

大功率发射管国外应用情况

(参考资料)

四机部电真空器件专业情报网收发讯管组编

一九七七年八月

目 录

一、关于国外工业加热用大功率发射管的应用 和设计问题 (4401 厂 王遵周 戴祖光执笔)-----	1
二、国外大功率电子管在雷达上应用概况 (779 厂 田国樵执笔)-----	31
三、粒子加速器用的功率发射管 (770 厂 贾逢春执笔)-----	50
四、大功率发射管在电视中的应用 (774 厂 曾英发执笔)-----	87
五、发射管在广播机中的应用 (779 厂 赵荫森执笔)-----	105
六、国外单边带发射机及所用大功率发射管的 发展情况 (774 厂 彭朝义执笔)-----	121

关于国外工业加热用大功率 发射管的应用和设计问题

引 言

发射管不仅用于通讯、广播、电视、雷达、加速器等方面，而且已广泛用于工业加热方面。本文的目的在于对国外大功率发射管应用于工业加热方面的情况，国外对设计工业加热用的大型发射管考虑的因素，国外工业加热发射管应用的频段，功率水平等诸方面，作一概要介绍，目的在于通过介绍国外的东西，康鲁迅先生所说的，要求用“拿来主义”，以便“洋为中用”，促使我们在考虑实现“四个现代化”中，如何把我国应用于工业加热方面的发射管系列发展起来。

本文所引的主要资料，是几个主要资本主义国家技术刊物的一些译文，然后略加整理而成。由于所能收集的资料较少，多数是五十年代的状况，内容有一定局限性。所论难免有错，望读者多多批评指教。

根据现有资料来看，国外最大的工业用加热发射管，是法国的 TH 556，输出功率为：1000 KW，频率用到 30 MC，其次便是瑞士的 BTS — 150-2，输出功率为 614 KW，频率用到 30 MC；（美国用于工业加热方面的马奇利特实验室的最大三极管为 ML — 5682、ML — 7482；输出功率分别为 300 KW 和 400 KW，频率用到 30 MC）。西德西门子公司出的 RS 2041 (29)、RS 1828 和 RS 3300，在 30 MC 时作高频振荡可输出 660 KW、600 KW 和 250 KW。法国汤姆逊公司出的用于工业加热的最大管型有 TH 545、

TH530、TH555。此三种管型输出功率都达到 500 KW；TH545、TH555，用于 30 MC 频段上，而 TH530 竟在输出 500 KW 时，可用到 200 MC 频段上。法国人用于工业加热上的发射管，功率大，频率高，分别采用蒸发冷却、超蒸发冷却或特超蒸发冷却（板耗可达 500 W/cm^2 或 1000 W/cm^2 ）。它是自成体系，独具一格。瑞士应用于工业加热上，200 KW 以上的管型有五种：BTL 50-1（输出 200 KW，用于 30 MC）；BTW 50-1（输出 242 KW，用于 30 MC）；BTW 150-1（输出 520 KW，用于 3 MC）；BTS 150-1（输出 600 KW，用于 3 MC）；BTS 150-2（输出 614 KW，用于 30 MC）。美国莫拉德公司管的工业加热用大功率三极管系列也十分完备，输出功率超过 200 KW 的管型有三种：YD 12/3（输出 240 KW，可用到 30 MC，用蒸发冷却）；TY 12-120 W（输出 310 KW，可用到 10 MC，用水冷）；YD 12-240 W（输出 480 KW，可用到 30 MC，用水冷）。这也是英国人的特点，即使输出高达 400 KW 以上，仍然采用水冷。此外，英国的电气电子管公司的工业加热用大功率三极管系列也很完备。例如 BY 1144，BY 1144 L 输出达 200 KW，BY 1156 输出达 250 KW。日本的工业加热用大功率发射管也有成系列，它是大大小小品种齐全。功率输出最大的管型是 9T 82（330 KW，用到 30 MC），此外 9T 40、9T 83 都是超过 200 KW 输出的。

就目前所看到的资料，西德西 M 子公司的工业加热三极管发射管，其中 RS 1023 L 和 RS 3002 L，其频率达到 1150 MC 和 500 MC，功率输出为 0.37 KW 和 2 KW；可能是目前世界上用于工业加热上频率最高的功率管了。奥本各国工业

加热用大功率发射管系列附表此略)。

我国的情况怎么样呢？

我国的辽宁铁岭电子设备厂、株洲电子设备厂以及其它生产工业加热用设备的工厂所生产的 200 KW、100 KW、60 KW 等级的高频炉，单管功率输出最高达到 100 KW。我国现有的纯钨阴极的三极管 FU-433、FU-431 都是苏联本世纪 30—40 年代的产品，我国在六十年代引进的，再有便是 FU-23 Z (100 KW) FU-225 (30 KW) 等几个钨钨阴极的管子，据设备制造厂及用户反映，管子寿命较短，效率低。国外大功率工业加热发射管寿命一般可达 5000—10000 小时以上。这就显而易见，专用电子管的优越性就突出来了。我们的水平与先进的资本主义国家相比，还有一段距离。我们在向“四个现代化”的宏大目标前进时，我国工业的发展一定会向制造电子管的厂家，特别是向制造大功率发射管的厂家，提出制造我国自己的工业加热用的大型发射管系列。

一、国外高频感应和介质加热的现状

高频感应加热

国外把工业高频加热分为两大类，即高频感应加热和高频介质加热。

高频感应加热的用途主要色板：熔炼、淬火、管道焊接、电子管制造中的焊接、除气、电缆焊接等。

熔炼：本世纪六十年代初期，日本〔25〕高频熔炼用的电子管振荡器，用在 200—500 KC 时，容易达到 1—200 KW，用在 1 MC 时，容易可达 0.2—40 KW。主要

用于炼磁钢。(Al、Ni、CO、Fe等)例如:国产60KW的高频炉快速炼高导磁钢,几十分钟就炼30~50Kg;高频炉主要熔炼坡莫合金、因瓦合金、可伐、火石等。

淬火:利用高频感应加热,使工件获得淬火或退火。这与一般常法淬火有什么不同呢?从国外以及国内机械加工企业的汽车、拖拉机、机床、刀具等行业反映来看,由于通过感应加热,可以做到局部加热,速度快,效率高,不易变形,操作方便。特别是齿轮、曲轴之类的大型金属件,淬火、退火既快又好。倘若用平常炉体法来加热工件,必须把工件全部加热到所需温度,浪费热量,速度慢,操作也笨拙,而且易造成变形。我国机械制造业已普遍使用高频感应加热来作热处理。例如:一机部四川德阳二重厂采用进口的大型轧辊高频淬火设备,初步估计,这个厂对300KW以上的淬火设备就需30多台。此外,工具厂对机加工模具热处理,也广泛地采用。在机械工业上,正在大幅度地使用高频炉,这与机械工业的发展密切相关。据国外资料报道高频淬火炉水平达几百吨。〔6〕

管道焊接:全世界各种钢管产量〔2〕,在一九七〇年时,年产量估计达到4,700万吨,至少有2,700万吨是电气焊接的。其中高频感应焊接就占了一部分比重。

总结起来,高频感应焊有如下优点。

- 具有非常高的焊速,与其它方法比较起来,具有很高的电气效率,由于是非接触的小面积加热,在正常情况下,能获得每分钟100米的焊速。
- 焊接质量的均匀性不受钢带表面质量影响。
- 管道上不会留下斑痕,不形成氧化层或烧坏,从而改进了产品质量。例如,作为自行车、家俱用的管件而言,此点尤为重要。

- 薄壁管道的高质量焊接。直径与壁厚的比率高于任何其它方法。仅仅在成形面的机械设备方面受到局限。
- 不经酸洗，而不会降低焊接质量。
- 可以降低工件成本及减少停机时间。这是由于不是直接接触，没有接触滚柱的磨损问题。
- 若以相同的焊速言，所需电流功率大约等于接触滚柱焊的二分之一，明显地降低了电力消耗。

我国上海、天津、北京等地的自行车厂，某些零部件是高频感应焊成的。

电子管生产中的零件焊接及除气：国内外已相当普遍地使用高频焊来封接玻壳和可伐件；另组件的高频真空去气；排气时的高频去气等工艺。这就确保电真空元件的高质量、优质生产。

电缆焊：不同尺寸的电缆长度，要焊接起来的活，用其它方法均不能保证平整齐一，独有高频焊既快又好。

国外高频感应加热设备正朝着更大的组合容量发展^[6]。瑞士的勃隆·鲍弗利公司已研制出大型高频振荡器系列，以作感应和介质加热用途。高频感应加热的频率介于 $100\text{ KC} \sim 5\text{ MC}$ 之间。该公司在 20 多年的制造高频设备和 100 KW 振荡器的实践经验基础上，在一九六八年已圆满地研制成功具有额定功率为 $250 \sim 1100\text{ KW}$ 的高频振荡器系列，从而满足了工业生产不断发展的需要。

例如，瑞士勃隆·鲍弗利公司生产的 JG—8025—400 型感应高频振荡器，能连续进行管道焊接生产^[30]。对 $20 \sim 120$ 毫米的直径、壁厚为 $2 \sim 6.5$ 毫米的钢管，每分钟可焊接 $20 \sim 80$ 米。该设备具有工作频率 220 KC ，额定功率为 400 KW 。

高频介质加热

英国标准电话和电缆有限公司，在本世纪五十年代到六十年代的十年之间，工业加热方面的大功率量有明显的增长⁽¹¹⁾。总结几个主要资本主义国家高频介质加热应用的方面有：

- (一) 木材烘干。(二) 精制盐类。(三) 塑料焊接。
(四) 粮食干燥。(五) 胶合制板。(六) 建筑材料快速烘干。
(七) 食品工业的快速烘烤和杀菌处理。(八) 铸造工艺和金属切削制造。(九) 医疗外科、用品的消毒杀菌。(十) 种子处理。(十一) 使用高频等离子体制造钛白粉。等。

目前，我国介质加热应用也已推广。辽宁铁岭电子设备厂编写了《高频介质加热技术应用推广》的小册子专题介绍。我们可以通过下列一张表的对比，把高频介质加热与常规加热的两种效果相比较，就可以明白，为什么高频介质加热应用技术迅猛发展的原因了。

项 目	典型应用 举 例	高 频		常规加热	
		设备参数	时 间	元 式	时 间
烘 干	木材干燥	40%风-10% 箱杆干燥	60KW 2MC	5小时	蒸汽 150小时
	皮革干燥	一吨牛皮	100KW 6MC	14分钟	63小时
	其 它	纤维品、动物毛、纸张、烟、茶、陶瓷、铸型 芯、塑料、药材等			

(表一)

加 热	电木粉予热	100 支	5 KW			
		电木粉	70 MC	40 秒	恒温箱	10 分钟
	塑料热合	23mm 聚氯 乙烯薄膜热 合面积	5 KW 70 MC	3 秒		
其 它 绝缘材料压制, 食品烹调						
热	木材热合	拼板(箱墙)	8 KW 27 MC	12 秒	自然	24 小时
		门板贴皮	8 KW 27 MC	12 秒	电热板	3 分钟
反	书本烫背	一本书	4 KW 20 MC	< 1 秒	"	" "
应	橡胶硫化	102m 厚硬 橡胶板	5 KW 60 MC	1 分	蒸 汽	40 分钟
其 它 橡胶结晶热熔, 树脂材料成型等						
生物学 作 用	电疗、种籽处理、杀菌、杀虫等					
其 它	矿石破碎、失蜡铸型脱模、合成浓霜、酒的陈化等					

下面把各种用途简述一下:

(一) 木材烘干

西欧各国, 在木材加工厂多采用高频热处理隧道炉进行介
质加热 [2] [30], 按锯开的材料, 通过隧道炉, 迅速得到烘干

而用于加工成各种傢俱。从表一也可以看出，高频介质加热法比起常规加热法来讲，速度要快 30 倍左右。我国北京的西郊、南郊木材厂等单位也已应用此类设备。

(二) 盐类精制

市场上的精制盐，国外原先采用红外线干燥法。目前常用高频干燥法替代红外线干燥法，干燥的盐质又快又好。〔10〕据文章报道，高频设备能连续地工作；湿盐按一定的厚度散布在不锈钢传送带上，并逐步进入介电场。如果在干燥口的末端（引出端）按装一个滚轮，则在干燥处理过程中就能把存在着结晶结合键的盐晶体碾得粉碎。对于 40 毫米厚的盐层，干燥时只需 3~3.5 分钟就足够了。在干燥处理时，盐的最后温度达 108°C ，冷却后的湿度不大于 0.05%。此种干燥设备的功率消耗比同样能力的红外线设备要大 30%。此外，红外线照射强度相对来说要低些。可是由于受到盐粉末的污染影响工作寿命非常短，最多只能工作 2000 小时，所以它的成本比用振荡管高。

(三) 塑料焊接：

国外报道，〔11〕〔13〕“通过应用一个甚高频振荡器（55 MC /S）已证明大约用 4 秒钟，可以在一个塑料件上焊接四次，焊缝为 5 米，塑料件的厚度约 26 毫米。”国外还用来修补塑料雨衣、口袋等，效率高、速度快。

(四) 粮食干燥：

高频感应加热用的频率在 3~30 MC 之间。由于高频介质加热并不是从外部把热量传到内部，而是通过物质内部直接振荡达到加热效果，高频能的来源，是由高频振荡器供给的。几年前，振荡器额定功率达到 100 KW，就可满足需要，而现在工业方面要求达到 1000 KW 的容量〔6〕。反方面，我国食

尔溪广拖木材厂为农业着想所搞的粮食烘干机，已初步积累了一些经验。其它地区也搞了一些试验，这方面的工作正在展开着。据国外报导：〔15〕对粮食迅速烘烤到 60°C ，不仅可以杀虫贮存，而且起了消毒作用。译文说：“100 Kg 的谷物从 20°C 加热到 60°C ，所消耗的功率大体上是 $1.7\text{KW} \sim 2.8\text{KW}$ 。当然，还得看具体的谷物湿度而定。”译文反映，国外对粮食贮存已从化学药物贮存进步到物理方法贮存。这种物理贮存就是通过高频介质加热，在很短的时间内使粮食达到 60°C 的升温，杀死虫卵，以便长期贮存。

(五)、(六)、胶合板和建筑材料的快速烘干法：

据国外报道，〔9〕若用常规方法，即用接触加热的办法来制造纤维板，矿渣棉板等，费时长，而且中间胶合质量不佳，译文说：“在没有高频加热的情况时，对一块 15 毫米厚的板，在 200°C 的压力温度下，形成粘结需 15 分钟，若把接触加热和高频加热相结合，就能减小到 1 分钟。”至于纯粹胶合木板，若要自然粘结则需 24 小时才牢靠，若用高频加热，则 12 秒钟即行。效率甚高。译文还报道，国外的建筑物，使用预制板和预制墙，通过用胶合剂，仅用 3—4 分钟即可连接起来。效率为什么这么高呢？这是利用高频场对胶合剂干扰而成。所以一幢建筑物仅用几小时骨架就竖立起来了。高频加热的办法有两种：一种是用高频场对固体全加热；一种是选择性加热，看情况而定。总之，在建筑业上应用高频加热来加速胶合时间，提高速度，有其既坚固又迅速的优点。至于预制板，更可以用大功率高频介质加热回来处理。据译文说：“用 10 分钟的高频加热在质量上完全可以与用三天时间自然胶合成的质量并肩比美。”此问题值得建筑业部门加以研究。

(七) 食品工业的快速烘烤和杀菌处理。

据国外报道，〔6〕高频能对任何要求加热的地方加以应用，不管是熔化、烘烤、消毒、灭菌、除虫到简单的干燥作用。由于高频的应用提供了直接加热的方法，从医学的观点而言，它对人类是无害的，它不像 β 、 γ 射线轰击会产生有害副作用。资本主义国家在这方面报道甚多，〔30〕这里只作简单介绍。例如融化冷冻肉和肉，文章说：“把这种高频费用与节省7%的肉重相比较的话，在通常情况下，融化的费用不过相当于能节省下来的肉钱的 $1/10$ 而已”。这种高频解冻肉，新鲜、汁美、营养丰富，又省钱。我国城市里尚未采用，该问题值得有关部门加以研究。此外，对烘烤饼干、面包之类的东西，国外用红外线/高频两用箱来加工，能收到良好的质量效果，时间只需单用红外线烘箱烘烤的 $1/2$ 或 $1/4$ 时间。再便是大量的瓶装饮料，例如果汁、啤酒、牛奶等，用高频介质加热法处理的时间，仅为通常热空气处理法的 $1/3$ 。值得我国有关部门引起注意，以便提高产量和工效。

（八）铸造工艺和金刚石圆盘制造

机加工方面的铸模和金刚石圆盘截轮成形烘烤，若用高频介质加热，即均匀又快，可大大缩短铸模成型时间〔11〕〔13〕。据文献介绍，振荡设备在这些尘土飞扬的场所工作时，要求相当苛刻，而国外相当普遍地用于工模具、造船业方面，我国尚待研究推广应用。

（九）医疗机械及用品的消毒杀菌

低热灭菌法的温度在 $50\sim 70^\circ\text{C}$ 之间，而消毒要求达 120°C 。我国目前普遍运用蒸汽消毒，费时太长，而应用高频介质加热法可迅速完成〔6〕。

（十）种子处理

我国辽宁铁岭电子设备厂已制造出专门为处理种子加热

的高频介质炉，据该厂资料介绍，予热种子可使种子提早发芽，并提高发芽率，最后可提高3~5%的收成。即使以前一个百分率为准，那么即此增加产量已相当可观，值得有关部门研究、推广使用。

(十一) 使用高频等离子体来制造钛白粉

据国外报道，1975年世界钛白粉总产量为250万吨。我国只有1.5万吨。预计到1980年时，国外总产量要达到300万吨。1970年美国钛白粉产量为85.5万吨，西德为27万吨，英国为20.8万吨。钛白粉是国民经济的重要化工原料，我国急需提高产量。到1970年止，美国就有1000KW的等离子体发生炉，它用的什么发射器待查。但有一点可以证明：美国在1970年时就有1000KW的高频功率等级。我国天津化工厂刚搞30KW的等离子体制造试验，一台30KW的高频设备连续生产可实现年产200吨，国家下达给天津化工厂的任务是10万吨指标。这就要把功率加大（200KW~400KW），设备增加（估计300KW，等级的机四约100台），才能完成年产10万吨的任务。这样就极需要大功率发射管。

二. 高频感应加热和高频介质加热的基本

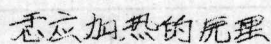
原理及其对电子管提示的主要要求

高频加热装置同过去的热流相比较，其优点是不仅效率明显提高，并且容易控制温度、容易达到选择性加热，并能在短时间内均匀加热等。正因为如此，所以被广泛地用以提高产品的质量 and 提高工作效率。

据报道〔22〕，感应加热是根据电磁感应作用，主要是利

[illegible]

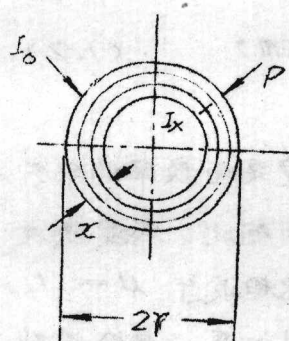
100



如该图所示，在流过交
流电的线嘴中插入金属棒，
在金属棒中就产生磁力线，
由于有磁力线，金属棒中产
生涡流损耗。此外，如果金
属棒是铁那样的磁性体，还
产生磁滞损耗。

涡流：如图所示，线圈中通以高频电流，金属棒内就会感应出电流，这种电流就称为涡流。它并非均匀地流过金属的整个截面，而是按下列公式那样，由外向里，按指数函数规律减小。

$$I_x = I_0 e^{-\frac{x}{P}} \quad (1-1)$$



电线的表皮作用

其中: I_0 为圆柱体表面的电流(A);

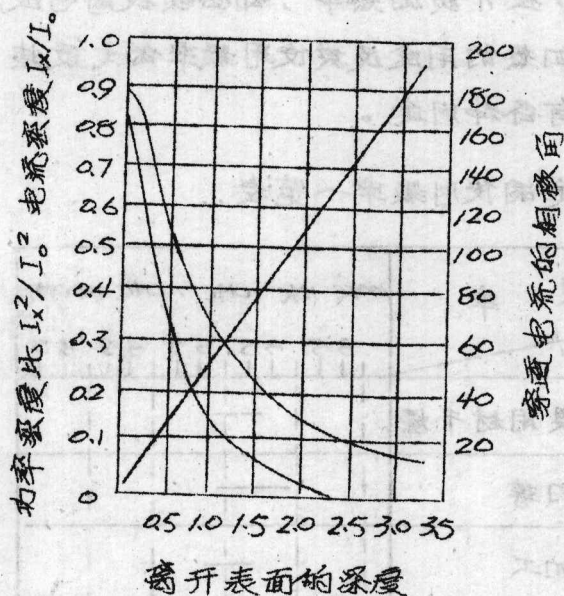
I_x : 为距圆柱表面 x (cm) 处的电流 (A);

E : 为自然对数的底 $= 2.7182$;

X : 为距圆柱表面的距离 (cm);

ρ : 这是一个由频率、材料本身的性质所决定的常数, 它表示该处的电流

值减小到表面电流值的 $1/E = 36.8\%$ 时的深度 (cm), 这个深度称作电流穿透深度。该图给出了上述情况的图示。将公式 (1:1) 用图表示, 就得出下列曲线图。因为发热是由电能引起, 因此, 在深度 ρ 范



此图

此图表示: 离表面的电流功率分布

围内占据全部热量的 90% 左右。这种电流集中在靠近表面处的现象, 称为高频集肤效应, 这正是高频加热的特征。

高频电流的穿透深度 ρ 与材料的有效磁导率 μ , 电阻率 ρ ($\mu\Omega \cdot \text{cm}$), 频率 f (C/S) 有关, 其关系式如下: