

文章编号: 1005-0329(2002)02-0030-05

技术进展

烧结金属多孔滤材技术综述

顾 临¹ 邱世庭² 赵 扬³

(1. 北京钢铁研究总院,北京 100081; 2. 南京化工设计院,江苏南京 210000; 3. 合肥通用机械研究所,安徽合肥 230031)

摘 要: 从烧结金属多孔材料本身结构性能特点出发,探讨了烧结金属多孔滤材的应用特点以及该滤材目前国内外技术发展趋势。最后,就如何发展我国的金属滤材行业较客观地提出了几点建议。

关键词: 烧结金属多孔材料;过滤元件;过滤与分离

中图分类号: TQ051.8⁺5

文献标识码: B

The Review on Sinter Metal Porous Filter Element

Gu Lin Qiu Shiting Zhao Yang

Abstract: The character of sinter metal porous materials was studied, the metal filter element market of china and some new developments of sinter metal technology was introduced. Some suggestion are pointed out too.

Key words: Sinter metal porous materials; filter elements; filter and separation

1 烧结金属多孔材料及滤材特性

烧结金属多孔材料及由该材料构成的滤材是一种运用广泛的刚性过滤介质。它是用金属粉末在高温下烧结而成的多孔管材或板材,一般厚度为 2~3mm;亦可用单层或多层金属网与金属粉末一起烧结制成。通过控制金属丝的直径与粉末的粒度,可使孔隙率控制在 3~400 μ m。随着真空烧结技术的发展,使得高温易氧化的金属多孔材料的工业化制备成为可能。

烧结金属多孔材料具有以下特点:

- (1) 优良的透过性能,适于制作催化剂、流体的分布与渗透装置等;
- (2) 金属微孔孔径与孔隙易于控制,用于过滤时的过滤精度高;
- (3) 比表面积大,可以为化学反应提供理想的大面积接触材料;
- (4) 可有效地吸收、传播能量;
- (5) 保持一定的金属与合金本身的特性;

(6) 烧结金属多孔材料耐高温、抗热震、耐低温,适宜在较高或超低的工作温度和耐热冲击环境下长期工作;

(7) 金属微孔孔径、空隙度、渗透性能可通过反吹、高温热处理、化学溶剂、燃烧和超声波振动等多种途径的清洗再生方式,洗涤性能好,从而延长了使用寿命;

(8) 烧结金属多孔材料具有较好的机械加工性,可进行较复杂的机械成型加工及焊接。

从制备工艺和结构特点方面考虑,可将烧结金属多孔材料分为:烧结金属丝网、烧结金属毡、烧结金属粉末、金属膜。其结构如图 1 所示。

按照烧结金属的材质分,烧结金属多孔材料包括:金、银、铜、镍、铝、镁、钛、铬、钼、钨不锈钢、铁基合金、铁镍基合金、镍基合金、哈氏合金、锰乃尔合金、钨钼合金、钨钨合金等 20 多类几百种。常用烧结金属多孔滤材可通过材质的调整,使温度由 400 提高到 927。表 1 是常用烧结金属材料烧结所适用的最高温度。

收稿日期: 2001-11-14

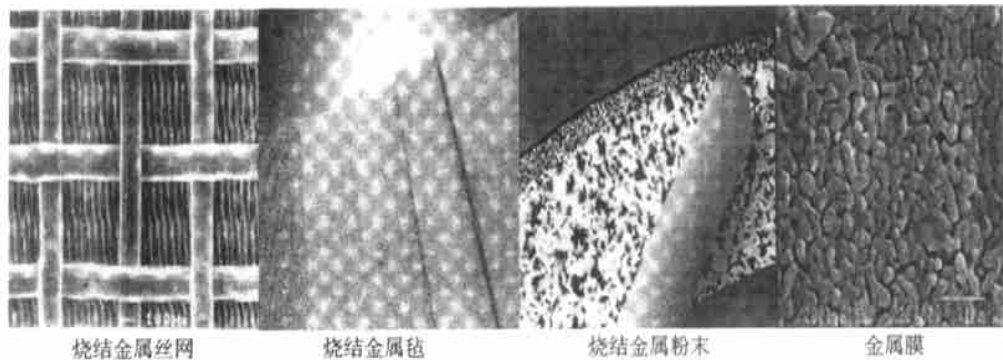


图1 各种不同结构特点的烧结金属多孔材料

表1 常用烧结金属材料烧结所适用的最高温度()

材料名称	最高温度()	
	氧化条件下	还原条件下
316LSS	400	482
铬镍铁合金 600	593	815
耐盐酸镍基合金 X	788	927

按照孔径分布范围,烧结金属材料可分为:毫米级、亚毫米级、微米级、亚微米级、纳米级。由于金属丝材、金属纤维、金属粉末原料制备工艺难度的差异,它所对应的最高过滤精度也有所不同,一般符合以下规律:

烧结金属粉末滤材最高精度 > 烧结金属毡滤材最高精度 > 烧结金属丝网滤材最高精度

根据烧结金属滤材的应用特点,金属烧结滤材可分为:微孔过滤、气体分布、减镇稳流、消声降噪、阻燃防爆、传质传热、反应物载体等多种功能材料的组件。按照过滤原理,烧结金属多孔滤材可分为表面过滤滤材和深层过滤滤材两类。本文仅对金属烧结滤材的过滤性能进行描述^[1~9]。

2 烧结金属多孔材料的制备工艺

烧结金属多孔材料制备工艺一般经过以下几个阶段:

(1) 烧结金属多孔材料结构设计;

(2) 烧结金属多孔材料原料制备(高精度精密丝网的编织、集束拉制金属纤维、高等级金属粉末的制备)。对金属多孔材料的制备,要求原料具有很好的几何物性,即对金属纤维原料要求有一致的丝径、长度;对金属粉末原料要求有非常相近的几何外形尺寸;

(3) 金属多孔材料的烧结复合制备技术,其中包括了金属微孔结构设计;

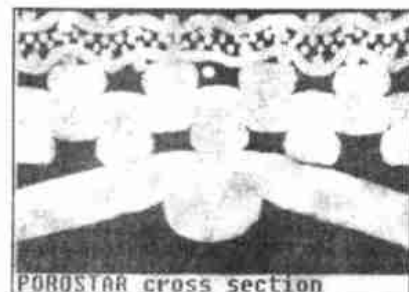
(4) 烧结金属多孔材料过滤组件的成型,其中涉及到滤材的焊接成型。

3 烧结金属多孔材料的功能结构特点

烧结金属多孔滤材的微孔结构一般包括支撑层、工作层(过滤层)、保护层。在滤材过滤面工作层一般采用倒锥形微孔结构设计。采用这种结构可以完成多级过滤效果,使杂质颗粒不会过快地在滤材的拦截表面堆积,从而有利于提高滤材的容尘性,延长滤材的工作周期。倒锥形结构示意图如图2。



(a) 美国PALL公司滤网照片



(b) 烧结丝网的断面照片

图2 烧结金属滤材的倒锥形结构示意图

3.1 烧结金属丝网的结构特点

金属微孔工作网层是烧结金属丝网滤材的关键结构,它直接影响着金属滤材的分离及整体运行效果。选择滤网本身要比表面看起来复杂得多,这涉及多种金属丝尺寸、孔隙尺寸、空洞面积、

织造工艺和组织设计等方面。

Dutch 编织网:经向金属丝比纬向金属丝粗,使纬向金属丝被拉得非常直,从而产生紧密、坚实

的织物。织物孔隙趋向于楔型而非方型,这就有助于滤饼的形成。该结构滤网经常被使用在过滤器中^[10]。

表 2 日本 NICHADAI 公司 5 层烧结金属丝网过滤介质参数

名义精度 (μm)	控制层 经 × 纬	透气度 (%)	阻力系数 (K/cm)	冒泡压力 (Pa)	厚度 (mm)	质量 (kg/m ²)
0.3	500 × 3500	38		3430 ~ 7840	1.7	8.4
0.5	400 × 3000	38		3136 ~ 6860	1.7	8.4
2	325 × 2400	38	14 × 10 ⁵	2744 ~ 6272	1.7	8.4
40	50 × 250	38	4 × 10 ⁵	1470 ~ 3920	1.7	8.4

注:第 1 层为保护层,第 2 层为控制层,第 3 层为保护层,第 4、5 层为支撑层。

3.2 烧结金属纤维毡的性能

烧结金属毡工艺技术的发展以及高精度滤材的研制是随着集束拉丝工艺的成功应用而发展起来的。因为这方面的论述较多,本文不再详述,这里引用 Bekaert 的相关数据以供参考。

表 3 比利时 Bekaert 烧结金属纤维毡过滤介质参数

过滤精度 (μm)	冒泡压力 (Pa)	渗透系数 (m ²)	厚度 (mm)	质量 (g/cm ²)	孔隙率 (%)	耐污能力 (mg/cm ²)
3	12300	4.80 × 10 ⁻¹³	0.35	975	65	6.40
20	1850	1.91 × 10 ⁻¹¹	0.49	750	81	12.44
59	630	1.07 × 10 ⁻¹⁰	0.70	750	87	33.97
5	7000	1.17 × 10 ⁻¹²	0.17	300	78	4.00
6	6100	4.38 × 10 ⁻¹²	0.82	975	85	11.67

3.3 烧结金属粉末

20 世纪 60 年代开始,在不同的应用领域和应用环境下,出现了耐盐酸镍基合金、铬镍铁合金、钛、不锈钢等抗腐蚀、耐高温的烧结粉末多孔滤材。发展到现在,大量生产与应用的烧结粉末多孔滤材主要包括青铜、不锈钢、镍及镍合金、钛

等^[11]。

国外烧结金属毡滤材公司的典型工艺是:结构设计——原料加工准备(集束拉拔、纤维切削)——金属纤维叠层(布毡)——烧结——机械焊接(元件制备)——清洗——检测——最终清洗——成品发货。

我国目前已经形成了颇具规模的烧结金属多孔滤材生产能力。据不完全统计,我国年产青铜过滤元件已超过 100 万件,不锈钢过滤元件的有效过滤面积超过 4 万平方米,镍及镍合金过滤元件接近 1 万件,烧结钛过滤元件超过 2 万件^[12,13]。烧结金属粉末的过滤性能参数如表 4、5 所示。

表 4 烧结金属粉末的过滤性能参数

型号	厚度 (mm)	有效孔径 (μm)	分离效果 (μm)			容尘量 (g/m ²)	孔隙度 (%)
			90 %	99 %	99.5 %		
P1	1.50	11.1	4.7	6.8	7.6	17.7	15.5
P5	1.64	79.7	45.8	55.0	30.1	38.0	70.7
F1	0.14	17.4	7.5	10.2	12.1	42.5	21.1
F4	0.25	60.0	27.4	36.7	37.9	82.0	51.3

表 5 不同材质的烧结金属粉末和其它多孔材料主要性能对比

性能	青 铜	不 锈 钢		锌白铜	镍	钛
		粉 末	纤 维			
孔隙度 (%)	30 ~ 40	30 ~ 40	60 ~ 70	30 ~ 40	30 ~ 40	30 ~ 40
b (MPa)	3.5 ~ 7	3.0 ~ 5.5	2.8 ~ 5.6	1.8 ~ 2.5	8 ~ 12	5 ~ 10
(%)	4 ~ 6	2 ~ 5	0.8 ~ 1.0	2 ~ 3	2 ~ 4	1.5 ~ 2.0
沉积能力 (%)	15	5 ~ 8	15	12	10	8
线膨胀系数 (× 10 ⁻⁶)	18.4	18.5	17.6	10.6	8.5	7 ~ 8
导热率 20 (W/m·K)	21.5	6.3	4.2	19.7	12.7	5.43

4 烧结金属多孔材料的主要性能指标

同其它多孔材料一样,对烧结金属多孔材料的性能评价主要参照 ISO4002、ISO4572、ISO4003 等标准。

烧结金属丝网、烧结金属毡和烧结金属粉末具有不同的孔径分布特点,从图 3 可以看出烧结

金属丝网微孔孔径分布范围较集中,而烧结金属粉末和烧结金属毡的孔径分布则较分散。

图 4 为日本精线公司生产的烧结金属多孔滤材性能对比情况。

通过上述烧结金属多孔滤材的比较可以看出:烧结金属毡具有非常好的耐污能力;烧结金属丝网在 20μm 以上过滤系统应用中,滤材的综合性能非常突出;烧结金属粉末在超高精度净化方

面的发展潜力巨大^[14]。

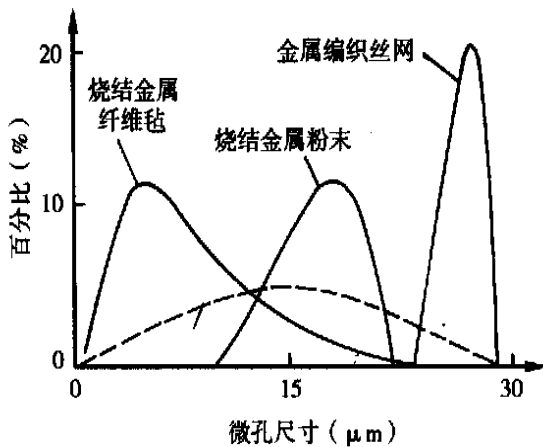
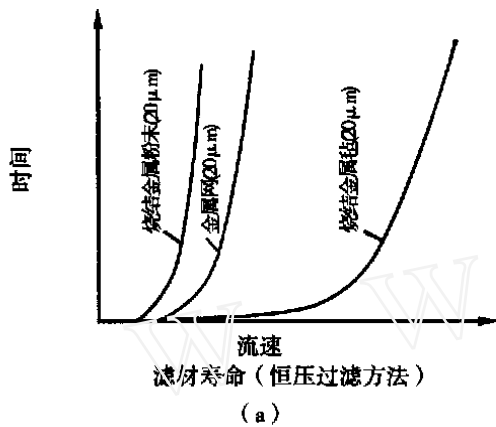
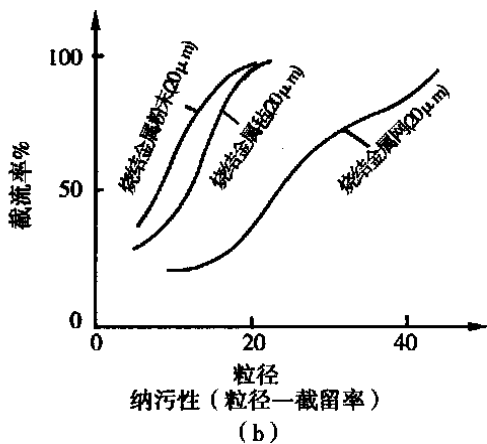


图3 烧结金属多孔滤材的孔径分布



(a)



(b)

图4 日本精线公司生产的烧结金属多孔滤材性能对比

5 在应用过程中的高效系统匹配

烧结金属多孔材料作为一类特殊的功能材料,可广泛应用于气体和液体的净化过滤,该滤材具有过滤精度高、流通能力大、阻力损失小、承压强度高、孔道均匀稳定等特点。它具有较好的反

冲洗再生能力,可长期使用,适于连续自动化操作。此类滤材在石油、化工、纺织、食品、制药、环保、液压机械和电力等众多工业领域获得广泛应用。

在烧结金属多孔滤材的应用过程中,要考虑过滤系统的高效匹配问题。通常需要考虑以下三个因素:

- (1) 作为性能价格比十分突出的烧结金属多孔滤材,其有效工作面积的设计和系统匹配十分重要,要明确净化条件以及物料的特殊性质;
- (2) 对于过滤设计这类半经验学科,要强调理论计算与系统模拟中试相结合的设计途径;
- (3) 特殊滤材的制作手段要与实际应用紧密结合。

综上所述,烧结多孔金属滤材的过滤设计工作涉及机械、仪表、能源、化学、材料、环保等多种学科,该项工作的有效开展,需要众多学科的支持。

6 烧结金属多孔滤材市场现状

6.1 国内外烧结金属多孔滤材市场概况

目前,全球生产金属多孔材料的厂家主要集中在美国、德国和日本^[15]。较具代表性的有比利时 Bekaert 的烧结金属纤维毡、美国 Mott 公司和德国 GKN 公司的烧结金属粉末微孔材料。另外还有美国的 Pall 公司,德国的 GKD 公司,日本的 Fuji-filter、Nichidia、N-seisen 公司,瑞典的 BOPP 公司。这些公司一年销售烧结金属多孔滤材的总额超过 15 亿美元,其中仅美国 PALL 公司过滤系统的年销售额就超过了 7 亿美元(烧结金属多孔滤材占了相当大的比例);美国 MOTT 公司 2000 年烧结金属粉末微孔制品的年销售达到 3.3 亿美元,比 1999 年增长 20%^[18];比利时 Bekaert 公司烧结金属纤维滤材,年销售超过 3 亿美元;日本精线公司烧结金属多孔滤材和瑞典 BOPP 公司年销售均超过 1 亿美元。我国烧结金属多孔滤材的年需求量大约 5 亿人民币。目前,我国高精度、高性能的金属微孔滤材市场大多被上述国外公司所控制,国内能参与竞争的生产烧结金属滤材的公司不多。对于综合性能要求不高的金属滤材市场,则主要被十几家规模较小,生产技术含量相对不高的国内公司所抢占。

随着国家在石化、环保等行业支持力度的加

大,国外各大金属滤材制备公司纷纷看好中国市场。具有 30 多年烧结金属多孔材料研制经验的钢铁研究总院、西北有色院也在积极进行着产业化工作。烧结金属多孔滤材的市场竞争将日趋激烈,包括:降低成本、提高质量、过滤系统配套与工艺完善、售后过滤技术服务等都正在成为各投资发展公司所追求的目标^[16]。

6.2 烧结金属多孔滤材研发热点

由于净化分离难度的增大,金属多孔滤材在应用过程中出现了滤材与应用系统不匹配的矛盾,表现在过滤精度低、流通性小、滤材再生性差等多方面问题。要解决滤材与应用系统不匹配的矛盾,就必须采用多种先进的制备工艺手段,研制性能价格比更好的高精度、大流量、易再生的复合滤材。

比利时 Bekaert 公司发挥自身在金属纤维制品方面的领先技术,开发出“冷等静压与烧结 316L 不锈钢纤维微米过滤管”。该尖端产品在 2000 年 MPIF 的设计竞赛中获奖。该滤材的过滤精度达到亚微米水平,相对气体的流通能力大于 $3 \times 10^{-3} \text{L}/\text{min} \cdot \text{cm}^2$,相当于同样精度的多孔陶瓷滤材的 20 倍^[17]。



图 5 316L 不锈钢纤维过滤管

美国 MOTT 公司已可研制出 0.003 微米过滤精度的不锈钢烧结金属粉末滤材^[8,18]。德国 GKN 公司近年开发出多种规格的烧结金属粉末异型微孔滤材,在滤材抗腐蚀方面拥有哈氏合金、锰乃尔合金等耐蚀滤芯。日本 NICHADIA 公司拥有世界上一流的高精度烧结金属丝网滤材,滤材有效过滤等级接近 $0.2 \mu\text{m}$ 。俄罗斯近几年研制出了高效、经济型金属多孔材料与陶瓷微孔膜复合新型滤材。



图 6 烧结金属粉末微孔滤管

我国在烧结金属多孔材料方面的研究也有近 40 年的历史,特别是在钛材、不锈钢的粉末烧结微孔制备和精密丝网微孔烧结技术方面,处于先进行列。由北京钢铁研究总院研制的金属膜可实现“铀 235 分离”,同时在微电子超净间净化水平达到 10 万级,在菌类净化、气溶胶净化等多方面都取得过理想的应用效果。随着纳米技术的发展,清华大学的科研人员已经提出了金属微孔纳米过滤技术的研发方向。

7 发展我国烧结金属多孔滤材产业的建议

金属多孔滤材的性能评价目前基本沿用国外净化技术的标准。随着应用水平的不断提高,原有的标准已经不适应过滤技术工程应用的实际需求,同时国外过滤标准已开始重新制订。为更好地通过技术发展规范引导市场,保护我国金属多孔材料制备企业的合理利益,我国应尽早制定金属多孔滤材标准,与国际水平靠拢。

在烧结金属多孔滤材的研究和净化系统应用研究方面,要大力开展深层次工作,发挥我国原材料成本相对较低的优势,同时依靠行业间、企业间的优势更好地为用户服务,形成完善的过滤净化产业,形成参与全球市场竞争的综合技术实力。

参考文献

- [1] 丁启圣. 新型使用过滤技术[M]. 冶金工业出版社.
- [2] Wakeman R J et al. Filtration Equipment Selection Modelling and Process Simulation[M]. Tarleton Published by Elsevier Advanced Technology.
- [3] 王同庆. 金属纤维烧结毡在过滤与分离行业中的应用[J]. 过滤与分离, 1998, (4): 35. (下转第 6 页)

描述。再者,泵对气相所做的功在总功率里占的比例较小,所以在本次考查泵的性能中暂忽略泵对气体的作用。该泵简化的性能曲线见图 4。

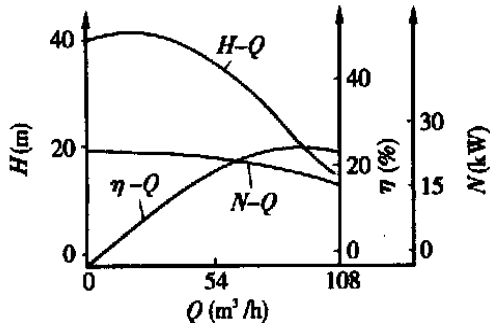


图 4 QYS100 - 20 型泵性能曲线

设计指标和试验结果的相互比较情况见表

2。

表 2

参数名称	设计指标	试验结果
流量 (m^3/h)	75	108
扬程 (m)	15	16
功率 (kW)	23	18.40
转速 (r/min)	2900	2900
效率 (%)	21	27
气液比 (%)	27	47.4
振动速度 (mm/s)	< 0.5	< 0.35
噪声 dB(A)	< 85	< 75

表 2 表明,该型离心式气液两相流泵的各项

性能指标均达到或超过设计要求,完全可以满足许多含气量高的工况条件,设计采用的理论和方法完全合理。

5 结论

通过试验分析表明,QYS100 - 20 型离心式气液两相流泵具有以下几方面的特点:

- (1) 结构简单紧凑,易于装拆;
- (2) 运行稳定,振动、噪声小;
- (3) 允许含气量高达 47 % 以上;

(4) 适用范围广,适用于输送各种高含气量的化工介质。选用不同材质的泵,输送各种强腐蚀性介质(浓硫酸、浓硝酸、王水及浓 NaOH 溶液等)。

通过试验还可以看出,设计和制造含气量达 30 % ~ 50 % 的气液两相流泵是可行的。此类泵在石油与化工等行业具有广阔的市场前景。

该型泵在辽阳化纤安全运行了近一年的时间,用户反映良好。

胡四兵 230031 安徽合肥市长江西路 888 号合肥通用机械研究所

(上接第 34 页)

- [4] 比利时贝卡特公司. Bekipor 金属纤维烧结滤材在气体和聚酯过滤方面的新发展[J]. 过滤与分离, 1995, (2): 32.
- [5] Tao Li. Dependence of Filtration Properties on Stainless Steel Medium Structure[J]. Filtration & Separation, 1997: 265.
- [6] 汤慧萍,张正德. 金属多孔材料发展现状[J]. 稀有金属材料与工程, 1997, (2).
- [7] 况春江等. 金属微孔膜和气体高效过滤技术[A]. 第一届全国无机膜学术会议论文集.
- [8] Company Profile-Mott Corporation. The International Journal of Metallurgy.
- [9] Implementing Sintered Metal Filter System[J]. Filtration & Separation. 2001, (5).
- [10] Filter and filtration handbook[M]. C. Dickenson. Elsevier. 3rd EDITION.
- [11] 粉末冶金多孔材料[M]. 冶金工业出版社.
- [12] 微孔管式过滤器[M]. 冶金工业出版社.
- [13] 合肥通用机械研究所. 分离机械设计手册[M]. 北京:机械工业出版社.
- [14] Achim Dittler. Patchy cleaning of rigid Filter Media - Experimental Determination of transient Regeneration Phenomena[J]. University Karlsruhe (TH).
- [15] Morris R A. Fine Metal Fiber Membranes For Aerospace Applications[A]. World Filtration congress 8.
- [16] Ir. G. Devooght Bekaert Fibre Technologies New Filtration Modes[R]. World Filtration congress 8.
- [17] Lothar Albano-Muller. 新千年的欧洲粉末冶金[J]. 粉末冶金工业, 2001, (2): 7.
- [18] Sunil Jha and Kenneth L. Sintered Metal Filters For Hot and Corrosive Liquid and Gas Applications [A]. World Filtration congress 8.

作者简介:顾临,32岁,工程师,工学硕士,从事过滤介质研究工作,现任北京钢铁研究总院安泰科技股份有限公司科技开发部副主任,全国分离机械标准化技术委员会委员。通讯地址:100081 北京海淀区学院南路 76 号安泰科技股份有限公司。