



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

科技革命与国家现代化研究丛书

Series of Studies in Scientific Revolutions,
Technological Revolutions and the Modernization of Nations

张柏春 主编

科技革命 与德国现代化

Scientific Revolutions,
Technological Revolutions
and the Modernization of Germany

方在庆 朱崇开 孙烈 崔家岭 朱慧涓 黄佳 著

 山东教育出版社



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

科技革命与国家现代化研究丛书

Series of Studies in Scientific Revolutions,
Technological Revolutions and the Modernization of Nations

张柏春 主编

科技革命 与德国现代化

Scientific Revolutions,
Technological Revolutions
and the Modernization of Germany

方在庆 朱崇开 孙烈 崔家岭 朱慧涓 黄佳 著

图书在版编目 (CIP) 数据

科技革命与德国现代化 = Scientific Revolutions, Technological
Revolutions and the Modernization of Germany / 方在庆等著. — 济南 :
山东教育出版社, 2020. 6

(科技革命与国家现代化研究丛书 / 张柏春主编)

ISBN 978-7-5701-0908-1

I. ①科… II. ①方… III. ①技术革新—关系—现代化建设—
研究—德国 IV. ①F151.643 ②D751.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 293968 号

策 划 陆 炎
责任编辑 胡明涛 王 利
责任校对 任军芳
装帧设计 晓 沫

KEJI GEMING YU GUOJIA XIANDAIHUA YANJIU CONGSHU
KEJI GEMING YU DEGUO XIANDAIHUA

科技革命与国家现代化研究丛书 张柏春 / 主编
科技革命与德国现代化 方在庆 朱崇开 孙烈 / 著
崔家岭 朱慧涓 黄佳 / 著

主管单位: 山东出版传媒股份有限公司

出版发行: 山东教育出版社

地址: 济南市纬一路 321 号 邮编: 250001

电话: (0531) 82092660 网址: www.sjs.com.cn

印 刷: 山东临沂新华印刷物流集团有限责任公司

版 次: 2020 年 6 月第 1 版

印 次: 2020 年 6 月第 1 次印刷

开 本: 710 毫米 × 1000 毫米 1/16

印 张: 12.75

字 数: 165 千

定 价: 71.00 元

(如装帧质量有问题, 请与印刷厂联系调换) 印厂电话: 0539-2925659

总序

现代化和科技革命是当代中国社会的热议话题，也是出版物中的高频术语。现代化是19世纪60年代以来中国的宏大实践，在20世纪30年代成为学者们广泛关注的议题。中华人民共和国在建国伊始就着力推进产业和国防的现代化，并且在五六十年代将现代化逐步具体化为农业、工业、国防和科学技术等方面的现代化。1964年，中央政府宣布以建成“一个具有现代农业、现代工业、现代国防和现代科学技术的社会主义强国”为发展目标。1978年，中央强调科学技术是生产力，是“四个现代化”的关键。此后，“科学革命”“技术革命”“科技革命”等概念深得学者们的认同。三四十年来，政府和科技界希望国家能抓住“新科技革命”的机遇，且借此实现现代化。那么，科技革命与现代化究竟存在怎样的关系？这正是本套《科技革命与国家现代化研究丛书》试图探讨的核心问题。

现代化、科学革命和技术革命等都是非常复杂的概念。本套丛中，我们将“现代化”理解为农业社会向工业社会的转变，工业化是这一转变进程中的一条主线。现代化始于西欧，逐步扩展到欧洲其他

科技革命与德国现代化

地区、北美以及亚、非、拉等地，其间伴随着工业强国的殖民扩张和“被现代化”国家的社会转变，包括转变中出现的弊端。我们所讨论的“科技革命”是科学革命和技术革命的简称，是指相对于知识进化而言的重大知识变革。第一次科学革命是指16和17世纪发生在欧洲的科学变革，其主线是由哥白尼拉开序幕，从伽利略到牛顿的物理学、天文学和数学等学科的理论突破及具有现代特点的科学建制化。第一次工业革命与第一次技术革命相伴发生，其主要标志是蒸汽机的发明和应用。历次的科学革命、技术革命和工业革命的成果在全球化的进程中传向世界各地，被人们普遍共享和发展，并影响到当地的知识和社会的转变。现代化、科学革命和工业革命（技术革命）早已成为一些史学家叙事的方法和框架，相关著述浩如烟海。有趣的是，此前学界对科学革命和技术革命的研究主要集中于欧洲，如意大利、英国、法国和德国，而对现代化的研究则主要关注该进程中的后起国家，如日本、中国、印度等。有关欧洲现代化的研究主要集中于早期现代国家制度产生的过程及文化上的现代性等方面。其原因显而易见，科学革命和技术革命主要发生在西方国家，而当以工业化为主线的现代化概念盛行时，西方发达国家已完成了由农业社会向工业社会的转变。然而，无论在西方还是在东方，每个国家都有其现代国家制度的确立及工业化的实现的具体过程，也同样都有现代科学和技术的形成和制度化的不同历程。

中国科技事业发展和现代化建设要求人们理解世界科学技术的发展历程，以求得历史借鉴和启发。李约瑟（Joseph Needham）等国

际学者能够研究中国的科学技术传统，我们也应该以自己的眼光审视世界科学技术的发展，提出新的学术问题和见解。1978年以来，中国科学院自然科学史研究所将世界科学技术史列为一个新开拓的研究方向，其重点是西方近现代科学技术史，编著了《20世纪科学技术简史》和《贝尔实验室》等学科史和机构史的著作。为了进一步探讨世界科技史，我们与中国科学院规划战略局领导在2010年春季开始组织研究“科学革命、技术革命与国家现代化的关系”，选择意大利、英国、法国、德国、俄罗斯（苏联）、美国和中国等国家为案例，着力阐释我国社会普遍关注的科技革命、现代化等重大问题，其中涉及发展的路径和模式。这个项目将对科学革命、技术革命的研究扩展到俄罗斯和中国等科学革命或工业革命的非原发国家，探讨“地域性的”科学革命或技术革命以及外力冲击下启动的现代化。一方面，从科学和技术的发展去理解社会的转变；另一方面，从社会的发展去理解科学和技术的变革。对这类复杂问题的探讨必定既有共识，又见仁见智。

经过认真筹划和评议，这项工作被中国科学院批准为“十二五”规划项目，同时被国家新闻出版总署列为“十二五”出版规划项目，并得到山东教育出版社的大力支持。为了实施这项计划，我们邀请自然科学史研究所、北京大学、清华大学、美国波莫纳加州理工大学（California State Polytechnic University, Pomona）、意大利卡西诺大学（Università di Cassino）等科研机构 and 大学的近30位专家学者，开展个案研究和综合研讨。为了完善研究计划，项目组在2012年访问德国马普学会科学史研究所（Max Planck Institute for the History of

科技革命与德国现代化

Science），与雷恩（Jürgen Renn）所长等近20名西方科技史专家学者讨论这项研究的框架、主要内容、典型案例、方法论、前人工作和资料基础等重要问题。此外，项目组还听取了美国、法国、俄罗斯、意大利、英国等国专家的建议。国际同行的中肯意见对项目的设计和和实施很有帮助。

科学革命、技术革命与现代化的关系是一个富有挑战性的、视野宽阔的大题目，对这个专题的研究在国际上非常罕见。我们期望通过探讨这样的题目，能够为学术研究贡献点滴新知识，对读者思考有关问题提供线索。当然，在国内的世界科技史研究积累薄弱的情况下，研究这么大的新题目算是一次冒险的尝试。无论我们怎样努力，《科技革命与国家现代化研究丛书》都会挂一漏万，不过是万里长征的第一步。受研究基础的限制，目前完成的书稿中难免有疏漏，甚至错误，敬请学界同道和读者朋友们不吝赐教。

中国科学院自然科学史研究所

张柏春

2017年5月6日

于科学院基础园区

目 录

引言 \ 1

第一章 “国家改革”与德国现代化的开端 \ 1

第一节 德意志神圣罗马帝国的兴衰与普鲁士的崛起 \ 2

一、德意志神圣罗马帝国的兴衰 \ 2

二、普鲁士的崛起 \ 5

第二节 关税同盟与全德铁路系统 \ 11

一、关税同盟 \ 11

二、全德铁路系统与德国的工业化 \ 13

三、德国统一与俾斯麦时代的内外政策 \ 16

第二章 教育、科学的发展与物理学革命 \ 22

第一节 教育体系现代化与现代学术的起源 \ 23

一、科学繁荣与快速工业化的基础——教育的普及 \ 23

二、现代大学的建立 \ 30

三、有教养的中产阶级 \ 36

第二节 基础科学研究的突破 \ 40

科技革命与德国现代化

- 一、哥廷根学派与世界数学中心的形成 \ 40
- 二、化学发展与教学研究实验室的建立 \ 44
- 三、物理学的崛起 \ 49
- 四、物理学革命——量子力学与相对论 \ 54
- 五、国家现代化的完成 \ 61

第三章 “科学—产业—政府综合体”与德国工业化 \ 68

第一节 技术进步与现代工业发展 \ 69

- 一、克虏伯与军事工业 \ 69
- 二、西门子与电气工业 \ 76
- 三、狄塞尔与汽车工业 \ 80

第二节 工业实验室及哥廷根应用数学与物理促进协会 \ 87

- 一、工业实验室 \ 87
- 二、哥廷根应用数学与物理促进协会 \ 93

第三节 国家介入科技发展 \ 102

- 一、帝国物理技术研究所 \ 102
- 二、阿尔特霍夫体系 \ 108
- 三、威廉皇帝学会 \ 114

第四节 科技服务国家重大战略——以合成油为例 \ 116

- 一、“科学成为宗教” \ 116
- 二、法本公司开发合成油 \ 119
- 三、合成油在战争中的作用 \ 124

第四章 二战后德国创新体系的形成与发展 \ 130

第一节 德国式的“研究—教育—产业”创新体系 \ 132

一、德国“科研—教育”综合体的形成与发展	133
二、多源的资助体系与“研究—教育—产业”的创新体系	137
第二节 德国创新体系之一——瞄准前沿的公立科研机构	140
一、马普学会	141
二、亥姆霍兹联合会	143
三、弗劳恩霍夫协会	144
四、莱布尼茨学会	145
第三节 德国创新体系之二——不断变革的高等院校	147
一、高等教育的大众化改革	147
二、“卓越计划”与精英战略	149
第四节 创新体系之三——领先的职业教育与企业创新	154
一、“双元制教育体系”	154
二、应用科技大学	157
三、合约与合作模式的企业创新	159
第五节 全球化背景下的反思	161
一、科技全球化的机遇与挑战	162
二、德国政府和企业界的应对之策	166
结语	170
参考文献	174

引言

19世纪下半叶至20世纪30年代初，德国曾被誉为世界的“科学中心”。与此同时，德国从一个落后的农业国，一跃成为欧洲最发达的工业大国。在这个过程中，科学和技术的发展扮演着极为重要的角色；从全球史的视野来考察这一过程，我们发现，科学的发展从来都不是单向度的，作用因素也从不是单一的，科学在德国的兴起与衰落，不只是德国自身因素在起作用，还与周边国家的科学发展息息相关。在整个过程中，有一点是比较清楚的：在落后时，向比自己发达的国家学习；在领先时，又担心被超越，克服内部压力，改革科研体制，使之永葆活力。从研讨班的设立到实验室的兴起再到专业科研机构的大力发展，其中既包含教育理念的革新、研究模式的更新以及科研体制的创新，也体现了科学与社会、政治与文化间千丝万缕的关系。本书从德国近两百年的科学发展史中抽出几个片段，试图说明这些科学发展中的各种内外因素是如何纠缠在一起的。



近代自然科学是在西欧产生的，它的兴起与大学的出现有着密切的关系。虽然德国境内的大学早在14世纪就出现了，但一直到17、18世纪之交，大多数大学还只是教授墨守成规的知识，不是新颖的观念，教授们也并不被寄希望于产出新的知识。1810年柏林大学的成立，从根本上改变了传统的教育理念。在威廉·冯·洪堡看来，发展大学是一种最高手段，只有通过它，普鲁士才能为自己赢得德意志世界乃至全世界的尊重，从而取得真正的启蒙和精神教育上的世界领先地位。学术研究是个人处于既孤寂（Einsamkeit）又自由（Freiheit）的状态下思考的结果。只有处在这种状态中，个人的注意力才能高度集中，从而产生创造性的工作。有学者认为，柏林大学创建后，成功实践了“学术意识形态”（Wissenschaftsideologie）这个概念。它成为19世纪德国大学的官方意识形态，人们不但赋予了它一种令人敬畏的、几乎等同于宗教的地位，而且还将它定义为德国大学的“思想”。正是在这种学术意识形态的作用下，“探索的体制化”第一次融入了教学，追求科学和学术研究成为德国大学的核心特点，到19世纪中叶，德国大学几乎完全转变成研究机构。1860年后，这一“学术意识形态”被传播到了英国和美国。（沃森，2016）⁹

在教育氛围因学术意识形态的作用得到改善的同时，研讨班（Seminar）作为一种新型的、更为紧密的教学模式开始出现并得到了很好的发展。它看重的是观念以及知识交流，它比讲座有着更小的

课堂规模和更亲密的气氛，被认为是学习的高级阶段，是为了那些真正投身于专业研究的人才设置的。最初是哥廷根大学发展了研讨班，到了19世纪中叶，海德堡大学、波恩大学以及柯尼斯堡大学都开设有自然科学方面的研讨班。研讨班的形式启发了现代意义上的研究，导致了现代意义上的博士学位的出现，引出了学术化、分科化的“学科”或者专业，使现代大学的组织形式嬗变为以“院系”为单位，还使教学与研究在比例关系上平分秋色。新型研讨班在传遍德国、传遍各个学科的同时，也有力地促进了新型批判方法的普及。

二

在这种学术意识形态的影响下，大学作为最重要的科学研究场所为科学工作者提供了固定的研究舞台。科学研究的职业化和体制化最早在德国出现。19世纪下半叶，德国大学几乎完全转化成研究机构，其中有些可以说是科学共同体里各个领域的活动中心。当时的德国人才辈出，高斯、李比希、霍夫曼、亥姆霍兹、克劳修斯、基尔霍夫、黎曼、凯库勒等，这些来自各个领域的杰出科学代表，要么是代表了当时科学的最高水准，要么是开创了崭新的研究领域、创立了新的学科。到了19世纪末，德国已经成为一个实干家和革新者的国度，一个世界知名自然科学家们沉浸其中的国度，吸引了世界各地最有能力的学生来到他们的大学与实验室。

作为当今科学技术研究的重要阵地的实验室，其价值也是在这时的德国得到了发掘和重视。19世纪20年代以前，实验室研究还处于一种卑微的地位。它被认为是专为药剂师今后的职业培训所设计的，不适合在大学里讲授。这种地位的改观要归功于李比希。1824年，李比希担任吉森大学的编外教授。上任伊始，他就和两名同事建立起了自己的教学实验室，很快便招募了20人。李比希还自己设计了新的设备并投入使用，使得分析更快、更准确。由李比希领导的吉森化学实验室，成为当时欧洲乃至全世界的一流实验室。那里集结了欧美（包括东欧）各国最有才华的青年。后来奠定染料化学和染料工业基础的霍夫曼，科学史中广为流传的梦见苯的环状结构的凯库勒，都是这个实验室的成员。他们以在世界上任何地方都从未有过的实验室规模和实验热情，夜以继日地进行着实验研究。

19世纪后半叶，思想层面学术意识形态的影响日益深刻，实践层面实验室已广泛兴起，基于工业界的需求，大学教授成了实验室的抢手货。尤其到了19世纪末，既要满足工业界的需求，又要完成一定时数的教学任务，对于许多一心只想从事研究的科学家来说，就成了两难的问题。包括科学家、教育家、实业家以及公务员在内的一些有识之士开始奔走呼吁成立一种全新的学术研究机构。它应独立于大学之外，以纯研究为导向，没有教学任务；它应独立于各邦之外，只接受来自中央政府的拨款和私人企业的捐赠。帝国物理技术研究所（PTR）就是在这样的需求下应运而生的。它成立的目的是代表纯科学研究和工业技术方面的最高水平。

作为实业家和科学家的西门子，为这个新机构的建立出力甚多。他一方面想建立一个进行纯科研的机构，另一方面也想让这样的机构满足技术上短期的和长期的需要。帝国物理技术研究所首任所长是亥

姆霍兹，之后又有许多非常有名望的物理学家，如科尔劳什、瓦尔堡等相继担任所长。在这个研究所曾进行过一系列重要的实验，如最终导致量子物理学诞生的黑体辐射实验；为基于科学的工业制定了计量标准；对科学仪器、测量装置和材料进行检测和证明。帝国物理技术研究所站在了19世纪末20世纪初科学技术制度创新的最前沿。也许最能证明其成功的就是它带来了许多模仿者，如英国的国家物理实验室、美国的国家标准局，以及德国在1921年成立的帝国化学技术研究所（CTR）。

不过，在德国科学发展史上真正能称得上是大放异彩的科学还属物理学。从物理学所使用的方法和术语可以感知，这门学科在19世纪上半叶经历了根本性的变迁。数学已经与物理学紧密地联系在一起了。从牛顿力学到分析力学，再到电动力学，物理学的研究领域越来越精致化。与此同时，更为建制化的物理学研究机构和学术团体得以成立。1845年，柏林物理协会成立。1887年，帝国物理技术研究所成立。此外，在19世纪70年代，很多大学开始设立理论物理学教席。有研究显示，在19世纪，有800名来自英国和北美的物理学家与化学家在德国获得博士学位，39名英国重要的科学家受到德国思想的影响。这一时期物理学领域最具代表性的人物首推亥姆霍兹。他运用数学方法，将热、光、电、磁等现象解释为“能量”的不同表现形式，从而将它们联系起来。这也导致了热力学和统计力学的发展。概率被引入物理学的同时，也为19世纪末20世纪初的物理学危机埋下了伏笔。由于黑体辐射等现象的出现，牛顿力学与电磁力学、热力学之间的内在矛盾显露无遗，物理学革命出现了。相对论和量子力学就是这场革命的产物。在这一过程中，爱因斯坦、普朗克以及后来的海森伯、玻恩、索末菲等人发挥了巨大的作用。

三

与帝国物理技术研究所不同，1911年一个实业家协会创办了威廉皇帝学会，目的在于解决工业界对科学的需求。威廉皇帝学会主要从事基础研究，它与大学里的基础研究相互竞争。为了特定的研究计划，常常为某个科学家成立一个特定的“威廉皇帝研究所”。这个科学家可以与他的助手和合作者一起全身心地进行科学研究，不去考虑教学等方面的事务。最初建立的一些研究所，比如威廉皇帝物理化学和电化学研究所，是由德国实业家捐赠巨资建立的。威廉皇帝学会总是试图从不同的渠道谋得资金，以免受某个特定捐资者左右。其获得的资金有三个来源：帝国政府、各邦政府或地方政府以及感兴趣的实业家。它在一战前夕，已经建立了威廉皇帝生物学研究所、化学研究所、煤研究所、实验治疗研究所、劳动心理学研究所以及物理化学研究所。尽管每个研究所都有自己的研究导向，但对研究人员的业余研究却不作太多限制。威廉皇帝学会的运作模式也被当成楷模，成为争相效仿的对象。

正当威廉皇帝学会准备大展拳脚之时，第一次世界大战爆发，这从根本上改变了德国的科学政策。正如协约国一样，许多德国科学家狂热地欢迎1914年的战争。但是他们通常是以士兵身份，而不是以科学家的身份参与到战争中。由于年轻职员和大学生都参与到大战之中，大学和研究机构几乎形同虚设。而此时，由哈伯领导的威廉皇帝物理化学研究所却成功地转型，从一个纯学术研究机构，

全力以赴地转变为一个为战争服务的应用研究机构。一战结束后，德国的研究工作被迫处于停滞状态，《凡尔赛条约》的签订无异于雪上加霜。但是一战期间创立的研究机构还在，而且科学家与工程师、政府与工业界之间建立的密切联系还存在。这也是一战后德国科学能继续繁荣的基础。

魏玛共和国时期，科学团体遭到了非常沉重的打击。战后窘迫的经济状况迫使许多科学家为了养家糊口，不得不从事第二职业或另谋出路。一些原本热心支持科学研究并从中获利的企业，如煤炭、钢铁界的巨子，由于自身不景气，也停止了对研究的资助。众多研究所的预算降低到了难以维持甚至破产的地步。

尽管在经济上如此困顿，但还是不断有新的倡议被一些深谋远虑的科学决策者提出来，支持建立一种机制或机构来促进科学研究。在哈伯的倡议下，1920年10月30日成立了德国科学应急协会（Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft）。哈伯因而又被称为“应急协会之父”。后来又陆续成立了德国科学应急协会捐赠者联合会以及其他一些基金会，如李比希基金会、费歇尔基金会、拜耳基金会以及亥姆霍兹促进物理技术研究学会等组织。这些协会或基金会成立的目的是为了给处于困顿中的德国科学研究提供些许帮助。这些机构或组织的运作方式是德国科学的又一次制度创新。在魏玛共和国相对多元化的社会中，科学研究也有一个相对宽松、自由、民主的氛围。正是在这种氛围中，产生了“同行评议”体系。作为一种制度创新的产物，“同行评议”制度为德国科学界的筹款起了某种补偿作用。

魏玛时期的德国是“新物理学”的发源地。许多著名的物理学大师，如普朗克、爱因斯坦等都在德国。正是这些大师们的存在吸引了