境，保护城市生态环境，必须逐步改变以煤为主的能源结构，建立市场化的、经济合理的优质能源供应体系，用最小的经济代价获得最好的社会和环境效益，以资源的可供性为出发点制定能源发展目标。在编制能源规划时，必须充分考虑到城市能源的可供性，根据未来本地及外地可以提供的各类能源的潜力，制定本地能源发展的规划目标以及能源生产、加工和输配系统的建设计划；加大本地可再生能源和新能源的开发力度，推广利用成熟的能源技术。

3. 整体性原则

科学合理的能源规划应当从整体出发来考虑规划的目标，把能源系统作为一个整体来考察。能源系统包含的部门、环节很多。每个部门会按照自身的生产能力、资源情况以及社会的需求来制定本部门的规划，每一个地区也会根据本地区的特点改造本地区的能源系统。但是，这些规划会彼此影响，甚至会影响到整个系统的目标。

而能源系统作为整个国民经济系统的一个子系统，其特定的功能就是要满足国民经济对它的需要，因此要协调各部门、各环节之间的关系，从全局观点提出各项指标，最终服从于整个能源系统要达到的总目标。例如，作为一种能源，煤炭和石油都可用于燃料或用于发电，在社会对燃料的需求量和对电的需求量确定的情况下，它们要共同承担这两种需求，因而石油供应量的变化必然迫使煤炭供应量也随之发生变化，否则就会影响对总需求量的满足。因此，只有从整体出发进行的规划，才是科学的合理的规划。

4. 长期性原则

能源规划应该以长期规划为主。能源系统是一个大时间常数的惯性系统，每一个项目都具有建设周期、服役期长，投资额大的特点。这就是说，近期的建设要在10年、20年后才能发挥它的作用，并在30年左右的服役期内一直发挥影响。

所以必须根据10年、20年或更长期的能源战略、能源需求、技术水平等因素来安排近期的建设。即：应该先有长期规划，后有短期计划。短期计划只是根据长期规划规定的任务，结合当前能源系统的实际情况，使长期规划的任务具体化，同时，要根据短期计划执行过程所出现的新情况来修正、完善长期规划。

5. 可执行性及最优化原则

科学合理的能源规划必须具有规划的可执行性。能源系统活动的目标是为了满足国民经济对能源的需求，因此制定能源规划必须从预测国民经济对能源的需求出发。但是，由

于能源系统自身的特点，使得它难以在短时间内得以改造和发展，短时间内能源的可供应量不可能有很大的提高。在规划中，当需求与可供给量发生矛盾时，必须充分考虑上述特点，将从需求出发与从供应能力出发相结合，使规划具有现实性和可行性。

科学合理的能源规划应该是最优的方案，应该尽可能地研究各种可行方案，并从中选择最佳方案。这不仅是能源规划，而且也是一切计划、管理工作都必须遵循的原则。

6. 节能环保原则

为了实现可持续发展，改善能源供求关系，我国的能源规划工作必须坚持“节约和开发并举，把节约放在首位”的方针，贯彻落实《中华人民共和国节约能源法》及其配套法规。各地区、各行业都要制定节能和新能源开发的目标和措施，大幅度提高能源的利用效率，把节能降耗、提高效益作为促进国民经济向节能型转变的一项重要任务。

为此应发展节能型产业，倡导节能型的生活方式，推广节能技术，通过提高能源的效率来削减对能源的需求。此外，工业部门仍是节能的重点领域，通过产业和产品结构调整以及节能技术措施的推广，力争实现能源消费的零增长，坚决推进建筑节能降低建筑物的能源消耗（尤其是供热能耗）；逐步建立与完善节能的法规、标准和严格的实施政策，依法进行制度化的管理，并发展产业化的节能服务。

2.2.4 能源规划工程的实施步骤

能源规划的步骤通常包括：调查研究、编制构想方案和建立规划模型、规划模型优化、规划方案形成、影响分析、规划方案优化、规划方案的实施与管理以及能源规划执行效果评价。

1. 调查研究

调查研究主要是收集数据和信息，对历史和现状进行调查研究，以及建立能源数据库。它是编制能流网络图、能源平衡表，分析能源利用效率，建立以能源为主包括与之相关的人口、经济、环境数据的能源数据库的基础。在数据、信息完善的情况下，只需对所缺资料进行补充调查，对重要问题做定性分析，就可以确定所建模型的结构和大小。

2. 编制构想方案，建立规划模型

在选定的目标下编制不同的构想方案，一般有高、中、低三类方案。在经济方面应对整个规划期进行宏观经济结构和活动水平的预测，同时对主要经济部门如工业、农业、交通运输、居民与商业、农村等做出类似的预测。其关键在于建立数学、经济模型，如对

预测值进行分析研究,确定其置信度或其可实现的概率分布。如果缺少必需的预测,就需要先构造相应的预测模型进行预测,同时也建立规划本身所需的数学模型,或把预测模型作为规划模型中的一个子模型。模型建成并经过检查以后,就可在所建的模型上进行运算。

3. 规划模型优化

规划模型大多是优化模型,其运算结果是在一定的目标下,满足多约束条件时的寻优。在运算此类模型时,可以做灵敏度分析,即稍稍变动约束条件或有关参数,看其结果如何变化,以观察各种约束条件和各有关参数对优化结果的影响程度,从而确定某些约束条件和参数可以放宽的程度,并作为各种备选方案的评比内容。

4. 规划方案形成

规划方案是把多种计算结果及其条件、采用目标、特定约束条件等同时列出,以备多方案备选。通常对规划方案中的各方案还需附有该方案的评价,对某些方案中的突出特点也有必要加以详细说明,最后还需有各方案的比较。与此同时,还应当把有关方案的计算软件、所用模型与数据存入数据库、模型库,以便决策时进行查询对比。在某些情况下,各备选方案均不理想时,从方案比较中可以分析应修改哪些条件或目标,修改规划模型,重新做起。

5. 影响分析

不同的能源供需平衡方案对国民经济结构与发展以及环境会产生不同的影响,主要是两类影响分析,一类是经济影响分析,另一类是环境影响分析。经济影响分析主要包括宏观经济结构及增长率的影响,主要经济部门结构及增长率的影响,实际总消费的影响,通货膨胀、外贸和支付平衡的影响等。经济影响分析实质上就是在一定政策约束下,利用某些指标进行该方案的经济“效率”的检验。由此筛选出一个或几个经济效率最高或花费较少的方案。

环境影响分析则是从环境保护角度出发的第二个衡量效率的阶段。自2003年9月1日起开始实施执行的《中华人民共和国环境影响评价法》在第二章规划的环境影响评价中的第八条指出:国务院有关部门、设区的市级以上地方政府及其有关部门,对其组织编制的工业、农业、畜牧业、林业、能源、水利、交通、城市建设、旅游、自然资源开发的有关专项规划,应当在该专项规划草案上报审批前,组织进行环境影响评价,并向审批该专项规划的机关提出环境影响报告书。在供应—需求总平衡阶段,应根据已确定的环境保护政策及环境标准与法规对各种燃料与技术进行筛选。在选定了某种供需平衡方案和供应系统结构后,再对系统中每一重大项目进行深入的环境影响评价。

6. 规划方案优化

通过对各备选方案的经济、环境影响分析，合理调整能源开发、加工、运输、转换和使用各个环节的每项工艺技术，包括能源供应技术和节能技术，合理调整能源各部门的结构，进行技术经济评价—社会成本效益分析，确定最佳的能源供应方案，达到能源、环境、经济发展的协调与平衡。

7. 规划方案的实施与管理

为了保证规划的实施，必须制定一套“管理”战略以达到规划期的目标。供应管理包括投资规划的实施、规划的组织措施以及各部门规划间的协调。需求管理是遵循所预测的需求结构，找出达到此目标的各种手段，包括价格管理和非价格管理（定量分配、能源审计、宣传等），其他相应的政策措施包括税收、补贴、法规等，从而使制定的规划得以落实。

8. 能源规划执行效果评价

能源规划执行效果评价是指对已经完成的项目或规划的目的、执行过程、效益、作用和影响所进行的系统的、客观的分析。具体地说，后评价就是通过对项目活动实践的总结，确定项目预期的目标是否达到，检验项目是否合理有效；通过分析评价，总结经验教训；并通过及时有效的信息反馈，提高未来新项目的决策水平和管理水平；也为后评价项目实施运营中出现的问题提出改进建议，提高投资效益。实施执行后评价的根本目的是促进能源规划目标的实现。

第3章 能源电力规划工程基础知识



本章将介绍能源与新能源基础知识，能源电力、化石能源、清洁能源以及绿色经济与绿色能源、绿色电力、绿色电网的基本概念。对于我国能源电力行业发展所面临的形势与挑战，必须加以统筹规划，科学制定能源电力发展规划。

3.1 能源与新能源基础知识

本节将介绍能源与新能源基础知识，包括能源电力、化石能源（煤炭、石油、天然气）、清洁能源（水能、风能、太阳能、核能、海洋能、生物质能等）的基本定义。

3.1.1 能源电力的基本定义

能源就是向自然界提供能量转化的物质（矿物质能源，核物理能源，大气环流能源，地理性能源）。所谓一次能源是指直接取自自然界以原有形式存在的没有经过加工转换的各种能量和资源，又称天然能源。它包括：原煤、原油、天然气、油页岩、核能、太阳能、水力、风力、波浪能、潮汐能、地热、生物质能和海洋温差能等等。一次能源可以进一步分为再生能源和非再生能源两大类。再生能源包括太阳能、水力、风力、生物质能、波浪能、潮汐能、海洋温差能等等。它们在自然界可以循环再生。而非再生能源包括：煤炭、原油、天然气、油页岩、核能等，它们是不能再生的。

二次能源也称“次级能源”或“人工能源”，是由一次能源直接或间接加工转换而成的其他种类和形式的能源以及人工制造的能源，又称人工能源，包括洗精煤、煤气、焦炭、人造石油、人造天然气、水煤浆、油煤混合燃料、汽油、煤油、柴油、重油、电能、蒸汽、热水、沼气、余热、火药、酒精、氢、激光、甲醇、丙烷等。

而按利用技术来分，能源又可以分为常规能源和新能源。常规能源属于一次能源。在20世纪70年代和80年代末以前，世界在一次能源消耗结构中，石油占40%以上，煤约占20%以上，天然气约占10%左右。

二次能源（除电外）通常是指从一次能源（主要是化石燃料）经过各种化工过程加工制得的、使用价值更高的燃料。例如，由石油炼制获得的汽油、喷气燃料、柴油、重油等

液体燃料，它们广泛用于汽车、飞机、轮船等，是现代交通运输和军事的重要物资；还有煤加工所制成的工业煤气、民用煤气等重要的气体燃料；此外，也包括从煤和油页岩制取的人造石油。二次能源的产生不可避免的伴随着加工转换过程中的损失，但是它们比一次能源的利用更为有效，更为清洁，更为方便。

电能是能量的一种形式，电能的获得是由各种形式的能量转化而来的，而这些能量的转化过程是由各种各样的发电厂和各种各样的电池完成的。电源是提供电能的装置，其实质都是把其他形式的能转化为电能。发电类型有：风力发电、水力发电把机械能转化为电能；火力发电是把化学能转化为电能；太阳能发电把太阳能转化为电能；原子能发电把原子能转化为电能。电池类型有：干电池、铅蓄电池、手机电池把化学能转化为电能；硅光电池是把光能转化为电能；太阳能电池把太阳能转化为电能。

用电器在工作时把电能转化为其他形式的能。电灯把电能转化为热能、光能；电风扇、无轨电车、吸尘器、洗衣机等把电能转化为动能；电视机、计算机把电能主要转化为光能和声能；热水器、电饭锅把电能转化为热能等。

3.1.2 化石能源

化石能源主要是指煤炭、石油、天然气等由远古生物经过亿万年演化形成的不可再生资源。第一次工业革命以来，化石能源支持了近代工业发展。目前，全球化石能源消费呈现总量增加、结构优化、远距离配置规模扩大的发展趋势，煤炭、石油和天然气等化石能源超过全球一次能源消费总量的80%。

1. 煤炭

煤炭作为燃料使用至今已经有三千多年的历史，是人类最早实现大规模开发利用的化石能源。11世纪后期，煤炭开始成为建筑材料和冶金业的燃料。18世纪80年代，瓦特改良型蒸汽机的发明使得煤炭开始被大规模开发和利用，推动了第一次工业革命，建立了以机械化为特征的近代工业，纺织、钢铁、机械、铁路等行业实现了大发展，使人类社会进入蒸汽时代。18世纪末，煤炭成为世界主导能源，随后比重有所下降，直到20世纪中叶，煤炭在世界能源结构中都占据着主导地位。近年来，虽然煤炭比重有所下降，但世界煤炭开发利用规模始终保持增长态势。

2. 石油

石油是支撑现代工业体系的主导能源。19世纪，人类开始开发和利用石油。1859年世界第一口油井在美国宾夕法尼亚州投入使用，美国因此成为早期主要的石油生产国和消费国之一，随后苏联也开始了油井采油，现代石油工业开始逐步建立。随着内燃机的广泛

应用，对燃料油的需求猛增，一些国家开始大量开采和提炼石油，石油产量迅速增长。20世纪20年代以后，石油开始广泛应用；40年代以后，主要发达国家的能源消费重心逐步从煤炭转向石油；60年代，石油在能源消费结构中的比重超过煤炭，成为世界主导能源；90年代，石油已经占全球一次能源消费总量的40%以上。可以说，20世纪中叶以后，世界能源发展进入了石油时代。石油行业的发展、电力的发明与应用推动了第二次工业革命，交通、化工、电力以及汽车、电器等行业实现了大发展。中国作为世界第四大石油生产国，近年来石油产量保持平稳增长，2013年原油产量为2.08亿吨，约占世界石油产量的5%。但是由于受到资源条件限制，中国石油年产量已接近峰值，未来增长空间有限。

3. 天然气

天然气是相对清洁的化石能源。1821年美国宾夕法尼亚州最早开始实现天然气商业应用。随后，在世界各地发现了大量天然气田，但受到气体管道运输安全制约，天然气工业发展严重滞后于石油工业。1945—1970年，各国加大了油气勘探开发投入，世界已发现天然气储量、产量大幅度上升，其中原苏联、美国和荷兰的天然气产业发展最快。近年来，天然气在全球一次能源消费结构中的比重不断上升，与石油、煤炭比重的差距逐年缩小。我国今年天然气生产也步入快速发展阶段，产量增长较快。2013年中国天然气产量为1170.5亿立方米，是1980年的8.2倍，约占世界天然气产量的3.5%，位居世界第六位。

4. 非常规油气

全球非常规油气资源储量丰富，但分布不均衡。非常规油气主要包括重油、油砂、页岩油等。其中，重油主要分布在南美、中亚、俄罗斯和中东等地区；油砂主要分布在北美、非洲和中亚、俄罗斯等地区；全球页岩油的可开发量为471亿吨，主要分布在俄罗斯、美国。

非常规天然气包括可燃冰、页岩气、煤层气、致密砂岩气（深盆气）、浅层生物气、水溶气、无机成因气等。可燃冰又称为天然气水合物，具有储量丰富、能量密度大、燃烧利用污染排放少等优点，通常分布在海洋大陆架外的陆坡、深海、深湖及永久冻土带上。

中国具有丰富的非常规天然气资源。中国已先后在南海、东海及青藏高原冻土带上发现可燃冰，仅南海北部的可燃冰储量已相当于陆上石油储量的一半。陆上可燃冰远景储量在500亿吨标准煤以上。陆地页岩气地质资源潜力为134万亿立方米，可采资源潜力为25万亿立方米（不含青藏地区），主要分布在南方海相页岩地区及东北松辽、内蒙古鄂尔多斯、新疆吐哈和准葛尔等陆相沉积盆地。

3.1.3 清洁能源

清洁能源主要包括水能、风能、太阳能、核能、海洋能、生物质能等，其资源丰富，开发潜力巨大。随着清洁能源开发技术的突破，经济性大幅度提升，以清洁能源替代化石能源将成为全球能源发展的必然趋势。全球水能资源超过100亿千瓦，陆地风能资源超过1万亿千瓦，太阳能资源超过100万亿千瓦，可开发总量远远超过人类全部能源需求。

1. 水能

水能是目前技术最成熟、经济性最高、已开发规模最大的清洁能源。全球水能资源理论蕴藏量约为39万亿千瓦时每年，主要分布在亚洲、南美洲、北美洲等地区。其中亚洲理论蕴藏量约为18万亿千瓦时每年，占世界总量的46%；南美洲8万亿千瓦时每年，占世界总量的21%；北美洲6万亿千瓦时每年，占世界总量的15%；水能资源理论蕴藏量居于前五位的国家分别是中国、巴西、印度、俄罗斯、印度尼西亚。

中国是世界上水能资源最为丰富的国家。理论蕴藏量在1万亿千瓦及以上的河流有3800多条，理论年发电量约为6.08万亿千瓦时每年，技术可开发装机容量达到5.7亿千瓦，年发电量约为2.47万亿千瓦时每年，主要集中在长江、雅鲁藏布江、黄河三大流域，分别占全国技术可开发装机容量的47%、13%和7%。截止2013年底，中国水电装机容量为2.8亿千瓦，约为技术可开发装机容量的一半，未来开发潜力巨大。

2. 风能

风力发电是风能最主要的利用形式。20世纪90年代以来，世界风电技术不断取得突破，开发成本快速下降。风电是全球增长速度最快的清洁能源之一，已经成为仅次于水电、核电的第三大清洁能源发电品种。近年来，风电开发成本已经逐步接近传统能源发电成本，开发规模迅速增长，已经与核电基本相当。尽管当前风电在全球发电量中的比重仅为3%，但越来越多的国家已经将风电纳入国家能源发展战略，并制定了发展规划。未来，随着风电技术经济性和市场竞争力的不断提升，风电将成为全球重要的能源品种之一。2013年全球累计风电装机容量达到3.2亿千瓦。2012年6月，中国已超过了美国成为世界第一风电装机大国。

3. 太阳能

太阳能来自太阳辐射，是世界上资源量最大，分布最为广泛的清洁能源。太阳能发电是太阳能开发利用的最主要形式。21世纪以来，全球太阳能发电呈现快速发展势头，超

过风电成为增长速度最快的清洁能源发电品种。按照发电原理，太阳能发电主要包括光伏发电和光热发电两种方式。地球上除了核能、潮汐能和地热能等，其他能源都直接或间接来自太阳能。从能量角度看，太阳一年辐射地球表面的能量约合116亿吨标准煤，相当于2013年世界一次能源消耗总量（181.9亿吨标准煤的6500倍，超过全球化石能源资源储量。截止2013年底，世界光伏发电总装机容量达到1.4亿千瓦，年新增装机容量与水电基本相当，且首次超过风电。德国、中国、意大利、日本、美国等国家光伏发电总装机容量均超过1000万千瓦。

4. 核能

据初步估计，全球核燃料资源相当于全部化石能源的10倍，已经探明的铀资源主要集中在澳大利亚、哈萨克斯坦、俄罗斯、加拿大、尼日尔、纳米比亚、南非、巴西、美国、中国等国家。2013年，全球共有21个国家开发。铀矿石年总产量约5.95万吨。近几年，中国铀矿石产量基本保持在0.13万~0.15万吨。

核电占世界总装机容量比重持续下降。20世纪70—80年代连续发生在美国三里岛、原苏联切尔诺贝利核泄露事故，导致全球核电进入了缓慢发展的低谷期。2011年，日本福岛核泄露事故发生后，核电安全成为全球关注的热点，各国对在运核电站安全性进行了全面检查和评估。瑞士、德国、意大利等国先后相比放弃发展核电。美国、法国、英国、俄罗斯等许多国家表示将在高标准下继续发展核电。截止2013年底，全世界30个国家或地区共有434台核电机组在运行，总装机容量约为3.7亿千瓦，主要分布在美国、法国、日本等发达国家。

5. 其他清洁能源

海洋能是指海洋中特有的依附于海水的可再生能源，主要包括潮汐能、海流能、温差能、盐差能等。截止2013年底，全球海洋能发电装机容量约53万千瓦，世界上最大的海洋能发电站是韩国的25.4万千瓦潮汐能电站。

生物质能是一种以生物质为载体的可再生的清洁能源，其来源包括农业废弃物、林业废弃物、生活废弃物和工业废弃物，以及潜在的人工培养生物质能源、各类能源农作物、能源林木等。截止2013年底，世界生物质发电装机容量约7640万千瓦，年发电量2576亿千瓦·时。欧洲地区是生物质发电规模最大的地区。

地热能是地壳中蕴藏的热能的总称。地热能有热水型、蒸汽型、地压型、干热型及熔岩型等。目前，地热的利用主要有热利用和地热发电两种方式，地热发电规模较小。截止2013年底，全球地热发电装机容量约1171万千瓦。

3.2 能源电力行业发展面临的形势与挑战

本节主要介绍的内容有2015年度全国电力供需的形势分析，2020新能源发展与展望，以及我国能源电力行业发展面临的形势与挑战。

3.2.1 我国电力供需形势分析

2015年，受宏观经济尤其是工业生产下行、产业结构调整、工业转型升级以及气温等因素的影响，全社会用电量同比增长0.5%、增速同比回落3.3个百分点，第二产业用电量同比下降1.4%，40年来首次负增长。固定资产投资特别是房地产投资增速持续放缓，导致黑色金属冶炼和建材行业用电同比分别下降9.3%和6.7%，两行业用电下降合计下拉全社会用电量增速1.3个百分点，是第二产业用电量下降、全社会用电量低速增长的主要原因；两行业带动全社会用电增速放缓的影响明显超过其对经济和工业增加值放缓产生的影响，这是全社会用电增速回落幅度大于经济和工业增加值增速回落幅度的主要原因。四大高耗能行业用电量比重同比降低1.2个百分点，第三产业和城乡居民生活用电比重同比分别提高0.8个和0.6个百分点，分别拉动全社会用电量增长0.9和0.6个百分点，反映出国家经济结构调整效果明显，工业转型升级步伐加快，拉动用电增长的主要动力正在从传统高耗能产业向新兴产业、服务业和生活用电转换，电力消费结构在不断调整。全年新增发电装机容量创历史最高水平，年底发电装机达到15.1亿千瓦、供应能力充足，非化石能源发展迅速、年底非化石能源发电装机比重提高到35.0%；火电发电量负增长、利用小时降至4329小时。全国电力供需进一步宽松、部分地区出现富余。

1. 2015年全国电力供需状况分析

1) 电力消费减速换档、消费结构不断调整、消费增长主要动力转化，电力消费反映经济新常态特征

2015年，全国全社会用电量5.55万亿千瓦时，同比增长0.5%，增速同比回落3.3个百分点，“十二五”时期，全社会用电量年均增长5.7%，比“十一五”时期回落5.4个百分点，电力消费换档减速趋势明显。2015年电力消费增速放缓是经济增速放缓、经济结构优化等必然因素和气温等随机偶然因素共同作用、相互叠加的结果。

电力消费的主要特点有：

(1) 电力消费结构不断调整，四大高耗能行业比重下降。第三产业和城乡居民生活用电量比重分别比上年提高0.8和0.6个百分点，分别比2010年提高2.2和1.0个百分点；第

二产业用电量比重分别比上年和2010年降低1.4和2.7个百分点，其中四大高耗能行业（化工、建材、黑色金属冶炼、有色金属冶炼）用电量比重分别降低1.2和2.0个百分点，反映出国家结构调整和转型升级效果显现，且2015年步伐明显加快。

(2) 第二产业及其工业用电量负增长，黑色金属冶炼和建材行业用电量大幅下降是最主要原因。第二产业及其工业、制造业用电同比均下降1.4%，其中四大高耗能行业合计用电同比下降3.4%，各季度增速依次为-1.3%、-1.7%、-3.6%和-6.6%，四季度降幅明显扩大，直接带动当季全社会用电量负增长；受固定资产投资增速回落特别是房地产市场低迷等因素影响，黑色金属冶炼和建材行业用电同比分别下降9.3%和6.7%，增速同比分别回落10.9和12.2个百分点，两行业合计下拉全社会用电量增速1.3个百分点，是全社会用电增速明显回落（若扣除这两个行业，则全社会用电量增长2.2%）、第二产业及其工业用电负增长的主要原因；可见，高耗能行业快速回落导致全社会用电增速明显放缓，其对电力消费增速放缓产生的影响明显超过其对经济和工业增加值波动的影响，这也是全社会用电量增速回落幅度大于经济和工业增加值增速回落幅度的主要原因。

(3) 第三产业和城乡居民生活用电增速同比提高，电力消费增长动力正在转换。随着第三产业蓬勃发展、城镇化及居民用电水平的提高，第三产业和城乡居民生活用电同比分别增长7.5%和5.0%，增速同比分别提高1.1和2.8个百分点，分别拉动全社会用电量增长0.9和0.6个百分点，“十二五”时期用电年均增速分别高于同期第二产业增速4.8和2.4个百分点，显示出拉用电增长的主要动力正在从高耗能产业向第三产业和生活用电转换。第三产业中的信息化产业加快发展，带动信息传输、计算机服务和软件业用电增长14.8%。

(4) 东部地区用电增速最高、用电增长稳定作用突出，西部地区增速回落幅度最大。东、中、西部和东北地区全社会用电量同比分别增长0.8%、0.2%、0.8%和-1.7%，增速同比分别回落2.7、1.5、4.0和3.4个百分点。东部地区用电在各地区中增速最高，其用电增长拉动全国用电增长0.4个百分点，是全国用电增长的主要稳定力量。西部地区用电回落幅度最大，四个季度用电增速依次为1.9%、3.3%、0.7%和-2.8%，下半年以来增速逐季回落，第四季度出现负增长、且降幅为各地区中最大；在产业结构调整升级、国内外经济增长缓慢、大宗商品市场持续低迷的环境影响下，高耗能行业用电增速回落，是西部地区用电量增速大幅回落的最主要原因，对全国用电增速回落的影响也很大。

2) 电力供应能力充足，非化石能源发电快速发展、发电生产结构持续优化，火电设备利用小时创新低

2015年，全国主要电力企业合计完成投资8694亿元、同比增长11.4%。其中，为贯彻落实《配电网建设改造行动计划（2015~2020年）》等文件的要求，提升电网配电网能力，电网公司进一步加大电网基础设施投资力度，全年完成电网投资4603亿元、同比增长11.7%；完成电源投资4091亿元、同比增长11.0%。全国净增发电装机容量1.4亿千瓦，创

年度投产规模历史新高，其中风电新增投产超预期、达到历史最大规模。2015年底全国全口径发电装机容量15.1亿千瓦、同比增长10.5%。年底全口径发电量5.60万亿千瓦时、同比增长0.6%。全国发电设备利用小时3969小时、同比降低349小时，已连续三年下降。2015年，非化石能源发电装机容量和发电量占比分别比2010年提高8.1和8.3个百分点，电力供应结构逐年优化。

电力供应的主要特点有：

(1) 水电投资连续两年下降，水电发电量较快增长，设备利用小时保持较高水平。“十二五”期间水电新开工规模明显萎缩，随着西南大中型水电项目相继投产，年底全国主要发电企业常规水电在建规模仅有3200万千瓦，全年水电投资同口径同比下降17.0%，已连续两年下降，预计未来几年水电新增规模较小。年底全口径水电装机容量3.2亿千瓦，发电量1.11万亿千瓦时、同比增长5.1%；设备利用小时3621小时，为近二十年来的年度第三高水平（2005年、2014年分别为3664和3669小时）。

(2) 并网风电、太阳能装机及发电量快速增长。主要受2016年初风电上网电价调整预期影响，2015年基建新增并网风电装机再创新高，年底全国并网风电装机容量1.3亿千瓦，“十二五”时期风电爆发式增长，累计净增容量近1亿千瓦；全年发电量1851亿千瓦时、同比增长15.8%，利用小时1728小时、同比降低172小时。近几年国家密集出台了一系列扶持政策，极大地促进了太阳能发电规模化发展，东部地区分布式光伏发电在加快增长，西北地区光伏发电大基地呈规模化增加，这是“十二五”期间新能源建设发展的亮点。受当地市场需求疲软、消纳压力较大等因素影响，西北、东北部分风电和太阳能比重较高省份“弃风”“弃光”问题比较突出。

(3) 核电投产规模创年度新高，发电量高速增长。全年净增核电机组600万千瓦，年底核电装机容量2608万千瓦、同比增长29.9%。“十二五”时期，核电装机容量净增1526万千瓦、年均增长19.2%。全年核电发电量同比增长27.2%，设备利用小时7350小时、同比降低437小时。

(4) 火电装机大规模投产，发电量连续两年负增长，利用小时创新低。全年净增火电装机7202万千瓦（其中煤电5186万千瓦），为2009年以来年度投产最多的一年，年底全国全口径火电装机9.9亿千瓦（其中煤电8.8亿千瓦，占火电比重为89.3%），同比增长7.8%。全口径发电量同比下降2.3%，已连续两年负增长。火电发电设备利用小时创1969年以来的年度最低值4329小时，同比降低410小时。火电设备利用小时持续下降，主要是电力消费增速向下换挡、煤电机组投产过多、煤电机组承担高速增长的非化石能源发电深度调峰和备用等功能的原因，此外，火电中的气电装机比重逐年提高，也在一定程度上拉低了火电利用小时数。但是从火电占比、机组出力、负荷调节等特性，以及电价经济性等方面综合评价，火电在电力系统中的基础性地位在短时期内难以改变。

2015年，全国6000千瓦及以上电厂火电机组供电标准煤耗315克每千瓦时、同比降低

4克每千瓦时，显著超额完成国家《节能减排“十二五”规划》确定的2015年325克每千瓦时的规划目标。

(5) 跨省区送电量增速大幅回落。2015年，全国跨区、跨省送电量同比分别增长2.8%和-1.8%，增速同比分别回落10.3和12.6个百分点。跨区送电量增长的原因主要是前两年投产的特高压直流工程新增送出，如锦苏直流、宾金直流、哈郑直流送电分别增长了8.2%、32.7%和92.7%。南方电网区域西电东送电量同比增长9.8%。三峡电站送出电量同比下降12.0%。

2. 中国“十三五”电力行业发展趋势

2020年前我国电力需求仍将处于中速增长，按照国民经济“十三五”规划目标，预计2020年全社会用电量将达到7万亿千瓦时，“十三五”年均增长4.8%左右。下一步煤电发展要审慎、高效、清洁发展煤电，严控煤电建设进度、优化煤电建设时序；大力推行洁净煤发电技术；西部和北部地区主要布局建设大容量、空冷、超临界燃煤机组，东中部受端地区适量布局建设负荷支撑的大容量超超临界燃煤机组；要按国家环保标准和要求，科学安排现有燃煤机组的节能减排改造。

(1) 控制电源发展节奏，保证各类电源建立有序发展。严控煤电新开工建设；坚持集中与分布式相结合的原则发展新能源；审慎出台非水可再生能源发电配额考核制。

(2) 统筹电力改革与行业发展、经营，合理把控节奏，避免行业风险聚集。统筹协调电力体制改革、国企改革、国有资产监督管理体制改革等各项改革与行业发展和经营，完善相关调控政策。进一步规范电力市场化改革秩序，创造公平、公开、竞争有序的电力市场环境，真正发挥市场资源配置的作用。

(3) 坚持输出与就地消纳并重，加快建立辅助服务市场，着力解决“弃水”“弃风”“弃光”问题。扩大可再生能源在更大范围内的平衡消纳能力；加快建立辅助服务市场，提高系统综合调峰能力；推广实行峰谷分时电价、完善阶梯电价制度。

(4) 切实采取有效措施，降低电力企业经营负担。加强资金支持，为燃煤机组环保改造及运行创造良好环境；规范政策制定和执行，环保制度改革应以改善环境质量为导向，加强顶层设计，统筹各行业和全社会减排；及时足额发放可再生能源补贴等。

3. 中国电力中远期发展形势展望

1) 严格控制电源新开工规模，合理压缩投产规模，优化增量结构，促进电力行业科学发展

(1) 严格控制电源新开工规模，合理压缩投产规模。要结合当前及“十三五”期间电力消费增速向下换挡的实际，科学确定和严格控制电源新开工规模，集中消化好现有的过剩能力。相关政府部门既要严格控制煤电开工规模，又要适当控制具有明显随机

性、间歇性、波动性特征的风电和光伏发电的开发节奏，以避免过快发展造成发电能力过剩加剧、行业资产利用效率下降和可再生能源电价附加上调压力加剧；要坚持地区环保约束、大范围资源优化配置以及市场公开竞价相结合的原则，取消一批不具备核准条件的煤电项目，暂缓一批已核准项目的开工，避免进一步加剧发电市场过剩。发电企业更要严格控制电源新开工规模，尤其在电力过剩明显的地区，缓建一批已核准项目，对于部分已开工项目，具备条件的也可研究推迟或停建，合理压缩投产规模，做好风险防控。

(2) 提高调峰电源比重。在严格控制电源开工规模的情况下，加快抽水蓄能等调峰电源建设，将部分有条件的煤电机组改造为调峰机组（并建立相应调峰辅助服务电价机制），提升电力系统综合调峰能力，既能提高可再生能源发电消纳能力，也能提升高参数大容量煤电机组运行效率，从而提高全行业乃至全社会资产利用效率和效益。

(3) 优先开工水电和核电项目。相比风电和太阳能发电，水电和核电不仅同样具有良好的绿色低碳性能，还有发电成本相对较低和发电容量效用高的比较优势，在严格控制电源总开工规模的情况下，可有序开工这两类项目，为拉动和稳定经济增长、促进电力结构绿色转型和低碳发展、保障电力中长期安全经济供应发挥作用。

(4) 加快清洁能源基地外送电通道建设以及城乡配电网建设改造。经济低谷时期电力投资是拉动社会经济增长的重要动力，同时也超前储备了经济发展的电力保障基础条件；清洁能源基地外送电通道以及城乡配电网的建设改造，一方面扩大了西部清洁能源在东中部地区的消纳市场，另一方面，配电网的升级建设改造，也可以满足人民生活的电能替代需求，兼顾电动汽车、充电桩以及分布式能源快速发展的接入要求。

2) 远近结合、多措并举，加快解决“弃水”“弃风”“弃光”问题

电力建设发展具有较长的周期性和路径依赖，要加快解决电力系统运行中存在的突出问题，应从行业全局来统筹协调已建发电设施的合理运行问题。从长远看，一方面要强化电力统一规划，真正做到各类电源之间、电源电网之间相协调，区域布局及项目与消纳市场、配套电网以及调峰电源相统筹，健全国家规划刚性实施机制；另一方面要调整新能源发电发展思路，风电和光伏发电发展应坚持集中与分散相结合原则，鼓励中东部地区分散、分布式开发。更重要的是要在电力系统运行中采取综合性解决措施：一是建设跨区跨省通道，扩大可再生能源发电消纳市场，要结合规划尽快提出云南、四川和“三北”地区等可再生能源基地的跨省区消纳输电通道；二是优化系统调度运行，提高跨省区输电通道利用效率，在更大范围内解决弃水弃风弃光问题；三是建立系统调峰调频等辅助服务补偿机制或辅助服务市场，调动各类机组参与辅助服务市场的积极性，提高系统对非化石能源发电消纳能力；四是加快实施电能替代，采取灵活电价机制等手段挖掘需求侧潜力，实现电力增供扩销，千方百计提高消纳可再生能源的发电能力。

3) 坚持开放发展, 推动与周边国家的电网互联互通

一是统筹利用国内国际两种资源、两个市场, 加强与“一带一路”周边和沿线国家及地区的电力合作, 促进特高压输电以及核电、火电、水电“走出去”, 带动相关装备、技术、标准和管理“走出去”。二是在加快建设中国能源互联网的同时, 积极推动中国与周边国家的电网互联互通。三是积极参与全球能源电力治理, 主动参与相关国际标准制定, 加强能源电力信息统计能力建设和电力信息交流。

4) 科学推进电力行业节能减排工作

一是统筹规划减碳、节能、节水、污染物的控制目标和措施, 注重整体效益的提高。二是加快建立电力排污许可管理制度, 进一步规范煤电污染物管控方式。三是持续提高煤炭转换为电力的比重, 加快以电代煤、以电代油步伐, 进一步降低散烧煤炭对环境的影响。四是在推进煤电超低排放改造专项行动中, 要加快完善超低排放监测、监管、技术标准体系, 企业要高度重视超低排放改造的可靠性、稳定性和经济性, 因地、因厂、因煤制宜选择环保设施改造技术路线, 科学合理地安排改造周期, 保障环保设施改造质量。

3.2.2 我国新能源发展与展望 (2016—2020年)

2015年, 我国新能源持续快速增长, 风电、太阳能发电新增装机容量双创新高, 风电装机容量连续四年世界第一, 光伏装机容量首次超过德国跃居世界第一, 在能源结构优化和绿色发展转型中发挥了重要作用, 成为我国新能源发展史上新的里程碑。

1. 我国新能源发展现状

经过近十年的大力发展, 我国新能源发展水平已走在了世界前列, 截至2015年, 我国风电、太阳能发电累计装机容量为1.7亿千瓦, 超过全球的四分之一。2015年, 我国风电新增装机容量3144万千瓦, 再创历史新高; 太阳能发电新增装机容量1672万千瓦, 连续四年世界第一。截至2015年底, 我国风电装机容量达到12830万千瓦, 81%分布在“三北”地区, 内蒙古、新疆、甘肃、河北、山东、辽宁、宁夏、山西等8个省份装机容量超过600万千瓦, 其中, 内蒙古、新疆、甘肃、河北风电装机容量超过1000万千瓦。太阳能发电装机容量达到4158万千瓦, 其中, 西部省份太阳能发电装机容量2100万千瓦, 占全国太阳能发电装机的二分之一。甘肃、新疆、青海集中式光伏发电装机容量均超过500万千瓦。江苏、浙江分布式光伏装机容量分别超过100万千瓦。

2015年, 我国风电发电量1851亿千瓦时, 同比增长16%; 太阳能发电量383亿千瓦时, 同比增长64%。新能源发电设备平均利用小时数基本保持平稳, 全国风电设备平均利用小时数1728小时, 新能源运行指标与国际先进水平相当, 新能源发电保持安全稳定运行。“十二五”期间, 我国风电、太阳能发电量年均增速分别为30%、219%。

2. 促进新能源发展的重点举措

电网建设方面。2015年，国家电网新能源并网及送出工程投资96亿元，新增新能源并网及送出线路3797千米，满足了新增313个风电项目、1708个太阳能发电项目的并网需要。省内输电工程有建成投运河北张家口“三站四线”500千伏输变电工程、吉林通榆风电送出工程等一批省内配套电网工程，新增省内新能源配套送出工程线路1071千米。跨省跨区通道：加快推进锡盟—山东特高压交流工程、宁东—浙江特高压直流工程建设，开工建设蒙西—天津南特高压交流工程，以及酒泉—湖南、锡盟—江苏、上海庙—山东特高压直流工程，为新能源大规模开发和高效利用提供支撑。

调度运行方面。2015年，建立光伏发电功率预测系统和信息监测系统，覆盖500余座光伏电站，预报精度85%以上；扩大风电场自动发电控制系统（AGC）覆盖范围，充分利用系统消纳空间；拓展升级数值天气预报系统功能，进一步提高新能源功率预测精度。优化系统运行方式。2015年，西北电网优化水电及梯级水库运行，统筹安排水火电机组配合新能源运行；充分利用辽宁蒲石河、吉林白山、北京十三陵等抽水蓄能电站，累计消纳风电电量33.5亿千瓦时；通过省间电网调峰互济，多消纳新能源电量49亿千瓦时；2015年，提高新能源跨省跨区交易规模，新能源跨省跨区外送电量294亿千瓦时，同比增加54%。实施清洁替代，消纳新能源电量27亿千瓦时；实施电能替代，替代电量760亿千瓦时，促进新能源消纳。

分布式光伏发电并网服务方面。2015年，持续创新服务模式、简化并网手续、及时转付补贴资金，进一步促进分布式光伏发电快速发展。国家电网经营区域分布式光伏发电并网户数快速增长，新增15691户、208万千瓦，累计并网22627户、同比增长226%，累计并网容量473万千瓦、同比增长78%。积极支持国家光伏发电扶贫试点工作。截至2015年底，具备并网条件的3.77万千瓦光伏发电扶贫项目全部及时并网，覆盖300余个村。加快县域电网建设和改造，2015年光伏发电扶贫配套电网工程投资1.52亿元。积极支持国家分布式光伏发电应用示范区建设。

技术创新方面。2015年，投入新能源技术研发3.01亿元，同比增长5.5%。开展71项课题研究，新能源与储能运行控制国家重点实验室获国家科技部批准建设。2015年国家风光储输示范二期工程投运风电35万千瓦、光伏发电6万千瓦；新增修订新能源相关企业标准4项，参与编制完成行业标准9项、国家标准7项，主导编制完成国际标准1项。

3. 制约新能源发展的瓶颈及对策

目前部分地区出现的弃风弃光现象，根本原因是新能源开发与市场不匹配、跨省跨区输电通道不足、电源结构不合理、政策机制不健全。

新能源开发与市场不匹配，部分地区消纳空间不足。我国新能源装机主要集中在“三

北”地区，而用电负荷集中在东中部地区。“三北”地区负荷需求小，新能源消纳的市场容量有限。包括新能源在内的各类电源持续快速增长，总体呈现电力供大于求的局面。目前，全国新能源装机占最高用电负荷和总装机的比例分别为21%、11%，而新能源集中开发地区远高于全国水平，蒙东新能源装机占最高用电负荷和总装机的比例分别为171%、35%，甘肃新能源装机占最高用电负荷和总装机的比例分别为143%、40%。

跨省跨区输电通道不足，难以实现在更大范围内的消纳新能源。现有输送新能源的通道能力只有1400万千瓦，占新能源装机比重不足10%。“三北”地区7个千万千瓦风电基地，目前仅建成了±800千伏哈密—郑州特高压直流工程。±800千伏酒泉—湖南特高压直流工程2015年5月核准开工，计划2017年投产，比酒泉风电基地建设滞后2~3年。

电源结构不合理，系统调峰能力严重不足。我国“三北”地区火电占比达到70%，而抽蓄、燃气等灵活调节电源比重不足4%，东北仅为1.5%。东北地区火电机组中，供热机组占比高，吉林供热机组比例达到78%，冬季采暖季，保供热和新能源消纳的矛盾非常突出。据统计，2015年67%的弃风发生在供暖期，低谷弃风电量又占总弃风的80%。

4. 我国新能源未来发展展望

预计到2020年，全国新能源发电装机容量达4.1亿千瓦，其中风电为2.4亿千瓦，太阳能发电为1.5亿千瓦。风电开发仍集中在“三北”地区，占全国的75%；太阳能发电采用开发集中式与分布式相结合，其中集中式光伏电站装机容量达8000万千瓦，主要集中在青海、甘肃、新疆、蒙西等西部地区；分布式光伏发电装机容量达7000万千瓦，主要集中在浙江、江苏等东中部地区。

2020年，国家电网形成东部、西部2个同步电网格局，西部电网将西南水电，西北风电、太阳能、煤电等不同资源类型的电网进行互联，解决新能源并网发电间歇性、随机性、不确定性等问题，改善新能源外送电力品质；东部电网将长三角、京津冀鲁、华中东部等主要受电地区电网进行互联，充分利用大电网的调峰能力，扩大清洁能源的消纳市场范围。加强智能配电网建设，加快突破储能技术，提高分布式电源和多元化负荷接纳能力，实现分布式新能源即插即用及与大电网的协调运行，满足东中部负荷中心分布式新能源发展的需要。

加强统筹规划，统筹新能源与消纳市场、新能源与其他电源、新能源与电网的发展，科学制定“十三五”能源电力发展规划；加快市场化建设，合理确定政府、发电企业、电网企业和用户等各方主体在新能源消纳中的责任和义务，建立有利于新能源消纳的市场化机制；加强调峰电源管理，合理控制供热机组和自备电厂发展规模，明确自备电厂参与系统调峰的相关要求。共商推动新能源行业可持续发展的大计，共谋保障新能源安全、可靠、高效并网利用的良策，更加积极、更加自觉地履行社会责任。对用户的倡议，全民践行绿色发展、热心参与新能源事业，为我国的新能源发展贡献力量。

3.3 能源电力与绿色发展

本节主要内容包括绿色经济与绿色能源、绿色电力、绿色电网的基本概念，绿色发展是经济社会发展必然选择，能源电力规划的重点是关注绿色发展。

3.3.1 能源电力规划与绿色发展

当前，世界能源消费出现重心东移、生产重心西移，发展呈现供需宽松化、格局多极化、结构低碳化、系统智能化、竞争复杂化的趋势。我国能源行业呈现消费增速明显回落、结构双重更替加快、发展动力加快转换、系统形态深刻变化、合作迈向更高水平等特点。“十二五”期间非化石能源消费比重从2010年的8.6%提高至12%，超额完成规划目标。

1. 绿色能源发展新局面

“十二五”期间，我国加快非化石能源的发展步伐，水电累计投产1.1亿千瓦，水电总量占全国总装机比达21.2%；风电占比较“十一五”提升5.4个百分点；新增光伏发电4100万千瓦；核电在建规模居世界第一。非化石能源消费比重从2010年的8.6%提高至12%，超额完成“十二五”规划目标。国家积极推进生产和消费模式创新、重点领域改革及持续提高科技创新水平，并表示我们有信心、有决心、有能力解决好绿色低碳发展难题，使中国乃至世界能源和电力找到绿色、低碳、智能发展的宽广出路。我国能源发展面临以下主要问题：

1) 传统能源结构性过剩

煤炭产能严重过剩，大幅超过消费需求，供求关系严重失衡。

发电机组利用小时数创1978年以来最低水平，2015年火电利用小时数为4329小时，部分地区不足3000小时，2016年预计降至4000小时以下。全国原油加工产能利用率不足70%。

2) 可再生能源发展瓶颈

我国风电、光伏、水电装机均居世界第一，但部分地区弃风、弃光、弃水问题严重。“十二五”期间，全国弃风率最高达到17%，累计弃风电量958亿度、弃水706亿度。电力系统灵活调节电源比例偏低，调峰能力严重不足。东中部电力负荷中心发展分布式可再生能源的激励机制尚未形成。可再生能源发展主要集中在西北部，但依赖大规模外送，需大量配套煤电调峰，经济性较差，还有可能对提高非化石能源消费比重形成“负效应”。天然气消费市场亟待开拓，“十三五”期间约有800亿方天然气需开拓新的消费市场。

3) 能源清洁替代任务艰巨

每年散烧煤消费量约7亿~8亿吨,煤炭占终端能源消费量20%以上,远高于世界平均水平。“煤改气”“煤改电”非一日之功,成本高;“劣质煤改清洁煤”也面临很多难题。清洁油品利用率不高。

4) 能源系统整体效率较低

能源系统调节性能较差,设备利用率较低。电、热、冷、气能源品种分散供应,梯级利用程度低。主要能耗水平与国际差距较大。

5) 跨省区能源资源配置矛盾凸显

新常态下,主要能源消费地区需求增长减弱,市场空间萎缩,接受外来能源的积极性普遍降低。能源送受地区之间利益矛盾加剧,清洁能源在全国范围内优化配置受阻,部分跨省区能源输送通道面临低效运行的风险。

6) 适应能源转型变革的体制机制有待完善

面对上述问题,我国能源政策将更加注重发展质量,调整存量、做优增量,积极化解过剩产能;更加注重结构调整,加快双重更替,推进能源绿色低碳发展;更加注重系统优化,创新模式,构建高效智能能源系统;更加注重市场规律,强化市场自主调节,积极变革能源供需模式;更加注重经济效益,遵循产业发展规律,增强能源及相关产业竞争力;更加注重机制创新,充分发挥价格调节作用,促进市场公平竞争。

2. 创新电力体制发展清洁电能

近年来,中国清洁电能发展取得了积极进展,全国及电力氮氧化物排放量持续下降。我国已成为水电超级大国,风电、光伏发电装机增长迅速,上网电量持续上升,可再生能源发电装机已跃居世界第一,但我国能源结构仍与世界能源结构存在巨大差异,能源结构亟待改善。要突破清洁电能发展的瓶颈制约:

(1) 改变基于资源禀赋的战略选择,在煤炭总量控制、碳配额及其交易、煤炭综合清洁利用、产业优化与节能机制等方面实施政策导向。

(2) 加快技术、体制及网络建设,加快风电、太阳能发电、储能技术与能力的发展,同步发展远距离输电网和分布式智能局网,重构配售电网体制,积极消纳零散、波动的风电、光伏发电及小水电等。实施结构性改革推动水电建设。

(3) 调整水电、火电关系与产业政策,明确水能区域分布与能源战略选择,建立跨区域水电输送体制,加快分布式小水电网络建设,实施政府绿色补贴政策引导。

(4) 在清洁电能发展与公共政策导向方面,市场导向的竞争机制是清洁电能持续发展的生命线;技术创新与制度创新的相互推动是清洁电能产业成长的双轮和动力;普遍服务成本及其分担方式的科学设定是清洁电能产业健康成长的基础条件;财税政策支持、公共政策引导、投资模式创新是清洁电能产业发展的助推器;资本市场及其投资模式创新是

清洁电能产业发展的要素配置基础；产业拓展、价值创造及其认可形式创新是清洁电产业做大做强的持久保障。

3. 加快实施终端电能替代

从加快推进电源结构调整、加快提升煤电机组清洁化高效化水平、加快由能源生产为主向能源生产和服务并重转型、加重科技创新和开放交流合作五个方面，为建设绿色、低碳、清洁社会作出应有的贡献。

- (1) 加快实施终端电能替代，提高电能在终端能源消费中的比例。
- (2) 推动可再生能源支持政策的有效落实，促进清洁能源可持续发展。
- (3) 关注电力高新技术研发与应用，搭建交流平台，共享研发成果，实现互利共赢。
- (4) 加快发展可再生能源及火电转型。

推进低碳、清洁，大规模开发可再生能源已成为世界各国的共识，全球已经有164个国家制定了可再生能源发展目标，145个国家颁布了可再生能源支持政策。2015年，煤炭在全球能源消费中的占比降至29.2%，这是自2005年以来的最低纪录；而可再生能源在全球发电量中的占比已经达到了6.7%，同比增长了2130亿千瓦时，增速达到15.2%，创历史新高，几乎占到全球发电量的全部增量。德国和中国分别以23.5%、20.9%的增速成为全球可再生能源发电增速最快的两个国家。

4. 信息化与工业化深度融合

能源绿色发展需要数字技术支撑以及信息化和工业化的融合。而集成、能力、数据、云管端和生态系统是实现信息化和工业化深度融合的5个着力点。

(1) 集成是重点。它不仅是德国工业4.0的关键词，也是长期以来中国推动两化融合的关键词。

(2) 能力是主线。在两化融合过程中，企业需要构建新型能力体系和六大类能力，即研发创新类能力、生产管控类能力、供应链管理类能力、财务管控类能力、经营管控类能力和用户服务类能力，从而让用户更好地参与企业创新的全流程，让企业产品和服务更加符合用户需求。

(3) 数据是灵魂。依靠数据的自动流动解决日益复杂的制造系统的不确定性，进行定制化生产，从而实现满足智能制造和服务客户的需求。

(4) 云管端是新基础。加快构筑自动控制与感知、工业云与智能服务平台、工业互联网等4个制造新基础，这既是加强工业2.0、3.0“补课”的现实需要，也是实现工业4.0的客观要求。

(5) 生态系统是制高点。未来产业的竞争将是生态系统的竞争，构建新的产业生态系统至关重要。

3.3.2 绿色发展与经济社会发展

绿色发展是以效率、和谐、持续为目标的经济增长和社会发展方式。我们每一个人、每一个家庭、每一个单位、每一家公司、每一个政府部门都应该身体力行，节能减排，推动低碳经济。“绿色发展”则主要从节能减排及污染治理的角度测度科技创新对首都绿色发展的作用，具体内容包括“万元地区生产总值水耗”“万元地区生产总值能耗”“城市污水处理率”以及“生活垃圾无害化处理率”等。

从内涵看，绿色发展是在传统发展基础上的一种模式创新，是建立在生态环境容量和资源承载力的约束条件下，将环境保护作为实现可持续发展重要支柱的一种新型发展模式。具体来说包括以下几个要点：一是要将环境资源作为社会经济发展的内在要素；二是要把实现经济、社会 and 环境的可持续发展作为绿色发展的目标；三是要把经济活动过程和结果的“绿色化”“生态化”作为绿色发展的主要内容和途径。

在制定“十三五”规划期间，气候变化就已经成为了我们必须考虑的最大的限制因素和国内外制约条件。因此节能减排与应对气候变化就需要成为国家核心发展目标和核心发展的政策之一，这既是巨大的挑战，又是巨大的机遇，并且还是重要的创新。未来发展规划的创新性定位就应该是“绿色发展规划”。

绿色发展的核心是使经济增长和二氧化碳排放开始“脱钩”。根据对过去几个五年规划的系统分析，可以看出改革开放以来五年规划中经济指标比例的一个显著变化。在1981到1985年的“六五”时期，也就是刚刚改革开放的时候，当时的五年规划中经济指标占了60%以上，非经济指标仅占不到40%。但是到了“十一五”规划时期，经济指标的比例已经下降到了21%，非经济指标包括节引能减排等所占比重大幅度提高，达到了将近80%。在“十二五”时期还会进一步缩小经济指标比例，并且强化和增加绿色发展指标比例，形成有助于激励和促进绿色发展的政绩考核体系。

1. 我国的资源环境约束

当前，我国正处在工业化、城市化高速发展的阶段。这一过程需要消耗大量的资源能源；只有人均收入达到一万美元左右，人均能源消耗和污染排放增速才会放缓，最后保持稳定或略有下降。我国资源总量虽然比较丰富，但人均资源占有量低，水资源、耕地人均拥有量仅分别为世界平均水平的28%、43%，石油、天然气人均储量不到世界平均水平的10%。同时，工业废水、废气和固体废弃物排放量保持较高的增长，给生态环境造成很大压力。主要江河湖泊水质恶化；水土流失、荒漠化严重；大规模矿产资源开采造成土地沉陷，水位下降，植被破坏，等等；由于环境问题造成的损害群众健康问题时有发生。以节能环保产业为例，从国际经验看，日本在上世纪70年代，节能环保投资约占全社会固定资产投资的33%左右，不仅有助于解决经济起飞阶段的资源环境问题，而且有效拉动了经济

增长。我国节能环保产业市场广阔，2008年总产值即达1.55万亿元，就业人数达3700多万人。据保守估计，未来三年，节能环保产业总产值可以翻一番。

加快经济发展方式转变、提高国际竞争力的必然要求。当前，世界主要国家纷纷把新能源、新材料、生物医药、节能环保作为新一轮产业发展的重点，抢占未来经济发展制高点。与传统产业相比，我国在若干新技术领域与发达国家的差距较小。如新能源，我国已初步形成了规模较大、体系相对完善的新能源产业，加上广阔的市场前景，可望形成与发达国家相比具有成本优势、与发展中国家相比具有技术优势的独特竞争力。大力发展绿色经济，可以推动产业结构优化升级，形成新的经济增长点，在国际经济技术竞争中赢得主动。

我国高度重视应对气候变化问题，制定并实施了应对气候变化的国家方案，并承诺到2020年，单位国内生产总值二氧化碳排放比2005年下降40%~45%，非化石能源占一次能源消费的比重达到15%左右。要实现这一目标，必须大力调整经济结构和能源结构，加快发展战略性新兴产业和现代服务业，使经济发展由主要依靠增加物质资源消耗向主要依靠科技进步、劳动者素质提高、管理创新转变，使经济变“绿”。

2. 节约资源与环境保护

随着城镇化的快速发展，中国每年新建约20亿平方米的建筑，在城镇大概是7到8亿平方米，建筑终端能耗将近社会总能耗的30%，成为世界上消耗自然资源最多的国家。国家在“十二五”节能减排综合性工作方案中制定并提出绿色建筑行动方案，从规划、法规、技术、标准、设计等方面全面推进建筑节能。

绿色设计是绿色制造可持续发展的基赐源头，因为设计往往决定了产品全寿命周期的资源消耗和污染排放。要充分采用全寿命周期绿色设计，从产品设计制造、包装运输、使用到废物处理的整个生命周期中，使资源消耗和有害排放物废弃物最少，对环境的影响最小，资源利用率最高。

绿色的核心就是节约资源和保护环境，这是中国的基本国策，也是我们创新绿色设计必须遵循的原则。在城乡规划和绿色建筑设计当中，必须坚持节约资源和保护环境的基本国策。中国绿色建筑的发展，目前还是以政府主导为主。建筑业应当大力推进绿色建筑的发展，必须创新绿色建筑发展模式，我国建筑业在设计创新、技术创新、管理创新、制度创新方面仍有发展空间和潜力。

3. 绿色发展的重点举措

未来，环境保护部将继续坚持走科学发展和生态文明的道路，以促进经济发展方式加速转变为核心，按照以人为本、全面协调、可持续的要求，培育壮大绿色经济。着力从以下5个方面推动绿色发展：

(1) 促进经济发展方式加速转变, 积极培育以低碳排放为特征的新的经济增长点, 关注调整改造传统产业和发展新能源、节能环保等新兴产业, 注重推动生产、流通、分配、消费和建设等环节的节能增效, 加强保护生态环境。

(2) 建立和完善有利于绿色发展的体制机制, 积极研究绿色投资政策, 促进重点产业的绿色化生产, 从再生产全过程制定环境经济政策, 推动资源性产品的价格改革, 建立相应的统计、跟踪和评价机制, 科学预测绿色发展趋势, 为更好地制定绿色发展相关政策提供有效支持。

(3) 加快建立绿色技术创新体系。促进绿色发展, 绿色技术是支撑。环保部门将对绿色技术发展给予一定的资金和政策扶持, 促进绿色生产技术开发示范, 进一步加快环境友好型技术的产业化进程, 为推动绿色发展提供相应的技术支撑。

(4) 牢固树立生态文明理念, 大力倡导绿色消费, 把节约文化、环境道德纳入社会运行的公序良俗, 把资源承载能力、生态环境容量作为经济活动的重要条件, 引导公众自觉选择节约环保、低碳排放的消费模式。

(5) 加强国际合作交流, 创新合作方式, 加强科学研究, 促进产学研结合, 增强企业自主创新能力, 积极学习借鉴国际先进理念, 充分利用已有实践成果, 积极宣传相关经验做法, 促进有助于绿色增长的环保技术转让, 共同研发新的绿色技术。

3.3.3 绿色经济与绿色能源

1. 绿色经济

绿色经济是以市场为导向、以传统产业经济为基础、以经济与环境的和谐为目的发展起来的一种新的经济形式, 是产业经济为适应人类环保与健康需要而产生并表现出来的一种发展状态。Jacobs与Postel等人在1990年提出的绿色经济学中倡议, 在传统经济学三种生产基本要素劳动、土地及人造资本之外, 必须再加入一项社会组织资本 (social and organization capital, SOC), 并将其他三项成本的定义略作修正:

(1) 人类资本 (human capital): 强调“人力”的健康、智识、技艺及动机 (motivation)。

(2) 将土地成本扩充成为生态资本 (ecological capital), 或自然资本 (natural capital)。

(3) 人造资本 (man-made capital) 保持不变, 或称制造资本 (manufactured capital)。

绿色经济特别提出的社会组织资本 (SOC), 指的是从地方小区, 商业团体、工会乃至国家的法律、政治组织, 到国际的环保条约 (如海洋法、蒙特娄公约) 等。他们认为,