

ANQUAN



工业电热设备 安全技术

杨明义 范永复 高富合 编

机械工业出版社

内 容 简 介

本书主要对各种工业电热设备可能发生事故的原因、现象、后果和防止事故的措施及部分典型事故实例作了系统的介绍。为了使读者对各种工业电热设备有较系统的了解，本书对各种工业电热设备的概况，安全方面的共性及特殊要求，也作了简要介绍。

本书着重于实践，理论叙述较少，可作为工业电热设备使用单位的安全技术参考书。

本书适合工厂企业设备管理人员、电气与工业炉使用人员阅读。

工业电热设备安全技术

杨明义 范永复 高富合 编

*

责任编辑：劳瑞芬

封面设计：王 伦

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南里一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

重庆印制一厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经销

*

开本 787×1092 1/32 · 印张 9 · 字数 196 千字

1987年9月重庆第一版·1987年9月重庆第一次印刷

印数 0.001—4.900 · 定价：1.90 元

*

统一书号：15033·6721



前 言

工业电热设备是以电为热源的各种电加热与电熔炼设备的总称。这类设备种类繁多，用途广泛，是厂矿企业、科研部门的重要设备之一。它能否安全运行，不仅关系到操作者的人身和设备的安全，也关系到生产能否正常进行。这类设备发生事故有时因电引起，有时也因非电的原因引起。因为这类设备多处于高温下作业，并伴随有水、火、易燃气体等，所以安全问题更显得重要。

本书前两章介绍各种电热设备的概况和各种电热设备在安全方面属于共性的要求。后几章分别介绍了电阻炉、高频、中频感应加热炉与感应熔炼炉，工频感应加热炉与熔炼炉，电弧炉与矿热炉（埋弧炉）和其他几种在工业生产中常用炉种的概况以及安全方面的特殊要求。

编写本书的主要目的是介绍各种工业电热设备可能发生事故的原因、现象、后果和防止事故的措施，以及部分典型事故实例。但为了使读者较系统地了解各种工业电热设备，对电热设备的概况（如基本结构、基本工作原理）也作了简要的介绍。

国内目前还没有系统论述工业电热设备安全技术的著作出版，而广大工业电热设备使用单位和有关人员又迫切需要这样一本资料供工作中参考，因此我们编写了这本书。山东机械工程学会工业炉专业委员会组织了力量，为本书收集资料 and 进行现场调查，并组织有关单位讨论和审定书稿。

本书定稿前承蒙机械工业部第二汽车制造厂、铁道部四方机车厂、山东省电力工业局用电处、商业部设计院（胡宗文），北京市机电设计院和青岛市电业局的工程师们审阅并提出了宝贵意见，对此深表感谢。

由于时间和编者的水平所限，本书内容必有错误或不妥之处，望广大读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 概 述.....	1
第一节 工业电热设备概况与分类.....	1
一、按电压带 分类.....	1
二、按频率分 类.....	2
三、按电—热转换方式 分类.....	2
四、按被加热物的形态 变化分类.....	2
五、我国工业电热设备的分 类.....	2
第二节 工业电热设备的 电源.....	5
一、供电方式.....	5
二、电源设 备.....	9
三、对工业电热设备技术管理的一般要 求.....	11
第三节 工业电热设备的使用条件	12
一、工业电热设备的使用环 境.....	12
二、对工业电热设备所用水和气的要求	13
第二章 工业电热设备的通用安全 技术.....	15
第一节 电气安全技术基础知识	15
一、 电气安全术语的 定义.....	15
二、 工作接地、保护接地和重复 接地.....	17
三、 工业电热设备接地或接零的具体 要求.....	21
第二节 工业电热设备的安全要 求.....	22
一、工业电热设备的绝缘及特性试 验.....	22
二、工业电热设备的接地与接零	28
三、过电流保护和信号指示与自动控 制.....	29
第三节 安全用电和安全防护用 具.....	32
一、安全用具的定义	32

二、常用安全用具	33
三、安全用具的保管和使用	34
四、安全用电	35
五、对触电者的急救	38
六、人工急救基本规则	39
第四节 操作安全技术	40
一、安全运行	40
二、高、低压电气装置运行中的检查项目和内容	41
三、对工业电热设备维修的要求	42
第三章 电阻炉	44
第一节 电阻炉的用途与分类	44
第二节 电阻炉的基本结构	46
一、电热元件的选择	46
二、电阻炉的电气配套和温度控制	49
第三节 电气安全	56
一、电气安全的要求与规定	56
二、常见的电气事故与事故发生的原因	58
三、防止电气事故的措施	61
四、安全用电常识	66
五、正确操作电阻炉	67
第四节 非电气事故及其预防措施	69
一、可燃气体的防爆	69
二、密封罐的防超压装置	74
三、严格规程制度	75
第四章 高频、中频感应加热与熔炼炉	79
第一节 基本情况	79
一、高、中频感应加热的工作原理	79
二、高、中频感应加热和熔炼炉的分类与用途	81
三、高、中频感应加热与熔炼炉的电源	82
第二节 设备方面的安全	94

一、设备方面的安全要求	94
二、常见故障原因及处理	100
三、高频屏蔽	103
第三节 操作方面的安全	105
一、操作安全要求	105
二、事故实例	107
第五章 工频感应加热与熔炼炉	108
第一节 基本情况	108
一、工频感应加热的基本工作原理	108
二、工频感应加热炉和熔炼炉的分类与用途	110
三、工频感应炉供电	115
第二节 设备方面的安全技术	127
一、电气方面的安全要求	127
二、非电气方面的安全技术	132
第三节 操作方面的安全	151
一、开、停炉的安全要点	151
二、运行监视	154
第四节 事故举例及分析	156
一、工频感应加热炉事故	156
二、无芯工频感应熔炼炉事故	157
三、有芯工频感应炉事故	158
第六章 电弧炉	164
第一节 基本情况	164
一、基本原理	164
二、电弧炉的分类和用途	165
三、电弧炉设备	168
第二节 电弧炉电气方面的安全技术	183
一、电气方面的安全要求	183
二、电炉电气安全技术	187
第三节 电炉设备方面的安全技术	204

一、电炉设备的安全要求	204
二、设备有关的安全技术	209
第四节 操作方面的安全技术	213
一、操作安全要求	213
二、操作安全技术措施	220
第五节 事故实例与分析	229
一、电气事故	229
二、电炉设备及操作事故	231
第七章 电渣熔炉与工业微波加热设备	236
第一节 电渣熔炉	236
一、基本工作原理与特点	236
二、设备分类与用途	239
三、安全要求	240
第二节 工业微波加热设备	243
一、基本工作原理与特点	243
二、工业微波加热的应用	245
三、工业微波设备的安全使用	246
四、微波泄漏的防护	249
五、电磁场强度与微波漏能测量	250
附 录	258
一、中华人民共和国国家标准GB2681—81	
电工成套装置中的导线颜色	258
二、绝缘电阻温度换算系数表	260
三、泄漏电流温度换算系数表	261
四、介质损失角温度换算系数表	262
五、电阻炉常用耐火材料、保温材料与耐热钢	265
六、电热元件的计算	269

第一章 概 述

工业电热设备是指以电为热源，在工业生产中用电加热和电熔炼的设备。不包括焊接设备和家用电器。

电热设备是由电热装置和其使用中所必需配备的其它电气装置、机械装置所组成的成套设备。电热装置是把电能转变成热能的工艺装置，电气装置是用来产生、变换、输送、分配或使用电能的任何装置（发电机、变压器、开关、电容器、仪表、保护装置……）。

工业电热设备包括：（1）电阻加热装置（电阻炉、盐浴炉等）；（2）感应加热装置（工频透热设备，中频或高频淬火设备）；（3）感应熔炼炉（中频炉、工频炉）；（4）电弧炉；（5）埋弧炉；（6）电渣重熔炉；（7）等离子电热装置；（8）微波加热装置。

工业电热设备的安全问题包括人身安全和设备安全两个方面。

第一节 工业电热设备概况与分类

工业电热设备种类繁多，用途极为广泛。现将国际和我国对工业电热设备的分类方法简介如下。

一、按电压带分类

1. 第一电压带的装置 指额定电压不超过交流 50V 或直流 120V 的装置。

2. 第二电压带的装置 指额定电压交流 50~1000V 或直流 120~1500V 的装置。

3. 第三电压带的装置 指额定电压大于交流 1000V 或大于直流 1500V 的装置。

二、按频率分类

1. 工频装置 指装置用交流公共供电网的频率。我国为 50Hz, 美国为 60Hz。

$$f_{\text{工频}} = 50\text{Hz}$$

2. 低频装置 指装置工作频率低于工频。

$$f_{\text{低频}} < 50\text{Hz}$$

3. 中频装置 指装置工作频率高于工频, 但低于或等于 10kHz,

$$50\text{Hz} < f_{\text{中频}} \leq 10\text{kHz}$$

4. 高频装置 指装置工作频率高于 10kHz, 但低于或等于 300MHz。

$$10\text{kHz} < f_{\text{高频}} \leq 300\text{MHz}$$

5. 微波装置 指装置工作频率高于 300MHz, 但低于或等于 300GHz。

$$300\text{MHz} < f_{\text{微波}} \leq 300\text{GHz}$$

三、按电—热转换方式分类

可分为电阻炉; 感应炉; 电弧炉; 微波炉。

四、按被加热物的形态变化分类

可分为电加热设备和电熔炼设备。

五、我国工业电热设备的分类

目前我们常按被加热物的形态变化进行分类, 即分为电加热设备和电熔炼设备。

1. 电加热设备

(1) 定义

指被加热物的温度升高后, 原为固态者仍为固态, 外形

不变的电加热设备。

(2) 用途

- 1) 热处理方面 淬火、渗碳、氮化等。
- 2) 锻造方面 在锻造或挤压前将毛坯加热，锻造退火等。
- 3) 铸造方面 砂型和砂芯的烘干、铸件退火等。
- 4) 油漆方面 油漆件烘干等。

(3) 电—热转换方式

1) 电阻加热 分间接加热与直接加热两种。间接加热是将电流通入电阻率大的导体加热元件，使其发热，并将热能辐射、传导或对流传到被加热物，使之温度升高，达到工艺要求（如箱式电炉、盐浴电炉、井式电阻炉等）。直接加热是将低电压大电流直接通入被加热的物体上（被加热物需是导电体），利用被加热物体本身的电阻与电流产生的热量，使其升温达到工艺要求（退火设备，电热熨设备等）。

2) 感应加热 将工件放在交变磁场中，工件由于被感应而产生电势和电流，借助于工件本身的电阻产生热量，使其升温达到工艺要求。感应加热可分为工频加热（轮箍加热器、轴承工频热套器、金属毛坯加热设备等）；中频加热（中频淬火设备等）；高频加热（高频淬火设备等）。

3) 微波加热 利用介质分子摩擦发热原理，将介质物加热，如用介质物的加热干燥等。

2. 电熔炼设备

(1) 定义

指被加热物不仅升高了温度，而且形态也发生变化，一般是固态变为液态的电加热设备。

(2) 用途

1) 冶炼 将几种炉料熔化后混合或化合成某种新材质。

2) 熔炼 将炉料(金属或非金属)从固态加热至液态。

3) 升温或保温 将已熔的液态金属保温或升温。

(3) 电—热转换方式

1) 电阻炉 属间接加热方式,多用于熔炼低熔点金属(铝、镁、锌、铅、锡等)如电阻坩埚炉和电阻反射炉。

2) 感应电炉 属直接加热方式,多用于熔炼铁、钢和各种有色金属或难熔的稀有贵重金属。它大都是利用感应方式将炉料直接加热熔炼(从炉子结构上分为有芯炉和无芯炉两大类),如工频感应电炉、中频感应电炉、高频感应电炉。

3) 电弧炉 利用电弧产生的高温而熔炼金属或非金属。如电弧炼钢炉,矿热炉(埋弧炉)。

4) 电渣炉 利用特制的电渣作为发热体,它所产生的热量,使炉料达到熔化的目的。实质上这种电炉也属电阻加热。

工业电热设备的分类见下表

分 类	按电压 带分类	第一电压带装置: 工作电压 $\leq$ 交流50V或直流120V
		第二电压带装置: 交流50V或直流120V $<$ 工作电压 $\leq$ 交流1000V或直流1500V
		第三电压带装置: 工作电压 $>$ 交流1000V或直流1500V
	按频率 分类	工频装置: $f_{\text{工作}}=50\text{Hz}(\text{或}60\text{Hz})$, 低频装置: $f_{\text{工作}}<50\text{Hz}(\text{或}60\text{Hz})$, 中频装置: $50\text{Hz}(\text{或}60\text{Hz})<f_{\text{工作}}\leq 10\text{kHz}$, 高频装置: $10\text{kHz}<f_{\text{工作}}\leq 300\text{MHz}$, 微波装置: $300\text{MHz}<f_{\text{工作}}\leq 300\text{GHz}$
	按电—热转换方式分类	电阻炉 感应炉 电弧炉 微波炉
	按被加热物的形态变化分类	电加热设备 电熔炼设备

第二节 工业电热设备的电源

一、供电方式

1. 对电源的要求

工业电热设备的电源多取自电力系统的供电网络，我国电网是三相50Hz。由于电热设备的端电压都较低，因此多通过降压变压器与电网连接，由电力系统向工业电热设备供电。根据电热设备的重要性（即电热设备停电所造成的人身安全和设备安全及经济损失的程度）可分为三级供电负荷。

一级负荷：中断供电将造成人身伤亡或在经济上造成重大损失。如重大设备损坏，重大产品报废、用重要原料生产的产品大量报废等。多台大型电热装置宜属于一级负荷。

二级负荷：中断供电将在经济上造成较大损失。如主要设备损坏，大量产品报废；连续生产过程被打乱，需较长时间才能恢复；重要产品大量减产等。

三级负荷：不属于一级和二级的负荷。

各级负荷供电要求：

一级负荷应由两个电源供电。两个电源应符合下列两个条件之一：（1）两个电源之间无联系；（2）两个电源之间虽有联系，但当发生任何一种故障时，两个电源的任何部分应不致同时受到损坏，或有人操作可在不致发生严重后果的时间内，恢复一个电源供电。

二级负荷的供电系统，应尽量做到当发生变压器故障或线路常见故障时，不致中断供电（或中断后能迅速恢复）。在供电条件有困难时，应由一路6kV以上架空专线供电。

2. 对降压变压器的要求

（1）专用变压器供电

装设条件:

1) 单台用电功率大的电热设备;

2) 工艺有特殊要求的电热设备;

对供电安全有特殊要求 装有特殊的开关设备、保护装置者;

对经济运行合理性有特殊要求 如电弧炉变压器要有高阻抗。

盐浴炉变压器的要求 低电压、大电流等, 故均需采用专用变压器供电。

3) 对电力网安全 and 经济运行影响大的电热设备。

装设特点:

用专用变压器供电的电热设备, 其专用变压器是属于电热设备的一个组成部分。专用变压器有独立的保护装置与控制系统, 使电热设备的用电与其他用电设备互不影响, 确保电热设备的工艺要求和可靠性, 并保证了电热设备不影响电源的正常供电。

(2) 低压配电网供电

当单台用电功率不大, 对供电无特殊要求, 设备额定电压为供电系统的标准电压的电热设备, 都采用由低压配电网直接供电。如果这种电热设备很多, 总的用电容量很大时, 为了减少供电线路损失和线路电压降, 确保供电的经济性, 则应设置降压变电所, 由电力系统高压供电, 通过此降压变电所就地供电。由于有一些电热设备是单相大电流用电, 故会造成电源三相电流不平衡, 这对电力系统与用电企业都是不利的。为此, 要采取一些技术措施 (如合理分配单相设备, 使供电三相平衡或装设三相平衡装置)。

3. 对供电连接线的要求

(1) 一般要求

1) 电热设备与供电网的连接应符合供电系统的供电型式, 并符合一般供电线路的技术要求。

2) 要确保连接导线在正常的运行情况下, 避免各种异常的机械力(如拉力、弯曲力、扭力、摩擦力和振动力)或热、潮气和蒸汽作用的损坏。

3) 防止套管损伤和划破导线的绝缘。

4) 各相导线的参数要一致。

5) 要能承受电动力的作用, 耐高温和耐腐蚀。

6) 金属支持夹板不得组成闭合回路。

7) 各压、接头要防止热胀冷缩, 致使接头逐渐松动。

8) 接地线要牢固。

(2) 对固定连接的要求

1) 连接线支持物要绝缘良好, 金属支持夹板不得组成闭合回路。

2) 对高频与微波导线应考虑集肤效应和邻近效应, 以及寄生振荡。

3) 相间及相地间的安全距离应符合下表规定。

4) 在固定接线的入口点上, 导线所穿过的弯曲半径应有足够大的尺寸, 以免损伤导线。导线穿入套管中时应不受损伤。

(3) 对可移动连接的要求

1) 与固定接线不做永久性连接的电热装置, 应当配备只有借用工具才能拆卸的软电缆。

2) 可拆卸连接用的软导线, 在装置的连接处应避免过度弯曲, 防护装置应固定牢靠, 且有足够的长度。

3) 要采用绝缘套管来满足连接导线的引入处, 当导线

电气安全距离表

额定电压(kV)	室 内					室 外		
	1~3	6	10	20	35	10及 以下	20	35
最小允许距离(cm)								
1.不同相的导体间及带电部分至接地部分间	7.5	10	12.5	18	29	20	30	40
2.带电部分至网状遮拦	17.5	20	22.5	28	39	25	30	40
3.带电部分至无孔遮拦	10.5	13	15.5	21	32			
4.带电部分至遮拦	50	50	50	70	80	100	100	100
5.无遮拦裸导体至地板高度	250	250	250	275	275	300	300	300
6.需要不同时停电检修的无遮拦裸体	200	200	200	220	220			
(1) 水平距离						220	220	220
(2) 垂直距离						100	100	100
7.架空出线至地面	450	450	450	475	475			
8.架空出线至屋顶	275	275	275	275	275			

的保护套插入时不受损伤。

4) 装置内部的布线, 应为电源引线留有一定的空间, 使其能容易地插入和连接, 如果装有罩或盖时, 该罩或盖应能容易地固定在其位置上而不损伤导线。

(4) 电炉短网的特殊要求

1) 电炉短网的特点 电炉短网的工作电流很大(几万至几十万A), 组合母线外形轮廓复杂, 工作环境恶劣。由于电路短网长度不大, 但其电阻和电抗(尤其是电抗)对电炉装置的工作影响很大, 在很大程度上决定了电炉装置的效率、功率因数和电炉是否能进行稳定生产。

2) 特殊要求 短网的长度应最短, 各相回路的电阻和电抗相等, 相回路所占面积最小, 导体形式及其截面选择合理, 以保证各导体电流均衡及各相参数相同。

二、电源设备

工业电热设备的电源设备，是为电热设备对电源的特殊需要所设置的专用电源。

1. 专用变压器

有不少工业电热设备对电—热转换工艺有特殊要求，如电弧炉要求低电压大电流，高频设备和中频设备的整流装置要求特种接线法和非标准电压等等。为此，要为工业电热设备配备专用变压器。专用变压器的性能对热加工工艺具有重要意义。

2. 变频电源装置

(1) 高频电源装置

它是将工频电源变为高频。目前广泛采用电子管式高频振荡器，振荡槽路为自激式。

(2) 中频电源装置

它将工频电源变为中频。目前中频电源装置有电动机-发电机组中频装置和可控硅中频电源装置。

(3) 倍频装置

它通常是三倍频静止式电磁变频器，一般都是用来做为感应熔炼或感应加热的电源。

3. 三相平衡装置

电力系统供电都是三相制，但工业电热设备有不少是单相用电。由于单相容量较大，故将造成电网三相负荷不平衡，这将危及电力网和在同一电网中的其它用电设备的安全运行。按国家标准要求，三相负荷不平衡度不得超过20%，为此，对大功率单相工业电热设备应考虑设置三相平衡装置。平衡方法有三种。

(1) 容抗平衡法