

# 三相异步电动机经济运行

## 1 范围

本标准规定了神华宁夏煤业集团有限责任公司实现三相异步电动机经济运行的原则与技术要求，判定经济运行的指标及计算方法。

本标准适用于神华宁夏煤业集团在用的中小型三相异步电动机（以下简称电动机）。

## 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 1032 三相异步电动机试验方法

GB/T 3485 评价企业合理用电技术导则

## 3 术语和定义

本标准采用下列术语和定义。

### 3.1 电动机经济运行

在满足被拖动负载工作特性要求的前提下，安全可靠、不影响生产、不带来负面环境影响、节约电能与运行维护费用的运行方式。

### 3.2 无功经济当量

电动机运行时每1kvar无功功率所引起的电网有功功率损耗。

### 3.3 电动机综合功率消耗

电动机运行时的有功功率损耗与无功功率使电网增加的有功功率损耗之和。

### 3.4 电动机综合效率

电动机的输出功率与对应的综合损耗之和。

### 3.5 电动机综合效率

电动机的输出功率与对应的综合功率消耗之比。

### 3.6 电动机额定综合效率

电动机在额定负载运行时的综合效率。

### 3.7 负载系数

电动机输出功率与其额定功率之比，以百分率表示的负载系数称为负载率。

### 3.8 经济负载率

电动机效率最高时的负载率。

### 3.9 综合经济负载率

电动机综合效率最高时的负载率。

### 3.10 加权平均综合效率

能源利用效率

在一定的时间段，按不同负载率下运行的时间加权平均的综合效率。

## 4 电动机经济运行的原则与技术条件

### 4.1 电动机选择

#### 4.1.1 电动机类型选择

4.1.1.1 电动机选用前应充分了解被拖动机械的负载（以下简称负载）特性，该负载对起动、制动、调速无特殊要求时应选用笼型异步电动机。从节能角度考虑应首先选用符合GB 18613的电动机，不应选用国家明令淘汰的产品。

4.1.1.2 负载对起动、制动、调速有特殊要求时，所选择的电动机应满足相应的堵转矩与最大转矩要求，所选电动机应能与调速方式合理匹配。

4.1.1.3 应依据电动机的工作是否处于易燃、易爆、粉尘污染、腐蚀性气体、高温、高海拔、高湿度、水淋和潜水工作环境，选择相应的防护类型、外壳防护等级和电动机的绝缘等级。

4.1.1.4 拖动高精度加工机械和有静音环境要求的电动机，应按要求选用有精确速度控制、低振动和低噪声设计的电动机。

4.1.1.5 应依据负载要求，选择具有合适的安装尺寸与连接方式。

#### 4.1.2 电动机额定功率选择

电动机额定功率应满足负载的功率要求，同时要考虑负载特性与运行方式。

4.1.2.1 应依据反映负载变化规律的负荷曲线，确定经济负载率。

4.1.2.2 应根据负载的类型和重要性确定适当的备用系数。具有长期连续运行或稳定负载的电动机，应使电动机的负载率接近综合经济负载率。

4.1.2.3 年运行时间大于3000h、负载率大于60% 电动机，应优先选用能效指标GB 18613中节能评价值的节能电动机。

#### 4.1.3 电动机工作电压选择

电动机的工作电压应与供电电压相适应。额定容量大于200kW的电动机宜优先选用高压电动机。运行在可调速状态的电动机宜选用较低额定电压等级。

#### 4.1.4 电动机转速选择

4.1.4.1 在满足传动要求的前提下，选择电动机转速时应减少机械传动级数。

4.1.4.2 需要调速的负载应根据调速范围、效率、对转矩的影响以及长期经济效益等因素，选择合理的调速方式和电动机。

#### 4.1.5 电动机转矩选择

4.1.5.1 电动机应满足负载的堵转矩和最大转矩的需求。

4.1.5.2 对有频繁起动、冲击负载和高起动转矩等特殊要求的负载应选用相应的专用电动机并进行转矩校验。

### 4.2 电动机安装

4.2.1 电动机应当由专门的安装技术人员进行安装。

4.2.2 电动机的供电电压应符合额定电压的要求，运行各阶段电压应保持均衡。

4.2.3 电动机安装应特别注意连接轴的对准。电动机安装场地与位置的确定应充分考虑运行管理的方便，预留必要的检修空间或场地，应保持适当通风。并应考虑监控测点布置和测试仪器仪表的安装要求。

4.2.4 电动机安装（包括检修、改造更换）完毕，必须进行安装结果测试，检验测试安装后（或改造更换后）电动机的空载特性，包括机械性能、振动测量、效率与功率因数、电气安全指标等，同时应做好安装测试记录。

### 4.3 电动机经济运行管理

#### 4.3.1 建立电动机运行档案

4.3.1.1 电动机台数超过50台或总功率超过500kW的单位应建立并保持重要电动机详细清单。

注：重要电动机是指电能消耗大的，在生产过程中发挥重要作用的电动机。

4.3.1.2 容量大于160kW的电动机应有制造厂提供的原始资料，年运行时间超过1000h时应有各项试验记录，运行维修记录，典型的年负荷曲线与日负荷曲线，电动机运行状况分析记录等。

#### 4.3.2 检查与维护

##### 4.3.2.1 电动机检查

应指定运行管理人员负责电动机的运行状况巡回检查，测试与一般维护（冷却、润滑、清扫等）。运行管理人员应定期检查电动机运行温升、振动、噪声以及电动机电气终端的电流和电压，做好完整的运行记录。

##### 4.3.2.2 电动机维护

电动机维护包括以下内容：

a) 轴承监测与校准：应经常性地检查电动机轴承的运行情况，作好电动机轴定位，及时对电动机转轴的偏移进行校准。应特别关注直接耦合的电动机转轴的偏移。轴承监测可使用红外成像仪测量轴承温度、使用振动传感器检测电机振动。

b) 润滑：应按照制造商的规定对电动机轴承和变速箱保持良好润滑。

c) 清洗：电动机应保持清洁，去除碎屑。

d) 修正电压失衡：对电动机负载状态下每一相位的电源线电压应进行经常性测量并予以记录。线间电压存在明显失衡时应予以纠正。

e) 校正电源电压：电压波动超过其允许电压范围应及时进行校正。

f) 监控和维护机械传输系统：应按照供应商的规定对电动机连接和耦合设备、皮带和传动齿轮进行经常性检查和维护，及时更换旧部件和皮带以确保电动机可靠和有效的运行。

#### 4.3.3 检测仪表

4.3.3.1 对于55kW及以上电动机应监视其电流、电压、有功功率；在供电配电柜还应配备电能表与功率因数表。

4.3.3.2 总装机容量1000kW及以上、或安装有5台以上电子变频调速驱动电动机的工厂应配备有多功能电能分析仪。

#### 4.3.4 功率因数补偿

应根据电动机的容量大小与运行方式合理实施功率因数的就地补偿，补偿后功率因数应不低于0.9。

#### 4.3.5 运行负荷调整

电动机运行管理人员应充分了解负载情况，对多台并联或串联运行的系统，应按照系统效率最高的原则分配电动机的负荷或安排机组的启停，一般原则是使综合效率较高的机组处于经常稳定和满负荷运行状态。

#### 4.3.6 电动机调节设备的运用

4.3.6.1 电动机负载调节设备的选择应以技术经济分析为依据，对大型机组应进行寿命周期成本分析。

4.3.6.2 对有多台电动机的系数，负载的分配应充分发挥调节设备节能效果。

#### 4.3.7 记录数据整理分析

电动机运行管理人员应做好完整的运行数据记录，及时进行汇总分析，并按企业能源管理要求整理成能源消耗台账。应根据负载要求、生产特点提出改进运行制度与实现系统优化运行的建议。

#### 4.3.8 电动机设备的运行监视

4.3.8.1 应按GB/T3485的规定配置电动机运行监测仪表，随时对供电条件及运行参数进行监测。

4.3.8.2 运行管理人员应定期监视电动机运行电流、电压、电动机输入功率、三相电流与电压的不平衡度。

#### 4.3.9 空载试验

电动机在使用前和大修后均应进行空载试验，并将试验数据存入电动机档案。

### 4.4 电动机检修

#### 4.4.1 电动机修理前检查

电动机修理前应作以下检查：

a) 预试验：应对以往的运行记录进行检查，确定该台电动机损害的状况（程度）；

b) 部件的物理检查：确定是否存在无法恢复的永久性损坏，导致电动机的永久性损坏；

c) 空载损耗的测量：采用铁芯损耗测试仪测定电动机运行中铁芯过热，电动机失效或以往的修理不当情况。该测定方法也被用于修理后铁芯损耗的测定，以确定是否有源自于修理过程的损坏。

#### 4.4.2 修理要求

电动机修理要求包括：

a) 线圈拆除：拆除电动机线圈进行修理时，应将铁芯加热到恰好能够拆除绝缘材料的温度，减少损伤，防止铁芯温度过高，并应防止拆除过程中对铁芯的损伤；

b) 线圈安装：替换的新线圈应与原电动机使用的线圈具有相同的尺寸、绝缘特性和线圈形式。安装这些线圈应尽可能接近原来的结构；

c) 轴承定位：安装轴承时应避免对轴承的损伤，并确保将轴承对准电动机的轴承室或轴承座。

#### 4.4.3 修理后试验

电动机经过修理后应按照GB/T 1032的规定，进行修理后试验，以确定是否造成修理过程中的损伤。

这些试验应包括：

a) 振动试验；

b) 空载损耗和空载电流测定；

c) 相位间直流电阻测定。

#### 4.4.4 修理报告和记录

修理过程中应记录与电动机修理有关的所有数据和资料，并存档待查。电动机修理完毕交付使用时，应将修理记录一并交付供使用参考。

## 5 电动机运行的加权平均综合效率与综合经济负载率

### 5.1 加权平均综合效率

电动机运行的加权平均综合效率按式（1）计算：

$$\eta_c = \frac{\sum_{i=1}^n \eta_{ci} \times t_i}{\sum_{i=1}^n t_i} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中： $\eta_c$ ——在考察时间段内的电动机运行加权平均综合效率，%；

$\eta_{ci}$ ——电动机在负载*i*下的综合效率，%；

$t_i$ ——电动机在负载*i*下的运行时间，单位为小时（h）；

$n$ ——电动机负载的变化次数。

一般性的电动机经济运行状况评估，可以直接根据运行记录或负荷曲线选定代表性工况*P<sub>i</sub>*及相应的运行时间*t<sub>i</sub>*来计算  $\eta_c$ 。

### 5.2 综合经济负载率

综合经济负载按式（2）进行计算：

$$\beta_{cm} = \sqrt{\frac{\Delta P_0 + K_Q Q_0}{\Delta P_N - \Delta P_0 + K_Q (Q_N + Q_0)}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中： $\beta_{cm}$ ——电动机综合效率最高时的负载率，%。

其他符号的意义可参见附录A。

## 6 电动机更换或改造

### 6.1 更换或改造的基本要求

6.1.1 当电动机处于非经济运行状态，采取更换或改造措施时，必须满足被拖动机械负载的要求，使电动机运行的负载率在接近综合经济负载率。使更换或改造后电动机的综合功率损耗小于原电动机的综合功率

损耗。

6.1.2 应根据工作环境、拖动负载更换电动机，在国家现行系列产品中合理选择。电动机的更换应符合 4.1 的规定。

6.1.3 电动机更换或改造应使用寿命周期成本分析方法进行经济性的检验。

## 6.2 起动性能校验

6.2.1 更换或改造电动机应进行起动性能的校验。

6.2.2 按式 (3) 计算电动机起动过程中的最小转矩：

$$M_{\min} \geq M_{\max} \times K_s / K_v^2 \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中： $M_{\max}$ ——电动机起动过程中可能出现的最大负载转矩（标么值）；  
 $M_{\min}$ ——电动机起动过程中的最小矩（标么值）；  
 $K_s$ ——保证起动时有足够加速转矩所采用的系数， $K_s$ 为1.15-1.25；  
 $K_v$ ——电压波动系数， $K_v$ 为0.81-0.95。

## 6.3 节电量计算

更换或改造电动机的节电量按式 (4) 计算：

$$\Delta E_c = \sum_{i=1} [(\Delta P_{cai} - \Delta P_{cbi}) \times t_i] \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中： $\Delta P_{cai}$ ——原电动机的综合功率损耗，单位为千瓦（kW）；  
 $\Delta P_{cbi}$ ——更新或改造后电动机的综合功率损耗，单位为千瓦（kW）。

## 6.4 电动机无功功率就地补偿

6.4.1 电动机无功功率补偿按式 (5) 计算：

$$Q_c = P_1 (\tan \varphi - \tan \varphi_1) \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中： $Q_c$ ——就地补偿的无功功率值，单位为千乏（kvar）；  
 $P_1$ ——电动机的输入功率，单位为千瓦（kW）；

$\tan \varphi$ ——补偿前输入相电流滞后于相电压相角的正切值， $\tan \varphi = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi}}{\cos \varphi}$

$\cos \varphi$ ——电动机补偿前的功率因数；

$\tan \varphi_1$ ——补偿后输入相电流滞后于相电压相角的正切值， $\tan \varphi_1$ 取0.484，这相当于将功率因数补偿到0.90。

6.4.2 无功功率补偿后节约的有功功率按式 (6) 计算：

$$\Delta P_u = K_q \times Q_c \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中： $\Delta P_u$ ——采取无功功率补偿后节约的有功功率，单位为千瓦（kW）；  
 $K_q$ ——无功经济当量，按附录A.3取值。

6.4.3 无功功率补偿的节电量按式 (7) 计算：

$$\Delta E_c = T_{ec} \times \Delta P_u \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中： $\Delta E_c$ ——一年节电量，单位为（kW·h）；

$T_{ec}$ ——一年运行时间,单位为小时(h)。

## 7 电动机运行状态测试

### 7.1 测试条件

#### 7.1.1 电动机测试时的电源条件应符合下列规定:

- a) 电源电压与额定电压的偏差范围为:  $-10\% \sim 6\%$ 。
- b) 三相电压不平衡度不超过1.5%;
- c) 电源频率偏差不得超过额定频率的 $\pm 1\%$ ;
- d) 电压波形畸变率不超过5%,即由式(8)得:

$$\gamma = \frac{\sqrt{\sum U_h^2}}{U_f} \times 100 \leq 5\% \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中:  $r$ ——波形畸变率;  
 $\sum U_h^2$ ——除基波外的各次谐波电压有效值的平方和;  
 $U_f$ ——基波电压有效值,单位为伏(V)。

#### 7.1.2 电动机测试时所拖动的机械设备完好,生产运行正常。

#### 7.1.3 测试仪表准确度应达到以下要求:

- a) 有功、无功电度表不低于1.5级;
- b) 电流表不低于1.0级;
- c) 电压表不低于1.0级;
- d) 功率因数表不低于1.5级;
- e) 频率不低于1.0级;
- f) 组合式仪表、专用仪表各项精度也应符合上述相应要求。

### 7.2 资料核查

测试前应仔细检查以下资料:

- a) 生产厂商提供的电动机原始资料:包括电动机型号、额定参数(额定功率、额定电压、额定电流、额定效率、额定功率因数等)、空载参数等;
- b) 运行使用资料:包括安装、运行与维修记录、近期的测试记录等;
- c) 被拖动机械资料:包括被拖动机械名称、运行特点、年运行时间等。

### 7.3 空载参数的测试或选取

#### 7.3.1 电动机的空载参数应尽量采用实测方法求得,测试按GB/T 1032进行。

#### 7.3.2 实测空载参数确有困难时,可使用该电动机的原始记录数据或从相关设备手册和可靠的参考资料中选取空载参数。

#### 7.3.3 空载参数应包括空载电流、空载有功损耗和空载无功功率(或功率因数)。

#### 7.3.4 需测定的运行参数

- a) 输入有功功率;
- b) 输入无功功率或功率因数;
- c) 输入电压;
- d) 输入电流。

### 7.4 经济运行计算与判定

#### 7.4.1 计算电动机额定综合效率

电动机额定综合效率的计算方法见A.4.2。

#### 7.4.2 测试与计算电动机综合效率

当测试的供电电压偏离额定值时，应对测试结果进行适当修正。视电压升高或降低的幅度，在 $0.08\% \sim 0.07\%$ 之进行正比例修正。

#### 7.4.3 经济运行判定

7.4.3.1 电动机综合效率大于或等于额定综合效率表明电动机对电能利用是经济的；电动机综合效率小于额定综合效率但大于额定综合效率的 $61.2\%$ ，则电动机对电能利用是基本合理的；电动机综合效率小于额定综合效率的 $61.2\%$ ，表明电动机对电能利用是不经济的。

修正系数：煤矿电动机综合效率检测指标乘以 $1.01$ 。

7.4.3.2 在现场计算电动机综合效率有困难的情况下也可用电机输入功率（电流）与额定输入功率（电流）之比来判断电动机的工作状态：输入电流下降在 $14.25\%$ 以内属于经济使用范围；输入电流下降在 $33.25\%$ 以内属于允许使用范围；输入电流下降超过 $33.25\%$ 属于非经济使用范围。在考察输入电流变化的同时应检查测量电动机功率因数的变化，并按附录A给出的数值估计其影响。

修正系数：煤矿电动机输入电流检测指标乘以 $1.02$ 。

#### 7.5 测试报告

7.5.1 测试报告应包括以下内容：

- a) 企业电动机总体运行状况评价与改进建议；
- b) 针对运行状况差的电动机的评估与建议；
- c) 改进电动机运行状况的节电潜力、改进措施的成本效益分析。

7.5.2 测试数据汇总表格的内容与格式参见附录B。

### 8 重点电动机预案

#### 8.1 确定重点电动机

在确定重点电动机时，应考虑以下因素：

- a) 大容量；
- b) 高负载率运转或长时间运转；
- c) 发生故障不易替换；
- d) 属于生产工艺过程的关键设备。

应定期进行运行状态的测试与分析，在失效之前采取适当预防性措施。

#### 8.2 修理/更换因素的确定

决定故障电动机修理/更换的因素包括以下内容：

a) 电动机当前的状况和效率。若电动机已被修理数次或已经破旧，应在其失效前予以更换；若电动机状态良好，可对其进行修理或作为备用；如果电动机很新且效率较高，则只需修理。

b) 新替换电动机的成本和有效性。当较小型电动机的维修成本较高的，应以高效产品替代。如果是大型电动机或专用电动机，不易替代的，则应制定电动机维修计划。

#### 8.3 配置备用电动机

对于重要电动机现场应配置备用电动机。

#### 8.4 电动机维修计划

维修计划包括确定维修厂，事先确认其资质，在电动机失效前向维修厂提出维修请求，通报可能的维修业务。

#### 8.5 电动机更新计划

对计划替代的电动机，应与供应商及时联系以确保电动机在失效的第一时间能够予以替代。

## 附录 A

### 电动机经济运行计算公式

#### A.1 电动机有功功率损耗计算

$$\Delta P = \Delta P_0 + \beta^2(\Delta P_N - \Delta P_0) \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中： $\Delta P$ ——电动机的有功损耗，单位为千瓦（kW）；

$\Delta P_0$ ——电动机的空载有功损耗，单位为千瓦（kW）；

$\beta$ ——负载系数， $\beta = P_2/P_N$

$P_2$ ——电动机的输出功率，单位为千瓦（kW）；

$P_N$ ——电动机的额定功率，单位为千瓦（kW）；

$\Delta P_N$ ——电动机额定负载时的有功损耗，单位为千瓦（kW）；

$$\Delta P_N = \left(\frac{1}{\eta_N} - 1\right)P_N$$

$\eta_N$ ——电动机额定效率， $P_N$ 与 $\eta_N$ 数值从电动机额定工况试验或从出厂资料获得。

#### A.2 电动机的无功功率计算

$$Q = Q_0 + \beta^2(Q_N - Q_0) \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

式中： $Q$ ——电动机的无功功率，单位为千乏（kvar）；

$Q_0$ ——电动机的空载无功功率，单位为千乏（kvar）；

$$Q_0 = \sqrt{3U^2 I_0^2 \times 10^{-6} - p_0^2}$$

$U$ ——电源电压，单位为伏（V）；

$I_0$ ——电动机的空载电流，单位为安（A）

$Q_N$ ——电动机额定负载时的无功功率，单位为千乏（kvar）；

$P_0$ ——电动机额定空载有功损耗，单位为千瓦（kW）；

$$Q_N = \frac{P_N}{\eta_N} \times \tan \varphi_N$$

$\varphi_N$ ——额定运行时输入电动机相电流滞后于相电压的相角；

#### A.3 电动机的综合功率损耗计算

$$\Delta P_C = \Delta P_0 + \beta^2 (\Delta P_N - \Delta P_0) + K_Q [Q_0 + \beta^2 (Q_N - Q_0)] \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

式中： $\Delta P_C$ ——电动机的综合功率损耗，单位为千瓦（kW）；

$K_Q$ ——无功经济当量，单位为千瓦每千乏（kW/kvar）。

当电动机直连发电母线或直连已进行无功补偿的母线时， $K_Q$ 取 0.2~0.04；二次压取 0.05~0.07；三次变压  $K_Q$  取 0.08~0.1。当电网采取无功补偿端计算电动机电源变压次数。

##### A.3.1 电动机额定综合功率损耗计算

$$\Delta P_{CN} = \Delta P_N + K_Q Q_N \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

##### A.3.2 电动机综合损耗功率计算

$$P_{CI} = \beta P_N + \Delta P_C \quad \dots\dots\dots (A.5)$$

式中： $P_{CI}$ ——电动机的综合损耗功率，单位为千瓦（kW）。

##### A.3.3 电动机额定综合功率损耗计算

$$P_{CIN} = P_N + \Delta P_{CN} \quad \dots\dots\dots (A.6)$$

式中： $P_{CIN}$ ——电动机的额定综合损耗功率，单位为千瓦（kW）

#### A.4 电动机运行负载系数计算

在运行中的负载率可用电动机输入功率  $P_1$  和电动机额定参数与空载数进行计算；

$$\beta = \frac{-P_N/2 + \sqrt{P_N^2/4 + (\Delta P_N - \Delta P_0)(P_1 - \Delta P_0)}}{\Delta P_N - \Delta P_0} \quad \dots\dots\dots (A.7)$$

式中： $P_1$ ——电动机输入功率，单位为千瓦（kW）。

##### A.4.1 电动机的综合效率计算

$$\eta_C = \frac{\beta P_N}{\beta P_N + \Delta P_C} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (A.8)$$

式中： $\eta_C$ ——电动机的综合效率，%。

##### A.4.2 电动机额定综合效率计算

$$\eta_{CN} = \frac{P_N}{P_N + \Delta P_{CN}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (A.9)$$

式中： $\eta_{CN}$ ——电动机额定综合效率，%。

## 附录 B

## 电动机运行状态测试综合表的内容与格式

## B.1 企业概况

## B.2 电动机普查表格式

序号	型号	额定功率/KW	额定电压/V	额定电流/A	转速/(r/min)	额定功率因数	额定功率/%	制造厂商	配套设备

## B.3 测试数据表格式

序号	额定功率/KW	配套设备名称	空载损耗/	空载电流/A	空载功率因数	输入电压 V	输入电流/A	输入功率/KW	功率因数

## B.4 电动机运行状态统计表格式

序号	型号	配套设备	额定功率 W	运行输入功率/KW	额定综合效率/%	允许综合效率/%	运行综合效率/%	额定有功功率/%	能源利用效率/%

## B.5 电动机运行状态汇总表格式

项目	运行效率	运行效率基本合格	运行效率较差	合计
台数/台				
占总数百分比/%				
容量/KW				

占总用量百分比/%				
-----------	--	--	--	--

---

Q/xxx xxx—xxx