

矿山电气設備 功率因数的改善

煤炭工业出版社

矿山电气设备功率因数的改善

苏联专家 H. 洛谢夫著
北京煤矿设计院专家工作室译

煤炭工业出版社

1328

矿山电气设备功率因数的改善

苏联专家 И. 洛谢夫著

北京煤矿设计院专家工作室译

*

煤炭工业出版社出版(社址: 北京东长安街煤炭工业部)

北京市书刊出版业营业许可证出字第 084 号

煤炭工业出版社印刷厂排印 新华书店发行

*

开本 787×1092 公厘 $\frac{1}{32}$ 印张 $2\frac{1}{2}$ 字数 46,000

1959年12月北京第1版 1959年12月北京第1次印刷

统一书号: 15035·992 印数: 0,001—4,000册 定价: 0.34元

出版者的話

本書是苏联专家 И. 洛謝夫根据苏联先进經驗，針对我国具体情况作为建議写成的。書中闡述了改善矿山电气設備功率因数在国民經济中的重要性，詳細地討論了提高矿山电气設備功率因数的具体措施。

考虑到我国工农业生产大跃进，節約用电是一个长期和重要的任务，而改善电气設備的功率因数又是節約用电极有力的措施之一，因此我們將这个建議翻譯出版，供广大从事矿山供电的設计人員、生产人員参考。本書提供了改善矿山电气設備功率因数的具体措施，各矿可根据自己的实际条件学习采用。

本書由湯克疆、李維强同志譯，謝之熙同志校。

前 言

由于在采煤工艺过程中广泛使用电能，矿工的劳动装备水平得到了显著的提高。

电气装备水平的提高，对于促进煤炭工业的技术进步及提高劳动生产率有着很大作用。

在中华人民共和国煤炭工业部门正在开展技术革命和掀起大跃进的今天，这一点尤为重要。

此外，节约用电和用热问题对于发展国民经济也有着重要意义。

在节约用电和用热方面起着决定作用的是改善煤矿电气设备的功率因数问题。

本文的主题，就是要探讨有关改善功率因数的问题。

在苏联电站部所属各动力系统的电力网络中，只要将功率因数提高0.01，每年就能减少电能损失3亿5千万至4亿度。

苏联煤炭工业动力工作者，在第五个五年计划期间总共节省了电力2亿3千6百万度。利用这些电力，就可使3个年产60万吨的矿井生产十年，也就是说，可以增产1千8百万吨煤。

鉴于目前中华人民共和国对电力极感缺乏，为合理地节约地使用电力而进行严肃的斗争，应视为解决电力奇缺现象的重要措施之一。

目 录

出版者的話.....	1
前言.....	2
一、概論.....	5
二、动力系統无效容量之平衡及最合理的功率因数 之确定.....	6
三、提高功率因数的措施.....	13
四、补偿设备的容量和类型的选择.....	14
五、确定經濟上合理的方案的方法.....	15
六、靜电电容器在工矿企业电力網路中的布置.....	27
七、余弦靜电电容器的运轉及修理.....	42
八、靜电电容器組的自动控制.....	49
九、用于补偿无效容量的同步电动机的控制及調整 系統的自动化.....	59
十、移动式补偿裝置的某些結構上和运轉上的特点.....	62
十一、限制电机空轉的方法.....	65
十二、新型无效功率发电机.....	69
十三、節約用电和制訂用电量定額的經驗.....	72
十四、結論.....	73

一、概 論

当用戶的电气設備功率因数太低时，会产生下列后果：

1. 过多地增加发电站的負荷；
2. 降低发电站电气設備及热力設備的实际出力；
3. 不能充分地利用輸电綫路、变电所及配电网路的輸电能力；
4. 增加輸电綫路、变电所及配电网路的电損和电压損失；
5. 提高发电站的发电成本；
6. 提高工矿企业的电能价格。

根据用戶电价奖励及罰款現行条例之規定，当用戶的加权平均功率因数低于0.85时，各用戶必須付出大量罰款（功率因数为0.7时，罰款額达115%），当用戶之功率因数大于0.85时，可取得大量奖金（功率因数=0.97—1.0时，奖金額达20%）。因此，凡装有容量为100千伏安及100千伏安以上之电气設備的企业都必須設法将本企业的电气設備功率因数提高到0.92。

按照有关提高用电設備功率因数的导則之規定，可将提高功率因数的措施分为3种：

1. 不需要进行技术經濟比較的提高設備（正在運轉的或所設計的）功率因数的措施；
2. 由于采用了补偿設備而需要进行技术經濟比較的措施

施；

3. 补偿无效容量的特殊措施。

二、动力系统无效容量之平衡及最合理的 功率因数之确定

用户从动力系统的发电站发电机中除取得有效容量以外，还取得无效容量。

异步电动机、变压器、高压输电线路等都是无效容量的用户。

异步电动机所需要的无效容量，占它所需要的有效容量的50—100%。

高压输电线路之所以需要无效容量，是因为它本身的电抗比电阻要高几倍。在一般110千伏的线路中，电抗比电阻高1—1.5倍（视导线的截面及其相间距而定）。

高压变压器的电抗比电阻约高10—15倍；高压变压器的无效容量损失占其输出容量的11—14%（千伏安）。

这样说来，动力系统所需补偿的无效容量，大部分是由容量损失组成的（它占用户直接需要容量的30—40%），也就是说，无效容量损失比有效容量损失要大得多。

按相位移角超前方式运转的发电站的同步发电机、同步补偿器、过励磁的同步电动机、静电电容器，以及水银整流器等，都是无效容量的发电设备。

在动力系统各个元件中环流的无效容量，占其相应的有效容量的70—100%。

許多动力系统的实践表明：当电压和频率下降时，个别发电站将由于发电机定子或轉子中电流过多的增加而不能完成所規定的无效負荷分配图表。造成发电机定子和轉子中电流过多的原因是：在相同的有效負荷下，电压下降会引起发电机有效电流成正比地增加。

当电压降落过低时，为了减少定子中过多的电流，必須减少发电机的励磁，这样就把无效容量也减少了。

如电压保持不变而频率减少时，为了得到同样大小的电动势，必須大量地增加励磁。然而此时由于鋼的内部已达到饱和状态，所以需要增加大量励磁电流。

当频率下降过低时，即使轉子中的电流已提高到极限程度，也不可能保持所需要的电动势，这种情况也会使无效容量显著地降低。

因此，在电机未負載全部有效容量的时候，我們只能得到一个比在額定有效負荷和額定电压的情况下大，但比电机的視在容量(仟伏)小的无效容量值。

图1表示在“电力”工厂出品的透平发电机的各种有效容量下，最大允許无效容量的变化曲綫。

全有效容量(100%)值相当于图1中的发电机額定視在容量的100%。当額定 $\cos\varphi$ 等于0.8时，

$$P = S \cdot \cos\varphi = 100 \times 0.8 = 80.$$

$$Q = S \cdot \sin\varphi = 100 \times 0.6 = 60.$$

也就是說发电机的全有效容量为視在容量的80%，而无效容量为60%。

在有效負荷为80%的情况下，按繞組温升計算的最高

的 $\cos\varphi$ 值等于0.687。此时，視在容量为，

$$S = \frac{64}{0.687} = 93\%.$$

而无效容量，

$$Q = 93^2 - 64^2 = 67.3\%.$$

这是因为在相同的功率因数下，当負荷为80%时，有效容量的向量值等于 $80 \times 0.8 = 64\%$ 。

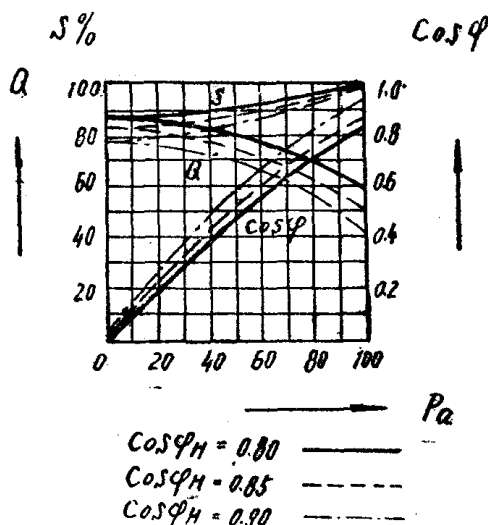


图 1 在各种有效容量的数值下，最大安全无效容量的变化曲线

从此可以看出，即使在負荷不足的情况下，同步发电机也是不能輸出其全部視在容量的。

如果，在有效負荷不足的情况下，发电机的 $\cos\varphi$ 值达到額定值（有效負荷等于80%），則其富裕的无效容量等于，

$$67.3 - \frac{64 \times 0.6}{0.8} = 67.3 - 48.0 = 15.3\% \text{ (即占額)}$$

定視在容量的15.3%，仟伏安)。

从电厂发电机中可能額外取得的无效容量，要求初期投資最少，它比每一仟瓦补偿設備的設備容量还要便宜。因此，在有效容量相同的情况下，提高发电机的視在容量是很有利的办法。

电厂的发电机一般地講是不可能补偿最大的无效負荷值的。因此，必須在用戶处和动力系統的負荷最大的樞紐变电所中設立补偿設備。

无效容量分配得是否适当，与能否将动力系统網路中的电能損失降低到最低限度有密切关系。

所以，各个接到动力系统的企业变电所，應該由动力系统根据本系統中各个电厂发电机的实际无效容量，无效容量損失，本系統所屬各变电所的补偿器的容量以及用戶电气設備的无效容量等因素来确定其母綫上最合理的功率因数値。

最合理的功率因数値，一定是符合最低限度的有效容量和无效容量每年发电和輸电損失的。

苏联电站部为一些动力系统所做的計算表明：近年来，由于在用戶处裝置了补偿設備，动力系统变电所母綫上的功率因数値，在高峰負荷期間应达到0.92—0.95左右。

将无效容量补偿后所能节省的費用和每年用于补偿設備上的費用加以比較，以及对各种补偿办法进行技术經濟計算，是求得最合理的功率因数値的方法。

为保証用戶处具有正常电压所必需的最低限度的补偿设备的容量，可按下面方程式——平衡式求得

$$Q_2 + Q_c = Q_n + Q_{\pi},$$

式中 Q_2 ——发电机所能补偿无效負荷的容量；

Q_c ——补偿设备的容量(未知的)；

Q_n ——在用电设备具有正常电压时，用戶的无效負荷；

Q_{π} ——电力網路中的无效容量的損失。

Q_2 和 Q_n 值是分析了有关动力系统現有負荷的总结数据或动力系统的远景发展规划以后而确定的。这样說来，在算出了电力網路中的无效損失值以后，即可确定最低限度所必需的补偿设备的容量了。

用戶的最大无效容量(Q_n)是根据接至电站发电机母綫上的各个变电所及用戶的負荷增长表确定的。

綫路和变压器的无效容量損失(Q_{π})，由空載損失和負荷損失二者所組成。它是根据預先編制好的电流分配計算書計算的。在計算时，还考虑到了这些損失与綫路和变压器的視在容量之間的关系。綫路和变压器的視在容量本身又取决于补偿裝置的未知容量。在这种 Q_c 和 Q_{π} 值之間的相互依賴的情況下，我們就采用逐步近似法来編制計算書。先将 Q_n 值計算出来(不考虑补偿设备)，然后再算出相应的容量。

将所算出的补偿设备的总容量分配到动力系统各个枢纽負荷中去，然后編制电力網路电流分配計算書。根据这个計算書确定 $Q_{\pi \text{ 計算}}$ 值，然后根据 $Q_{\pi \text{ 計算}}$ 再一次計算 $Q_{\pi \text{ 計算}}$ 值。

动力系统的总无效容量损失值，基本上是根据变压器的损失计算的，所以它与变压级数有极大关系。

在原始资料不很精确的情况下，线路的负荷损失，可以根据比较简单的电流分配计算方法进行计算而不去考虑各个线的 $U : X$ 的比例差，此外还人为地将网路形式加以简化（负荷小的对角式连接线除外）。

在计算补偿设备的近似容量时，如果我们假定动力系统中变压器的平均负荷率接近于70%，线路的平均负荷率也接近于经济数字，则我们就可以不做电流分配计算书而粗略地算出无效损失的数值。

根据这个假定所算出的单位无效损失值示于表1。

变压器的单位无效容量损失

表 1

电压/千伏	35/6-10	110/35-10-6	110/35/6-10
无效损失（占变压器视在负荷的%）	10	12	14

实际上，在计算无效损失值和根据该值确定补偿设备的近似容量时，计算一次电流分配就足够了。

安装在用户处的补偿设备的容量，可按下列式计算：

$$Q = \frac{W_a (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2)}{T_a},$$

式中 Q ——补偿设备的容量；

W_a ——有效电能年耗量；

$\operatorname{tg} \varphi_1$ ——补偿前原始的加权平均功率因数($\cos \varphi_1$)；

$\operatorname{tg} \varphi_2$ ——补偿后用户进线上的功率因数值 ($\cos \varphi_2$);

T ——补偿设备的设备容量的利用时间;

α ——无效电能往外部網路输出的系数 (有10%的无效电能输入外部網路时, $\alpha = 0.9$)。

如果靜电电容器組的容量不可調整时, 則“ T ”就等于相应時間內的接通時間。如果靜电电容器組仅在非工作日才被断开并且其容量不可調整的話, “ T ”可采取为2700—7500小时/年。

$\cos \varphi_2$ 值是由动力系统根据系統的无效容量平衡表和比較了这种或那种功率因数提高程度和網路补偿地点的經济效果以后确定的。

在計算时, 应该区分三种 $\cos \varphi$ 值 (瞬时值—— $\cos \varphi_m$, 平均值—— $\cos \varphi_c$, 和加权平均值—— $\cos \varphi$), 因为所选用的补偿设备的容量是否合适与此有关。

用相位表或瓦特表按照下列公式, 可以最正确地并且很方便地算出功率因数瞬时值 $\cos \varphi_m$ 。

$$\operatorname{tg} \varphi_m = \frac{Q}{P}.$$

功率因数平均值, 是根据数个功率因数瞬时值 (N) 計算出来的 (这些值是在每隔相等的时间內記錄下来的), 計算公式:

$$\cos \varphi_c = \frac{\cos \varphi_1 + \cos \varphi_2 + \cdots + \cos \varphi_n}{n}.$$

功率因数瞬时值和算术平均值只能用来进行大概的計算。

功率因数加权平均值是根据有功电能計量表和无功电能計量表在一定的時間之內（天、月、季度、年）所記錄下来的讀数并按照下列公式算出来的：

$$\text{Zg}\varphi = \frac{W_p}{W_a},$$

式中 W_p ——計量表所記錄下来的总无效电能需要量(仟乏)；

W_a ——計量表所記錄下来的有效电能需要量(仟瓦-小时)。

三、提高功率因数的措施

根据有关提高用戶功率因数导則之規定，一般可以采取下列措施。

1. 不需要进行技术經濟比較的提高功率因数的措施：

1) 整頓工艺过程，以改善設備的用电情况，以达到提高功率因数的目的；

2) 在工艺过程許可的条件下，均采用相同容量之同步电动机代替异步电动机；

3) 对于电压为1000伏以下，負荷率經常低于30—40%之异步电动机，采用由“三角形”轉接为“星形”的轉換开关；

4) 当操作間歇時間超过10秒鐘时，可广泛采用空載限制器来消灭异步电动机的空載運轉；

5) 对于負荷率低于30%之变压器，应換以容量較小之

变压器；

6) 消灭异步电动机容量的多余现象。

2. 需要进行技术经济比较的提高功率因数的措施：

1) 采用高压和低压静电电容器；

2) 采用同步补偿器；

3) 采用容量大于传动机构需用容量的同步电动机。

3. 提高功率因数的特殊措施：

1) 利用企业中现有的同步发电机和同步电动机作为同步补偿器；

2) 使异步电动机同步化。

四、补偿设备的容量和类型的选择

根据有关提高功率因数导则之规定，补偿设备的必需容量可按下式计算：

$$Q_c = P(\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2) \alpha,$$

式中 P ——在最高负荷月中企业的平均有效负荷（将月电耗除以工作小时数，就得平均有效负荷）；

$\operatorname{tg} \varphi_1$ ——角的正切，相当于最高负荷月中的余弦加权平均值；

$\operatorname{tg} \varphi_2$ ——角的正切，该角的余弦可根据“有关提高功率因数导则”的第一条加以采用；

α ——计算系数，采用0.8—0.9，这个系数考虑到现有企业采用了第三节中所列举的措施以后有可能提高本企业的功率因数。