

轻工电热技术问答丛书

DIANRE YUANJIAN YU QIJU JISHU WENTI YANJIU JI WENDA

电热元件与器具技术 问题研究及问答

陈福江 主编



東北大學出版社
Northeastern University Press

轻工电热技术问答丛书

电热元件与器具 技术问题研究及问答

陈福江 主编

东北大学出版社

· 沈 阳 ·

© 陈福江 2016

图书在版编目 (CIP) 数据

电热元件与器具技术问题的研究及问答 / 陈福江主编. —沈阳:
东北大学出版社, 2016. 9

(轻工电热技术问答丛书)

ISBN 978 - 7 - 5517 - 1411 - 2

I. ①电… II. ①陈… III. ①电热设备—加热元件—
问题解答 IV. ①TM924.03 - 44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 230058 号

出 版 者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路三号巷 11 号

邮编: 110819

电话: 024 - 83687331 (市场部) 83680267 (社务部)

传真: 024 - 83680180 (市场部) 83680265 (社务部)

E-mail: neuph@neupress.com

网址: <http://www.neupress.com>

印 刷 者: 沈阳航空发动机研究所印刷厂

发 行 者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 160mm × 228mm

印 张: 14.75

字 数: 249 千字

出版时间: 2016 年 9 月第 1 版

印刷时间: 2016 年 9 月第 1 次印刷

责任编辑: 孙德海 曲 直

封面设计: 刘江旸

责任校对: 希 贞

责任出版: 唐敏智

ISBN 978 - 7 - 5517 - 1411 - 2

定 价: 39.80 元

编 委 会

主 编 陈福江

副主编 何 清 张 剑

编 委 邹德斌 杨学群 俞为扬 倪忠伟

付晓莉 吴 迪 徐 蕊 熊 茜

高茜茜 李 乐 孙 莉 王 艳

倪伟男 盛建寅 芮炎祚 张海根

韩卫东

前 言

本书是国家轻工业家用电器产品质量监督检测沈阳站暨辽宁省轻工产品质量检测院成功举办历届全国电热元件与器具技术交流会的成果结晶。文中每一问答均是企业在实际生产和研究过程中经常遇到的问题,以及经过实践和研究后取得的满意答案。它必将对企业技术人员和相关技术管理人员及学术研究起到积极的推动作用。

全书共分八章:第一章为日用管状电热元件相关概念知识问答;第二章为电热元件外壳相关问答;第三章为电热丝相关问答;第四章为氧化镁粉相关问答;第五章为引出棒及封口胶材料相关问答;第六章为设计、生产工艺流程及检测相关问答;第七章为电热元件产品常见问题;第八章为电热管实例分析;后附相关参数图表和相关国家、行业标准。

本书通过对电热元件与器具现状和发展态势的跟踪,通过对产品全方位的分析研究及对实践经验的总结,以问答的形式进行阐述,通俗易懂,便于掌握,是轻工电热行业相关人员难得的工具书。

陈福江

2016年7月

目 录

第一章	日用管状电热元件相关概念知识问答	(001)
第二章	电热元件外壳相关问答	(005)
第三章	电热丝相关问答	(014)
第四章	氧化镁粉相关问答	(033)
第五章	引出棒及封口胶材料相关问答	(045)
第六章	设计、生产工艺流程及检测相关问答	(051)
第七章	电热元件产品常见问题	(063)
第八章	电热管实例分析	(094)
	第一节 设计的不良与纠正	(094)
	第二节 制造工艺的不良与纠正	(150)
附 录		(160)
	附录一 相关参数表	(160)
	附录二 日用管状电热元件(JB/T 4088—2012) ...	(187)
	附录三 高电阻电热合金(GB/T 1234—2012)	(203)
后 记		(225)

第一章 日用管状电热元件相关概念知识问答

1. 日用管状电热元件的定义是什么？

日用管状电热元件是以金属管为外壳、合金电热丝作发热体，在两者间充以密实的氧化镁粉或类似绝缘物作为绝缘介质，并通过引出棒接至电源的一种用于加热的元件。

2. 日用管状电热元件的主要应用范围有哪些？

日用管状电热元件主要应用于家用电器。例如：电饭锅、电水壶、电热水器、电熨斗、电火锅等产品，应用非常广泛。

3. 日用管状电热元件的分类有哪些？

① 按照加热介质分为3类：用于加热液体的、用于加热气体的和用于加热其他物质的。

② 按照外管截面形状分为两类：圆形的和异形的。

③ 按照使用条件分为两类：承受压力的和不承受压力的。

④ 按照是否嵌装分为两类：嵌装的和非嵌装的。

4. 日用管状电热元件的常用术语有哪些？

① 发热体。一种合金电热丝，为加热元件的发热源。

② 引出棒。导电的金属部件，其与发热体有良好的连接，直接或通过连接于其上的插片、连接片等元件与电源相连。

③ 展开长度。元件金属管的直线与弯曲部分的长度总和。

- ④ 发热长度。元件发热体部分的长度总和。
- ⑤ 发热表面。元件发热长度所对应的金属管表面。
- ⑥ 表面负荷。发热表面上单位面积的功率 (单位: W/cm^2)。
- ⑦ 工作温度。元件在额定输入功率且正常工作状态下, 发热表面的平均温度。
- ⑧ 等效电阻。元件在工作温度下的直流电阻。

5. 等效电阻与元件冷态电阻的关系是怎样的?

$$R(T) = R_0 [1 + \alpha (T - T_0)]$$

式中, $R(T)$ ——元件在工作温度 T 下的直流电阻, Ω ;

R_0 ——元件的冷态电阻, Ω ;

α ——电阻温度系数, K^{-1} ;

T ——元件的工作温度, K 或 $^{\circ}\text{C}$;

T_0 ——元件处于冷态时所对应的温度, K 或 $^{\circ}\text{C}$ 。

6. 元件的主要技术参数有哪些?

元件的主要技术参数有额定电压 (V)、额定功率 (W , kW)、工作温度 (K 或 $^{\circ}\text{C}$)、表面负荷 (W/cm^2)、外形尺寸 (mm)、外径尺寸 (mm)、加热介质等。

7. 加热介质代号有哪些? (JB/T4088—2012)

水、弱酸、弱碱溶液的煮沸——S;

食物油——Y;

静止空气——Q;

流速不小于 6m/s 的空气——L;

元件被浇筑、嵌装、压制在铝、铜、钢等材料中——M。

8. 元件出厂检验项目及有哪些？（JB/T4088—2012）

（1）标志检查

元件上应有永久标志，标志的内容应包括：制造厂名或代号或商标、产品型号、出厂年月、额定电压及额定功率。

（2）外观

- ① 不得有明显的、非正常加工生产所造成的机械伤痕或局部膨胀。
- ② 弯曲处不得有皱纹、凹凸等现象。
- ③ 漆层、电镀层、金属或非金属的喷镀层应均匀牢固，不应有气泡、剥落或局部堆积现象。

（3）功率偏差

在正常工作状态下，元件的输入功率对额定输入功率偏差应不大于表 1.1 所示的偏差。

表 1.1

额定输入功率/W	偏差
> 25 ~ 200	$\pm 10\%$
> 200	+5% 或 20W（选较大值）；-10%

（4）水压试验

用于加热液体的、接头安装在液面以下的元件应进行水压试验，试验方法见 JB/T4088—2012（日用管状电热元件）第 6.9 款。

（5）冷态下电气强度

元件的绝缘应承受相应的电气强度试验，在试验期间不应出现击穿。试验电压见表 1.2。

表 1.2

额定电压 (U_r)/V	冷态条件下试验电压/V
≤ 150	1250
> 150 且 ≤ 250	1500
> 250	$1.2U_r + 1250$

第二章 电热元件外壳相关问答

1. 金属外壳的常用材质有哪些？

构成日用管状电热元件外壳的材质最常见的有 4 种——铜质、铝质、铁质和不锈钢，钛合金也有少量应用，Incoloy 管是近年出现的新型管材。

(1) 铝管

铝管表面温度的最高值不大于 260°C ，它主要用于家电低温嵌入式加热和超低温空气干燥。但必须注意，铝管材电热元件不要加热铝材，因为铝表面极易氧化，而且铝金属结构呈现松散性，致密度差，铝管制成的电热元件氧化镁的密度低，故只适合功率密度低或者工作温度较低的场景。

(2) 铜管

基本上是紫铜管，在少数场合也用黄铜管，其管表面温度的最高值为 177°C ，主要加热水和油等液体。

(3) 铁管（又称钢管）

常用牌号为 10# 钢，当然有时也用 20# 钢，但由于 20# 钢管的含碳量较高，故硬度高，在压缩时易损坏模具。钢管表面的最高允许工作温度为 400°C ，因为超过 400°C 后，管表面的氧化热失重增加，它的主要加热对象为液体（当加热油、水时要喷漆，以免生锈）、金属模、家电嵌入式元件以及许多静止或流动的空气（一般空气温度不大于 300°C ）、硝盐、碱液等。

(4) 低碳钢管

一般为4#钢以下,即接近纯铁,又派生出邦迪管、海克林管,即在管表面镀厚度为0.02mm的铜,以解决管表面生锈的问题,它主要用于家电元件的管材,而且由于含碳量低,当电热元件压缩后可以不退火而进行弯曲。

(5) 不锈钢管

按美国钢铁协会 (AISI) 类型名称:

302, 303, 304, 316, 321, 347 型最高工作温度: 760℃;

309s 型最高工作温度: 816℃;

310 型最高工作温度: 871℃;

403, 405, 410, 416, 501 型最高工作温度: 649℃;

430 型最高工作温度: 704℃;

442 型最高工作温度: 760℃;

446 型最高工作温度: 816℃。

不锈钢管主要用于模具加热,烘箱、烘道,高温、高压(尤其高压情况因管材致密度高则抗压能力强)的液体以及弱酸等,但不锈钢管材高温机械强度差。

(6) 镍合金管

按美国机械工程师协会 (ASME) 类型名称:

400 型合金最高工作温度: 482℃;

600 型合金最高工作温度: 982℃;

800 型合金最高工作温度: 927℃;

825 型合金最高工作温度: 593℃;

840 型合金最高工作温度: 927℃。

(7) 钛管

主要特点是耐酸、碱,尤其适用于强酸、碱,但钛管材料的致命缺点是焊接与弯曲困难,易断裂,一般真空退火可解决,焊接时使用钛焊条。

(8) Incoloy 管

Incoloy 是一种镍铬铁合金。Incoloy 合金有很多种类, 常见的如 Incoloy800, Incoloy800H, Incoloy800HT, Incoloy825, Incoloy840, Incoloy901, Incoloy925, Incoloy20, Incoloy330, Incoloy25-6Mo 等。

2. Incoloy825 的特性有哪些?

Incoloy825 是钛稳定化处理的全奥氏体镍铁铬合金, 并添加了铜和钼。Incoloy825 是一种通用的工程合金, 它具有如下特性:

- ① 好的耐应力腐蚀开裂性能;
- ② 好的耐点腐蚀和缝隙腐蚀性能;
- ③ 很好的抗氧化性和非氧化性热酸性能;
- ④ 在室温和高达 550℃ 的高温时都具有很好的机械性能。

3. Incoloy825 的化学成分是什么?

镍 Ni: 38% ~ 46%;
铬 Cr: 19.5% ~ 23.5%;
铁 Fe: $\geq 22.0\%$;
碳 C: $\leq 0.025\%$;
锰 Mn: $\leq 1.0\%$;
硅 Si: $\leq 0.5\%$;
钼 Mo: 2.5% ~ 3.5%;
铜 Cu: 1.5% ~ 3.0%;
钴 Co: $\leq 1.0\%$;
铝 Al: $\leq 0.2\%$;
钛 Ti: 0.6% ~ 1.2%。

4. Incoloy825 有哪些应用领域?

此合金的主要产品有棒材、管材、板材、带材、丝材和锻件等, 广泛应用于各种使用温度不超过 550℃ 的工业领域。典型应用为:

- ① 硫酸酸洗工厂用的加热管、容器、筐及链等；
- ② 海水冷却热交换器、海洋产品管道系统、酸性气体环境管道；
- ③ 磷酸生产中的热交换器、蒸发器、洗涤、浸渍管等；
- ④ 石油精炼中的空气热交换器；
- ⑤ 食品工程；
- ⑥ 化工流程；
- ⑦ 压氧气应用的阻燃合金。

5. 不同元素对不锈钢性能的影响有哪些？

影响不锈钢性能与结构的元素：

碳、铬、镍、锰、硅、钼、铌、钛、钨、氮、铜、钴等。这些元素中除碳、硅、氮以外，都是化学元素周期表中的元素。

6. 决定不锈钢属性的元素铬有哪些特性？

决定不锈钢属性的元素只有一种，这就是铬，每种不锈钢都含有一定数量的铬。迄今为止，还没有不含铬的不锈钢。铬之所以成为决定不锈钢性能的主要元素，根本原因是向钢中添加铬作为合金元素以后，其特性具有抗腐蚀性。这种特性可以从以下方面得到说明：

- ① 铬使铁基固溶体的电极电位提高；
- ② 铬吸收铁的电子使铁钝化。

钝化：钝化是由于阳极反应被阻止而引起金属与合金耐腐蚀性能提高的现象。构成金属与合金钝化的理论很多，主要有薄膜论、吸附论及电子排列论。

7. 碳在不锈钢中的主要表现有哪些？

碳在不锈钢中对组织的影响主要表现在两方面：一方面碳是稳定奥氏体的元素，并且作用的程度很大（约为镍的 30 倍）；另一方面由于碳

和铬的亲合力很大，与铬形成一系列复杂的碳化物。

相对而言，含碳量高，不锈钢的机械强度就高，但耐腐蚀性降低；含碳量低，不锈钢的机械强度就低，但耐腐蚀性提高。所以，从强度与耐腐蚀性能两方面来看，碳在不锈钢中的作用是互相矛盾的。

(1) 根据含碳量不同，强度与耐腐蚀性能的区别

0Cr13 ~ 2Cr13 钢的耐腐蚀性较好，但强度低于 3Cr13 和 4Cr13 钢，多用于制造结构零件；后两个钢号由于含碳量较高，可获得高的强度，多用于制造弹簧、刀具，等要求高强度及耐磨的零件。又如，为了克服 18-8 铬镍不锈钢的晶间腐蚀，可以将钢的含碳量降至 0.03% 以下，或者加入比铬和碳亲和力更强的元素（钛或铌），使之不形成碳化铬。再如，当高硬度与耐磨性成为主要要求时，我们可以在增加钢的含碳量的同时适当地提高含铬量，做到既满足硬度与耐磨性的要求，又兼顾一定的耐腐蚀功能。工业上用作轴承、量具与刀具的不锈钢有 9Cr18 和 9Cr17MoVCo 钢，含碳量虽然高达 0.85% ~ 0.95%，但是由于它们的含铬量也相应地提高了，所以仍保证了耐腐蚀的要求。

(2) 工业中应用的不锈钢的含碳量及其特点

目前工业中应用的不锈钢的含碳量都是比较低的，大多数不锈钢的含碳量在 0.1% ~ 0.4%，耐酸钢含碳量则以 0.1% ~ 0.2% 的居多。含碳量大于 0.4% 的不锈钢仅占钢号总数的一小部分，这是因为在大多数使用条件下，不锈钢总是以耐腐蚀为主要目的。此外，较低的含碳量也是出于某些工艺上的要求，如易于焊接及冷变形等。

8. 镍在不锈钢中的作用是什么？

镍是优良的耐腐蚀材料，也是合金钢的重要合金化元素。镍在钢中是形成奥氏体的元素，但低碳镍钢要获得纯奥氏体组织，含镍量要达到 24%；而只有含镍 27% 时才能使钢在某些介质中的耐腐蚀性能显著改变。所以，镍不能单独构成不锈钢。但是镍与铬同时存在于不锈钢中时，含镍的不锈钢却具有许多可贵的性能。

基于上面的情况可知，镍作为合金元素在不锈钢中的作用，在于它

使高铬钢的组织发生变化,从而使不锈钢的耐腐蚀性能及工艺性能获得某些改善。

9. 锰和氮在不锈钢中的作用是什么?

铬镍奥氏体钢的优点虽然很多,但近几十年来由于镍基耐热合金与含镍 20% 以下的热强钢的大量发展与应用,以及化学工业日益发展对不锈钢的需要量越来越大,而镍的矿藏量较少且又集中分布在少数地区,因此在世界范围内出现了镍在供和需方面的矛盾。所以在不锈钢与许多其他合金领域(如大型铸锻件用钢、工具钢、热强钢等)中,特别是镍的资源比较缺乏的国家,广泛地开展了节镍和以其他元素代替镍的科学研究与生产实践。在这方面研究和应用比较多的是以锰和氮来代替不锈钢与耐热钢中的镍。锰对于奥氏体的作用与镍相似。但锰的作用不在于形成奥氏体,而在于降低钢的临界淬火速度,在冷却时增加奥氏体的稳定性,抑制奥氏体的分解,使高温下形成的奥氏体得以保持到常温。在提高钢的耐腐蚀性能方面,锰的作用不大,如钢中的含锰量从 0 到 10.4% 变化,也不会使钢在空气与酸中的耐腐蚀性能发生明显的改变。这是因为锰对提高铁基固溶体的电极电位的作用不大,形成的氧化膜的防护作用也很低,所以工业上虽有以锰合金化的奥氏体钢(如 40Mn18Cr4, 50Mn18Cr4WN, ZGMn13 钢等),但它们不能作为不锈钢使用。锰在钢中稳定奥氏体的作用约为镍的二分之一,2% 的氮在钢中的作用也是稳定奥氏体,并且作用的程度比镍还要大。例如,欲使含 18% 铬的钢在常温下获得奥氏体组织,以锰和氮代镍的低镍不锈钢与无镍的铬锰氮不锈钢,目前已在工业中获得应用,有的已成功地代替了经典的 18-8 铬镍不锈钢。

10. 不锈钢中加钛或铌有什么作用?

不锈钢中加钛或铌是为了防止晶间腐蚀。

11. 钼和铜在不锈钢里有什么作用?

钼和铜可以提高某些不锈钢的耐腐蚀性能。

12. 其他元素对不锈钢的性能和结构的影响有哪些？

以上是主要的九种元素对不锈钢的性能和组织的影响，除了这些对不锈钢性能与组织影响较大的元素以外，不锈钢中还含有一些其他的元素。有的和一般钢一样为常存杂质元素，如硅、硫、磷等；也有的是为了某些特定的目的而加入的，如钴、硼、硒、稀土元素等。从不锈钢的耐腐蚀性能这一主要性质来说，这些元素相对于已讨论的九种元素，作用都是非主要方面的，虽然如此，也不能完全忽略，因为它们对不锈钢的性能与组织同样产生影响。

硅是形成铁素体的元素，在一般不锈钢中为常存杂质元素。

钴作为合金元素在钢中应用不多，因为钴的价格高及在其他方面（如高速钢、硬质合金、钴基耐热合金、磁钢或硬磁合金等）有着更重要的用途。在一般不锈钢中加钴作合金元素的也不多，常用不锈钢如 9Cr17MoVCo 钢（含 1.2% ~ 1.8% 钴）加钴，目的并不在于提高耐腐蚀性能，而在于提高硬度，因为这种不锈钢的主要用途是制造切片机械刀具、剪刀及手术刀片等。

高铬铁素体不锈钢 Cr17Mo2Ti 中加 0.005% 的硼，可使其在沸腾的 65% 醋酸中的耐腐蚀性能提高。加微量的硼（0.0006% ~ 0.0007%）可使奥氏体不锈钢的热态塑性改善。少量的硼由于形成低熔点共晶体，使奥氏体钢焊接时产生热裂纹的倾向增大，但含有较多的硼（0.5% ~ 0.6%）时，反而可防止热裂纹的产生。因为当含有 0.5% ~ 0.6% 的硼时，形成奥氏体-硼化物两相结构，使焊缝的熔点降低。熔池的凝固温度低于半熔化区时，母材在冷却时产生的张应力，由处于液态-固态的焊缝金属承受，此时是不致引起裂缝的，即使在近缝区形成了裂纹，也可以被处于液态-固态的熔池金属填充。含硼的铬镍奥氏体不锈钢在原子能工业中有着特殊的用途。

磷在一般不锈钢中都是杂质元素，但其在奥氏体不锈钢中的危害性不像在一般钢中那样显著，故含量可允许高一些，如有的资料提出可达 0.06%，以利于冶炼控制。个别的含锰奥氏体钢的含磷量可达 0.06%（如 2Cr13NiMn9 钢），以至 0.08%（如 Cr14Mn14Ni 钢）。利用磷对钢的强化作用，也有加磷作为时效硬化不锈钢的合金元素的，如 PH17-10P 钢（含 0.25% 磷）及 PH-HNM 钢（含 0.30% 磷）等。

硫和硒在一般不锈钢中也是常有的杂质元素。但向不锈钢中加