

放射性同位素继电器的最佳设计理论(2)

王其俊
(西北大学)

关键词: 放射性同位素继电器 设计理论

二、对继电器的 $\bar{T}_d$ 、 $\bar{T}_s$ 、 Z_0 、 Z_1 均有要求或对其中的两个量、三个量有要求时的最佳设计计算

放射性同位素继电器作为物位控制器或温度控制器使用时,人们对它的动作时间的涨落和释放时间的涨落往往没有要求,它的平均动作时间和(或)平均释放时间不大于某一给定值便可以了。在这种情况下,给定指标是 $\bar{T}_d$ 、 $\bar{T}_s$ 、 Z_0 、 Z_1 四个量或其中的两个量、三个量,总共可以细分为15种情况,如表1第2列所示。工业上使用的继电器不会超出这15种情况。

对这15种继电器的设计计算问题,都是联立式(7)、(8)、(12)、(14)、(16)~(20)或其中的部分公式,求解 $\bar{n}_0$ 的极小值及其相应的 τ 、 U_d 、 U_s 。这些公式是等式或不等式,且 $\bar{n}_0$ 是 τ 、 U_d 、 U_s 的非线性函数,可以用数学中的最优化理论中的非线性规划理论处理这类问题^[8,9]。但因该函数比较复杂,约束条件较多,不能求得严格的解析解,而需要进行数值计算。可是,数值计算跟解析方法相比有以下缺点:不易从数值计算结果分析所需源强的因素及减少所需源强的方法。鉴于此,本文采用解析方法和数值计算相结合的方法处理之。该方法可以较完美地解决这些问题。表1和表2示出计算结果。

下面以给定指标是 $\bar{T}_d$ 、 $\bar{T}_s$ 、 Z_0 三个量的继电器的设计计算为例来讨论这些问题,其他继电器的设计计算问题与此例相似。

表1中第1.1~1.3行的公式是由式(7)、(8)、(12)、(16)加上约束条件(17)~(20)式得到的。由前四个公式可知,当 $\bar{T}_d$ 、 $\bar{T}_s$ 、 Z_0 三个量给定,且 $\bar{n}_0$ 和 $e^{-\tau/\lambda}$ 已知时,还有 τ 、 U_d 、 U_s 、 α 五个未知量,亦即有五个未知量,四个方程式,可以将 $\bar{n}_0$ 表示成 τ 、 U_d 或 U_s 的函数,并由此求出 $\bar{n}_0$ 的极小值及其相应的 τ 、 U_d 和

表1 U_d 、 U_s 、 τ 和 $\bar{n}_0$ 的表示式

继电器	给定指标	动作电压 空态电压 $\frac{U_d}{U_0}$	释放电压 空态电压 $\frac{U_s}{U_0}$	时间常数 τ	空态计算率 $\bar{n}_0$	备注
1	1.1 $\bar{T}_d$ 、 $\bar{T}_s$ 、 Z_0	$1 - (1 - \alpha) \left(\frac{2}{7} \right)^\lambda$	$\frac{2}{7} + \frac{5}{7} \alpha$	$0.8 \bar{T}_s$	$\frac{Z_0^2}{\tau(1 - \alpha)^2}$	*
	1.2	$1 - (1 - \alpha) \left(\frac{0.15}{1 - \alpha} \right)^\lambda$	$\alpha + 0.15$	$\bar{T}_s / \ln \frac{1 - \alpha}{0.15}$	$\frac{Z_0^2}{2\tau(0.85 - \alpha)^2}$	
	1.3	0.85	$\alpha + (1 - \alpha) \left(\frac{0.15}{1 - \alpha} \right)^{1/\lambda}$	$\bar{T}_d / \ln \frac{1 - \alpha}{0.15}$	$\frac{Z_0^2}{2\tau(1 - \alpha)^2} / \left[1 - \left(\frac{0.15}{1 - \alpha} \right)^{1/\lambda} \right]^2$	
2	2.1 $\bar{T}_d$ 、 $\bar{T}_s$ 、 Z_1	$\frac{5}{7} + \frac{2}{7} \alpha$	$\alpha + (1 - \alpha) \left(\frac{2}{7} \right)^{1/\lambda}$	$0.8 \bar{T}_d$	$\frac{\alpha Z_1^2}{\tau(1 - \alpha)^2}$	*
	2.2	$1 - (1 - \alpha) \left(\frac{0.15}{1 - \alpha} \right)^\lambda$	$\alpha + 0.15$	$\bar{T}_s / \ln \frac{1 - \alpha}{0.15}$	$\frac{\alpha Z_1^2}{2\tau(1 - \alpha)^2} / \left[1 - \left(\frac{0.15}{1 - \alpha} \right)^{1/\lambda} \right]^2$	
	2.3	0.85	$\alpha + (1 - \alpha) \left(\frac{0.15}{1 - \alpha} \right)^{1/\lambda}$	$\bar{T}_d / \ln \frac{1 - \alpha}{0.15}$	$\frac{\alpha Z_1^2}{2\tau(0.85 - \alpha)^2}$	

续表

继电器	给定指标	动作电压 空态电压 $\frac{U_d}{U_0}$	释放电压 空态电压 $\frac{U_r}{U_0}$	时间常数 τ	空态计算率 n_0	备注
3	$\overline{T}_d, \overline{T}_r, Z_0, U_d=U_r$	$a+x(1-a)$	$a+x(1-a)$	$\overline{T}_r/\ln \frac{1}{x}$	$\frac{Z_0^2}{2\tau(1-a)^2} / (1-x)^2$	$x^\lambda+x-1=0$
4	$\overline{T}_d, \overline{T}_r, Z_1, U_d=U_r$	$a+x(1-a)$	$a+x(1-a)$	$\overline{T}_r/\ln \frac{1}{x}$	$\frac{aZ_1^2}{2\tau(1-a)^2} / x^2$	$x^\lambda+x-1=0$
5	5.1 $\overline{T}_d, Z_0, Z$	$\frac{5}{7} + \frac{2}{7}a$	$1 - \frac{5}{7}(1-a)P/\sqrt{a}$	$\frac{0.8\overline{T}_d}{\overline{T}_d/\ln \frac{1-a}{1-a-(0.85-a)\sqrt{a}/P}}$	$\frac{aZ_1^2}{\tau(1-a)^2}$	*
	5.2	$a+(0.85-a)\sqrt{a}/P$	$a+0.15$	$\frac{1-a}{1-a-(0.85-a)\sqrt{a}/P}$	$\frac{Z_0^2}{2\tau(0.85-a)^2}$	
	5.3	0.85	$1-(0.85-a)P/\sqrt{a}$	$\frac{\overline{T}_d/\ln \frac{1-a}{0.15}}{1-a-(0.85-a)P/\sqrt{a}}$	$\frac{aZ_1^2}{2\tau(0.85-a)^2}$	
6	6.1 $\overline{T}_r, Z_0, Z_1$	$a + \frac{5}{7}(1-a)\sqrt{a}/P$	$\frac{2}{7} + \frac{5}{7}a$	$0.8\overline{T}_r$	$\frac{Z_0^2}{\tau(1-a)^2}$	*
	6.2	$a+(0.85-a)\sqrt{a}/P$	$a+0.15$	$\frac{\overline{T}_r/\ln \frac{1-a}{(0.85-a)\sqrt{a}/P}}{1-a-(0.85-a)P/\sqrt{a}}$	$\frac{Z_0^2}{2\tau(0.85-a)^2}$	
	6.3	0.85	$1-(0.85-a)P/\sqrt{a}$	$\frac{\overline{T}_r/\ln \frac{1-a}{1-a-(0.85-a)P/\sqrt{a}}}{1-a-(0.85-a)P/\sqrt{a}}$	$\frac{aZ_1^2}{2\tau(0.85-a)^2}$	
7	$\overline{T}_d, Z_0, Z_1, U_d=U_r$	$1 - \frac{1-a}{1+\sqrt{a}/P}$	$1 - \frac{1-a}{1+\sqrt{a}/P}$	$\overline{T}_d/\ln(1+\sqrt{a}/P)$	$\frac{Z_0^2(1+\sqrt{a}/P)^2}{2\tau(1-a)^2}$	
8	$\overline{T}_r, Z_0, Z_1, U_d=U_r$	$1 - \frac{1-a}{1+\sqrt{a}/P}$	$1 - \frac{1-a}{1+\sqrt{a}/P}$	$\overline{T}_r/\ln(1+P/\sqrt{a})$	$\frac{Z_0^2(1+\sqrt{a}/P)^2}{2\tau(1-a)^2}$	
9	$\overline{T}_d, Z_0, U_d=U_r$	$a+0.15$	$a+0.15$	$\overline{T}_d/\ln \frac{1-a}{0.85-a}$	$\frac{Z_0^2}{2\tau(0.85-a)^2}$	
10	$\overline{T}_r, Z_1, U_d=U_r$	0.85	0.85	$\overline{T}_r/\ln \frac{1-a}{0.85-a}$	$\frac{aZ_1^2}{2\tau(0.85-a)^2}$	
11	$\overline{T}_d, Z_1, U_d=U_r$	$\frac{5}{7} + \frac{2}{7}a$	$\frac{5}{7} + \frac{2}{7}a$	$0.8\overline{T}_d$	$\frac{aZ_1^2}{\tau(1-a)^2}$	*
12	$\overline{T}_r, Z_0, U_d=U_r$	$\frac{2}{7} + \frac{5}{7}a$	$\frac{2}{7} + \frac{5}{7}a$	$0.8\overline{T}_r$	$\frac{Z_0^2}{\tau(1-a)^2}$	*
13	$\overline{T}_d, Z_1$	$\frac{5}{7} + \frac{2}{7}a$	$\frac{a+0.15}{\frac{U_r}{U_0} \leq \frac{5}{7} + \frac{2}{7}a}$	$0.8\overline{T}_d$	$\frac{aZ_1^2}{\tau(1-a)^2}$	*
14	$\overline{T}_r, Z_0$	$\frac{2}{7} + \frac{5}{7}a$ $\leq \frac{U_d}{U_0} \leq 0.85$	$\frac{2}{7} + \frac{5}{7}a$	$0.8\overline{T}_r$	$\frac{Z_0^2}{\tau(1-a)^2}$	*
15	$\overline{T}_r, \overline{T}_d, Z_0, Z_1$	$a+(1-x)$ $(1-a)\sqrt{a}/P$ 或 $a+(1-a)(1-x^\lambda)$	$a+x(1-a)$	$\overline{T}_r/\ln \frac{1}{x}$	$\frac{Z_0^2}{2\tau(1-a)^2} / (1-x)^2$	$x^\lambda-1+(1-x)\sqrt{a}/P=0$

注1: 前8种继电器的公式中 $a, \lambda=\overline{T}_d/\overline{T}_r, P=Z_0/Z_1$ 的变化范围见表2。

注2: 除第15种继电器外, 其他各继电器的公式均是 n 的极小值及其相应的最佳 $U_d/\overline{U}_0, U_r/\overline{U}_0, \tau$ 的表示式。有*号一行的公式是对 n_0 的一般表示式, 利用隐函数求极值的方法得到的, $U_d/\overline{U}_0, U_r/\overline{U}_0$ 不等于 $a+0.15$ 和 0.85 。其余各行 n_0 的极小值是考虑到约束条件(17)、(18)、(20)式得到的, 最佳 $U_d/\overline{U}_0, U_r/\overline{U}_0$ 等于 $a+0.15$ 或(和) 0.85 。

注3: $\lambda=1$ 时为等时继电器, $P=1$ 时为等可靠度继电器, $U_d \neq U_r$ 为有回差继电器, $U_d=U_r$ 为无回差继电器。

表 2 表1中的前8种继电器的 λ 或 P 的范围

继电器		λ 或P	α							
			0	0.01	0.1	0.2	0.3	0.4	0.475	0.6
1	1.1 1.2 1.3	λ	0.27—1.52 — 1.52 11.7	0.27—1.51 — 1.51—11.6	0.27—1.43 — 1.43—9.85	0.27—1.33 — 1.33—8.15	0.27—1.23 — 1.23—6.45	0.27—1.11 — 1.11—4.85	0.27—1 0.27—1 1—3.71	0.48—1 — 1—2.06
2	2.1 2.2 2.3	λ	0.66—3.71 0.085—0.66	0.66—3.71 0.086—0.66	0.70—3.71 0.10—0.70	0.75—3.71 0.12—0.75	0.80—3.71 0.16—0.80	0.90—3.71 0.21—0.90	1—3.71 0.27—1 1—3.71	0.48—1 — 1—2.06
3		λ	0.085—0.27	0.086—0.27	0.10—0.27	0.12—0.27	0.16—0.27	0.21 0.27	0.27	
4		λ	3.71—11.7	3.71—11.6	3.71—9.85	3.71—8.15	3.71—6.45	3.71—4.85	3.71	
1—4的 可用范围		λ	0.085—11.7	0.086—11.6	0.10—9.85	0.12—8.15	0.16—6.45	0.21—4.85	0.27—3.71	0.48—2.06
5	5.1 5.2 5.3	P		0.04—0.12 0.12—0.56	0.13—0.37 0.37—1.58	0.18—0.51 0.51—1.93	0.22—0.60 0.60—2.01	0.25—0.67 0.67—1.90	0.28—0.69 0.69—1.72 0.28—0.69	0.78—1.29 — 0.47—0.78
6	6.1 6.2 6.3	P		0.085—0.25 0.018—0.085	0.27—0.79 0.063—0.27	0.39—1.12 0.10—0.39	0.50—1.38 0.15—0.50	0.60—1.58 0.21—0.60	0.69—1.72 0.69—1.72 0.28—0.69	0.78—1.29 — 0.47—0.78
7		P		0.018—0.04	0.063—0.13	0.10—0.18	0.15—0.22	0.21—0.25	0.28	
8		P		0.25—0.56	0.79—1.58	1.12—1.93	1.38—2.01	1.58—1.90	0.28	
5—8的 可用范围		P		0.018—0.56	0.063—1.58	0.10—1.93	0.15—2.01	0.21—1.90	0.28—1.72	0.47—1.29

注：此表的使用方法是：查所要求的 $\bar{T}_d$ 、 $\bar{T}_s$ 、 Z_0 、 Z_1 相应的 λ 或 P 在那个范围，然后按表1相应行的公式计算，所得的 $\bar{n}_0$ 最小。若 λ 或 P 超出此表中的可用范围，则需要调整设计指标。

$U_{s.}$

由式(8)、(12)、(16)，可以求得这种继电器的 $\bar{n}_0$ 表示式为：

$$\bar{n}_0 = \frac{Z_0 \ln \frac{1-\alpha}{1-U_d/\bar{U}_0}}{2\bar{T}_d(1-\alpha) \left[1 - \left(\frac{1-U_d/\bar{U}_0}{1-\alpha} \right)^{1/\lambda} \right]} \quad (23)$$

式中， $\lambda = \bar{T}_d/\bar{T}_s$ 。

式(23)右端中的 α 是 $\bar{n}_0$ 的函数，故此式是 $\bar{n}_0$ 的隐函数。利用隐函数求极值的方法，可以得到，对于给定的 $\bar{T}_d$ 、 $\bar{T}_s$ 、 Z_0 及已知的 $\bar{n}_0$ 和 $e^{-\mu d}$ ， $\bar{n}_0$ 对于 $U_d/\bar{U}_0$ 取极小值的条件为：

$$2 \ln \left(\frac{1-\alpha}{1-U_d/\bar{U}_0} \right)^{1/\lambda} = \left(\frac{1-\alpha}{1-U_d/\bar{U}_0} \right)^{1/\lambda} - 1 \quad (24)$$

数值计算后，得到

$$\left(\frac{1-\alpha}{1-U_d/\bar{U}_0} \right)^{1/\lambda} \cong \frac{7}{2}$$

由此式可得最佳 $U_d/\bar{U}_0$ ，再由式(8)、(12)、(16)可得最佳 τ 、最佳 $U_s/\bar{U}_0$ 及必需的最小 $\bar{n}_0$ 表示式。它们分别示于表1第1.1行。由 $U_s/\bar{U}_0$ 的表示式可知， $\alpha > 0.475$ 时， $U_s/\bar{U}_0 > 0.85$ 。由 $U_d/\bar{U}_0$ 的表示式可知， $U_d/\bar{U}_0$ 是 α 和 λ 的函数，它的大小在0到1之间变化，当 $U_d/\bar{U}_0$ 小于 $(\alpha+0.15)$ 或大于0.85时，必须考虑 U_d 的漂移影响。于是，实际选用的 $U_d/\bar{U}_0$ 和 $U_s/\bar{U}_0$ 不能处在这两个区域内，另外，它们还要满足约束条件

(20)式。这样一来,第1.1行的公式仅适用于某一范围的 α 和 λ ,而在这个范围以外的 α 和 λ ,则必须按其他公式计算。这些范围及公式可以用图解法确定。现以 $\alpha=0.1$ 为例来讨论,如图3。其他 α 值的作法与此例相似。图中三角形内的 $U_d/\bar{U}_0$ 和 $U_s/\bar{U}_0$ 能满足约束条件(17)、(18)、(20)。各曲线是根据一般式以 λ 为参变量画出的。 λ 在0.10到9.85间的 $U_s/\bar{U}_0-U_d/\bar{U}_0$ 曲线穿经三角形,即该继电器的适用范围是0.10—9.85。 $U_s/\bar{U}_0=2/7+5/7\times 0.1=0.356$ 的水平线上的 $U_d/\bar{U}_0$ 和 $U_s/\bar{U}_0$ 分别对应着各个 λ 值的 $\bar{n}_0$ 的数学上的极小值。它可以分成三段:从0.27到1.43的一段在三角形内,应该按第1.1行的公式计算;从1.43到9.85的一段不在三角形内,应按既满足约束条件又最邻近数学上的极小值的原则来选择 $U_d/\bar{U}_0$ 和 $U_s/\bar{U}_0$,即选 $U_d/\bar{U}_0=0.85$,要按第1.3行公式设计;对于从0.10到0.27的一段,也要按这个原则处理,即选 $U_d=U_s$ 的斜线上的相应点,也就是说, $\lambda=0.10-0.27$ 时,按第3行的无回差继电器设计, $\bar{n}_0$ 取最小值。

将求得的 $\bar{n}_0$ 代入式(5),便可以算出必需的最小源强 A 。 A 的大小跟 $\bar{T}_d$ 、 $\bar{T}_s$ 、 Z_0 、 $\bar{n}_0$ 、 $e^{-\mu_d d_1}$ 、 R 、 S 、 ε 、 $e^{-\mu_s d_1}$ 等量有关。它们对 A 的影响如下。由式(5),减小放射源到核辐射探测器的距离 R 、使用探测效率 ε 高、有效工作面积 S 大的核辐射探测器,减少器壁材料的吸收即减小 $e^{-\mu_d d_1}$ 均可以使必需的最小源强减小。 $\bar{T}_d$ 、 $\bar{T}_s$ 、 Z_0 、 $\bar{n}_0$ 、 $e^{-\mu_s d_1}$ 等量对 A 的影响较复杂,我们用图解法来分析。还是以表1第1.1行的公式为例。由式(7),可以把 $\bar{n}_0$ 的表示式改写成下面的形式:

$$\alpha = \frac{\bar{n}_0 \bar{T}_s}{Z_0^2 f(\alpha)} + e^{-\mu_s d_1} \quad (25)$$

式中, $f(\alpha) = \frac{1.25}{(1-\alpha)^2}$ 。

令式(25)左端等于 $y_1=\alpha$,右端等于 $y_2=\bar{n}_0 \bar{T}_s / Z_0^2 f(\alpha) + e^{-\mu_s d_1}$,描绘 $y_1-\alpha$ 直线及 $y_2-\alpha$ 曲线,如图4。它们交点的横坐标 α_0 即为待求的透过率。将 α_0 代入式(7),便得 $\bar{n}_0$ 。图中曲线1相应于 $Z_0=1$ 、 $\bar{T}_s=1$ 秒、 $\bar{n}_0=1$ 个/秒、 $e^{-\mu_s d_1}=0$ 时的 $y_2-\alpha$ 曲线。以此曲线为基准,很容易看出 Z_0 、 $\bar{T}_s$ 、 $\bar{n}_0$ 、 $e^{-\mu_s d_1}$ 对 $\bar{n}_0$ 和 A 的影响,为清楚起见,图4a—d分别画出它们分别变化时对 $\bar{n}_0$ 的影响。可以看出:①当 Z_0 增加时,相应的 $y_2-\alpha$ 曲线愈来愈“平坦”,并向坐标原点方向移动,与 $y_1-\alpha$ 直线交点的横坐标 α_0 随之减小,于是, $\bar{n}_0$ 及 A 随之增加;当 $\bar{T}_s$ 增加时,相应的 $y_2-\alpha$ 曲线愈来愈“陡峭”,并向远离坐标原点的斜上方移动,与 $y_1-\alpha$ 直线交点的横坐标 α_0 随之增加,于是, $\bar{n}_0$ 及 A 随之减小。由此可见,若可以放宽对 Z_0 、 $\bar{T}_s$ 的要求,则不必选用很大的 Z_0 。

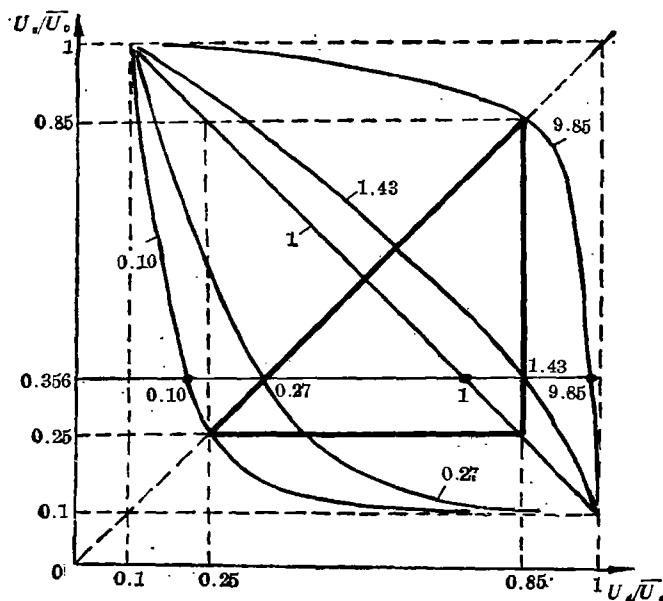


图3 给定指标是 $\bar{T}_d$ 、 $\bar{T}_s$ 、 Z_0 , $\alpha=0.1$,以 λ 为参变量的 $U_s/\bar{U}_0-U_d/\bar{U}_0$ 曲线

和很小的 $\bar{T}_s$ ，以免使用强度很大的放射源；② 当 $\bar{n}_b$ 增加时， $y_1-\alpha$ 曲线的变化趋势和 $\bar{T}_s$ 增加时相同，与 $y_1-\alpha$ 直线交点的横坐标 α_0 随之增加，但因 α_0 为射线在被测物料中的透过率，能满足约束条件的 α 的最大值为 0.7，即式 (7) 的左端不会有显著变化，右端也不会有显著变化，于是， $\bar{n}_b$ 增加时， $\bar{n}_0$ 随之增加， A 也随之增加。为节省源强，就要尽量屏蔽杂散射线，把 $\bar{n}_b$ 降下来；③ 当被测物料的吸收作用减小即 $e^{-\mu_2 d_2}$ 增加时， $y_2-\alpha$ 曲线向右平移，与 $y_1-\alpha$ 直线交点的横坐标增加，从而 A 随之增加。为节省源强，在器壁很薄、组成材料是低密度低原子序数物质，对射线的吸收作用较小时，最好选用 β 放射源或低能 γ 放射源，借以减小 $e^{-\mu_2 d_2}$ 。如果器壁不是这样的，那么，最好减薄器壁或在器壁上开上专门的射线窗口。否则，应当根据器壁及被测物料的厚度、密度及成分，选择合适能量的 γ 放射源。

上述的图解方法、关于所需源强的影响因素的分析方法及减少所需源强的途径，也同样地适用于表 1 中的其他给定指标的继电器。

从表 1 可以看出，各种继电器的 $\bar{n}_0$ 的表示式并不完全相同，给定指标是 $\bar{T}_d$ 、 $\bar{T}_s$ 、 Z_0 、 Z_1 四个量的继电器的 $\bar{n}_0$ 比给定指标是其中的三个量的继电器的 $\bar{n}_0$ 要大，后者一般又比给定指标是其中的两个量的继电器的 $\bar{n}_0$ 要大，只是当 λ 和 $P(=Z_0/Z_1)$ 的大小处于某一特定范围内时，它们的 $\bar{n}_0$ 才相等。由此可见，对技术指标的数目要求不多时，一般没有必要提更多的技术指标，按技术指标数目较多的继电器设计。

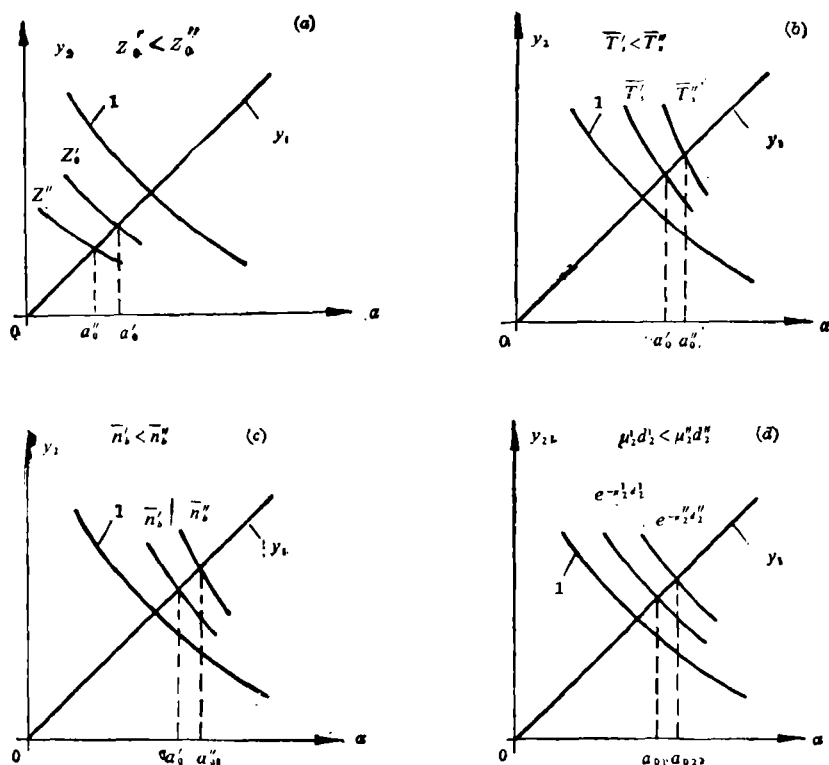


图4 Z_0 、 $\bar{T}_s$ 、 $\bar{n}_b$ 、 $e^{-\mu_2 d_2}$ 等量对 $\bar{n}_0$ 的影响

(待续)

(上接45页)

参 考 文 献

- [1] Cijka J. Vsely' P, *Radiochim. Acta*, 16, 30 (1971).
- [2] S. Abrashkin et al., *Int. J. Appl. Radiat. Isotopes*, 29, 395 (1978).
- [3] 孙素元译, 放射性同位素发生器, 原子能出版社, 1981年, 第122页。

(上海市第六人民医院 叶德华 王 韵 马寄晓)

with hepato-biliary imaging using ^{99m}Tc -EHIDA from March 1983 to March 1984. The results showed that the EHIDA can be used as a hepatobiliary imaging agent in several biliary system diseases if the serum bilirubin is less than 7-10 mg/dl. The diagnostic coincident rate is about 95%. When the bilirubin is greater than 10mg/dl, however it fail to give satisfactory imaging.

Keywords: hepato-biliary imaging EHIDA

Degeneration of $^{99}\text{MoO}_4^{-2}$ - $^{99m}\text{TcO}_4^{-1}$ generator and its regeneration

Ye Dehua Wang Yun Ma Jixiao

(Shanghai Sixth People Hospital)

Keywords: $^{99}\text{MoO}_4^{-2}$ - $^{99m}\text{TcO}_4^{-1}$ generator degeneration regeneration
elution yield

A radioimmunoassay diagnosis of cows early pregnancy by communication milk sampling

Wu Meiwen

(Institute of Nuclear Agricultural Science, Zhejiang Agricultural University)

Keywords: communication sampling of milk radioimmunoassay cow
early pregnancy diagnosis solid sample insemination

Application of nuclear spectroscopy and of nuclear effects

Ni Xinbo

(Shanghai Institute of Nuclear Research, Academia Sinica)

Keywords: nuclear reaction spectroscopy Rutherford backscattering analysis
Mössbauer effect perturbed angular correlation nuclear magnetic
resonance positron annihilation ultrasensitive mass spectrometry

The agricultral application of nuclear techniques in Australia

Kuang Yanhua

(South China Agricultural University)

Keywords: isotope-tracer techniques radiation processing

Optimum design philosophy of radioisotope relay

Wang Qijun

(Xibei University)

Keywords: radioisotope relay design philosophy

刊号 4—243

定价 0.60元