

# 铁铬铝金属纤维产品在燃烧器上的应用与展望

阴建华, 吴红艳, 高翼强, 张军英, 马 军

(河北科技大学 纺织服装学院, 河北 石家庄 050018)

**摘要:**介绍了铁铬铝金属纤维的性能及应用现状。在总结燃烧器技术的基础上,重点讲述了铁铬铝金属纤维燃烧器的燃烧形式及燃烧特征,并对其未来发展前景进行了分析与展望。

**关键词:**金属纤维; 铁铬铝合金; 金属纤维燃烧器; 表面燃烧; 污染物排放

**中图分类号:** TS102.44

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-2044(2018)11-0001-02

## Application and prospect of Fe-Cr-Al metal fiber products in burner

YIN Jianhua, WU Hongyan, GAO Yiqiang, ZHANG Junying, MA Jun

(Textile and Clothing Institute of Hebei Science and Technology University, Shijiazhuang 050018, China)

**Abstract:** The properties and present application situation of Fe-Cr-Al metal fiber are introduced. On the basis of summarizing the burner technology, the types, technical specifications, application and technical advantages of Fe-Cr-Al metal fiber products are emphatically described. The future development of Fe-Cr-Al metal fiber products is analyzed and prospected.

**Key words:** metal fiber; Fe-Cr-Al alloy; metal fiber burner; surface combustion; pollutant emission

20世纪70年代后期,工业技术迅猛发展,当时的有机和无机纤维性能已经无法满足要求,因此一些发达国家开始研究金属纤维。起步较早的有德国蒂森克虏伯公司、美国的泰森公司等,采用的生产方法是集束拉丝法,即将复合金属丝材经过多次多股拉拔、热处理等加工工艺拉成纤维状。

作为一种新型软态工业材料,金属纤维兼具金属材料和非金属材料的优异性能,其比表面积非常大,因而在内部结构、磁性、热阻和熔点等方面有着超常的效果,广泛应用于表面燃烧、纤维增强复合材料、过滤材料、防伪材料、导电塑料、电池电极材料和吸音材料等领域。

### 1 铁铬铝金属纤维

金属纤维主要以不锈钢和铁铬铝材质为主。作为金属纤维重要分支之一的铁铬铝纤维是一种性能优良的电热合金,具有耐热、耐腐蚀、抗氧化的特性,其化学成分为C 0.03%、Al 5.16%、Cr 20.62%、Cu 0.05%、Si 0.2%、Mn 0.17%、P 0.018%、S 0.005%、Re 0.027%、Fe 余量。

由于合金纤维中存在大量的Cr、Al成分,在高温时,合金表面会形成致密的氧化膜,使合金具有良好的抗氧化性能,延长了合金材料的使用年限<sup>[1]</sup>。铁铬铝合金纤维亦由铁铬铝丝以集束拉拔工艺制成,直径为

8~40 μm。随着纤维直径的变化,纤维的各项性能也有所变化,见表1。

表1 纤维的各项性能

直径/μm	强力状态	芯数	强力/cN	伸长率/%	线密度/(g·m <sup>-1</sup> )	耐温/℃
8	高强	1 700	≥4.5	≥0.95	0.55~0.65	1 000
	中强	1 700	≥3.0	≥0.75	0.50~0.70	1 000
12	高强	1 700	≥12.0	≥1.00	1.3~1.5	1 200
	中强	1 700	≥9.0	≥0.80	1.2~1.6	1 200
22	高强	1 700	≥50.0	≥1.20	4.4~5.0	1 400
	中强	1 700	≥30.0	≥1.00	4.2~5.2	1 400
12	高强	100×2	≥19.0	≥1.10	0.14~0.18	1 200

目前铁铬铝金属纤维有短纤纱和长丝两种。由于铁铬铝金属纤维不同于常规纤维,其加工难度大、工艺复杂,目前只有少数国家掌握此项制造技术。

### 2 铁铬铝金属纤维燃烧器

#### 2.1 燃烧形式

燃烧器是将燃料化学能转化为热能的燃烧设备。燃烧器最早于19世纪中期开始使用,历经100多年的发展,其在理论及结构上发生了巨大的变化。通过控制燃气与空气的混合方式、速度与方向,可以得到各种形式的火焰,其燃烧方式主要分为扩散式燃烧、部分预混式燃烧和全预混式燃烧。其中扩散式燃烧是一种早期的最简单的燃烧方式。燃烧之前,燃气不与空气混合,燃气自火孔流出后,靠扩散作用与空气混合进行燃烧。这种方式燃烧稳定,燃具结构简单,容易点火,不会回火;缺点是烟气中CO含量比较高,燃具体积比较大。部分预混式燃烧、全预混式燃烧是将燃烧所需空

收稿日期: 2018-08-20

基金项目: 河北省科技计划项目(17214504D)

作者简介: 阴建华(1971—),女,教授,主要从事纺织品设计教学与产品研发工作。

气部分或全部混入燃气再进行燃烧。部分预混和全预混式燃烧具有燃烧强度大,火焰短,燃烧设备体积小,燃烧产物中CO及NO<sub>x</sub>含量都比较低的优点,但须配置保证燃气与空气混合比例的装置,以及可靠的避免离焰、回火的稳焰设备<sup>[2]</sup>。

## 2.2 金属纤维燃烧器

金属纤维燃烧器基于全预混燃烧器燃烧的特性及优势,将具有耐热合金的纤维毡或纤维网包覆于燃烧器头端作为燃烧表面。铁铬铝纤维具有优异的耐高温氧化性、耐机械及热冲击等性能。目前国际上最先进的金属纤维燃烧器就是使用铁铬铝纤维作为燃烧器头端的表面覆盖材料。

无论是铁铬铝纤维毡还是织造而成的纤维网,均为网状、多孔、柔性毡状材料,可根据需要做成圆筒型、圆锥形、半球形等各种形状的燃烧器头部<sup>[3]</sup>。铁铬铝金属燃烧器(以美国强生燃烧器STJohnson为例)如图1所示。

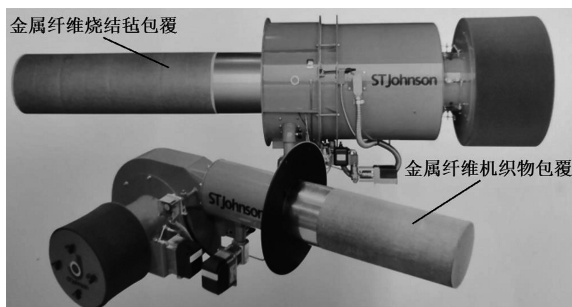


图1 金属纤维燃烧器(美国强生燃烧器STJohnson)

## 2.3 金属纤维燃烧器燃烧特征

空气和天然气在进入燃烧器头部前预先混合,通过分流板均匀送入燃烧器头部进行燃烧,金属燃烧器燃烧特征主要表现为:

(1)表面燃烧特征。燃烧时,火焰与金属纤维层紧密接触,燃气的燃烧在多孔金属材料的内部和表面进行,是一种与传统燃烧器完全不同的表面燃烧技术。根据燃烧负荷不同,燃烧状态分为蓝焰和橙色无焰两种状态:当燃烧热强度 $<800 \text{ kW/m}^2$ 时,燃烧在金属纤维层内部进行,表现为橙色无焰状态,此时传热以热辐射为主,又被称为红外辐射燃烧;当燃烧热强度 $>1000 \text{ kW/m}^2$ 时,火焰为蓝焰状态,燃烧在金属纤维层表面进行,火焰长度短,温度均匀,此时传热以热对流为主。

不同的火焰状态可以应用在不同的领域。如橙色无焰辐射状态可用于干燥、烘烤等领域;蓝焰对流状态

可用于工业加热、民用灶具、热水器及锅炉等方面。

(2)燃烧高效性。传统燃烧器的燃烧热效率仅为30%,而铁铬铝金属纤维表面燃烧器(尤其是长丝织物),其金属层表面沿长丝方向热传导性好,燃烧器表面辐射面大,燃烧热效率可高达83%~85%<sup>[4]</sup>。

(3)低污染环保性。NO<sub>x</sub>和CO是燃气排放的主要污染物,也是雾霾形成的元凶。燃气、空气预混装置、空燃比的控制与金属纤维毡(网)的完美结合,使金属燃烧器能实现低温高效充分燃烧,破坏NO<sub>x</sub>和CO的生成条件,使NO<sub>x</sub>和CO的排放量得到有效控制。

(4)噪声低。紧密多孔的金属纤维毡(网)使混合气流均匀分布,能够真正实现燃气低噪声燃烧。

## 3 铁铬铝金属纤维产品的开发

铁铬铝金属纤维有短纤维和长丝,用于燃烧器燃烧表层的铁铬铝金属纤维直径约为20 μm。产品主要有烧结毡和编织物两种形式:其中烧结毡根据其外观特征又分为平面烧结毡、带孔烧结毡及凸纹烧结毡;根据编织方法,编织物又分为机织和针织两种形式,织物紧密厚实,结构稳定,孔隙均匀,厚度约为2~4 mm。铁铬铝金属纤维常见产品的技术规格见表2。

表2 铁铬铝金属纤维产品技术规格

项目	编织物		烧结毡			
	标准	加厚	平面	带孔	带孔	凸纹
面密度 $/(g \cdot m^{-2})$	1 500 $\pm 100$	2 000 $\pm 150$	3 500 $\pm 400$	3 500 $\pm 400$	3 000 $\pm 400$	3 000 $\pm 400$
规格 $/(m \times m)$	1.5×10	1.5×10	0.5×1	0.23×0.8	0.28×0.8	0.4×0.9
厚度/mm	1.5±0.3	2.0±0.3	3.5±0.5	3.2±0.3	2.0±0.3	N/A

由于金属多孔材料表面燃烧器的燃烧是一个复杂的过程,其中有化学反应、多相流体力学、热传导以及它们之间的交互作用。无论是铁铬铝金属纤维毡还是编织网,多孔材料的组织结构、面密度、孔隙度都是重要参数<sup>[5-6]</sup>。

## 4 铁铬铝金属纤维产品展望

天然气作为一种清洁能源,在我国能源结构规划中所占的比重越来越大,预计将从2000年的不足3%增加到2020年的10%,而且未来用于工业的比重将达到70%。为有效利用天然气,提高燃烧效率,降低环境污染,各项技术监管规程提出了更加严格的要求,例如GB 13271—2014《锅炉大气污染物排放标准》规定:自2014年7月1日起,新建燃气锅炉大气污染物NO<sub>x</sub>排放限值为200 mg/m<sup>3</sup>。北京市DB 11/139—2015

☞(下转第48页)

表3 次氯酸钠对聚乳酸纤维修正系数的测定

样品编号	试验前净干质量/g	试验后净干质量/g	修正系数( <i>d</i> 值)
b1	1.101 2	1.069 7	1.029
b2	1.005 4	0.981 1	1.025
b3	1.032 8	1.001 4	1.031
b4	0.992 3	0.960 7	1.033
b5	1.039 7	1.009 8	1.030
b6	1.014 4	0.983 5	1.031
b7	1.109 0	1.080 7	1.026
b8	0.989 6	0.960 5	1.030
b9	0.972 7	0.940 7	1.034
b10	1.099 6	1.069 8	1.028
b11	1.121 4	1.093 4	1.027
b12	0.976 5	0.956 2	1.022

由表1可见,采用二氯甲烷法进行定量时,实测数据与原配比数据趋于一致;采用次氯酸钠法时,当聚乳酸纤维含量大于35%时,实测数据超出原配比1%以上;聚乳酸纤维含量大于70%时,最大误差超出了2%。可见次氯酸钠溶解法测试的数据不可靠。

由表2、3可知,二氯甲烷法对羊毛的修正系数为1.00,次氯酸钠法对聚乳酸纤维修正系数为1.03。

二氯甲烷法对羊毛的修正系数为1.00,故修正前后数据保持不变。次氯酸钠法对聚乳酸纤维修正系数为1.03,修正后数据见表4。可见,对12组次氯酸钠法定量测试数据经修正系数1.03进行修正后,其绝对偏差均小于1,试验结果准确性较好。因此次氯酸钠法定量试验结果经修正系数修正后与二氯甲烷法定量

试验结果具有较好的一致性。

表4 次氯酸钠法修正后数据与配比值比较

试样编号	人为混合干重比(PLA/羊毛)	修正后干重比(PLA/羊毛)	绝对偏差/%
13 <sup>#</sup>	100/0	99.49/0.51	0.51
14 <sup>#</sup>	10.76/89.24	10.52/89.42	0.24
15 <sup>#</sup>	18.92/81.08	18.89/81.11	0.03
16 <sup>#</sup>	25.11/74.89	24.99/75.01	0.12
17 <sup>#</sup>	35.82/64.18	35.74/64.26	0.08
18 <sup>#</sup>	41.11/58.89	41.11/58.89	0.00
19 <sup>#</sup>	46.24/53.76	46.13/53.87	0.11
20 <sup>#</sup>	51.20/48.80	51.36/48.64	0.16
21 <sup>#</sup>	62.22/37.78	62.07/37.93	0.15
22 <sup>#</sup>	71.08/28.92	71.14/28.86	0.06
23 <sup>#</sup>	78.95/21.05	78.74/21.26	0.24
24 <sup>#</sup>	91.15/8.85	91.06/8.94	0.09

### 3 结 语

(1)综合运用燃烧法、显微镜法和溶解法能够对聚乳酸纤维进行准确性。

(2)对聚乳酸纤维/羊毛混纺产品进行定量,在不引入*d*值的条件下,二氯甲烷溶解法试验数据具有较好的准确性,其绝对偏差总体小于1%。

(3)次氯酸钠溶解法试验数据引入*d*值1.03后,试验结果具有较好的准确性,且与二氯甲烷溶解法试验数据较为一致。



#### 参考文献:

- [1] 耿琴玉,胡学梅.聚乳酸纤维的性能特征及其产品的开发[J].棉纺织技术,2004(4):62-64.
- [2] 王振兴,廖雄,杨俊杰.全预混金属纤维燃烧器的研究[J].煤气与热力,2011(6):B18-B20.
- [3] 要大荣,傅忠诚,潘树源,等.金属纤维燃烧器的燃烧特性研究[J].煤气与热力,2005(10):1-3.
- [4] 汤慧萍,奚正平,廖际常.金属多孔材料表面燃烧器的发展现状[J].稀有金属材料与工程,2006(8):423-426.
- [5] LEONARDI S A, VISKANTA R, GORE J P. Radiation and thermal performance measurements of a metal fiber burner[J]. Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer, 2002(73):491-501.
- [6] GOLOMBOK M, PROTHERO A, SHIRVILL L C, et al. Surface combustion in metal fibre burners[J]. Combustion Science and Technology, 1991(77):203-223.
- [7] 黄思怡,冯良,孟莉莉.全预混表面燃烧污染物排放特性的实验研究[J].上海煤气,2017(1):37-40.

(上接第2页)

《锅炉大气污染物排放标准》提出了更严格的规定:2017年3月31日前新建锅炉NO<sub>x</sub>排放限值为80 mg/m<sup>3</sup>,2017年4月1日起新建锅炉NO<sub>x</sub>排放限值为30 mg/m<sup>3</sup>。新政新规的出台,意味着越来越多的低氮燃烧技术将被应用于中国市场,金属纤维表面燃烧技术必然会迎来蓬勃发展。此外,铁铬铝纤维还可以用来制作汽车尾气排放装置、大型焦化厂高温熄焦用熄焦枕等环保、节能产品,这些产品所占比例也不容小觑<sup>[7]</sup>。



#### 参考文献:

- [1] 杨照玲,李建平,杨延安,等.铁铬铝合金纤维的制备与性能[J].稀有金属材料与工程,2008,37(9):1684-1687.