

广东省发展和改革委员会课题

广东省“十三五”新能源产业 发展规划研究

（完全本）

广东省能源局
广东省产业发展研究院
课题组

2016年12月16日

课题组构成

课题负责人：刘文彬、张祖林

课题执行组长：冯 杰

课题副组长：王明炎

课题组成员：肖广江、吴昌泽、刘 序、吴 丹、郭慧、樊俊
林、杜豆、吴欣欣、栗子蔚、郑晓虹、奚俊忠、
刘思宇

课题指导：郑良辉、刘文胜、禰文湛

目 录

前 言	1
第一章 国内外新能源发展动态综述	3
一、国际动态	3
二、国内动态	21
第二章 广东新能源发展基础分析	42
一、资源条件与开发利用	42
二、装备制造产业发展	62
三、存在的主要矛盾与问题	66
四、面临的挑战	70
第三章 广东新能源产业发展前景	73
一、市场需求前景广阔	73
二、政策扶持力度加大	74
三、工艺技术日趋成熟	76
四、成本渐具竞争力	76
五、分析小结	90
第四章 广东新能源产业“十三五”发展思路	91
一、总体方向	91
二、发展目标	92
三、发展路线	97
第五章 发展的主要任务和重点领域	105

一、创新驱动，提升核心竞争力	105
二、因地制宜，合理有序开发资源	108
三、基地支撑，推动产业优化发展	113
四、产业强链，推进装备制造业发展	117
五、协同发展，构建全省智能电网	118
六、开放发展，强化新能源国际合作	119
第六章 保障发展的政策措施探讨	121
一、加大财政金融政策支持	121
二、推动产业商业模式创新	122
三、科学规划新能源发展用地	123
四、加强人才培养技术引进	124
五、提升新能源综合服务水平	124
参考文献	126

前 言

新能源是指利用新技术或新材料获得的能源，是相对于传统化石能源的一个概念。狭义的新能源是指风能、太阳能、生物质能、地热能、氢能以及海洋能等具有清洁和可再生特性的能源；广义的新能源是指除传统化石能源以外的所有以新技术或新材料获得的能源，除狭义所包含的新能源外，还包括水能和核能，以及最近美国以新技术获得的页岩油气能源等。

由于成本、技术和资源开发等种种原因，目前世界能源消费仍以油、气、煤为代表的传统化石能源为主。2014 年，在全球能源消费总量中，化石能源占了 78.3%，其中石油消费达到 40 多亿吨，天然气消费达到 3 万多亿立方米，煤炭消费达 30 多亿吨标准油。对传统化石能源的严重依赖，使得全球能源供应系统和生态系统的承载压力日益加重。化石能源不仅是不可再生的资源，更重要的是其应用给生态环境带来了严重损害，近 10 多年来大气灰霾愈益加重、极端性气候进一步增加、一些生物物种加快灭绝，无不与化石能源的广泛使用有关。

发展新能源的重要意义，不仅在于找到日益枯竭的化石能源的替代物，更重要的还在于对生态环境的挽救和保护。

目前我国实现规模化商业应用的新能源（狭义）主要有

风能、太阳能和生物质能，而地热能、氢能、海洋能、页岩能等尚处于有待推广或技术研发阶段。本报告研究涉及的新能源，主要为风能、太阳能、生物质能、地热能和氢能等在我国具有较为广阔应用前景的能源。

本研究在全面回顾和总结近年来广东省新能源产业发展所取得成就和经验基础上，围绕资源利用、装备制造和配套服务等产业链环节，剖析存在的问题与发展瓶颈，把握当前与未来一段时期广东面临的新能源发展形势与挑战，结合广东省“十三五”时期经济社会发展战略要求，对“十三五”时期广东新能源产业发展的若干重大问题进行研判，提出“十三五”期间新能源产业发展方向思路、主要任务和重点领域，为广东省“十三五”新能源产业发展规划编制提供参考和依据。

第一章 国内外新能源发展动态综述

一、国际动态

从世界经济发展史上看，化石能源的利用，带来了人类发展史上的工业文明，创造了世界经济发展的奇迹。但随着人们对能源消费需求的不断膨胀，人类近百年来赖以生存的化石能源，终将面临资源枯竭。而传统化石能源的广泛使用带来的全球气候变化，使得全球平均气温升高控制在 2 摄氏度的目标仍难以执行。2013 年，二氧化碳在大气中的浓度水平在近几十万年内首次超过 400ppm。未来全球气温较工业化之前的升幅将更有可能在 3.6 至 5.6 摄氏度之间（国际能源署，2013）。全球气温不断攀升，使人类面临更加密集频发的暴风雨、洪水和热浪等极端气候事件，一些地方的空气污染也达到令人窒息的程度。

面对资源殆尽及气候环境的日益恶化，加快全球能源转型，已成国际社会的共同使命。化石能源清洁低碳发展、可再生能源协同创新发展、电力系统转型、交通能源转型、建筑能源转型、能源互联网、区域能源转型与分布式能源发展等领域将是未来能源转型升级和创新发展的方向。

目前，世界各主要经济体纷纷出台政策措施，加大对新能源产业的投入，并在一些重大领域取得突破，世界新能源产业已进入规模化快速发展阶段，在新增能源供应中所占比重不断提高，逐步由补充能源提升为主要替代能源。据 21

世纪可再生能源网络公司数据，2005 年至 2015 年，全球的风能、光伏太阳能发电装机容量的年均增长率分别为 22%和 46%。一些欧洲国家的新能源发电量占总发电量的比重显著提高。较为成熟的水电和陆上风电，在特定区域的发电成本趋平甚至低于传统能源发电成本。国际能源署预测，到 2040 年，低碳能源（包括风能、太阳能、生物质能、地热能和海洋能等）将在世界能源供应结构中石油、天然气和煤炭平分秋色。

国际可再生能源署发布的《全球可再生能源路线图 2030》报告显示：自 2011 年以来，全球可再生能源增速保持在 50%以上，中国正在成为引领者——目前中国的风电和水电新增装机均占全球一半以上，太阳能新增容量占到世界的三分之一；到 2030 年全球将实现能源结构中可再生能源占比 36%的目标，并指出再经过 5 到 10 年，风电、太阳能发电将达到平价上网，在考虑化石能源环境成本的公平市场条件下实现可再生能源与化石能源同等经济竞争力。

（一）国际新能源政策体系

新能源政策体系以德国和美国为两种典型。德国以固定电价和新能源发电成本分摊制度为新能源政策体系核心。类似国家包括：丹麦、意大利。丹麦固定补贴但不固定价格，发挥电力交易市场功能。意大利光伏发电项目实施固定电价，非光伏发电项目政策灵活处理。美国则以可再生能源税

收抵免政策、可再生能源电力配额制和证书交易制度为政策重点。类似国家是：英国。英国一直致力于通过市场配额机制推动可再生能源发展。但由于政策机制设计复杂、不确定性较大等问题，政策对提升新能源投资效果不大。近几年，英国电力市场改革的重点之一是逐步向差价合约固定电价政策过渡。

——德国

德国《可再生能源法》提出了可再生能源开发利用目标，即到 2020 年，35%以上的电力消费必须来自可再生能源；到 2030 年，50%以上的电力消费必须来自可再生能源；到 2050 年，80%以上的电力消费必须来自可再生能源。风能是德国可再生能源的最重要组成部分。德国 2013 年新修订的可再生能源目标中规定，海上风电装机容量到 2020 年达到 650 万千瓦，到 2030 年达到 1500 万千瓦。

德国在 2000 年颁布并于 2012 年修订的《可再生能源法》中，确立了以固定电价和新能源发电成本分摊制度为核心的新能源政策。

固定电价政策是指政府直接明确规定各类可再生能源电力的市场价格，使可再生能源生产商获得高于传统能源生产的利润，以促进可再生能源的生产，同时，适时调整电价水平以避免过度增加社会成本。固定电价动态变化体现为：电价水平逐年降低，且随新增装机容量调整。德国固定电价政

策实施后，其可再生能源特别是风电得到迅速发展。2012 年 6 月德国最新修订版的固定电价水平分别是：陆上风电前 5 年为 9.2 欧分/度电，之后为 5.02 欧分/度电；海上风电前 12 年 13 欧分/度电，之后为 3.5 欧分/度电；光伏发电地面电站 11 欧分/度电，屋顶系统 16.5~19.5 欧分/度电；生物质发电 7.8~11.7 欧分/度电。

德国在固定资产投资补贴方面也给予可再生能源大力支持。德国每年年初修订《能源投资补贴清单》，用于说明每年可获得补贴的投资项目清单及其补贴金额。比如，风电企业可向地方政府申请总投资 20%~45%的投资补贴；规模在 5 千瓦到 500 千瓦之间的光热制冷、工业废水供热、热电联产和分布式供热企业可获得总投资 25%的补贴。

德国对新能源发展还实施了信贷扶持方面的金融政策。“德国复兴信贷银行（KfW）”作为政策性银行，对光伏产品、生物质能、沼气、风电、水电、地热等提供优惠贷款，主要包括其子公司“德国开发银行”的三个计划：“太阳能发电计划”、“企业资源计划系统环境和节能项目”和“环境规划”。这些计划对投资者提供高额贷款和优惠贷款利率，德国政策银行还为销售额低于 5 亿马克的中小风电场提供总投资额 80%的融资。

在税收政策方面，德国对传统能源实施强制性税收，同时对太阳能、风能、地热能、生物质能等新能源实施减免或

税收返还优惠政策，通过正向激励和逆向限制来鼓励新能源产业发展。比如，德国在 1999 年 4 月 1 日开始对汽油、燃油和天然气等征收生态税；同时对生物柴油等实施部分税收减免，对二代生物燃料（E85）在 2015 年前实施生产税免征，对符合条件的风电企业和生物质能企业也制定了单位电量税收返还标准。

——丹麦

丹麦现行可再生能源发展支持政策体系与德国相似，主要也是电价补贴和费用分摊制度。但其特点在于补贴不仅限于固定电价，而是对不同类型可再生能源技术实行不同补贴方式。丹麦对于陆上风能、生物质能、太阳能和地热能实行固定补贴制度。不同于德国“固定电价”政策给予确定的总电价，“固定补贴”是在市场交易电价基础上，政府对单位电量给予确定额度的补贴，即发电商获得的总电价是根据市场交易电价浮动的。比如，对于陆上风电，目前执行的补贴标准是在电力交易市场确定的电价基础上，对新建项目总运行小时数不超过 2.2 万小时的发电量，给予 3.3 欧分/度的固定补贴，运行超过 2.2 万小时之后，给予 0.3 欧分/度的固定补贴。

与德国类似，补贴资金来源于在销售电价基础上征收的公共服务义务附加费。丹麦《电力供应法》规定，电力传输管理机构根据可再生能源发电量和总电力消费量，制定电价附加水平，通过配电商，即电力公司具体征收电价附加和发

放可再生能源电价补贴。

——意大利

意大利的可再生能源政策体系相对较为复杂。2012 年以前，意大利的可再生能源政策以可再生能源配额制为主导，即对光伏发电采用固定电价政策，对其他可再生能源技术主要采取配额证书交易制度，以出售证书获得收益支持发电企业。意大利实行配额制等可再生能源目标政策的初衷是为了达到欧盟对其提出的可再生能源消费规定，即到 2020 年可再生能源消费占能源消费总量的 17%。配额指标是要求发电商或进口商向电网输送的可再生能源电量占其所有输送电量的比例。配额制的运作机制主要是基于可再生能源绿色证书交易。配额制义务主体通过发出可再生能源电力获得证书或者通过市场交易获得证书，完成配额义务。

2012 年后，意大利决定对非光伏可再生能源技术也统一采取“类固定电价”政策。其固定电价政策的最大特点是以装机规模为标准划分政策层次，部分意图是扶持中小型新能源发电企业发展并激励大型新能源发电企业通过技术革新降低发电成本。第一个政策层次以装机容量 0.1 万千瓦为界来划分。小于等于 0.1 万千瓦的项目采用固定电价机制，按照政府规定的固定电价水平售出电量，固定电价标准每年有所调整，其发电量不参与电力市场交易。大于 0.1 万千瓦的项目，其发电量需要参与包括化石能源发电量在内的电力市

场交易，政府根据基准固定电价水平与市场平均电价水平差额给予补贴。第二个政策层次以装机容量 0.5 万千瓦为界。0.5 万千瓦以上的项目，政府引入竞标政策，要求发电企业在基准固定电价基础上下调 2~30% 报价。意大利能源监管局按照报价进行排序后，选出可获得当年补贴的项目。

——美国

在全球能源安全问题和气候协议谈判的双重压力下，美国总统奥巴马于 2009 年提出“新能源战略”，期望通过改变能源供应结构和调整能源需求，到 2025 年将美国的石油进口量减少三分之一。近几年来，美国在新能源领域，尤其是氢能源以及页岩油气领域的能源技术革新不断推出，引领了全球能源格局的大变革。其中对页岩油气的开发利用，使得美国能够重新影响全球能源供应的版图，从而削弱中东地区能源的战略地位，进而深刻影响地缘政治和全球经济的格局。

美国《2005 国家能源政策法案》规定联邦政府电力消费中可再生电力的份额在 2007~2009 年不得小于 3%，2010~2012 年不得小于 5%，2013 年以后不得小于 7.5%；《2009 年美国复苏和再投资法案》规定所有电力公司到 2020 年的电力供应中，20%必须来自于可再生能源和能效改进。

美国在联邦层面对可再生能源的政策优惠以税收抵免为主，辅以投资或消费补贴、加速折旧、基金支持、以及债券和贷款担保等措施；在州层面则采用以可再生能源电力配额

制和证书交易体系为主的市场手段。

税收抵免是美国联邦政府促进可再生能源开发利用的最主要的经济手段，主要是：投资税抵免和生产税抵免两类。

《2009 年美国复苏和再投资法案》规定：符合条件的可再生能源企业可在投资税抵免、生产税抵免和联邦基金三种方式中任选其一。投资税抵免指：符合条件的可再生能源设备制造、研发设备安装、设备充值和产能扩大项目可申请其投资总额 30% 的税收抵免。生产税抵免指：可再生能源企业每发一度电或每产出一单位其它产品并向非关联方售出，可从企业所得税中抵扣相应额度。比如：《2005 国家能源政策法案》规定：生产能力小于 6000 万加仑的小型燃料乙醇生产商和生产能力小于 1500 万加仑的小型生物柴油生产商，可以享受 0.1 美元/加仑的生产所得税减免。其它相关政策还有消费税抵免等。

美国目前已有 32 个州或地区实施了可再生能源发电配额制。该政策要求电网的电力销售量中必须有规定比例的可再生能源发电量，并且将这个比例分解到各电网企业，电网企业可选择自己提供可再生能源发电量，也可选择从别的发电企业购买发电量。

美国还有些州建立了可再生能源证书交易体系，即政府对发电企业的可再生能源发电量核发证书，发电企业可将可再生能源发电量和证书出售给电网企业，电网企业之间可交

易该证书。由于证书由市场决定价格，该交易政策可能提升可再生能源电力价格；同时，相对于税收抵免政策，市场交易使发电企业收益存在不确定性，也可能会削弱对其投资的激励。目前，可再生能源发电配额和证书交易制度主要应用于电力市场化程度较高的国家。

其它已实施的政策还包括：净计量电价和公开竞标等。净计量电价指：拥有可再生能源发电设施的消费者可从自己的电费账单上扣除自己向电网输送的电量价值，即计算“净消费”，它鼓励消费者安装自己的可再生能源装置。该政策一般用于用户端的小型发电设施，如风能、太阳能光伏、家用燃料电池等。2010年，奥巴马政府对绿色能源制造业提供了23亿美元税收优惠，美国42个州都通过了“净电量计量法”，即允许光伏发电系统上网和计量，电费按电表净读数计量，允许电表倒转，光伏上网电量超过用电量时，电力公司按照零售电价付费。美国加州的“购买降价”政策，则将补贴直接体现在购买太阳电池发电系统的价格优惠上，每瓦补贴4美元。公开竞标指：对于同一个新能源项目，政府通过公开的竞争性招标来选择开发商。竞争性机制可以促进新能源产业技术进步和成本降低。

——日本

日本2008年3月修订的《京都目标实现计划》规定，到2010年日本新能源占一次能源总量约3%，到2020年达到

4.3%，到 2030 年达到 7%。

日本的可再生能源发电配额制对新能源推广起着核心作用。2002 年 5 月，日本出台的《电力设施利用新能源的特别措施法》（也称“强制上网配额法”）规定，从 2003 年 4 月开始，强制电力企业提高新能源发电（光伏发电、风能发电和生物质发电）使用比率，到 2014 年总电力供应中要有 160 亿度新能源发电。

财政补贴方面，日本政府提出从 1994 至 2020 年，每年拨款 362 亿日元用于开发新能源技术。1998 年日本启动的《促进地方使用新能源方案》提出，可再生能源项目、公共机构和非政府组织都可因推广各类新能源而获得上限是支出 50% 的补贴。

税收优惠方面，日本在 2008 年的《推广太阳能发电行动方案》中规定：贷款余额的 1% 可从收入税中扣减；大约 10% 的改革成本（上限为 500 万日元）可从所得税中扣减；设备购买成本的 7% 可获税收减免；2009 年开始，政策允许节能和新能源设备和生产设施实施直接折旧。

日本从 1994 年开始在家庭光伏太阳能领域实施净计量电价政策。政府要求从 2009 年至 2019 年，电力公司按照两倍于成本的价格对拥有可再生能源发电设备企业进行发电量回收。额外成本分摊到全部用电中，由全体国民负担。

2001 年后，日本开始实施绿色电力认证制度，即电力用

户向认证机构购买绿色电力证书，其向发电企业支付的费用用来促进可再生能源开发。购买证书的企业可以在其产品上使用绿色环保标志，借此提升企业形象。

（二）国际新能源发展趋势

2015 年，全球新能源发电和燃料的新增投资约为 2859 亿美元(不包括大于 5 万千瓦的水电)，较 2014 年增长 4.7%。市场全球化为新能源产业发展提供了丰富机遇，一些国家已经率先建立全球策略和发展全球供应链；有些知名制造商开始采用多元化经营方案。据 REN21 发布的《2016 年全球可再生能源现状报告》，截至 2015 年，全球 23.7%的电力来自于可再生能源，其中非水可再生能源占 7.1%。

——风电仍是新能源的领路先锋

风能资源是可规模化开发的清洁可再生能源。风能利用有着悠久的历史，早在 3000 多年前的农耕时代，风力机开始被用于碾米和抽水灌溉。1888 年，美国安装了世界上第一台用于发电的风力机，当时装机容量为 12 千瓦。上世纪 50 年代，丹麦制造了世界第一台风力交流发电机，风电并网实现了商业应用。后来由于化石能源的广泛应用，风电日渐式微。1973 年世界发生第一次石油危机，以及大气环境污染的日益严重，使得欧美国家又开始重视风电的开发应用。目前世界上可再生能源利用最为成熟仍然是风能发电，风电也是

当前可再生能源发电的最大组成部分。据 REN21 (2016) 资料显示，过去十年全球风电装机增长了八倍，截至 2015 年底，全球风电装机容量达到 433 吉瓦，发电量占发电总量 3.7%，其中欧盟、美国和中国是全球风电增长的最主要力量。欧盟 2015 年底累计装机总量达 141.6 吉瓦，占 32.56%；美国长期保持着最大风电装机国的地位，直到 2010 年被中国超越，截至 2015 年，美国累计风电装机约为 74 吉瓦，约占全球的 17.09%；中国的发展时间最短但最为迅速，占全球累计风电装机量的 33.40%。拉丁美洲则在最近成为风电领域重要的新兴市场。

海上风电起步要略晚陆上风电一些，目前全球海上风电装机容量仍远小于陆上风电。海上风电建设有从海岸向离岸深水区推进的趋势。

风电装备制造业产业集中趋势愈益明显。近几年，风电设备制造企业之间的兼并、重组、收购愈演愈烈，世界风电机组制造企业形成了由少数大型风电机组制造企业控制或垄断的局面。2015 年，全球市场排名前十的风电设备供应商市场份额占全球市场份额 68.6%。其中，金风科技占 12.5% 的市场份额¹。

过去几年，由于市场的成熟和技术的进步，风电装备不断升级，单机容量不断增加，风电的成本大幅下降，风电的

¹ REN21, 《2016 年世界可再生能源报告》。

容量系数²（capacity factors）进一步提高（包括塔架高度的抬升、叶片长度的延伸和发电机规模的缩小），涡轮机设计的改进使风电机组呈现大型化（轮毂高度增加、风力叶片长度增加等）和精细化趋势（适应不同的风能风况和运行条件）。目前，陆上风电规模最大的可商业化应用的风力涡轮机超过 8 兆瓦，海上风电机组的平均规模也达到 4 兆瓦，这就大大降低了风电成本，使得风电与火电竞争逐步具备价格优势。风机技术逐渐由原先传统双馈型风机逐步转化为直流驱动型风机，全球超过 15 个风机供应商提供直流驱动风机的安装方案。一些国家的陆上风电每度电发电成本即便在剥离补贴和没有政策优惠的情况下也接近火电成本。

尽管全球风电行业发展快速势头良好，但出现诸多新的挑战。一是由于传统能源成本不断走低，构成风电价格面临下行的竞争压力；二是经济紧缩造成政策支持减少，核心市场趋于萎缩；三是一些企业由于风电机的订单减少而倒闭或停产，供求关系发生变化，风电相关的装备售价面临升高的趋势。

——太阳能后起直追大有超越之势

太阳能应用方式包括发电和直接光热利用两类。太阳能发电近年来呈技术多元化趋势，但目前主要为光伏发电和光热发电两种。光伏发电根据发电技术又主要分为：晶硅电池

² 容量系数：一定时期的总发电量除以该时期小时数与装机容量乘积得到的比率。

发电（单晶硅、多晶硅），薄膜电池发电（硅基、铜铟镓硒（CIGS）、碲化镉（CdTe）、砷化镓（GaAs）等），以及聚光光伏发电三种。光伏发电还可以根据市场应用领域细分为住宅建筑、非住宅建筑和地面电站。光热发电则可以根据发电技术分为：槽式、塔式和线性菲涅尔式。

目前应用较广的是晶体硅光伏电池系统，其产业链主要包括多晶硅——硅锭/硅片——电池片——组件——光伏系统设计安装等环节；而薄膜光伏电池系统，则主要是电池组件——光伏系统设计安装（见图 1-1）。

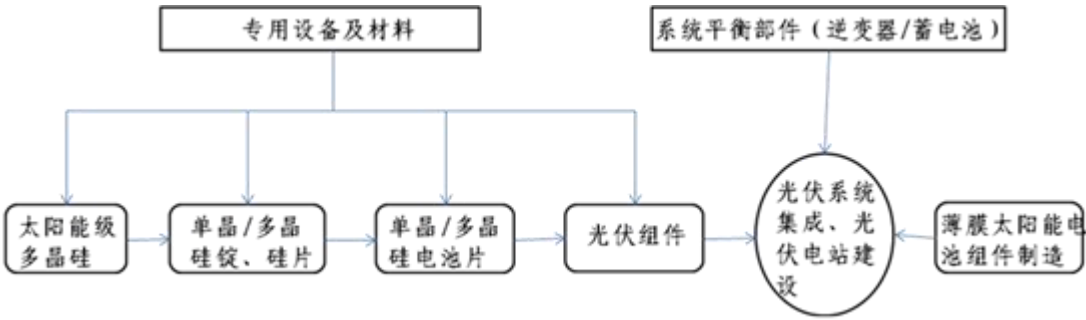


图 1-1 光伏行业产业链

太阳能利用产业链涉及原材料生产（硅锭、硅片）、电池片、组件及光伏系统设计安装等多个环节，涵盖了矿产、电子、机械、化工、装配等多个产业领域。在太阳能利用技术中，太阳能电池板是整个太阳能发电系统最为关键的部分，衡量太阳能电池板好坏的最重要指标就是光电转换效率。图 1-2 显示了太阳能电池（从下而上）的技术发展进程。

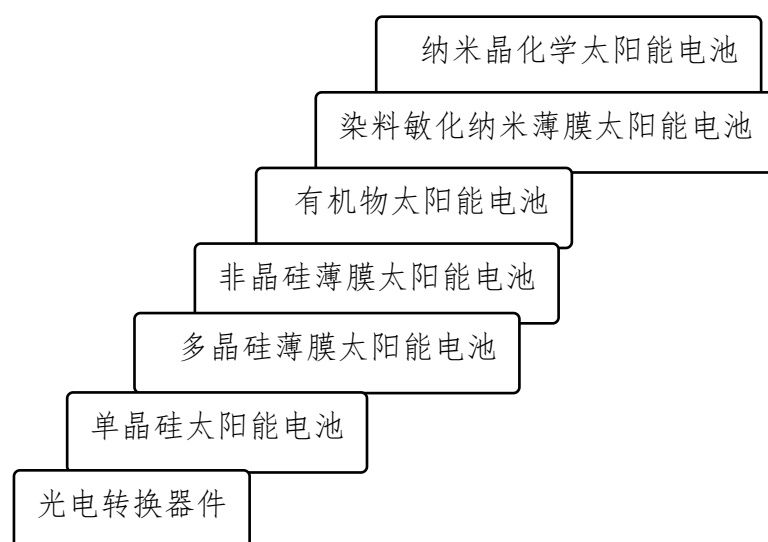


图 1-2 太阳能电池技术发展过程

光伏发电行业近几年发展迅速，有望成为发电重要的组成部分。近几年，全球太阳能光伏发电发展迅速，截至 2015 年，全球太阳能光伏发电累计装机容量达到约 227 吉瓦，发电量占发电总量 1.2%。在一些国家，太阳能光伏发电在全国电力生产中占有显著份额，其中意大利年电力需求中的 7.8% 由太阳能光伏发电提供，希腊为 6%，德国为 5%。

全国工商联新能源商会（2014）报告指出，过去十年，欧洲在光伏发电市场中一直领跑全球市场，但近年来核心正从欧洲逐渐转向亚洲和其他各地，中国、日本和美国是新增装机容量最大的三个国家。REN21（2016）资料显示，2015 年，全世界 60% 的光伏发电增量来自亚洲地区，超过欧洲地区，成为全球最大市场，其中，中国市场的迅猛发展，在一定程度上抵消了欧洲严重的市场萎缩。太阳能光热发电技术近几年发展迅速。REN（2016）的数据显示，2005 年至 2015

年期间，全球太阳能光热发电累计装机容量增长约 5 倍，达 435 吉瓦。与光伏发电成本相比，光热发电的度电成本相对较高，这一定程度制约了光热发电的规模化发展。

——生物质能源面临蓬勃兴起之机

近年来，欧美工业国家都在积极推进生物燃料产业化和商业化应用。目前，全球已有数十个国家推行生物质能源的开发利用，其中美国、巴西和中国分列前三。2014 年，美国燃料乙醇产量达 4000 多万吨，取代了 5 亿多桶石油，大于美国每年从沙特阿拉伯进口的石油量，现全美境内 99%地区的汽车已实现 E10 乙醇汽油（添加了 10%燃料乙醇的汽油）；巴西 2014 年生产了 1840 多万吨燃料乙醇（季銜及，2015）。实践证明，美国以玉米、巴西以甘蔗为主要原料制备燃料乙醇的路线，不仅没有引起粮食安全和蔗糖供应的危机，反而保护了农民的利益，调动了农民的积极性从而带来增产增收，还带来了空气环境的良好改善。

除了用农作物和废弃物制备生物燃料外，工业国家以林果制备能源方面也取得技术性突破。据有关文献资料，美国每年有 20%到 40%的水果长相不好或有疤痕，在市场上卖不出去而腐烂在地里，水果种植商每年扔掉的或烂在地里的水果有数百万吨，零售商遗弃的剩余水果每年也达几十万吨，这些废弃水果可生产出上千万公升的生物燃料乙醇。美国科学家表示，水果可通过一种十分经济的方法来制造酒精，如

苹果和桔子中所含的糖，可以转化成一种新型的燃料，这种用果糖制造的燃料乙醇比粮食乙醇所含的能量更足，这种燃料被称作二甲基呋喃，它所含的能量比乙醇多 40%，而且不容易挥发、稳定性也好。在英国，研究人员表示，现在他们不仅可以用棕榈油制造生物柴油，还可以利用木头、果子、废弃包装物等一系列材料制造生物燃料。这个过程被称作生物纤维液化(biomass to liquid)，专家表示，十年内，英国将有 30%的柴油需求将由这个来源提供。日本京都大学研究人员最新开发出水果燃料电池，将这种电池的电极插到苹果上，利用微生物和酶分解水果糖分，进而产生有电流的“生物燃料电池”，使发光二极管发亮。他们认为，在发生灾害或战争时，这种电池可用来提供能源。澳大利亚的科学家近日表示，他们已经成功研制出全球首部利用分解香蕉作为燃料的电能发生装置，60 公斤香蕉能为一户居民提供约 30 小时电力供应，并将很有可能建造出世界上第一个完全用香蕉作为原料的水果燃料发电站，目前最大障碍是成本太高，据估计，建设一座新厂的成本是现在的燃料精炼厂的 10 倍。

现在生产制备燃料乙醇的技术已相当成熟，如果实现一定规模的生产，将会大为降低成本，而再在补贴上加大力度，生物质能源短期内将有望成为传统化石能源的重要补充替代能源。

——氢能近期有望得到突破性发展

氢能是一种原料取之不尽而且十分清洁的能源，制备方法主要有天然气制取、煤炭气化、生物质气化、水电解、核能发电制取等。实际上氢能的利用已有几十年的历史。但规模化作为能源利用也就是最近十多年的事。最近宝马公司成功开发出以氢能为动力的汽车，并已实现量产。中国在 2012 年上海世博会上也成功试用了以氢能为动力的大客车。除了汽车利用外，氢能还可与天然气混合用于锅炉燃烧，从而大大提高排放的清洁性。

氢能最关键的环节是安全储存和制备成本问题。目前这个问题已得到很大的突破，国际上先进的技术关于储存及其运输已经有了大量的成功经验数据，储存和运输的安全性已达到可商业应用的标准，成本也已降到基本可以为市场接受。预计短期内该领域将可能有一个突破性的发展。

——地热能发电逐步进入商业化阶段

地热能利用显示出了乐观的前景。《2016 年全球新能源发展报告》显示，全球地热能利用保持快速发展。美国的地热发电技术走在最世界前列，也是地热发电装机容量最大的国家，2015 年累计装机容量为 13.2 吉瓦，新增装机容量 315 兆瓦。2008 年美国麻省理工学院发表的《地热资源的将来》提出，到 2050 年，通过增强型地热系统可以提供 1 亿千瓦的发电容量，届时约占美国总发电量容量的 10%。冰岛是地热开发利用程度最高，经验最丰富的国家，也是全球最洁净

的国家之一。冰岛地热发电量占全国总发电量的 19%以上，全国 87%供暖系统由地热提供，大大减少了二氧化碳排放。

——海洋能仍然蒙着一层神秘之纱

全球海洋能发电行业过去几年继续萎缩。据《2016 年全球新能源发展报告》显示，2015 年全球海洋能发电行业延续了过去几年的极为缓慢发展态势，新增装机几乎为零。截至 2015 年，全球海洋能发电累计装机容量为 539 兆瓦。其中韩国潮汐能电站装机容量为 254 兆瓦，法国潮汐能电站装机容量为 240 兆瓦，加拿大潮汐能电站装机容量为 18 兆瓦。

二、国内动态

我国近三十多年来高速的经济增长对能源需求不断提高。目前，我国能源消费总量仅次于美国，位居世界第二。在“富煤、贫油、少气”的禀赋条件下，煤炭占能源消费总量的比重高居 70%以上，煤炭加上石油占到能源消费总量的 90%以上（见图 1-3）。



图 1-3 我国能源消费结构

数据来源：国家统计局

这种以煤炭为主的能源消费结构最突出的问题是，对生态环境和公众健康带来了巨大损害，而且由于煤炭价格相对低廉，其替代有相当大的难度。《2013 年度中国环境状况公报》显示，2013 年，京津冀、长三角、珠三角区域及直辖市、省会城市和计划单列市等 74 个城市中，空气质量达标的仅占 4.1%；超标城市比例高达 95.9%；京津冀和珠三角地区所有城市均未达标（国家环保部，2014）。全国范围内，以酸雨、细粒子和臭氧为主要污染物的污染状况日趋恶化，并呈现出区域复合污染特性。近年来，尽管全国范围内酸雨强度有减弱趋势，但酸雨区面积在扩大。酸雨污染最严重的地区从西南逐渐转变为华中和华南地区。随着 NO_x 污染的加重，酸雨类型正在由硫酸型加速向硫酸和硝酸复合型转变（邓伟

等, 2009; 张新民等, 2010)。细粒子污染及其带来的灰霾(雾霾)现象也日趋严重。中国气象局基于能见度的观测结果表明, 2013 年全国平均霾日数为 35.9 天, 比上年增加 18.3 天, 为 1961 年以来最多。中东部地区雾和霾天气多发, 华北中南部至江南北部的大部分地区雾和霾日数范围为 50 天至 100 天, 部分地区超过 100 天(见图 1-4)。

由于城市大气污染状况严重, 且暴露人口集中、人口规模又大, 大气污染对城市居民带来的健康方面的损失亦相当巨大。根据对大气 PM10 污染相对严重的全国 113 个城市居民健康影响的相关研究, 每年因可吸入颗粒物(PM2.5)污染带来的健康风险(包括死亡和疾病)损失折合人民币约 3400 多亿元(陈仁杰等, 2010)。而以上这些污染源相当部分来自于燃煤和燃油的排放。

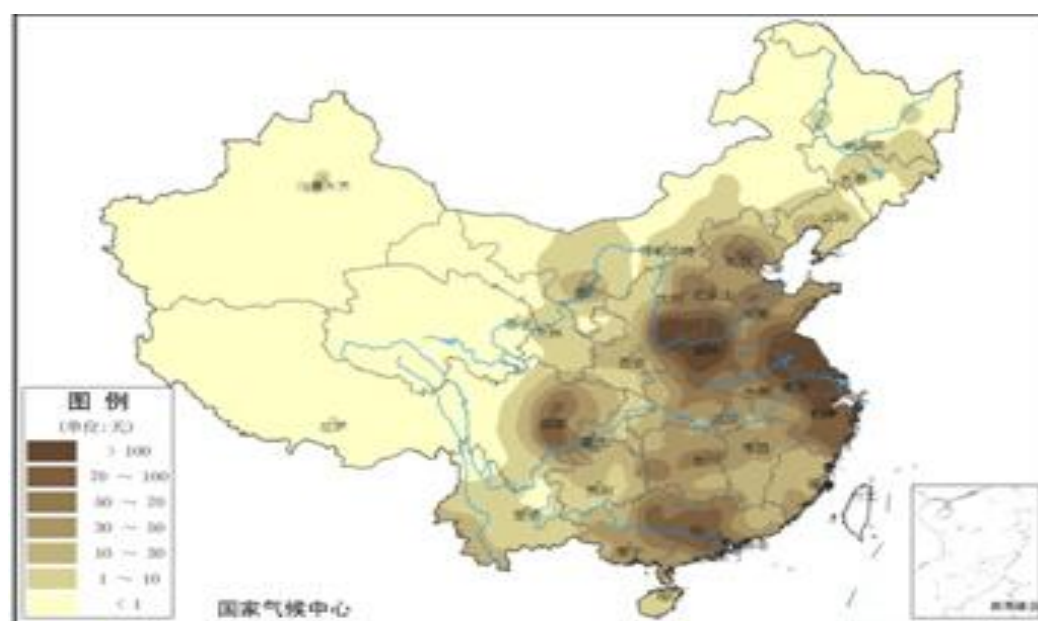


图 1-4 2013 全国霾日数分布示意图

资料来源: 国家环保部(2014)

为调整能源消费结构，改善生态环境，抢占新兴产业制高点，我国已明确将新能源产业列为战略性新兴产业并予以大力支持培育发展。

2014年6月，习近平总书记在中央财经领导小组第六次会议中强调，面对能源供需格局新变化、国际能源发展新趋势，保障国家能源安全，必须推动能源生产和消费革命；必须从国家发展和安全的战略高度，审时度势，借势而为，找到顺应能源大势之道。习总书记就推动能源生产和消费革命提出五点要求：第一，推动能源消费革命，抑制不合理能源消费，有效落实节能优先方针。第二，推动能源供给革命，建立多元供应体系，立足国内多元供应保安全，大力推进煤炭清洁高效利用，着力发展非煤能源，形成煤、油、气、核和可再生新能源多轮驱动的能源供应体系。第三，紧跟国际能源技术革命新趋势，以绿色低碳为方向，分类推动技术创新、产业创新、商业模式创新，把能源技术及其关联产业培育成带动我国产业升级的新增长点。第四，推动能源体制革命，打通能源发展快车道，构建有效竞争的市场结构和市场体系。第五，全方位加强国际合作，实现开放条件下能源安全，在主要立足国内的前提条件下，在能源生产和消费革命所涉及的各个方面加强国际合作，有效利用国际资源。

（一）国内新能源政策体系

——国家层面

2006年1月1日，《中华人民共和国可再生能源法》的正式实施，提出了调查与发展规划、产业指导与技术支持、推广与应用、价格管理与费用分摊、经济激励与监督实施等方面的相关规定。我国《可再生能源发展“十三五”规划》提出，到2020年，可再生能源年利用量达到7.3亿吨标准煤，其中商品化年利用量达到5.8亿吨标准煤，实现2020、2030年非化石能源占一次能源消费比重分别达到15%、20%的目标。其中，2020年水电装机容量3.4亿千瓦，累计并网运行风电2.1亿千瓦以上，太阳能发电并网装机确保实现1.1 亿千瓦以上，太阳能热利用累计集热面积8亿平方米，生物质发电总装机达到1500万千瓦时。

在可再生能源电价和费用分摊方面，主要政策依据是《可再生能源发电价格和费用分摊管理试行办法》，《可再生能源电价附加收入调配暂行办法》。目前，风电实施固定标杆电价（2009 年开始，四类风电资源区实施不同的统一标杆电价）；生物质发电实施固定补贴（在市场交易价格基础上，规定单位电量补贴数额为 0.25 元/千瓦时）；太阳能上网电价也在《国家发展改革委关于发挥价格杠杆作用促进光伏产业健康发展的通知》（发改价格〔2013〕1638 号）做出规定；地热能则采取项目“一事一议”原则定价。

在可再生能源发电配额方面，《可再生能源中长期发展规划》（2007）提出，到 2020 年新能源发电量占比为 3%。

我国在可再生能源领域还实施了公开竞标政策即通过公开招标选择投资商，承诺最低上网电价者中标。

在财税金融政策上，给予的财政补贴包括：太阳能屋顶计划（2 万元/千瓦）和金太阳示范工程（光伏系统投资的 50%~70%）。2008 年 12 月出台的《关于资源综合利用及其他产品增值税政策的通知》规定，对利用风力生产的电力实现的增值税实行即征即退 50%的政策。对销售自产的综合利用生物柴油，实行增值税先征后退政策。2008 年 9 月出台的《关于执行资源综合利用企业所得税优惠目录有关问题的通知》规定，企业生产符合国家或行业相关标准的产品取得的收入，在计算应纳税所得额时，减按 90%计入当年收入总额。另外，我国还实行消费税优惠（如变性燃料乙醇免征消费税政策）、加速折旧、投资抵免、减免土地税等。2006 年 5 月印发的《可再生能源发展专项资金管理暂行办法》规定，中央财政设立专项资金，采取无偿补助和贷款贴息两种措施重点扶持潜力大前景好的石油替代、建筑物供热、采暖和制冷、发电等可再生能源的开发利用。国家科技攻关计划、863 计划和 973 计划中的新能源研发项目也是重要资助领域。

2016 年 7 月 28 日，国务院发布的《“十三五”国家科技创新规划》（国发〔2016〕43 号）提出：大力发展可再生能

源大规模开发利用技术，重点加强高效低成本太阳能电池、光热发电、太阳能供热制冷、大型先进风电机组、海上风电建设与运维、生物质发电供气供热及液体燃料等技术研发及应用；发展智能电网技术，重点加强大规模可再生能源并网与消纳、电网与用户互动、分布式能源以及能源互联网和大容量储能、能源微网等技术研发及应用。

此外，国际合作项目也是中国推动新能源开发利用的重要措施。比如，由中国政府与世界银行合作、使用全球环境基金赠款和世界银行贷款的“中国可再生能源规模化发展项目（CRESP）”（2006-2011年）大规模带动了我国可再生能源领域的投资增长和产值增加。

目前我国已经实施了一系列促进新能源开发利用的政策，包括固定电价或固定补贴、固定资产投资补贴、投资或生产税扣抵、销售或增值税减免等。其中，新能源发电固定电价和固定补贴是政策重点，政策实施后极大地促进了新能源产业的快速发展。

——部分省份

内蒙古是我国风电发展重要基地。《内蒙古“十二五”风电发展及接入电网规划》、《关于推进我区（注：内蒙古自治区）风电企业整合重组减少主体的指导意见》和《内蒙古风能资源开发利用管理办法实施细则》三个政策文件系统规定了内蒙古的风电发展方案，包括：“确定全区风电发展总规

模和每个盟市的总规模，对各盟市实行风电发展总量控制和风电项目年度核准计划，根据各盟市电网接入条件、消纳条件、调峰能力、风电运行弃风情况，合理确定年度建设项目的核准”；“引进电力负荷与风电开发挂钩联动的措施”；“对设在自治区风机整机生产销售 100 万千瓦以上的和风机关键零部件生产销售超过 10 亿的企业给予相应的风电开发权”等。

江苏的在风电和光伏发电领域走在全国先进行列。《江苏省新能源产业调整和振兴规划纲要（2009-2012）》提出，对新能源重大项目优先给予土地、信贷等支持，设立省光伏发电专项资金，对光伏并网发电电价、光伏发电示范推广工程给予补贴，向金融机构推荐省重点发展新能源产业项目等。2009 年，《江苏省光伏发电推进意见》实施“屋顶并网发电工程”、“建筑一体化并网发电工程”和“地面并网电站工程”三大工程，提高光伏发电应用水平。2010 年《江苏省智能电网产业发展专项规划纲要（2009—2012 年）》开展可再生能源发电并网后的电压、频率、谐波、闪变和孤岛等问题研究。2011 年《江苏省“十二五”能源发展规划》和 2012 年《江苏省“十二五”新能源产业推进方案》继续加大对光伏发电的扶持力度，并制定相关配套政策。

2014 年 8 月浙江省印发的《关于进一步明确光伏发电价格政策等事项的通知》规定，“2014 年 1 月 1 日及以后投运

的光伏电站项目执行 1.0 元/千瓦时的光伏电站标杆上网电价”。

《广西能源发展“十二五”规划》提出，“十二五”时期推动核能、生物质能、风能、太阳能、地热能、海洋能等清洁能源和可再生能源“百花齐放”。生物质发电方面，将在北流、上思、崇左、隆安、北海、合浦等地推进秸秆发电；在扶绥、宁明等地实施蔗渣发电；在南宁、柳州、钦州、贵港等具备条件的城市布局建设垃圾发电；鼓励大型畜禽养殖场、有机废弃物排放量大的企业发展沼气发电，把桂东北地区建成北煤南运接转地、风电集中开发的重点区域。合理布局开发生物质能、太阳能等可再生能源。广西是我国燃料乙醇的先进地区。2012 年财政部发出通知，对生物燃料乙醇定点企业实行财政补助，其补贴政策为：以非粮食为原料的 750 元/吨；以粮食为原料的 500 元/吨（此补贴以 2012 年为基数逐年递减，至 2016 年不再补贴）。广西依据拥有较为丰富的可再生能源资源，编制了《广西省新能源产业发展规划》，以保障广西经济发展所需的可持续的能源供应。

广东是能源消费大省，但又是能源资源小省。目前传统化石能源消费占绝对的比重，保障能源安全的压力以及对生态环境的影响都很大。据统计，2015 年，广东一次能源消费总量约为 25636 万吨标煤，约占全国的 7%左右。尽管广东大气污染总体程度在全国相对较低，但省内局部区域大气污

染形势仍然严峻，珠三角城市群的大气污染在全国处于相对严重的水平。近年来，珠三角区域超标天数中以 PM2.5 为首要污染物的天数最多，占 63.2%；其次是 O₃ 和 NO₂，分别占 31.9%和 4.8%，区域内 PM2.5 平均浓度为 47 微克/立方米，区内所有市均超标（国家环保部，2014）。假设二氧化碳排放和能源消耗总量呈简单线性关系，按照广东目前的能源消费构成，可推算广东省 2014 年二氧化碳排放总量约为 5.87 亿吨，相当或接近于同期加拿大（5.53 亿吨）、德国（7.48 亿吨）、英国（4.96 亿吨）、日本（6.11 亿吨）的全年排放量，但加拿大、德国、英国、日本的土地面积分别是广东的 56 倍、2 倍、1.4 倍、2.1 倍，其产值分别约为广东的 1.8 倍、3.8 倍、2.6 倍、6.2 倍。也就是说，广东单位面积和单位产出的大气污染远在这些国家之上。

近十年来，广东在新能源产业发展方面迈出可喜的一步。在风电方面，《广东省海上风电场工程规划》为广东发展海上风电探索了一条“统一规划，有序开发”的路子，截至 2015 年，广东风电累计并网装机容量达到 246 万千瓦。在光伏发电方面，2014 年 3 月发布的《广东省人民政府办公厅关于促进光伏产业健康发展的实施意见》提出，全省光伏发电总装机容量到 2020 年要达到 400 万千瓦。在生物质能方面，2006 年出台的《广东高科技产业发展“十一五”规划》提出，推动农林废弃物发电、城市垃圾焚烧发电和垃圾填埋气发

电，建设生物质发电装置。2009年出台的《广东省人民政府中国科学院全面战略合作规划纲要（2009-2015）》将发展生物质等新能源作为重点合作领域。在地热能方面，《广东省地质勘查“十二五”规划》提出，“十二五”时期开展浅层地热资源调查评价、深部地热资源勘查，建设地热资源开发利用示范工程，建立地热资源勘查开发综合利用示范基地，加强对具有地热资源良好条件的山区县（市）的勘查开发，并在项目、资金投入等方面优先扶持。在海洋能方面，由国务院批复的《广东省海洋经济综合试验区发展规划》明确提出，将海洋能可再生能源作为广东海洋战略性新兴产业发展的重点之一。

开发利用可再生新能源资源，发展清洁能源产业，对经济社会发展具有重要的现实意义和深远的战略意义，其不仅对能源安全供给起到一定的保障作用，更重要的是推动环境治理和产业转型升级，提升广东的可持续发展能力。

（二）国内新能源发展趋势

随着新能源创新技术的进步，以及能源转换效率的提高，我国大型风电机组正在加快应用，海上风电步入快速发展通道；太阳能光伏应用取得重大进展，发电装机容量迅速增加；生物质能利用技术不断突破，沼气发电初具规模，燃料乙醇和生物柴油商业应用已起步发展，氢能商业应用也有

重大的突破性进展。经过近十年发展，我国新能源已经进入产业化阶段，逐渐成为新增能源供应中的重要部分。2015 年，全国新增发电装机容量的 14640 万千瓦中，新能源装机约为 5150 万千瓦，占约 1/3。

——风电稳步进入健康发展轨道

风力发电是新能源领域中技术比较成熟、最具规模开发条件和商业化发展前景的发电方式之一，不仅陆上风电呈现规模化发展，海上风电发展也日益得到重视，成为潜力巨大的风电发展新领域，展现出广阔的发展前景。风电发电过程中不产生废气、废水、固体废弃物等污染物，对风电进行规模化开发，可节约和替代大量化石能源，显著减少温室气体和污染物排放，改善能源结构。按照 1071 万千瓦风电装机全年实际发电量计算，年节能约 927 万吨标准煤，减少二氧化碳排放 2400 万吨，减少二氧化硫排放 5771 吨，节约用水 10390 万吨³。2015 年，全国风电产业继续保持强劲增长势头，全年风电新增装机容量 3297 万千瓦，新增装机容量再创历史新高，累计并网装机容量达到 1.29 亿千瓦，占全部发电装机容量的 8.6%。2015 年，风电发电量 1863 亿千瓦时，占全部发电量的 3.3%。2015 年，新增风电核准容量 4300 万千瓦，同比增加 700 万千瓦，累计核准容量 2.16 亿千瓦，累计核准在建容量 8707 万千瓦（见表 1-1）。

³ 广东省发展和改革委员会，广东省电力设计研究院. 广东省海上风电场工程规划研究报告 [R]. 2011.

表 1-1 2015 年风电产业发展统计数据

单位：万千瓦（容量）、亿千瓦时（电量）

省(区、市)	累计核准容量	累计在建容量	新增并网容量	累计并网容量	发电量	弃风电量	弃风率	利用小时数
合计	21641	8707	3297	12934	1863	339	15%	1728
北京	25	10	0	15	3			1703
天津	82	53	0	29	6			2227
河北	1572	549	109	1022	168	19	10%	1808
山西	1191	522	214	669	100	3	2%	1697
山东	1311	590	99	721	121			1795
内蒙古	3152	727	407	2425	408	91	18%	1865
辽宁	825	186	30	639	112	12	10%	1780
吉林	693	249	36	444	60	27	32%	1430
黑龙江	716	213	49	503	72	19	21%	1520
上海	81	20	24	61	10			1999
江苏	901	489	110	412	64			1753
浙江	245	141	31	104	16			1887
安徽	328	193	53	136	21			1742
福建	401	228	13	172	44			2658
江西	313	246	31	67	11			2030
河南	473	382	47	91	12			1793
湖北	407	273	58	135	21			1927
湖南	550	394	86	156	22			2079
重庆	105	82	13	23	3			2119
四川	394	321	45	73	10			2360
陕西	535	366	39	169	28			2014
甘肃	1386	134	245	1252	127	82	39%	1184
青海	155	109	15	47	7			1952
宁夏	1096	274	404	822	88	13	13%	1614
新疆	1883	272	842	1611	148	70	32%	1571
新疆兵团	272	192	45	80	4	1	19%	1560
西藏	5	4	0	1	0			1760
广东	547	300	42	246	41			1689
广西	365	322	30	43	6			2122
海南	39	8	0	31	6			1914
贵州	653	331	90	323	33			1199
云南	939	527	90	412	94	3	3%	2573

数据来源：国家能源局

我国风机研发和技术升级持续推进，重点设备制造商市场份额显著。近几年，我国超低风速型风电机组陆续推出，为因地制宜开发风电创造了条件。2014 年初，远景能源推出 1.8 兆瓦 106 米风轮直径机组；2014 年 4 月，金风科技新研发的 GW115/2000 超低风速直驱永磁机组并网发电。截至 2015 年底，全国风电累计装机容量排名前五名的金风科技、华锐风电、联合动力、东方电气和明阳风电分别占全国市场的 20.7%、16.5%、9.6%、8.7%和 6.1%。2015 年排名前十的企业占据了国内约 90%的市场份额。此外，2015 年金风科技、联合动力和明阳电力的装机容量分别占全球的 12.5%、4.9%和 4.1%，名列全球第二、第八和第九。

国内弃风现象形势依然严峻。近两年，弃风现象重新抬头，全国风电弃电率从 2014 年的 8%增加到 2015 年的 15%。电网企业在风电消纳方面做出了积极努力，一是加快配套电网建设，国家电网公司建成专用风电送出汇集变电站容量 2477 万千伏安，投运风电送出工程线路总长度 3.4 万公里，“十一五”期间建成的“新疆哈密～甘肃酒泉经河西走廊输电通道”、和“十二五”期间建成的“新疆与西北主网联网第二通道”、“哈密～郑州±800 千伏特高压直流工程”，大幅提高了风电及时并网能力；二是优化调度，2012 年底，国家电网公司印发《风电优化调度工作规范》，建立了风电调度运行全过程管理体系；三是提高监控和自动控制水平，已建成风电

场实时监控系统和专门服务新能源的电网气象数值预报中心；四是强化并网检测管理，已建成国家风电技术与检测研究中心和 11 个检测分中心。

然而，我国风电发展主要的问题仍然是风电消纳问题。造成我国风电消纳问题突出的原因，一是我国风资源集中、规模大、远离负荷中心，蒙西、蒙东、甘肃、冀北 4 个地区风电装机总规模占全国的 50%，用电量仅占全国的 10%；二是风电建设速度往往超出本地区电力消纳能力增长速度，风电并网规模超出电网外送能力；三是风电集中的地区电源结构单一，调峰能力有限；四是我国大区电网之间联系薄弱，跨区输电能力仍然不足，在弃风限电形势影响下，我国大型风电基地建设速度有所放缓。

——光伏发电转战国内市场发力

2013 年 7 月，国务院出台了《关于促进我国光伏产业健康发展的若干意见》（国发[2013]24 号，简称“国发 24 号文”），为规范和促进光伏产业发展提供政策指导。其后，相关部委的配套文件也相继出台落实。2013 年 8 月，《国家发展改革委关于发挥价格杠杆作用促进光伏产业健康发展的通知》（发改价格〔2013〕1638 号）对太阳能上网电价做了规定。

我国太阳能光伏发电行业起步于 2009 年。2010 年至 2015 年，全国年新增光伏发电装机容量增长 10 倍以上，截至 2015 年底，中国光伏发电累计装机约达 4318 万千瓦，成为

全球第一大光伏发电应用市场；我国光热发电累计装机容量为 1.39 万千瓦，“十二五”期间新增装机 400 万千瓦，进入初步产业化发展阶段。总体而言，我国光热发电行业仍处于发展初期阶段，示范性项目仍是行业主导，能够真正依靠市场运作而实现盈利的项目少之又少。

光伏电站系统价格下降，光伏发电度电成本随之降低。过去十年，光伏发电产能快速扩张，光伏制造技术越来越成熟，光伏电站系统价格明显下降，光伏发电度电成本也随之降低。产业化生产的多晶硅电池平均转换效率达到 17.8%，单晶硅电池平均转换效率达到 19.3%，属于全球先进水平。主流组件产品功率达到 250-255W，同比提高近 6%。多晶硅生产平均综合能耗下降至 120KWh/kg，部分企业甚至已达到 70KWh/kg。先进光伏企业的光伏组件生产成本已下降至 0.42 美元/瓦、多晶硅生产成本降至 12 美元/kg，部分企业研发的光伏系统装机成本下降至 7-8 元/瓦，同比下降幅度近 25%。光伏产业利润向下游转移促使越来越多的光伏上游制造商向电站开发进军。根据 SEMI 的《全球光伏制造数据库》的统计结果，中国排名前 20 位的光伏组件和电池制造商均已涉足电站开发业务。根据调查，在光照资源丰富地区，大型光伏地面电站发电的度电成本已经接近 0.45 元/度。

目前光伏电站发电的瓶颈是并网难。很多光伏电站装机容量集中在光照充足和远离载荷中心的西部省份。累计装机

容量排名前三的省份分别为甘肃省、青海省和新疆自治区。中国的光伏发电现仍以大型电站建设为主。

近年来，政府高度重视发展小型分布式太阳能光伏，并且将发展重点转移到建筑屋顶光伏市场。《太阳能发展“十三五”规划》提出继续大力推进屋顶分布式光伏发电，开展分布式光伏发电应用示范区建设，到 2020 年建成 100 个分布式光伏应用示范区，园区内 80% 的新建建筑屋顶、50% 的已有建筑屋顶安装光伏发电。2014 年 9 月，国家能源局发布《关于进一步落实分布式光伏发电有关政策的通知》，为落实相关政策和配套措施、健全工作机制提供政策指引。

——生物质能源进入规模化发展起步期

生物能源目前我国尚未形成很大的规模效应，但生物质能源的规模开发利用已经是大势所趋。生物质的来源广泛，其制备能源有很大的提升空间。其中生物燃料乙醇，是替代具有重要战略意义的液体燃料最可行的方案。燃料乙醇的应用在我国多个省市已试点十多年，取得了一定的成效。现在的主要问题是获得稳定规模的原料来源。生物质能原料现有多条路线。一是以粮食等农作物为主要原料，这在美国、巴西是主要路线，其分别以玉米、甘蔗为原料制备燃料乙醇，目前已形成产业规模，替代了 10%-25% 的化石燃油，取得了良好的效果；二是以生物废弃物（包括秸秆、餐厨垃圾、禽畜粪便等等）制备生物燃油或燃气；三是以油或糖醇

含量较高的能源果类为原料，比如以桐油果甚至食用水果等为原料制备燃料。

能源是规模化生产且需求稳定的产品。能够成为商品能源工业化生产的原料，必须满足以下几个基本条件：一是要理化性质稳定，二是能有规模供应量，三是可以连续供应，四是可以标准化产出，五是经济性上可以为市场接受（即所谓稳定化、规模化、连续化、标准化、经济性的“四化一性”）。以上的几条路线都有一定的局限性。以玉米为原料的路线，只达到稳定化、连续化、标准化“三化”要求，因为用玉米作为能源原料是“与民争粮”，在我国这样一个人口大国，在规模供应量上必然受其所限。目前广东主要是以甘蔗或木薯为主要路线，但这个路线也要占用规模的可耕地，“与粮争地”，因此在我们这个人均可耕地资源少的国家，规模连续供应不能保证，无法达到“四化”的要求。而秸秆和垃圾等虽然经济性可行，但由于理化性质不稳定，难以成为工业化、规模化、标准化生产的主要原料来源。广东山多田少，开发利用林地园地资源种植能源果林，其果实可以满足原料“四化”的要求，这或是将来生物能源形成规模化发展的一条可选择的路线，但由于原料来源价格较高，只有综合利用才有可能满足经济性的要求，关于这点还需要进一步的实验研究。以上几条路线正面临重新的调整 and 选择（详见表 1-2）。

表 1-2 生物质能源路线

原料	玉米	木薯	甘蔗	秸秆	餐厨垃圾	林果
原料成份	淀粉含量 64%，	淀粉含量 71%	含糖18%	富含纤维素	成份复杂	综合含糖 14% 左右，皮渣含 丰富纤维素
单位土地 产量	0.8吨/亩	2吨/亩	3吨/亩	4吨/亩	不确定	1 吨/亩
理化性质	稳定	稳定	稳定	复杂	不稳定	稳定
规模产量	作为粮食 而受规模 量的限制	受种植面 积所限而 供应有限	受种植面 积所限而 供应有限	难以收集形 成规模供应 量	不明确	可利用山地大 面积种植，形 成规模产量
连续供应	产出单一 集中，但可 储存，一年 四季连续 供应	产出单一 集中，储 存成本 高，有淡 旺季分	产出单一 集中，难 储存，有 淡旺季分	产出单一集 中，储存成 本高，有淡 旺季分	不确定	由于多个品种 可用，并且收 获时间分布较 宽，一年四季 可连续供应
标准化	可标准化	可标准化	可标准化	难以标准化	无法标准 化	可标准化
经济性	成本价格 略高，需要 一定补贴 才可行	可行	可行	可行	可行	成本价格过 高，需要综合 开发利用才可 行

——开发利用中低温地热资源仍占主流

中国拥有丰富的中低温地热资源，地热直接利用总量长期居世界第一位，地热发电应用相对落后，地热能在能源结构中的占比不到 0.5%。

2017年，国家能源局发布的《可再生能源发展“十三五”规划》提出，在青藏铁路沿线、滇西南等高温资源分布地区，启动建设若干“千万千瓦级”地热能电站；在东部沿海等中低温地热资源富集地区，因地制宜发展中小型分布式中低温地

热发电项目；支持在青藏高原及邻区、京津唐等东部经济发达地区开展深层高温干热岩发电系统关键技术和项目示范。

2014 年 7 月，国家能源局、国土资源部联合下发通知，要求各地编制本省（区、市）地热能开发利用规划。通知要求，各地要收集整理本地区地热资源勘探评价成果，结合本地地热资源特点及用热、用电市场需求，组织编制地热能开发利用发展规划。地热能开发利用近期以浅层地温能供暖（制冷）、中深层地热能供暖及综合利用为主，具备高温地热资源的地区可发展地热能发电。远期发展中温地热发电和干热岩发电，并提高地热综合利用水平。

——氢能 and 潮汐能技术开发应用进一步成熟

氢能制备有煤炭气化法、生物质气化法、水电解法等方法；储氢技术有压缩储氢、液化储氢、金属氢化物储氢和吸附储氢等。与传统的电池储能不同，氢储能可通过电解水制氢的方式，将能源以气态燃料的方式存储起来，可以用在氢燃料电池汽车、加气站等更多的场合。这种方式一方面有利于就地应用，另一方面借助天然气管网技术可以实现远距离运输。利用的主要方式有两种，即通过氢燃料电池的电化学技术和直接燃烧利用的热化学技术。其中，燃料电池技术又被人们视为氢能利用的终极解决方案⁴。我国电解水制氢以及

⁴ 毛宗强, 2010

储存运输技术已较为成熟，其零部件、集成控制等方面的相关产业链也已形成并逐步完善，商业应用的基础条件已经具备。

我国潮汐能技术经多年研发和试运行，已取得可观的成效；波浪能、潮流能等技术研发和小型示范应用取得一定成果，而开发利用还处于起步阶段，目前已有较好的技术储备，未来有较大的发展潜力。浙江江厦潮汐能电站是我国第一座自行研制、制造、安装的国家级试验基地，总装机容量 3200 千瓦，年均发电量约 720 万千瓦时，已正常运行 20 多年。该电站同时开展库区农、渔业综合利用，围海滩涂、水库水面由当地乡镇发展种养殖业，社会效益十分显著。潮汐能电站建设不需移民，不消耗一次能源，不受洪水威胁，不会造成生态环境污染，因而有着很好的发展前途。

第二章 广东新能源发展基础分析

广东省是能源需求大省，当前及未来相当长一段时期内仍将面临资源和环境的巨大压力，传统的能源供给和消费方式已难以为继，加快发展新能源，优化能源结构，既是深化供给侧结构性改革的迫切需要，也是广东实施创新驱动发展战略的必然要求。广东新能源资源丰富多样，制备环节技术相对成熟，装备制造在国内也有相当地位。“十二五”期间，全省新能源产业投资规模迅速扩大，设备制造能力较快提升，应用规模进一步扩大。

一、资源条件与开发利用

目前广东已规模或成熟应用的新能源主要有风能、太阳能、生物质能以及地热能，将来可规模利用的还包括海洋能和氢能。

（一）风能

1.资源基础

广东在全国属风能资源四类地区。根据最新的风能资源评价结果显示，广东风能资源（平均风速、平均风功率密度）较大的地方主要分布在沿海地区和粤北、粤西海拔较高的山区。风资源丰富地区 70 米高度以上年平均风速达到 6.5 米/秒以上，年平均风功率密度达到 350 瓦/平方米以上。（见图

2-1)

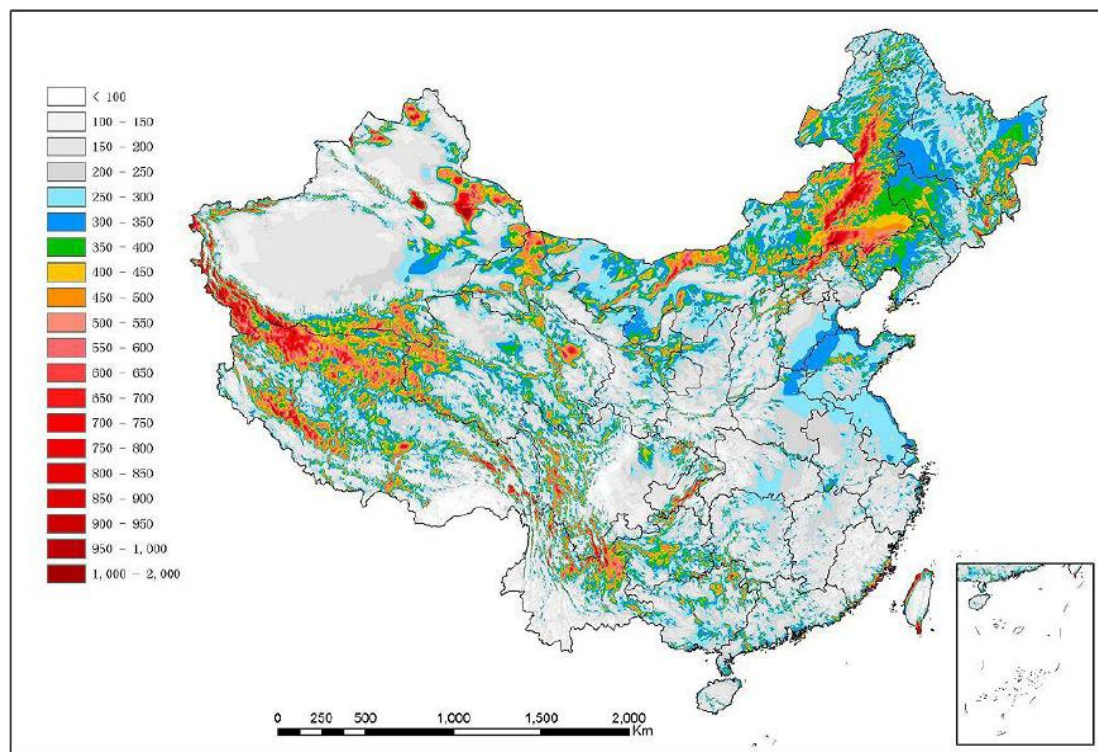


图 2-1 中国陆地 70 米高度风功率密度分布

资料来源：国家发展和改革委员会能源研究所，2011

根据广东省气象局《广东省风能资源详查和评估报告》，全省年平均风功率密度 ≥ 200 瓦/平方米具有开发潜力的地区可开发量约为 1900 万千瓦；其中风功率密度 ≥ 250 瓦/平方米，目前可开发的地区开发量约为 1650 万千瓦；风功率密度 ≥ 300 瓦/平方米风资源良好的地区开发量约为 1400 万千瓦，主要分布在沿海地区和粤北、粤西海拔较高的山区。从各个季节情况看，冬季平均风速和平均风功率密度最大，秋季次之，春季再次，夏季最小。（见图 2-2）

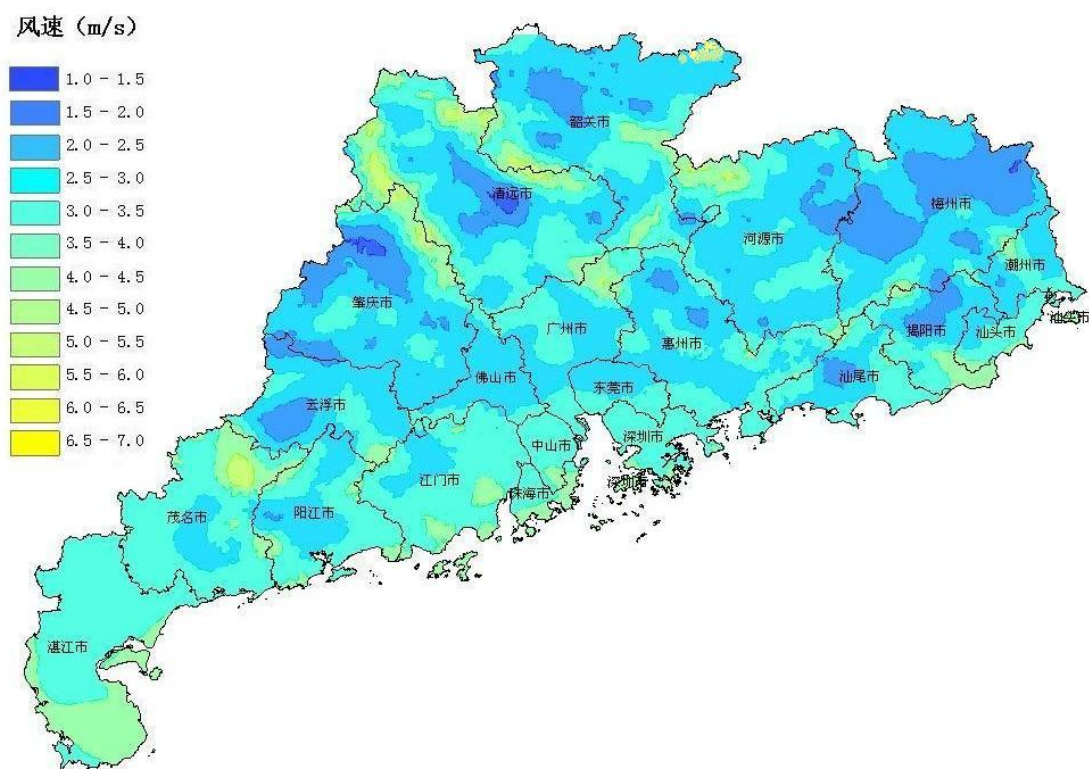


图 2-2 广东省陆上风能资源分布

资料来源：广东省能源局，2014

广东省海岸线长 4114.4 千米，海域面积 41.93 万平方公里，海岸线长，海域辽阔，沿海风能资源丰富。粤东地区沿海风能资源可达 3-6 级，粤西、珠三角地区达 3-5 级，呈自西向东、自近岸向海中递增的趋势。海面 60 米高度层上，近海海域年平均风速可达 6 米/秒以上，随离岸距离的增加，风速递增速率较快，在离岸略远的海上，风速可达 8-9 米/秒或以上。沿海及岛屿有效风能密度大于等于 200 瓦/平方米的等值线平行于海岸线，沿海岛屿的风能密度在 300 瓦/平方米以上。大于等于 3 米/秒的风速全年出现时间约 7000-8000 小时，大于等于 6 米/秒的风速也有 4000 小时左右，有效风力出现时间百分率达 80-90%。（见图 2-3）

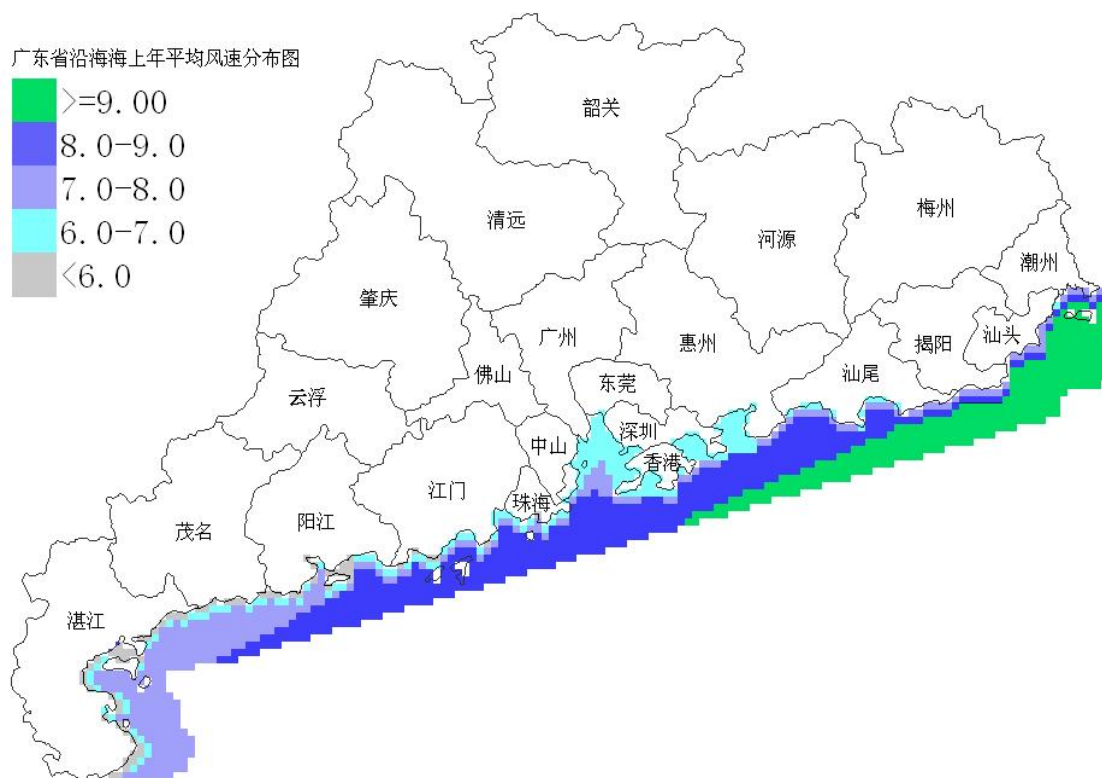


图 2-3 广东省海上风能资源分布

资料来源：广东省能源局，2014

根据广东风力资源普查，广东全省可开发利用风能储量约 9700 万千瓦，潜在发电装机容量 3000 万千瓦，其中沿海陆地可开发装机容量 600 万千瓦；在海上风电方面，浅水区 5~30m 水深海上风电估算可开发容量约 1315 万千瓦，近海深水区 30~50m 水深海上风电估算可开发容量约 7500 万千瓦。

2.开发利用

大力开发利用风能资源，是破解广东日益增长的清洁电力需求的重大举措，有利于推动广东新能源实现跨越式发展。过去广东风电装机主要分布在沿海岸线，近年来开始向

内陆山区和近海域发展。近十年来，广东风电装机容量增长较快。2015 年，广东全省风力发电量 41 亿千瓦时，约占全省当年总发电量 1%。

海上风电方面，广东省发展和改革委员会等单位发布的《广东省海上风电场工程规划研究报告》显示，风电场对环境的影响主要为海洋生态、鸟类迁徙、风机运行噪声、电磁辐射等。风电场施工时会对桩基周围的底栖生物造成破坏，但投入运行后，施工范围内海域的底栖生物类群随时间会逐步形成。海上风场对鸟类的影响主要表现在对邻近鸟类栖息地、觅食活动的影响和风机与迁徙鸟类相撞的风险。风机运行对鸟类的干扰影响范围一般是 800 米（繁殖鸟是 300 米），大部分迁徙鸟类飞行高度远远高于叶片高度，国外有关研究成果表明，候鸟迁徙路线中的风电场年撞鸟概率约为 0.0015%-0.009%。由于海上风电场周围罕有噪声敏感目标分布，因此噪声对周围环境无明显影响。只要风电场输电电缆沿线布设避开敏感目标以及风电场升压变电站与周围建筑物之间保持一定的安全防护距离，电磁辐射对周围环境影响较小。按照《广东省海上风电场工程规划》设定，共规划 26 个近海场址，规划装机容量 1071 万千瓦。其中粤东海域 7 个、310 万千瓦，珠三角海域 10 个、380 万千瓦，粤西海域 9 个、381 万千瓦。第一批海上风电试点项目有：珠海桂山项目（19.8 万千瓦）和湛江外罗项目（20.1 万千瓦）。第二

批海上风电试点项目有：粤电阳江沙扒项目（30 万千瓦）、华能阳江沙扒项目（60 万千瓦）和中广核阳江南鹏岛项目（40 万千瓦）。争取在 2015 年前开工建设海上风电 200-300 万千瓦，2016-2020 年开工建设 700-800 万千瓦。

（二）太阳能

1.资源基础

——日照资源。太阳能日照资源的分布具有明显的地域性。这种分布特点反映了太阳能资源受气候和地理等条件的制约。我国根据太阳年曝辐射量的大小划分为 4 个类别太阳能资源带，广东属于Ⅲ类资源一般带（如图 2-4 所示）。

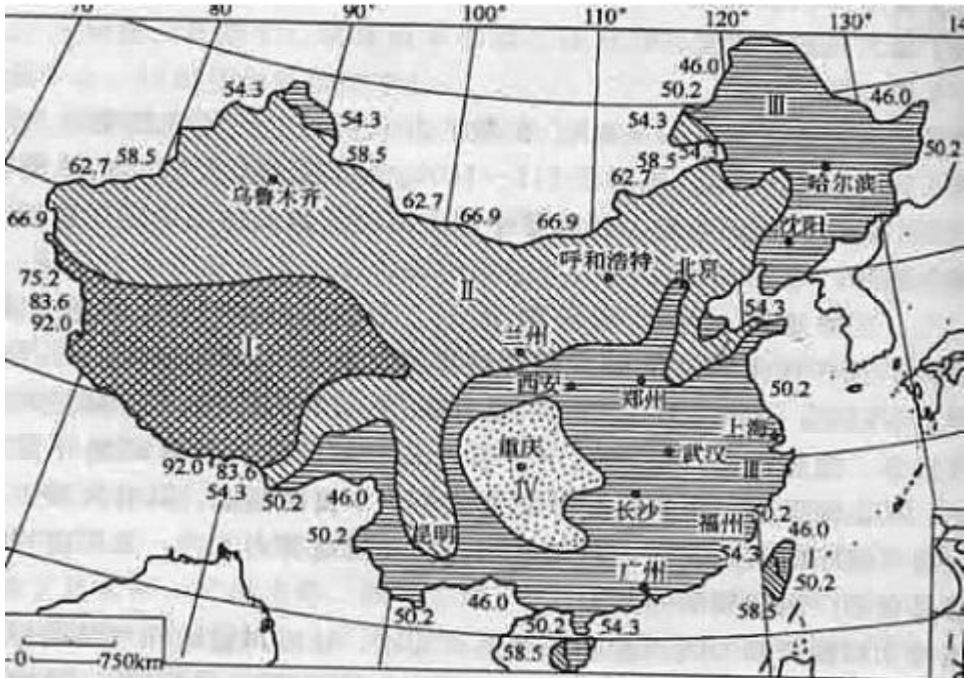


图 2-4 中国太阳能资源带

I 资源丰富带 6700MJ(m2.a)*

II 资源较富带 5400-6700MJ/(m².a)

III 资源一般带 4200-5400MJ/(m².a)

IV 资源贫乏带 <4200MJ/(m².a)

*MJ/(m².a)-兆焦/(平方米.年)

广东太阳能年平均辐照时数 2200 小时左右，呈南高北低格局，南部属于太阳能资源三类地区，以粤东粤西沿海地区为主，其他地区属四类地区。（如图 2-5）

广东省年日照时数分布图

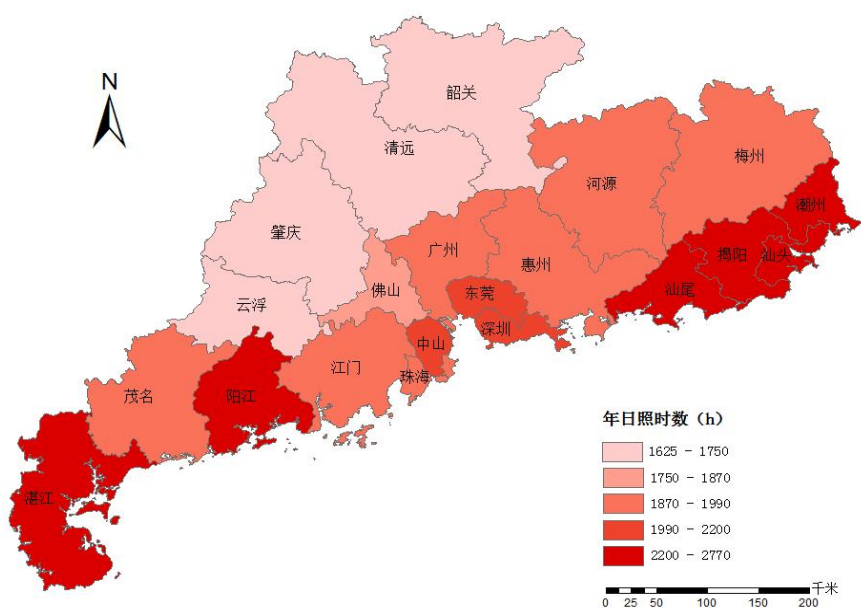


图 2-5 广东省年日照时数分布图

资料来源：广东省能源局，2014

——载体资源。太阳能利用一般需要较大的载体，通常可利用的载体主要为建筑物屋顶和非建设用土地。

可利用屋顶资源。据初步调查统计，全省可安装分布式

光伏发电系统的建、构筑物屋顶面积约 8000 万平方米（其中珠三角地区约 6000 万平方米、粤东地区约 800 万平方米、粤西地区约 500 万平方米、粤北地区约 700 万平方米），安装屋顶光伏发电的潜力达 800 万千瓦(广东省能源局，2014)。目前，广东太阳能不占土地资源的可开发利用位置主要是在建筑物屋顶。全省近年来每年新增建筑屋顶面积超过 2800 万平方米，可新建设光伏发电装机容量约 30 万千瓦。

地面光伏电站资源。粤东西北地区土地资源相对丰富，可以利用废弃矿山、滩涂、荒山、坡地、淡水养殖水域等适当布局建设地面光伏电站；在海岛等有人无电地区建设光伏发电系统。据初步调查统计，粤东西北地区可利用闲散土地资源建设地面光伏发电装机容量约 180 万千瓦。根据广东省能源局发布的《关于下达 2014 年光伏发电年度新增建设规模的通知》，2014 年广东省新增光伏发电规模 100 万千瓦，其中分布式光伏 90 万千瓦，光伏电站 10 万千瓦，新增建设规模与河北相同，仅次于山东、江苏、浙江三省。

2. 开发利用

在光伏发电方面，截至 2015 年底，广东全省光伏发电总装机容量达到 57 万千瓦，若按 10 元/瓦计算，2015 年广东省光伏发电市场规模达到 57 亿元。目前广东的光伏发电项目主要是国家金太阳示范项目和光电建筑一体化项目，以自发自用的屋顶分布式光伏发电为主。

在光热利用方面，全省光热利用面积约 980 万平方米，约占全国光热利用面积的 4.9%。其中，太阳能热水器的覆盖率约为 10%，远低于全国 33% 的平均水平，主要用于宾馆、学校和宿舍，家用太阳能热水器普及率仍属于偏低水平。

（三）生物质能

1. 资源基础

广东生物质资源种类和数量较多。主要来源于农作物秸秆、农产品加工废弃物、能源作物林果、林产废弃物、畜禽粪便、城市生活垃圾。根据相关文献计算方法，按照广东统计年鉴数据，2014 年全省生物质能产生的资源量折算为标准煤共可达 124093.56 万吨。

——农作物秸秆资源。广东农作物主要是稻谷、玉米、薯类、甘蔗、油料作物等。2014 年，全省主要农作物秸秆产量为 1911.56 万吨，折合成标准煤为 877.52 万吨（具体见表 2-1）。

表 2-1 2014 年广东农作物秸秆资源量

指标	稻谷	小麦	玉米	薯类	大豆	甘蔗	油料作物	麻类	木薯	合计
农作物产量 (万吨)	1091.64	0.30	76.86	165.16	16.27	1504.67	105.48	0.04	164.29	3124.71
谷草比系数	1.00	1.10	2.00	1.00	1.70	0.10	1.50	1.70	1.00	
秸秆产量 (万吨)	1091.64	0.33	153.72	165.16	27.66	150.47	158.22	0.07	164.29	1911.56
折标系数	0.43	0.50	0.53	0.49	0.54	0.44	0.53	0.50	0.49	
折算为标准 煤(万吨)	469.41	0.17	81.47	80.93	14.94	66.21	83.86	0.03	80.50	877.52

——农产品加工废弃物资源。主要是在粮食、蔬菜、水果、畜禽等农产加工过程中产生的废弃物。广东省农产加工废弃物每天产量在1000万吨左右，折算为标准煤367万吨。

——能源作物林果资源。广东省能源作物目前主要是甘蔗、木薯和油料作物等，主要能源林果有油桐、油茶、麻疯树、黄连木等。2014年，全省甘蔗产量1504.67万吨、油料作物105.48万吨、木薯164.29万吨，能源林果实产量28.10万吨。折算为标准煤642.79万吨。

——林产废弃物资源。主要是森林采伐木和木材加工的剩余物，还有薪炭林、防护林、灌木林以及果树的收取或育林剪枝。2013年，广东林产资源生物量为917.89万吨，折算为标准煤约523.20万吨（具体见表2-2）。

表2-2 2013年广东省林产资源量

指标	薪材	原木	抚育林面积	竹材	果树面积	合计
年生产情况	91.85 万 m ³	717 万 m ³	348.95 千 hm ²	13510 万 株	1119.83 千 hm ²	
折算系数	100%	34.4%	8m ³ /hm ²	34.4%	10%	
折重	1.17t/m ³	0.9t/m ³	0.9t/m ³	5kg/株		
生物量（万 t）	107.46	221.98	251.24	23.24	313.97	917.89
折算为标准煤 （万 t，折标系数 为 0.57）	61.25	126.53	143.21	13.25	178.96	523.20

——畜禽粪便资源。2014年，广东省畜禽粪便总排放量约为9377.81万吨，折算为标准煤约4150.72万吨（具体见表2-3）。

表 2-3 2014 年广东省畜禽粪便资源量

指标	肉猪	存栏猪	山羊	役用牛	肉用牛	奶牛	存栏家禽	合计
数量（万头、万只）	3790.78	2130.10	39.84	110.40	126.14	5.42	33000	
单位畜禽饲养期内粪便排放量（kg）	1050	1460	632	8703	8200	21900	4.5	
粪便排放总量（万 t）	3980.32	3109.95	25.18	960.81	1034.35	118.70	148.50	9377.81
折标系数	0.43	0.43	0.53	0.47	0.47	0.47	0.64	
折算为标准煤（万 t）	1711.54	1337.28	13.35	451.58	486.14	55.79	95.04	4150.72

——城市生活垃圾和废水。城市垃圾直接燃烧可产生热能，或是可经过热分解处理制成燃料使用；废水可用于产生沼气。2015 年，广东省城市生活垃圾清运量为 2320.4 万吨，折算为标准煤约 331.71 万吨；废水排放总量 911523 万吨，废水中 COD 排放量 106.69 万吨，单位 COD 产生 CH₄ 的量取 0.907m³/kg，由此得出废水中 CH₄ 的可利用量为 9695.83 万立方米，折算为标准煤约 6922.82 万吨。

2. 开发利用

生物质能源应用主要包括：生物质发电、沼气利用（禽畜粪便、生活垃圾、废水产生的甲烷）、生物质液体燃料（生物乙醇、生物柴油）、生物质成型燃料等。随着生物技术的不断突破，生物质能源已进入商业应用的初级阶段。

——生物质发电。目前，广东生物质发电主要以城市垃圾及农林废弃物发电为主。至 2015 年底，广东已建成或在建的垃圾发电厂有 31 个，日处理垃圾达 36515 吨（见表 2-4）。垃圾焚烧发电比例远高于全国平均水平。

表 2-4 广东省已建或在建垃圾发电厂建设情况

序号	名称	规模 (t/日)	装机容量 (KW)
1	广州李坑垃圾发电厂一期	2×500	2×7500
2	广州李坑垃圾发电厂二期	2000	40000
3	深圳南山垃圾发电厂	2×400	1×12000
4	深圳盐田垃圾发电厂	2×225	1×6000
5	深圳宝安垃圾发电厂一期	1200	
6	深圳宝安垃圾发电厂二期	3000	
7	深圳龙岗平湖垃圾发电厂一期	3×225	1×12000
8	深圳龙岗平湖垃圾发电厂二期	1000	
9	深圳市环卫综合处理厂	450	
10	珠海垃圾发电厂	2×300	
11	佛山南海垃圾发电厂	4×350	12000
12	佛山顺德垃圾发电厂	600	12000
13	惠州市垃圾发电厂	4×200	2×6000
14	东莞横沥垃圾发电厂	2×350	2×15000
15	东莞厚街垃圾发电厂	4×150	
16	东莞市市区垃圾发电厂	1200	
17	中山市中心城区垃圾发电厂	600	12000
18	中山市南部组团垃圾发电厂	1040	
19	深圳东部垃圾发电厂	5000	
20	深圳南山垃圾发电厂二期	2×400	20000
21	东莞麻涌垃圾发电厂	1000	
22	广州市第四资源热力电厂（番禺垃圾焚烧发电厂）	3×750	
23	湛江垃圾焚烧发电项目	1000+500	
24	惠阳区垃圾焚烧发电项目	800+400	
25	肇庆垃圾焚烧发电项目	800+400	
26	博罗垃圾焚烧发电项目	700+350	
27	潮州市潮阳区垃圾发电厂	700	
28	汕头市雷打石垃圾发电厂	1200	
29	梅州市垃圾发电厂	1000	
30	汕尾市垃圾发电厂	700	
31	普宁市垃圾发电厂	800	

生物质发电目前全省累计装机容量 16 万千瓦，其中广东粤电湛江生物质发电项目（装机容量为 2×50MW）和韶关韶能生物质发电项目（2×30MW）。

——**沼气利用**。近年来，沼气已在许多农村和部分工业企业中得到有效推广应用。截至 2014 年底，累计正常使用的小型户用沼气池已达 45 万个，建设单体池容积 50 m² 以上畜禽养殖场沼气池总量达 1888 个。有效地减少了畜禽养殖业对农村环境造成的影响，改善了村庄环境卫生。其中，300 家省重点生猪养殖场共建设沼气池、污水处理池 33 万 m³，年产沼气 3500 万 m³。

——**液体燃料**。广东燃料乙醇和生物柴油技术研发水平处于全国前列，并已实现一定规模的商业化生产应用。从 1997 年起，广东开始用生物工程方法进行燃料酒精的研究和试验，1998 年完成了燃料酒精的高产优质酵母研究，并完成年产 50 万吨燃料酒精加工厂的设计。2004 年 2 月在怀集、湛江两地分别建立年产 15 万吨 13.5 万吨的燃料酒精生产基地。生物柴油生产代表性的大型企业有佛山市三水正合精细化工有限公司和深圳市东域投资发展有限公司，一些小型生物柴油企业也正在慢慢地发展壮大当中。其中正合精细化工有限公司已具有年产 5 万吨生物柴油的生产能力，在行业内处于技术领先地位，2009 年末，龙岗区农业科技推广中心与深圳市东域投资发展有限公司正式签约“小桐子生物柴油项目”，项目初期重点生产毛油供南山热电厂使用，第 2 期项目达产后可年生产生物柴油 30 万吨，可直接替代 0#柴油，供公交系统使用。

——**生物质成型燃料**。据不完全统计，至 2014 年广东生物质成型燃料加工企业超过 200 家，产能超过 300 万吨，初步形成了市场化标准化物流化的成型燃料供应体系，以及成型燃料锅炉投资建设与供热服务体系。

（四）地热能

地球地心温度高达 4500℃，地热能是唯一来自地球内部的能量，具有稳定、连续的特点和优势，人类利用的热量只是其中很小的一部分。由于地温一般可以在一定的时间上恢复，因此地热能也是一种可再生能源。

1. 资源基础

地热资源可分为四类：水热型资源、地压型资源、干热岩资源、岩浆资源。我国对常规地热资源的下限温度定义为 25℃，而在地表 200m 以内，温度小于 25℃，在目前技术经济条件下具备开发利用价值并蕴藏在浅层岩土地和地下水中的低温地热资源属于浅层地下水范畴。据地热能勘查资料显示，我国地热资源总量折合 8532 亿吨标准煤，年可利用量折合 6.4 亿吨标准煤，其中浅层中低温地热主要分布在东部和东南沿海地区。广东地热资源丰富，可开采量约每天 64 万立方米，其中天然温泉约每天 24 万立方米。目前全省发现 30℃ 以上的天然温泉点 320 处，数量仅次于西藏、云南，居全国第三位。广东地热能温度基本在 100℃ 以下，浅层中

温地热能以水热型为主，已发现温度超过 90℃的地热田有 5 处，其储量丰富，发电潜力大（见表 2-5）。

地热田的寿命一般可以达 100-300 年，但需设定合理的利用上限，以免破坏环境。据资料显示，通过对阳江新洲地热田的断裂发育、岩浆入侵情况等地质构造进行分析，其深部有可能存在干热岩。

表 2-5 广东部分中温地热资源利用情况

地点	井口温度 (°C)	深度 (米)	可开采量 (吨/每天)	利用现状	预测深部热储温度 (°C)	深部资源勘查
丰顺邓屋	91	800	9240	发电、洗浴	130-135	地质构造、地热资源不详
丰顺丰良	92	620	5757	洗浴、干燥	128-133	
潮安东山湖	102	593	——	养鱼、疗养	140-143	
阳江新洲	102	309	3100	洗浴、养殖	162	
中山虎池围	98	85	2558	洗浴	148-151	

2. 开发利用

我省地热资源探明储量有一定基础，主要以浅层水热型资源为主，具备可观的地热发电前景，开发潜力较大。从上表的统计情况看，90℃以上的地热田大部分并不是直接作为能源利用，只有丰顺邓屋应用于发电，其他仍以洗浴、疗养等简单粗放的利用为主。

——**地热发电**。地热发电稳定，调峰容易，适合热电联供。从上世纪 70 年代起，我国先后建成 7 座中低温地热发电站，大部分采用一次扩容发电。其中，由中科院建设的广

东丰顺邓屋电站是我国第一座地热发电试验装置，采用闪蒸法汽轮机组，装机容量为 300 千瓦，最高输出为 320 千瓦，长期以来各项技术指标和经济指标稳定，是目前唯一仍在连续运行的电站，为广东开发利用中低温地热发电打下了良好基础（见表 2-6）。

表 2-6 我国中低温地热发电站情况

地点	地热温度（℃）	装机容量（千瓦）	运行情况
广东丰顺邓屋	92	300	正常运行
湖南宁乡县	98	300	停运
河北怀来县	87	200	
山东招远县	98	300	
辽宁盖县	90	200	
广西象州市	79	200	
江西宜春县	67	100	

——**地热直接利用**。地热直接利用主要用于旅游洗浴、疗养以及烘干、养殖、制冷等商业应用方面。目前广东全省已有许多商业化应用点，各个点的经济效益比较显著。

从整体上看，通过自然降温利用的现象普遍存在，由于没有实行梯级综合利用模式，地热资源没有得到充分的开发和利用，资源浪费十分严重。根据有关资料显示，以掌握的地质构造和资源勘探评价为基础，采用地热水化学温标等预测方法，判断得出 5 个中温地热田的温度还有提高的空间，可达到 100-160℃之间，资源开发有较大潜力。但由于目前的地质勘探工作仅限于浅部，没有进行深部断裂及深部是否

存在岩浆或干热岩的研究分析，其地质构造和地热资源等情况不详，因而地热能作为能源的开发利用还并不成熟。

（五）海洋能

近年来，我国加大了海洋能研究与开发的力度，但由于起步较晚，受技术水平、经济成本、场址资源、维护难度、设备质量等因素制约，海洋能发展整体上还处于探索阶段。

1. 资源基础

海洋能指依附在海水中的可再生能源，海洋通过各种物理过程接收、储存和散发能量，并以潮汐、波浪、温度差、盐度梯度、海流等形式存在于海洋之中。

——**波浪能**。波浪能在海洋能中所占比重最大，波浪能发电主要用于海上设施、海岛的供电。据有关资料显示，我国波浪能资源总量约有 5 亿千瓦，可开发利用的约 1.3 亿千瓦，广东、台湾、福建和浙江资源较丰富，约占全国总量的 55%，其沿海沿岸波浪能的密度可达 $5\sim 8\text{kW/m}$ 。广东波浪能资源理论平均功率 174 万千瓦，占全国总量的 14%，粤东、粤西地区沿岸为波浪能二类资源区，海洋风能强度较大。

——**潮汐能**。潮汐能目前全国的理论蕴藏量为 1.9 亿千瓦，其中 0.21 亿千瓦可开发利用。其主要集中在东南海沿岸，以浙江、福建两省沿海地区最多，占全国的 88%。广东沿岸可开发利用的潮汐能总装机容量为 57.3 万千瓦，年可发电量

为 15 亿千瓦。

——**海水盐差能**。盐差能主要分布在长江及其以南地区，以及有大江河入海口的沿岸，理论储量约 1.14 亿千瓦，长江口、珠江口的盐差能约占全国的 81%。

2. 开发利用

广东海岸线长，岛屿众多。大陆海岸线 4114 公里，居全国首位，占全国的 1/5；岛屿岸线 2414 公里，海岛 1431 个。根据有关调查显示，广东海洋能的总蕴藏量居全国的第三位。目前广东在波浪能、海水温差能和海水盐差能开发利用方面取得一些成效，但由于技术及经验等原因，现在海洋能的利用规模还很小。若解决关键技术问题，开发利用的潜力巨大。

——**波浪能**。广东长期开展波浪能开发利用研究，积累了一定的技术和经验。2010 年，中国首个波浪能发电项目落户广东葛洲岛，是我国首个利用国外技术建设的波浪能电站，技术水平在国内处于领先。该电站装机容量为 5 万千瓦，年发电量约 3 亿千瓦时。2013 年，中科院广州能源所自主研发了 100kW 漂浮鸭式波浪能装置，并取得试验成功。在此基础上，又研制了我国唯一的鹰式波浪能装置，与鸭式装置比，鹰式装置的效率提高了 1 倍，重量降低了 1/3，便于投放，可以浮出水面之上进行维修，与其他现有的波浪能装置比，优势明显。经国际专利 PCT 检索，该专利的 14 项权利要求

均具有新颖性、创造性、可工业实施性。鹰式装置目前已经被认定为波浪能发电装置定型样机，2014 年建成平均发电功率 50kW 的波浪能装置，并在珠海市大万山岛波浪能试验场进行实验示范，为我国海洋能发展打下了坚实的基础。

——**海水温差能**。海水温差能利用的最大困难是温差小，能量密度低，其效率仅有 3% 左右，而且换热面积大，建设成本高，目前各国仍在积极探索中，我国尚未建成实海运行的实验电站。广东从 80 年代初开展温差能发电研究，研究水平走国内前列，1986 年研制完成开式温差能转换试验模拟装置，实现电能转换，1989 年完成雾滴提升循环试验研究。

——**海水盐差能**。我国海水盐差能领域还处于基础理论研究阶段，尚未开展能量转换技术的实验，离示范应用还有较长的距离。1989 年，中科院广州能源所进行了开式循环过程实验室研究，建有两座容量分别为 10 瓦、60 瓦的实验台。

（六）氢能

1. 资源基础。

氢能的原料来源于天然气、煤炭、生物质和水，来源广泛易取，没有原料方面的瓶颈。氢能利用在资源基础上实际上主要是技术基础。完整的氢能源体系包括氢的制备、储存、运输、分配与应用及其各环节的技术支撑。广东的这个产业

链体系中各环节目前仍较为落后，无论是生产制备技术领域还是装备制造领域，关键部件仍需从国外省外引进。

2. 开发利用

近年来，随着技术的突破，氢能的市场应用取得了可喜的进展。在氢制取方面，2014 年投产成功的中国石化茂名分公司 $2 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{h}$ （标准状态）煤制氢装置，是目前国内单产能力最大的煤制氢装置。该装置是茂名分公司油品质量升级改造工程的重要配套项目，主要包括水煤浆气化装置、合成气净化装置以及配套设施，以煤、炼油厂副产的高硫石油焦和纯氧为主要原料，生产出压力为 4.8MP、纯度达 97.5% 以上的工业氢气。该装置投用后，既用于满足茂名分公司汽、柴油质量升级（从国IV排放标准升级为国V排放标准）的用氢需求，又用于缓解炼油厂扩能后氢气资源不足的压力。

在氢能利用方面，2014 年 5 月底，广东省新能源汽车核心部件产业基地核心区正式挂牌落户丹灶。丹灶已集聚了一批以广东广顺新能源动力科技有限公司（下称“广顺公司”）为核心的新能源汽车核心部件企业，部分技术已达国际水平，日前该园区正筹备推进燃料电池公交车试运行。广顺公司已和科研院所一起研发了氢气压气机、增湿泵、氢气循环泵、喷射泵、燃料电池加热器等 10 多个用于燃料电池动力装置的核心零配件，其中氢气压气机、电动空调压缩机、电动水泵及电加热器 4 个产品已经通过上汽认证。最近，佛山

与南车、青岛等方达成协议，把氢能源的国家级研发中心设在佛山。另外，广东还与欧洲等国开展交流，就电解水制氢、氢气储存、氢燃料电池和电动汽车轮毂电机技术积极探讨合作前景。

二、装备制造产业发展

广东新能源装备制造主要集中在风电设备、光伏发电产品及其设备，以及光热利用设备三大领域，这三个领域在全国有着重要的地位，而其他领域则规模较小，未形成产业化。

（一）风电设备制造业

“十二五”期间，我省风电设备制造能力水平大幅提高，形成了中山明阳、阳江雅图等一批业内知名龙头企业。目前生产大型风力发电机组的主要有中山明阳、阳江雅图等公司。明阳风电 2014 年实现产值 102 亿元，装机容量 1280 兆瓦，占国内市场份额的 8%，在全国行业排名第三，其 1.5MW 平台机组设计、制造、运行和测试处于国际领先水平⁵。目前，明阳已经与广东多个海上风电项目达成合作，其中珠海桂山 200MW 海上风电场项目和湛江徐闻 48MW 海上风电场都是广东海上风电示范项目，阳江雅图风电设备制造有限公司研制 2MW 垂直轴风力发电机组。另外，在风电装备的配套技术开发方面也有取得了一定的积累，如风电控制系统、叶片

⁵ 资料来源：广东省技术经济研究发展中心，2014。

设计与风机载荷计算、风机电厂风电功率预测、风电场调度系统和微电网技术等方面（见表 2-7）。

表 2-7 广东在风电控制设备和系统方面的技术积累

机构	研发领域
汕头众业、华南理工大学广东绿色能源技术重点实验室	兆瓦级风电控制系统开发（2MW 智能化风电控制系统）
汕头大学	大型风力机空气动力学及结构动力学研究、风力机计算机辅助设计及软件开发、风力机仿真研究
华南理工大学	海上风电场关键技术研究
华南理工大学、中山大学、广东工业大学	风光互补等基于多种可再生能源联合发电的微电网技术研究

（二）太阳能光伏装备制造业

目前，广东已基本形成了从电池组件、光伏生成装备制造到相关配套系统的完整的产业链。部分太阳能光伏装备制造在国内处于先进水平，太阳能玻璃等光伏产品占据国内较大市场份额，形成了一批规模较大的龙头企业。重点领域主要有：太阳能电池及组件，光伏发电中游器件和下游应用系统生产项目，太阳能灯具、太阳能光伏并网/离网发电系统、建筑一体化幕墙建材，TCO 导电玻璃，光伏逆变器、控制器等。其中较多企业集聚在佛山三水高新技术产业园（见表 2-8）。

表 2-8 部分落户三水高新产业园的光伏制造企业

序号	项目名称	建设规模	总投资
1	广东凯盛太阳能科技有限公司	建成年产448MW 的薄膜太阳能电池生产线，五年内产能达到1000MW	中建材50亿
2	广东凯盛光电技术装备有限公司	建成国内高品质 TCO 靶材生产线； 5000m ² 厂房和年产112MW 的非晶硅薄膜太阳能成套设备； 开发四组份高转换率的薄膜太阳能电池成套设备	中建材2.5亿
3	广东中建材光电技术研究院有限公司	建设一条价值3500万的 TFEL 中试生产线及成立五个专业试验室	中建材0.5亿
4	爱康太阳能器材有限公司太阳能电池项目	太阳能电池片印刷项目（原材料硅片经过制绒、扩散、刻蚀、PECVD、印刷、烘干、检测、封装等过程）	18.2亿
5	佛山同兴太阳能器材有限公司	生产太阳能电池组件专用边框，该项目主要设备从日本引进，预计达产后年产值5亿元	爱康2亿
6	太阳能数控设备项目	项目从事精密机床、太阳能行业设备生产，机械设备、太阳能电池、组件及零配件进出口业务	普拉迪投资3亿

此外，广东汉能光伏有限公司在河源市源城区建立了以硅基薄膜太阳能电池为主要产品的研发制造基地。珠海兴业

新能源科技有限公司生产太阳能晶硅电池片、太阳能集热器、现代化组件（含 BIPV 及 BAPV 构件）生产加工。广东明阳风电产业集团目前主要研发生产高端 MOCVD 装备、高端化合物半导体微波芯片、高端空间太阳能电池芯片、高倍聚光太阳能电池芯片等产品，集团已实现第三代光伏技术和高端芯片的产业布局。

（三）其他新能源装备制造业

目前，广东全省太阳能热水器制造业已有相当的企业数量，产业集群化特征逐步显现。广东热泵产业在国内居领先地位，热泵企业的数量占到全国半数以上，其中超过 80% 规模较大的企业都聚集在广东，产品主要供北方地区应用。

目前广东一些氢能利用的装备主要来自于江浙的企业，省内尚未有规模的企业进行系统的成套化生产，仅有一些周边装置配套件的小规模生产。

此外，生物质能和海洋能利用由于尚未进入规模化商业应用阶段，其装备制造目前也还未形成规模产业，许多成套装备及其部件还是处于小规模生产或试验实验阶段，没有太多的产值。

三、存在的主要矛盾与问题

（一）自主创新能力较低

新能源技术是当今世界上尖端的高新技术，其涉及物理学、化学、生物学以及地球学等多个领域，其发展需要大量的科学试验与技术储备，需要众多的创新人才。目前广东的新能源研发创新领域无论人才还是技术投入仍然较低，新能源专业的科研机构不多，尤其是从事新能源关键共性技术研究开发的机构和人才资源更是少之又少。企业研发投入不足，缺乏高端人才，自主创新能力低，核心技术主要靠引进。。比如，风能发电机的材料、氢能的储存设备、光伏发电产品的生产线设备等等关键核心部件或装置，均需要依靠进口或省外提供。生物柴油成品油转化率低、副产物提纯困难，与生物柴油配套使用的添加剂（如抗氧剂、低温流动改进剂等）也要从国外引进。技术自给能力的偏低，影响和制约了广东新能源产业发展的竞争力及其可持续发展能力。

（二）资源开发项目落地难

广东省内适合应用于新能源的资源数量和种类繁多，但相当部分还没有形成集约有效的可利用资源，并且由于勘查评价与场地选择方面遇到困难，致使项目难于落地。

——资源勘查评价滞后。多年来我省资源勘查投入不

足，也没有形成系统的评价标准，缺乏统一的勘查与评价体系，没有长远开发的预期和规划，因而利用也较为粗放。比如全省到底有多少生物质（包括废弃物），其到底能带来多少能源资源，至今没有一个科学的勘查评价数据。

——**场地选择困难**。新能源相对于传统能源，其土地资源占用较大，无论是风能、太阳能，还是生物质能源，都需要较大面积的土地资源支撑。我省陆上风电基本以山地风电为主，这些山地大多被列入了生态和林业控制区，陆上风电选址受到很大的制约；海上风电涉及海事、航运、海洋功能区划、海洋环境保护、军事等多个部门，协调难度大；太阳能的利用，在城市由于高层建筑涉及产权、使用权问题，在农村又涉及占地面积大、农用土地性质约束等问题而难以建设。因而造成这样一种现象：广东是新能源装备制造大省、能源市场需求大省，但却是新能源应用的小省。

（三）新能源开发利用成本较高

目前新能源资源开发和制备利用的成本仍然相对较高。风能开发利用成本仍较高，尤其是海上风电，由于广东离岸多为较深海域，建设成本相对较高，又由于受台风影响较大，机器运营维护成本也高⁶。太阳能利用由于普及率不高，没有形成规模应用，因而光伏发电设备的价格仍偏高。生物质能

⁶ 海上风电的折旧费用、财务费用和维修费用占运营成本的比例要比陆上风电高出 10%左右。

制备成本也较高。据有关部门测算⁷，生物质直燃发电和生物质气化发电的成本分别为 639 元/MWh 和 624 元/MWh，是煤电成本的 1.2 倍；沼气并网发电和沼气离网发电的成本为 1.1 元/MWh 和 1.3 元/MWh，分别是煤电成本的 2.9 倍和 3.7 倍。燃料乙醇的获得价格超过 10000 元/吨，是普通汽油的 1.2 倍以上。氢能目前制备加上储运配送的成本，最低也要达到 1 元/立方米左右。而潮汐能电站比火电高 5-6 倍，比水电高 3-4 倍，比风电高 2-3 倍。

（四）对新能源应用重视不足

一是对使用新能源重要意义的观念意识淡薄。不少人习惯于使用常规传统能源，而且使用的总量越来越大，完全没有意识到化石能源的不可再生及其使用带来的环境污染。二是不重视长远发展统筹。重造轻用，只看重装备制造马上带来的 GDP，轻视新能源利用带来的可循环发展；重外轻内，对装备制造产品开拓国内市场力度不足，过分依赖国外市场，新能源装备制造产业变成高耗能产业。三是对科学开发重视不够。资料显示，广东的中温地热田地质构造位置十分有利于地热能的开发利用，但由于重视不足，具备石油等矿产资源勘探工作的技术力量和经验的广东，并没有对 1 千米以上深度的地热资源进行勘查评价，特别是干热岩的资源情

⁷ 国家发改委能源研究所、广东省农科院、华南农业大学等机构。

况勘查。地热发电一般在 180℃以上才比较经济，广东虽然拥有全国第一座地热发电站，但高温地热资源的勘查尚未开展。丰顺邓屋电站建于 70 年代，经过 40 多年的运行仍停滞在当年水平，装机容量仍处于小型发电规模，到目前为止，广东没有再建第二座地热发电站，说明邓屋电站没有发挥示范项目的带动作用，这也与不重视资源的勘查开发也密切相关。

（五）体制不顺机制不活

作为我国的战略性新兴产业，新能源产业的发展需要各方尤其是政府层面的大力扶持、合力推动。目前在对新能源的管理与服务的体制中，涉及财政、金融、发改（能源局）、科技、经信、建设、农业、国土、海洋，还有电力、供电、石油等数个部门和企事业单位，各部门各管一摊、力量分散，各部门之间也没有协同机制，也没有形成合力。目前广东的生物质能源研发由科技部门负责推进，而产业化则由市场自发进行；风电和太阳能的研发主要是由社会研究机构或企业自发进行，发改（能源局）等部门负责立项目环节，其站场建设却涉及国土、海洋、农业等部门，在建筑物上安装太阳能发电装置，其相关设计、施工、验收的规范又涉及建设部门；风能、太阳能存在的发电与接纳的矛盾，生物质能源包括氢能也面临制备与应用的矛盾，涉及生产企业与供电、石

油等部门和企业的协调难题；财税、金融等对新能源开发利用的支持找不到立足点，对于新能源的价格差补贴也不到位，大大降低了投资开发和市场消费应用的积极性。这些矛盾与问题错综复杂，也没有一个权威部门去统筹协调解决。截至 2015 年底，我省风电装机容量在全国仅排在第 17 位，在东部沿海省份中排在江苏和山东之后；太阳能利用的覆盖面远落后于云南、山东等省。目前分布式风电在国外发展已取得很大成效。2013 年，我国出台《关于分布式接入风电开发的通知》等相关文件，清晰表明鼓励风电分布式开发的态度，但广东目前尚没有配套的政策措施，分布式风电仅限于路灯等小规模试验阶段，尚未形成规模效应。

四、面临的挑战

当前，国家正在抓紧制定新能源发展规划和扶持政策，将新能源产业作为重点推动发展的战略性新兴产业，各省也在抓紧谋划发展新兴能源产业，江苏、上海、浙江等省市已制定扶持新兴能源产业发展规划，明确重点发展领域，落实具体措施，无论在工作进度及扶持力度上都领先我省。我省新能源产业发展面临诸多挑战：

一是可再生新能源的供给以目前的技术成熟度来看，其成本一方面仍难以与传统化石能源比较占优，在推广应用上费用补贴的压力较大，难以通过市场的竞争促进其迅速占领

市场扩大发展；另一方面也与一些新能源利用先进省市有较大的距离，尤其是与西部新能源资源优势省份的差距则更大。广东发展新能源仍将一段时间内负重前行，有待找到成本的减压阀。

二是可再生新能源占全省能源消费总量的比重偏低，尤其是非水可再生新能源发电量占比较低，完成国家对广东新能源占化石能源比重的任务艰巨。随着碳达峰的逼近，国家将对各省政府完成可再生能源电力配额（全社会用电量中非水可再生能源电力消费量应达到的比重）的考核将更加强化。广东在新能源资源要素相对不足，作为新能源载体的土地和近海岸线资源非常紧缺的总体环境下，完成国家新能源配额指标面临巨大压力。

三是新能源应用仍有较大的追赶距离。其中光伏发电应用与兄弟省市相比发展偏慢，2015 年底广东光电累计装机容量在全国仅排第 20 位后，不仅与西部省份有较大差距，也排在江苏、山东、湖北和安徽等中东部省份之后。赶上差距仍须付出很大的努力。（见表 1-1、2-9）

表 2-9 2015 年部分省市光伏发电装机容量（单位：兆瓦）

省（区、市）				
	累计装机容量	其中：光伏电站	新增装机容量	其中：光伏电站
总计	4318	3712	1513	1374
北京	16	2	2	2
天津	12	3	3	0
河北	239	212	89	89

山西	113	111	69	68
内蒙古	489	471	187	187
辽宁	16	7	6	3
吉林	7	6	1	
黑龙江	2	1	1	
上海	21	2	4	
江苏	422	304	165	132
浙江	164	42	90	39
安徽	121	89	71	63
福建	15	3	3	3
江西	43	17	4	4
山东	133	89	73	67
河南	41	14	18	7
湖北	49	43	35	35
湖南	29	0	0	0
广东	63	7	11	5
广西	12	5	3	3
海南	24	19	5	5
重庆	0	0	0	0
四川	36	33	30	28
贵州	3	3	3	3
云南	65	63	30	30
西藏	17	17	2	2
陕西	117	112	62	60
甘肃	610	606	93	89
青海	564	564	151	151
宁夏	309	306	92	90
新疆	406	402	131	131
新疆兵团	160	160	79	79

资料来源：国家能源局，2016

虽然发展新能源将面临诸多挑战，但发展新能源产业，是广东保障能源供给安全、调整产业结构、建设生态文明强省的必然抉择。加快新能源产业发展，是全省重大而紧迫的任务。

第三章 广东新能源产业发展前景

广东是能源消费大省，但又是能源资源小省，发展新能源具有广阔的市场和重要意义。在现有政策大力推动以及日益成熟的技术支持下，广东新能源产业将形成一定的竞争优势和市场动力，发展前景将有较大的空间。

一、市场需求前景广阔

据广东省统计年鉴数据，2015 年，广东一次能源消费总量约为 25662 万吨标煤，约占全国的 7%左右，人均一次能源年消费 2.37 吨标准煤（按常住人口计）。全省人均资源占有量仅为 33 吨标准煤，约为全国的二十分之一，能源自给率只有 12.4%，石油对外依存度高达 70.4%，远高于全国 30% 的石油对外依存度。假设一次能源消费结构不变，随着经济进一步增长和人口日益增多，全省能源缺口将逐步扩大。

此外，生态环境污染问题也对新能源产业发展提出了迫切要求。尽管广东大气污染总体程度在全国相对较低，但省内局部区域大气污染形势依然严峻，珠三角城市群的大气污染在全国处于相对严重的水平。近年来，珠三角区域超标天数中以 PM_{2.5} 为首要污染物的天数最多，占 63.2%；其次是 O₃ 和 NO₂，分别占 31.9%和 4.8%，区域内 PM_{2.5} 平均浓度为 47 微克/立方米，省内所有市均超标（国家环保部，2014）。

因此，为缓解全省能源供给的安全压力，还广东更多的蓝天白云，开发利用太阳能、风能、生物质能、地热能 and 氢能等新能源，有着迫切的应用前景。同时，广阔市场又可带来规模效应和范围效应，进一步降低平均生产成本，从而促进新能源应用的推广。

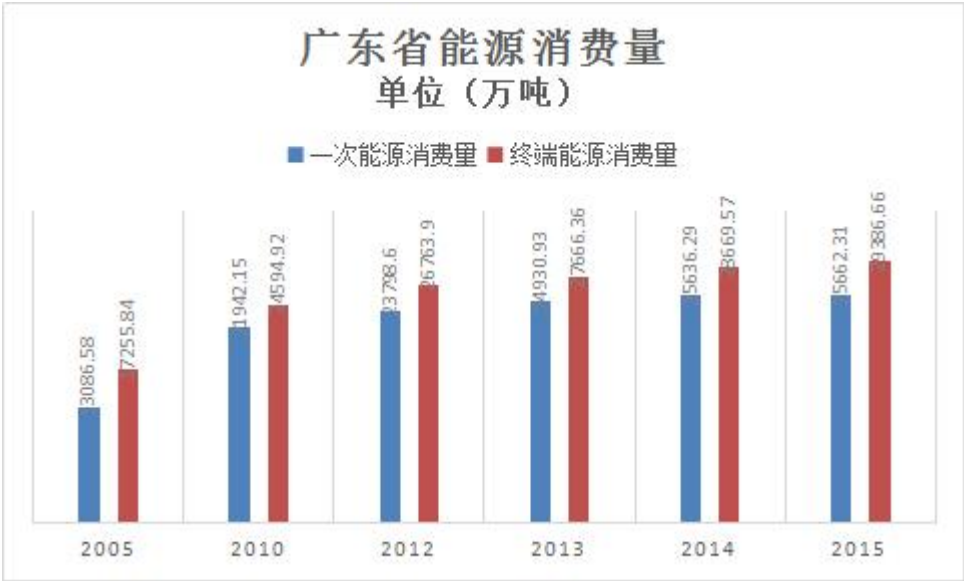


图 3-1 广东省能源消费量

数据来源：广东省统计年鉴

二、政策扶持力度加大

近年来，广东各级政府部门出台多项政策，对发展新能源产业给予了大力支持。

在风电方面，2012 年省能源局委托省设计院编制《广东省海上风电场工程规划》，为广东发展海上风电探索了一条“统一规划，有序开发”的路子，截至 2015 年，广东风电累计

并网装机容量达到 246 万千瓦。

在光伏发电方面，2014 年发布的《广东省人民政府办公厅关于促进光伏产业健康发展的实施意见》及《广东省太阳能光伏发电发展规划（2014-2020 年）》提出，全省光伏发电总装机容量到 2020 年要达到 400 万千瓦。

在生物质能方面，2006 年出台的《广东高科技产业发展“十一五”规划》提出，推动农林废弃物发电、城市垃圾焚烧发电和垃圾填埋气发电，建设生物质发电装置。2009 年出台的《广东省人民政府中国科学院全面战略合作规划纲要（2009-2015）》将发展生物质等新能源作为重点合作领域。

在地热能方面，《广东省地质勘查“十二五”规划》提出，“十二五”时期开展浅层地热资源调查评价、深部地热资源勘查，建设地热资源开发利用示范工程，建立地热资源勘查开发综合利用示范基地，加强对具有地热资源良好条件的山区县（市）的勘查开发，并在项目、资金投入等方面优先扶持。

在海洋能方面，由国务院 2011 批复的《广东省海洋经济综合试验区发展规划》明确提出，将海洋能等可再生能源作为广东海洋战略性新兴产业发展的重点之一。

多项政策的出台实施，为我省大力发展新能源产业提供了坚强的保障。

三、工艺技术日趋成熟

广东在风电、光电及生物质能等新能源行业上具有一定的技术基础和产能条件，对有效提高能源利用率的技术研发上近年来也不断取得进展，对传统能源的竞争力也在不断提高。

广东风电设备制造产业已有相当规模，具有风电厂建设与维护、风电控制系统方面的雄厚技术基础，而且处于南方电网负荷中心，具有并网枢纽消纳的区位优势。

太阳能光电装备制造业也基本形成了从电池组件、光伏生成装备制造到相关配套系统的完整的产业链，部分太阳能光伏装备制造技术在国内处于先进水平，在国际上也有相当的技术地位。

在生物燃料制备技术、沼气发电技术、垃圾焚烧发电技术方面，广东企业积累了多年的经验，并获得一定的专利与技术成果，其工艺技术目前处于全国领先水平。

四、成本渐具竞争力

新能源的成本，是能源替换的重要考量因素。因此，研究新能源的成本，从而找到降低新能源成本的路线与模式，是新能源产业发展的关键一环。

（一）综合成本

世界能源委员会（WEC, World Energy Council）和彭博新能源财经（BNEF, Bloomberg New Energy Finance）对多种能源的平准化发电成本（LCOE, Levelized Cost of Electricity）进行了分析。LCOE 是一种比较不同发电技术成本的方法，指项目达到特定收益率所需设定的电价，由于存在诸多地区差异，所以该分析用于确定全球范围的成本情景区间。为能够在相同基准上比较各类发电技术，在核算发电成本时不包括补贴等支持性措施带来的收益，也不考虑接入电网的成本以及为维持电力系统的稳定和灵活所产生的平衡成本。

LCOE 计算公式如下所示。其中， C_n 是总支出（如果有债务支出也包括在内）； B_n 是其他收入来源，如可能存在的税费补贴等（在 WEC 和 BNEF（2013）的分析中设为 0）； AEP_n 是生产的电能； r 是贴现率； N 是研究时间跨度； n 是研究期中的年序号。

$$LCOE = \frac{\sum_{n=0}^N (C_n - B_n)(1+r)^{-n}}{\sum_{n=0}^N AEP_n(1+r)^{-n}}$$

国际能源署（International Energy Agency, IEA）和核电源机构（NUCLEAR ENERGY AGENCY, NEA）于 2015 年年底共同发布《Projected Costs of Generating Electricity, 2015

Edition》，文中列举了不同国家不同能源的平准化发电成本。其中，中国在 3%、7%和 10%三种贴现率水平下部分能源的平准化发电成本，如下图。

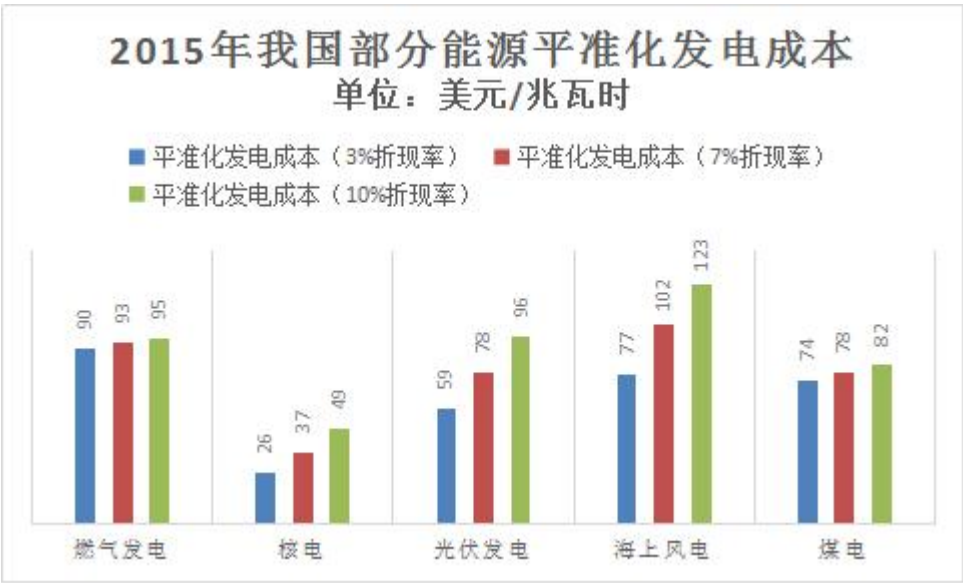


图 3-2 我国部分能源平准化发电成本

数据来源：IEA,NEA 《Projected Costs of Generating Electricity, 2015 Edition》

从图中可看出，除核电外，我国海上风电和光伏发电在较低贴现率水平下的平准化成本（考虑碳排放）比煤和天然气成本开始有得一拼。因此，广东海上风力发电和光伏发电领域，可逐渐摆脱财政补贴，而通过大幅提高并网率或降低弃风率、弃光率，则可大规模市场化商业化发展。在其它新能源领域，综合运用财政贴息、绿色金融等方法支持降低贴现率，从而降低成本，达到商业化可行。

随着应用规模的不断提升，广东新能源产业相对全国市场整体水平，将逐步形成一定的成本优势。

（二）风电成本

1. 陆上风电

自 2009 年中开始，由于建设成本的不断降低和容量系数不断提高，陆上风电的 LCOE 下降了 19%，超过了风机成本的降幅。

对于陆上风电来说，风机成本约占初始投资的 60%，是初始投资成本中最大的部分。目前世界上 40% 的风机由中国生产。当下市场上老式风机和新式风机的价格差异越来越大，老式风机价格日趋低廉，而新式风机的价格趋于昂贵。新式风机更适用于低风速地区的风电开发项目，它能够提高风能和电能的转换效率，由此可带来 LCOE 的降低。

2. 海上风电

由于离岸距离加大带来的项目成本增加，以及由于海上的建设环境恶劣带来的成本跃升，海上风电的 LCOE 慢慢上升。不过由于全球的海上风电项目目前仅有 50 个，主要分布在西欧，海上风电 LCOE 的地区差异和整体走势目前还未充分显现。

对于海上风电来说，其运行维护成本占 LCOE 中的比例明显高于陆上风电，风机成本约占初始投资的 30%~40%，与陆上风电相比，规模也是造成 LCOE 差异的一个重要因素。海上风机的规模可达 6MW，远远超过陆上风机规模。另外，在海中建设地基带来的建设成本也会因海底深度的不同而

相差甚远，这也是与陆上风电 LCOE 产生差异的一个因素。

（三）太阳能成本

1. 光伏发电

近几年来，中国逐渐主导全球光伏制造市场，光伏组件和配件的成本都在不断降低，光伏发电 LCOE 也随之降低。

——多晶硅光伏_无太阳追踪

大规模光伏电站的初始投资成本中的最大部分是光伏组件成本，接着是安装成本和电气设备成本，逆变器成本占总成本的约 10%。最近由于供给过剩带来的市场震荡使得很大一部分光伏电池、晶片和光伏组件制造商退出市场，同时也使光伏系统价格较 2010 年价格下降了 57%。目前，尽管市场仍存在供给过剩，但价格已趋于平稳，且未来预计不会进一步大跌。

标准光伏（无太阳追踪）发电项目之间 LCOE 差异主要由不同地域的容量系数不同引起。在北欧地区容量系数为 9% 的多晶硅光伏（无太阳追踪）项目的 LCOE 超过 600 美元/兆瓦时，成为欧洲最贵。而在印度和中国，低初始投资成本和优质日照大大降低了 LCOE。在中国，专门面向国内市场生产的光伏组件的价格远远低于出口光伏组件，另外，市场高度竞争、劳动力价格低廉，大大降低了项目的 LCOE。中国多晶硅光伏（无太阳追踪）项目的建设成本可达到 140

万美元/兆瓦或以下，如果这个项目建在日照充足的内蒙且容量系数达到 20%或以上，则项目 LCOE 可实现 80 美元/兆瓦的水平。

——多晶硅光伏_太阳跟踪

在直接日照水平高的地区建设多晶硅光伏项目可采用太阳跟踪系统。如果选点适当，采用该系统所获得的经济收益远超过额外增加的成本，从而可大幅降低项目的 LCOE。目前这种跟踪系统的设备成本约为 50 万美元/兆瓦。和采用固定系统的项目相比，安装了太阳跟踪系统的项目的 LCOE 的运行维护成本比例要相对更高。

——光伏_薄膜

目前，大型薄膜光伏发电项目的成本与性能和多晶硅光伏发电项目相差无几，只不过在特殊气候条件下有些薄膜项目的容量系数可比多晶硅项目提高 1%~2%。当前，薄膜组件的定价高于多晶硅，约为 0.4 美元/瓦。由于晶硅组件价格降低、晶硅组件性能提高，薄膜光伏发电项目总初始投资成本和运行维护成本乃至 LCOE 都和晶硅光伏发电项目逐渐趋于一致。

——聚光光伏

目前，聚光光伏发电仍处于发展初期，且仅出现在具有高水平日照的某些区域。价格指标显示，即便在适宜地区建设聚光光伏项目，其 LCOE 也仍居于高位，但在目标市场（如

中国西部日照充足的地区) 成本预计将在两年内会有较大幅度下降。由于广东年平均日照量并不具有明显优势, 使得聚光光伏的 LCOE 水平较高, 与中国西部省份相比竞争力不显著。

3. 光热发电

如前所述, 光热技术中又包含了多种处于不同发展阶段和应用水平的技术门类。其中, 抛物线型槽最广为应用, 塔式和日光反射式次之。目前, 光热发电的成本约为传统的煤电和天然气发电的三倍, 度电成本比光伏发电还要高 50%。分析表明, 随着大规模商业应用不断扩大, 一个抛物线型槽(贮存) 发电项目的度电成本将从 2012 年的 300 美元/兆瓦时降至 2020 年的大约 120-150 美元/兆瓦时。

——光热_抛物线型槽式

抛物线型槽式是光热发电技术中最成熟的一种, 其项目初始投资成本中最大的部分为太阳能聚热器 (solar field component) 的成本, 其它初始投资成本包括热传导流体 (HTF, Heat Transfer Fluid) 和传动装置 (powerblock)。

抛物线型槽式光热电厂可配备热贮存装置, 将热能保持将近 6 个小时。额外的热能装置将提高电厂建设的初始投资成本, 但也会显著提高容量系数, 理想情况下可能提高至 40%~50%。配备热贮存装置的经济性在于, 它使热能具有可配送性, 降低太阳能的间歇性。抛物线型槽式光热发电的

LCOE 最高可能达到 450~550 美元/兆瓦。

——光热_塔式和日光反射装置

塔式和日光反射发电项目中，太阳能聚光器（heliostat field）和传动装置（powerblock）是 LCOE 中最大的直接成本，二者约占平准化度电成本的 40%。包括意外事故和服务在内的间接成本和其他非设备成本约占 LCOE 的 26%。在塔式和日光反射发电项目中增加溶盐热贮存系统对 LCOE 产生的影响，与在抛物线型槽式光热电厂加装热贮存装置差不多。

（四）生物质能成本

1. 生物质焚化发电

生物质焚化发电主要有农业废弃物、能源作物、林业废弃物和生活垃圾等原料来源。由于原料的特性不同，生物质发电的成本又有很大差异。此外，堆填区产生的沼气取决于垃圾填埋区的成分，一般而言，甲烷和二氧化碳各占 50%。生物质焚化发电的初始投资成本服从规模经济特征：10MW 以下小电厂的单位容量成本可达到 500 万美元/兆瓦，而较大规模电厂则可降至 150 万美元/兆瓦。

2. 生物质液体燃料

生物质液体燃料分燃料乙醇和生物柴油两大类，其原料主要来源是可以产生可燃液体的生物质材料。不同的原料有

不同的购进成本，因此其成本差距较大。如按折纯汽油（柴油）算，目前一般产出成本大致在 5000 元/吨到 10000 元/吨之间。

3. 生物质固体废弃物

与生物质焚化发电不同，固体废弃物发电不仅不需要支付原料费用，反而还能够因处理垃圾而获得收益。但这个收益与垃圾堆填区的空间和这些地点的垃圾倾卸费用有关。

4. 生物质气化发电

生物质气化发电站一般采用两种技术之一：一是固定床气化，一是流化床气化。在本报告所列举的四类生物质发电技术中，生物质气化发电技术综合成本暂还难以评估。

（五）地热能成本

地热技术在可再生能源技术中属于相对较成熟的技术，相对于新的风电和太阳能技术来说，其成本受更多因素影响。与其它可再生能源不同，地热站的成本更多发生于钻井测试资源可得性的过程中。钻机及相关成本是建设地热站的最大成本，约占总成本的 55%；钻井失败率越高，井越复杂，钻井成本就越高。

地热双循环发电技术是目前最成熟的地热技术，相对于注水发电来说，属于中低温（74-199℃）储能技术。双循环发电技术占全球地热发电装机容量的约 13%。美国和新西兰

是目前双循环发电技术最先进的国家。注水发电技术是全球地热发电装机容量中的主力，约占 70%，其温度一般超过 200°C。技术的先进与否，将决定成本可否大幅降低。

（六）海洋能成本

全球共有 12 家公司做海洋能发电技术开发并致力于商业化推广，但到目前为止所有的海洋能发电项目都处于试验阶段。这些公司的市场发展方向是 2013 年后在少数海洋高度富集地区的水中建设大型商业装置，比如苏格兰、澳大利亚和韩国。过去几年，技术开发商和生产商已在欧洲等地区的项目示范中的过程中逐步掌握了技术的实际成本，潮汐发电和波浪发电技术的 LCOE 处于上升阶段。英国碳基金（carbon trust）对这些技术做了很多研究，其结果显示，海洋能发电将最终在电力供应总量中占到 20%。2012 年 6 月 27 日，英国公布了对潮汐和波浪发电项目的固定补贴政策，补贴水平约为 305 英镑/兆瓦时，希望以此推动更大规模的商业化应用。

1. 潮汐发电

由于缺乏规模化应用，目前还难以准确估算潮汐能发电技术大规模安装和运行后的实际成本。初步的试验项目表明，初始投资成本可能在 650 万美元/兆瓦和 1600 万美元/兆瓦之间。由于已建成项目的成本包括了案例示范，所以很可

能 1MW 以上规模项目的最大投资成本会下降。另外，目前可能严重低估了潮汐发电的运行维护成本。

2. 波浪发电

波浪发电技术比潮汐发电技术的发展慢。要到 2017 年以后，规模化应用的兆瓦级项目的数量才有可能快速增加。和潮汐发电项目一样，由于仍处于初期发展样机试点阶段，缺乏规模化应用，所有地区的波浪发电项目的初始投资成本在很大范围内变动，因此目前发电的总成本尚未形成市场价格。

（七）氢能成本

作为二次能源，氢能资源广泛存在于水之中，廉价、简便制氢是开发氢能源的关键。氢能源可用于诸多领域，在火电行业可用作冷却剂；在冶金行业可用作还原气和光亮剂；在有色金属行业可用作燃气和还原气；在化工行业可用作加氢还原原料（如维 C、化纤、糖醇、炼油重整等）；在建材行业可用作浮法玻璃的保护气；在新材料行业可用作 LED 的载气，蓝宝石和石英的主要燃气，光纤的生长剂；在宇航行业可用作运载火箭的推进剂；在煤化工可用作主要反应原料。

氢能源的制取方式按原料来源不同分为几类（如图 12 所示），不同类别的成本也有所不同，目前最低的为 0.5 元/

立方米左右。以下是几种制氢方式的比较（见表 3-1）。

表 3-1 几种制氢方式的比较

制氢方式	优点	缺点	适用范围
化石原料制氢	①量大 ②成本较低	①依靠煤，焦，石油等化石原料 ②制氢工艺复杂投资成本大 ③生产过程中都有排放，对环境影响大 ④氢气组分复杂，有些成分对内燃机，燃料电池有较大影响	①一般用于自身生产过程需要 ②就地消化，外供较少 个别有多余量的可以利用
化工原料制氢	①量大 ②成本较低	①成本受季节等需求因素影响波动较大 ②生产过程有一定排放对环境有影响 ③氢气组分复杂，有些成分对内燃机，燃料电池有较大影响	①一般适用工业应用 ②大企业生产过程中有多余量也可以利用
工业尾气制氢	①成本较低 ②量较大 ③能体现综合利用和循环经济	①受主产品影响，产量波动大，价格波动大 ②气体组分复杂，个别元素对使用气体设备影响较大 ③需要长距离运输	①就近消化最好 ②应用于可开可停的产品生产 ③不适应常年稳定使用
水电解制氢	①工艺成熟，安全性高，自动化程度高 ②无任何排放，对环境绝无影响 ③可利用可再生能源，如：水能，风能，太阳能等 ④可优化电网需求侧管理，充分利用廉价“谷电” ⑤副产氧能利用可让氢的成本进一步优化	①单纯从电耗看，耗电较大。 ②在电价较高情况下制氢成本较高 ③一次投资较大	①配合 HCNG 的推广可在最佳范围布点，且产量任意可选。 ②不受季节及其他生产环节影响便于长期稳定供氢
各种新的正在研发的制氢方	①前沿技术，世界国内很多都在研发，前途无法估量	①均处在研发阶段，离商业运行还尚有距离。	无法评估

法	②更节能，更环保		
---	----------	--	--

资料来源：毛宗强、张碧航，2014

（八）传统能源成本

1. 燃煤发电

在欧洲和澳大利亚，新建燃煤电厂面临着未来不确定的煤碳价格变动，这是投资者认为煤电具有高风险的最主要原因。尽管如此，由于核禁令和其他市场因素，德国仍有可能在未来几年中新建燃煤电厂，南美和东南亚国家的煤电也在增加，这都有可能推高煤价。在不考虑碳排放情况下，中国是世界上燃煤发电成本最低的国家，其初始投资成本在 66 万美元/兆瓦左右徘徊，该水平低于世界平均水平 80%。中国煤电的 LCOE 约为 35 美元/兆瓦时，比西欧或美国同等技术煤电项目低至少 50%。如果采用当地更低成本的煤炭，比如内蒙地区火电厂使用当地的煤，发电成本将比上述数字更低。

2. 燃气发电

天然气联合循环燃气发电技术（CCGT）的经济性和竞争力主要取决于天然气的成本。在美国，页岩气的大规模开采使得天然气价格降至 3-4 美元/百万英热(USD/MMBtu)。在欧洲，天然气价格高达 10-12 美元/百万英热，几乎是美国的三倍。尽管欧洲对煤电征收碳税，但目前的碳税水平（5 欧元/吨 CO₂）还难以使天然气发电价格低至煤电的水平，碳价

格需要达到 40 欧元/吨 CO₂，才能使天然气和煤发电处于相同价格水平。在亚洲，天然气价格更加高昂。日本的天然气全部依赖进口，单位价格高达 16-18 美元/百万英热。

能源价格高度影响天然气联合循环燃气发电技术的成本。美国 CCGT 发电的 LCOE 在 60 美元/兆瓦时至 70 美元/兆瓦时之间。日本新建的 CCGT 发电站，LCOE 约为 150 美元/兆瓦时。

3. 液体燃料

燃料油受国际石油价格波动影响很大。国际原油价格近 20 年来曾经从 10 多美元/桶上升到 130 多美元/桶，近两年又跌至 30 美元/桶左右，最近又回升至 50 多美元/桶。近期我国国内汽柴油批发价降至 6000 元/吨左右。这对于接近 10000 元/吨的生物质液体燃料，其替代难度增大。

4. 核电

不同地区的核电成本差异很大。由于核反应堆需要巨额的初期投资，核电的 LCOE 主要由初始投资成本决定，受铀价格的影响很小。全球比较高端的核电是法国和芬兰在建的欧洲加压反应器，成本约为 700 万美元/兆瓦。比较低端的核电是中东（比如迪拜）的 5.6GW 的 Barakah 核电站，其成本约为 360 万美元/兆瓦。和其它发电技术相比，核电的规划和建设周期很长，因此核电项目常出现成本超支问题。

五、分析小结

综上所述，广东省巨大的能源缺口以及相对严重的环境污染问题，为新能源产业发展提供广阔的市场空间，并迎来各级政府、社会组织、群众等多方面大力支持。同时，在现有技术支持下，风电、光电等部分新能源产业相对传统能源产业优势凸显，具备较大规模替代传统能源的基础，在适当的财政、金融支持下，新能源产业的发展将有望得到提速。

第四章 广东新能源产业“十三五”发展思路

一、总体方向

广东新能源产业发展，应全面贯彻落实党的十八大精神，紧紧围绕中央对广东“三个定位、两个率先”的总体目标要求，按照创新、协调、绿色、开放、共享五大发展理念，主动适应和引领经济发展新常态，紧紧把握全球能源变革重大机遇，坚持创新驱动、改革引领、开放合作、集聚发展，增强新能源技术自主研发能力，构建新能源完整产业链条，营造新能源产业良好发展态势。坚决推进能源供给侧结构性改革，增强新能源对环境保护贡献核心作用，提高资源综合利用水平，抓好重点领域提升工作，按照“创新驱动，有序推进；政府引导，市场运作；重点突破，综合利用”原则，坚持原始创新、集成创新与引进消化吸收再创新相结合，坚持资源开发与经济、社会、环境相协调，坚持市场开发与产业发展相促进，重点加强新能源领域技术创新，推动新能源产业发展体制机制创新，大力提高新能源开发利用水平和产业发展核心竞争力，扩大新能源应用市场，做强新能源制造产业，提升新能源服务水平，推动广东新能源产业实现跨越式发展，为广东加快形成以创新为引擎的经济体系和发展模式提供重要支撑。

二、发展目标

到 2020 年，广东省新能源自主创新能力显著增强，市场规模明显扩大，新能源产业体系基本形成，成为广东省现代产业体系中的重要产业，新能源占全省一次能源消费的比重达到 3.5%；到 2030 年，新能源产业发展进一步加快，新能源占全省一次能源消费的比重达到 7%。

——**风能**。有序推进陆上风电开发建设，加快开发海上风电，形成风电的规模化集聚开发。加快建设大型海上风电场，开展风电场规模化智能化开发与运行、海上风电场施工等关键技术与设备的研发与应用，建设风电技术测试与产业监测公共服务平台，根据广东省沿海风能资源及其分布实际情况，按照“统筹协调、合理布局、节约用海、保护环境”的原则，规划布局全省海上风电场址，促进海上风电优质有序开发利用。海上风电规划和建设应符合海洋功能区划、岸线规划、重点海域区域性海洋环境保护规划及海洋灾害防御工作的要求。加快推进阳江等风电装备产业项目建设，打造风电装备产业集群，通过风电的开发建设带动风电装备制造业、风电服务业、海工工程等相关产业发展，形成我省风电设计、建设、运营、维护、咨询等为一体的系统集成服务能力。到 2020 年，实现 5 兆瓦以下多种风机机型的批量化生产和产业化，除满足本地需要外，实现批量出口，同时，实现 5 兆瓦及以上大型海上风电机组的制造和示范应用，装备

制造产业产值实现 1600 亿元；全省风电装机容量达 800 万千瓦（其中海上风电装机 300 万千瓦）。

——**太阳能**。加快推进分布式光伏发展，形成多种形式的太阳能综合利用，推动太阳能发电成本快速下降，大力发展太阳能集成应用技术，促进先进光伏技术产品应用和产业升级。加大力度推进地面光伏电站建设，充分利用建筑物屋顶资源，以及荒山荒坡、设施农地以及海岛滩涂资源，发展地面、棚面、水面分布式光伏发电。加快推进具有稳定用电负荷、连片屋顶资源的产业转移工业园分布式光伏发电规模化应用，建设厂区光伏电站，优化工厂用能结构。加快研发高效晶硅、薄膜太阳能电池及组件和高转换效率逆变器，通过光伏发电大规模应用促进光伏装备和产品制造业发展，打造太阳能光伏产业集群。到 2020 年，太阳能装机容量力争达到 400 万千瓦（摘自《广东省太阳能光伏发电发展规划（2014-2020 年）》）。太阳能装备制造产值方面，光电产业产值 2000 亿元，光热产业产值 150 亿元。

——**生物质能**。加快推进生物质能综合利用，加快推进燃料乙醇和生物柴油生产项目建设，配套乙醇汽油推广应用政策；提升垃圾发电、沼气利用技术水平。积极推进生物质资源热电联产，在部分市县建设一批生物质成型燃料应用示范点，丰富和创新生物质能利用方式和途径。加强非粮生物燃料技术研发，建设燃料乙醇生产基地。统筹开展秸秆资源

能源化利用，积极发展成型燃料，实现小城镇和农村能源清洁化，鼓励发展非粮作物燃料乙醇。研究农林废弃物（农作物秸秆、畜禽粪便、林业剩余物等）和新型生物质资源的清洁收储、高效转化等新理论、新技术，使农林生物质能高效利用技术取得突破性进展，利用率大幅度提高。到 2020 年，**生物废弃物发电**：对大中型畜禽养殖场、生活废弃物的处理形成沼气，发电的装机容量分别达到 160 万千瓦、300 万千瓦，沼气利用达 4 亿 m^3 。**生物液体燃料**：建设能源果林 500 万亩以上，种植木薯和高产出能源用果，并充分利用林果废弃物，同时加快纤维素燃料乙醇实现商业化生产，实现燃料乙醇 15 万吨、生物柴油 10 万吨产能规模。**生物质颗粒成型燃料**：实现生物质颗粒成型燃料小型独立式发电应用。开展新型生物能源开发、有机废弃物及气态碳氧化物资源的生物转化、重污染行业生物过程替代等研究，形成生物技术引领的新型工业能源发展路径。

——**氢能**。加强副产氢气、天然气制氢、煤制氢、风能制氢、生物质能制氢技术与装备的研发和推广应用，加快氢燃料电池汽车和氢内燃机汽车研发及其产业化。加快完善氢能产业布局，推进氢气制备、储运、加注基础设施建设。到 2020 年，制氢技术、效率 and 安全性达到国内先进水平，实现制氢系统集成。氢储能成本达到商业化应用水平，氢储能系统与风电场具有成熟适配性，能够稳定协调氢储能系统与电

网的综合调峰控制，在广东省内实现氢能输配规模化应用。

——**地热能**。加快推进地热能资源梯级综合利用。加大地热资源的勘察投入，重点加强浅层低温地能开发利用。加强资源管理控制，在用热需求集中、资源条件优越和地质条件适宜前提下，积极发展空气源热泵，适度发展土壤源热泵和地下水源热泵。实现地热能资源集约、高效、合理利用，防止粗放滥用造成资源流失。鼓励水热型地热资源的梯级利用，综合开发地热能供暖、洗浴、温室种植及养殖等多种利用模式，探索适合地热能开发利用的经营模式。到 2020 年，地源热泵累计推广规模达到 300 万平方米，在地热能资源条件较好的地区建设小型中低温地热发电站试验工程。

——**海洋能**。积极推动海洋能发电，加快产业化发展步伐。到 2020 年，潮汐能、小型波浪能试验电站初步发展，力争建设成为国家海洋能发电技术示范基地。跟踪国际海洋能技术和产业的发展方向，在天然气水合物（可燃冰）、深海矿产勘探与开发、海藻生物质能等领域，积极推进海洋能资源综合利用关键技术研发和产业化应用。

——**储能技术和智能电网**。开展储能技术方向的重要系统、关键部件、大型装备、新型材料和重大平台的研究，推进液体燃料储能、大容量储能等技术研发及应用。到 2020 年，以锂离子电池、钠硫电池、液流电池为代表的大容量化学储能装置容量达到数十兆瓦甚至数百兆瓦，转换效率达到

90%，在集中式调峰、调频、应急以及分布式负荷管理领域得到广泛应用。积极发展智能电网技术，重点加强特高压输电、柔性输电、大规模可再生能源并网与消纳、电网与用户互动、分布式能源以及能源互联网。初步建成满足新能源并网的广东全省范围智能电网。

表 4-1 广东省新能源发展目标

新能源指标	单位	2012 年 (实际)	2020 年	2030 年	年均增长% (至 2020 年)
新能源供应量	万吨标准煤	220	1507	3331	27.19
新能源在能源需求中占比	%	0.75	3.5	7	21.23
风能发电					
装机容量	万千瓦	150	800	2000	23.27
年发电量	亿千瓦时	27	240	420	31.40
太阳能光伏发电					
装机容量	万千瓦	8	400	1000	63.07
年发电量	亿千瓦时	0.8	30	150	57.31
太阳能热利用					
热水及其他	万平方米	300	2000	6000	26.76
生物质能发电					
装机容量	万千瓦	46	460	700	33.35
年发电量	万千瓦时	23	100	200	20.17
沼气利用	亿立方米	2.6	4	10	5.53
生物燃料	万吨	0	25	100	
能源林果基地	万亩	0	2	50	
氢能利用					
氢能汽车	台	0	500	10000	
地热、海洋能发电					
装机容量	万千瓦	0.03	5	20	89.55

年发电量	亿千瓦时		1.5	6	
地热热利用	万平方米	50	300	600	25.10

注：1.表中数据来源参考广东省发展和改革委员会能源局、国家发改委能源研究所有关报告。

2.本表的新能源不包括水能及核能。

三、发展路线

风能：发电并网与非并网协同发展

风电的发展路线一是规模化并网模式，二是离网或非并网模式。在规模化并网发电模式下，电网公司就是发电企业的销售终端。只要有风有电，电网公司照单全收纳，发电企业就可兑现所有收入。这对于风能发电企业的销售来说相对简单，因此现在风电企业普遍以这种方式为主要模式运营。离网模式目前则尚还未能普遍使用。非并网风电对于风能利用来说，则是一种全新的能源利用模式，其销售终端不再是传统的单一电网，而是风能发电企业不通过大规模并网，而直接通过适应风能发电负荷波动大这一特性的高耗能产业（如氯碱工业、海水淡化、电解铝工业、电解水制氢等），来实现能量的转换供应。其核心是通过一些可弹性时间消耗电能的产业，在生产过程中实现对风能电力的全部收纳，从而置换出更多的能源，一方面避免了弃风弃电现象，另一方面调平了用电的峰谷之差。

下面是风电并网式和非并网式示意图（见图 4-1，4-2，4-3）。图 4-1 是目前主要模式的并网发电。这种方式要求发

电与用电必须负荷十分匹配，但现实中前后两者往往是不匹配的，这种模式下风电对电网冲击较大，要求中间的电网要有配套调峰功能。实践证明，若没有火力等传统能源发电调峰时，风电在电网中贡献率一般难以超过 10%。图 4-2 离网式风电模式是通过中间的一个蓄电功能环节，来调节发电用电的供求双方的匹配问题。试验和运行表明，风电经蓄电后为负载供电，利用效率降低 30%左右，投资却增加约一倍。以目前的技术来看，这种模式解决方案还面临很多难题。图 4-3 则是一种新的尝试。这种模式的思路为风（光）/网协同直接对负载供电，此时风电、网电相互独立、互不干扰，协同为负载供电。在这种模式下，风能利用充分优化，成本降低，可实现风电高效、低成本全部利用⁸。



图 4-1 并网型风电模式

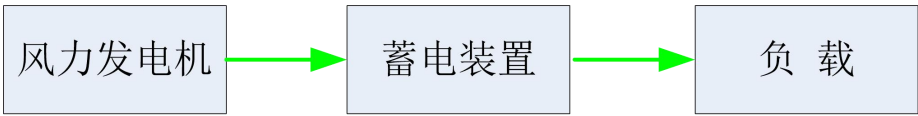


图 4-2 离网型风电模式

8. 根据江苏发改委宏观经济研究院顾卫东的研究成果。

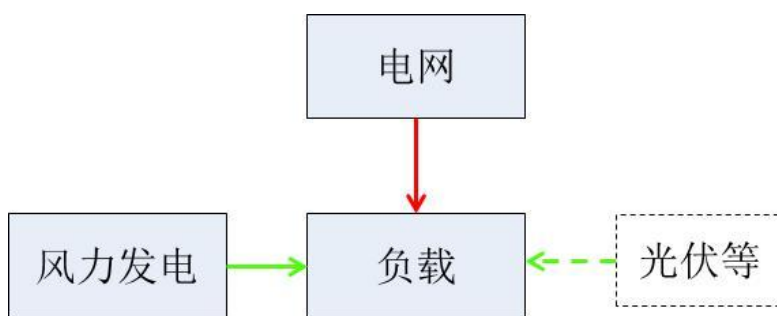


图 4-3 非并网风电模式

根据非并网风电的技术原理，广东可考虑在部分产业领域向非并网风电模式方向发展，通过利用互动耦合技术，采取风电、网电、光伏电共同为具有重大能源需求的高耗能行业协同供电模式，推动单一的传统规模化并网模式向与非并网模式并重发展，以提高风电利用效能。（见图 4-4）

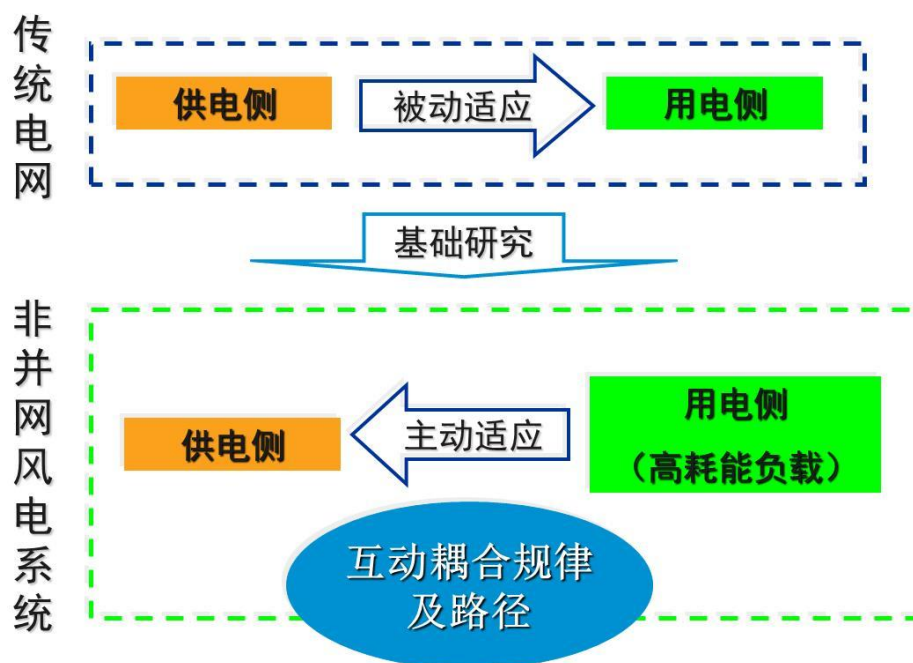


图 4-4 传统电网向非并网风电系统的转变

原图来自于：顾卫东，2013

太阳能：规模集中并网与分布式独立发电同行

太阳能应用范围比较广泛，按照运行及组成方式不同，太阳能光伏发电系统可分为：并网光伏发电系统、独立光伏发电系统、混合光伏发电系统。（见图4-5）

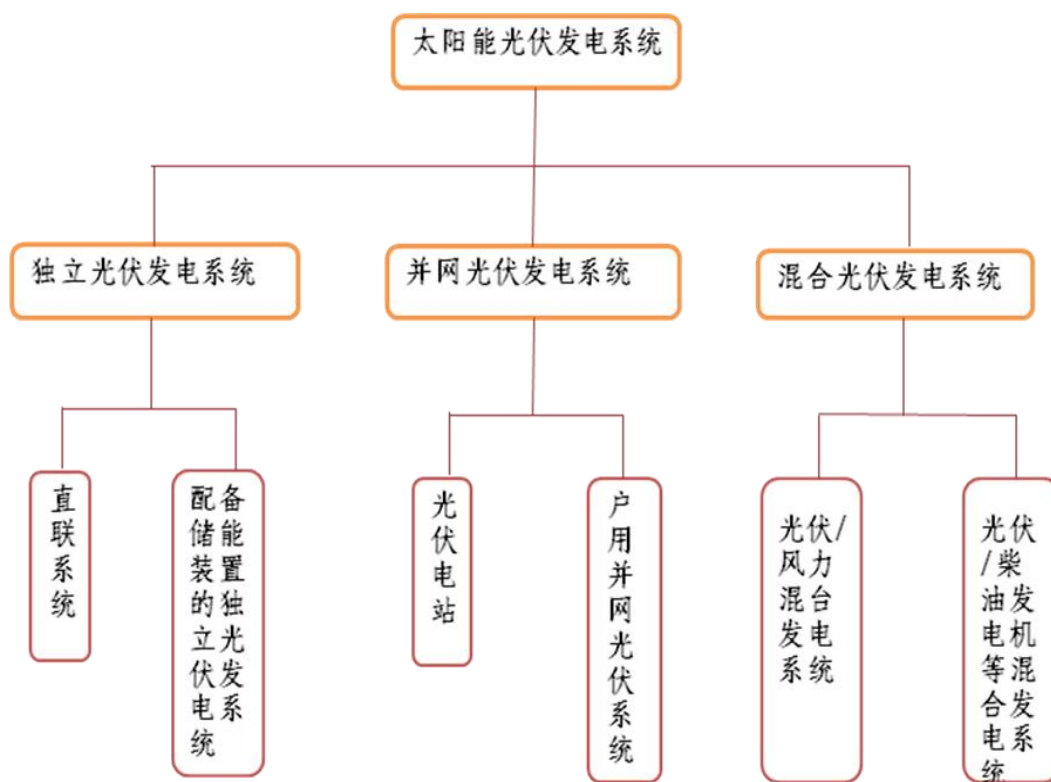


图 4-5 太阳能光伏发电系统

太阳能产业链主要由光伏发电、装备制造两大系统构成。光伏发电系统主要由三大部分组成，一是吸收能量（光伏组件阵列），二是储能（蓄电池），三是调控（控制器、逆变器）。装备制造环节产业链包括硅料、硅片、电池片、电池组件等。（见图4-6）

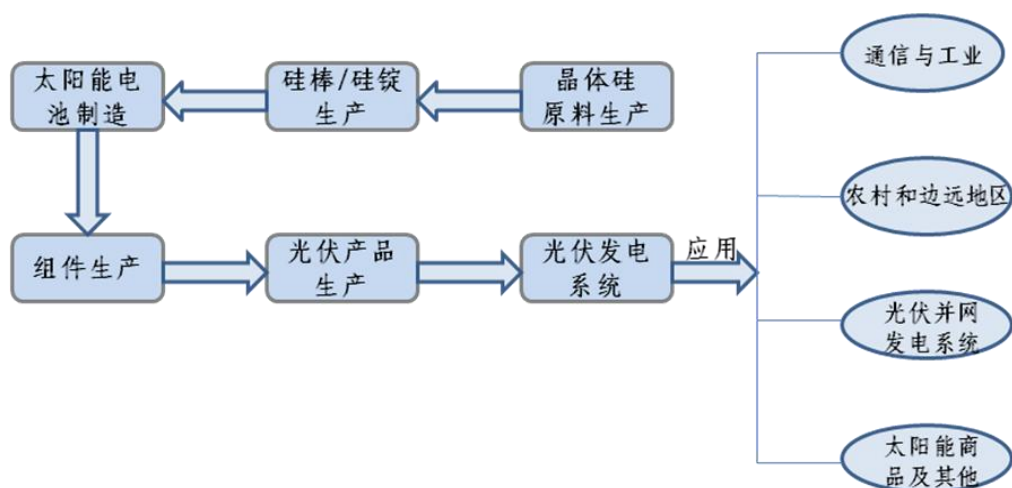


图 4-6 太阳能光伏发电路线图

太阳能光伏发电的规模和应用的形式种类繁多、大小各异，发展路线总体来说应以适应不同客户需求为最大出发点，采取灵活多样的方式发展。

——**通信与工业应用**。微波中继站，光缆通信系统，无线寻呼台站，卫星通信和卫星电视接收系统，农村程控电话系统，部队通信系统，铁路和公路信号系统，灯塔和航标灯电源，气象、地震台站补充电源，水文观测系统，石油管道阴极保护等。

——**农村和边远地区应用**。村庄光伏供电系统，小型风光互补照明灯系统，太阳能水泵等。

——**光伏并网发电系统开发**。大规模荒漠、阴生植物种植坡地集中发电，城市光伏发电建筑一体化工程。

——**太阳能商品及其他应用**。太阳能空调器，太阳能充电器，太阳能路灯，太阳能住宅供电系统，太阳能电动汽车，太阳能游艇，太阳能无人机等。

生物质能：加强资源综合利用产出系列产品

随着土地成本的不断上升，还有公众对环境保护提出更高的要求，未来垃圾减量化并通过清洁生产转换成能源，将成为必然趋势。另外随着技术进步，越来越多的农林剩余物包括畜禽粪便将得到资源化处理。结合广东省生物资源现状和技术水平，选择出适合广东省生物质能产业发展的路线和模式。（见图4-7）

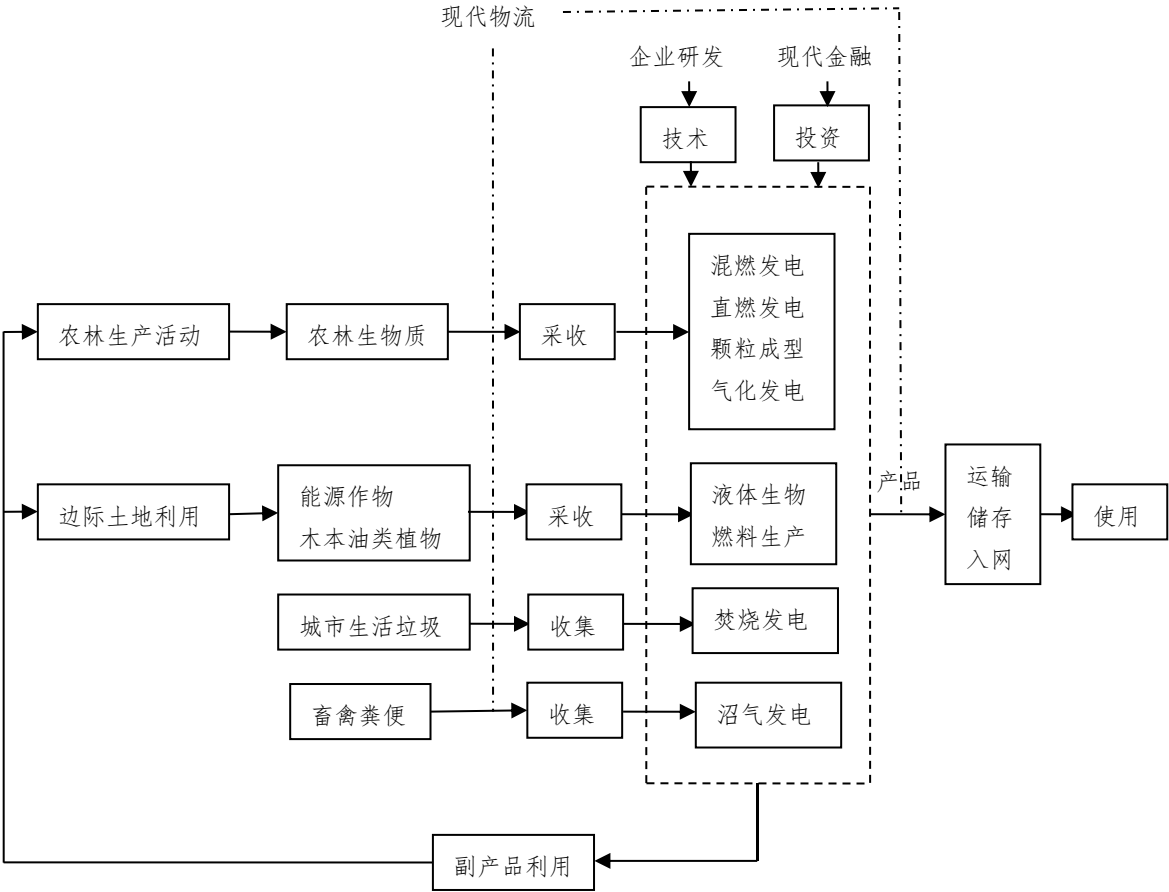


图 4-7 广东省生物质发展路线图

——能源作物种植。利用荒地中的宜垦地、宜林地以及边际土地，调整部分桉树林地，规模种植能源原料作物，并

根据不同类型的土地发展不同类型的原料植物：宜农边际土地-甘蔗/薯类组合；宜林荒山荒坡-能源果林组合；宜林沙荒地-能源灌木林组合；现能源林地-薪炭林/灌木林/油料林组合。

——**原料采收和收集**。采取“公司+农户”、农业合作社、个体种植养殖等多种形式，充分利用经济杠杆作用，将生物质原料的采收、收集活动与现代物流和物联网相结合，统一组织农作物秸秆收集（据推算，林果及木质纤维素原材料的收集、运输、储藏与预处理 50-60km 范围内进行较合适）；完善生活垃圾分类收集系统，建立废弃食用油脂回收运输、定点回收系统。

——**能源生产制备**。促进生物质能源新技术的产业化，用现代生物技术和工业化最新成果提升产出效率，实现生物质能源的规模化生产。发展生物质沼气发电、生物质颗粒成型燃料和生物液体燃料产业，同时大力推进生物燃料汽车应用，以市场应用促进生物质能利用产业发展。

——**综合系列产品生产**。利用现代生物工程技术，实现副产物的综合利用，在制备能源的同时，延伸原料循环经济产业链，加工提取高附加值的食品、药品、饲料等工业原料，提高生物质能源制备的综合经济效益。

氢能：加快推进商业化应用

氢是一种原料来源广泛、燃放清洁干净的新能源产品，

实际上其利用已有数十年的历史经验。随着技术的日益进步，当前发达国家已在汽车、工业燃炉等领域实现商业化应用。未来发展路线：

——以技术创新为动力。加大研发投入，组织技术攻关，研究开发煤、气、水制取氢新技术，推进加氢站标准的制定。

——试行将氢产品就近加入天然气管网（欧盟已试用**5%-12%**比例加入）。与天然气混合使用，既可增加能源的来源，又可改善燃烧情况，排放更清洁、更环保。

——加快推动氢能汽车的研发试用。其一是将氢气与天然气混合的新燃气用于燃气能源汽车及内燃机车；二是氢燃料电池汽车。目前国外一些大品牌汽车已部分实现氢燃料电池汽车量产，我们应加快跟进。

——推进工业燃炉氢能利用改造，对相关项目予以必要的补贴资助。

地热能：以地热能的深层探测及其发电能的利用为重点，深入开发利用地热能资源。

第五章 发展的主要任务和重点领域

未来发展要依托省内新能源资源基础，大力实施创新驱动战略，加强技术研发和商业模式创新，拓展产业规模，完善服务体系，推动技术与商业模式创新、资源开发利用、装备制造以及应用服务等领域全面发展，加快构建先进、高效、智能、完备的广东新能源产业体系。

一、创新驱动，提升核心竞争力

（一）夯实科研基础

坚持政府在基础科学研究中的主导地位，进一步优化配置科技资源，加大资金投入和政策扶持，依托骨干企业、研究院所和大学等组建重点实验室，培育一批高水平的科技创新队伍，系统部署建设一批国家级重点实验室和工程技术研究中心，组建专项技术的研发、测试和产品认证中心，推动我国新能源产业的自主创新能力建设，推动新能源技术进步，全面提升我省新能源制造企业的国际竞争力。联合科研院所和企业，推进建设国家级和国家地方联合创新平台，形成配置完整、功能齐全的共享共性技术研发平台体系。

坚持开放合作，统筹国内国际两个大局，大力拓展新能源国际合作范围、渠道和方式，提升新能源“走出去”和“引进来”水平，鼓励发展与新能源领域主要国家、国际组织、知名研究机构等的长期合作关系。

（二）加强关键技术攻关

——**海上风电技术**。制定海上风电长远的关键技术研发路线，以加强前沿和基础研究为主，逐步掌握大型海上风电机组的设计理念、研究方法，开发适用于我国特点的大型先进海上风电机组。配合海上风电基地建设，开展 5-10 兆瓦海上风电机组的概念设计和关键技术研究，并实现 5-7 兆瓦海上风电机组的商业化运行，完成 7-10 兆瓦海上风电机组的样机试验。掌握浅海海域风电场塔座基础、施工和运行维护技术，推进风电场智能化与运维技术、海上风电场施工等领域关键技术与设备的技术攻关。

——**分散式风电技术**。改进复杂地形微观选址技术，提高风电场在复杂地形条件下的分散式风电场规划、设计和运行管理、可靠性水平，形成完善的复杂地形下风电场优化规划设计和运行方案；改进海岛地区分散式风电和风光互补、风水互补、风光水互补技术；结合微电网示范，研发分散式风电和可再生能源综合利用系统控制技术，形成完善的规划、设计和运行管理技术体系。

——**电力调度技术和大容量蓄能技术**。基本建立风电机组/风电场之间互联互通的数据收集和调度控制体系，建立风电场集中预测、控制与调度中心，实现风电优先高效调度自动化。重视和发挥储能系统的多功能性，科学选择、规划和使用储能系统，大规模储能以抽水蓄能为主。

——**太阳能光伏发电技术**。研发具有国际先进水平的太阳能光伏重大装备及关键材料，发展薄膜太阳电池成套生产设备及高效晶体硅太阳电池设备。重点支持扩散设备、离子注入设备、等离子增强化学气相沉积设备、丝网印刷设备、电池组件测试设备等生产和检测设备，以及光伏镀膜玻璃、封装胶膜、新型电极材料等关键材料的研发和产业化。加强太阳能热发电技术基础性研发工作，实现总体系统设计技术、聚光系统、光热转换系统、测量技术及设备制造材料等的突破，通过试验示范，逐步推广应用。

——**生物质能技术**。加强生物质能生产利用技术及设备研发改造工艺技术研究，降低生物质能开发利用成本。加强污废水和废弃物综合利用等环保达标技术的研究，提高废弃物的综合利用程度，减少对环境污染。加强燃料乙醇加工型木薯、甘蔗、甜高粱等能源作物新品种的选育和配套高产栽培等技术的研究。加强能源作物专用良种、主导品种培育和主推技术的集成创新，大幅提高林果生物质原料的产量。尽快突破成型机具、炉具等方面的技术瓶颈。

——**海洋能技术**。重点解决潮汐能高效大型机组设计制造技术、波浪能和海流能小型发电系统示范和推广应用、以及海洋环境评估技术。远期，重点是多样化的海洋能利用技术示范应用，并通过扩大应用规模，不断降低成本和提高可靠性，开展温差能开发与海水养殖，海洋采矿和空调等综合

利用。

——**地热能技术**。增强型地热系统于 2010 年第四届世界地热大会被确定为地热能未来的发展方向。广东浅表层地热资源丰富，并判断在深层储藏着更丰富的地热资源，发展增强型地热发电的空间巨大，“十三五”期间积极参与地热能技术开发，注重水热型地热资源勘探利用技术研究，抢占地热能发展制高点。

（三）创新开发商业模式

随着国家政策由鼓励“集中开发”转向鼓励“集中开发+分散式开发”相结合，风电客户将从传统模式的电网转向使用企业以及终端消费者。因此要改变市场定位，聚焦特定市场，打造满足个性需求的市场营销服务系统，推进风机制造企业与风电应用开发相结合。对于前景看好、行业领先的分布式开发模式，给予更多的政策和金融支持，同时引入互联网技术和电商平台发展新能源系统的 B2C 模式。在建立有效调控和项目建设运营监管基础上，探索 PPP 或众筹模式下社会资金与新能源系统的对接建设发展。

二、因地制宜，合理有序开发资源

根据资源分布概况，统筹陆海资源，因地制宜，综合考虑环保、成本、效益及其他优劣条件，重点开发利用风能、太阳能、生物质能和海洋能。重点加快海上风电场建设，合

理布局陆上风电场，优化提升风电装备制造产业，加强风电服务国际合作；做强光伏制造业，加快推进分布式光伏和光伏电站建设，引导光伏企业拓展国外新兴市场；开展林果资源向燃料乙醇转化的项目示范；加快开展中深层地热资源勘探和评价工作，分步建设地热发电示范项目，抢占地热发电领域战略高地。

——**风能**。坚持以资源定规划、以规划定项目，先规划、后开发的原则，按照“先陆地、后海上”，“先近海、后远海”的思路，大力发展风电，不断提高风电开发利用水平，增加清洁能源供应，促进能源结构调整优化，推进节能减排。积极开发陆上风电资源，逐步开发近海风电资源，并适时开展远海风电示范。重点在陆地风能资源丰富的山地地区发展陆上风电，并开展近海（包括岛屿和水深不超过 30 米海域）风电示范，在示范基础上，逐步扩大规模。远期，以海上风电开发为主，除了扩大近海 30 米内水深风电项目规模外，逐步开发水深不超过 50 米海域的风能资源，并适时开展远海风电、浮动基座风电项目的示范建设。严格按照环境和生态保护要求，尽量减少对鸟类、渔业、自然保护区及军事保护区的影响。风电场场址应错落、间隔布置，保证预留宽度在 5 千米以上上的迁徙通道，要避开滩涂湿地等鸟类集中栖息及鱼类等的洄游通道，海上风电场布置上还应与岸线间距 5 千米以上，以保证鸟类迁徙通畅；同时，场址区域应具有

较好的地质、海洋水文、接入系统和交通重要条件等建设条件，避开航道、禁航区、通信、电力、锚地等保护范围和军事设施涉及的范围，尽量减少对陆海航路、自然生态、军事安全、民众生活等方面的影响。

——**太阳能**。依托现有产业基础，以广州、深圳、佛山、东莞、河源产业基地为中心，辐射中山、珠海、江门、揭阳等地区，推动太阳能光伏产业相互促进、集聚发展，形成全省各具特色、优势互补、协同发展的一体化光伏产业格局。充分利用我省经济技术开发区、高新技术开发区、产业转移园区、物流园区等各类产业园区，建设规模化分布式光伏发电系统基地，各类产业园区新建厂房屋顶原则上同步考虑分布式光伏发电系统的设计和安装。做大做强太阳能光热产业，开发高性能低成本平板集热器及智能控制系统，推动槽式太阳能热发电技术和产业发展。发展高效硅薄膜太阳能电池、高效率晶硅光伏电池、新型硅基和多元化合物等薄膜电池、高倍聚光新型太阳能电池等，改进生产工艺，提供光电转换效率，降低制造成本。推广太阳能光伏、光热建筑一体化，发展 **PVT** 系统技术，解决电池组件与集热器之间的二次层压难题等技术瓶颈。推动太阳能光伏、光热产品与建筑材料结合。重点发展 **BIPV** 组件生产技术，包括可直接与建筑相结合的建材和应用于厂房屋顶、农业大棚及幕墙上的双玻璃 **BIPV** 组件等，解决 **BIPV** 组件的透光、隔热、热利用等

问题。利用省光伏产业公共服务平台，推动产业链企业开展技术交流和产业协作，实现关键技术共享和产业链相关产品本地配套合作。

——**生物质能**。以处理废弃物为主要手段，同时探索以基地的方式种植能源作物作为发电原料供应。因地制宜开发生物质资源，在农作物主产区、大型农产品加工企业、部分林区和灌木集中分布区、木材加工厂，建设以稻壳、灌木林和木材加工剩余物为原料的生物质发电厂；结合畜禽养殖、城市污水和工业有机废水处理，适度建设一批环保标准高的沼气发电项目，促进畜禽规模化养殖和废弃物资源化利用；在经济较发达、土地资源稀缺地区建设垃圾焚烧发电厂，重点地区为市级城市、沿海城市等；积极开展垃圾生物焚烧发电技术开发，严格控制污染物排放。积极开展试点示范，合理确定生产半径，探索秸秆收集、储运和预处理模式，着力解决秸秆的分散性、周期性供应与生产的集中性、连贯性之间的矛盾。按照“不与粮争地”的原则，合理利用山坡地等未利用或利用不充分的土地资源，开发种植林果等能源作物，采取“公司+林农户”模式，试点建设油茶、小桐子、油桐、果树等生物质能源生产基地。建立能源作物专用良种的引进、选育基地，建设标准化示范基地，不断提高基础设施保障能力，大力推进收获机械化作业，加强病虫害防控，试行标准化生产。逐步建立废弃油脂回收和利用机制，并拓展原

料渠道，鼓励利用境外尤其是东南亚能源油脂和废弃油脂生产生物柴油，推动生物柴油制造产业发展，并建立规模适度的生物液体燃料消费市场。

——**地热能**。在积极开展地热能关键技术研发的同时，加大地热能开发利用水平。其中增强型地热发电和地源热泵技术应用是发展的重点方向。地源热泵在我国北方已广泛应用于城市居民生活的集中供暖等，据有关专家估计，增强型地热发电距实现商业化还需十年左右的时间。目前广东仅有几个应用项目，明显落后于全国。有关资料表明，广东的地表水系发达，地下水与河水有直接联系，利于抽取浅层水。同时，广东雨量充沛，地下水能及时得到采补平衡。另一方面，地源热泵在热交换过程中可利用的温度差值。广东气候和地质条件、资源特征适合推广应用地源热泵技术，可为酒店、大型商场、办公楼、学校等大型建筑物集中供暖制冷，并以夏季制冷为主，其节能减排的经济社会效益不可估量。

——**海洋能**。广东省目前已具备开发海洋能的独特地域和技术优势，建设成为国家海洋能发电技术示范基地有良好的基础，未来近期应充分发挥广东海洋大省的优势，重点建设潮汐能、小型波浪能试验电站；远期逐步扩大波浪能电站规模，并开展其他海洋能发电技术如温差能、盐差能、海流能等的小规模示范。最终争取实现波浪能与海洋能发电技术的商业应用。

三、基地支撑，推动产业优化发展

综合考虑各市资源禀赋条件，形成全省各地各具有特色、优势互补、协同发展的布局。

（一）产业布局

——**风能**。资源利用方面，**珠三角地区**：重点发展珠海高栏岛、江门台山端芬、广海、汶村风电场等。**粤东地区**：重点发展饶平大埕、所城、海山风电场、陆丰甲湖风电场扩建工程等。**粤西地区**：依托湛江徐闻勇士、灯楼角、前山、南三海丰风电场、雷州东里风电场、阳江新洲、东平风电场、阳西龙高山、文笔岭风电场、茂名中坳风电场等，推动风电场建设。**粤北地区**：重点发展云浮新兴、亚婆髻风电场等。近期重点建设珠海桂山、阳江海陵岛、汕尾甲西等海上风电场项目。

装备制造产业方面，以中山、佛山等地为主建设风电整机产业基地，并以整机带动零部件及配套产业，逐步在珠三角地区以及河源市形成以兆瓦级风电机组研发制造为重点，相关配套产业集聚发展的产业链条，形成具备较强竞争力的风电装备制造产业带。

——**太阳能**。在资源利用上全省各地都可开发，应失去加快形成全省各地风光互补、渔光结合、合网离网的优势互补、协同发展的光伏产业格局。装备制造产业方面。以广州、深圳、佛山、东莞、河源太阳能光伏装备制造产业基地为中

心，辐射中山、珠海、江门、揭阳等地区，推动太阳能光伏产业相互促进、集聚发展。以深圳、东莞、中山等地产业为基础，布局发展太阳能光热装备制造产业。重点建设深圳、佛山、东莞太阳能装备制造产业基地。深圳太阳能光伏产业基地重点发展太阳能薄膜电池、太阳能光伏建筑一体化，太阳能光伏装备制造、光伏应用产品等。佛山三水太阳能产业基地重点支持生产企业发展高效晶硅电池、组件等。东莞太阳能产业基地重点发展太阳能平板热水器、光热发电、太阳能电池及其生产设备研发与制造、晶硅电池和组件、光伏逆变器、太阳能玻璃等。

——**生物质能**。生物能源主要是在生物质能的制备方面。根据广东各区域自然环境、生物质能源资源分布及土地资源状况，对生物质能源制备产业进行优化布局。（1）**珠三角地区**：该地区由于耕地逐年减少及人口的不断增加，一是要重点推进垃圾生物焚烧发电项目的建设；二是利用受污染土地和盐碱滩涂地发展能源作物种植，在保护生态环境的同时，利用生物技术实现资源利用的最大化；此外，受经济发展和地理位置的影响，可利用其第三产业的发展优势，将广州、深圳、中山、珠海等珠三角城市作为全省主要的生物质能产品市场营销基地。（2）**粤东地区**：粤东地区农业气候条件优越，土地开发潜力大。但由于气候条件和人口密度较为密集等原因，该地区可利用农林废弃物作为生物质资

源，适当发展生物质能源加工制备产业。（3）**粤西地区：**粤西地区土地资源较丰富，在秸秆、畜禽粪便、垃圾、能源作物和能源林木等方面均具有较大资源量，是广东生物质能源的主要原料生产基地，其中湛江和茂名是甘蔗、玉米等作物的主要种植区，以及肇庆麻疯树等能源林木资源丰富区。在此区域结合农产品加工厂及畜禽养殖场，重点发展沼气发电、燃料乙醇和生物柴油等生物质能源制备产业。（4）**粤北地区：**粤北地区则以丘陵山地为主，间或有盆地和谷地平原分布。该区域山地和森林资源较丰富。因此该地区在原有农业生产结构的基础上，可加大能源植物和能源林生物质能源发展力度。同时，该地区还可利用林业剩余物发展生物质能制备产业。

（二）产业载体建设

围绕新能源产业的布局规划，通过产业载体建设促进产业空间集聚，通过企业加速器、孵化器建设，并通过专业性服务体系建设，完善产业集聚环境，引导新能源产业资源加速集中，形成一批各具特色的、具有较强自主创新能力和技术引领作用的骨干企业，打造一批特色鲜明的新能源产业链主和龙头产业集聚区。在推动壮大产业规模的同时，协同发展上下游产业，鼓励产业链上下游强强联合和兼并重组，加强行业统筹规划，推动企业转型升级，坚持市场主导与政府引导相结合，扶持产业链完备、已具有品牌知名度的骨干企

业做优做强。

推动现有产业园区加快升级。产业园区的定位需要由“大而全”向“小而美”“特而精”转变，着力打造土地使用集约化、资源利用效能化、产业配套系列化等特点的专业化精致化园区。积极开发建设新的产业园区。以研发中心、研发型产业、科技服务业为主体，以科技创新能力和科技转化效率为导向，引入企业融资平台合作开发、财团商业化单元开发等社会化开发模式。

（三）应用示范区

在风电、太阳能、海洋能发电等新能源电力开发集中区域，示范建设以智能电网为载体、发输用一体化、新能源为主的电力系统；选择新能源资源丰富、经济条件较好的城市，在公共建筑、商业设施和工业园区推进太阳能、页岩气、生物质能、地热和地温能等新能源技术的综合应用示范；开展新能源区域应用示范建设，建成完善的县域新能源利用体系；在新能源丰富和具备多元化利用条件的中小城市及偏远农牧区、海岛等，示范建设分布式光伏发电、风力发电、沼气发电、小水电“多能互补”的新能源微电网系统。同时，抓好佛山三水工业园、广州从化明珠工业园、深圳前海深港现代服务业合作区等列入国家分布式光伏发电示范区的项目建设，发挥示范带动作用，在总结经验的基础上推动应用，不断扩大分布式光伏发电应用规模。按照智能配电网技术发

展，在广州、深圳等配电网自动化程度较高的城市某些区域建立数个智能配电网示范区。

四、产业强链，推进装备制造业发展

（一）风电装备制造业

着力发展兆瓦级以上风电成套机组制造产业。重点提升3兆瓦以上海上（含海陆两用型）风电机组的研制和产业化；发展大功率风电机组及关键零部件；开发5兆瓦级以上风机主机和关键部件齿轮、发电机、控制系统、蓄能电池等技术和产品，打造全国重要的高端发电装备整机及配套产业集群；开展6兆瓦以上海上风电机组的关键技术攻关。根据我省陆上风能资源的特殊情况以及海岛对于分布式和独立电源的需求，积极推进小型风机和风光互补等系统的装备制造。在风机零部件制造方面，产业建设的重点是提高风电机组控制系统、发电机、叶片、塔筒、齿轮箱、大型铸锻件和焊接件等关键零部件的研发水平和制造能力。以兆瓦级风电机组、关键零部件和风光互补小型风机为重点，支持企业建设兆瓦级风机整机和零部件开发项目，培育和扶持骨干企业发展成为一流的风电设备制造企业。

（二）太阳能装备制造业

发展高效率晶硅光伏电池、新型硅基和多元化合物等薄膜电池、高倍聚光新型太阳能电池等，改进生产工艺，提高

光电转换效率，降低制造成本。突破光伏电池生产设备关键技术瓶颈，发展薄膜电池、晶硅电池等的生产设备制造。推广光伏、光热建筑一体化和系统集成。做大做强太阳能光热产业，开发高性能低成本平板集热器及智能控制系统，推动太阳能热发电技术和产业发展。

（三）蓄能设备制造业

将电动汽车充电设施作为智能电网的重要组成部分。组织制定广东省电动汽车充电设施相关技术标准，组织编制和实施电动汽车充电设施建设规划。加快充电设施和配套电网建设。2020年前，建成满足全省新能源汽车试点示范和区域应用要求的充电设施，大力推进电动汽车在城市公交、公务等领域的推广应用，实现新能源汽车（包含电动汽车、生物燃料汽车，不包含天然气汽车）在城市公交系统的规模化应用，2020年新能源汽车在城市公交系统所占比达到40%。加强镍氢电池、锂离子电池等储能技术、储能材料和储能设备的研究和专业化。

五、协同发展，构建全省智能电网

充分采用先进的传感测量、通讯信息、电能质量控制、电力储能、微网接入与控制等先进技术和新型设备，提升全省电网输、变、配、用电侧的智能化水平，构建结构坚强，具备良好适应性、自愈性、安全性、稳定性和灵活性，适应

大规模新能源接入并满足分布式电源“即插即用”要求的全省智能化电网。聚焦部署大规模可再生能源并网调控、大电网柔性互联、多元用户供需互动用电、智能电网基础支撑技术等重点任务，加强各电压等级电网协调发展。提高电网主网架的输送和控制能力，强化配网网架结构，提高配网智能化水平和用电需求侧科学管理水平，开展智能影响关键技术研究，推广高级计量体系（AMI）的建设与应用。推动智能微网系统发展。建立智能电网基础技术研究平台，加快智能电网标准体系、关键技术、示范工程的研究和建设，实现智能电网技术装备与系统全面升级。

四、开放发展，强化新能源国际合作

鼓励企业加强国际研发合作，开展产业前沿、共性技术联合研发。重点推动新能源企业与系统集成及电站建设企业进行深入合作，共同开拓国内外市场。抓住“一带一路”建设契机，构建新能源产业国际合作新机制。发挥毗邻港澳的优势，探索更加开放灵活的新能源合作模式，打造粤港澳新能源产业新高地。积极承接和孵化港澳台新能源产业科技项目，推动粤港澳台合作共建新能源产学研平台、科技成果转化平台和国际技术转让平台。支持本省企业引进境外新能源产业先进技术和生产设备，并进行消化、吸收、创新。支持骨干光伏企业对上下游企业实施产业链整合，开展跨国并

购，进一步优化资源配置，提高经营能力和水平。鼓励有条件的省内企业和基地与国外研究机构、产业集群建立战略合作关系，通过产业联盟，积极应对国际贸易摩擦。

第六章 保障发展的政策措施探讨

一、加大财政金融政策支持

加大专项资金支持。政府加大对新能源资源勘测、市场培育、产业扶持的专项财政投入。设立扶持新能源产业发展的专项资金，引导和鼓励社会各类资金投向新能源产业，拓宽企业融资渠道，加大金融业对新能源产业支持力度，鼓励有条件的企业上市。实施新能源产业重大科技攻关计划和科技强企支撑计划，加强产学研、国际科技合作和粤港澳合作，支持新能源技术科技成果产业化。

完善分布式项目“余量上网”的补贴政策。由于各种因素，我国依托工业和商业屋顶建立的分布式新能源发电无法完全就地消纳，作为保底收入的“余量上网”结算电价过低，影响了投资积极性。在限制上网电力比例的基础上提高分布式新能源发电系统上网电价。

充分利用金融手段扶持新能源企业成长。灵活运用政策金融、债券融资、创业投资基金、股票融资等手段支持企业成为新能源技术创新的主体，分担企业技术研发的风险。

鼓励民间资本投入。继续支持民间资本全面进入新能源和可再生能源产业，制定更多样化的鼓励政策引导社会资金、社保基金、保险（放心保）资金介入新能源企业的建设期投资。鼓励民营资本扩大风能、太阳能、地热能、生物质

能领域投资，开发储能技术、材料和装备，参与新能源汽车供能设施建设，参与新能源示范城市、绿色能源示范县和太阳能示范村建设，发挥民间资本在新能源领域更大作用。借鉴国外经验，有效的补贴政策能引导社会资金投入新能源领域。

二、推动产业商业模式创新

创新产业投融资体制机制。引导金融机构优先对骨干企业、创新项目及新能源发电应用示范项目提供信贷支持。支持具有自主知识产权、技术先进、发展潜力大的企业做优做强，对有市场、有订单、有效益、有信誉的制造企业提供信贷支持。根据新能源产业特点和企业资金运转周期，按照风险可控、商业可持续、信贷准入可达标的原则，采取灵活的信贷政策，支持优质企业正常生产经营，支持技术创新、兼并重组和境外投资等具有竞争优势的项目。创新金融产品和服务，支持中小企业和家庭自建自用分布式新能源发电系统。鼓励风险投资公司、保险企业以多种方式参与新能源产业发展，建立市场化、多元化的投融资长效机制。适时引入PPP模式发展新能源产业，提高项目稳定性，激发民间投资活力，增强投资者信心，保障项目顺利落地。

协调形成顺畅的产业创新链条。由能源主管部门统一协调新能源发展规划和电网等其它规划，做到电源规划与电网

规划、地方规划的协调统一。针对新能源电源上网难问题，有重点、分步骤推进输电网和储能设施建设，推进智能电网建设，提高电网接纳新能源的能力，采取集中式与分布式并重、集中送出与就地消纳相结合的方式，提高多行业综合利用水平。创造并激励市场需求，引领新能源市场开拓。在新能源发电定价机制方面，实行有竞争力的固定电价，鼓励中小投资者参与、减少无序竞争、保障项目投资的正常回报率，促进行业健康发展；同时，尝试采取峰谷电价、分时电价、可中断电价等进行需求侧管理，扩大新能源需求。

三、科学规划新能源发展用地

根据产业发展需要，编制实施产业用地规划，探索产业规划和土地规划合一。充分利用荒山荒地、海岛等未利用土地建设新能源项目，在土地规划、计划安排时予以适度倾斜，不涉及转为建设用地的，可不占土地年度计划指标。对于利用农业用地建设新能源设施的，在不影响土地物理性质的前提下，经核准后应予以项目开工建设。探索采取长期租赁国有未利用土地、农村集体土地等多样化的供地方式，保障新能源载体建设需要。对于基础条件好、代表性强的新能源产业集中园区，优先保障用地指标，全理规划园区布局，同时加强土地节约集约利用，提高园区土地资源利用效率。

四、加强人才培育技术引进

落实各种优惠政策，积极引进国内外技术领军人才和创新团队，建立引进专业人才的良好机制。设立引进高层次人才“绿色通道”，实行人才引进“备案制”，为各类人才尤其是高层次人才创业提供良好的环境。对符合条件的高层次人才，提供生活、住房等方面的补贴。鼓励企业与高等院校、研究机构建立战略合作关系，开展关键技术攻关和人才培养。加强与高校和研究机构的合作，积极开展太阳能专业技术人才的培养，构建完整的人才培养体系。支持有关科研院所和企业建立国际化人才引进和培养机制，着重培养创新能力强的高端专业技术人才和综合管理人才。

五、提升新能源综合服务水平

建立新能源应用服务体系。尽快完善服务的行业标准，重点从质量标准、安全规范、预验收标准、质保验收规范、行业标准化、服务企业认证条件、制造商与投资商管理责任、质保服务内容、质保期服务期限约定等方面入手，消除投资者疑虑，解除制造商困惑，促进服务产业化。加强规划、咨询、设计、建设、安装、运行和维护等专业化服务能力，鼓励专业化服务机构提供标准化、一条龙技术服务，提高光伏发电系统集成服务水平。完善光伏发电关键部件技术应用准入标准，建立与国际接轨的工程验收标准体系。加强公共检

测服务平台建设。完善资源观评价，加强应用信息统计、监测和分析，建立应用和产业监测大数据服务平台，开展产业专利态势分析及预警。加强对政策及市场的跟踪，开展市场行情分析及预警。

积极发挥协会和共性技术服务机构作用。充分发挥行业协会广泛性、客观性、公开透明作用，利用其学术文化交流与产业促进的平台条件，由协会主办，通过邀请专家团队的支持，与投资商、制造商充分沟通和合作，共同拟订并完善有关标准和规范，为促进优秀企业的可持续发展和产业的健康发展奠定坚实的基础。鼓励新能源龙头企业积极参与国际、国家、地方和行业的标准制定。支持龙头企业、骨干企业将自主研发的专利技术转化为技术标准。

【参考文献】

- [1] 国际能源署. 全球能源展望2013[R].2013.
- [2] 英国石油公司(BP). 全球能源统计回顾[R].2014.
- [3] Maegaard P. Successful wind energy development[R].Sixth World Non-Grid-Connected Wind Power and Energy Conference 2014,November 6 - 7 2014. Beijing, China, 2014.
- [4] World Energy Council, Bloomberg New Energy Finance. World Energy Perspective:Cost of Energy Technologies[R]. London, United Kingdom: 2013.
- [5] 国际能源署. 全球能源展望2014[R].2014.
- [6] 国家统计局. 中国能源统计年鉴2013[M]. 2013.
- [7] 国家环保部. 2013中国环境状况公报[R].2014.
- [8] Tang A, Zhuang G, Wang Y, et al. The chemistry of precipitation and its relation to aerosol in Beijing[J]. Atmospheric Environment, 2005,39(19):3397-3406.
- [9] 邓伟, 刘荣花, 熊杰伟, 等. 当前国内酸雨研究进展[J]. 气象与环境科学, 2009,32(1):82-87.
- [10] 赵艳霞, 侯青. 1993-2006年中国区域酸雨变化特征及成因分析[J]. 气象学报, 2008,66(6):1032-1042.
- [11] 张新民, 柴发合, 王淑兰, 等. 中国酸雨研究现状[J]. 环境科学研究, 2010(5):527-532.
- [12] 陈仁杰, 陈秉衡, 阚海东. 我国113个城市大气颗粒物污染的健康经济学评价[J]. 中国环境科学, 2010(3):410-415.
- [13] 中国电力新闻网. 2013年可再生能源装机大幅增加 占据半壁江山[EB/OL]. [2014年10月23日]. http://www.cpnw.com.cn/zdyw/201311/t20131120_631644.html.
- [14] 中国统计局. 中国统计年鉴(2011) [M]. 2012.
- [15] 新浪财经. 习近平: 推动我国能源生产和消费革命[EB/OL]. [2014年11月21日]. <http://finance.sina.com.cn/china/20140614/030219410985.shtml>.
- [16] 国家统计局. 中国环境统计年鉴[M]. 2013.
- [17] 广东省统计局. 2013年广东省战略性新兴产业发展情况分析[R].2014.
- [18] 广东省统计局. “十二五”以来广东能源结构状况分析[R].2013.

- [19]广东省能源局. 广东省陆上风电发展规划(2013-2020)[R].2014.
- [20]国家发展和改革委员会能源研究所, 国际能源署. 能源技术路线图: 中国风电发展路线图2050[R].2011.
- [21]广东省能源局. 广东省新能源发展形势、政策及项目管理[R].2014.
- [22]广东省能源局. 广东省海上风电场工程规划(简版)[R].2011.
- [23]杨苹, 徐枫. 广东新能源产业及促进政策研究[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2011.
- [24]广东省发展和改革委员会, 广东省技术经济研究发展中心. 加快发展新能源产业, 促进广东经济发展方式转变[R].2014.
- [25]何诺书. 四大风电整机设备商海上风电战略对比[N]. 南方能源观察.
- [26]中国可再生能源学会风能专业委员会. 中国风电装机容量统计(2006-2013)[R].
- [27]全球光伏网. 广东光伏产业及企业现状的调研报告[EB/OL]. [2014年11月24日]. <http://www.pvall.com/news/content-34088.aspx>.
- [28]佛山市政府网. 佛山市太阳能光伏产业发展规划(2010-2015)[EB/OL]. [2014年11月24日].
- [29]广东省建设厅科教处. 广东省太阳能开发利用情况调查报告[J]. 建筑监督检测与造价, 2008(02):64-66.
- [30]岳鹄, 刘可夫. 广东省生物质能产业化与农村经济可持续发展研究[J]. 科技管理研究, 2009(9):169-172.
- [31]广东省统计局. 广东农村统计年鉴2013[M]. 2013.
- [32]谢旭轩, 王仲颖, 高虎. 先进国家可再生能源发展补贴政策动向及对我国的启示[J]. 中国能源, 2013,35(8):15-19.
- [33]王田, 谢旭轩, 高虎, 等. 英国可再生能源义务政策最新进展及对我国的启示[J]. 中国能源, 2012(06):32-35.
- [34]时璟丽. 可再生能源电力定价机制和价格政策研究[J]. 中国电力, 2008(04):6-9.
- [35]李瑞庆, 赵筠筠, 王艳, 等. 英国和德国可再生能源制度比较分析[J]. 电力需求侧管理, 2009(01):77-80.

- [36]王乾坤,周原冰,宋卫东,等.德国可再生能源发电政策法规体系及其启示[J].能源技术经济,2010(03):50-54.
- [37]时璟丽,王仲颖.可再生能源电力费用分摊方式分析[J].中国能源,2008,30(6):13-16.
- [38]温婧.德国可再生能源发展政策环境、主要成就及其启示[J].农业工程技术(新能源产业),2011(11):4-8.
- [39]REN21. Renewables 2016 Global Status Report (Paris: REN21 Secretariat)[R].2016.
- [40]黄梦华.中国可再生能源政策研究——借鉴欧盟的可再生能源政策经验[D].,2011.
- [41]谢晶仁.德国新能源和可再生能源发展的若干思考[J].农业工程技术(新能源产业),2011(05):6-9.
- [42]梁法栋.支持新能源产业发展的税收政策研究[D].,2012.
- [43]黄碧斌,李琼慧,谢国辉,等.意大利可再生能源配额制及对我国的启示[J].风能,2013(11):54-59.
- [44]国务院发展研究中心课题组,陈清泰,吴敬琏,等.美国支持可再生能源发展的政策体系及启示[J].发展研究,2010(04):57-59.
- [45]王骏.新能源发展研究[J].电网与清洁能源,2011,27(12):2-7.
- [46]陈伟.日本新能源产业发展及其与中国的比较[J].中国人口 资源与环境,2010,20(6):103-110.
- [47]谢丹,陈荷.新能源十年反思(三):十年政策——且争议且过河[N].南方周末,2013-01-18.
- [48]施鹏飞.中国风电产业发展[D].2014.
- [49]周凤起.中国风电发展的近况、愿景和挑战[D].2014.
- [50]王超,严定非.新能源十年反思(五):那些年,我们热捧过的试点项目[N].南方周末,2013-01-17.
- [51]林卫斌,谢丽娜,杨春艳.欧洲新能源发展政策及对我国的启示[J].学术交流,2014(01):72-77.
- [52]全国工商联新能源商会.全球新能源发展报告2014[R].2014.

- [53]能源评论：全球风电产业格局[EB/OL]. [2014年8月26日].
<http://news.hexun.com/2014-07-23/166905016.html>.
- [54]中研网. 2013年美国风电装机情况调查分析[EB/OL]. [2014年11月10日].
<http://www.chinairn.com/print/3659499.html>.
- [55]李俊峰, 蔡丰波, 乔黎明, 等. 2014 中国风电发展报告[R].中国循环经济协会
可再生能源专业委员会 (CREIA)
中国可再生能源学会风能专业委员会 (CWEA)
全球风能理事会 (GWEC), 2014.
- [56]中国可再生能源学会风能专业委员会. 2013年中国风电装机容量统计
[R].2014.
- [57]中国经济时报. 2010年-2013年全国新增光伏发电装机容量[EB/OL]. [2014年
10月23日]. http://jjsb.cet.com.cn/show_150765.html.
- [58]中国网. 光热发电：想说爱你不容易[EB/OL]. [2014年11月10日].
http://news.china.com.cn/live/2014-08/20/content_28278635.htm.
- [59]中国光伏产业联盟. 2013中国光伏产业发展报告[R].2013.
- [60]中国光伏产业联盟. 2014中国光伏产业发展报告[R].2014.
- [61]国家能源局. 2013年光伏发电统计数据[R].2014.
- [62]朱明, 苏辛. 能源革命中的新能源发展[EB/OL]. [2014年10月12日].
http://www.cnenergy.org/dujia/201410/t20141011_328543.html.
- [63]施训鹏. 来自德国新能源政策的八点启示[EB/OL]. [2014年10月18日].
<http://finance.sina.com.cn/zl/energy/20141014/112120532932.shtml>.
- [64]睦纪刚, 智强. 产业结构调整期的创新与投资：以新能源为例[J]. 科技进步
与对策, 2011,28(19):52-56.
- [65]李俊峰. 新能源产业在过剩中前行[N].
- [66]李俊峰. 对待新能源 不可捧杀也不能棒杀[N].
- [67]韩秀云. 对我国新能源产能过剩问题的分析及政策建议-以风能和太阳能行
业为例[J]. 管理世界, 2012(8):171-175.
- [68]李俊峰. 一个新的高风险、过度竞争产业:新能源[J]. 绿叶, 2009(6):46-49.
- [69]任东明. "虚胖"的新能源产业[N].

- [70]张国宝. 正确发挥政府在新能源市场中的作用[N]. 人民政协报.
- [71]蓝澜, 刘强, 陈梓, 等. 新能源比传统能源成本更高吗?——基于LCOE方法的中国风电与火电成本比较[J]. 西部论坛, 2013(03):66-72.
- [72]张碧航. 氢能源的开发利用和制氢设备发展现状[D]. 2014.
- [73]顾为东. 建设“能源互联网产业”体系, 实现结构调整、经济转型和快速发展[D]. 2014.
- [74]胡徐腾. 液体生物燃料:从化石到生物质[M]. 化学工业出版社, 2013.
- [75]广东省发展和改革委员会, 国家发展和改革委员会能源研究所. 广东省新能源产业发展战略研究(2011—2030 年) [R].2013.
- [76]北极星电力网. 广东省风电十二五发展重点领域及任务[EB/OL]. <http://news.bjx.com.cn/html/20120817/381223.shtml>.
- [77]于中江, 张文, 田耕耘. 风电行业通过商业模式创新寻找利润区[J]. 企业管理, 2013(12):64-65.