

ICS XXXXX

CCS X XX

# 团 体 标 准

T/DZJN XX—20XX

## 冶金工业变频节能技术要求

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

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 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 .....	4
2 规范性引用文件 .....	4
3 术语和定义 .....	4
4 冶金工业变频器节能选型要求 .....	6
4.1 冶金工业变频调速负载类型 .....	6
4.2 冶金工业变频器节能选型 .....	6
5 变频器能效等级要求 .....	7
5.1 基本要求 .....	7
5.2 能效等级 .....	8
5.3 能效限定值 .....	10
5.4 目标能效限定值 .....	10
6 试验方法 .....	11
6.1 基本要求 .....	11
6.2 测试原理 .....	11
6.3 电源要求 .....	11
6.4 检测仪表 .....	12
6.5 被测变频器要求 .....	12
6.6 负载要求 .....	12
6.7 测试步骤 .....	13
附录 A（资料性）电子负载 .....	15
A.1 概述 .....	15
A.2 功率部分 .....	15
A.3 控制部分 .....	15
A.4 使用方法 .....	15

## 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。

本文件由苏州汇川技术有限公司提出。

本文件由中国电子节能技术协会归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

。

# 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。

1、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。

2、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。

3、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。

4、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。

因此，为认真贯彻落实党中央、国务院重大决策部署，推动节能减排，深入打好污染防治攻坚战，加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系，推进经济社会发展全面绿色转型，助力实现碳达峰、碳中和目标，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

本标准适用于黑色冶金工业使用的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”），额定输入交流电压为1.14kV的变频器可参照本文件执行。相比GB/T 37009-2018（冶金用变频调速设备），本标准规定了冶金用变频调速设备的能效要求、测试方法、能效等级划分和标识等方面的内容，以确保其具有较高的能源利用效率。

## 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/T 1032-2012 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/T 30844（所有部分）1 kV及以下通用变频调速设备

GB/T 32877-2016 变频器供电交流感应电动机确定损耗和效率的特定实验方法

GB/T 37009-2018 冶金用变频调速设备

NB/T 10463-2020 变频调速设备的能效限定值和能效等级

IEC 61800-9-1-2017 可调速电力驱动系统

IEC 61800-9-2-2017 变频器能效损失测试方法

## 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

**变频器 (VFD) converter; variable frequency drive**

用于改变频率的变流器。

[GB/T 12668.2-2002 定义2.2.5]

### 3.2

**逆变器 inverter**

将直流电转换成单相或多相交流电的电能变换器。

### 3.3

**整流器 rectifier**

将单相或多相交流电转换成直流电的电能变换器。

### 3.4

**有源整流器 (AIC) active infeed converter**

各种能保持直流侧输出电压稳定，能实现电功率双向流动（整流或回馈），同时能控制交流侧无功功率或功率因数的自换相整流器。

## 3.5

**参考变频器 reference VFD**

使用数学公式以及功耗定义的变频器，用于给出变频器功耗的参考值。

## 3.6

**能效 energy efficiency**

输出的绩效、服务、商品或能量与输入的能量之间的比值或其它定量关系。

注：输入和输出均需要做出定性和定量的明确规定，并且是可测量的。

[ISO/IEC 13273-1:2015，定义3.4.1]

## 3.7

**效率 efficiency**

稳态运行工况下，变频器输出的有功功率 $P_{out}$ 与其所有输入有功功率总和 $P_{in}$ 的比值。

注：效率一般用 $\eta$ 表示， $\eta=P_{out}/P_{in}$ ，效率宜表示为百分数。

## 3.8

**变频器能效限定值 minimum allowable values of energy efficiency of VFD**

变频器效率的最低允许值。

注：之所以规定能效限定值，是希望生产厂家通过技术手段尽量提高变频器的效率。

## 3.9

**功耗 (PL) power loss**

维持变频器在某工作点正常运行所必须消耗功率的总和。

注：通常是以热的形式消耗，包括功率回路损耗、控制回路损耗、通风机电源等的损耗， $PL=P_{in}-P_{out}$ 。

## 3.10

**参考功耗 reference power loss**

参考变频器在90%额定输出频率、100%额定输出电流工作点的功率损耗。

注：考虑维持变频器正常运行所需的所有功率功耗的总和，例如包括冷却、控制回路损耗等。

## 3.11

**位移因数 displacement power factor**

基波电压与基波电流相位角差值的余弦。

## 3.12

**功率因数 power factor**

周期波形有功功率 $P$ 的绝对值与视在功率 $S$ 的比值。

## 3.13

**峰值因数 crest factor**

周期波形峰值的绝对值与其方均根值之比值。

## 3.14

**谐波电压因数 (HVF) harmonic voltage factor**

衡量电源电压的低频谐波特性的电能特征值。

## 3.15

**恒压频比控制 (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控制模式，使作为负载的异步电动机的磁通保持恒定。

注：压频比控制方式多用于驱动风机、水泵等平方转矩负载。

## 4 冶金工业变频器节能选型要求

### 4.1 冶金工业变频调速负载类型

冶金（黑色）主要生产流程分为长流程和短流程两类。长流程目前应用最广，铁矿石原料经过烧结、球团处理后，采用高炉生产铁水，铁水经过预处理后，有转炉炼钢、炉外精炼至合格成分钢水，由连铸浇铸成不同形状的钢坯。短流程根据原料分为两类，一类是铁矿石经直接熔融还原后，采用电炉或者转炉炼钢；另一类是以废钢为原料，由电弧融化冶炼后，进入后续工序。基于节能降耗要求，整个冶金生产过程中应采用变频调速的设备如下：

#### 4.1.1 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。其包含主要的变频驱动设备如下：

- 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。

#### 4.1.2 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。

#### 4.1.3 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。

#### 4.1.4 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。

### 4.2 冶金工业变频器节能选型

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，其主要配置方案如下：

4.2.1.1 重要风机、水泵类设备：包含冶炼除尘风机、高炉除尘风机、烧结余热风机、高压环水泵、锅炉给水泵等。此类负载低转速时负载转矩较小，运行稳定，调速范围不大，调速精度要求不高，宜选择采用带软起动的压频比（V/f）控制的调速设备。

4.2.1.2 起重类设备：包含提升机、堆取料机、冶炼转炉氧、副枪与倾动设备以及大型行车，起重类设备属于位能性恒转矩负载，对启动转矩、过载能力的要求都非常高，另外起重设备下降或减速过程中会产生大量的制动能量，宜选用带速度传感器矢量控制/直接转矩控制变频器，同时要求变频器具备能耗制动或再生（制动）功能。

4.2.1.3 关键生产设备：包含球磨机、转炉倾动、热轧机组、冷轧机组等。生产设备多为恒转矩类、恒功率类负载，启动转矩较大，需要低频带载能力强，选型时应考虑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（V/f）控制、开环矢量控制、闭环矢量控制的调速设备。冶金生产线上，设备间需要精准的速度级联控制保证机架间的合理化、正常化运行，比如辊道等成组传动，应采用共直流母线的多机传动方案并采用回馈整流方式，提升系统能效

注：当多台变频器的逆变单元共用一个整流/回馈单元（即采用公共直流母线方式）时，其整流/回馈单元的容量应足够大，同时采取具有防止小功率变频器整流桥过载损坏的措施。使用中的多台电动机不应同时制动。

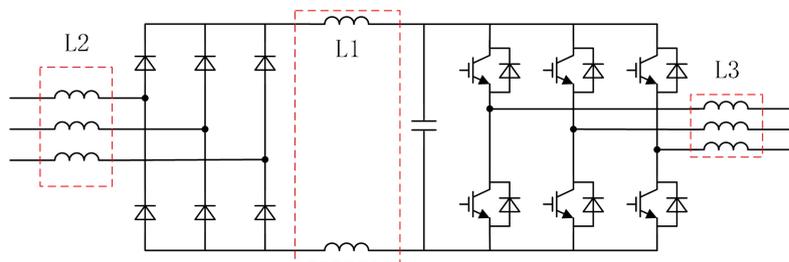
## 5 变频器能效等级要求

### 5.1 基本要求

#### 5.1.1 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。

对于同样的输出功率，逆变器比变频器少了二极管整流部分，故效率略高，相关数据可参照变频器；对于有源整流器加逆变器构成的能量可双向流动的变频器，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

#### 5.1.2 关于功耗的说明

基于变频器的调速电气传动系统，在充分考虑所带负载及负载的机械特性，以及整套系统所运行的负载时间曲线的情况下，可能会有更大的节能空间。例如，通过变频调速调节风机或泵的流量、将制动的机械能量回馈电网等，可节能降耗。变频器是调速电气传动系统中的基本传动模块。其效率主要与功率器件的选用、开关频率、调制算法及冷却系统功耗等因素相关。

变频器在整流器侧使用交流进线电抗器（图1中的L2）、直流滤波电抗器（图1中的L1）。能改善输入功率因数及电网侧谐波指标，虽会导致功耗有些升高，但还是鼓励加装。内置这两种电抗器的变频器，应在产品说明书中明确标出。

变频器的输出电抗器（图1中的L3）能减小系统输出的dv/dt。虽会导致功耗有些升高，但对电机绝缘有利，因此还是建议加装。内置输出电抗器的变频器也应在产品说明书中明确标出。

### 5.1.3 变频器的要求

变频器的一般性能、安全性能应分别符合GB/T 30844(所有部分),电磁兼容性应符合GB/T 12668.3。

## 5.2 能效等级

### 5.2.1 分级原则

通过试验,得到变频器在规定工作点(90%额定输出频率,100%额定输出电流)的效率,按此效率值进行变频器的能效分级。同时给出变频器效率值对应的输入功率因数。

### 5.2.2 参考变频器的能耗

IEC 61800-9-2:2017给出了参考成套传动模块的参考功耗值,以及不同的额定输出电压下参考成套传动模块的输出电流值。表1是据此给出的参考变频器的参考功耗及不同额定输出电压下的输出电流值。

变频器的数学模型及相关计算见IEC 61800-9-2:2017的5.2和附录B。

表1 参考变频器的功耗及不同额定电压下的电流值

额定功率 kW	额定容量 kVA	参考功耗 kW	380 V 电压时的电流 A	690 V 电压时的电流 A
0.37	0.697	0.117	1.06	0.58
0.55	0.977	0.129	1.48	0.82
0.75	1.29	0.142	1.96	1.08
1.1	1.71	0.163	2.6	1.43
1.5	2.29	0.188	3.48	1.92
2.2	3.3	0.237	5.01	2.76
3	4.44	0.299	6.75	3.72
4	5.85	0.374	8.89	4.90
5.5	7.94	0.477	12.06	6.64
7.5	9.95	0.581	15.12	8.33
11	14.4	0.781	21.88	12.05
15	19.5	1.01	29.63	16.32
18.5	23.9	1.21	36.31	20.00
22	28.3	1.41	43	23.68
30	38.2	1.86	58.04	31.96
37	47	2.25	71.41	39.33
45	56.9	2.7	86.45	47.61
55	68.4	3.24	103.9	57.22
75	92.8	4.35	141	77.65
90	111	5.17	168.6	92.85
110	135	5.55	205.1	112.95
132	162	6.65	246.1	135.53
160	196	8.02	297.8	164.01
200	245	10	372.2	204.98
250	302	12.4	458.8	252.67
315	381	15.6	578.9	318.81

表1 参考变频器的功耗及不同额定电压下的电流值（续）

额定功率 kW	额定容量 kVA	参考功耗 kW	380 V 电压时的电流 A	669 V 电压时的电流 A
355	429	17.5	651.8	358.96
400	483	19.8	733.9	404.18
500	604	24.7	917.7	505.40
560	677	27.6	1 029	566.70
630	761	31.1	1 156	636.64
710	858	35	1 304	718.14
800	967	39.4	1 469	809.01
900	1 088	44.3	1 653	910.35
1000	1209	49.3	1837	1011.68

### 5.2.3 分级方法

变频器的能效分为3个等级，其中能效为1级表示效率最高。表2给出了三个能效等级的效率分界点（ $\eta_1$ 和 $\eta_2$ ），图2给出能效等级分级方法。

注：为了与现有电动机、变压器等国家标准能效的分级习惯保持一致，本标准中规定的变频器能效等级与IEC 61800-9-2 中的IE等级不同。两者对应关系为：本标准的1级对应IE2，2级对应IE1，3级对应IE0，参见图2。

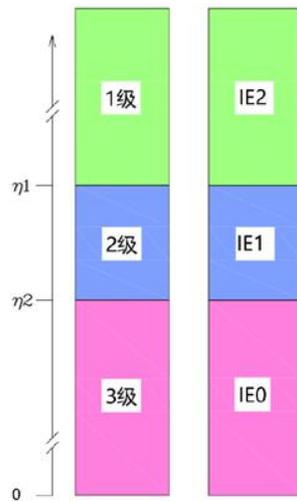


图2 变频器的效率分级及其与 IE 等级的关系

根据变频器实际效率值，按照表2和图2，实现变频器能效分级。

表2 变频器效率分界点和能效限定值

额定功率 kW	额定容量 kVA	参考功耗 kW	参考变频器效率	1 级效率点 $\eta_1$	2 级效率点 $\eta_2$	能效限定值
0.37	0.697	0.117	76.00%	80.80%	71.70%	68.70%
0.55	0.977	0.129	81.00%	85.00%	77.30%	74.30%
0.75	1.29	0.142	84.10%	87.60%	80.90%	77.90%
1.1	1.71	0.163	87.10%	90.00%	84.40%	81.40%
1.5	2.29	0.188	88.90%	91.40%	86.50%	83.50%

表2 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	参考功耗 kW	参考变频器效率	1 级效率点 $\eta_1$	2 级效率点 $\eta_2$	能效限定值
2.2	3.3	0.237	90.30%	92.50%	88.10%	86.10%
3	4.44	0.299	90.90%	93.00%	88.90%	86.90%
4	5.85	0.374	91.40%	93.40%	89.50%	87.50%
5.5	7.94	0.477	92.00%	93.90%	90.20%	88.20%
7.5	9.95	0.581	92.80%	94.50%	91.20%	89.20%
11	14.4	0.781	93.40%	94.90%	91.80%	89.80%
15	19.5	1.01	93.70%	95.20%	92.20%	90.20%
18.5	23.9	1.21	93.90%	95.30%	92.50%	90.50%
22	28.3	1.41	94.00%	95.40%	92.60%	90.60%
30	38.2	1.86	94.20%	95.60%	92.80%	91.80%
37	47	2.25	94.30%	95.60%	92.90%	91.90%
45	56.9	2.7	94.30%	95.70%	93.00%	92.00%
55	68.4	3.24	94.40%	95.80%	93.10%	92.10%
75	92.8	4.35	94.50%	95.80%	93.20%	92.20%
90	111	5.17	94.60%	95.90%	93.30%	92.30%
110	135	5.55	95.20%	96.40%	94.10%	93.10%
132	162	6.65	95.20%	96.40%	94.10%	93.10%
160	196	8.02	95.20%	96.40%	94.10%	93.10%
200	245	10	95.20%	96.40%	94.10%	93.10%
250	302	12.4	95.30%	96.40%	94.20%	93.20%
315	381	15.6	95.30%	96.40%	94.20%	93.20%
355	429	17.5	95.30%	96.40%	94.20%	93.20%
400	483	19.8	95.30%	96.40%	94.20%	93.20%
500	604	24.7	95.30%	96.40%	94.20%	93.20%
560	677	27.6	95.30%	96.40%	94.20%	93.20%
630	761	31.1	95.30%	96.40%	94.20%	93.20%
710	858	35	95.30%	96.40%	94.20%	93.20%
800	967	39.4	95.30%	96.40%	94.20%	93.20%
900	1088	44.3	95.30%	96.40%	94.20%	93.20%
1000	1209	49.3	95.30%	96.40%	94.20%	93.20%

### 5.3 能效限定值

变频器效率应不低于表2中最后一列给出的能效限定值，此值是2级效率点 $\eta_2$ 的值减去：

- a) 3%（输出功率小于 1.5 kW）；
- b) 2%（输出功率大于等于 1.5 kW 到小子 30 kW）；
- c) 1%（输出功率大于等于 30 kW）。

### 5.4 目标能效限定值

变频器的目标能效限定值应不低于2级。变频器产品宜在5年内，达到此目标能效限定值。随着技术的进步，在修订本标准时，再升级相关指标。

## 6 试验方法

### 6.1 基本要求

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。

变频器功耗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；
- 在测试功率点稳定运行 30min 以上，散热器温度稳定后测量；
- 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。

### 6.2 测试原理

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，变频器效率使用公式（1）：

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

式中，输入有功功率 $P_{in}$ 是几部分输入功率的和。第一部分 $P_{in1}$ 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、风机电源等分别供电，则应分别测量变频器正常运行时，所有这些辅助供电的电源端口的输入有功功率值，并求出总和为 $P_{in2}$ ；最终可得到输入有功功率 $P_{in}=P_{in1}+P_{in2}$ 。

式中的输出有功功率 $P_{out}$ 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。

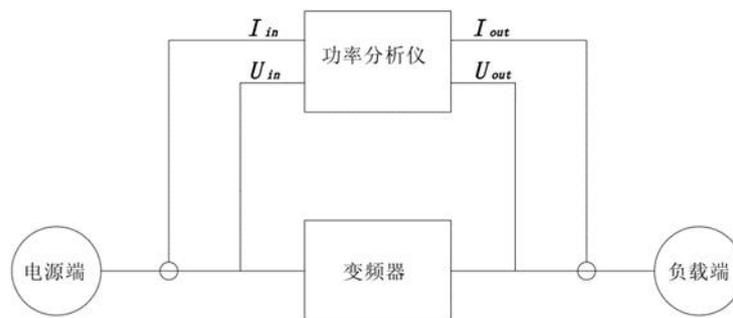


图 3 确定变频器功耗的输入输出测量方法

注：输入有功功率  $P_{in}$  的第一部分  $P_{in1}$  以及输出有功功率  $P_{out}$  可分别通过测量两相电流和两个线电压，采用两功率表模式测量功率。

### 6.3 电源要求

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。

## T/DZJN XX-20XX

供电网络短路容量与变频器容量的比值（短路比）：

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

### 6.4 检测仪表

使用功率分析仪测量输入和输出的有功功率。用于测量变频器输入或输出电流的传感器应符合 GB/T 1032-2012 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。功率分析仪制造商标称的不确定度宜为 0.1%，该不确定度应是功率分析仪的整体不确定度，包括可能的传感器。

注1：需要关注传感器引入的测试相位差。功率分析仪和传感器的带宽应足够宽，宜不小于 1MHz，以保证总有功功率的测量误差小于或等于被测变频器视在功率的 0.2%。

注2：功率分析仪带宽从 0Hz 到大于 10 倍开关频率  $f_{sw}$  可保证变频器输出功率的测量精度。如果需要外部电流传感器，可使用霍尔零磁通型传感器。用于传输测量信号的电缆应小心安装，如果可能应进行屏蔽。

### 6.5 被测变频器要求

被测变频器应满足如下要求：

- a) 变频器的脉冲方式使用制造商定义的出厂默认值；
- b) 变频器应满足 GB/T 30844.3 给出的电气安全要求；
- c) 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，开关频率使用出厂默认值，变频器在给定的测试点稳定运行。

### 6.6 负载要求

#### 6.6.1 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。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基波电流的 THD 小于或等于 5%。

#### 6.6.2 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。

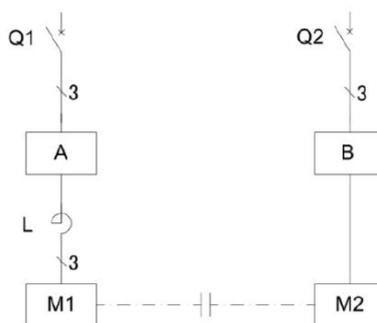


图 4 机组构成的测试系统

电动机 M1 推荐使用三相鼠笼型变频电动机，极数 4 极，额定频率 50 Hz，能效为 1 级（或能效为 IE2 或 IE3），其额定电压与被测变频器的额定电压一致，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 A.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。

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 A。

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

## 6.7 测试步骤

一般要求

变频器能效测试宜在6.1~6.6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45 Hz；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4路电压检测和4路电流检测所使用的检测元件应完全相同。

变频器能效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3s测一组Pin1、Pout、 $\lambda$ 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。

如果控制电源、通风机电源等变频器正常工作所必须的辅助电源是通过主回路进线电源以外的其他辅助电源端子供电，所有这些辅助电源的有功功率也需要测量，并将结果累加到Pin2中。

能效认定方法

能效等级的划分基于变频器在输出频率45Hz，输出额定电流（参见表1）这个工作点的效率值。

测试流程

变频器能效的测定流程参见图5。测试时应注意：

- a) 变频器运行在输出频率 45 Hz 和 100%输出电流下，直到热稳定；
- b) 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；
- c) 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）。

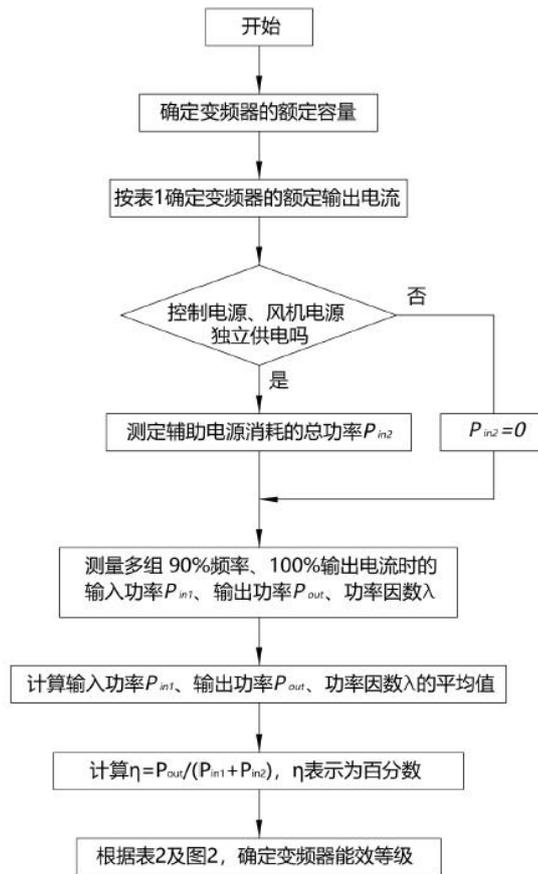


图 5 变频器能效测试的流程

### 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2。

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)

### 电子负载

#### A.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。

#### A.2 功率部分

电子负载的功率部分参见图A.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。

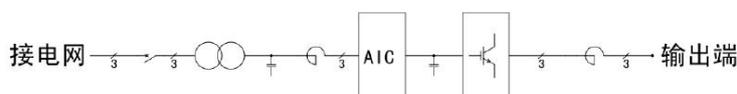


图 A.1 用于模拟电动机的电子负载（功率部分）

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°C），调节输出侧的电阻和电感。

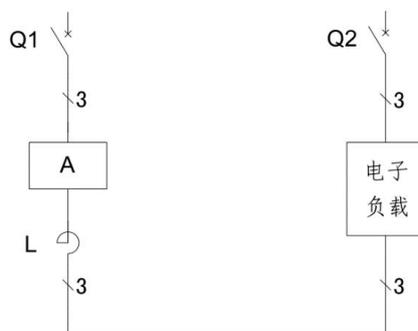
注：只要输出功率满足，一个电子负载可代替多个机组，可通过切换实际的电阻、电感，模拟不同电动机的定子电阻及定子漏感。

#### A.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。

#### A.4 使用方法

使用电子负载测试的原理参见图 A.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A.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

**T/DZJN XX-20XX**

流的位移因数符合表 A.1 的规定，可在表 A.1 基础上有±0.08 的偏差。

**表A.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