

# 金属磁粉心领域国际标准化初探

崔莹

(中国电子技术标准化研究院, 北京 100007)

**摘要:** 鉴于金属磁粉心的快速发展而相关国际、国内标准缺乏的实际情况, 中国首次提出了建立金属磁粉心 IEC 标准体系的初步构想, 并得到了相关国家的响应和支持。介绍了中国主导的建立金属磁粉心国际标准体系的研究工作, 这项工作作为推动在 IEC/TC51 首次建立金属磁粉心标准体系奠定了基础, 必将促进金属磁粉心标准体系的建立和完善, 促进金属磁粉心技术和应用的健康发展。

**关键词:** 金属磁粉心; IEC/TC51; 标准化; 标准体系

中图分类号: TM271<sup>+</sup>.2

文献标识码: A

文章编号: 1001-3830(2020)01-0061-05

DOI: 10.19594/j.cnki.09.19701.2020.01.015

## Preliminary study on international standardization in the field of metallic magnetic powder cores

CUI Ying

China Electronics Standardization Institute, Beijing 100007, China

**Abstract:** Considering the fact of fast development of the metallic magnetic powder cores and lack of the related domestic international standard, China has put forward for the first time the idea to establish related IEC standard system, and got active responses and wide supports from related countries. This paper introduces the research work on the establishment of international standard system for metallic magnetic powder core led by China, which laid a foundation for promoting the establishment of standard system for metallic magnetic powder core in IEC/TC51, which will certainly promote the development of technology and applications of metallic magnetic powder core.

**Key words:** metallic magnetic powder cores; IEC/TC51; standardization; standard system

### 1 引言

金属磁粉心是一种相关产业发展迅速、应用日益广泛的磁性元件。长期以来, 在国际电工委员会(IEC)关于磁性元件和材料的第51技术委员会(TC51)工作范围内缺乏关于金属磁粉心的标准, 影响了行业的健康有序发展。为了促进金属磁粉心领域的国际标准化, 我国近年在有关金属磁粉心标准体系研究和推动体系建立方面开展了许多工作, 取得了较好的成效。本文对相关的工作情况进行详细介绍。

### 2 建立金属磁粉心标准体系的必要性

#### 2.1 金属磁粉心技术、应用与产业发展状况

金属磁粉心是用铁、硅、铝、镍等元素经熔炼和加工, 形成金属粉末, 再经粉末表面绝缘化处理、压制成型、热处理和涂覆等过程, 制成的软磁元件。

从材料类型上看, 常用的金属磁粉心包括铁硅铝、铁硅、铁镍、铁镍钼、铁基非晶及纳米晶等合金及纯铁; 从磁粉心结构形状上看, 主要分为环形、E型、EQ型、U型、罐形、条块形、圆柱形、椭圆形等。根据不同的使用条件和要求, 单件金属磁粉心的外轮廓尺寸由几 mm 直至 200 mm 左右, 多件拼装后尺寸更大。由于金属磁粉心具有比软磁铁氧体磁心更高的饱和磁通密度、比硅钢叠片更低的中高频损耗, 所以在适合的应用频段、较高的工作电流和较大的功率下展现出优良的软磁特性、储能能力和较好的性价比。

随着光伏、风电、新能源汽车、轨道交通、电化学储能、能源管理、变频节能家电等产业的发展, 用金属磁粉心经绕线制成的各类电感器、电抗器、滤波器和扼流圈等, 被广泛应用于这些产业的相关

收稿日期: 2019-10-22 修回日期: 2019-04-14

通讯作者: 崔莹 E-mail: cuiying@cesi.cn

设备、装置<sup>[1]</sup>。

## 2.2 在IEC/TC51建立金属磁粉心标准体系的重要性和必要性

长期以来,金属磁粉心生产控制在少数国外厂商手中,价格高企,应用很不普及,与之相关的IEC标准十分缺乏。在关于磁性元件和材料的IEC/TC51中,迄今没有发布过关于金属磁粉心的标准;在关于磁合金和钢的IEC/TC68中,仅在磁性材料分类和测量的少数标准内有所涉及;我国迄今没有关于金属磁粉心的国家标准和行业标准,仅有一个相关的行业军用标准《金属磁粉心总规范》<sup>[2]</sup>。

随着金属磁粉心产业的迅速发展,相关标准的缺乏已引起一系列问题,如尺寸和公差缺乏统一规范影响了产品的通用性和互换性,产品表面缺陷容许极限在制造厂和客户间难以取得一致意见,测量方法不规范导致各厂商和客户测量结果差异性大等。这些问题随着金属磁粉心制造和应用规模的扩大而日益严重,客观上妨碍了金属磁粉心的生产、贸易和应用。所以,在TC51建立金属磁粉心标准体系显得十分重要和必要,这既有利于促进金属磁粉心产业的健康有序发展,也有利于IEC/TC51自身业务领域的完善。

## 3 金属磁粉心标准体系的设计

### 3.1 建立标准体系的原则

所谓标准体系,是指在一定范围内的标准按其内在联系形成的科学的有机整体。标准体系应具有下列属性:目标性,即应围绕实现某一特定的业务目的而建立;整体性,即标准体系应尽量包括一定范围内有内在联系的所有标准,构成一个较完善的整体;层次性,即同一标准体系内的标准应分为若干层次和序列;相关性,即体系内的各项标准在内容方面应衔接一致,互相补充,互相依存;适应性,即标准体系应适应经济和社会发展的要求,并能随之变化发展。由于标准体系的上述属性,构建标准体系应遵循目标明确、全面成套、层次适当、划分清楚的原则<sup>[3]</sup>。

经过研究,初步确定了构建金属磁粉心标准体系的具体原则,即:

- (1) 该体系应能基本满足金属磁粉心领域生产、贸易和应用对相关技术和产品标准化的需求;
- (2) 该体系应能全面、系统地包括金属磁粉心相

关标准系列;

(3) 该体系应与IEC/TC51、IEC/TC68等现有标准协调、无冲突和矛盾;

(4) 该体系应具有可拓展性,以利后续发展;

(5) 该体系应符合IEC关于安全、电磁兼容、环境和质量保证等方面的要求,并遵守有关知识产权的法律法规。

### 3.2 类似标准体系分析

对IEC/TC51现有标准的分析表明,按标准涉及的专业领域可分为软磁铁氧体材料和磁心类、金属软磁卷绕和叠片磁心类、感性元件(电感器、电子变压器)类、旋磁(微波)铁氧体材料及器件类、噪声抑制片类等五大类,目前共有72个出版物,其中软磁铁氧体类出版物有33个(标准31项、技术规范1项、技术报告1项),数量最多,体系比较完善。鉴于金属磁粉心和铁氧体磁心在外形、特性、制造工艺、应用领域上有诸多的相似之处,所以我们将软磁铁氧体标准体系作为设计和建立金属磁粉心标准体系的重要参考。

经过分析归纳,IEC/TC51现有软磁铁氧体标准体系基本上由下列三个子类标准构成:

- (1) 术语定义、材料分类、有效参数计算方法等基础性标准;
- (2) 磁心尺寸及表面缺陷极限等产品标准;
- (3) 电磁和机械性能测试等方法标准。

这三个子类相辅相成,较完整地构成了软磁铁氧体材料和磁心的标准体系,对于研究者、生产商、贸易商和用户而言,不仅实用,而且够用。

研究表明,在软磁铁氧体标准体系中,一般性的指南、导则标准居多,并没有包括关于产品具体技术性能的标准,这是由铁氧体产品性能的多样化和越来越多的个性化应用要求造成的。大多数制造厂商及其用户都认为,铁氧体产品的技术性能应由双方协商规定,需要考量应用需要、制造可行性和成本等多种因素,难以用统一的标准加以规定。

### 3.3 金属磁粉心标准体系设计

根据建立标准体系的一般性原则和构建金属磁粉心标准体系的具体原则,参考IEC/TC51现有软磁铁氧体标准体系,同时考虑金属磁粉心的技术和产品特点,经过深入研究和反复讨论,设计了金属磁粉心标准体系框架,如图1所示。

从图1中看到,在金属磁粉心大类下,按照标

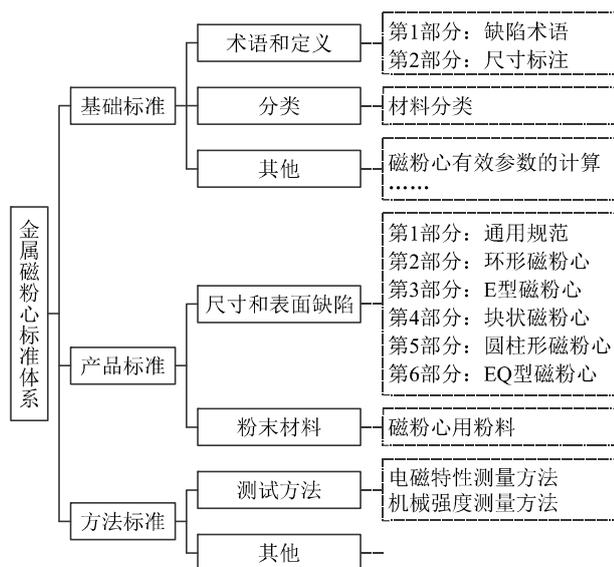


图1 金属磁粉心标准体系

准类型分成基础标准、产品标准和方法标准三个子类；每个子类下根据标准间关联性又分成若干标准系列，如基础标准分为术语和定义、分类、其他等系列；产品标准分为尺寸和表面缺陷极限导则、粉末材料等系列；在标准系列下，列出了拟制定的标准暂定名称。通过这样的设计，力求体系框架科学合理、层次清晰、全面系统。

在设计金属磁粉心标准体系时，首先考虑的是该体系能否满足产业发展要求及制造者和用户的应用需求，为此分析了类似的软磁铁氧体标准体系迄今的发展变化及应用反映，发现在子类和系列方面多年来未有增删修订，说明软磁铁氧体标准体系在整体性、系统性方面已能较好地满足应用要求；变化主要包括新增了少数新型磁心详细规范，以及由于产品规格发展而对原标准进行的扩展性修订，另外还有为便于使用所进行的相关标准合并。据此推断，金属磁粉心作为与软磁铁氧体磁心相似的磁性材料产品，设计类似的标准体系框架应能基本满足现阶段的应用要求。

在设计金属磁粉心标准体系时，还考虑了与IEC现有相关标准的协调性。在IEC/TC68中，涉及到金属磁粉心的标准主要包括关于磁性材料分类的IEC 60404-1<sup>[4]</sup>和关于软磁金属材料磁性性能测量方法的IEC 60404-6<sup>[5]</sup>。前者涉及软磁复合粉末材料(Powder composites)的化学成分与制造方法、子分类基础、产品形式、物理特性及主要应用等，但作为该标准所述的多种磁性材料中的一种，相关内容较为简单而

笼统，并不能代替图1中拟制定的专门针对金属磁粉心的材料分类标准；后者涉及软磁金属材料交流磁性性能测量的一般原则和详细方法。经过研究，该标准未包括直流叠加(偏磁)特性(DC-Bias)这一金属磁粉心的重要特性测量方法，对于严重影响低磁导率磁粉心功耗测量精度的相位角采样误差亦缺乏相关规定。鉴于IEC 60404-6适用范围包括非晶、纳米晶带材、烧结块材等多种金属软磁材料，所以有必要制定特别适用于金属磁粉心磁特性的测量方法标准。

在IEC/TC51现有标准体系中虽没有关于金属磁粉心的标准，但研究表明，部分现有标准，如关于磁性零件有效参数计算的IEC 60205<sup>[6]</sup>和关于软磁材料制成的磁心测量方法IEC 62044-1<sup>[7]</sup>、IEC 62044-2<sup>[8]</sup>、IEC 62044-3<sup>[9]</sup>等，可以适用或部分适用于金属磁粉心；部分关于铁氧体磁心的现有标准，如关于术语和命名的IEC 60401-1<sup>[10]</sup>、IEC 60401-2<sup>[11]</sup>、IEC 60401-3<sup>[12]</sup>的部分内容，也有可能通过引用而成为拟制定金属磁粉心标准的条款。

无论是制定有别于IEC/TC 68现有标准的金属磁粉心新标准，还是通过修订、引用IEC/TC 51现有标准，使之纳入金属磁粉心标准体系，都要在起草工作中重视标准间的协调性和统一性，尽量避免产生冲突和矛盾。

### 3.4 推动建立金属磁粉心标准体系的行动和成效

2015年10月在深圳召开的IEC/TC51全会上，鉴于金属磁粉心行业已进入快速发展阶段而相关国际标准缺乏的现状，中国首次提出建立金属磁粉心IEC标准体系的初步构想。

在中国提议的影响下，2016年7月IEC修改了TC51的名称，由原“Magnetic components and ferrite materials”(磁性元件与铁氧体材料)变更为“Magnetic components, ferrite and magnetic powder materials”(磁性元件、铁氧体与磁粉材料)，并对技术委员会的业务范围作了相应的拓展。

2016年11月在德国慕尼黑召开的IEC/TC51工作组会议上，经过精心而充分的准备，中国提出了在IEC/TC51建立金属磁粉心标准体系的系统建议，就金属磁粉心产业和技术发展背景、构建标准体系的重要性和必要性、标准体系的框架结构和标准组成等作了详细的阐述，得到与会代表的好评，本次会议还确定由中国承担金属磁粉心标准体系中

尺寸和表面缺陷极限导则的通用规范和环形磁粉心、磁粉心材料分类和磁粉心电磁性能测量方法四项提案的起草工作。会后, IEC/TC51 秘书处就建立金属磁粉心标准体系议案向 IEC/TC51 成员国发出询问, 经成员国投票, 于 2017 年 3 月正式通过了中国提出的建立金属磁粉心 IEC 标准体系的提案。这是中国对 IEC/TC51 领域标准化发展的重要贡献, 体现了中国在国际标准化舞台上话语权的扩大和地位的上升。

2017 年 11 月在俄罗斯海参崴召开的 IEC/TC51 全会上, 中国报告了关于金属磁粉心尺寸和表面缺陷极限及测量方法等三项标准新提案, 会后 IEC/TC51 以意见征询和成员国投票的方式, 正式确定由中国承担金属磁粉心尺寸和表面缺陷极限导则的通用规范和环形磁粉心等两项标准的新工作项目提案工作(NP)。

2019 年 3 月在美国阿纳海姆召开的 IEC/TC51 全会上, 中国报告了上述两项标准委员会草案(CD)的起草工作和对所征求意见的答复, 与会代表就草案的技术内容展开了充分的讨论, 作出了进一步修订的决定。会后我国编制组进行了新一轮的修订(2<sup>nd</sup>CD)并已提交 IEC/TC51, 可望较快进入询问阶段(CDV)。

#### 4 金属磁粉心领域国际化工作展望

自 IEC/TC51 确定建立金属磁粉心标准体系以来, 相关标准化工作主要围绕按照中国提出的标准体系框架起草、制定具体标准展开。迄今已有由中国主持起草的 IEC 63182-1 Ed.1.0 Magnetic powder cores – Guidelines on dimensions and the limits of surface irregularities – Part 1: General specification(磁粉心-尺寸和表面缺陷极限导则-第 1 部分: 通用规范)和 IEC63182-2 Ed.1.0 Magnetic powder cores – Guidelines on dimensions and the limits of surface irregularities – Part 2: ring-cores(磁粉心-尺寸和表面缺陷极限导则-第 2 部分: 环形磁粉心)等两项标准进入第二轮委员会草案阶段(2<sup>nd</sup>CD)。按 IEC/TC51 的工作计划, 这两项标准将于 2020 年正式发布, 实现 IEC/TC51 有关金属磁粉心标准的“零”的突破。

为了进一步促进金属磁粉心国际标准体系的发展和完善, 并增强中国在相关标准化领域的话语权, 全国磁性元件和铁氧体材料标准化技术委员会和

IEC/TC51 中国专家组组织国内有关单位分别开展了 E 型、EQ 型、EER 型、U 型、块状、圆柱形、椭圆形等磁粉心尺寸和表面缺陷极限导则、磁粉心材料分类、磁粉心用粉末和磁粉心电磁性能测量方法等多项 IEC 标准的提案预备工作(PWI)。目前, E 型、块状、圆柱形等磁粉心尺寸和表面缺陷极限导则、磁粉心材料分类和磁粉心电磁性能测量方法五项提案已于 2019 年 3 月提交至 IEC/TC 51, 即将开始新工作项目提案(NP)循环投票工作; EQ 型、EER 型、U 型、椭圆形等磁粉心尺寸和表面缺陷极限导则、磁粉心用粉末等五项提案草案正在进行国内征求意见工作, 预计 2019 年底提交至 IEC/TC 51。

经过不懈努力, 目前中国在金属磁粉心国际化领域已拥有较大的话语权, 这引起了美国、日本等传统金属磁粉心制造国的高度关注, 预计今后在金属磁粉心国际化领域的国际合作和制修订权竞争将日益增强。我们认为, 更多国家的参与、国际间合作及良性竞争, 对发展和完善 IEC 标准体系是十分有益的。我们将虚心接受来自各国的正确意见和建议, 认真、细致、高质量地做好所承担的金属磁粉心系列标准的起草工作, 以实际行动促进我国在国际标准化领域地位的提升, 推动 IEC 标准化事业的发展。

#### 参考文献:

- [1] 中国电子材料行业协会磁性材料分会. 中国磁性材料与器件行业年鉴(2018)[Z]. 2019: 149-157.
- [2] SJ20829-2002, 金属磁粉心总规范[S].
- [3] GB/T 13016-2018, 标准体系构建原则和要求[S].
- [4] IEC 60404-1 Ed.3.0: 2016, Magnetic materials - Part 1: Classification [S].
- [5] IEC 60404-6 Ed.3.0: 2018, Magnetic materials - Part 6: Methods of measurement of the magnetic properties of magnetically soft metallic and powder materials at frequencies in the range 20 Hz to 100 kHz by the use of ring specimens [S].
- [6] IEC 60205 Ed.4.0: 2016, Calculation of the effective parameters of magnetic piece parts [S].
- [7] IEC 62044-1 Ed.1.0: 2002, Cores made of soft magnetic materials - Measuring methods - Part 1: Generic specification [S].
- [8] IEC 62044-2 Ed.1.0: 2005, Cores made of soft magnetic materials - Measuring methods - Part 2: Magnetic properties at low excitation level [S].
- [9] IEC 62044-3 Ed.1.0: 2000, Cores made of soft magnetic materials - Measuring methods - Part 3: Magnetic

properties at high excitation level I [S].

- [10] IEC 60401-1 Ed.1.0: 2002, Terms and nomenclature for cores made of magnetically soft ferrites - Part 1: Terms used for physical irregularities [S].
- [11] IEC 60401-2 Ed.2.0: 2009, Terms and nomenclature for cores made of magnetically soft ferrites - Part 2: Reference of dimensions [S].
- [12] IEC 60401-3 Ed.2.0: 2015, Terms and nomenclature for cores made of magnetically soft ferrites - Part 3: Guidelines

\*\*\*\*\*

(上接 17 页)

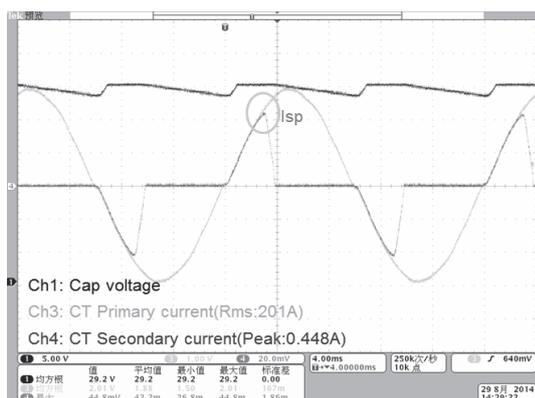


图 12 实测电流波形

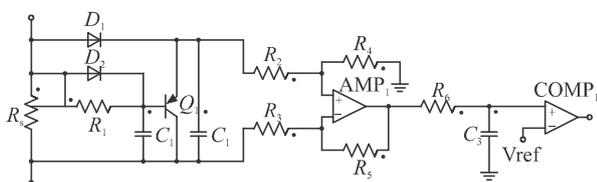


图 13 过载保护电路

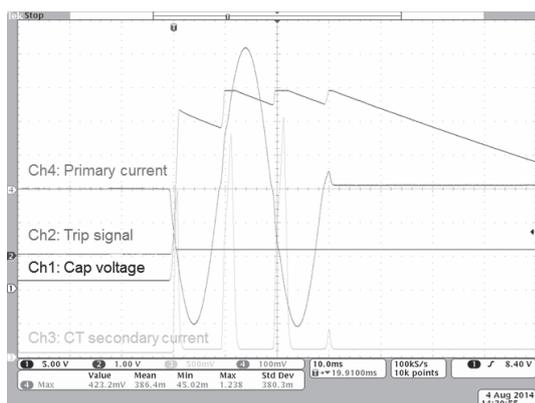


图 14 电流互感器瞬态保护波形

COMP1 的负极参考信号  $V_{ref}$  进行比较, 一旦超过  $V_{ref}$  既输出触发脱扣器的驱动信号。

实际模拟测试平台使用的是一个瞬态大电流发生器, 仅提供一个 30 ms 的电流源, 测试结果如图

on the format of data appearing in manufacturers catalogues of transformer and inductor cores [S].

**作者简介:** 崔莹(1968—), 女, 汉族, 工学学士, 高级工程师。SAC/TC89主任委员, IEC/TC 51、TC 68 和 TC 107 专家, 先后起草和参与编制了几十项国家和军用标准, 2013 年和 2019 年获 IEC1906 大奖。研究方向为电子元器件可靠性、电子元器件标准化、磁性材料与元件。

14 所示, Ch1 是取能系统电源电压, Ch2 是比较器输出信号并不实际触发脱扣装置, Ch3 是副边电流信号, Ch4 是原边电流信号。从图上可以看出, 在大电流时可以快速把电容 C2 充满电荷供控制系统和脱扣装置使用, 同时过载保护电路可以正常工作, 及时发出触发信号给外部脱扣装置。

### 5 结论

从电流互感器的设计上采取措施降低电流互感器的饱和电流点可以压缩电流互感器的体积和成本, 但是饱和电流点提前对取能有显著的影响, 通过优化设计可以有效提高电流互感器的取能能力。优化设计小型化电流互感器的几个关键参数如磁芯等效截面积、匝数和工艺机构, 从而提升了轻载取能能力, 以满足系统控制电路和脱扣器脱扣的能量需要。

提出了利用电流互感器磁芯饱和时副边电流的峰值作为电流过载保护的方案, 并进行了理论分析、仿真验证和实验, 证明了该方法的可行性。

### 参考文献:

- [1] 黄绍平, 李永坚. 低压断路器智能脱扣器的设计与实现[J]. 工矿自动化, 2004, (2): 42-44.
- [2] 陈会林, 宋正湘, 刘永刚. 一种新型塑壳断路器智能脱扣器的研制[J]. 低压电器, 2011, (11): 19-23.
- [3] 高辉. 塑壳断路器电子脱扣器的设计与实现[J]. 电器与能效管理技术, 2016, (11): 54-61.
- [4] 郑庆杰, 陈为. 可饱和电流互感器取能能力的优化设计[J]. 磁性元件与电源, 2015, (1): 121-124.
- [5] 郭雅红, 陈为, 郑庆杰. 断路器取能采样磁元件的分析与研究[J]. 电器与能效管理技术, 2015, (3): 10-13.

**作者简介:** 郑庆杰(1979—), 男, 博士研究生, 研究方向为电力电子功率变换、磁性元件高频磁技术及 EMI 电磁兼容技术等。