

中国水力发电 科学技术发展报告

(2012年版)

中国水力发电工程学会
中国水电工程顾问集团公司 主 编
中国水利水电建设集团公司

中国水力发电 科学技术发展报告

(2012年版)

中国水力发电工程学会

中国水电工程顾问集团公司 主 编

中国水利水电建设集团公司



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

水能资源是清洁的可再生能源,水力发电科学技术的发展一直受到世界各国的高度重视。国际上一致承认水电在节能减排、应对气候变化等方面具有巨大的优势。

本报告主要内容包括中国水力资源开发现状和展望、中国水力发电科学技术进步与成就、中国水力发电科学技术发展重点项目三个篇目。尤其第三篇中,详细阐述了大型水电工程安全与风险管理,水电工程复杂地质条件勘测与评价,高坝工程防震抗震,超高坝建设,大型地下洞室群关键技术,大型水电工程施工,环境保护、移民安置与生态修复,高性能大容量水电机组,流域梯级水电站联合调度运行,数字化、智能化水电与研发等十大专题,系统阐述了我国水电科技创新发展的具体内容,提出了专业学科的研究和发展方向,体现了科学知识体系化的特征,以及传统的水力发电学科与现代生态学科和信息化、自动化、智能化技术的融会贯通。

本报告可为国家有关决策提供参考,也可供相关领域的管理人员、工程技术人员、研究人员和高校师生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

中国水力发电科学技术发展报告:2012年版/中国水力发电工程学会,中国水电工程顾问集团公司,中国水利水电建设集团公司主编. —北京:中国电力出版社,2013.1

ISBN 978-7-5123-3923-1

I. ①中… II. ①中… ②中… ③中… III. ①水力发电—科技发展—研究报告—中国—2012 IV. ①TM612

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第309584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

*

2013年1月第一版 2013年1月北京第一次印刷

889毫米×1194毫米 16开本 38.75印张 1027千字

印数 0001—5000册 定价 195.00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

《中国水力发电科学技术发展报告(2012 年版)》

编 委 会

主 任 委 员 张基尧

副主任委员 李菊根 王 斌 孙洪水 周建平 宗敦峰
邴凤山

委 员 (以姓氏笔画为序)

马光文	卞炳乾	文伯瑜	毛战坡	王 斌
王仁坤	王光谦	王启茂	王鹏禹	付元初
冯树荣	石清华	任青文	任旭华	刘广宇
向 建	吕生弟	吕明治	孙玉田	孙志禹
孙洪水	汤雪峰	何小雄	余 奎	吴义航
吴关叶	吴秀荣	吴高见	张一军	张土乔
张宗亮	张基尧	李 正	李 昇	李 新
李秋生	李菊根	李福生	李德玉	杨泽艳
杨伟国	杨建敏	杨开黎	肖恩尚	芮 钧
邴凤山	陈厚群	陈锡芳	周创兵	周怀东
周建平	和孙文	宗敦峰	范吉松	范福平
郑 平	郑小康	郑桂斌	姚栓喜	宫海灵
施 冲	胡国庆	赵 琨	钟登华	钟辉亚
唐数理	席 浩	徐 洁	涂怀建	袁建新
钱钢粮	康明华	梅锦煜	黄晓辉	黄景湖
龚和平	彭才德	湛正刚	程永权	楚跃先
雷定演	蔡启光	戴康俊	戴福初	

参加编写人员 (以姓氏笔画为序)

卫太祥	尹进步	王 昊	王玲玲	王海波
王富强	韦振新	叶玉健	巨广宏	刘 昌
刘 娟	刘 畅	刘小生	刘荣丽	吕桂萍
孙 卓	孙 博	朱 辰	朱俊高	江亚丽
许长红	邢万波	严 磊	严 肃	何家欢
何晓东	余天堂	吴小云	吴佳鹏	吴继兵
吴毅谨	张丙印	张合作	张社荣	张建斌
张继勋	张翠然	李 明	李小林	李广德
李学政	李金香	李常虎	李树武	杜效鹤
杨 贤	杨玉生	杨天俊	陈宏胜	单福胜
庞立军	武中德	侯 靖	段 波	禹雪中
胡 波	胡大可	贺 洁	赵庆绪	赵进勇
赵志祥	赵剑明	骆辉煌	倪春飞	徐廷兵
徐泽平	郭 靖	陶 红	高 欣	曹以南
梁礼绘	黄春雷	黄炜斌	程广福	程瑞林
韩建设	满宇光	蒲小芳	熊 欣	潘伟峰
欧阳金惠				



前言

中国水力发电科学技术发展报告（2012年版）

水能资源是清洁的可再生能源，水力发电科学技术的发展一直受到世界各国的高度重视。国际上一致承认水电在节能减排、应对气候变化等方面具有巨大的优势。以可持续方式科学开发水电对于保障水安全和能源安全，促进经济社会的可持续发展具有重大作用。中国水力发电工程学会在中国科学技术协会的领导下，贯彻落实科学发展观，着眼于总结宣传水力发电所取得的成就及在国家经济建设、社会发展方面的作用，让社会公众更加科学、全面地了解中国水力发电常识及科技发展的现状；着眼于未来水电事业的发展研究，组织重大科技攻关，引领中国水力发电科学技术的发展，为国家科技战略决策提供科学依据。为落实国家能源发展规划和中央书记处、中国科学技术协会有关指示精神，充分发挥行业学会在推动我国经济发展方式转变中的重要作用，助推中国水电事业可持续发展，组织编撰《中国水力发电科学技术发展报告》。

《中国水力发电科学技术发展报告（2012年版）》（以下简称《报告》）是一部由中国水力发电工程学会牵头组织，联合中国水电工程顾问集团公司和中国水利水电建设集团公司共同编撰的科技出版物。《报告》对我国水力发电科技事业的重要进展和重大成果进行了全面、系统地回顾，反映了我国水电科技发展所取得的伟大成就。在此基础上，根据国家社会未来发展需求，用未来工程、未来技术的视野，对我国水力发电的科技发展进行展望。结合我国经济社会和科技发展趋势，以国家水电发展规划和重大工程为依托，分析研究未来的重点工程和重点技术的发展需求，提出了水电可持续发展需要解决的重点科技问题、关键技术和研究方向。

《报告》内容共分“中国水力资源开发现状和展望”、“中国水力发电科学技术进步与成就”和“中国水力发电科学技术发展重点项目”三篇。在第三篇中，分大型水电工程开发安全与风险管理，水电工程复杂地质条件勘测与评价，高坝工程防震抗震，超高坝建设，大型地下洞室群关键技术，大型水电工程施工，环境保护、移民安置与生态修复，高性能大容量水电机组，流域梯级水电站联合调度运行，数字化、智能化水电与研发等十大专题，系统阐述了我国水电科技创新发展的具体内容，提出了

专业学科的研究和发展方向，体现了科学知识体系化的特征，以及传统的水力发电学科与现代生态学科和信息化、自动化、智能化技术的融会贯通。《报告》坚持科学性、前瞻性、创造性和引导性，着眼世界水电科技前沿，立足于目前的科学技术基础，符合学科和行业发展的大趋势。用发展的眼光看问题，不仅讨论当前，而且研究到 2020 年甚至今后 30~40 年更长远的发展，体现科技引领、创新驱动的发展要求。《报告》还充分体现了中国水力发电工程学会的战略决策咨询作用，积极引领中国水电科技发展方向，推动水电事业科技进步和创新，支撑我国水力发电事业的发展，在建设创新型国家和建立国家科技发展知识库等方面做出贡献。《报告》可为国家有关决策提供参考，也可供相关领域的管理人员、工程技术人员、研究人员和高校师生阅读。

《报告》的编撰得到了全国有关设计、科研院所、水电建设企业、制造企业和知名大学等单位的大力支持，编写组由各单位富有经验并在相关专业技术领域卓有建树的专家、学者组成。自 2012 年 4 月初编撰工作启动以来，编委会先后三次召开编写及审稿会议，对《报告》内容进行了反复研讨与切磋，历时近八个月完成初稿，最终由知名院士和业内资深专家学者于 11 月底审查定稿。《报告》是中国水力发电行业立足当前、展望未来、凝聚广大科技工作者及各方面专家智慧的结晶。为了高质量地完成编撰任务，参加《报告》编撰的同志投入了很大热情和精力，在此，向参与研究和编撰工作的各有关单位和有关同志表示衷心的感谢。

在科技进步日新月异的今天，谋划和预见未来的发展是一件令人激动而又相当困难的事情。中国水电要引领世界水电发展需要不断进行创新，编撰《报告》既是记录中国水电科技发展的历史，更是为今后几十年中国水电事业确定科技创新发展重点、指明发展道路，是功在当代、利在千秋的大事。《报告》涉及技术问题多、时间跨度大，由于有些问题的研究还不够深入，时间仓促，加之认识和判断本身上的局限性，虽经努力但可能还存在不足之处，欢迎国内外各方面专家、学者不吝赐教。

全国政协人口资源环境委员会 副主任
中国水力发电工程学会 理事长



2012 年 12 月 于北京

目 录

中国水力发电科学技术发展报告 (2012年版)

前言

» 第一篇 中国水力资源开发现状和展望

第一章	水力资源开发利用现状	5
第一节	水力资源概况	5
第二节	水力资源的战略地位	8
第三节	水电发展历程及开发现状	17
第四节	水电建设对中国经济社会发展的作用	23
第二章	发展思路与目标	26
第一节	水电发展指导思想和战略方针	26
第二节	水电发展目标	30
第三章	发展规划	36
第一节	常规水电站发展规划	36
第二节	抽水蓄能电站发展规划	39
第四章	水电发展面临的问题与挑战	43
第一节	大中型水电开发面临的问题	43
第二节	小水电发展存在的问题	45
第三节	抽水蓄能电站发展面临的问题	46
第五章	保障措施	48

» 第二篇 中国水力发电科学技术进步与成就

第一章	概述	71
第二章	水电开发规划新成就	73
第三章	水电工程勘测科技进步	77
第四章	坝工技术进步	80
第五章	水工水力学科技进步	86
第六章	地下工程技术进步	90
第七章	高边坡处理技术进步	92

第八章	水工材料科技进步	95
第九章	大型水电工程施工技术	98
第十章	水电机组及金属结构设备技术进步	108
第十一章	水电站生产运行管理技术	114
第十二章	水电人才及研发体系建设	116

» 第三篇 中国水力发电科学技术发展重点项目

第一章	大型水电工程安全与风险管理技术	125
第一节	概述	125
第二节	水电工程安全风险管理体系及发展趋势	132
第三节	水电工程安全风险管理体系	148
第四节	国内外失事工程总结及风险识别技术	153
第五节	水电工程风险评估技术	161
第六节	水电工程安全预警与应急预案	166
第七节	水电工程地质灾害风险管理技术	169
第八节	流域梯级水电站群风险管理技术	171
第二章	水电工程复杂地质条件勘测与评价技术	175
第一节	西部地区复杂地质环境特征及勘测技术	175
第二节	深厚覆盖层工程特性与勘察技术研究	181
第三节	冻土工程特性与地基处理技术研究	187
第四节	冰川(水)堆积物工程特性与筑坝利用技术研究	191
第五节	高陡边坡稳定性评价与监测技术研究	193
第六节	深埋长大隧洞勘察技术研究	199
第七节	滑坡泥石流地质灾害勘测与防治技术研究	204
第八节	高寒地区天然建筑材料勘察与利用研究	211
第三章	高坝工程防震抗震技术	215
第一节	概述	215
第二节	区域构造稳定性研究	217
第三节	大坝场址地震动参数研究	223
第四节	国内外典型大坝工程震害总结及反馈分析研究	231
第五节	高坝工程抗震设计与安全评价体系研究	240
第六节	高坝工程防震抗震措施及应急处置技术研究	249
第四章	超高坝建设技术	254
第一节	超高坝的发展及面临的挑战	254
第二节	高拱坝关键技术研究	260
第三节	高重力坝关键技术研究	264
第四节	高心墙堆石坝关键技术研究	266

第五节	高面板堆石坝关键技术研究·····	269
第六节	高坝工程泄洪消能关键技术研究·····	273
第七节	高边坡工程关键技术研究·····	276
第八节	基于全寿命周期管理的高坝设计·····	279
第五章	大型地下洞室群关键技术 ·····	282
第一节	概述·····	282
第二节	地下洞室群围岩稳定分析技术研究·····	287
第三节	深埋长大隧洞特殊工程问题处理技术研究·····	303
第四节	地下洞室群的开挖支护技术研究·····	310
第五节	监测反馈分析与安全评价研究·····	317
第六章	大型水电工程施工技术 ·····	324
第一节	高混凝土重力坝筑坝关键施工技术研究·····	324
第二节	高混凝土拱坝筑坝关键施工技术研究·····	329
第三节	高碾压混凝土坝筑坝关键施工技术研究·····	335
第四节	300m 级高土石坝筑坝关键施工技术研究 ·····	337
第五节	300m 级高面板堆石坝筑坝关键施工技术研究 ·····	345
第六节	高边坡工程关键施工技术研究·····	354
第七节	深埋长大水工隧洞关键施工技术研究·····	360
第八节	深厚覆盖层基础处理关键施工技术研究·····	368
第九节	大型水电机组现场安装、制作与调试技术研究·····	373
第十节	水电工程施工全过程质量监控技术研究·····	384
第十一节	大型水电工程施工机械装备现状与发展技术研究·····	399
第七章	环境保护、移民安置与生态修复技术 ·····	405
第一节	水电工程的环境保护现状·····	405
第二节	已建水电工程环境影响评价·····	408
第三节	绿色水电评估关键技术·····	413
第四节	建设征地移民安置及其关键技术研究·····	425
第五节	陆地生态影响及保护关键技术研究·····	436
第六节	水生态影响及保护关键技术研究·····	441
第七节	水环境影响及保护关键技术研究·····	451
第八节	施工期环境影响及保护关键技术研究·····	454
第八章	高性能大容量水电机组技术 ·····	457
第一节	概述·····	457
第二节	大型混流式水电机组开发·····	459
第三节	大型抽水蓄能机组开发·····	475
第四节	大型灯泡贯流式水电机组·····	487
第五节	大型冲击式水电机组开发·····	492
第六节	大型轴流转桨式机组开发·····	500
第七节	水电站机组技术改造·····	502

第八节	水电机组通用技术·····	505
第九节	未来水电机组技术展望·····	512
第九章	流域梯级水电站联合调度运行技术 ·····	523
第一节	流域梯级水电站联合调度管理模式·····	523
第二节	流域梯级水电站集中控制中心·····	527
第三节	流域水文预报技术·····	532
第四节	梯级水库多目标联合调度技术·····	540
第五节	流域梯级水电站群全生命周期智能调度一体化决策支持系统·····	548
第六节	梯级水电站调度效益综合评价技术·····	558
第十章	数字化、智能化水电与研发 ·····	562
第一节	数字水电及智能水电厂技术研究·····	562
第二节	水电厂现地智能化测控及一体化管控技术研究·····	566
第三节	水电站状态检修工程试点及相关技术研究·····	569
第四节	智能水电站、智能电网、智能能源网友好互动技术研发平台·····	576
第五节	水电站与风电和太阳能电站联合运行技术及试点工程·····	579
第六节	大坝安全监测分析研究中心·····	583
第七节	国家能源水电工程技术研发中心建设·····	586
第八节	水电工程科学计算仿真实验室建设·····	591
第九节	高坝通航设施安全监控中心·····	595
参考文献·····		600
后记·····		609

中国水力发电
科学技术发展报告

第一篇

中国水力资源开发
现状和展望

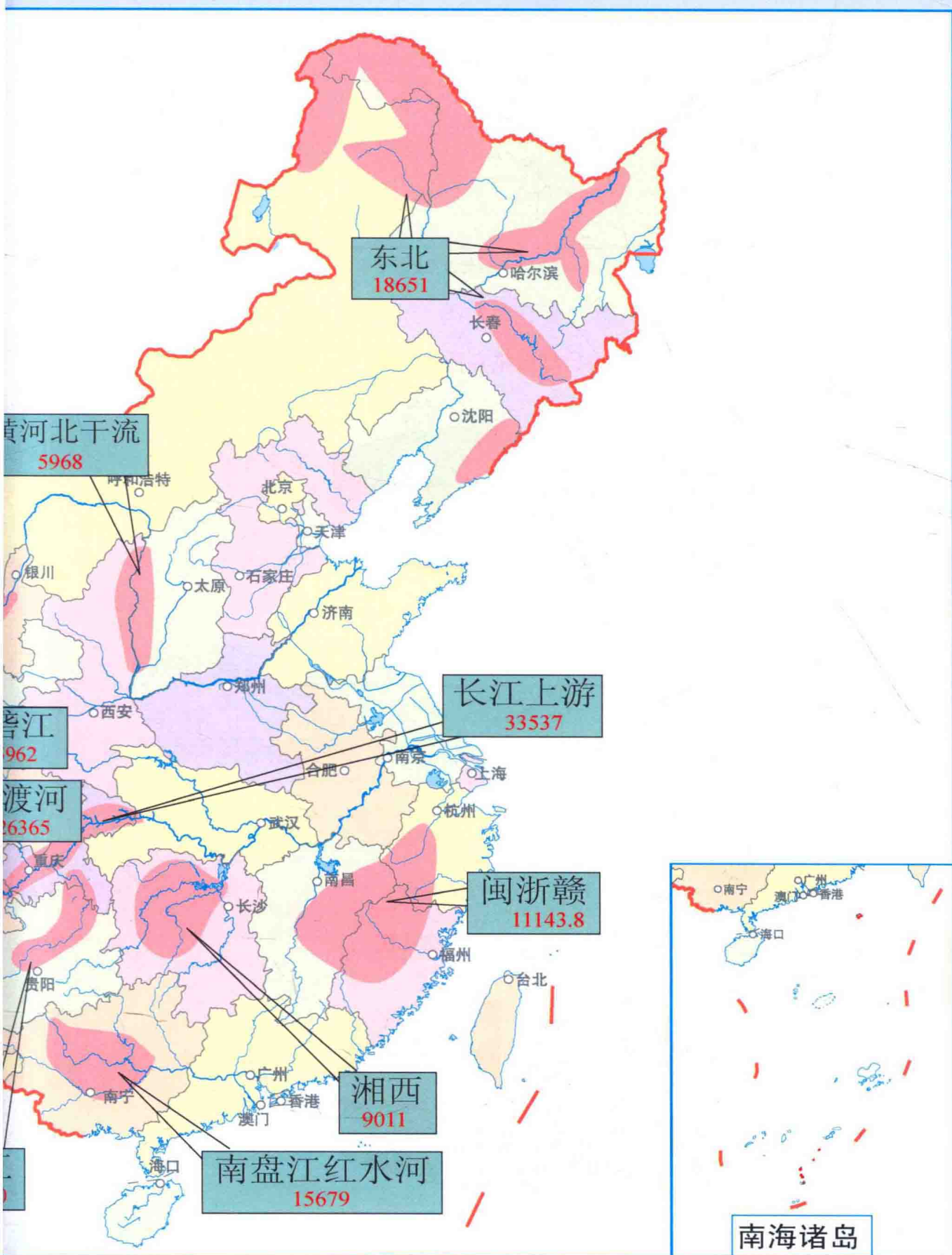


全国十四大水电基地分布图

总装机容量402209MW，年发电量17605亿kWh



装机容量(总规模)单位: MW



全国2011年装机容量

万 kW

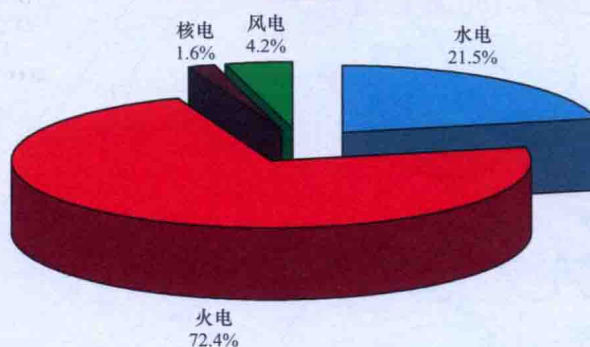
地 域 \ 项 目	总装机容量	水 电	火 电	核 电	风 电
中国大陆	106253	23298	76834	1257	4623
中国台湾	4140	464	3043	514	52
合 计	110393	23762	79877	1771	4675

注：1. 总装机容量数中还包括太阳能、潮汐、柴油等其他能源发电装机容量。

2. 风电装机容量为并网的容量。

3. 未含香港、澳门数据。

全国2011年装机容量结构图



全国2011年年发电量

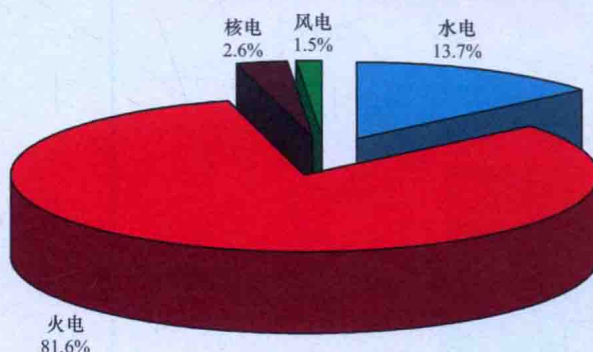
亿 kW · h

地 域 \ 项 目	总发电量	水 电	火 电	核 电	风 电
中国大陆	47306	6681	39003	872	741
中国台湾	2130	(79)	1334	400	(9)
合 计	49436	6760	40337	1272	750

注：1. 总发电量数据还包括其他能源发电量。

2. 未含香港、澳门数据。

全国2011年年发电量结构图



资料来源：中国大陆资料来源于中国电力企业联合会。中国台湾资料来源于《中国水力发电工程学会赴台水利水电抗震防灾学术交流考察报告》。



第一章 水力资源开发利用现状

第一节 水力资源概况

一、水力资源蕴藏量

2003 年水力资源复查成果表明，中国大陆水力资源理论蕴藏量在 1 万 kW 及以上的河流共 3886 条；水力资源理论蕴藏量年电量 60829 亿 kWh；技术可开发装机容量 54164 万 kW，年发电量 24740 亿 kWh；经济可开发装机容量 40179.5 万 kW，年发电量 17534 亿 kWh。中国水力资源居世界第一位。中国水力资源复查成果汇总表见表 1-1-1，水力资源可开发量按规模统计汇总见表 1-1-2。

表 1-1-1 中国水力资源复查成果汇总表

理论蕴藏量		技术可开发量		经济可开发量	
年电量 (亿 kWh)		装机容量 (万 kW)	年发电量 (亿 kWh)	装机容量 (万 kW)	年发电量 (亿 kWh)
60829		54164	24740	40179.5	17534

注 表中数据统计范围为理论蕴藏量 1 万 kW 及以上的河流和这些河流上单站装机容量 0.05 万 kW 及以上的水电站，不包含港澳台地区。

表 1-1-2 中国水力资源可开发量按规模统计汇总表

序 号	项 目		单 位	数 值
1	大型水电站 (30 万 kW 及以上)	技术可开发量	装机容量	万 kW
			年发电量	亿 kWh
		经济可开发量	装机容量	万 kW
			年发电量	亿 kWh
2	中型水电站 (5 万~30 万 kW)	技术可开发量	装机容量	万 kW
			年发电量	亿 kWh
		经济可开发量	装机容量	万 kW
			年发电量	亿 kWh
3	大中型水电站合计 (5 万 kW 及以上)	技术可开发量	装机容量	万 kW
			年发电量	亿 kWh
		经济可开发量	装机容量	万 kW
			年发电量	亿 kWh

注 表中数值统计范围为理论蕴藏量 1 万 kW 及以上的河流和这些河流上单站装机容量 0.05 万 kW 及以上的水电站，不含港澳台地区。

在 2003 年水力资源复查成果中，装机容量 0.05 万~5 万 kW（不含）的小水电技术可开发装机容量 6521 万 kW。2009 年水利部发布了中国农村水力资源调查评价成果，0.01 万~5 万 kW（含）的小水电技术可开发量 1.28 亿 kW，年发电量 5350 亿 kWh。根据水力资源复查成果，结合水利部发布的成果，中国 100kW 及以上的水电站技术可开发装机容量 6.0 亿 kW，年发电量 27100 亿 kWh。

二、水力资源分布特点

（一）大中型水电分布特点

1. 水力资源构成中大型水电站装机容量比重大

在中国技术可开发水电站中，装机容量 30 万 kW 及以上的大型水电站占很大比重。根据水力资源复查结果，在单站装机容量 500kW 及以上的 13314 座+国际界河 28 座水电站中，装机容量 30 万 kW 及以上的大型水电站仅 273 座+国际界河 10 座，但其技术可开发装机容量和年发电量占全国总量的比重均超过 70%，其中装机容量 100 万 kW 及以上的特大型水电站虽仅 116 座+国际界河电站 5 座，但装机容量达 31559 万 kW，年发电量达 14579.07 亿 kWh，其装机容量及年发电量占全国总量的比重均超过 50%。大型水电站绝大多数分布于西南地区。

2. 水力资源地区分布不均，需要“西电东送”

中国各地区的地形与降雨量差异较大，因而形成水力资源在地域分布上的不均衡。中国经济相对落后的西部 12 个省（自治区、直辖市）水力资源占全国总量的 80% 多，特别是西南地区云、贵、川、渝、藏 5 个省（自治区、直辖市）就占全国总量的 2/3；中部的 8 个省（自治区、直辖市）占 10% 多；而经济发达、用电负荷集中的东部 11 个省（自治区、直辖市）仅约占 5%。中国的经济是东部相对发达、西部相对落后，因此西部水力资源开发除了满足西部自身电力市场需求以外，还要实行“西电东送”输入东部市场。

3. 水力资源时间分布不均，需要建设水库进行调节

中国位于亚欧大陆的东南部，濒临世界上最大的海洋，使中国具有明显的季风气候特点，因此大多数河流年内、年际径流分布不均，丰、枯季节流量相差悬殊，需要建设调节性能好的水库，对径流进行调节。这样才能提高水电的总体供电质量，以更好地适应电力市场的需要。表 1-1-3 列出了中国部分主要河流和水电站坝址天然径流变化特性。

表 1-1-3 中国部分主要河流和水电站坝址天然径流变化特性

河 流	水电站	调节库容 (亿 m³)	多年平均 年径流量 (亿 m³)	丰枯比	丰 水 期		枯 水 期	
					径流量 (亿 m³)	所占比例 (%)	径流量 (亿 m³)	所占比例 (%)
金沙江	溪洛渡	104.36	1323	6.15	1138	86.0	185	14.0
雅砻江	两河口	65.5	211	4.02	169	80.1	42	19.9
大渡河	瀑布沟	38.82	388	3.97	310	79.9	78	20.1
澜沧江	糯扎渡	113.35	549	5.24	461	84.0	88	16.0
怒 江	马 吉	28.64	413	7.26	363	87.9	50	12.1

4. 水力资源集中分布在大江大河干流，便于实行集中开发

水力资源富集于金沙江、雅砻江、大渡河、澜沧江、乌江、长江上游、南盘江红水河、黄河上