



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 1032—2012  
代替 GB/T 1032—2005

## 三相异步电动机试验方法

Test procedures for three-phase induction motors

(IEC 60034-2-1:2007, Rotating electrical machines—  
Part 2-1: Standard methods for determining losses and  
efficiency from tests (excluding machines for traction vehicles), NEQ)

2012-06-29 发布

2012-11-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布  
中国国家标准化管理委员会



## 目 次

前言 .....	III
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 主要符号 .....	1
4 试验要求 .....	3
4.1 概述 .....	3
4.2 试验电源 .....	3
4.3 测试仪器与测量要求 .....	3
5 试验准备 .....	5
5.1 绝缘电阻的测定 .....	5
5.2 绕组在实际冷状态下直流端电阻和相电阻的测定 .....	6
6 热试验 .....	9
6.1 目的 .....	9
6.2 一般性说明 .....	9
6.3 热试验冷却介质温度的测定 .....	9
6.4 试验结束时冷却介质温度的确定 .....	9
6.5 电机绕组及其他各部分温度的测量 .....	10
6.6 热试验方法 .....	10
6.7 温升 .....	14
6.8 额定负载下绕组工作温度 $\theta_w$ 的确定 .....	15
6.9 计算效率用规定温度 $\theta_s$ 的确定 .....	15
7 负载特性试验 .....	16
7.1 概述 .....	16
7.2 负载试验 .....	16
7.3 转矩读数修正值 $T_c$ 的确定 .....	17
7.4 轴转矩 .....	17
7.5 轴功率 .....	17
8 空载试验 .....	18
8.1 空载电流和空载损耗的测定 .....	18
8.2 风摩耗 $P_{fw}$ 的确定 .....	19
8.3 铁耗 $P_{Fe}$ 的确定 .....	19
9 堵转电流和堵转转矩的测定 .....	20
9.1 额定频率堵转试验 .....	20
9.2 低频堵转试验 .....	21
10 各项损耗的确定方法 .....	21

10.1	概述	21
10.2	规定温度下定子 $I^2R$ 损耗的确定	22
10.3	规定温度下转子绕组 $I^2R$ 损耗的确定	22
10.4	风摩耗 $P_{fw}$ 的确定	23
10.5	铁耗 $P_{Fe}$ 的确定	23
10.6	负载杂散损耗 $P_s$ 的确定	23
10.7	总损耗及输出功率的确定	29
11	效率的确定	29
11.1	概述	29
11.2	A 法——输入-输出法	30
11.3	B 法——测量输入和输出功率的损耗分析法	35
11.4	C 法——成对电机双电源对拖回馈试验损耗分析法	41
11.5	E 法或 E1 法——测量输入功率的损耗分析法	45
11.6	F 法或 F1 法——等值电路法	49
11.7	G 法或 G1 法——降低电压负载法	56
11.8	H 法——圆图法	59
12	其他试验项目	64
12.1	最大转矩的测定	64
12.2	最小转矩的测定	66
12.3	转动惯量的测定	67
12.4	短时过转矩试验	69
12.5	匝间冲击耐电压试验	69
12.6	工频耐电压试验	69
12.7	转子电压的测定	70
12.8	超速试验	70
12.9	噪声的测定	70
12.10	振动的测定	70
12.11	轴电压的测定	70
12.12	轴承电流的测定	71
附录 A	(规范性附录) 仪器仪表损耗及误差的修正方法	72
附录 B	(规范性附录) 绕组星接不对称电压空载试验(Eh-star)法测试值的计算	75
附录 C	(资料性附录) 线性回归分析	78
参考文献		80

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准代替 GB/T 1032—2005《三相异步电动机试验方法》，与 GB/T 1032—2005 相比，除编辑性修改外主要技术变化如下：

- 修改了兆欧表的选择(见 5.1.1.2,表 1),增加了吸收比和极化指数的测量方法；
- 增加了 5.1.2 其他绝缘电阻的测定；
- 增加了 6.6.3.4 其他热试验方法,GB/T 21211—2007 中规定的其他适用方法,如感应电动机叠加法(见 GB/T 21211—2007 的第 6 章),感应电动机等效负载法(见 GB/T 21211—2007 的第 10 章)；
- 增加了绕组星接不对称电压空载试验(Eh-star)法测定感应电动机的负载杂散损耗(见 10.6.6)；
- 增加了试验方法与效率测量不确定度(见 11.1.2)；
- 增加了轴承电流的测定(见 12.12)；
- 删除了额定负载时负载杂散损耗  $P_s$  值按电动机额定输入功率的 0.5% 确定的全部内容(见 2005 版的 9.5.4.3)；
- 删除了额定负载时负载的杂散损耗  $P_s$  值按 9.5.4.2 确定的全部内容(见 2005 版的 9.5.4.2)；
- 删除了附录 D(见 2005 版)。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准与 IEC 60034-2-1:2007《旋转电机(牵引电机除外)确定损耗和效率的试验方法》的一致性程度为非等效。

本标准由中国电器工业协会提出。

本标准由全国旋转电机标准化技术委员会(SAC/TC 26)归口。

本标准负责起草单位:上海电器科学研究所(集团)有限公司、哈尔滨大电机研究所、湘潭电机股份有限公司、山东华力电机集团股份有限公司、无锡华达电机有限公司、江苏清江电机制造有限公司、卧龙电气集团股份有限公司、江门市江晟电机厂有限公司、佳木斯电机股份有限公司、江苏锡安达防爆电机股份有限公司、广东省东莞电机有限公司、浙江金龙电机股份有限公司、苏州江南电梯(集团)有限公司、长沙电机厂有限责任公司、浙江西玛电机有限公司、西门子电机(中国)有限公司、利莱森玛电机科技(福州)有限公司、浙江华年电机有限公司、哈尔滨电机厂交直流电机有限责任公司、煤炭科学研究总院上海分院测试中心、上海电机系统节能工程技术研究中心有限公司、上海电器设备检测所、上海电科电机科技有限公司。

本标准参加起草单位:江苏大中电机股份有限公司、安徽皖南电机股份有限公司、西安泰富西玛电机有限公司、湖南天能电机制造有限公司、山西电机制造有限公司、博山特型电机有限公司、开封电机制造有限公司、浙江中龙电机股份有限公司、SEW-电机(苏州)有限公司、安徽明腾机电设备有限公司、六安江淮电机有限公司、广东省中山市威特电机有限公司、威海泰富西玛电机有限公司、浙江永发机电有限公司、重庆赛力盟电机有限责任公司、安波电机集团股份有限公司、上海曼科电机制造有限公司、江苏环球特种电机有限公司。

本标准主要起草人:金惟伟、王传军、倪立新、富立新、李素平、王庆东、吴国华、周国保、杨钟杠、

**GB/T 1032—2012**

刘权、崔剑、陆进生、刘征良、叶叶、任寿萱、白祖辉、杨仙方、王庆中、程建全、吴志凌、高明会、张健、王学智、刘国平。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

——GB/T 1032—1968；

——GB/T 1032—1985；

——GB/T 1032—2005。



## 三相异步电动机试验方法

### 1 范围

本标准规定了三相异步电动机的试验要求和试验方法。

本标准适用于三相异步电动机。

### 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 10068—2008 轴中心高为 56 mm 及以上电机的机械振动 振动的测量、评定及限值

GB/T 10069.1—2006 旋转电机噪声测定方法及限值 第 1 部分:旋转电机噪声测定方法

GB/T 21211—2007 等效负载和叠加试验技术 间接法确定旋转电机温升

GB/T 22715—2008 交流电机定子成型线圈耐冲击电压水平

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 22719.2—2008 交流低压电机散嵌绕组匝间绝缘 第 2 部分:试验限值

JB/T 7836.1—2005 电机用电加热器 第 1 部分:通用技术条件

JB/T 10500.1—2005 电机用埋置式热电阻 第 1 部分:一般规定、测量方法和检验规则

IEC 60034-2-1:2007 旋转电机(牵引电机除外)确定损耗和效率的试验方法

### 3 主要符号

$\cos\varphi$  —— 功率因数

$f$  —— 电源频率(Hz)

$I_1$  —— 定子线电流(A)

$I_0$  —— 空载线电流(A)

$I_K$  —— 堵转线电流(A)

$I_N$  —— 额定电流(A)

$K_1$  —— 定子绕组导体材料在 0 °C 时电阻温度系数的倒数

铜  $K_1 = 235$ ;

铝  $K_1 = 225$ , 除非另有规定;

如用其他材料,另行规定。

$K_2$  —— 转子绕组导体材料在 0 °C 时电阻温度系数的倒数

铜  $K_2 = 235$ ;

铝  $K_2 = 225$ , 除非另有规定;

如用其他材料,另行规定。

$J$  —— 转动惯量( $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ )

$n$  —— 试验时测得的转速(r/min)

- $n_s$  ——同步转速(r/min)  
 $p$  ——极对数  
 $P_1$  ——输入功率(W)  
 $P_2$  ——输出功率(W)  
 $P_N$  ——额定(输出)功率(W)  
 $P_{Fe}$  ——铁耗(W)  
 $P_{fw}$  ——风摩耗(W)  
 $P_L$  ——剩余损耗(W)  
 $P_s$  ——负载杂散损耗(W)  
 $P_0$  ——空载输入功率(W)  
 $P_K$  ——堵转时的输入功率(W)  
 $P_{cu1}$  ——在试验温度下定子绕组  $I^2R$  损耗(W)  
 $P_{cu2}$  ——在试验温度下转子绕组  $I^2R$  损耗(W)  
 $P_{cu1s}$  ——在规定温度( $\theta_s$ )下定子绕组  $I^2R$  损耗(W)  
 $P_{cu2s}$  ——在规定温度( $\theta_s$ )下转子绕组  $I^2R$  损耗(W)  
 $P_T$  ——总损耗(W)  
 $P_{mech}$  ——轴功率(W)  
 $R_1$  ——定子绕组初始(冷)端电阻的平均值( $\Omega$ )  
 $R_N$  ——额定负载热试验结束时测取的第一点定子绕组热态端电阻( $\Omega$ )  
 $R_t$  ——试验温度下测得(或求得)的定子绕组端电阻( $\Omega$ )  
 $R_s$  ——换算到规定温度( $\theta_s$ )时的定子绕组端电阻( $\Omega$ )  
 $R_0$  ——空载试验(每个电压点)定子绕组端电阻( $\Omega$ )  
 $R_c$  ——确定温升用的绕组初始(冷)端电阻( $\Omega$ )  
 $s_t$  ——试验时测得(或求得)的转差(r/min)  
 $s$  ——转差率  
 $s_s$  ——换算到规定温度( $\theta_s$ )时的转差率  
 $T_c$  ——转矩读数修正值(N·m)  
 $T_t$  ——转矩读数(N·m)  
 $T_{d0}$  ——空载(与测功机连接)转矩读数(N·m)  
 $T$  ——修正后的转矩(N·m)  
 $T_K$  ——堵转时转矩(N·m)  
 $T_{max}$  ——最大转矩(N·m)  
 $T_{max1}$  ——在试验电压  $U_t$  下测得的最大转矩(N·m)  
 $T_{min}$  ——最小转矩(N·m)  
 $T_{min1}$  ——在试验电压  $U_t$  下测得的最小转矩(N·m)  
 $U$  ——端电压(V)  
 $U_0$  ——空载试验端电压(V)  
 $U_K$  ——堵转试验端电压(V)  
 $U_N$  ——额定电压(V)  
 $\theta_c$  ——测量  $R_c$  时绕组的实际温度( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $\theta_1$  ——测量初始(冷)电阻  $R_1$  时的绕组温度( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $\theta_t$  ——试验时测得的定子绕组最高温度( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $\theta_a$  ——负载试验时冷却介质温度( $^{\circ}\text{C}$ )



- $\theta_b$  ——热试验时冷却介质温度(°C)  
 $\theta_{ref}$  ——标准规定的基准温度(°C)  
 $\theta_s$  ——计算效率用的规定温度(°C)  
 $\theta_w$  ——额定负载热试验达到热稳定状态时定子绕组工作温度(°C)  
 $\theta_0$  ——空载试验时定子绕组温度(°C)  
 $\eta$  ——效率

注：更多的符号和下标，在相关条款中说明。

## 4 试验要求

### 4.1 概述

三相异步电动机的性能不仅与电源电压和频率的数值相关，同时与电压波形和电压系统的对称性及频率的偏差和稳定性有关。只有使用符合要求的电源(见 4.2)和测试仪器(见 4.3)且仔细正确测量才能得到准确的试验数据。

### 4.2 试验电源

#### 4.2.1 电压

##### 4.2.1.1 端电压波形

试验电压的谐波电压因数(HVF)应不超过以下数值(按 GB 755—2008 中 7.2.1.1 的规定)：

- 0.03——N 设计电动机；
- 0.02——未加说明的其他电动机。

热试验时，试验电源的谐波电压因数(HVF)应不超过 0.015(按 GB 755—2008 中 8.3.1 的规定)。

##### 4.2.1.2 三相电压系统的对称性

三相电压系统的负序分量应小于正序分量的 0.5%，且零序分量的影响应予消除(按 GB 755—2008 中 8.3.1 的规定)。

#### 4.2.2 频率

试验过程中频率的波动量应在额定频率的±0.3%范围内(见 IEC 60034-2-1:2007 中 5.4.2)。

此要求不适用于等值电路法(见 11.6)。

### 4.3 测试仪器与测量要求

#### 4.3.1 概述

大多数仪器的准确度等级通常以满量程的百分数表示。因此，应尽量按实际读数的需要，选择低量程仪表。

影响仪器测量结果准确度的因素：

- a) 信号源负载；
- b) 引接线校正；
- c) 仪器的量程、使用条件和校准。

#### 4.3.2 电量测量

##### 4.3.2.1 有效值

除非另外指明,否则所有电压和电流的测量值均为有效值(rms)。

##### 4.3.2.2 电量测量仪器

电量测量仪器的准确度等级应不低于 0.5 级(兆欧表除外)。用低不确定度试验方法(见 11.1.2)测定电机效率时,为保证试验结果的准确性和重复性,仪器的准确度等级应不低于 0.2 级。

电子仪器是多用途的,与无源仪器(非电子式)相比,有非常大的输入阻抗,无需因仪器自身损耗而修正读数。但高输入阻抗仪器对干扰更为敏感。应依实践经验,采取减少干扰的措施。

##### 4.3.2.3 仪用互感器(或传感器)

测量用仪用互感器的准确度等级应不低于 0.2 级。

##### 4.3.2.4 电压测量

测量端电压的信号线应接到电机绕组引出线端子,如现场不允许这样连接,应计算由此引起的误差并对读数作校正。应同时测量端电压  $U_{UV}$ 、 $U_{VW}$ 、 $U_{WU}$ ,取其算术平均值计算电动机的性能。

##### 4.3.2.5 电流测量

应同时测量电动机的每相线电流,用三相线电流的算术平均值计算电动机的性能。

使用电流互感器时,接入二次回路仪器的总阻抗(包括连接导线)应不超过其额定阻抗值。

对  $I_N < 5$  A 的电动机,除堵转试验外,不应使用电流互感器。

##### 4.3.2.6 功率测量

应采用两表(两台单相功率表)法测量三相电动机的输入功率,也可采用一台三相功率表或三台单相功率表测量输入功率。功率表的电压信号线应接到绕组引出线端子。

如仪器仪表损耗影响试验结果的准确性,可按附录 A 对仪器仪表损耗及其误差进行修正。

#### 4.3.3 电阻测量

##### 4.3.3.1 电阻测量仪

绕组的直流电阻用双臂电桥或单臂电桥,或数字式微欧计测量,准确度等级应不低于 0.2 级。

##### 4.3.3.2 测量方法

按 5.2 的规定。

##### 4.3.4 频率测量

频率表的准确度等级应不低于 0.1 级。

##### 4.3.5 转速或转差测量

##### 4.3.5.1 转速测量

转速测量仪的准确度应在 0.1% 以内或误差在 1 r/min 以内,取二者误差最小者。

#### 4.3.5.2 转差测量

如用感应线圈法或闪光测速仪直接测量转差,其电源应为被试电机电源。

##### 4.3.5.2.1 闪光法

在电动机转轴的端面上,画出与电机极数相同数量的扇形片,并用荧光灯或氖灯照明。供给闪光灯具的电源必须为被试电机的电源。试验时,用秒表测定扇形片转动  $N$  次所需的时间  $t$ (s),转差  $s_t$  按式(1)计算:

$$s_t = 60N/t \quad \dots\dots\dots(1)$$

##### 4.3.5.2.2 感应线圈法

在电动机轴伸附近,放置一只带铁芯的多匝线圈,线圈与磁电式检流计或阴极示波器连接。试验时,用秒表测定检流计指针或示波器波形全摆动  $N$  次所需的时间  $t$ (s),转差  $s_t$  按式(2)计算:

$$s_t = 60N/pt \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中:

$p$ ——电机的极对数。

#### 4.3.6 转矩测量

##### 4.3.6.1 转矩传感器及测量仪的选择

测量效率时转矩传感器及测量仪的准确度等级应不低于 0.2 级。

用于其他试验时应不低于 0.5 级。

##### 4.3.6.2 转矩测量

应使用合适规格的转矩传感器及测量仪进行负载试验(A法、B法)。

转矩传感器及测量仪的标称转矩应不超过被试电机额定转矩的 2 倍。在被试电机为额定转速时,测得的联轴器及测功机(或负载电机)的风摩耗应不大于被试电机额定输出的 15%,转矩变化的敏感度应达到额定转矩的 0.25%。应极为仔细准确地测量机械功率。

#### 4.3.7 温度测量

##### 4.3.7.1 温度计法

温度计(包括检温计)的最大允许误差为  $\pm 1^\circ\text{C}$ 。

##### 4.3.7.2 电阻法测量绕组温度

按 6.7.1 和 6.8.1 所述方法测量。

### 5 试验准备

#### 5.1 绝缘电阻的测定

##### 5.1.1 绕组对机壳及绕组相互间绝缘电阻的测定

###### 5.1.1.1 测量时电机的状态

测量电机绕组的绝缘电阻时,应分别在实际冷状态下和热状态(热试验后)下进行。检查试验时,如

无其他规定,允许在实际冷状态下进行测量。测量绝缘电阻时应同时测量并记录绕组温度,在实际冷状态下测量时可取周围介质温度作为绕组温度。

5.1.1.2 兆欧表的选择

测量绕组对机壳及绕组相互间绝缘电阻,应根据被测绕组的额定电压按表 1 选择兆欧表。

表 1 兆欧表的选择 单位为伏特

被测绕组额定电压 $U_N$	绝缘电阻直流测量电压
$U_N \leq 1\ 000$	500
$1\ 000 < U_N \leq 2\ 500$	1 000
$2\ 500 < U_N \leq 5\ 000$	2 500
$5\ 000 < U_N \leq 12\ 000$	5 000
$U_N > 12\ 000$	10 000

5.1.1.3 测量方法

测量绕组绝缘电阻时,如各相绕组的始末端均引出,则应分别测量各绕组对机壳及绕组相互间的绝缘电阻,这时不参加试验的其他绕组和埋置检温计等元件应与铁芯或机壳作电气连接,机壳应接地。如三相绕组已在电机内部连接仅引出 3 个出线端时,则测量所有连在一起的绕组对机壳的绝缘电阻。对于绕线转子电动机应分别测量定子绕组和转子绕组的绝缘电阻。

测量时,应在试验电压施加 1 min 后读取数据,并记录绕组温度。

若测量吸收比  $R_{60}/R_{15}$ ,则应测取 15 s 和 60 s 时的绝缘电阻。

若测量极化指数  $R_{10}/R_1$ ,则应测取 1 min 和 10 min 时的绝缘电阻。

绝缘电阻测量结束后,每个回路应对地放电。

5.1.2 其他绝缘电阻的测定

5.1.2.1 轴承绝缘电阻的测定

轴承绝缘电阻用不大于 1 000 V 的兆欧表测量。

5.1.2.2 埋置式检温计绝缘电阻的测定

埋置式检温计绝缘电阻按 JB/T 10500.1—2005 的规定测定。

5.1.2.3 加热器绝缘电阻的测定

加热器绝缘电阻按 JB/T 7836.1—2005 的规定测定。

5.2 绕组在实际冷状态下直流端电阻和相电阻的测定

5.2.1 实际冷状态下绕组温度  $\theta_1$  的测定

用温度计测定绕组温度。试验前电机应在室内放置一段时间,用温度计(或埋置检温计)测得的绕组温度与冷却介质温度之差应不超过 2 K。对大、中型电机,温度计的放置时间应不少于 15 min。

按短时工作制(S2 工作制)试验的电机,在试验开始时的绕组温度与冷却介质温度差应不超过 5 K。

5.2.2 绕组直流端电阻的测定

绕组出线端 U 与 V, V 与 W, W 与 U 间的直流电阻称为端电阻, 分别记为  $R_{UV}$ 、 $R_{VW}$  和  $R_{WU}$ 。绕组直流端电阻可用电桥法、微欧计法、直流电压表-电流表法或其他方法测量。

5.2.2.1 电桥法

使用电桥测量时, 每一电阻应测量 3 次, 每次应在电桥重新平衡后测取读数。每次读数与 3 次读数的算术平均值之差, 应不大于平均值的  $\pm 0.5\%$ , 取其平均值作为电阻的实际值。

如绕组的端电阻在  $1\ \Omega$  及以下时, 必须用双臂电桥测量。

5.2.2.2 微欧计法

当采用自动检测装置或数字式微欧计等仪表测量绕组端电阻时, 通过被测绕组的试验电流应不超过其正常运行时电流的  $10\%$ , 通电时间不应超过  $1\ \text{min}$ 。若电阻小于  $0.01\ \Omega$ , 则通过被测绕组的电流不宜太小。

5.2.2.3 直流电压表-电流表法

图 1a) 中  $R_b$  为调节限流电阻,  $R$  为被测绕组端电阻,  $V$  为电压表,  $A$  为电流表。图 1a) 适用于电压表内阻与被测电阻之比大于 200, 图 1b) 适用于电压表内阻与被测电阻之比小于 200。

测量时, 所加电流不应超过绕组额定电流值的  $10\%$ , 每次通电时间不超过  $1\ \text{min}$ 。测量时应同时读取电流值和电压值。每一电阻至少在 3 个不同电流值下进行测量。每个测量值与几次测量值的算术平均值之差应不大于平均值的  $\pm 0.5\%$ , 取其平均值作为被测电阻的实际值。

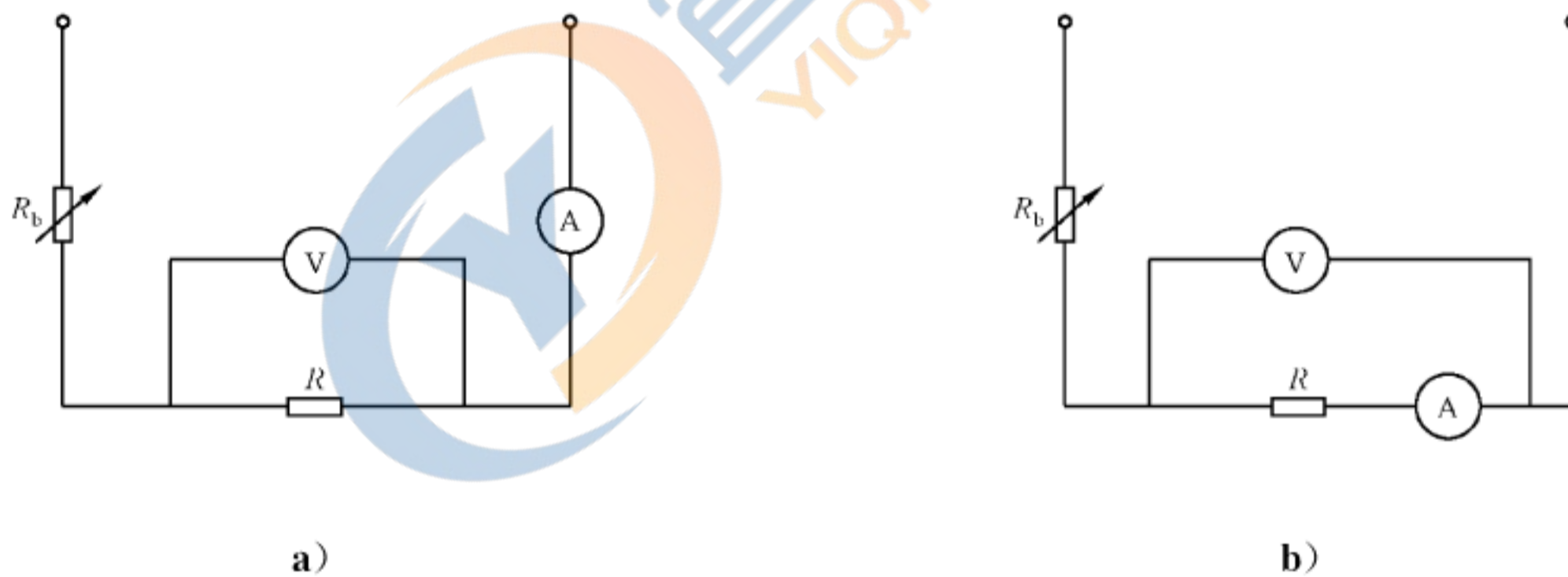


图 1 电压表-电流表法原理接线图

5.2.2.4 绕组初始端电阻的算术平均值  $R_1(\Omega)$

$$R_1 = (R_{UV} + R_{VW} + R_{WU}) / 3 \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

$R_{UV}, R_{VW}, R_{WU}$ ——按 5.2.2 的规定测得的端电阻值。

5.2.2.5 相电阻的计算

根据测量的端电阻值, 各相电阻值( $\Omega$ )按式(4)~式(9)计算:

对星形接法的绕组:

$$R_U = R_{med} - R_{VW} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$R_V = R_{med} - R_{WU} \dots\dots\dots(5)$$

$$R_W = R_{med} - R_{UV} \dots\dots\dots(6)$$

对三角形接法的绕组：

$$R_U = \frac{R_{VW}R_{WU}}{R_{med} - R_{UV}} + R_{UV} - R_{med} \dots\dots\dots(7)$$

$$R_V = \frac{R_{WU}R_{UV}}{R_{med} - R_{VW}} + R_{VW} - R_{med} \dots\dots\dots(8)$$

$$R_W = \frac{R_{UV}R_{VW}}{R_{med} - R_{WU}} + R_{WU} - R_{med} \dots\dots\dots(9)$$

$$R_{med} = \frac{R_{UV} + R_{VW} + R_{WU}}{2}$$

式中：

$R_{UV}, R_{VW}, R_{WU}$ ——分别为出线端 U 与 V、V 与 W、W 与 U 间测得的端电阻值，单位为欧姆( $\Omega$ )。

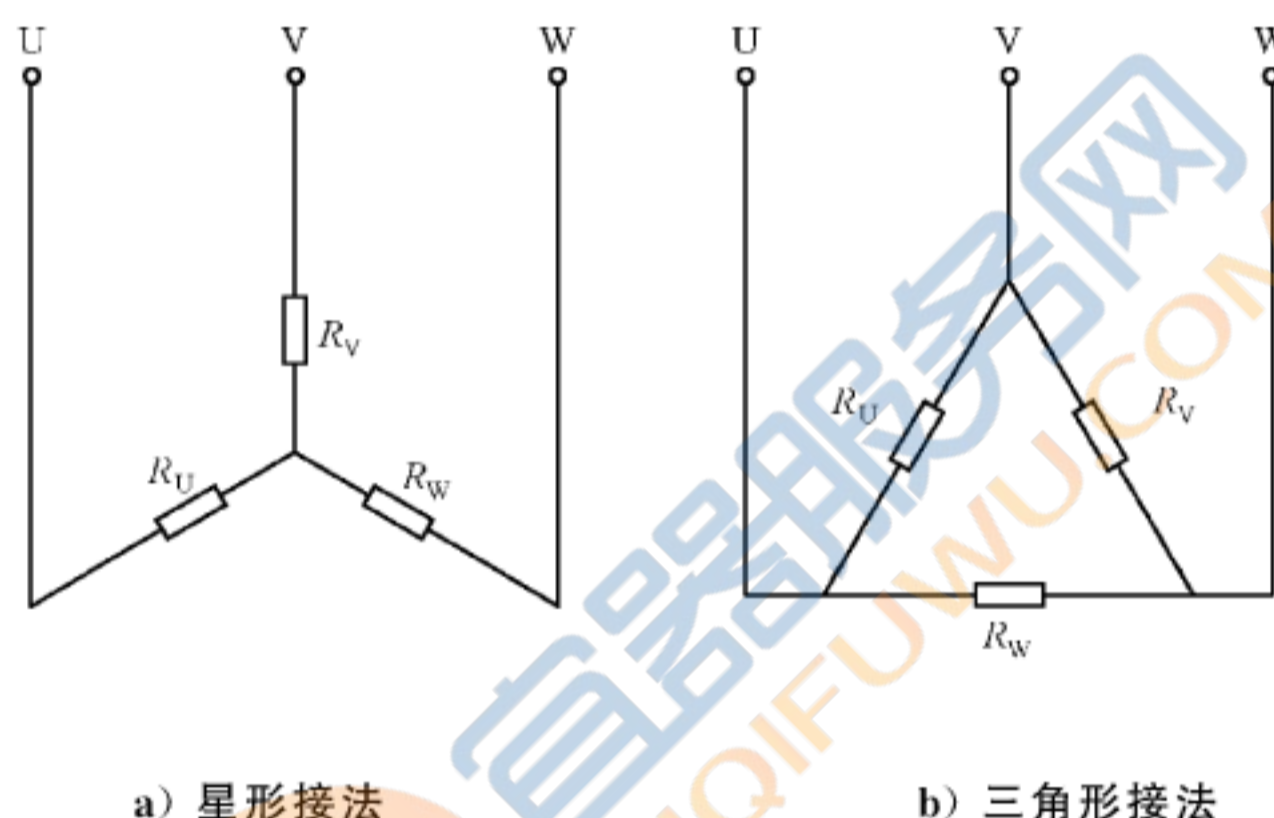


图 2 三相绕组接法示意图

如果各线端间的电阻值与 3 个线端电阻的平均值之差，对星形接法的绕组均不大于平均值的 2%，对三角形接法的绕组均不大于平均值的 1.5% 时，则相电阻  $R_{1p}$  ( $\Omega$ ) 可按式(10)、式(11)计算：

对星形接法的绕组：

$$R_{1p} = \frac{1}{2}R_1 \dots\dots\dots(10)$$

对三角形接法的绕组：

$$R_{1p} = \frac{3}{2}R_1 \dots\dots\dots(11)$$

式中：

$R_1$ ——端电阻的平均值，按 5.2.2.4 确定，单位为欧姆( $\Omega$ )。

5.2.3 绕组直流相电阻的测定

如需测定相电阻，应按 5.2.1 的规定测定绕组温度  $\theta_1$ ，按 5.2.2.1, 5.2.2.2 和 5.2.2.3 规定的方法测量相电阻  $R_U, R_V$  和  $R_W$ ，相电阻的平均值  $R_{1p}$  ( $\Omega$ ) 按式(12)计算：

$$R_{1p} = (R_U + R_V + R_W)/3 \dots\dots\dots(12)$$

5.2.4 注意事项

测量时，电动机的转子静止不动。定子绕组端电阻应在电机的出线端上测量。绕线转子电动机，转子绕组端电阻应尽可能在绕组与集电环连接的接线片上测量。

检查试验时,每一个电阻可测量一次。

## 6 热试验

### 6.1 目的

热试验的目的是确定电机在额定负载条件下运行时定子绕组的工作温度和电机某些部分温度高于冷却介质温度的温升。

### 6.2 一般性说明

应对被试电机予以防护以阻挡其他机械产生的气流对被试电机的影响,一般非常轻微的气流足以使热试验结果产生很大的偏差。引起周围空气温度快速变化的环境条件对温升试验是不适宜的,电机之间应有足够的空间,允许空气自由流通。

#### 6.2.1 测温装置

热试验开始时,应检查所有测温装置确信其未因杂散磁场的影响而增加温度测量的误差。

#### 6.2.2 全封闭式电机转子及其他零部件温度的测量

全封闭式电机转子及其他零部件温度在断电停机后用测温装置快速测取。

### 6.3 热试验冷却介质温度的测定

#### 6.3.1 空气冷却电机

对采用周围空气冷却的电机,应在冷却空气进入电机的途径中进行多点测量(2~3点)。测点安置在距电机约1 m~2 m处,处于电机高度的一半的位置,并应防止外来辐射热及气流的影响。取各测点读数的算术平均值作为冷却介质温度。

#### 6.3.2 外冷却器电机

对采用外接冷却器及管道通风冷却的电机,应在冷却介质进入电机的入口处测量冷却介质的温度。

#### 6.3.3 内冷却器电机

对采用内冷却器冷却的电机,冷却介质的温度应在冷却器的出口处测量;对有水冷冷却器的电机,水温应在冷却器的入口处测量。

### 6.4 试验结束时冷却介质温度的确定

#### 6.4.1 连续工作制(S1)和断续周期工作制(S3)电机

对连续定额和断续周期工作制定额的电机,试验结束时的冷却介质温度,应取在整个试验过程最后的1/4时间内,按相同时间间隔测得的温度计读数的平均值。

#### 6.4.2 短时定额电机

对短时定额的电机,试验结束时的冷却介质温度,若定额为30 min及以下,取试验开始与结束时的温度计读数的平均值;若定额为30 min~90 min,取1/2试验时间温度计的读数与结束时的温度计读数的平均值。

## 6.5 电机绕组及其他各部分温度的测量

### 6.5.1 绕组温度的测量

电机绕组的温度用电阻法或用温度计法测量,如电机有埋置检温计,可用检温计测量。

### 6.5.2 铁芯温度的测量

铁芯温度用温度计测量,对大、中型电机,测点应不少于2个,取几个温度计读数的最高值作为铁芯温度。

### 6.5.3 轴承温度的测量

轴承温度用温度计测量。对于滑动轴承,温度计放入轴承的测温孔内或者放在接近轴瓦的表面处,对于滚动轴承,温度计放在最接近轴承外圈处。

### 6.5.4 集电环温度的测量

电机停机后,立即用温度计测量集电环表面的温度,取测得的最高值作为集电环温度。

## 6.6 热试验方法

### 6.6.1 概述

热试验方法有直接法和间接法,应优先采用直接法,间接法仅限用连续工作制电机。

间接法包括降低电压负载法、降低电流负载法、定子叠频法及 GB/T 21211—2007 规定的其他适用方法。

### 6.6.2 直接法

直接法热试验应在额定频率、额定电压和额定负载或铭牌电流下进行。

#### 6.6.2.1 连续工作制(S1)电机

热试验应在额定负载下持续进行,直到电机各部分温度达到稳定时为止。

试验过程中,每隔30 min记录一次被试电机的三相端电压 $U$ 、三相线电流 $I_1$ 、输入功率 $P_1$ 、频率 $f$ 、转速 $n$ 或转差 $s_1$ 、转矩 $T_1$ (A法和B法)、绕组温度 $\theta_w$ (埋置检温计或热电偶温度计测得),以及定子铁芯、轴承、风道进出口冷却介质温度和周围冷却介质的温度 $\theta_b$ 。

#### 6.6.2.2 短时工作制(S2)电机

试验应从实际冷状态开始,试验持续时间按定额的规定。试验过程中,根据工作时限长短,选择每隔5 min~15 min读取并记录一次试验数据。其他试验要求同6.6.2.1。

#### 6.6.2.3 断续周期工作制(S3)电机

如无其他规定,试验时每一个工作周期应为10 min,读取并记录一次试验数据,直到电机各部分温度达到热稳定状态为止。温度的测定应在最后一个工作周期负载时间的一半终止时进行。为了缩短试验时间,在试验开始时负载可适当地持续一段时间。

对绕线转子电动机,每次起动时,应在转子绕组中串入附加电阻或电抗,将起动电流的平均值限制在2倍额定电流(基准负载持续率时的额定电流值)范围内。每一工作周期的运行结束时,电动机应在3 s内停止转动。

其他试验要求同6.6.2.1。



#### 6.6.2.4 多种定额电机

具有多种定额的电机(如多速或油井用电动机),应在出现最高温升的定额状态下进行热试验。如事先无法预知,应分别在每种定额状态进行试验。双频电机可在任一方便的频率下进行试验,只是要把负载调节到等效于一个频率下运行的负载,且电机以该频率运行时将会出现最大温升。

使用系数大于1.0的电机,应在使用系数负载状态下进行热试验,以确定电机的温升值。按第10章和第11章中的规定计算电机性能时,应当用使用系数为1.0(额定功率)时的热试验数值。

#### 6.6.3 间接法

##### 6.6.3.1 降低电压负载法

采用降低电压负载时,应进行下列热试验:

- 以额定频率和额定电压进行空载热试验,并确定此时的定子绕组温升 $\Delta\theta_0$ 、铁芯温升 $\Delta\theta_{Fe0}$ 。
- 以额定频率、额定电流和1/2额定电压进行热试验,并确定此时定子绕组温升 $\Delta\theta_r$ 、铁芯温升 $\Delta\theta_{Fer}$ 。此时,额定电流按11.7.3.2.2的方法确定。试验要求按6.6.2.1中的规定。

对应于额定功率时的绕组温升 $\Delta\theta_N$ (K)和铁芯温升 $\Delta\theta_{FeN}$ (K)按式(13)和式(14)确定:

$$\Delta\theta_N = a\Delta\theta_0 + \Delta\theta_r \quad \dots\dots\dots(13)$$

$$\Delta\theta_{FeN} = a\Delta\theta_{Fe0} + \Delta\theta_{Fer} \quad \dots\dots\dots(14)$$

式中:

$$a = \frac{P_0 - P_{0r}}{P_0}$$

$P_0$ ——额定电压时的空载输入功率,单位为瓦特(W),由空载试验求取;

$P_{0r}$ ——1/2额定电压时的空载输入功率,单位为瓦特(W),由空载试验求取。

##### 6.6.3.2 降低电流负载法

采用降低负载电流法时,应进行下列热试验:

- 以额定频率和额定电压进行空载热试验,确定此时的定子绕组温升 $\Delta\theta_a$ (K);
- 以额定频率、降低的电压和最大可能的电流( $I \geq 0.7 I_N$ )进行部分负载下的热试验,确定此时的绕组温升 $\Delta\theta_b$ (K);
- 以额定频率和对应于b)试验的电压进行空载热试验,确定此时的绕组温升 $\Delta\theta_c$ (K)。

已知 $\Delta\theta_a$ 、 $\Delta\theta_b$ 和 $\Delta\theta_c$ ,连接 $\Delta\theta_b$ 和 $\Delta\theta_c$ 两点作一直线(参见图3),通过 $\Delta\theta_a$ 点作 $\Delta\theta_b$ 和 $\Delta\theta_c$ 两点连线的平行线。此平行线与横坐标 $(I/I_N)^2 = 1$ 点的垂线交点 $\Delta\theta_N$ (K),即为被试电机在额定电压和额定电流时的绕组温升。

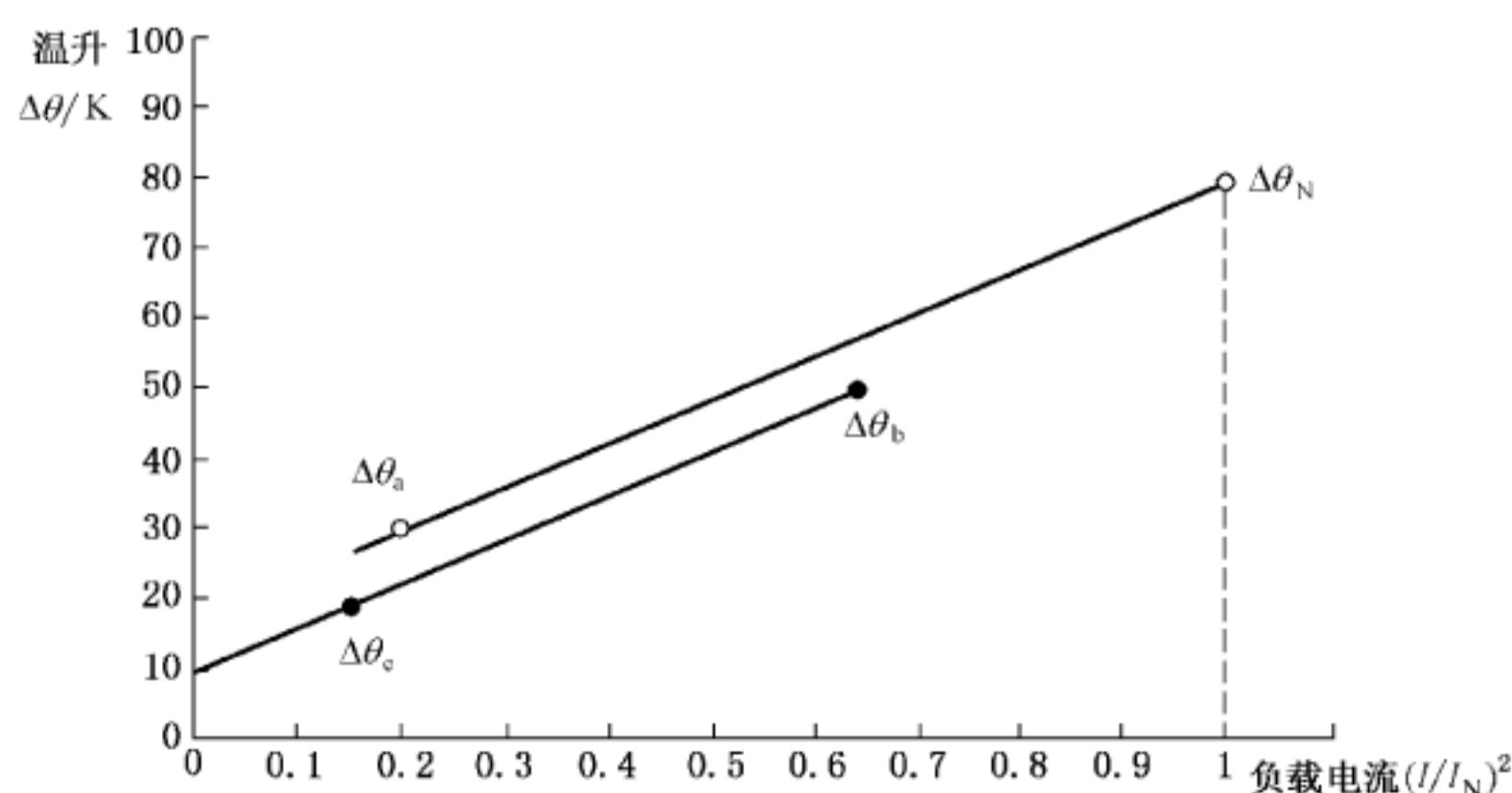
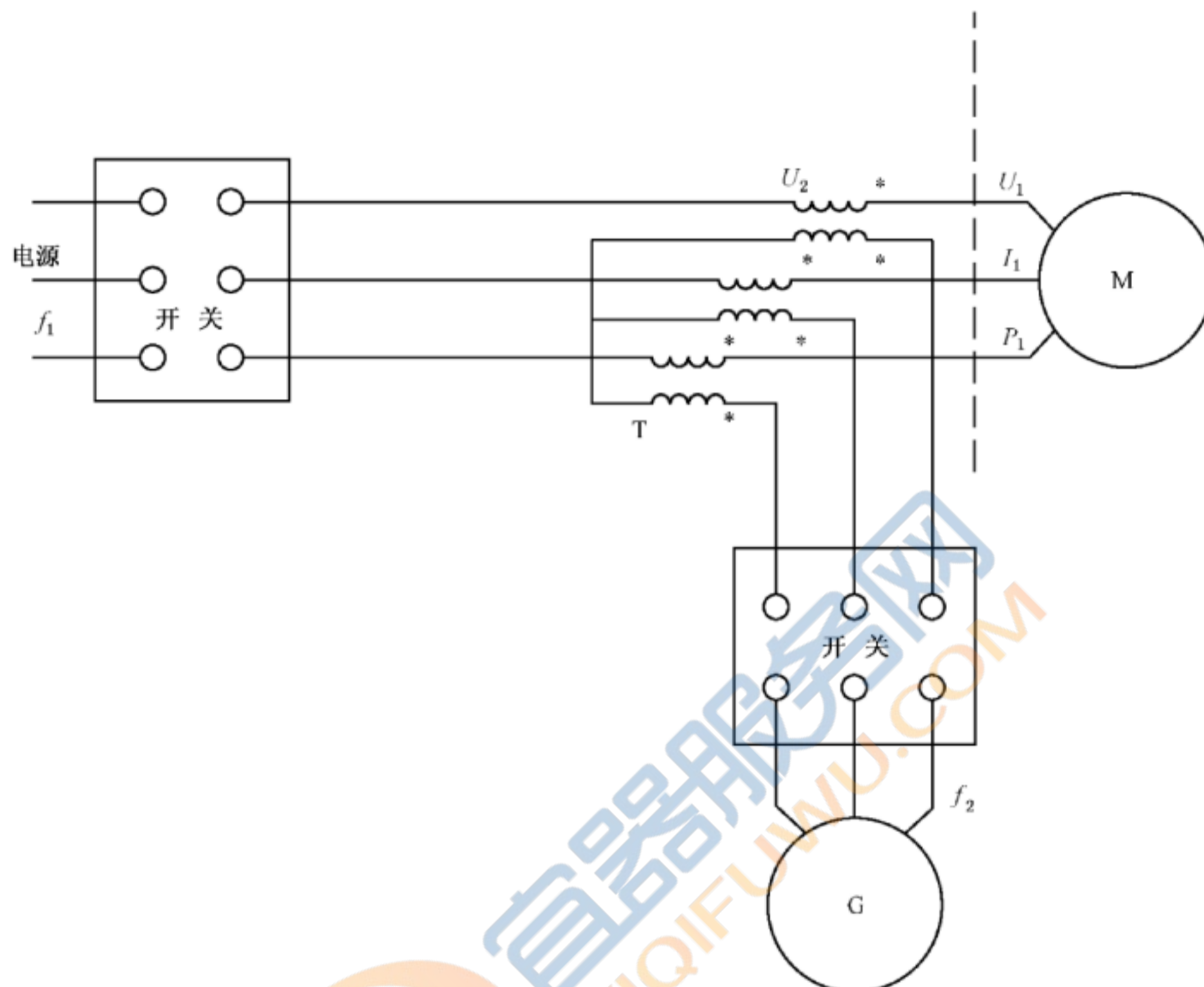


图3 降低电流负载法确定 $\Delta\theta_N$

6.6.3.3 定子叠频法

试验线路如图 4 所示。主电源和副电源均为发电机。副电源发电机的额定电流应不小于被试电机的额定电流,电压等级应与被试电机相同。



说明:

- M——被试电动机;
- T——串接变压器;
- G——辅助电源发电机;
- $U_1$ ——端电压(额定电压);
- $f_1$ ——频率(额定频率);
- $I_1$ ——感应电机的初级电流;
- $U_2$ ——辅助电压;
- $f_2$ ——辅助电源频率;
- $P_1$ ——输入功率。

注 1: 辅助电源相序应与主电源相同。

注 2:  $U_2$  应小于  $U_1$  (通常为  $U_1$  的 10%~20%),  $U_2$  是产生额定电流  $I_1$  所必须施加的电压值。

图 4 定子叠频法试验线路图

采用定子叠频法时,施于被试电机绕组的主、副电源的相序应相同。可在接线前由主、副电源分别起动被试电机,若转向一致,即为同相序。

试验时,首先由主电源起动被试电机,使其在额定频率、额定电压下空载运行。随后,起动副电源机组,将其转速调节到对应于某一频率  $f_2$  的转速值。对额定频率为 50 Hz 的电机,  $f_2$  应在 38 Hz~42 Hz 范围内选择。然后,将辅助电源发电机投入励磁,调节励磁电流,使被试电机的定子电流达到满载电流值。在加载过程中,要随时调节主电源电压,使被试电机的端电压保持额定值,并同时保持频率  $f_2$  不变。被试电机在额定电压时满载电流值可按 11.6 或 11.8 的方法确定。试验要求同 6.6.2.1。

在调节被试电机的负载时,如仪表指针摆动较大或被试电机和试验电源设备的振动较大,应先降低副电源电压,选择另一个频率  $f_2$  的值(调整副电源机组的转速),再行试验。

能达到上述试验目标的静态变频电源,亦可用于定子叠频法试验,静态变频电源应符合试验电源(见 4.2)的要求。

#### 6.6.3.4 其他热试验方法

GB/T 21211—2007 中规定的其他适用方法,如感应电动机叠加法(见 GB/T 21211—2007 中的第 6 章),感应电动机等效负载法(见 GB/T 21211—2007 中第 10 章)。

#### 6.6.4 试验程序

##### 6.6.4.1 初始状态

连续工作制(S1)电机可在小于额定温度的任一温度下开始进行热试验。除非另有规定,短时工作制(S2)电机,只能在电机各部分温度与冷却介质温度相差不大于 5 K 时开始进行热试验。

##### 6.6.4.2 允许适当过载

连续定额电机,达到热平衡可能需要较长的时间,为了缩短试验时间,在预热阶段允许适当过载(25%~35%)。

##### 6.6.4.3 温度测量

试验过程中,可用酒精温度计测取冷却介质温度,定子铁芯温度,机座温度,轴承温度及进口处和出口处的冷却介质温度。

热试验过程中,可用局部检温计测取电机各部分的温度。当用几个局部检温计测取绕组温度时,应当记录全部检温计的温度读数,取其中的最大值作为由局部检温计测取的绕组温度。通常不需要停机后读取检温计读数。

当电机装有几只埋置检温计时,热试验过程中应当记录全部检温计的读数,取其中的最大值作为由埋置检温计测取的绕组温度。

电机的定子绕组(绕线电动机转子绕组)的温度应优先采用断电停机后测得的电阻确定(见 6.6.4.5, 6.7, 6.8)。

##### 6.6.4.4 热试验持续时间

对连续工作制(S1)电机,热试验应进行到相隔 30 min 的两个相继读数之间温升变化在 1 K 以内为止。但对温升不易稳定电机,热试验应进行到相隔 60 min 的两个相继读数之间的温升变化在 2 K 以内为止。

对非连续工作制电机,读数的时间间隔应与其时间定额一致。

##### 6.6.4.5 断电停机后热电阻的确定

应测量断电停机后的绕组端电阻,并以第一点电阻值确定电机的温升。

热试验结束应迅速断电停机。要仔细地安排试验程序和适当数量的试验人员,尽快地测取电阻读数以获得可靠的数据。

从断电瞬间算起,如在表 2(见 GB 755—2008,表 5)规定的时间间隔内读到了第一点热电阻读数  $R_N$ ,则用此电阻值计算绕组温升。

表 2 时间间隔

额定输出功率( $P_N$ )/kW 或 kVA	切断电源后的时间间隔/s
$P_N \leq 50$	30
$50 < P_N \leq 200$	90
$200 < P_N \leq 5\,000$	120
$5\,000 < P_N$	按协议

如不能在表 2 规定的延滞时间内读到第一点热电阻读数,应尽快以 20 s~60 s 的时间间隔读取附加的电阻读数。至少要读取 5~10 个读数,把这些读数作为时间的函数绘制成曲线,建议用半对数坐标纸,电阻绘制在对数标尺上,以外推到表 2 按电机定额规定的延滞时间的电阻值作为第一点热电阻  $R_N$ 。如果停机后测得结果显示温度继续上升,则应取热电阻最大值作为  $R_N$ ,如不能在表 2 列出的 2 倍时间内读到第一点读数,则应协议确定最大延滞时间。

热电阻和冷电阻应当用同一电阻测量仪并在同一引出线端子测量。

6.7 温升

当电机用周围空气直接冷却时,温升是测得的绕组温度减去冷却介质温度。如电机是用远处或冷却器来的空气通风冷却,温升是测得的绕组温度减去进入电机的空气温度。如在海拔不超过 1 000 m 处,冷却空气温度在 10 °C~40 °C 之间进行试验,温升不作修正。

如试验地点海拔超过 1 000 m,或冷却空气温度超过 40 °C,或这两种情况同时存在,温升限值按 GB 755—2008 中的 8.10 中的规定修正。

6.7.1 电阻法确定定子绕组温升

绕组的平均温升  $\Delta\theta$ (K)按式(15)计算:

$$\Delta\theta = \frac{R_N - R_c}{R_c} \times (K_1 + \theta_c) + \theta_c - \theta_b \quad \dots\dots\dots(15)$$

式中:

$R_N$ ——断电停机后测得的第一点热态端电阻,单位为欧姆( $\Omega$ );

$R_c$ ——热试验开始前测得的冷态绕组端电阻,单位为欧姆( $\Omega$ );

$\theta_b$ ——热试验结束时冷却介质温度,单位为摄氏度( $^{\circ}\text{C}$ );

$\theta_c$ ——测量  $R_c$  时绕组实际温度,单位为摄氏度( $^{\circ}\text{C}$ )。

6.7.1.1 额定负载下绕组温升的确定

如果热试验时电机的负载不等于额定负载,对应于额定负载时的绕组温升  $\Delta\theta_N$  按下述方法确定。

6.7.1.1.1 连续工作制(S1)定额电机

当  $\frac{I_1 - I_N}{I_N}$  在  $\pm 10\%$  范围内时:

$$\Delta\theta_N = \Delta\theta \left(\frac{I_N}{I_1}\right)^2 \left[1 + \frac{\Delta\theta(I_N/I_1)^2 - \Delta\theta}{K_1 + \Delta\theta + \theta_b}\right] \quad \dots\dots\dots(16)$$

当  $\frac{I_1 - I_N}{I_N}$  在  $\pm 5\%$  范围内时:

$$\Delta\theta_N = \Delta\theta \left(\frac{I_N}{I_1}\right)^2 \quad \dots\dots\dots(17)$$

式中:

$I_N$  ——额定电流,即额定功率时的电流,单位为安培(A),从工作特性曲线上求得;

$I_1$  ——热试验时的电流,单位为安培(A),取在整个试验过程最后的 1/4 时间内,按相等时间间隔测得的电流平均值;

$\Delta\theta$  ——对应于试验电流  $I_1$  的绕组温升,单位为开尔文(K)(见 6.7.1)。

如  $\frac{I_1 - I_N}{I_N}$  大于  $\pm 10\%$ ,应重新做热试验。

6.7.1.1.2 短时工作制(S2)和断续周期工作制(S3)电机

当  $\frac{I_1 - I_N}{I_N}$  在  $\pm 5\%$  范围内时:

$$\Delta\theta_N = \Delta\theta \left( \frac{I_N}{I_1} \right)^2 \dots\dots\dots (18)$$

如  $\frac{I_1 - I_N}{I_N}$  大于  $\pm 5\%$ ,应重做热试验。

6.7.2 埋置检温计(ETD)法

以埋置检温计各元件的最高读数作为确定绕组温度的依据(按 GB 755—2008 的 8.6.3 中的规定)。

6.7.3 温度计法

任一温度计的最高读数即为绕组或其他部分的温度(按 GB 755—2008 的 8.6.4 中的规定)。

6.8 额定负载下绕组工作温度  $\theta_w$  的确定

绕组工作温度是指电机在额定负载热试验过程中达到热稳定状态时绕组的温度。绕组工作温度可用电阻法(见 6.8.1)或局部温度计法(如热电偶温度计,见 6.8.2)确定。

6.8.1 电阻法确定绕组工作温度  $\theta_w$  (°C)

6.8.1.1 热态端电阻  $R_w$  的确定

热试验断电停机后,按 6.6.4.5 中所述的外推法,作热电阻读数对断电后冷却时间( $t$ )的关系曲线,此曲线外推至  $t=0$  时的电阻值即为  $R_w$ 。

6.8.1.2 绕组的工作温度  $\theta_w$  的确定

$$\theta_w = \frac{R_w}{R_c} \times (K_1 + \theta_c) - K_1 \dots\dots\dots (19)$$

式中:

$R_w$  ——外推至  $t=0$  时的热态端电阻,单位为欧姆( $\Omega$ ),见 6.8.1.1;

$R_c, \theta_c$  ——按 6.7.1 中的规定。

6.8.2 局部温度计法(如热电偶温度计)确定绕组的工作温度  $\theta_w$  (°C)

任一温度计的最高读数即为绕组的工作温度  $\theta_w$ 。

6.9 计算效率用规定温度  $\theta_s$  的确定

6.9.1 冷却介质基准温度

冷却介质基准温度为 25 °C。

6.9.2 规定温度  $\theta_s$  (°C)

规定温度是绕组工作温度  $\theta_w$  修正到冷却介质温度为 25 °C 时的温度值。

$\theta_s$  值按下列先后次序选择其中一方法确定：

- a) 直接法进行额定负载热试验,按 6.8.1 所述的电阻法确定绕组工作温度  $\theta_w$ 。

$$\theta_s = \theta_w + 25 - \theta_b \dots\dots\dots(20)$$

- b) 由热电偶温度计直接测得绕组工作温度  $\theta_w$  (见 6.8.2),按 a) 确定  $\theta_s$ 。
- c) 如 a) 项试验报告自签发之日起未超过 12 个月,对同一结构和同一电气设计的完全相同的电机用 a) 项的  $\theta_s$  值。
- d) 按间接法(见 6.6.3)确定绕组工作温度  $\theta_w$ ,按 a) 确定  $\theta_s$ 。
- e) 当不能测取额定负载热试验下绕组工作温度  $\theta_w$  时,假定规定温度  $\theta_s$  等于表 3 中所列按绝缘结构热分级规定的基准温度  $\theta_{ref}$ 。

$$\theta_s = \theta_{ref} \dots\dots\dots(21)$$

表 3 基准温度

绝缘结构热分级	基准温度 $\theta_{ref}/^{\circ}\text{C}$
A、E	75
B	95
F	115
H	130

如按照低于绝缘结构的热分级规定温升或温度限值,则应按该较低的热分级规定其基准温度。

7 负载特性试验

7.1 概述

负载试验的目的是确定电机的效率、功率因数、转速、定子电流、输入功率等与输出功率的关系。试验采用直接负载法,用合适的设备(如直流电机为负载电机或三相异步电机为负载电机等)给电动机加负载。负载电机的轴线应与被试电机轴线对中并保证安全运行。

7.2 负载试验

试验应在额定电压和额定频率下进行。开始读取并记录试验数据之前,定子绕组温度与额定负载热试验测得的温度差应不超过 5 K。

在 6 个负载点处给电机加负载。4 个负载点大致均匀分布在不小于 25%~100% 额定负载之间(包括 100% 额定负载),在大于 100% 但不超过 150% 额定负载之间适当选取 2 个负载点。电机加负载的过程是从最大负载开始,依次降低到最小负载。试验应尽可能快地完成,以减少试验过程中电机温度变化对试验结果的影响。

在每个负载点处,测取  $U$ 、 $I_1$ 、 $P_1$ 、 $T_1$  (如 A 法, B 法)、 $n$  (或  $s_1$ )、 $f$ 、 $\theta_1$  (或  $R_1$ ) 及  $\theta_s$ 。

推荐使用温度传感器(埋置于定子线圈端部)测量绕组的温度  $\theta_1$ 。

当按 B 法或 A 法测定电机效率时,必须测取每个负载点的  $\theta_1$  或  $R_1$ ; 当按 C 法、E 法或 E1 法确定电机效率时,允许采用本条 a) 规定的方法确定每个负载点处的电阻值; 当按本标准规定的其他方法确定电机效率时,允许采用本条 b) 规定的方法确定每个负载点处的电阻值。

- a) 大于和等于 100% 额定负载点的电阻值是最大负载点读数之前的电阻值。小于 100% 额定负载各点的电阻值按与负载成线性关系确定, 起点是 100% 额定负载时的电阻值, 末点是最小负载读数之后的电阻值。
- b) 负载试验结束并断电停机后, 按 6.6.4.5 所述的方法, 立即测取定子绕组端电阻对冷却时间  $t$  的关系曲线, 取外推到  $t=0$  时的电阻值作为各负载点的电阻值。

### 7.3 转矩读数修正值 $T_c$ 的确定

本方法适用于转矩测量仪与被试电机之间有轴承的情况。

#### 7.3.1 被试电动机经转矩测量仪与负载电机耦接测试

负载电机如为直流电机, 其电枢绕组开路, 不励磁。如负载电机为三相异步电机, 不接电源。

被试电机在额定电压和额定频率下运行, 测量并记录输入功率  $P_{d0}$  (W)、定子电流  $I_{d0}$  (A)、转速  $n_{d0}$  (r/min)、转矩  $T_{d0}$  (N·m)、绕组温度  $\theta_{d0}$  (°C) 或绕组端电阻  $R_{d0}$  ( $\Omega$ )、频率  $f$  (Hz)。

计算:

转差率  $s_{d0} = 1 - n_{d0}/n_s$ ;  $n_s = 60f/p$ ; 定子  $I^2R$  损耗  $P_{cu0}$ , 单位为瓦特(W):

$$P_{cu0} = 1.5 I_{d0}^2 R_{d0} \dots\dots\dots (22)$$

#### 7.3.2 被试电动机空载测试

被试电机与转矩测量仪和负载电机脱开, 在额定电压和额定频率下空载运行。测量并记录输入功率  $P_0$  (W)、定子电流  $I_0$  (A)、绕组温度  $\theta_0$  (°C) [或绕组端电阻  $R_0$  ( $\Omega$ )]。

按式(23)计算定子  $I^2R$  的损耗  $P_{cu0}$ , 单位为瓦特(W):

$$P_{cu0} = 1.5 I_0^2 R_0 \dots\dots\dots (23)$$

#### 7.3.3 转矩读取修正值 $T_c$ (N·m)

$$T_c = 9.549 \times \frac{(P_{d0} - P_{cu0} - P_{Fe})(1 - s_{d0}) - (P_0 - P_{cu0} - P_{Fe})}{n_{d0}} - T_{d0} \dots\dots\dots (24)$$

式中:

$P_{d0}, P_{cu0}, s_{d0}, n_{d0}, T_{d0}$  ——按 7.3.1 确定;

$P_0, P_{cu0}$  ——按 7.3.2 确定;

$P_{Fe}$  ——空载额定电压铁耗, 单位为瓦特(W), 按 8.3 确定。

### 7.4 轴转矩

$$T = T_t + T_c \dots\dots\dots (25)$$

式中:

$T$  ——轴转矩, 单位为牛顿米(N·m);

$T_t$  ——转矩读数, 单位为牛顿米(N·m), 见 7.2;

$T_c$  ——转矩读数修正值, 单位为牛顿米(N·m), 按 7.3 确定。

### 7.5 轴功率

$$P_{mech} = \frac{T \times n}{9.549} \dots\dots\dots (26)$$

式中:

$P_{\text{mech}}$ ——轴功率,单位为瓦特(W);

$T$ ——轴转矩,单位为牛顿米(N·m),按 7.4 确定;

$n$ ——转速,单位为转每分钟(r/min),见 7.2。

## 8 空载试验

### 8.1 空载电流和空载损耗的测定

空载试验是指电机作为空载电动机运行,其轴端无有效机械功率输出的试验。绕线转子电动机的转子绕组应在集电环上短路。

建议在热试验和负载试验之后进行空载试验。在读取并记录试验数据之前,电机的输入功率应稳定,即相隔 30 min 输入功率的相继两个读数之差应不大于前一个读数的 3%。对水-空气冷却电机,在热试验(或负载试验)后应立即切断水源。

检查试验时,空载运行时间可以适当缩短。

被试电机施以额定频率的可变电压,电压变化范围从 125% 的额定电压逐步降低电压到空载电流为最小或不稳定的最小电流为止。在 125% 和 60% 额定电压之间,其中包括额定电压,按均匀分布至少取 5 个电压点。在约 50% 额定电压和最低电压之间至少取 4 个电压点。测取的电压点数多,求取的风摩耗和铁耗值会更为准确。

在每个电压点,测取  $P_0$ 、 $U_0$ 、 $I_0$ ,并应同时测取绕组温度  $\theta_0$  或端电阻  $R_0$ 。如测得  $\theta_0$ ,根据电阻与温度关系确定端电阻  $R_0$  的三相平均值,单位为欧姆( $\Omega$ ):

$$R_0 = R_1 \times \frac{K_1 + \theta_0}{K_1 + \theta_1} \dots\dots\dots (27)$$

式中:

$R_1$ ——定子绕组初始(冷)端电阻,单位为欧姆( $\Omega$ ),按 5.2.2.4 确定;

$\theta_1$ ——测量  $R_1$  时定子绕组温度,单位为摄氏度( $^{\circ}\text{C}$ ),按 5.2.1 确定。

当用 A 法或 B 法确定效率时,应确定每一电压点的  $R_0$ ;当用其他方法确定效率时,在读取最低电压点的读数之后,断电停机后测取若干个端电阻读数,作此电阻读数对冷却时间( $t$ )的关系曲线,取此曲线外推至  $t=0$  时的电阻值作为端电阻  $R_0$ 。

#### 8.1.1 空载特性曲线

在 125% 额定电压至最低电压(空载电流回升点除外)范围内,作  $P_0$  和  $I_0$  对  $(U_0/U_N)$  的关系曲线,即空载特性曲线(见图 5)。

从曲线上求取  $U_0=U_N$  时的  $I_0$ 、 $P_0$ 。



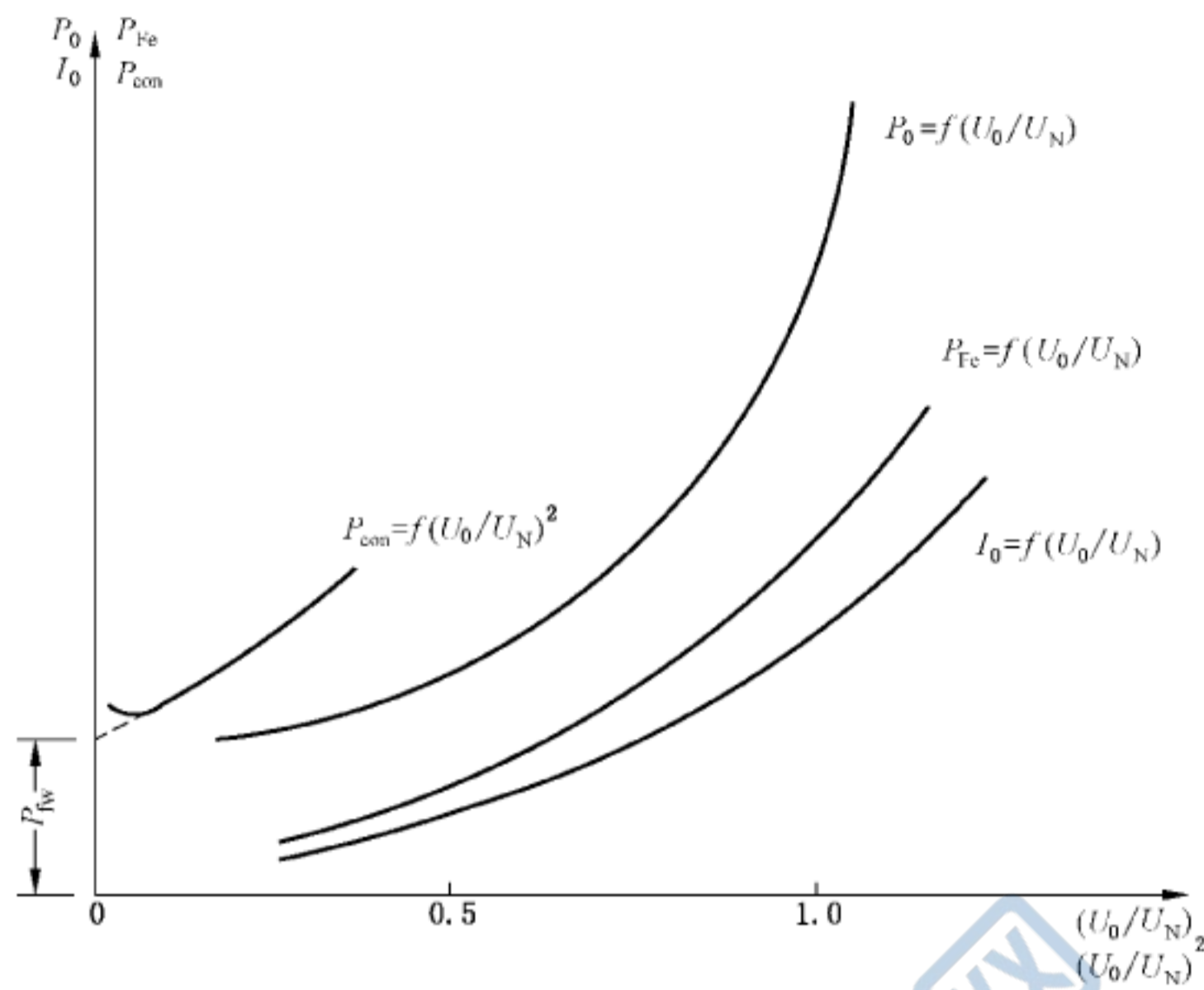


图 5 空载特性曲线

8.1.2 空载损耗

空载输入功率  $P_0$  就是电动机在空载运行时的总损耗。总损耗包括定子  $I^2R$  损耗、铁耗和风摩耗。因为空载时电动机的转速接近同步转速,即转差率  $s \approx 0$ ,所以空载时转子  $I^2R$  损耗可忽略不计。

8.1.3 恒定损耗  $P_{con}$

空载输入功率减去试验温度下定子  $I^2R$  损耗的差,即为恒定损耗。恒定损耗等于风摩耗与铁耗之和。

对应于 8.1 中记录的每一电压点,求取恒定损耗  $P_{con}$ ,单位为瓦特(W):

$$P_{con} = P_0 - 1.5I_0^2R_0 \quad \dots\dots\dots (28)$$

式中:

$P_0$ ——空载输入功率,单位为瓦特(W)(见 8.1);

$I_0$ ——空载电流,单位为安培(A)(见 8.1);

$R_0$ ——空载试验温度下端电阻的平均值,单位为欧姆( $\Omega$ )(见 8.1)。

8.2 风摩耗  $P_{fw}$  的确定

对约 50%额定电压至最低电压点范围内的各测试点值,作  $P_{con}$  对  $(U_0/U_N)^2$  的曲线(见图 5),将此直线延长至零电压,零电压处纵轴上的截距即为风摩耗  $P_{fw}$ 。

认为风摩耗  $P_{fw}$  与负载无关。

8.3 铁耗  $P_{Fe}$  的确定

对 60%额定电压和 125%额定电压之间的各电压点,作  $P_{Fe} = P_{con} - P_{fw}$  对  $U_0/U_N$  的关系曲线。不同负载时的铁耗根据电压  $U_b/U_N$  在曲线上求得。

$$U_b = \sqrt{\left(U - \frac{\sqrt{3}}{2}I_1R_t \cos\varphi\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{3}}{2}I_1R_t \sin\varphi\right)^2} \quad \dots\dots\dots (29)$$

式中：

$$\cos\varphi = \frac{P_1}{\sqrt{3}UI_1}$$

$$\sin\varphi = \sqrt{1 - \cos^2\varphi}$$

注 1：U、I<sub>1</sub>、P<sub>1</sub> 及 R<sub>1</sub> 见 7.2。

注 2：空载额定电压铁耗按 U<sub>b</sub>=U<sub>N</sub> 确定。

## 9 堵转电流和堵转转矩的测定

### 9.1 额定频率堵转试验

堵转试验在电机接近实际冷状态下进行。试验时，应将转子堵住不转动。对绕线转子电动机应将转子绕组在集电环上短路。

#### 9.1.1 堵转电流、堵转转矩和堵转功率的测定

##### 9.1.1.1 测取堵转特性曲线，即堵转电流 I<sub>K</sub>、堵转转矩 T<sub>K</sub> 与外施电压 U<sub>K</sub> 的关系曲线(见图 6)

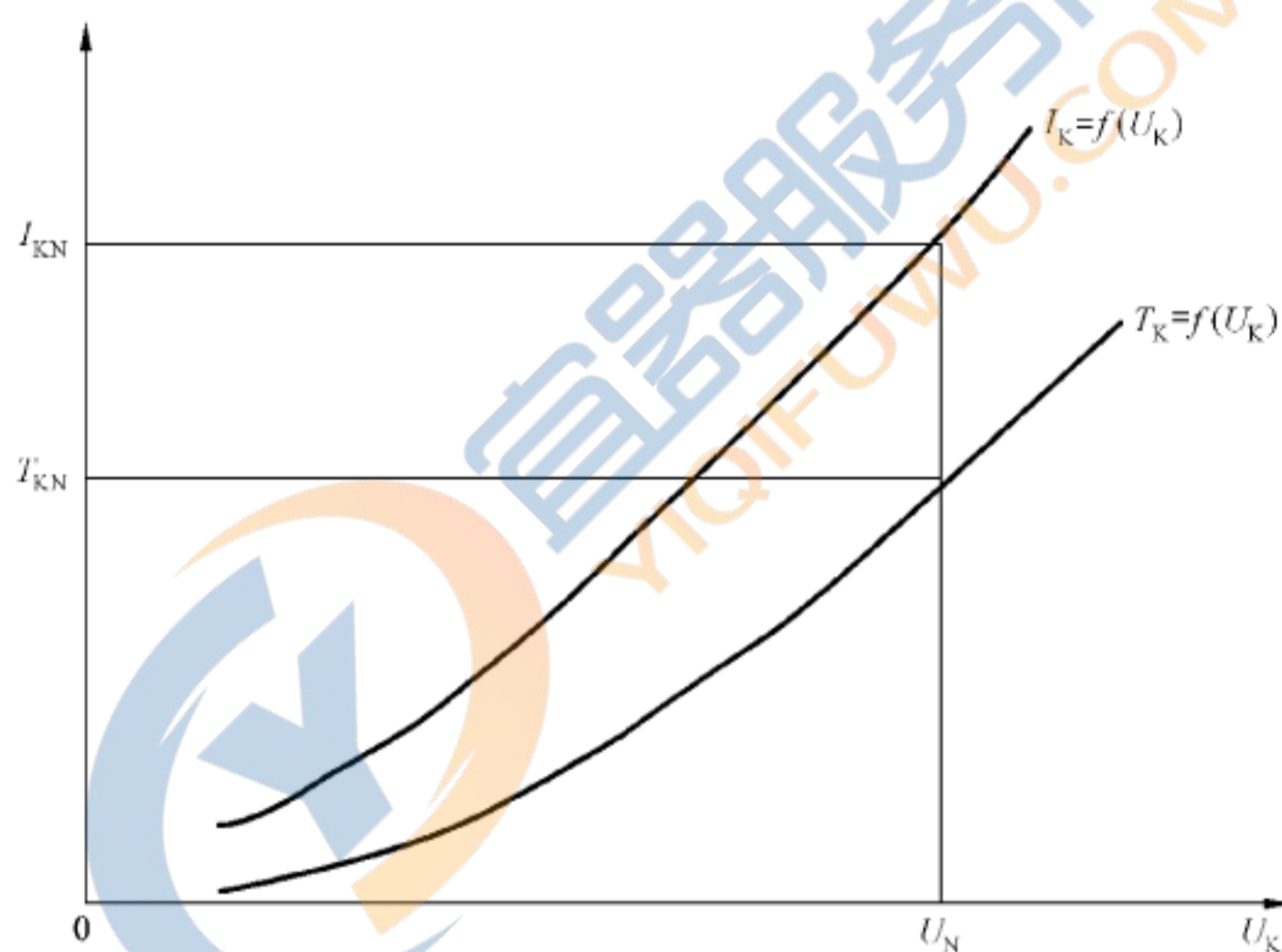


图 6 堵转特性曲线

试验时，施于定子绕组的电压尽可能从不低于 0.9 倍额定电压开始，然后逐步降低电压至定子电流接近额定电流为止，其间共测取 5~7 点读数。每点应同时测取下列数值：U<sub>K</sub>、I<sub>K</sub>、T<sub>K</sub>、P<sub>K</sub> 及绕组温度 θ<sub>K</sub>。每点读数时，通电持续时间应不超过 10 s，以免绕组过热。

检查试验时，可仅在额定电流值附近测取一点堵转时的 U<sub>K</sub>、I<sub>K</sub> 和 P<sub>K</sub>。

如限于设备，对 100 kW 以下的电动机，堵转试验时的最大 I<sub>K</sub> 应不低于 4.5 倍 I<sub>N</sub>；对 100 kW~300 kW 的电动机，应不低于 2.5~4.0 倍 I<sub>N</sub>；对 300 kW~500 kW 的电动机，应不低于 1.5~2.0 倍 I<sub>N</sub>；对 500 kW 以上的电动机，应不低于 1.0~1.5 倍 I<sub>N</sub>。在最大电流至额定电流范围内，均匀地测取不少于 4 点读数。

对 100 kW 以上的电动机，如限于设备不能实测转矩时，允许按 9.1.2.2 确定转矩。此时每点应测取 U<sub>K</sub>、I<sub>K</sub>、P<sub>K</sub> 及定子绕组温度 θ<sub>K</sub> 或端电阻 R<sub>K</sub>。

对分马力电动机试验时，定子绕组上施以额定电压，转子在 90°机械角度内的 3 个等分位置上分别测定 U<sub>K</sub>、I<sub>K</sub>、P<sub>K</sub>、T<sub>K</sub>。此时，堵转电流取其中的最大值，堵转转矩取其中的最小值。

检查试验时，可在额定电压下，任一转子位置上测定。

9.1.2 堵转试验结果计算

9.1.2.1 额定电压时堵转电流  $I_{KN}$  和堵转转矩  $T_{KN}$  的确定

- a) 若堵转试验时的最大电压在 0.9~1.1 倍额定电压范围内,堵转电流  $I_{KN}$  和堵转转矩  $T_{KN}$  可由堵转特性曲线查取(图 6);若堵转试验时的最大电压低于 0.9 倍  $U_N$ ,应作  $\lg I_K = f(\lg U_K)$  曲线,从最大电流点延长曲线上查取堵转电流  $I_{KN}$ 。此时,堵转转矩  $T_{KN}$  (N·m)按式(30)求取:

$$T_{KN} = T_K \left( \frac{I_{KN}}{I_K} \right)^2 \dots\dots\dots (30)$$

式中:

$T_K$ ——在最大试验电流  $I_K$  时测得的或算得的转矩,单位为牛顿米(N·m)。

- b) 对 750 W 及以下电动机,若试验电压在 0.9~1.1 倍额定电压范围内,则堵转电流  $I_{KN}$  和堵转转矩  $T_{KN}$  (N·m)按式(31)、式(32)求取:

$$I_{KN} = I_K \cdot \frac{U_N}{U_K} \dots\dots\dots (31)$$

$$T_{KN} = T_K \cdot \left( \frac{U_N}{U_K} \right)^2 \dots\dots\dots (32)$$

9.1.2.2 由堵转输入功率求取堵转转矩

如不能直接测量堵转转矩,可按式(33)求取堵转转矩的近似值(N·m):

$$T_K = 9.549 \times \frac{C_1 (P_K - P_{Kcu1} - P_{Fe})}{n_s} \dots\dots\dots (33)$$

式中:

- $T_K$  ——堵转转矩,单位为牛顿米(N·m);
- $P_K$  ——堵转时输入功率,单位为瓦特(W);
- $P_{Kcu1}$  ——试验电流下定子  $I^2R$  损耗,单位为瓦特(W);
- $P_{Fe}$  ——试验电压下铁耗,单位为瓦特(W),根据  $(U_K/U_N)$ ,在图 5 中的  $P_{Fe}$  曲线上查取;
- $n_s$  ——同步转速,单位为转每分钟(r/min);
- $C_1$  ——计及非基波损耗的降低系数。

注:  $C_1$  在 0.9~1.0 之间变化,如无经验可循,建议取  $C_1 = 0.91$ 。

9.2 低频堵转试验

对采用圆图算法(见 11.8)求取工作特性的深槽和双笼型电动机,还应在 1/2 额定频率下进行堵转试验(见 11.8.2.1.3)。堵转时的电流和试验要求与 9.1.1.1 相同。对采用等值电路法(见 11.6)求取工作特性的电动机,应在 1/4 额定频率下进行堵转试验(见 11.6.1.3)。

10 各项损耗的确定方法

10.1 概述

各项损耗,包括:

- a) 规定温度下定子绕组  $I^2R$  损耗,按 10.2 确定;
- b) 规定温度下转子绕组  $I^2R$  损耗,按 10.3 确定;
- c) 风摩耗,按 8.2 确定;
- d) 铁耗,按 8.3 确定;

e) 负载杂散损耗,按 10.6 确定。

### 10.2 规定温度下定子 $I^2R$ 损耗的确定

#### 10.2.1 规定温度 ( $\theta_s$ ) 下定子绕组端电阻 $R_s$ ( $\Omega$ )

$$R_s = R_1 \times \frac{K_1 + \theta_s}{K_1 + \theta_1} \dots\dots\dots(34)$$

式中:

$R_1$  —— 定子绕组初始(冷)端电阻,单位为欧姆( $\Omega$ ),按 5.2.2.4 确定;

$\theta_1$  —— 测量  $R_1$  时的定子绕组温度,单位为摄氏度( $^{\circ}\text{C}$ ),按 5.2.1 确定;

$\theta_s$  —— 绕组规定温度,单位为摄氏度( $^{\circ}\text{C}$ ),按 6.9.2 确定。

#### 10.2.2 规定温度 ( $\theta_s$ ) 下定子绕组 $I^2R$ 损耗 $P_{cu1s}$ (W)

$$P_{cu1s} = 1.5 I_1^2 R_s \dots\dots\dots(35)$$

式中:

$I_1$  —— 定子电流测量值,单位为安培(A),见 7.2;

$R_s$  —— 规定温度下定子绕组端电阻,单位为欧姆( $\Omega$ ),按 10.2.1 确定。

注:用同一  $R_s$  值计算不同负载点规定温度下定子  $I^2R$  损耗。

### 10.3 规定温度下转子绕组 $I^2R$ 损耗的确定

#### 10.3.1 试验温度下转差率 $s$

$$s = \frac{n_s - n}{n_s}, \text{或 } s = s_1 / n_s \dots\dots\dots(36)$$

式中:

$n_s$  —— 同步转速,单位为转每分钟(r/min);

$$n_s = 60f/p$$

$n$  —— 实测转速,单位为转每分钟(r/min),见 7.2;

$s_1$  —— 实测转差,单位为转每分钟(r/min),见 7.2;

$f$  —— 试验电源频率,单位为赫兹(Hz),见 7.2。

#### 10.3.2 规定温度下转差率 $s_s$ 的确定

$$s_s = s \times \frac{K_2 + \theta_s}{K_2 + \theta_1} \dots\dots\dots(37)$$

式中:

$s$  —— 转差率,按 10.3.1 确定;

$\theta_1$  —— 测量转速  $n$  或转差  $s_1$  时定子绕组温度,单位为摄氏度( $^{\circ}\text{C}$ ),见 7.2;

$\theta_s$  —— 规定温度,单位为摄氏度( $^{\circ}\text{C}$ ),按 6.9.2 确定。

#### 10.3.3 规定温度下转子绕组 $I^2R$ 损耗 $P_{cu2s}$ (W)

$$P_{cu2s} = (P_1 - P_{cu1s} - P_{Fe}) \times s_s \dots\dots\dots(38)$$

式中:

$P_1$  —— 输入功率,单位为瓦特(W),见 7.2;

$P_{cu1s}$  —— 规定温度下定子  $I^2R$  损耗,单位为瓦特(W),按 10.2.2 确定;

$P_{Fe}$  —— 铁耗,单位为瓦特(W),按 8.3 确定;

$s_s$  ——规定温度下转差率,按 10.3.2 确定。

#### 10.4 风摩耗 $P_{fw}$ 的确定

按 8.2 确定。

#### 10.5 铁耗 $P_{Fe}$ 的确定

按 8.3 确定。

#### 10.6 负载杂散损耗 $P_s$ 的确定

##### 10.6.1 概述

负载杂散损耗是指总损耗中未计入定子  $I^2R$  损耗、转子  $I^2R$  损耗、风摩耗和铁耗中的那部分损耗。

确定负载杂散损耗的试验方法有:剩余损耗法、取出转子试验和反转试验法,推荐值法和绕组星接不对称电压空载试验法(Eh-star 法)。

应优先采用相对不确定度低的试验方法(见 11.1.2)。

##### 10.6.2 剩余损耗法(适用于 B 法)

负载试验中测得的输入功率与测得输出机械功率之差即为视在总损耗,从此视在总损耗中减去定子  $I^2R$  损耗、试验温度下转子  $I^2R$  损耗、风摩耗和铁耗之后,剩余的那部分即为剩余损耗。通过对剩余损耗试验数据的线性回归分析和相关分析求取负载杂散损耗。

按 B 法确定效率时,规定用剩余损耗法确定负载杂散损耗。确定剩余损耗的试验程序和计算方法见 11.3.2.3。

##### 10.6.3 取出转子试验和反转试验

###### 10.6.3.1 概述

本试验由两项独立试验组成。

- a) 取出转子试验——测定基频杂散损耗;
- b) 反转试验——测定高频杂散损耗。

###### 10.6.3.2 取出转子试验——测定基频杂散损耗 $P_{sf}$

###### 10.6.3.2.1 试验方法

电机抽去转子,可能感应电流的端盖及其他结构件应就位。定子绕组施以额定频率的对称低电压。试验从大电流值开始,逐步降低,在 1.1~0.5 倍额定电流范围内至少测取 6 点读数。每点应同时读取  $P_1$ ,  $I_1$  和  $\theta_1$ (或  $R_t$ )。

###### 10.6.3.2.2 基频杂散损耗 $P_{sf}$ 的计算

输入功率  $P_1$  减去定子绕组在试验温度下的  $I^2R$  损耗即为基频杂散损耗  $P_{sf}$ (W):

$$P_{sf} = P_1 - 1.5I_1^2R_t \quad \dots\dots\dots(39)$$

式中:

$R_t$  ——试验温度下绕组端电阻,单位为欧姆( $\Omega$ );

$$R_t = R_1 \times \frac{K_1 + \theta_t}{K_1 + \theta_1}$$

- $R_1$  —— 定子绕组初始(冷端)电阻,单位为欧姆( $\Omega$ ),按 5.2.2.4 确定;
- $\theta_1$  —— 测量  $R_1$  时的绕组温度,单位为摄氏度( $^{\circ}\text{C}$ ),按 5.2.1 确定;
- $\theta_t$  —— 试验时测得的绕组温度,单位为摄氏度( $^{\circ}\text{C}$ ),见 10.6.3.2.1;
- $I_1$  —— 定子线电流,单位为安培(A),见 10.6.3.2.1;
- $P_1$  —— 输入功率,单位为瓦特(W),见 10.6.3.2.1。

### 10.6.3.3 反转试验——测定计算用高频杂散损耗 $P'_{sh}$

优先采用测功机反转法。

#### 10.6.3.3.1 测功机反转法

##### 10.6.3.3.1.1 试验方法

测功机的功率,在与被试电机相同的转速下,应不大于被试电机额定功率的 15%。采用转矩测量仪时,转矩传感器标称转矩应不大于被试电机额定转矩的 15%。

将测功机或传感器(由其他动力机驱动)与被试电机耦接。

驱动被试电动机转子,使之与定子旋转磁场相反方向达到同步转速(如试验电源不是额定频率,应为对应于实际频率的同步转速)。待试验机组机械耗稳定后,在被试电机的定子绕组上施以额定频率三相对称的低电压。试验从大电流值开始,逐步降低。在 1.1~0.5 倍额定电流范围内,至少测取 6 点读数,每点应同时测取  $P_1$ 、 $I_1$ 、 $T_d$  和  $\theta_t$ (或端电阻  $R_t$ )。

断开被试电机的电源,机组仍应保持同步转速运转,测取  $T_{d0}$ 。

如为绕线转子电动机,转子绕组端子应在集电环上短接。

注:反转试验功率因数较低,可能要求对功率表读数作相应误差修正。

##### 10.6.3.3.1.2 高频杂散损耗 $P'_{sh}$ (W)的计算方法

$$P'_{sh} = P_d - P_{d0} - (P_1 - 1.5I_1^2R_t) \quad \dots\dots\dots(40)$$

式中:

$P_d$  —— 被试电机轴端输入功率,单位为瓦特(W);

$$P_d = T_d \cdot n_s / 9.549$$

$P_{d0}$  —— 在被试电机在  $I_1=0$  时轴端输入功率,单位为瓦特(W);

$$P_{d0} = T_{d0} \cdot n_s / 9.549$$

$P_1$  —— 定子输入功率,单位为瓦特(W),见 10.6.3.3.1.1;

$I_1$  —— 定子线电流,单位为安培(A),见 10.6.3.3.1.1;

$R_t$  —— 试验温度下定子绕组端电阻,单位为欧姆( $\Omega$ ),  $R_t$  按 10.6.3.2.2 中的方法确定。

#### 10.6.3.3.2 异步反转法

##### 10.6.3.3.2.1 试验方法

选择一台与被试电机功率相等或接近,极数相同的异步电机作为驱动电机,将它与被试电机用联轴器联接。驱动电机施以额定频率、额定电压(或接近额定电压)。在试验过程中,频率和电压应保持不变。被试电机施以额定频率三相对称低电压,其旋转磁场方向应与驱动电机旋转方向相反,被试电机运转在电磁制动状态。试验时先起动驱动电机,待机械耗稳定后,在低电压下接通被试电机电源,使定子电流达到额定值,预热 10 min。如在热试验后立即进行本项试验,则不需预热。

试验从大电流开始,依次降低,在 1.1~0.5 倍额定电流范围内至少测取 6 点读数。每点应同时测取被试电机的  $P_1$ 、 $I_1$ 、 $\theta_t$ (或  $R_t$ )和驱动电机的输入功率  $P_{a1}$ 。切断被试电机电源,读取驱动电机的输入

功率  $P_{a0}$ 。

#### 10.6.3.3.2.2 高频杂散损耗 $P'_{sh}$ (W) 的计算方法

$$P'_{sh} = P_{a1} - P_{a0} - (P_1 - 1.5I_1^2 R_t) \quad \dots\dots\dots (41)$$

式中:

$P_{a1}$ ——驱动电机的输入功率,单位为瓦特(W),见 10.6.3.3.2.1;

$P_{a0}$ ——在被试电机的  $I_1 = 0$  时驱动电机的输入功率,单位为瓦特(W),见 10.6.3.3.2.1;

$P_1$ ——被试电机定子输入功率,单位为瓦特(W),见 10.6.3.3.2.1;

$I_1$ ——被试电机定子线电流,单位为安培(A),见 10.6.3.3.2.1;

$R_t$ ——试验温度下被试电机定子绕组端电阻,单位为欧姆( $\Omega$ ),  $R_t$  按 10.6.3.2.2 中的方法确定。

#### 10.6.3.4 负载杂散损耗 $P_s$ 的确定

##### 10.6.3.4.1 转子电流 $I_2$ 的近似值

分别计算取出转子试验(见 10.6.3.2.1)和反转试验(见 10.6.3.3.1 或 10.6.3.3.2)转子电流  $I_2$  的近似值,单位为安培(A):

$$I_2 = \sqrt{I_1^2 - I_0^2} \quad \dots\dots\dots (42)$$

式中:

$I_1$ ——定子电流,单位为安培(A)(分别见 10.6.3.2.1 和 10.6.3.3.1.1 或 10.6.3.3.2.1);

$I_0$ ——试验电压下空载电流,单位为安培(A),由图 5 求取。

##### 10.6.3.4.2 求取负载杂散损耗 $P_s$

分别绘制  $P_{sf} = f(I_2)$  和  $P'_{sh} = f(I_2)$  关系曲线(见图 7)。从图 7 中查得对应于同一  $I_2$  的  $P_{sf}$  和  $P'_{sh}$  数值,被试电机的负载杂散损耗  $P_s$  (W) 为:

$$P_s = P'_{sh} + 2P_{sf} \quad \dots\dots\dots (43)$$

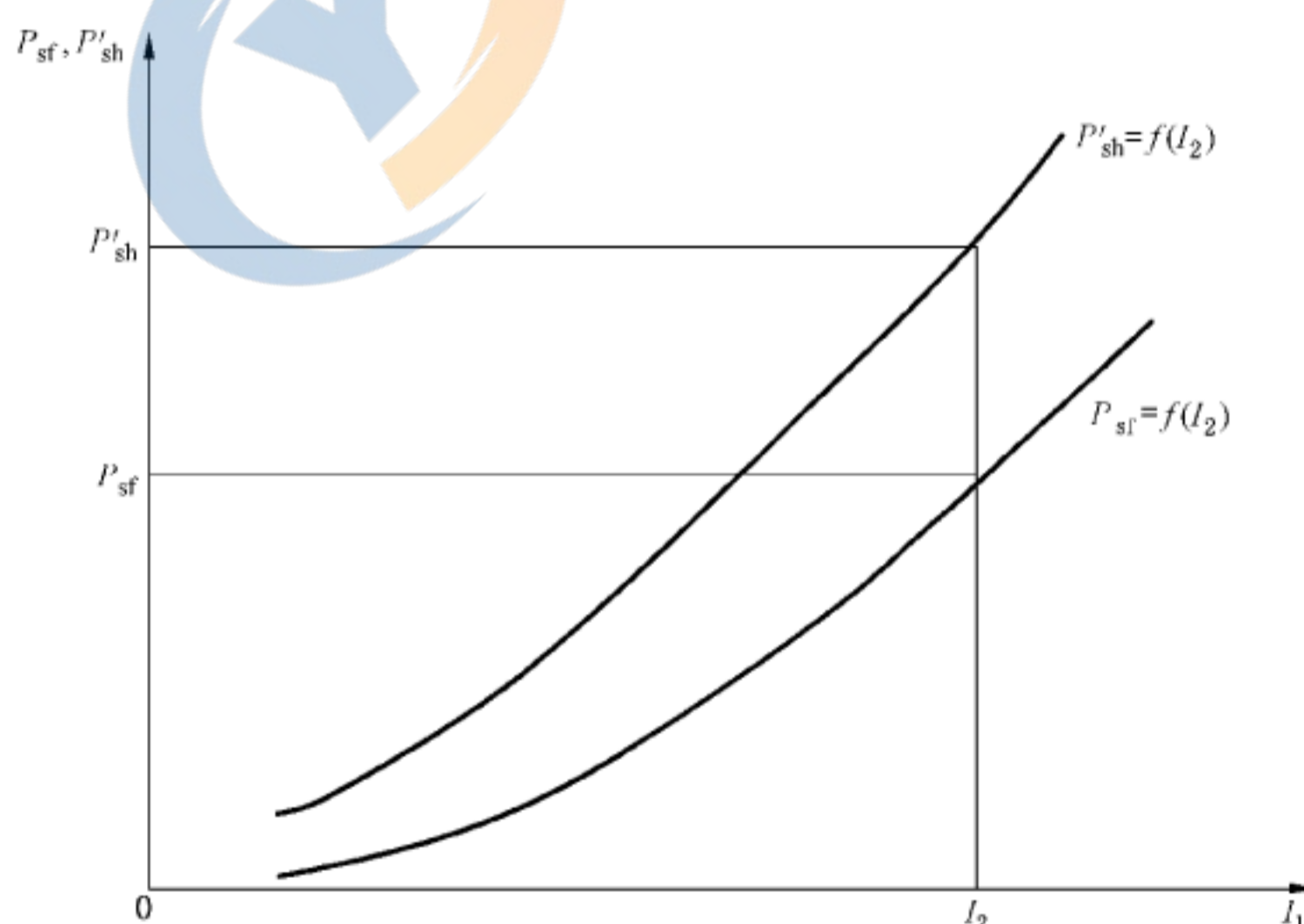


图 7 杂散损耗求取曲线

根据不同负载电流  $I_1$ ,按 10.6.3.4.1 中的规定求取相应的电流  $I_2$ ,从而确定不同负载(包括额定负载)下的负载杂散损耗。

10.6.4 绕线转子电动机杂散损耗的另一种直接测量法

在此方法中,转子通以直流电流励磁,定子绕组经电流表短接以读取定子电流,利用其他动力把转子驱动到同步转速,调节转子励磁,使定子绕组内电流达到要求确定负载杂散损耗的电流值。测量加励磁和不加励磁时驱动转子的机械功率( $P_r$  和  $P_f$ )。

$$P_s = P_r - P_f - \text{试验温度下的定子绕组 } I^2R \text{ 损耗} \dots\dots\dots(44)$$

至少测取 6 个负载点读数,绘制出负载杂散损耗对定子绕组电流平方的关系曲线,从曲线上确定负载杂散损耗  $P_s$ 。

10.6.5 推荐值法

额定负载时的杂散损耗按图 8 曲线或公式确定。

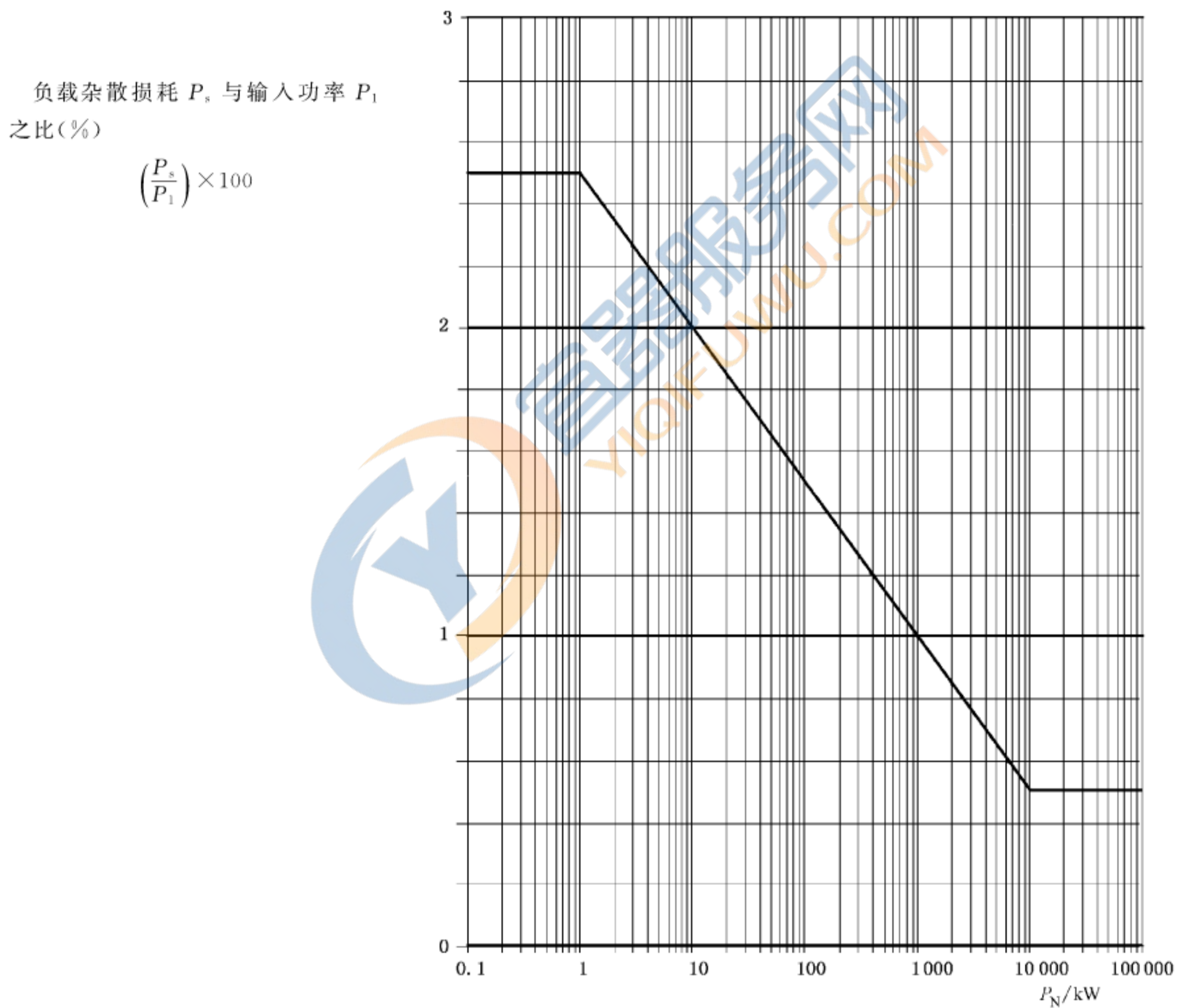


图 8 感应电机负载杂散损耗  $P_s$  的推荐值

曲线的数值可按式(45)~式(47)表述:

对  $P_N \leq 1 \text{ kW}$   $P_s = P_1 \times 0.025 \dots\dots\dots(45)$

对  $1 \text{ kW} < P_N < 10\,000 \text{ kW}$   $P_s = P_1 \times [0.025 - 0.005 \lg P_N] \dots\dots\dots(46)$

对  $P_N \geq 10\,000 \text{ kW}$   $P_s = P_1 \times 0.005 \dots\dots\dots(47)$



非额定负载点杂散损耗按与  $(I_1^2 - I_0^2)/(I_N^2 - I_0^2)$  成比例确定。

注：此曲线不代表平均值，而是大量试验值的上包络线，而且在大多数情况下，曲线给出的负载杂散损耗值比 10.6.2 或 10.6.3 测得的值大。 $I_0$  为  $U_0 = U_N$  时的空载电流，按 8.1.1 确定。

10.6.6 绕组星接不对称电压空载试验 (Eh-star) 法 (等同采用 IEC 60034-2-1:2007 中的 6.4.5.5 和 8.2.2.5.4)

10.6.6.1 试验程序

本试验要求被试电动机在不平衡供电电压下作空载电动机运行。试验线路见图 9。

试验时，定额为  $\Delta$  接法的电动机应改为 Y 接法。星点不得连接至系统的中性点或接地，以避免有零序电流。

电动机的第三 (W) 相应经电阻器  $R_{eh}$  (见图 9) 接至电源线上， $R_{eh}$  的典型值约为：

对定额为 Y 接法的电动机：

$$R'_{eh} = \frac{U_N}{\sqrt{3} I_N} \times 0.2 \dots\dots\dots (48)$$

对定额为  $\Delta$  接法的电动机：

$$R'_{eh} = \frac{\sqrt{3} \times U_N}{I_N} \times 0.2 \dots\dots\dots (49)$$

试验时的电阻器  $R_{eh}$  应是可调的，使正序电流  $I_{(1)}$  保持在负序电流的 30% 以下，并且转速保持在接近额定转速的通常范围内。推荐试验开始时的实际电阻  $R_{eh}$  与典型值  $R'_{eh}$  相差不大于 20%。

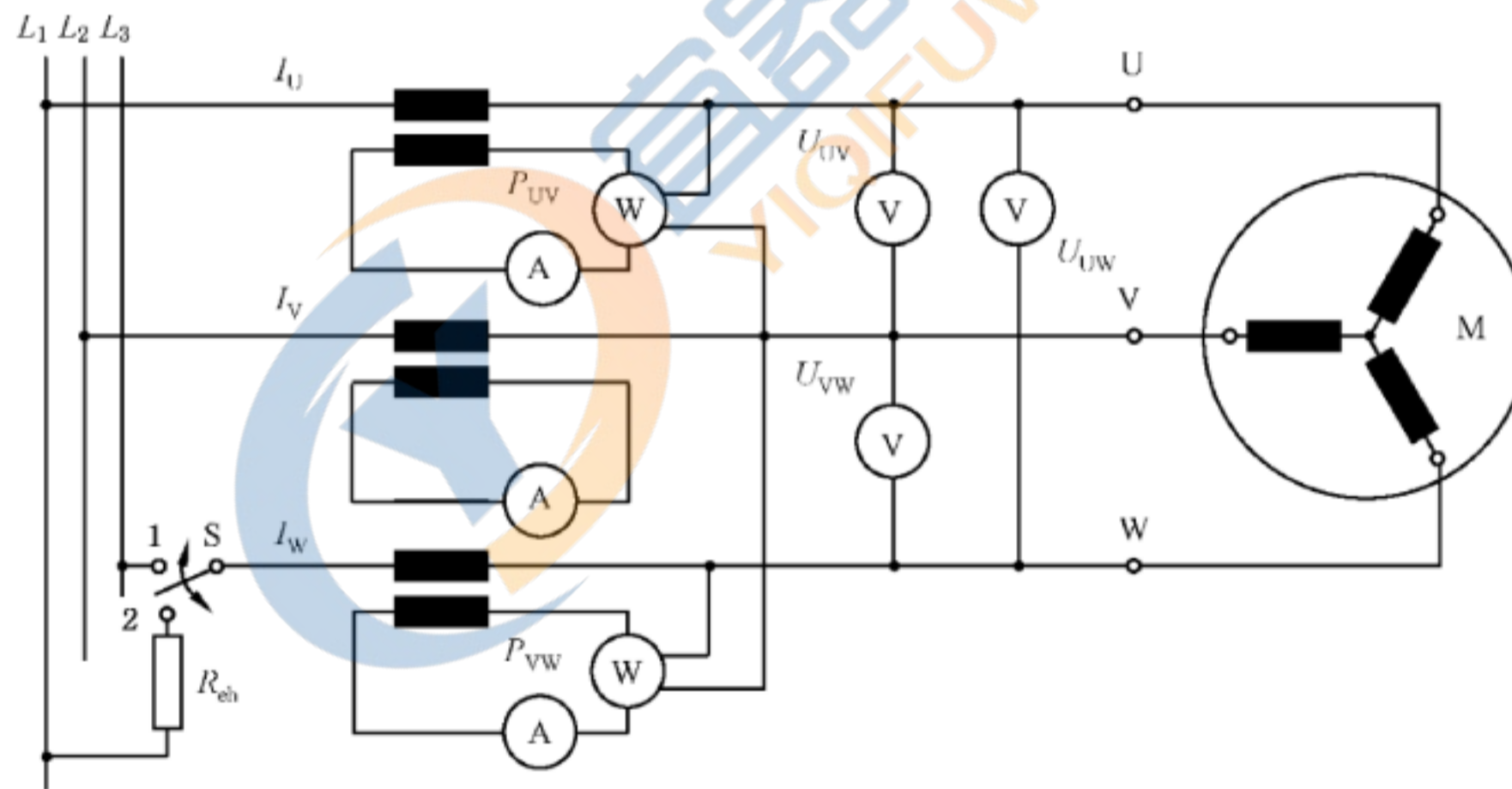


图 9 Eh-star 试验线路图

试验电流  $I_t$  (A) 按式 (50)、式 (51) 计算：

对定额为 Y 接法的电动机：

$$I_t = \sqrt{I_N^2 - I_0^2} \dots\dots\dots (50)$$

对定额为  $\Delta$  接法的电动机：

$$I_t = \frac{\sqrt{I_N^2 - I_0^2}}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots (51)$$

试验电压  $U_t$  按式 (52)、式 (53) 计算：

对定额为 Y 接法的电动机：

$$U_t = U_N \dots\dots\dots (52)$$

对定额为△接法的电动机：

$$U_t = U_N \cdot \sqrt{3} \quad \dots\dots\dots(53)$$

在读取试验数据之前，空载损耗须达到 8.1 规定的稳定状态。

试验前和试验后测量和记录 V 和 W 之间的端电阻( $R_{vw}$ )。

为了避免三相严重不平衡发热，试验应在电机为冷态时开始并尽可能快地完成。

在降低电压[(25%~40%) $U_N$ ]的情况下较大的电机可能只在不接电阻  $R_{ch}$  时起动(开关 S 置于 1 位置，见图 9)，起动完成后，切换开关至位置 2 接入电阻  $R_{ch}$ 。

较小的电动机可以接入电阻  $R_{ch}$  启动。这种情况下，不需要开关。

改变电源电压选 6 点做试验。所选试验点应近似均布在额定相电流的 150% 和 75% 范围内，此电流在 V 相( $I_V$ )测取。试验从最大电流开始，依次递减至最小电流。

100% 试验电流及较小试验电流试验点的端电阻  $R_{vw}$  是在最小读数(试验结束时)之后的测定值。

对大于 100% 电流的端电阻，可以用完成试验前后的数据，按与电流的线性关系来确定。试验电阻按 6.6.4.5 所述的外推法确定。

每一个试验点记录  $I_U, I_V, I_W, U_{UV}, U_{VW}, U_{WU}, P_{UV}, P_{VW}, n$ 。

注 1：在本试验中不用相电阻的平均值；

注 2：电阻也可由安装在绕组上的温度传感器测量定子绕组温度来确定。每一个负载点的电阻可用该点的绕组温度与试验开始前测得的电阻和温度之间的关系来确定；

注 3：一些惯用的一体式功率表通过内部人为星接使三相达到对称。然而，在本试验中，电源是人为不对称的。因此，本质上确保其既不能星点接地，也不能形成人为星点。必须用图 9 的试验线路。

为了得到准确的试验结果，对所有测试点，转差应不大于 2 倍的额定转差，即

$$n > n_s - 2 \times (n_s - n_N)$$

如果此条件不满足，则增大  $R_{ch}$  的电阻值重新试验。如果电机在低于 100% 额定相电流时运行仍然不稳定，可将这些试验点删除。

### 10.6.6.2 计算程序

#### 10.6.6.2.1 中间过程值计算

根据 10.6.6.1 试验，对每一个试验点的数据按附录 B 计算中间过程值。

#### 10.6.6.2.2 负载杂散损耗 $P_s$ 的确定

##### 10.6.6.2.2.1 $P_{Lr}$ 试验数据修匀

剩余损耗  $P_{Lr}$  对  $[I_{i(2)}/I_1]^2$  进行线性回归分析，按附录 C 所述的方法求取  $P_{Lr}$  的线性回归方程：

$$P_{Lr} = A \times \left[ \frac{I_{i(2)}}{I_1} \right]^2 + B \quad \dots\dots\dots(54)$$

式中：

$I_{i(2)}$  ——内相电流的逆序分量，单位为安培(A)，按 B.8 确定；

$I_1$  ——试验电流，单位为安培(A)，见 10.6.6.1；

$A$  ——斜率，按附录 C 确定；

$B$  ——截距，单位为瓦特(W)，按附录 C 确定。

##### 10.6.6.2.2.2 相关系数

按附录 C 所述的方法求取相关系数  $r$ ， $r$  应不小于 0.90。

10.6.6.2.2.3 负载杂散损耗  $P_s$  (W)

$$P_s = A \times \left[ \frac{I_{i(2)}}{I_1} \right]^2 \quad \dots\dots\dots (55)$$

## 10.7 总损耗及输出功率的确定

10.7.1 总损耗  $P_T$  (W)

$$P_T = P_{cu1s} + P_{cu2s} + P_{Fe} + P_{fw} + P_s \quad \dots\dots\dots (56)$$

式中:

$P_{cu1s}$ ——规定温度下定子  $I^2R$  损耗,单位为瓦特(W),按 10.2.2 确定;

$P_{cu2s}$ ——规定温度下转子  $I^2R$  损耗,单位为瓦特(W),按 10.3.3 确定;

$P_{Fe}$ ——铁耗,单位为瓦特(W),按 8.3 确定;

$P_{fw}$ ——风摩耗,单位为瓦特(W),按 8.2 确定;

$P_s$ ——负载杂散损耗,单位为瓦特(W),按 10.6 确定。

10.7.2 输出功率  $P_2$  (W)

$$P_2 = P_1 - P_T \quad \dots\dots\dots (57)$$

式中:

$P_1$ ——输入功率,单位为瓦特(W),见 7.2;

$P_T$ ——总损耗,单位为瓦特(W),按 10.7.1 确定。

## 11 效率的确定

## 11.1 概述

效率是以同一单位表示的输出功率  $P_2$  和输入功率  $P_1$  之比,通常以百分数表示。输出功率  $P_2$  等于输入功率  $P_1$  减去总损耗  $P_T$ ,若已知 3 个变量(输入、总损耗和输出)中的两个,就可用式(58)、式(59)求取效率  $\eta$ :

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (58)$$

$$\eta = \left( 1 - \frac{P_T}{P_1} \right) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (59)$$

除非另有规定,应在额定电压和额定频率下确定效率。若电压没有显著偏离额定值且符合 4.2.1 的要求,则由此求得的效率值是准确的。

## 11.1.1 确定效率的试验方法

确定效率的几种试验方法如下:

- (1) A 法——输入-输出法;
- (2) B 法——测量输入和输出功率的损耗分析法;
- (3) C 法——成对电机双电源对拖回馈试验损耗分析法;
- (4) E 法或 E1 法——测量输入功率的损耗分析法;
- (5) F 法或 F1 法——等值电路法;
- (6) G 法或 G1 法——降低电压负载法;
- (7) H 法——圆图法。

不同试验方法确定的效率值不直接比较。

### 11.1.2 试验方法与效率的测量不确定度

效率的测量不确定度是指实际效率值的不确定度,通常应以数值表示,这需要足够多的试验样本来确定其具有的有代表性和可比性的数据。

本标准采用相对不确定度,以区分不同试验方法效率测试结果的相对准确性,见表4。

“低不确定度”表示完全根据试验结果确定效率。表明效率测试值的不确定范围小,此法较准确。

“中不确定度”表示依据部分试验结果和简化物理模型确定效率。表明效率测试值的不确定范围为中等大小,此法的准确性为中等;

“高不确定度”表示依据部分试验结果和若干假设确定效率,表明效率测试值的不确定范围较大,此法的准确性较差。

表4 相对不确定度

试验方法	条款	推荐适用范围	相对不确定度	
A法	11.2	不大于1 kW	低	
B法	11.3	不大于400 kW	低	
C法	11.4		中	
E法或E1法	11.5		中/高	
F法或F1法	11.6	中、大型电机	中/高	
G法或G1法	11.7		中/高	
H法	11.8	中、大型电机	高	
确定 $P_s$ 的方法	剩余损耗法	10.6.2	不大于400 kW	低
	反转法	10.6.3	中、大型电机	中/高
	推荐值法	10.6.5	中、大型电机	中/高
	Eh-star法	10.6.6	1 kW ~ 150 kW	中

### 11.1.3 试验方法的选择

应优先选择相对不确定度低的试验方法。

对于中大型电机,根据现场条件,采用合适的方法确定电机的效率。

## 11.2 A法——输入-输出法

### 11.2.1 概述

A法的特点是由测得的输出功率与输入功率之比就可知电机的效率。此直观效率值与测试时的冷却介质温度值有关。为提高测试结果的准确性和便于分析比较,需用修正到基准冷却介质温度(25℃)的输出功率和输入功率,计算电机的效率。

### 11.2.2 试验程序

#### 11.2.2.1 定子绕组初始(冷)端电阻的测定

被试电机在冷却介质温度下(按5.2.1中的规定)测量并记录定子绕组端电阻 $R_1$ (按5.2.2.4确

定)和绕组温度  $\theta_1$  (按 5.2.1 确定)。

#### 11.2.2.2 额定负载热试验

- a) 试验方法,按 6.6 的规定;
- b) 绕组工作温度  $\theta_w$ ,按 6.8 确定;热态端电阻  $R_w$ ,按 6.8.1.1 确定。

#### 11.2.2.3 负载特性试验

试验方法按 7.2 的规定;  
测量并记录: $U$ 、 $f$ 、 $I_1$ 、 $P_1$ 、 $n$ (或  $s_t$ )、 $T_t$ 、 $\theta_t$ (或  $R_t$ )、 $\theta_a$ 。

##### 11.2.2.3.1 转矩读数修正值 $T_c$ 的测定

$T_c$  按 7.3 确定。

##### 11.2.2.4 轴转矩 $T$ 的确定

轴转矩  $T$  按 7.4 确定。

##### 11.2.2.5 空载试验

###### 11.2.2.5.1 试验方法

按 8.1 的规定。

###### 11.2.2.5.2 风摩耗 $P_{fw}$ 的确定

$P_{fw}$  按 8.2 确定。

###### 11.2.2.5.3 铁耗 $P_{Fe}$ 的确定

$P_{Fe}$  按 8.3 确定。

#### 11.2.3 计算

##### 11.2.3.1 修正到基准冷却介质温度(25℃)的输入功率 $P_{1c}$

###### 11.2.3.1.1 试验温度下定子 $I^2R$ 损耗 $P_{cul}$ (W)

$$P_{cul} = 1.5 I_1^2 R_1 \times \frac{K_1 + \theta_t}{K_1 + \theta_1} \dots\dots\dots (60)$$

式中:

- $\theta_t$  ——各负载点处绕组温度,单位为摄氏度(℃),见 11.2.2.3;
- $R_1$  ——绕组初始(冷)端电阻,单位为欧姆( $\Omega$ ),见 11.2.2.1;
- $\theta_1$  ——测量  $R_1$  时的绕组温度,单位为摄氏度(℃),见 11.2.2.1;
- $I_1$  ——定子电流,单位为安培(A),见 11.2.2.3。

###### 11.2.3.1.2 修正到基准冷却介质温度(25℃)的定子 $I^2R$ 损耗 $P_{culc}$ (W)

$$P_{culc} = P_{cul} \times \frac{K_1 + 25}{K_1 + \theta_a} \dots\dots\dots (61)$$

式中:

- $P_{cul}$  ——见 11.2.3.1.1;

$\theta_a$  ——负载试验冷却介质温度,单位为摄氏度(°C),见 11.2.2.3。

11.2.3.1.3 定子  $I^2R$  损耗增量  $\Delta P_{cu1}$  (W)

$$\Delta P_{cu1} = P_{cu1} - P_{cu1c} \quad \dots\dots\dots (62)$$

式中:

$P_{cu1}$  ——见 11.2.3.1.1;

$P_{cu1c}$  ——见 11.2.3.1.2。

11.2.3.1.4 试验温度下转子  $I^2R$  损耗  $P_{cu2}$  (W)

11.2.3.1.4.1 试验温度下转差率  $s$

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \quad \dots\dots\dots (63)$$

式中:

$n_s$  ——同步转速,单位为转每分钟(r/min);

$$n_s = 60 f / p$$

$f$  ——频率,单位为赫兹(Hz),见 11.2.2.3;

$n$  ——转速,单位为转每分钟(r/min),见 11.2.2.3。

注:如实测转差  $s_1$ ,则  $n = n_s - s_1$ 。

11.2.3.1.4.2 试验温度下转子  $I^2R$  损耗  $P_{cu2}$  (W)

$$P_{cu2} = (P_1 - P_{cu1} - P_{Fe}) \times s \quad \dots\dots\dots (64)$$

式中:

$P_1$  ——输入功率,单位为瓦特(W),见 11.2.2.3;

$P_{cu1}$  ——试验温度下定子  $I^2R$  损耗,单位为瓦特(W),见 11.2.3.1.1;

$P_{Fe}$  ——铁耗,单位为瓦特(W),见 11.2.2.5.3;

$s$  ——试验温度下转差率,见 11.2.3.1.4.1。

11.2.3.1.5 修正到基准冷却介质温度(25 °C)的转子  $I^2R$  损耗  $P_{cu2c}$  (W)

$$P_{cu2c} = P_{cu2} \times \frac{K_2 + 25}{K_2 + \theta_a} \quad \dots\dots\dots (65)$$

式中:

$P_{cu2}$  ——试验温度下转子  $I^2R$  损耗,单位为瓦特(W),见 11.2.3.1.4.2;

$\theta_a$  ——负载试验时冷却介质温度,单位为摄氏度(°C),见 11.2.2.3。

11.2.3.1.6 转子  $I^2R$  损耗增量  $\Delta P_{cu2}$  (W)

$$\Delta P_{cu2} = P_{cu2} - P_{cu2c} \quad \dots\dots\dots (66)$$

式中:

$P_{cu2}$  ——见 11.2.3.1.4.2;

$P_{cu2c}$  ——见 11.2.3.1.5。

11.2.3.1.7 修正到基准冷却介质温度(25 °C)的输入功率  $P_{1c}$  (W)

$$P_{1c} = P_1 - \Delta P_{cu1} - \Delta P_{cu2} \quad \dots\dots\dots (67)$$

式中:

$P_1$  ——输入功率,单位为瓦特(W),见 11.2.2.3;

$\Delta P_{\text{cul}}$  ——按 11.2.3.1.3 确定;

$\Delta P_{\text{cu2}}$  ——按 11.2.3.1.6 确定。

### 11.2.3.2 修正到基准冷却介质温度(25 °C)的输出功率 $P_{2c}$

#### 11.2.3.2.1 修正到基准冷却介质温度(25 °C)的转差 $s_{tc}$ (r/min)

$$s_{tc} = (n_s - n) \times \frac{K_2 + 25}{K_2 + \theta_a} \quad \dots\dots\dots (68)$$

式中:

$n_s$  ——同步转速,单位为转每分钟(r/min),按 11.2.3.1.4 确定;

$n$  ——实测转速,单位为转每分钟(r/min),见 11.2.2.3;

$\theta_a$  ——负载试验冷却介质温度,单位为摄氏度(°C),见 11.2.2.3。

#### 11.2.3.2.2 修正到基准冷却介质温度(25 °C)的转速 $n_c$ (r/min)

$$n_c = n_s - s_{tc} \quad \dots\dots\dots (69)$$

#### 11.2.3.2.3 修正到基准冷却介质温度(25 °C)的输出功率 $P_{2c}$ (W)

$$P_{2c} = \frac{T \times n_c}{9.549} \quad \dots\dots\dots (70)$$

式中:

$T$  ——轴转矩,单位为牛顿米(N·m),见 11.2.2.4;

$n_c$  ——修正到基准冷却介质温度(25 °C)的转速,单位为转每分钟(r/min),见 11.2.3.2.2。

### 11.2.3.3 效率 $\eta$

$$\eta = \frac{P_{2c}}{P_{1c}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (71)$$

式中:

$P_{2c}$  ——修正到基准冷却介质温度(25 °C)的输出功率,单位为瓦特(W),见 11.2.3.2.3;

$P_{1c}$  ——修正到基准冷却介质温度(25 °C)的输入功率,单位为瓦特(W),见 11.2.3.1.7。

### 11.2.3.4 功率因数 $\cos\varphi$

$$\cos\varphi = \frac{P_{1c}}{\sqrt{3}UI_1} \quad \dots\dots\dots (72)$$

式中:

$P_{1c}$  ——修正到基准冷却介质温度(25 °C)的输入功率,单位为瓦特(W),见 11.2.3.1.7;

$U$  ——端电压测试值,单位为伏特(V),见 11.2.2.3;

$I_1$  ——定子电流测试值,单位为安培(A),见 11.2.2.3。

### 11.2.3.5 负载特性曲线

作定子电流  $I_1$  (A)(见 11.2.2.3)、修正后输入功率  $P_{1c}$  (W)(见 11.2.3.1.7)、修正后的转速  $n_c$  (r/min)(见 11.2.3.2.2)、效率  $\eta$  (见 11.2.3.3)及功率因数  $\cos\varphi$  (见 11.2.3.4)对修正后输出功率  $P_{2c}$  (W)(见 11.2.3.2.3)的关系曲线。

11.2.3.6 指定负载点特性参数

从负载特性曲线上求取 150%、125%、100%、75%、50% 和 25% 额定负载时的  $I_1$  (A)、 $P_{1c}$  (W)、 $n_c$  (r/min)、 $\eta$  和  $\cos\varphi$  的值。

11.2.3.7 A 法计算格式

型号\_\_\_\_\_ 设计\_\_\_\_\_ 机座号\_\_\_\_\_ 定额\_\_\_\_\_ 相数\_\_\_\_\_  
 频率\_\_\_\_\_ Hz 电压\_\_\_\_\_ V 极数\_\_\_\_\_ 温升限值\_\_\_\_\_ 工作制\_\_\_\_\_  
 产品编号\_\_\_\_\_

表 5 A 法计算格式

序号	项 目	数据来源或计算	负载点					
			1	2	3	4	5	6
1	定子绕组初始(冷)端电阻 $R_1/\Omega$	见 11.2.2.1						
2	测量 $R_1$ 时绕组温度 $\theta_1/^\circ\text{C}$	见 11.2.2.1						
3	定子绕组温度 $\theta_1/^\circ\text{C}$	见 11.2.2.3						
4	负载试验冷却介质温度 $\theta_a/^\circ\text{C}$	见 11.2.2.3						
5	端电压 $U/\text{V}$	见 11.2.2.3						
6	定子线电流 $I_1/\text{A}$	见 11.2.2.3						
7	输入功率 $P_1/\text{W}$	见 11.2.2.3						
8	频率 $f/\text{Hz}$	见 11.2.2.3						
9	同步转速 $n_s/(\text{r}/\text{min})$	$(9) = 60 \times (8) / p$						
10	实测转速 $n/(\text{r}/\text{min})$	见 11.2.2.3 或 $(10) = (9) - (11)$						
11	实测转差 $s_1/(\text{r}/\text{min})$	见 11.2.2.3 或 $(11) = (9) - (10)$						
12	转差率 $s$	$(12) = (11) / (9)$						
13	修正到 25 °C 冷却介质温度的转差 $s_{1c}/(\text{r}/\text{min})$	$(13) = (11) \times (K_2 + 25) / [K_2 + (4)]$						
14	修正到 25 °C 冷却介质温度的转速 $n_c/(\text{r}/\text{min})$	$(14) = (9) - (13)$						
15	转矩读数 $T_1/\text{N} \cdot \text{m}$	见 11.2.2.3						
16	转矩读数修正值 $T_c/\text{N} \cdot \text{m}$	见 11.2.2.3.1						
17	轴转矩 $T/\text{N} \cdot \text{m}$	$(17) = (15) + (16)$						
18	修正到 25 °C 冷却介质温度的输出功率 $P_{2c}/\text{W}$	$(18) = (17) \times (14) / 9.549$						
19	铁耗 $P_{\text{Fe}}/\text{W}$	各负载点铁耗, 见 11.2.2.5.3						
20	试验温度下定子绕组端电阻 ( $R_1$ )/ $\Omega$	$(20) = (1) \times (K_1 + (3)) / [K_1 + (2)]$						
21	试验温度下定子 $I^2R$ 损耗 $P_{\text{cul}}/\text{W}$	$(21) = 1.5 \times (6)^2 \times (20)$						



表 5 (续)

序号	项 目	数据来源或计算	负载点					
			1	2	3	4	5	6
22	修正到 25 °C 冷却介质温度定子 $I^2R$ 损耗 $P_{cu1c}/W$	(22) = (21) × (K <sub>1</sub> + 25) / [K <sub>1</sub> + (4)]						
23	定子 $I^2R$ 损耗增量 $\Delta P_{cu1}/W$	(23) = (21) - (22)						
24	试验温度下转子 $I^2R$ 损耗 $P_{cu2}/W$	(24) = [(7) - (21) - (19)] × (12)						
25	修正到 25 °C 冷却介质温度转子 $I^2R$ 损耗 $P_{cu2c}/W$	(25) = (24) × (K <sub>2</sub> + 25) / [K <sub>2</sub> + (4)]						
26	转子 $I^2R$ 损耗增量 $\Delta P_{cu2}/W$	(26) = (24) - (25)						
27	修正到 25 °C 冷却介质温度定子输入功率 $P_{1c}/W$	(28) = (7) - (22) - (26)						
28	效率 $\eta$	(29) = 100 × (18) / (27)						
29	功率因数 $\cos\varphi$	(30) = (27) / [√3 × (5) × (6)]						

注：带括号数字指本表序号所指的参量。

### 11.3 B 法——测量输入和输出功率的损耗分析法

#### 11.3.1 试验程序

##### 11.3.1.1 定子绕组初始(冷)端电阻的测定

被试电机在冷却介质温度下(按 5.2.1 中的规定),测量并记录定子绕组端电阻  $R_1$  (按 5.2.2.4 确定)和绕组温度  $\theta_1$  (按 5.2.1 确定)。

##### 11.3.1.2 额定负载热试验

###### 11.3.1.2.1 试验方法

按 6.6 的规定。

###### 11.3.1.2.2 绕组工作温度 $\theta_w$ (°C)

$\theta_w$  按 6.8 确定,热态端电阻  $R_w$  按 6.8.1.1 确定。

###### 11.3.1.2.3 绕组规定温度 $\theta_s$ (°C)

$\theta_s$  按 6.9.2 的 a)、b)或 c)确定。

##### 11.3.1.3 负载特性试验

试验方法按 7.2 的规定。

测量并记录:  $U$ 、 $f$ 、 $I_1$ 、 $P_1$ 、 $n$ (或  $s_1$ )、 $T_1$ 、 $\theta_1$ (或  $R_1$ )、 $\theta_a$ 。

11.3.1.3.1 转矩读数修正值  $T_c$  的测定

$T_c$  按 7.3 确定。

11.3.1.4 轴转矩  $T$  的确定

轴转矩  $T$  按 7.4 确定。

11.3.1.5 空载试验

11.3.1.5.1 试验方法及试验要求

按 8.1 的规定。

11.3.1.5.2 风摩耗  $P_{fw}$  的确定

$P_{fw}$  按 8.2 确定。

11.3.1.5.3 铁耗  $P_{Fe}$  的确定

$P_{Fe}$  按 8.3 确定。

11.3.2 计算

11.3.2.1 风摩耗  $P_{fw}$  (W)

见 11.3.1.5.2。

11.3.2.2 铁耗  $P_{Fe}$  (W)

见 11.3.1.5.3。

11.3.2.3 负载杂散损耗  $P_s$  的确定

11.3.2.3.1 试验温度 ( $\theta_1$ ) 下定子  $I^2R$  损耗  $P_{cu1}$  (W)

$$P_{cu1} = 1.5 I_1^2 R_1 \times \frac{K_1 + \theta_1}{K_1 + \theta_1} \dots\dots\dots (73)$$

式中:

$\theta_c$  ——各负载点绕组温度,单位为摄氏度( $^{\circ}C$ ),见 11.3.1.3;

$R_1$  ——绕组初始(冷)端电阻,单位为欧姆( $\Omega$ ),见 11.3.1.1;

$\theta_1$  ——测量  $R_1$  时绕组温度,单位为摄氏度( $^{\circ}C$ ),见 11.3.1.1;

$I_1$  ——定子电流,单位为安培(A),见 11.3.1.3。

11.3.2.3.2 试验温度下转子  $I^2R$  损耗  $P_{cu2}$  (W)

11.3.2.3.2.1 试验温度下转差率  $s$

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \dots\dots\dots (74)$$

式中:

$n_s$  ——同步转速,单位为转每分钟(r/min);

$$n_s = 60 \times f / p$$

$f$  ——频率,单位为赫兹(Hz),见 11.2.2.3;  
 $n$  ——转速,单位为转每分钟(r/min),见 11.2.2.3。

注:如实测转差  $s_1$ ,则  $n = n_s - s_1$ 。

#### 11.3.2.3.2.2 试验温度下转子 $I^2R$ 损耗 $P_{cu2}$ (W)

$$P_{cu2} = (P_1 - P_{cu1} - P_{Fe}) \times s \quad \dots\dots\dots (75)$$

式中:

$P_1$  ——输入功率测量值,单位为瓦特(W),见 11.3.1.3;  
 $P_{cu1}$  ——试验温度下定子  $I^2R$  损耗,单位为瓦特(W),见 11.3.2.3.1;  
 $P_{Fe}$  ——铁耗,单位为瓦特(W),见 11.3.2.2;  
 $s$  ——试验温度转差率,按 11.3.2.3.2.1 确定。

注:如实测转差  $s_1$ ,则  $n = n_s - s_1$ 。

#### 11.3.2.3.3 轴功率 $P_{mech}$ 的确定 (W)

$$P_{mech} = \frac{T \times n}{9.549} \quad \dots\dots\dots (76)$$

式中:

$T$  ——轴转矩,单位为牛顿米(N·m),见 11.3.1.4;  
 $n$  ——转速,单位为转每分钟(r/min),见 11.3.1.3。

#### 11.3.2.3.4 视在总损耗 $P_{ST}$ (W)

$$P_{ST} = P_1 - P_{mech} \quad \dots\dots\dots (77)$$

式中:

$P_1$  ——输入功率,单位为瓦特(W),见 11.3.1.3;  
 $P_{mech}$  ——轴功率,单位为瓦特(W),见 11.3.2.3.3。

#### 11.3.2.3.5 剩余损耗 $P_L$ (W)

$$P_L = P_{ST} - (P_{fw} + P_{Fe} + P_{cu1} + P_{cu2}) \quad \dots\dots\dots (78)$$

式中:

$P_{ST}$  ——视在总损耗,单位为瓦特(W),见 11.3.2.3.4;  
 $P_{fw}$  ——风摩耗,单位为瓦特(W),见 11.3.2.1;  
 $P_{Fe}$  ——铁耗,单位为瓦特(W),见 11.3.2.2;  
 $P_{cu1}$  ——试验温度下定子  $I^2R$  损耗,单位为瓦特(W),见 11.3.2.3.1;  
 $P_{cu2}$  ——试验温度下转子  $I^2R$  损耗,单位为瓦特(W),见 11.3.2.3.2。

#### 11.3.2.3.6 剩余损耗 $P_L$ 对 $T^2$ 的线性回归分析

由于  $P_L$  与  $T^2$  呈线性关系,对其进行线性回归分析(方法见附录 C)得到:

斜率  $A$ ;  
 截距  $B$ (W);  
 相关系数  $r$ 。

如果相关系数  $r$ (按附录 C 求取)小于 0.95,剔除最差的一点后再进行回归分析。如果  $r \geq 0.95$ ,则用第二次回归分析的结果。如果  $r$  仍小于 0.95,说明测试仪器或试验读数,或二者均有较大误差,应查明产生误差的原因并校正,再重新做试验。

11.3.2.3.7 负载杂散损耗  $P_s$  (W)

$$P_s = A \times T^2 \quad \dots\dots\dots(79)$$

式中:

$A$  ——斜率,见 11.3.2.3.6;

$T$  ——轴转矩,单位为牛顿米(N·m),见 11.3.1.4。

11.3.2.4 规定温度( $\theta_s$ )下定子  $I^2R$  损耗  $P_{cu1s}$  (W)

$$P_{cu1s} = 1.5 I_1^2 R_1 \times \frac{K_1 + \theta_s}{K_1 + \theta_1} \quad \dots\dots\dots(80)$$

式中:

$I_1$  ——定子线电流,单位为安培(A),见 11.3.1.3;

$R_1$  ——定子绕组初始(冷)端电阻,单位为欧姆( $\Omega$ ),见 11.3.1.1;

$\theta_1$  ——测量  $R_1$  时定子绕组温度,单位为摄氏度( $^{\circ}\text{C}$ ),见 11.3.1.1;

$\theta_s$  ——规定温度,单位为摄氏度( $^{\circ}\text{C}$ ),见 11.3.1.2.3。

11.3.2.5 规定温度( $\theta_s$ )下转子  $I^2R$  损耗  $P_{cu2s}$  (W)

11.3.2.5.1 规定温度( $\theta_s$ )下转差率  $s_s$

$$s_s = s \times \frac{K_2 + \theta_s}{K_2 + \theta_1} \quad \dots\dots\dots(81)$$

式中:

$s$  ——试验温度转差率,见 11.3.2.3.2.1;

$\theta_1$  ——测量转速  $n$  时定子绕组温度,单位为摄氏度( $^{\circ}\text{C}$ ),见 11.3.1.3;

$\theta_s$  ——规定温度,单位为摄氏度( $^{\circ}\text{C}$ ),见 11.3.1.2.3。

11.3.2.5.2 规定温度( $\theta_s$ )下转子  $I^2R$  损耗  $P_{cu2s}$  (W)

$$P_{cu2s} = (P_1 - P_{cu1s} - P_{Fe}) \times s_s \quad \dots\dots\dots(82)$$

式中:

$P_1$  ——输入功率,单位为瓦特(W),见 11.3.1.3;

$P_{cu1s}$  ——规定温度( $\theta_s$ )下定子  $I^2R$  损耗,单位为瓦特(W),见 11.3.2.4;

$P_{Fe}$  ——铁耗,单位为瓦特(W),见 11.3.2.2;

$s_s$  ——规定温度( $\theta_s$ )下转差率,见 11.3.2.5.1。

11.3.2.5.3 规定温度( $\theta_s$ )下的转速  $n_c$  (r/min)

$$n_c = (1 - s_s) \times n_s \quad \dots\dots\dots(83)$$

式中:

$n_s$  ——同步转速,单位为转每分钟(r/min),见 11.3.2.3.2.1;

$s_s$  ——规定温度( $\theta_s$ )下转差率,见 11.3.2.5.1。

11.3.2.6 总损耗  $P_T$  (W)

$$P_T = P_{fw} + P_{Fe} + P_s + P_{cu1s} + P_{cu2s} \quad \dots\dots\dots(84)$$

式中:

$P_{fw}$  ——风摩耗,单位为瓦特(W),见 11.3.2.1;

- $P_{Fe}$  ——铁耗,单位为瓦特(W),见 11.3.2.2;  
 $P_s$  ——负载杂散损耗,单位为瓦特(W),按 11.3.2.3.7;  
 $P_{cu1s}$  ——规定温度下定子  $I^2R$  损耗,单位为瓦特(W),见 11.3.2.4;  
 $P_{cu2s}$  ——规定温度下转子  $I^2R$  损耗,单位为瓦特(W),见 11.3.2.5。

### 11.3.2.7 输出功率 $P_2$ (W)

$$P_2 = P_1 - P_T \quad \dots\dots\dots (85)$$

式中:

- $P_1$  ——输入功率,单位为瓦特(W),见 11.3.1.3;  
 $P_T$  ——总损耗,单位为瓦特(W),见 11.3.2.6。

### 11.3.2.8 效率 $\eta$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (86)$$

式中:

- $P_2$  ——输出功率,单位为瓦特(W),见 11.3.2.7;  
 $P_1$  ——输入功率,单位为瓦特(W),见 11.3.1.3。

### 11.3.2.9 功率因数 $\cos\varphi$

$$\cos\varphi = \frac{P_1}{\sqrt{3}UI_1} \quad \dots\dots\dots (87)$$

式中:

- $P_1$  ——输入功率,单位为瓦特(W),见 11.3.1.3;  
 $I_1$  ——定子电流,单位为安培(A),见 11.3.1.3;  
 $U$  ——端电压,单位为伏特(V),见 11.3.1.3。

### 11.3.2.10 负载特性曲线

作定子电流  $I_1$  (A)(见 11.3.1.3),输入功率  $P_1$  (W)(见 11.3.1.3),转速  $n_c$  (r/min)(见 11.3.2.5.3),效率  $\eta$  (见 11.3.2.8)及功率因数  $\cos\varphi$  (见 11.3.2.9)对输出功率  $P_2$  (W)(见 11.3.2.7)的关系曲线。

### 11.3.2.11 指定负载点特性参数

从负载特性曲线上求取 150%, 125%, 100%, 75%, 50% 和 25% 额定负载时的  $I_1$  (A),  $P_1$  (W),  $n_c$  (r/min),  $\eta$  和  $\cos\varphi$  的值。

### 11.3.2.12 B 法计算格式

表 6 B 法计算格式

序号	项 目	数据来源或计算
1	定子绕组初始(冷)端电阻 $R_1/\Omega$	见 11.3.1.1
2	测量 $R_1$ 时绕组温度 $\theta_1/^\circ\text{C}$	见 11.3.1.1
3	额定负载热试验绕组工作温度 $\theta_w/^\circ\text{C}$	见 11.3.1.2.2
4	热试验冷却介质温度 $\theta_b/^\circ\text{C}$	见 11.3.1.2.1

表 6 (续)

序号	项 目	数据来源或计算
5	负载试验绕组温度 $\theta_t/^\circ\text{C}$	见 11.3.1.3
6	负载试验冷却介质温度 $\theta_a/^\circ\text{C}$	见 11.3.1.3
7	规定温度 $\theta_s/^\circ\text{C}$	(7) = (3) - (4) + 25
8	频率 $f/\text{Hz}$	见 11.3.1.3
9	同步转速 $n_s/(\text{r}/\text{min})$	(9) = $60 \times (8) / p$
10	转速 $n/(\text{r}/\text{min})$	见 11.3.1.3, 或 (10) = (9) - (11)
11	转差 $s_t/(\text{r}/\text{min})$	见 11.3.1.3, 或 (11) = (9) - (10)
12	转差率 $s$	(12) = (11) / (9)
13	端电压 $U/\text{V}$	见 11.3.1.3
14	定子线电流 $I_1/\text{A}$	见 11.3.1.3
15	定子输入功率 $P_1/\text{W}$	见 11.3.1.3
16	风摩耗 $P_{fw}/\text{W}$	见 11.3.2.1
17	各负载点铁耗 $P_{Fe}/\text{W}$	见 11.3.2.2
18	$P_{cu1}$ 在试验温度( $\theta_t$ )下定子 $I^2R$ 损耗/ $\text{W}$	(18) = $1.5 \times (14)^2 \times (1) \times [K_1 + (5)] / [K_1 + (2)]$
19	$P_{cu2}$ 在试验温度( $\theta_t$ )下转子 $I^2R$ 损耗/ $\text{W}$	(19) = [(15) - (17) - (18)] $\times$ (12)
20	各负载点转矩读数 $T_t/\text{N} \cdot \text{m}$	见 11.3.1.3
21	转矩读数修正值 $T_c/\text{N} \cdot \text{m}$	见 11.3.1.3.1
22	轴转矩 $T/(\text{N} \cdot \text{m})$	(22) = (20) + (21)
23	轴功率 $P_{\text{mech}}/\text{W}$	(23) = (10) $\times$ (22) / 9.549
24	剩余损耗 $P_L/\text{W}$	(24) = (15) - (23) - (16) - (17) - (18) - (19)
25	截距 $B$	见 11.3.2.3.6
26	斜率 $A$	见 11.3.2.3.6
27	相关系数 $r$	见 11.3.2.3.6
28	负载杂散损耗 $P_s/\text{W}$	(28) = (26) $\times$ (22) <sup>2</sup>
29	规定温度( $\theta_s$ )下定子 $I^2R$ 损耗 $P_{cu1s}/\text{W}$	(29) = $1.5 \times (14)^2 \times (1) \times [K_1 + (7)] / [K_1 + (2)]$
30	规定温度( $\theta_s$ )下转差 $s_{tc}/(\text{r}/\text{min})$	(30) = (11) $\times$ [ $K_2 + (7)$ ] / [ $K_2 + (5)$ ]
31	规定温度( $\theta_s$ )下转速 $n_c/(\text{r}/\text{min})$	(31) = (9) - (30)
32	规定温度( $\theta_s$ )下转差率 $s_s$	(32) = (30) / (9)
33	规定温度( $\theta_s$ )下转子 $I^2R$ 损耗 $P_{cu2s}/\text{W}$	(32) = [(15) - (17) - (29)] $\times$ (30) / (9)
34	总损耗 $P_T/\text{W}$	(33) = (16) + (17) + (28) + (29) + (33)
35	输出功率 $P_2/\text{W}$	(34) = (15) - (34)
36	效率 $\eta$	(35) = $100 \times (35) / (15)$
37	功率因数 $\cos\phi$	(30) = (15) / [ $\sqrt{3} \times (13) \times (14)$ ]

注：带括号数字指本表序号所指的参量。

#### 11.4 C法——成对电机双电源对拖回馈试验损耗分析法

有两台完全相同的成对电机可用时,可用此法确定电机的效率。将两台电机耦接在一起。电气上接在两个电源上,其中一个是可调(电压、频率)电源。两个电源都必须符合 4.2.1.1 和 4.2.1.2 的要求,必须既能输出功率又能吸收功率。

##### 11.4.1 试验程序

为了分析叙述方便,接到额定频率电源的电机记为 M1,接到可调频、调压电源的电机记为 M2。

##### 11.4.1.1 定子绕组初始(冷)端电阻的测定

M1 电机和 M2 电机在冷却介质温度下(按 5.2.1 的规定),分别测量并记录定子绕组端电阻  $R_1$  (按 5.2.2.4 确定)和绕组温度  $\theta_1$  (按 5.2.1 确定)。

##### 11.4.1.2 两台电机空载试验

按 8.1 的规定进行空载试验。

按 8.2 和 8.3,分别确定 M1 电机和 M2 电机的风摩耗  $P_{fw}$  和负载下的铁耗  $P_{Fe}$ 。

##### 11.4.1.3 加载试验

##### 11.4.1.3.1 加载方法

两台电机耦接在一起,将 M1(被试)电机接到额定电压和额定频率电源上,M2(辅助)电机接到可调(电压、频率)的电源上。降低 M2 电机的供电电压和频率,给 M1 电机加负载。此时,M1 电机作为电动机运行,M2 电机作为发电机运行。M2 电机端电压除以该电压的频率应保持等于其额定电压除以额定频率(称为额定压/频比)。

##### 11.4.1.3.2 额定负载热试验

将 M1 电机加载到额定电流并按 6.6.2 规定进行热试验,按 6.8 的规定确定绕组工作温度  $\theta_w$ ,按 6.9.2 中的 a)、b)或 c)的规定确定绕组的规定温度  $\theta_s$ 。

##### 11.4.1.3.3 负载特性试验

##### 11.4.1.3.3.1 M1 作为电动机负载试验

M1 电机在额定电压和额定频率下运行,降低 M2(辅助)电机的端电压和频率,给 M1 电机加负载。此时 M1 电机为电动机运行,M2 电机为发电机运行。在调节 M2 电机的端电压和频率时,应保持压/频比为额定值。

试验从最大负载开始,依次降到最小负载。试验应尽快完成以减少试验过程中温度变化对试验结果的影响。

在 25%~100%额定负载之间,按大致均匀分布取 4 个负载点(包括 100%额定负载),在大于 100%但不超过 150%额定负载之间取 2 个负载点。读取并记录 M1 电机在每个负载点的定子输入功率  $P_1$ 、定子线电流  $I_1$ 、端电压  $U$ 、频率  $f$ 、绕组温度  $\theta_1$ (或端电阻  $R_1$ )、转速  $n$ (或转差  $s_1$ )、冷却介质温度  $\theta_a$ 。同时读取并记录 M2 电机在该负载点的定子输出功率  $P'_1$ 、线电流  $I'_1$ 、端电压  $U'$ 、绕组温度  $\theta'_1$ (或端电阻  $R'_1$ )、电源频率  $f'$ 。M2 电机与 M1 电机的转速相同,但由于电源频率不同,所以同步转速不同,转差率不同。

11.4.1.3.3.2 M1 作为发电机负载试验

升高 M2 电机的电源频率和端电压(保持额定压/频比),使 M2 电机作电动机运行。M1 电机仍保持在额定电压和额定频率下作发电机运行。

M1 电机作为发电机运行,而 M2 电机作为电动机运行时,测量仪表及互感器接线位置均不变。由于功率反向流动,所有仪表的校正误差可减至最小。仪用互感器的相角误差是累积的,精确校正相角误差是很重要的。因为这种误差会使所求得的损耗小于真实值。

测量并记录 M1 电机和 M2 电机试验数据,测量和记录项目与 11.4.1.3.3.1 相同。

11.4.2 计算

11.4.2.1 风摩耗  $P_{fw}$

$P_{fw}$  按 11.4.1.2 确定。

11.4.2.2 铁耗  $P_{Fe}$

$P_{Fe}$  按 11.4.1.2 确定。

11.4.2.3 负载杂散损耗  $P_s$

11.4.2.3.1 M1 电机在电动机状态下负载杂散损耗  $P_{s1}$  (W)

用 11.4.1.3.3.1 测得的试验数据,按下述方法求取 M1 电机在电动机状态下的负载杂散损耗:

- [1] 利用测得的电流值,计算在试验温度下每台电机的定子  $I^2R$  损耗;
- [2] 利用测得的以同步转速表示的 M1 电动机转差率计算 M1 电动机转子  $I^2R$  损耗:  
电动机转差率 × (电动机输入功率 - 定子  $I^2R$  损耗 - 铁耗)
- [3] 利用测得的以同步转速表示的发电机转差率计算 M2 电机转子  $I^2R$  损耗:  
发电机转差率 × (发电机输出功率 + 定子  $I^2R$  损耗 + 铁耗)
- [4] 由测得的总损耗(等于 M1 电机的输入功率与 M2 电机输出功率差值)减去两台电机的定子  $I^2R$  损耗、转子  $I^2R$  损耗、铁耗及风摩耗之和,即为两台电机的总杂散损耗;
- [5] 假定负载杂散损耗与转子电流平方成比例,可求得:  
M1(被试)电机在电动机状态下的负载杂散损耗:

$$P_{s1} = [4] \times \frac{[2]}{[2] + [3]} \dots\dots\dots (88)$$

11.4.2.3.2 M1 电机在发电机状态下负载杂散损耗  $P_{s2}$  (W)

用 11.4.1.3.3.2 测得的试验数据,按 11.4.2.3.1 所述的方法,求取 M1 电机在发电机状态下的负载杂散损耗  $P_{s2}$ :

$$P_{s2} = [4] \times \frac{[3]}{[2] + [3]} \dots\dots\dots (89)$$

11.4.2.3.3 负载杂散耗平均值  $P_{sL}$  (W)

取 M1 电机在电动机状态下和发电机状态下同一负载时的杂散损耗  $P_{s1}$  和  $P_{s2}$  的平均值作为该负载点负载杂散损耗的平均值  $P_{sL}$ :

$$P_{sL} = \frac{1}{2}(P_{s1} + P_{s2}) \dots\dots\dots (90)$$



11.4.2.3.4 同一负载点转子电流近似值的平均值  $I_{2\text{avg}}$  (A)

M1 电机在电动机状态时转子电流  $I_{2(\text{M})}$  :

$$I_{2(\text{M})} = \sqrt{I_{1(\text{M})}^2 - I_0^2} \quad \dots\dots\dots (91)$$

M1 电机在发电机状态时转子电流  $I_{2(\text{G})}$  :

$$I_{2(\text{G})} = \sqrt{I_{1(\text{G})}^2 - I_0^2} \quad \dots\dots\dots (92)$$

转子平均电流  $I_{2\text{avg}}$  :

$$I_{2\text{avg}} = \frac{1}{2}(I_{2(\text{M})} + I_{2(\text{G})}) \quad \dots\dots\dots (93)$$

式中:

$I_{1(\text{M})}$  —— M1 电机在电动机状态时每一负载点定子电流,单位为安培(A),见 11.4.1.3.3.1;

$I_{1(\text{G})}$  —— M1 电机在发电机状态时每一负载点定子电流,单位为安培(A),见 11.4.1.3.3.2;

$I_0$  —— 额定电压空载电流,单位为安培(A),见 11.4.1.2。

11.4.2.3.5 负载杂散损耗平均值  $P_{\text{sL}}$  的线性回归分析

$P_{\text{sL}}$  与  $I_{2\text{avg}}^2$  呈线性关系,将  $P_{\text{sL}}$  数据对  $I_{2\text{avg}}^2$  进行线性回归分析(回归分析方法按附录 C),得到回归方程:

$$P_{\text{sL}} = A \times (I_{2\text{avg}}^2) + B \quad \dots\dots\dots (94)$$

式中:

$A$  —— 斜率(按附录 C 求得);

$B$  —— 截距(按附录 C 求取)。

相关系数  $r$  按附录 C 求取。

如果分析结果显示斜率  $A$  为负数或相关系数  $r < 0.9$ ,则应删去最差一点重新回归分析,如果斜率  $A$  为正且  $r \geq 0.9$ ,则用第二次回归分析结果。如果斜率  $A$  仍为负数或  $r < 0.9$ ,此次试验不符合要求,表明测试仪表或读数、或二者均有误差。应分析产生误差的原因并改正,重做负载试验。

11.4.2.3.6 负载杂散损耗  $P_{\text{s}}$  (W)

$$P_{\text{s}} = A \times (I_{2(\text{M})})^2 \quad \dots\dots\dots (95)$$

式中:

$A$  —— 斜率,见 11.4.2.3.5;

$I_{2(\text{M})}$  —— M1 电机作为电动机运行时的转子电流,单位为安培(A),见 11.4.2.3.4。

11.4.2.4 M1 电机规定温度 ( $\theta_{\text{s}}$ ) 下定子  $I^2R$  损耗  $P_{\text{cu1s}}$  (W)

$$P_{\text{cu1s}} = 1.5 I_1^2 R_1 \times \frac{K_1 + \theta_{\text{s}}}{K_1 + \theta_1} \quad \dots\dots\dots (96)$$

式中:

$I_1$  —— M1 电机作为电动机时各负载点的定子电流,单位为安培(A),见 11.4.1.3.3.1;

$R_1$  —— 初始(冷)端电阻,单位为欧姆( $\Omega$ ),见 11.4.1.1;

$\theta_1$  —— 测量  $R_1$  时定子绕组温度,单位为摄氏度( $^{\circ}\text{C}$ ),见 11.4.1.1;

$\theta_{\text{s}}$  —— 规定温度,单位为摄氏度( $^{\circ}\text{C}$ ),见 11.4.1.3.2。

11.4.2.5 M1 电机规定温度( $\theta_s$ )下转子绕组  $I^2R$  损耗  $P_{cu2s}$  (W)

$$P_{cu2s} = (P_1 - P_{cu1s} - P_{Fe}) \times \frac{n_s - n}{n_s} \times \frac{K_2 + \theta_s}{K_2 + \theta_t} \dots\dots\dots (97)$$

式中:

$n_s$ ——同步转速,单位为转每分钟(r/min);

$$n_s = 60 \times f / p$$

$n$ ——各负载点实测转速,单位为转每分钟(r/min),见 11.4.1.3.3.1,如实测较差为  $s_t$ ,则  $n = n_s - s_t$ ;

$\theta_t$ ——测量转速  $n$  时 M1 电机定子绕组温度,单位为摄氏度( $^{\circ}C$ ),见 11.4.1.3.3.1;

$\theta_s$ ——规定温度,单位为摄氏度( $^{\circ}C$ ),见 11.4.1.3.2;

$P_1$ ——M1 电机的定子输入功率,单位为瓦特(W),见 11.4.1.3.3.1;

$P_{cu1s}$ ——M1 电机规定温度( $\theta_s$ )下定子  $I^2R$  损耗,单位为瓦特(W),见 11.4.2.4;

$P_{Fe}$ ——M1 电机在各负载点的铁耗,单位为瓦特(W),见 11.4.2.2;

$f$ ——M1 电机的电源频率,单位为赫兹(Hz),见 11.4.1.3.3.1。

11.4.2.6 M1 电机的总损耗  $P_T$  (W)

$$P_T = P_{fw} + P_{Fe} + P_s + P_{cu1s} + P_{cu2s} \dots\dots\dots (98)$$

式中:

$P_{fw}$ ——风摩耗,单位为瓦特(W),见 11.4.2.1;

$P_{Fe}$ ——各负载点铁耗,单位为瓦特(W),见 11.4.2.2;

$P_s$ ——负载杂散损耗,单位为瓦特(W),见 11.4.2.3.6;

$P_{cu1s}$ ——规定温度下定子  $I^2R$  损耗,单位为瓦特(W),见 11.4.2.4;

$P_{cu2s}$ ——规定温度下转子  $I^2R$  损耗,单位为瓦特(W),见 11.4.2.5。

11.4.2.7 M1 电机输出功率  $P_2$  (W)

$$P_2 = P_1 - P_T \dots\dots\dots (99)$$

式中:

$P_1$ ——M1 电机输入功率,单位为瓦特(W),见 11.4.1.3.3.1;

$P_T$ ——总损耗,单位为瓦特(W),见 11.4.2.6。

11.4.2.8 M1 电机效率  $\eta$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% \dots\dots\dots (100)$$

式中:

$P_2$ ——输出功率,单位为瓦特(W),见 11.4.2.7;

$P_1$ ——输入功率,单位为瓦特(W),见 11.4.1.3.3.1。

11.4.2.9 M1 电机功率因数  $\cos\varphi$

$$\cos\varphi = \frac{P_1}{\sqrt{3}UI_1} \dots\dots\dots (101)$$

式中:

$P_1$ ——输入功率,单位为瓦特(W),见 11.4.1.3.3.1;

$U$  ——端电压,单位为伏特(V),见 11.4.3.3.1;

$I_1$  ——定子线电流,单位为安培(A),见 11.4.1.3.3.1。

#### 11.4.2.10 C 法计算格式

表 7 C 法计算格式

序号	项 目	M1 电机数据来源或计算
1	定子绕组初始(冷)端电阻 $R_1/\Omega$	见 11.4.1.1
2	测量 $R_1$ 时绕组温度 $\theta_1/^\circ\text{C}$	见 11.4.1.1
3	绕组规定温度 $\theta_s/^\circ\text{C}$	见 11.4.1.3.2
4	热试验冷却冷却介质温度 $\theta_b/^\circ\text{C}$	见 11.4.1.3.2
5	负载试验定子绕组温度 $\theta_1/^\circ\text{C}$	见 11.4.1.3.3.1
6	负载试验冷却冷却介质温度 $\theta_a/^\circ\text{C}$	见 11.4.1.3.3.1
7	频率 $f/\text{Hz}$	见 11.4.1.3.3.1
8	同步转速 $n_s/(\text{r}/\text{min})$	(8) = $60 \times (7) / p$
9	转速 $n/(\text{r}/\text{min})$	见 11.4.1.3.3.1, 或 (9) = (8) - (10)
10	转差 $s_1/(\text{r}/\text{min})$	见 11.4.1.3.3.1, 或 (10) = (8) - (9)
11	试验温度下( $\theta_1$ )转差率 $s$	(11) = [(8) - (9)] / (8) 或 (11) = (10) / (8)
12	端电压 $U/\text{V}$	见 11.4.1.3.3.1
13	定子线电流 $I_1/\text{A}$	见 11.4.1.3.3.1
14	定子输入功率 $P_1/\text{W}$	见 11.4.1.3.3.1
15	风摩耗 $P_{fw}/\text{W}$	见 11.4.2.1
16	各负载点铁耗 $P_{Fe}/\text{W}$	见 11.4.2.2
17	规定温度( $\theta_s$ )下的转差率 $s_s$	(17) = [(8) - (9)] / (8) $\times$ [ $K_2 + (3)$ ] / [ $K_2 + (5)$ ]
18	规定温度( $\theta_s$ )下定子 $I^2R$ 损耗 $P_{cu1s}/\text{W}$	(18) = $1.5 \times (13)^2 \times (1) \times$ [ $K_1 + (3)$ ] / [ $K_1 + (2)$ ]
19	规定温度( $\theta_s$ )下转子 $I^2R$ 损耗 $P_{cu2s}/\text{W}$	(19) = [(14) - (16) - (18)] $\times$ (17)
20	负载杂散损耗 $P_s/\text{W}$	见 11.4.2.3.6
21	总损耗 $P_T/\text{W}$	(21) = (15) + (16) + (18) + (19) + (20)
22	输出功率 $P_2/\text{W}$	(22) = (14) - (21)
23	效率 $\eta$	(23) = $100 \times (22) / (14)$
24	$\cos\varphi$	(24) = (14) / [ $\sqrt{3} \times (12) \times (13)$ ]

注：带括号的数字指本表序号所指的参量。

#### 11.5 E 法或 E1 法——测量输入功率的损耗分析法

测量定子输入功率,从输入功率中减去总损耗即为输出功率。总损耗等于规定温度下定子  $I^2R$  损耗,规定温度下转子  $I^2R$  损耗、铁耗、风摩耗及负载杂散损耗之和。

E 法与 E1 法的唯一区别是,E 法是通过试验确定负载杂散损耗,而 E1 法是按推荐值(见 10.6.5)确定负载杂散损耗。

### 11.5.1 试验程序

#### 11.5.1.1 定子绕组初始(冷)端电阻的测定

被试电机在冷却介质温度下(按 5.2.1 中的规定),测量并记录端电阻  $R_1$ (按 5.2.2.4 确定)和绕组温度  $\theta_1$ (按 5.2.1 确定)。

#### 11.5.1.2 额定负载热试验

##### 11.5.1.2.1 试验方法

按 6.6 的规定进行热试验。

##### 11.5.1.2.2 绕组工作温度 $\theta_w$ (°C)

$\theta_w$  按 6.8 确定。

##### 11.5.1.2.3 绕组规定温度 $\theta_s$ (°C)

$\theta_s$  按 6.9.2 的 a)、b)或 c)确定。

#### 11.5.1.3 负载试验

试验方法,按 7.2 的规定。

测量并记录: $U, f, I_1, P_1, n$ (或  $s_1$ ),  $\theta_1$ (或  $R_1$ ),  $\theta_s$ 。

#### 11.5.1.4 空载试验

##### 11.5.1.4.1 试验方法

按 8.1 的规定。

##### 11.5.1.4.2 风摩耗 $P_{fw}$ (W)

$P_{fw}$  按 8.2 确定。

##### 11.5.1.4.3 铁耗 $P_{Fe}$ (W)

$P_{Fe}$  按 8.3 确定。

#### 11.5.1.5 负载杂散损耗

a) E 法可采用取出转子试验和反转试验法(见 10.6.3),绕线转子电动机杂散损耗的测试法(见 10.6.4)或 Eh-star 法(见 10.6.6)确定负载杂散损耗。

b) E1 法按推荐值法(见 10.6.5)确定负载杂散损耗  $P_s$ 。

### 11.5.2 计算

#### 11.5.2.1 风摩耗 $P_{fw}$

$P_{fw}$  见 11.5.1.4.2。

#### 11.5.2.2 铁耗 $P_{Fe}$

$P_{Fe}$  见 11.5.1.4.3。

11.5.2.3 规定温度( $\theta_s$ )下定子  $I^2R$  损耗  $P_{cu1s}$  (W)

$$P_{cu1s} = 1.5 I_1^2 R_1 \times \frac{K_1 + \theta_s}{K_1 + \theta_1} \dots\dots\dots (102)$$

式中:

- $I_1$  —— 定子线电流,单位为安培(A),见 11.5.1.3;
- $R_1$  —— 定子绕组初始(冷)端电阻,单位为欧姆( $\Omega$ ),见 11.5.1.1;
- $\theta_1$  —— 测量  $R_1$  时绕组温度,单位为摄氏度( $^{\circ}\text{C}$ ),见 11.5.1.1;
- $\theta_s$  —— 规定温度,单位为摄氏度( $^{\circ}\text{C}$ ),见 11.5.1.2.3。

11.5.2.4 规定温度( $\theta_s$ )下转子  $I^2R$  损耗  $P_{cu2s}$  (W)

$$P_{cu2s} = (P_1 - P_{cu1s} - P_{Fe}) \times \frac{n_s - n}{n_s} \times \frac{K_2 + \theta_s}{K_2 + \theta_1} \dots\dots\dots (103)$$

式中:

- $P_1$  —— 定子输入功率,单位为瓦特(W),见 11.5.1.3;
- $P_{cu1s}$  —— 规定温度( $\theta_s$ )下定子  $I^2R$  损耗,单位为瓦特(W),见 11.5.2.3;
- $P_{Fe}$  —— 各负载点铁耗,单位为瓦特(W),见 11.5.1.4.3;
- $f$  —— 频率,单位为赫兹(Hz),见 11.5.1.3;
- $n_s$  —— 同步转速,单位为转每分钟(r/min);  

$$n_s = 60 \times f / p$$
- $n$  —— 转速,单位为转每分钟(r/min);见 11.5.1.3,如实测转差为  $s_1$ ,则  $n = n_s - s_1$ ;
- $\theta_1$  —— 测转速  $n$  时定子绕组温度,单位为摄氏度( $^{\circ}\text{C}$ ),见 11.5.1.3;
- $\theta_s$  —— 规定温度,单位为摄氏度( $^{\circ}\text{C}$ ),见 11.5.1.2.3。

11.5.2.5 负载杂散损耗  $P_s$  (W)

- a) E 法负载杂散损耗为 11.5.1.5 a) 的测试值。
- b) E1 法为负载杂散损耗为 10.6.5 给出的推荐值。

11.5.2.6 总损耗  $P_T$  (W)

$$P_T = P_{fw} + P_{Fe} + P_{cu1s} + P_{cu2s} + P_s \dots\dots\dots (104)$$

式中:

- $P_{fw}$  —— 风摩耗,单位为瓦特(W),见 11.5.1.4.2;
- $P_{Fe}$  —— 各负载铁耗,单位为瓦特(W),见 11.5.1.4.3;
- $P_{cu1s}$  —— 规定温度( $\theta_s$ )下定子  $I^2R$  损耗,单位为瓦特(W),见 11.5.2.3;
- $P_{cu2s}$  —— 规定温度( $\theta_s$ )下转子  $I^2R$  损耗,单位为瓦特(W),见 11.5.2.4;
- $P_s$  —— 负载杂散损耗,单位为瓦特(W),见 11.5.2.5。

11.5.2.7 输出功率  $P_2$  (W)

$$P_2 = P_1 - P_T \dots\dots\dots (105)$$

式中:

- $P_1$  —— 定子输入功率,单位为瓦特(W),见 11.5.1.3;
- $P_T$  —— 总损耗,单位为瓦特(W),见 11.5.2.6。

11.5.2.8 效率  $\eta$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(106)$$

式中:

$P_2$ ——输出功率,单位为瓦特(W),见 11.5.2.7;

$P_1$ ——定子输入功率,单位为瓦特(W),见 11.5.1.3。

11.5.2.9 功率因数  $\cos\varphi$

$$\cos\varphi = \frac{P_1}{\sqrt{3}UI_1} \quad \dots\dots\dots(107)$$

式中:

$P_1$ ——定子输入功率,单位为瓦特(W),见 11.5.1.3;

$U$ ——端电压,单位为伏特(V),见 11.5.1.3;

$I_1$ ——定子线电流,单位为安培(A),见 11.5.1.3。

11.5.2.10 E 法或 E1 法计算格式

表 8 E 法或 E1 法计算格式

序号	项 目	数据来源或计算
1	定子绕组初始(冷)端电阻 $R_1/\Omega$	见 11.5.1.1
2	测量 $R_1$ 时绕组温度 $\theta_1/^\circ\text{C}$	见 11.5.1.1
3	负载试验绕组温度 $\theta_l/^\circ\text{C}$	见 11.5.1.3
4	负载试验冷却介质温度 $\theta_s/^\circ\text{C}$	见 11.5.1.3
5	规定温度 $\theta_s/^\circ\text{C}$	见 11.5.1.2.3
6	频率 $f/\text{Hz}$	见 11.5.1.3
7	同步转速 $n_s/(\text{r}/\text{min})$	$(7) = 60 \times (6) / p$
8	转速 $n/(\text{r}/\text{min})$	见 11.5.1.3, 或 $(8) = (7) - (9)$
9	转差 $s_t/(\text{r}/\text{min})$	$(9) = (7) - (8)$ , 或实测值, 见 11.5.1.3
10	转差率 $s$	$(10) = (9) / (7)$
11	端电压 $U/\text{V}$	见 11.5.1.3
12	定子线电流 $I_1/\text{A}$	见 11.5.1.3
13	定子输入功率 $P_1/\text{W}$	见 11.5.1.3
14	风摩耗 $P_{fw}/\text{W}$	见 11.5.1.4.2
15	各负载点铁耗 $P_{Fe}/\text{W}$	见 11.5.1.4.3
16	规定温度( $\theta_s$ )下定子 $I^2R$ 损耗 $P_{cu1s}/\text{W}$	$(16) = 1.5 \times (12)^2 \times (1) \times [K_1 + (5)] / [K_1 + (2)]$
17	规定温度( $\theta_s$ )转差率 $s_s/(\text{r}/\text{min})$	$(17) = (10) \times [K_2 + (5)] / [K_2 + (3)]$
18	规定温度( $\theta_s$ )转速 $n_c/(\text{r}/\text{min})$	$(18) = [1 - (17)] \times (7)$
19	规定温度( $\theta_s$ )下转子 $I^2R$ 损耗 $P_{cu2s}/\text{W}$	$(19) = [(13) - (16) - (15)] \times (17)$

表 8 (续)

序号	项 目	数据来源或计算
20	负载杂散损耗 $P_s/W$	见 11.5.2.5
21	总损耗 $P_T/W$	(21) = (14) + (15) + (16) + (19) + (20)
22	输出功率 $P_2/W$	(22) = (13) - (21)
23	效率 $\eta$	(23) = $100 \times (22) / (13)$
24	功率因数 $\cos\varphi$	(24) = $(13) / [\sqrt{3} \times (11) \times (12)]$

注：带括号数字指本表序号所指参量。

### 11.6 F 法或 F1 法——等值电路法

如不能进行负载试验,可依据图 10 所示等值电路求取电机的运行特性(效率、功率因数、转速等)。等值电路中的参数是用空载试验和阻抗试验得出的试验数据求得的,能否精确的预测正常运行范围内的电机特性,首先取决于电阻  $R_2$  与低频电流实际转子电阻的接近程度;其次取决于电抗  $X_2$  与低频电流实际转子漏抗的接近程度。因此,在确定低频转子特性的试验中有必要采取极为仔细的方法。

F 法与 F1 法唯一的区别是,F 法是通过试验确定负载杂散损耗,F1 法按推荐值(见 10.6.5)确定负载杂散损耗。

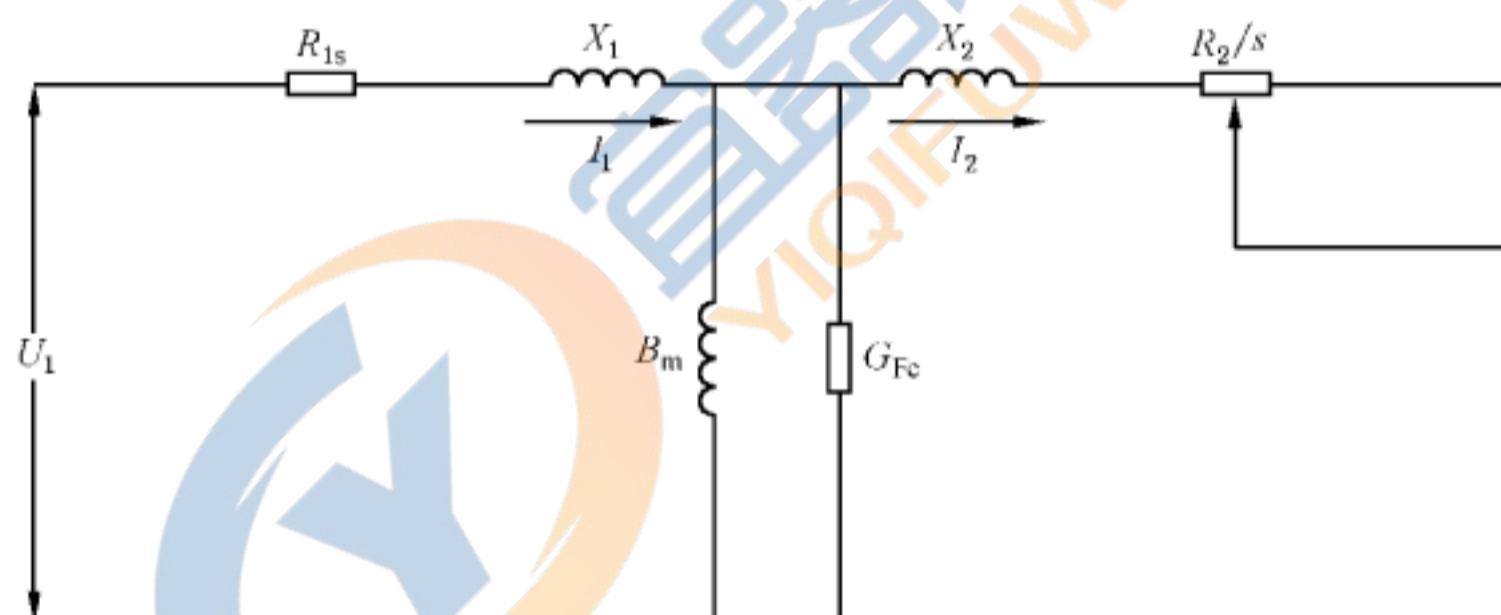


图 10 等值电路图

#### 11.6.1 试验程序

##### 11.6.1.1 定子绕组初始(冷)端电阻的测定

被试电机在冷却介质温度下(按 5.2.1 中的规定)测量并记录端电阻  $R_1$ (按 5.2.2.4 确定)和绕组温度  $\theta_1$ (按 5.2.1 确定)。

相电阻  $R_U$ 、 $R_V$ 、 $R_W$  按 5.2.2.5 计算或按 5.2.3 确定。

##### 11.6.1.2 空载试验

###### 11.6.1.2.1 试验方法

按 8.1 的规定。

###### 11.6.1.2.2 风摩耗 $P_{fw}(W)$

$P_{fw}$  按 8.2 确定。

11.6.1.2.3 铁耗  $P_{Fe}$  (W)

$P_{Fe}$  按 8.3 确定。

## 11.6.1.3 低频堵转试验

在最大频率为 25% 额定频率和额定电流下进行转子堵转阻抗试验。

笼型电动机转子是一个对称的导电排绕组,因此,无论转子处于相对于定子的任何位置,电动机的阻抗实际上是相同的。绕线转子电动机的阻抗随转子相对于定子的位置变动而变化,故有必要进行预堵转试验以确定转子在某一位置时的阻抗为平均值。绕线转子电机,在测取读数之前,转子应短接。确定角位移的办法是使转子缓慢地转动,观察定子电流的变化。记录定子电流变化完成一个循环时转子必须转过的角位移。定转子每极每相为整数槽的三相电机,此角位移等于三分之二极距,每极每相为分数槽绕组的电机,此角位移可大到整个极距。

绕线转子电动机的转子应堵住不能自由转动。逐步地增加所施加的电压,直到电流接近于额定值。读取和记录各相的电压、电流值,各相电压要平衡。保持同一电压值,慢慢地转动转子,记录在一个完整循环中电流的最大值和最小值。而后,把转子堵住在前面所记录的电流最大和最小之间平均值的位置,进行阻抗试验。

- a) 在几个不同电压数值下,同时读取各相的电压、电流及输入功率。在接近满载电流处取值要特别注意,应同时记录定子绕组温度或电阻,注意不要使绕组过热。试验从最大电流开始读数,依次读取较低的电流读数。这样有助于均衡温度。
- b) 以电压作为横坐标,电流和输入功率为纵坐标绘制曲线,伏安曲线通常是一条直线,在高值处稍许上翘,若转子为闭口槽,低电压时曲线就清楚地地上翘。从这些曲线上根据与所求电流值对应的输入功率和电压确定总电抗和转子电阻。

## 11.6.2 计算

本条计算中的电压、电流和电阻均为相电压(V)、相电流(A)、相电阻( $\Omega$ )的三相算术平均值,功率为三相功率(W)。

## 11.6.2.1 求取等值电路参数所需的数据

## 11.6.2.1.1 额定数据

- $U_N$ ——额定电压,单位为伏特(V);
- $I_1$ ——额定电流,单位为安培(A);
- $P_N$ ——额定功率,单位为瓦特(W);
- $f_N$ ——额定频率,单位为赫兹(Hz);
- $n_s$ ——同步转速,单位为转每分钟(r/min)。

11.6.2.1.2 定子绕组相电阻  $R_{1s}$  ( $\Omega$ )

换算至规定温度( $\theta_s$ )的相电阻值  $R_{1s}$ 。

## 11.6.2.1.3 对应额定电压时的空载试验数据

- $I_0$ ——空载电流,单位为安培(A);
- $P_0$ ——空载输入功率,单位为瓦特(W);
- $P_{Fe}$ ——铁耗,单位为瓦特(W),按 8.3 确定;



$P_{fw}$ ——风摩耗,单位为瓦特(W),按 8.2 确定;  
 $R_{10}$ ——空载试验结束时的定子相电阻,单位为欧姆( $\Omega$ )。

11.6.2.1.4 低频堵转试验数据

$f_K$  ——堵转试验时的频率,单位为赫兹(Hz);  
 $I_{1K}$  ——堵转试验时的电流,单位为安培(A);  
 $U_{1K}$  ——堵转时的电压,单位为伏特(V);  
 $P_{1K}$  ——堵转时的输入功率,单位为瓦特(W);  
 $R_{1K}$  ——堵转试验结束时的定子相电阻,单位为欧姆( $\Omega$ );  
 $\theta_{1K}$  ——测电阻  $R_{1k}$  时绕组温度,单位为摄氏度( $^{\circ}\text{C}$ )。

11.6.2.1.5 负载杂散损耗  $P_s$

F 法按取出转子试验和反转试验(见 10.6.3)确定  $P_s$ ;  
 F1 法按推荐值法(见 10.6.5)确定  $P_s$ 。

11.6.2.1.6 定子和转子电抗的设计值

a) 定子和转子电抗的设计值按式(108)、式(109)求取,单位为欧姆( $\Omega$ ):  
 定子电抗:

$$[X_1] = X_1^* \left( \frac{3U_N^2}{P_N} \right) \dots\dots\dots (108)$$

转子电抗:

$$[X_2] = X_2^* \left( \frac{3U_N^2}{P_N} \right) \dots\dots\dots (109)$$

式中:

$X_1^*, X_2^*$  ——定子和转子电抗的标么值(设计值)。

b) 定子电抗与转子电抗的比值:

$$\left[ \frac{X_1}{X_2} \right] = \frac{[X_1]}{[X_2]} \dots\dots\dots (110)$$

c) 励磁电抗的估算值,单位为欧姆( $\Omega$ ):

$$[X_m] \approx \frac{U_N}{I_0} - [X_1] \dots\dots\dots (111)$$

并求出:

$$\left[ \frac{X_1}{X_m} \right] = \frac{[X_1]}{[X_m]} \dots\dots\dots (112)$$

11.6.2.2 等值电路参数的求取

等值电路如图 10。下列所有的转子参数,均为折算至定子侧的数值。

11.6.2.2.1  $X_m, X_1$  初值的求取

假定:  $X_1 = [X_1]$ ;  $\frac{X_1}{X_m} = \left[ \frac{X_1}{X_m} \right]$ ;  $\frac{X_1}{X_2} = \left[ \frac{X_1}{X_2} \right]$

用上述假定值按式(113)求取  $X_m, X_{1K}$  和  $X_1$  的初值:

$$X_m = \frac{3U_N^2}{Q_0 - 3I_0^2 X_1} \cdot \frac{1}{\left( 1 + \frac{X_1}{X_m} \right)^2} \dots\dots\dots (113)$$

式中:

$Q_0$ ——空载时的无功功率,单位为乏(var),按下式求取:

$$Q_0 = \sqrt{(3U_N I_0)^2 - P_0^2}$$

$$X_{1K} = \frac{Q_K}{3I_{1K}^2 \left(1 + \left[\frac{X_1}{X_2}\right] + \frac{X_1}{X_m}\right)} \left( \left[\frac{X_1}{X_2}\right] + \frac{X_1}{X_m} \right) \dots\dots\dots(114)$$

式中:

$Q_K$ ——堵转时的无功功率,单位为乏(var),按下式求取:

$$Q_K = \sqrt{(3U_{1K} I_{1K})^2 - P_{1K}^2}$$

$$X_1 = \frac{f_N}{f_K} X_{1K} \dots\dots\dots(115)$$

11.6.2.2.2 用迭代法精确求取  $X_m$ 、 $X_1$  的值

利用已求得的  $X_m$ 、 $X_1$  的初值,重新计算  $\frac{X_1}{X_m}$ ,仍取  $\frac{X_1}{X_2} = \left[\frac{X_1}{X_2}\right]$ ,按 11.6.2.2.1 中的公式求出  $X_m$ ,  $X_{1K}$  和  $X_1$  值,不断重复上述过程,直至求得的  $X_m$  和  $X_1$  相邻值变化小于 0.1% 为止。

11.6.2.2.3 转子电抗  $X_2$  ( $\Omega$ ) 和励磁电纳  $B_m$  (S) 的求取

$$X_{2K} = \frac{X_{1K}}{\left[\frac{X_1}{X_2}\right]} \dots\dots\dots(116)$$

$$X_2 = \frac{f_N}{f_K} \times X_{2K} \dots\dots\dots(117)$$

$$B_m = \frac{1}{X_m} \dots\dots\dots(118)$$

11.6.2.2.4 铁芯电导  $G_{Fe}$  的求取(S)

$$G_{Fe} = \frac{P_{Fe}}{3U_N^2} \left(1 + \frac{X_1}{X_m}\right)^2 \dots\dots\dots(119)$$

$$R_{Fe} = \frac{1}{G_{Fe}} \dots\dots\dots(120)$$

11.6.2.2.5 转子电阻  $R_2$  的求取

11.6.2.2.5.1 转子电阻  $R_{2K}$  ( $\Omega$ )

$$R_{2K} = \left(\frac{P_{1K}}{3I_{1K}^2} - R_{1K}\right) \times \left(1 + \frac{X_2}{X_m}\right)^2 - \left(\frac{X_2}{X_1}\right)^2 (X_{1K}^2 G_{Fe}) \dots\dots\dots(121)$$

11.6.2.2.5.2 修正到规定温度 ( $\theta_s$ ) 下定子相电阻  $R_{1s}$  ( $\Omega$ )

$$R_{1s} = R_{1K} \times \frac{K_1 + \theta_s}{K_1 + \theta_{1K}} \dots\dots\dots(122)$$

式中:

$R_{1K}$ ——定子绕组相电阻,单位为欧姆( $\Omega$ ),见 11.6.2.1.4;

$\theta_{1K}$ ——测量  $R_{1K}$  时绕组温度,单位为摄氏度( $^{\circ}C$ ),见 11.6.2.1.4;

$\theta_s$ ——规定温度,单位为摄氏度( $^{\circ}C$ ),按 6.9.2 确定。

11.6.2.2.5.3 修正到规定温度( $\theta_s$ )下转子相电阻  $R_2$  ( $\Omega$ )

$$R_2 = R_{2K} \times \frac{K_2 + \theta_s}{K_2 + \theta_{1K}} \dots\dots\dots(123)$$

式中:

$R_{2K}$ ——见 11.6.2.2.5.1;

$\theta_s$  ——按 6.9.2 确定;

$\theta_{1K}$  ——见 11.6.2.1.4。

11.6.2.2.5.4 绕线转子电机转子绕组相电阻  $R_2$ 

绕线转子电机,用式(124)求取转子绕组相电阻  $R_2$ ,单位为欧姆( $\Omega$ ):

$$R_2 = R'_{2ref} K_U^2 \dots\dots\dots(124)$$

式中:

$R'_{2ref}$ ——修正至规定温度未折算至定子侧的转子相电阻;

$K_U$  ——变压比(转子绕组开路时,定、转子绕组电压比, $K_U = U_{10}/U_{20}$ )。

## 11.6.2.3 工作特性的求取

## 11.6.2.3.1 计算步骤

- (1) 转差率  $s$  假设值:根据额定负载时的预期转速,确定相应的转差率,其他负载的转差率按与负载成比例确定假设值;
- (2)  $R_2$  按 11.6.2.2.5.3 或 11.6.2.2.5.4 确定;
- (3) 求取  $\frac{R_2}{s}$ ;
- (4) 求取  $X_2$ ,按 11.6.2.2.3 确定;
- (5)  $Z_2^2 = \left(\frac{R_2}{s}\right)^2 + X_2^2$ ;  $Z_2 = \sqrt{\left(\frac{R_2}{s}\right)^2 + X_2^2}$ ;
- (6)  $G_2 = \frac{R_2}{sZ_2^2}$ ;
- (7) 求取  $G_{Fe}$ ,见 11.6.2.2.4;
- (8)  $G = G_2 + G_{Fe}$ ;
- (9)  $B_2 = \frac{X_2}{Z_2^2}$ ;
- (10) 求取  $B_m$ (见 11.6.2.2.3);
- (11)  $B = B_2 + B_m$ ;
- (12)  $Y^2 = G^2 + B^2$ ,  $Y = \sqrt{G^2 + B^2}$ ;
- (13)  $R_g = \frac{G}{Y^2}$ ;
- (14) 求取  $R_{1s}$ (见 11.6.2.2.5.2);
- (15)  $R = R_g + R_{1s}$ ;
- (16)  $X_g = \frac{B}{Y^2}$ ;
- (17) 求取  $X_1$ (见 11.6.2.2.2 迭代法求得的  $X_1$  值);
- (18)  $X = X_g + X_1$ ;
- (19)  $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$ ;

- (20)  $I_1 = \frac{U_N}{Z}$ ;
- (21)  $I_2 = \frac{I_1}{Z_2 Y}$ ;
- (22)  $P_1 = 3I_1^2 R$ ;
- (23)  $P_M = 3I_2^2 \frac{R_2}{s}$ ;
- (24)  $P_{cu1} = 3I_1^2 R_{1s}$ ;
- (25)  $P_{Fc} = 3I_1^2 \frac{G_{Fe}}{Y^2}$ ;
- (26)  $P_{cu2} = sP_M$ ;
- (27) 求取  $P_{fw}$ , 按 11.6.2.1.3 确定;
- (28) 求取  $P_s$ , F 法按 10.6.3 确定, F1 法按 10.6.5 确定;
- (29)  $P_T = P_{cu1} + P_{cu2} + P_{Fc} + P_{fw} + P_s$ ;
- (30)  $P_2 = P_1 - P_T$ ;
- (31)  $\eta = \left(1 - \frac{P_T}{P_1}\right) \times 100\%$ ;
- (32)  $\cos\varphi = \frac{R}{Z}$ ;
- (33)  $n_s = 60f_N/p$ ;
- (34)  $n = n_s(1-s)$ ;
- (35)  $T = 9.549 \times \frac{P_2}{n}$ ;
- (36)  $s_p = R_2 / \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2)^2}$  ( $s_p$  为产生最大转矩  $T_{max}$  时转差率)。

### 11.6.2.3.2 工作特性曲线

#### 11.6.2.3.2.1 迭代法确定各负载点的参数

设某一负载点的输出功率为  $P_m$ , 第一次假定的转差率  $s_{(1)}$ , 算出的输出功率为  $P_{m(1)}$ , 如果  $P_{m(1)}$  不等于  $P_m$ , 且二者之差大于  $P_m$  的 0.1%, 重新假设转差率  $s_{(2)}$ , 按上述步骤重新计算, 直至算出的  $P_{m(2)}$  与  $P_m$  之差小于  $P_m$  的 0.1% 为止。

$s_{(2)}$  可按式(125)估算:

$$s_{(2)} = s_{(1)} \times \left[ 1 + \frac{P_m - P_{m(1)}}{P_m} \right] \dots\dots\dots (125)$$

#### 11.6.2.3.2.2 绘制特性曲线

作 6 个负载点的定子电流  $I_1$ 、输入功率  $P_1$ 、效率  $\eta$ 、功率因数  $\cos\varphi$  及转速  $n$  对输出功率  $P_2$  的关系曲线。从曲线上查取指定负载时的工作参数。

#### 11.6.2.3.2.3 F 法或 F1 法计算格式

表 9 F 法或 F1 法计算格式

序号	项 目	数据来源或计算
1	转差率 $s$	每个负载点的假设值
2	修正到规定温度( $\theta_s$ )的转子电阻 $R_2/\Omega$	见 11.6.2.2.5.3 或 11.6.2.2.5.4 的 $R_2$ 值

表 9 (续)

序号	项 目	数据来源或计算
3	$R_2/s/\Omega$	(3) = (2)/(1)
4	转子电抗 $X_2/\Omega$	见 11.6.2.2.3 的 $X_2$ 值
5	转子阻抗的平方 $Z_2^2$	(5) = (3) <sup>2</sup> + (4) <sup>2</sup>
6	转子电导 $G_2/S$	(6) = (3)/(5)
7	铁芯电导 $G_{Fe}/S$	见 11.6.2.2.4 的 $G_{Fe}$ 值
8	转子和激磁回路电导 $G/S$	(8) = (6) + (7)
9	转子电纳 $B_2/S$	(9) = (4)/(5)
10	磁化电纳 $B_m/S$	见 11.6.2.2.3 的 $B_m$ 值
11	转子与激磁回路电纳 $B/S$	(11) = (9) + (10)
12	转子与激磁回路导纳 $Y^2/S$	(12) = (8) <sup>2</sup> + (11) <sup>2</sup>
13	转子与激磁回路电导 $R_g/\Omega$	(13) = (8)/(12)
14	修正到规定温度( $\theta_s$ )的定子绕组相电阻 $R_{1s}/\Omega$	见 11.6.2.2.5.2 的 $R_{1s}$ 值
15	总电阻 $R/\Omega$	(15) = (13) + (14)
16	转子与激磁回路电抗 $X_g/\Omega$	(16) = (11)/(12)
17	定子电抗 $X_1/\Omega$	见 11.6.2.2.2 迭代法求得的 $X_1$ 值
18	总电抗 $X/\Omega$	(18) = (16) + (17)
19	总阻抗 $Z/\Omega$	(19) = $\sqrt{(15)^2 + (18)^2}$
20	定子电流 $I_1/A$	(20) = $U_N/(19)$
21	转子电流 $I_2/A$	(21) = (20)/ $\sqrt{(5) \times (12)}$
22	定子功率 $P_1/W$	(22) = $3 \times (20)^2 \times (15)$
23	电磁功率 $P_m/W$	(23) = $3 \times (21)^2 \times (3)$
24	定子 $I^2R$ 损耗 $P_{cu1s}/W$	(24) = $3 \times (20)^2 \times (14)$
25	铁耗 $P_{Fe}/W$	(25) = $3 \times (20)^2 \times (7)/(12)$
26	转子 $I^2R$ 损耗 $P_{cu2s}/W$	(26) = (1) $\times$ (23)
27	风摩耗 $P_{iw}/W$	见 11.6.2.1.3
28	负载杂散损耗 $P_s/W$	F 法按 10.6.3; F1 法按 10.6.5
29	总损耗 $P_T/W$	(29) = (24) + (25) + (26) + (27) + (28)
30	输出功率 $P_2/W$	(30) = (22) - (29)
31	效率 $\eta$	(31) = $100 \times (30)/(22)$
32	功率因数 $\cos\varphi$	(32) = (15)/(19)

表 9 (续)

序号	项 目	数据来源或计算
33	同步转速 $n_s/(r/min)$	(33) = $60 f_N / p$
34	转速 $n/(r/min)$	(34) = (33) × [1 - (1)]
35	转矩 $T/(N \cdot m)$	(35) = $9.549 \times (30) / (34)$
36	产生最大转矩时的转差率 $s_p$	(36) = $(2) / \sqrt{(14)^2 + [(4) + (17)]^2}$
注：带括号数字指本表序号所指参量。		

### 11.7 G 法或 G1 法——降低电压负载法

#### 11.7.1 概述

本法适用于无法进行满载试验的中大型电机,本法是假设当转速保持恒定时,随着电压的降低电机的负载电流随电压同比减少,功率随电压的平方减少。

#### 11.7.2 试验程序

##### 11.7.2.1 定子绕组初始(冷)端电阻的测定

被试电机在冷却介质温度(按 5.2.1 中的规定)下,测量并记录端电阻  $R_1$ (按 5.2.2.4 确定)和绕组温度  $\theta_1$ (按 5.2.1 确定)。

##### 11.7.2.2 空载试验

试验方法按 8.1 的规定。

##### 11.7.2.2.1 额定电压、额定频率空载试验

试验方法及试验要求按 8.1 的规定。

##### 11.7.2.2.2 风摩耗 $P_{fw}$

$P_{fw}$  按 8.2 确定。

##### 11.7.2.2.3 空载额定电压下的铁耗 $P_{Fe}$

$P_{Fe}$  按 8.3 确定。

##### 11.7.2.2.4 测定降低电压为 $U_r$ 时的空载电流 $I_{0r}$ 、输入功率 $P_{0r}$

##### 11.7.2.3 降低电压负载试验

被试电机在额定频率、1/2 额定电压和 1/2 额定电流下进行预热试验,接近热稳定状态时,保持额定频率和 1/2 额定电压不变。在空载电流至 0.6 倍额定电流范围内至少测取 6 点读数(大致均匀分布),每点应读取并记录:三相端电压  $U_r(V)$ ,三相线电流  $I_{1r}(A)$ ,输入功率  $P_{1r}(W)$ ,定子绕组温度  $\theta_1(^\circ C)$  转速  $n(r/min)$  或转差  $s_1(r/min)$  及频率  $f(Hz)$ 。测定完毕后迅速断电停机,测量定子绕组端电阻。

#### 11.7.3 计算

##### 11.7.3.1 作 $P_{1r} = f(I_{1r})$ 和 $s_s = f(I_{1r})$ 曲线

按 10.3.1 和 10.3.2 确定规定温度  $\theta_s$ (按 6.9.2 中的规定)下的转差率  $s_s$ ,作  $P_{1r} = f(I_{1r})$  和  $s_s =$

$f(I_{1r})$ 曲线(见图 11)。

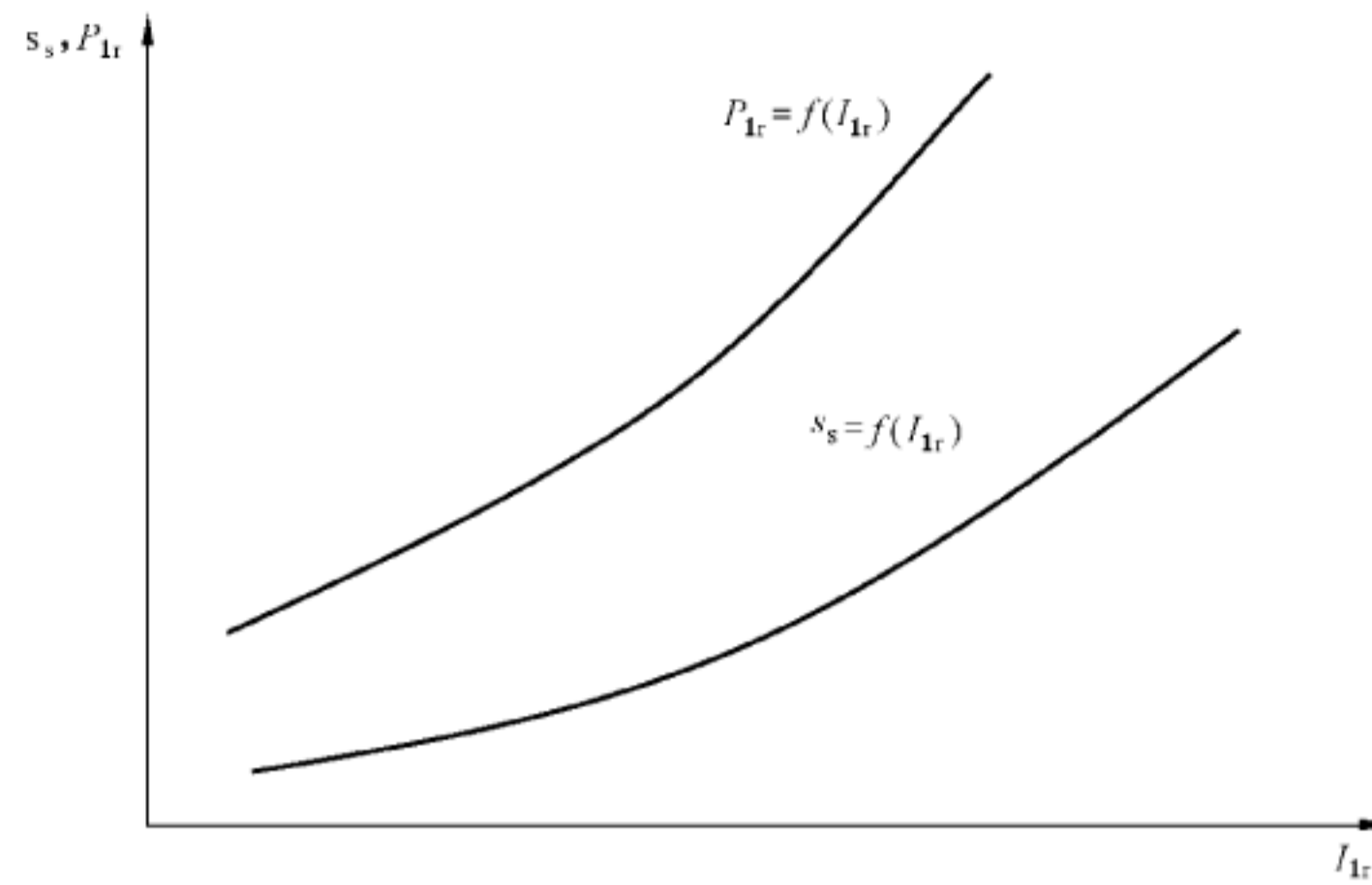


图 11  $P_{1r}$ 和  $s_s$  对  $I_{1r}$ 的关系曲线

11.7.3.2 效率的计算

额定功率时的效率按下述方法求取。

11.7.3.2.1 额定电压时的输入功率  $P_1$

假定定子电流  $I_{1r}$  为 1/2 额定电流,从图 11 中查取对应  $I_{1r}$  的输入功率  $P_{1r}$ ,则额定电压时的输入功率  $P_1$  按式(126)求取,单位为瓦特(W):

$$P_1 = P_{1r} \times \left(\frac{U_N}{U_r}\right)^2 \dots\dots\dots(126)$$

11.7.3.2.2 额定电压且输入功率为  $P_1$  时定子电流  $I_1$

$I_1$  按式(127)求取,单位为安培(A):

$$I_1 = \sqrt{(I'_{1r})^2 + \Delta I_0^2 - 2I'_{1r}\Delta I_0 \cos\left(\frac{\pi}{2} + \varphi_r\right)} \dots\dots\dots(127)$$

其中:

$$I'_{1r} = I_{1r} \frac{U_N}{U_r};$$

$$\varphi_r = \arccos \frac{P_{1r}}{\sqrt{3}U_r I_{1r}};$$

$$\Delta I_0 = I_0 \sin\varphi_0 - I_{0r} \left(\frac{U_N}{U_r}\right) \sin\varphi_{0r};$$

$$\varphi_0 = \arccos \frac{P_0}{\sqrt{3}U_N I_0};$$

$$\varphi_{0r} = \arccos \frac{P_{0r}}{\sqrt{3}U_r I_{0r}}.$$

式中:

$I_0, P_0$  ——分别为电动机在额定电压时的空载电流(A)和空载输入功率(W);

$I_{0r}, P_{0r}$  ——分别为电动机在降低电压时的空载电流(A)和空载输入功率(W)。

11.7.3.2.3 额定负载时的转差率  $s_s$

根据定子电流  $I_{1r}$  (见 11.7.3.2.1), 从图 11 中查取  $s_s$ 。

11.7.3.2.4 各项损耗的确定

11.7.3.2.4.1 规定温度 ( $\theta_s$ ) 下定子绕组  $I^2R$  损耗  $P_{cu1s}$

按 10.2 确定, 单位为瓦特(W)。

11.7.3.2.4.2 规定温度 ( $\theta_s$ ) 下转子绕组  $I^2R$  损耗  $P_{cu2s}$

按 10.3 确定, 单位为瓦特(W)。

11.7.3.2.4.3 风摩耗  $P_{fw}$

按 11.7.2.2.2 的规定, 单位为瓦特(W)。

11.7.3.2.4.4 铁耗  $P_{Fe}$

按 11.7.2.2.3 的规定, 单位为瓦特(W)。

11.7.3.2.4.5 负载杂散损耗  $P_s$

G 法按取出转子试验和反转试验(见 10.6.3)确定  $P_s$ , 单位为瓦特(W), G1 法按推荐值(见 10.6.5)法确定  $P_s$ 。

11.7.3.2.5 总损耗  $P_T$  (W)

$$P_T = P_{cu1s} + P_{cu2s} + P_{fw} + P_{Fe} + P_s \dots\dots\dots (128)$$

11.7.3.2.6 输出功率  $P_2$  (W)

$$P_2 = P_1 - P_T \dots\dots\dots (129)$$

式中:

$P_1$ ——输入功率, 单位为瓦特(W), 按 11.7.3.2.1 确定。

如求得的输出功率  $P_2$  与额定功率  $P_N$  之差大于额定功率的 0.1%, 则应重新假设定子电流  $I_{1r}$  (见 11.7.3.2.1), 重复计算 11.7.3.2.1 至 11.7.3.2.6 直至  $P_2$  与  $P_N$  之差小于  $P_N$  的 0.1% 为止。

11.7.3.2.7 额定功率时的效率  $\eta$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% \dots\dots\dots (130)$$

式中:

$P_2$ ——见 11.7.3.2.6;

$P_1$ ——见 11.7.3.2.1。

11.7.3.2.8 功率因数  $\cos\varphi$

$$\cos\varphi = \frac{P_1}{\sqrt{3}U_N I_1} \dots\dots\dots (131)$$

式中:

$P_1$ ——见 11.7.3.2.1;

$I_1$ ——见 11.7.3.2.2。



## 11.8 H法——圆图法

圆图法是根据电动机的空载试验和堵转试验数据,利用圆图求取电动机额定功率时的效率,功率因数和转差率的一种方法。圆图法适用于不能进行负载试验的中、大型电动机。

圆图法计算公式中的电压、电流和电阻均为相电压(V)、相电流(A)和相电阻( $\Omega$ )的三相平均值,功率为三相功率(W)。

### 11.8.1 绕线转子和普通笼型电动机的圆图法

#### 11.8.1.1 试验程序

##### 11.8.1.1.1 定子绕组(包括绕线电动机转子绕组)初始(冷)端电阻的测定

被试电机在冷却介质温度下(按 5.2.1 中的规定)测量并记录端电阻  $R_1$  (按 5.2.2.4 确定)和绕组温度  $\theta_1$  (按 5.2.1 确定)。

相电阻  $R_U$ 、 $R_V$ 、 $R_W$  按 5.2.2.5 或 5.2.3 确定。

##### 11.8.1.1.2 空载试验

###### 11.8.1.1.2.1 试验方法及试验要求

按 8.1 的规定。

###### 11.8.1.1.2.2 风摩耗 $P_{fw}$

按 8.2 确定,单位为瓦特(W)。

###### 11.8.1.1.2.3 额定电压铁耗 $P_{Fe}$

按 8.3 确定,单位为瓦特(W)。

##### 11.8.1.1.3 额定频率堵转试验

采用圆图算法求取工作特性,堵转试验应在 1.0~1.1 倍  $I_N$  范围内的某一电流下进行。若采用圆图算法求取最大转矩,堵转试验应在 2.0~2.5 倍  $I_N$  范围内的某一电流下进行。

对绕线转子电动机,由于在同一试验电流下,外施电压随转子位置不同而不同,此时,电动机应在电压为平均值的转子位置上进行堵转试验。

试验时,电源的频率应稳定,功率测量应按需要采用低功率因数功率表,其电压回路应接至被试电机的出线端。被试电机通电后,应迅速进行试验,并同时读取  $U_K$ 、 $I_K$  和  $P_K$ 。试验结束后,立即测量定子绕组和转子绕组(对绕线转子电动机)的端电阻。其他要求同 9.1.1。

#### 11.8.1.2 计算

##### 11.8.1.2.1 圆图法所需参数的计算

- 定子绕组相电阻  $R_{1s}$ :换算至规定温度时的电阻值,单位为欧姆( $\Omega$ )。
- 转子绕组相电阻  $R_{2ref}$  (对绕线转子电机):折算到定子侧的电阻值,折算方法如下:

$$R_{2ref} = R'_{2ref} K_U^2 \dots\dots\dots (132)$$

式中:

$R'_{2ref}$ ——换算至规定温度未折算至定子侧的转子绕组相电阻;

$K_U$ ——转子绕组开路时变压比,按式(133)求取:

$$K_U = \frac{U_{10}}{U_{20}} \dots\dots\dots (133)$$

式中:

$U_{10}$ ——转子绕组开路时定子绕组的相电压;

$U_{20}$ ——转子绕组开路时转子绕组的相电压。

c) 由空载试验求得的参数:

空载电流的有功分量  $I_{0R}$ ,单位为安培(A):

$$I_{0R} = \frac{P_0}{3U_N} \dots\dots\dots (134)$$

空载电流的无功分量  $I_{0X}$ ,单位为安培(A):

$$I_{0X} = \sqrt{I_0^2 - I_{0R}^2} \dots\dots\dots (135)$$

d) 由额定频率堵转试验求得的参数:

等值阻抗  $Z_K$ ,单位为欧姆( $\Omega$ ):

$$Z_K = \frac{U_K}{I_K} \dots\dots\dots (136)$$

等值电阻  $R_K$ ,单位为欧姆( $\Omega$ ):

$$R_K = \frac{P_K}{3I_K^2} \dots\dots\dots (137)$$

等值电抗  $X_K$ ,单位为欧姆( $\Omega$ ):

$$X_K = \sqrt{Z_K^2 - R_K^2} \dots\dots\dots (138)$$

再按下述方法求出参数  $R$ 、 $X$ 、 $Z$  的数值:

对 A、E、B 级绝缘:

$$R = R_K \dots\dots\dots (139)$$

对 F、H 级绝缘:

$$R = 1.13R_K \dots\dots\dots (140)$$

$$X = X_K \dots\dots\dots (141)$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \dots\dots\dots (142)$$

e) 堵转电流值  $I_{KN}$ ,单位为安培(A):

$$I_{KN} = \frac{U_N}{Z} \dots\dots\dots (143)$$

堵转电流的有功分量  $I_{KR}$ ,单位为安培(A):

$$I_{KR} = I_{KN} \frac{R}{Z} \dots\dots\dots (144)$$

堵转电流的无功分量  $I_{KX}$ ,单位为安培(A):

$$I_{KX} = I_{KN} \frac{X}{Z} \dots\dots\dots (145)$$

### 11.8.1.2.2 效率、功率因数和转差率的求取

额定功率  $P_N$  时的效率、功率因数及转差率按下列步骤求取:

$$K = I_{KR} - I_{0R} \dots\dots\dots (146)$$

$$H = I_{KX} - I_{0X} \dots\dots\dots (147)$$

$$I_{2K} = \sqrt{H^2 + K^2} \dots\dots\dots (148)$$

由  $\tan\alpha = \frac{H}{K}$  求出  $\alpha$ 、 $\cos\alpha$ 、 $\sin\alpha$ :

$$K_3 = I_{2K}^2 \frac{R_{1s}}{U_N} \dots\dots\dots (149)$$

$$K_4 = K - K_3 \text{ (对普通笼型电机)} \dots\dots\dots (150)$$

$$K_4 = \frac{K_3 R_{2ref}}{R_{1s}} \text{ (对绕线转子电机)} \dots\dots\dots (151)$$

$$I_R = \frac{P_N + P_s}{3U_N} \dots\dots\dots (152)$$

$$a = \frac{I_{2K}}{2} - I_R \cos\alpha \dots\dots\dots (153)$$

$$b = a - \sqrt{a^2 - I_R^2} \dots\dots\dots (154)$$

$$b_1 = b \cos\alpha \dots\dots\dots (155)$$

$$b_2 = b \sin\alpha \dots\dots\dots (156)$$

$$c = \frac{b_1 K_2}{K} \dots\dots\dots (157)$$

$$d = c + I_R \dots\dots\dots (158)$$

$$I_{1R} = I_{0R} + b_1 + I_R \dots\dots\dots (159)$$

$$I_{1X} = I_{0X} + b_2 \dots\dots\dots (160)$$

定子电流  $I_1$ , 单位为安培(A):

$$I_1 = \sqrt{I_{1R}^2 + I_{1X}^2} \dots\dots\dots (161)$$

功率因数  $\cos\varphi$ :

$$\cos\varphi = \frac{I_{1R}}{I_1} \dots\dots\dots (162)$$

转差率  $s$ :

$$s = \frac{c}{d} \dots\dots\dots (163)$$

各项损耗:铁耗  $P_{Fe}$  按 11.8.1.1.2.3 确定、风摩耗  $P_{fw}$  按 11.8.1.1.2.2 确定、规定温度( $\theta_s$ )下定子绕组  $I^2R$  损耗  $P_{cu1s}$  按 10.2 确定、杂散损耗  $P_s$  按 10.6.5 推荐值确定;规定温度( $\theta_s$ )下转子绕组  $I^2R$  损耗  $P_{cu2s}$  按式(164)求取,单位为瓦特(W):

$$P_{cu2s} = \frac{s(P_N + P_{fw} + P_s)}{1 - s} \dots\dots\dots (164)$$

总损耗  $P_T$ , 单位为瓦特(W):

$$P_T = P_{cu1s} + P_{cu2s} + P_{Fe} + P_{fw} + P_s \dots\dots\dots (165)$$

效率  $\eta$ :

$$\eta = \frac{P_N}{P_N + P_T} \times 100\% \dots\dots\dots (166)$$

## 11.8.2 深槽和双笼电动机的圆图法

### 11.8.2.1 试验程序

#### 11.8.2.1.1 定子绕组初始(冷)端电阻的测定

在冷却介质温度下(按 5.2.1 中的规定)测量并记录端电阻  $R_1$  (确定方法按 5.2.2.4)和绕组温度  $\theta_1$  (确定方法按 5.2.1)。

相电阻  $R_U$ 、 $R_V$ 、 $R_W$  按 5.2.2.5 或 5.2.3 确定。

11.8.2.1.2 空载试验

11.8.2.1.2.1 试验方法及实验要求

按 8.1 的规定。

11.8.2.1.2.2 风摩耗  $P_{fw}$

$P_{fw}$  按 8.2 确定,单位为瓦特(W)。

11.8.2.1.2.3 额定电压铁耗  $P_{Fe}$

$P_{Fe}$  按 8.3 确定,单位为瓦特(W)。

11.8.2.1.3 额定频率和  $\frac{1}{2}$  额定频率堵转试验

额定频率堵转试验方法及要求按 11.8.1.1.3 的规定。 $\frac{1}{2}$  额定频率堵转试验时的堵转电流及试验要求与 11.8.1.1.3 相同。

11.8.2.2 计算

11.8.2.2.1 圆图法所需参数计算

圆图算法所需参数如下:

a) 定子绕组相电阻  $R_{1s}$ :换算至规定温度时的电阻值。

b) 由空载试验求得的参数:

空载电流的有功分量  $I_{0R}$ ,单位为安培(A):

$$I_{0R} = \frac{P_0}{3U_N} \dots\dots\dots (167)$$

空载电流的无功分量  $I_{0X}$ ,单位为安培(A):

$$I_{0X} = \sqrt{I_0^2 - I_{0R}^2} \dots\dots\dots (168)$$

c) 由额定频率堵转试验求得的参数:

等值阻抗  $Z'_K$ ,单位为欧姆( $\Omega$ ):

$$Z'_K = \frac{U'_K}{I'_K} \dots\dots\dots (169)$$

等值电阻  $R'_K$ ,单位为欧姆( $\Omega$ ):

$$R'_K = \frac{P'_K}{3I'^2_K} \dots\dots\dots (170)$$

等值电抗  $X'_K$ ,单位为欧姆( $\Omega$ ):

$$X'_K = \sqrt{Z'^2_K - R'^2_K} \dots\dots\dots (171)$$

d) 由  $\frac{1}{2}$  额定频率堵转试验求得的参数:

等值阻抗  $Z''_K$ ,单位为欧姆( $\Omega$ ):

$$Z''_K = \frac{U''_K}{I''_K} \dots\dots\dots (172)$$

等值电阻  $R''_K$ ,单位为欧姆( $\Omega$ ):

$$R''_K = \frac{P''_K}{3I''^2_K} \dots\dots\dots (173)$$

等值电抗  $X''_K$  :

$$X''_K = \sqrt{Z''_K^2 - R''_K^2} \quad \dots\dots\dots (174)$$

e) 按下述方法求出修正后参数  $R$ 、 $X$ 、 $Z$  的数值:

$$h = \frac{2X''_K - X'_K}{R'_K - R''_K} \quad \dots\dots\dots (175)$$

$$m = \frac{4 + h^2}{3} \quad \dots\dots\dots (176)$$

等值电阻  $R(\Omega)$  的求取:

对 A、E、B 级绝缘:

$$R = R'_K - m(R'_K - R''_K) \quad \dots\dots\dots (177)$$

对 F、H 级绝缘:

$$R = 1.13 \times [R'_K - m(R'_K - R''_K)] \quad \dots\dots\dots (178)$$

等值电抗  $X$ , 单位为欧姆( $\Omega$ ):

$$X = X'_K + m(2X''_K - X'_K) \quad \dots\dots\dots (179)$$

等值阻抗  $Z$ , 单位为欧姆( $\Omega$ ):

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \quad \dots\dots\dots (180)$$

f) 堵转电流值  $I_{KN}$ , 单位为安培(A):

$$I_{KN} = \frac{U_N}{Z} \quad \dots\dots\dots (181)$$

堵转电流的有功分量  $I_{KR}$ , 单位为安培(A):

$$I_{KR} = I_{KN} \frac{R}{Z} \quad \dots\dots\dots (182)$$

堵转电流的无功分量  $I_{KX}$ , 单位为安培(A):

$$I_{KX} = I_{KN} \frac{X}{Z} \quad \dots\dots\dots (183)$$

额定功率  $P_N$  时的效率、功率因数及转差率按下列步骤求取:

$$K = I_{KR} - I_{0R} \quad \dots\dots\dots (184)$$

$$H = I_{KX} - I_{0X} \quad \dots\dots\dots (185)$$

$$I_{2K} = \sqrt{H^2 + K^2} \quad \dots\dots\dots (186)$$

由  $\tan\alpha = \frac{H}{K}$  求出  $\alpha$ ,  $\cos\alpha$ ,  $\sin\alpha$

$$K_3 = \frac{I_{2K}^2 R_{1s}}{U_N} \quad \dots\dots\dots (187)$$

$$K_4 = K - K_3 \quad \dots\dots\dots (188)$$

$$I_R = \frac{P_N + P_s}{3U_N} \quad \dots\dots\dots (189)$$

$$a = \frac{I_{2K}}{2} - I_R \cos\alpha \quad \dots\dots\dots (190)$$

$$b = a - \sqrt{a^2 - I_R^2} \quad \dots\dots\dots (191)$$

$$b_1 = b \cos\alpha \quad \dots\dots\dots (192)$$

$$b_2 = b \sin\alpha \quad \dots\dots\dots (193)$$

$$c = \frac{b_1 K_4}{K} \quad \dots\dots\dots (194)$$

$$d = c + I_R \quad \dots\dots\dots (195)$$

$$I_{1R} = I_{0R} + b_1 + I_R \quad \dots\dots\dots (196)$$

$$I_{1X} = I_{0X} + b_2 \quad \dots\dots\dots (197)$$

定子电流  $I_1$ , 单位为安培(A):

$$I_1 = \sqrt{I_{1R}^2 + I_{1X}^2} \quad \dots\dots\dots (198)$$

功率因数  $\cos\varphi$ :

$$\cos\varphi = \frac{I_{1R}}{I_1} \quad \dots\dots\dots (199)$$

转差率  $s$ :

$$s = \frac{c}{d} \quad \dots\dots\dots (200)$$

各项损耗:铁耗  $P_{Fe}$  按 11.8.2.1.2.3 确定,风摩耗  $P_{fw}$  按 11.8.2.1.2.2 确定,规定温度( $\theta_s$ )下定子绕组  $I^2R$  损耗  $P_{cu1s}$  按 10.2 确定,杂散损耗  $P_s$  按 10.6.5 中的规定求取,规定温度( $\theta_s$ )下转子绕组  $I^2R$  损耗  $P_{cu2s}$  按式(201)求取,单位为瓦特(W):

$$P_{cu2s} = \frac{s(P_N + P_{fw} + P_s)}{1 - s} \quad \dots\dots\dots (201)$$

总损耗  $P_T$ , 单位为瓦特(W):

$$P_T = P_{Fe} + P_{fw} + P_{cu1s} + P_{cu2s} + P_s \quad \dots\dots\dots (202)$$

效率  $\eta$ :

$$\eta = \frac{P_N}{P_N + P_T} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (203)$$

## 12 其他试验项目

### 12.1 最大转矩的测定

#### 12.1.1 概述

最大转矩的测量方法有下列几种:

- a) 测功机或校正过直流电机法;
- b) 转矩测量仪法;
- c) 转矩转速仪法;
- d) 圆图计算法。

采用上述 a)、b)、c)3 种方法时,应在额定频率、额定电压下进行测定,如试验电压不能达到额定电压,最大转矩值应按 12.1.6 中的规定换算。

#### 12.1.2 测功机或校正过直流电机法

测功机或校正过直流电机作被试电机的负载,最大转矩从测功机测力计上读出,或按试验时的转速和直流电机的电枢电流  $I_a$ ,从直流电机的校正曲线  $T_d = f(I_a)$  上求得。

直流电机可用准确度为 0.5 级的测功机校正或用损耗分析法校正。直流电机应在发电机状态下采用 0.5 级准确度的测功机进行校正。校正时,在所需的各种转速下,待剩磁稳定后保持励磁电流不变,测取电枢电流  $I_a$  与轴上转矩  $T_d$  的校正曲线  $T_d = f(I_a)$ 。试验时,直流电机的转向和励磁电流与校正时相同。试验过程中,励磁电流应保持不变。

试验时,将被试电机与测功机或校正过直流电机用联轴器联接,使两者的旋转方向一致。逐渐增加被试电机的负载至测功机测力计读数或校正过直流电机的电枢电流出现最大值,读取此数值和被试电机的端电压。采用校正过直流电机时,需同时读取转速值。

试验过程中,应防止被试电机过热而影响测量的准确性。被试电机的端电压应在其出线端上测量。

### 12.1.3 转矩测量仪法

用转矩测量仪法测定最大转矩时,必须测取被试电机的转矩转速特性曲线,最大转矩从曲线上求取。

转矩转速特性曲线可逐点测定后由人工描绘,也可用自动记录仪直接描绘。对分马力和小型电机,这两种方法均可采用。对滚动轴承的中型电机应采用前者。逐点测定转矩转速特性曲线时,测取的点数应满足正确求取各种转矩(最大转矩、最小转矩、同步转矩和堵转转矩)的需要。在这些转矩附近。测量点应尽可能密一些。

试验过程中,应防止被试电机过热而影响测量的准确性,必要时,转矩转速特性曲线可分段测量。以直流电机作负载时,被试电机与传感器、直流电机用联轴器联接。直流电机他励,其电枢由可调电压和可变极性的电源供电。被试电机与直流电机的转向应一致。调节直流电机的电源电压,逐渐增加被试电机的负载,并同时读取转矩、转速和电压值。或用自动记录仪描绘转矩转速特性曲线,被试电机端电压与转速的关系曲线。用自动记录仪描绘曲线时,建议在被试电机转速上升和下降的情况下测取两条转矩转速特性曲线,取其平均值。每条曲线的描绘时间应不少于15 s。

### 12.1.4 转矩转速仪法

转矩转速仪是应用电动机在空载启动过程中,其加速度正比于电机转矩的原理而制成的摄取转矩转速特性曲线的仪器。

本方法限于大、中型电机采用。

为了提高测量的准确性,试验时,应根据被试电机的启动时间,正确选取微分参数和滤波参数;显示图形的线条要细,干扰纹波要小;转矩定标要尽量准确。并应同时摄取被试电机端电压与转速关系曲线。

### 12.1.5 圆图算法

如限于设备,对立式电机和100 kW以上的电机,允许采用圆图算法求取最大转矩。此时,电动机应按11.8.1.1.3的规定进行堵转试验。

圆图算法公式中的电压、电流和电阻为相电压(V)、相电流(A)和相电阻( $\Omega$ )的三相平均值;功率为三相功率值(W)。

#### 12.1.5.1 圆图算法所需参数

- a) 定子绕组相电阻  $R_{1s}$

换算至规定温度时的电阻值。

- b) 由空载试验求得的参数

空载电流的有功分量  $I_{0R}$ ,单位为安培(A):

$$I_{0R} = \frac{P_0 - P_{fw}}{3U_N} \dots\dots\dots (204)$$

空载电流的无功分量  $I_{0X}$ ,单位为安培(A):

$$I_{0X} = \sqrt{I_0^2 - I_{0R}^2} \dots\dots\dots (205)$$

- c) 由堵转试验求得的参数

堵转电流  $I_{KN}$ ,单位为安培(A):

$$I_{KN} = I_K \frac{U_N}{U_K} \dots\dots\dots (206)$$

堵转功率  $P_{KN}$ , 单位为瓦特(W):

$$P_{KN} = P_K \left( \frac{U_N}{U_K} \right)^2 \dots\dots\dots (207)$$

堵转电流的有功分量  $I_{KR}$ , 单位为安培(A):

$$I_{KR} = \frac{P_{KN}}{3U_N} \dots\dots\dots (208)$$

堵转电流的无功分量  $I_{KX}$ , 单位为安培(A):

$$I_{KX} = \sqrt{I_{KN}^2 - I_{KR}^2} \dots\dots\dots (209)$$

### 12.1.5.2 最大转矩的求取

$$K = I_{KR} - I_{0R} \dots\dots\dots (210)$$

$$H = I_{KX} - I_{0X} \dots\dots\dots (211)$$

$$r = \frac{1}{2} \left( H + \frac{K^2}{H} \right) \dots\dots\dots (212)$$

$$I_{2K} = \sqrt{K^2 + H^2} \dots\dots\dots (213)$$

$$K_3 = \frac{I_{2K}^2 R_{1s}}{U_N} \dots\dots\dots (214)$$

由  $\tan\beta = \frac{H}{K_3}$  求出  $\beta$ ,  $\tan \frac{\beta}{2}$

$$T = 3rU_N \tan \frac{\beta}{2} \dots\dots\dots (215)$$

$$P_m = \frac{P_N + P_{fw} + P_s}{1 - s} \dots\dots\dots (216)$$

最大转矩倍数:

$$K_T = \frac{C_T \cdot T}{P_m} \dots\dots\dots (217)$$

式中:

$C_T$ ——对 10 kW 及以上的笼型电机, 取  $C_T = 0.9$ ; 对绕线转子电机和小于 10 kW 的笼型电机, 取  $C_T = 1.0$ 。

最大转矩  $T_{max}$ , 单位为牛顿米(N·m):

$$T_{max} = K_T T_N \dots\dots\dots (218)$$

式中:

$T_N$ ——额定转矩, 单位为牛顿米(N·m)。

### 12.1.6 最大转矩的换算

当试验电压  $U_t$  低于 0.9 倍额定电压时, 应在 1/3~2/3 额定电压范围内, 均匀测取 3 个不同电压下的最大转矩值。作  $\lg T_{max} = f(\lg U_t)$  曲线, 延长曲线, 求出对应于额定电压时的最大转矩  $T_{max}$ 。

## 12.2 最小转矩的测定

### 12.2.1 概述

笼型电动机在起动过程中最小转矩的测量方法有下列几种:

- a) 测功机或校正过直流电机法;



- b) 转矩测量仪法；
- c) 转矩转速仪法。

测定时,被试电机应接近实际冷状态,在额定频率和额定电压下进行。如试验电压不能达到额定电压,最小转矩值应按 12.2.5 换算。

### 12.2.2 测功机或校正过直流电机法

用测功机或校正过直流电机作被试电机的负载,最小转矩从测功机测力计上读出,或按试验时的转速和校正过直流电机的电枢电流,从直流电机的校正曲线  $T_d = f(I_a)$  上求得。

直流电机的校正和使用时的要求同 12.1.2。

试验时,将被试电机与测功机或校正过直流电机用联轴器联接,先在低电压下确定被试电机出现最小转矩的中间转速(即同步转速的  $1/13 \sim 1/7$  范围内的某一转速,机组在该转速下能稳定运行而不升速)。断开被试电机的电源,调节测功机或校正过直流电机的电源电压,使其转速约为中间转速的  $1/3$ 。然后合上被试电机的电源,迅速调节测功机的电源电压(或励磁电流)或校正过直流电机的电源电压。直至测功机的测力计读数或校正过直流电机的电枢电流出现最小值,读取此数值和被试电机的端电压。采用校正过直流电机时,需同时读取转速值。

用测功机作负载时,当测功机与被试电机的转向相同,而不能测得最小转矩时,可改变测功机电源电压的极性再行测试。

试验过程中,应防止被试电机过热。

### 12.2.3 转矩测量仪法

用转矩测量仪法测定最小转矩时,必须测取被试电机的转矩转速特性曲线,最小转矩从曲线上求取。

试验方法及要求同 12.1.3。转矩转速曲线应从堵转状态开始使转速逐渐升高进行测取。

### 12.2.4 转矩转速仪法

用转矩转速仪法测定最小转矩的方法同 12.1.4。

### 12.2.5 最小转矩的换算

当试验电压在  $0.95 \sim 1.05$  倍额定电压范围内时,最小转矩  $T_{\min}$  按式(219)求取,单位为牛顿米( $N \cdot m$ ):

$$T_{\min} = T_{\min t} \left( \frac{U_N}{U_t} \right)^2 \dots\dots\dots (219)$$

式中:

$T_{\min t}$ ——在试验电压  $U_t$  下测得的最小转矩,单位为牛顿米( $N \cdot m$ )。

当试验电压低于  $0.95$  倍额定电压时,应在  $1/3 \sim 2/3$  额定电压范围内,均匀测取 3 个不同电压下的最小转矩值,作  $\lg T_{\min t} = f(\lg U_t)$  曲线,延长曲线,求出对应于额定电压时的最小转矩  $T_{\min}$ 。

## 12.3 转动惯量的测定

### 12.3.1 悬挂转子摆动法

#### 12.3.1.1 单钢丝法

采用单钢丝扭转摆动比较法测定电机转子的转动惯量。

选择密度均匀的金属制成假转子,假转子形状应为简单的圆柱体,以便能用下式较准确地计算出假

转子的转动惯量  $J'$ 。假转子的质量应能将所选用的钢丝拉直且钢丝不变形。把假转子可靠地悬挂在长度  $l \geq 0.5$  m 的钢丝一端,钢丝的另一端固定在支架上,钢丝轴线应与假转子轴线同心且垂直地面。

将假转子绕心轴扭转一个适当角度,仔细测量往复摆动次数  $N$  及所需时间  $t$  (s),求得摆动周期平均值  $T'_p$  ( $T'_p = N/t$ )。被试电机转子在相同的条件下重复上述试验,按以上方法求得其摆动周期的平均值  $T_p$ ,按下式计算被试电机的转动惯量  $J$ 。

假转子的转动惯量  $J'$  ( $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ )按式(220)计算:

$$J' = \frac{mD^2}{8} \dots\dots\dots(220)$$

式中:

$D$  ——圆柱体直径,单位为米(m);

$m$  ——直径  $D$  部分的圆柱体质量,单位为千克(kg)。

被试电机转子的转动惯量  $J$  ( $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ )按式(221)计算:

$$J = J' \frac{T_p^2}{T_p'^2} \dots\dots\dots(221)$$

式中:

$T_p$  ——被试电机转子的摆动周期平均值,单位为秒(s);

$T'_p$  ——假转子的摆动周期平均值,单位为秒(s)。

### 12.3.1.2 双钢丝法

用两根平行的钢丝将被试电机转子悬挂起来,使其转轴中心线与地面垂直。扭转转子使其产生以轴线为中心的摆动。转轴中心线的扭角应不大于  $10^\circ$ 。仔细测取若干次摆动所需的时间,求出摆动周期的平均值  $T_p$ 。转动惯量  $J$  ( $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ )按式(222)求取:

$$J = \frac{T_p^2 a^2}{l} \cdot \frac{mg}{(4\pi)^2} \dots\dots\dots(222)$$

式中:

$g$  ——重力加速度,单位为米每二次方秒( $\text{m}/\text{s}^2$ );

$a$  ——两钢丝之间的距离,单位为米(m);

$l$  ——钢丝的长度,单位为米(m);

$m$  ——被试电机转子的质量,单位为千克(kg)。

### 12.3.2 空载减速法

此法用于测定功率为 100 kW 以上电机的转动惯量。

试验时,使被试电机的转速升高并超过同步转速,然后,切断电源或脱开驱动机械,在 1.1~0.9 倍同步转速范围内,测定转速变化  $\Delta n$  (r/min)所需的时间  $\Delta t$  (s)。转动惯量  $J$  ( $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ )按式(223)计算:

$$J = \frac{3\ 600 P_{fw} \Delta t}{4\pi^2 n_s \Delta n} \dots\dots\dots(223)$$

### 12.3.3 辅助摆锤法

此法用于测定具有滚动轴承电机的转动惯量。

将一个质量已知的辅助摆锤用质量尽可能小的臂杆固定于被试电机转轴端面中心上,摆锤臂杆应与轴线成直角。当转轴上带有皮带轮或半个联轴器时,也可用它们来固定摆锤。

试验时,摆锤的初始位置与静止位置的偏移应不大于  $15^\circ$ ,在开始摆动后,测量 2~3 次摆动所需的时间,求出摆动周期的平均值  $T_p$ 。以摆锤通过静止位置的瞬间作为测量摆动周期的起始点。转动惯量  $J$  ( $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ )按式(224)计算:

$$J = m \cdot r \left( \frac{T_p^2 g}{4\pi^2} - r \right) \dots\dots\dots (224)$$

式中:

$m$  ——辅助摆锤的质量,单位为千克(kg);

$r$  ——辅助摆锤的重心到转轴中心线的距离,单位为米(m);

$T_p$  ——辅助摆锤摆动周期的平均值,单位为秒(s)。

对功率为 10 kW~1 000 kW 的电机,选用辅助摆锤时,应使摆动周期为 3 s~8 s。为了校核,建议在摆锤质量略有不同的情况下重复进行测定。

对绕线转子电动机和交流换向器电动机,试验必须在电刷全部提起时进行。

#### 12.4 短时过转矩试验

短时过转矩试验应在额定电压、额定频率下进行。

试验时,电动机在热状态下,逐渐增加负载,使其转矩达到 GB 755—2008 中的 9.4.1 或各类型电机标准所规定的过转矩数值,历时 15 s。

如限于设备,允许在试验时用测量定子电流代替转矩的测量,此时,定子电流值应等于 1.1 倍的过转矩倍数乘以额定电流值。

#### 12.5 匝间冲击耐电压试验

如需进行此项试验,按 GB/T 22715—2008 和 GB/T 22719.1—2008、GB/T 22719.2—2008 规定的方法进行。

#### 12.6 工频耐电压试验

试验电源的频率为工频,电压波形尽可能为正弦波形。

##### 12.6.1 试验要求(按 GB 755—2008 中 9.2 的规定)

a) 耐电压试验在电机静止的状态下进行。试验前,应先测量绕组的绝缘电阻。如需要进行超速和短时过转矩试验时,该项试验应在这些试验之后进行,型式试验时,该项试验还应在热试验后电动机接近热状态下进行。

b) 试验时,电压应施于绕组与机壳之间,此时其他不参与试验的绕组均应和铁芯及机壳作电气连接。对额定电压在 1 kV 以上的电机,若每相的两端均单独引出时,则应每相逐一进行试验。

c) 试验变压器应有足够的容量,可按下列方法选择:

对低压电动机,每 1 kV 试验电压,试验变压器的容量应不小于 1 kVA;

对高压电动机,当其电容量较大时,试验变压器的容量应大于式(225)求得的计算容量  $S_T$  (kVA):

$$S_T = 2\pi f C U_i U_{TN} \times 10^{-3} \dots\dots\dots (225)$$

式中:

$C$  ——被试电机的电容,单位为法拉(F);

$U_i$  ——试验电压,单位为伏特(V);

$U_{TN}$  ——试验变压器高压侧的额定电压,单位为伏特(V)。

对分马力电动机,每 1 kV 试验电压,试验变压器的容量应不小于 0.5 kVA。

d) 额定电压在 3 kV 及以上的电动机进行耐电压试验时,建议在试验变压器接线柱与被试绕组之间并联接入放电铜球。试验电压应在试验变压器的高压侧进行测量。

- e) 试验前,应采取切实安全的防护措施,试验中发现异常情况,应立即切断试验电源,并将绕组对地放电。

### 12.6.2 试验电压和时间

试验电压的数值按 GB 755—2008 中 9.2 的规定。

试验应从不超过试验电压全值的一半开始,然后均匀地或以每步不超过全值 5% 逐步增至试验电压全值,电压从半值增至全值的时间应不少于 10 s。全值试验电压值应符合 GB 755—2008 表 16 中的规定,并维持 1 min。

当对批量生产的 200 kW(或 kVA)及以下,额定电压  $U_N \leq 1$  kV 的电机进行常规试验时,1 min 试验可用 1 s 的试验代替,但试验电压值应为 GB 755—2008 表 16 规定值的 120%。

### 12.7 转子电压的测定

绕线转子电动机及交流换向器电动机需进行转子电压测定。

测量时,转子应静止不转动,转子绕组开路,定子绕组上施以额定频率的额定电压,在转子集电环间分别测量各线间的电压值。如发现有电压不平衡现象,通常是在几个不同的转子位置读取转子电压,取算术平均值作为转子电压。

对转子电压超过 600 V 的电动机,施于定子绕组上的电压,可以适当降低。

### 12.8 超速试验

如各类型电机标准中无规定时,超速试验允许在冷态下进行。对大型电机,允许对转子单独进行超速试验。

试验时,将电动机的转速提高到 1.2 倍最高额定转速或各类型电机标准中规定的转速,或规定的最高转速,历时 2 min。

超速的方法有下列两种:

- a) 提高被试电机的电源频率;
- b) 用原动机直接驱动或通过变速驱动被试电机。

超速试验时,应采取安全防护措施,尽可能远距离测量转速。

### 12.9 噪声的测定

噪声的测定按 GB/T 10069.1—2006 的规定进行。

### 12.10 振动的测定

振动的测定按 GB 10068—2008 的规定进行。

### 12.11 轴电压的测定

轴电压测定见图 12。

试验前应分别检查轴承座与金属垫片、金属垫片与金属底座间的绝缘电阻,确保电动机绝缘良好。

在电动机轴承与机壳之间加装绝缘环(轴承和转轴之间垫入干燥的绝缘片)或者使用绝缘轴承,确保电动机轴承绝缘良好。

第一次测定时,被试电机应在额定电压、额定频率下空载运行,用高内阻毫伏表测量轴电压  $U_1$ ,然后用导线 A 将转轴一端与地短接,测量另一轴承座对地轴电压  $U_2$ ,测量完毕将导线 A 拆除。试验时测点表面与毫伏表引线的接触应良好。

第二次测定时,被试电机在额定电流、额定频率下额定负载运行,测量轴承电压  $U_3$ 。

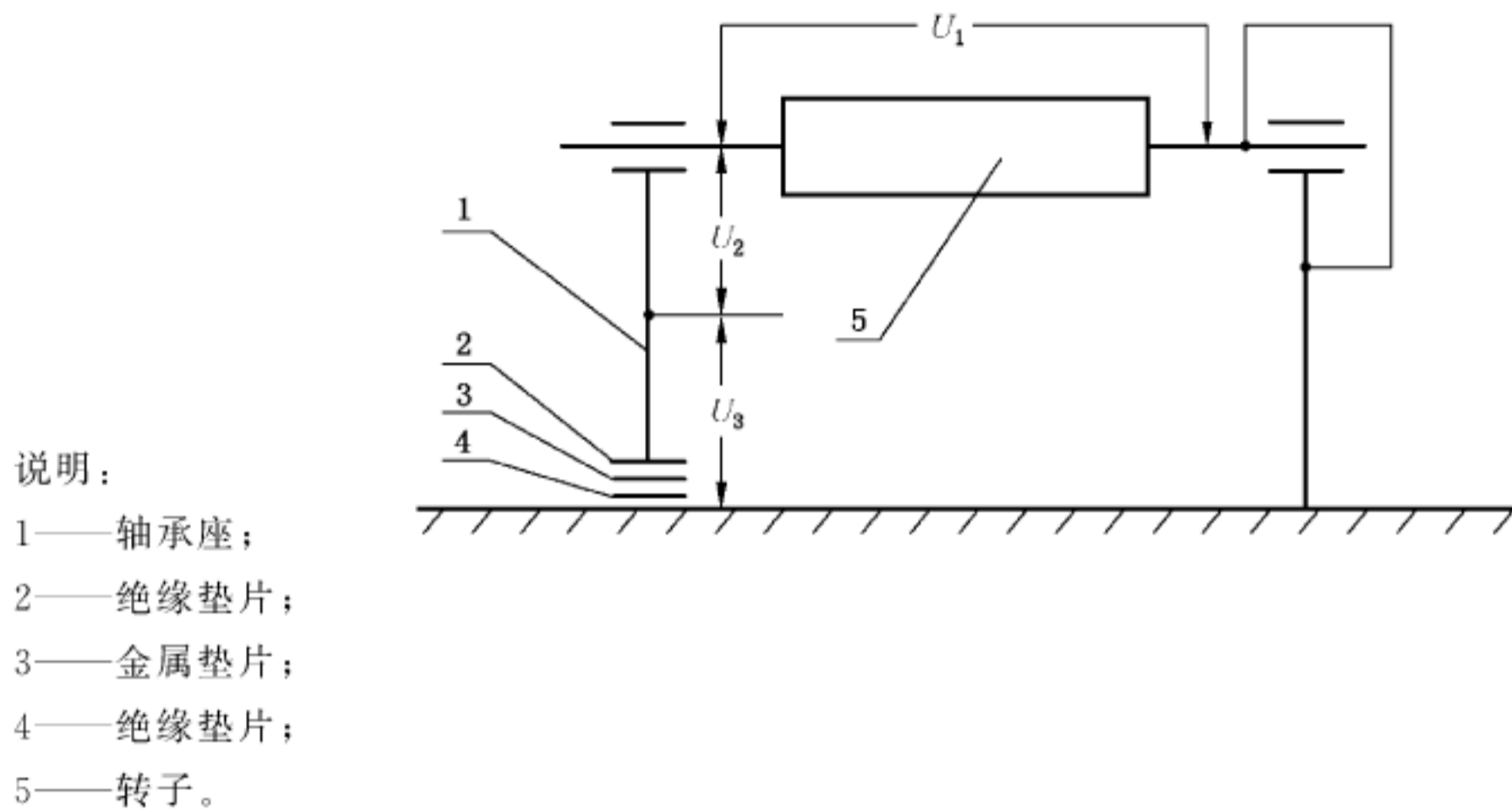


图 12 轴电压测量示意图

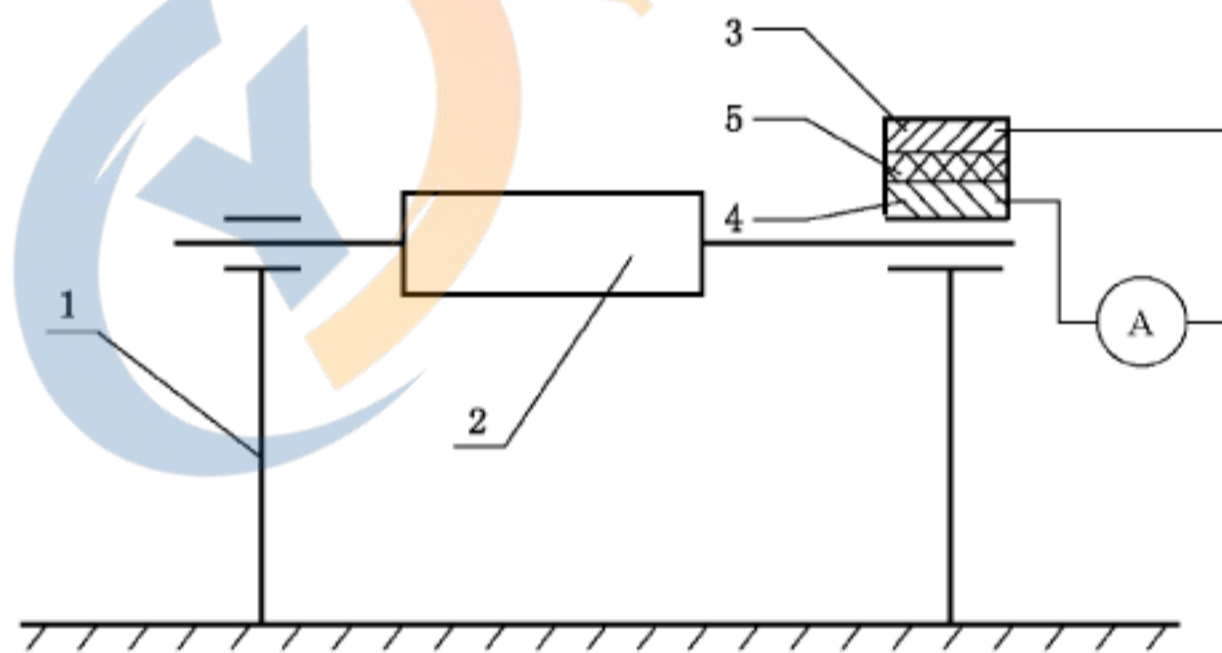
### 12.12 轴承电流的测定

对使用滚动轴承的电动机，轴承电流按图 13 进行测量。

在电动机非轴伸端的轴承与机壳之间加装绝缘环(轴承和转轴之间垫入干燥的绝缘片)或者使用绝缘轴承，确保电动机轴承绝缘良好。

将电流表串联到与轴承绝缘层两面接触的金属件上，分别在额定电压、额定频率下空载运行，测量电流值，即为轴承电流。

对使用滑动轴承和滚动轴承的电动机，如不能按上述方法测量，可采用轴上放置电流互感器的方法测量轴电流。



说明：

1 ——轴承座；  
2 ——转子；  
3,4 ——与轴承绝缘体两面接触的金属部件；  
5 ——轴承绝缘体。

图 13 轴承电流测量示意图

**附录 A**  
(规范性附录)  
**仪器仪表损耗及误差的修正方法**

**A.1 仪表损耗的修正**

当电压表、电流表和功率表按照图 A.1 或图 A.2 接线时,其仪表损耗的修正按下列方法进行。

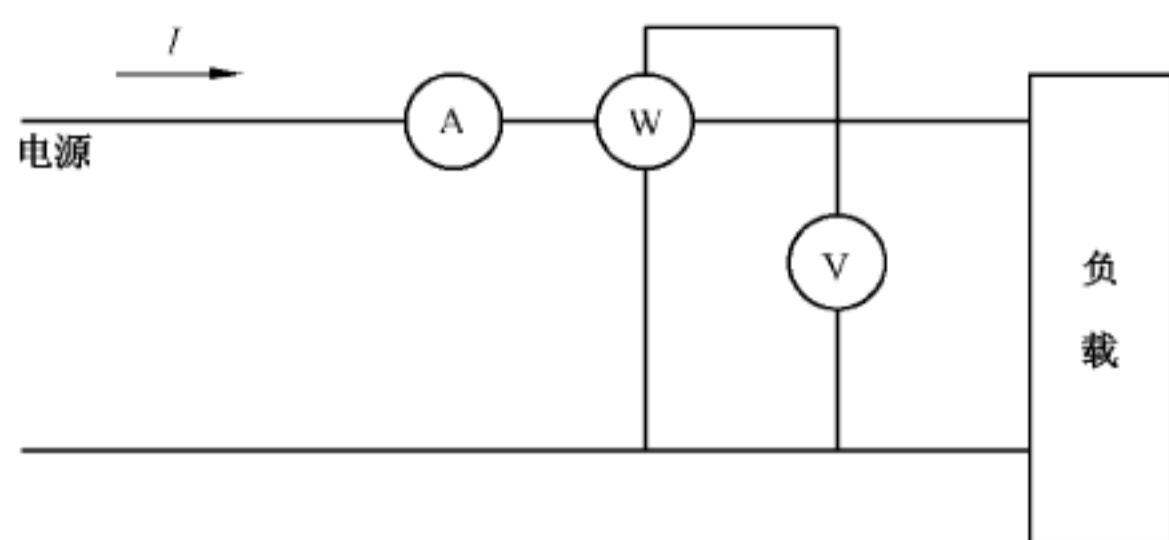


图 A.1

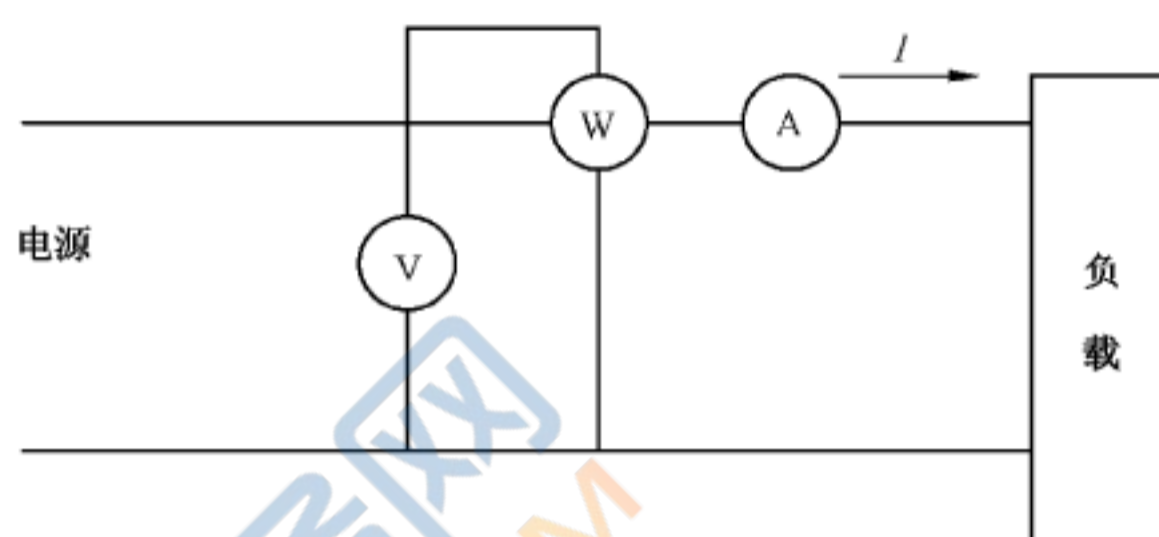


图 A.2

**A.1.1 按图 A.1 接线时,仪表损耗的修正**

此时,电压表的损耗  $P_V$  和无补偿的功率表电压线圈回路的损耗  $P_W$  按式(A.1)、式(A.2)计算。并将它们从测得的功率中减去。

$$P_V = \frac{U^2}{R_V} \dots\dots\dots (A.1)$$

$$P_W = \frac{U^2}{R_{WV}} \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

$U$  ——电压表的读数,单位为伏特(V);

$R_V$  ——电压表回路的总电阻,单位为欧姆( $\Omega$ );

$R_{WV}$  ——功率表电压线圈回路的总电阻(包括外接附加电阻),单位为欧姆( $\Omega$ )。

**A.1.2 按图 A.2 接线时仪表损耗的修正**

此时,电流表和功率表电流线圈(包括功率表至负载端的连接导线)的损耗  $P_A$  按式 A.3 计算,并将它从测得的功率中减去。

$$P_A = I^2 \times (R_A + R_{WA} + R) \dots\dots\dots (A.3)$$

式中:

$I$  ——电流表的读数,单位为安特(A);

$R_A$  ——电流表的内阻,单位为欧姆( $\Omega$ );

$R_{WA}$  ——功率表电流线圈回路的总电阻(包括外接附加电阻),单位为欧姆( $\Omega$ );

$R$  ——功率表至负载端连接导线(包括开关等)的电阻,单位为欧姆( $\Omega$ )。

**A.2 仪表刻度误差的修正**

根据电流表、电压表、功率表指示的数值  $I_A$ 、 $U_V$ 、 $P_W$  按式(A.4)~式(A.6)进行刻度误差的修正。

$$I' = I_A + \Delta I \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

$$U' = U_V + \Delta U \quad \dots\dots\dots (A.5)$$

$$P'_w = P_w + \Delta P_w \quad \dots\dots\dots (A.6)$$

式中:

$\Delta I, \Delta U, \Delta P_w$ ——分别为电流表、电压表和功率表的刻度修正值,可从仪表的校验报告中获得。

### A.3 互感器变比误差的修正

电流互感器和电压互感器的变比误差,可以从互感器校验报告中获得。当互感器副边的实际负载与校验中的负载不同时,其变比误差可以由互感器不同负载时的变比特性曲线来估算。

#### A.3.1 互感器的实际变比

电流互感器的实际变比:

$$K_I = K_{In}(1 - \gamma_I) \quad \dots\dots\dots (A.7)$$

电压互感器的实际变比

$$K_U = K_{Un}(1 - \gamma_U) \quad \dots\dots\dots (A.8)$$

式中:

$K_{In}, K_{Un}$ ——分别为电流互感器和电压互感器的标称变比;

$\gamma_I, \gamma_U$ ——电流互感器和电压互感器的变比误差。

#### A.3.2 对测量值的修正

电流互感器原边的实际电流:

$$I = K_I I' \quad \dots\dots\dots (A.9)$$

电压互感器原边的实际电压:

$$U = K_U U' \quad \dots\dots\dots (A.10)$$

修正后的功率:

$$P = K_U K_I P'_w \quad \dots\dots\dots (A.11)$$

### A.4 互感器相角误差的修正

功率测量中的相角误差包括:

- 功率表电压线圈回路中的相角误差;
- 电流互感器的相角误差;
- 电压互感器的相角误差。

#### A.4.1 功率表电压线圈回路中的相角误差 $\alpha$

相角误差  $\alpha$  按式(A.12)求取:

$$\alpha = \arctan \frac{X_w}{R_w} \quad \dots\dots\dots (A.12)$$

式中:

$R_w$ ——功率表电压线圈回路的总电阻(包括外接附加电阻),单位为欧姆( $\Omega$ );

$X_w$ ——功率表电压线圈的感抗,单位为欧姆( $\Omega$ )。按式(A.13)求取:

$$X_w = 2\pi fL \quad \dots\dots\dots (A.13)$$

式中：

$L$ ——功率表电压线圈的电感，单位为亨利(H)。可从功率表的刻度盘上获得。

相角误差  $\alpha$  符号的决定：当  $X_w$  为容抗时，取“+”号；当  $X_w$  为感抗时，取“-”号。对无补偿的功率表，其电压线圈为感抗。

#### A.4.2 电流互感器的相角误差 $\beta_I$

电流互感器的相角误差  $\beta_I$  可以从互感器校验报告中获得。当互感器副边的实际负载与校验中的负载不同时，其相角误差  $\beta_I$  可以由互感器不同负载时的相角特性曲线来估算。

相角误差  $\beta_I$  符号的决定：当副边电流超前原边电流时，取“+”号；滞后时，取“-”号。对无补偿的电流互感器，副边电流超前原边电流。

#### A.4.3 电压互感器的相角误差 $\beta_U$

电压互感器相角误差  $\beta_U$  的确定方法与电流互感器相同。

相角误差  $\beta_U$  符号的决定：当副边电压超前原边电压时，取“+”号；滞后时，取“-”号，对无补偿的电压互感器，副边电压滞后原边电压。

#### A.4.4 功率测量值的修正

修正前的表观功率  $S$  及功率因数  $\cos\varphi'$  按式(A.14)~式(A.16)决定：

$$S = UI \quad \dots\dots\dots (A.14)$$

$$\cos\varphi' = \frac{P}{S} \quad \dots\dots\dots (A.15)$$

$$\varphi' = \arccos\left(\frac{P}{S}\right) \quad \dots\dots\dots (A.16)$$

实际的功率因数  $\cos\varphi$  按式(A.17)求取：

$$\cos\varphi = \cos(\varphi' - \alpha + \beta_I - \beta_U) \quad \dots\dots\dots (A.17)$$

相角修正系数  $K_\varphi$  按式(A.18)求取：

$$K_\varphi = \frac{\cos\varphi}{\cos\varphi'} \quad \dots\dots\dots (A.18)$$

经相角误差修正后，实际功率值按式(A.19)求取：

$$P_c = PK_\varphi \quad \dots\dots\dots (A.19)$$



## 附录 B

(规范性附录)

绕组星接不对称电压空载试验(Eh-star)法测试值的计算<sup>1)</sup>

## B.1 根据试验结果求取以下复数电压和复数电流

$$\begin{aligned} \underline{U}_{UV} &= U_{UV} \\ \underline{U}'_{WU} &= \frac{U_{VW}^2 - U_{WU}^2 - U_{UV}^2}{2U_{UV}} \\ \underline{U}''_{WU} &= \sqrt{U_{WU}^2 - \underline{U}'_{WU}^2} \\ \underline{U}'_{VW} &= -U_{UV} - \underline{U}'_{WU} \\ \underline{U}''_{VW} &= -\underline{U}''_{WU} \\ \underline{I}'_V &= -\frac{(P_{UV} - P_{VW}) + U_{WU} \cdot I_W}{U_{UV}} \end{aligned}$$

在以上公式中,假设电流  $I_W$  和电压  $U_{WU}$  同相。如果电阻器中有明显的电抗分量,用以下公式计算。

$$\underline{I}'_V = -\frac{(P_{UV} - P_{VW}) + R_{ch} \cdot I_W^2}{U_{UV}}$$

式中: $R_{ch}$ 是电阻的实测值。

$$\begin{aligned} \underline{I}''_V &= \sqrt{I_V^2 - \underline{I}'_V^2} \\ k_1 &= \frac{1}{2 \cdot I_V^2} \cdot (I_W^2 - I_U^2 - I_V^2) \\ \underline{I}'_U &= k_1 \cdot \underline{I}'_V + \sqrt{\left(k_1^2 - \frac{I_U^2}{I_V^2}\right) (I_V^2 - I_V^2)} \\ \underline{I}''_U &= \frac{k_1 \cdot I_V^2 - I_U \cdot \underline{I}'_V}{\underline{I}''_V} \\ \underline{I}'_W &= -\underline{I}'_U - \underline{I}'_V \\ \underline{I}''_W &= -\underline{I}''_U - \underline{I}''_V \end{aligned}$$

## B.2 根据复数端电压和线电流确定内端电压

$$\begin{aligned} \underline{U}_{iUV} &= \underline{U}_{UV} + \frac{R_{VW}}{2} \cdot (\underline{I}_V - \underline{I}_U) \\ \underline{U}_{iVW} &= \underline{U}_{VW} + \frac{R_{VW}}{2} \cdot (\underline{I}_W - \underline{I}_V) \\ \underline{U}_{iWU} &= \underline{U}_{WU} + \frac{R_{VW}}{2} \cdot (\underline{I}_U - \underline{I}_W) \end{aligned}$$

1) 等同采用 IEC 60034-2-1:2007 中的附录 B。

**B.3 分解端电压为正序和逆序分量 ( $a = e^{2\pi/3}$ )**

$$\underline{U}_{iLL(1)} = \frac{1}{3}(\underline{U}_{iUV} + \underline{a} \cdot \underline{U}_{iVW} + \underline{a}^2 \cdot \underline{U}_{iWU})$$

$$\underline{U}_{iLL(2)} = \frac{1}{3}(\underline{U}_{iUV} + \underline{a}^2 \cdot \underline{U}_{iVW} + \underline{a} \cdot \underline{U}_{iWU})$$

**B.4 求取内相电压 UI 的正序和逆序分量**

$$\underline{U}_{i(1)} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot e^{-j\frac{\pi}{6}} \cdot \underline{U}_{iLL(1)}$$

$$\underline{U}_{i(2)} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot e^{j\frac{\pi}{6}} \cdot \underline{U}_{iLL(2)}$$

**B.5 求取不对称内相电压**

$$\begin{aligned} \underline{U}_{iU} &= \underline{U}_{i(1)} + \underline{U}_{i(2)} \\ \underline{U}_{iV} &= \underline{a}^2 \cdot \underline{U}_{i(1)} + \underline{a} \cdot \underline{U}_{i(2)} \\ \underline{U}_{iW} &= \underline{a} \cdot \underline{U}_{i(1)} + \underline{a}^2 \cdot \underline{U}_{i(2)} \end{aligned}$$

**B.6 求取铁耗电阻**

$$R_{Fe} = \frac{U_t^2}{P_{Fe}}$$

式中:

$U_t$  ——按 10.6.6.1 确定;

$P_{Fe}$  ——按 8.2 确定。

$$\underline{I}_{FeU} = \frac{\underline{U}_{iU}}{R_{Fe}}$$

$$\underline{I}_{FeV} = \frac{\underline{U}_{iV}}{R_{Fe}}$$

$$\underline{I}_{FeW} = \frac{\underline{U}_{iW}}{R_{Fe}}$$

**B.7 求取内相电流**

$$\underline{I}_{iU} = \underline{I}_U - \underline{I}_{FeU}$$

$$\underline{I}_{iV} = \underline{I}_V - \underline{I}_{FeV}$$

$$\underline{I}_{iW} = \underline{I}_W - \underline{I}_{FeW}$$

**B.8 求取内相电流的正序和负序分量**

$$\underline{I}_{i(1)} = \frac{1}{3}(\underline{I}_{iU} + \underline{a} \cdot \underline{I}_{iV} + \underline{a}^2 \cdot \underline{I}_{iW})$$

$$\underline{I}_{i(2)} = \frac{1}{3}(\underline{I}_{iU} + \underline{a}^2 \cdot \underline{I}_{iV} + \underline{a} \cdot \underline{I}_{iW})$$

为了获得准确的结果,正序电流的绝对值  $I_{i(1)}$  应小于负序电流绝对值  $I_{i(2)}$  的 30%。如果不符合此条件,通过改变  $R_{eh}$  的值重做试验。

### B.9 求取电磁功率

$$P_{\delta(1)} = 3(U'_{i(1)} \cdot I'_{i(1)} + U''_{i(1)} \cdot I''_{i(1)})$$

$$P_{\delta(2)} = 3(U'_{i(2)} \cdot I'_{i(2)} + U''_{i(2)} \cdot I''_{i(2)})$$

### B.10 求取负载杂散损耗

$$P_{Lr} = k \cdot [(1-s) \cdot (P_{\delta(1)} - P_{\delta(2)}) - P_{fw}]$$

式中:

$$k = \frac{1}{1 + \left(\frac{I_{i(1)}}{I_{i(2)}}\right)^2}$$



附 录 C  
(资料性附录)  
线性回归分析

C.1 概述

线性回归分析的目的是找出两组变量之间的数学关系,以便用一组变量求出另一组变量。线性回归分析认为如果这两组变量呈线性关系,即用两组变量的一对值( $T^2, P_L$ )画图,则这些点几乎为一直线。这些点与直线的吻合程度由相关系数  $r$  表示。

C.2 方法

C.2.1 数据准备

计算表 C.1。

表 C.1 线性回归数据表

序号	$T^2$	$P_L$	$(T^2)^2$	$(P_L)^2$	$P_L \times T^2$
1					
2					
3					
4					
5					
6					
	$\Sigma$	$\Sigma$	$\Sigma$	$\Sigma$	$\Sigma$

注:  $T$  为根据 11.3.1.4 确定输出转矩( $N \cdot m$ )。  
 $P_L$  为根据 11.3.2.3.5 确定的剩余杂散损耗( $W$ )。

C.2.2 回归方程

$$P_L = A \times T^2 + B$$

C.2.3 斜率  $A$  的确定

用式(C.11)计算  $A$ :

$$A = \frac{i \sum (P_L T^2) - \sum P_L \sum T^2}{i \sum (T^2)^2 - (\sum T^2)^2} \dots\dots\dots (C.1)$$

式中:

$i$ ——负载试验的点数。

C.2.4 截距  $B$  的确定

由式(C.2)计算  $B$ :

$$B = \frac{\sum P_L}{i} - A \frac{\sum T^2}{i} \quad \dots\dots\dots (C.2)$$

### C.2.5 相关系数 $r$ 的确定

由式(C.3)计算  $r$ ：

$$r = \frac{i \sum (P_L T^2) - (\sum P_L) (\sum T^2)}{\sqrt{[i \sum (T^2)^2 - (\sum T^2)^2] \cdot [i \sum P_L^2 - (\sum P_L)^2]}} \quad \dots\dots\dots (C.3)$$



参 考 文 献

- [1] IEC 61972:2002 三相笼型异步电动机损耗和效率的确定
- 







中华人民共和国  
国家标准

三相异步电动机试验方法

GB/T 1032—2012

\*

中国标准出版社出版发行  
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100013)  
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址: [www.gb168.cn](http://www.gb168.cn)

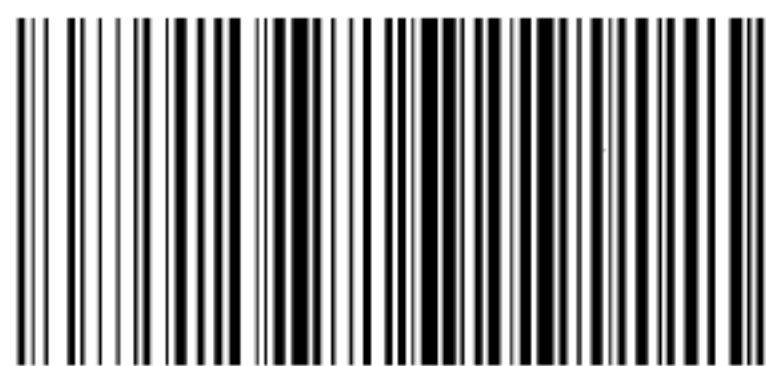
服务热线: 010-68522006

2012年11月第一版

\*

书号: 155066·1-45688

版权专有 侵权必究



GB/T 1032-2012