

浙江

高受电比例下 浙江电网的供电安全

Power Supply Security in Zhejiang

Electric Grid with a High Proportion of Imported Electricity

◎ 徐 谦 主编



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

高受电比例下浙江电网的供电安全

徐 谦 主编



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

高受电比例下浙江电网的供电安全 / 徐谦主编.
—杭州: 浙江大学出版社, 2015.12
ISBN 978-7-308-15158-0

I. ①高… II. ①徐… III. ①电网—供电—电力安全
—浙江省 IV. ①F426.61

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第223854号

高受电比例下浙江电网的供电安全

徐 谦 主编

责任编辑 杜希武
责任校对 余梦洁 王文舟 丁佳雯
封面设计 刘依群
出版发行 浙江大学出版社
(杭州市天目山路148号 邮政编码310007)
(网址: <http://www.zjupress.com>)
排 版 杭州好友排版工作室
印 刷 杭州杭新印务有限公司
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 16.25
字 数 405千
版 次 2015年12月第1版 2015年12月第1次印刷
书 号 ISBN 978-7-308-15158-0
定 价 69.00元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换
浙江大学出版社发行部联系方式: (0571) 88925591; <http://zjxcbs.tmall.com>

编写组成员

主 编 徐 谦

副 主 编 辛焕海 刘卫东

参编人员 黄锦华 孙黎滢 戴 潘 兰 洲 王 蕾

张 媛 傅旭华 孙飞飞 杨升峰 范娟娟

乐程毅

前 言

本书是针对浙江电网供电安全的研究。

全书主要包括:浙江省电网及用电发展现状及预测;浙江省电力能源现状及新能源发展研究;浙江省外来电及其供电安全性研究;浙江省各级电网协调性研究;浙江省高可靠性配电网的研究;国内外供电安全性标准比较和配电网先进技术、市场研究;浙江省智能配电网的发展研究等。在浙江省一次能源奇缺和交直流混联,多馈入高比例受电的情况下,本书介绍了如何通过优化能源结构、分析确定受电能力及安全性判据、增强各级电网协调性、采用高可靠性配电网模型和发展智能配电网等等方面,提高浙江电网供电的安全可靠性。

随着电力体制改革的不断深入,电网的安全性和供电的可靠性显得越来越重要,本书的研究成果可以借鉴。

由于编者的水平有限,书中不妥和错误之处在所难免,恳切希望读者给予批评指正。

编 者
2015 年 12 月于杭州

目 录

第一章 浙江省电网及用电发展情况..... 1

 第一节 浙江电网发展现状..... 1

 一、浙江省国民经济及电网发展概况 1

 二、浙江电网分析及规划 8

 第二节 浙江省用电情况 19

 一、全社会用电量及负荷增长情况 19

 二、受电量情况 21

 三、用电结构分析 23

 四、用电负荷及特性分析 24

 第三节 浙江电网用电预测 26

 一、电量及负荷预测 26

 二、负荷特性预测 36

第二章 浙江省电力能源研究 38

 第一节 浙江省能源发展现状和特点 38

 一、国内外能源发展趋势 38

 二、浙江省能源发展现状和特点 42

 三、浙江省能源发展要求 48

 第二节 浙江省电力能源情况及发展展望 50

 一、浙江省电力能源情况 50

 二、浙江省规划期电力能源结构 52

 三、浙江省新能源发展及目标 57

 第三节 适应新能源发展的电网研究 60

 一、新能源接入的影响及对策 60

 二、适应风电接入的电网研究 65

 三、适应光伏发展的电网研究 80

第三章 浙江省外来电情况及安全性 93

 第一节 浙江省供用电形势分析 93

 一、浙江经济发展概况 93

 二、浙江省用电需求及供电形势变化 93

三、浙江省内电源发电概况	95
四、全口径电力平衡分析	99
五、全口径电量平衡分析	102
第二节 浙江省外来电电源情况	104
第三节 浙江电网与省外联络线受电及能力分析	105
一、热稳定限额分析	105
二、暂态稳定校验	106
第四节 交直流混联多馈入直流受端电网安全性分析	109
一、直流系统受端电网静态电压稳定分析方法	109
二、单、多馈入直流系统短路比理论	110
三、浙江电网多馈入有效短路比分析	117
四、多馈入有效短路比适用性算例分析	117
五、小结	124
第五节 浙江电网调峰能力分析	125
一、调峰平衡计算原则	125
二、夏季高峰负荷日调峰能力分析	125
三、平均高峰负荷日调峰能力分析	126
四、平均汛期高峰负荷日调峰能力分析	126
五、省外受电比例的调峰约束分析	126
第四章 浙江电网各级电网协调性	129
第一节 国内外电网接线形式研究	129
一、国外电网典型接线形式研究	129
二、国内电网主网架结构分析	137
三、国内外电网的差异性分析	144
第二节 各级电网通用设计与典型网架	147
一、500 千伏	148
二、220 千伏	157
三、110 千伏	159
第三节 各级电网典型网架协调配合	162
一、边界条件	162
二、10 千伏配电网与 110 千伏电网的协调配合	163
三、110 千伏与 220 千伏电网的协调配合	164
四、220 千伏与 500 千伏电网的协调配合	165
第四节 各级电网协调性评估模型	166
一、电网综合协调性评价指标	166
二、电网综合协调性评价方法	169
三、综合评价步骤	174

第五章 浙江配电网供电可靠性和未来发展趋势·····	176
第一节 浙江省配电网供电可靠性及城乡差异分析·····	176
一、浙江电网供电可靠性水平及国际比较·····	176
二、浙江城乡电网发展水平差异分析·····	180
第二节 高可靠性配电网接线模型研究·····	182
一、国内外配电网典型接线·····	182
二、浙江高可靠性配电网接线模型研究·····	193
第三节 国际国内供电安全性与供电可靠性标准·····	201
一、供电可靠性及其评价指标·····	202
二、供电安全性及其评价指标·····	204
第四节 国内外配电网先进技术和配售电市场放开情况·····	220
一、国外先进配电网技术·····	220
二、国内外配售电市场放开情况·····	224
第五节 浙江省智能配电网建设概况·····	231
一、智能配电网概述·····	231
二、智能配电网建设的相关技术研究·····	235
三、浙江省智能配电网的发展基础及目标·····	238
四、浙江智能配电网的建设模式·····	241
参考文献·····	245
关键词索引·····	250

第一章 浙江省电网及用电发展情况

第一节 浙江电网发展现状

一、浙江省国民经济及电网发展概况

(一) 浙江省经济发展概况

浙江省地处中国东南沿海长江三角洲南翼,东临东海,南接福建,西与江西、安徽相连,北与上海、江苏接壤。浙江省东西和南北的直线距离均为 450 公里左右。据全国第二次土地调查结果,浙江陆域面积 10.18 万平方公里,为全国的 1.06%,是中国面积最小的省份之一^[1]。2014 年年底,全省常住人口 5508 万人,城镇化率为 64.87%^[2]。

浙江是中国经济最活跃的省份之一,在充分发挥国有经济主导作用的前提下,以民营经济的发展带动经济的起飞,形成了具有鲜明特色的“浙江经济”,至 2014 年人均居民可支配收入连续 22 年位居全国第一。全省产业结构以轻型工业为主,区域特色经济发达,轻纺、机械、电子、食品、皮革、纺织、工艺品、服装等行业在国内甚至国外市场有较强的竞争优势。浙江有“市场大省”之称,商品市场成交额已连年居全国榜首。义乌中国小商品城、绍兴中国轻纺城是全国经营规模最大的专业市场。浙江人还在境内外兴办了一批“浙江商城”、“温州街”和其他市场。浙江电子商务市场规模快速扩大,应用程度不断普及,经营业态日益丰富,产业化程度不断提高,已经成为浙江经济的重要增长点。诞生了阿里巴巴等国内外知名电商企业。依托浙江的块状经济优势,一批专业电子商务平台处于全国同行业领先地位。

浙江省下辖杭州、宁波、温州、绍兴、湖州、嘉兴、金华、衢州、舟山、台州、丽水 11 个城市,其中杭州、宁波为副省级城市;下分 90 个县级行政区,包括 35 个市辖区、20 个县级市、34 个县、1 个自治县^[3]。

1. 地形

浙江山地和丘陵占 70.4%,平原和盆地占 23.2%,河流和湖泊占 6.4%,耕地面积仅 208.17 万公顷,故有“七山一水二分田”之说。地势由西南向东北倾斜,大致可分为浙北平原、浙西丘陵、浙东丘陵、中部金衢盆地、浙南山地、东南沿海平原及滨海岛屿等六个地形区。

2. 气候

浙江属亚热带季风气候,季风显著,四季分明,年气温适中,光照较多,雨量丰沛,空气湿润,雨热季节变化同步,气候资源配置多样,气象灾害繁多。年平均气温 15~18℃,1 月、7 月分别为全年气温最低和最高的月份,5 月、6 月为集中降雨期。极端最高气温 44.1℃,极端最低气温 -17.4℃;浙江省年平均雨量在 980~2000 毫米,年平均日照时数 1710~2100

小时。

春季,东亚季风处于冬季风向夏季风转换的交替季节,南北气流交会频繁,低气压和锋面活动加剧。浙江春季气候特点为阴冷多雨,沿海和近海时常出现大风,浙江省雨水增多,天气晴雨不定,正所谓“春天孩儿脸,一日变三变”。浙江春季平均气温 $13\sim 18^{\circ}\text{C}$,气温分布特点为由内陆地区向沿海及海岛地区递减;降水量 $320\sim 700$ 毫米,降水量分布为由西南地区向东北沿海地区逐步递减;春季雨日 $41\sim 62$ 天。春季主要气象灾害有暴雨、倒春寒等^[4]。

夏季,随着夏季风环流系统建立,浙江境内盛行东南风,西北太平洋上的副热带高压活动对浙江天气有重要影响,而北方南下冷空气对浙江天气仍有一定影响。浙江省夏季各地雨日为 $32\sim 55$ 天。夏季主要气象灾害有台风、暴雨、旱涝等^[5]。

秋季,夏季风逐步减弱,并向冬季风过渡,气旋活动频繁,锋面降水较多,气温冷暖变化较大。浙江省秋季平均气温 $16\sim 21^{\circ}\text{C}$,东南沿海和中部地区气温度偏高,西北山区气温偏低;降水量 $210\sim 430$ 毫米,中部和南部的沿海山区降水量较多,东北部地区虽降水量略偏少,但其年际变化较大;浙江省秋季各地雨日 $28\sim 42$ 天^[6]。

冬季,东亚冬季风的强弱主要取决于蒙古冷高压的活动情况,浙江天气受制于北方冷气团(即冬季风)的影响,天气过程种类相对较少。冬季气候特点是晴冷少雨、空气干燥。冬季平均气温 $3\sim 9^{\circ}\text{C}$,气温分布特点为由南向北递减,由东向西递减;各地降水量 $140\sim 250$ 毫米,除东北部海岛偏少明显外,其余各地差异不大;浙江省冬季各地雨日为 $28\sim 41$ 天。冬季主要气象灾害有寒潮、大雪等^[7]。

3. 水资源

浙江境内有西湖、东钱湖等容积 100 万立方米以上湖泊 30 余个,海岸线(包括海岛)长 6400 余公里。自北向南有苕溪、京杭运河(浙江段)、钱塘江、甬江、灵江、瓯江、飞云江和鳌江等八大水系,钱塘江为第一大河,上述 8 条主要河流除苕溪、京杭运河外,其余均独流入海^[8]。

浙江地处亚热带季风气候区,降水充沛,年均降水量为 1600 毫米左右,是中国降水较丰富的地区之一。浙江省多年平均水资源总量为 937 亿立方米,但由于人口密度高,人均水资源占有量只有 2008 立方米,最少的舟山等海岛人均水资源占有量仅为 600 立方米^[9]。

4. 海洋资源

浙江省海洋资源十分丰富,海域面积 26 万平方公里,大陆海岸线和海岛岸线长达约 6500 公里,占中国海岸线总长的 20.3%。拥有 3061 个面积大于 500 平方米的海岛,其陆域面积有 1940.4 万公顷,其中面积 495.4 平方公里的舟山岛(舟山群岛主岛)为中国第四大岛。港口、渔业、旅游、油气、滩涂五大主要资源得天独厚,组合优势显著。可建万吨级以上泊位的深水岸线 290.4 公里,占中国的 1/3 以上,10 万吨级以上泊位的深水岸线 105.8 公里。截至 2013 年,有港口 58 个,泊位 650 个,年吞吐量 2.5 亿吨。海岸滩涂资源有 26.68 万公顷,居中国第三。东海大陆架盆地有着良好的石油和天然气开发前景。舟山是浙江唯一的海岛市,是国家重点开发区域之一^[9]。图 1-1 为浙江宁波港码头。

5. 土地资源

根据浙江省第二次土地调查的结果,至 2009 年 12 月 31 日(标准时点),全省耕地 2980.03 万亩,占 18.83%;园地 943.52 万亩,占 5.96%;林地 8530.94 万亩,占 53.91%;草地 155.76 万亩,占 0.97%;城镇村及工矿用地 1333.49 万亩,占 8.43%;交通运输用地



图 1-1 浙江宁波港码头

319.07万亩,占 2.02%;水域及水利设施用地 1289.53 万亩,占 8.15%;其他土地 273.53 万亩,占 1.73%^[1]。

6. 矿产资源

浙江省矿产种类繁多,有铁、铜、铅、锌、金、钼、铝、锑、钨、锰等金属矿产,以及明矾石、萤石、叶蜡石、石灰石、煤、大理石、膨润土、磷石等非金属矿产。明矾石矿储量居世界第一(60%),萤石矿储量居中国第二^[8]。省域成煤地质条件差,煤炭资源贫乏;陆域尚无发现油气资源,但海域油气前景看好^[10]。

7. 二次能源

电力生产:浙江省电力总装机容量为 7412.45 万千瓦,总发电量为 2913 亿千瓦时,其中 6000 千瓦及以上发电机组发电量为 2852.7 亿千瓦时。

热电联产:地方热电联产企业年发电量至少为 172 亿千瓦时,年集中供热量至少为 3.2 亿吉焦^[11]。

8. 可再生能源

风能利用:浙江省已建成投产风力发电总装机容量为 73 万千瓦。风力发电量为 12.8 亿千瓦时。图 1-2 为浙江临海括苍山风力发电站。

太阳能利用:浙江省已建成投产的光伏利用示范项目装机容量为 59 万千瓦,累计推广太阳能热水器 920 万平方米。

垃圾焚烧发电:浙江省已建成投产的垃圾焚烧发电机组装机容量为 79.6 万千瓦,年发电量为 48.8 亿千瓦时。

生物质能:浙江省生物质能的技术可开发量约为 700 万吨标煤/年。其中,按目前全省农作物年产量计算,秸秆量约为 700 万吨(折标煤约为 350 万吨);林业废弃物约为 500 万吨(折标煤约为 250 万吨);人畜粪便约为 580 万吨,可开发沼气 14.5 亿立方米,折合标煤 103.4 万吨。



图 1-2 浙江临海括苍山风力发电站

9. 经济

“十一五”时期,浙江经济呈现快速增长态势。2005 年,全省生产总值为 13365 亿元,比上年增长 12.8%。其中:第一产业、第二产业和第三产业增加值分别为 873 亿元、7147 亿元和 5345 亿元,人均生产总值为 27552 元,比上年增长 13.8%。2006—2007 年 GDP 增长率分别达到 13.9%、14.7%,而 2008—2009 年,受国际金融危机影响,增速下降较明显,分别为 10.1%、8.9%,2010 年又快速回升至 11.9%。至 2010 年,全省实现生产总值 27227 亿元,比上年增长 11.9%。其中:第一产业、第二产业和第三产业增加值分别为 1361 亿元、14121 亿元和 11745 亿元,人均生产总值为 52059 元。“十一五”年平均增速达到 11.9%,人均生产总值达到 52059 元,全社会固定资产投资和社会消费品零售总额均突破万亿元,分别达到 12488 亿元和 10163 亿元,年均增长率 13.3% 和 16.9%,基础设施明显改善,消费对经济的拉动作用不断增强,进出口总额达到 2535 亿美元,其中出口达到 1805 亿美元,年均分别增长 18.7% 和 18.6%。浙江省国民经济发展概况如表 1-1 所示。

表 1-1 浙江省国民经济发展概况

年份 项目	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
行政面积 (万平方公里)	10.18	10.18	10.18	10.18	10.18	10.18	10.18	10.18	10.18	10.18
常住人口(万人)	4991	5072	5155	5212	5276	5447	5463	5477	5498	5508
GDP(亿元)	13365	15649	18638	21487	22832	27227	32000	34606	37568	40154
其中:第一产业	873	923	1025	1095	1162	1361	1581	1670	1785	1779
第二产业	7147	8438	10092	11580	11843	14121	16404	17312	18447	19153
第三产业	5345	6288	7521	8811	9827	11745	14015	15624	17337	19222
人均 GDP(元/人)	27552	31684	37128	42214	44335	52059	58665	63266	68462	72967

注:1. 取自政府统计年鉴,填写 2005 年可比价。

2. 人均 GDP=GDP/常住人口。

“十二五”以来,浙江省加快转变经济发展方式,加速推进经济结构战略性调整,全省经济保持平稳增长,2012 年浙江人均 GDP 突破 10000 美元,达到 10340.454 美元,超出中国人均 GDP 6100 美元,并且所辖 11 个地级市的人均 GDP 均高于中国平均水平,发展十分均衡,发达程度高,达到中上等发达国家水平。2014 年,全省生产总值(GDP)40154 亿元,比上年增长 7.6%。其中:第一产业增加值 1779 亿元,第二产业增加值 19153 亿元,第三产业增加值 19222 亿元,人均 GDP 为 72967 元(按年平均汇率折算为 11878 美元)。三次产业增加值结构由上年的 4.7 : 47.8 : 47.5 调整为 4.4 : 47.7 : 47.9。第三产业比重首次超过第二产业^[2]。进出口总额 3551.5 亿美元,比上年增长 5.8%。其中:进口 817.9 亿美元,下降 6.0%;出口 2733.5 亿美元,增长 9.9%。月均出口 228 亿美元,其中 7 月份出口 266 亿美元,创历史新高。历年浙江省生产总值与增速情况如图 1-3 所示。

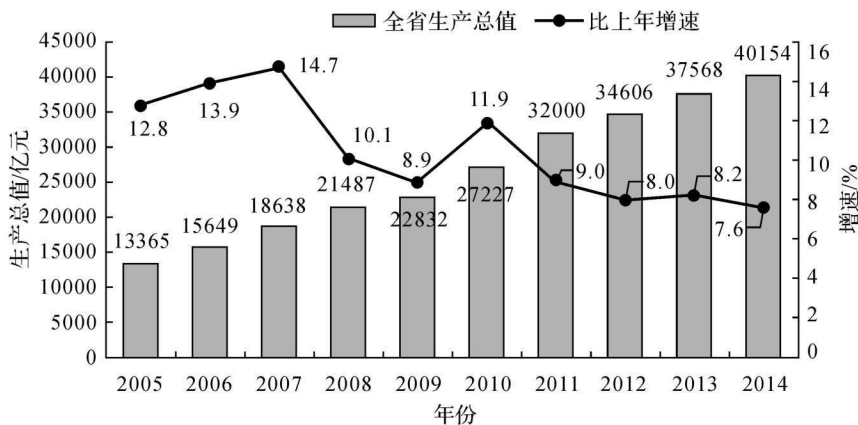


图 1-3 历年浙江省生产总值与增速情况

从国内比较来看,2014 年浙江省 GDP 位列全国第四位。从我省与全国人均 GDP 对比情况来看,自 1978 年浙江省有统计数据以来,浙江省人均 GDP 一直高于全国平均水平,并且与全国人均 GDP 绝对差值呈现逐年增加的态势。2014 年,中国人均 GDP 为 7485 美元,而同年浙江人均 GDP 已接近 1.2 万美元。这说明浙江省经济社会整体发展水平在全国处于领先地位。

从国际比较来看,2013 年浙江省的发展水平(2013 年人均 GDP 为 11075 美元)处于美国 1978—1979 年的水平(1978 年美国人均 GDP 为 10587 美元,1979 年为 11695 美元)。

由于韩国在 1998 年受亚洲经济危机的影响,人均 GDP 在当年大幅度下降,而我国经济并未受到影响,因此我省 2013 年人均 GDP 与韩国有三个交点,分别位于为 1993—1994 年,1996—1997 年和 1999—2000 年期间。中国与美国国内生产总值比较如图 1-4 所示;1960—2013 年浙江省、中国、韩国、美国历年人均 GDP 如图 1-5 所示。

(二) 浙江省电网现状

浙江电网是华东电网的重要组成部分,也是全国特高压网络的组成部分。全省通过皖南—浙北 2 回、浙北—沪西 2 回及浙南—福州 2 回共 6 回 1000 千伏特高压交流线路分别与安徽、上海和福建相连;全省通过汾湖—上海 2 回、瓶窑—江苏 2 回、瓶窑—安徽 1 回、富

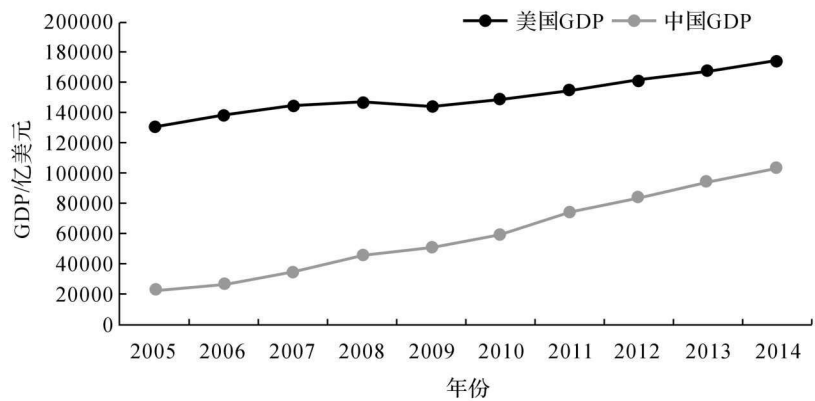


图 1-4 中国与美国国内生产总值比较

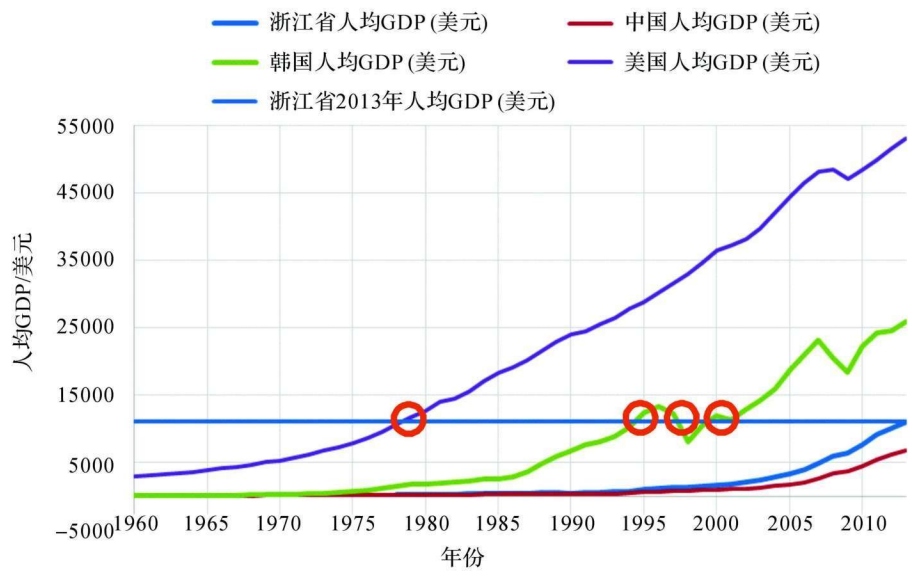


图 1-5 1960—2013 年浙江省、中国、韩国、美国历年人均 GDP

注：数据来源：中国、韩国、美国国家数据来自世界银行 World Development Indicators Database；浙江省数据来自历年《浙江统计年鉴》

阳—安徽 2 回及双龙—福建 2 回共 9 回 500 千伏超高压线路，分别与上海市、江苏省、安徽省及福建省电网相连。溪洛渡左岸—浙江金华±800 千伏特高压直流输电工程将长江下游的水电直接送入浙江电网。浙江电网包括杭州、嘉兴、湖州、绍兴、宁波、金华、衢州、丽水、台州、温州和舟山电网，以钱塘江为自然分割，形成南北电网，其间通过 4 回 500 千伏过江线路相连。浙江电网的交流电压等级包括 1000 千伏、500 千伏、220 千伏、110 千伏、35 千伏、20 千伏、10 千伏及 0.4 千伏。直流电压等级包括±800 千伏、±500 千伏过境及±200 千伏柔性直流。目前，浙江电网以特高压交直流混联为特点、以 500 千伏电网为核心的坚强主网架已基本形成，220 千伏电网正逐步实现分层分区，110 千伏及以下电网已完全实现分层分区

运行^[12]。

至 2014 年底,浙江电网拥有 1000 千伏变电站 3 座,变电容量 1800 万千伏安,线路总长度 1186 公里;±800 千伏换流站 1 座,换流容量 800 万千伏安,线路(含过境)总长度 416 公里;500 千伏变电站 36 座,变电容量 7665 万千伏安,线路总长度 7328 公里,±500 千伏过境输电线路总长度 472 公里;220 千伏公用变电站 280 座,变电容量 11292 万千伏安,线路总长度 15193 公里;110 千伏公用变电站 1158 座,变电容量 10900 万千伏安,110 千伏输电线路总回路长度 20508 公里。

2014 年浙江省电网规模统计表见表 1-2。

表 1-2 2014 年浙江省电网规模统计表

电压等级	变电站座数 (座)	主变台数 (组)	变电容量 (万千伏安)	线路条数 (条)	线路长度 (公里)
1000 千伏电网	3	—	1800	—	1186
500 千伏电网	36	89	7665	140	7328
220 千伏电网	280	611	11292	849	15193
110 千伏电网	1158	2336	10900	2074	20508
35 千伏电网	593	1105	1316	1395	12797
10(20)千伏电网	—	249024	9373	21729	209216
±800 千伏	1	—	800	—	416
±500 千伏	—	—	—	—	472

2014 年底,浙江省电源装机共 7412 万千瓦,其中:常规水电 687 万千瓦,占 9%;抽水蓄能 308 万千瓦,占 4%;核电 548 万千瓦,占 7%;煤电 4271 万千瓦,占 58%;气电 1054 万千瓦,占 14%;风电 73 万千瓦,占 1%,光伏发电 50 万千瓦,占 1%,其他电源 421 万千瓦;占 6%。浙江省境内电源装机构成如图 1-6 所示。

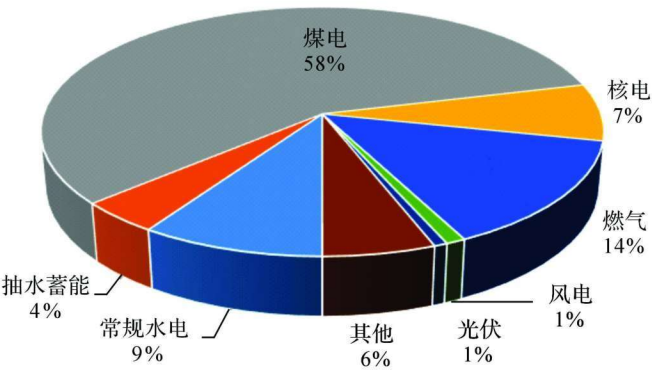


图 1-6 浙江省境内电源装机构成

2014 年浙江 500 千伏及以上电网接线详见图 1-7。

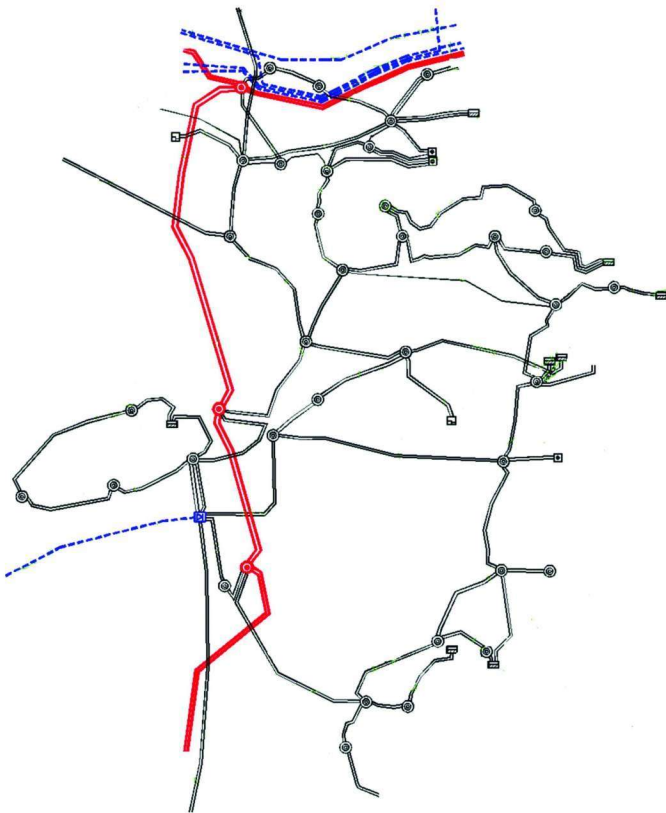


图 1-7 2014 年浙江 500 千伏及以上电网接线示意图

二、浙江电网分析及规划

(一) 电网发展速度与规模分析

1. 电网发展与社会发展的协调性

2006—2014 年,浙江省经济增长方式转变和结构调整取得新进展,国民经济保持持续快速增长态势,GDP 年均增长率达 10.3%。随之,我省电力电量需求迅猛增长,全社会最大负荷年均增长率达 10.4%、用电量年均增长率达 8.8%。浙江电网发展速度协调性指标如表 1-3 所示。

表 1-3 浙江电网发展速度协调性指标									单位: %
年份 指标名称	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
GDP 年增长率	13.9	14.7	10.1	8.9	11.9	9.0	8.0	8.2	7.6
全社会用电量年增长率	15.7	14.6	5.9	6.4	14.2	10.5	3.0	7.5	1.5
最高用电负荷年增长率	16.1	16.9	11.6	6.5	11.2	16.9	2.6	6.1	5.7
220 千伏及以上变电容量年增长率	20.0	18.1	19.9	23.1	10.8	6.3	5.2	5.6	8.3
110 千伏及以下变电容量年增长率	14.7	15.8	19.2	8.0	10.3	13.9	10.7	6.7	9.9

为满足经济社会发展需要,以及各类电源的电力送出需求,2006—2014 年期间,浙江电网 220 千伏及以上变电容量增长率为 13%;110 千伏及以下公用变电容量增长率为12.1%。图 1-7 为 2014 年浙江 500 千伏及以上电网接线示意图。

2. 电网发展规模协调性

(1) 变电容载比

变电容载比整体上反映某一区域电网变电容量对于负荷的供电能力,其定义为区域内某一时刻投入的变电总容量与对应的负荷的比值。合理的容载比与恰当的网架结构相结合,对于故障时负荷的有序转移,保障供电可靠性,以及适应负荷的增长需求都是至关重要的。计算容载比的公式如下:

$$R_s = \frac{\sum S_{ei}}{P_{max}} \tag{1-1}$$

式中:Rs——容载比,千伏安/千瓦;

Pmax——该电压等级最大负荷日最大负荷,万千瓦;

∑ Sei——该电压等级年最大负荷日投入运行的变电站的总容量,万千伏安。

2006—2014 年,我省用电负荷年均增长达到 10.4%,属中等增长水平。Q/GDW 156-2006《城市电力网规划设计导则》中规定各电压等级城网容载比的选择范围如表 1-4 所示。

表 1-4 各电压等级城网容载比选择范围

城网负荷增长情况	较慢增长	中等增长	较快增长
年负荷平均增长率(建议值)	小于 7%	7%~12%	大于 12%
500 千伏及以上	1.5~1.8	1.6~1.9	1.7~2.0
220~330 千伏	1.6~1.9	1.7~2.0	1.8~2.1
35~110 千伏	1.8~2.0	1.9~2.1	2.0~2.2

2014 年,全省 500 千伏电网的容载比为 1.80,220 千伏电网的容载比为 1.88,110 千伏电网的容载比为 1.99,处于《城市电力网规划设计导则》所规定的中等水平,因此,主变容量的配置相对是合理的。2014 年全省 500-35 千伏电网变电容载比如表 1-5 所示。

表 1-5 2014 年全省 500-35 千伏电网变电容载比

电压等级	500 千伏	220 千伏	110 千伏	35 千伏
容载比	1.80	1.88	1.99	1.88

(2) 线路容载比

线路容载比反映电网线路的整体输电能力裕度,其定义为考虑线路长度作为权重系数,线路经济输送功率与系统最高负荷条件下线路输送潮流的比值,计算公式如下:

$$\text{线路容载比} = \frac{\sum (\text{线路经济输送功率} \times \text{线路长度})}{\sum (\text{系统负荷时的线路潮流} \times \text{线路长度})}$$

根据系统最大负荷日各输电线路潮流分布情况,经计算,2014 年浙江省 500、220 千伏电压等级线路容载比分别为 2.38、2.29,各级电网建设能满足当前负荷供电需要,电网输电线路供电能力具有一定裕度。2014 年浙江省 500、220 千伏线路容载比见表 1-6。