



中华人民共和国国家标准

GB/T 18488.2—2015
代替 GB/T 18488.2—2006

电动汽车用驱动电机系统 第 2 部分：试验方法

Drive motor system for electric vehicles—
Part 2: Test methods

2015-02-04 发布

2015-09-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	I
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 试验准备	1
5 一般性试验项目	3
6 温升试验	7
7 输入输出特性试验	8
8 安全性试验	15
9 环境适应性试验	15
10 可靠性试验	17
附录 A (资料性附录) 驱动电机系统工作转矩测量结果的修正方法	18

前 言

GB/T 18488《电动汽车用驱动电机系统》分为两个部分：

- 第1部分：技术条件；
- 第2部分：试验方法。

本部分为 GB/T 18488 的第2部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分代替 GB/T 18488.2—2006《电动汽车用电机及其控制器 第2部分：试验方法》。本部分与 GB/T 18488.2—2006 相比，除编辑性修改外，主要技术变化如下：

- 增加了引用标准以及部分标准的最新版；
- 增加了术语和定义、试验环境条件、试验电源稳压要求以及信号屏蔽的要求；
- 修改了仪器准确度，增加了测量仪器，取消了对测量仪表量程范围的要求，增加了对测量精度的要求；
- 修改了布线要求，试验中布线的规格应与车辆中的实际布线一致；
- 修改了驱动电机控制器壳体机械强度的规定，按照等效压强确定施加质量的大小；
- 修改了液冷系统冷却回路密封性能的试验方法，明确了试验介质和试验仪表的精度；
- 修改了驱动电机定子绕组冷态直流电阻的试验方法，取消了电桥法和电压电流表法，明确了微欧计测量方法，增加了环境温度一致性判别方法；
- 修改了绝缘电阻试验方法，增加了驱动电机定子绕组对温度传感器的绝缘电阻和驱动电机控制器绝缘电阻的测量方法；
- 修改了耐电压试验，取消了短时升高耐压试验和电枢绕组绝缘直流泄漏电流试验及直流耐压试验，增加了驱动电机励磁绕组和有刷直流机电枢绕组的匝间冲击耐电压，明确了驱动电机绕组对机壳、驱动电机绕组对温度传感器和驱动电机控制器的工频耐电压试验方法；
- 修改了温升试验方法，规定了测量点、记录时间以及温升计算公式，增加了冷却介质温度的测定和绕组电阻的外推计算方法；
- 修改了效率的测量，对参与计算的驱动电机系统辅助装置的功率做了规定；
- 修改了最高工作转速试验方法，取消了冷态测量的情况，明确了数据记录时间；
- 修改了环境适应性试验方法，改变了低温试验、高温试验、湿热试验的试验方法和试验内容；修改了盐雾试验时间；
- 修改了电磁兼容性试验方法，按照制造商或者用户提供的试验方法从事试验；
- 修改了试验结果的修正，调整为资料性附录；
- 增加了转速-转矩特性及效率试验过程中测试点和测量参数的选择方法，细化了试验方法；
- 增加了新的试验项目，如外观、外形和安装尺寸、质量、工作电压范围、持续转矩、持续功率、峰值转矩、峰值功率、高效工作区、最高效率、控制精度、响应时间、驱动电机控制器工作电流、驱动电机控制器支撑电容放电时间、耐振动、可靠性等；
- 删除了控制器过载能力、噪声、振动、接触电流测试、电压波动与峰值功率测定的试验方法。

本部分由中华人民共和国工业和信息化部提出。

本部分由全国汽车标准化技术委员会(SAC/TC 114)归口。

本部分起草单位：北京理工大学、上海电机股份有限公司、中国汽车技术研究中心、湖南南车时代电动汽车股份有限公司、天津清源电动车辆有限责任公司、上海捷能汽车技术有限公司、深圳市比亚迪

GB/T 18488.2—2015

汽车有限公司、北京汽车新能源汽车有限公司、上海机动车检测中心、北京中纺锐力机电有限公司、精进电动科技(北京)有限公司。

本部分主要起草人:宋强、贡俊、郭淑英、贾爱萍、何云堂、蒋时军、窦汝振、樊晓松、周旭光、黄忻、李波、谢欢、蔡蔚、闫志平、笱晓宏。

本部分所代替标准的历次版本发布情况:

——GB/T 18488.2—2001、GB/T 18488.2—2006。

电动汽车用驱动电机系统

第 2 部分: 试验方法

1 范围

GB/T 18488 的本部分规定了电动汽车用驱动电机系统试验用的仪器仪表、试验准备及各项试验方法。

本部分适用于电动汽车用驱动电机系统、驱动电机、驱动电机控制器。对仅具有发电功能的车用电机及其控制器,可参照本部分执行。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

- GB 755—2008 旋转电机 定额和性能
- GB/T 2423.1—2008 电工电子产品环境试验 第 2 部分: 试验方法 试验 A: 低温
- GB/T 2423.2—2008 电工电子产品环境试验 第 2 部分: 试验方法 试验 B: 高温
- GB/T 2423.10—2008 电工电子产品环境试验 第 2 部分: 试验方法 试验 Fc: 振动(正弦)
- GB/T 2423.17—2008 电工电子产品环境试验 第 2 部分: 试验方法 试验 Ka: 盐雾
- GB/T 2900.25 电工术语 旋转电机
- GB/T 2900.33 电工术语 电力电子技术
- GB/T 3859.1—2013 半导体变流器 通用要求和电网换相变流器 第 1-1 部分: 基本要求规范
- GB/T 4208—2008 外壳防护等级(IP 代码)
- GB/T 4942.1—2006 旋转电机整体结构的防护等级(IP 代码) 分级
- GB/T 13422—2013 半导体电力变流器 电气试验方法
- GB/T 18488.1—2015 电动汽车用驱动电机系统 第 1 部分: 技术条件
- GB/T 19596 电动汽车术语
- GB/T 22719.1—2008 交流低压电机散嵌绕组匝间绝缘 第 1 部分: 试验方法
- GB/T 28046.3—2011 道路车辆 电气及电子设备的环境条件和试验 第 3 部分: 机械负荷
- GB/T 29307—2012 电动汽车用驱动电机系统可靠性试验方法

3 术语和定义

GB/T 2900.25、GB/T 2900.33、GB/T 19596 和 GB/T 18488.1 界定的术语和定义适用于本文件。

4 试验准备

4.1 试验环境条件

如无特殊规定,所有试验应在下列环境条件下进行:

- a) 温度:18 ℃~28 ℃;
- b) 相对湿度:45%~75%;
- c) 气压:86 kPa~106 kPa;
- d) 海拔:不超过 1 000 m,若超过 1 000 m,应按 GB 755—2008 的有关规定。

4.2 试验仪器选择

4.2.1 仪器准确度

仪器的准确度或误差应不低于表 1 的要求,并满足实际测量参数的精度要求,尤其对于电气参数测量的仪器仪表,应能够满足相应的直流参数和交流参数测量的精度和波形要求。

表 1 试验仪器准确度

序号	试验仪器	准确度或误差
1	电气测量仪器	0.5 级(兆欧表除外)
2	分流器或电流传感器	0.2 级
3	转速测量仪	±2 r/min
4	转矩测量仪	0.5 级
5	温度计	±1 ℃
6	微欧计	0.2 级

4.2.2 测量要求

- a) 若用分流器测量电流,测量线的电阻应按所用测量仪器选配。
- b) 测量时,各仪器的读数应同时读取。

4.3 试验电源

4.3.1 试验过程中,试验电源由动力直流电源提供,或者由动力直流电源和其他储能(耗能)设备联合提供;试验电源的工作直流电压不大于 250 V 时,其稳压误差应不超过±2.5 V;试验电源的工作直流电压大于 250 V 时,其稳压误差应不超过被试驱动电机系统直流工作电压的±1%。

4.3.2 试验电源能够满足被试驱动电机系统的功率要求,并能够工作于相应的工作电压状态。

4.4 布线

4.4.1 试验中布线的规格应与车辆中的实际布线一致,布线长度宜与车辆中的实际布线相同。

4.4.2 如果试验中的布线对测量结果产生实质性影响,则应调整相应的外线路阻抗,使之与车辆中布线的阻抗尽可能相等。

4.5 冷却装置

驱动电机和驱动电机控制器的冷却条件宜模拟其在车辆中的实际使用条件,驱动电机和驱动电机控制器冷却装置的型号、冷却液的种类、流量和温度应记录于试验报告中。

4.6 信号屏蔽

为确保驱动电机系统能够正常试验,必要时,制造商应对关联信号进行模拟或者通过其他方法进行

屏蔽。

5 一般性试验项目

5.1 外观

以目测为主,对于具有明确强度要求的技术参数,如紧固件的连接强度等,应辅之以力矩扳手等必要的工具。

5.2 外形和安装尺寸

根据被试电机系统的外形和安装尺寸要求,以及尺寸范围,选择满足测量精度要求的游标卡尺、螺旋测微仪、米尺等量具进行测量。

5.3 质量

采用满足测量精度要求的衡器量取驱动电机和驱动电机控制器的质量,衡器测量误差应不超过被试样品标称质量的 $\pm 2\%$ 。

5.4 驱动电机控制器壳体机械强度

试验时,分别在驱动电机控制器壳体的3个方向上按照GB/T 18488.1—2015中5.2.4的规定,缓慢施加相应压强的砝码,其中砝码与驱动电机控制器壳体的接触面积最少不应低于 $5\text{ cm}\times 5\text{ cm}$,检查壳体是否有明显的塑性变形。

5.5 液冷系统冷却回路密封性能

5.5.1 该项试验宜将驱动电机和驱动电机控制器的冷却回路分开后单独测量。

5.5.2 试验前,不允许对驱动电机或驱动电机控制器表面涂覆可以防止渗漏的涂层,但是允许进行无密封作用的化学防腐处理。

5.5.3 试验使用的介质可以是液体或气体,液体介质可以是含防锈剂的水、煤油或黏度不高于水的非腐蚀性液体,气体介质可以是空气、氮气或惰性气体。

5.5.4 用于测量试验介质压力的测量仪表的精度应不低于1.5级,量程应为试验压力的1.5~3倍。

5.5.5 试验时,试验介质的温度应和试验环境的温度一致并保持稳定;将被试样品冷却回路的一端堵住,但不能产生影响密封性能的变形,向回路中充入试验介质,利用压力仪表测量施加的介质压力,使用液体介质试验时,需要将冷却回路腔内的空气排净。然后,逐渐加压至GB/T 18488.1—2015中5.2.5规定的试验压力,并保持该压力至少15 min。

5.5.6 压力保持过程中,压力仪表显示值不应下降,期间不允许有可见的渗漏通过被试品壳壁和任何固定的连接处。如果试验介质为液体,则不得有明显可见的液滴或表面潮湿。

5.6 驱动电机定子绕组冷态直流电阻

驱动电机定子绕组冷态直流电阻宜在实际冷状态下测量,并记录测量时的环境温度数值。

5.6.1 环境温度的测量

将驱动电机在温度均匀的空间中放置一段时间,使驱动电机内外和环境温度一致,记录温度数值。判断温度一致的标准满足下列条件之一即可:

- a) 用温度计(或埋置检温计)测量电机绕组、铁芯和环境温度,所测温度与环境温度之差应不超过2 K,必要时,温度计应有与外界隔热的措施,且放置温度计的时间不少于15 min。测量绕组

温度时应根据电机的大小,在不同部位测量绕组端部和绕组槽部的温度(如有困难时,可测量铁芯齿和铁芯轭部表面温度),取其平均值作为绕组的实际冷状态下的温度。

b) 驱动电机处于不工作状态且在环境温度稳定的空间中放置时间超过 12 h。

5.6.2 绕组直流电阻的测量

5.6.2.1 使用微欧计测量绕组直流电阻,测量时,通过绕组的试验电流应不超过其额定电流的 10%,通电时间不超过 1 min。

5.6.2.2 测量时,驱动电机转子静止不动。绕组各相各支路的始末端均引出时,应分别测量各相各支路的直流电阻。

5.6.2.3 如果各相绕组在电机内部连接,那么应在每个出线端间测量电阻。对于三相电机,各相电阻值按下式计算[见式(1)~式(6)]:

a) 对星形接法的绕组,如图 1a);

$$R_U = R_{med} - R_{VW} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$R_V = R_{med} - R_{WU} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$R_W = R_{med} - R_{UV} \quad \dots\dots\dots (3)$$

b) 对三角形接法的绕组,如图 1b)。

$$R_U = \frac{R_{VW} \times R_{WU}}{R_{med} - R_{UV}} + R_{UV} - R_{med} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$R_V = \frac{R_{WU} \times R_{UV}}{R_{med} - R_{VW}} + R_{VW} - R_{med} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$R_W = \frac{R_{UV} \times R_{VW}}{R_{med} - R_{WU}} + R_{WU} - R_{med} \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

$$R_{med} = (R_{UV} + R_{VW} + R_{WU})/2;$$

R_{UV} 、 R_{VW} 、 R_{WU} ——分别为出线端 U 与 V、V 与 W 和 W 与 U 之间测得的电阻值,单位为毫欧(mΩ);

R_U 、 R_V 和 R_W ——分别为各相的相电阻,单位为毫欧(mΩ)。

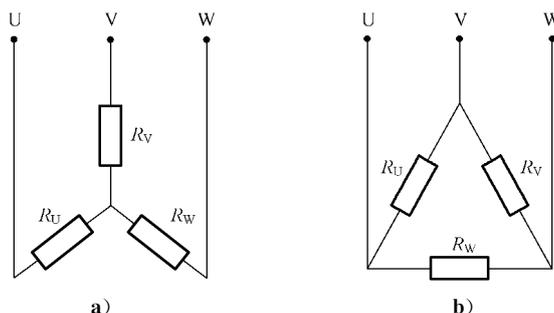


图 1 绕组形式

对于其他相数电机,需另行推导公式进行计算。

5.7 绝缘电阻

5.7.1 测量时被试样品的状态

5.7.1.1 绝缘电阻试验应分别在被试样品实际冷状态或热状态(如温升试验或高低温试验或湿热试验后)下进行。

5.7.1.2 常规测试时,如无其他规定,绝缘电阻仅在实际冷状态下测量,并记录被试样品周围介质的

温度。

5.7.1.3 若需要在热状态下或者冷却回路通有冷却液的情况下测量绝缘电阻,则周围介质温度指试验时被试样品所在空间的温度或者冷却液的温度。

5.7.2 兆欧表的选用

5.7.2.1 应根据被测绕组(或测量点)的最高工作电压选择兆欧表。

5.7.2.2 当最高工作电压不超过 250 V 时,应选用 500 V 兆欧表,当最高工作电压超过 250 V,但是不高于 1 000 V 时,应选用 1 000 V 兆欧表。

5.7.2.3 测量时,应在兆欧表指针或者显示数值达到稳定后再读取数值。

5.7.3 驱动电机定子绕组对机壳的绝缘电阻

5.7.3.1 如果各绕组的始末端单独引出,则应分别测量各绕组对机壳的绝缘电阻,不参加试验的其他绕组和埋置的检温元件等应与铁芯或机壳作电气连接,机壳应接地。

5.7.3.2 当中性点连在一起而不易分开时,则测量所有连在一起的绕组对机壳的绝缘电阻。

5.7.3.3 测量结束后,每个回路应对接地的机壳作电气连接使其放电。

5.7.4 驱动电机定子绕组对温度传感器的绝缘电阻

5.7.4.1 如果驱动电机埋置有温度传感器,则应分别测量定子绕组与温度传感器之间的绝缘电阻。

5.7.4.2 如果各绕组的始末端单独引出,则应分别测量各绕组对温度传感器的绝缘电阻,不参加试验的其他绕组和埋置的其他检温元件等应与铁芯或机壳作电气连接,机壳应接地。

5.7.4.3 当绕组的中性点连在一起而不易分开时,则测量所有连在一起的绕组对温度传感器的绝缘电阻。

5.7.4.4 测量结束后,每个回路应对接地的机壳作电气连接使其放电。

5.7.5 驱动电机控制器绝缘电阻

5.7.5.1 试验前,控制器与外部供电电源以及负载应分开,不能承受兆欧表高压冲击的电器元件(如半导体整流器,半导体管及电容器等)宜在测量前将其从电路中拆除或短接。

5.7.5.2 试验时,分别测量控制器动力端子与外壳、控制器信号端子与外壳、控制器动力端子与控制器信号端子之间的绝缘电阻,不参加试验的部分应连接接地。

5.7.5.3 测量结束后,每个回路应对接地的部分作电气连接使其放电。

5.8 耐电压

5.8.1 驱动电机绕组的匝间冲击耐电压

5.8.1.1 驱动电机电枢绕组的匝间冲击耐电压(有刷直流驱动电机电枢绕组除外)

按照 GB/T 18488.1—2015 中 5.2.8.1 的规定设置试验参数,并按照 GB/T 22719.1—2008 中 5.2.1、5.2.2 或 5.2.3 规定的连接方式及其相应的试验方法进行试验。

5.8.1.2 驱动电机励磁绕组的匝间冲击耐电压

按照 GB/T 18488.1—2015 中 5.2.8.1 的规定设置试验参数,将冲击试验电压直接施加于励磁绕组的引出线间,与被试绕组相关的未试线圈或绕组的引出线端应短接,并连同铁芯接地。

5.8.1.3 有刷直流驱动电机电枢绕组的匝间冲击耐电压

按照 GB/T 18488.1—2015 中 5.2.8.1 的规定设置试验参数,并采用跨距法或片间法进行试验。试

验时,将冲击试验电压直接施加于换向器片间,电枢轴应接地。

a) 跨距法:

选取跨距内换向片的数目应根据绕组类型和试验设备具体确定,一般推荐5~7片。为了使每一片间都经受一个相同条件的电压试验,推荐逐片进行实验(可根据均压线的连接方式减少试验次数)。

b) 片间法:

依次对换向器上一对相邻换向片进行试验。试验时,若未试线圈中产生高的感应电压,则应在被试换向片两侧的换向片上设置接地装置,并良好接触。

5.8.2 驱动电机绕组对机壳的工频耐电压

5.8.2.1 试验准备

5.8.2.1.1 试验应在工频耐压仪上进行,试验前应做好必要的安全防护措施,并测量绕组的绝缘电阻。除非另有规定,试验应在驱动电机静止状态下进行。

5.8.2.1.2 试验用工频耐压仪的变压器应有足够的容量,如果被试驱动电机绕组的电容较大时,则其额定容量 S_N (kVA) 应大于式(7)的计算值:

$$S_N = 2\pi fCUU_{NT} \times 10^{-3} \dots\dots\dots(7)$$

式中:

- f —— 电源频率,单位为赫兹(Hz);
- C —— 被试驱动电机绕组的电容,单位为法(F);
- U —— 试验电压值,单位为伏(V);
- U_{NT} —— 试验变压器的高压侧额定电压,单位为伏(V)。

5.8.2.2 试验方法

5.8.2.2.1 试验时,电压应施加于绕组和机壳之间,试验电压的频率为工频,电压波形应尽可能接近正弦波形。此时,不参加试验的其他绕组和埋置的检温元件等均应与铁芯或机壳连接,机壳应接地。当电枢绕组各相或各支路始末端单独引出时,应分别进行试验。如果三相绕组的中性点不易分开,三相绕组应同时施加电压。

5.8.2.2.2 按照 GB/T 18488.1—2015 中 5.2.8.2.1 表 1 规定的全值试验电压加载于驱动电机绕组和机壳之间。加载过程中,施加的电压应从不超过试验电压全值的一半开始,然后以不超过全值 5% 的速度均匀地或分段地增加至全值,电压自半值增加至全值的时间应不少于 10 s,全值试验电压应持续 1 min。

5.8.2.2.3 当对批量生产的 5 kW(或 kVA) 及以下电机进行常规试验时,1 min 试验可用约 5 s 的试验代替,试验电压值应符合 GB/T 18488.1—2015 中 5.2.8.2.1 表 1 的要求。也可用 1 s 试验来代替,但试验电压值应为 GB/T 18488.1—2015 中 5.2.8.2.1 表 1 要求的 120%。试验完毕,待电压下降到全值的 1/3 以下时,方可断开电源,并对被试绕组进行放电。

5.8.2.2.4 试验过程中,如果发现电压或漏电流急剧增加、绝缘冒烟或发生响声等异常现象时,应立即降低电压,断开电源,将被试绕组放电后再对绕组进行检查。

5.8.2.2.5 记录试验过程中漏电流的大小。

5.8.3 驱动电机绕组对温度传感器的工频耐电压

5.8.3.1 若驱动电机的温度传感器埋置于定子绕组中,则应进行驱动电机绕组对温度传感器的工频耐电压试验。

5.8.3.2 试验时,将 1 500 V 耐电压全值按照 5.8.2.2 的方法施加于驱动电机绕组与温度传感器之间,驱动电机绕组和其他元件等均应与铁芯或机壳连接,机壳应接地。

5.8.3.3 对于驱动电机绕组中埋置多个温度传感器的情况,则应对每个温度传感器从事耐电压试验。

5.8.3.4 记录试验过程中漏电流的大小。

5.8.4 驱动电机控制器的工频耐电压

5.8.4.1 试验过程中,驱动电机控制器的各个动力端子应短接,各个信号端子应短接。根据 GB/T 18488.1—2015 中表 2 的试验电压要求设置试验电压,按照 5.8.2.2 的试验方法,在驱动电机控制器动力端子与外壳、控制器信号端子与外壳、控制器动力端子与控制器信号端子之间进行试验。对于控制器信号地与外壳短接的情况,不进行控制器信号端子与外壳的耐电压测试。

5.8.4.2 在驱动电机控制器动力端子与外壳,以及控制器信号端子与外壳的耐电压试验过程中,不参加试验的其他端子或部件应与外壳连接,外壳接地。

5.8.4.3 在驱动电机控制器动力端子与控制器信号端子之间的耐电压试验过程中,动力端子和不参加试验的其他元件应与外壳连接,外壳接地。

5.8.4.4 对有些因电磁场感应等情况而导致高电压进入低压电路的部件(如脉冲变压器、互感器等),可在试验前予以隔离或者拔除。

5.8.4.5 记录试验过程中漏电流的大小。

5.9 超速

5.9.1 宜在驱动电机运转一段时间,驱动电机轴承润滑均匀后开始超速试验。

5.9.2 超速试验前应仔细检查驱动电机的装配质量,特别是转动部分的装配质量,应采取相应的防护措施,防止转速升高时有杂物或零件飞出。

5.9.3 超速试验时,对被试驱动电机的控制及对振动、转速和轴承温度等参数的测量应采用远距离测量方法。

5.9.4 超速试验可根据具体情况选用被试驱动电机空载自转或原动机(测功机)拖动法。

a) 采用被试驱动电机空载自转的方法:

试验时,被试驱动电机在驱动电机控制器的控制下,平稳旋转至 1.2 倍最高工作转速,并在此转速点空载运行不低于 2 min。

b) 采用原动机(测功机)拖动法:

被试驱动电机不通电,在原动机(测功机)拖动下平稳旋转至 1.2 倍最高工作转速,并在此转速点空载运行不低于 2 min。

5.9.5 升速过程中,当驱动电机达到额定转速时,应观察电机运转情况,确认无异常现象后,再以适当的速度提高转速,直至规定的转速。

5.9.6 超速试验后应仔细检查驱动电机的转动部分是否有损坏或产生有害的变形,是否出现紧固件松动以及其他不允许的现象。

6 温升试验

6.1 驱动电机绕组电阻的测量

6.1.1 电机绕组的温升宜用电阻法测量。此方法依据试验期间驱动电机绕组的直流电阻随着温度的变化而相应变化的增量来确定绕组的温升。

6.1.2 试验前,按照 5.6 的方法测量驱动电机某一绕组的实际冷态直流电阻(或者试验开始时的绕组直流电阻),如果各相绕组在电机内部连接,那么可以测量某两个出线端之间的直流电阻,并记录绕组温度。

6.1.3 试验时,使驱动电机系统在一定的工作状态下运行,电机断能后立即停机,尽量降低停机过程对

驱动电机绕组温度变化的影响。在断能时刻开始记录时间,并记录冷却介质温度。尽快测量驱动电机绕组的电阻随时间的变化情况,绕组电阻的测量点与试验前的绕组电阻测量点相同。第一个记录时间点应不超过断能时刻 30 s,从第一个记录点开始,最长每隔 30 s 记录一次数据,直至绕组电阻变化平缓为止,记录时间总长度宜不低于 5 min。

6.2 驱动电机绕组温升计算

6.2.1 对于驱动电机绕组是铜绕组的情况,电机断能瞬间的温升由式(8)计算获得:

$$\Delta\theta = \frac{R_0 - R_c}{R_c} (235 + \theta_c) + \theta_c - \theta_0 \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中:

- $\Delta\theta$ —— 驱动电机绕组温升,单位为开尔文(K);
- R_0 —— 驱动电机断能时刻的绕组电阻,单位为毫欧(m Ω);
- R_c —— 驱动电机开始试验前的实际冷态直流电阻,单位为毫欧(m Ω);
- θ_0 —— 驱动电机断能时刻冷却介质的温度,单位为摄氏度($^{\circ}$ C);
- θ_c —— 对应实际冷态电阻测定时刻的绕组温度,单位为摄氏度($^{\circ}$ C)。

6.2.2 对于驱动电机绕组是铜以外的其他材料,应采用该材料在 0 $^{\circ}$ C 时的电阻温度系数的倒数来代替式(8)中的数值 235,对于铝质绕组,除另有规定外,应采用 225。

6.3 冷却介质温度的测定

6.3.1 对采用周围环境空气或气体冷却的驱动电机(开启式电机或无冷却器的封闭式电机),环境空气或气体的温度应采用不少于 4 个测温计测量,测温计应分布在驱动电机周围不同的地点,测点距离驱动电机 1 m~2 m,测点高度位于驱动电机高度 1/2 位置,并防止一切辐射和气流的影响。多个测温计读数的平均值作为当前温度。

6.3.2 采用强迫通风或具有闭路循环风冷系统的驱动电机,应在驱动电机进风口处测量冷却介质温度。

6.3.3 采用液体冷却的驱动电机,应取冷却液进口处作为绕组冷却介质的温度。

6.3.4 试验结束时的冷却介质温度,应取断能时刻的冷却介质温度。

6.4 驱动电机断能时刻绕组电阻的外推计算方法

6.4.1 利用 6.1 测量得到的驱动电机断能后绕组电阻随时间的变化数据,绘制电阻与时间关系曲线,绘制曲线时,推荐采用半对数坐标,电阻标在对数坐标上,并在坐标图中将此曲线外推至驱动电机断能时刻,所获得的电阻即为驱动电机断能时刻的电阻。

6.4.2 如果驱动电机停止转动后测得的电阻连续上升,则应以测得电阻的最高值作为断能时刻的电阻。

6.4.3 通过外推法获得驱动电机断能时刻的电阻值,利用式(8)获得驱动电机断能时刻的绕组温升。

6.4.4 如果驱动电机断能后第一次测量得到绕组电阻读数的时间超过断能时刻 30 s,则本部分规定的方法只有在制造商与用户取得协议后才能采用。

7 输入输出特性试验

7.1 工作电压范围

7.1.1 台架试验时,将驱动电机系统的直流母线电压分别设定在最高工作电压处和最低工作电压处,在不同工作电压下,测试在不同工作转速下的最大工作转矩,记录稳定的转速和转矩数值。

7.1.2 在驱动电机系统转速范围内的测量点数不少于 10 个,绘制转速-转矩特性曲线,检查转矩输出是否能符合产品技术文件的规定。

7.2 转矩-转速特性及效率

7.2.1 测试点的选取

7.2.1.1 转速测试点的选取

试验时,在驱动电机系统工作转速范围内一般取不少于 10 个转速点,最低转速点宜不大于最高工作转速的 10%,相邻转速点之间的间隔不大于最高工作转速的 10%。测试点选择时应包含必要的特征点,如:

- 额定工作转速点;
- 最高工作转速点;
- 持续功率对应的最低工作转速点;
- 其他特殊定义的工作点等。

7.2.1.2 转矩测试点的选取

在驱动电机系统电动或馈电状态下,在每个转速点上一般取不少于 10 个转矩点,对于高速工作状态,在每个转速点上选取的转矩点数可以适当减少,但不宜低于 5 个。测试点选择时应包含必要的特征点,如:

- a) 持续转矩数值处的点;
- b) 峰值扭矩(或最大转矩)数值处的点;
- c) 持续功率曲线上的点;
- d) 峰值功率(或最大功率)曲线上的点;
- e) 其他特殊定义的工作点等。

7.2.2 测量参数的选择

试验时,根据试验目的,在相关的测试点处可以全部或者部分选择测量下列数据:

- a) 驱动电机控制器直流母线电压和电流;
- b) 驱动电机的电压、电流、频率及电功率;
- c) 驱动电机的转矩、转速及机械功率;
- d) 驱动电机、驱动电机控制器或驱动电机系统的效率;
- e) 驱动电机电枢绕组的电阻和温度;
- f) 冷却介质的流量和温度;
- g) 其他特殊定义的测量参数等。

7.2.3 试验方法

7.2.3.1 测量仪表应具有足够准确度,但不能低于 4.2.1 的要求。

7.2.3.2 非特殊说明,宜使用测功机或具备测功机功能的设备作为负载,被试驱动电机系统应处于热工作状态,驱动电机控制器的直流母线工作电压为额定电压。

7.2.3.3 试验时,可以根据试验目的设置试验条件,驱动电机系统可以在实际冷状态或者热状态条件下试验,驱动电机控制器的直流母线电压可以设置在最高工作电压、最低工作电压、额定工作电压或其他工作电压处,试验的转速和转矩可以是一个工作点,也可以是一条特性曲线或者全部工作区,必要时,需要在试验报告中记录相应的试验条件。

7.2.3.4 试验时,驱动电机控制器输入输出功率可以通过测量驱动电机控制器输入或输出的电压和电流计算获得,测量时,电压和电流的测量点应在驱动电机控制器靠近接线端子处。控制器输入功率和输出功率也可以使用功率表直接测量获得。

7.2.3.5 一般情况下,驱动电机控制器和驱动电机之间的电力传输线缆不会对测量结果产生明显影响,如果线缆的长度或阻抗严重影响到了被试系统的工作特性,则需要调整线缆,或者对测量结果予以修正,以避免或减少影响。

7.2.3.6 试验过程中,为保证测量的精度,驱动电机的工作转矩和转速宜直接在驱动电机轴端测量,此时,驱动电机轴端和转矩转速测量设备之间应是刚性连接;如果可以忽略联轴装置的传动效率和中间的风磨损耗,也可以在驱动电机轴端与转矩转速测量设备之间放置联轴环节,此时,转速转矩测量设备的读数即为驱动电机轴端的输出值。

7.2.3.7 对于需要考虑到联轴装置的传动效率和试验过程中的风磨损耗的情况,参照附录 A 的方法对试验结果进行修正。

7.2.3.8 试验过程中,应防止被试驱动电机系统过热而影响测量的准确性,必要时,转矩-转速特性曲线可以分段测量。

7.2.4 效率的测量

7.2.4.1 驱动电机控制器效率

7.2.4.1.1 驱动电机控制器效率分为驱动电机系统电动状态时控制器的效率和驱动电机系统馈电状态时控制器的效率,其值应根据驱动电机控制器输入功率和输出功率的比值计算确定。

7.2.4.1.2 驱动电机控制器效率按式(9)计算:

$$\eta_c = \frac{P_{co}}{P_{ci}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(9)$$

式中:

- η_c ——驱动电机控制器效率(%);
- P_{co} ——驱动电机控制器输出功率,单位为千瓦(kW);
- P_{ci} ——驱动电机控制器输入功率,单位为千瓦(kW)。

7.2.4.2 驱动电机效率

7.2.4.2.1 驱动电机效率分为驱动电机系统电动状态时的效率和驱动电机系统馈电状态时的效率,其值应根据驱动电机输入功率和输出功率的比值确定。

7.2.4.2.2 驱动电机效率按式(10)计算:

$$\eta_m = \frac{P_{mo}}{P_{mi}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(10)$$

式中:

- η_m ——驱动电机效率(%);
- P_{mo} ——驱动电机输出功率,单位为千瓦(kW);
- P_{mi} ——驱动电机输入功率,单位为千瓦(kW)。

7.2.4.3 驱动电机系统效率

7.2.4.3.1 将驱动电机系统一并在试验台架上进行试验,根据驱动电机系统输入输出参数的测量和计算获得驱动电机系统的效率。

7.2.4.3.2 驱动电机系统处于电动工作状态时,输入功率为驱动电机控制器直流母线输入的电功率,输出功率为驱动电机轴端的机械功率,驱动电机系统电动工作状态下的效率按式(11)求取:

$$\eta = \frac{T \times n}{9.55 U \times I} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(11)$$

7.2.4.3.3 驱动电机系统处于馈电工作状态时,输入功率为驱动电机轴端的机械功率,输出功率为驱动电机控制器直流母线输出的电功率,驱动电机系统馈电工作状态下的效率按式(12)求取:

$$\eta = \frac{9.55 U \times I}{T \times n} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(12)$$

式中:

- η —— 驱动电机系统的效率(%);
- n —— 驱动电机转速,单位为转每分钟(r/min);
- T —— 驱动电机轴端转矩,单位为牛米(N·m);
- U —— 驱动电机控制器直流母线电压平均值,单位为伏(V);
- I —— 驱动电机控制器直流母线电流平均值,单位为安培(A)。

7.2.5 关键特征参数的测量

7.2.5.1 持续转矩

7.2.5.1.1 除非特殊说明,试验过程中,驱动电机控制器直流母线电压设定为额定电压,驱动电机系统可以工作于电动或馈电状态。

7.2.5.1.2 试验时,使驱动电机系统工作于 GB/T 18488.1—2015 中 5.4.3 规定的转矩和转速条件下,利用 7.2.3 的方法从事试验和测量,驱动电机系统应能够长时间正常工作,并且不超过驱动电机的绝缘等级和规定的温升限值。

7.2.5.2 持续功率

按照 7.2.5.1 获得的持续转矩和相应的工作转速,利用式(13)即可计算获得驱动电机在相应工作点的持续功率。

$$P_m = \frac{T \times n}{9\ 550} \quad \dots\dots\dots(13)$$

式中:

- P_m —— 驱动电机轴端的持续功率,单位为千瓦(kW)。

7.2.5.3 峰值转矩

7.2.5.3.1 可以在驱动电机系统实际冷态下进行峰值转矩试验。除非特殊说明,试验过程中,驱动电机控制器直流母线电压设定为额定电压,驱动电机系统可以工作于电动或馈电状态。

7.2.5.3.2 试验时,使驱动电机系统工作于 GB/T 18488.1—2015 中 5.4.5 规定数值的峰值转矩、转速和持续时间等条件下,利用 7.2.3 的方法从事试验和测量,同时记录试验持续时间。驱动电机系统应能够正常工作,并且不超过驱动电机的绝缘等级和规定的温升限值。

7.2.5.3.3 如果需要多次从事峰值转矩的测量,宜将驱动电机恢复到实际冷态时,再进行第二次试验测量。

7.2.5.3.4 如果用户或制造商同意,可以在不降低试验强度的情况下,允许驱动电机没有恢复到冷态时开始第二次试验测量。如果这样调整后,试验测量得到的温升值和温度值较大,或者超过了相关的限值要求,则不应做这样的调整,以确保试验结果的准确性。

7.2.5.3.5 峰值转矩试验持续时间可以按照用户或制造商的要求进行,建议制造商提供驱动电机系统能够持续 1 min 或 30 s 工作时的峰值转矩作为参考,并进行试验测量。

7.2.5.3.6 作为峰值转矩的一种特殊情况,可以试验驱动电机系统在每个转速工作点的最大转矩,试验过程中,在最大转矩处的试验持续时间可以很短,一般情况下远低于 30 s。根据试验数据,绘制驱动电机系统转速-最大转矩曲线。

7.2.5.4 峰值功率

按照 7.2.5.3 获得的峰值转矩和相应的工作转速,利用式(13)即可计算获得驱动电机系统在相应工作点的峰值功率,峰值功率应与试验持续时间相对应。

7.2.5.5 堵转转矩

7.2.5.5.1 除非特殊说明,试验过程中,驱动电机控制器直流母线电压设定为额定电压。

7.2.5.5.2 试验时,应将驱动电机转子堵住,驱动电机系统工作于实际冷状态下,通过驱动电机控制器为驱动电机施加所需的堵转转矩,记录堵转转矩和堵转时间。

7.2.5.5.3 改变驱动电机定子和转子的相对位置,沿圆周方向等分取 5 个堵转点,分别重复以上试验,每次重复试验前,宜将驱动电机恢复到实际冷状态。每次堵转试验的堵转时间应相同。

7.2.5.5.4 取 5 次测量结果中堵转转矩的最小值作为该驱动电机系统的堵转转矩。

7.2.5.6 最高工作转速

7.2.5.6.1 试验过程中,驱动电机控制器直流母线电压设定为额定电压,驱动电机系统宜处于热工作状态。

7.2.5.6.2 试验时,匀速调节试验台架,使驱动电机的转速升至最高工作转速,并施加不低于产品技术文件规定的负载,驱动电机系统工作稳定后,在此状态下的持续工作时间应不少于 3 min。

7.2.5.6.3 按照 7.2.3 的方法进行试验测量,每 30 s 记录一次驱动电机的输出转速和转矩。必要时,可以参照附录 A 的方法对转矩试验结果予以修正。

7.2.5.7 高效工作区

7.2.5.7.1 在驱动电机系统转速转矩的工作范围内,按照 7.2.1 选择试验测试点,测试点应分布均匀,并且数量不宜低于 100 个。

7.2.5.7.2 按照 7.2.3 的方法,被试驱动电机系统应达到热工作状态,驱动电机控制器的直流母线工作电压为额定电压,驱动电机系统可以工作于电动或馈电状态。

7.2.5.7.3 在不同的转速和不同的转矩点进行试验,根据需要记录驱动电机轴端的转速、转矩,以及驱动电机控制器直流母线电压和电流、交流电压和电流等参数,必要时,可以参照附录 A 的方法对转矩予以修正。

7.2.5.7.4 按照 7.2.4 的方法计算各个试验点的效率。

7.2.5.7.5 按照 GB/T 18488.1—2015 中 5.4.9.2 对高效工作区的要求,统计符合条件的测试点数量,其值和总的试验测试点数量的比值,即为高效工作区的比例。

7.2.5.7.6 鼓励通过对试验和计算数据拟合等方式获得驱动电机、驱动电机控制器或驱动电机系统的高效工作区。

7.2.5.8 最高效率

7.2.5.8.1 可以按照以下两种方式之一选择测试点:

- a) 按照制造商或产品技术文件提供的最高效率工作点进行测试;
- b) 结合 7.2.5.7 高效工作区试验进行,选择所有测试点中效率最高值即视为最高效率。

7.2.5.8.2 按照 7.2.3 的试验方法,被试驱动电机系统应达到热工作状态,驱动电机控制器的直流母线

工作电压为额定电压,驱动电机系统可以工作于电动或馈电状态。

7.2.5.8.3 驱动电机系统工作于试验测试点,记录转速、转矩和电压、电流,以及冷却条件等参数,必要时,可以参照附录 A 的方法对相关数据进行修正。

7.2.5.8.4 按照 7.2.4 的方法计算试验点的效率。

7.3 控制精度

7.3.1 转速控制精度

7.3.1.1 试验时,驱动电机控制器直流母线电压宜设定为额定电压,驱动电机系统宜处于空载、热态、电动工作状态。

7.3.1.2 对具有转速控制功能的驱动电机系统,在 10%~90%最高工作转速范围内,均匀取 10 个不同的转速点作为目标值。按照某一转速目标值设定驱动电机控制器或上位机软件,驱动电机由静止状态直接旋转加速,并至转速稳定状态,此过程中不对驱动电机控制器或上位机软件做任何调整,记录驱动电机稳定后的实际转速,并计算实际转速与目标转速的差值,或者实际转速与目标转速的偏差占目标转速值的百分数,此值即为这一转速目标值对应的转速控制精度。

7.3.1.3 对每一个转速目标值均进行以上试验,选取转速控制精度中的误差最大值,作为驱动电机系统的转速控制精度。

7.3.1.4 对于无转速控制功能的驱动电机系统,不进行该项试验。

7.3.2 转矩控制精度

7.3.2.1 试验时,驱动电机控制器直流母线电压宜设定为额定电压,驱动电机系统宜处于热态、电动工作状态。

7.3.2.2 对具有转矩控制功能的驱动电机系统,在设定转速条件下的 10%~90%峰值转矩范围内,均匀取 10 个不同的转矩点作为目标值。按照某一转矩目标值设定驱动电机控制器或上位机软件,驱动电机输出由零转矩直接工作至转矩和转速稳定状态,此过程中不对驱动电机控制器或上位机软件做任何调整,记录驱动电机系统的实际转矩值,并计算实际转矩值与目标转矩的差值,或者实际转矩与目标转矩的偏差占目标转矩值的百分数,此值即为在特定转速条件下,这一转矩目标值对应的转矩控制精度。

7.3.2.3 对每一个转矩目标值均进行以上试验,选取转矩控制精度中的误差最大值,即为特定转速条件下驱动电机系统的转矩控制精度。

7.3.2.4 加载过程中,驱动电机的工作转速会发生变化,其设定转速可以由测功机设定并控制。

7.3.2.5 对于无转矩控制功能的驱动电机系统,不进行该项试验。

7.4 响应时间

7.4.1 转速响应时间

7.4.1.1 试验时,驱动电机控制器直流母线电压宜设定为额定电压,驱动电机系统宜处于空载、热态、电动工作状态。

7.4.1.2 对具有转速控制功能的驱动电机系统,按照转速期望值设定驱动电机控制器或上位机软件,驱动电机由静止状态直接旋转加速,此过程中不对驱动电机控制器或上位机软件做任何调整,记录驱动电机控制器从接受到转速期望指令信息开始至第一次达到规定容差范围的期望值所经过的时间。

7.4.1.3 试验时,应改变驱动电机定子和转子的相对起始位置,沿圆周方向等分取 5 个点,在同一转速期望值条件下分别重复以上试验,取 5 次测量结果中记录时间的最大值作为驱动电机系统对该转速期望值的转速响应时间。

7.4.1.4 对于无转速控制功能的驱动电机系统,不进行该项试验。

7.4.2 转矩响应时间

7.4.2.1 试验时,驱动电机控制器直流母线电压宜设定为额定电压,驱动电机系统宜处于堵转、热态、电动工作状态。

7.4.2.2 对具有转矩控制功能的驱动电机系统,在堵转状态下,按照转矩期望值设定驱动电机控制器或上位机软件,对电机进行转矩控制,使驱动电机输出转矩从零快速增大,此过程中不对驱动电机控制器或上位机软件做任何调整,记录驱动电机控制器从接收到转矩期望指令信息开始至第一次达到规定容差范围的期望值所经过的时间。

7.4.2.3 试验时,应改变驱动电机定子和转子的相对起始位置,沿圆周方向等分取 5 个点,在同一转矩期望值条件下分别重复以上试验,取 5 次测量结果中记录时间的最大值作为该驱动电机系统对该转矩期望值的转矩响应时间。

7.4.2.4 对于无转矩控制功能的驱动电机系统,不进行该项试验。

7.5 驱动电机控制器工作电流

7.5.1 试验方法

7.5.1.1 驱动电机控制器与对应的驱动电机连接后一并进行台架试验,组成的驱动电机系统可以工作于电动或馈电状态。

7.5.1.2 试验时,按照制造商或者产品技术文件的规定设置台架试验条件,如驱动电机控制器直流母线电压、驱动电机工作转速和转矩、试验持续时间等,驱动电机系统应能够在规定的试验时间内正常稳定的工作,并且不超过驱动电机的绝缘等级和规定的温升限值。

7.5.1.3 按照 7.2.3 的方法测量驱动电机控制器工作电流的均方根值。

7.5.2 驱动电机控制器持续工作电流

在一定的台架试验条件下,驱动电机系统如果能够长时间持续稳定工作,此时测量得到的电流为驱动电机控制器持续工作电流。

7.5.3 驱动电机控制器短时工作电流

按照制造商或者产品技术文件的规定,通过改变台架试验条件增大驱动电机控制器的工作电流,使得驱动电机系统能够在较短的时间内正常稳定工作,此时测量得到的电流为驱动电机控制器在对应工作时间内的短时工作电流,驱动电机控制器短时工作电流的持续时间宜不低于 30 s。

7.5.4 驱动电机控制器最大工作电流

按照制造商或者产品技术文件的规定,改变台架试验条件进一步增大驱动电机控制器的工作电流,试验持续时间可以很短,一般情况下远低于 30 s,此时测量得到的电流为驱动电机控制器最大工作电流。

7.6 馈电特性

7.6.1 第 6 章、7.2.1、7.2.2、7.2.3 中的温升计算方法、测量点的选择、测量参数和试验方法等,同样适用于馈电特性试验过程。

7.6.2 试验时,被试驱动电机系统由原动机(测功机)拖动,处于馈电状态,根据试验目的和测量参数的

不同,驱动电机控制器工作于设定的直流母线电压条件下,驱动电机在相应的工作转速和转矩负载下进行馈电试验。

7.6.3 记录馈电状态时驱动电机控制器的直流母线电压、直流母线电流、驱动电机各相的交流电压、交流电流,以及驱动电机轴端的转速和转矩等参数,同时计算获得功率、馈电效率等数值,绘制相关曲线。

7.6.4 必要时,应参照附录 A 对试验结果进行修正。

8 安全性试验

8.1 安全接地检查

接地检查方法和量具要求按照 GB/T 13422—2013 中 5.1.3 进行,测量被试驱动电机系统相应的接地电阻。量具推荐采用毫欧表。

8.2 控制器保护功能

按照 GB/T 3859.1—2013 中 7.5.3 的要求进行。

8.3 驱动电机控制器支撑电容放电时间

8.3.1 被动放电时间

试验时,直流母线电压应设定为最高工作电压,电压稳定后,立即切断直流供电电源,同时利用电气测量仪表测取驱动电机控制器支撑电容两端的开路电压。试验期间,驱动电机控制器不参与任何工作。记录支撑电容开路电压从切断时刻直至下降到 60 V 经过的时间,此数值即为驱动电机控制器支撑电容的被动放电时间。

8.3.2 主动放电时间

对于具有主动放电功能的驱动电机控制器,试验时,直流母线电压应设定为最高工作电压,电压稳定后,立即切断直流电源,并且驱动电机控制器参与放电过程,利用电气测量仪表测取驱动电机控制器支撑电容两端的开路电压,记录支撑电容开路电压从切断时刻直至下降到 60 V 经过的时间,此数值即作为驱动电机控制器支撑电容的主动放电时间。

9 环境适应性试验

9.1 低温试验

9.1.1 进行低温贮存试验时,将驱动电机和驱动电机控制器正确连接,按照 GB/T 2423.1—2008 的规定,放入低温箱内,使箱内温度降至 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$,并保持 2 h,试验过程中,驱动电机系统处于非通电状态,对于液冷式驱动电机及驱动电机控制器,不通入冷却液。低温贮存 2 h 后,按照 5.7 的方法在低温箱内复测绝缘电阻,复测绝缘电阻期间,低温箱内的温度应保持在 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

9.1.2 低温贮存 2 h 后,低温箱内的温度继续保持在 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$,在低温箱内为驱动电机系统通电,检查能否正常空载启动。对于液冷式驱动电机及驱动电机控制器,若要求在启动过程中通入冷却液,冷却液的成分、温度及流量按照产品技术文件规定。

9.1.3 试验结束,按照 GB/T 2423.1—2008 的规定恢复常态后,将驱动电机控制器直流母线工作电压设定为额定电压,驱动电机工作于持续转矩、持续功率条件下,检查系统能否正常工作。

9.2 高温试验

9.2.1 进行高温贮存试验时,将驱动电机和驱动电机控制器放入高温箱内,按照 GB/T 2423.2—2008 的规定,使箱内温度升至 85 °C,并保持 2 h,试验过程中,驱动电机系统处于非通电状态,对于液冷式驱动电机及驱动电机控制器,不通入冷却液。高温贮存 2 h 后,检查驱动电机轴承内的油脂是否有外溢,同时按照 5.7 的方法在高温箱内复测绝缘电阻,复测绝缘电阻期间,高温箱内的温度应保持在 85 °C。

9.2.2 高温贮存 2 h,按照 GB/T 2423.2—2008 的规定恢复常态后,将驱动电机控制器直流母线工作电压设定为额定电压,驱动电机工作于持续转矩、持续功率条件下,检查系统能否正常工作。

9.2.3 进行高温工作试验时,将驱动电机和驱动电机控制器正确连接,按照 GB/T 2423.2—2008 的规定,放入高温箱内,按照 GB/T 18488.1—2015 中 5.6.2.2 的要求设置高温箱内的试验环境温度,驱动电机控制器直流母线工作电压设定为额定电压,驱动电机工作于持续转矩、持续功率条件下,检查驱动电机系统能否正常工作 2 h。对于液冷式驱动电机及驱动电机控制器,应在试验过程中通入冷却液,冷却液的成分、温度及流量按照产品技术文件规定。高温工作 2 h 后,按照 5.7 的方法在高温箱内复测绝缘电阻,复测绝缘电阻期间,高温箱内的温度应继续保持不变。

9.2.4 高温工作试验完成后,被试样品应按照 GB/T 2423.2—2008 的规定恢复常态。

9.3 湿热试验

9.3.1 将驱动电机和驱动电机控制器放入温度为 (40 ± 2) °C、相对湿度为 90%~95%的试验环境条件下,保持 48 h,试验过程中,驱动电机系统处于非通电状态,对于液冷式驱动电机及驱动电机控制器,不通入冷却液。48 h 后,按照 5.7 的方法复测绝缘电阻,复测绝缘电阻期间,试验环境条件应继续保持不变。

9.3.2 试验结束恢复常态后,将驱动电机控制器直流母线工作电压设定为额定电压,驱动电机工作于持续转矩、持续功率条件下,检查系统能否正常工作。

9.4 耐振动

9.4.1 试验时,将被试样品固定在振动试验台上并处于正常安装位置,在不工作状态下进行试验,同时应与产品连接的软管、插接器或其他附件安装并固定好。

9.4.2 进行扫频振动试验时,按照 GB/T 18488.1—2015 中 5.6.4.1.1 的要求设置严酷度等级,并按照 GB/T 2423.10—2008 的规定进行试验。

9.4.3 进行随机振动试验时,按照 GB/T 18488.1—2015 中 5.6.4.2.1 的要求设置严酷度等级,并按照 GB/T 28046.3—2011 的规定进行试验。

9.4.4 振动试验完成后,检查零部件是否损坏,紧固件是否松脱。恢复常态后,将驱动电机控制器直流母线工作电压设定为额定电压,驱动电机工作于持续转矩、持续功率条件下,检查系统能否正常工作。

9.5 防水、防尘

按照 GB/T 4942.1—2006 和 GB 4208—2008 中所规定的方法进行试验。

9.6 盐雾

9.6.1 按照 GB/T 2423.17—2008 的规定进行盐雾试验。驱动电机及驱动电机控制器在盐雾箱内应处于正常安装状态,试验周期应满足 GB/T 18488.1—2015 中 5.6.6 的要求。

9.6.2 试验结束后,驱动电机及驱动电机控制器恢复 1 h~2 h 后,将驱动电机控制器直流母线工作电

压设定为额定电压,驱动电机工作于持续转矩、持续功率条件下,检查系统能否正常工作,但不考核驱动电机及驱动电机控制器的外观。

9.7 电磁兼容性

电磁辐射骚扰试验和电磁辐射抗扰性试验应按照制造商或者用户提供的试验方法从事试验。

10 可靠性试验

按照 GB/T 29307—2012 的规定进行试验。

附录 A

(资料性附录)

驱动电机系统工作转矩测量结果的修正方法

A.1 风摩擦转矩

试验过程中,由于转矩转速测量设备与驱动电机主轴的连接位置和精度关系以及机械传动效率等原因,会产生风摩擦损耗,在驱动电机系统电动试验过程中,风摩擦转矩 T_{fw} 按式(A.1)计算:

$$T_{fw} = \frac{9.55(P_1 - P_0)}{n_t} - T_d \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

P_1 ——被试驱动电机系统驱动测功机时的输入电功率,单位为瓦(W),此时,测功机不通电,处于自由旋转状态;

P_0 ——被试驱动电机系统的空载输入电功率,单位为瓦(W);

n_t ——风摩擦转矩试验时被试电机的转速,单位为转每分钟(r/min);

T_d ——风摩擦转矩试验时测功设备(或转矩转速测量设备)测量显示的转矩,单位为牛米(N·m)。

A.2 工作转矩的修正

在驱动电机系统电动试验过程中,被试驱动电机修正后的输出转矩 T_c (N·m)按式(A.2)计算:

$$T_c = T_t + T_{fw} \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

在驱动电机系统馈电试验过程中,被试驱动电机修正后的输入转矩 T_r (N·m)按式(A.3)计算:

$$T_r = T_t - T_{fw} \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

式中:

T_t ——测功机显示的被试驱动电机输出转矩,单位为牛米(N·m)。

需要注意的是,式(A.1)、式(A.2)和式(A.3)的获得具有一定的前提条件。假设驱动电机系统在风摩擦试验时,不论是电动状态还是馈电状态,其系统的损耗保持不变,从而获得式(A.1)的结果;同时,假定驱动电机系统在不同的工作转速和工作转矩条件下,风摩擦损耗保持不变,从而可以获得式(A.2)和式(A.3)的结果。

鼓励用户或制造商根据实际需要制定更加科学合理的修正方法。