

ICS 29.160.30

K 21

备案号: 26354-2009

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL/T 1111 — 2009

火力发电厂厂用高压电动机 调速节能导则

Guide for energy saving by variable speed drive of
high voltage induction motors in thermal power plant



2009-07-22 发布

2009-12-01 实施

中华人民共和国国家能源局 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 定义	1
4 总则	2
5 高压交流拖动电站风机(泵类)系统经济运行评价	3
6 风机、水泵调速方式选择	4
7 调速装置的选型及注意事项	5
8 调速系统试验、验收规范	6
9 节电效果测试及评价	9
附录 A (资料性附录) 电动机的调速方式	11
附录 B (资料性附录) 不同调速方式的技术经济比较	13

前 言

本标准是根据《国家发展改革委办公厅关于印发 2005 年行业标准计划项目的通知》(发改办工业[2005] 739 号)安排制定的。

电力工业是能源转换工业,电厂在能源转化过程中也要消耗一定的电量。我国的电源结构以燃煤火电为主,因此综合厂用电率较高,比主要发达工业国家高出一个百分点。在国家发展和改革委员会颁布的《节能中长期专项规划》中,电力工业被列为重点领域中的重点工业之首,明确提出了减少电厂自用电的要求。面对能源的日益短缺,为了节约能源和促进电力工业可持续发展,降低厂用电率,为社会提供更多的电力,已成为电厂降低成本提高效益的一条重要途径。

风机和泵类设备是电站锅炉和汽轮机的主要辅机,也是电站辅机的主要耗电设备,其中送风机、引风机、一次风机、排粉风机、给水泵、循环水泵、凝结水泵、灰浆泵等设备配套用电动机耗电量的多少,直接影响着厂用电率的大小。目前,在发电厂运行的风机、泵类设备,大部分是定速运转的,水、气等流体的流量调节是通过调节挡板和阀门的开度来实现的,节流损耗较大,并且在调节负荷时风机和水泵偏离运行的高效点,导致风机和水泵的效率降低。采用控制电动机的转速来调节电力生产过程中所需的水量和风量大小,可以有效地降低厂用电电动机的用电量。本导则是为了指导厂用电电动机的调速节能设计选型和改造工作制定的。

本标准的附录 A、附录 B 是资料性附录。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业电机标准化技术委员会归口并解释。

本标准负责起草单位:山东电力研究院。

参加起草单位:华北电力科学研究院有限责任公司、四川电力试验研究院、山东彼岸电力科技有限公司、中国西门子自动化集团。

本标准的主要起草人:孙树敏、白恺、白亚民、江建明、王文琦、孟瑜、窦振刚。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化中心(北京市白广路二条 1 号,100761)。

火力发电厂厂用高压电动机调速节能导则

1 范围

本标准规定了火力发电厂辅机用 3kV 电压及以上电动机电气调速方式的选择方法和原则以及试验、验收规范。

本标准适用于火力发电厂风机、水泵类负载驱动电动机的电气调速节能设备选型和节能改造。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款，通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 1094.11—2007 电力变压器 第 11 部分：干式变压器

GB/T 2900.25—2008 电工术语 旋转电机

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

GB/T 12497 三相异步电动机经济运行

GB/T 12668.4—2006 调速电气传动系统 第 4 部分：一般要求 交流电压 1000V 以上但不超过 35kV 的交流调速电气传动系统额定值的规定

GB/T 13466—2006 交流电气传动风机（泵类、空气压缩机）系统经济运行通则

GB/T 13471 节电技术经济效益计算与评价方法

GB/T 14549 电能质量 公用电网谐波

GB 50150—2006 电气装置安装工程 电气设备交接试验标准

DL/T 468—2004 电站锅炉风机选型和使用导则

DL/T 596 电力设备预防性试验规程

DL/T 994—2006 火电厂风机水泵用高压变频器

DL 5000—2000 火力发电厂设计技术规程

DL/T 5153—2002 火力发电厂厂用电设计技术规定

DL/T 5161.5—2002 电气装置安装工程 质量检验及评定规程 第 5 部分：电缆线路施工质量检验

3 定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1 厂用电率 house power consumption rate

发电厂在生产过程中必需的自用电量占发电量的百分数。

3.2 调速电动机 adjustable speed motor

在指定负载下，转速可在规定范围内调节到任意数值的电动机。

[GB/T 2900.25—2008《电工术语 旋转电机》中的 411—33—40]

3.3 变极绕组 pole changing winding

一种绕组,其中两个或多个线圈组引出线接到端子,变换端子的相互连接方式可以改变绕组的极数。

[GB/T 2900.25—2008《电工术语 旋转电机》中的 411-37-38]

3.4

集电环 collector ring; slip-ring

与电刷相接触的导电金属环。使电流从电路的一部分通过滑动接触流到另一部分。

[GB/T 2900.25—2008《电工术语 旋转电机》中的 411-41-12]

3.5

临界转速 critical whirling speeds

由转轴旋转所引起的横振动使电机转子的振动幅值达最大值时的转速。

[GB/T 2900.25—2008《电工术语 旋转电机》中的 411-48-40]

3.6

转差率 slip

同步转速与转子实际转速之差,以标么值或同步转速的百分比表示。

[GB/T 2900.25—2008《电工术语 旋转电机》中的 411-46-07]

3.7

内反馈调速电机 internal feedback speed regulation motor

在绕线电动机 YR 系列三相异步电动机的设计基础上,在定子上附加一套调节绕组,用于调速目的的特殊电动机。

3.8

变频调速装置 frequency-varied regulation device

以改变输出频率及相应电压控制交流电动机转速的电源称为变频调速装置。

3.9

高压交流拖动电站风机(泵类)系统 AC drive fan (pump) for power plant

由高压交流电动机、风机(泵类)、调速装置、传动机构、管网和辅助设备组成的系统,为电站锅炉和汽轮机配套使用。以下简称风机(泵类)系统或电机系统。

3.10

记录期 accounting period

记录被测试系统输入电能参数和输出工质参数的时间段,该时间段应能反映负荷变化的规律。

3.11

无功经济当量 var economic equivalent

电动机运行时 1kvar 无功功率所引起的电网有功功率损耗。

[GB/T 12497—2006《三相异步电动机经济运行》中的 3.2]

3.12

烟气脱硫增压风机(简称脱硫风机或增压风机) flue gas desulfurization booster fan (FGDP fan or BUF)

在引风机后设置的用以克服烟气脱硫装置阻力的风机。脱硫风机有两种布置方式,一是布置于脱硫装置之前(亦称高温风机);二是布置于脱硫装置之后(亦称低温风机)。

[DL/T 468—2004《电站锅炉风机选型和使用导则》中的 3.9]

4 总则

4.1 发电厂厂用电动机调速节能工作的任务是:发电企业结合本单位电力生产的实际,组织工程技术人员对高压交流拖动电站风机(泵类)系统的经济运行进行诊断,并作出评估报告;分析影响厂用电率

的诸因素,制订和实施经济有效的电机调速节能措施,降低厂用电率,取得最大的节能收益。

4.2 评估报告应包括系统及运行状况评价、检测方法 & 数据分析、提高能效的具体改进措施和成本效益分析。实施改进措施后,应对改进后的效果进行实验检测和分析,提供检测报告,并按 GB/T 13471 的规定进行经济效益评估。

4.3 发电厂在规划和设计阶段,应把厂用电电动机的调速节能作为一项重要的设计技术原则。初步设计文件中应提出厂用电的具体节能措施和耗电指标,并对电动机调速节能方案进行必要的技术经济比较和论证。

4.4 发电厂应依靠科技进步,不断总结辅机电动机节能工作的经验,做好厂用电节能规划,积极慎重地推广应用国内外先进成熟的电动机调速技术,努力降低厂用电率。

4.5 发电厂厂用电电动机调速节能工作,是一个系统性工程,并不仅仅是单纯的调速改造。在进行节能改造之前,应作统筹规划,进行相应的节能分析和诊断,确认节能效果,在保证安全运行的前提下,把节能改造的经济性原则放在首位,投资回收期控制在合理的年限内,并以此为根据确定投资规模和设备选型。

4.6 发电厂厂用电电动机在进行调速节能改造的同时,应建立起节能检测、计量和相应的管理体系。

4.7 发电厂厂用电电动机调速节能,应把电动机调速改造和机组优化运行结合起来考虑。

5 高压交流拖动电站风机(泵类)系统经济运行评价

5.1 风机(泵类)系统经济运行计算与测量

5.1.1 风机(泵类)系统额定效率

风机(泵类)系统额定效率为电动机、传动机构、调速装置、风机(泵类)额定效率的乘积,即

$$\eta_e = \eta_{De} \times \eta_{Ce} \times \eta_{Te} \times \eta_{Fe} \quad (1)$$

式中:

η_e ——风机(泵类)系统额定效率, %;

η_{De} ——电动机额定效率, %;

η_{Ce} ——传动机构额定效率, %;

η_{Te} ——调速装置额定效率, %;

η_{Fe} ——风机(泵类)额定效率, %。

5.1.2 风机(泵类)系统运行效率

风机(泵类)系统运行效率为

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^n P_{Yi} \times t_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \times 100\% \quad (2)$$

式中:

η ——记录期内风机(泵类)系统的平均运行效率, %;

P_{Yi} ——记录期内在第 i 种负荷下运行时,风机或泵输出的有功功率, kW;

t_i ——记录期内在第 i 种负荷下运行的时间, h;

W_i ——记录期内在第 i 种负荷下运行时,电源输出的风机(泵类)系统的电能, kW·h;

n ——记录期内的负荷变化次数。

5.1.3 效率比

$$\gamma = \eta / \eta_e \quad (3)$$

式中:

γ ——效率比。

5.2 风机（泵类）系统经济运行评价

风机（泵类）系统运行经济性评价分为运行经济、运行合理和运行不经济三类，评价分类见表1（按GB/T 13466）。

表1 风机（泵类）系统经济运行评价分类

效率比 γ	经济运行评价	效率比 γ	经济运行评价
$\gamma > 0.85$	运行经济	$\gamma < 0.7$	运行不经济
$0.85 > \gamma > 0.7$	运行合理		

5.3 提高风机（泵类）系统经济运行水平的措施

对风机（泵类）系统经济运行进行诊断，在记录周期内出现系统运行不经济的情况时，应分析并查找原因，提出提高经济运行水平的改进措施。

按DL 5000，电站锅炉风机在选型时风量和风压都留有一定的裕度，其中一次风机的风量裕度不小于5%~35%，压头裕量为10%~30%；送风机的风量裕度不小于5%~10%，压头裕量为10%~20%；引风机的风量裕度不小于10%，压头裕量不低于20%。由于风机和电动机的型号和系列有限，在选型时通常选择大一系列号的设备，因此电站锅炉风机的风量和风压裕度往往比设计值大，导致风机的运行工况点偏离设计高效点。水泵类设备（如给水泵、循环水泵和凝结水泵等）也存在类似的情况。

当现有风机（泵类）系统容量裕度过大，长期在低负载下运行时，特别是机组调峰运行，现有风机（泵类）系统风量（流量）和压力变化较大，致使运行不经济，采用调速装置变速运行，是提高风机（泵类）系统运行效率的最有效途径。

6 风机、水泵调速方式选择

机组常用的风机、水泵电气调速方式分为内反馈、变频调速、变极调速等。

6.1 给水泵电动机

异步电动机可采用变频装置、内反馈调速装置。电机功率大于6000kW时，推荐采用同步电动机及变频调速方式。

6.2 一次风机电动机

一次风机采用动叶可调轴流式风机时，不推荐采用调速装置。

高压头大容量前弯离心式风机，因易发生喘振，应慎重采用调速装置。

6.3 送风机电机

送风机采用动叶可调轴流式风机时，不推荐采用调速装置。

离心式风机可采用高压变频或内反馈调速方式，但应保证其运行低速时能够满足汽轮机带热耗保证工况（THA）负荷。

6.4 引风机电机、增压风机

推荐采用高压变频或内反馈调速方式。

引风机、增压风机采用动叶可调轴流式风机时，不推荐采用调速装置。

6.5 循环水泵电机

推荐采用内反馈调速方式、双速电机，也可采用高压变频，但应考虑投资回收期。

6.6 凝结泵电机

推荐采用变频调速和内反馈调速方式。

6.7 功率小于350kW的电机

在校核成组电动机启动时380V厂用母线电压不低于60%后，推荐功率小于350kW的3kV及以上

电机可采用或改造为 380V 低压电动机, 采用低压变频调速装置。

7 调速装置的选型及注意事项

7.1 调速方式的选择

对新建机组, 应优先考虑厂用高压电机系统的调速节能方案, 并对厂房布置、电气布线、继电保护等做统筹考虑(参照 DL/T 5153 的规定)。

对已存在的拖动系统进行调速改造时, 首先应根据电动机负载的类型(参照第 6 部分)、已有风机或泵的特性、调速范围、启动转矩、年负荷曲线等要求选择改造方案, 作出不同改造方案的经济分析比较, 充分考虑初期设备投资、周期寿命期内维护管理成本(包括备件、售后服务和日常维护)和设备寿命等因素, 选择在满足机组安全运行前提下能耗最低的方案。

7.2 调速装置的容量选择

宜选用与电动机最大稳定运行功率相当的调速装置, 也可以根据风机(泵类)设备设计工况点 TB (Test Black) 流量的 90% 所对应的轴功率来选择。

对长时间重载或对过负载有特殊要求的情况, 可选用额定功率(或额定电流)大一级的调速装置。

7.3 变频调速装置的选择

推荐采用多重化电压源型、中性点箝位的三电平电压源型变频器。

选择中性点箝位的三电平电压源型变频器时应配置必要容量的输入滤波器和输出滤波器, 应考虑配备保证注入厂用母线的电流谐波满足 GB/T 14549、输出侧参数满足电动机安全运行的要求。

选择电流源变频器时, 应选择 18 脉冲及以上拓扑结构; 选择双 PWM 电流源型变频器时, 应配置共扼电抗器并推荐采用变频调速专用电动机。

7.4 内反馈调速装置的选择

推荐采用斩波式内反馈调速装置。

斩波式内反馈调速装置的斩波频率较低时, 应考虑转矩脉动的影响。

7.5 电动机的选择

采用调速装置的电动机应采用强迫油润滑方式。

采用调速装置的电动机, 应避免在阻尼不足的情况下, 以接近临界转速($\pm 20\%$)连续运行, 对轴系谐振频带较宽并落在调速范围的电动机, 不推荐采用调速装置。

采用调速装置的电动机, 应避免电压和电流谐波产生的转矩脉动对机械结构产生有害的影响。

采用变频调速装置时, 推荐采用变频专用电动机; 如果使用普通电机, 应确定变频器不会产生损害电动机定子绝缘和轴瓦的高频共模电压和高频轴电压, 除常规的接地措施外, 应当在电动机非传动端配备轴承绝缘措施(参见 GB/T 12668.4—2006 中 8.4.5.3 的规定)。

变频器供电的电动机, 在电压、频率基波相同的条件下, 变频器供电和工频供电相比, 噪声增加 1dB~15dB, 电机噪声限值以及降低噪声的措施由系统供应商与用户协商确定。

7.6 变频调速装置和内反馈调速装置的运行环境设计

应根据装置的发热量进行散热系统设计, 采取合理的散热方式, 保证装置的长期工作环境稳定, 并符合 GB/T 12668.4—2006 中 5.1.2 的规定。

如果运行环境存在湿度、粉尘、腐蚀性气体以及酸碱度等异常使用条件, 应在系统设计时提前考虑。

7.7 调速装置改造的控制系统和继电保护设计

调速装置的控制系统和继电保护设计应能保证机组各种工况下安全运行, 包括系统稳态调节精度、机组快速减负荷 RB (Run Back) 工况等。

调速装置应具有较强的抗厂用电源扰动能力(如电压跌落、失波、瞬时停电和过电压等), 在厂用

电切换、大负荷启动、同母线设备发生短路故障等情况下，能正常工作。

8 调速系统试验、验收规范

8.1 验收内容

8.1.1 设备运抵现场、就位后的验收

调速设备运抵现场后，应在规定的时间内验收检查，并符合以下要求。

8.1.1.1 外观检查

按装箱单检查组部件、备件，其规格、数量和技术参数应符合设计及合同要求，包装及密封应良好，外观检查合格。

8.1.1.2 产品的技术文件应齐全

整套调速装置及重要部件的产品说明书、维护手册、出厂试验报告。

8.1.2 主要部件的交接试验及验收

部件交接应在装置安装前进行。

8.1.2.1 干式变压器或电抗器

应按照 DL/T 596 进行绝缘系统的高压电气交接试验，试验项目和标准见表 2。

对于较小容量纯进口变频器，整流变压器和整流模块已连接且不便拆开的可不进行，进口变压器参考执行本条款。

表 2 环氧浇注干式变压器或电抗器交接试验项目、标准及说明

序号	项 目	标 准		说 明
1	绕组的直流电阻	各绕组测量值与相同温度下出厂值比较差值应小于 2%		
2	所有分接头的电压比	符合制造厂的规定		
3	接线组别和极性检查	符合制造厂的规定		
4	铁芯及紧固件的绝缘电阻	一般不低于 10MΩ		
5	绕组的绝缘电阻	绝缘电阻值不低于出厂试验值的 70%		用 2500V 以上绝缘电阻表；按 GB 50150 中的方法进行温度折算
6	绕组的交流耐压	额定电压 (kV)	试验电压 (kV)	
		3	8.5	
		6	17	
		10	24	
7	绕组的局部放电	按 GB 1094.11		

8.1.2.2 橡塑绝缘电力电缆

橡塑绝缘电力电缆交接试验项目、标准及说明见表 3。

表3 橡塑绝缘电力电缆交接试验项目、标准及说明

序号	项 目	标 准	说 明
1	电缆主绝缘电阻	按 DL/T 596	用 2500V 或 5000V 绝缘电阻表
2	电缆外护套和内衬层的绝缘电阻		用 500V 绝缘电阻表
3	电缆主绝缘交流耐压	1Hz~300Hz 谐振耐压, $2U_0$, 5min	

注: 包括调速装置的锁线及现场安装的橡塑绝缘电力电缆, 应符合 DL/T 5161.5 的有关规定。

8.1.2.3 接地装置

金属结构体的架、门和盖等应可靠接地, 且有明显的接地标志。

主接地点的导电截面积应能满足表 4 的规定。

表 4 主接地点的导电截面积

给调速装置锁电的主导线截面积 S	主接地点应有的截面积
$S \leq 16\text{mm}^2$	等于主导线的截面积
$S > 16\text{mm}^2$	最小为主导线截面的 50%, 但不小于 16mm^2

8.1.3 系统静态调试完毕后的验收

8.1.3.1 系统及各部件状态在 DCS 上显示正确。

8.1.3.2 系统及各部件操作正常。

——开关柜和隔离开关分合闸操作正常;

——调速装置就地操作试验正常;

——DCS 启动和停机顺序控制正常。

8.1.3.3 调速或正常工作时各开关相关逻辑闭锁正确。

8.1.3.4 模拟调速装置故障, 开关动作正确, 挡板或电动门动作正确。

8.1.4 系统动态试验完毕后的验收

8.1.4.1 调速装置合闸冲击试验, 至少进行 3 次。

8.1.4.2 调速装置就地启、停、调速操作正常。

8.1.4.3 调速装置运行过程中模拟重大故障, 开关动作正确, DCS 显示正确。

8.1.4.4 DCS 操作调速启动, DCS 各开关量、模拟量显示正确。

8.1.4.5 调速装置性能试验

应用新型调速装置时, 应要求制造商提供装置的性能试验报告, 或进行现场试验。调速装置典型性能试验的项目和标准见表 5。

表 5 调速装置典型性能试验的项目和标准

序号	项 目	标 准	说 明
1	启动性能试验	变频器使电动机平滑启动, 电动机冲击电流小于电动机额定电流的 1.2 倍。 内反馈调速装置使电动机平滑启动, 电动机冲击电流小于电动机额定电流的 5 倍	
2	输入侧谐波测试	按 GB/T 14549	如果拖动电动机的容量占母线负荷容量比为 R , 注入母线的各次谐波电流一般不应大于标准的 $1/R$

表5 (续)

序号	项 目	标 准	说 明
3	输出电压波形测试	瞬态电压值要求按 GB/T 12668.4—2002 中的 8.4.5。 电压峰值与有效值比值不大于 1.5。 波形畸变率小于 4%。 变频装置三相输出不同线电压的不对称度应小于 5%。 内反馈电动机逆变电压不对称度应小于 5%	采样频率应大于 100kS/s
4	中性点电压波形测量	电压峰值与有效值比值不大于 1.5; 中性点电压有效值与相电压有效值比值不大于 5%	采样频率应大于 100kS/s
5	轴电压测试	有效值不大于 3V, 峰值不大于 10V	采样频率应大于 100kS/s
6	控制回路双电源切换试验	装置正常运行时, 任意切断控制回路的一路电源, 设备运行正常	
7	不间断后备电源试验	切断控制回路的所有电源, 5min 内设备运行正常	
8	抗电源扰动试验	母线切换试验: 装置正常运行时, 厂用母线切换, 设备运行正常。 高压断电短时再启动试验, 按 DL/T 994—2006 第 7.3.15 条	
9	频率 (速度) 调节范围试验	调速设备带电动机 (电动机空载), 变频器调速范围为 5Hz~50Hz 之间, 内反馈调速装置调速范围为 25Hz~50Hz 之间	
10	功率因数测试	在各种频率下变频器输入侧功率因数应高于 0.95, 内反馈调速装置大于 30% 额定负荷时功率因数应高于 0.85	
11	效率试验	在输出额定电压、电流和规定的负荷功率因数下, 装置效率应符合厂家产品标准规定	

8.1.5 振动及噪声测试

调速装置在带负荷情况下, 距离调速装置 1m 处测试噪声, 噪声应小于 85dB。

分别测试电机两端轴向、垂直径向和水平径向振动幅值。振动标准见表 6 (按 GB/T 10068)。

表6 电动机振动标准

电机极数	振动标准 mm	电机极数	振动标准 mm
2	0.06	6	0.13
4	0.10	8	0.16

8.1.6 72h 试运行

在现场工况条件下, 使调速装置尽可能地按实际工作的程序不间断地连续运行, 在整个运行过程中, 其各种动作、功能及程序均应正确无误, 连续运行 72h 即为合格。

8.2 测试仪表准确度要求

测试仪表准确度应符合下列要求:

- a) 有功、无功电能表不低于 1.0 级;

- b) 电压表不低于 0.5 级;
- c) 电流表不低于 0.5 级;
- d) 功率因数表不低于 0.5 级;
- e) 频率表不低于 1.0 级;
- f) 有功功率表不低于 0.5 级;
- g) 压力表不低于 1.0 级;
- h) 流量表不低于 1.5 级;
- i) 转速表不低于 0.25 级。

测试仪表应该在规定的校验合格期内使用。

8.3 工程交接、验收

工程交接验收时, 应提供以下资料 and 文件。

- 8.3.1 整套调速装置及重要部件的产品说明书、维护手册、出厂试验报告、产品合格证等。
- 8.3.2 安装试验记录和调试报告。
- 8.3.3 调速装置主要保护功能及定值设置清单、参数设置清单和控制参数设置清单。
- 8.3.4 由具有相应试验资质单位出具的部件和系统的交接试验报告、节能量测试报告。

9 节电效果测试及评价

9.1 调速装置投入运行前后, 输入电机系统的无功变化节约的电量

- a) 调速装置运行前后, 无功功率的变化量 ΔQ_i 为

$$\Delta Q_i = P_i \times \tan \varphi_i - P_{i1} \times \tan \varphi_{i1} \quad (4)$$

式中:

ΔQ_i ——记录期内在第 i 种负荷下, 调速装置运行前后, 无功功率的变化量, kvar;

P_i ——记录期内在第 i 种负荷下, 调速装置运行后, 电动机的输入功率, kW;

P_{i1} ——记录期内在第 i 种负荷下, 调速装置投运前, 电动机的输入功率, kW;

$\tan \varphi_i$ ——记录期内在第 i 种负荷下, 调速装置运行后, 电源输入相电流滞后相电压的正切值;

$\tan \varphi_{i1}$ ——记录期内在第 i 种负荷下, 调速装置投运前, 电源输入相电流滞后相电压的正切值。

- b) 调速装置运行前后, 因无功变化而节约的有功功率

$$\Delta P_i = K_Q \times \Delta Q_i \quad (5)$$

式中:

ΔP_i ——记录期内在第 i 种负荷下, 调速装置运行前后节约的有功功率, kW;

K_Q ——无功经济当量, kW/kvar。

根据电动机电源变压次数, 当电动机直连发电机母线时, K_Q 取 0.02~0.04; 二次变压取 0.05~0.07; 三次变压取 0.08~0.1。

- c) 调速装置运行前后, 无功变化的节电量

$$\Delta E_{cwi} = \Delta P_i \times t_i \quad (6)$$

式中:

ΔE_{cwi} ——记录期内在第 i 种负荷下的无功变化的节电量, kW·h;

t_i ——记录期内在第 i 种负荷下运行的时间, h。

9.2 调速装置投入运行前后, 节电量计算

$$\Delta E_c = \sum_{i=1}^n [(P_{ci} - P_{ci1} - P_{cki}) \times t_i + \Delta E_{cwi}] \quad (7)$$

式中:

ΔE_c ——调速改造完成后,在记录期内的节电量, $\text{kW} \cdot \text{h}$;

P_{ci} ——记录期内在第 i 种负荷下,调速装置投运前,电动机的输入功率, kW ;

P_{c1i} ——记录期内在第 i 种负荷下,调速装置投运后,电动机的输入功率, kW ;

P_{cki} ——记录期内在第 i 种负荷下,供调速装置使用的空调等设备的输入功率, kW 。

9.3 节电效果的评价

按 GB/T 13471 进行节能效果评价。

附录 A (资料性附录)

电动机的调速方式

现代工业把电能转化为机械能都是通过电动机完成的，而电动机所耗电能的比重约占整个工业用电的 60%。19 世纪，直流拖动和交流拖动技术先后诞生，20 世纪，占整个电力拖动总容量的 80% 的固定转速的拖动系统，都采用交流电机，而 20% 的可调转速的拖动系统一直被直流电机所统治，虽然交流调速方案早已得到应用，但无法和直流调速系统相提并论。直到 20 世纪 70 年代，一场席卷世界的石油危机，迫使人们投入大量的人力、物力研究高性能的交流调速系统，节约能源，经过近十年的努力，交流调速系统应用的比重逐渐上升。至今，在低压电动机领域，直流调速已逐步被交流调速取代。

在工业领域，风机、水泵类负载约占电力拖动容量的一半，大都依赖挡板和阀门来调节流量，节流损耗非常大，如果采用交流调速系统，可以把消耗在挡板阀门上的功率节省下来，同时这类系统对调速系统的性能要求不高，对低性能交流调速系统来说具有异常广阔的应用前景。电动机调速的目的有二：一是以控制为目的生产流程的精确控制，如轧钢、数控机床等；二是以节能为目的速度控制，这类调速系统对转速、转矩控制的精度要求不高，电厂辅机用设备的调速多数是属于这一类的。

交流调速的方式见图 A.1。内反馈调速和串级调速属于不改变电机同步转速的调速方式，变极调速和变频调速属于改变电机同步转速的调速方式，它们都属于高效交流调速，是目前应用最为广泛的电机调速方式。斩波式内反馈电机调速系统解决了普通串级调速存在的谐波污染大、功率因数低的问题，目前已取代串级调速，成为应用较为广泛的电机调速形式。

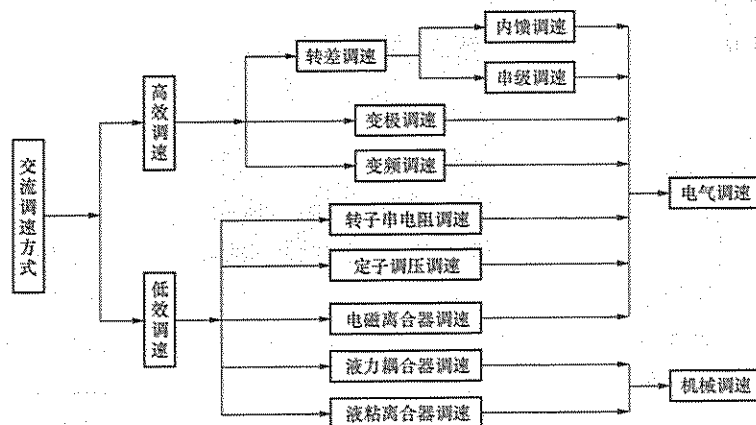


图 A.1 交流调速的方式

A.1 液力耦合器调速

液力耦合调速是电动机转速基本不变，通过调节液力耦合器内的油压大小改变液力耦合器输出转速的一种调速方法，其调速范围一般为 25%~97%。液力耦合器的优点是无级调速，设备简单；缺点是效率较低，在开环调节时转速相对稳定性差，有一定维护量，普遍存在漏油现象。液力耦合器的功率损耗与转差成正比，为 sP_{in} (s 为滑差， P_{in} 为电机输入功率)。当液力耦合器输出转速为额定转速的约 1/3 时，调速装置本身的损耗最大，约为额定输入功率的 16%。

A.2 变极调速

变极调速是通过改变电动机的极对数达到调速目的的。变极调速有手动、自动两种。手动调速可以

不换原有的电机，投资少，适合季节性切换。变极调速只能用于鼠笼式电动机，操作方便。调速设备简单，没有损耗，可靠性高。缺点是有级调速，只适用于不需平滑调速的场合，可以应用在循环水泵电机上。

A.3 变频调速

变频调速是通过调节电机电源的频率，从而改变电机的同步转速实现调速的。随着电力电子器件和控制技术的发展，变频调速技术在低电压领域已经得到了广泛的应用。近十年来，大功率电力电子器件的发展十分迅速，朝着大功率、高电压的方向发展，价格在不断下降而可靠性大大提高。新型电力电子器件的发展和巨大市场需求的推动，高压变频器的研制、生产和应用的速度在加快。我国在电动机调速技术的开发和应用方面，从 20 世纪 80 年代以来有了较大的发展，近年来，国内高压变频器的研制有了很大突破，国产的高压变频器已经进入工业化生产阶段，并已经在电力系统中得到应用。

A.4 改变转差率调速

改变转差率调速是指电动机的同步转速不变，通过改变转子的滑差率来达到调速目的的调速方法。改变滑差率调速有串级调速、内反馈调速等几种，内反馈按调速方式是串级调速的一种。

串级调速是采用绕线式转子，在转子回路引入了一个反电势，通过改变电势的大小来改变滑差实现调速。由于利用了逆变器将转子上的滑差功率返回到电网或电动机定子，调速效率较高。

串级调速系统存在着限制其应用的几个问题：

- 功率因数低。一般串级调速系统在高速运行时的功率因数为 0.6~0.65，低速时为 0.4~0.5。
- 增加了一台向电网反馈能量的变压器，谐波污染大。
- 采用绕线式转子，增加了滑环的维护量。

以上限制因素，阻碍了串级调速技术的应用和发展，为了解决这些问题，提出了内反馈电机调速方案。

内反馈调速电机在定子侧具有两套绕组：一套是主绕组，与电网相连接，从电网吸收能量；另一套绕组称为辅助绕组（或调节绕组），为转子提供附加电势源，同时回馈转子的转差功率，因此内反馈电机的调速属于附加电势的串级调速范畴。内反馈电机调速方案取消了普通串级调速中的逆变变压器，不仅减少了调速装置的占地面积，调速系统更紧凑简单，同时也带来了其他方面的好处。由于调节绕组在电机定子槽中分布嵌线，绕组的短距和分布作用能够削弱谐波磁势，因此虽然转子和调节绕组中存在谐波电流，但定子谐波电流却很小。而普通串级调速中的变压器绕组是集中绕组，其绕组系数为 1，起不到抑制谐波的作用。斩波技术应用于内反馈电机调速中，使内反馈电机调速技术得到了进一步提高和完善，降低了调节绕组的容量，大大提高了调速系统的功率因数。内反馈调速的控制转子侧，转子电压较低，易于实现高压电机的调速；内反馈调速按需要的调速比确定控制装置容量，小于电动机额定容量，因此内反馈调速装置的价格低于同容量的高压变频调速装置。

附 录 B
(资料性附录)

不同调速方式的技术经济比较

不同调速方式的技术经济比较见表 B.1。

表 B.1 不同调速方式的技术经济比较

调速方式	液力耦合器	变 极	变 频	内反馈调速
调速方法	改变耦合器供油量	改变电机极数	改变定子频率和电压	改变转差率调速
调速类别	无级	分级	无级	无级
调速范围	97%~30%	2种~4种转速	100%~5%	100%~50%
调速精度(%)	±1	—	±0.5	±0.5
节能效果	良	良	优	优
功率因数	良	良	优	优
响应速度	差	快	极快	极快
控制装置	较简单	简单	复杂	较简单
初投资	较大	小	很大	较大
对电网干扰	无	无	有	小
维护检修	较易	极易	易	较易
故障后处理	停机	停机	不须停机	不须停机
老企业改造	视场地决定	更换电机	易	定子改造, 转子更换
容量和电压	中大容量, 低、高压	中小容量, 低、高压	大中小容量, 低、高压	大中小容量, 高压
适用范围	长期高速、短期低速, 无全速运行	分档次调速	长期低速、启停频繁、 速度变化范围大	速度变化范围大

中 华 人 民 共 和 国
电 力 行 业 标 准
火力发电厂厂用高压电动机调速节能导则
DL/T 1111—2009

*

中国电力出版社出版、发行
(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)
北京博图彩色印刷有限公司印刷

*

2009年12月第一版 2009年12月北京第一次印刷
880毫米×1230毫米 16开本 1印张 27千字
印数 0001—3000册

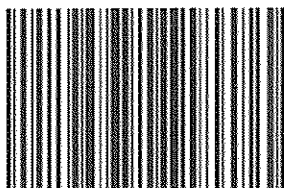
*

统一书号 155083·2237 定价 5.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



155083.2237

销售分类建议:规程规范/
电力工程/火力发电