

基于马尔可夫过程的高压断路器 电子元件可靠性分析

马世骁^{1,2}, 林 莘², 王 钰³, 石 飞²

(1. 沈阳建筑大学管理学院, 辽宁 沈阳 110168; 2. 沈阳工业大学电气工程学院, 辽宁 沈阳 110023;
3. 辽宁省发展和改革委员会, 辽宁 沈阳 110032)

摘 要:目的 通过对真空断路器的电子元件可靠性研究, 提出一种判断高压电器可靠性的方法, 为评价和提高高压断路器的可靠性设计提供有效的途径, 为设计更高水平的高压电器提供理论支持。方法 根据时间变量的现在状态及其变化趋势利用马尔可夫过程, 预测在未来某一特定期间内可能出现的状态。结果 对元件或系统达到平稳工作状态所需的时间以及平稳工作状态的概率大小进行计算; 依据元件达到平稳工作状态所需的时间来确定对元件进行可靠性筛选试验的时间, 并通过实际应用加以验证。结论 为高压电器运行可靠性的决策提供依据, 在选择断路器电子元件时应综合考虑元件的故障率及维修率的大小, 对于拓宽高压电器可靠性设计研究具有一定的借鉴意义。

关键词:断路器; 电子元件; 马尔可夫; 可靠性

中图分类号: TM561.2 **文献标识码:** A

近年来, 随着高压电器的制造商和电力部门对高压电器可靠性认识的提高, 作为电力系统中极为重要的保护控制设备的高压断路器, 其可靠性研究逐步得到人们的重视。由于缺乏在高压电器可靠性方面系统的理论作指导, 尚没有一种完整的方法对高压电器可靠性进行研究^[1-5]。目前对断路器可靠性的研究主要集中在机械可靠性方面, 但电子元件的可靠性也是影响断路器可靠性的主要因素之一^[6-8]。笔者通过对真空断路器的电子元件可靠性进行研究, 提出一种判断高压电器可靠性的方法, 为评价和提高高压断路器的可靠性设计提供有效的途径, 为设计更高水平的高压电器提供理论支持。

1 分析方法

可靠性理论中的马尔可夫过程是一种特殊的

随机过程, 其显著特点是随机变量在 t_n 时的概率与 t_{n-1} 时随机变量的取值有关, 而与 t_{n-1} 以前的过程无关, 它要求随机变量服从指数分布。马尔可夫方法的主要研究对象是一个运行系统的状态和状态的转移, 应用马尔可夫方法的目的就是根据某些变量的现在状态及其变化趋势, 预测在未来某一特定期间内可能出现的状态, 从而为决策提供依据, 因此马氏过程在机械、电子元件和系统的可靠性分析中得到了广泛的应用^[9-10]。

应用马氏过程一方面可以得到元件或系统在各状态(工作状态或故障状态)的状态概率, 另一方面, 通过马氏过程可以计算出元件或系统达到平稳工作状态(状态概率不再改变)所需的时间以及平稳工作状态的概率(稳态可靠度)大小^[11], 这样在对电子元件进行可靠性筛选试验时就不必像过去那样根据经验来确定试验时间或对元件进行

加速寿命试验,而可以依据元件达到平稳工作状态所需的时间来确定应对元件进行试验的时间。

一般电子零件都有两种状态,即工作状态($X = 0$)简称“0”状态;停运(故障)状态($X = 1$)简称“1”状态,工作状态由于故障而转移到停运状态,停运状态由于修理而恢复到工作状态,通常将这样的状态转移过程抽象为可靠性分析中的“两态”模型,其状态模型如图1所示。图1中 λ 为故障率, μ 为维修率, Δt 为状态转移的时间间隔,电子元件的寿命一般都服从指数分布,可以应用马氏过程来进行可靠性分析。

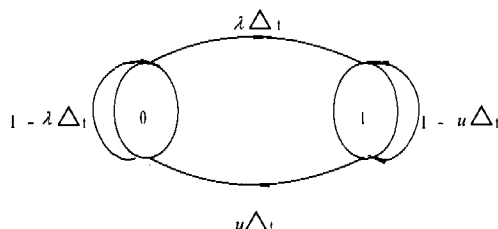


图1 状态转移图

2 应用举例

笔者从VS1型真空断路器的制造商和用户那里收集了一些关于断路器可靠性方面的数据,其中包括有关出厂试验方面的数据、失效统计、失效原因分析等方面的资料,也有关于整机和重要零部件的可靠性数据。从收集的资料发现,断路器电子元件中的微动开关故障率较高,因此很有必要对微动开关运用马氏过程加以分析,以确定其达到平稳工作状态时的可靠度以及达到该状态所需经历的时间,这样就可以为对其进行可靠性筛选试验时确定试验时间^[12]。

2.1 状态概率的计算

为求解微动开关的状态概率,首先要给出马氏过程状态方程的一般表达式^[13],

$$\frac{d}{dt}P(t) = P(t)A \quad (1)$$

式中: $\frac{d}{dt}P(t) = \left[\frac{d}{dt}p_i(t) \right]$ 为各状态概率的导数; $P(t) = [p_1(t), p_2(t) \cdots p_n(t)]$,为各状态概率的行向量; A 为转移密度矩阵。

设微动开关的故障率为 λ ,维修率为 μ ,则微动开关的状态方程为

$$\begin{bmatrix} \frac{dp_0(t)}{dt} & \frac{dp_1(t)}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_0(t) & p_1(t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\lambda & \lambda \\ \mu & -\mu \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中: $p_0(t)$ 为工作状态概率; $p_1(t)$ 为故障状态概率。

应用拉氏变换法求解式(2),并补充初始条件: $p_0(0) + p_1(0) = 1$,得

$$P_0(t) = \frac{\mu}{\mu + \lambda} + \frac{\lambda}{\mu + \lambda} e^{-(\lambda + \mu)t} \quad (3)$$

$$P_1(t) = \frac{\lambda}{\mu + \lambda} - \frac{\lambda}{\mu + \lambda} e^{-(\lambda + \mu)t} \quad (4)$$

2.2 结果分析

通过对收集到的断路器微动开关故障数据的计算和对生产厂家的实际调研,得到微动开关的故障率 λ_1 大约为0.2,维修率 μ_1 大约为0.8,运用马氏过程,利用式(3)和式(4),代入相应的 λ 和 μ ,便可以求出微动开关的稳态可靠度及相应的时间,计算得到的结果见图2。看到其平稳工作状态的概率(稳态可靠度)为0.8,达到稳态可靠度所经历的时间大约为10 h,因此在对微动开关做可靠性筛选试验时,如果微动开关连续工作10 h不失效,则证明该微动开关合格,可以用于产品上。为了进一步说明故障率 λ 和维修率 μ 对微动开关稳态可靠度的影响,笔者又分别取 $\lambda_2 = 0.2$, $\mu_2 = 0.2$; $\lambda_3 = 0.6$, $\mu_3 = 0.8$; $\lambda_4 = 0.6$, $\mu_4 = 0.2$ 三组数据计算了其稳态可靠度及达到该可靠度所需的时间,结果见图3、图4和图5。

(1)分析图2可见,如果微动开关的故障率较低($\lambda_1 = 0.2$),而维修率较高时($\mu_1 = 0.8$),则经过10 h达到平稳状态概率,处于工作状态(“0”状态)的概率为0.8,处于故障状态(“1”状态)的概率为0.2。显然,当元件的故障率低而维修率高时,它的可靠性水平高,这也是在选择元件时应把握的原则。

(2)分析图3可见,如果微动开关的故障率低($\lambda_2 = 0.2$),而维修率也低时($\mu_2 = 0.2$),则要经过24 h运行才达到平稳状态概率,处于工作状态和故障状态的概率均为0.5,可见尽管元件故障率低,但由于维修率也低,其工作状态的平稳状态概率并不高,仅有0.5。

(3)分析图4可见,如果微动开关的故障率高($\lambda_3 = 0.6$),而维修率也高时($\mu_3 = 0.8$),则经过8 h运行就达到平稳状态概率,处于工作状态的概率为0.571 4,处于故障状态的概率为0.428 6,可见尽管元件维修率高,但由于故障率也高,其工作状态的平稳状态概率同样并不高,仅有0.571 4。

(4) 分析图 5 可见, 如果微动开关的故障率高 ($\lambda_4 = 0.6$), 而维修率低时 ($\mu_4 = 0.2$), 工作状态的平稳状态概率很低, 结论与实际情况相符。

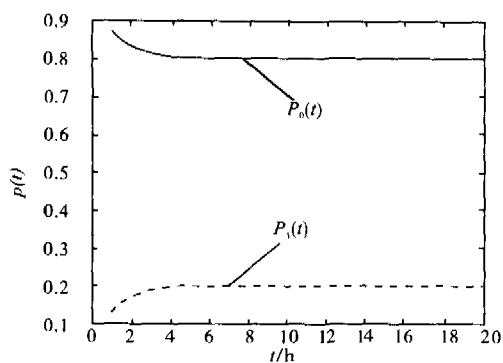


图 2 $\lambda_1 = 0.2, \mu_1 = 0.8$ 时的 $p_0(t), p_1(t)$

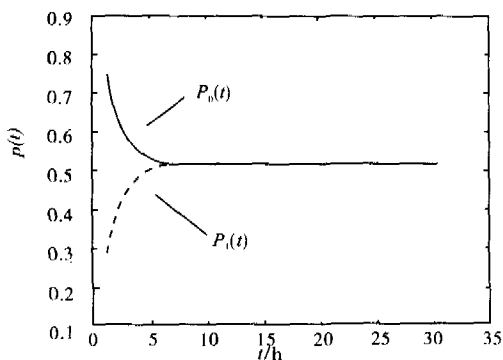


图 3 $\lambda_2 = 0.2, \mu_2 = 0.2$ 时的 $p_0(t), p_1(t)$

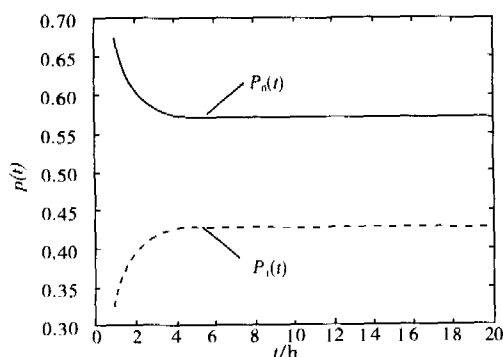


图 4 $\lambda_3 = 0.6, \mu_3 = 0.8$ 时的 $p_0(t), p_1(t)$

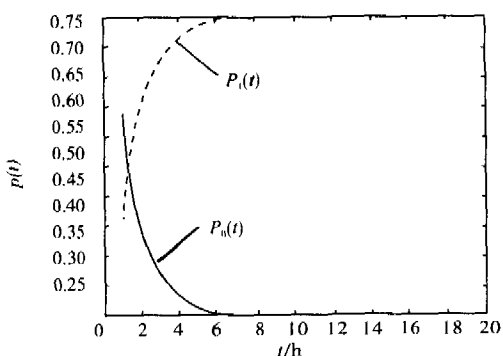


图 5 $\lambda_4 = 0.6, \mu_4 = 0.2$ 时的 $p_0(t), p_1(t)$

3 结 论

(1) 纵观上述 4 种情况可见, 工作状态的平稳状态概率的大小由 λ/μ 决定, 比值越小, 工作状态的平稳状态概率越大; 故障状态的平稳状态概率由 μ/λ 决定, 比值越大, 故障状态的平稳状态概率越小。所以, 在选元件时, 不能仅仅重视元件的故障率或仅仅重视维修率的大小, 而应该将两者综合起来考虑。

(2) 通过马尔可夫过程分析可知, 当电子元件试验到平稳状态时间时, 若元件仍可靠工作, 则表明该元件可靠性高, 可用于作为断路器的电子元件。

(3) 开展高压开关的可靠性研究需要收集大量的可靠性数据, 笔者的研究工作就是在收集了大量的数据的基础上开展起来的, 通过对真空断路器电子元件可靠性的研究, 提出了一些看法和结论, 希望对工程实际有一定的帮助。

参考文献:

- [1] Henderson M. Reliability Indices [C]. Piscataway: Proceedings of 2000 Power Engineering Society Summer Meeting, 2000: 623 - 624.
- [2] Wang Peng, Billinton R. Implementation of Non-uniform Reliability in a Deregulated Power Market [C]. Piscataway: Proceedings of Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, 2001: 857 - 861.
- [3] Chowdhury A A, Koval D O. Customer-responsive Bulk Transmission System Reliability Performance Standards for Use in a Competitive Electricity Market [C]. Piscataway: Proceedings of IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, 2000: 2057 - 2062.
- [4] Okada K, Asano H, Yokoyama R, et al. Reliability-based Impact Analysis of Independent Power Producers for Power System Operations Under Deregulation [C]. Piscataway: Proceedings of the 1999 IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, 1999: 1325 - 1330.
- [5] 林莘. 现代高压电器技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [6] Fang Risheng, Hill D J. A New Strategy for Transmission Expansion in Competitive Electricity Markets [J]. IEEE Trans on Power Systems, 2003, 18 (1): 374 - 380.
- [7] 王季梅. 真空开关理论及其应用 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1986.
- [8] 石飞, 林莘, 徐建源. 机械与电子可靠性在真空断

- 路器中的应用[J]. 电力设备, 2004, 5(12): 71 - 73.
- [9] 张延安. 试论马尔可夫模型及其应用[J]. 沈阳大学学报, 2001, 13(2): 44 - 46.
- [10] 魏国华, 傅家良, 周仲良. 实用运筹学[M]. 上海: 复旦大学出版社, 1987.
- [11] 王世萍, 朱敏波. 电子机械可靠性与维修性[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
- [12] 郭永基. 可靠性工程原理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.
- [13] 郭永基. 电力系统可靠性原理和应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 1986.

The Reliability Analysis of the Electrical Apparatus of High Voltage Circuit Breaker Based on Markov Process

MA Shixiao^{1,2}, LIN Xin², WANG Yu³, SHI Fei²

(1. School of Management Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, China; 2. School of Electrical Engineering, Shenyang University of Technology, Shenyang 110023, China; 3. Liaoning Development and Reform Commission, Shenyang 110045, China)

Abstract: An approach to judge the reliability of high voltage is put forward on the basis of the research of the reliability of vacuum circuit breaker electrical apparatus so that an effective method can be provided to evaluate and better the design of the reliability of high voltage circuit breaker and meanwhile the theory to design more advanced high voltage electrical apparatus is presented. According to time changing at present and its changing tendency, By means of Markov process, will predict the state at the given time in the future. The time for apparatus and system to get into the stable working state (the state ratio will not change) and the ratio of the stable working state will be calculated; the time to have a selective test for the reliability of apparatus parts will be determined according to how long it can get into stable working state and it will be tested through the practical application. It will show some proofs for the decisions of the reliability of high voltage electrical apparatus. The ratio of faults and maintenance should be taken into account comprehensively when selecting the circuit breaker electrical apparatus, and it will take positive effect on the enlarging the sphere of the research and design of the reliability of high voltage electrical apparatus.

Key Words: circuit breaker; electrical apparatus; markov; reliability