



纳米晶太阳能电池产业技术创新 路线图及产业化模式 以河北省为例

李子彪 李元元◎著

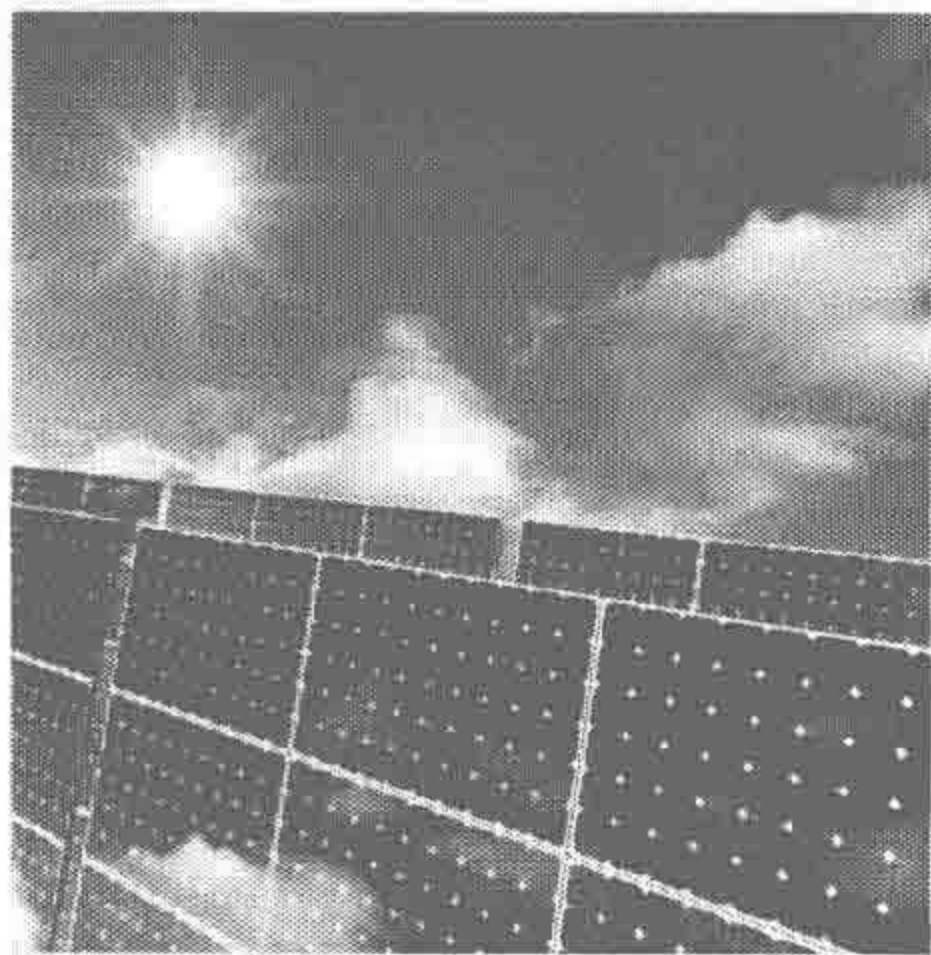
NAMIJING TAIYANGNENG DIANCHI CHANYE
JISHU CHUANGXIN
LUXIANTU JI CHANYEHUA MOSHI
YI HEBEISHENG WEILI



知识产权出版社

全国百佳图书出版单位

河北省科技计划项目：纳米晶太阳能电池技术创新及产业化联合研究(14394403)



纳米晶太阳能电池产业技术创新 路线图及产业化模式 以河北省为例

NAMIJING TAIYANGNENG DIANCHI CHANYE
JISHU CHUANGXIN
LUXIANTU JI CHANYEHUA MOSHI
YI HEBEISHENG WEILI



知识产权出版社

全国百佳图书出版单位

图书在版编目 (CIP) 数据

纳米晶太阳能电池产业技术创新路线图及产业化模式：以河北省为例/李子彪，李元元著. —北京：知识产权出版社，2016. 10
ISBN 978 - 7 - 5130 - 4155 - 3

I. ①纳… II. ①李… ②李… III. ①太阳能电池—高技术产业—技术革新—研究—河北省 ②太阳能电池—高技术产业—产业化—模式—研究—河北省 IV. ①F426. 61
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 080365 号

内容提要

本书在新能源需求加大的背景下，首先分析纳米晶太阳能电池技术以及产业化方面的研究进展；其次阐明河北省纳米晶太阳能电池产业存在的优势与劣势、面临的机遇与挑战，对纳米晶太阳能电池技术市场需求、产业目标、技术壁垒及研发需求进行全面分析，绘制河北省纳米晶太阳能电池技术创新路线图；再次从纳米晶太阳能电池技术发展模式及研发主体、技术产业化组织模式、资金筹集模式、纳米晶太阳能电池重点应用领域、政府作用等角度探索河北省纳米晶太阳能电池技术产业化模式，并提出政策化建议。

本书适合高新技术创新管理、科技政策研究人员、政府管理人员、经济管理专业的高校师生以及相关领域的研究人员阅读。

责任编辑：李 潇
封面设计：李志伟

责任校对：谷 洋
责任出版：刘译文

纳米晶太阳能电池产业技术创新路线图及产业化模式
以河北省为例

李子彪 李元元 著

出版发行：知识产权出版社有限责任公司
社 址：北京市海淀区西外太平庄 55 号
责编电话：010 - 82000860 转 8133
发行电话：010 - 82000860 转 8101/8102
印 刷：北京中献拓方科技发展有限公司
开 本：787mm × 1092mm 1/16
版 次：2016 年 10 月第 1 版
字 数：167 千字

ISBN 978-7-5130-4155-3

网 址：<http://www.ipph.cn>
邮 编：100081
责编邮箱：lixiao@cnipr.com
发行传真：010 - 82000893/82005070/82000270
经 销：各大网上书店、新华书店及相关专业书店
印 张：10.25
印 次：2016 年 10 月第 1 次印刷
定 价：48.00 元

出版权专有 侵权必究
如有印装质量问题，本社负责调换。

前 言

随着经济社会的迅猛发展，全球对能源的需求量持续增长，且能源消耗主要以石油、煤炭、天然气等不可再生资源为主。统计显示，2014 年全球石油的消耗量占总能源消耗量的 32.6%，煤炭、天然气等资源消耗量分别占总资源消耗量的 30.0%、23.7%。石油、煤炭、天然气等资源属不可再生资源，其在地球上的储存量以及可开采量是有限的，据经济学家及科学家的普遍估计，石油、煤炭、天然气等资源未来将逐渐开采殆尽，世界将面临传统能源枯竭的危机。此外，由传统能源利用带来的生态环境问题也日益突出。传统能源消耗量的持续上升，导致大气中 CO_2 浓度剧增，由此引起全球气候变暖，据科学家预测，今后 45 年内地球表面平均温度将上升 $1.5 \sim 4.5^\circ\text{C}$ ，这将导致海平面上升 $25 \sim 100\text{cm}$ ；另外，20 世纪初期英国伦敦“雾都”的形成以及当前我国大范围的雾霾天气，主要是由于传统能源大规模利用引起的。基于此，以石油为主的传统能源结构向新能源结构转型已刻不容缓。目前，新能源作为一种绿色、清洁、可再生资源已引起了世界各国的广泛关注，其中，太阳能资源以其独特的优势而成为人们重点关注的焦点。太阳能资源作为地球上最重要的新能源，是一种清洁、安全，且受区域限制较小的能源。此外，太阳能资源是一种高效能源，太阳辐射到地球大气层外界的能量高达 $1.73 \times 10^5 \text{TW}$ ，即太阳每秒钟投射到地球上的能量相当于 5.9×10^6 吨煤。

光伏发电是利用太阳能资源的主要形式，目前，光伏产业日益成为国际上继 IT、微电子产业后又一爆炸式发展的行业，世界各国均将发展光伏产业作为发展高新技术产业的重要战略。近年，全球光伏市场保持不断增长态势，据 EPIA 统计，2014 年全球太阳能光伏新增装机容量超过 40GW，累计装机容量达到 177GW，2013 年中国新增装机容量占全球光伏新增装机容量市场份额的 30.54%，位居全球首位；日本的光伏新增装机容量为 6.9GW，位居全球第

二；美国为 4.8GW，位居全球第三；而在 2008 ~ 2011 年，欧盟各国一直是光伏行业的佼佼者。2015 年全球新增装机容量预计将超过 50GW，同比增长 16.3%，累计光伏容量超过 230GW，中国、美国、日本、欧洲各国仍保持强劲增长势头，印度、泰国、智利、墨西哥等国也纷纷发展光伏产业，新兴市场不断涌现。

纳米晶太阳能电池作为新兴光伏产品，具有制备工艺简单、成本较低、使用寿命长、可刚性、可柔性、可打印等特性，已引起了世界各国的广泛关注。目前，纳米晶太阳能电池还处于中试阶段，并未产业化，这为世界各国抢占纳米晶太阳能电池市场提供了契机。在光伏市场竞争激烈的态势下，世界各国纷纷投入科研力量研发纳米晶太阳能电池技术，并在纳米晶太阳能电池基础研究及产业化方面取得了一定成果。目前，美国已建立了 BIPV 建筑一体化示范工程，日本研究开发出了艺术图案纳米晶太阳能电池，澳大利亚建立了面积达 200m² 的纳米晶太阳能电池显示屋顶，德国研制了纳米晶太阳能电池组件汽车，韩国在纳米晶太阳能电池 BIPV 方面取得了一定成果。

我国的太阳能资源较为丰富，年太阳辐射总量 6680 ~ 8400MJ/m²，相当于日辐射量 5.1 ~ 6.4MJ/m²，特别是青藏高原中南部的太阳能资源尤为丰富，接近世界上著名的撒哈拉大沙漠。据数据统计调查发现，我国太阳能资源 2/3 地区的利用价值很高或较高，1/3 地区绝大多数也可以利用。此外，我国与同纬度的其他国家相比，与美国相近，比日本、欧洲条件优越得多，因而有巨大的开发潜力。我国光伏产业自 2002 年规模化发展以来便迅速发展，并逐渐成为世界光伏制造量第一的国家，但我国的光伏技术水平则一直处于跟随者的状态。纳米晶太阳能电池技术作为一种新兴高新技术，它的研究、开发将有望使我国摆脱跟随者的身份，同时纳米晶太阳能电池技术的研究、开发，将会进一步提高我国光伏产业核心竞争力，确保我国在国际光伏市场上的地位。目前，我国纳米晶太阳能电池发展起步较晚，在核心技术方面以及产业化方面较美国、日本等国相对不足。

河北省是我国重要的光伏产业基地，2012 年河北省太阳能电池产量高达 332.13 × 10⁴kW，仅次于江苏、江西两省，位居全国第三；2013 年由于我国受欧盟“双反”影响较大，绝大部分省市区的太阳能电池产量均出现了大幅下滑，而河北省在行业危机中逆市而上，其产量达到 339.3 × 10⁴kW，实现了

0.5%的同比增长率；2014年上半年河北省太阳能电池出口额高达6亿美元，仅次于江苏、浙江两省，位居全国第三。但河北省在纳米晶太阳能电池研究方面较国外以及国内其他省区相对不足，据统计，在2004~2015年，上海、北京、吉林、陕西等省市申请有关纳米晶太阳能电池技术的专利数分别为37项、10项、6项、5项，而河北省在此期间并未申请相关的专利。在当前世界各国以及我国其他省市区竞相研发纳米晶太阳能电池技术的态势下，河北省也应采取一定的措施发展纳米晶太阳能电池技术，以进一步提升河北省光伏产业核心竞争力。

在光伏产业竞争激烈的态势下，如何发展河北省纳米晶太阳能电池技术，实现纳米晶太阳能电池技术产业化，以提升河北省光伏产业核心竞争力，是摆在省政府、光伏生产经营者和学者面前的一个严峻问题，因而，指明纳米晶太阳能电池技术发展方向、制订加速河北省纳米晶太阳能电池技术产业化进程方案将是未来的研究方向。本书认为，技术路线图作为一种未来可视化规划工具，其应用于纳米晶太阳能电池产业，可规划河北省纳米晶太阳能电池技术发展路径，明确其发展方向，此外探索一条符合河北省实际的产业化发展模式能够有效地加速河北省纳米晶太阳能电池技术产业化进程。

2012年5月课题负责人赴荷兰马斯特里赫特大学做访问学者，研究高新技术产业的研发和发展问题，期间对纳米技术和生物技术的国际前沿进行了跟踪。基于此背景，2013年与荷兰马斯特里赫特大学 Lili Wang 等多位老师合作申请了2014年度河北省科技计划项目“纳米晶太阳能电池技术创新及产业化联合研究”（项目编号14394403D），并获得立项。本书的研究内容即在河北省科技计划项目资助下展开的。其一，全面分析了国内外以及河北省纳米晶太阳能电池技术以及产业化方面的研究进展，明确了河北省在纳米晶太阳能电池技术方面以及产业化方面研究的相对不足；其二，通过产业调研、分析，阐明河北省纳米晶太阳能电池产业存在的优势与劣势、面临的机遇与挑战，进而明确河北省纳米晶太阳能电池产业的任务与发展前景；其三，对纳米晶太阳能电池技术市场需求、产业目标、技术壁垒及研发需求进行全面分析，并按照“市场需求—产业目标—技术壁垒—研发需求”的路径绘制河北省纳米晶太阳能电池技术创新路线图；其四，在河北省纳米晶太阳能电池技术路线图的基础上，从纳米晶太阳能电池技术发展模式及研发主体、技术产业化组织模式、资

金筹集模式、纳米晶太阳能电池重点应用领域、政府作用等角度探索河北省纳米晶太阳能电池技术产业化模式，以期加速河北省纳米晶太阳能电池产业化进程；其五，为推进河北省纳米晶太阳能电池技术产业化进程，进一步提出一系列政策化建议。

河北省纳米晶太阳能电池技术路线图及产业化模式的研究，不仅对河北省光伏产业结构调整、转化发展方式以及发展纳米晶太阳能电池产业具有重要的战略意义，同时对我国在光伏产业竞争激烈的态势下抢占纳米晶太阳能电池市场，提高光伏产业核心竞争力具有积极的指导作用。

除本书作者外，课题组其他成员还有李林琼、余迎新、魏进平、祝增奎、魏玉静，马斯特里赫特大学 Lili Wang 博士、Weihua Huang 博士也为课题的研究直至完成付出了艰辛的努力，在此对他们表示衷心的感谢。同时，河北省内 100 余位来自高校、研究所、企业等单位的专家参与了本课题的问卷调研工作，对本课题的研究提出了很多有意义的建议，在此表示衷心感谢。编制河北省纳米晶太阳能电池技术路线图以及探索河北省纳米晶太阳能电池技术产业化模式是一项复杂的系统工程，由于经验不足以及时间有限，书中难免会有瑕疵，请读者批评指正。

目 录

第一章 绪 论	1
1.1 研究背景与意义	1
1.2 研究的主要内容与研究框架	9
1.3 研究的创新之处	11
第二章 技术路线图理论基础与文献综述	13
2.1 技术路线图方法论综述	13
2.2 产业技术路线图研究进展	17
2.3 文献述评	19
第三章 纳米晶太阳能电池概况	21
3.1 纳米晶太阳能电池基础研究	21
3.2 纳米晶太阳能电池研究进展	29
3.3 河北省纳米晶太阳能电池研究进展以及国内外 研究对河北省的启发	56
第四章 河北省纳米晶太阳能电池技术创新路线图要素分析	61
4.1 市场需求分析	61
4.2 产业目标分析	73
4.3 技术壁垒及研发需求分析	78
第五章 河北省纳米晶太阳能电池技术创新路线图	91
5.1 创新路线图设计	91
5.2 创新路线图	92
第六章 河北省纳米晶太阳能电池技术产业化模式研究	94
6.1 发展模式及技术研发主体研究	94

6.2	产业化组织模式研究	101
6.3	产业化的资金筹集模式研究	104
6.4	政府在产业化方面的作用	106
6.5	纳米晶太阳能电池重点应用领域研究	107
6.6	产业化模型框架	115
第七章	推进河北省纳米晶太阳能电池技术产业化的政策化建议	117
7.1	加强产业化模式	117
7.2	加强与国外、国内其他省市区间合作	119
7.3	加强技术创新路线图配套工作	130
7.4	其他政策化建议	131
主要参考文献		134
附录 A	河北省纳米晶太阳能电池技术创新路线图要素 ——市场需求、产业目标调研	148
附录 B	河北省纳米晶太阳能电池技术发展模式及研发主体调研	151
附录 C	区域纳米技术发展关键路径研究测度变量间的相关系数矩阵	154

第一章 绪 论

1.1 研究背景与意义

1.1.1 课题研究背景

1. 发展纳米技术已成为世界各国发展高新技术产业的重要战略

纳米技术是一门在 0.1 ~ 100nm 空间尺度内操纵原子和分子,对材料进行加工,制造具有特定功能的产品或对某物质进行研究,掌握其原子和分子的运动规律和特性的崭新高技术学科(胡文祥等,1998)^[1]。纳米技术的内涵非常广泛,包括纳米材料的制造技术、纳米技术在各个领域(如医学、生物、化工、航空、气象等领域)应用的技术、在纳米微区内对物质传输和能量传输新规律的认识、在纳米空间构筑一个器件以实现对原子、分子的操控等。有研究表明,纳米技术可作为一种通用技术,广泛应用在几乎整个制造业的所有领域的经济活动中(Wang, Meijers, Szirmai, 2013)^[2]。纳米技术已与信息技术、生物技术共同构成了 21 世纪高新技术的三大支柱,且已被世界公认为最重要的、发展最快的战略高新技术产业之一,成为促进产业进步、发展国民经济和保障国防安全的重要推动力。

世界各国为提升国家核心竞争力,均将纳米技术作为国家重大战略性新兴产业,纷纷制定国家层面的发展战略和计划,加大科研投入。美国于 2000 年制定《国家纳米技术计划》(NNI),并不断加大 NNI 计划经费投入,自 2001 年至 2010 年共计经费投入已超过 118 亿美元。此外美国国会于 2003 年通过了《21 世纪纳米技术研究报告法案》,这标志着纳米技术已列入联邦的重大研发计划。2005 年,欧盟制定《欧洲纳米技术发展战略》,欧盟成员国德国、法国、英国、芬兰、比利时、丹麦等分别制订了符合本国国情的纳米技术发展计划,欧盟及主要成员

国已累计投入超过 140 亿美元。日本对纳米技术非常重视，将纳米技术开发计划列入 2001 ~ 2005 年、2006 ~ 2010 年“科学技术基本计划”中。近几年，日本国会又进一步提出将发展纳米技术作为今后 20 年日本的立国之本。日本重视纳米技术科研经费投入，其每年经费投入达到 5 亿美元。韩国 2001 年制定了《促进纳米技术 10 年计划》，2002 年颁布了新的《促进纳米技术开发法》，并于 2003 年又进一步颁布了《纳米技术开发实施规则》，其对纳米技术的重视程度不亚于美国和日本。澳大利亚于 2007 年开始实施总投资 2150 万澳元的“国家纳米战略”（NNS）。印度政府于 2001 年启动国家纳米技术计划（NSTI），科学技术部于三年内共投资 1000 万美元，此外印度政府于 2007 年投入 2.5 亿美元建设 3 个纳米研究机构，以实施其制订的一个五年计划。此外，新加坡、加拿大、以色列、巴西、俄罗斯等国也制定了符合各国国情的纳米科技战略。

2. 世界各国展开激烈的竞争态势

纳米技术代表了以使能技术作为基础的科学，这些技术仍处于技术生命周期的早期阶段，这为各国占据纳米技术的前沿地位，成为纳米技术的开拓者，进而能够引领高新技术产业的发展提供了契机。特别是对于欠发达国家来说，一项处于发展早期阶段的新技术是使其步入发达国家行列的踏板，较早地进入新技术的开发领域是实现赶超的关键（Perez, Soete, 1988）^[3]，所以，纳米技术为发展中国家提供了赶超发达国家的机遇。基于此，世界各国展开了激烈的竞争态势，以期成为纳米前沿技术的佼佼者。

纳米科技出版数是反映纳米技术基础研究情况的重要指标，该指标的变化趋势能够反映出纳米科技研究的激烈竞争的情况。为获得世界各国纳米科技出版物，明确其 2000 ~ 2015 年的变化趋势，本课题以 nano 为主题、以国家/地区为精炼因素，通过河北工业大学图书馆外文数据库——Thomson Reutere（web of science）对世界主要纳米科技国进行检索，并以 1 年为时间跨度展示其变化趋势，如图 1.1 所示。由图 1.1 可知，日本在 2000 年、2001 年位居世界主要纳米科技国之首，而美国的纳米科技出版物数量于 2003 年开始超越日本，中国的纳米科技出版物数量自 2005 年以来稳定上升至第一名，韩国的纳米科技出版物量自 2004 年超越德国、法国后，其排名一直稳定在第四位，印度的纳米科技出版物量自 2000 年持续稳定增长，截至 2015 年其增长幅度达到 392%，并自 2012 年超越日本后，其排名一直稳定在第三位，其他主要纳米科

技国也以不同的增长率呈现增长趋势，这表明世界各国的纳米科技出版物量基本保持持续竞相增长态势，展示了世界各国竞相发展纳米技术的局面。

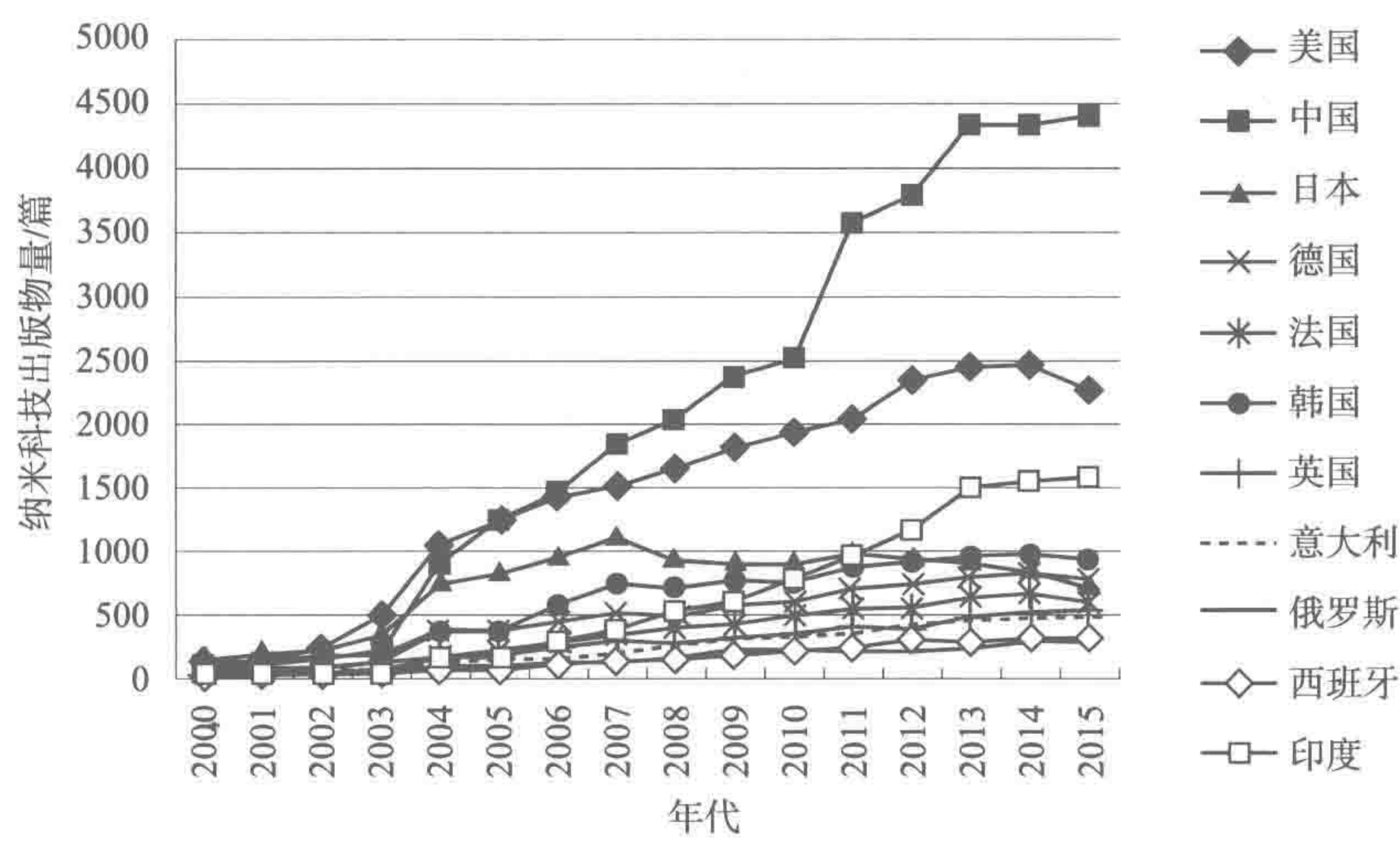


图 1.1 主要国家的纳米科技出版物量的变化趋势

注：数据由作者通过河北工业大学图书馆外文数据库——Thomson Reuters (web of science) 检索统计所得。

3. 产业创新技术路线图已成为河北省内、省外的热点话题

随着市场版图的不断扩大、市场需求的不断变化以及技术的不断进步，国际、国内省市区之间竞争日益激烈，同时，产业投资风险随之增加，基于此，国家、省市区、投资者急需寻求一种未来可视化工具，以便在把握市场经济需求的前提下，及时发掘技术潜在路径，把握未来技术发展机会，以提高自身竞争力、有效规避投资风险。产业技术路线图作为一种规划未来产业发展路径的可视化管理工具便迎合了这一需求，且其目前已成为美国、日本、英国、加拿大等国家广泛应用的管理工具，特别是美国，据鹤井由佳 2003 年在 Web 网站上对产业技术路线图进行的统计，美国绘制的产业技术路线图占产业技术路线图总量（46 个）的 75%。

产业技术路线图作为一种有效的管理工具，不仅受到美国、日本、英国等国家的广泛关注，同时也成为我国关注的焦点。自广东省于 2006 年在全国率先研究产业技术路线图的理论，并于 2007 年相继启动了“广东省建筑陶瓷技

术路线图”“广东省绿化无铅技术路线图”“广东省铝工业技术路线图”“广东省食品安全检测与评价技术路线图”“工业产品环境适应性国家重点实验室技术路线图”5个产业技术路线图后，产业技术路线图便引起了我国其他省市区的广泛关注，湖北、陕西、重庆、上海、天津等省市相继发起了绘制产业技术路线图的热潮。此外，河北省科技厅于2010首批启动了“光伏产业技术路线图”“钢铁产业节能减排技术路线图”“河北省种植业高效用水技术路线图”“中药产业注射剂质量控制与安全评价技术路线图”“河北省蔬菜（果菜类）产业优质高效技术路线图”“河北省风电装备产业技术路线图”“水泥产业节能减排技术路线图”“抗生素产业技术路线图”8个产业技术路线图。绘制产业技术路线图已成为目前河北省内、省外的热点话题。

4. 纳米晶太阳能电池将具有巨大的市场前景

能源作为人类社会赖以生存、发展的基础性资源是全球经济社会发展的最基本的物质保障。目前以化石能源为主体的传统能源结构正面临着能源日益枯竭以及气候变暖的双重挑战。据经济学家和科学家的普遍估计，到21世纪中叶，石油资源将会开采殆尽，煤炭、天然气资源也分别在2120年、2060年左右开采殆尽。由传统能源利用带来的气候变暖问题也日益突出，传统能源消耗量的持续上升，导致大气中CO₂浓度剧增，由此引起全球气候变暖。据科学家预测，今后45年内地球表面平均温度将上升1.5~4.5℃，这将导致海平面上升25~100cm，特别是我国在这方面表现尤为突出。据英国风险评估公司Maplecroft公布的温室气体排放量数据显示，我国每年向大气中排放的CO₂超过60亿万吨，位居世界之首，由此引起的气候变暖问题日益严重。据中国气象局发布的《2015年中国气象公报》显示，2015年，全国平均气温为10.5℃，较常年偏高0.95℃，创历史最高值。能源结构转型已刻不容缓。

新能源作为一种可再生能源，能够满足不断增长的经济需求，保证国家经济持续发展，且具有绿色、清洁等特点，能够有效地降低CO₂排放量。据估计，风能替代常规能源产量1亿度电，就可以减少600吨的CO₂排放量。基于此，世界各国积极调整能源结构，大力推进新能源发展。2012年世界核电、风电、太阳能、其他非水电可再生能源（包括生物质能发电和地热等）消耗量分别达到了2476.6TWh、521.3TWh、93.0TWh、435.0TWh，分别是1990年的1.24、144.8、232.5、3.57倍。特别是2005年以来，太阳能发电、风电

分别以 50%、25% 以上的高速度实现了飞跃式增长，如图 1.2 所示。

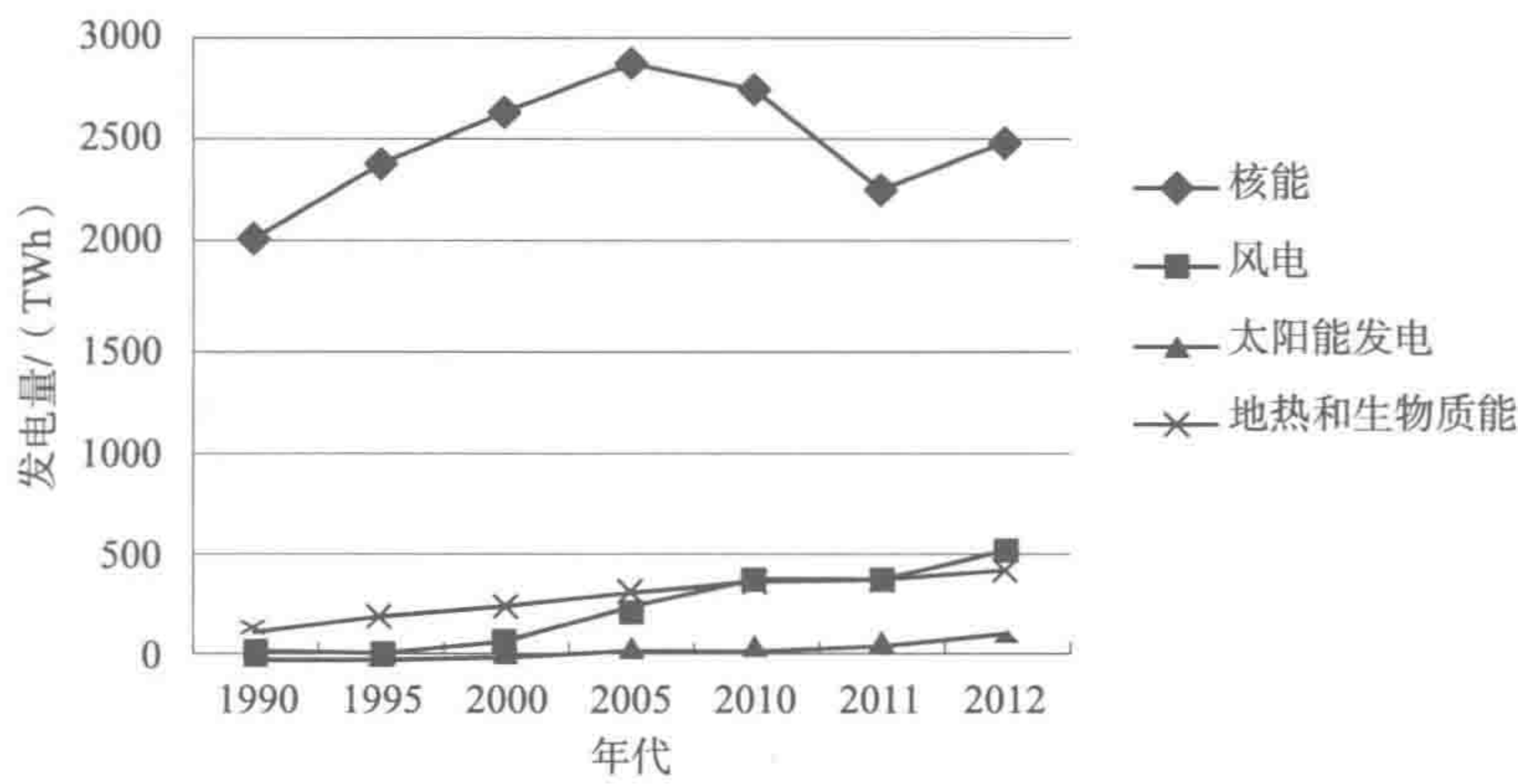


图 1.2 1990 ~ 2012 年世界新能源产业发电量情况

注：数据来源于《BP Statistical Review of World Energy 2013 workbook》。

新能源主要包括核能、风能、水能、太阳能、生物质能等，核能发电是利用核反应堆中核裂变所释放出的热能进行发电。目前，发达国家以及部分发展中国家相继建立了核电站，发展至今，核裂变技术已经比较成熟。但是国际上对核裂变的安全性问题存在争议，此外存在核能发电效率较低、成本投入大、产生的高低阶段放射性废料不易处理等问题。风力、水力等资源具有成本低、无污染等优点，但受地域影响较大，不易普及应用；生物质能具有燃烧容易、污染少、灰分较低的优点，但同时其能量密度低、收集成本较高；而太阳能作为清洁、高效、无污染、无毒害、成本低且受地域影响较小的新能源，将是未来新能源发展的趋势。此外，我国的太阳能资源较为丰富，年太阳辐射总量 $6680 \sim 8400 \text{ MJ/m}^2$ ，相当于日辐射量 $5.1 \sim 6.4 \text{ MJ/m}^2$ ，特别是青藏高原中南部的太阳能资源尤为丰富，接近世界上著名的撒哈拉大沙漠。据数据统计调查发现，我国太阳能资源 $2/3$ 地区的利用价值很高或较高， $1/3$ 地区绝大多数也是可以利用的，这为我国发展光伏产业奠定了物质基础。

由于太阳能资源是未来新能源发展的趋势，光伏产业也将是世界最具发展前景的新能源产业，其日益成为国际上继 IT、微电子产业后又一爆炸式发展的行业，发展光伏产业已成为世界各国提高核心竞争力的重要战略。目前国际上已商业化的硅基太阳能电池的市场已趋于饱和，且硅基太阳能电池技术已相当成熟，若仅发展硅基太阳能电池产业，未来部分国家将会丧失核心竞争力。为提高

自身核心竞争力，应适时转移光伏产业发展方向，开发、发展新型太阳能电池产业。纳米晶太阳能电池作为一种新型光化学太阳能电池自 Gratzel 研究团队于 1991 年将其光电转换效率提高到 7.1% 之后便受到世界各国的广泛关注，其具有制备工艺简单、制备成本低、使用寿命长、可刚性、可柔性、可打印等特性，此外，目前纳米晶太阳能电池的光电转换效率已稳定在 10% 左右，未来纳米晶太阳能电池将具有巨大的市场前景。目前，纳米晶太阳能电池产业还处于中试阶段，并未真正产业化，因此，这为各国抢占纳米晶太阳能电池市场提供了契机。

5. 作者致力于纳米晶太阳能电池理论研究以及太阳能应用研究

作者具有一定的纳米晶太阳能电池研究基础，并于 2014 年 1 月申请了河北省科技计划项目——纳米晶太阳能电池技术创新及产业化联合研究，旨在对纳米晶太阳能电池技术进行系统研究，研究纳米晶太阳能电池制作技术、纳米晶太阳能电池产业化模式。在应用研究方面，作者也取得了一定的科研成果，于 2014 年 12 月申请了两项实用新型专利——设有直通结构的太阳能花洒和自调节光线感应太阳能。设有直通结构的太阳能花洒与自调节光线感应太阳能均属于太阳能配件领域，前者主要解决目前传统用于太阳能的花洒放凉水时难以收集造成的水资源浪费的问题，笔者通过对现有花洒结构的改良，实现了水资源的高效利用，改良了太阳能淋浴使用的舒适度；后者主要解决目前传统太阳能热水器的吸热管太阳能利用率较低的问题，通过结构设计，该实用新型可最大限度地利用太阳能提高能量转换，且其智能化程度更高、应用性广，可实现吸热管的大角度调节，满足一年四季阳光光线角度变化的极值。

1.1.2 问题的提出

纳米晶太阳能电池作为一种新型光化学电池因其具有制备工艺简单、制备成本低、使用寿命长、可刚性可柔性、可打印等特性引起了国外及国内各省市区的广泛关注。目前纳米晶太阳能电池还处于中试阶段，并未真正产业化，各国、各地区为抢占纳米晶太阳能电池市场均积极致力于纳米晶太阳能电池的研究，开发且取得了一定的科研成果。河北省作为重要的硅基太阳能电池基地在国际和国内光伏市场上均具有一定的竞争优势，而目前硅基太阳能电池市场已趋于饱和，且技术已相当成熟，若仅发展硅基太阳能电池产业，未来河北省将在光伏市场上丧失核心竞争力。为维持本省光伏产业在国内外的地位，河北省

也专注于纳米晶太阳能电池的研究开发，但河北省在纳米晶太阳能电池的基础研究以及产业研究方面与国外或国内其他省市相比存在一定的差距。本课题认为，制定促进河北省纳米晶太阳能电池技术发展、加速产业化进程的方案、措施或政策将是河北省学者未来研究的方向。

技术的发展存在潜在路径，把握技术发展的潜在路径，便可有效地把握技术发展的机会，抢占技术制高点。本书认为促进河北省纳米晶太阳能电池技术快速发展的前提条件是明确其发展的潜在路径。高新技术产业化是指将对产业有重大影响的高新技术成果转化为产品，在 market 需求的驱动下，进行大规模研发、生产，并进行商业化经营的过程。高新技术产业化模式是高新技术产业化过程中所采取的产业化形式，是影响技术产业化进程的重要因素。本课题认为探索河北省纳米晶太阳能电池技术产业化模式对发展河北省纳米晶太阳能电池产业具有重要的意义，一条符合河北省实际的现代光伏技术产业化发展的模式可以加速河北省纳米晶太阳能电池产业化进程；切实有效的政策化建议，能够促进河北省纳米晶太阳能电池产业化发展，对河北省政府制定纳米晶太阳能电池发展政策具有重要的指导意义。

为在把握纳米晶太阳能电池技术市场需求的前提下探究河北省纳米晶太阳能电池技术发展的潜在路径，规划河北省纳米晶太阳能电池技术发展方向，保证河北省及时把握纳米晶太阳能电池技术发展的机会，以抢占纳米晶太阳能电池技术制高点，提高光伏产业核心竞争力，本书将一种未来可视化规划工具——产业技术路线图应用于纳米晶太阳能电池产业，以市场需求—产业目标—技术壁垒—研发需求为路径绘制河北省纳米晶太阳能电池技术路线图；此外，本书从纳米晶太阳能电池技术发展模式和研究主体、技术产业化组织模式、资金筹集模式、纳米晶太阳能电池重要应用领域、政府作用等角度探索河北省纳米晶太阳能电池技术产业化模式，以期加速河北省纳米晶太阳能电池技术产业化进程。

1.1.3 研究的意义

1. 为进一步探讨技术路线图理论以及应用具有一定的指导意义

本课题首先对技术路线图的内涵、划分、表现形式以及产业技术路线图的绘制、研究进展等进行了梳理。技术路线图作为未来技术发展的可视化工具，深受美国、加拿大、英国、日本、韩国等国家的青睐，并取得了显著的成果。

我国对技术路线图的研究起步较晚，基础理论以及产业应用方面均不成熟，本书通过对技术路线图相关内容的梳理，对进一步探讨技术路线图理论以及应用具有一定的指导意义。

2. 为河北省发展纳米晶太阳能电池产业指明了发展方向

本课题为能更清晰、准确地绘制河北省纳米晶太阳能电池技术路线图，首先对纳米晶太阳能电池的结构、工作原理、光电性能参数、研究进展等方面进行了梳理，为河北省发展纳米晶太阳能电池产业奠定了理论基础。此外，河北省在纳米晶太阳能电池基础研究以及产业研究方面较国外以及国内其他省市区存在明显的不足，致使河北省在抢占纳米晶太阳能电池市场时处于劣势地位。为摆脱这一劣势，河北省应明确纳米晶太阳能电池产业发展方向，及时把握纳米晶太阳能电池技术发展机会，以提高河北省光伏产业核心竞争力。本课题在把握纳米晶太阳能电池市场需求的前提下并结合目前纳米晶太阳能电池存在的技术壁垒制定符合河北省实际的纳米晶太阳能电池发展的技术路线图，切实为河北省发展纳米晶太阳能电池产业指明了方向。

3. 不仅可加速河北省纳米晶太阳能电池产业化进程，同时对其他行业具有重要的研究意义

本课题在纳米晶太阳能电池技术路线图研究的基础上进一步探索了符合河北省实际的纳米晶太阳能电池技术产业化发展模式，一方面，纳米晶太阳能电池技术产业化发展模式的提出能够加速河北省纳米晶太阳能电池技术的产业化进程，对河北省抢占未来纳米晶太阳能电池市场具有重要的影响；另一方面，本课题在产业化模式的研究过程中对纳米晶太阳能电池重点应用领域进行了研究，并对其发展进行了规划，不仅开拓了纳米晶太阳能电池的应用领域，同时也为其他行业指明了发展方向。

4. 对河北省制定发展本省纳米晶太阳能电池产业的政策具有重要的指导意义

本课题在纳米晶太阳能电池技术路线图以及产业化模式研究的基础上，进一步提出了一系列切实可行的政策化建议，如加强产业化模式、加强与国外和国内其他省市间的合作、加强技术路线图配套工作以及其他政策化建议，一方面加速了河北省纳米晶太阳能电池产业的发展，另一方面对河北省政府制定发展本省纳米晶太阳能电池产业的政策有重要的指导意义。