

目 录

第一章 概 述

- 第一节 调相机在电网中的作用……………(1)
- 第二节 电压调整……………(4)
- 第三节 功率因数与补偿容量……………(11)

第二章 调相机的结构与辅助设备

- 第一节 调相机的定子……………(17)
- 第二节 凸极式转子……………(26)
- 第三节 隐极式转子……………(29)
- 第四节 端盖和轴承……………(34)
- 第五节 空气冷却系统……………(35)
- 第六节 水内冷系统……………(37)
- 第七节 氢气冷却系统……………(44)
- 第八节 调相机的辅助系统……………(45)

第三章 调相机的电势、磁势及电枢反应

- 第一节 调相机的磁路……………(50)
- 第二节 电枢绕组……………(54)
- 第三节 电枢绕组的电势……………(62)
- 第四节 电枢磁势……………(67)
- 第五节 电枢反应……………(70)

第四章 调相机的特性、参数、向量图

- 第一节 调相机的各种电抗参数……………(75)
- 第二节 电势平衡方程式 向量图……………(78)
- 第三节 空载特性和短路特性……………(80)
- 第四节 外特性和调整特性……………(84)
- 第五节 利用零功率因数特性测定漏抗和同步

电抗的饱和值·····	(87)
第六节 利用空载特性和短路特性测定同步电 抗的不饱和值和短路比·····	(91)
第五章 调相机的运行分析	
第一节 调相机的并列条件·····	(95)
第二节 调相机的并列方法·····	(99)
第三节 调相机运行的物理过程分析·····	(103)
第四节 调相机的无功功率调节·····	(106)
第六章 调相机的励磁系统	
第一节 调相机对励磁系统的要求·····	(109)
第二节 同轴直流励磁机励磁系统·····	(112)
第三节 半导体励磁系统·····	(130)
第七章 调相机的起动	
第一节 用起动电动机起动·····	(148)
第二节 用电抗器异步起动·····	(150)
第三节 用同轴励磁机起动·····	(153)
第四节 变频起动·····	(160)
第八章 调相机运行及事故处理	
第一节 调相机运行的有关规定·····	(163)
第二节 调相机的起动与停机·····	(168)
第三节 运行中监视及维护·····	(173)
第四节 调相机的事故处理·····	(177)
第九章 调相机检修	
第一节 调相机的拆卸与组装·····	(181)
第二节 调相机定子的检修·····	(187)
第三节 调相机转子的检修·····	(193)
第四节 冷却系统检修·····	(194)
第五节 调相机的干燥·····	(198)

第一章 概 述

调相机是在电网中运行的无功电源设备之一，是专门用来调节无功功率的。它无需原动机拖动，也不拖动任何机械设备，它是空载运行方式下的同步电动机。

第一节 调相机在电网中的作用

随着国民经济的发展，工农业用电负荷不断增长。其中，各种类型的异步电动机构成电网的主要负荷。异步电动机由本身的结构特点决定，所需的励磁电流必须由电网供给无功功率来解决。此外，电网中联接和转变各级电压的变压器，也需要电网提供无功功率来励磁。因此，要保证电网的正常运行，在电源与负荷之间，除了要满足有功功率的平衡外还必须满足无功功率的平衡，也就是必须有供给相当数量的无功功率的电源。

在电力系统中，发电机不仅是供给全网的有功功率，而且也是供给全网无功功率的主要电源。此外，高压输电线、大型同步电动机、调相机、电力电容器等也是供给无功功率的电源。

由发电机供给无功功率，在一定限度内是经济合理的。例如，当发电机的额定功率因数为0.8时，其视在功率为 $1.25P_e$ （ P_e 为额定有功功率），发出的无功功率达 $0.75P_e$ 。用

发电机供给无功功率，其单位投资相当于其他专用无功补偿设备投资的三分之一到五分之一。但是，并不是在任何情况下，全部由发电机供给无功功率都是合适的。当发电厂距用户较远时，输送无功功率在线路上引起的损耗较大；发电机供给无功功率太多时，会使发电厂的功率因数降低，限制了发电厂设备容量的充分利用，减少了输电线路传输有功功率的能力，并且降低了系统运行的稳定性。为此，电网有必要在负荷中心或枢纽变电所装设无功功率电源设备（或称无功补偿设备）来满足用户对无功功率的需要。

电网中常用的无功补偿设备有：调相机、电力电容器和静止补偿器。调相机（又称为同期调相机或同步补偿机）实质上是空载运行的同步电动机。过励磁运行时，向电网供给无功功率；欠励磁运行时，从电网吸取无功功率。所以，它既可作为无功电源，又可作为无功负荷。电力电容器（又称为移相电容器）则只能作为无功电源，向电网供给无功功率。静电补偿器是国内外新采用的由电力电容器和某种特殊电抗器并联组成的静止无功补偿设备。以下从电压调整和无功补偿的观点来分析对比调相机、电力电容器和静止补偿器的优缺点：

（1）电力电容器和静止补偿器都是静止设备，损耗小，效率高，维护简便。在满负荷运行时，电力电容器的有功损耗约为其容量的 $0.3\% \sim 0.5\%$ ；静止补偿器的损耗约为其容量的 $0.5\% \sim 1.2\%$ 。调相机运行时有功损耗较大，为额定容量的 $1.5\% \sim 5.5\%$ ，而且由于是旋转设备，需要运行人员经常维护。电力电容器和静止补偿器比调相机能大大降低电能损耗和运行费用；

（2）电力电容器和静止补偿器均可在户外布置，对基

础要求不高，不需要厂房和加热、通风、油循环等装置。而且重量轻，安装简便，容易做到自动投、切。不过，电力电容器的使用寿命较短，切除后有残余电荷。调相机安装工程量较大，需要厂房及附属配套装置。容量较大时，其单位设备费用低；容量较小时，单位设备费用高。所以，容量小于5兆乏时，不宜采用调相机。而对电力电容器和静止补偿器来说，单位容量设备费用与总容量的关系，却不像调相机那样明显；

(3) 调相机的额定电压不能很高，与一般发电机相同。而电力电容器和静止补偿器，可以制成较高的额定电压，直接接在110千伏或更高电压等级的母线上；

(4) 调相机和静止补偿器可以平滑无级地调压，而电力电容器只能分阶段地调压。后者无功功率——电压调整特性差；

(5) 调相机装有励磁调节装置，输出功率不受电网电压的影响，在端电压下降10%的范围内仍可长期满负荷运行。特别是有了强行励磁装置，在电网故障的情况下，也能维持电网电压，从而提高了系统运行的稳定性。而电力电容器和静止补偿器的输出功率与电网电压的平方成正比。当电网发生故障，电压降低时，其输出功率急剧下降，结果导致电网电压进一步降低，严重时会使系统瓦解。此外，由于调相机电压可以从零逐渐升高，还可以用作设备检修后的试验电源。

因此，调相机宜装在靠近负荷中心的大型变电所内，集中地补偿一个地区的无功功率和调整电压。电力电容器一般宜分散地装设在用户附近，可以有针对性地解决动态无功补偿或电压稳定方面的问题，并可进一步降低电网中的有功功

率损耗。电力电容器和静止补偿器也可以装设在大型变电所内集中使用。

调相机是供给电网无功功率的大型设备，对保证电网电能质量和安全经济运行有重要的作用：

(1) 装设在负荷中心的大型变电所内，可就近供给用户无功功率，减少电网内大量无功功率的输送，降低功率损耗和电能损耗，提高电网的输送能力，使发电机运行于最经济状态；

(2) 利用调相机优越的调压特性，调整电网的结点电压，维持负荷点的电压水平，提高电能的质量。它不仅能在电网电压降低时供给无功功率将电压调高，而且能在电网电压偏高（高压长距离输电线路末端空载或轻载）时吸收电网多余的无功功率而将电压调低。此外，在电网电压急剧下降（如短路故障）时，调相机还可投入强行励磁装置，提高系统运行的稳定性。

第二节 电 压 调 整

电压是电能质量的主要指标之一。用电设备最理想的工作电压，就是它们的额定电压。但是，用户的电压是随着电网的电压损失而变动的。而电压损失的大小，一方面要随负载的大小变动；另一方面又要随着电网运行方式改变所引起的功率分布和阻抗的改变而变动。在较大的电网中，最大的电压损失值甚至可达30%以上。为了满足用户对电压质量的要求，就必须采取调压措施。

在有的电网中，用户端的电压普遍低落，其原因在于电

网中的无功电源不足。用电设备所需要的无功功率,大致与电压的平方成正比。当电网缺少足够的无功电源时,为了防止发电机因输出过多的无功功率而严重过负荷,往往不得不降低整个电网的电压水平,以减少无功功率的需要量。由图 1—1 所示,欲使电网保持在电压 U_a 下运行,就得供给电网无功功率 Q_a 。当电网无功电源不足,只能供给无功功率 Q_b 时,电网电压将被迫降至 U_b 。为此,要求电网必须有足够的无功电源容量和无功备用容量。

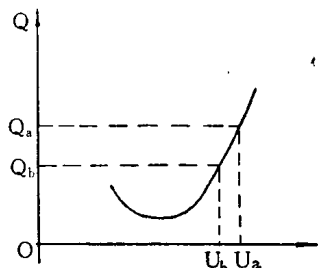


图 1—1 电网综合负载的无功功率与电压的关系

在这种情况下,解决电压调整问题,首先要从装设必要的无功电源方面着手,使无功功率的供和求达到平衡。

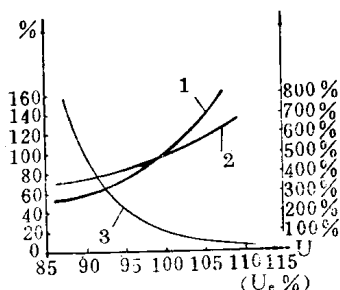
一、电压偏移对用电设备的影响

用电设备在额定电压下运行,其工作状况最佳(最好的出力、最高的效率、合乎理想的使用寿命等),高于或低于额定电压运行,都会使用电设备的技术经济指标变坏。但是,要保持用户端电压绝对不变是不可能的,也完全没有这个必要。用电设备在设计制造中已经考虑到电压偏移这个因素。所以,运行中允许有一定的电压偏移。允许的电压偏移是根据用电设备对电压偏移的敏感性以及电压偏移对用电设备所造成后果的程度而定的。从用电方面来考虑,电压偏移越小,用电设备的技术经济指标越好。但从供电方面来考虑,则提出了相反的要求。综合考虑供、用电两方面的情况,

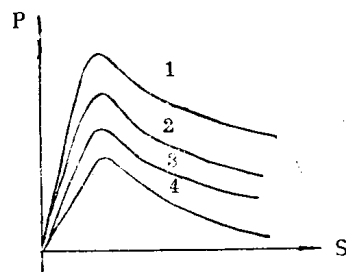
我国允许电压偏移标准规定如下：

- | | |
|-------|-------------|
| 电动机 | +10%，-5%； |
| 照明设备 | ±5%； |
| 农村电力网 | +7.5%，-10%。 |

白炽灯对电压变动的敏感性较大，当电压较额定电压降低5%时，其光通量减少18%；电压降低10%时，光通量减少30%，使照度显著降低。如果电压较额定值升高5%时，寿命要减少一半，电压升高10%时，则寿命减少2/3，这将使灯泡损坏的数量显著增加。白炽灯端电压变化时，其光通量、发光效率和寿命的变化如图1—2所示。



1—光通量；2—发光效率；
3—寿命



1— $U=100\%$ ；2— $U=90\%$ ；
3— $U=80\%$ ；4— $U=70\%$

图1—2 白炽灯特性

图1—3 异步电动机的功率转差特性

异步电动机的输出功率、转矩与端电压的平方成正比，如图1—3所示。当电压较额定值下降10%时，转矩和输出功率降低19%。因此，当端电压太低时，异步电动机甚至会停止转动，或者带重载的电动机无法起动。电压过低而出力不变，会造成定子电流过大，长时间运行会使绕组温升过高，加速绝缘的老化，严重时甚至会烧毁电动机。当然，电压过高对电动机的绝缘也是不利的，尤其是当铁芯饱和后，励磁

电流将大幅度上升，也会使电动机过热甚至烧毁。

低电压运行，使电动机转速发生变化，会使加工出来的产品废品率大为增加。

二、低电压运行对电网本身的影响

低电压运行，不仅对用户有很大的危害，而且对电网本身也是很不利。电压降低会使输电线路的有功损耗增加。图 1—4 所示的简单网络，P 和 Q 为用户的有功功率和无功功率，当三相负载平衡时，线路中的有功损耗可由下式决定

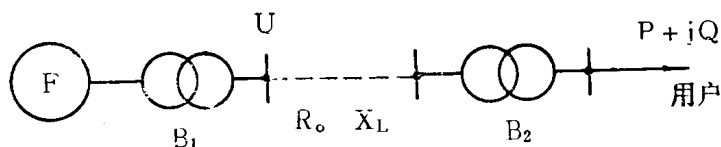


图 1—4 简单电网示意图

$$\Delta P = 3 I^2 R = 3 \left(\frac{S}{\sqrt{3} U} \right)^2 R = \frac{S^2}{U^2} R = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R$$

(1—1)

式中 ΔP ——电网的有功功率损耗（兆瓦）

S ——三相电路的视在功率（兆伏安）

P ——三相电路的有功功率（兆瓦）

Q ——三相电路的无功功率（兆乏）

R ——线路每相电阻（欧）

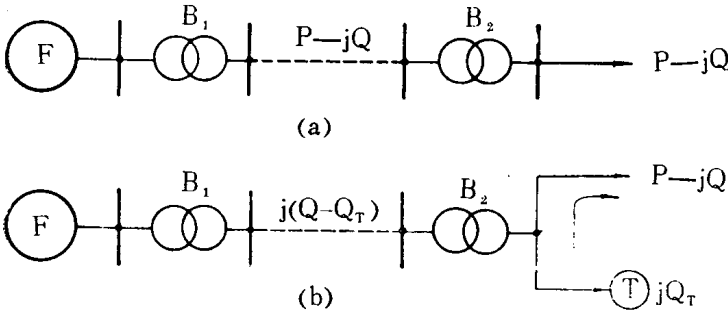
U ——电网线电压（千伏）

由式（ 1—1 ）可知：线路中的有功功率损耗与电网工作电压的平方成反比关系。在输送功率不变的条件下，工

作电压越低，线路上的有功损耗越大。若线路电压提高5%，有功损耗将减少9%。这是一个不可忽视的数字。例如一个最大负荷为1600兆瓦的电网，若电压降低10%运行，则每年的线路损耗约增加5000万度。另外，线路上输送无功功率也会产生有功损耗。

三、用改变无功功率分布来调压

在负荷集中点或其附近设置无功电源，就地供给负荷无功功率，可改变电网中无功功率的分布，避免或减少从远方的发电厂经过线路和变压器传输的无功功率。这样不仅可以减少电网电压损耗，使负荷端电压保持在一定的范围内，还可以减少功率和电能的损耗。在电网负荷侧装设调相机，从而改变无功功率分布的原理如图1—5所示。未装调相机



(a) 未装调相机前； (b) 装调相机后

图1—5 改变电网无功功率分布示意图

前，用户的有功功率 P 和无功功率 Q 全部通过变压器和线路，因而产生较大的电压损耗。在负荷侧安装了调相机后，由调相机供给用户一部分无功功率 Q_T ，使通过线路和变压器的

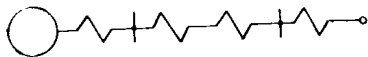
无功功率减少为 $(Q - Q_T)$ ，因而电压损失减少，用户端电压得到提高。当调相机无功出力 Q_T 与用户无功功率相等时，

电压损耗 $\Delta U = \frac{PR + (Q - Q_T)X}{U} = \frac{PR}{U}$ 减至最小值，用

户端电压波动最小。在调相机容量足够大时，改变调相机的励磁电流，就可以平滑地调整无功出力，使用户端电压的波动保持在一定的范围以内。

由于无功电源不受能源的限制，设置灵活，单位容量的投资比有功电源便宜得多（约为一比十）。所以，这种调压方法是经济可行的，得到广泛的应用。

为达到调压目的所装设的调相机，无功容量的选择是以电网始端和末端电压的基本公



式进行推导的。
某一简单电网，始端 A，末端 B，计算负荷为 $P_B - jQ_B$ ，如图 1—6 所示。要求在 B 点装设调相机进行调压，使 B 端

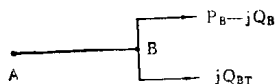


图 1—6 简单电网的接线图

电压等于 U_B' ，其补偿容量可按下述方法来确定。

在未投入补偿容量时，首端和末端电压的关系为

$$\dot{U}_A = \frac{P_B R + Q_B X}{U_B} + j \frac{P_B X + Q_B R}{U_B} + \dot{U}_B \quad (1-2)$$

式中 U_A ——电网首端电压的有效值（千伏）

U_B ——未加无功补偿时，电网末端电压的有效值（千伏）

R ——线路电阻（欧/相）

X ——线路电抗（欧/相）

由于 $\frac{P_B X + Q_B R}{U_B}$ 的值较小，并且与 U_A 垂直，故在向量合成中影响不大将其忽略不计，（1—2）式变为

$$\dot{U}_A = \dot{U}_B + \frac{P_B R + Q_B X}{U_B} \quad (1-3)$$

安装调相机后，首端和末端的电压关系为

$$\dot{U}_A = \dot{U}_{B'} + \frac{P_B R + (Q_B - Q_{BT}) X}{U_{B'}} \quad (1-4)$$

式中 $U_{B'}$ ——加无功补偿后末端电压的有效值（千伏）

Q_{BT} ——无功补偿容量（千乏）

加无功补偿前、后首端电压不变，则

$$\dot{U}_B + \frac{P_B R + Q_B X}{U_B} = \dot{U}_{B'} + \frac{P_B R + (Q_B - Q_{BT}) X}{U_{B'}}$$

其有效值的关系为

$$U_B + \frac{P_B R + Q_B X}{U_B} = U_{B'} + \frac{P_B R + (Q_B - Q_{BT}) X}{U_{B'}}$$

整理后

$$\frac{Q_{BT} X}{U_{B'}} = (U_{B'} - U_B) + \frac{P_B R + Q_B X}{U_{B'}} - \frac{P_B R + Q_B X}{U_B} \quad (1-5)$$

因为 $U_{B'}$ 与 U_B 相差不大，可将（1—5）式的后两项

简化 $\frac{P_B R + Q_B X}{U_{B'}} \approx \frac{P_B R + Q_B X}{U_B}$ 。并令 $U_0 = U_{B'} - U_B$ 为电网

末端投入补偿设备后应该改变的电压。则无功补偿的容量为

$$Q_{BT} = \frac{U_0 U_{B'}}{X} \quad (1-6)$$

第三节 功率因数与补偿容量

一、提高功率因数的意义

用户或用电设备的功率因数，随用电情况、负荷变化而变化。某些设备铭牌上标出的功率因数，系指额定负载下的数值。

对于一个用户或一个变电所，功率因数随时都在改变。通常以瞬时功率因数 $\cos\varphi_m$ 表明不同瞬时的变化情况，其值可由功率因数表读出，或根据电流表、电压表和有功功率表在同一时间的读数代入下式计算得

$$\cos\varphi_m = \frac{P}{\sqrt{3} UI} \quad (1-7)$$

式中的 P 、 U 和 I 分别为同一时刻的有功功率、电压和电流。

同时还要计算出一段时间（一班或一个月）内的平均功率因数，以便计算补偿容量。其值可根据这段时间内有功和无功电度表的读数进行计算。

未经补偿的平均功率因数称自然功率因数，以 $\cos\varphi_z$ 表示，可由下式求得

$$\cos\varphi_z = \frac{A_y}{\sqrt{A_y^2 + A_w^2}} = \sqrt{\frac{1}{1 + \left(\frac{A_w}{A_y}\right)^2}} \quad (1-8)$$

式中 A_y ——有功电度表读数（千瓦小时）

A_w ——无功电度表读数（千乏小时）

装设补偿装置后的平均功率因数称总平均功率因数，以 $\cos\varphi$ 表示，可由下式求得

$$\cos\varphi = \frac{A_Y}{\sqrt{A_Y^2 + (A_W - A_B)^2}} = \sqrt{\frac{1}{1 + \left(\frac{A_W - A_B}{A_Y}\right)^2}} \quad (1-9)$$

式中 A_B ——补偿装置所补偿的无功电能（千乏小时）

电网的功率因数如偏低，首先会降低发电机的有功功率输出，使设备得不到充分的利用，增加发电成本。同时也降低了变电和输电设备的供电能力。我们知道，电气设备不允许长期超过额定电压和额定电流运行，当运行电压和电流都达到额定值时，功率因数低就会减少输出的有功功率。例如一台10兆伏安的变压器，当功率因数分别为： $\cos\varphi = 1$ ，0.8，0.6时，其输出的有功功率和无功功率是不同的：

$$\cos\varphi = 1 \text{ 时 } P = \sqrt{3} UI \cos\varphi = 10 \text{ 兆瓦}$$

$$Q = \sqrt{3} UI \sin\varphi = 0$$

$$\cos\varphi = 0.8 \text{ 时 } P = 10 \times 0.8 = 8 \text{ 兆瓦}$$

$$Q = 10 \sqrt{1 - (0.8)^2} = 6 \text{ 兆乏}$$

$$\cos\varphi = 0.6 \text{ 时 } P = 10 \times 0.6 = 6 \text{ 兆瓦}$$

$$Q = 10 \sqrt{1 - (0.6)^2} = 8 \text{ 兆乏}$$

由此可见，当 $\cos\varphi = 1$ 时，设备容量得到最大限度的利用，随着功率因数的下降，其有功功率不断减少，设备容量得不到充分利用。

功率因数偏低，还会使电网中的功率损耗和电压损失增大，使用电设备的运行条件恶化。

当线路通过电流时，其有功功率的损耗为

$$\begin{aligned}\Delta P &= 3 I^2 R \times 10^{-3} \\ &= 3 \left(\frac{P}{\sqrt{3} U \cos \varphi} \right)^2 R \times 10^{-3} \\ \Delta P &= \frac{P^2 R}{U^2} \frac{10^{-3}}{(\cos \varphi)^2} \quad (1-10)\end{aligned}$$

式中 P ——线路输送的有功功率（千瓦）

R ——线路的每相电阻（欧）

U ——线电压（千伏）

$\cos \varphi$ ——负荷的功率因数

由式 1—10 可见，有功功率的损耗与功率因数的平方成反比。当功率因数由 0.8 下降到 0.6 时，其有功损耗约增大一倍。同时，由于系统功率因数降低，增加了线路输送的无功功率 Q ，也使电压损失 ΔU 增大。

提高功率因数，除了提高用电设备的自然功率因数，以减少电网中的无功功率的消耗外，主要是在用户或负荷中心的变电所内装设无功补偿设备。

二、无功补偿的经济当量

为了计算电网中采用无功补偿措施的经济效果，往往以“无功补偿经济当量”的概念来衡量补偿措施的合理性。所谓无功补偿的经济当量是指由于少送无功功率而降低的有功功率损耗值与无功功率减少值之比。也就是当输送的无功功率减少 1 千乏时所减少的有功功率损耗的千瓦数，常用 K_B 来表示，其单位为千瓦/千乏。

三相交流线路输送视在功率所产生的有功功率损耗值为

$$\Delta P_1 = 3 I^2 R \times 10^{-3} = \frac{S^2 R \times 10^{-3}}{U^2} = \frac{P^2 R \times 10^{-3}}{U^2} + \frac{Q^2 R \times 10^{-3}}{U^2} = \Delta P_P + \Delta P_Q \quad (1-11)$$

式中 ΔP_1 ——线路的有功功率损耗 (千瓦)

P ——线路的有功功率 (千瓦)

Q ——线路的无功功率 (千乏)

S ——线路的视在功率 (千伏安)

U ——线路电压 (千伏)

R ——线路电阻 (欧/相)

ΔP_P ——线路有功电流产生的损耗 (千瓦)

ΔP_Q ——线路无功电流产生的损耗 (千瓦)

当装设无功补偿设备后,使无功功率减少 Q_B (即补偿的无功功率)时,有功功率的损耗值为

$$\Delta P_2 = \frac{P^2 R \times 10^{-3}}{U^2} + \frac{(Q - Q_B)^2 R \times 10^{-3}}{U^2} \quad (1-12)$$

装设无功补偿装置后所减少的有功损耗的净值为

$$\Delta P = \Delta P_1 - \Delta P_2 = \frac{Q_B (2Q - Q_B) R \times 10^{-3}}{U^2} \quad (1-13)$$

按无功补偿经济当量的定义得

$$\begin{aligned} K_B &= \frac{\Delta P}{Q_B} = \frac{Q_B (2Q - Q_B) R \times 10^{-3}}{Q_B U^2} \\ &= \frac{2QR \times 10^{-3}}{U^2} - \frac{Q_B R \times 10^{-3}}{U^2} \\ &= \frac{Q^2 R \times 10^{-3}}{QU^2} \left(2 - \frac{Q_B}{Q} \right) = \frac{\Delta P_Q}{Q} \left(2 - \frac{Q_B}{Q} \right) \end{aligned}$$

$$= K_Y \left(2 - \frac{Q_B}{Q} \right) \quad (1-14)$$

式中 $K_Y = \frac{\Delta P_{\Sigma}}{Q}$ ——无功功率通过线路时其有效电阻R所引起的有功功率单位损耗；

$\frac{Q_B}{Q}$ ——无功功率的相对减少值，称补偿率。

当补偿容量 Q_B 远小于负荷所需的无功功率 Q 时($Q_B \ll Q$)，则无功补偿经济当量 $K_B \approx 2 K_Y$ 。当 $Q_B \approx Q$ 时，则无功补偿经济当量 $K'_B \approx K_Y$ ， $K'_B \approx \frac{1}{2} K_B$ 。这说明，补偿容量越大，减少有功功率损耗的作用将越小，即反而使功率因数提高后的经济效益降低。因此，功率因数应提高到何值为最有利，补偿容量需要多少，需根据技术经济比较和计算来确定。一般应考虑补偿装置安装地点距供电电源的远近、变压器耦合形成的电网变压级次及发电成本的高低等因素。

三、补偿容量的选择

补偿容量的大小决定于电力负荷的大小、补偿前的功率因数以及要求补偿提高后的功率因数。

1. 用计算方法求补偿设备的容量

补偿设备容量的选择，应以最大负荷为基础，一般根据最大负荷月的平均负荷，用式(1-15)或(1-16)进行计算。

$$Q_B = P_{PZ} (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2) \quad (1-15)$$

$$Q_B = Q_{PZ} \left(1 - \frac{\operatorname{tg} \varphi_2}{\operatorname{tg} \varphi_1} \right) \quad (1-16)$$

式中 Q_B ——所需的补偿容量 (千乏)
 P_{PZ} ——最大负荷月的平均有功功率 (千瓦)