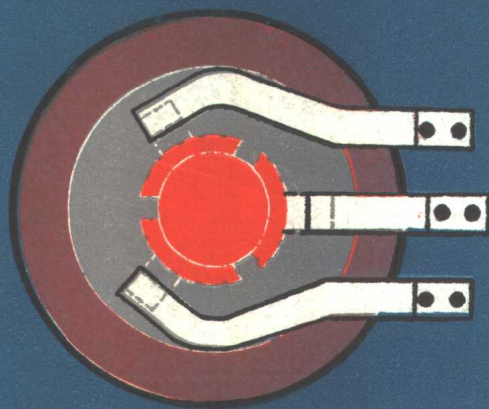




盐浴炉快速启动

曾周良 陈凤桐 主编

国防工业出版社

5.1

2

盐浴炉快速启动

曹周良 陈凤桐 主编



国防工业出版社

215076

内 容 简 介

传统的热处理盐浴炉的主要缺点是启动时间长、无功耗电大、劳动条件差。为克服这些缺点,本书作者多年来从事研究盐浴炉快速启动技术,并获得了明显效果,使盐浴炉的启动时间从过去的3~4h缩短到几十分钟,节约电能40~50%。单班生产率增加1倍,同时改善了劳动条件。快速启动盐浴炉这一成果受到兵器工业部节能专业会议的表彰奖励,并被辽宁省国防工业系统评为最佳盐浴炉。

本书分六章,详细介绍了盐浴炉快速启动原理;单相式和三相式埋入盐浴炉的快速启动;固定式金属加热器快速启动;快速启动盐浴炉的制造和设计等。

本书可供热处理专业技术人员、工人和高等院校有关专业的师生参考。

盐浴炉快速启动

曾周良 陈凤桐 主编

*

国防工业出版社出版

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

*

787×1092 $1/32$ 印张 $5\frac{1}{2}$ 117千字

1986年12月第一版 1986年12月第一次印刷 印数: 0,001—01,400册

统一书号: 15034·3137 定价: 1.15元

前

言

随着生产力的发展，热处理盐浴炉也在更新换代：四十年代的插入式盐浴炉为第一代；六十年代的埋入式盐浴炉为第二代。四个现代化的宏伟目标，要求我们提供启动快、耗能低、效率高、炉龄长的第三代盐浴炉。

为使启动技术有所突破，热处理专业工作者几年来进行了大量的研究工作，并取得了丰硕的成果。

一九八三年，辽宁省国防科学技术工业办公室组织国内同行专家对所属企业的若干台第三代盐浴炉进行了严格的技术鉴定。这些炉子的共同特点是：结构合理，启动迅速，操作方便，性能可靠，经济效益显著，深受用户欢迎，在国内同行业中居于领先地位。一九八四年被有关部门评为最佳盐浴炉。并受到表彰和奖励。

据不完全统计，机械工业部、航空工业部、兵器工业部三个部所属企业的盐浴炉，由常规启动全部改为快速启动，每年可节省启动、保温用电 $9 \times 10^7 \text{kWh}$ 左右。若全国的盐浴炉都进行这种技术改造，其节能效果是相当可观的。

本书根据编者多年的研究成果和实际使用经验，系统地阐述了第三代盐浴炉设计的总体思想；重点地介绍了有代表性的先进炉型；详细地说明了盐浴炉快速启动的原理和方法；并在国内首次采用电子计算机进行电极尺寸的计算。

参加本书编写的有曾周良同志、陈凤桐同志、王贵玺同志、王瑞福同志、王安余同志、郑军武同志、徐维忠同志、

张殿林同志、王振强同志。最后由曾周良同志统一、整理。在编写过程中,得到了许多兄弟单位的大力协助,谨表感谢。

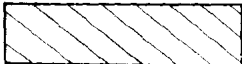
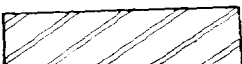
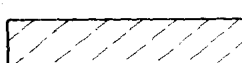
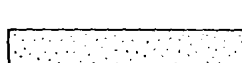
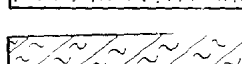
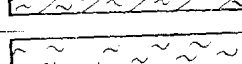
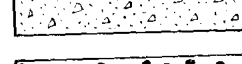
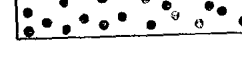
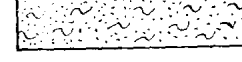
本书由安玉亮、范玉琢、王申西同志审核。电子计算机数学模型及计算程序由张治厚同志完成。

对于本书中存在的不妥和不足之处,诚恳希望读者批评、指正。

编 者

一九八五年七月十七日

本书图例表

	(LZ) 高铝质耐火砖
	金属
	(NZ) 粘土质耐火砖
	石棉板
	(QN) 轻质耐火粘土砖
	蛭石粉、珍珠岩粉
	耐火纤维
	矿渣棉
	耐火混凝土
	盐渣
	轻质耐火混凝土
	硅藻土砖
	轻质耐火砖

目 录

本书图例表	VII
第一章 埋入式电极盐浴炉快速启动原理	1
§ 1-1 盐浴炉启动概述	1
§ 1-2 快速启动的依据	2
§ 1-3 快速启动的原理	4
§ 1-4 快速启动的方法	5
§ 1-5 快速启动的效果	7
第二章 单相埋入式盐浴炉的快速启动	10
§ 2-1 减小电阻法	10
§ 2-2 提高电压法	15
第三章 三相埋入式盐浴炉的快速启动	21
§ 3-1 减小电阻法	21
§ 3-2 提高电压法	37
第四章 固定式金属加热器快速启动	57
§ 4-1 固定式金属加热器的选材	57
§ 4-2 固定式金属加热器的设计	61
§ 4-3 固定式金属加热器的安装	65
§ 4-4 固定式金属加热器的使用	66
第五章 埋入式电极盐浴炉的制造	68
§ 5-1 埋入式电极盐浴炉的基本类型	68
§ 5-2 埋入式电极盐浴炉的炉壳制造	74
§ 5-3 埋入式电极盐浴炉的炉体砌制	76
§ 5-4 埋入式电极盐浴炉的炉胆制造	82
§ 5-5 埋入式电极盐浴炉的坩埚制造	83

第六章 埋入式电极盐浴炉的设计	93
§ 6-1 炉膛尺寸的确定	93
§ 6-2 盐炉功率的确定	97
§ 6-3 电极尺寸的确定	99
§ 6-4 模拟试验的方法	131
附录	139
附录一 盐浴炉的技术参数	139
附录二 快速启动盐浴炉的先进炉型	147
附录三 三相角形电极电子计算机计算程序	157

第一章 埋入式电极盐浴炉

快速启动原理

§ 1-1 盐浴炉启动概述

盐浴炉具有炉温均匀、加热速度快、不易氧化脱碳、可进行局部加热及结构简单、维修方便等许多优点，因而成为热处理行业中广泛应用的重要设备。但传统的盐浴炉也有以下缺点：

一、启动时间长 一般情况下，从室温送电至到达工艺要求温度（ $800\sim 900^{\circ}\text{C}$ 或 $1250\sim 1300^{\circ}\text{C}$ ），需3~5 h。如果是单班生产，有效工作时间仅为50%左右；即使是两班生产，有效工作时间也只有75%左右。因而严重地降低了生产率。

二、无功耗电大 这是由于固态盐几乎不导电，每次启动必须先依靠外加热源将极间的固态盐熔化，使其导通、发热、升温，费时甚长。为减少启动次数，短时停炉必须低压供电保温。上述化盐用电，保温用电均属无功耗电。以50 kW单相盐浴炉为例：停炉12 h后启动，化盐用电50 kWh；保温用电120 kWh。故浪费能源，增加了产品成本。

三、劳动条件差 每启动一次，必须在灼热条件下，装卸沉重的启动电极。劳动条件恶劣，工作效率很低。由于以上情况及盐浴炉自身启动技术的限制，因而影响了它的发展。

盐浴炉的启动是将固态盐从环境温度开始导通、熔化，并使其升到工艺规定温度的过程。

为了节约能源，提高效率，降低成本，改善劳动条件，对盐浴炉启动方法进行改造，是热处理行业的重要课题。多少年来，人们一直探求缩短这个周期的可能性，即在短时间内，获得足够的热量使盐熔化升温。

在一些工业发达国家，目前采用的方法有：低熔点可燃金属引燃法；气体火焰烧熔法；炉底石墨起弧逐熔法等。虽已取得了一定效果，但均未从根本上解决问题。人们还想以流动粒子炉取代盐浴炉，虽经二十余年实践，但仍不如人愿。

几年来，我国在探索和试验盐浴炉快速启动的可能性与合理性方面，进行了大量研究，取得了显著的成绩。并研制成功快速启动式盐浴炉。快速启动式盐浴炉具有启动快、耗能低、效率高、炉龄长等一系列优点。并且操作方便。

§ 1-2 快速启动的依据

从电气负载性质看，盐浴炉属于电阻性负载。它是利用电流的热效应，即电流通过电阻发热的原理，来获得热量。根据焦耳定律：

$$Q = 0.24 \frac{U^2}{R} t \quad (\text{cal})$$

式中 Q ——热量 (cal)；
 U ——电压 (V)；
 R ——电阻 (Ω)；
 t ——时间 (s)。

显然，要获得足够的热量，一是减少电阻；二是提高电

压；三是延长通电时间。

众所周知，快速启动是一个时间性的概念，“快”就是要缩短时间。所以，企图用延长通电时间来积累炉中热量以提高炉温是与快速启动的基本思想相违背的。故只能从减少电阻和提高电压入手来分析快速启动的可能性。

盐浴炉用盐，一般为碱金属或碱土金属的氯化物，如 NaCl 、 KCl 、 BaCl_2 、 CaCl_2 等，都属于离子型化合物，非金属性十分强烈。它们的特点是：

一、低温时，固态盐电阻率很高。 $\rho \geq 10^8 (\Omega \cdot \text{m})$ ，电阻很大，基本上属于电介质。

二、具有负阻特性，即电阻率随温度升高而减小。

但已在盐浴炉中使用过的混合盐（以下简称浴盐），一般含有自生的金属氧化物——盐“渣”。它们来源于工件、挂具及电极表面氧化脱落的 FeO 、 Fe_2O_3 、 Fe_3O_4 ；熔盐与氧作用生成的 Na_2O 、 BaO ；以及由脱氧剂生成的其他氧化物等。这些物质电阻较低，掺入盐中，使盐在低温时也略有导电性。另外，根据电阻定律：

$$R = \rho \cdot \frac{L}{A}$$

表明固态盐的电阻与极间距离成正比，与电流在固态盐中的通路的截面积成反比。

所以，调节固态盐中自生的导电物质含量或人为地添加不影响热处理质量的低电阻率导电物质的含量；适当缩小极间距离或增加电极间相对面积；在一定电压下，低温时也可使盐击穿导通。电流一经导通，固态盐的电阻随温度上升不断下降、电流不断上升，使之迅速积累热量，提高炉温，为快速启动提供了可能性。

若电阻下降的幅度不够大，提高电压仍可击穿固态盐，同样为快速启动提供了条件。但如果没有适当低电阻值的配合，高电压也是不能击穿固态盐的。

§ 1-3 快速启动的原理

盐浴炉的启动过程分三个阶段：一是导通；二是熔化；三是升温。导通是启动的核心，只有电流导通了，固态盐才能熔化和升温至工艺要求温度。

盐浴炉的快速启动，是利用固态盐中自生的和人为添加的一些导电物质做发热“元件”。我们称这些导电物质为盐“渣”。盐“渣”由于比重较大多沉于炉底。当在极间施加一定电压时，在盐“渣”聚集最多的部位首先击穿导通。此时，通路截面甚小，电流密度很大，因此迅速聚集热量、升温。当温度超过周围固态盐的温度时，热量即行扩散，使通路周围的固态盐吸热、升温。根据负阻特性，盐的电阻下降，电流骤增，盐迅速熔化，电路截面扩大。此后电阻又降，电流又增，盐温又升，通路截面再行扩大。如此反复循环，互相激励，固态盐很快从炉底向上熔化，并升温至工艺温度。

启动过程中，炉温在 760°C 磁居里点以下时，盐“渣”中的铁磁物及其化合物，于炉底两极间取向聚集，使发热元件截面增加，抵消了由于温升使铁磁物及其化合物所增加电阻的一部分或全部，以保证发热元件向盐提供最大热量。另外，由于这些物质在两极间取向聚集，为下次启动击穿导通创造了更好的条件。这也是旧盐容易启动的重要因素。

用盐“渣”做发热元件使盐浴炉启动的方法，称之为自激启动。

用这种方法启动盐浴炉，当固态盐中导电物质含量不够

充足时，击穿导通有困难，可适当提高电压，甚至可用工业电压220 V或380 V使盐击穿导通。如电压一定，可适当缩小极间距离，达到击穿导通的目的。若适当增加盐中导电物质含量，可用较低电压或直接利用变压器所提供的低电压来击穿导通固态盐。

启动方法是启动快慢的关键，与自激启动方法相比，传统启动方法是以启动器为发热元件而获得热量，使部分盐熔化，从而达到导通目的。我们称这种方法为他激启动。

根据斯蒂芬-波尔兹曼热辐射的四次方定律：

$$Q = \varepsilon \cdot C_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4 \cdot A \text{ (kcal/h)}$$

式中 Q ——盐液表面辐射热损失 (kcal/h)；

T ——盐浴表面温度 ($^{\circ}\text{K}$) 等于炉温；

A ——盐浴表面积 (m^2)；

ε ——盐浴表面黑度，取 $\varepsilon = 0.89$ ；

C_0 ——绝对黑体的辐射系数，其值为 $4.96 \text{ (kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{K}^4)$ 。

显然，温度越高、时间越长、液面越大，辐射热损失越大。

不难看出：用传统方法启动，热量由上向下传递，液面温度最高，加之启动时间长，热量损失很大，这是传统启动法耗能、费时的根本原因。快速启动，由于启动时间短，并使升温、化盐、升温方式变自上而下为自下而上，故辐射热与其他热损失大减。仅辐射散热一项就减少损失的65%左右，这是快速启动节电的根本原因。

§ 1-4 快速启动的方法

根据快速启动的原理，快速启动大致分为两大类：

一、减小电阻法 这种方法可用下列技术:

(一) 改变炉子结构: 即缩小主电极间距; 设置固定金属启动电极。如在主电极上焊接启动电极; 在主电极附近设置启动电极; 在主电极间设置中空极(中性极)等。

(二) 添加不影响热处理质量的低电阻率导电物质。如“654”启动保温剂、铁屑等。

(三) 选择最佳盐浴配方。

(四) 在主电极间放置活动或固定导流器。

二、提高电压法 提高电压法可采用以下方案:

(一) 用可控硅反并联交流调压装置, 使盐“渣”在工业电压380 V下击穿导通。

(二) 将盐浴炉变压器一次绕组做自耦变压器用, 输出60~220 V电压。

(三) 在盐浴炉变压器上增设二次高压绕组, 使其输出60~80 V的电压。

(四) 改变盐浴炉变压器二次绕组接法。例如: 改三角形接法为星形接法可提高电压1.73倍; 改并联为串联可提高电压2倍。

(五) 采用220 V电压击穿导通, 并设置电抗器以限制电流变化率。

(六) 改装电焊机, 使其输出60~220 V电压。

除此之外, 还有一种他激快速启动法, 即于炉膛底部埋设用电热材料制成的发热元件的他激快速启动法——固定式金属加热器快速启动法。

上述方法将在以后的章节中详细论述。

§ 1-5 快速启动的效果

在启动盐浴炉过程中，从电源吸收的电能，除用来升温、化盐、升温的部分有用外，其余部分均以不同形式损耗。

用传统方法启动，炉子一般在接近额定状态或超载状态运行，但从整个启动过程来看，炉子是平均在80%的额定负载下工作。以100kW的中温盐浴炉为例，在启动过程中，平均消耗功率：

$$P' = 80\% P = 80\% \times 100 = 80 \text{ (kW)}$$

启动时间：

$$t_{a1} = 3 \text{ (h)}$$

装盐重量：

$$m = 230 \text{ (kg)}$$

则启动所消耗的电能：

$$W_1 = P' \cdot t_{a1} = 80 \times 3 = 240 \text{ (kWh)}$$

其中用于“升温、化盐、升温”所消耗的电能为：

$$\begin{aligned} W_s &= P_s \cdot t_{a1} = \frac{W}{3600 t_{a1}} \cdot t_{a1} \\ &= \frac{W}{3600} = \frac{4.2 Q}{3600} = \frac{4.2(Q_s + Q_r + Q_1)}{3600} \\ &= \frac{4.2 m [C_s(t_2 - t_1) + \gamma + C_1(t_3 - t_2)]}{3600} \\ &= \frac{4.2 \times 230 \times [0.2 \times (670 - 30) + 160 + 0.26 \times (850 - 670)]}{3600} \\ &= 90 \text{ (kWh)} \end{aligned}$$

式中 P_s ——启动时升温、化盐、升温的功率 (kW)；

W ——启动时升温、化盐、升温消耗的电能 (kJ)；

Q ——启动时升温、化盐、升温所需的热量 (kcal)；

Q_s ——固态混合盐升温所需的热量 (kcal);

Q_r ——固态混合盐熔化所需的热量 (kcal);

Q_l ——液态混合盐升温所需的热量 (kcal);

C_s ——固态混合盐的比热 [kcal/(kg·°C)];

γ ——固态混合盐的熔化热 (kcal/kg);

C_l ——液态混合盐的比热 [kcal/(kg·°C)];

t_3 ——工温 (°C);

t_2 ——熔点 (°C);

t_1 ——室温 (°C)。

显然, 用于“升温、化盐、升温”的电能有总耗电能的37%左右。其余150kWh以不同方式损失掉了。

快速启动, 除导通前一段时间外 (这段时间大约几秒至几分钟, 与整个启动时间相比, 可忽略不计), 炉子大部分时间是接近额定状态运行。启动时间以 $t_{a2}=1.2$ (h) 计, 启动所消耗的电能为:

$$W_2 = P \cdot t_{a2} = 100 \times 1.2 = 120 \text{ (kWh)}$$

其中“升温、化盐、升温”所消耗的能量与传统启动方法相同, 即:

$$W_s = 90 \text{ (kWh)}$$

只有30kWh以不同方式损失掉。

与传统启动方法相比, 快速启动的效果如下:

一、节约电能

$$\frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% = \frac{240 - 120}{240} \times 100\% = 50\%,$$

二、提高利用率

$$\left(\frac{W_s}{W_2} - \frac{W_s}{W_1} \right) \times 100\% = \left(\frac{90}{120} - \frac{90}{240} \right) \times 100\% = 37.5\%,$$

三、降低了损失

$$\frac{150-30}{150} \times 100\% = 80\%。$$

根据传统启动方法与快速启动方法在启动过程中热平衡的比较,可明显地看出快速启动的效果(见表1-1)。表中每项热损失的百分数是启动过程中从室温升到900℃时的平均值。

表1-1 传统启动方法与快速启动方法的热平衡比较

序号	项 目		传统方法启动热平衡(%)		快速启动热平衡(%)	
1	从电源吸收的总能量(Q)		100		100	
2	升温、化盐、升温所需热量(Q)		37		75	
3	液面热损失 Q_2	辐射热损失($Q_{2\text{辐}}$)	43	31	17.5	12
		对流热损失($Q_{2\text{流}}$)		12		5.5
4	电极热损失 Q_3	辐射热损失($Q_{3\text{辐}}$)	15	12	7	5
		对流热损失($Q_{3\text{流}}$)		3		2
5	炉壁热损失(Q_4)		3			
6	其他热损失 Q_5	变压器损失($Q_{5\text{变}}$)	2		0.5	
		汇流排热损失($Q_{5\text{排}}$)				
		电极柄热损失($Q_{5\text{柄}}$)				