

ICS 91.140.90
CCS Q 78



中 国 电 梯 协 会 标 准

T/CEA 8016—2022

电梯永磁同步曳引机能效试验方法

Test procedures for energy efficiency of elevator permanent magnet
synchronous traction machine

2022-12-22 发布

2023-06-01 实施

中国电梯协会 发布

目 次

前言	II
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 试验要求	1
4.1 试验电源	1
4.2 测量仪器	2
4.3 测量要求	2
5 试验准备	3
5.1 绕组在初始（冷）状态下直流端电阻的测定	3
5.2 直流相电阻的计算	4
6 变频器供电基准额定负载试验	5
6.1 概述	5
6.2 基准额定负载试验	5
7 能效的确定	6
7.1 概述	6
7.2 能效试验方法	6
附录 A（规范性附录） 仪器仪表损耗及误差的修正方法	7
附录 B（规范性附录） 测功机转矩读数的修正	9
附录 C（资料性附录） 计算及记录格式	10

前 言

本文件按 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

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

本文件所要求达到的性能指标，应由采用本文件的制造企业在设计制造过程中自行进行验证测试，并对销售的产品作产品符合性声明。

本文件由中国电梯协会提出并归口。

本文件由中国电梯协会负责解释。

本文件负责起草单位：建研机械检验检测（北京）有限公司（国家电梯质量检验检测中心）。

本文件参加起草单位：奥的斯电梯曳引机(中国)有限公司、上海三菱电梯有限公司、迅达（许昌）驱动技术有限公司、苏州通润驱动设备股份有限公司、上海交通大学电梯检测中心、广东省特种设备检测研究院、宁波欣达电梯配件厂、巨龙电梯有限公司、杭州西奥电梯有限公司、迅达（中国）电梯有限公司、石家庄五龙制动器股份有限公司、康力电梯股份有限公司、通力电梯有限公司、沈阳蓝光驱动技术有限公司、海安市申菱电器制造有限公司、巨人通力电梯有限公司、日立电梯电机（广州）有限公司、东芝电梯（中国）有限公司。

本文件主要起草人：周春明、焦洋、牟涛、蒋勃、王欢、张金丽、周振华、李吉、洪永、王志强、高祥、胡娜、陈佳奇、韩正方、王玉浪、唐建峰、徐广人、梁丙雪、范小斌、徐锋锋、詹奉明、姚勇。

本文件为首次发布。

引 言

“十五”以来我国能源消费超速增长，能源供需矛盾凸显，主要用能产品的能效与先进国家相比较低，节能潜力巨大。

据测算估计，我国平均每部电梯每天耗电量约 40kWh，约占整个建筑能耗的 5%，而作为电梯驱动部件的曳引机，其能耗占到电梯耗电量的 80%以上。截止 2020 年底，注册在运行的电梯总量达到 786.55 万台，2021 年新增近百万台，80% 的新增客梯中配置了永磁同步曳引机。

电梯永磁同步曳引机作为如此大规模的用能产品，对其进行能效等级的划分就显得尤为重要。能效等级的划分要以准确的能效数据做基础。因此，研究并制订一种能够准确测定电梯永磁同步曳引机能效的试验方法，成为了当前的一项重点工作。

电梯永磁同步曳引机能效试验方法

1 范围

- 1.1 本文件规定了电梯永磁同步曳引机能效试验方法。
- 1.2 本文件适用于电梯永磁同步曳引机。
- 1.3 本文件不适用于牵引电机。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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/T 755—2019 旋转电机 定额和性能 (IEC 60034—1:2017, IDT)
- GB/T 755.2—2003 旋转电机(牵引电机除外)确定损耗和效率的试验方法 (IEC 60034—2:1972, IDT)
- GB/T 1032—2012 三相异步电动机试验方法
- GB/T 10058—2009 电梯技术条件
- IEC 60034—2—1:2014 旋转电机(牵引电机除外)确定损耗和效率的标准试验方法
- IEC TS60034—17:2006 变频器供电笼型感应电动机应用导则

3 术语和定义

GB/T 755—2019、GB 755.2—2003 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

变频器 converter

由一个或多个电子开关器件和相关元器件、变压器、滤波器、换相辅助器件、控制器、保护和辅助器件（如有）组成的，用于改变一个或多个电力特性的电力变换装置。

3.2

电压型变频器 voltage source converter

直流电路采用电容器滤波。在波峰（电压较高）时，由电容器储存电场能，在波谷（电压较低）时，电容器释放电场能来进行补充，从而使直流电压保持平稳。

3.3

电流型变频器 current source converter

直流电路采用电抗器滤波。在波峰（电流较大）时，由电抗器储存磁场能，在波谷（电流较小）时，电抗器将释放磁场能来进行补充，从而使直流电流保持平稳。

4 试验要求

4.1 试验电源

4.1.1 变频器电源

电梯永磁同步曳引机的性能与变频器特性密切相关。

电梯永磁同步曳引机应由适合的变频器供电，并在同一个载波频率下进行试验。

变频器供电电压相对于电梯永磁同步曳引机额定电压的波动应在±7%的范围内。

4.2 测量仪器

测量仪器除应符合 GB/T 1032—2012 中 4.3 规定的要求外，当由变频器供电试验时，还应符合下列要求：

应使用测量电流、电压有效值的仪表和有功功率表。尤其在输入—输出法中，测量结果的准确度取决于功率表、转矩和转速测试设备的准确度。

考虑到谐波产生损耗的作用，应仔细选择测试设备，使其能在相应频率范围内有足够的准确度，以下是对互感器、传感器以及分流电路等测试设备所要求的频率范围：

$$f_r = 10f_1 \text{——对六阶梯波变频器}$$

$$f_r = 6f_p \text{——对 PWM 变频器，最高为 100kHz}$$

式中：

f_1 ——最高额定频率

f_p ——最高脉冲频率（载波频率）

对于六阶梯波变频器，普通的电动式仪表即能满足这些要求；对于 PWM 变频器，必须使用宽频段的设备，优先使用带 AD 变换器和数字式数据微处理机的电子式仪表。

注 1：变频器的输出谐波及其主要次数决定于调制方法。

注 2：对常用的指示仪表，其准确度是对标称频率规定的（如对 50Hz~60Hz），而在其规定的上限频率，其准确度等级容许有附加误差（如在 1000Hz 时为 0.4%）。电子式测量仪表通常均给出频率范围，指规定的上限频率，所规定的准确度既适用于 50Hz 或 60Hz，也适用于规定的上限频率。

4.3 测量要求

4.3.1 电压测量

测量端电压的信号线应接到电动机接线端子，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。取三相电压的算术平均值计算电机性能。

三相电压的对称性应符合 GB/T 1032—2012 中 4.2.1.2 的要求。

4.3.2 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。

对额定电流 $I_N < 5A$ 的电动机，除堵转试验外，不应使用电流互感器（见 GB/T 1032—2012）。

4.3.3 功率测量

应采用一台三相功率表或三台单相功率表测量输入功率。对于中性线未引出的电动机，宜采用两表（两台单相功率表）法测量三相电动机的输入功率。

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。

4.3.4 转矩测量

应使用合适规格的转矩测量仪进行负载试验。除堵转试验、最大转矩和最小转矩的测量外，转矩测量仪的相对误差不超过 1%。应准确地测量机械功率，并按附录 B 给出的方法，确定转矩读数 T_d 的修正值 k_d 。

4.3.5 转速或转差的测量

用数字式测速仪测量转速。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。

4.3.6 操作程序

在任何试验中，在读取一系列逐步增加或逐步减少的数据时，应注意，不得改变增加或减少的操作顺序，以避免颠倒试验的进行方向。

4.3.7 安全

由于涉及到危险的电流、电压和机械力，对所有试验应采取安全预防措施。所有试验应由有相关知识和有经验的人员操作。

4.3.8 抗干扰措施

试验时应充分考虑到变频器的干扰辐射对测量的影响，在变频器的安装、试验用电缆线的选用、测量仪器的选用、测量仪器的电源隔离及系统接地等方面应有抗干扰措施。

5 试验准备

5.1 绕组在初始（冷）状态下直流端电阻的测定

5.1.1 初始状态下绕组温度的测定

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 2K，温度计的放置时间应不少于 15min。

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 5K。

5.1.2 测量方法

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} 。可用电桥法、微欧计法、直流电压表-电流表法或者其他方法测量。

5.1.2.1 电桥法

使用电桥测量时，每一电阻应测量三次，每次应在电桥重新平衡后测取读数。每次读数与三次读数的算术平均值之差，应不超过平均值的 $\pm 0.5\%$ ，取其平均值作为电阻的实际值。

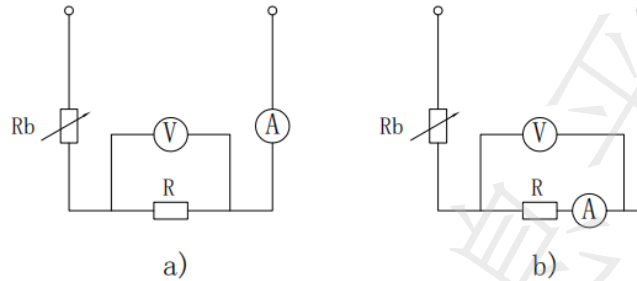
如电阻在 $1\ \Omega$ 及以下时，必须采用双臂电桥或同等准确度并能消除测量用导线和接触电阻影响的仪器测量。

5.1.2.2 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 1min。若电阻小于 $0.01\ \Omega$ ，则通过被测绕组的电流不宜太小。

5.1.2.3 直流电压表-电流表法

电压表-电流表法原理接线图见图 1。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。



标引序号说明：
 Rb—调节限流电阻；
 R—被测绕组端电阻；
 V—电压表；
 A—电流表。

图 1 电压表-电流表法原理接线图

5.1.2.4 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。

每一电阻测量 3 次。每次读数与 3 次读数的平均值之差应在平均值的 ±0.5% 范围内，取其算术平均值作为电阻的实际值。

检查试验时，每一电阻可测量一次。

5.2 直流相电阻的计算

如果电机的每相绕组由始末端引出时，应测量每相绕组的电阻。若三相绕组已在电动机内部连接，仅引出 3 个出线端时，可在每两个出线端间测量电阻，根据测量的电阻，各相电阻值按式 (1)～式 (6) 计算：

对星形接法的绕组：

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

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

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

对三角形接法的绕组：

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

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

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

式中：

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

$$R_{med} = \frac{R_{UV}+R_{VW}+R_{WU}}{2} \dots\dots\dots (7)$$

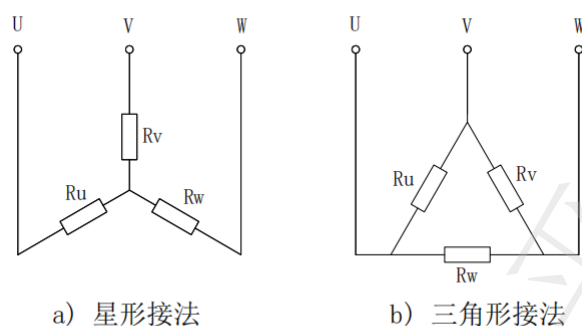


图2 三相绕组接线示意图

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,则相电阻可按式(8)~式(9)计算:

对星形接法的绕组:

$$R_a = \frac{1}{2} R_{av} \quad \dots\dots\dots (8)$$

对三角形接法的绕组:

$$R_a = \frac{3}{2} R_{av} \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中:

R_{av} ——3个端电阻的平均值,单位为欧姆(Ω)。

6 变频器供电基准额定负载试验

6.1 概述

进行负载试验的目的是确定电梯永磁同步曳引机的效率、功率因数、转速和电流。负载机械与电机轴线应对中,径向偏差不超过0.3mm,并保证安全。读取读数的过程是先读取最大负载时的读数,然后读取较低负载时的读数。

6.2 基准额定负载试验

试验应在额定电压和基准频率下进行。开始读取试验数据之前,定子绕组温度与额定负载热试验时测得的温度之差应不超过5K。

用合适的设备(如测功机,陪试电机等)给电动机加负载。用符合4.3.4要求的转矩测量仪器测量转矩。

额定转速下,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%的额定负载之间(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,逐步按顺序降低到最小负载。试验应尽可能快地进行,以期减少试验过程中电机的温度变化。

在每个负载点处,测取 U (端电压)、 I_1 (线电流)、 P_1 (输入功率)、功率因数、 T_d (转矩读数)、 n (实时转速)、 f (电源频率)、 θ_t (定子绕组最高温度)及 θ_f (冷却介质温度)。

7 能效的确定

7.1 概述

能效是以同一单位表示的输出功率与输入功率之比，通常以百分数表示。可用式（10）求取能效：

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100(\%) \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中：

输出功率和输入功率是基准额定负载试验（6.2）测试值。

除非另有规定，应在额定电压和额定频率状态下确定效率。若电压没有明显偏离额定值且电压对称型符合 GB/T 1032—2012 中 4.2.1.2 的要求，则由此试验数据求得的能效值是准确的。

7.2 能效试验方法

7.2.1 直接法——输入-输出法（A 法）（适用于电压型和电流型变频器）

被试电梯永磁同步曳引机由变频器供电，测量电动机在负载下的输入功率和输出功率，按式（10）计算电动机的能效。

输入功率减去输出功率即为电动机的总损耗，其中包括因变频器电源供电在电动机中增加的各种损耗。

本法未作任何假设，能效测试结果的准确性与输入功率和输出功率测量结果的准确度有关。在使用输入-输出法能效测试结果时，检测实验室应分析测量不确定度对效率检测结果的贡献。

效率测试宜根据以下 A 类、B 类不确定评定，计算扩展不确定度。

效率测试标准不确定度的 A 类评定应在重复测量条件（相同测量程序、相同测量人员、相同条件下使用相同测量设备、相同地点并在短时间内重复测量）下进行多次测量，对一系列观测值进行统计分析以计算标准不确定度；

效率测试标准不确定度的 B 类评定需要根据有关信息进行科学判断和评估得出，这些信息可来自但不限于测试系统（如功率分析仪、电流互感器、转矩传感器、微欧计等）贡献的不确定度分量。

输入-输出法的适用范围仅受试验设备（如电源，负载电机，转矩测量仪）能力的限制。

此法可用于测试整个传动系统（包括变频器和电动机）的效率。

此法是用测得的输出功率与输入功率之比计算效率。（见 GB/T 755.2—2003 中 7.1）。

7.2.2 试验过程

试验时，被试电梯永磁同步曳引机由变频器电源供电，在按照标称工作制或者等效试验方法下达到热稳定状态后，按 6.2 规定的方法进行负载试验。

7.2.3 计算格式和记录格式

按附录 C 给出的格式计算和记录电梯永磁同步曳引机的能效试验结果

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。

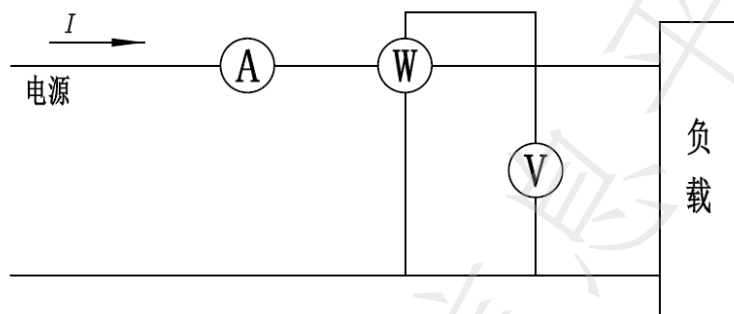


图 A.1

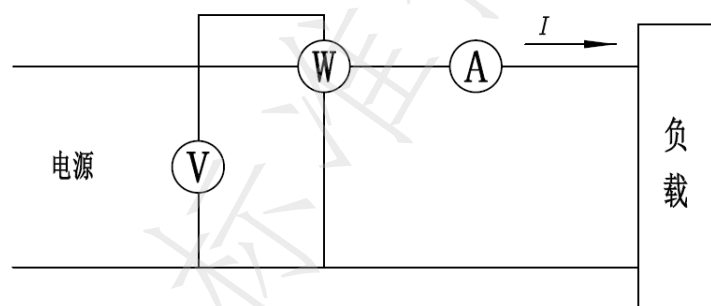


图 A.2

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) 和式 (A.2) 计算。并将它们从测得的功率中减去。

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

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

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 (Ω)；

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 (Ω)。

A.1.2 按图 A.2 接法时仪表损耗的修正

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。

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

式中：

I ——电流表的读数，单位为安培（A）；

R_A ——电流表的内阻，单位为欧姆（ Ω ）；

R_{WA} ——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（ Ω ）；

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（ Ω ）。

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：

ΔI 、 ΔU 、 ΔP_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。

附 录 B
(规范性附录)
测功机转矩读数的修正

本修正方法也适用转矩测量仪与被试电机之间有轴承的情况。

B.1 测功机自身修正

测功机不与被试电机联结，但是联轴器必须仍与测功机联结。测功机作为电动机运行，使测功机的转速 n 与负载试验时每点的转速相同，则测功机测得的转矩即为 k_d 。

B.2 修正后的转矩 T

$$T = T_d + k_d$$

附 录 C
(资料性附录)
计算及记录格式

记录格式示例:

一、热试验（直接法—输入-输出法（A法））								
绕组冷态直流电阻		绕组热态直流电阻		实测温升（K）	温升限值（K）	绝缘等级		
R1（Ω）	冷却介质温度（℃）	R2（Ω）	冷却介质温度（℃）					
二、负载试验（试验方法：直接法—输入-输出法（A法））								
检测项目	试验结果（实测值）				效率标准值（%）	效率容差（%）（1.0P _N ）	单项判定	能效等级
	0.5P _N	0.75P _N	1.0P _N	1.25P _N				
线电压（V）								
线电流（A）								
转矩（N·m）								
转速（r/min）								
输入功率（W）								
输出功率（W）								
效率（%）								
功率因数								
基准工作温度（℃）								
转矩修正（N·m）								

中国电梯协会标准
电梯永磁同步曳引机能效试验方法
T/CEA 8016—2022

*

中国电梯协会
地址：065000 河北省廊坊市金光道 61 号
Add: 61 Jin-Guang Ave., Langfang, Hebei 065000, P.R. China
电话/Tel: (0316) 2311426, 2012957
传真/Fax: (0316) 2311427
电子邮箱/Email: info@cea-net.org
网址/URL: <http://www.elevator.org.cn>