

防爆电机可靠性试验研究

国家防爆电气产品质量监督检验中心 胡述静 项云林 王玉闽 李书朝

[摘 要] 防爆电机可靠性是一项极重要的质量指标,国际上各先进工业化国家对此进行了较为深入的研究,我国直至九十年代才开始这方面的研究工作。本文就我国目前开展防爆电机可靠性研究的情况作了介绍,对防爆电机可靠性的理论、试验方法、试验装置、评定方法以及摸底试验的情况进行了较全面的论述,并对面临的问题和今后的工作方向作了探讨。

[关键词] 防爆电机 可靠性 数理统计 隔爆组件

一、产品可靠性简介及防爆电机可靠性研究任务来源

产品可靠性是指“产品在规定的条件下及规定的时间内完成规定功能的能力”。产品可靠性是产品质量的重要标志,产品可靠性有关指标越高,表明产品的质量越好,其使用价值就越大。

在当今市场竞争激烈、国际贸易日益全球化的情况下,产品质量的好坏是能否占领市场的关键因素,而产品的可靠性又是衡量产品质量优劣的关键指标。可以肯定,产品的可靠性在今后的国际贸易中将成为竞争的焦点。我国自 1982 年与 GATT(关税和贸易总协定)进行多边贸易谈判以来,深深感到国内产品的可靠性指标偏低,有些产品甚至还没有可靠性指标的评定方法,这极大地阻碍了我国产品进入国际市场的进程。因此,国家有关部门陆续下发了有关加强产品可靠性工作的文件,其中包括国家质量技术监督局 1994 年以技监管[1994]365 号文件发出的“关于加强产品可靠性工作的若干意见”,原机械工业部又以机科行[1994]142 号文“关于印发《机械工业今明两年可靠性工作要点》的通知”,指导全国机械工业可靠性工作。后者明确指出,提高产品质量可靠性是振兴我国机械工业“三大战役”中产品质量翻身仗的关键所在,希望在近几年内,机械行业各部门逐步完善标准、设计、制造和检测等方面的工作,使我国机械行业产品质量上一个新台阶,以适应我国加入 WTO 后的严峻挑战。

防爆电气技术主要运用于煤炭、石油、天然气开采、纺织、交通、粮油加工、化工、石油精炼等行业中有爆炸性气体或爆炸性粉尘混合物的环境中,是关系到国家财产和人民生命安全的一项重要技术,其中对防爆电气产品的制造和检验,国家均颁布了强制性标准。防爆电气产品包括防爆电

机、防爆灯具、防爆仪表、防爆电气控制装置等,其中防爆电机是量大面广的产品,其电气、防爆性能的可靠性直接影响到以上所述的工业部门安全生产和发展,尤其是石油、化工行业。因为这些工业部门生产的特点是大规模连续运行作业,设备的安全运行是事关重大的,一旦设备出现故障、发生事故,就会造成不可估量的经济损失。在此之前,我国在防爆电机可靠性领域的研究基本上处于空白状态,因此在我国开展防爆电机可靠性研究工作不仅是必要的,而且是迫切的。

我国对防爆电机可靠性的试验研究工作起步较晚,随着改革开放和市场经济的深入发展,我们了解到开展防爆电机可靠性研究工作的重要性,和我国在该领域与国际上发达国家存在着很大差距。国际上发达国家,如欧美国家、日本和前苏联从二十世纪五、六十年代就已经开始了防爆电机可靠性的研究工作,他们无论在理论上,还是在试验设备、检测手段以及管理等方面均达到了很高水平,并培养出一大批素质很高的资深专家队伍,发表了许多专著和研究论文,制订了一整套切实可行的检测方法。他们还对各种试验方法和加速因子的不同进行了深入的研究和论证,从而促使产品质量稳步提高。

南阳防爆电气研究所是我国防爆理论研究、防爆产品科研开发及试验检测基地,是我国防爆行业的归口科研机构。早在 80 年代末 90 年代初,我们就深感我国在防爆电机可靠性领域的研究工作远远落后于国际上发达国家的科技水平,并于 1992 年成立了防爆电机可靠性研究课题组,进行前期调研工作,主要是收集国内外该领域研究的有关资料,对在我国开展此项工作进行前期准备,之后又参考国外相关资料,草拟出《隔爆型电动机可靠性试验方法》标准,为以后该科研课题的立项和开展工作打下了良好的基础。我所于 1995 年对

防爆电机可靠性试验研究工作正式立项,1996 年在当地科委立项,项目编号为 96121100,1997 年在河南省科委立项,项目编号为 971008。对此项目,国家科委以及省市有关主管部门均十分重视并给予了大力支持,多次派人到我所了解课题进展情况。除此之外,国家科委还拨出专款资助课题组专家到国外进行专题考察,为该课题的顺利进行提供了有力的帮助。

二、国内外情况简介

就国外情况而言,我们掌握的欧美和日本等国的资料较少,现有的资料多为失效分布和数理统计方面的理论书籍,具体的试验方法、试验设备和试验原理等方面的资料较少。IEC34—18(1992 年版)《交、直流旋转电机绝缘系统温度评价及分级》中规定了普通电机绝缘系统可靠性的试验程序和方法。从中可以看出,就其方法步骤与前苏联标准大体相同,整个试验过程分若干个周期,每个周期由一个热老化子周期和一个诊断子周期组成,包括温度和机械试验、湿热试验、电压试验及其他诊断试验。

由于前苏联在防爆电机可靠性领域方面的研究工作了解的比较多,其中,前苏联国家一级研究员、工学博士瓦涅耶夫编著的《防爆与矿用电气设备的可靠性》一书对我们开展研究工作有很强的针对性。为此,课题组成员曾专程赴乌克兰(原全苏)矿用与防爆电气科学研究院进行考察访问,并与瓦涅耶夫本人进行了技术交流,收集了大量有价值的资料。通过对前苏联在该领域的工作进行了较全面的了解后得知,他们花费了大量的人力、物力、财力和时间对防爆电机的可靠性进行了全面的研究,其中包括可靠性理论、数学模型、可靠性试验装置的设计、制造以及试验方法和试验标准的编制等。但随着苏联的解体,他们的理论研究被迫中断,试验设备也因资金问题得不到及时更新,比较陈旧,基本上停留在七、八十年代的水平上。

在国内,上海电器科学研究所自七十年代开始由国家投入了相当大的人力、物力,对普通 Y 系列电机进行了可靠性试验研究工作,八十年代末又对普通 Y 系列电机的绝缘结构的可靠性进行了摸底试验,并提出了一整套可靠性指标的评定办法,基本上摸清了新型聚脂类绝缘结构的可靠性指标、性能和特点,对我国 Y 系列及派生系

列电机的质量提高起到了推动作用。此外,佳木斯防爆电机研究所自 1992 年开始开展该领域的研究工作,主要针对吊车电机的可靠性进行研究,并建立了试验室。

南阳防爆电气研究所在八十年代末、九十年代初对防爆电机可靠性研究进行了大量的前期准备工作之后,于 1995 年开始进入实质性的研究阶段,先后起草了防爆电机可靠性评定试验方法和有关试验细则,并于 1996 年起斥资 180 万元筹建防爆电机可靠性试验室。1999 年防爆电机可靠性试验室在我所正式建成投入运行后,首先对南阳防爆电机厂的 8 台 YB160—4P 防爆电机进行了可靠性摸底试验。经过 13 个周期共 300 多小时的试验,其中有两台早期(第 1、2 周期)出现故障(设备原因),其余 6 台直到第 13 周期时 1 台损坏,全部达到了 20 000h 运行寿命试验要求。与此同时,也成功地对试验设备的性能和可靠性进行了摸底,针对设备出现的问题及时进行了分析研究,并进行了整改,使设备的性能和可靠性进一步提高,在最后的评审验收中得到了有关专家的一致认可。

三、防爆电机可靠性有关标准的编制

在掌握了国内外可靠性试验装置及有关标准资料和我所摸底试验结果的基础上,经过多方论证、探讨、研究后,与佳木斯防爆电机研究所一起共同制订了《隔爆型三相异步电动机可靠性指标评定方法(试验室法)》及实施细则,和《隔爆型三相异步电动机隔爆组件可靠性指标评定方法(试验室法)》及实施细则。两项标准于 1999 年批准,标准号分别为:JB/T 50136.1—1999,JB/T 50136.2—1999。这些标准和实施细则是在参考了前苏联、欧美及国内有关资料的基础上,结合我国实际情况制订出来的,对如何加速考核防爆电机的绝缘可靠性和隔爆组件的防爆可靠性提出了明确要求,对抽样、失效判据、失效分布、可靠度、可靠寿命及加速寿命试验方式等进行了规定,明确提出了对试验设备的要求,A、B 系数的确定等。实施细则还明确规定了试验装置的技术要求和考核评定方法,使标准的可操作性更充分明了。

四、防爆电机可靠性加速试验方法

产品可靠性的考核方法可分为现场投试法和试验室加速法两种。现场投试法(或试验室正常试验法)需要很长时间,由于不能及时掌握产品可靠性的信息而降低信息的价值,这将会影响对产品可靠性的正确评估,延长产品开发周期。为了解决这一问题,国际上通常采用可靠性加速(寿命)试验的方法,以缩短获得信息的时间,从而有效地缩短产品开发周期。这一方法的主要理论是,在不改变产品的失效机理的前提下,强化产品故障的主要物理化学过程,即加大应用因子,以此达到加速试验的目的。大量资料显示,对防爆电机可靠性有影响的部件可分为:

- (1) 定子绕组;
- (2) 轴承以及转轴与端盖部分;
- (3) 转子;
- (4) 风扇。

通过以上元件的故障可以确定电动机的可靠性。现就影响单个部件可靠性的因素作以下分析:

1. 定子绕组

影响定子绕组可靠性的主要因素有如下方面:温度、机械负载、电动力、电磁场、潮湿和操作过电压。在加速试验时为了模拟这些因素的影响,广泛采用热室法和电机空载正反转或起制动运行等方法来提高绕组温度,并同时模拟扭力、振动和电磁作用对绝缘的影响,此外通过接触器供电模拟操作过电压对绝缘的作用。

2. 轴承和防爆组件

滚子轴承的可靠性指标是由轴承专用标准来

确定的。在用于防爆电机时,把它与隔爆组件一起构成的整体进行可靠性检验,为此须进行轴承组件可靠性加速试验,该试验一般是在电动机上进行的。对轴承组件产生影响的因素有温度、轴向力和径向力。试验前详细检查轴承组件的结构及允许公差、配合和润滑油的稠度。试验方法用热室法,在电机轴承处,端盖上设置热电偶,轴承径向和轴向机械负载由弹簧或工艺轴承提供,其中工艺轴承按 2 倍负载计算,负载精度为±5%,温度和起动次数按要求选择。在试验台上安装过热保护装置,当轴承温度过高或卡住时,过热保护装置就断开电动机电源,保护装置动作后,应给轴承补充新润滑油,并继续试验直至所有轴承或防爆组件发生故障为止。

3. 电动机转子和风扇

电动机转子和风扇是电动机中最可靠的组件,极少出现故障,只有当研制新结构或新的制造工艺时,才对转子和风扇做可靠性试验,这里不再详述。

五、防爆电机可靠性试验装置

防爆电机可靠性试验装置是考核可靠性指标的专用试验系统,是可靠性评定的关键设备,必须满足标准中有关试验考核的要求。我所在对比分析国内外各种类型的试验装置的基础上,结合电机实际运行状况提出了一种最佳的设计方案。

国内外试验装置对比如下:

序号	项 目	国 内 外 情 况 对 比				
		前苏联	上科所	佳木斯所	南防所	西方国家 *
1	控制系统	继电器式	继电器式	可编程控制器	工业计算机	工业计算机
2	热老化箱	整体式(高低温可调,可用作湿热箱)	分散式	分散式	分散式	分散式
3	能力	H400	H132 以下	H132 以下	H250 以下	不详
4	通、断电方式	继电器	继电器	继电器	继电器	不详
5	温度控制	电子电位差计	预埋热电偶	预埋热电偶	PID 计算机	不详
6	绕组测温	预埋热电偶	停机测绕组电阻	停机测绕组电阻	不停机计算机检测	不详
7	试验周期	三个周期均在一个箱内计算	分开	分开	不停机计算机检测	不详
8	升温办法	固定正反转	固定正反转	固定正反转	可调整反转	不详
9	辅助加热与正反转加热之比	考虑	不考虑	不考虑	考虑	不详

* 由于对西方发达国家在这方面的情况了解得不多,因此有些内容不十分确切。

综上的对比可见,我所的设计方案要优于其他单位。现说明如下:

1. 控制系统采用了当今较为流行的工业计

算机检测,优点在于便于处理大批量的数据,同时还具备优秀的模拟信号处理能力。不足之处在于对开关量信号抗干扰能力差,为此,对开关量信号

采取了多种抗干扰措施,如屏蔽、光电隔离、提高信号电压、独立设置电源等。

2. 热老化箱。因为我所过去建有 45m³ 湿热试验室,所以该试验箱只用于正反转加热老化及干燥两个阶段,湿热阶段在 45m³ 湿热试验室进行,这样既充分利用了所内现有试验设备,又减少了热老化箱的设计、制造难度,降低了成本。

3. 电机正反转加热供电方式运用接触器方式,而非可控硅过零触发,原因是在电机使用过程中采用的绝大多数方式为接触器式供电,这样就符合实际运行情况。

4. 电机绕组温度控制。采用专门仪器,利用计算机技术在正反转停电不停转的间隙迅速测取绕组电阻,并转换成相应的温度,从而控制和调节正反转频次或环境温度,以达到控制绕组温度,使绕组温度恒定的精确度达到±0.5℃的目的。前苏联和上科所、佳木斯所均采用停电停转后测取温度的方式,然后再推算出停电时的温度,显然此方法使绕组温度控制精度不高,有起伏变化。

5. 热老化试验箱内环境温度与电机正反转提高的温升之比。前苏联的可靠性试验装置充分考虑了电机绕组温升与环境温升之比的范围,以确保在高温下绝缘系统的失效机理不变。从科学研究和论证基础上得出在加速试验时,必须保证定子绕组元件热损耗速度比例与正常情况相同:

$$\frac{1}{Q_1} - \frac{1}{Q_2} = \frac{1}{Q_3} - \frac{1}{Q_4} \tag{1}$$

式中 $Q_1、Q_2$ ——定子槽单个元件和定子绕组端部在正反转情况下的绝对温度,K

$Q_3、Q_4$ ——在额定情况下定子槽元件和定子绕组端部的绝对温度,K

加速试验时按(1)式可计算其温度场,只有此种温度才能保证定子绕组单个绝缘元件的热损耗平均速度同正常情况一样。研究证明,对于 5.5~110kW 电机,正反转加热与外部加热温度的比值应符合下列公式:

$$1.6 \geq \frac{\Delta Q_1}{\Delta Q_2} \geq 1.15 \tag{2}$$

式中 ΔQ_1 ——正反转次数一定时定子绕组温度,℃

ΔQ_2 ——外部加热时定子绕组温度,℃

对功率 0.25~5.5kW 防爆电动机,应符合下列公式:

$$1.1 \geq \frac{\Delta Q_1}{\Delta Q_2} \geq 0.3 \tag{3}$$

若满足式(2)和式(3)的条件,可保证在正反转情况下做电动机加速试验时,定子绕组绝缘元件热损耗平均速度上升比例同额定情况相同。

有鉴于此,为了能满足此项要求,我们在热老化箱设计和检测系统设计时,对此作了充分的考虑,使试验装置满足了此理论的要求,而国内其他单位在试验时并未按此要求进行,这足以说明我所可靠性试验装置的科学性和先进性。

6. 试验周期。试验周期由三个阶段组成,即(1)正反转恒定加热 24h,(2)湿热 24h,(3)干燥 12h。

7. 可靠性试验系统简介。南阳防爆电气研究所可靠性试验室由四部分组成:控制系统、供电系统、热老化试验箱和湿热试验箱。

控制系统 以工业控制计算机(IPC)为核心,辅以专用仪器仪表以及自主开发的专用计算机接口和功能模块组成,该系统具有功能强大、信号处理能力强、抗干扰、自动化程度高的优点,同时具备整个试验系统电气自检能力,为快速查找故障原因提供了极大的方便。在此基础上我们又自主开发了一套完整的试验控制程序,具有国内先进水平。

供电系统 采用大功率稳压,多米诺开关柜及大范围无功功率补偿等较先进的设备组成,充分考虑了故障的快速排除性、设备的可靠性和试验系统无功补偿的要求,使供电系统电源品质等方面达到了相关标准的要求,并能满足电业系统要求的功率因数 $\cos\varphi > 0.9$ 。

热老化试验箱 综合考虑了国内外该设备的优缺点,结合我所情况,采用多个试验箱方案,使一台电机用一台试验箱,从而可靠地保证了绝缘加热时的稳定性。辅助加热系统采用无谐波干扰的过零控制模式,用计算机先进的数字 PID 算法进行精确控制,减少了谐波对电网的干扰。

湿热试验箱 可用原 45m³ 湿热试验室设备,加热锅炉由原来的压力式改为常压式,控制系统由原来的单控单片机模式控制改为工业计算机集中控制,节省了人力资源。

抗干扰措施 可靠的运行离不开强有力的抗干扰措施。该系统的强弱电信号、数、模等信号繁多,多种干扰源并存,因此可靠、有效地解决这个问题是整个系统良好运行的关键。为此,从一开始

设计时就充分考虑了对各种干扰的抑制问题,采取了对所有强弱电信号进行有效的屏蔽和隔离的措施,对谐波干扰信号进行了有效的过滤,对所有弱电仪表及计算机系统单独供电,并设置独立接地系统,对个别信号还采用了单独隔离处理。实践证明,这些措施是行之有效的,为系统的良好运行提供了有力的保证。

六、结论

防爆电机可靠性研究是近几年来我国才刚刚开展的科研项目,我所在资金十分紧张的情况下投入了大量的人力和物力,经过几年的辛勤工作,

终于取得了一些令人欣慰的结果,建立了一套先进的试验装置,为进一步开展防爆电机的可靠性鉴定、检验和增长试验奠定了基础。我们知道,这只是刚刚起步,今后还需要做大量的工作,因为产品的可靠性不是试验出来的,而是设计、制造、管理出来的。因此,我们还要在防爆电机行业中贯彻和实施可靠性设计、可靠性制造和可靠性管理,使我们在不太长的时间内,能真正制造出高质量、高可靠性的产品,打入国际市场,面对加入 WTO 后的严峻挑战,能在国际市场上占有一席之地。