

ICS 25.040.01

CCS K 62

团 体 标 准

T/DZJN 454—2025

冶金工业变频节能技术要求

Technical requirements for energy-saving of frequency
conversion in metallurgical industry

2025-08-01 发布

2025-08-15 实施

中国电子节能技术协会 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 要求 2

 4.1 节能选型要求 2

 4.2 变频器的要求 2

5 试验方法 4

 5.1 效率测试方法 4

 5.2 被测变频器要求 5

 5.3 负载要求 5

 5.4 检测仪表 6

 5.5 温度要求 6

 5.6 电源要求 6

 5.7 测试步骤 6

附录 A（资料性）冶金生产过程宜采用变频调速节能的设备 9

附录 B（资料性）电子负载 10

前 言

本文件按照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专利的责任。

本文件由中国电子节能技术协会提出并归口。

本文件起草单位：苏州汇川技术有限公司、深圳市英威腾电气股份有限公司、国电南瑞科技股份有限公司、湘潭电机股份有限公司、本钢板材股份有限公司、卧龙电气驱动集团股份有限公司、山东泰开自动化有限公司、中国电子节能技术协会工业电气传动节能专业委员会、北京绿碳循环信息技术咨询有限公司。

本文件主要起草人：李建平、陈前、徐铁柱、姜明、胡静、杨合民、陈铁红、陈开煌、马进、高峰、莫宇峰、夏永强、陈尚、徐伟、李万伟、李成功、冯汉聪。

引 言

随着全球能源需求的日益增长，能源的可持续利用和高效利用成为关注的焦点。冶金工业作为国民经济的重要支柱产业，其能源消耗量巨大，因此，推广变频节能技术在冶金工业中的应用具有重要意义。

减少能源消耗：变频节能技术可以通过精准控制风机转速和排放流量，实现风量的精准调节和稳定控制，有效减少气流的波动，降低机械磨损和能耗。在冶金工业中应用变频节能技术，可以显著降低能源消耗，提高能源利用效率。

降低运行成本：通过应用变频节能技术，可以减少能源的浪费，从而降低运行成本。同时，变频节能技术还可以提高设备的可靠性和使用寿命，进一步降低维护和更换设备的成本。

保护环境：变频节能技术的推广应用可以减少能源的浪费和污染物的排放，从而有助于保护环境。在冶金工业中，大量的能源消耗和污染物排放会对环境造成严重影响，因此推广变频节能技术对于环境保护具有重要意义。

提高企业竞争力：通过应用变频节能技术，可以提高冶金工业企业的生产效率和产品质量，降低成本，增强企业的市场竞争力。同时，变频节能技术的应用也可以为企业树立绿色、可持续发展的形象，提高企业的社会形象和市场信誉。

当前变频器的标准均为通用安全标准和通用能效分级，缺少具体的应用指导，冶金工业中设备存量较大，可靠性要求，需结合具体场景给出不同场景下的能效建议。本标准预期形成一套完整的冶金工业变频节能技术要求标准，为冶金工业提出明确的变频节能技术应用指导。

冶金工业变频节能技术要求

1 范围

本文件规定了冶金工业变频节能的技术要求和测试方法。

本文件适用于冶金工业中黑色冶金生产使用额定输入交流电压不大于1kV，额定输入频率为50Hz，输出电压不大于1kV的低压变频器（以下简称“变频器”）用来提升节能水平，额定输入交流电压为1.14kV的变频器可参照执行。

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 1032 三相异步电动机试验方法

GB/T 2900.33 电工术语 电力电子技术

GB/T 3859（所有部分） 半导体变流器 通用要求和电网换相变流器

GB/T 12668（所有部分） 调速电气传动系统

GB 18613 电动机能效限定值及能效等级

GB/T 30844（所有部分） 1 kV及以下通用变频调速设备

GB/T 37009 冶金用变频调速设备

NB/T 10463 变频调速设备的能效限定值和能效等级

T/DZJN 408 低压变频器节能技术规范

3 术语和定义

GB/T 2900.33、GB/T 3859（所有部分）、GB/T 12668（所有部分）界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

冶金工业变频节能 energy-saving of frequency conversion in metallurgical industry

冶金工业生产过程中采用变频器控制生产设备和辅助设备实现变频调速达到节能效果。

3.2

能效限定值 minimum allowable values of energy efficiency of VFD

变频器效率的最低允许值。

3.5

压频比控制 (V/f) voltage/ frequency control

变频器、逆变器保持其输出电压与输出频率成正比的一种电机控制方法，使作为负载的异步电动机的磁通保持恒定。

3.6

矢量控制 (VC) vector control

将交流电机的定子电流作为矢量，经坐标变换分解成与直流电机的励磁电流和电枢电流相对应的独立控制电流分量，以实现电机转速 / 转矩控制的电机控制方法。

3.7

有感矢量控制 **sensor-based vector control**

有感矢量控制是利用转速传感器或位置传感器来获取电机转子的位置信息进行磁场定向控制的电机控制方法。

3.8

无感矢量控制 **sensorless vector control**

无感矢量控制是不依赖于转速传感器或位置传感器来获取转子位置信息进行磁场定向控制的电机控制方法。

3.9

直接转矩控制 **direct torque control**

直接转矩控制是一种直接对电机的定子磁链和转矩进行控制的方法。

4 要求

4.1 节能选型要求

4.1.1 冶金工业生产过程宜采用变频调速实现节能的设备见附录 A，变频器有压频比控制、矢量控制、直接转矩控制不同的控制方式，应根据不同的负载类型特点确定变频调速方案达到最优的节能效果。变频节能效果的计算和测试方法按照 T/DZJN 408 执行。

4.1.2 冶炼除尘风机、高炉除尘风机、烧结余热风机、高压环水泵、锅炉给水泵等重要风机、水泵类设备宜选择采用带软起动的压频比控制的变频器。

4.1.3 提升机、堆取料机、冶炼转炉氧、副枪与倾动设备以及大型行车等起重类设备宜选用有感矢量控制/直接转矩控制变频器，变频器应具备能耗制动或再生制动功能。

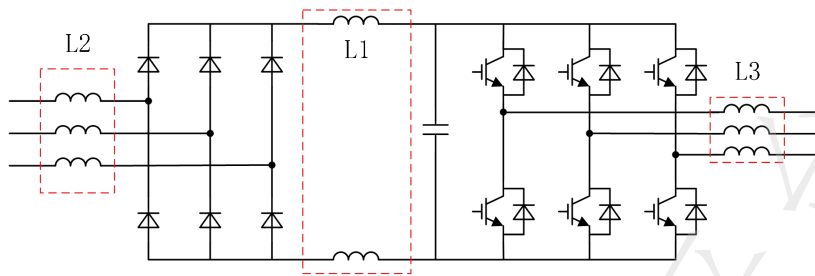
4.1.4 球磨机、转炉倾动、热轧机组、冷轧机组等关键生产设备选型时应按设备使用中的负载变化和转速调节问题，根据工艺对调速控制精度的要求选择压频比控制、有/无感矢量控制的调速设备。应采用共直流母线多机传动方案，设备间应采用精准的速度级联控制。

4.2 变频器的要求

4.2.1 拓扑结构

本标准考虑目前最常用的变频器拓扑，其整流部分是二极管整流器，中间直流环节是电容器，逆变部分是三相两电平IGBT逆变器，参见图1。

变频器损耗计算按照GB/T 12668.902执行，对于同样输出功率的逆变器（无二极管整流部分），相关数据可参照变频器；对于有源整流器加逆变器构成的变频器，其典型功耗值大约是逆变器功耗的2倍，相关数据亦可参照变频器。



注：直流滤波电抗器L1、交流进线电抗器L2和输出电抗器L3都不是必须的。

图 1 适用的变频器拓扑

4.2.2 性能要求

变频器的功能、一般性能、安全性能应符合GB/T 30844（所有部分）、GB/T 37009，电磁兼容性应符合GB/T 12668.3。

4.2.3 能效要求

变频器能效等级分级按NB/T 10463的规定分为3个等级，其中能效为1级表示效率最高。表1给出了三个能效等级（在90%额定输出频率和100%额定输出电流工作点下）的效率分界点（ η_1 和 η_2 ），变频器效率应不低于表1中最后一列给出的能效限定值，用于新建、扩建、改造的变频器在5年内的能效等级应不低于2级。

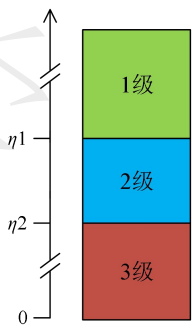


图 2 变频器的能效分级

表1 变频器效率分界点和能效限定值

额定功率 kW	额定容量 kVA	380 V 电压时的 电流 A	690 V 电压时的 电流 A	1 级效率点 η_1	2 级效率点 η_2	能效限定值
0.37	0.697	1.06	0.58	80.80%	71.70%	68.70%
0.55	0.977	1.48	0.82	85.00%	77.30%	74.30%
0.75	1.29	1.96	1.08	87.60%	80.90%	77.90%
1.1	1.71	2.6	1.43	90.00%	84.40%	81.40%
1.5	2.29	3.48	1.92	91.40%	86.50%	83.50%
2.2	3.3	5.01	2.76	92.50%	88.10%	86.10%
3	4.44	6.75	3.72	93.00%	88.90%	86.90%
4	5.85	8.89	4.90	93.40%	89.50%	87.50%

表1 变频器效率分界点和能效限定值（续）

额定功率 kW	额定容量 kVA	380 V 电压时的 电流 A	690 V 电压时的 电流 A	1 级效率点 η_1	2 级效率点 η_2	能效限定值
5.5	7.94	12.06	6.64	93.90%	90.20%	88.20%
7.5	9.95	15.12	8.33	94.50%	91.20%	89.20%
11	14.4	21.88	12.05	94.90%	91.80%	89.80%
15	19.5	29.63	16.32	95.20%	92.20%	90.20%
18.5	23.9	36.31	20.00	95.30%	92.50%	90.50%
22	28.3	43	23.68	95.40%	92.60%	90.60%
30	38.2	58.04	31.96	95.60%	92.80%	91.80%
37	47	71.41	39.33	95.60%	92.90%	91.90%
45	56.9	86.45	47.61	95.70%	93.00%	92.00%
55	68.4	103.9	57.22	95.80%	93.10%	92.10%
75	92.8	141	77.65	95.80%	93.20%	92.20%
90	111	168.6	92.85	95.90%	93.30%	92.30%
110	135	205.1	112.95	96.40%	94.10%	93.10%
132	162	246.1	135.53	96.40%	94.10%	93.10%
160	196	297.8	164.01	96.40%	94.10%	93.10%
200	245	372.2	204.98	96.40%	94.10%	93.10%
250	302	458.8	252.67	96.40%	94.20%	93.20%
315	381	578.9	318.81	96.40%	94.20%	93.20%
355	429	651.8	358.96	96.40%	94.20%	93.20%
400	483	733.9	404.18	96.40%	94.20%	93.20%
500	604	917.7	505.40	96.40%	94.20%	93.20%
560	677	1 029	566.70	96.40%	94.20%	93.20%
630	761	1 156	636.64	96.40%	94.20%	93.20%
710	858	1 304	718.14	96.40%	94.20%	93.20%
800	967	1 469	809.01	96.40%	94.20%	93.20%
900	1088	1 653	910.35	96.40%	94.20%	93.20%
1000	1209	1837	1011.68	96.40%	94.20%	93.20%

注：如果变频器的额定功率介于表 1 的两个值之间，应按下一个更高功率等级的变频器要求执行。

5 试验方法

5.1 效率测试方法

变频器的效率测试采用输入输出测量法，该方法基于对变频器输入侧和输出侧有功功率的精确测量，原理参见图3，变频器效率 η 使用公式（1）：

$$\eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中：

η ——变频器效率，单位%；

P_{out} ——输出有功功率,单位为kW。 P_{out} 根据功率分析仪测量的输出电压 U_{out} 和输出电流 I_{out} 确定。
 P_{in} ——输入有功功率,单位为kW。 P_{in} 根据功率分析仪测量的输入电压 U_{in} 和输入电流 I_{in} 确定;
 如果变频器还有其他电源输入端口,例如若变频器的控制电源、风机电源等是通过主回路进线电源以外的其他辅助电源端子供电,则应分别测量变频器正常运行时,所有这些供电电源端口的输入有功功率值,并求出总和作为 P_{in} 。

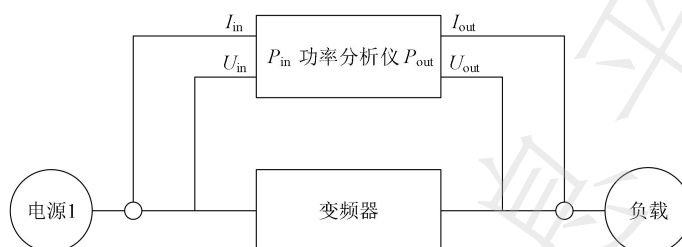


图3 确定变频器功耗的输入输出测量方法

5.2 被测变频器要求

被测变频器应满足如下要求:

- 变频器应满足 GB/T 30844.3 给出的电气安全要求;
- 测试前变频器应恢复到出厂设置,不进行参数辨识及相关优化,被测变频器工作在 V/F 模式,设定低频段不增强或减弱磁场,开关频率等控制参数使用出厂默认值,变频器在给定的测试点稳定运行。

5.3 负载要求

5.3.1 一般要求

宜使用两台电动机组成对拖机组,作为变频器能效测试的负载;也可使用电子负载作为变频器能效测试的负载。宜在被测变频器的输出端应串接阻抗为1%的dv/dt电抗器。能效测试的负载应保证变频器输出电流的THD小于或等于5%。

5.3.2 机组

两台电动机M1和M2的输出轴通过连接器直接连接,电动机M1和M2分别由被测变频器A和陪测驱动设备B驱动,L是阻抗1%的电抗器,测试系统的原理参见图4。

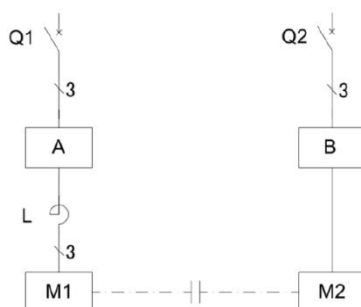


图4 机组构成的测试系统

电动机M1的能效宜为GB 18613中规定的为I级，其额定电压和额定频率与被测变频器的额定电压和额定频率一致，额定电流应大于被测变频器额定输出电流，但不应大于1.5倍被测变频器额定输出电流。

注 1：电动机 M1 的基波位移因数参考表 B.1。

电动机M2可以是直流电动机或交流变频电动机，如果M2为直流电动机，其额定转速应大于或等于1500rpm，额定力矩大于M1的额定力矩，装置B选用与电动机配套的可逆直流传动装置；如果M2为交流变频电动机，其参数可与M1相同，或其他参数相同，额定功率大于M1（机座号应与M1一致），装置B选用与电动机M2配套且能量可双向流动的变频调速设备。

测试时，通过功率分析仪测量装置A输入及输出的电压、电流，通过装置B调节电动机轴上的力矩，使装置A在测试工作点（90%额定输出频率，100%额定输出电流）稳定运行。

注 2：机组电动机的冷却风机由其他辅助电源供电。

5.3.3 电子负载

可使用电子负载作为变频器能效测试的负载。电子负载的说明参见附录 B。

注：在使用电子负载的场合，按表 B.1 给出的 $\cos\varphi$ 值设定被测变频器的输出位移因数。

5.4 检测仪表

用于测量变频器输入或输出电流的传感器应符合GB/T 1032要求。

应根据被测变频器的电流和电压范围选择功率分析仪的量程。功率分析仪精度应不高于0.1%。

5.5 温度要求

变频器效率测试的相关试验在以下给定的条件下进行：

- 变频器安装环境温度 $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ；
- 进风口风温 $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ；
- 变频器垂直安装，自冷或其冷却风扇按额定转速运行；
- 在测试工作点稳定运行 30min 以上，散热器温度稳定（温度上升率小于 $1\text{ K}/30\text{ min}$ ）后测量；
- 测试环境中空气应相对静止，除自带冷却风扇外，应没有直接冷却变频器的气流，如果不能满足本要求，可将变频器安装在一个柜壳中。

5.6 电源要求

5.6.1 变频器的效率测试对供电电源的要求如下：

- 供电电源的电压波动范围 $\pm 2.5\%$ ；
- 供电电源的谐波电压因数应不超过 0.03；
- 电源频率 $50\text{ Hz} \pm 0.3\text{ Hz}$ ；
- 电源电压的峰值因数应在 1.35 到 1.44 之间。

5.6.2 供电网络短路容量与变频器容量的比值（短路比）：

- 对于额定输出容量在 111 kVA 及以下的变频器，短路比应在 50~200 的范围内；
- 对于额定输出容量超过 111 kVA 的变频器，短路比应在 5~50 的范围内。

5.7 测试步骤

5.7.1 一般要求

变频器效率测试应在5.1~5.6 给出的条件下进行。

测试时，被测变频器运行在连续工作模式，设定被测变频器的工作频率为90%额定频率；通过加载设备，使被测变频器的输出电流达到表1给出的电流值，在散热器温度稳定（温度上升率小于1 K/30 min）后进行测量。测试所用功率分析仪的各路电压检测和各路电流检测所使用的检测元件应完全相同。

变频器效率测试的测量结果可能会出现缓慢波动。因此，需要使用在一段时间内的平均值作为最终结果。例如，可每5s测一组 P_{in1} 、 P_{out} 、 λ 数据，测量并记录100组数据，计算100组数据的平均值。测量得到不同时间的3个这样的平均值，再取算术平均值得到最后结果。

5.7.2 测试流程

变频器能效的测定流程参见图5。测试时应注意：

- 变频器运行在输出频率 90%额定频率和 100%输出电流下，直到热稳定；
- 热稳定后开始记录数据：测量并记录输入侧的电压、电流、功率以及输出侧的电压、电流、功率，以及输入功率因数的值；
- 变频器的相对输出电压（百分比）不低于其相对输出频率（百分比）。

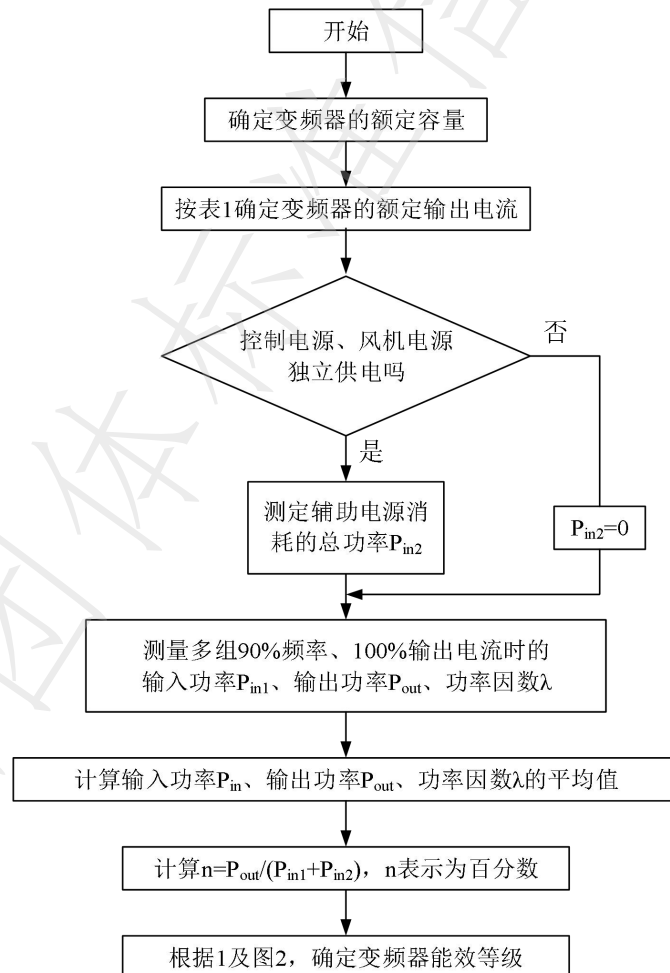


图5 变频器能效测试的流程

5.7.3 测试结果

通过测试得到3组变频器效率值，以及对应的输入功率因数，计算算数平均值得到变频器的最

T/DZJN 454-2025

终效率值及对应的输入功率因数。得到的最终效率值用于变频器的能效分级，参照图 2 以及表 1。

变频器的输入功率因数与效率值同时发布，作为用户选型的参考数据。

附录 A

(资料性)

冶金生产过程宜采用变频调速节能的设备

A.1 铁前、炼铁工艺段

主要包含焦化、烧结（球团）、高炉炼铁等工艺流程。宜采用变频驱动节能的设备如下：

- a) 焦化：除尘风机、煤气风机、推焦车、拦焦车、熄焦车、装煤车、干熄焦提升机，以及风机、水泵等；
- b) 烧结：主抽风机、余热发电增压风机、余热发电锅炉循环风机、环冷机、冷却风机、烧结台车、皮带秤、混料给料机，以及风机、水泵等；
- c) 高炉：高炉鼓风机、热风炉风机、除尘风机、上料皮带（卷扬）以及风机、水泵等。

A.2 炼钢工艺段

主要包含转炉、精炼炉、连铸等工艺流程。其包含主要的变频驱动设备如下：

- a) 转炉：转炉倾动、氧枪提升、除尘风机以及风机、水泵等；
- b) 连铸：钢包车、大包回转、拉矫机、辊道以及风机、水泵等。

A.3 热轧工艺段

主要包含长材热轧、板材热轧、管材热轧等。其包含主要的变频驱动设备如下：

- a) 长材热连轧：粗轧机、预精轧机、精轧机、减定径、飞剪、冷床、定尺剪、吐丝机、辊道以及风机、水泵等；
- b) 管材热连轧：穿孔机、精轧机、减定径、辊道以及风机、水泵等；
- c) 板带热连轧：粗轧机、精轧机、立辊轧机、卷取机、飞剪、辊道以及风机、水泵等；
- d) 宽厚板热轧：粗轧机、精轧机、热矫直机、冷矫直机、冷床、圆盘剪、定尺剪、辊道以及风机、水泵等。

A.4 冷轧及深加工工艺段

主要包含单机架冷轧、冷连轧、酸连轧等冷轧产线；酸洗、彩涂、镀锌、连退等深加工板带处理线。其包含主要的变频驱动设备如下：

- a) 冷轧：轧机、开卷机、卷取机、张力辊、活套及风机、水泵等；
- b) 处理线：开卷机、卷取机、张力辊、活套及风机、水泵等。

附录 B
(资料性)
电子负载

B.1 概述

电子负载是一种可作为被测变频器的负载，并可直接控制被测变频器输出电流及位移因数的功率变换器。

B.2 功率部分

电子负载的功率部分参见图 B.1，其核心是能量可双向流动的变频器（有源整流器+逆变器），通过变压器改变输出电压等级并实现与电网隔离，逆变器的输出侧串接电抗。图中的输出端与被测变频器的输出端子连接。

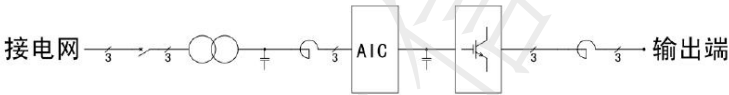


图 B.1 用于模拟电动机的电子负载（功率部分）

电子负载使用有源整流器与电网连接，逆变部分的开关频率足够高，以保证自身产生的谐波小，不影响变频器的功耗。此外，测试前可根据所代替电动机的定子电阻及定子漏感参数（25℃），调节输出侧的电阻和电感。

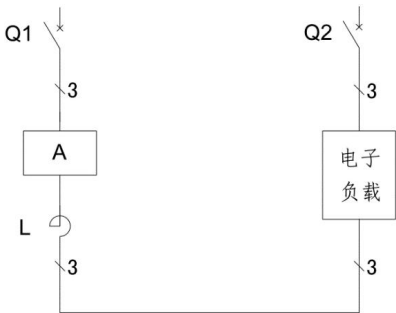
注：只要输出功率满足，一个电子负载可代替多个机组，可通过切换实际的电阻、电感，模拟不同电动机的定子电阻及定子漏感。

B.3 控制部分

电子负载的控制部分应有较高的处理速度及检测精度，实现被测变频器精确的输出电流控制及输出位移因数控制。

B.4 使用方法

使用电子负载测试的原理参见图 B.2。该图中，A 为被测变频器，L 为阻抗为 1% 的 dv/dt 电抗器，电子负载代替图 4 中的机组和双向变流器，作为 A 的负载。



图B.2 电子负载用于变频器效率测试

测试时，通过功率分析仪测量被测装置 A 输入及输出的电压、电流，通过电子负载调节 A 的输出电流及位移因数，使装置 A 在给定的测试工作点运行。测试时，变频器输出的基波电压与基波电流的位移因数符合表 B.1 的规定，可在表 B.1 基础上有±0.08 的偏差。

表B.1 额定输出电流时，变频器输出基波电压、基波电流间的位移因数

变频器输出视在功率 kVA（有功功率 kW）	小于 1.29 kVA (0.75 kW)	1.29 kVA (0.75 kW) -7.94 kVA(5.5kW)	7.94 kVA(5.5 kW) -56.9 kVA (45kW)	56.9 kVA(45 kW)-245 kVA(200kW)	245kVA (200 kW) -1209 kVA(1000kW)
输出基波的位移因数	0.73	0.79	0.85	0.86	0.87