

(修订本)

江钟衍 编

# 异步电动机试验 及其质量分析

机械工业出版社

# 异步电动机试验及其 质量分析

(修订本)

江钟衍 编



机械工业出版社

## 内 容 提 要

本书主要介绍异步电动机的工业试验及其产品质量的分析判断。内容包括试验目的和依据,成品和半成品试验的方法、操作技巧、设备、原理和数据处理,产品的机械检查与噪声、振动测定,大型、湿热带型和起重冶金用电机的试验特点,各种产品质量问题的产生原因和改进途径,测量技术。

本书可供从事电机试验、制造与维修工作的工人和技术人员参考,也可供电机专业的大专学生参考。

## 异步电动机试验及其质量分析

(修订本)

江钟衍 编

责任编辑 顾永康

\*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

重庆印制一厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

\*

开本 787×1092  $\frac{1}{32}$  · 印张 11 $\frac{1}{8}$  · 字数 247 千字

1977年10月北京第一版

1985年4月重庆第二版 · 1985年4月重庆第二次印刷

印数 00,001—10,500 · 定价 1.80 元

\*

科技新书目: 93—123

统一书号: 15033·4405

2525/22

## 再 版 前 言

本书于1977年10月第一次出版，受到广大读者欢迎。由于电机工业的发展和测试方法及标准的不断更新，有必要进行修订。这次修订再版，主要对本书第一、四、五章进行了充实、改写，对第三章内容也作了相应修改，书后增写了附录。

本书主要供电机试验人员和质量管理参考，对设计和工艺人员了解制造质量对产品性能和使用可靠性的影响，对维修人员借助试验来分析电机故障，对大专学生熟悉电机测试性能，也会有所帮助。

本书是在高庆荣工程师热情指导下，根据湘潭电机厂的实践经验及有关国家标准编写而成。兰州电源车辆研究所、湘潭电机厂、上海电器科学研究所和无锡发电设备厂，对编写本书曾给予大力支持。姜尔修高级工程师与张国华工程师对本书提了许多宝贵意见。在此表示衷心感谢！

本人水平有限，恳请读者对本书的不足之处批评指正。

# 目 录

## 再版前言

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 第一章 试验目的和依据 .....            | 1   |
| 1-1 试验依据 .....               | 1   |
| 1-2 试验目的和项目 .....            | 2   |
| 1-3 异步电动机的质量特性 .....         | 6   |
| 第二章 半成品试验及产品机械检查 .....       | 16  |
| 2-1 三相电流平衡试验 .....           | 16  |
| 2-2 半成品耐压试验 .....            | 19  |
| 2-3 高压线圈电晕起始电压与介质损耗角测定 ..... | 30  |
| 2-4 半成品匝间绝缘试验 .....          | 32  |
| 2-5 冲片漆膜绝缘电阻测定 .....         | 39  |
| 2-6 铸铝转子质量检查 .....           | 41  |
| 2-7 铁耗试验 .....               | 43  |
| 2-8 总装检查 .....               | 48  |
| 2-9 空转检查 .....               | 63  |
| 2-10 振动测定 .....              | 72  |
| 2-11 噪声测定 .....              | 83  |
| 第三章 成品试验 .....               | 101 |
| 3-1 绝缘电阻测定 .....             | 101 |
| 3-2 绕组直流电阻测定 .....           | 105 |
| 3-3 转子开路电压测定 .....           | 110 |
| 3-4 空载试验 .....               | 113 |
| 3-5 短路试验 .....               | 122 |
| 3-6 超速试验 .....               | 134 |

|      |                         |     |
|------|-------------------------|-----|
| 3-7  | 匝间绝缘试验 .....            | 137 |
| 3-8  | 耐压试验 .....              | 140 |
| 3-9  | 温升试验 .....              | 141 |
| 3-10 | 负载试验 .....              | 163 |
| 3-11 | 短时过转矩试验 .....           | 169 |
| 3-12 | 最大转矩和最小转矩测定 .....       | 170 |
| 3-13 | 杂散损耗测定 .....            | 193 |
| 3-14 | 起重及冶金用异步电动机的试验特点 .....  | 203 |
| 3-15 | 大型电机的试验特点 .....         | 214 |
| 3-16 | 变极多速异步电动机的试验特点 .....    | 228 |
| 3-17 | 湿热带型电机的试验特点 .....       | 230 |
| 3-18 | 异步电动机检修试验的特点 .....      | 240 |
| 第四章  | 异步电机制造质量问题分析 .....      | 248 |
| 4-1  | 力能特性 .....              | 248 |
| 4-2  | 运行特性 .....              | 260 |
| 4-3  | 温升 .....                | 266 |
| 4-4  | 机械故障 .....              | 375 |
| 4-5  | 电气故障 .....              | 289 |
| 4-6  | 噪声和振动 .....             | 297 |
| 第五章  | 测量技术 .....              | 307 |
| 5-1  | 异步电动机试验的测量线路 .....      | 307 |
| 5-2  | 带电测量定子绕组电阻 .....        | 319 |
| 5-3  | 转差率测量 .....             | 323 |
| 5-4  | 风量测量 .....              | 330 |
| 5-5  | 转矩测量 .....              | 334 |
| 附录   | 异步电动机检查试验参数容许值的计算 ..... | 340 |

# 第一章 试验目的和依据

## 1-1 试验依据

在电机制造过程中，为鉴定产品及其零部件质量是否全面符合标准要求而进行的电气试验，称为电机工业试验。

产品必须多方面具备用户需要的质量特性，才具有使用价值，企业的生产才能产生预期的社会效益。产品标准对体现产品适用性、可靠性和经济性的各种质量特性，作了明确规定，对每一质量特性也规定了相应的试验项目和试验方法。标准是测试、评价产品质量的依据。

三相异步电动机工业试验的主要依据是：“GB755-81电机基本技术要求”，“GB1032-68中小型三相异步电动机试验方法”和相应产品的技术条件。

“GB755-81电机基本技术要求”规定了各种类型电机的运行条件、工作方式和定额、基本性能和技术要求、试验项目、铭牌标志和保用期限。

“GB1032-68中小型三相异步电动机试验方法”，对异步电动机的工业试验作了原则指导。为了统一考核产品质量的试验方法，它规定了对测量仪器的要求、电机的试验状况、各项试验的基本方法、试验结果的数据处理以及必要的试验程序和规则。

产品技术条件是设计、制造、验收和选用产品的直接依据，它对某一系列的电机作了如下具体规定：产品用途和品种规格，产品的正常工作条件、工作方式及基本额定参数，产品的冷却方式、防护等级、安装型式、安装尺寸和机械精

度；产品的性能指标及其容差，安全运转和环境保护方面的技术要求；产品的检验规则和试验项目；产品标志、包装和运输方面的要求。

产品标准是某一历史时期对产品质量的最低要求。产品质量、品种和制造成本之间的矛盾，产品各项质量指标之间的矛盾，在制订标准时已根据国家的技术政策、资源条件和科学技术水平，经过综合经济分析和技术协调后取得统一。因此，按标准来测试、验收产品，也是经济合理、切实可行的。实际上，许多企业为了增强产品在国内外市场的竞争能力，还根据高于现行国家标准、部颁标准或国际通用标准的企业内控标准，来测试、验收优质产品。

在保证产品性能、寿命、安全、安装、维修的前提下，工厂中的各种技术文件，如产品图纸、检验规范、订货协议等，也可作为电机工业试验的参考依据。

## 1-2 试验目的和项目

电机工业试验包括半成品试验、检查试验和型式试验。

### 一、半成品试验

根据制造厂有关技术文件的规定，电机的重要零部件在成品装配前所作的试验，称为半成品试验。

半成品试验的任务是及时发现并排除零部件的缺陷，预防不合格品混入下道工序，避免零部件装配后再返工，浪费材料和工时，影响生产计划和按期交货；预防内在质量存在隐患的零部件装入整机，影响电机的性能、安全或寿命。

半成品试验的项目和要求，是根据多快好省的原则，对下列因素作综合的技术经济分析后，由制造厂自行确定：产



品的结构特点和工艺稳定性；影响电机性能和寿命的一些零部件缺陷，能否在成品检查试验中发现；试验工作量；不进行试验而产生的废次品漏网率及其危害程度；零部件的材质、尺寸、外观检查，或工艺参数、设备和工艺装备精度检查，是否足以判别其内在质量。

各种类型的异步电机定、转子绕组，在接线后、浸漆前都要进行耐压试验。高压电机定子线圈在嵌线以前就应作耐压试验，额定电压为6000伏及以上的定子线圈，还要抽测介质损耗角和电晕起始电压。绕线型电机的套筒式集电环，在压入转轴前应作对地及相间耐压试验；塑料压制的集电环需抽作相间耐压试验。

高压电机定子线圈在嵌线前都要作匝间绝缘试验。低压电机混绕嵌入式绕组，在嵌线后、浸漆前应尽可能作匝间绝缘试验。转子杆形波绕组每槽只有两匝，无必要作匝间绝缘试验。

混绕嵌入式定、转子绕组，在接线后应作三相电流平衡试验，或在嵌线前作匝数测定，接线后作直流电阻测定。定子模成硬绕组可只作线圈截面尺寸和绕组接线检查。转子杆形波绕组宜在接线后作直流电阻测定。

鼠笼型转子都要作外观质量检查和尺寸检查。铸铝转子质量不稳定时，应抽作断条试验和浇冒口化学成分测定。

定子铁心冲片宜定期抽查漆膜绝缘电阻。大型高速电机定子铁心叠压后，要抽作铁耗试验。其他电机的定、转子铁心可只抽查：铁心重量、长度、弹开度、内外圆尺寸及槽形整齐度；冲片毛刺、尺寸、同心度和椭圆度。

电机装配后都要进行总装检查：轴承、电刷与集电环的装配质量及其运行情况；气隙大小和对称性；装配完整性和

内外观质量，并抽查轴伸径向偏摆、安装尺寸和振动。

## 二、检查试验

根据产品技术条件规定的试验项目，对每台装配完成的电机成品所进行的试验，称为检查试验或出厂试验。

以经济的方法、按期如数地生产并交付价廉物美、用户满意的产品是企业的中心任务。无论是用户或制造厂，都希望每台产品都可靠、耐用、高效、经济。检查试验的任务是：及时发现产品制造质量的波动及其原因，预防不良品的产生和出厂；为用户提供维修所必需的资料；将产品调整到适于使用的最佳状态。

产品质量主要靠设计和制造来保证。产品成批投产以前，产品的设计质量已在新产品型式试验和用户使用中得到考验，影响产品制造质量的工艺、工装、设备，也已在小批试生产时经过验证。成批生产相同规格的电机，采用同样的图纸、材料和工艺方法制造，如零部件及其材质都合格、生产管理正常，各台产品的性能不致有显著差异。因此，在型式试验报告有效期以内，出厂产品可只作检查试验，而且检查试验可比型式试验大大简化，以节省检验费用。但检查试验所包括的项目，要能发现电机所有的电气或机械故障，根据检查试验数据能基本判别产品是否符合技术条件的主要技术要求。

三相异步电动机的检查试验项目如下：

1. 绕组对地及相间的绝缘电阻测定；
2. 绕组在实际冷状态下的直流电阻测定；
3. 绕线型电机转子开路电压测定；
4. 空载试验（型式试验需量取空载特性）；
5. 鼠笼型电机的短路试验（又称堵转试验，型式试验需量取短路特性）；

6. 绕线型电机的超速试验（铸铝转子鼠笼型电机仅在型式试验时进行）；

7. 匝间绝缘试验（又称短时升高电压试验）；

8. 绕组对地及相间耐压试验；

9. 机械检查。

### 三、型式试验

按照产品技术条件规定的全部试验项目，全面考查电机特性和参数是否符合产品标准要求而作的试验，称为型式试验。

型式试验只是在产品技术条件规定的情况下，对产品进行抽试。型式试验的目的如下：

1. 在新产品试制完成时，测定样机的性能和技术经济指标是否达到或超过技术条件的要求，以检验设计是否正确合理，为新产品的鉴定定型提供技术依据；同时通过对试验数据的分析，寻求进一步完善设计的途径。

2. 样机定型后制造厂第一次试制或小批试生产时，应进行型式试验，以验证产品的工艺、工装和结构设计，能否保证成批生产的产品质量稳定，考查新产品是否已经形成生产能力。样机属于单件生产，可以不惜工本靠手艺精雕细刻，但是正常成批生产电机，有了好的电磁设计，还需有工艺性好、通用化程度高的结构设计以及必要的工装设备和高的工艺水平，才具备稳定生产优质产品的条件。

3. 成批生产电机达到标准规定的定期抽试期限（一般为一年一次）时，应进行型式试验，以考核制造工艺的稳定性和产品质量的一致性，综合考查企业各部门的工作质量（如原材料和协作配套件管理，技术管理、设备管理、计量管理、文明生产、均衡生产等）。抽试产品只要有一项指标

不合格，则应从同一批产品中另抽加倍数量的电机，对该项目进行复试，如仍有不合格，则该批电机必须采取改进措施后对该项逐台试验，前次的型式试验报告失效。

4. 定型产品的检查试验数据与以往的型式试验数据层次出现不可允许的偏差时，须抽偏差较大的产品进行有关项目的型式试验，以确定现有产品是否合格，及时查明原因并采取预防措施。

5. 由于应用新技术、新工艺、新材料或产品更新换代提高技术水平的需要，对定型产品的电磁设计、机械结构、关键材料和制造工艺作足以影响产品某些性能的变更时，须作有关项目的型式试验，以验证更改效果。

一般用途三相异步电动机的型式试验项目包括：

1. 全部检查试验项目；
2. 温升试验；
3. 负载试验（效率、功率因数及转差率的测定）；
4. 短时过转矩试验；
5. 最大转矩测定；
6. 鼠笼型电机起动过程中最小转矩的测定；
7. 振动测定；
8. 噪声测定<sup>⊖</sup>。

### 1-3 异步电动机的质量特性

为了准确测定电机的质量特性，凭数据客观反映产品的质量动态，合理选择测试项目、方法及其仪器设备，就必须

---

⊖ “JB3074-82 Y系列(IP44)三相异步电动机技术条件”，已将振动测定、噪声测定列为检查试验中的抽样检查项目，湿热试验（40℃ 交变湿热试验 7 周期）列为鉴定试验项目。

先明确测试对象的特性、指标及所要达到的测试精度，找出被测指标所依据的函数关系。因此，在讨论试验方法以前，有必要先熟悉一下异步电动机的质量特性。

标准对一般用途三相异步电动机质量特性的主要技术要求如下：

### 一、力能特性

为了减少异步电动机使用期间的用电和功率因数补偿费用，节约能源消耗，异步电动机在额定工况下的效率和功率因数，应达到该类型产品技术条件对相应规格电机规定的保证值，或在其容差范围内。

容差是指电机性能指标的试验实测值与技术条件保证值之间的容许偏差，用来补偿许可范围内的原材料性能差异、加工偏差及测试误差所造成的影响。

异步电动机力能指标的容差如下：

#### 1. 效率( $\eta$ )

间接测定法：额定功率为50千瓦及以下  $-0.15(1-\eta_e)$ ；

额定功率在50千瓦以上  $-0.10(1-\eta_e)$ 。

直接测定法： $-0.15(1-\eta_e)$ ，最少为0.007。

#### 2. 功率因数( $\cos\phi$ )

$-\frac{1}{6}(1-\cos\phi_e)$ ，最少减0.02，最多减0.07。

$\eta_e$ 与 $\cos\phi_e$ 为效率和功率因数的保证值。容差计算到小数点后三位数为止。

异步电动机负载试验和空载试验的目的，主要是考核产品的力能指标。

### 二、运行特性

异步电动机必需具有与其拖动机械相适应的运行特性，

才能保证机械设备顺利起动和负载运转，并适应电力系统的要求。为了兼顾电机效率和成本两大主要技术经济指标，标准对异步电动机运行特性的要求随产品用途、类型、容量及转速而定。

短路试验、最小转矩和最大转矩测定的主要目的是考核产品的如下运行特性：

### 1. 起动性能（仅对鼠笼型异步电动机考核）

(1) 最初起动转矩与额定转矩的比值  $\frac{M_{qt}}{M_e}$ ，应达到技术条件的保证值（一般为1~2倍），容差为-15%。

(2) 起动过程中最小转矩与额定转矩之比  $\frac{M_{min}}{M_e}$ ，应不低于技术条件的保证值，容差为-15%；但至少应不低于0.5倍最初起动转矩的保证值（计及容差）、0.8倍（100千瓦以下的电机）或0.3倍（100千瓦及以上的电机）额定转矩。

起动转矩或最小转矩太低，会使电动机及拖动设备的起动时间增加，甚至在电网电压较低或降压起动时不能带负载起动到额定转速，而不得不提高过安装容量<sup>①</sup>。

(3) 最初起动电流与额定电流的比值  $\frac{I_{qt}}{I_e}$ ，应低于技术条件的保证值（一般为5~7倍），容差为+20%。

大容量电机起动电流过大，电机起动时电网电压会显著下降，或需要增添降压起动设备、甚至增大配电网的容量；此外，电机起动过程中的瞬时温升及所受的电动力增大，电机允许连续起动次数减少。

---

① 过安装容量是指用户选用配套电机时，为满足带负载起动的短时需要，而采用一台比正常需要容量大一档的电机，电机一旦起动结束，负荷长期不足，电能损耗增加。

## 2. 最大转矩

最大转矩与额定转矩的比值  $\frac{M_{\max}}{M_e}$  应达到技术条件的

保证值，容差为-10%，计及容差后，连续或短时定额的电机应不低于1.6倍，断续定额的电机应不低于2倍。

最大转矩太低，当电网电压短时下降或机械设备短时过载时，电动机就难以可靠工作，甚至迫不得已提高过安装容量。绕线型异步电动机都是转子串电阻起动，其最大转矩实际上还影响起动性能。

## 3. 转差率

对异步电动机的额定转差率，一般不加控制，只要不因转差率过高而影响效率，不因转差率过低而影响起动性能。但当用户提出特殊要求时，额定转差率应符合技术条件的保证值（容差：1千瓦及以上为±20%，1千瓦以下为±30%），以免因电动机的转速-转矩特性改变，而不能适应拖动机械的特性，或不能满足多台电动机在机械上并联运转的要求。

## 4. 转子开路电压及转子额定电流

对于绕线型异步电动机，为了保证用户根据产品样本选用的起动、变速电阻，能与电机合理配套而获得需要的运行特性，它的转子开路电压及转子额定电流应符合产品技术条件的规定值及其容差（一般为±7.5~10%）。

## 三、温升

电机绕组、轴承以及其他部件，只有在低于最高容许工作温度下使用，才能保障其经济使用寿命<sup>⊖</sup>和运转可靠性。

---

⊖ 经济使用寿命是根据国民经济发展需要和配套设备更新期限，以及电机制造和大修成本进行总费用核算，并参考实际使用寿命统计后所确定的产品使用期限。一般电机的正常使用期限为10~20年。

温升试验的目的，就是考核电机额定运行时各部分的稳定温升。

在正常使用条件下，即冷却空气温度不超过 $40^{\circ}\text{C}$ 、海拔不超过1000米时，异步电机在额定工况下各部分的温升限度如下。

### 1. 绕组

容量小于5000千瓦、铁心长度短于1米、额定电压低于11000伏、空气冷却、连续定额的电机，各级绝缘绕组的温升限度列于表1-1。

绕组温升过高，其绝缘的热老化寿命就会缩短。例如，A级绝缘绕组中最热点工作温度每超过最高允许工作温度 $\ominus 8^{\circ}\text{C}$ ，E、B级绝缘每超过 $10^{\circ}\text{C}$ ，H级绝缘每超过 $12^{\circ}\text{C}$ ，其热老化寿命就缩短一半。绕组温升过高，还会使电机铜耗增加，实际效率降低（所以不宜过于强调电机体积小、重量轻）。

### 2. 与绕组接触的铁心及其他部件

这些部件的温升（指温度计法测温），应不超过所接触的绝缘绕组用电阻法测温的温升限度，见表1-1。

表1-1 各级绝缘绕组的温升限度( $^{\circ}\text{C}$ )

| 测温方法       | 绝 缘 等 级 |    |    |     |     |
|------------|---------|----|----|-----|-----|
|            | A       | E  | B  | F   | H   |
| 电阻法或埋入温度计法 | 60      | 75 | 80 | 100 | 125 |
| 温度计法       | 50      | 65 | 70 | 85  | 105 |

$\ominus$  各种绝缘耐热等级的最高允许工作温度：A级， $105^{\circ}\text{C}$ ；E级， $120^{\circ}\text{C}$ ；B级， $130^{\circ}\text{C}$ ；F级， $155^{\circ}\text{C}$ ；H级， $180^{\circ}\text{C}$ 。



### 3. 不与绕组接触的铁心及其他部件

这些部件及不绝缘而永久短路的绕组（如鼠笼绕组）的温升，不应达到足以使任何邻近的绝缘或其他材料有损坏危险的数值。

### 4. 集电环

集电环的温升限度（温度计法测温），取决于本身主绝缘的耐热等级：A级60℃，E级70℃，B级80℃，F级90℃，H级100℃。

短时定额电机的绕组、铁心和集电环的温升限度，允许比上述规定值提高10℃。

### 5. 轴承

在环境温度不超过40℃时，滑动轴承的温度应不超过80℃，滚动轴承温度应不超过95℃。特种滚动轴承采用特殊润滑脂后，工作温度允许提高到制造厂规定的数值。

滑动轴承工作温度过高，会加速润滑油氧化变质，并使其粘度降低，油膜不稳定，甚至引起轴瓦巴氏合金与转轴干摩擦而熔化。

滚动轴承工作温度过高易引起润滑脂分解、硬化、变质，有效润滑期缩短（润滑脂温度每超过其允许工作温度10℃，有效润滑期约缩短一半）；轴承回火，硬度降低，寿命缩短，润滑脂熔化而严重漏油，轴承发生干摩擦而损坏。

润滑油和润滑脂的粘度，随温度升高而降低。环境温度升高时，轴承摩擦损耗减小，轴承温升未必增加。因此，轴承是否过热以工作温度来考核。

## 四、安装尺寸

为了保证电机顺利安装和互换，便于国际贸易往来，提高电机轴伸与传动零件的联结可靠性，电机的安装尺寸（详