

普通电工学

上 册

苏联 伊·尔·别尔斯基等著

水利电力出版社

普通电工学

上册

伊·尔·别尔斯基 維·阿·別謝克尔斯基
苏联 阿·維·頓斯柯依 斯·阿·浦 列 斯 合著
伊·克·尤尔克夫斯基

高紉麟譯 董毓秀 魯明校

苏联高等教育部审定作为高等学校非电工专业教学参考书

内 容 提 要

本书論述了关于苏联国民經济电气化及俄罗斯和苏联学者在电工发展过程中所起的作用。研究了电学和磁学中的定律及交流的理論基础。敘述了电的測量方法，电机和电力傳动，电子工程，电气照明，电热等問題之主要特点。还講述了关于电能的生产、傳送和分配的重要概念。

本书中譯本分三册出版。上册为电工原理部分，包括电及磁的基本定律、交流理論和电的測量三篇。

本书是高等学校非电工专业学生的教学参考书。

И.Р.БЕЛЬСКИЙ В.А.БЕСЕКЕРСКИЙ
А.В.ДОНСКОЙ С.А.ПРЕСС Е.К.ЮРКОВСКИЙ
ОБЩАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
ГОСЭНЕРГОИЗДАТ МОСКВА 1951

普 通 电 工 学 上 册

根据苏联国立动力出版社1951年莫斯科版翻譯

高緋麟譯 董毓秀 魯明校

*

95D24

水利电力出版社出版（北京西郊科学路二里沟）

北京市书刊出版业营业許可証出字第105号

水利电力出版社印刷厂排印

新华书店科技发行所发行 各地新华书店經售

*

850×1168 $\frac{1}{32}$ 开本 * 7%印張 * 203千字 * 定价(第10类)1.30元

1954年7月北京第1版 1956年11月北京第3版

1960年2月北京第8次印刷(16,481—19,250册)

著者原序

本书系根据在偉大卫国战争时期牺牲的 E. K. 尤尔克夫斯基所著高等工业学校非电机专业电工学教科书为基础改写而成的。

但是鉴于近年来，电工的迅速发展以及許多新式装备的出現，因而本书已全部加以改編，事实上已成为一本新书，其中仅保存了 E. K. 尤尔克夫斯基教科书的个别部分。大多数的篇章已完全重新編纂，且某些部分，例如：“电力傳动”一篇，在本书里就是第一次編入普通电工学这门課程。另一方面，刪去了对某些現代的技术及工业实用意义不大的章节，例如：交流整流子电动机、回转变流机、单相异步电动机等皆未編入书中。

对电路、电机及仪表等的現象及过程的叙述，书中特別注意到它們的物理解釋。

本书的第一、第二、第三及第七篇是由 B. A. 別謝克尔斯基写的，第四、第五及第六篇是由 C. A. 浦列斯写的，第八篇及第十篇是由 И. P. 別尔斯基写的，第九篇是由 A. B. 頓斯柯依写的。引言及結束語是由 C. A. 浦列斯写的。

书中内容与1950年由苏联高等教育部批准的普通电工学課程大綱相符。

C. A. 浦列斯

目 录

引言	1
1. 苏联国民经济的电气化。电气自动化	1
2. 俄罗斯及苏联科学在电工发展中的作用	6

第一篇 电及磁的基本定律

第一章 直流定律	14
1-1. 电流	14
1-2. 电导及电阻	15
1-3. 电压。段落电路的欧姆定律	17
1-4. 闭合电路的欧姆定律	18
1-5. 克希荷夫定律。并联	20
1-6. 复杂电路的计算方法	23
1-7. 功率及能量	28
第二章 电磁现象	31
2-1. 电流的磁场	31
2-2. 磁感强度及磁通量	31
2-3. 磁场与载流导线的相互作用	34
2-4. 磁场强度及磁导率	35
2-5. 全电流定律	37
2-6. 铁磁	40
2-7. 磁路	44
2-8. 电磁感应	48
2-9. 互感	51
2-10. 自感	53
2-11. 涡流	56
2-12. 磁场的能量	57
2-13. 电感电路的闭合与开启	62

第三章 电場68

- 3-1. 电場强度68
- 3-2. 电位71
- 3-3. 电位移72
- 3-4. 电容74
- 3-5. 电場能量78
- 3-6. 电容器的充电与放电79
- 3-7. 最主要的絕緣材料83

第四章 电流通过溶液的现象86

- 4-1. 电解液的电导率86
- 4-2. 鉛蓄電池88
- 4-3. 硷性蓄電池92

第二篇 交流理論

第五章 交变电流、基本概念94

- 5-1. 交变电动势之获得94
- 5-2. 周期及頻率98
- 5-3. 向量图100
- 5-4. 电流、电压及电动势之有效值104

第六章 交流电路108

- 6-1. 带电阻的交流电路108
- 6-2. 带电感的交流电路112
- 6-3. 交流电路中之电容117
- 6-4. 有效电阻和感抗串联。交流电路之克希荷夫第二定律121
- 6-5. 有效电阻、电感和电容串联127
- 6-6. 电压諧振131
- 6-7. 电阻和电抗并联。交流电路之克希荷夫第一定律134
- 6-8. 电流諧振139
- 6-9. 功率因数对电网工作的影响141
- 6-10. 带有鋼心綫圈之电路。非正弦电流144

6-11. 振蕩回路。电磁場.....	150
---------------------	-----

第七章 三相电流	156
----------------	-----

7-1. 三相电流之获得.....	156
7-2. 发电机繞組之接綫.....	159
7-3. 受电器之星形接入法.....	162
7-4. 受电器之三角形接入法.....	167
7-5. 三相电流之功率.....	171
7-6. 旋轉磁場.....	173

第三篇 电的測量

第八章 电气測量仪表之基本型式	182
-----------------------	-----

8-1. 一般概念.....	182
8-2. 磁电式仪表.....	188
8-3. 电磁式仪表.....	189
8-4. 电动式仪表.....	191
8-5. 热綫式仪表.....	193
8-6. 感应式仪表.....	194
8-7. 靜电式仪表.....	201
8-8. 磁电示波器.....	202

第九章 电的測量方法	204
------------------	-----

9-1. 电流之測量.....	204
9-2. 电压之測量.....	206
9-3. 电阻之測量.....	207
9-4. 直流功率及能量之測量.....	212
9-5. 单相交流有功功率及能量之測量.....	215
9-6. 三相电流有功功率及能量之測量.....	218
9-7. 无功功率及能量之測量.....	222
9-8. 功率因数之測量.....	223
9-9. 頻率之測量.....	225
9-10. 非电数值之电气測量.....	226

引 言

1. 苏联国民经济的电气化。电气自动化

苏维埃国家成立的初期，它的創始者——偉大的列宁——提出了关于国家电气化的問題。这时列宁提議要“特別注意工业及运输业的电气化及电在农业上的应用”。后来为了實現列宁的指示，成立了一个特別的委员会，名为全俄电气化委员会，簡称为 ГОЭЛРО。在1920年期间，由列宁經常指导的这个委员会拟定了用单行本印成的报告书——“全俄电气化計劃”。报告书于第八次全俄苏维埃代表大会开幕前夕印发，在会议上电气化的計劃已被批准。在1920年12月22日的会议上，列宁在关于全俄电气化計劃具有历史意义的发言中，清楚地論述了这个計劃对于今后整个国家經濟及文化发展的作用；他称全俄电气化計劃为“第二个党綱”。列宁指出：“电是现代大生产的技术基础”和“共产主义就是苏维埃政权加全国电气化。”

斯大林同志热誠地支持了全俄电气化計劃。关于这个計劃，斯大林在給列宁的信中提出了全俄电气化計劃的最大的优点和关于如何能胜利地实现这計劃的自己的意見。

估計期限为十五年的計劃，已經提前完成，并已实际成为苏联以后所有建設計劃的基础。全俄电气化計劃开辟了苏联經濟恢复及社会主义改造的偉大工作时期，它也是苏联五年計劃的开端。

和列宁一样，斯大林同志指出：“沒有电，决不能振兴工业，改造农业。”在1928年11月的联共（布）中央全体会议上，斯大林同志指出：“列宁认为国家电气化并不是个别发电厂的孤立建造，而是把国家經濟包括农业在內，逐步地轉移到近代大生产的新的技术基础上，而这种近代大生产是这样的或那样的、直接的或間

接的与电气化的問題相联系着。”

全俄电气化計劃的完成以及往后的苏联电气化及电气自动化的全部发展，都是在党和政府的领导下进行的。

经过几个五年計劃，苏联已成为高度工业化及电气化的强国。建立了用最新的国产机器及器件来装备的最大的火力和水力发电厂。国家布满了連接国内各个区域的輸电綫网，組成了强大的电力系统。

依据1950年8月~12月間苏联部长會議所公布的、具有历史意义的決議，已在伏尔加河、阿姆河、德涅泊河及頓河上大規模地展开了巨型水电厂的建設。这种技术史上的空前建筑（堪称为偉大的共产主义建設）当以更快的速度将三十年前所开始的国家电气化事业向前推进。

电及电气化乃是共产主义的主要物质技术基础。电能的重要是在于它具有下列的宝贵特性：

- 1) 电能具有万能性，即易于变成其它形式的能量——机械能、热能、光能、化学能等；
- 2) 电能易于輸送到远方；
- 3) 电能可以容易而方便地分成任意部分，甚至分到最小微量；
- 4) 与其他能量相比，特別容易控制、測量及調整。

由于电能可以輸送到远方，国家的所有动力資源就有被利用的可能，并且此种利用在技术上是合理的。如火力发电厂建筑在烟煤、褐煤及泥煤矿区附近，就可以采用包括低等燃料在內的各类燃料。又如水电厂正日益扩大地利用着河流、瀑布、山湖等的能量。若兴建乡村的及集体农庄的水电厂而将小河也納入国家能量的周轉中，則这些小河的能量也能得到有益的利用。利用大量空气移动能量的风力发电厂，在动力經濟中正在起着一定的作用。

在所有国民經济部門中的配电与供电方面，电工技术給予了更多的可能性。在轉动机器、車床及机組方面，在用熔化、加热

及焊接等方法將材料進行熱處理方面，在工房的照明方面及許多化學過程中，如果不廣泛地應用電能，則近代化工業是不可想象的。由於能充分地供電，工業中許多新的部門，例如鋁及其他輕金屬的生產等便出現並且發展起來了。由於有了電氣化，使重物的搬運及提升方面的很多操作都機械化了，使工人從笨重的勞動中解脫了出來。

電氣化正以很快的速度深入到國民經濟的其他部門中——運輸及農業。依據國家的幾個五年計劃，鐵路將逐漸轉向到電車曳引，這較之火車曳引具有巨大的技術經濟的優越性。在农村中，電氣照明及各樣農業機器的電力傳動正在很快地普及着。

僅就工業及其他國民經濟部門的供電來講，是遠不能說明電氣化的含義的。電氣化還使生產機器的本身及其生產過程發生高度的改變。生產機器與生產設備中的許多單獨機構的電力控制（啟動、調速、制動等），從根本上改變了機器和設備的構造，這就使生產率及產品加工的质量能够大大地提高。由於電力傳動的複合運用，電氣化能對車床、機器設備的工作進行精確的控制與檢查，並使它們能很迅速地適應於工藝過程中變化着的要求。全面地講，這就不僅和機械有關，而且也與熱處理過程有關，例如感應加熱及電的表面淬火等等，在許多生產部門中，這些熱處理過程已引起了很大的改革。基於新發現的電物理及電化學現象而創立起來的某些嶄新的工藝過程，已呈現在我們的眼前並在很快地發展着。

在我們的時代里，電能的應用通過電氣自動化，即電氣化的最高形式，而獲得了很大的發展。自動控制、自動檢查及自動調節乃是技術進展之最重要的手段，它們具有近代科學技術發展的全部特征。以前，自動車床及機器僅局限於某些生產部門，而現在由於利用了電氣工具，很可能將自動化裝置推廣到一切國民經濟部門中。由於採用了自動化的電力傳動，就製造了多種多樣的車床、機器及設備，它們在複雜的運行中，能依次更換，自動完成那些複雜的操作循環，這種運行的次序是事先由工作圖表用電

控制机件所规定的。

在最复杂的操作循环里，各个单独的机器与机床均与公共的中央电气控制设备联接在一起，组成若干自动的流水作业线。

电的自动控制能保证不断地观察与记录这些或那些表示生产过程的基本物理量和参数。任何参数的改变能造成电的冲击，为了控制和检查就要测量、记录和利用这些冲击。在许多大量生产中，自动的规格检查器能将产品依其尺寸、形状及其他特性进行分类就是基于这种原理。在热及化学设备中，电的自动控制用来保持最合适的温度、压力及浓度。这样就保证了正常的运行，并消灭事故发生的可能性。

将连续控制与检查的仪器联在一起，就形成了自动调整系统，它能使很多的、甚至最复杂的生产过程完全自动化。这些设备中，在测量参数的同时，还不断地送出信号，这些信号经过必要的改变和放大以后，便在控制电路中引起这样的变化，此种变化将生产机器或设备的一切部分都调整到最佳的工作状态。因此全部设备便不断地反应着生产过程的进行，自动改正一切误差而保持着事先规定的操作精确程度，如产品必要的尺寸或物理化学特性等。

广泛地实行电气化，特别是电气自动化，不但从根本上改变了生产过程的特性，也从根本上改变了劳动的条件。必须指出：在这个问题上，资本主义社会制度与社会主义制度间有着深刻的差别。在资本主义社会里，机械化与自动化提高了设备的生产率，但因人体的劳动在很大程度上被万能的机械与仪器所代替，故同时又引起了劳动力的过剩。所以在资本主义社会里，技术进步不是使劳动者的境遇有所改善，而是导致相反的结果，促使失业增多，从而增加了苦难和贫困。此外，单方面的、只对企业主有利的机械化，常常使得生产中的劳动条件更加恶化起来。例如在各种产业部门中，很多管理传送机的工人们，在传送机的高速运转下，他们本身也就变成了自动机器，变成了“机器人”，忍受疲惫不堪的机械式的单调劳动力。

一般地讲，在资本主义国家中，电气化与自动化的发展服从于经济局势的状况，并依靠劳动力价格、机械装备的价格及其他生产开支。因此，这种发展不可能具有象在社会主义计划经济条件里的原则上的意义。在社会主义计划经济条件，此种发展是技术进步的经常作用因素。

在苏联，电气化、机械化及自动化的施行，完全是为了劳动人民的利益，所以在这里便不会有象在资本主义国家中所常发生的那种矛盾。假若由于自动化的结果，使部分工人从原有工作中解脱出来，则他们很快就能得到新的工作，而且通常是担任比以前更熟练的劳动。同样，机械化决不会变成通过劳役制以提高生产力的手段。机械化与自动化的方法合理的、有计划的配合，总是使劳动条件更加改善，而不是使其恶化。正如苏联企业的实践所证明，由于生产部门实行高度电气化的结果，劳动过程的性质便不断地改变。繁重的体力劳动，与不需要脑力训练的单调劳动一样，是正在日益消失下去。继之而来的，是生产设备与生产机组的复杂电气自动控制与调整系统的调整，安装与维护方面的劳动操作正日益扩大地发展起来。这些操作除要求熟练的体力技巧以外，还要求具有熟悉科学技术的高度智力修养。因此，电气化和基于电气化的生产自动化，乃是消除体力劳动与脑力劳动对立关系的主要的和有力的手段。而消除体力劳动与脑力劳动之间界限，同时更广泛地创造条件，促进人们才能的全面发展，就是共产主义建设的基本任务。这里便显示出由 B.И. 列宁所下的定义“共产主义就是苏维埃政权加全国电气化”的深刻意义。

同时还须指出电气化在苏联人民文化发展领域中所起的重大作用。电气化给人们的生活带来了电气照明、电话、无线电及电视——这些都是教育广大群众及提高人民文化水平的最重要的杠杆。集体农庄生活中的生活电气化更具有特别巨大的意义，集体农庄的生活在文化水平方面来说，已接近于城市生活的情况。同时，借助于电气化，便实现着共产主义的第二个巨大任务——消除城乡之间的对立。列宁在1920年12月22日第八次苏维埃代表大

会上的发言里，特别指出了农民生活中的电气照明在文化上所起的作用。从那时起，人们为了向苏联电气化的伟大创造者表示最深切的热爱和敬意，便把电灯叫做“伊里奇灯”，以作纪念。

2. 俄罗斯及苏联科学在电工发展中的作用

在电工学的历史中，俄国的科学和技术占居着首要位置之一。

早在十八世纪的中叶，彼得堡科学院已紧张地进行了电学的研究。这门科学的创始人之一的 M.B. 罗蒙诺索夫在其名著“论述由电力而产生的空中现象”及“用数学方法论证的电学原理”中，首次指出了电现象与机械现象之间的联系。他将电力定义为“斥力及吸力的一种作用，也是光与火所产生的作用”。由于这样，罗蒙诺索夫就远远地超过了十八世纪占统治地位的理论，此种理论将电认为是液体、“流体”等等。罗蒙诺索夫与他的朋友（也是他的同事）里赫曼院士一起组织了对天电及雷电现象的系统的实地研究。为了测量电荷，里赫曼按照罗蒙诺索夫的意见制成了一种电表，这就是世界上第一只电气测量仪表。1753年，里赫曼在作实验时被雷电击毙了，他可以称为牺牲在征服自然的斗争中的科学英雄。

十八世纪的末叶，由于伏打及伽伐尼的研究，发现了电流现象，并发明了新的电源，于是电气学说就进入一个新的时代。俄国教授 B.B. 彼德罗夫开辟了实际利用电流的途径，他制造了当时最强大的电池，并且在 1802 年发现了电弧现象，这种现象后来被错误地称为伏打电弧。当时彼德罗夫不仅发现了电弧，而且还指出了它的最重要的用途，即：照明、电炉的恢复过程及金属焊接；因此，彼德罗夫可视为近代电工技术的创始人之一。

在十九世纪的前三十多年中，在电学与磁学的基本现象定律方面已经作出了最伟大的发现。在一系列电磁基本定律中，包括有俄国学者楞次——院士，后来曾任彼得堡大学的校长——的定律。楞次在 1833 年所发现的定律确定了电磁惰性的普遍原理，并

把电磁力的定律与电磁感应的定律联系起来了。楞次同时还与焦耳互不相关地发现了电能与热能之间的关系定律。

进入人类活动的全部领域——工业、运输业、军事、通讯、建筑及日常生活——中的各种电工技术，在电气和电磁基本定律的严密理论基础上蓬勃地发展起来了。在所有这些领域中，俄国的科学家及技术家们起着重大的、而且常常是主导的作用。

在有綫通讯的发展史中，俄国学者 П.И. 施林格占居着首要位置之一，他在1832年发明了第一个电磁式电报机。发明絕緣导电体的荣誉也应属于施林格，利用这种导体在空中、地下及水里布設长距离的通信綫成为可能。1812年，作成了远距离地雷爆炸装置。施林格的发明，以后被俄国的另外一些革新家加以发展了。俄国院士 В.С. 亚可比致力于电报和通讯綫的改进，他在1839年所发明的新式“打字电报机”在俄国得到了实际的应用。亚可比是俄国第一个远距离电报通讯(彼得堡与沙皇行宮之間)的創始人；在这个綫路装置中，亚可比首次采用了由他自己所发明的电报信号的“轉撥”或自动轉撥。

在十九世紀的末叶，俄国在通讯的领域中又占了第一位。偉大的无綫电通讯及无綫电工程創始人 А.С. 波波夫，应用了馬克士威尔，赫茲，列別节夫及其他学者的成就，在1895年发明了“雷击记录器”，这就是世界上第一个无綫电器具。1896年3月12日，在彼得堡大学物理研究室中举行了无綫电发射的第一次表演。从此产生了一个新的技术领域，这个领域在二十世紀中获得了巨大的发展。

俄国技术专家占居主导地位的另一领域便是电气照明，难怪在欧洲当时把这个照明称为“俄国光”。彼德罗夫所发明的电弧，由于俄国发明家的研究，以后便得到了广泛的利用。在这些发明家的中間，最著名的是 П.Н. 亚布罗赤可夫，他在1876年发明了由两排炭棒所組成的著名的“电烛”。由于亚布罗赤可夫不倦的努力，他的电烛已流行于全世界，到达了“波斯王与柬埔寨国王的宮庭”。这个事实在技术史上的意义远超出了电气照明的范围，因

为亚布罗赤可夫堪称为第一流的技术家，他成功地解决了电能的分配問題。

在弧光电气照明中，杰出的工程师 B.H. 契克列夫作了很大的贡献，他发明了带有差动调节的弧光灯，改进了亚布罗赤可夫的电烛，把弧光探照灯的构造也从根本上改变了，这种改变大大地增加了探照灯的光强。B.H. 契克列夫与 И.И. 亚布罗赤可夫及另外一些俄国电工技术的先锋战士一起，在1880年创办了世界首批电工技术刊物之一的杂志——直到现在仍存在的“电”杂志。

白炽电灯代替了弧光灯，白炽灯的诞生地也是俄国。卓越的工程师及发明家 A.H. 罗宾根，还在1873年便作成了第一个炭丝白炽灯，它是一切现代白炽电灯的雏型。以后，电气照明设备已大有改进，并得到广泛应用，但罗宾根在1890年发明了带有金属丝的白炽灯，又成功地对照明技术进行了再一次改革。

院士 B.C. 亚可比——十九世纪俄国科学技术多才的活动家之一——是电机学及电力传动领域中的一名先锋战士。他制成了第一具回转变动的电磁式电动机（1834年），并走在所有学者前面，首先注意到了电力传动较之蒸汽传动所具有的全部优点。他超过了当代技术思想好几十年。根据亚可比牵引小船的设计，第一次采用了电力传动，这个小船试验是1838年9月15日在涅瓦河上进行的。由于当时缺乏合适的电能发生器，亚可比的电动机没有得到进一步的应用，但发明者昭示了电力传动的可能性及其优点。

后来 B.H. 契克列夫在生产机器中第一次采用了电力传动，他在1872年制造了电气缝纫机。

俄国物理学家 A. Γ. 斯脱列托夫在直流电机的发展方面作出了伟大的贡献。他研究了铁的磁化现象，给电机及电器的磁路计算奠定了稳固的基础。

И. И. 亚布罗赤可夫是交流电机领域中的先锋战士，他为了给电烛供电，制造了一个新的发电机；亚布罗赤可夫发电机就是近代同步发电机的雏型。

交流最重要设备之一——变压器——的发明荣誉也属于

И.И. 亚布罗赤可夫，为了給受电器独立供电，他在自己的照明系統中采用了变压器；变压器和亚布罗赤可夫电烛都是在1876年发明的。以后，另一个俄国发明家 И.Ф. 烏沙金研究了变压器的构造，他提出变压器不仅用来給亚布罗赤可夫的电烛供电，而且也能供电給其他受电器。1882年在莫斯科工业展覽会上第一次展覽了烏沙金的变压器。

交流电机发展的輝煌时代，与卓越的俄国电工学家 М.О. 多里沃-多布罗沃尔斯基的名字是分不开的。多里沃-多布罗沃尔斯基是三相电流制的創造者，在現在全部电工技术中属于支配的地位。在十九世紀八十年代的几年中，多里沃-多布罗沃尔斯基研究了产生三相电流的方法与星形、三角形的接綫方法；之后，制造了第一个三相发电机及三相变压器；最后又制造了第一个三相电动机，特別著名的，是多里沃-多布罗沃尔斯基应用了非拉利斯所发现的旋轉磁場的原理，在1889年发明了繞綫式及鼠籠式三相异步电动机。在这个发明以后，已經过去60年了，而三相鼠籠式异步电动机在原理上仍保持着М.О. 多里沃-多布罗沃尔斯基所制造的形式，在全世界各地繼續地应用着，并且还是国民經济一切部門中的主要电动机。

俄罗斯同时还是电版术及电焊术两个优秀电工技术部門的誕生地。电版术，也就是用电解法从金属版复制精确副本的过程，是1837年由亚可比院士所发明。电版术首次在实际中的应用——在印刷业、文件及信貨券的印刷、美术工业等里——也是与亚可比的名字分不开的。电版术从俄国傳遍了全世界。

远在十九世紀的初叶，电弧焊接原理已由彼德罗夫发现了，但是在很长的时期中沒有得到实用。只是在1882年，天才的俄国发明家 И.И. 白納尔道斯才借助于炭質电极及被加工物体間所引起的电弧，建立了焊接与切割金属的实用方法。白納尔道斯的装置就是世界上第一个电焊器具。

以后，白納尔道斯还在电极材料及制造方法，被加工金属与电极的相互位置，控制电弧的方法等等各方面提出了一系列的改

进和改变的意見。可以认为，白納尔道斯通过自己的杰出发明决定了电弧电焊，这是工业电工的十分重要部門的进一步的全部发展。

除了白納尔道斯以外，另外一个卓越的革新家矿場工程师 H.Г. 斯拉夫揚諾夫在发展电热过程中也起了极为重要的作用，他在1880~1890年間，研究出来了并在工厂实践中采用了利用电弧以对金属进行加热及鑄的新方法。斯拉夫揚諾夫的电热过程成功地解决了許多工艺問題。这些問題包括将許多金属部分連接成为一个整体，大型鑄件中的縮孔填注，焊接头，鑄件濃縮，异类金属的堆焊等。斯拉夫揚諾夫所創立的新型“电鑄工厂”在彼尔姆火炮工厂中就是新技术的實驗室及策源地。

白熾电灯的創造者罗賓根在他的晚年里在电热领域中进行了大有成效的工作。为了冶炼金属及矿石，为了特殊零件的加热、淬火和退火，为了制磷等等，他发明了許多构造不同的电炉。

在1881~1883年間，法国工程师节浦列所架設的高压实验綫路是电力輸送发展中的重大成就。但在此以前，在俄国已經进行过許多长距离的輸电試驗。优秀的技术革新家 Ф.А. 彼罗茨基，于1874~1875年間在彼得堡的狼場上架設了一条将六馬力的电功率送至一公里远的輸电綫，这在当时來說，是一个巨大的成就。

Ф.А. 彼罗茨基在以后的实验中曾利用鉄路的軌道来輸送电能。在西斯特罗列次克城附近的浦里模尔斯克一段鉄道上的装置(在1876年)以及在彼得堡沿鉄道輸送电能以曳引車廂的装置(在1880年)都是利用鉄軌来輸电的，而后一种装置即可视为电車的前身。彼罗茨基以所作过的实验为基础，提出了就当时情况而論是极端大胆的倡議，即建議从廉价的能源——水电站——把电能送至远距离工厂来完成机械运轉。輸电問題的理論基础是在林业学院教授 Д.А. 拉契諾夫的著作中首先提出来的，1880年他在“电”杂志上发表了题为“电气机械功”的著名論文。在这个論文中第一次提出了輸电的理論，并且奠定了輸电綫路的計算基础；在这个