

电子管振荡的高频电热装置

电子管振荡器高频电热装置

〔苏联〕 A. B. 顿斯科伊 Г. C. 兰穆 著
Ю. Б. 维格多罗维奇
游本章 译



国防工业出版社

1066

出 版 者 的 話

本书介绍了在工业上所应用的各种不同材料在交变电场中加热用电子管振荡器高频电热装置。书中主要是研究在工业上得到广泛应用的自激电子管振荡器(自激振荡器)的工作状态,以及分析这些振荡器在最近几年内经过多次反复研究和改进的线路。

本书可供设计、使用和研究自激电子管振荡器高频装置的工程技术人员阅读。

本书译文承蒙吴济钧同志校阅,在此深表感谢。

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКИЕ
УСТАНОВКИ С ЛАМПОВЫМИ ГЕНЕРАТОРАМИ
〔苏联〕А. В. Донской Г. С. Рамм Ю. Б. Вигдорович
ГОСЭНЕРГОИЗДАТ 1957

电子管振荡器高频电热装置

游 本 章 译

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业登记证出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

850×1168 1/32 印张 9 3/4 245 千字

1966年2月第一版 1966年2月第一次印刷 印数: 0,000

统一书号: 15034·1092 定价: (科六)

目 录

原序(节譯).....	6
-------------	---

第一章 电子管振荡器电热装置概論

§ 1-1 发展史	7
§ 1-2 应用范围	9
§ 1-3 感应加热用电子管振荡器高频装置	10
a) ЛГЗ-10 型装置	13
б) ЛГЗ-30 型和 ЛГЗ-60 型装置	26
в) ЛГЗ-100 型装置	26
г) ЛГЗ-200 型装置	30
§ 1-4 介质加热用电子管振荡器高频装置	35
a) ЛГЕ-3Б 型装置	36
б) ЛГЕ-3 型装置	39
в) ЛГД-10 型装置	41
§ 1-5 导电材料感应加热用设备	44
a) 高频熔炼炉	44
б) 穿透加热用的感应加热器	49
в) 感应器	50
§ 1-6 介质在高频电场中加热用设备	52
§ 1-7 电子管振荡器高频电热装置的整流器	55
§ 1-8 感应加热用电子管振荡器装置的迴路电容器	60
§ 1-9 灯丝电路的铁谐振稳压器	66
§ 1-10 高频千伏表	76

第二章 自激振荡器的工作状态

§ 2-1	振荡回路	86
§ 2-2	三极电子管 (三极管)	98
§ 2-3	流过三极管的电流的计算	104
§ 2-4	三极管负电阻	113
§ 2-5	振荡器的线路	122
§ 2-6	自激振荡器工作状态的计算	131
§ 2-7	自激振荡器的调节	146

第三章 多回路振荡器

§ 3-1	多回路振荡器中振荡的定性分析	154
§ 3-2	防止自激振荡器工作不稳定性的方法	163
§ 3-3	双回路振荡器中耦合频率的计算	175
§ 3-4	双回路振荡器回路的設計	186

第四章 感应加热用自激电子管振荡器线路的分析

§ 4-1	回路间是电感耦合以及从加热回路反馈的自激振荡器的双回路线路	203
§ 4-2	回路间是自耦变压器耦合以及从加热回路反馈的自激振荡器的双回路线路	218
§ 4-3	阳极回路电容器组电容的计算	223
§ 4-4	计算示例	224
§ 4-5	相位关系对自激振荡器频率和效率的影响	229
§ 4-6	感应加热用三回路线路	239
§ 4-7	带自耦变换进行工作的加热回路的 r_2 和 x_2 的计算	248
§ 4-8	反馈变压器	250
§ 4-9	L_1 和 C_1' 的计算	252
§ 4-10	计算示例	253

§ 4-11 按相似原理进行的迴路計算	257
---------------------------	-----

第五章 介质加热用自激电子管振荡器线路的分析

§ 5-1 “Π”形线路	259
§ 5-2 “T”形线路	265
§ 5-3 反馈电路的计算	273
§ 5-4 具有分布参数的双线的等效线路	276
§ 5-5 具有分布参数的自激振荡器的等效线路	282
§ 5-6 计算示例	288
附录 1	296
附录 2	301
参考文献	302

原序 (节譯)

随着冶金工业和机器制造业的迅速发展，发电站的数量已大大增加，发电量也不断增长。

在电热技术领域中，包括炼制优质鋼用的几乎所有鉄合金的生产、应用于气焊工业和磨料工业中的碳化鈣及碳化硅的生产、許多有色金属和特殊耐火材料的生产以及采用非电热方法是不可能或者不經濟的許多其它成品的生产。

主要利用电弧来保証完成上述高溫工艺过程的专门电热装置的特点是：功率巨大，整个装置的功率达 60 兆瓦或更大。毫无疑问，在工业中这些装置的用电量是最大的。

可是，电热的意义現在已不尽局限于获得原始产品方面。如有色和黑色金属廢料的回炉、具有特殊物理性能的合金的制备、金属的热处理和塑性加工、焊接、烘干、粘合以及钎焊等工艺中的电热过程所具有的重要意义正在开始逐渐增长。

电热装置用电量、其应用的普遍性和结构的复杂性的不断增长，促使我們要对它进行全面研究，以便改善其使用指标和电力指标。

这首先是指其中采用各种电流变频器和应用由电能轉換为热能的新方法的最新型电热装置。这些电热装置的特点是结构极为复杂，要求設計和使用这些装置的人員，了解电流变频器、离子——电子器件、振蕩迴路系統、稳压器以及用在电热装置綫路中的許多其它各种电气設備等方面的知識。

大力改善現代化电热装置的使用特性和电力特性的可能性，主要是在于提高应用在这些装置中电气設備的质量，以及提高这些設備能保証整个装置在工作状态下的最大稳定性和自动化条件下长期安全工作的綫路。

在新型的电热装置中，电子管振蕩器高频电热装置是最复杂的，而且是研究得最少的。

第 一 章

电子管振荡器电热装置概論

§ 1-1 发 展 史

在电子管振荡器电热装置得到广泛应用以前，像无线电发射机线路中所采用的振荡管以及在由长波到超短波无线电频率范围内工作的其它高频电气设备那样，已同时而独立地发展了。

在本世纪廿年代初期，电子管振荡器的制成，是由于无线电技术的蓬勃发展以及在此以前所应用的电磁振荡电源不够完善而引起的。

在这时期以前，应用在发射机线路中的火花振荡器、电弧振荡器以及机械式中频发生器，已经不能满足无线电通讯在获得任意频率、高效率以及在实现调制和键控的灵活性方面日益增长的要求。

在 1920 年首先研究成功了三极电子振荡管（三极管）。它是创造电子管振荡器的基础。

在制造电真空器件时，加热金属及石墨结构而使其除气是电子管振荡器在电热方面的首次应用。在那时期以前曾有着这样的报导：用火花振荡器和电弧振荡器供电的、熔炼小容积金属的高频炉，也很容易改用电子管振荡器供电。

从本世纪廿年代中期以后，高频熔炼炉基本上有两个发展方向。

第一个方向是制造大容积的金属熔炼炉，其所要求的电流频率是由 500 至 10000 赫的增高频率，它们很容易由机械式中频发生器得到。但是，由于对小容积高频熔炼炉需要（基本上作实验用）的

不断增长，要求从数十千赫至数百千赫的电流频率，所以采用机械式中频发生器、火花振荡器以及电弧振荡器都不能满足要求。因此，高频电炉的第二个发展方向是制造由电子管振荡器供电的电气熔炼装置。

用电子管振荡器供电的金属熔炼装置，于1930年研究成功的。这个装置的振荡功率约30千瓦，其高频炉的坩埚具有5公斤钢的容量，经过长期运转，大大地促进了这种型号装置的继续发展。以后又制造了由铁水模压小型制品时熔炼铸铁用装置，这个装置由功率达3~5千瓦的电子管振荡器供电。

带有电子管振荡器的、能熔炼30公斤钢及加热金属用的万能装置，于1935~1936年设计成功，并投入使用，其功率为60千瓦。这个装置在后来就成为许多研究所及生产企业单位研究与其类似装置的基础。

1936~1938年期间，由于钢件表面淬火、硬质合金钎焊及其它类似工艺过程的发展，电子管振荡器已具有巨大的工业意义，引起人们对它特别感兴趣。

在这个时期里，又研究了带电子管振荡器的表面淬火装置，其功率为100、200及300千瓦。

1938~1939年，开始大批生产功率为30及60千瓦的表面淬火用电子管振荡器。

虽然在最初应用时，这些振荡器具有一系列的缺点，但是，它们大大地促进了高频电热装置新电源的发展。

从1944到1947年，实现了金属熔炼及表面淬火用装置的成批生产。

电子——离子真空器件、电容器和其它电气设备生产的发展，以及在高频电磁场中工业材料加热理论的发展和高频加热实际应用范围的日益扩大，促使了所生产的电热装置品种的增加，而且改进了它们的使用特性及电力特性。

§ 1-2 应用范围

所有电子管振荡器电热装置，按其用途、结构的一般原理和电路，可分为两大类。

第一类是那些在交变高频磁场中加热导体材料的装置。

能产生具有相当大电场强度的交变磁场的装置，通常称为感应器。而利用感应电流在加热物体中使电能转变为热能的方法，通常称为感应方法。

在高频电炉中熔炼金属及合金是感应加热法最早的，而且在文献[1~4]中叙述得很完善的应用之一。带电子管振荡器的感应加热装置在表面淬火方面应用得较迟一些，但是在目前已得到比较广泛的应用。

至于感应加热表面淬火工艺及所需之感应器的结构和计算问题，在许多文献[5~8]中已有了详细叙述，因此，本书将不作讨论。

最近几年，带电子管振荡器的装置也开始用于毛坯的感应加热，以进行各种形式的金属塑性加工及热处理[9,10]。我们所研究的装置在这个新领域的应用上，要求在最近几年内解决一系列的技术问题，即关于大大增加电子管振荡器的功率，对加热装置的集中供电，毛坯加热规范的稳定，温度的自动控制等等。

带电子管振荡器的感应加热装置，在利用硬焊料进行零件的钎焊方面，也得到了广泛的应用。

所有上述采用感应加热的工艺过程，在大多数情况下，可以利用同一种电子管振荡器的装置来实现。但是，假若负载条件允许的话，应力求装置专门化，并使其固定于一种工艺，这样，将促进其使用特性及电力特性的改善。

第二类是那些在高频电场中加热非导体材料用的电子管振荡器电热装置。

这种电热法之所以被开始感到实际兴趣，乃是由于它能把均质材料的整个体积加热得很均匀。这能使一般具有很小导热系数

的非导体材料加热过程加快几十倍或几百倍，这样就大大地加速了许多工艺过程的完成。

在不需蒸发大量水份的情况下，在高频电场中使加热过程大大加速，无论对减少电力消耗，或是其它维护费用方面，通常是有利的。

当提出从工业材料中蒸发大量水分的任务时，若应用高频电热法的话，就应该仔细地考虑当地所有的条件[11, 12]，并以此为根据。

作为在高频电场中加热非导体材料用的电热装置，通常就是具有各种尺寸和外形的电容器。有时（例如干燥木材时），这些电容器就安置在绝热箱里，而箱内的温度和湿度能够控制[13]。在某些情况下（例如当焊接电缆的氯化乙烯绝缘层时）电容器就具有极其独特的结构形式[14]。

对高频电场中所进行的电热过程以及为此所应用电容器的研究，在许多文献中[15]有详细叙述，所以在本书中将不作介绍。

感应加热用的任何感应器，以及连同被加热材料在一起的、介质加热用的任何电容器，都可看作二端网络，在第一种二端网络中电感分量占优势，而在第二种中电容分量占优势。

这些二端网络是由串联或并联的电抗及电阻组成，并具有固定的或变化的电参数。二端网络的等效电路是电子管振荡器电热装置线路的主要部分。

对这些电参数和高频电热装置电力特性的研究，在已发表的许多文献著作[16, 17]中都有叙述，因此，在本书中，当分析电子管振荡器装置的原理图时，高频电热装置的计算参数就假设为已知。

§ 1-3 感应加热用电子管振荡器高频装置

目前，在各种工业企业和实验室里，都大量采用了各种各样

帶電子管振蕩器的裝置，它們是用來對各種導電材料進行感應加熱，而且在功率、電流頻率範圍、原理圖以及結構方面，都彼此有所不同。

本書任務雖不可能對工業上或實驗室中所採用的所有各種裝置進行研究，然而，研究在電工工業中大批生產的、並在目前應用最廣泛的裝置，無疑地是適宜的。

目前正大批生產的感應加熱用電子管振蕩器裝置的主要型號列於表 1-1 中。

近幾年來，對大多數型號的裝置結構、所採用的電氣設備和儀表，以及原理圖內各個元件的規格，都已進行了統一。這使所有的工業部門能夠組織這些裝置的成批生產，並使其成本大大降低。

下面將對表 1-1 中所列裝置的結構和線路進行概述，同時，還將介紹對這些裝置進行試驗而得出的使用特性及電力特性。

在下面所列举的裝置中，關於其所測量出的電力指標，必須指出以下幾點。

感應加熱用電子管振蕩器高頻裝置的一般試驗方法，是確定在被加熱物體中、在振蕩管的陽極以及在線路的其它元件中所消耗的有效功率，並且把測量線路各部分電流和電壓的測量儀表的讀數記錄下來。

由於缺乏直接測量當頻率為幾百千赫時的有效功率儀表以及測量被感應加熱物體中所直接吸收的功率的儀表，所以只好對這些功率採用間接的測量方法。

在試驗電子管振蕩器電熱裝置的實踐中，靠確定冷卻水含熱量之差來測量有效功率的方法得到了很大的推廣。

例如，確定了振蕩管陽極冷卻水流量 N (升/秒) 以及出水和進水間之溫差 Δt ，就可以計算出振蕩管陽極上所消耗的功率：

$$P = 4.18 N \Delta t \text{ [千瓦]}. \quad (1-1)$$

同樣，也可以確定放進感應器內的金屬量熱計所消耗的功率，

表1-1 感应加热用电子管振荡器高频装置的主要数据

技 术 数 据	度 量 单 位	高 频 装 置 的 型 号				
		ДТЗ-10	ДПЗ-30	ДПЗ-60	ДТЗ-100	ДТЗ-200
额定容量	千伏安	15	50	100	180	320
振荡功率	千瓦	8	30	60	100	200
振荡管的型号	—	ГГ-89А	Г-452	Г-452	Г-433А	Г-433А
振荡管的数目	个	1	1	2	1	2
最大阳极电压	千伏	8.1①	13.5	13.5	13.5	13.5
工作频率	兆赫	0.5~0.8	0.2~0.3	0.2~0.3	0.2~0.25	0.2~0.25
装置的主要用途	—	钎焊, 淬火	熔炼, 淬火	熔炼, 淬火	淬火, 锻造, 冲压	淬火, 锻造, 冲压
所占面积(长度×宽度)	米	1.02×1.18	2.5×3.75	2.5×3.75	1.8×3.0	2.08×4.5
总重量	吨	0.75	2.7	3.2	3.6	4.7
供电网电压	伏	220/380	220或380按订购	220或380按订购	220或380按订购	380
整流器的整流管型号	—	БГ-237	ТП1-6/15	ТП1-6/15	ТП1-6/15	БГ-163及 ТП1-40/15
整流器的整流管数目	个	6	7	7	7	7

① 原文即为8100——。校者注

或者綫路內各个水冷却元件中所損耗的功率。

阳极迴路的振蕩功率 ($P_{\sim}$) 等于整流器輸出功率 $P_0 = U_0 I_0$ 和振蕩管阳极損耗功率之差。考虑到由于单相灯絲电路的存在, 电子管振蕩器为非对称負載, 应该采用一个三相瓦特計, 或者对于不平衡的相位負載按两个单相瓦特計的綫路, 来測量整个装置从供电網中所需的功率 (P_e)。

知道了所有这些数值后, 就可以很容易地确定連同阳极变压器在一起的整流器的效率:

$$\eta_p = \frac{P_0}{P_e} \quad (1-2)$$

整个装置的总效率 (η_0) 等于被加热材料所消耗的功率 (P_m) 与功率 P_e 之比, 而电子管振蕩器按阳极电流 (它决定电子管振蕩器的工作状态) 的效率 (η_0) 按以下比值求得:

$$\eta_0 = \frac{P_{\sim}}{P_0} \quad (1-3)$$

а) ЛГЗ-10 型裝置

ЛГЗ-10 型裝置, 主要是对小型的金屬物体 或者 小型的石墨——炭物体, 进行表面淬火、釐焊、熔炼、鍛燒等加热之用。

ЛГЗ-10 型裝置結構的正面图及剖視图示于图 1-1。对小型零件进行淬火、鍛造、冲压、釐焊等加热用的感应器, 靠安装在正面上測量仪表下面的端鈕, 連接到高频降压变压器的輸出端。

在安置于这些感应器內的专用陶瓷坩堝或石墨—炭坩堝中, 可以进行小容积的金屬、盐、氧化物和其它材料的熔化。

当想利用輸送带进行零件加热时 (例如当釐焊电容器的外壳时), 高频降压变压器的引出端可在左側壁上引出, 这样既可保証輸送带又可保証控制裝置的各个元件有自由通路。为此目的, 生产了一台具有輸送带和控制輸送带移动速度用设备的 ЛГЗ-10 K 型全套裝置。这套裝置的全图示于图 1-2。

这个功率較小的裝置, 首先是为了滿足許多研究試驗和某些

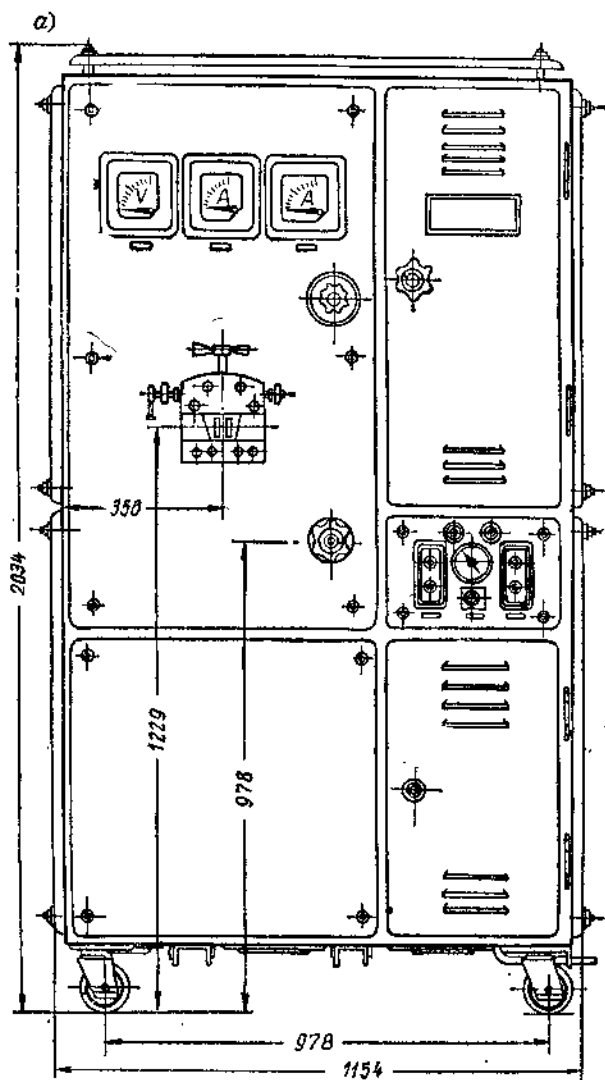
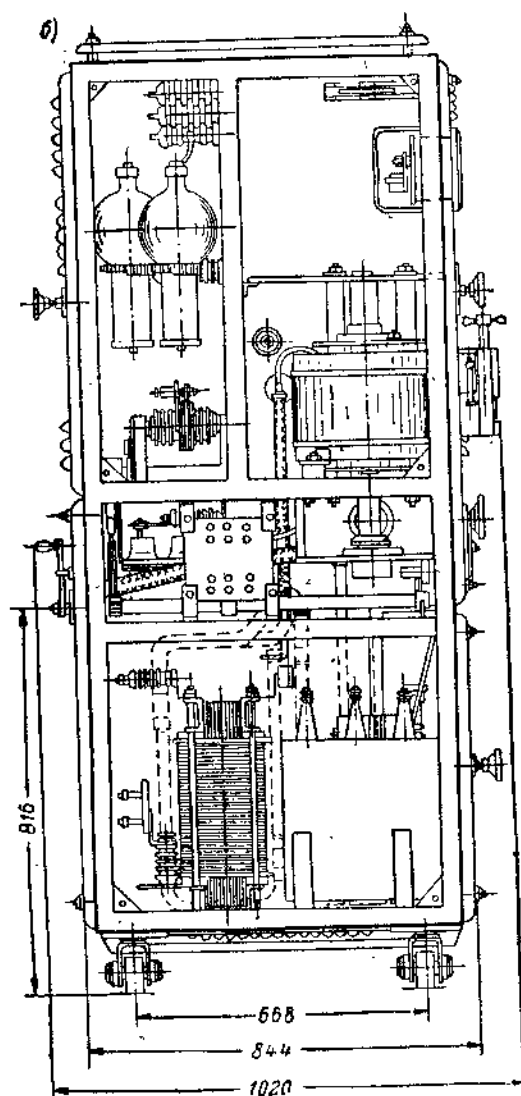


图1-1 JH3-10

a—正面图; b—侧



型裝置的全圖
視圖(無外殼)。

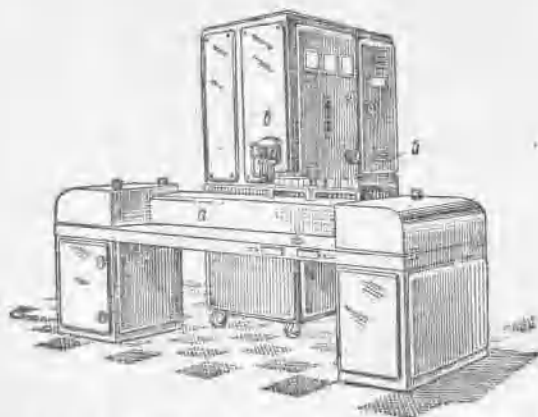


图1-2 电容器外壳钎焊用的ПГЗ-10 K型装置的全图
 а—輸送帶；б—需进行钎焊的电容器；в—高频变压器由侧面引出的ПГЗ-10型电子管振荡器。

专门化生产（制造带有金属外壳的小电容器等）的需要。但是今后，这个装置无疑地在金工热处理车间内（那里，在目前的许多情况下，由于工艺过程的要求，不需采用大功率的高频装置）一定将得到很大的推广。

在结构上，ПГЗ-10型装置乃是一个金属柜，柜内放有这个装置的全部元件（见图1-1）。在装置的下部安置着用自然风冷的电力变压器，其长时间工作的额定容量为11千伏安。在柜上部的后面装有一个整流器，它是采用ВГ-237型充气整流管，按照拉利奥诺夫（Ларионов）的三相全波整流线路连接而成。

金属柜的前面部分分为两个隔开的单间，在右边的单间内，放有振荡管、阳极隔直流电容器、栅极隔直流电容器、旁路电容器、反寄生振荡电阻以及冷却振荡管外壳用的风扇。在振荡管下面有阳极水冷却架。

在左边的单间内，装有高频降压变压器、阳极回路的水冷瓷介电容器组以及用来移动变压器初级线圈的机械传动装置。在高频变压器下面，安置着振荡管及充气整流管的灯丝电压稳压器。