

中小型三相异步电动机检查试验

参数合格区的计算方法

哈尔滨电机制造学校 石允初

按：如何确定检查试验参数合格区，是中小型三相异步电动机检查试验亟待解决的问题。石允初同志这篇文章对解决这一问题具有一定的参考价值。文章根据电机学的基本原理，对效率、功率因数等的计算，采取了比较严格的数学推导方法，得出了比较准确的控制公式，并在实践中进行了验证。我们推荐这篇文章的目的是为了广泛交流这方面的经验，深入研究这方面的问题，更好地控制和提高中小型三相异步电动机的质量。

绪 论

异步电动机的性能，包括效率、功率因数、转差率、最大转矩、起动电流和起动转矩等，若按正规的方法，要做型式试验，才能断定其是否符合技术条件的规定。由于型式试验需要的时间很长，中小型三相异步电动机生产量大，数量多，不可能每台都做型式试验，只能依靠简单的检查试验，来判断电动机是否符合质量标准。通过检查试验，得到下列数据：额定电压 U_e 时的空载电流 i_0 和空载损耗 P_0 ，以及短路电压 U_d 时的短路电流 i_d 和短路损耗 P_d 。（注： U_d 之值按试验方法GB 1032—68的规定）。

技术条件上规定了电动机性能的标准和容差，但是，没有规定检查试验参数的标准和容差，因此，用简单的检查试验代替型式试验，能否真正控制电动机的质量？决定电动机是否完全合格的检查试验参数合格区，究竟怎样计算？这在生产上是非常重要的问题。

本文第一节公式的推导，系参考张弘夏同志的文章《如何根据出厂试验推测电动机的性能》原载《东北电工》一九五一年第一卷第五期写成，做了一点点改进，即为了更准确起见，取消了该文中的一个假设。这个假设是：检查试验的电机，当输出功率不变时，有功电流 i_P 和电抗电流 i_X ，均假设不变。

由于取消了这个假设，所以，功率因数、效率和转差率的计算公式，有些改变。

在推导公式时，做了以下的假设：

1. 忽略短路试验电压时漏磁磁路饱和情况的改变，根据试验方法GB 1032—68的规定，短路试验电压只有 $\frac{1}{4}$ 额定电压左右，因而可以假设额定电流 i_e 时电机的短路漏抗 x_{d0} ，和短路电流 i_d 时电机的短路漏抗 x_d 相同，即 $x_{d0} = x_d$ 。

2. 假设 $r_d^2 \ll x_d^2$ ，所以， $x_d \approx Z_d$ 。

3. 当输出功率不变时，电磁功率的变化不大，因而，假设转差率和运转时的转子铜耗成正比。

4. 短路时转子电流的集肤效应所引起的转子电阻的增加，差别不大，因而，假设运转

时的转子电阻和短路时的转子电阻之比相同, 即 $\frac{r_2}{r_{d2}} \approx \text{常数}$ 。

5. 起动电流时漏磁磁路的饱和情况, 差别不大, 因而, 假设起动电流时漏磁磁路的饱和计算系数 (额定电压时的起动电流与额定电压不考虑饱和时的短路电流之比) 相同。

6. 假设 $1 - S$ 的变化不大。

7. 假设 $\sqrt{r_1^2 + x_d^2} \approx Z_d$ 。

8. 在讨论合格区的计算时, 进一步假设成批生产的电动机, 定子绕组的电阻, 变化不大, 即 $r_1 \approx \text{常数}$ 。

本文系一九六四年写成, 这次改写, 除最大转矩的计算公式和控制公式, 参考《电机工人通讯》一九六九年第12、13期发表的《如何由出厂试验数据判断电机性能是否合格》一文, 做了改进以外, 其余基本未变。经多年应用与验证, 发现:

1. 在一般情况下, 能够控制住电动机的质量。

2. 效率和功率因数的控制公式, 比较准确, 因此, 倘若按技术条件上各项性能的保证值, 建立《优等品》合格区, 按技术条件上将容差计算在内的各项性能的极限值, 建立《合格品》合格区, 还能基本上弄清楚合格品中《优等品》和《合格品》的数量, 以及在《合格品》和《不合格品》中, 大致上是因为什么原因, 使得电机的那一项性能吃容差或者不合格。这对于通过简单的检查试验, 实现产品分等, 和不断采取措施, 提高产品质量, 都具有一定的意义。

文章中采用的代表符号如下:

U_e ——额定相电压。

i_e ——额定电压时的空载相电流。

P_e ——额定电压时的空载损耗。

U_d ——短路相电压。

i_d ——短路电压 U_d 时的短路相电流。

P_d ——短路电压 U_d 时的短路损耗。

r_{d1} ——定子相电阻 (短路试验后测得)。

r_1 ——定子相电阻 (换算到基准工作温度)。

x_d ——短路电压 U_d 时电机的短路漏抗 (相)。

Z_d ——短路电压 U_d 时电机的短路阻抗 (相)。

r_2 ——转子电阻。

r_{d2} ——短路时的转子电阻。

i_e ——额定相电流 (按效率和功率因数的保证值算得)。

i_1 ——满载相电流。

i_2 ——满载时的转子电流 (相)。

i_P ——满载时的有功电流 (相)。

i_X ——满载时的电抗电流 (相)。

P_{t1} ——满载时的定子铜耗。

P_{t2} ——满载时的转子铜耗。

ΣP ——满载时的总损耗。

ΔP ——检查试验电机和型式试验电机比较总损耗的增加。

P_2 ——额定输出功率。

P_1 ——满载时的输入功率。

η ——效率。

$\cos \phi$ ——功率因数。

S ——转差率。

$\left(\frac{M_{max}}{M_e}\right)$ ——最大转矩倍数。

$\left(\frac{i_{gt}}{i_e}\right)$ ——起动电流倍数。

$\left(\frac{M_{gt}}{M_e}\right)$ ——起动转矩倍数。

字母上不加“,”者,代表样机的检查试验值和型式试验值;加“,”者,代表检查试验电机的检查试验参数及欲计算的性能;加〔〕者,代表检查试验参数的极限值及技术条件上将容差计算在内的各项性能的极限值;加“—”者,代表标么值。

第一节 短路试验采用恒电压法时检查试验参数合格区的计算方法

一、合格区的计算方法

短路试验采用恒电压法时,用 $i_o' - i_d'$ 、 $P_d' - i_d'$ 和 $P_o' - r_d'$ 、 i_o' 三个合格区,控制检查试验电机的质量。

1. $i_o' - i_d'$ 合格区

按功率因数的最小允许值,最大转矩的最小允许值和起动电流的最大允许值,建立 $i_o' - i_d'$ 合格区(图1—1),控制检查试验电机的功率因数、最大转矩和起动电流。控制公式如下:

$$i_d' \geq \frac{U_d}{\left(\frac{M_{max}}{M_e}\right) \left[\frac{M_{max}}{M_e} \right]_{min} \left(r_1 + \frac{U_d}{i_d} \right) - r_1} \quad (1-1)$$

$$i_d' \leq \frac{\left[\frac{i_{gt}}{i_e} \right]_{max}}{\left(\frac{i_{gt}}{i_e} \right)} i_d \quad (1-2)$$

$$i_o' \leq i_o + \frac{\cos \phi - [\cos \phi]_{min}}{\cos \phi \cdot \sin \phi} \cdot i_1 + B(i_d' - i_d) \quad (1-3)$$

式中:

$$B = \frac{U_d}{U_e} \cdot \left(\frac{i_P}{i_d} \right)^2 + 3 \left(\frac{U_d}{U_e} \right)^3 \left(\frac{i_P}{i_d} \right)^4 \quad (1-4)$$

$$i_P = i_1 \cos \phi$$

检查试验的电机，短路电流的试验值大于按 $\left[\frac{M_{max}}{M_e}\right]_{min}$ 建立的合格界限时，其最大转矩合格，反之，其最大转矩不合格；短路电流的试验值小于按 $\left[\frac{i_{qt}}{i_e}\right]_{max}$ 建立的合格界限时，其起动电流合格，反之，其起动电流不合格；短路电流和空载电流的交点，低于按 $[\cos \phi]_{min}$ 建立的合格界限时，其功率因数合格，反之，其功率因数不合格。

空载电流的最小允许值，主要受空气隙的限制，建议取等于型式试验值的85%，作为假定的界限，以防止空气隙小而可能发生定转子相擦。如果不合适，可以通过生产实践进行调整。调整的原则，是尽可能防止定转子相擦。

2. $P_d' - i_d'$ 合格区

按起动转矩的最小允许值，建立 $P_d' - i_d'$ 合格区（图1-2），控制检查试验电机的起动转矩。控制公式如下：

$$P_d' \geq \frac{\left[\frac{M_{qt}}{M_e}\right]_{min}}{\left(\frac{M_{qt}}{M_e}\right)} (P_d - 3i_d'^2 r_{d1}) + 3i_d'^2 r_{d1} \quad (1-5)$$

检查试验的电机，短路电流和短路损耗的交点，高于按 $\left[\frac{M_{qt}}{M_e}\right]_{min}$ 建立的合格界限时，其起动转矩合格，反之，其起动转矩不合格。

3. $P_o' - r_d' - i_o'$ 合格区

按效率的最小允许值和转差率的最大允许值，建立 $P_o' - r_d' - i_o'$ 合格区（图1-3），控制检查试验电机的效率和转差率。控制公式如下：

$$P_o' \leq P_e + K_1[\Delta P]_{max} + K_2 B (i_d' - i_d) - K_2(i_o' - i_o) - K_3(r_d' - r_d) \quad (1-6)$$

$$r_d' \leq \left(\frac{[S]_{max}}{S} - \frac{2\eta[\Delta P]_{max}}{P_2} \right) (r_d - r_{d1}) + r_{d1} \quad (1-7)$$

式中，

$$[\Delta P]_{max} = \frac{\eta - [\eta]_{min}}{\eta^2} P_2 \quad (1-8)$$

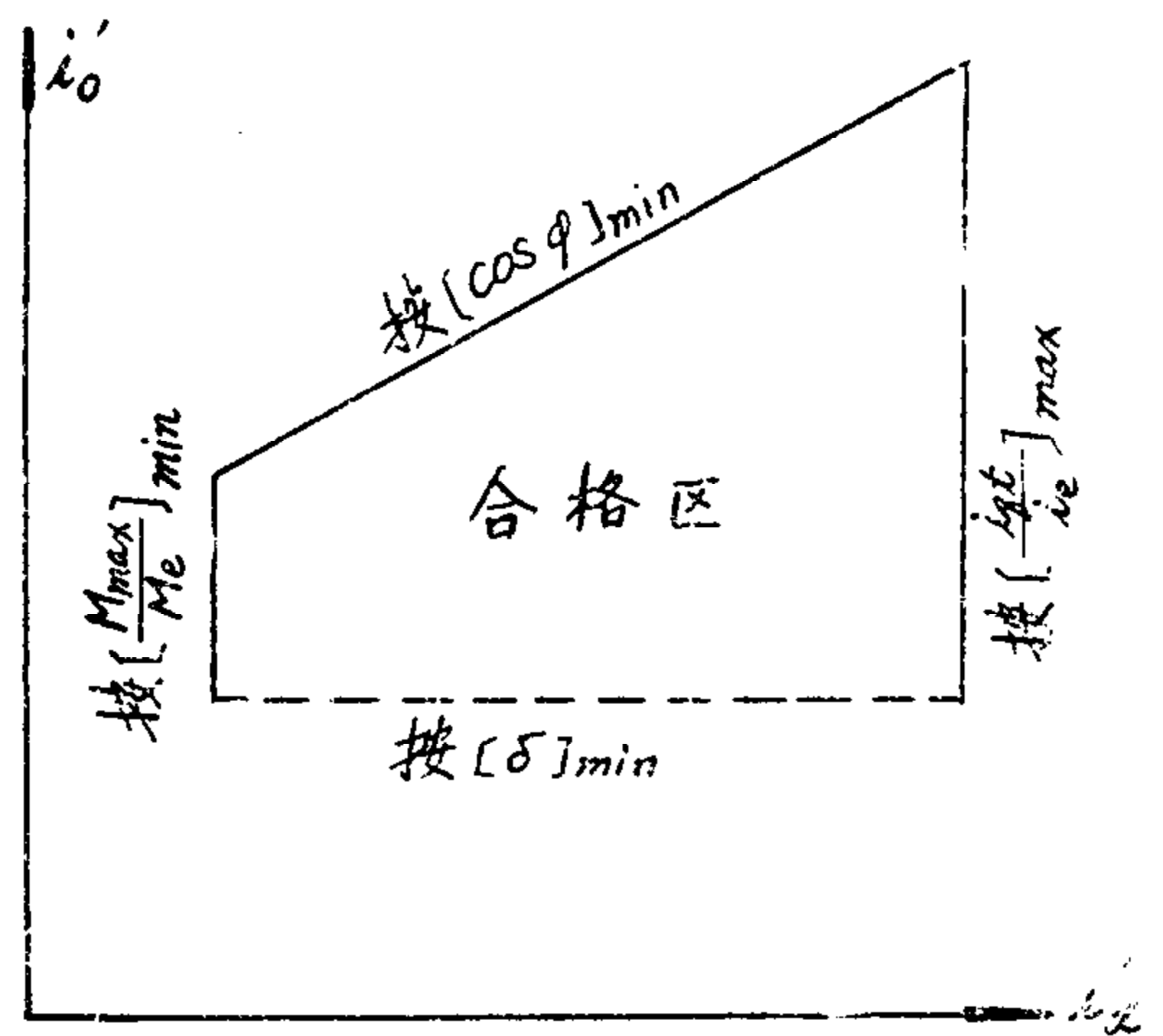


图1-1 $i_o' - i_d'$ 合格区

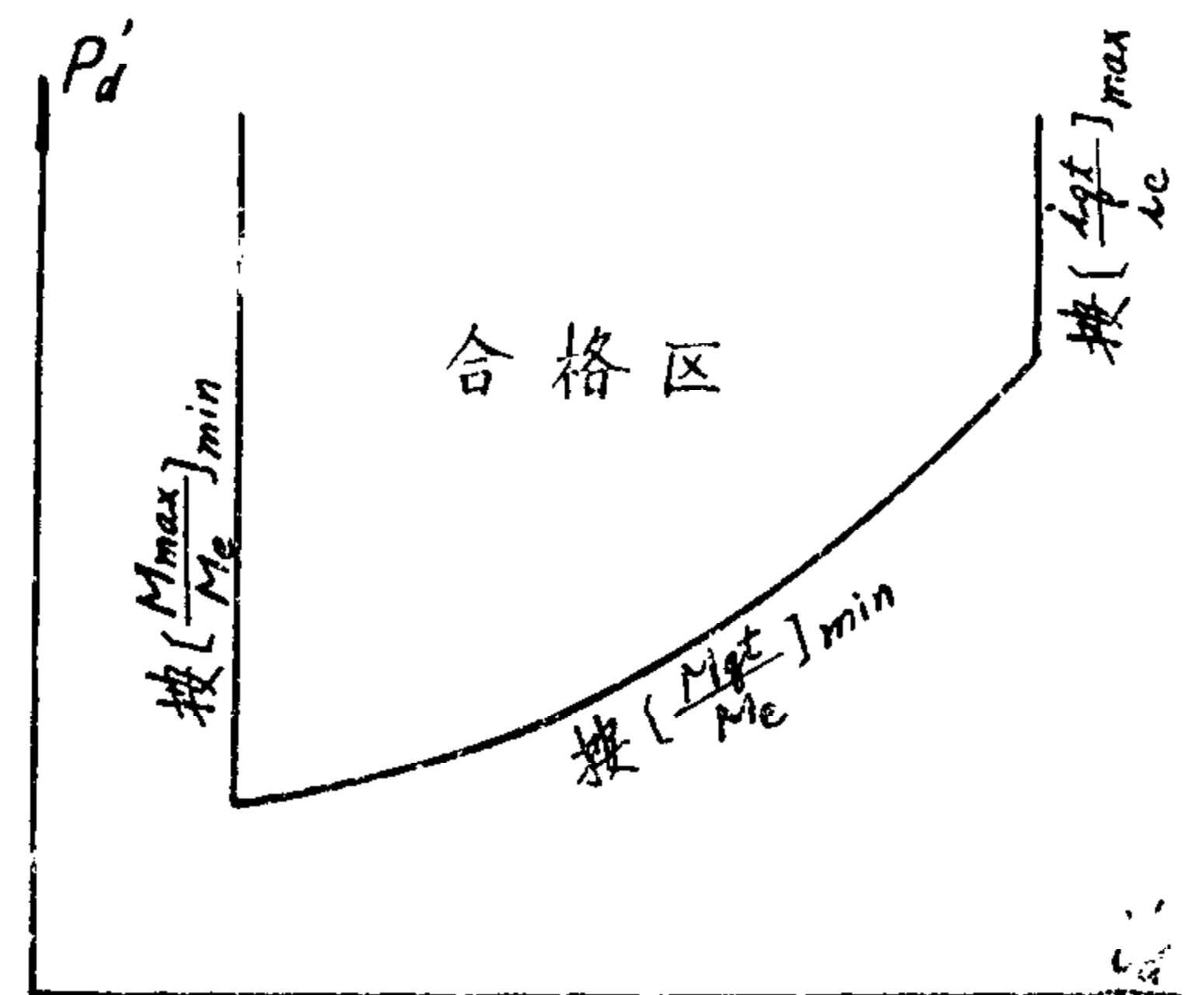


图1-2 $P_d' - i_d'$ 合格区

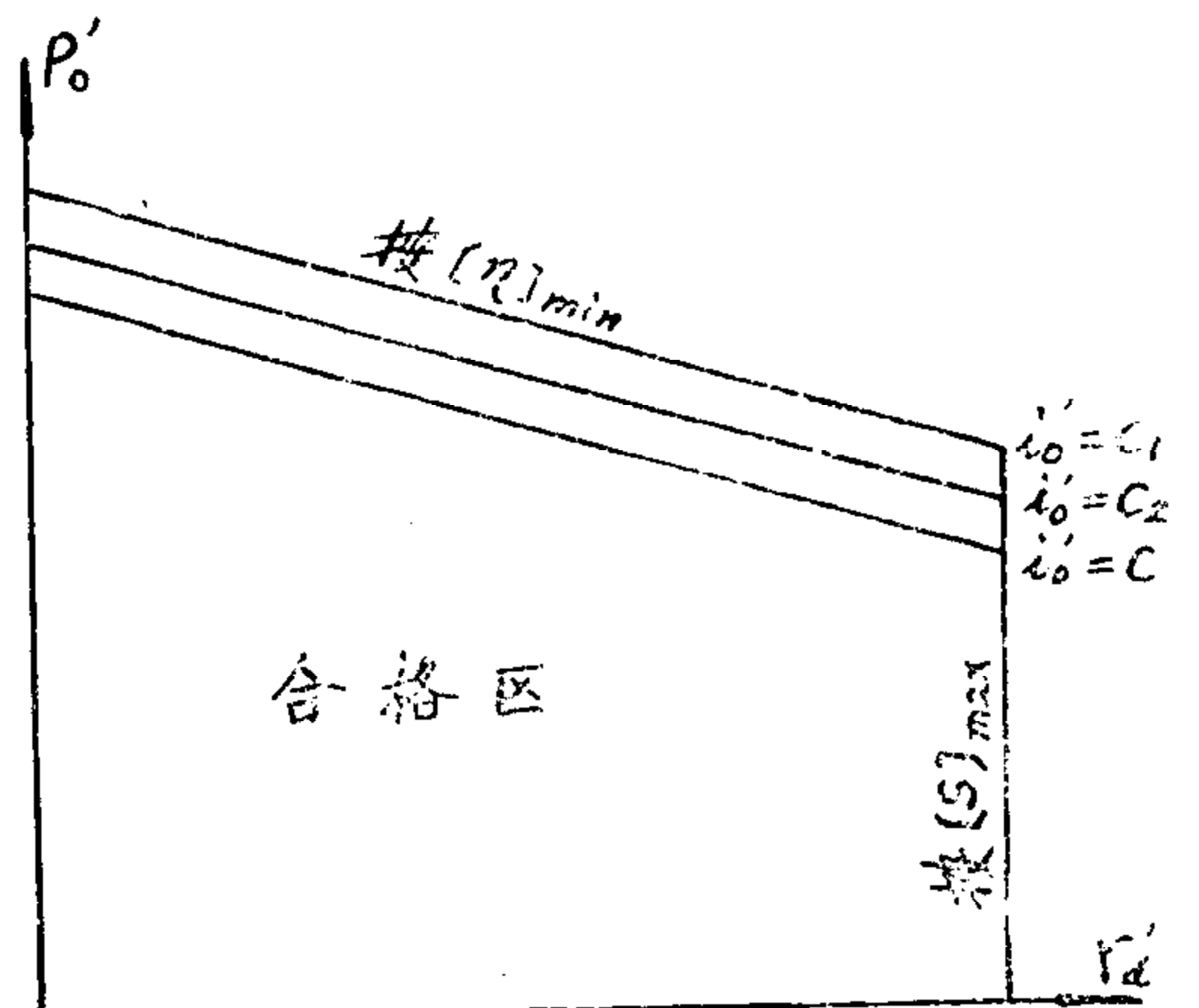


图1-3 $P_o' - r_d' - i_o'$ 合格区

$$r_d = \frac{P_d}{3i_d^2}, \quad r_d' = \frac{P_d'}{3i_d'^2} \quad (1-9)$$

$$K_1 = 1 - \frac{2\eta(P_{t1} + P_{t2})}{P_2} \quad (1-10)$$

$$K_2 = \frac{2P_{t1} \sin \phi}{i_1} \quad (1-11)$$

$$K_3 = \frac{P_{t2}}{r_d - r_{d1}} \quad (1-12)$$

检查试验的电机，短路电阻的试验值小于按 $[S]_{max}$ 建立的合格界限时，其转差率合格；反之，其转差率不合格。

(1—6)式的应用方法如下：

(1) 命 $i_d' = i_d$ 及 $i_o' = C_1, C_2, C_3, \dots$ ，建立 $P_o' - r_d' - i_o'$ 合格区。检查试验的电机，短路电阻和空载损耗的交点，低于按 $[\eta]_{min}$ 建立的合格界限时，（注：对应于 $i_o' = C_n$ ， C_n 为检查试验电机的空载电流的试验值），其效率合格；反之，其效率不合格。在(1—6)式中，由于 B 的值不大（ B 一般小于0.30）， $(i_d' - i_d)$ 的系数 $K_2 B$ 也不大，所以，在一般情况下，比如，短路电流的变化不是很大，以及空载损耗的试验值不是接近合格界限时，不会引起大的误差。

(2) 然而，当短路电阻和空载损耗的交点，接近合格界限时，为了准确起见，须根据检查试验电机的短路电流，短路电阻和空载电流的试验值，按(1—6)式算出这台电机在最低效率时的空载损耗的最大允许值，以决定其效率是否合格。

对于转差率在技术条件上无规定的电动机，短路电阻的最大允许值毋须限制，即：在图1—3中，按 $[S]_{max}$ 建立的合格界限可以取消。

计算检查试验参数合格区时，须注意：

第一，在上述公式中，电压为相电压，电流为相电流。如果电压为线电压，电流为线电流，对Y接线的电动机，(1—1)式须变为：

$$i_d' \geq \frac{\frac{U_d}{\sqrt{3}}}{\frac{\left[\frac{M_{max}}{M_e} \right]}{\left(\frac{M_{max}}{M_e} \right)_{min}} \cdot \left(r_1 + \frac{U_d}{\sqrt{3} i_d} \right) - r_1} \quad (1-13)$$

其它不需要做任何变动。

对 Δ 接线的电动机，(1—1)、(1—5)、和(1—9)式须变为：

$$i_d' \geq \frac{\sqrt{3} U_d}{\frac{\left(\frac{M_{max}}{M_e} \right)}{\left[\frac{M_{max}}{M_e} \right]_{min}} \left(r_1 + \frac{\sqrt{3} U_d}{i_d} \right) - r_1} \quad (1-14)$$

$$P_d' \geq \frac{\left[\frac{M_{qt}}{M_e} \right]_{min}}{\left(\frac{M_{qt}}{M_e} \right)} (P_d - i_d^2 r_{d1}) + i_d'^2 r_{d1} \quad (1-15)$$

$$r_d' = \frac{P_d'}{i_d'^2}, \quad r_d = \frac{P_d}{i_d^2} \quad (1-16)$$

其它亦不需要做任何变动。

第二，用来计算合格区的样品电机的检查试验参数，须按检查试验电机做检查试验相同的方法测得，否则，空载试验由于检查试验和型式试验时电机空转的时间不同，短路试验由于检查试验和型式试验时定子绕组的温度不同，将引起误差。

第三，建议按技术条件上各项性能的保证值，建立《优等品》合格区；按技术条件上将容差计算在内的各项性能的极限值，建立《合格品》合格区（图1—4、1—5和1—6）。这样，便能基本上弄清楚合格品中《优等品》和《合格品》的数量，以及在《合格品》中，大致上是因为什么原因，使得电机的那一项性能吃容差。这对于及时发现问题，认真总结经验，不断提高产品质量，具有一定的意义。

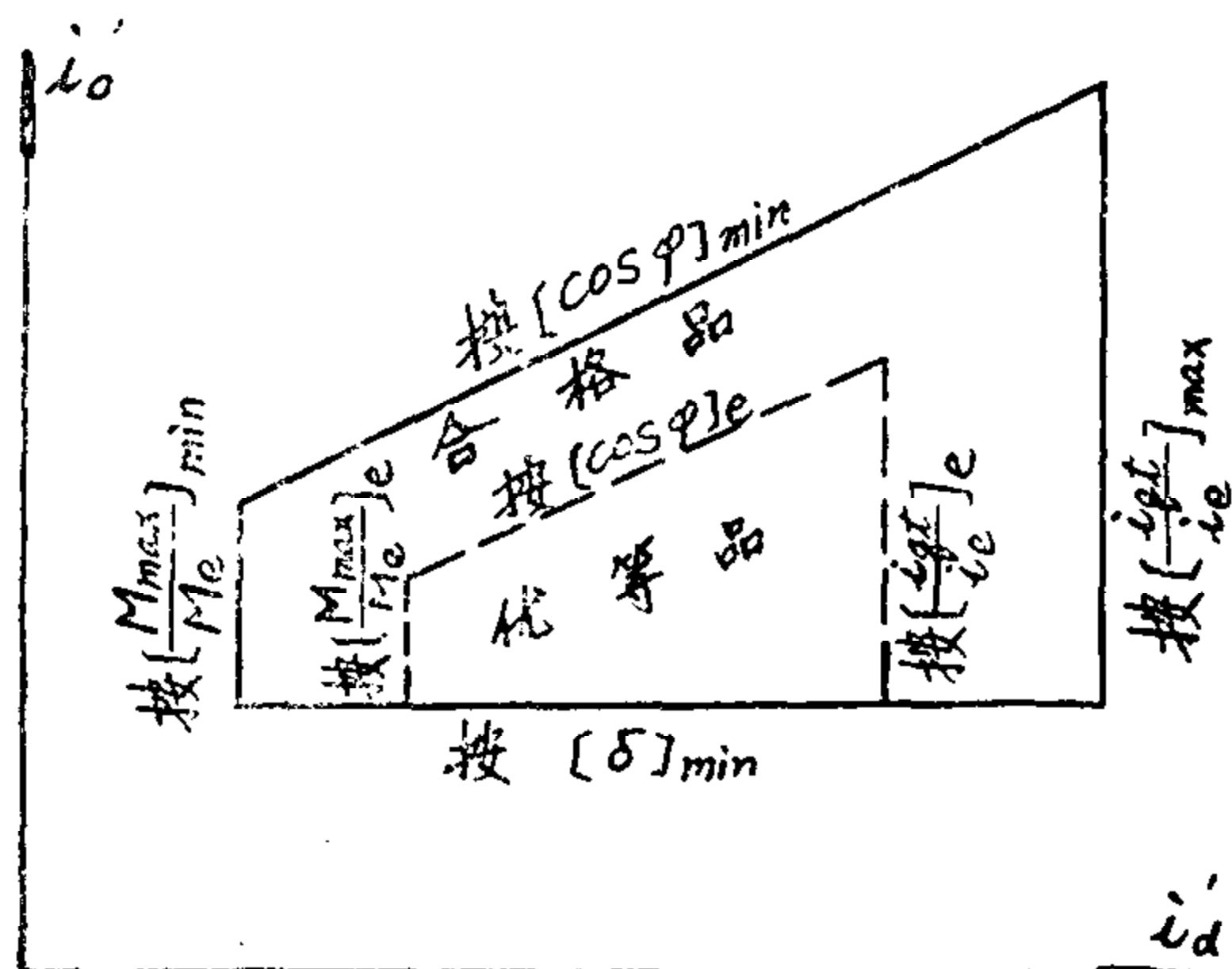


图1—4 i_0' — i_d' 合格品

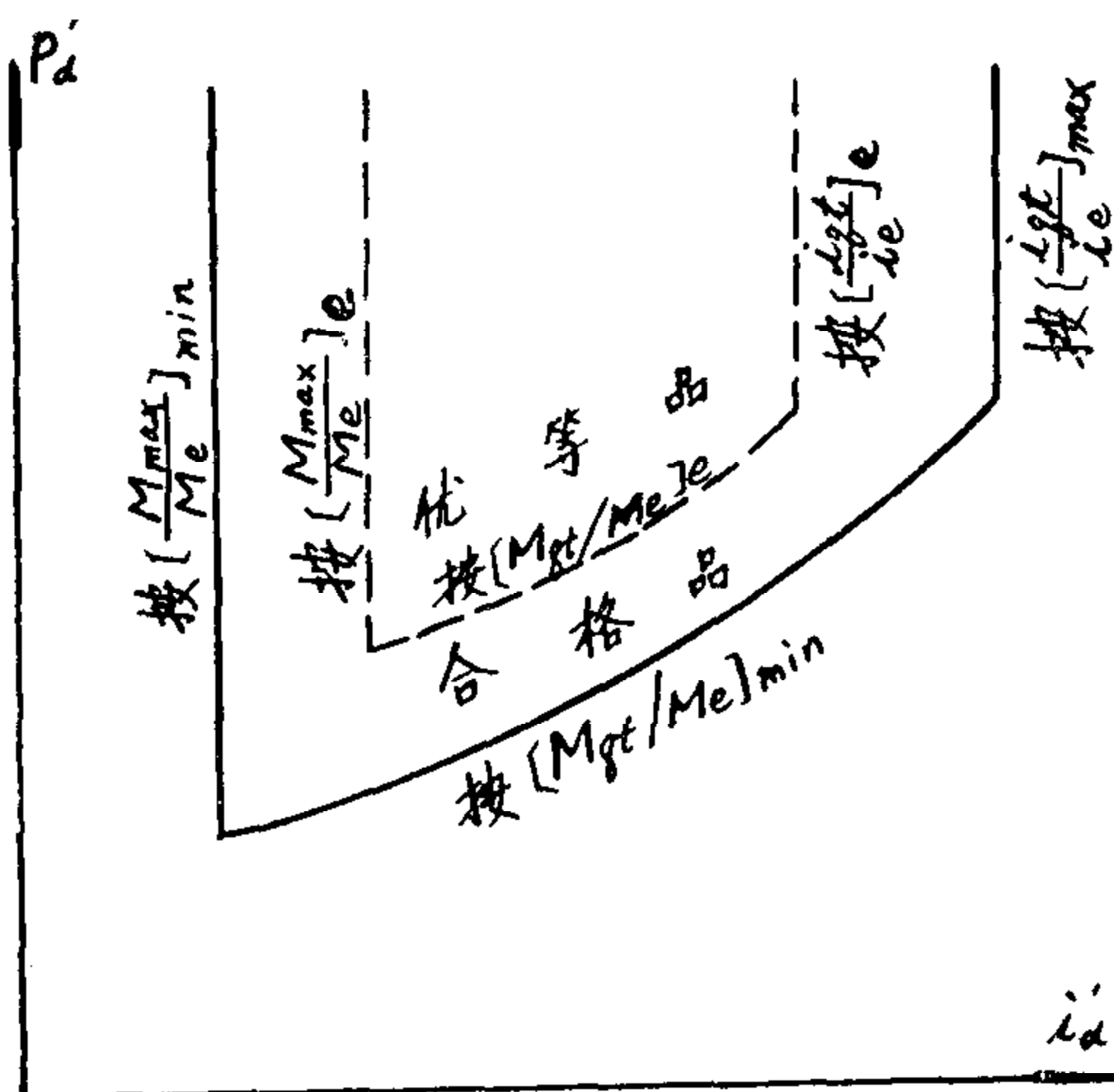


图1—5 P_d' — i_d' 合格区

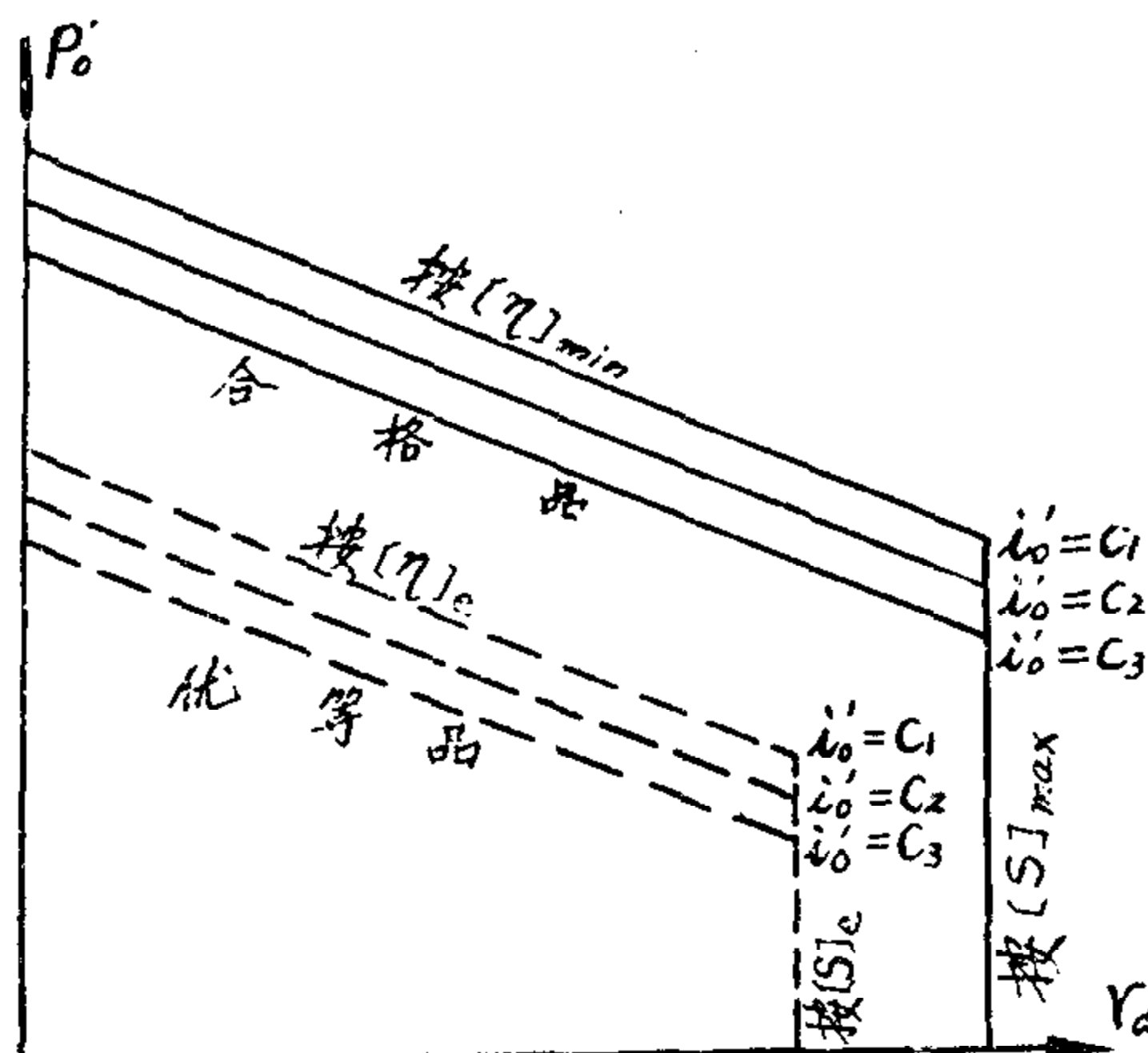


图1—6 P_0' — i_d' 、 i_0' 合格区

第四，绕线式异步电动机，可以用同样的方法，来计算和建立检查试验参数合格区。但因为绕线式异步电动机在起动时转子线路可以加入起动电阻，限制起动电流和增大起动转矩，所以，电动机的起动电流和起动转矩的大小，毋须保证。因此，按起动电流的最大允许值和起动转矩的最小允许值所建立的合格界限，可以取消。

二、控制公式的推导

1. 最大转矩

在电机设计里，计算最大转矩倍数的公式为：

$$\left(\frac{M_{max}}{M_e} \right) = \frac{1 - s}{2(\bar{r}_1 + \sqrt{\bar{r}_1^2 + \bar{x}_d^2})}$$

假设: (1) $1 - s' \approx 1 - s$

$$(2) \sqrt{r_1^2 + x_d^2} \approx Z_d$$

则,

$$\frac{\left(\frac{M_{max}'}{M_e'}\right)}{\left(\frac{M_{max}}{M_e}\right)} = \frac{r_1 + \sqrt{r_1^2 + x_d^2}}{r_1' + \sqrt{r_1'^2 + x_d'^2}}$$

即,

$$\frac{\left(\frac{M_{max}'}{M_e'}\right)}{\left(\frac{M_{max}}{M_e}\right)} = \frac{r_1 + Z_d}{r_1' + Z_d'}$$

$$\left(\frac{M_{max}'}{M_e'}\right) = \frac{r_1 + \frac{U_d}{i_d}}{r_1' + \frac{U_d}{i_d'}} \left(\frac{M_{max}}{M_e}\right) \quad (1-17)$$

命 $\left(\frac{M_{max}'}{M_e'}\right)$ 等于技术条件上将容差计算在内的最大转矩的最小允许值,同时考虑成批生产的电动机,定子绕组的电阻,变化不大,因而假设 $r_1' = r_1 = \text{常数}$,则得到最大转矩的控制公式为:

$$i_d' \geq \frac{U_d}{\frac{\left(\frac{M_{max}}{M_e}\right)}{\left[\frac{M_{max}}{M_e}\right]_{min}} \cdot \left(r_1 + \frac{U_d}{i_d}\right) - r_1}$$

2. 起动电流

考虑起动电流时漏磁磁路的饱和,引入一个系数 K_{qt} 。

$$K_{qt} = \frac{i_{qt}}{i_{de}}$$

式中:

K_{qt} ——起动电流时漏磁磁路的饱和计算系数。

i_{qt} ——起动电流。

i_{de} ——额定电压不考虑饱和时的短路电流。

$$i_{de} = \frac{U_e}{U_d} \cdot i_d$$

所以,

$$i_{qt}' = K_{qt}' \cdot i_{de}' = K_{qt}' \cdot \frac{U_e}{U_d} i_d'$$

$$i_{qt} = K_{qt} \cdot i_{de} = K_{qt} \cdot \frac{U_e}{U_d} \cdot i_d$$

对于用同一设计制造的电动机，起动电流时漏磁磁路的饱和情况，差别不大，因而可假设

$$K_{qt}' = K_{qt} = \text{常数}$$

所以，

$$\frac{i_{qt}'}{i_{qt}} = \frac{i_a'}{i_a}$$

或

$$\frac{\left(\frac{i_{qt}'}{i_e}\right)}{\left(\frac{i_{qt}}{i_e}\right)} = \frac{i_a'}{i_a}$$

$$\left(\frac{i_{qt}'}{i_e}\right) = \frac{i_a'}{i_a} \cdot \left(\frac{i_{qt}}{i_e}\right) \quad (1-18)$$

命 $\left(\frac{i_{qt}'}{i_e}\right)$ 等于技术条件上将容差计算在内的起动电流的最大允许值，则得到起动电流的控制公式为：

$$i_a' \leq \frac{\left[\frac{i_{qt}}{i_e}\right]_{\max}}{\left(\frac{i_{qt}}{i_e}\right)} \cdot i_a$$

3. 功率因数

由异步电动机的向量图(图 1—7)可知，功率因数决定于空载电流 i_o 、满载时的电抗电流 i_x 和满载时的有功电流 i_p 的大小。

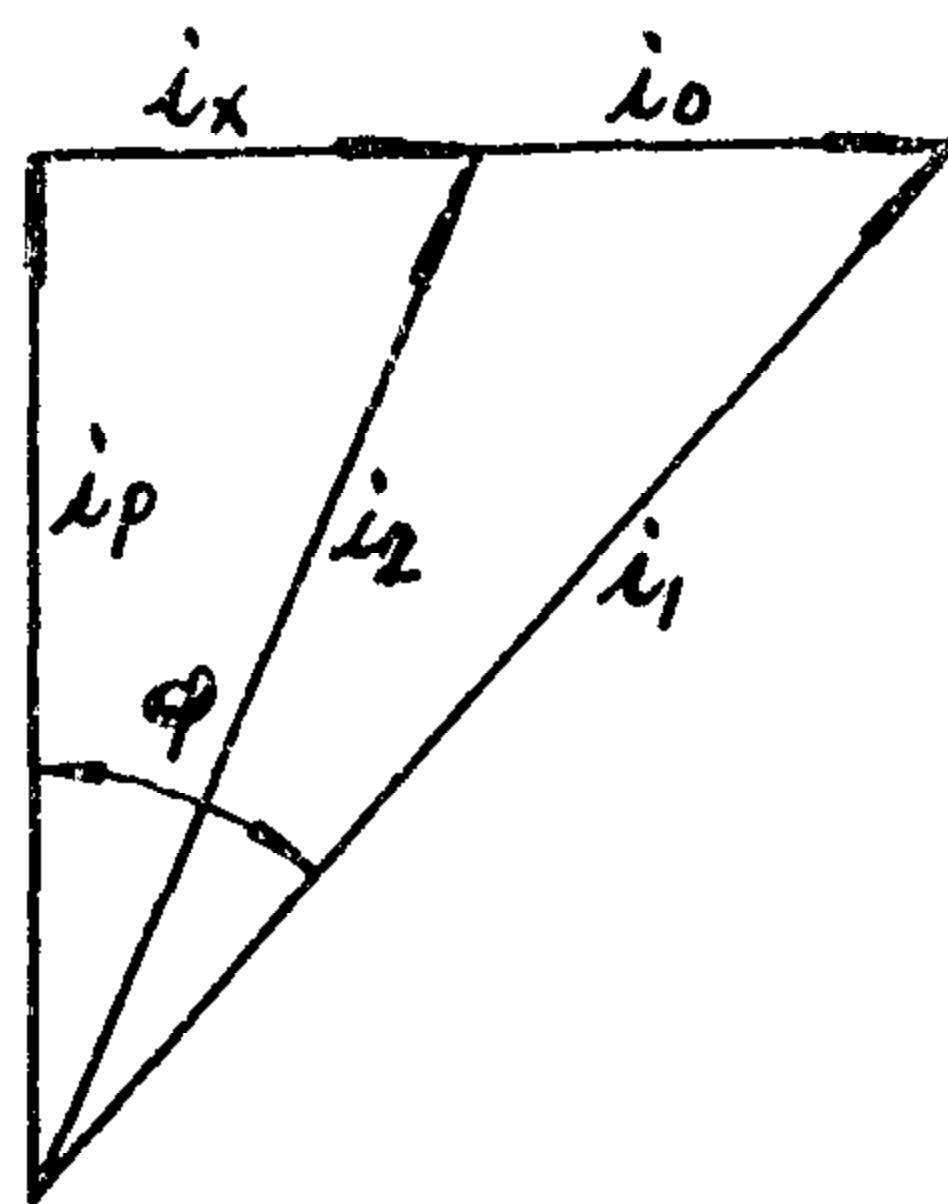


图 1—7 异步电动机的向量图

即

$$\cos \phi = \frac{i_p}{\sqrt{i_p^2 + (i_x + i_o)^2}} \quad (1-19)$$

检查试验的电机， i_o ， i_x 和 i_p 很可能改变。

设检查试验的电机，和型式试验的电机比较，空载电流由 i_o 增为 $i_o + \Delta i_o$ ，电抗电流由 i_x 增为 $i_x + \Delta i_x$ ，有功电流由 i_p 增为 $i_p + \Delta i_p$ ，假设 Δi_o 、 Δi_x 和 Δi_p 的数值不大，则由(1—19)式得到功率因数的增量为：

$$\begin{aligned} \Delta \cos \phi &= \frac{\partial \cos \phi}{\partial i_p} \cdot \Delta i_p + \frac{\partial \cos \phi}{\partial i_x} \cdot \Delta i_x + \frac{\partial \cos \phi}{\partial i_o} \cdot \Delta i_o \\ &= \frac{(i_x + i_o)^2}{[i_p^2 + (i_x + i_o)^2]^{3/2}} \cdot \Delta i_p - \frac{i_p(i_x + i_o)}{[i_p^2 + (i_x + i_o)^2]^{3/2}} \cdot \Delta i_x \\ &\quad - \frac{i_p(i_x + i_o)}{[i_p^2 + (i_x + i_o)^2]^{3/2}} \cdot \Delta i_o \end{aligned}$$

因为，

$$\sqrt{i_p^2 + (i_x + i_o)^2} = i_1$$

$$\frac{i_x + i_0}{\sqrt{i_P^2 + (i_x + i_0)^2}} = \sin \phi$$

$$\frac{i_P}{\sqrt{i_P^2 + (i_x + i_0)^2}} = \cos \phi$$

所以,

$$\Delta \cos \phi = \frac{\Delta i_P}{i_1} \sin^2 \phi - \frac{\Delta i_x}{i_1} \cos \phi \cdot \sin \phi - \frac{\Delta i_0}{i_1} \cos \phi \sin \phi \quad (1-20)$$

下面分别计算 Δi_P 和 Δi_x 的值。

(1) 设检查试验的电机, 和型式试验的电机比较, 总损耗的增加为 ΔP , 则因为,

$$i_P = \frac{P_1}{3U_e} = \frac{P_2 + \Sigma P}{3U_e}$$

$$i_P' = \frac{P_1'}{3U_e} = \frac{P_2 + \Sigma P + \Delta P}{3U_e}$$

所以,

$$\Delta i_P = i_P' - i_P = \frac{\Delta P}{3U_e} \quad (1-21)$$

(2) 根据异步电动机的简化圆图(图1—8),

$$\begin{aligned} i_x &= R - a \\ &= R - \sqrt{R^2 - i_P^2} \\ &= \frac{U_e}{2x_{de}} - \sqrt{\left(\frac{U_e}{2x_{de}}\right)^2 - i_P^2} \\ &= \frac{U_e}{2x_{de}} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2x_{de}i_P}{U_e}\right)^2} \right] \\ &= \frac{U_e}{2x_{de}} \left\{ 1 - \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{2x_{de}i_P}{U_e}\right)^2 - \frac{1}{8} \left(\frac{2x_{de}i_P}{U_e}\right)^4 \dots \dots \dots \right] \right\} \\ &= \frac{U_e}{2x_{de}} \left(\frac{2x_{de}^2 i_P^2}{U_e^2} + \frac{2x_{de}^4 i_P^4}{U_e^4} \right) \\ &= \frac{x_{de} i_P^2}{U_e} + \frac{x_{de}^3 i_P^4}{U_e^3} \end{aligned}$$

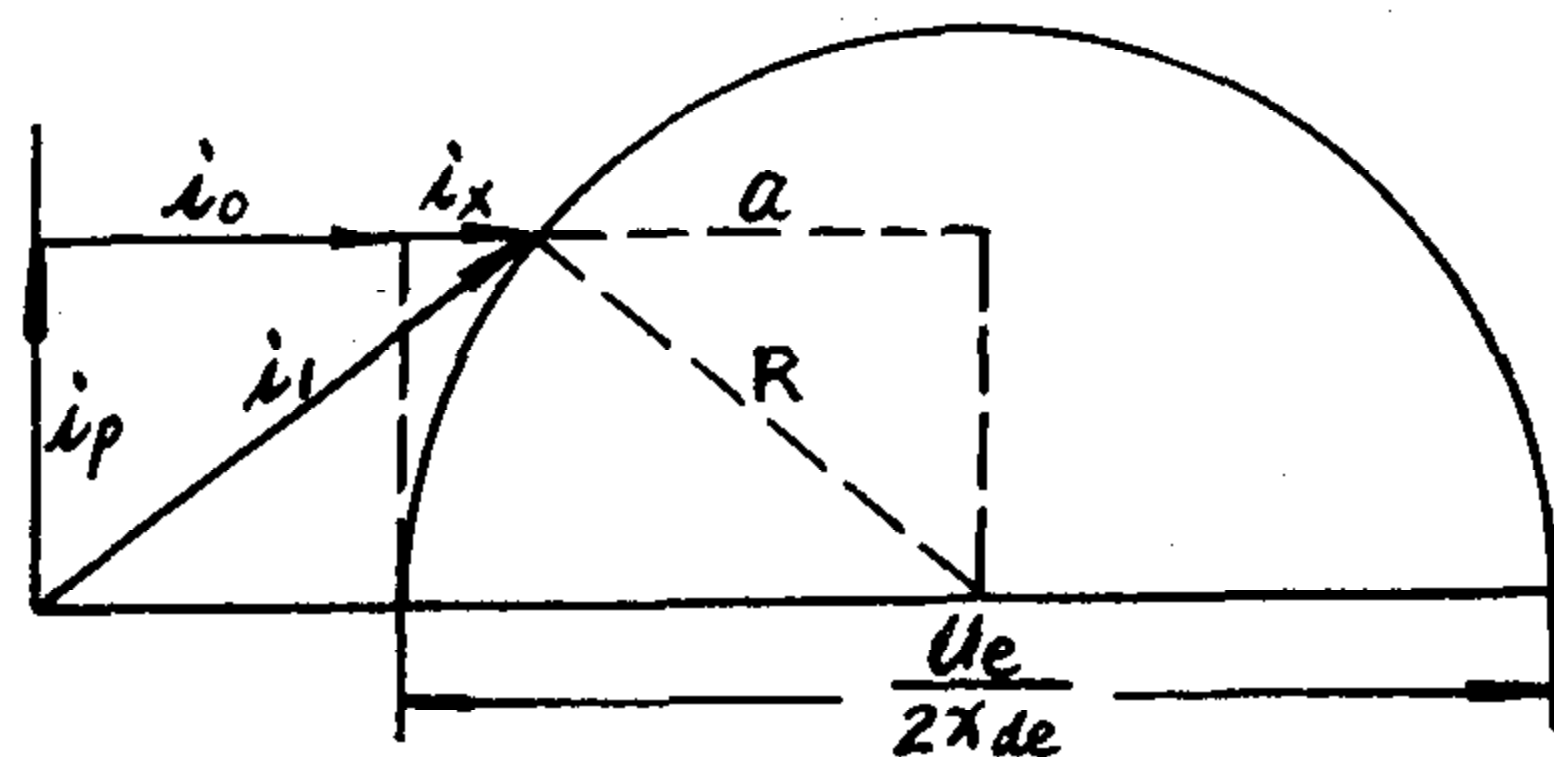


图 1—8 异步电动机的简化圆图

表1—1

电动机的额定电压 (伏)	短 路 电 压 (伏)
220	60
380	100
660	170
3000	800
6000	1400

x_{de} 为额定电流时电机的短路漏抗。试验方法 G B 1032—68中规定, 检查试验的电机, 仅在表1—1所示的电压时测定短路电流和短路损耗, 此时, 短路电流与额定电流的差别, 一般不大于 $\pm 20\%$, 漏磁磁路饱和情况的改变, 可以忽视, 因此,

$$x_d = x_{de}$$

又因为 $r_1^2 \ll x_d^2$, 所以,

$$x_d \approx Z_d = \frac{U_d}{i_d}$$

所以,

$$i_x = \frac{U_d}{U_e} \cdot \frac{i_P^2}{i_d} + \left(\frac{U_d}{U_e} \right)^3 \frac{i_P^4}{i_d^3} \quad (1-22)$$

当 i_d 和 i_P 改变时, i_x 改变的值为:

$$\begin{aligned} \Delta i_x &= \frac{\partial i_x}{\partial i_P} \cdot \Delta i_P + \frac{\partial i_x}{\partial i_d} \cdot \Delta i_d \\ &= 2A \Delta i_P - B \Delta i_d \end{aligned} \quad (1-23)$$

式中,

$$\begin{aligned} A &= \frac{U_d}{U_e} \cdot \frac{i_P}{i_d} + 2 \left(\frac{U_d}{U_e} \right)^3 \left(\frac{i_P}{i_d} \right)^3 \\ B &= \frac{U_d}{U_e} \left(\frac{i_P}{i_d} \right)^2 + 3 \left(\frac{U_d}{U_e} \right)^3 \left(\frac{i_P}{i_d} \right)^4 \end{aligned}$$

将 (1—21)、(1—23) 式代 (1—20) 式, 化简,

$$\begin{aligned} \Delta \cos \phi &= \frac{\cos \phi \sin \phi (\sin \phi - 2A \cos \phi) \eta}{P_2} \cdot \Delta P \\ &\quad + \frac{B \cos \phi \cdot \sin \phi}{i_1} \Delta i_d - \frac{\cos \phi \cdot \sin \phi}{i_1} \cdot \Delta i_o \end{aligned} \quad (1-24)$$

$$\cos \phi' = \cos \phi + \Delta \cos \phi$$

$$\begin{aligned} &= \cos \phi + \frac{\cos \phi \cdot \sin \phi (\sin \phi - 2A \cos \phi) \cdot \eta}{P_2} \cdot \Delta P \\ &\quad + \frac{B \cos \phi \cdot \sin \phi}{i_1} \cdot \Delta i_d - \frac{\cos \phi \cdot \sin \phi}{i_1} \Delta i_o \end{aligned} \quad (1-25)$$

在上式中,

第1项为型式试验电机的功率因数。

第2项为检查试验电机，由于总损耗改变而使有功电流和电抗电流改变，由此而引起的功率因数改变的值。

第3项为检查试验电机，由于短路电流改变，说明电机的短路漏抗有了改变，满载时的电抗电流有了改变，由此而引起的功率因数改变的值。

第4项为检查试验电机，由于空载电流改变而使功率因数改变的值。

为了说明那些因素可以忽略，那些因素不应忽略，下面做定量分析。

考虑一般的情况，设

$$\cos \phi = 0.85$$

$$\eta = 85\%$$

$$i_d \approx i_1$$

$$\frac{i_o}{i_1} = 40\%$$

则，

$$\begin{aligned} A &= \frac{U_d}{U_e} \cdot \frac{i_P}{i_d} + 2 \left(\frac{U_d}{U_e} \right)^3 \left(\frac{i_P}{i_d} \right)^3 \\ &= \frac{100}{380} \times 0.85 + 2 \left(\frac{100}{380} \times 0.85 \right)^3 = 0.2468 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B &= \frac{U_d}{U_e} \left(\frac{i_P}{i_d} \right)^2 + 3 \left(\frac{U_d}{U_e} \right)^3 \left(\frac{i_P}{i_d} \right)^4 \\ &= \frac{100}{380} \times 0.85^2 + 3 \left(\frac{100}{380} \right)^3 \times 0.85^4 = 0.2185 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\cos \phi \sin \phi (\sin \phi - 2A \cos \phi) \eta \\ &= 0.85 \times 0.527 (0.527 - 2 \times 0.2185 \times 0.85) \times 0.85 = 0.041 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &B \cos \phi \sin \phi \\ &= 0.2185 \times 0.85 \times 0.527 = 0.098 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\cos \phi \sin \phi \\ &= 0.85 \times 0.527 = 0.48 \end{aligned}$$

所以，

$$\cos \phi' = \cos \phi + 0.041 \frac{\Delta P}{P_2} + 0.098 \frac{\Delta i_d}{i_1} - 0.48 \frac{\Delta i_o}{i_1}$$

$$\begin{aligned} \frac{\Delta \cos \phi}{\cos \phi} &= \frac{\cos \phi' - \cos \phi}{\cos \phi} \\ &= \frac{0.041}{0.85} \cdot \frac{\Delta P}{P_2} + \frac{0.098}{0.85} \cdot \frac{\Delta i_d}{i_1} - \frac{0.48}{0.85} \cdot \frac{\Delta i_o}{i_1} \\ &= 0.048 \frac{\Delta P}{P_2} + 0.125 \frac{\Delta i_d}{i_1} - 0.565 \frac{\Delta i_o}{i_1} \end{aligned}$$

又因为，

$$\begin{aligned}\frac{\Delta P}{P_2} &= \frac{\Sigma P}{P_2} \cdot \frac{\Delta P}{\Sigma P} = \frac{\frac{P_2}{\eta} - P_2}{P_2} \cdot \frac{\Delta P}{\Sigma P} = \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right) \cdot \frac{\Delta P}{\Sigma P} \\ &= \left(\frac{1}{0.85} - 1 \right) \frac{\Delta P}{\Sigma P} = 0.176 \frac{\Delta P}{\Sigma P}\end{aligned}$$

$$\frac{\Delta i_d}{i_1} \approx \frac{\Delta i_d}{i_d}$$

$$\frac{\Delta i_o}{i_1} = \frac{i_o}{i_1} \cdot \frac{\Delta i_o}{i_o} = 0.4 \frac{\Delta i_o}{i_o}$$

所以,

$$\begin{aligned}\frac{\Delta \cos \phi}{\cos \phi} &= 0.048 \times 0.176 \frac{\Delta P}{\Sigma P} + 0.125 \frac{\Delta i_d}{i_d} - 0.565 \times 0.4 \frac{\Delta i_o}{i_o} \\ &= 0.00845 \frac{\Delta P}{\Sigma P} + 0.125 \frac{\Delta i_d}{i_d} - 0.226 \frac{\Delta i_o}{i_o}\end{aligned}$$

由上式可知,在所举的例子中,当总损耗变化10%时 $\left(\frac{\Delta P}{\Sigma P} = 10\%\right)$,功率因数变化0.0845%;当短路电流变化10%时 $\left(\frac{\Delta i_d}{i_d} = 10\%\right)$,功率因数变化1.25%;当空载电流变化10%时 $\left(\frac{\Delta i_o}{i_o} = 10\%\right)$,功率因数变化2.26%。

由此可见,在(1—15)式中,由于总损耗改变而使有功电流和电抗电流改变,由此而引起的功率因数改变的值,是很小的,为了简化计算,可以将它忽略。所以,

$$\cos \phi' = \cos \phi \left(1 + \frac{B \Delta i_d - \Delta i_o}{i_1} \sin \phi \right)$$

或,

$$\cos \phi' = \cos \phi \left[1 + \frac{B(i_d' - i_d) - (i_o' - i_o)}{i_1} \sin \phi \right] \quad (1-26)$$

命 $\cos \phi'$ 等于技术条件上将容差计算在内的功率因数的最小允许值,则得到功率因数的控制公式为:

$$i_o' \leq i_o + \frac{\cos \phi - [\cos \phi]_{min}}{\cos \phi \cdot \sin \phi} \cdot i_1 + B(i_d' - i_d)$$

按 $[\cos \phi]_{min}$ 、 $\left[\frac{M_{max}}{M_e} \right]_{min}$ 和 $\left[\frac{i_{qt}}{i_e} \right]_{max}$ 建立的 $i_o' - i_d'$ 合格区,如图1—1所示,这个合格区的物理意义是,从图1—7可知,在 $[\cos \phi]_{min}$ 条件下, ϕ 角是一个定值,因此,检查试验的电动机,当短路试验采用恒电压法时,若短路电流大,则说明其漏抗小,满载时的电抗电流小,空载电流的最大允许值,允许大一些;反之,若短路电流小,则说明其漏抗大,满载时的电抗电流大,空载电流的最大允许值,应当小一些。

4. 效率

设检查试验电机总损耗的增加为 ΔP ,则因为,

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Sigma P}$$

所以, 效率的增量为:

$$\begin{aligned}\Delta \eta &= \frac{d\eta}{d\Sigma P} \cdot \Delta P = - \frac{P_2}{(P_2 + \Sigma P)^2} \cdot \Delta P \\ &= - \left(\frac{P_2}{P_2 + \Sigma P} \right)^2 \cdot \frac{\Delta P}{P_2} = - \frac{\eta^2 \cdot \Delta P}{P_2}\end{aligned}$$

检查试验电机的效率为

$$\eta' = \eta + \Delta \eta = \eta \left(1 - \frac{\eta \cdot \Delta P}{P_2} \right) \quad (1-27)$$

ΔP 包括三部份:

(1) 空载损耗的增加

$$\Delta P_o = P_o' - P_o \quad (1-28)$$

(2) 定子铜耗的增加

因为,

$$P_{t1} = 3i_1^2 r_1$$

所以,

$$\begin{aligned}\Delta P_{t1} &= \frac{\partial P_{t1}}{\partial r_1} \cdot \Delta r_1 + \frac{\partial P_{t1}}{\partial i_1} \cdot \Delta i_1 \\ &= 3i_1^2 r_1 \left(\frac{\Delta r_1}{r_1} + \frac{2\Delta i_1}{i_1} \right)\end{aligned} \quad (1-29)$$

又因为,

$$i_1 = \frac{P_2 + \Sigma P}{3U_e \cos \phi}$$

所以,

$$\begin{aligned}\Delta i_1 &= \frac{\partial i_1}{\partial \Sigma P} \cdot \Delta P + \frac{\partial i_1}{\partial \cos \phi} \cdot \Delta \cos \phi \\ &= \frac{\Delta P}{3U_e \cos \phi} - \frac{P_2 + \Sigma P}{3U_e \cos^2 \phi} \cdot \Delta \cos \phi \\ &= \frac{P_2 + \Sigma P}{3U_e \cos \phi} \left(\frac{\Delta P}{P_2 + \Sigma P} - \frac{\Delta \cos \phi}{\cos \phi} \right) \\ &= i_1 \left(\frac{\eta \cdot \Delta P}{P_2} + \frac{\Delta i_o - B \Delta i_a}{i_1} \sin \phi \right)\end{aligned} \quad (1-30)$$

代入 (1-29) 式,

$$\Delta P_{t1} = P_{t1} \left(\frac{\Delta r_1}{r_1} + \frac{2\eta \Delta P}{P_2} + 2 \frac{\Delta i_o - B \Delta i_a}{i_1} \sin \phi \right) \quad (1-31)$$

(3) 转子铜耗的增加

因为,

$$P_{t2} = 3i_2^2 r_2 = 3(i_P^2 + i_x^2) r_2$$

所以,

$$\begin{aligned}\Delta P_{t2} &= \frac{\partial P_{t2}}{\partial i_P} \cdot \Delta i_P + \frac{\partial P_{t2}}{\partial i_x} \cdot \Delta i_x + \frac{\partial P_{t2}}{\partial r_2} \cdot \Delta r_2 \\ &= 6i_P r_2 \Delta i_P + 6i_x r_2 \Delta i_x + 3(i_P^2 + i_x^2) \Delta r_2\end{aligned}$$

根据 (1—21) 和 (1—23) 式,

$$\begin{aligned}\Delta i_P &= \frac{\Delta P}{3U_e} = \frac{i_P \Delta P}{3U_e i_1 \cos \phi} = \frac{i_P \Delta P}{P_1} = \frac{i_P \cdot \eta \cdot \Delta P}{P_2} \\ \Delta i_x &= 2A \Delta i_P - B \Delta i_d\end{aligned}$$

代入上式,

$$\begin{aligned}\Delta P_{t2} &= 6r_2 [i_P \Delta i_P + i_x (2A \Delta i_P - B \Delta i_d)] + 3(i_P^2 + i_x^2) r_2 \cdot \frac{\Delta r_2}{r_2} \\ &= 6r_2 \left[i_P^2 \cdot \frac{\eta \cdot \Delta P}{P_2} 2A i_P i_x \cdot \frac{\eta \cdot \Delta P}{P_2} - B i_x \Delta i_d \right] + P_{t2} \cdot \frac{\Delta r_2}{r_2} \\ &= 6r_2 \left[(i_P^2 + i_x^2) \frac{\eta \cdot \Delta P}{P_2} + (2A i_P i_x - i_x^2) \frac{\eta \cdot \Delta P}{P_2} - B i_x \cdot \Delta i_d \right] + P_{t2} \frac{\Delta r_2}{r_2} \\ &= P_{t2} \left(\frac{2\eta \Delta P}{P_2} + \frac{\Delta r_2}{r_2} \right) + \left[(2A i_P - i_x) \frac{\eta \cdot \Delta P}{P_2} - B \Delta i_d \right] 6i_x r_2\end{aligned}$$

式中,

$$\begin{aligned}& \left[(2A i_P - i_x) \frac{\eta \cdot \Delta P}{P_2} - B \Delta i_d \right] 6i_x r_2 \\ &= \left\{ \left[2 \frac{U_d}{U_e} \cdot \frac{i_P}{i_d} \cdot i_P + 4 \left(\frac{U_d}{U_e} \right)^3 \left(\frac{i_P}{i_d} \right)^3 \cdot i_P - \frac{U_d}{U_e} \cdot \frac{i_P}{i_d} \cdot i_P \right. \right. \\ & \quad \left. \left. - \left(\frac{U_d}{U_e} \right)^3 \left(\frac{i_P}{i_d} \right)^3 i_P \right] \cdot \frac{\eta \cdot \Delta P}{P_2} - B \Delta i_d \right\} 6i_x r_2 \\ &= \left\{ \left[\frac{U_d}{U_e} \left(\frac{i_P}{i_d} \right)^2 i_d + 3 \left(\frac{U_d}{U_e} \right)^3 \left(\frac{i_P}{i_d} \right)^4 i_d \right] \frac{\eta \cdot \Delta P}{P_2} - B i_d \cdot \frac{\Delta i_d}{i_d} \right\} \\ & \quad \cdot 6 \left[\frac{U_d}{U_e} \cdot \frac{i_P}{i_d} + \left(\frac{U_d}{U_e} \right)^3 \left(\frac{i_P}{i_d} \right)^3 \right] i_P r_2 \\ &= \left[\frac{\eta \cdot \Delta P}{P_2} - \frac{\Delta i_d}{i_d} \right] 6BC i_P i_d r_2 \\ &= \left(\frac{\eta \cdot \Delta P}{P_2} - \frac{\Delta i_d}{i_d} \right) 3(i_P^2 + i_x^2) r_2 \frac{2BC i_P i_d}{i_P^2 + i_x^2} \\ &= P_{t2} \left(\frac{\eta \cdot \Delta P}{P_2} - \frac{\Delta i_d}{i_d} \right) \cdot \frac{2BC i_P i_d}{i_P^2 + (C i_P)^2} \\ &= P_{t2} \left(\frac{\eta \cdot \Delta P}{P_2} - \frac{\Delta i_d}{i_d} \right) \frac{2BC}{1 + C^2} \cdot \frac{i_d}{i_P}\end{aligned}$$

式中,

$$C = \frac{U_d}{U_e} \cdot \frac{i_P}{i_d} + \left(\frac{U_d}{U_e} \right)^3 \left(\frac{i_P}{i_d} \right)^3$$

所以,

$$\Delta P_{t2} = P_{t2} \left[\frac{2\eta \cdot \Delta P}{P_2} + \frac{\Delta r_2}{r_2} + \frac{2BC}{1+C^2} \cdot \frac{i_d}{i_P} \left(\frac{\eta \cdot \Delta P}{P_2} - \frac{\Delta i_d}{i_d} \right) \right]$$

对于用同一设计制造的电动机, 短路时转子电流的集肤效应所引起的转子电阻的增加, 差别不大, 因而可假设运转时的转子电阻和短路时的转子电阻之比相同, 即:

$$\frac{r_2'}{r_{d2}'} = \frac{r_2}{r_{d2}}$$

或,

$$\frac{r_2'}{r_2} = \frac{r_{d2}'}{r_{d2}} = \frac{r_d' - r_{d1}'}{r_d - r_{d1}}$$

式中,

$$r_d = \frac{P_d}{3i_d^2}, \quad r_d' = \frac{P_d'}{3i_d'^2}$$

所以,

$$\frac{\Delta r_2}{r_2} = \frac{r_2' - r_2}{r_2} = \frac{r_2'}{r_2} - 1 = \frac{r_d' - r_{d1}'}{r_d - r_{d1}} - 1$$

$$\Delta P_{t2} = P_{t2} \left[\frac{2\eta \Delta P}{P_2} + \left(\frac{r_d' - r_{d1}'}{r_d - r_{d1}} - 1 \right) + \frac{2BC}{1+C^2} \cdot \frac{i_d}{i_P} \left(\frac{\eta \cdot \Delta P}{P_2} - \frac{\Delta i_d}{i_d} \right) \right] \quad (1-32)$$

为了说明那些因素可以忽略, 那些因素不应忽略, 下面也进行定量分析。

考虑一般情况, 仍假设:

$$\cos \phi = 0.85$$

$$\eta = 85\%$$

$$i_d \approx i_1$$

为讨论方便, 还假设:

$$r_{d1}' = r_{d1} = \text{常数}$$

$$r_{d1} \approx 0.5r_d$$

于是,

$$C = \frac{U_d}{U_e} \cdot \frac{i_P}{i_d} + \left(\frac{U_d}{U_e} \right)^3 \left(\frac{i_P}{i_d} \right)^3 = \frac{100}{380} \times 0.85 + \left(\frac{100}{380} \times 0.85 \right)^3 = 0.2352$$

$$\frac{\eta \cdot \Delta P}{P_2} = \eta \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right) \frac{\Delta P}{\Sigma P} = 0.85 \left(\frac{1}{0.85} - 1 \right) \frac{\Delta P}{\Sigma P} = 0.1495 \frac{\Delta P}{\Sigma P}$$

$$\frac{r_d' - r_{d1}'}{r_d - r_{d1}} - 1 = \frac{r_d' - r_d}{r_d - r_{d1}} = \frac{\Delta r_d}{r_d - r_{d1}} = \frac{r_d}{r_d - r_{d1}} \cdot \frac{\Delta r_d}{r_d} = 2 \frac{\Delta r_d}{r_d}$$

$$\frac{2BC}{1+C^2} \cdot \frac{i_d}{i_P} = \frac{2 \times 0.2185 \times 0.2352}{1 + (0.2352)^2} \times \frac{1}{0.85} = 0.0115$$

由 (1-32) 式,

$$\begin{aligned} \frac{\Delta P_{t2}}{P_{t2}} &= 2 \times 0.1495 \frac{\Delta P}{\Sigma P} + 2 \frac{\Delta r_2}{r_2} + 0.0115 \left(0.1495 \frac{\Delta P}{\Sigma P} - \frac{\Delta i_d}{i_d} \right) \\ &= 0.299 \frac{\Delta P}{\Sigma P} + 2 \frac{\Delta r_2}{r_2} + \left(0.00172 \frac{\Delta P}{\Sigma P} - 0.0115 \frac{\Delta i_d}{i_d} \right) \end{aligned}$$

由上式可知，在所举的例子中：

第1项：当总损耗变化10%时，转子铜耗变化2.99%。

第2项：当短路电阻变化10%时，转子铜耗变化20%。

第3项：当总损耗变化10%时，转子铜耗变化0.0172%；当短路电流变化10%时，转子铜耗变化0.115%。

由此可见，在(1—32)式中，中括弧内最后一项，影响是很小的，为了简化计算，将它忽略，所以，

$$\Delta P_{t2} = P_{t2} \left(\frac{2\eta\Delta P}{P_2} + \frac{r_{d'} - r_{d1'}}{r_d - r_{d1}} - 1 \right) \quad (1-33)$$

所以，检查试验电机总损耗的增加为：

$$\begin{aligned} \Delta P &= \Delta P_o + \Delta P_{t1} + \Delta P_{t2} \\ &= P_o' - P_o + \left[\frac{r_1' - r_1}{r_1} + \frac{2\eta\Delta P}{P_2} + 2 \frac{(i_o' - i_o) - B(i_d - i_d)}{i_1} \right. \\ &\quad \left. \cdot \sin \phi \right] P_{t1} + \left(\frac{2\eta\Delta P}{P_2} + \frac{r_{d'} - r_{d1'}}{r_d - r_{d1}} - 1 \right) P_{t2} \end{aligned} \quad (1-34)$$

或，

$$\Delta P = \frac{P_o' - P_o + \left[\frac{r_1' - r_1}{r_1} + 2 \frac{(i_o' - i_o) - B(i_d' - i_d)}{i_1} \sin \phi \right] P_{t1} + \left(\frac{r_{d'} - r_{d1'}}{r_d - r_{d1}} - 1 \right) P_{t2}}{1 - \frac{2\eta(P_{t1} + P_{t2})}{P_2}} \quad (1-35)$$

在(1—27)式中，命 η' 等于技术条件上将容差计算在内的效率的最低值，则得到检查试验电机总损耗的允许增量为：

$$[\Delta P]_{max} = \frac{\eta - [\eta]_{min}}{\eta^2} \cdot P_2$$

成批生产的电动机，定子绕组的电阻，变化不大，因而可假设 $r_1' = r_1 = \text{常数}$ ， $r_{d1}' = r_{d1} = \text{常数}$ ，所以，根据(1—35)式，效率的控制公式为：

$$P_o' \leq P_o + K_1 [\Delta P]_{max} + K_2 B(i_d' - i_d) - K_2(i_o' - i_o) - K_3(r_{d'} - r_d)$$

式中，

$$K_1 = 1 - \frac{2\eta(P_{t1} + P_{t2})}{P_2}$$

$$K_2 = \frac{2P_{t1} \sin \phi}{i_1}$$

$$K_3 = \frac{P_{t2}}{r_d - r_{d1}}$$

命 $i_d' = i_d$ 和 $i_o' = c_1, c_2, c_3, \dots$ ，建立 $P_o' - r_{d'}$ 、 i_o' 合格区。由于 B 的值不大（ B 一般小于0.30）， $(i_d' - i_d)$ 的系数 $K_2 B$ 也不大，在一般情况下，比如短路电流的变化不是很大，以及空载损耗的值不是接近合格界限时，不会引起大的误差。虽然这样，检查试验的

电动机，当空载损耗接近合格界限时，为了准确起见，须按上式根据其短路电流、空载电流和短路电阻的试验值，算出这台电动机在最低效率时的空载损耗的最大允许值，以决定其是否合格。

5. 转差率

转差率为转子铜耗和转子输入之比，因满载时输出功率不变，转子输入可假定不变，所以，转差率和转子铜耗成正比。即：

$$\frac{S'}{S} = \frac{P_{t2}'}{P_{t2}} = 1 + \frac{\Delta P_{t2}}{P_{t2}} = \frac{2\eta\Delta P}{P_2} + \frac{r_{d1}' - r_{d1}}{r_d - r_{d1}}$$

$$S' = \left(\frac{2\eta\Delta P}{P_2} + \frac{r_{d1}' - r_{d1}}{r_d - r_{d1}} \right) S \quad (1-36)$$

命 S' 等于技术条件上将容差计算在内的转差率的最大允许值，并考虑 $r_{d1}' = r_{d1} = \text{常数}$ ，则得到转差率的控制公式为：

$$r_{d1}' \leq \left(\frac{[S]_{max}}{S} - \frac{2\eta\Delta P}{P_2} \right) (r_d - r_{d1}) + r_{d1}$$

考虑不利的情况，取 $\Delta P = [\Delta P]_{max}$ ，所以，

$$r_{d1}' \leq \left(\frac{[S]_{max}}{S} - \frac{2\eta[\Delta P]_{max}}{P_2} \right) (r_d - r_{d1}) + r_{d1}$$

对于转差率在技术条件上无规定的电动机，短路电阻的值，毋须限制，因此，在 $P_o' - r_{d1}'$ ， i_o' 合格区中，按 $[S]_{max}$ 建立的合格界限，可以取消。

6. 起动转矩

在电机设计中，计算起动转矩倍数和起动电流的公式为：

$$\left(\frac{M_{qt}}{M_e} \right) = \frac{\overline{r_{2(qt)}}}{Z_{qt}^2} (1 - S)$$

$$i_{qt} = \frac{i_{KW}}{Z_{qt}}$$

忽略 $1 - S$ 的变化，则：

$$\begin{aligned} \frac{\left(\frac{M_{qt}'}{M_e'} \right)}{\left(\frac{M_{qt}}{M_e} \right)} &= \left(\frac{i_{qt}'}{i_{qt}} \right)^2 \cdot \frac{r_{2(qt)}'}{r_{2(qt)}} \\ &= \left(\frac{i_{d1}'}{i_{d1}} \right)^2 \frac{r_{d2}'}{r_{d2}} \\ &= \frac{3i_{d1}'^2 r_{d2}'}{3i_{d1}^2 r_{d2}} \end{aligned}$$

即，

$$\frac{\left(\frac{M_{qt}'}{M_e'} \right)}{\left(\frac{M_{qt}}{M_e} \right)} = \frac{P_{d1}' - 3i_{d1}'^2 r_{d1}'}{P_{d1} - 3i_{d1}^2 r_{d1}}$$

$$\left(\frac{M_{qt}'}{M_e'}\right) = \frac{P_d' - 3i_d'^2 r_{d1}'}{P_d - 3i_d^2 r_{d1}} \cdot \left(\frac{M_{qt}}{M_e}\right) \quad (1-37)$$

命 $\left(\frac{M_{qt}'}{M_e'}\right)$ 等于技术条件上将容差计算在内的起动转矩的最小允许值, 则得到起动转矩的控制公式为:

$$P_d' \geq \frac{\left[\frac{M_{qt}}{M_e}\right]_{min}}{\left(\frac{M_{qt}}{M_e}\right)} (P_d - 3i_d^2 r_{d1}) + 3i_d'^2 r_{d1}$$

按上式建立的 $P_d' - i_d'$ 合格区, 如图 1—2 所示。

三、合格区的计算方法 and 应用方法举例

(一) 合格区的计算方法举例

算例: 计算 JQSY250—17 型并用充油式潜水电动机的检查试验参数合格区。

1. 额定数据

$$P_2 = 17 \text{ 千瓦}$$

接法: Y

$$U_e = 380 \text{ 伏}$$

$$n_1 = 3000 \text{ 转/分}$$

2. 样机检查试验编号 17250

2. 样机的检查试验值

$U_e = 380$ 伏时,

$$i_o = 11.7 \text{ 安}$$

$$P_o = 1500 \text{ 瓦}$$

$U_d = 100$ 伏时,

$$i_d = 35.4 \text{ 安}$$

$$P_d = 2660 \text{ 瓦}$$

$$r_d = 0.706 \text{ 欧}$$

r_{d1} 未测量, 取 $r_{d1} = r_1 = 0.434$ 欧

4. 样机的型式试验值

$$r_1 = 0.434 \text{ 欧}$$

$$i_1 = 37.2 \text{ 安}$$

$$P_{t1} = 1803 \text{ 瓦}$$

$$P_{t2} = 730 \text{ 瓦}$$

$$\eta = 80.1\%$$

$$\cos \phi = 0.863$$

$$S = 3.86\%$$

$$\left(\frac{M_{max}}{M_e}\right) = 2.23$$

$$\left(\frac{i_{qt}}{i_e}\right) = 4.36$$

$$\left(\frac{M_{qt}}{M_e}\right) = 1.53$$

5. 技术条件上的保证值和极限值

$$[\eta]_e = 80\%$$

$$[\eta]_{min} = 77\%$$

$$[\cos \phi]_e = 0.81$$

$$[\cos \phi]_{min} = 0.778$$

$$[S]_e = 4.5\%$$

$$\left[\frac{M_{max}}{M_e} \right]_e = 1.8$$

$$\left[\frac{i_{qt}}{i_e} \right]_e = 7$$

$$\left[\frac{M_{qt}}{M_e} \right]_e = 1.2$$

$$[S]_{max} = 4.95\%$$

$$\left[\frac{M_{max}}{M_e} \right]_{min} = 1.62$$

$$\left[\frac{i_{qt}}{i_e} \right]_{max} = 8.4$$

$$\left[\frac{M_{qt}}{M_e} \right]_{min} = 1.08$$

6. 《优等品》合格区

(1) $i_o' - i_d'$ 合格区

按 $\left[\frac{M_{max}}{M_e} \right]_e = 1.8$ 建立的界限:

$$i_d' \geq \frac{\frac{U_d}{\sqrt{3}}}{\frac{\left(\frac{M_{max}}{M_e} \right)}{\left[\frac{M_{max}}{M_e} \right]_e} \left(r_1 + \frac{U_d}{\sqrt{3} i_d} \right) - r_1}$$

$$i_d' \geq \frac{\frac{100}{\sqrt{3}}}{\frac{2.23}{1.8} \left(0.434 + \frac{100}{\sqrt{3} \times 35.4} \right) - 0.434}$$

$$i_d' \geq 27.2 \text{ 安}$$

按 $\left[\frac{i_{qt}}{i_e} \right]_e = 7$ 建立的界限:

$$i_d' \leq \frac{\left[\frac{i_{qt}}{i_e} \right]_e}{\left(\frac{i_{qt}}{i_e} \right)} \cdot i_d$$

$$i_d' \leq \frac{7}{4.36} \times 35.4$$

$$i_d' \leq 56.8 \text{ 安}$$

按 $[\delta]_{min}$ 建立的界限:

$$i_o' \geq 0.85 i_o$$

$$i_o' \geq 0.85 \times 11.7$$

$$i_o \geq 9.95 \text{ 安}$$

按 $[\cos \phi]_e = 0.81$ 建立的界限:

$$i_P = i_1 \cos \phi = 37.2 \times 0.863 = 32.15 \text{ 安}$$

$$\begin{aligned} B &= \frac{U_d}{U_e} \left(\frac{i_P}{i_d} \right)^2 + 3 \left(\frac{U_d}{U_e} \right)^3 \left(\frac{i_P}{i_d} \right)^4 \\ &= \frac{100}{380} \left(\frac{32.15}{35.4} \right)^2 + 3 \left(\frac{100}{380} \right)^3 \left(\frac{32.15}{35.4} \right)^4 \\ &= 0.2536 \end{aligned}$$

$$i_o' \leq i_o + \frac{\cos \phi - [\cos \phi]_e}{\cos \phi \sin \phi} \cdot i_1 + B(i_a' - i_a)$$

$$i_o' \leq 11.7 + \frac{0.863 - 0.81}{0.863 \times 0.5052} \times 37.2 + 0.2536(i_a' - 35.4)$$

$$i_o' \leq 7.25 + 0.2536i_a' \text{ 安}$$

(2) $P_a' - i_a'$ 合格区

按 $\left[\frac{M_{qt}}{M_e}\right]_e = 1.2$ 建立的界限:

$$P_a' \geq \frac{\left[\frac{M_{qt}}{M_e}\right]_e}{\left(\frac{M_{qt}}{M_e}\right)} (P_a - 3i_a'^2 r_{a1}) + 3i_a'^2 r_{a1}$$

$$P_a' \geq \frac{1.2}{1.53} (2660 - 3 \times 35.4^2 \times 0.434) + 3i_a'^2 \times 0.434$$

$$P_a' \geq 807 + 1.302i_a'^2 \text{ 瓦}$$

(3) $P_o' - r_a'$ 、 i_o' 合格区

$$[\Delta P] = \frac{\eta - [\eta]_e}{\eta^2} P_2 = \frac{0.801 - 0.80}{0.801^2} \times 17000 = 26.5 \text{ 瓦}$$

$$K_1 = 1 - \frac{2\eta(P_{t1} + P_{t2})}{P_2} = 1 - \frac{2 \times 0.801(1803 + 730)}{17000} = 0.7615$$

$$K_2 = \frac{2P_{t1} \sin \phi}{i_1} = \frac{2 \times 1803 \times 0.5052}{37.2} = 49$$

$$K_3 = \frac{P_{t2}}{r_a - r_{a1}} = \frac{730}{0.706 - 0.434} = 2682$$

按 $[S]_e$ 建立的界限:

$$r_a' \leq \left(\frac{[S]_e}{S} - \frac{2\eta[\Delta P]}{P_2} \right) (r_a - r_{a1}) + r_{a1}$$

$$r_a' \leq \left(\frac{4.5}{3.86} - \frac{2 \times 0.801 \times 26.5}{17000} \right) (0.706 - 0.434) + 0.434$$

$$r_a' \leq 0.751 \text{ 欧}$$

按 $[\eta]_e = 80\%$ 建立的界限:

$$P_o' \leq P_o + K_1[\Delta P] + K_2B(i_a' - i_a) - K_2(i_o' - i_o) - K_3(r_a' - r_a)$$

$$P_o' \leq 1500 + 0.7615 \times 26.5 + 49 \times 0.2536(i_a' - 35.4) - 49(i_o' - 11.7)$$

$$- 2682(r_a' - 0.706)$$

$$P_o' \leq 1520 + 12.42(i_a' - 35.4) - 49(i_o' - 11.7) - 2682(r_a' - r_a)$$

命 $i_a' = 35.4$ 安和 $i_o' = 10, 11, 12, \dots, 18$ 安, 建立 $P_o' - r_a'$ 、 i_o' 合格区。

按保证值建立的《优等品》合格区, 如图 1—9、1—10和 1—11中虚线所示。

7. 《合格品》合格区

(1) $i_o' - i_a'$ 合格区

按 $\left[\frac{M_{max}}{M_e} \right]_{min} = 1.62$ 建立的界限:

$$i_a' \geq \frac{\frac{U_d}{\sqrt{3}}}{\frac{\left(\frac{M_{max}}{M_e} \right)}{\left[\frac{M_{max}}{M_e} \right]_{min}} \left(r_1 + \frac{U_d}{\sqrt{3} i_a} \right) - r_1}$$

$$i_a' \geq \frac{\frac{100}{\sqrt{3}}}{\frac{2.26}{1.62} \left(0.434 + \frac{100}{\sqrt{3} \times 35.4} \right) - 0.434}$$

$$i_a' \geq 24 \text{ 安}$$

按 $\left[\frac{i_{qt}}{i_e} \right]_{max} = 8.4$ 建立的界限:

$$i_a' \leq \frac{\left[\frac{i_{qt}}{i_e} \right]_{max} \cdot i_d}{\left(\frac{i_{qt}}{i_e} \right)}$$

$$i_a' \leq \frac{8.4}{4.36} \times 35.4$$

$$i_a' \leq 68.2 \text{ 安}$$

按 $[\cos \phi]_{min} = 0.778$ 建立的界限:

$$i_o' \leq i_o + \frac{\cos \phi - [\cos \phi]_{min}}{\cos \phi \cdot \sin \phi} i_1 + B(i_a' - i_a)$$

$$i_o' \leq 11.7 + \frac{0.863 - 0.778}{0.863 \times 0.5052} \times 37.2 + 0.2536(i_a' - 35.4)$$

$$i_o' \leq 9.97 + 0.2536 i_a' \text{ 安}$$

(2) $P_d' - i_a'$ 合格区

按 $\left[\frac{M_{qt}}{M_e} \right]_{min} = 1.08$ 建立的界限:

$$P_d' \geq \frac{\left[\frac{M_{qt}}{M_e} \right]_{min} (P_d - 3i_a^2 r_{a1}) + 3i_a'^2 r_{a1}}{\left(\frac{M_{qt}}{M_e} \right)}$$

$$P_d' \geq \frac{1.08}{1.53} (2660 - 3 \times 35.4^2 \times 0.434) + 3i_a'^2 \times 0.434$$

$$P_d' \geq 726 + 1.302 i_a'^2 \text{ 瓦}$$

(3) $P_o' - r_a'、i_o'$ 合格区

$$[\Delta P]_{max} = \frac{\eta - [\eta]_{min}}{\eta^2} P_2 = \frac{0.801 - 0.77}{0.801^2} \times 17000 = 821 \text{ 瓦}$$

按 $[S]_{max} = 4.95\%$ 建立的界限:

$$r_a' \leq \left(\frac{[S]_{max}}{S} - \frac{2\eta[\Delta P]_{max}}{P_2} \right) (r_a - r_{a1}) + r_{a1}$$

$$r_a' \leq \left(\frac{4.95}{3.86} - \frac{2 \times 0.801 \times 821}{17000} \right) (0.706 - 0.434) + 0.434$$

$$r_a' \leq 0.762 \text{ 欧}$$

按 $[\eta]_{min} = 77\%$ 建立界限:

$$P_o' \leq P_o + K_1[\Delta P]_{max} + K_2 B(i_a' - i_a) - K_2(i_o' - i_o) - K_3(r_a' - r_a)$$

$$P_o' \leq 1500 + 0.7615 \times 821 + 49 \times 0.2536(i_a' - 35.4)$$

$$- 49(i_o' - 11.7) - 2682(r_a' - 0.706)$$

$$P_o' \leq 2125 + 12.42(i_a' - i_a) - 49(i_o' - i_o) - 2682(r_a' - r_a)$$

命 $i_a' = 35.4$ 安和 $i_o' = 10、11、\dots\dots 18$ 安, 建立 $P_o' - i_o'、r_a'$ 合格区。

按极限值建立的《合格品》合格区, 如图 1—9、图 1—10 和图 1—11 中实线所示。

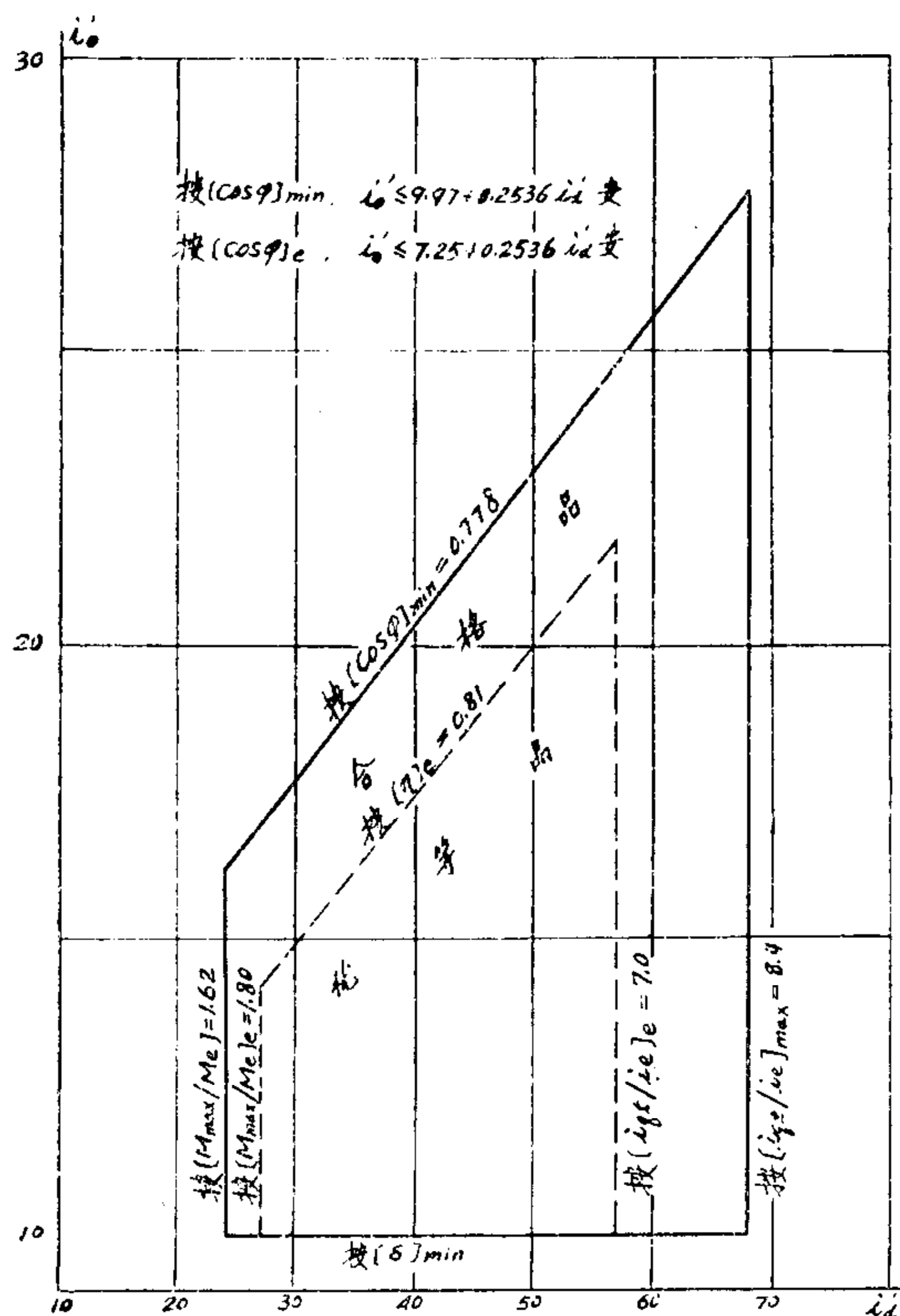


图 1—9 JQSY250—17 $i_o' - i_a'$ 合格区

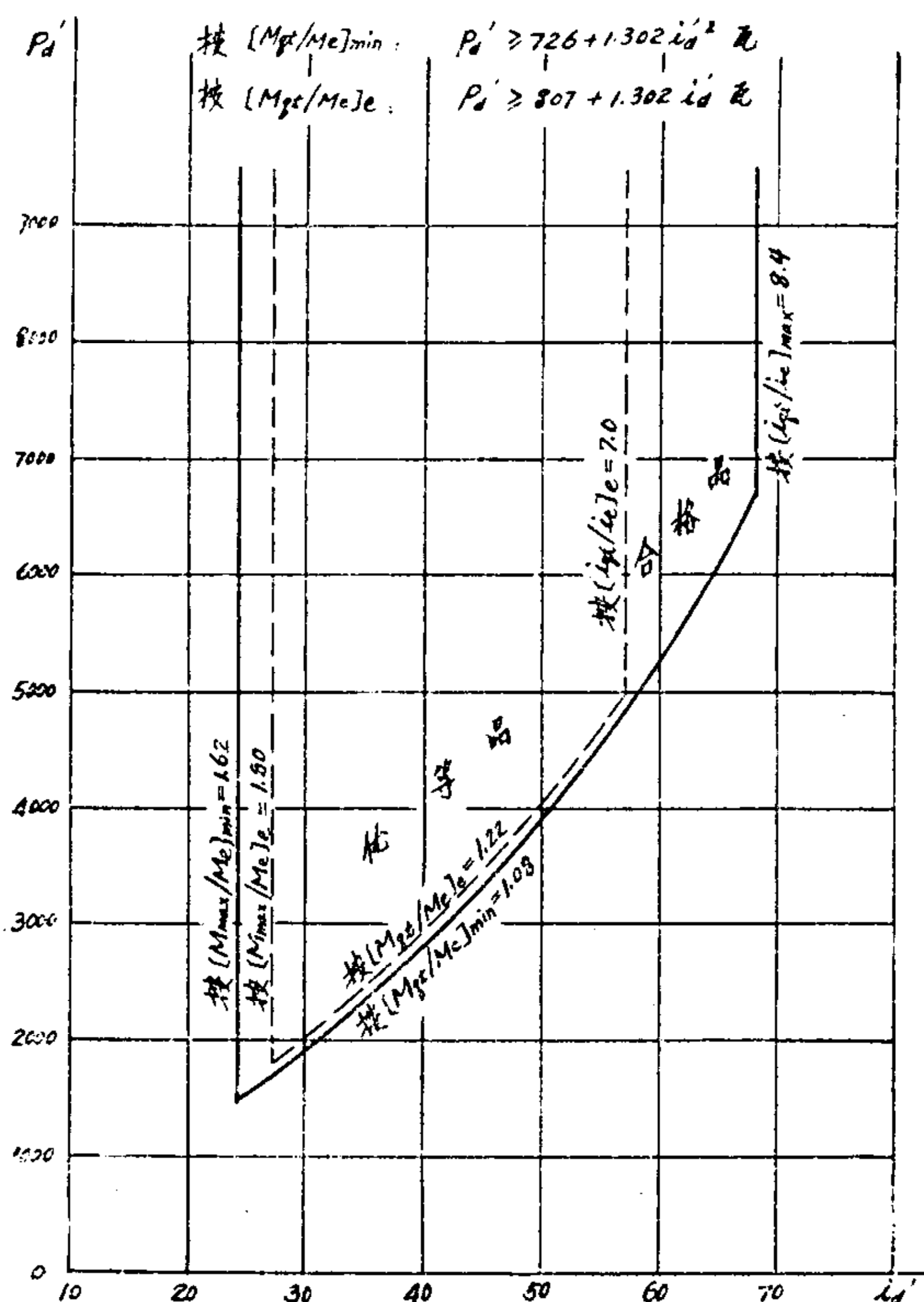


图 1—10 JQSY250—17 $P_a' - i_a'$ 合格区

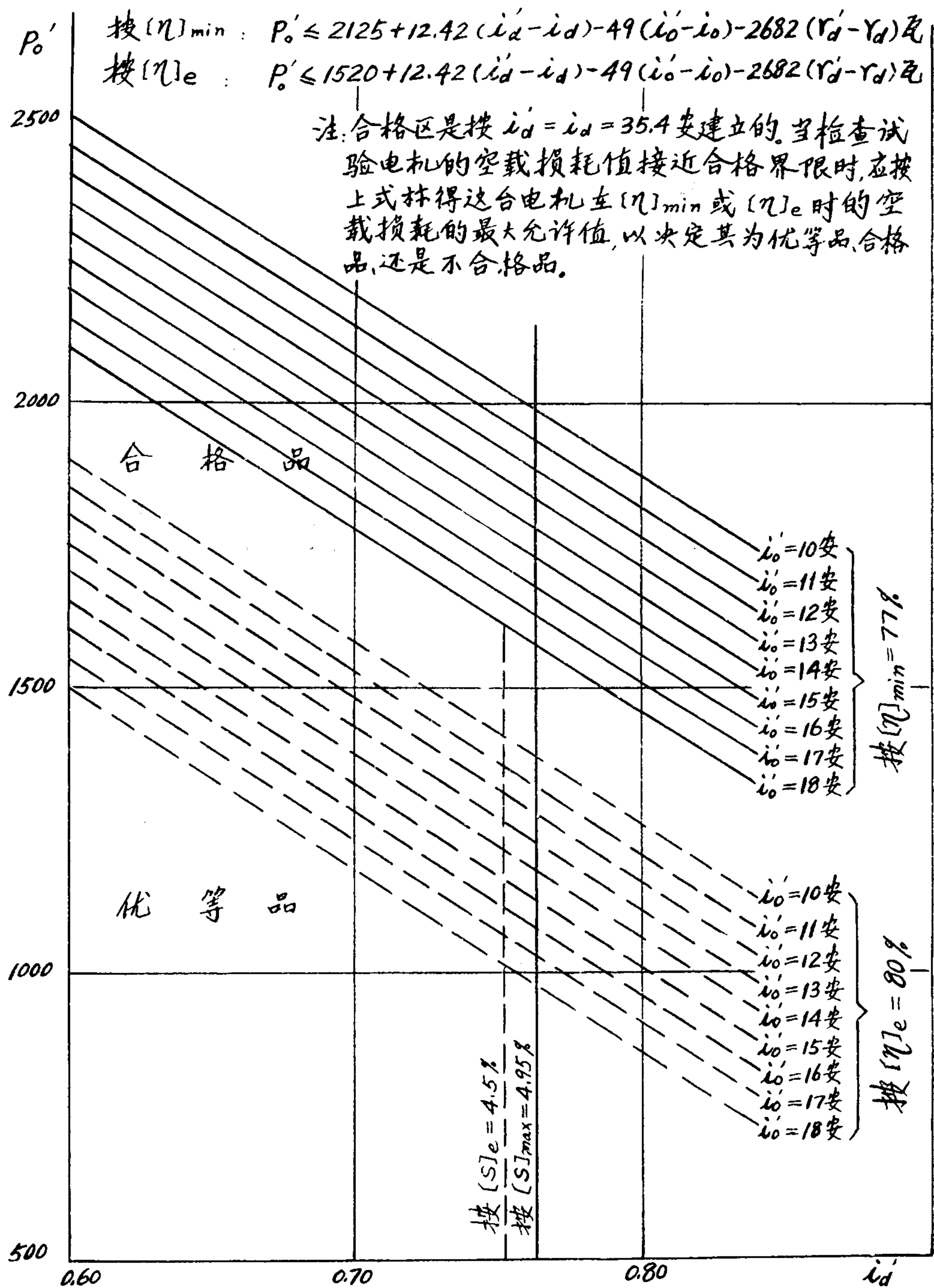


图 1—11 JQSY 250—17 P_0' — r_d' 、 i_0' 合格品

(二) 合格区的应用方法举例

例 1、电机编号 17261

检查试验参数为:

$$U_e = 380 \text{ 伏}, i_o' = 11.74 \text{ 安} \quad P_o' = 1412 \text{ 瓦}.$$

$$U_a = 100 \text{ 伏}, i_a' = 34.95 \text{ 安} \quad P_a' = 2600 \text{ 瓦} \quad r_a' = 0.707 \text{ 欧}$$

(1) 按 $i_o' - i_a'$ 合格区 (图 1—9), $i_a' = 34.95$ 安和 $i_o' = 11.74$ 安的交点, 在《优等品》合格区内, 合格。

(2) 按 $P_a' - i_a'$ 合格区 (图 1—10), $i_a' = 34.95$ 安和 $P_a' = 2600$ 瓦的交点, 在《优等品》合格区内, 合格。

(3) 按 $P_o' - r_a' - i_o'$ 合格区 (图 1—11), $r_a' = 0.707$ 欧和 $P_o' = 1412$ 瓦的交点, 按 $i_o' = 11.74$ 安考虑, 在《优等品》合格区内, 合格。

结论: 合格, 优等品。

注: 型式试验值如下: $\eta' = 80.13\%$, $\cos \phi' = 0.865$, $S' = 4.05\% \cdot \left(\frac{M_{max}'}{M_e'}\right) = 2.16$,
 $\left(\frac{i_{qt}'}{i_e}\right) = 4.48$, $\left(\frac{M_{qt}'}{M_e'}\right) = 1.55$, 均不吃容差, 为优等品。

例 2、电机编号 17202

检查试验参数为:

$$U_e = 380 \text{ 伏}, i_o' = 16.35 \text{ 安}, P_o' = 1905 \text{ 瓦}.$$

$$U_a = 100 \text{ 伏}, i_a' = 38 \text{ 安}, P_a' = 2990 \text{ 瓦}, r_a' = 0.69 \text{ 欧}$$

(1) 按 $i_o' - i_a'$ 合格区 (图 1—9), $i_a' = 38$ 安和 $i_o' = 16.35$ 安的交点, 在《优等品》合格区内, 合格。

(2) 按 $P_a' - i_a'$ 合格区 (图 1—10), $i_a' = 38$ 安和 $P_a' = 2990$ 瓦的交点, 在《优等品》合格区内, 合格。

(3) 按 $P_o' - r_a' - i_o'$ 合格区 (图 1—11), $r_a' = 0.69$ 欧和 $P_o' = 1905$ 瓦的交点, 按 $i_o' = 16.35$ 安考虑, 在《合格品》合格区内, 合格, 效率吃容差。

因为 P_o' 的值, 接近合格界限, 为了准确起见, 算出这台电机效率为保证值和最低值时空载损耗的最大允许值如下:

效率为保证值时:

$$P_o' \leq 1520 + 12.42(i_a' - 35.4) - 49(i_o' - 11.7) - 2682(r_a' - 0.706)$$

$$P_o' \leq 1520 + 12.42(38 - 35.4) - 49(16.35 - 11.7) - 2682(0.69 - 0.706)$$

$$P_o' \leq 1370.4 \text{ 瓦}$$

效率为最低值时:

$$P_o' \leq 2125 + 12.42(i_a' - 35.4) - 49(i_o' - 11.7) - 2682(r_a - 0.706)$$

$$P_o' \leq 2125 + 12.42(38 - 35.4) - 49(16.35 - 11.7) - 2682(0.69 - 0.706)$$

$$P_o' \leq 1972.4 \text{ 瓦}$$

$P_o' = 1905$ 瓦, 大于 1370.4 瓦, 小于 1972.4 瓦, 故效率合格, 但吃容差。

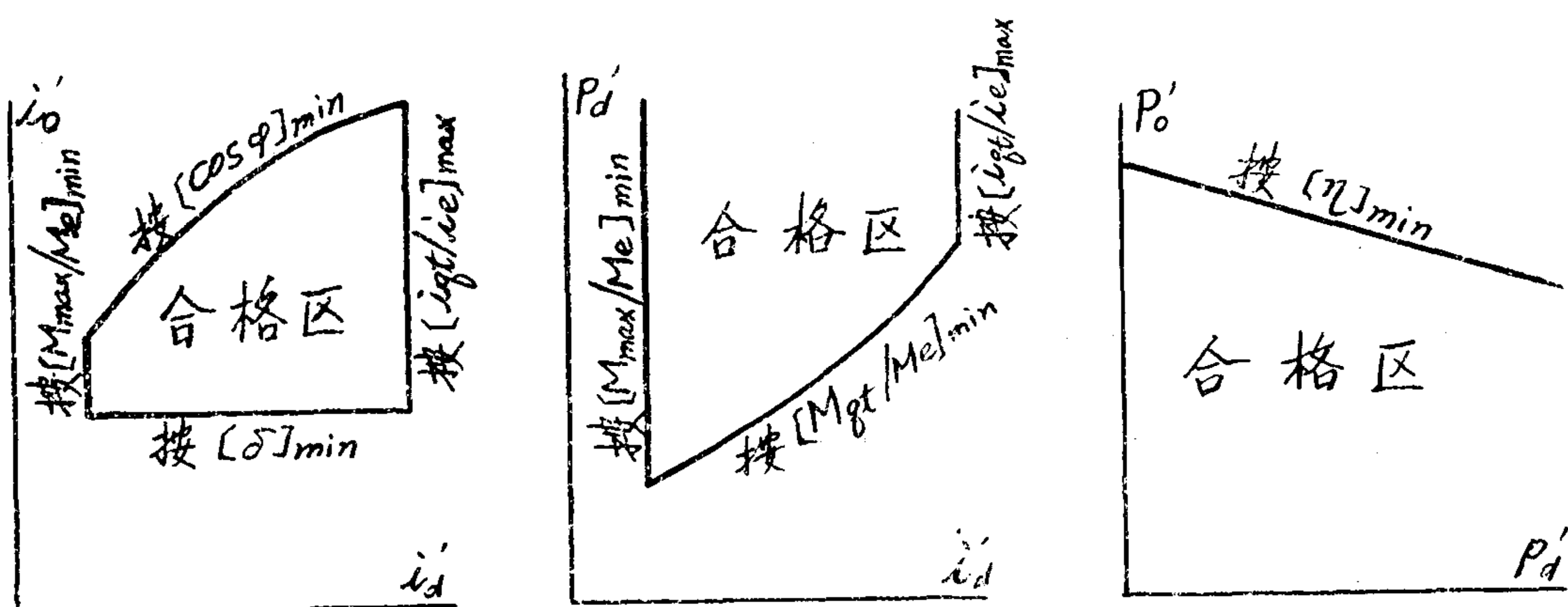
结论: 合格, 合格品, 效率吃容差, 原因: 空载电流大, 空载损耗大。

注: 型式试验值如下: $\eta' = 78.62\%$ (吃容差, $[\eta]_e = 80\%$, $[\eta]_{min} = 77\%$),

$\cos \phi' = 0.8296$, $S' = 4.46\%$, $\left(\frac{M_{max}'}{M_e'}\right) = 2.198$, $\left(\frac{i_{qt}'}{i_e}\right) = 4.51$, $\left(\frac{M_{qt}'}{M_e'}\right) = 1.644$, 均不吃容差。

第二节 和苏联НИИ、МЭП法的比较

我国有些工厂，采用苏联 НИИ、МЭП法（苏联电机制造工业部电工研究所制定的方法），来计算和建立中小型三相异步电动机检查试验参数的合格区。短路试验系采用恒电压法，用 $i_o' - i_d'$ 、 $P_d' - i_d'$ 和 $P_o' - P_d'$ 三个合格区（图 2—1），控制检查试验电机的质量。（见 НИИ.ЭПО.Д.ГОЛЬДЬЕРГ 《异步电动机检查试验参数允许值技术标准 算法》一文，载一九五八年六月第一机械工业部《系列设计和生产工艺考察团考察报告》V—69至 V—82页）。



(a) $i_o' - i_d'$ 合格区

(b) $P_d' - i_d'$ 合格区

(c) $P_o' - P_d'$ 合格区

图2—1 苏联НИИ、МЭП法建立的三个检查试验参数合格区

文章中以 A 92—8 型电动机做为例子，叙述了检查试验参数合格区的计算方法，计算结果如图 2—2、图 2—3 和图 2—4 中实线所示。

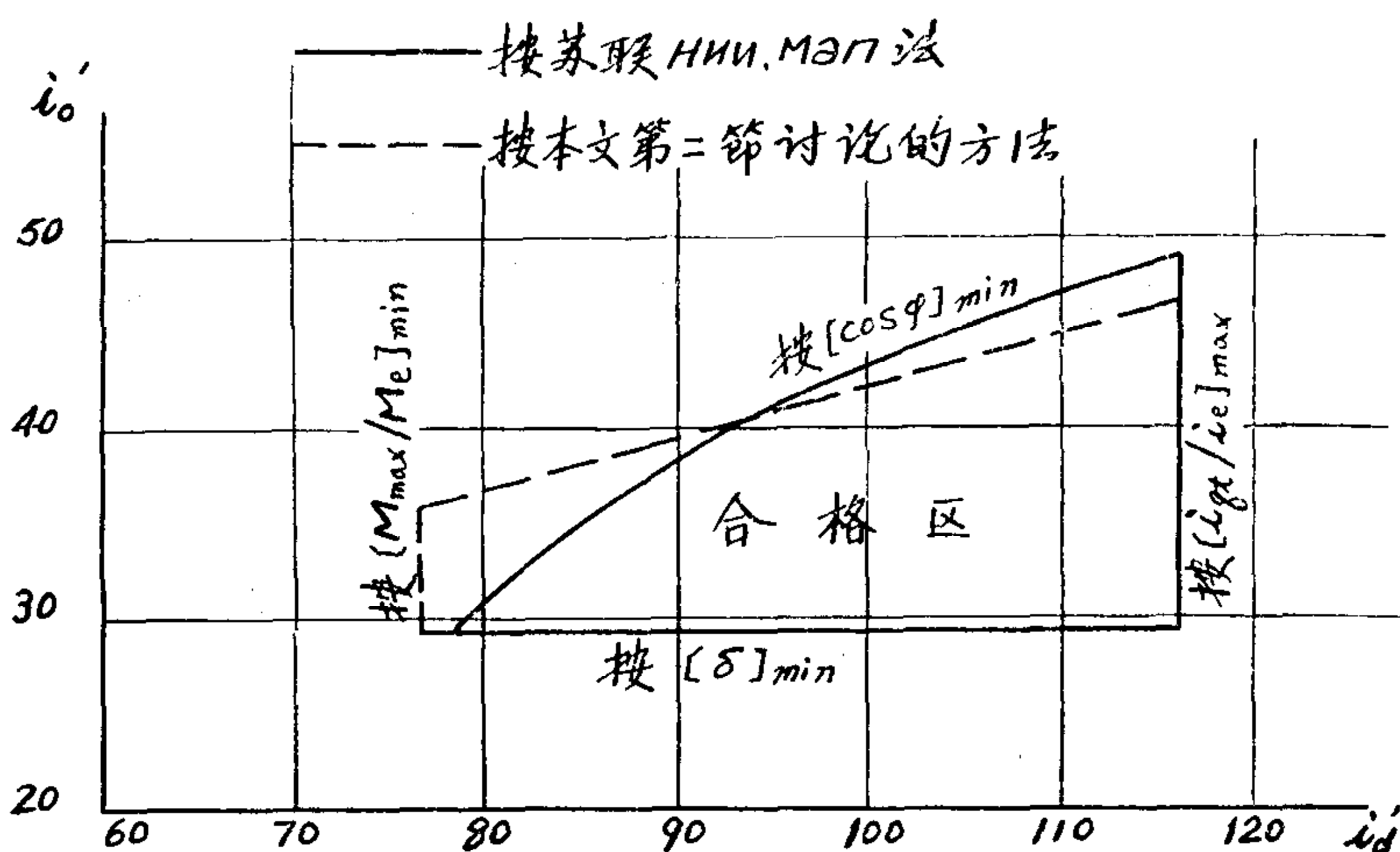


图2—2 A 92—8 $i_o' - i_d'$ 合格区

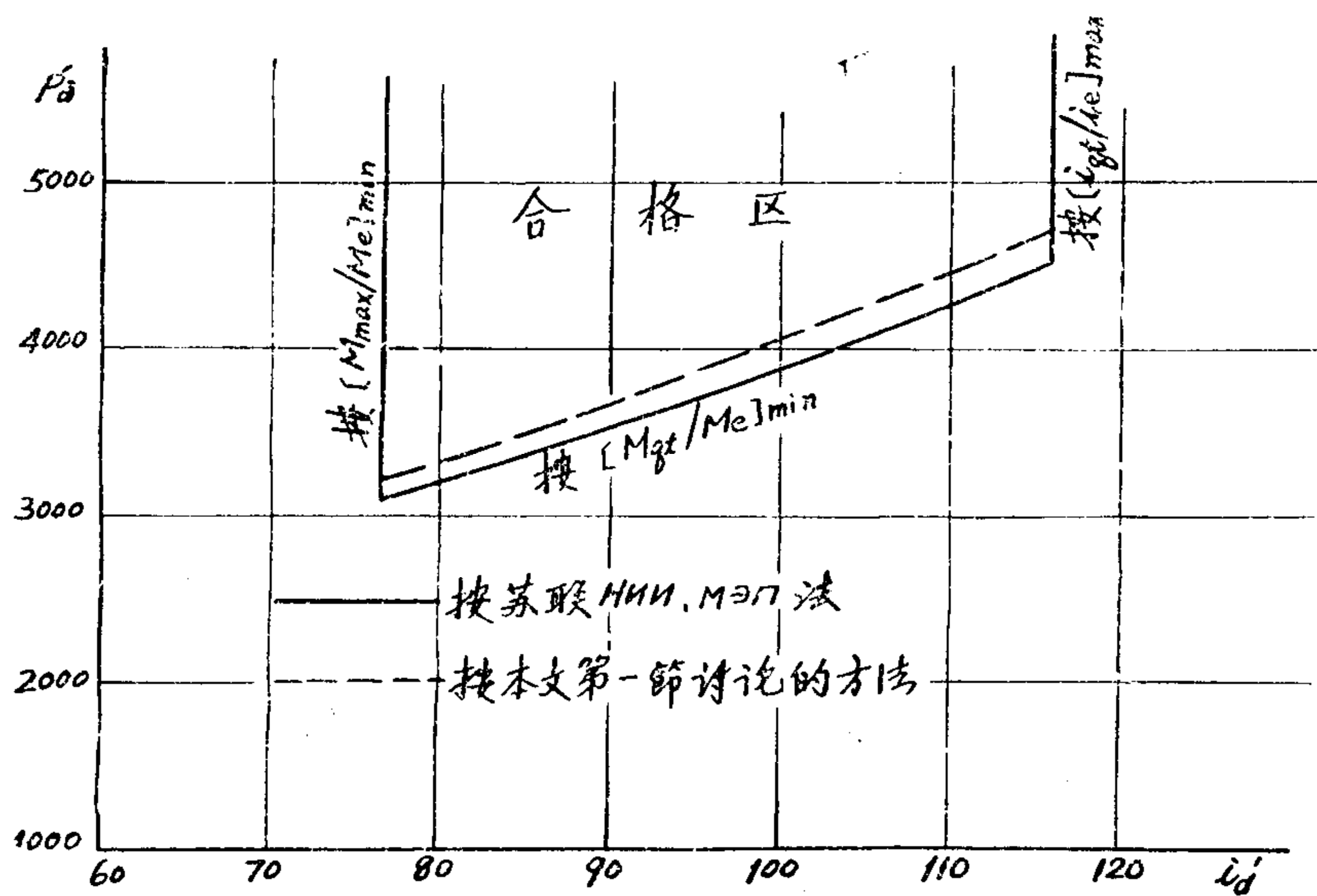
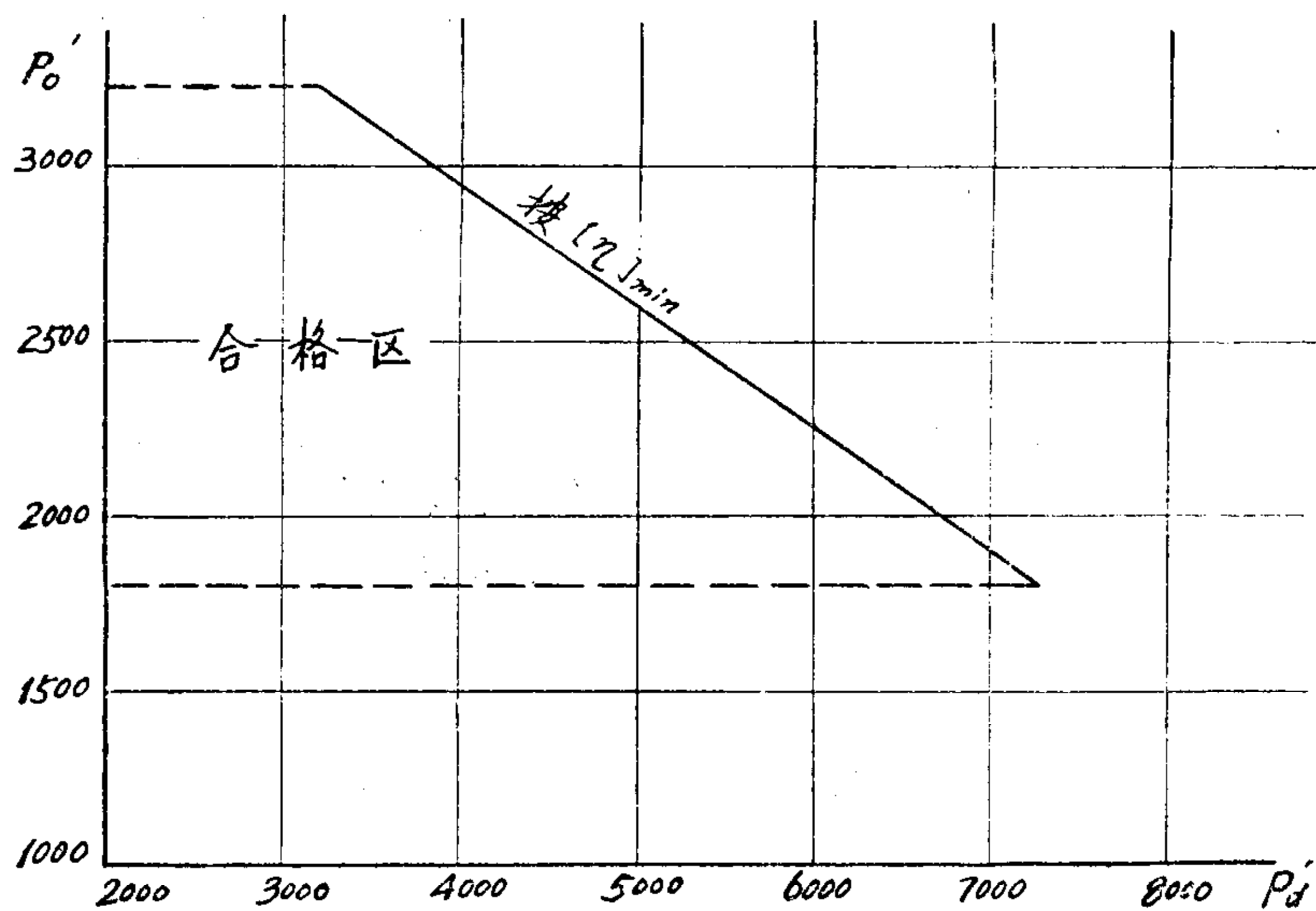
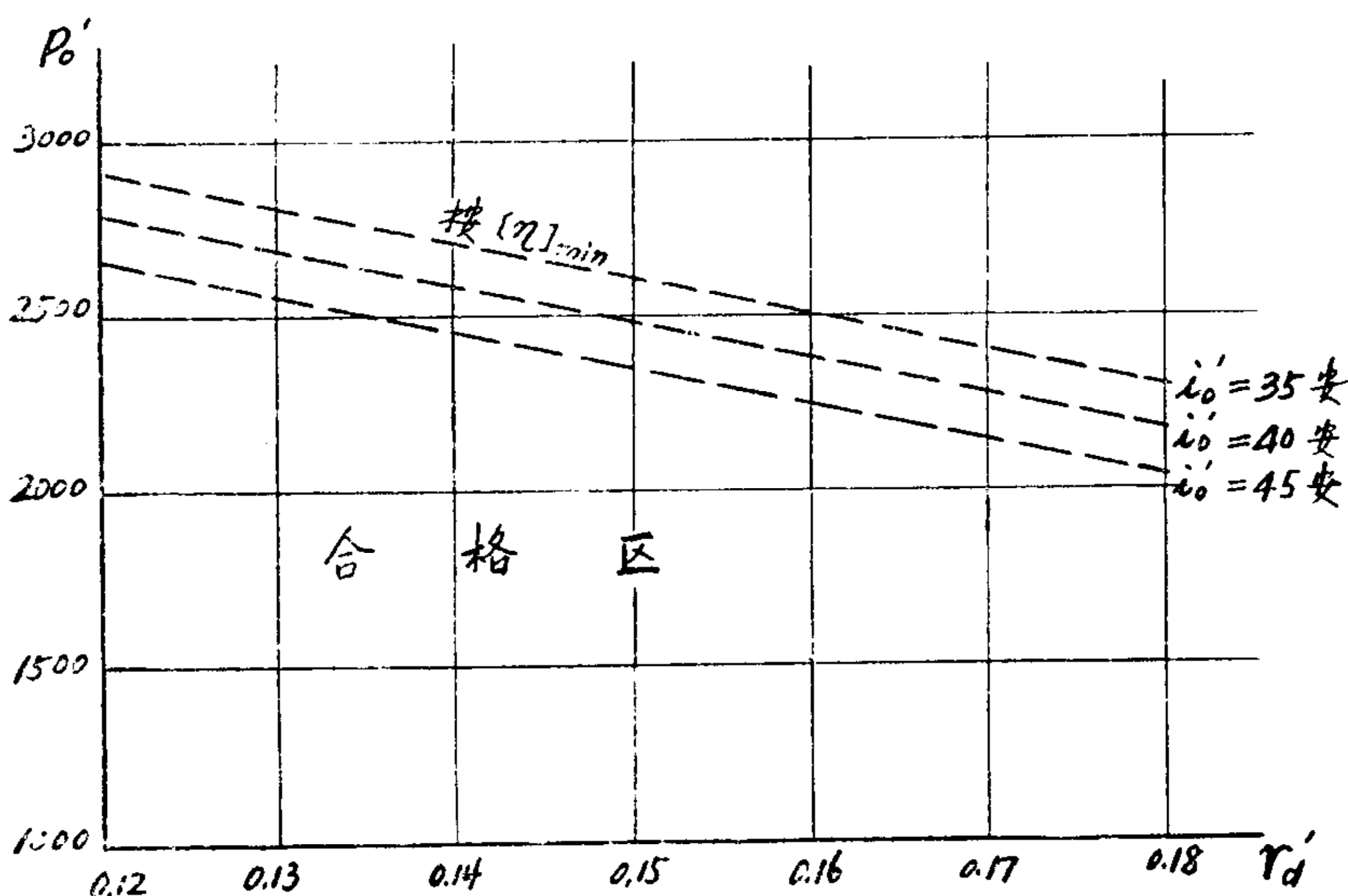


图 2—3 A92—8 P_a' — i_d' 合格区



(a) 按苏联НИИ、МЭП法建立 P_o' — P_a' 合格区

图 2—4 A92—8 按最低效率建立的合格区



(b) 按本文第一节讨论的方法建立 $P_o' - r_d'$ 、 i_o' 合格区

图 2-4 A92-8 按最低效率建立的合格区

为了比较第一节讨论的方法，和苏联НИИ.МЭП法的差别，用第一节讨论的方法，按文章中所举的同一台样机的型式试验值，也进行了A92—8型电动机检查试验参数合格区的计算，计算结果如图2—2、图2—3和图2—4中虚线所示。

从比较可知：

第一，两种方法按功率因数的最小允许值、最大转矩的最小允许值和起动电流的最大允许值建立的合格区，都是 $i_o' - i_d'$ 合格区，而且，计算结果是接近的。

第二，两种方法按起动转矩的最小允许值建立的合格区，都是 $P_d' - i_d'$ 合格区，而且，计算结果也是接近的。

这说明用 $i_o' - i_d'$ 合格区控制检查试验电机的功率因数、最大转矩和起动电流，以及用 $P_d' - i_d'$ 合格区控制检查试验电机的起动转矩，是正确的；也说明两种方法建立 $i_o' - i_d'$ 合格区和 $P_d' - i_d'$ 合格区的方法是正确的。因为，两种方法解决这一问题的途径和所导出的函数关系，完全不同，如果不正确，不可能得到相似的图象和接近的计算结果。

但是，两种方法按效率的最小允许值所建立的合格区，完全不同，前者所建立的为 $P_o' - P_d'$ 合格区（图2—1c），后者所建立的为 $P_o' - r_d'$ 、 i_d' 合格区（图1—3）。

为了弄清楚这个问题，下面分析一下苏联НИИ、МЭП法按最低效率建立 $P_o' - P_d'$ 合格区的方法。

型式试验电机的总损耗为：

$$\Sigma P = P_o - P_{ot1} + P_{t1} + P_{t2} + P_s$$

检查试验电机的总损耗为：

$$\Sigma P' = P_o' - P_{ot1}' + P_{t1}' + P_{t2}' + P_s'$$

检查试验电机在最低效率时的总损耗为：

$$[\Sigma P]_{max} = \frac{1 - [\eta]_{min}}{[\eta]_{min}} \cdot P_2$$

命 $\Sigma P' = [\Sigma P]_{max}$, 则,

$$P_o' \leq [\Sigma P]_{max} + P_{ot1}' - P_{t1}' - P_{t2}' - P_s'$$

假设,

1. $P_{ot1}' = P_{ot1} = \text{常数}$;
2. $P_{t1}' = P_{t1} = \text{常数}$;
3. $P_s' = P_s = \text{常数}$;
4. $P_{t2}' = \frac{P_d' - 3i_d'^2 r_{d1}}{P_d - 3i_d^2 r_{d1}} P_{t2}$.

则,

$$P_o' \leq [\Sigma P]_{max} + P_{ot1} - P_{t1} - P_s - \frac{P_d' - 3i_d'^2 r_{d1}}{P_d - 3i_d^2 r_{d1}} P_{t2} \quad (2-1)$$

按上式建立 $P_o' - P_d'$ 合格区 (图 2-1 c), 控制检查试验电机的效率。

这就是苏联 НИИ、МЭП 法按最低效率建立 $P_o' - P_d'$ 的方法。

这种方法, 存在着以下两个问题:

第一, 在最低效率和最低功率因数条件下, 检查试验的电机, 满载时定子电流的变化, 可以是很大的。所以,

$$P_{t1}' \neq P_{t1} \neq \text{常数}$$

第二, 运转时的转子铜耗和检查试验参数之间的函数关系, 是不正确的。因为, 文章中假设

$$\frac{P_{t2}'}{P_{t2}} = \frac{P_d' - 3i_d'^2 r_{d1}}{P_d - 3i_d^2 r_{d1}}$$

实际上包含着两个假设:

(1) 运转时的转子铜耗和短路试验时的转子铜耗之比相同, 即:

$$\frac{P_{t2}'}{P_{t2}} = \frac{P_d' - 3i_d'^2 r_{d1}'}{P_d - 3i_d^2 r_{d1}}$$

(2) 考虑 $r_{d1}' = r_{d1} = \text{常数}$, 并假设

$$i_d' = i_d = \text{常数}$$

所以

$$\frac{P_{t2}'}{P_{t2}} = \frac{P_d' - 3i_d^2 r_{d1}}{P_d - 3i_d^2 r_{d1}}$$

这两个假设是不是成立呢?

第二个假设是不成立的, 因为, 从 $i_o' - i_d'$ 合格区可知, 检查试验的电机, 在 $\left[\frac{M_{max}}{M_o} \right]_{min}$

和 $\left[\frac{i_{qt}}{i_o} \right]_{max}$ 条件下, 短路电流的变化, 可以是很大的, 所以,

$$i_d' \neq i_d \neq \text{常数}$$

第一个假设也是不成立的, 因为:

运转时的转子铜耗为:

$$P_{t2} = 3i_2^2 r_2$$

短路试验时的转子铜耗为：

$$P_{at2} = 3i_{a2}^2 r_{a2}$$

对于用同一设计制造的电动机，短路时转子电流的集肤效应所引起的转子电阻的增加，差别不大，因而可假设运转时的转子电阻和短路时的转子电阻之比相同，即：

$$\frac{r_2'}{r_{a2}'} = \frac{r_2}{r_{a2}}$$

或

$$\frac{r_2'}{r_2} = \frac{r_{a2}'}{r_{a2}}$$

但是，运转时的转子电流为：

$$i_2 = \sqrt{i_p^2 + i_\omega^2}$$

短路试验时的转子电流为：

$$i_{a2} \approx i_a = \frac{U_a}{Z_a} \approx \frac{U_a}{X_a}$$

当输出功率不变时，总损耗 ΣP 越大， i_p 和 i_ω 越大， i_2 越大。但是， i_{a2} 无变化。当 x_a 越大时， i_ω 越大， i_2 越大。但是， i_{a2} 越小。

所以，

$$\frac{i_2'}{i_2} \neq \frac{i_{a2}'}{i_{a2}}$$

已知，

$$\frac{P_{t2}'}{P_{t2}} = \frac{3i_2'^2 r_2'}{3i_2^2 r_2}$$

$$\frac{P_{at2}'}{P_{at2}} = \frac{3i_{a2}'^2 r_{a2}'}{3i_{a2}^2 r_{a2}} = \frac{P_a' - 3i_a'^2 r_{a1}'}{P_a - 3i_a^2 r_{a1}}$$

虽然，

$$\frac{r_2'}{r_2} = \frac{r_{a2}'^2}{r_{a2}}$$

但是，

$$\frac{i_2'}{i_2} \neq \frac{i_{a2}'}{i_{a2}}$$

所以，

$$\frac{3i_2'^2 r_2'}{3i_2^2 r_2} \neq \frac{3i_{a2}'^2 r_{a2}}{3i_{a2}^2 r_{a2}}$$

即，

$$\frac{P_{t2}'}{P_{t2}} \neq \frac{P_a' - 3i_a'^2 r_{a1}'}{P_a - 3i_a^2 r_{a1}}$$

所以，第一个假设也是不成立的。

由于以上的原因，（2—1）式是不正确的，苏联 НИИ、МЭП 法根据（2--1）式按最低效率所建立的 $P_o'—P_a'$ 合格区，也是不正确的。

除此以外，苏联 НИИ、МЭП 法，还有两个缺点：

1. 按功率因数的最小允许值, 最大转矩的最小允许值和起动电流的最大允许值建立 $i_o' - i_s'$ 合格区的计算方法, 非常复杂。原因是:

第一, 建立这个合格区的计算公式, 是从异步电动机的圆图的几何关系分析出来的, 公式比较多, 比较复杂。

第二, 考虑到下列因素使圆图不准确:

- (1) 起动时转子电流有集肤效应;
- (2) 起动电流造成漏磁磁路的饱和;
- (3) 在相当于最大转矩的电流时漏磁磁路的饱和。

(4) 由于硅钢片的磁化曲线不是直线的, 所以, 在主磁通饱和的电机里, 空载电流矢量的一端, 不在按工作电流所建立的圆图里。

所以, 在计算公式里, 还须引入下列系数:

- (1) 转子电流集肤效应计算系数;
- (2) 在起动电流时漏磁磁路饱和计算系数;
- (3) 在最大转矩电流时漏磁磁路饱和计算系数;
- (4) 主磁路饱和计算系数。

这样一来, 使计算过程更加复杂。

2. 除起动电流和起动转矩外, 未建立起检查试验参数和电动机性能之间的直接的函数关系, 因而不能在样机型式试验的基础上, 根据检查试验电机的检查试验参数, 计算出电动机的性能, 如果电动机生产的数量不多, 用这种方法检查电动机是否合格, 是比较简单和可靠的。

第三节 我国有些工厂采用的方法和存在的问题

(一)

我国有些工厂, 按下述方法, 计算中小型三相异步电动机检查试验参数的合格标准。

1. 空载电流

$$i_o' \leq i_o + \frac{\cos \phi - [\cos \phi]_{min}}{\cos \phi \cdot \sin \phi} \cdot i_1 \quad (3-1)$$

2. 空载损耗

$$[\Delta P]_{max} = \frac{\eta - [\eta]_{min}}{\eta^2} \cdot P_2 \quad (3-2)$$

假设:

- (1) $r_1' = r_1 = \text{常数}$;
- (2) 忽略转差率的变化所引起的转子铜耗的变化;
- (3) 考虑不利的情况, 取

$$i_o' = [i_o]_{max} = i_o + \frac{\cos \phi - [\cos \phi]_{min}}{\cos \phi \cdot \sin \phi} \cdot i_1$$

$$\text{则, } P_o' \leq P_o + [\Delta P]_{max} - 2 \frac{([i_o]_{max} - i_o) \sin \phi}{i_1} \cdot P_{t1} \quad (3-3)$$

3. 短路电阻

$$r_s' \leq \frac{[S]_{max}}{S} (r_s - r_1) + r_1 \quad (3-4)$$

转差率在技术条件上无规定, 故有些工厂, 不控制短路电阻, 有些工厂, 命 $[S]_{max} = 1.2 S$ 或 $1.25 S$, 计算短路电阻的合格标准, 控制转子铸铝的质量。

4. 短路电流

$$i_d' \leq \frac{\left[\frac{i_{qt}}{i_e} \right]_{max}}{\left(\frac{i_{qt}}{i_e} \right)} \cdot i_d \quad (3-5)$$

短路电流的最小值, 不控制。

5. 短路损耗

$$P_d' \leq \frac{\left[\frac{M_{qt}}{M_e} \right]_{min}}{\left(\frac{M_{qt}}{M_e} \right)} (P_d - 3i_d^2 r_1) + 3i_d'^2 r_1'$$

假设: (1) $r_1' = r_1 = \text{常数}$;

(2) $i_d' = i_d = \text{常数}$ 。

则,

$$P_d' \geq \frac{\left[\frac{M_{qt}}{M_e} \right]_{min}}{\left(\frac{M_{qt}}{M_e} \right)} (P_d - 3i_d^2 r_1) + 3i_d^2 r_1 \quad (3-6)$$

按(3-1)、(3-3)、(3-4)、(3-5)和(3-6)式算得的空载电流、空载损耗、短路电阻、短路电流和短路损耗的合格标准, 都是定值。

(二)

我国有些工厂, 采用下述方法, 来确定检查试验参数的合格标准。

通过型式试验弄清楚样品电机是否合格以后, 分析第一批检查试验电机的检查试验参数: 空载电流取其中最大的值 $[i_0]_{max}$, 空载损耗取其中最大的值 $[P_0]_{max}$, 短路电阻取其中最大的值 $[r_d]_{max}$, 短路电流取其中最大的值 $[i_d]_{max}$, 短路损耗取其中最小值 $[P_d]_{min}$ 。然后, 考虑最不利的情况, 假设 $[i_0]_{max}$ 、 $[P_0]_{max}$ 、 $[r_d]_{max}$ 、 $[i_d]_{max}$ 和 $[P_d]_{min}$ 集中于一台电机, 根据下列各式, 算出这台电机的性能:

$$1) \quad \cos \phi' = \cos \phi \left(1 - \frac{i_o' - i_o}{i_1} \sin \phi \right)$$

$$2) \quad \eta' = \eta \left(1 - \frac{\eta \cdot \Delta P}{P_2} \right)$$

式中,

$$\Delta P = P_o' - P_o + \left(\frac{r_1' - r_1}{r_1} + 2 \frac{i_o' - i_o}{i_1} \sin \phi \right) P_{t1} + \frac{S' - S}{S} P_{t2}$$

$$3) \quad S' = \frac{r_d' - r_1'}{r_d - r_1} \cdot S$$

$$4) \quad \left(\frac{M'_{max}}{M_e'} \right) = \frac{i_d'}{i_d} \left(\frac{M_{max}}{M_e} \right)$$

$$5) \quad \left(\frac{i_{gt}'}{i_e} \right) = \frac{i_d'}{i_d} \left(\frac{i_{gt}}{i_e} \right)$$

$$6) \quad \left(\frac{M_{gt}'}{M_e'} \right) = \left(\frac{M_{gt}}{M_e} \right) \frac{P_d' - 3i_d'^2 r_{d1}'}{P_d - 3i_d^2 r_{d1}}$$

- (1) 如果 $\cos \phi'$ 不合格, 则适当降低 $[i_0]_{max}$ 的值;
- (2) 如果 η' 不合格, 则适当降低 $[P_0]_{max}$ 、 $[i_0]_{max}$ 或 $[r_d]_{max}$ 的值;
- (3) 如果 $\left(\frac{i_{qt}}{i_0}\right)$ 不合格, 则适当降低 $[i_d]_{max}$ 的值;
- (4) 如果 $\left(\frac{M_{qt}}{M_e}\right)$ 不合格, 则适当提高 $[P_d]_{min}$ 的值, 或适当降低 i_d' 的值。

所有这些情况, 都意味着在第一批检查试验的电机中, 有一些按检查试验参数的合格标准为不合格, 需要另做型式试验, 以决定其是否合格。

然后订出检查试验参数的合格标准:

$$\begin{aligned} i_0' &\leq [i_0]_{max} \\ P_0' &\leq [P_0]_{max} \\ i_d' &\leq [i_d]_{max} \\ P_d' &\geq [P_d]_{min} \\ r_d' &\leq [r_d]_{max} \end{aligned}$$

他们认为这个检查试验参数的合格标准, 是非常可靠的, 因为, 假如有一台电机, 在检查试验时, 空载电流、空载损耗、短路电流、短路损耗和短路电阻的试验值, 均达到合格标准的极限值, 其功率因数、效率、起动电流和起动转矩, 亦只不过等于技术条件上上述性能将容差计算在内的极限值而已。但是我们知道, 在检查试验时, 合格的电动机, 检查试验参数决不会同时达到合格标准的极限值, 因此, 符合检查试验参数合格标准的电动机, 其性能一定符合技术条件(将容差计算在内), 就毫无疑问了。

(三)

我国有工厂, 还采用下述方法, 来决定检查试验参数的合格标准。即在通过型式试验弄清楚样品电机是否合格以后, 根据样机的空载电流、空载损耗、短路电流、短路损耗和短路电阻值, 大致上考虑一个检查试验参数的允许变动范围。如:

$$\begin{aligned} i_0' &+ 10\% \\ P_0' &+ 10\% \\ i_d' &+ 20\% \\ P_d' &- 10\% \\ r_d' &+ 10\% \end{aligned}$$

所有这些方法, 有一个共同点, 就是所算得的检查试验参数的极限值, 为一定值(见表3—1和3—2)。从下面的讨论可知, 都不能完全控制住检查试验电机的质量。虽然, 有些工厂为了保证电动机的质量。已注意到在计算检查试验参数容许值时, 不把技术条件上的容差全部吃掉, 但是, 只要是取检查试验参数的极限值为一定值, 就产生类似现象。

1. 从 $i_0' - i_d'$ 合格区(图3—1)可知, 在

$$\begin{aligned} i_0' &\leq [i_0]_{max} \\ i_d' &\leq [i_d]_{max} \end{aligned}$$

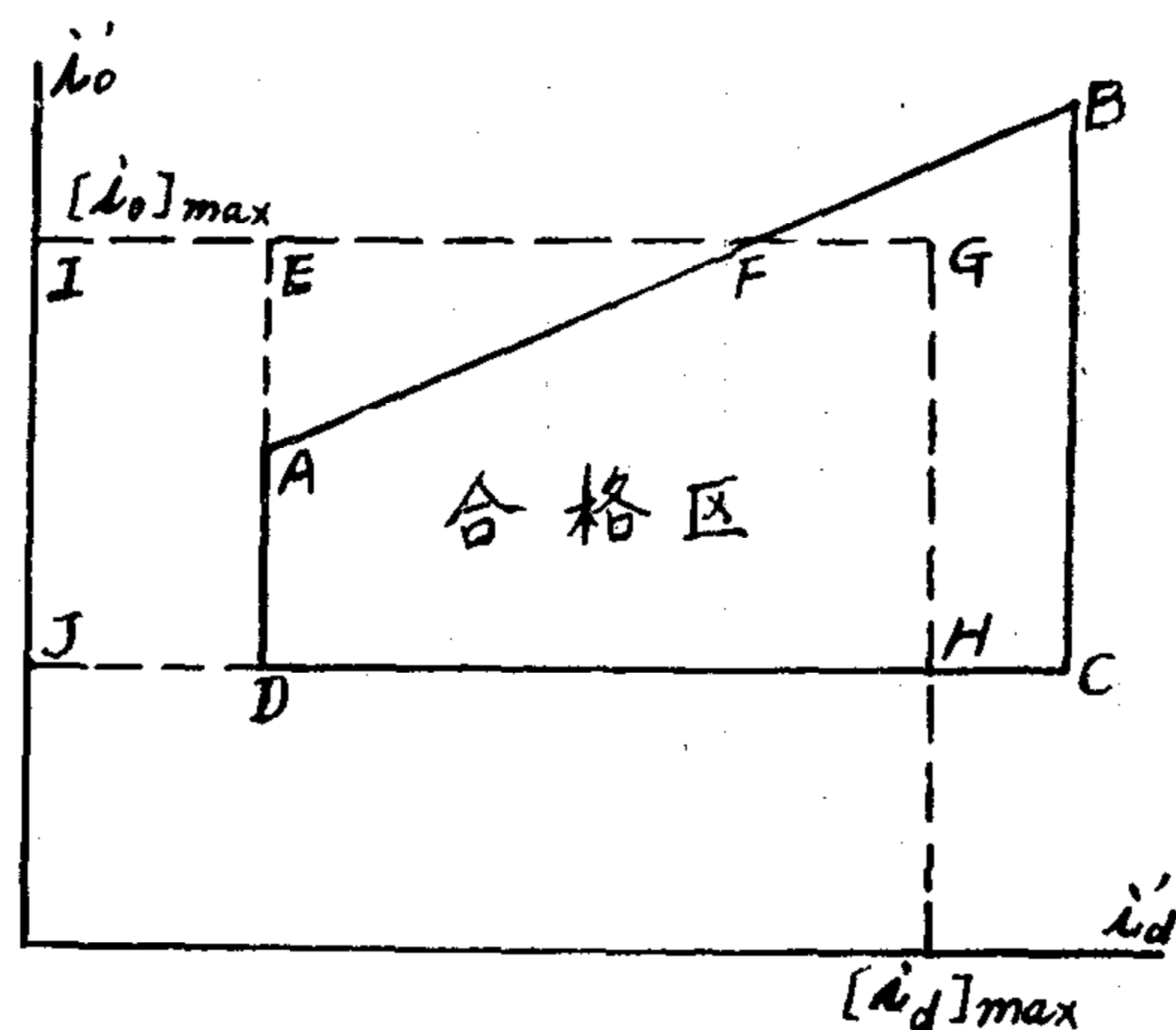


图3—1 $i_0' - i_d'$ 合格区

条件下，在AEF和EDJI区域内的电动机，本来是不合格的，但被认为是合格了；在FBCHG区域内的电动机，本来是合格的，但被认为是不合格了。

2. 从 $P_d'-i_d'$ 合格区（图3—2）可知，在

$$P_d' \geq [P_d]_{min}$$

$$i_d' \leq [i_d]_{max}$$

条件下，在FGH和AEKJ区域内的电动机，本来是不合格的，但被认为是合格了；在BFE和DEHI区域内的电动机，本来是合格的，但被认为是不合格了。

3. 从 $P_o'-r_d'$ 、 i_o' 合格区（图3—3）可知，在

$$P_o' \leq [P_o]_{max}$$

$$r_d' \leq [r_d]_{max}$$

条件下，有GFE区域内的电动机，本来是不合格的，但被认为是合格了；在AGH和BCDE区域内的电动机，本来是合格的，但被认为是不合格了。

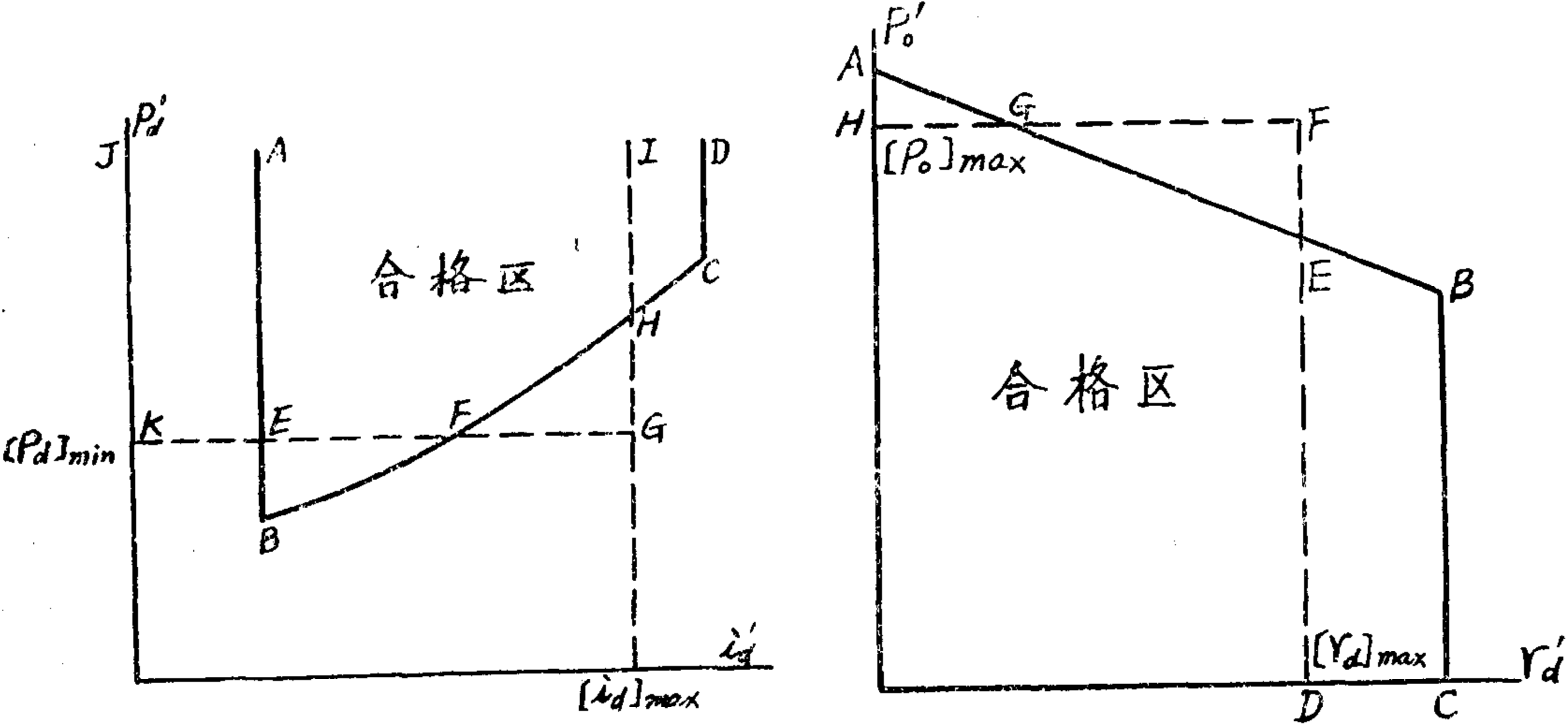


图3—2 $P_d'-i_d'$ 合格区

$$i_o' = C_n \text{ (} C_n \text{ 为检查试验电机空载电流的试验值)}$$

图3—3 $P_o'-r_d'$ 、 i_o' 合格区

J、JO 系列电动机检查试验参数合格标准（××电机厂） 《表3—1》

型 号	容量 千瓦	i_o 安	U_o 伏	i_o 不大于 安	P_o 不大于 瓦	U_d 伏	i_d 不大于 安	P_d 不小于 瓦	$\frac{P_d}{i_d^2}$ 不大于 欧	$R_{175^\circ C}$ 欧
JO41—2	1.7	3.66	380	1.73	270	380	30.6	11500	18	3.8
JO42—2	2.8	5.8	"	2.02	300	100	10.4	800	12	2.02
JO51—2	4.5	9.1	"	3.46	500	"	13.7	850	7.2	1.2
JO52—2	7.0	13.8	"	4.05	600	"	17.3	1000	7.2	0.7
J41—2	2.8	5.8	"	3.0	280	"	9.2	700	15	2.86
J42—2	4.5	9.15	"	3.87	350	"	15.5	1200	8.4	1.39
J51—2	7.0	13.8	"	5.2	500	"	20.2	1100	4.8	0.8
J52—2	10	19.4	"	6.35	600	"	27.2	1500	3.6	0.65
J、JO41—4	1.7	3.9	"	2.42	220	380	26.6	8500	20.1	4.2
J、JO42—4	2.8	6.1	"	3.3	300	100	7.8	400	13.5	2.3
J、JO51—4	4.5	9.5	"	4.8	380	"	13.5	850	8.1	1.44
J、JO52—4	7.0	14.5	"	6.35	420	"	20	1350	4.8	0.75
J、JO51—6	2.8	6.7	"	4.2	300	"	7.5	600	13	2.45
J、JO52—6	4.5	10.2	"	5.5	400	"	13.3	800	6.5	1.2

1960.7.摘抄

JO2 系列电动机检查试验参数合格标准 (哈尔滨 × × 电机厂)

《表3—2》

型 号	容 量 千 瓦	空载试验 $U_0 = 380$ 伏		短 路 试 验 $U_d = 100$ 伏				备 注
		i_0 不大于	P_0 不大于	i_d 安		P_d 瓦		
		安	瓦	不小于	不大于	不小于	不大于	
31—2	3.0	2.7	255	7.0	10	580	950	
32—2	4.0	3.4	330	8.5	14	630	1200	
41—2	5.5	4.5	440	11	17.5	650	1350	
42—2	7.5	5.2	500	13	21	670	1500	
51—2	10	6.5	690	17	28	800	1700	
52—2	13	8.1	750	20	35	900	1900	
31—4	2.2	2.9	205	4.8	6.8	380	750	
32—4	3.0	3.8	250	7.0	9.5	500	900	
41—4	4.0	4.4	330	8.6	14	580	1050	
42—4	5.5	5.2	380	10.5	18	750	1450	
51—4	7.5	6.7	420	11	24	800	1550	
52—4	10	8.2	550	15	28	950	1850	
31—6	1.5	3.0	200	2.8	5.0	230	580	
32—6	2.2	4.2	290	4.2	6.7	340	630	
41—6	3.0	4.5	320	5.5	7.3	350	740	
42—6	4.0	5.0	360	6.7	9.5	430	850	
51—6	5.5	6.2	380	9.0	17	500	1150	
52—6	7.5	7.0	400	10.5	19	600	1500	

72.6. 摘抄

参 考 文 献

1. 张弘夏：“如何根据出厂试验推测电动机的性能”（载东北电工一九五一年第一卷第五期）。
2. НИИ, ЭПО, Д, ГОЛЬДБЕРГ “异步电动机检查试验参数允许值技术标准计算方法”（载一九五八年六月第一机械工业部“系列设计和生产工艺考察团考察报告” V—69至 V—82页）。
3. 北京电机厂曹丰曜：“三相感应电动机出厂标准计算方法的建议”（载电工杂志一九六六年第一期）
4. 上海电器科学研究所：“如何由出厂试验数据判断电机性能是否合格”（载电机工人通讯一九六九年第12、13期，总第36、37期）。
5. 上海电器科学研究所：一九六七年中小型三相异步电动机电磁设计程序。
6. G B 1032—68 “中小型三相异步电动机试验方法”