

全球 Global Energy Internet 能源互联网

刘振亚◎著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

全球 Global Energy Internet 能源互联网

刘振亚◎著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

图书在版编目(CIP)数据

全球能源互联网 / 刘振亚著. —北京: 中国电力出版社, 2015.1(2015.2重印)

ISBN 978-7-5123-7052-4

I. ①全… II. ①刘… III. ①能源发展—研究—世界
IV. ①F416.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第002050号

审图号: GS(2014)5350号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京盛通印刷股份有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2015年1月第一版 2015年2月北京第三次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 25印张 422千字

定价: 96.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签, 刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

能源是经济社会发展的重要物质基础。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。能源作为现代化的动力，关系国计民生、关系人类福祉。以新一轮能源变革为契机，加快建立安全可靠、经济高效、清洁环保的现代能源供应体系，成为世界各国共同战略目标。

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。在这个过程中，传统化石能源的大量开发使用导致资源紧张、环境污染、气候变化等问题日益突出，严重威胁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，一些资源匮乏国家能源对外依存度不断提高，能源安全问题十分严峻。同时，大量化石能源在生产、运输、使用的各环节对空气、水、土壤等造成严重污染和破坏，化石能源燃烧产生的二氧化碳已经成为导致全球气候变暖、冰川消融、海平面上升的重要因素。未来，随着全球经济增长和世界人口增加，能源需求将持续增长，建立在化石能源基础上的传统能源发展方式已难以为继。

统筹解决能源和环境问题，破解经济社会发展瓶颈，已经变得十分紧迫。全球清洁能源资源丰富，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，远远超过人类社会全部能源需求。21世纪以来，以电为中心、清洁化为特征的能源结构调整加快推进，风能、太阳能等新能源的大规模开发利用成为世界主要国家的共同选择。随着技术进步和新材料应用，风能、太阳能、海洋能等清洁能源开发效率不断提高，技术经济性和市场竞争力逐步增强，完全有可能成为世界主导能源。绝大部分清洁能源只有转化为电能才能够高效利用。而电能作为优质、清洁、高效的二次能源，能够替代绝大多数能源需求，是未来最重要的终端能源。从世界能源发展趋势和资源禀赋特征看，实施以清洁替代和电能替代为主要内容的“两个替代”是世界能源可持续发展的重要方向。

“两个替代”是对传统能源生产消费方式和理念的根本性变革。这要求我们树立全球能源观，以全球视野、历史视角、前瞻思维、系统方法研究能源问题，加快构建全球能源互联网，促进清洁能源大规模开发、大范围配置、高效率利用，实现能源与政治、经济、社会、环境协调发展，保障能源安全、清洁、高效、可持续供应。全球能源互联网以特高压电网为骨干网架，以输送清洁能源为主导，连接大型清洁能源基地以及各种分布式电源，将清洁能源输送到各类用户，是服务范围广、配置能力强、安全可靠、绿色低碳的全球能源配置平台。依托全球能源互联网，在能源开发上实施清洁替代，以清洁能源替代化石能源，走低碳绿色发展道路，实现化石能源为主向清洁能源为主转变；在能源消费上实施电能替代，以电代煤、以电代油，推广应用电锅炉、电采暖、电制冷、电炊具和电动交通等，提高电能在终端能源消费中的比重，从根本上解决化石能源污染和温室气体排放问题。

全球能源互联网是实施“两个替代”的关键，是保障全球清洁能源高效开发、让人人享有可靠能源供应的重要平

台，将带来能源发展战略、发展路线、结构布局、生产和消费方式以及能源技术等全方位调整。本书基于全球能源观，分析了世界能源发展现状、挑战和实施“两个替代”的必然趋势，在预测未来全球能源电力供需基础上，提出了依托特高压交直流和智能电网技术发展全球能源互联网的战略思路、总体目标、基本格局、构建方式和发展路径，为推动世界能源安全、清洁、高效、可持续发展提供了全新的解决方案。

全书共分为八章：

第一章分析全球能源资源分布和发展现状，总结当前世界能源发展所面临的主要挑战。

第二章介绍世界风电和太阳能发电发展趋势，阐述“两个替代”的必然性及其在能源革命中的重要地位。

第三章探讨世界能源发展规律，提出全球能源观发展理念，明确要坚持以全球性、历史性、差异性、开放性的立场研究和解决全球能源问题。

第四章分析能源电力供需主要影响因素，预测全球能源电力需求总量和结构，提出未来全球能源开发重点和布局，对全球电力供需和全球电力流进行了展望。

第五章阐述全球能源互联网与坚强智能电网的内在联系，提出构建全球能源互联网的设想和框架，研究了跨洲特高压骨干网架、洲内跨国互联电网、国家泛在智能电网建设方案，探讨了全球能源互联网的合作机制，并初步评估了全球能源互联网的综合效益。

第六章阐述全球能源互联网技术创新的重要性和重点领域，着重介绍电源、电网、储能和信息通信等技术领域的最新进展、发展方向和应用前景。

第七章介绍全球能源互联网研究和实践基础，重点总结国内外在特高压、智能电网、清洁能源、大电网互联领域的

技术研究、标准制定、规划编制和工程建设情况。

第八章从能源、经济、社会、文明四个维度，展望全球能源互联网对未来世界的重大影响和推动作用。

全球能源互联网是既利当前又利长远的重大基础设施，对世界能源可持续发展能够发挥全局性、战略性引领作用，符合全人类的共同利益。未来几十年将是全球能源互联网快速发展的关键时期，需要各国政府、国际组织、社会团体和能源企业积极参与，加强理论研究、理念传播、技术攻关和国际合作，共同推动全球能源互联网建设，更好地支撑经济社会发展。

本书所论述的全球能源互联网等理念和发展思路，是基于作者多年来对中国和世界能源电力发展战略问题的思考，特别是结合了中国特高压发展成功实践，同时参考了国内外一些专家学者和组织机构的研究成果，希望能够对世界能源战略研究和政策制定有所帮助。

作 者

2015年1月

目 录

前言

第一章 全球能源发展现状与挑战	1
第一节 全球能源发展现状	2
一、基本概况	2
二、化石能源	10
三、清洁能源	20
四、“一极一道”能源开发	39
五、电力发展	44
第二节 全球能源发展面临的挑战	57
一、能源供应面临的挑战	57
二、能源环境面临的挑战	60
三、能源配置面临的挑战	64
四、能源效率面临的挑战	65
小结	70
第二章 清洁替代与电能替代	71
第一节 世界风电和太阳能发电发展概况	72
一、风电发展概况	72
二、太阳能发电发展概况	78
第二节 清洁替代	85

一、清洁替代的必然性	86
二、清洁替代的关键	89
第三节 电能替代	92
一、电能替代的必然性	92
二、电能替代的重点	94
第四节 “两个替代”与能源革命	98
一、清洁替代与能源革命	98
二、电能替代与能源革命	99
小结	100
第三章 全球能源观	101
第一节 能源发展规律	102
一、能源结构从高碳向低碳方向发展	102
二、能源利用从低效向高效方向发展	103
三、能源配置从局部平衡向大范围优化方向发展	104
第二节 全球能源观	106
一、基本内涵	107
二、核心内容	108
小结	112
第四章 全球能源电力供需	113
第一节 影响能源供需的主要因素	114
一、经济社会发展	115
二、能源资源禀赋	116
三、能源环境约束	117
四、能源技术进步	118
五、能源政策调控	119

第二节 全球能源需求	120
一、能源需求总量	122
二、能源需求结构	123
三、能源需求分布	126
第三节 全球电力需求	129
一、电力需求总量	130
二、电力需求分布	132
第四节 未来全球能源开发格局	135
一、能源供应总体情况	136
二、世界各大洲大型清洁能源基地	138
三、分布式能源开发	164
四、化石能源开发与利用	166
第五节 全球电力流	171
一、全球电力流布局思路 and 原则	171
二、全球电力供应总体情况	172
三、世界各大洲电力供需平衡	174
四、全球电力流发展趋势	189
小结	197
第五章 构建全球能源互联网	199
第一节 坚强智能电网与全球能源互联网	200
一、坚强智能电网	200
二、全球能源互联网	204
第二节 跨洲特高压骨干网架	212
一、北极地区风电外送通道	213
二、赤道地区太阳能发电外送通道	215
三、重点跨洲联网通道及发展进程	216

第三节 洲内跨国互联电网	220
一、亚洲互联电网	221
二、欧洲互联电网	222
三、北美互联电网	223
四、南美洲互联电网	224
五、非洲互联电网	225
第四节 国家泛在智能电网	228
一、电网网架建设	228
二、智能化发展	230
第五节 全球能源互联网合作机制	240
一、组织机制	240
二、运行机制	242
三、市场机制	244
四、政策保障	246
第六节 全球能源互联网综合效益	248
一、环境效益	248
二、经济效益	249
三、社会效益	251
小结	253
第六章 全球能源互联网技术创新	255
第一节 全球能源互联网技术创新的方向和重点领域	256
一、技术创新的推动作用	256
二、技术创新的方向	257
三、技术创新的重点领域	258
第二节 电源技术	259
一、风力发电技术	259

二、太阳能发电技术	262
三、海洋能发电技术	267
四、分布式电源技术	269
第三节 电网技术	271
一、特高压输电技术和装备	271
二、海底电缆技术	273
三、超导输电技术	274
四、直流电网技术	275
五、微电网技术	277
六、大电网运行控制技术	278
第四节 储能技术	280
一、最新技术进展	281
二、发展方向和前景	283
三、前沿技术展望	284
第五节 信息通信技术	285
一、最新技术进展	285
二、发展方向和前景	288
小结	290
第七章 全球能源互联网研究和实践基础	291
第一节 中国实践	292
一、技术创新	292
二、标准制定	309
三、战略规划	312
四、工程建设	314
第二节 国际实践	340
一、特高压发展	340

二、智能电网发展	343
三、清洁能源发展	346
四、世界互联电网发展	350
小结	360
第八章 全球能源互联网改变世界	361
第一节 构筑能源发展新格局	362
一、突破资源约束，人人享有充足清洁能源	362
二、突破时空约束，清洁能源实现高效利用	363
三、突破环境约束，清洁能源成为主导能源	364
第二节 激发经济增长新活力	365
一、增强发展动力，全面提升经济质量	366
二、释放创新红利，带动新兴产业发展	367
三、推动合作共赢，促进世界经济协调发展	368
第三节 创造社会美好新生活	369
一、改变公众生活，提升人类发展水平	369
二、推动社会变革，构建高效社会形态	370
三、改善自然环境，实现生态可持续发展	372
第四节 开启人类文明新篇章	373
一、推动政治和谐，促进世界和平	373
二、推动环境和谐，促进生态文明	374
三、推动人类和谐，促进文明升级	375
小结	377
内容索引	378
参考文献	381
后记	386

第一章

全球能源发展现状与挑战

能源安全事关经济社会发展全局。世界能源发展与资源禀赋密切相关，地球不仅拥有大量的煤炭、石油、天然气等化石能源，而且拥有丰富的水能、风能、太阳能等可再生清洁能源。长期以来，世界能源发展过度依赖化石能源，导致资源紧张、气候变化、环境污染等问题日益突出，严重威胁人类生存发展，形势十分严峻。应对挑战，需要统筹把握经济发展全球化、资源配置全球化和环境影响全球化的新特征，推动世界能源走上安全、清洁、高效、可持续的发展道路。



第一节 全球能源发展现状

全球能源发展经历了从薪柴时代到煤炭时代，再到油气时代、电气时代的演变过程。目前，世界能源供应以化石能源为主，有力支撑了经济社会的快速发展。适应未来能源发展需要，水能、风能、太阳能等清洁能源正在加快开发和利用，在保障世界能源供应、促进能源清洁发展中，将发挥越来越重要的作用。

一、基本概况

长期以来，世界能源消费总量持续增长，能源结构不断调整。19世纪中叶，人类消耗的能源以薪柴为主，煤炭占比不足20%。随着工业革命的推进，煤炭比重大幅度上升，到20世纪初达到70%以上。20世纪以来，随着石油、天然气比重不断上升，煤炭比重快速下降。60年代，石油超过煤炭成为世界第一大能源；1973年石油占比达到峰值。在经历20世纪七八十年代两次全球石油危机之后，石油比重逐步下降，天然气比重不断上升，煤炭比重有所回升。特别是近20年，世界能源发生了深刻变革，总体上形成煤炭、石油、天然气三分天下，清洁能源快速发展的新格局。1850年以来世界能源消费结构变化情况如图1-1所示。

（一）能源资源

全球能源资源主要有煤炭、石油、天然气等化石能源和水能^①、风能、太阳能、海洋能等清洁能源。全球化石能源资源虽然储量大，但随着工业革命以来数百年的大规模开发利用，正面临资源枯竭、污染排放严重等现实问题；清洁能源不仅总量丰富，而且低碳环保、可以再生，未来开发潜力巨大。

^① 广义的水能包括河流水能和海洋能，本书中水能专指河流水能。

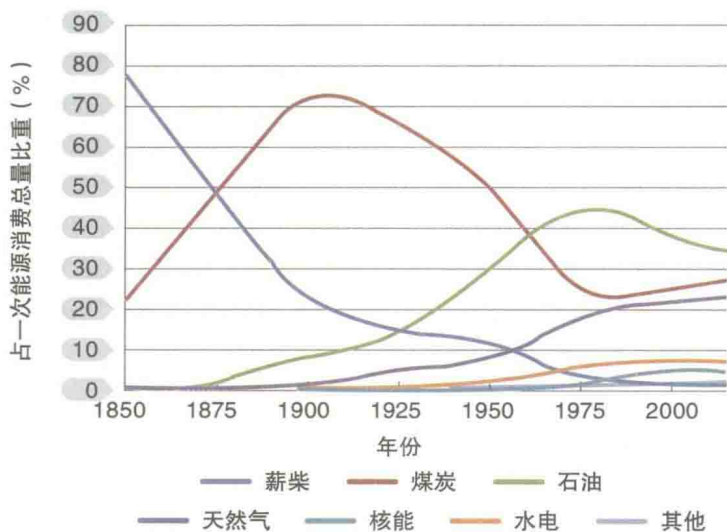


图1-1 1850年以来世界能源消费结构变化情况

资料来源：罗伯特·海夫纳三世，能源大转型，中信出版社，2013年。

截至2013年，全球煤炭、石油、天然气剩余探明可采储量分别为8915亿吨、2382亿吨和186万亿米³，折合标准煤^①共计1.2万亿吨，其中煤炭占52.0%、石油占27.8%、天然气占20.2%。按照目前世界平均开采强度，全球煤炭、石油和天然气分别可开采113年、53年和55年。这些化石能源在全球分布很不均衡，煤炭资源95%分布在欧洲及欧亚大陆、亚太、北美等地区（见图1-2），石油资源80%分布在中东、北美和中南美，天然气资源70%以上分布在欧洲及欧亚大陆、中东地区。世界煤炭、石油、天然气资源分布情况如表1-1所示。中国^②化石能源资源以煤炭为主，石油、天然气等资源相对贫乏，化石能源剩余探明可采储量总计约为896亿吨标准煤，其中煤炭占91.2%、石油占3.9%、天然气占4.9%，储采比^③分别为31年、12年和28年。

① 1吨原煤相当于0.714吨标准煤，1吨原油相当于1.43吨标准煤，1000米³天然气相当于1.33吨标准煤。

② 如无特别说明，本书的中国数据未包含港澳台地区。

③ 储采比是指剩余探明储量与当年开采量的比例，也就是按当前生产水平尚可开采的年数。



图1-2 世界煤炭、石油、天然气分布示意图

注 本图区域划分依据英国石油公司(British Petroleum, BP)统计口径。后文中资料源于BP的,其区域划分也同本图。

表1-1 世界煤炭、石油、天然气资源分布情况

地区	煤炭			石油			天然气		
	剩余探明可采储量(亿吨)	占比(%)	储采比(年)	剩余探明可采储量(亿吨)	占比(%)	储采比(年)	剩余探明可采储量(万亿米 ³)	占比(%)	储采比(年)
北美	2451	27.5	250	350	13.6	37	12	6.3	13
中南美	146	1.6	149	511	19.5	> 100	8	4.1	44
欧洲及欧亚大陆	3105	34.8	254	198	8.8	23	57	30.6	55
中东	11	0.1	> 500	1094	47.9	78	80	43.2	> 100
非洲	318	3.6	122	173	7.7	41	14	7.6	70
亚太	2884	32.4	54	56	2.5	14	15	8.2	31
合计	8915	100	113	2382	100	53	186	100	55

资料来源: BP, Statistical Review of World Energy 2014。