

ICS 29.020

CCS K 62

团体标准

T/CIECCPA 019—2023

电气传动系统能耗监测及能效评定

Energy loss monitoring and energy efficiency evaluation for
electric drive system

2023 - 04 - 26 发布

2023 - 04 - 27 实施

中国工业节能与清洁生产协会 发布

CLECCPA

目 次

前 言III

1 范围1

2 规范性引用文件.....1

3 术语、定义、符号和缩略语.....1

 3.1 术语和定义1

 3.2 符号和缩略语.....3

4 参考电气传动系统（RPDS）3

 4.1 一般要求3

 4.2 参考电气传动系统（RPDS）的参考工作点及对应的损耗.....3

5 能效等级4

 5.1 一般要求4

 5.2 电机4

 5.3 电气传动系统（PDS）4

6 能耗确定6

 6.1 一般要求6

 6.2 输入-输出测量方法6

 6.2.1 电气传动系统（PDS）能耗的输入-输出测量方法6

 6.2.2 输入-输出测量方法的要求6

 6.3 负载要求7

7 能耗监测8

 7.1 范围8

 7.2 基本组成8

 7.3 数据接入8

 7.3.1 数据类型.....8

 7.3.2 数据采集.....9

 7.3.3 采集周期.....9

 7.4 数据管理9

 7.4.1 数据传输.....9

7.4.2 数据存储..... 9

7.4.3 数据处理..... 9

7.5 数据应用..... 9

7.5.1 数据展现..... 9

7.5.2 数据改进..... 9

7.5.3 异常警告..... 9

附录 A （资料性） 电子负载..... 10

A.1 概述..... 10

A.2 功率部分..... 10

A.3 控制部分..... 10

A.4 使用方法..... 10

图 1 含电机系统的扩展产品示意图..... 2

图 2 确定 RPDS 相对损耗的工作点（轴速度，力矩）的示意图..... 4

图 3 PDS 的能效等级示意图..... 5

图 4 PDS 损耗的输入-输出测量布置图..... 6

图 5 PDS 从[1]到[8]的测量顺序..... 7

图 6 能耗监测数据采集系统..... 8

图 A.1 用于模拟电动机的电子负载（功率部分）..... 10

图 A.2 使用电子负载测试变频器效率的原理..... 10

表 1 2 级能效定义的 RPDS 的损耗..... 5

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..... 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。

本文件由中国工业节能与清洁生产协会提出并归口管理。

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。

本文件起草单位：天津天传电控设备检测有限公司、广州数控设备有限公司、苏州汇川控制技术有限公司、国网电力科学研究院武汉测评有限公司、国网浙江省电力有限公司长兴县供电公司、北京佰能盈天科技股份有限公司、深圳库马克科技有限公司、安徽皖南电机股份有限公司、中冶赛迪电气技术有限公司、天水电气传动研究所集团有限公司、本钢集团有限公司、北京京诚瑞达电气工程技术有限公司、四川省特种设备检验研究院。

本文件主要起草人：王连杰、王春武、邵国安、胡晓、陈实、韩东明、王宇、王振宇、邓向辉、岑梁、尹小明、刘海峰、崔健、吴秋灵、罗自永、徐占军、赵国红、杨静、干永革、傅永伟、王有云、马向平、黄方毅、李广忠、刘东、田召广、谢方、杜波。

本文件为首次发布。

CLECCPA

电气传动系统能耗监测及能效评定

1 范围

本文件规定了电气传动系统能耗监测的原则、范围与内容、基本结构和组成、技术要求等，规定了电气传动系统的能耗确定方法、能效限定值、能效等级分级方法及试验方法。

本文件适用于额定输入电压不超过1kV，输出电压不超过1kV,额定功率1000kW以下的电气传动系统。

所有提供的参考数据均来自带感应电机的电气传动系统。它可用于所有带其它类型电机的电气传动系统。

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 12668.901-2021 调速电气传动系统 第9-1部分：电气传动系统、电机起动器、电力电子设备及其传动应用的生态设计 采用扩展产品法（EPA）和半解析模型（SAM）制定气传动设备能效标准的一般要求（IEC 61800-9-1:2017,IDT）

GB/T 12668.902-2021 调速电气传动系统 第9-2部分：电气传动系统、电机起动器、力电子设备及其传动应用的生态设计 电气传动系统和电机起动器的能效指标（IEC 61800-9-2:2017,IDT）

GB 18613-2020 电动机能效限定值及能效等级

GB/T 25442—2018 旋转电机（牵引电机除外）确定损耗和效率的试验方法（IEC 60034-2-1: 2014, IDT）

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试验方法（IEC TS 60034-2-3: 2013, IDT）

GB/T 32891.1—2016 旋转电机 效率分级（IE代码） 第1部分：电网供电的交流电动机(IEC 60034-30-1: 2014, IDT)

GB/T 32891.2-2019 旋转电机 效率分级(IE代码) 第2部分：变速交流电动机（IEC TS 60034-30-2:2016, IDT）

NB/T 10463—2020 变频调速设备的能效限定值及能效等级

IEC 60947-4-1 低压开关设备和控制设备 第4-1部分：接触器和电动机起动器 机电式接触器和电动机起动器

IEC 60050-617 International Electrotechnical Vocabulary –Part 617: Organization/Market of electricity

3 术语、定义、符号和缩略语

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

成套传动模块 complete drive module; drive; drive controller; CDM

由连接在电源和电机之间的电力电子变流器以及保护装置、变压器和辅件等其它部件组成的传动模块。

3.1.2

被传动设备 driven equipment
通过机械方式连接至电机轴的设备。

3.1.3

扩展产品 extended product; EP
被传动设备及其连接的电机系统（例如，电气传动系统）。见图1

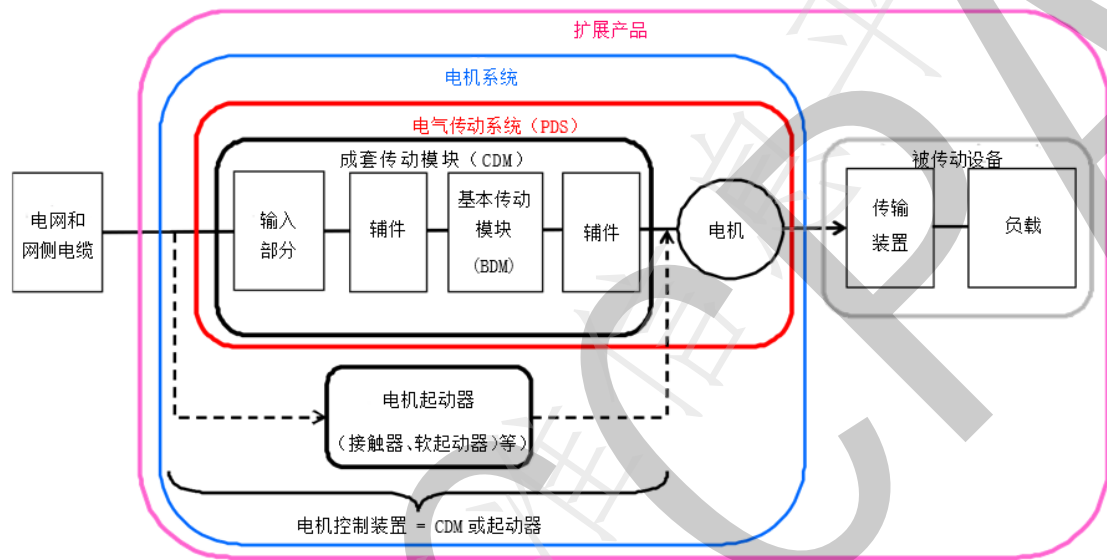


图1 含电机系统的扩展产品示意图

3.1.4

电机系统 motor system
电气传动系统（PDS），或者根据IEC 60947-4-1通过电机起动器连接至电网的电机构成的系统。

3.1.5

电气传动系统 power drive system; PDS
由成套传动模块（CDM）和电机组成的系统。

3.1.6

参考成套传动模块 reference complete drive module; RCDM
通过数学计算式和/或损耗定义的成套传动模块（CDM）。
注：作为确定其它成套传动模块（CDM）能效等级的基础。

3.1.7

参考电机 reference motor; RM
通过数学计算式和/或损耗定义的电机。
注：作为与其它电机比较的基础。

3.1.8

参考电气传动系统 reference power drive system; RPDS
参考电机（RM）和参考成套传动模块（RCDM）的组合。

3.1.9

系统能效等级 System Energy Efficiency Grade; SEEG
电气传动系统（PDS）的效率分级

3.1.10

能耗 Energy loss; EL

维持电气传动系统在某工作点正常运行所必需消耗功率的总和。

3.1.11

损耗 Power loss;

在给定时刻，电网中总有功输入功率和总有功输出功率之间的差值。

3.1.12

相对损耗 Relative loss

在给定时刻，调速电气传动系统中的损耗相对于输出功率的百分比。

3.1.13

能耗监测 Energy loss monitoring; ELM

使用测量设备，对电气传动系统消耗的功率进行连续或周期性的测量，对测量数据进行自动采集、处理、存储、传输和展示的过程。

3.2 符号和缩略语

下列符号和缩略语适用于本文件

3.2.1

$P_{r,M}$

电机的额定功率。

注：在IEC 60034（所有）部分相对于电机而言，电机的额定功率为 P_N 。

3.2.2

P_L

电气损耗。

注：在 $P_{L,CDM}$ 、 $P_{L,Mot}$ 、 $P_{L,PDS}$ 和 $P_{L,Aux}$ ，下标CDM指的是成套传动模块；Mot指的是电机，PDS指的是电气传动系统，Aux指的是如电缆、变压器或滤波器等辅助装置。

4 参考电气传动系统（RPDS）

4.1 一般要求

参考电气传动系统（RPDS）由参考成套传动模块（RCDM）和参考电机（RM）组成，用于比较相对于平均技术水平的电气传动系统（PDS）的能耗。

参考电气传动系统（RPDS）的定义是通用的，不依赖于某个特定的产品或特定制造商。

该定义允许：

- （1）设置用于分级的限值；
- （2）比照参考电气传动系统（RPDS）对实际电气传动系统（PDS）进行分级；
- （3）参考GB/T 32891.2对变流器供电的电机进行分级；
- （4）使用GB/T 32891.1对电网供电的电机进行分级；
- （5）将评估限制在几个适当的测量或计算的负载点；
- （6）确定不同传动应用下的能耗。

4.2 参考电气传动系统（RPDS）的参考工作点及对应的损耗

所有被传动设备可由设备/应用所需的功率描述。在任何工作点，所需的功率是该点力矩和速度的乘积。电机系统的每个工作点都有对应的损耗。

电机系统可能工作的工作点（力矩，速度）的集合是无限的。理论上，有必要知道每个点产生的损耗的值。然而，在实践中仅需测量8个特定工作点，参考电气传动系统（RPDS）的八个工作点见图2。

通常情况下，以机械输出功率的百分比形式给出速度大于零的工作点的损耗，或者，将额定效率（ η ）定义为额定输出机械功率与额定输入电功率（包含损耗）之比。

本文件使用与电气传动系统（PDS）标称输出功率有关的相对损耗（ p ，用百分数表示）来表示工作点的损耗。

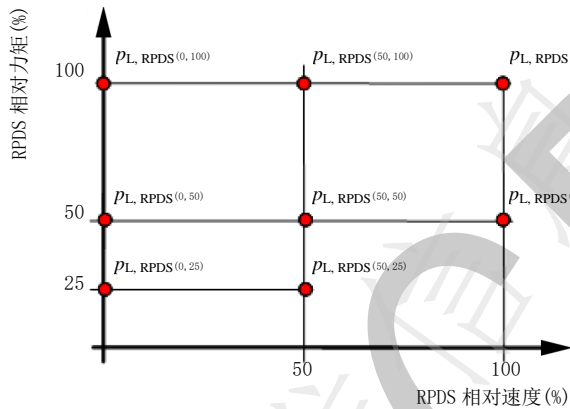


图2 确定 RPDS 相对损耗的工作点（轴速度，力矩）的示意图

5 能效等级

5.1 一般要求

评估现有电气传动系统（PDS）符合能效等级的依据为参考电气传动系统（RPDS）的损耗或效率。

5.2 电机

由成套传动模块（CDM）传动的电机的能效等级在GB 18613-2020中定义。

5.3 电气传动系统（PDS）

电气传动系统(PDS)的能效等级根据参考电气传动系统(RPDS)损耗定义。电气传动系统(PDS)的2级能效等级由参考电气传动系统（RPDS）的损耗水平定义。

如果电气传动系统（PDS）的相对损耗与表1中的规定值相差不超过±20%，应将其归类为2级能效。

如果电气传动系统（PDS）的相对损耗比表1中的规定值高20%以上，应将其归类为3级能效。

如果电气传动系统（PDS）的相对损耗比表1中的规定值低20%以上，应将其归类为1级能效。

这些定义如图3所示：

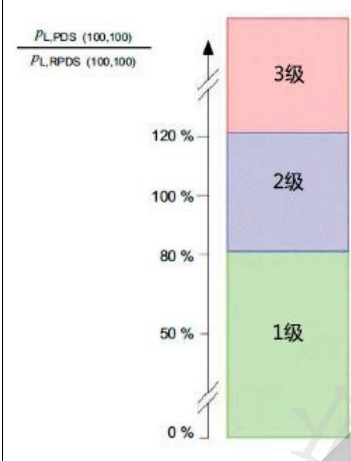


图3 PDS 的能效等级示意图

参考电气传动系统（RPDS）损耗见表1：

表1 2级能效定义的 RPDS 的损耗

$P_{r,M}$ kW	$P_{r,M}$ 的 $p_{L,RPDS(100,100)}$ %	$P_{L,RPDS(100,100)}$ kW
0.12	171.41	0.206
0.18	127.38	0.229
0.25	102.32	0.256
0.37	79.67	0.295
0.55	61.43	0.338
0.75	51.70	0.388
1.1	43.98	0.484
1.5	39.06	0.586
2.2	34.55	0.760
3	31.59	0.948
4	29.10	1.16
5.5	26.55	1.46
7.5	24.06	1.80
11	21.65	2.38
15	19.94	2.99
18.5	18.85	3.49
22	18.05	3.97
30	16.86	5.06
37	16.19	5.99
45	15.44	6.95
55	14.77	8.13
75	13.91	10.4
90	13.63	12.3
110	13.15	14.5
132	12.80	16.9
160	12.45	19.9
200	12.09	24.2
250	12.06	30.1
315	12.05	38.0
355	12.05	42.8
400	12.04	48.2
500	12.03	60.2
560	12.04	67.4
630	12.03	75.8
710	12.03	85.4

800	12.04	96.3
900	12.04	108
1 000	12.04	120

如果电气传动系统（PDS）的额定功率处于表1中的两个值之间，应使用下一个更高功率等级的参考电气传动系统（RPDS）的相对损耗值 $PL_{RPDS}(100,100)$ 确定系统能效等级。

6 能耗确定

6.1 一般要求

本章的目的是定义型式试验，这些试验应在电气传动系统（PDS）上进行，以验证电气传动系统（PDS）的能效分级。与此同时，定义了对于电气传动系统（PDS）在非满载条件下的能耗的确定步骤。

6.2 输入-输出测量方法

6.2.1 电气传动系统（PDS）能耗的输入-输出测量方法

电气传动系统（PDS）损耗的输入-输出确定方法是基于电气传动系统（PDS）输入侧的电功率测量及输出侧的机械功率测量。测量布置如图4所示。电气传动系统（PDS）的损耗应使用式(1)确定：

$$P_{L,PDS,determined} = P_{in,PDS} - P_{out,PDS} \dots\dots\dots (1)$$

输入功率 $P_{in,PDS}$ 是基于功率分析仪测量的输入电压 U_{in} 和输入电流 I_{in} 确定的。输出功率 $P_{out,PDS}$ 是基于测量的电机电矩和速度确定的。该方法的精度受限于测量设备的精度。

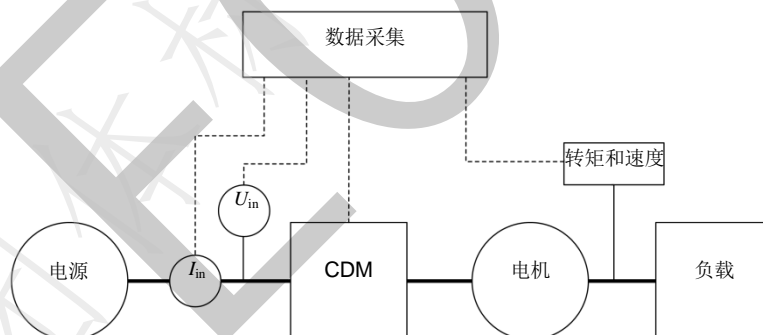


图4 PDS 损耗的输入-输出测量布置图

6.2.2 输入-输出测量方法的要求

6.2.2.1 一般要求

当电气传动系统（PDS）带载测试时，对于每个负载点，应在一段时间内（至少几个波动周期，通常为1 min~3 min）进行多次测量，且每次测量时应同步采样各个测试数据，应采用多次测量结果的平均值确定损耗。

考虑到系统含有谐波，测量设备应根据相关频率的范围选择，并具有足够的精度。

6.2.2.2 功率分析仪和传感器

用于测量输入或输出功率和电流的仪器设备应符合GB/T 25442—2018的要求。

功率计的设备制造商标称的不确定度，应是对50Hz/60Hz时的总有功功率而言的，且应是视在功率 $Sequ$ 的0.2%或更好的值。这是功率计（包括可能的传感器）的总不确定度。

功率计和传感器的带宽应足够宽，不宜小于1MHz，以保证总有功功率的误差小于或等于视在功率 $Sequ$ 的0.3%。首选将电流和电压直接接入到功率分析仪。如果需要外部的电流传感器，可使用互感器，宽带分流器或零磁通传感器。

注1：当直流分量存在时，互感器不适用。

注2：与工作在额定频率的情况相比，互感器在较低频率工作时具有更高的不确定度和/或幅值限制。

所有用于传输测量信号的电缆应按使用要求安装，如果可能应使用屏蔽电缆。

6.2.2.3 电机的机械输出

测量电机出力矩和速度的仪器应满足GB/T 25442—2018的要求。

6.2.2.4 基于输入-输出法的电气传动系统（PDS）损耗确定

下面的测量过程确定电气传动系统（PDS）在8个要求的负载点的损耗。

该过程首先从电气传动系统（PDS）的预热运行开始，需要在额定速度和负载条件下获得稳定的温度。测试过程包括三个在更低速度和力矩下的后续运行阶段。所需的测量顺序如图5所示（参见方括号内的数字）。

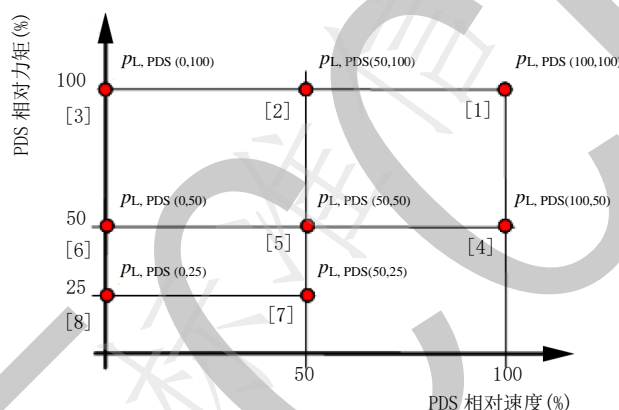


图5 PDS 从[1]到[8]的测量顺序

首先，电气传动系统（PDS）运行在额定速度和力矩下[1]，直到电机达到温升稳定（定义为直接在电机定子外壳表面（不在散热片顶部，不在接线盒处）测量的外部电机温度减去环境空气温度）。当温升速率小于1 K/30 min时，认为达到了热稳定。由于较短的时间常数，可假定，与电机相关的电力电子设备此时也达到了热稳定。

当达到热稳定时，应测量和记录电源电压、输入电流、输入功率、输入功率因数、轴力矩和轴速度。

在完成第一个工作点[1]测量后，应立即按顺序逐个测量所有其它的工作点，取波动数据的平均值，所有在第一个负载点要求的数据，在每个负载点也应记录。

不改变力矩设置，测量在额定速度的50%[2]和在0%[3]下的工作点。

电机力矩应减少到其额定值的50%，在额定速度的100%[4]、50%[5]和0%[6]进行测量。

最后，在额定速度的50%[7]和0%[8]测量时，降低电机力矩应到其额定值的25%。

在某些情况下，测试完一个频率下的所有工作点后再测试下一个频率下的所有工作点，试验可能更方便。因此，允许改变测试点的顺序为[1]-[4]-[2]-[5]-[7]-[3]-[6]-[8]。

当供电频率是零或非常接近于零时，由于电机呈现不均匀的电流分布，因此电机线圈的发热不均匀，可用最高不超过12Hz的定子频率对应的速度点代替零速度点测量电气传动系统（PDS）的损耗。这些损耗应无需进一步外推，可作为在[3]、[6]和[8]负载点的损耗使用。

6.3 负载要求

使用两台电动机组成对拖机组，作为系统能效测试的负载；也可使用电子负载作为系统能效测试的负载。在被测系统的输出端可串接阻抗为1%的电抗器。能效测试的负载应保证系统输出基波电流的总谐波失真（total harmonic distortion，THD）小于或等于5%。电子负载的说明见附录A。

7 能耗监测

7.1 范围

电气传动系统电能接入、转换及输出的整个过程。

7.2 基本组成

能耗监测系统由数据接入、数据管理和数据应用三部分组成。

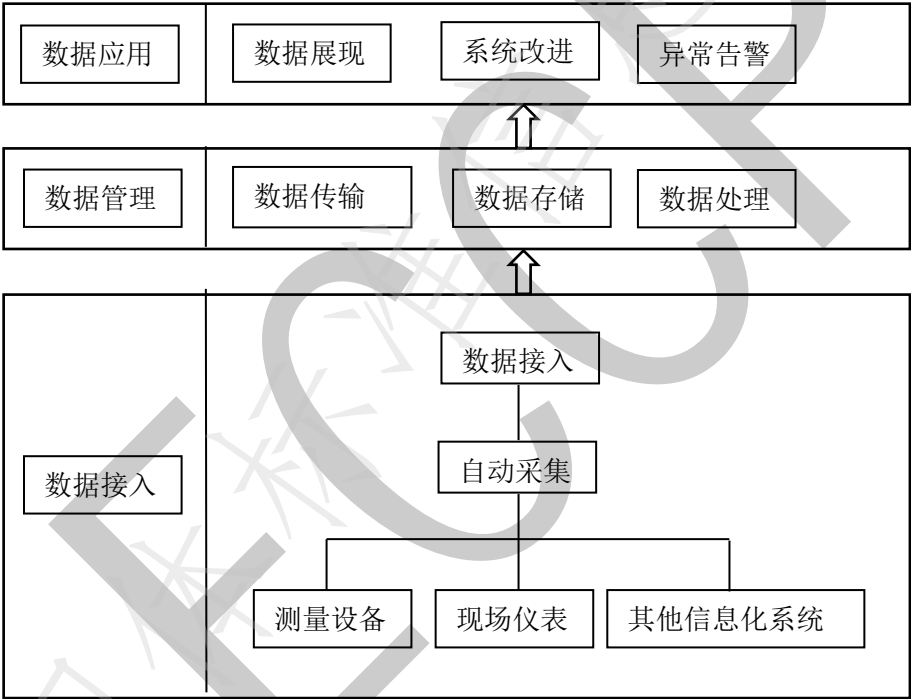


图6 能耗监测数据采集系统

7.3 数据接入

7.3.1 数据类型

包括电气传动设备电能输入量及系统实际运行参数。

7.3.2 数据采集

通过测量设备、现场监测仪表及其他自动化信息系统进行数据采集，采集参数包括但不限于电压、电流、功率、转矩、转速等参数，满足系统或部件能耗监测的需求。

采集设备与传感器的距离不应过远，如有可能应对线缆进行屏蔽，外部传感器可使用霍尔零磁通型传感器。

7.3.3 采集周期

满足数据管理和应用的具体要求，并可根据要求进行采集周期的设置，应使用自动采集装置，在一段时间内（1min~3min内）多次采集数据，采集周期可设置为1s/次。

7.4 数据管理

7.4.1 数据传输

采集设备（如功率计等）通过和上位机通讯，将设备传输到上位机。采用以太网接口传输时，应选用超五类或六类工业屏蔽双绞线，传输速率宜优先选用100/1000Mbit/s。线缆长度不超过100m，距离超过100m时需要改用光纤。

7.4.2 数据存储

采集设备应提供可靠的数据存储与备份手段并可以方便导出，配置专用数据存储空间。历史数据存储时间应支持一定存储周期的需要。上位机可定期从采集设备存储空间中读取储存的数据，也可与采集设备建立通讯，通过控制软件实时采集传感器信息，将信息存储在上位机上。

7.4.3 数据处理

数据处理的目的是能够提取需要的数据，将数据进行格式化处理，通过数据运算得出系统能效值。因对系统的监测需要采集大量数据，应通过使用自动处理程序进行自动处理。

7.5 数据应用

7.5.1 数据展现

根据用户需求，设定数据展现的内容、形式和更新频率。

内容展现：包括显示的采集参数、PDS系统实时（或年、月、日）能效值、CDM实时（或年、月、日）能效值、能效等级、超限报警等。

展现形式：可采用表格、图表、趋势图、数据大屏等方式展现。

更新频率：展示的更新频率不应低于数据采集周期，一般更新频率不低于1s/次。

7.5.2 系统改进

基于能耗监测数据，计算电气传动系统的能效，通过对不同工况、不同时间段的能效数据分析，为用户的系统评估提供监测数据。

7.5.3 异常告警

设定告警值，当监测到PDS系统能效值超过设定的门限值时，提醒用户需要注意并采取相关措施。

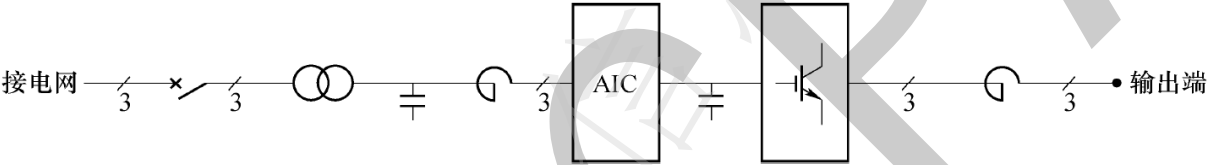
附录 A
(资料性)
电子负载

A.1 概述

电子负载是一种可作为被测变频器的负载，是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

用于模拟电动机的电子负载（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），其可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。



注：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℃），调节输出侧的电阻和电感。

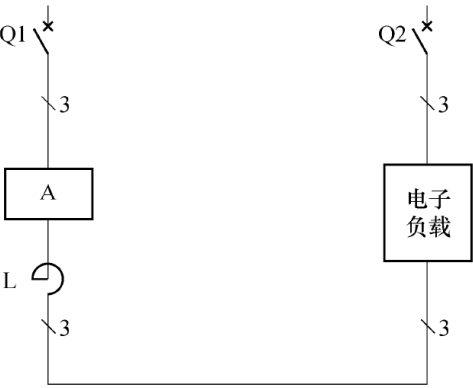
注：只要输出功率满足，一个电子负载可代替多个机组。可通过切换实际的电阻、电感，模拟不同电动机的定子电阻及定子漏感。

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，以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

使用电子负载测试变频器效率的原理参见图A.2。图A.2 中，A 为被测变频器，L 为阻抗为1%的电抗器，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 使用电子负载测试变频器效率的原理

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 kV·A	小于1.29 (0.75)	1.29 (0.75) ~ 7.94 (5.5)	7.94 (5.5) ~ 56.9 (45)	56.9 (45) ~ 245(200)	245 (200) ~ 1209 (1000)
输出基波的位移因数	0.73	0.79	0.85	0.86	0.87
注：表中第一行括号中表示的是有功功率，单位为kW。					