无取向电工钢磁性能准确度的分析研究*

李建利,邵志军

(内蒙古包钢钢联股份有限公司化检验中心,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 测量无取向电工钢磁性能的方法有爱泼斯坦方圈法和单片法。文章介绍了爱泼斯坦方圈法和单片法测量无取向电工钢所用设备、取样方法、试样尺寸、数量和检测方法等,主要对爱泼斯坦方圈法与单片法测量的检验数据结果进行分析。结果表明,爱泼斯坦方圈法测量铁损值和磁极化强度值的极差值和标准偏差均小于单片法,更精准。爱泼斯坦方圈法取样量大,对试样尺寸要求严格,而单片法取样量小,且偏差在允许范围内,单片法可以代替爱泼斯坦方圈法测量无取向电工钢磁性能。

关键词: 无取向电工钢; 铁损; 磁极化强度

中图分类号: TG115.9 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2019)05-0089-04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2019.05.025

Analysis and Study on Accuracy of Magnetic Properties of Non-oriented Electrical Steel

Li Jian-li, Shao Zhi-jun

(*Chemical Inspection Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: The two methods for measuring magnetic properties of non-oriented electrical steel include the Epstein frame method and uniwafer method. In the paper, it is introduced their equipment, sampling method, specimen size, amount and detection method as well as mianly analyzed the testing data results measured with them. The results showed that the range value and standard deviation of iron loss and magnetic polarization intensity measured with the Epstein frame method were all smaller and more accurate than those measured with uniwafer method, however, the sample size is large and requirements of specimen size are strict with the Epstein frame method, while the sample size is small and deviation is within permissible range with the uniwafer method, so the uniwafer method could replace the Epstein frame method to measure the magnetic properties of non-oriented electrical steel.

Key words: non-oriented electrical steel; iron loss; magnetic polarization intensity

电工钢作为电动机和发电机转子的铁芯材料,是电力、电子和军事工业中不可缺少的重要软磁合金。在磁性材料中,电工钢也是一种重要的节能金属功能材料[1-2]。随着我国电能生产和消费持续增加,国内冷轧无取向电工钢产能急剧上升。在大量电工钢的需求下,电工钢质量的把控尤为重要,它直接影响着国力的发展,是衡量一个国家钢铁科技发展水平的重要标志之一[3],而有效评价电工钢的产

* 收稿日期:2019-06-10

作者简介:李建利(1965-),男,内蒙古包头市人,高级工程师,现从事材料物理性能检验技术工作。

中国知网 https://www.cnki.net

品质量则是磁性能。磁性能的检测方法主要有爱泼斯坦方圈测试法和单片测试法，因此分析研究二者的测量方法，提高测量电工钢磁性能准确性及检验效率具有重要意义。

1 试验概况

用单片法和爱泼斯坦方圈法测量同批无取向电工钢，研究测量数据的稳定性和准确性，同时外委国家计量院对同批试样进行两种方法的测量，进行数据比对，找出两种方法的重复性误差和标准偏差的大小，从而选定出更精准的测量方法。在偏差允许的情况下，采用取制样更简捷方便的方法测量无取向电工钢。

2 试验条件

用爱克(苏州)机械有限公司的61355数控剪板机，在同一电工钢片(带)上，使用不产生明显边缘毛刺且规定方向和实际剪切方向之间的角度为±5°的方法剪切，条片数应为4的倍数，纵向14片和横向14片，宽度：$b = (30 \pm 0.2)$ mm；长度：$l = (280 \sim 320)$ mm ± 0.5 mm共28片的爱波斯坦方圈试样。同时使用边沿无明显毛刺或机械变形、整齐、平坦，直角性良好且规定方向和实际剪切方向之间的角度为±5°的方法剪切，平行或垂直轧制方向，长度不宜小于500 mm，宽度最宽等于磁轭的宽度，最小不应小于磁轭宽度的60%的试样2块，如果是正方形则取1块的单片试样。分别按GB/T 3655—2008[4]用爱波斯坦方圈测量电工钢片(带)磁性能的方法和GB/T 13789—2008[5]用单片测量仪测量电工钢片(带)磁性能的方法，利用中国计量科学研究院的SST-500EC硅钢片铁损测试仪和可连接的SY-500单片磁导计及爱泼斯坦方圈设备分别进行磁性能检验。

3 试验原理

3.1 爱泼斯坦方圈法

爱泼斯坦方圈由初级线圈、次级线圈和作为铁心的试样组成，它形成一个空载变压器，试验的钢带用双搭接接头装成一个正方形，于是形成长度相等、横截面积相等的4束，条片的切割应使其边缘无毛刺，条片应具有下述尺寸：宽度$b = (30 \pm 0.2)$ mm；长度：$l = (280 \sim 320)$ mm ± 0.5 mm。组成试验样品的条片数应为4的倍数，并且应在相应的产品标准中作出规定。对于长度为280 mm的条片，试验样品的有效质量(见公式1)至少应为240 g。

$$m_a = \frac{l_m}{4l} m \tag{1}$$

其中：m_a为试样的有效质量；l为试样条片的长度，m为试样的总质量，l_m为有效磁路长度(按常规采用0.94 m)。

3.2 单片法

将一块电工钢片试样放入两个线圈内(外部的初级绕组-磁化绕组；内部的次级绕组—感应电压绕组)两个相同的磁轭组成闭合磁路，它形成一个空载变压器。上部磁轭的悬吊应平衡其部分重量，并使试样受到的力在100 N和200 N之间，使其内部磁通分布有较好的均匀性，磁轭要用条片叠层方式做成，在转角处搭接。不同材料的磁极化强度值对应的有效磁路长度的平均值与磁轭的内部长度相当。对推荐的500 mm×500 mm试样的磁导计而言，有效磁路长度约定为0.45 m。

4 试验结果

4.1 标样参考值

爱泼斯坦方圈标样值与单片标样值，见表1。

表1 爱泼斯坦方圈标样值与单片标样值

标样	样品质量/kg	样品长度/mm	材料密度/(kg·m^{-3})	材料厚度/mm	涡流损耗系数e	铁损$P_{1.5}$/(W·kg^{-1})	磁极化强度B_{50}/T
爱泼斯坦方圈	0.833	0.300	7 750	0.5	0.30	3.759	1.694
单片	0.994	0.500	7 650	0.5	0.30	横3.124	横1.655
						纵2.456	纵1.709

其中比总损耗值测量结果不确定度U_{rel} = 1.0%(k = 2)；磁感应强度测量结果不确定U_{rel} =

中国知网 https://www.cnki.net

0.5%(k = 2)。

通过三次分别对标准样品进行测定,可以看出标样数值准确,仪器设备正常。

4.2　结果分析

本试验主要选取了牌号为 BR50W600、BR50W800 和 BR50W1000 的无取向电工钢片对其铁损值及磁极化强度值进行测量。

(1) 将单片法和爱泼斯坦方圈法测量的 22 组 BR50W600、36 组 BR50W800、22 组 BR50W1000 无取向电工钢的铁损值和磁极化强度值分别计算两者的平均值、极差值和标准偏差,其测量结果见表 2。

表 2　测量结果

钢种	统计类别	单片法		爱泼斯坦方圈法	
		铁损 $P_{1.5}$ /(W·kg^{-1})	磁极化强度 B_{50} /T	铁损 $P_{1.5}$ /(W·kg^{-1})	磁极化强度 B_{50} /T
BR50W600	平均值	3.779	1.718	3.679	1.711
	极差值	0.530	0.037	0.362	0.033
	标准偏差	0.163 6	0.103 4	0.012 5	0.010 7
BR50W800	平均值	4.446	1.737	4.435	1.736
	极差值	0.550	0.017	0.395	0.005
	标准偏差	0.179 8	0.123 4	0.008 5	0.006 8
BR50W1000	平均值	4.768	1.758	4.716	1.751
	极差值	0.987	0.024	0.833	0.018
	标准偏差	0.274 8	0.271 9	0.008 0	0.007 1

从以上数据可以分析得出:爱泼斯坦方圈法测量无取向电工钢的铁损值和磁极化强度值的极差值和标准偏差均小于单片法,所以爱泼斯坦方圈法测量同一牌号的无取向电工钢铁损值和磁极化强度值的测量结果比单片法更精准。

(2) 将 11 组爱泼斯坦方圈法试样和同一批次的单片试样,外委到国家计量院进行不同设备之间的比对测量,其中 3 组 BR50W800 测量结果与 8 组 BR50W1000 测量结果见表 3。

表 3　测量结果

钢种	统计类别	单片法		爱泼斯坦方圈法	
		铁损 $P_{1.5}$ /(W·kg^{-1})	磁极化强度 B_{50} /T	铁损 $P_{1.5}$ /(W·kg^{-1})	磁极化强度 B_{50} /T
BR50W800	平均值	4.633	1.719	4.520	1.718
	极差值	0.450	0.025	0.357	0.018
	标准偏差	0.257 8	0.013 2	0.179 0	0.010 1
BR50W1000	平均值	4.915	1.750	4.817	1.730
	极差值	0.095	0.003	0.094	0.001
	标准偏差	0.050 4	0.001 5	0.047 4	0.000 5

根据这 11 组爱泼斯坦方圈法试样和同一批次的单片试样的测量结果,国家计量院更进一步验证了爱泼斯坦方圈法测量同一牌号的无取向电工钢的铁损值和磁极化强度值的测量结果比单片法更精准这一结论。

5　结论

(1) 通过爱泼斯坦方圈法测量无取向电工钢的

中国知网　https://www.cnki.net

铁损值和磁极化强度值的极差值和标准检偏差均小于单片法，所以爱泼斯坦方圈法检测同一牌号的无取向电工钢的测量结果比单片法更精准。

(2) 虽然单片法不如爱泼斯坦方圈法测量精准，误差较大，但偏差在允许范围内，所以单片法可以代替爱泼斯坦方圈法测量无取向电工钢磁性能。

(3) 随着产品等级的提高和新品种的出现，爱泼斯坦方圈法存在取样量大，对试样尺寸要求严格。而单片法取样量小，受制样因素的影响较小，测量结果的再现性差异相对较小，节省人力物力，生产厂家和用户可以使用单片法测量无取向电工钢。

参 考 文 献

[1] 赵楠. 电工钢检测方法及标准综述 [J]. 四川冶金，2004，36(5)：59－63.

[2] 李敏. 半工艺无取向电工钢的相关检测与研究 [D]. 长沙：中南大学，2008.

[3] 赵楠，穆海玲，斯松华. 冷轧无取向电工钢的组织及性能分析 [J]. 电工材料，2004，(4)：14－18.

[4] GB/T 3655—2008. 用爱波斯坦方圈测量电工钢片(带)磁性能的方法 [S].

[5] GB/T 13789—2008. 用单片测量仪测量电工钢片(带)磁性的方法 [S].

(上接第59页)

t_N(例如) 不同时，动机的可用功率 P 修正为：

$$P = XP_N \tag{6}$$

式中：P_N—— 额定环境温度下的电动机额定功率，kW；

X—— 环境温度改变时的修正系数。

假定电动机的温升正比于它的损耗，则环境温度变化时电动机的稳定温升也相应变化，可得公式(7)。

$$X = \sqrt{1 \pm \frac{\Delta\tau(r+1)}{\tau_N}} \tag{7}$$

式中：$\Delta\tau$—— 环境温度改变值，℃；

τ_N—— 额定环境温度时的电机额定温升，℃；

γ—— 电动机的固定损耗和额定可变损耗之比；

“+”—— 环境温度低于额定环境温度；

“－”—— 环境温度高于额定环境温度。

由设备资料可知，某些电动机当环境温度低于额定值时，其容量不需修正；某些电动机当环境温度高于额定环境温度10 ℃时，电动机容量的降低值由电机厂规定不能按公式(7)计算。因此，按环境温度修正电动机的容量应根据具体情况确定。

5 结束语

科学合理的选择一台合适的电机对稳定供水至关重要，如选型不是非常合适，不光对设备维护带来一定难度，更重要的是对稳定生产带来一些不必要困难，同时还会影响到设备使用寿命，或者造成能源浪费，每一台大型电机价格也比较昂贵。希望通过本文为大家提供一个选型的参考。

参 考 文 献

[1] 《钢铁企业电力设计手册》编委会. 编钢铁企业电力设计手册 [M]. 北京：冶金工业出版社，1996.

[2] 天津电气传动设计研究所编著. 电气传动自动化技术手册 [M]. 北京：机械工业出版社，2011.

中国知网 https://www.cnki.net