

# 电压互感器二次回路异常对继电保护装置影响的分析

葛洲坝二江电厂 李毅军

**摘要** 本文阐述了造成电压互感器二次回路异常的原因,就电压互感器二次回路异常对继电保护装置的影响进行了分析,并提出了防止电压互感器二次回路异常的措施。

## 1 引言

近年来因电压互感器(以下简称P.T)二次回路的异常所造成的继电保护装置误动已在电力系统中多次发生,造成了多起扩大性事故。所谓P.T二次回路异常系指由于某些原因所造成的P.T二次测量值不能正常地反映一次系统的运行状态和一次电压的幅值及相位。因此有必要对造成P.T二次回路异常的原因进行分析,并探讨电压二次回路异常后是如何造成保护装置不正确动作。

## 2 造成P.T二次回路异常的原因

根据以往的有关事故调查和分析情况来看,造成P.T二次回路异常的原因主要有以下三个方面:

2.1 同一P.T的二次回路多点接地,如在P.T端子箱接地后在主控制室又再次接地(两接地点之间无电缆芯连接),或两个及以上的P.T中性点在端子箱处接地后再经电缆芯引入主控室内直接连接起来(如引至主控室的接地小母线上连接)。

对于这两种P.T二次回路的接地方式,当中性点直接接地系统中的变电所内或线路出口发生接地短路故障时,由于有很大的短路电流进入变电所或开关站的接地网中,而接地网上的不同点相对于电流入地点的电阻有差异,因而造成了接地网上每一点的电位是不同的,也即P.T的各二次接地点之间将出现电位差。这种各P.T中性点电位的不等而引起的附加电压造成了电压二次回路中性点发生偏移,此时电压二次系统公共中性点N600的电位为:

$$E_{N600} = \frac{E_1 Y_1 + E_2 Y_2 + \dots + E_i Y_i}{Y_1 + Y_2 + \dots + Y_i} \quad (1)$$

式中 $E_1, E_2, \dots, E_i$ 为各P.T中性点电位, $Y_1, Y_2, \dots, Y_i$ 为各P.T中性点到主控制室接地小母线N<sub>600</sub>的导纳。

这样各P.T中性点的附加偏移电压为:

$$\Delta U_i = E_{N600} - E_i \quad (2)$$

由于这个附加偏移电压的存在,对于P.T二次回路采用零相接地的方式时会造成 $\dot{U}_{AO}$ 、 $\dot{U}_{BO}$ 、 $\dot{U}_{CO}$ 及 $3\dot{U}_O$ 的异常,对于P.T二次回路采用B相接地的方式时则会造 $\dot{U}_{AB}$ 、 $\dot{U}_{BC}$ 。

$\dot{U}_{B0}$  及  $3\dot{U}_0$  的异常, 从而导致保护装置所感受的电压不能正确反应一次电压的幅值和相位, 造成继电保护装置不正确动作。

2.2. P、T二次回路的中性点来接地或接地不可靠(有较大的接触电阻), 使得P、T二次回路中性点的电位为悬浮电位。这种情况下的P、T二次回路中性点电位为

$$E'_N = -\frac{3\dot{U}_0 Y_0 + \dot{U}_A Y_A + \dot{U}_B Y_B + \dot{U}_C Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C + Y_0} \quad (3)$$

正常运行时,  $3\dot{U}_0 = 0$

$$\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C = 0$$

当三相负载对称时, 则  $E'_N = 0$ , 即中性点不发生偏移。当发生不对称故障时, 由于  $3\dot{U}_0$  和  $(\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C)$  不等零, 则  $E'_N$  也将不等于 0, 使 P、T 二次回路中性点发生偏移。由式(3)可以看出, 在负荷对称的情况下,

中性点偏移的程度取决于三相电压的对称性, 而三相电压不对称的程度又取决于发生接地故障时故障点与 P、T 安装处的距离, 距离愈近则故障相与非故障相间电压的差别(幅值和相位)就越大, P、T 二次回路中性点的偏移也就越大。下面以发生 A 相出口接地故障时 P、T 二次中性点发生偏移的矢量图(见图 2)来进一步说明。由图 2 可见, 当 P、T 二次回路中性点断开后, 发生单相故障时, 中性点将向左下方移动由 N 移至 N', 与中性点不偏移的矢量图相比较故障相电压由 0 增大到一定的值, 而非故障相的两相电压由原来幅值相等变为滞后于故障相的幅值增加而超前故障相的幅值减小, 非故障的两相电压相角变化将超过  $30^\circ$ 。

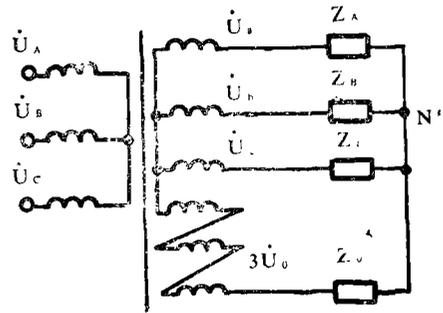
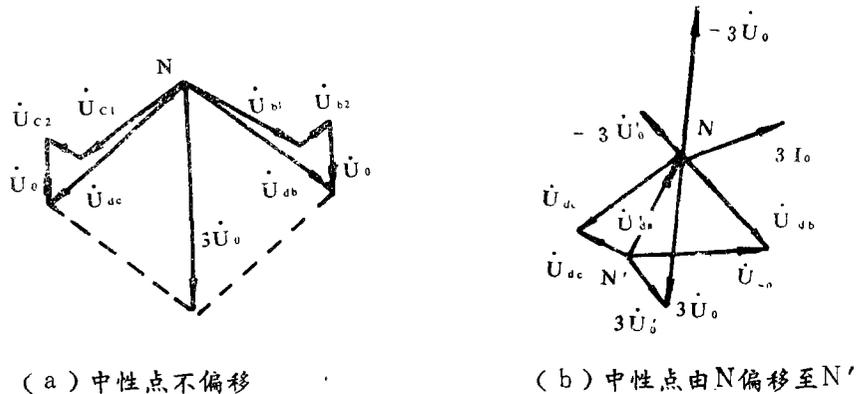


图 1 悬浮电位  $E'_N$  的计算电路

不难看出浮动中性点 N' 的偏移随着故障距离的增加沿 NN' 线向 N 移动。

2.3 P、T 的不同二次绕组引至控制室接地点时使用同一根电缆芯, 如 P、T 二次开口三角绕组与星形绕组共用电缆芯至控制室接地时, 由于星形绕组的负载在共用电缆芯上的压降, 将会造成开口三角绕组有输出。



(a) 中性点不偏移

(b) 中性点由 N 偏移至 N'

图 2 发生 A 相出口接地故障时的电压矢量图

### 33 P.T二次回路异常对保护装置的影响

#### 1. 对接地多相补偿距离继电器的影响

接地多相补偿距离继电器由于其良好的性能，现已被较多地用作保护装置的测量元件。但当发生接地故障时，若P.T二次回路中性点发生偏移，这种继电器可能会发生不正确动作。接地多相补偿距离继电器的逻辑框图如图3示，图中参加比相的各相补偿电压为：

$$\left. \begin{aligned} U'_A &= U_A - Z_Y (I_A + K 3 I_0) \\ U'_B &= U_B - Z_Y (I_B + K 3 I_0) \\ U'_C &= U_C - Z_Y (I_C + K 3 I_0) \end{aligned} \right\} (4)$$

式中 $Z_Y$ 为继电器的整定阻抗。

这种继电器是在相补偿电压 $U'_A$ 、 $U'_B$ 、 $U'_C$ 和零序电流 $-I_0$ 之间进行比相，当 $U'_A$ 、 $U'_B$ 、 $U'_C$ 和 $-I_0$ 四者之间出现同极性时动作，在P.T二次回路中性点无偏移时，正常运行、系统振荡、三相及两相短路时无零序分量出现，故有：

$$U'_A + U'_B + U'_C = 0$$

这表明在每一瞬间若其中某一电压为正则必有另一电压为负，因而不可能出现三者同极性，继电器不会动作，只有在发生接地故障继电器中有零序分量时才可能动作。下面以A相金属性接地短路故障为例分析。正方向和反方向接地故障时的电压矢量图分别如图4(a)和图4(b)示，不难看出当发生单相接地故障时，若P.T二次回路中性点不偏移则正方向故障电流 $(I_A + 3KI_0)$ 对故障相电压的补偿结果是使故障相补偿电压 $\dot{U}'_A$ 与 $\dot{E}_A$ 的夹角向大于 $90^\circ$ 方向变动，使 $\dot{U}'_A$ 滞后 $I_0$ ，而 $K3I_0$ 对非故障相电压补偿后的结果是使 $U'_B$ 与 $U'_C$ 的夹角向小于 $120^\circ$ 的方向变动，这样在发生区内接地故障时， $U'_A$ 、 $U'_B$ 、 $U'_C$ 和 $-I_0$ 四个矢量落在半个平面内，在 $180^\circ$ 内这四个矢量同极性，满足继电器动作条件 $\text{Arg} \frac{U'_A}{-I_0} \leq 180^\circ$ ，继电器动作，而在反方向故障时，故障电流对故障相电压的补偿作用是使故障相补偿电压向故障相电势靠近，对非故障电压的补偿作用是使补偿电压 $\dot{U}'_B$ 与 $\dot{U}'_C$ 间的夹角向大于 $120^\circ$ 方向变化，这样， $\dot{U}'_A$ 、 $\dot{U}'_B$ 、 $\dot{U}'_C$ 和 $-I_0$ 这四个矢量不会落在半个平面内，继电器不动作。

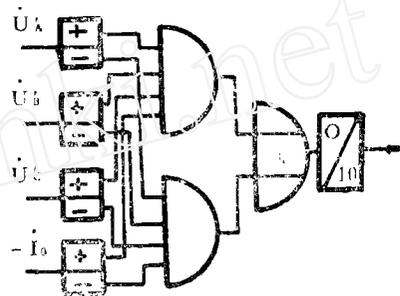
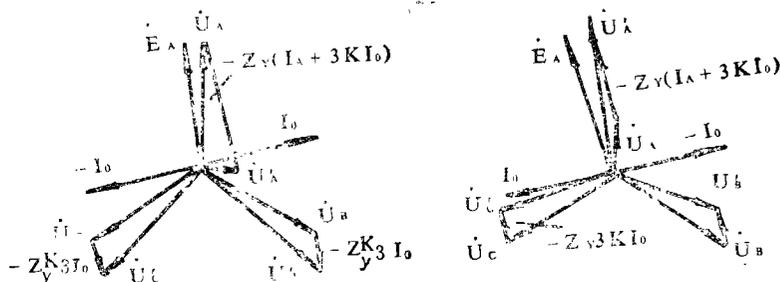


图3 接地多相补偿距离继电器的逻辑框图



(a) 正方向故障

(b) 反方向故障

图4 A相金属性接地故障P.T二次回路中性点不偏移时的电压矢量图

但在发生接地故障时若P.T二次回路中性点发生偏移,则各相补偿电压的相位将因此发生一定的变化,这种情况下的电压矢量图见图5示。

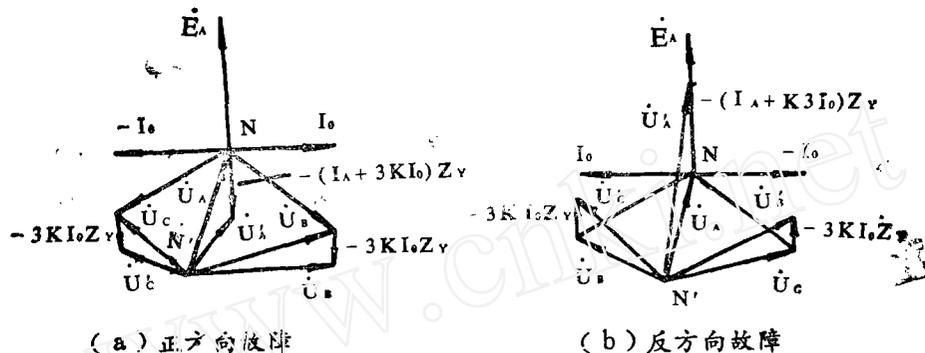


图5 发生单相接地故障, P.T二次中性点发生偏移时的电压矢量图

由图5可见,由于P.T二次回路中性点的偏移,可能会出现在正方向区内接地故障时, $\dot{U}_A$ 、 $\dot{U}_B$ 、 $\dot{U}_C$ 和 $-\dot{I}_0$ 这四个矢量不落在半个平面内情况,而在反方向接地故障时,这四个矢量又落在半个平面内的情况,因而就会导致接地距离保护在正方向区内故障时拒动而反方向故障时误动。至于是否真正误动则取决于接地故障时一次系统三相电压的不对称程度。由于短路故障时一次故障电压的幅值与故障点至P.T安装处的距离成正比,因而反映P.T二次回路中性点偏移程度的偏移电压大小也就与故障点的距离有关,这个关系可用下面式(5)的表达式来表征,即:

$$U'_{NN} = [U_0 + K(3U_0 - U_0)e^{j\theta}] (1-x) \quad (5)$$

式中: $x$ 为故障点至P.T安装处的距离,正常运行时为1,出口短路为0。

$\theta$ 为P.T二次回路中零序电压回路等值阻抗 $Z_{0z}$ (P.T开口三角绕组的阻抗与其负载阻抗之和)与相电压回路等值阻抗 $Z_{Vz}$ (P.T二次侧绕组阻抗与其负载阻抗之和)之间的相角差

$U_0$ 为P.T二次星形绕组额定相电压58V

$K$ 为 $Z_{Vz}$ 与 $(Z_{Vz} + Z_{0z})$ 的比值

$3U_0$ 为P.T开口三角绕组额定输出电压100V

计算和现场模拟试验结果表明,当中性点偏移电压 $U'_{NN}$ 的有效值达P.T二次额定相电压有效值的一半时( $U'_{NN} = \frac{1}{2}U_0 = 29V$ ),非故障相补偿电压的相位改变与未偏移时的相位相比较将超过 $30^\circ$ ,此时接地多相补偿距离继电器将发生不正确动作。在 $K = 0.5$ 和 $\theta = 0^\circ$ 的条件下,利用式(5)可求得在这种情况下故障点离保护安装处的距离为 $x = 0.633$ ,这就是P.T二次回路中性点偏移时接地多相补偿距离继电器反方向故障时误动的分界点,即当反方向故障时,若故障点小于线路全线长度的63.3%时继电器误动,大于63.3%时继电器不误动。

从上述分析可以看出,当P.T二次回路中性点发生偏移时,在发生接地故障时可能会造成接地多相补偿继电器正方向拒动而反方向误动的情况。

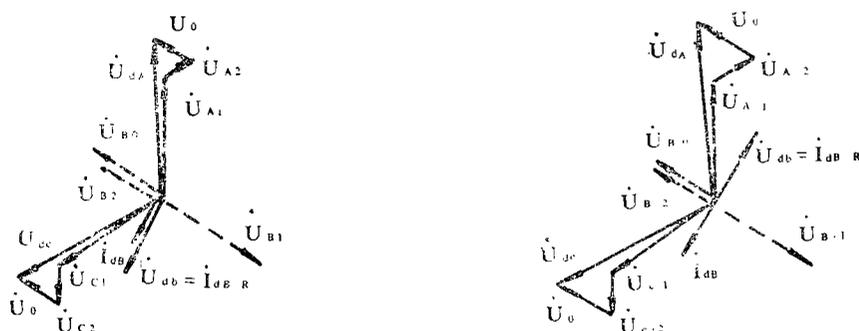
### 3.2 对阻抗选相元件的影响

P.T二次回路中性点偏移对通常用作选相元件的相阻抗继电器的影响可分为下面两个方面来讨论:

①P.T二次回路多点接地所造成的中性点偏移对继电器的影响

造成这种P.T二次回路中性点偏移的原因见2.1中所述。下面来讨论P.T二次回路B相两点接地,而两接地点间又无电缆直接连接,发生接地故障时中性点偏移对相阻抗继电器的影响。

以B相出口金属性接地短路故障为例,由于P.T二次B相接地方式一般在电厂中采用,而发电机、变压器为感性阻抗,因而在电厂发生线路出口金属性接地故障时,一次故障电流滞后于故障电势约 $90^\circ$ ,该故障电流流过P.T端子箱与控制室接地点之间的纯电阻性接地电阻所产生的压降构成了B相接地故障时的二次电压,由于出口接地短路电流值很大,因此该电流将造成B相二次电压的异常升高,甚至超过二次额定电压。若P.T的一、二次绕组为同极性接线,会造成故障时加在相阻抗继电器上的电压和电流相角差为 $0^\circ$ ,见图6(a)示,而当P.T的一、二次绕组为反极性接线时,则会造成加入继电器的电流和电压间的相角差为 $180^\circ$ ,如图6(b)示,图6中 $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$ 表示一次电压, $\dot{U}_{A1}, \dot{U}_{A2}, \dot{U}_{B1}, \dot{U}_{B2}, \dot{U}_{C1}, \dot{U}_{C2}$ 为P.T二次电压。



(a) P.T的一、二次为同极性接线

(b) P.T的一、二次为反极性接线

图6 P.T二次回路二点接地发生B相故障时的矢量图

相阻抗继电器的阻抗特性如图7示,其动作方程式为:

$$Z_i \leq Z_{ZD} \cos(\varphi_{em} - \varphi_j) \quad (6)$$

式中 $\varphi_{em}$ 为继电器的最灵敏角,在 $70^\circ \sim 80^\circ$ 的范围内, $\varphi_j$ 为加入继电器的电压与电流之间的相角差, $Z_{ZD}$ 为继电器的整定阻抗。对于B相故障当P.T的一、二次绕组为同极性接线时,继电器的动作条件将变为 $Z_i \leq Z_{ZD} \cos \varphi_{em} = 0.26 Z_{ZD}$ ,即继电器的整定阻抗圆将大大缩小。由于故障时B相二次电压的异常升高,测量阻抗 $Z_i$ 的值一般会大于 $0.26 Z_{ZD}$ ,因此继电器将拒动。而对于P.T的一、二次为反极性接线时, $\varphi_j = 180^\circ$ ,继电器所测量到的阻抗与整定阻抗圆反向,继电器拒动。

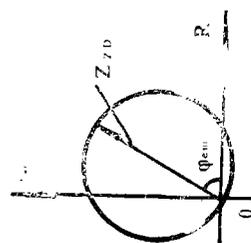


图7 相阻抗继电器的阻抗特性

②由于P.T二次回路中性点未接地或经较大接触电阻接地而造成的中性点偏移对继电器的影响。

当发生这种中性点位移时,由于故障相二次电压自零伏增大到某一值,当出口金属性接地故障时甚至会大于相电压值(见前面分析),因此也可能造成选相元件拒动或动作后在保护出口前迅速返回而造成保护装置拒动。

### 3.3 对零序功率方向继电器的影响

零序功率方向继电器(以下简称 $P_0$ )的动作特性如图8示,当 $-3\dot{U}_0$ 超前 $3\dot{I}_0\varphi_{em}$ (一般 $\varphi_{em}$ 为 $70^\circ$ )时,继电器动作最灵敏。当线路发生接地故障时,若P.T二次回路中性点发生偏移,也会导致二次零序电压的相位发生偏移,造成 $P_0$ 的不正确动作。

发生单相接地故障(以A相出口接地故障为例)时,P.T二次回路中性点偏移时的矢量图如图2(b)所示(设中性点由N偏移至 $N'$ ),对图2(b)和图8不难看出,发生接地故障时若 $-3\dot{U}_0$ 超前 $-3\dot{U}_0$ 的角度超过 $20^\circ$ , $P_0$ 将拒动。当然,如前所述,P.T二次回路中性点偏移的程度与短路点至保护安装处的距离有关,因此 $P_0$ 拒动与否也与这个距离有关。同样由图9可以看出,在发生反方向的单相接地故障时,若 $-3\dot{U}_0$ 滞后 $3\dot{I}_0$ 的角度小于 $90^\circ$ ,则 $P_0$ 将发生误动( $P_0$ 的一个临界动作条件为 $-3\dot{U}_0$ 滞后 $3\dot{I}_0 90^\circ$ )。

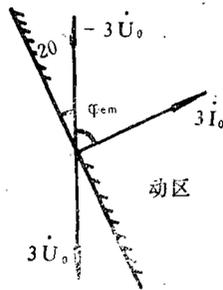


图8 零序功率方向继电器动作特性

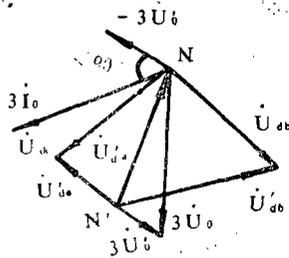


图9 反方向接地故障时的矢量图

### 3.4 对零序电压继电器的影响

在非“四统一”的综合重合闸中,一般都采用零序电压继电器 $Y_0J$ 作为接地故障的判别元件,但当电力系统处于正常状态而P.T二次回路异常时,也会造成 $Y_0J$ 的不正确动作。

这种情况的一个典型例子就是当P.T的二次零序电压回路(开口三角绕组)与星形绕组共用B相二次电缆芯至控制室接地时(见图10示)

由于星形绕组负载电流 $\dot{I}_b$ 将在连线阻抗 $Z_x$ 上造成压降,使 $Y_0J$ 误动。如某电厂的ZZC-4A型综合重合闸装置由于相电流元件触点振动磨损,金属粉末使正电源接至3TJ,使断路器C相跳闸,重合闸启动,当断路器重合后,由于P.T二次b相电流在接地连线阻抗上的压降使 $Y_0J$ 处于动作状态,则在负荷电流的作用下通过图11所示的分相后加速回路启动TJ误跳三

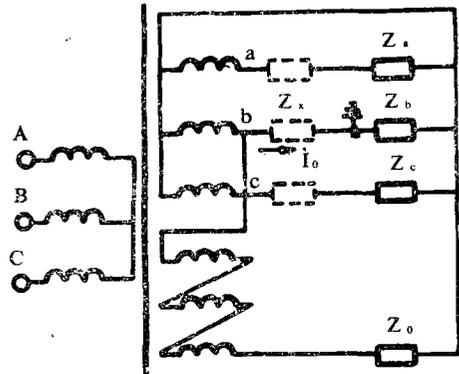


图10 开口三角绕组与星形绕组共用电缆芯接地

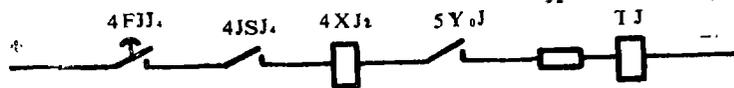


图11 ZC—4 A中的分相后加速回路

#### 4 防止 P.T二次回路异常的措施

由于P.T二次回路异常将造成继电保护装置的不正确动作，因此必须要采取相应的措施防止P.T二次回路出现异常。根据现场运行经验，下面措施对于防止P.T二次回路异常是行之有效的：

- 4.1 P.T二次回路中每一个有电气连接的继电保护回路只允许留一个接地点，且接地一定要可靠。
- 4.2 如几组P.T共用一条“地”母线，则这几组P.T的二次回路共属一个电气连接，也只能有一处接地。这里指的“一处接地”是意味着在强电接地故障时，该“处”接地网的电位各点基本相等，因此在“一处”允许多点接地。控制室的接地网是能满足“接地网电位回点基本相等”条件的。因此，P.T二次回路在控制室内允许多点接地，不必查P.T二次各路在控制室的接地点。
- 4.3 为了降低干扰电压，接地的地点宜选在保护屏所在的控制室内。由P.T端子引出的二次线应用带屏蔽层的电缆，电缆的敷设应尽可能靠近P.T的接地引下线，电缆两端的外皮分别在开关场及控制室内接地。
- 4.4 由P.T端子到接地点间的导线不得串入小开关或保险丝，且不得拆动，以保持P.T二次回路良好可靠的接地。
- 4.5 P.T的不同二次绕组引至控制室接地点的电缆不允许共用电缆芯。具体来说就是对于P.T的开口三角绕组不允许与Y<sub>0</sub>接法的星形绕组接地回路共用电缆芯，即开口三角形绕组必须用单独电缆芯将N线引至控制室后再可靠接地。

#### 参考文献

- [1] 山东工学院编。电力系统继电保护。
- [2] 朱声石著。高压电网继电保护原理与技术。

(上接71页)

$$\lambda_U = \frac{x^2_{1-\frac{2}{3}}(2r)}{2T} \quad (6)$$

$$\lambda_{SL} = \frac{X^2_{\frac{2}{3}}(2r)}{2T} \quad (7)$$

$$\lambda_{SU} = \frac{x^2_{1-\frac{2}{3}}(2r)}{2T} \quad (8)$$

定时截尾试验时的 $\lambda_U$ 、 $\lambda_{SL}$ 、 $\lambda_{SU}$ 为：

$$\lambda_U = \frac{x^2_{1-\frac{\alpha}{2}}(2r+2)}{2T} \quad (9)$$

$$\lambda_{SL} = \frac{x^2_{\frac{\alpha}{2}}(2r)}{2T} \quad (10)$$

$$\lambda_{SU} = \frac{x^2_{1-\frac{\alpha}{2}}(2r+2)}{2T} \quad (11)$$