

继电保护装置可靠性指标体系再分析 (连载 2)

阿城继电器厂 晏国华

4 工作成功率 R

4.1 定义成功率

保护装置在规定条件下完成规定的运行或试验功能成功的概率。装置进行运行或受试,称为工作,被保护设备没有发生故障(短路、断路以及非正常运行)期间,但装置处于带电准备工作状态简称准备。

4.2 动态工作集

4.2.1 保护装置的工作状态可明确的分为:

- 1) 准备——带电进行保护动作的准备状态;
- 2) 工作成功——当保护区内发生故障时,它发出跳闸脉冲;当相邻区段上发生故障时,它不发出跳闸脉冲。
- 3) 工作失败——也可称为准备失效(如:无故障误动、内部损伤失电等)与动作失效(如:非选择性误动与拒动)之和。

4.2.2 动态工作

2.1 中三种工作状态都是保护装置的累积工作时间的函数,可用下述函数关系表示:

(1) 数据词典

该系统录入的数据包括常用术语必须规范化。为此,建立了 Foxbase+ 环境下的数据词典。操作人员在输入数据时基本上避免了汉字的输入,他只需输入易于记忆的代码,由系统在数据词典中查询后反馈在屏幕上,他只需选择即可,这样就大大地加快了数据输入的速度,并且符合数据规范化的要求。

(2) 自动纠错

数据库管理系统 Foxbase+ 中的查询速度相当快。在数据录入的过程中利用这一特点进行数据的快速查询,及时发现错误,予以纠正并在屏幕上向操作人员报告,以避免进一步的错误后果。

该系统所具有的数据输入过程中的自动纠错功能,不仅能避免人为的输入错误,还能检测出产品设计过程中的错误,这样就提高了数据输入时的可靠性。

(3) 即时修改

当操作人员发现有输入错误时,该系统允许他随时进行修改,这样就提高了数据输入时的灵活性和方便性。

(4) 菜单化的输入手段

在 Foxzplus+ 中,提供了功能很强、形式多样的菜单语句,用它们可以编制出相当漂亮的屏幕显示格式,在工艺过程卡输入模块和工步内容输入模块中,采用了完全菜单化的输入方式,操作人员只需按照菜单揭示进行选择,即可输入全部内容,从根本上保证了这些工艺文件的标准化、规范化。

(1) 动态准备 $O(T)$ 是个函数值恒定为零的连续时间函数, 即

$$O(T) = 0 \quad (8)$$

(2) 工作成功 $S(T)$ 是个函数值为整数点 $(1, 2, 3, \dots)$ 的离散时间 (可控或不可控的累积时间) 函数, 即

$$S(T) = \sum_{i=1}^m \delta_i | \delta_1 \neq \delta_2 \neq \dots | \\ = 1, 2, 3, \dots, m \quad (9)$$

(3) 工作失败 $F(T)$ 也是个函数值为整数点 $(-1, -2, -3, \dots)$ 的离散时间 (不可控的累积时间) 函数, 也可表示为

$$F(T) = \sum_{i=1}^n \eta_i | \eta_1 \neq \eta_2 \neq \dots | \\ = -1, -2, -3, \dots, -n. \quad (10)$$

综上所述 (2) 与 (3) 所述, 可确认保护装置工作成功 $S(T)$ 与工作失败 $F(T)$ 的整数点数值是时间上随机产生的, 它们属于连续参数、离散状态的随机过程, 累积时间 $T = [0, \infty)$, 状态空间由 $0, \pm 1, \pm 2, \dots$ 构成。不言而喻 $O(T) = 0$ 是二者的交界线并且在任一 T 值 $S(T)$ 与 $F(T)$ 不能同时发生。

4.2.3 动态工作集 X_s

既然上述函数是个随机过程, 当然是个动态工程, 可以用动态工作集 X_s 表征之如下:

$$X_s \supset S(T) \cup O(T) \cup F(T) \quad (11)$$

或用图 4 表示

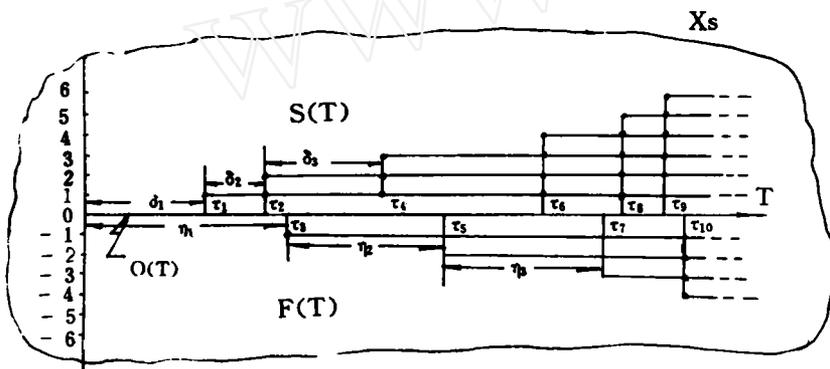


图 4 动态工作集 X_s 的例图

示

由于 X_s 的一切子集 (包括空集 Φ) 组成的拓扑 T_s , 也满足 $(O_1) \sim (O_3)$ 的条件要求, T_s 称之为离散拓扑, 因此, (X_s, T_s) 就是离散拓扑空间。

X_s 拓扑空间具有下述主要特性:

(1) $S(T) \cap F(T) = \Phi = O(T) \subset T_s;$

(2) $O(T) \subset S(T) \cup F(T) \supseteq X_s = T_s;$

(3) 由于 $S(T)$ 与 $F(T)$ 都是整数点集、任何两点之间存在着无限个有理数与无理数, 因而 $S_1, S_2 \in S(T), S_1 \neq S_2$. 两点的邻域 u_1 与 u_2 互不相交, 即 $u_1(s_1, \epsilon) \cap u_2(s_2, \epsilon) = \Phi$ 同理 $f_1, f_2 \in F(T), f_1 \neq f_2$. 它们的邻域 V_1 与 V_2 也互不相交, 即 $V_1(f_1, \epsilon) \cap V_2(f_2, \epsilon) = \Phi$. 其中可令 ϵ 为 $0 < \epsilon < 1/2$. 从而 X_s 是最常用的 T_2 空间也叫作 Hausdorff 空间。

(4) X_s 也满足公理 A_1 (第一可数性公理) 的限制条件, 所以它也是称之为第一可数空间。关于公理 A_1 , 本文略。

综上所述, X_s 属于可分离 (公理 T_2)、可数 (公理 A_1) 的拓扑空间, 给分析计算以十分清晰明确的过程与结果, 既不模糊也无灰色。

4.3 工作成功率 R_s

4.3.1 表达式

根据定义与构成动态工作集 X_s 的两个子集 $S(T)$ 与 $F(T)$, 工作成功率 R_s 的表达式为

$$R_s = \frac{|S(T)|}{|S(T)| + |F(T)|} \quad (12)$$

从式 (12) 可知

$$0 \leq R_s \leq 1,$$

习惯上 R_s 用百分数表示。

4.3.2 分析意见

(1) 由于 $S(T)$ 与 $F(T)$ 具有随机性, 那么 R_s 也具有随机性, 参考举例说明用的图 4, 可求出对应累积时间上的工作成功率的序列值为:

R_s	1	1	0.667	0.75	0.6	0.667	0.57	0.625	0.667	0.6
τ	τ_1	τ_2	τ_3	τ_4	τ_5	τ_6	τ_7	τ_8	τ_9	τ_{10}

从上述序列值说明 R_s 具有随机性, 它具有动态值。

(2) 开始的 $R_s=1$ (即 100%) 或 $R_s=0$ 只能意味着这些是暂时值, 而不能对保护装置的 R_s 值过早下结论。

(3) 后续的 R_s 值也是随机变化, 建议采用当时值较为合理。

(4) 采取可靠性保证措施后, 减少 $F(T)$, 提高 $S(T)$ 会使 $R_s \rightarrow 1$; 或使导数 $S'(T) > 0$, 而使 $F'(T) < 0$, 则更会加速 R_s 向 1 逼近。

(5) 为使 R_s 逼真保护装置的工作成功率的准真值, 应使 $|S(T)| + |F(T)| > 100$, 当然越大越逼真, 不外乎:

- (a) 增加装置运行累积时间 T ;
- (b) 增加装置台、套数;
- (c) 增加仿真试验次数。

(6) 仿真试验和运行考验各有长短, 众所周知, 不再详述对比, 因此, 对于装置的工作成功率应综合二者之值才为全面、较为逼真, 建议采二者平均值为宜, 即

$$\bar{R}_s = \frac{1}{2} (R_{s, \text{Test}} + R_{s, \text{op}}) \quad (13)$$

5 可用度 A

5.1 一般定义

按 GB3187-82 修订稿规定, 可用度 A 用以表征可以维修的产品在某时刻具有或维持规定功能的概率。

可用度 A 最好用下式表示:

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTD + MTTR} \quad (14)$$

式中 $MTBF$ ——平均无故障时间、即平均寿命 θ ,

$MTTD$ ——平均检测时间,

$MTTR$ ——平均修复时间

5.2 $MTBF$ 即 θ

按本文之 3.3 所述, 平均寿命采用当时值 θ_i , 正好符合 A 的定义中所述的“某时刻”的定语, 需要重述的是: 平均寿命是失效点集度量空间中所含距离元的均值。

5.3 MTTD

从保护装置本身产生失效或发生故障起到发现本身故障止, 这段时间也可用时间间隔即时间距离 ρ_{ix} 表示之。对应 θ_i 的累积时间 T_n , 共发生过 n 次本身故障, 也就是检测过 n 次, 那么这时刻平均检测时间的当时值 $MTTD_i$ 为

$$MTTD_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \rho_{ix} \quad (15)$$

如果 $MTTD_i \ll \theta_i$, 即对 A 值影响太小时, 也可以采用 ρ_{ix} 中的最大值, 即 $MTTD_i = \text{Max} \{ \rho_{ix} | i=1, 2, \dots, n \}$ 或忽略不计, 即令 $MTTD_i = 0$ 。

5.4 MTTR

按 GB 3187-82 修订稿规定, 修复时间的定义为: 从发现失效到产品恢复规定功能所需的时间, 即失效诊断、修理准备及修理实施时间之和。

按上述原则, 每次修复时间可用距离 ρ_{ri} 表示之。修复 n 次的平均修复时的当时值 $MTTR_i$ 为

$$MTTR_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \rho_{ri} \quad (16)$$

5.5 可用度的当时值 A_i

综上所述并强调“当时值”, 所有 $MTXX$ 的右下角都标以 t , 式 (14) 改写为

$$A_i = \frac{MTBF_i}{MTBF_i + MTTD_i + MTTR_i} \quad (17)$$

6 可靠性指标体系

6.1 机电产品可靠性指标体系的确定原则

6.1.1 可靠性指标确定的原则

参考 1991 年 9 月机电部机械标准化研究所负责起草的《产品技术文件中可靠性指标的选择导则 (送审稿)》第 6 款可靠性指标名称的确定内容、1990 年 7 月法国 P·DUVEAU 先生给中国许昌继电器研究所方文楷先生来信征求意见中建议要考虑的三点以及保护装置的特殊性, 确定可靠性指标必须符合两大原则:

- (1) 最终产品的可靠性指标应最大限度地反映产品的可靠性水平。在完整地反映其可靠性特征的前提下, 应使产品可靠性指标尽量少。
- (2) 可靠性指标应反映使用要求和当前产品的薄弱环节。

6.1.2 可靠性指标体系应表征的特性

参考 1.1 中的文献、特别是机械院可靠性中心推进室起草的《机电产品可靠性考核评定方法制订导则 (试行稿)》中的附表, 指标体系应表征的特性主要如下:

- (1) 耐久性: 可靠度、平均寿命等等;
- (2) 无故障性: 故障率、平均无故障工作时间等等;
- (3) 维修性: 维修度、平均维修时间等等;
- (4) 经济性: 维修成本等等;
- (5) 可用性: 可用度等;
- (6) 特殊性: 保护装置具有的特殊性可用它的工作中各种时间距离 ρ_x 之间的差别表示之:

$$\rho_{\text{带电准备}} \gg \rho_{\text{维修}} \gg \rho_{\text{动作}}$$

6.2 指标体系的拓扑分析

6.2.1 指标体系特性的赋符(号)

为便于拓扑分析,作如下赋符:

耐久性为 D_u , 无故障性为 \bar{F}_λ , 维修性为 M_λ , 经济性为 E_c , 可用性为 A_v , 特殊性为 ρ_λ .

6.2.2 建立闭集族

该闭集族有三:

(1) 平均寿命闭集 $C_{\theta} \supset D_u \cup \bar{F}_\lambda \cup E_c$

(2) 工作成功率闭集 $C_{R_s} \supset D_u \cup \bar{F}_\lambda \cup E_c \cup \rho_\lambda$

(3) 可用度闭集 $C_{A_v} \supset D_u \cup \bar{F}_\lambda \cup M_\lambda \cup E_c \cup A_v \cup \rho_\lambda$

6.2.3 建立紧空间 X_{IS} ——指标体系集

$X_{IS} \supset C_{\theta} \cup C_{R_s} \cup C_{A_v}$ 是个拓扑空间, 并且 $C_{\theta} \cap C_{R_s} \cap C_{A_v} \neq \Phi$, 具有有限交性质, 这是 X_{IS} 为紧空间的充要条件。

6.2.4 综合 2.2 与 2.3, 已经充分说明:

保护装置的可靠性指标体系由平均寿命 θ 、工作成功率 R_s 与可用度 A_v 组成完全符合本章 1.1 小节中提出的两大原则。

7 结论

7.1 保护装置的可靠性指标体系主要由平均寿命 θ 、工作成功率 R_s 与可用度 A_v 组成完全符合有关文献规定, 建议编制专业标准试行。

7.2 采用拓扑理论, 分析产品可靠性有关问题, 具有概念清晰、严密深刻等优点, 本文在这方面走出了探索的一步, 请同行批评指正, 逐步完善。

参考文献

- 1 寿纪麟、王绵森著. 分析拓扑引论. 西安交大出版社, 1986年12月
- 2 许优云等编著. 可靠性基础及其应用. 机械工业部仪表局质量处, 1985年3月
- 3 可靠性国家标准汇编. 机电部机械标准化研究所, 1990年
- 4 机电产品可靠性考核评定方法制订导则(试行稿). 机械院可靠性中心, 1991年
- 5 法国 P·DUVEAU 先生给中国许继所方文楷先生的一封信, 1990年7月
- 6 产品技术文件中可靠性指标的选择导则(送审稿). 机电部机械标准化研究所, 杨立军起草 1991年9月