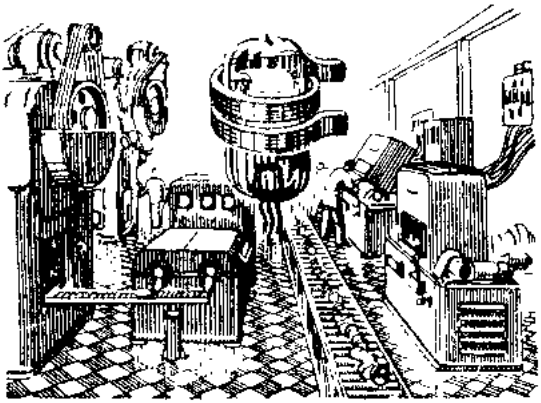
高頻热处理叢書

第 1 册

高頻加热技術的发展

〔苏联〕Д. И. 魯坚科 著



924

科学技術出版社

高頻热处理叢書

第 1 册

高頻加热技术的发展

〔苏联〕Д. И. 魯坚科著

孙 恩 德 譯

高 克 儉 校

科学技術出版社

内 容 提 要

这本小册子叙述了高頻加热技术在B. П. 沃洛格金教授領导下的实驗室和后来研究院里的发展。

这本小册子可供工业部門中从事高頻电流加热工作的有关人員参考。

高頻加热技术的发展

РАЗВИТИЕ ТЕХНИКИ
ВЫСОКОЧАСТОТНОГО
НАГРЕВА

原 著 者 [苏联] Д. И. Руденко

原出版者 Машгиз 1951年版

譯 著 者 孫 惠 德

*

科学技術出版社出版

上海市書刊出版业营业許可証出079号

上海市印刷六厂印刷 新华書店上海发行所总經售

*

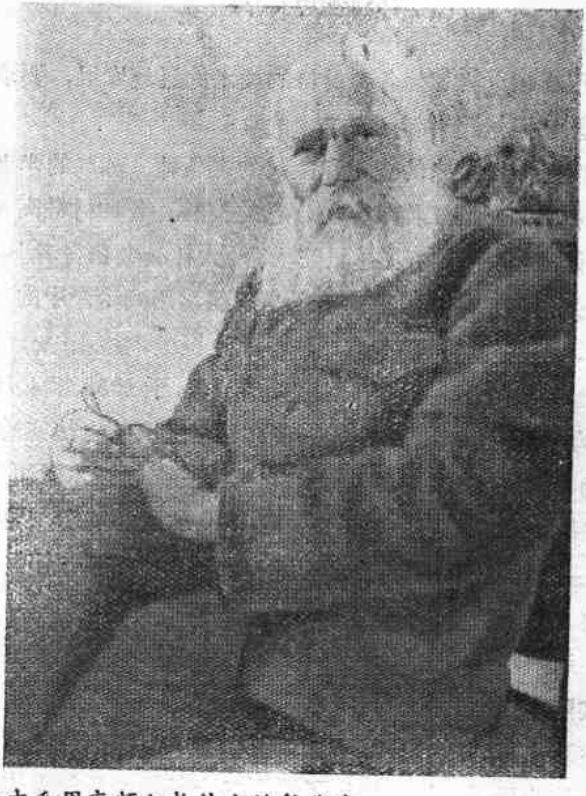
統一書号：15119·539

开本 787×1092 紙 1/32 · 印張 1 7/16 · 字数 26,000

1957年10月第1版

1958年6月第2次印刷 · 印数 1,601-3,100

定价：(10) 0.24元



工业中采用高频电热技术的奠基者

——苏联科学院通讯院士 В. П. 沃洛格金

OAN59/05

原編者总序

采用高頻电流加热各种材料的技术的迅速发展，要求拥有大量完全掌握这門最新高頻技术的專家。

苏联是高頻技术的理論和实踐的誕生地。苏联的学者——技术革新者向工业工作者介紹自己的經驗。各种材料高頻加热法的創始人、苏联科学院通訊院士、斯大林獎金获得者 B. П. 沃洛格金是以自己毕生的精力將科学成就运用到生产中的著名学者之一。

B. П. 沃洛格金教授在他逝世前不久，于 1953 年 4 月 23 日（当年为 73 岁）向自己所領导的苏联科学院高頻电热实驗室、列宁格勒 B. И. 烏里揚諾夫（列宁）电工学院高頻技术教研室和工业中采用高頻电流的科学研究院❶ 的全体同志表示，願意和广大的工业工作者交流自己的經驗。所以决定出版一套高頻热处理叢書。

在这些小册子中闡述了同物理現象和用感应法加热各种材料的实际运用有关的一些基本問題。

这套叢書的大部分作者是創造和发展高頻电热方法的参与者，这些小册子通俗地敍述了他們二十多年来所积累的科学研究工作的經驗。

叢書中的材料所論及的問題很广，由高頻加热法发展史起，直到該技术部門的現在发展情况止。如果說目前采用金属高頻

❶ 这个研究院于 B. П. 沃洛格金教授逝世后命名为 B. П. 沃洛格金研究院。

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

加热法，特别是介質高頻加热，仅限于一些特殊的工业部門，那么随着苏联电站网的扩展和电能成本的降低，采用高頻加热法的范疇將要不断地扩大。

苏联共产党第十九次代表大会在关于发展苏联第五个五年計划(1951～1955)的指示中規定：电能的生产应增長80%。

电能生产的迅速发展，可以保証在不久的將来，即能把高頻加热法运用到苏联国民經济的各个部門中去。

象無綫电工程从無綫电爱好者的队伍中培养自己的技术干部一样，高頻技术新工业部門也需要在生产者中間建立一支高頻加热热忱者的队伍。这套叢書就是为此目的而編纂的。

希望讀者对这套叢書中不妥之处多提意見，为此我們謹向讀者表示深切的感謝。

原　序

將近1928～1929年的时候，产生高頻电磁能的技术已有了很大的改进，可能取得的功率不仅足以用在無綫电通訊上，而且也能够应用于工业加热中。

这是恢复苏联国民經济的結束阶段和走向国家社会主义工业化的过渡时期。为了要完成发展国民經济的龐大的第一个五年計划，就必須在加速生产过程、提高工业技术水平、减輕体力劳动和改善劳动条件的现代最新技术的基础上来提高劳动生产率。

在工业上运用了高頻技术后，滿足了以上所提出来的一切要求。

許多先进的研究革新家开始采用高頻电流来进行各种試驗。B. П. 沃洛格金教授——后来的苏联科学院通訊院士——是这些学者中的最傑出的人物。B. П. 沃洛格金在他自己所領导的全体同志們的协助下，制成了熔煉金属用的無鉄心高頻感应炉，創造了利用高頻电流对鋼表面进行感应加热淬火的方法和金属的釺焊、堆焊、熔焊、鍛造等的感应加热法。在高頻加热介質材料和半导体材料方面，他同样也作了一些工作。

迅速地把自己的科学研究工作貫彻到工业中去是B. П. 沃洛格金的工作特点。

在工业上应用高頻电流的問題，同样也引起了那些对于高頻技术发展事业有所貢献的許多其他著名研究家們的注意。

要在这本小册子中彻底地敍述高頻技术在工业領域中各个阶段的发展情况是不可能的。此外，由于这个新工业部門的迅速发展和紧張的工作，使得 B. П. 沃洛格金教授所領导的全体同志不能够及时地以小册子的形式来敍述这个新工业部門在各个时期的发展情况，尽管他們对于这項工作頗感兴趣。因此，作者只能概括地敍述他所工作过的那个部門中高頻加热技术的发展情况，特别是在工业中采用高頻电流的研究院成立以前那个时期的发展情况。目前研究院的工作情况是用定期刊物介紹出来。

如果作者所敍述的材料在編制高頻技术总的发展史上有所貢献的話，那么也就达到了作者的願望。

目　录

原編者总序…… 2
原序…… 4
緒論…… 1
1. 采用高頻加热的初次尝試 …… 4
2. 工业用感应炉 …… 6
3. 表面的感应淬火 ……10
4. 偉大卫国战爭时期（1941～1945）的工作……30
5. 实驗室扩大为研究院 ……32
6. 高頻加热的运用 ……36

緒　論

1753年偉大的俄国学者 M. B. 罗蒙諾索夫在自己的"論电力起因的空气現象"中，首先在科学中創立了雷电理論，其基本原理与現代理論极其相似；但他还未考慮到雷电放电就是振盪放电。

在下一世紀法拉第发現了感应現象；他認为电力和磁力的傳播是以一定速度进行的振盪过程。麦克斯韋用数学的方法計算得并論証出电磁波的傳播速度等于光速。赫兹用实驗的方法証实了法拉第和麦克斯韋理論的正确性；他指出，改变电路中的电感和电容可以获得諧振效应。布丹利发現，如果在一些金属粉附近进行火花放电，那么这些金属粉有瞬时改变其本身电阻的性能，而明欽和罗德日应用金属粉的这些特性，制成一种仪器（称为"金属屑檢波器"）后，发現了赫兹射綫。

但是誰也不知道这些发現的实际意义。

只有另一位天才的俄国学者兼工程师 A. C. 波波夫，和从事雷电現象研究工作的罗蒙諾索夫一样，力求获得一个指示雷电放电現象的完善仪器——雷电指示器，結果他发現了被那些繼續赫兹实驗的学者所忽視的一些現象。

1895年5月7日 A. C. 波波夫在俄国理化学会物理分会的会議上首次展出了自己的雷电指示器，这个指示器就是第一架無綫电接收机，其中裝有天綫、地綫、帶电鈴的金属屑檢波器（电鈴的作用是使檢波器振动）和繼电器。这一天成为首先是通

訊領域中、其次是工业采用高頻电流領域中新紀元的开端。

俄国的工程师和学者 B. П. 沃洛格金是波波夫事业的繼承者，当时他荣获第一枚 A. C. 波波夫金質奬章。

那时俄国的工程师和学者是在俄国工业受外国壟断的极端困难的条件下进行工作的。在無綫电发明家 A. C. 波波夫的祖国里，整个無綫电工业（其中一部分是供应海关的）都操縱在外国人的手中。

这种情况引起进步海軍軍官中間的严重抗議，他們力求在無綫电領域中摆脫与外国的关系。

那时火花無綫电台的設备中包括許多形狀很粗笨、不用任何一种复杂的机床設备也能制造的零件。頻率为 500～1,000 周的高頻发电机是发射机唯一的复杂部分。在俄国很多工厂中，事实上只有設备比較完善的格列包夫电机厂才能制造这种发电机，当时工程师、工艺师 B. П. 沃洛格金正在該厂工作。有些海員們向該厂建議制造船舶发射机用的高頻发电机。

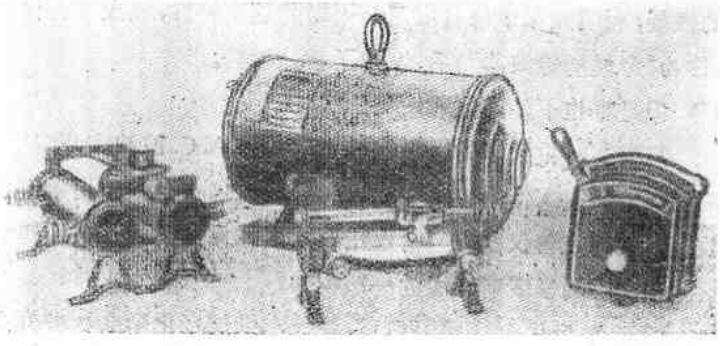


图 1. 1910 年 B. П. 沃洛格金发明的第一台高頻发电机，其功率为 200 瓦，頻率为 1,000 周。

年輕热情的 B. П. 沃洛格金欣然同意了他們的提議。所以

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

在 1910 年为火花無綫电台制成了由沃洛格金所設計的第一台 УМО 型高頻发电机，其功率为 200 瓦，頻率为 1,000周(图 1)。此后，他又制造了許多功率由1～50千瓦、頻率由1,000～60,000周的增高頻❶和高頻发电机。

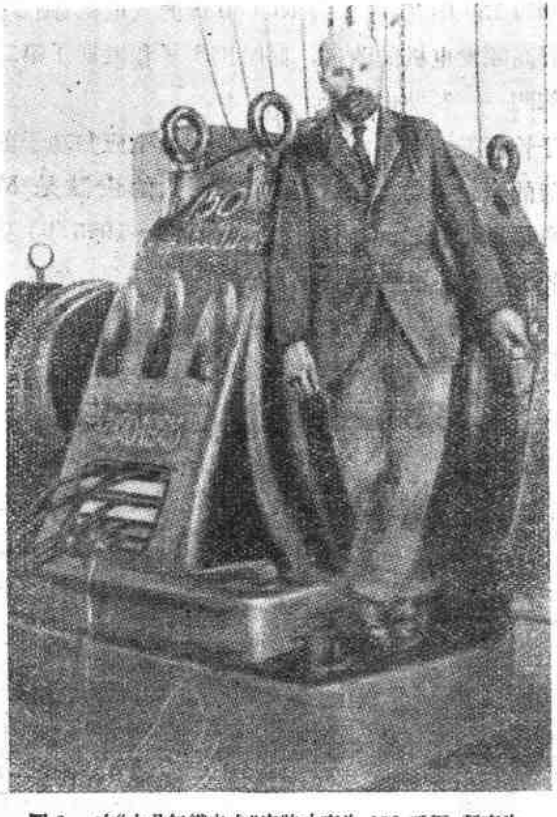


图 2. 在"十月無綫电台"安裝功率为 150 千瓦、頻率为 15,000 周、高頻发电机时的 В. П. 沃洛格金(1925 年)。

❶ 即 10,000 周以下的頻率。

后来，在 1922～1925 年間，当 B. П. 沃洛格金在尼斯城無綫电实驗室里工作的时候，制造了当时用于远距离無綫电通訊上的大功率高頻发电机，而目前則制造供金属加热用的大功率高頻发电机。那时他又制造了功率为 50 千瓦、頻率为 20,000 周以及功率为 150 千瓦、頻率为 15,000 周的发电机(图 2)。

随着高頻发电机的改进，同时出現了和发展了第二个無綫电工业部門——制造电子管。

电子管振盪器技术的发展在頗大程度上应归功于苏联学者和工程师的辛勤劳动。在这方面貢献最大的应該是 M. A. 邦奇·勃魯耶維奇教授，他研究出当时(1922～1925 年)功率最大的电子管，初次采用水冷却电子管的方法；同时，他又設計和制造了第一批大功率的电子管無綫电发射机。

1. 采用高頻加热的初次尝試

这样建立起来的高頻电源不仅可用于发展無綫电通訊，早在 1915 年，当 Д. Н. 巴巴列克西領导制造阴极繼电器（当时对于放大管的称呼)时，他曾利用高頻电流感应加热金属阳极来进行阴极繼电器的真空处理(图 3)。

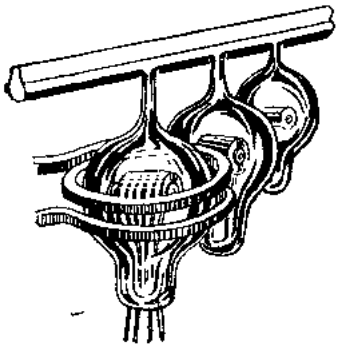


图 3. 在抽气过程中用高頻电流感应加热阴极繼电器的金属部分(1915 年)。

1918年在按列宁指示所建立起来的尼斯城無綫电实驗室里，M. A. 邦奇·勃魯耶維奇和 B. П. 沃洛格金在制造真空仪器——电子管和水銀整流器时，采用高頻

电流来感应加热其中的金属部分，其目的是在抽气时排出其中的气体。

虽然过去在設立無綫电台时，时常发現靠近高頻載流导綫的金属結構部分产生热效应，但是，当时認为发生这种現象是有害的，而加以防止了。但在这里却是破天荒第一次把高頻电場加热金属的方法运用到工业上了。

采用高頻电流的后一发展阶段，加热真空仪器中的金属部分以后，就尝試采用高頻电流来熔煉金属。1928 年 C. A. 朱斯馬諾夫斯基工程师在中央無綫电实驗室为列宁格勒采矿学院制造了一个功率約 3 千瓦的实驗室用感应炉，可熔煉 0.1 公斤鉑(图 4)。

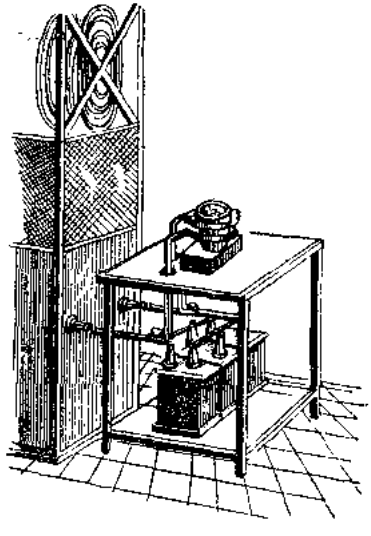


图 4. 1928年中央無綫电实驗室所制造的可熔煉 0.1 公斤鉑的第一个高頻感应炉。

这个炉子是由周圍繞有几圈水冷銅管的陶制小坩堝組成的，高頻电流就是沿着这个銅管流动。給感应炉供电的振盪器是由四个用空气冷却的电子管，連同無綫电振盪器的一般振盪电路所組成。感应炉的电路是由圍繞着坩堝的、且与电容器組相并联的几圈銅管組成。振盪器电路是依靠两电路变变电感的耦合給感应炉电路供电的。

此后，M. M. 包戈斯拉夫斯基工程师在普契洛夫斯基工厂(現在名基洛夫工厂)制造了与上述相类似的炉子，但是沒有中

間电路，并且使用的是用石墨粉絕热的石墨坩堝，坩堝里面涂鎂鎂石。坩堝裝在直接与振盪器振盪电路相接通的感应器內。

这种感应炉估計約可熔煉 0.5 公斤的鋼。

2. 工业用感应炉

1930 年 B. П. 沃洛格金在中央無綫电实驗室工作时，接受了政府的任务，要求他研究和制造熔煉鋼和有色金属的工业用大功率高頻感应炉。

剛完成可熔 5 公斤鋼的炉子連同功率为 30 千瓦电子管振盪器制造任务的青年工程师 A. A. 福盖尔，和电源实驗室主任 M. A. 斯比岑工程师，还有 И. И. 康托尔、B. И. 魯德吉克、B. M. 捷杰尔、B. И. 索罗金以及稍后加入的 Д. И. 魯坚柯等工程师，在 B. П. 沃洛格金的領导下开始研究一批由高頻发电机供电的感应炉。

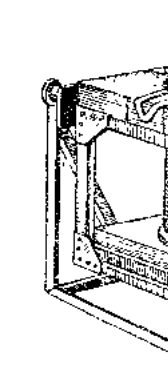


图 5. 1931年中央無綫电实驗室所属 B. П. 沃洛格金实驗室制造的第一个工业用感应炉，可熔 100 公斤耐热鋼，其頻率为 500 周。

結果，在1931～1932年間，制成了16个可熔煉30～150公斤金属的感应炉(图 5)。所有这些感应炉是由从市內自来水厂旧臭氧处理裝置上取得的不同功率的高頻发电机供电。在制造这些感应炉的基础上，又制造了一些熔煉金属的裝置，“电力”工厂、莫斯科汽車制造厂“AMO”(ЗИС)的鍛鉄車間、全苏航空材料学院和“电工”工厂等

各一个。这是苏联工业上第一批用高頻感应炉所装备起来的熔煉金属的装置。

在 B. П. 沃洛格金教授实驗室里，同时又进行研究和制成实驗室用帶电子管振盪器的感应炉。其中一个是为"紅霞"工厂制造的，已在該厂工作了很久。

1932 年 M. B. 罗蒙諾索夫瓷器厂的代表們向 B. П. 沃洛格金实驗室請求試制一个熔化石英玻璃的感应炉。

因为石英是不导电的，所以决定采用石墨坩堝来加热石英（图 6）。石墨中的感应电流可以把坩堝加热到 3,000°C，石英的熔化溫度是 1,700°C。

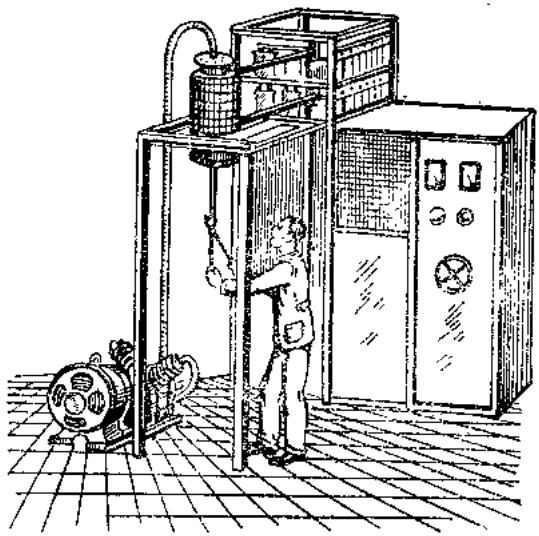


图 6. 1932 年 B. П. 沃洛格金实驗室为罗蒙諾索夫瓷器厂制造的石墨坩堝中熔化石英的第一个高頻感应炉。

为了避免石墨坩堝被燒毁和防止在熔化的石英中形成小气泡，所以整个熔化过程是在真空中进行的。第一个熔化石英的

高頻感应炉投入运轉了，同时該厂也掌握了用石英玻璃制造各种零件的技术。

很多單位了解了一些新的熔煉方法以后，向实驗室提議，繼續进行熔煉的研究工作，他們希望获得各种优質的合金，特别是以鉄-鎳-鋁为基体的新磁性合金，这大大地促进了炉子結構研究工作的发展。在有經驗的鑄造專家 Я. И. 施特列依斯的参与下所进行的这些工作，給实驗室在修正炉子結構方面帶来了丰富的工作經驗。

除了发电机和感应炉之外，用来抵銷炉子电感的电容器組也是該裝置最重要的部分。在試驗的初期，曾采用尼斯城無綫电实驗室制造的紙質电容器（最初是用在电子管振盪器电路中隔直流的）。

这些浸在盛有变压器油的槽內的电容器是設計工业用新型电容器的基础。

这些电容器是由中央無綫电实驗室主任 A. M. 庫古舍夫工程师和基輔工业大学的一位工作人員 M. M. 莫罗佐夫亲自設計和制造的，他們以极大的热情来对待这項工作，并在工作中不断地与沃洛格金教授取得联系。A. M. 庫古舍夫所設計的电容器在結束大規模的实驗工作后，就委托給柯济茨基工厂进行制造；而 M. M. 莫罗佐夫工程师所提出的电容器，后来发展到由一个独立的油浸紙質电容器厂进行生产。

1932 年，“电工”工厂接受了掌握生产高頻感应炉的任务，同时 B. П. 沃洛格金教授实驗室的工程师們也被派遣到該厂籌建高頻实驗室和介紹研究与設計高頻感应炉的經驗。“电工”工厂在 1933 年掌握了以下几种感应炉的制造：容量为 10 公斤、頻率为 10,000 周、功率为 10～25 千瓦的感应炉，容量为 250 公

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com