

文章编号: 1000-128X(2018)05-0112-05

# 计算机联锁系统故障预测模型及应用

冯浩楠, 姜庆阳, 滕 达, 范 楷, 王俊高

(中国铁道科学研究院集团有限公司 通信信号研究所, 北京 100081)

**摘 要:** 计算机联锁系统在铁路系统中起着重要作用, 目前其故障后维修的管理模式无法适应铁路快速发展的要求。以 CBTC 系统中应用的计算机联锁系统为例, 提出基于部件故障数学模型和整体系统故障树分析构建的预测模型, 得到系统失效概率趋势。系统失效趋势图表明计算机系统运行状态分为 3 个阶段, 各阶段的维修策略与故障事件关键重要度概率大小特点相关。该方法为系统故障状态预测、维修决策提供了理论依据。

**关键词:** 故障树; 故障预测; 计算机联锁系统; 维修决策; 关键重要度

**中图分类号:** U284.362

**文献标识码:** A

**doi:** 10.13890/j.issn.1000-128x.2018.05.025

## Prognostic Evaluation Model and Application for Computer Interlocking System

FENG Haonan, JIANG Qingyang, TENG Da, FAN Kai, WANG Jungao

(Signal and Communication Research Institute, China Academy of Railway Sciences Co., Ltd., Beijing 100081, China)

**Abstract:** Computer interlocking system plays an important role in railway, but its breakdown maintenance cannot stratify requirements of fast developing railway. Prediction model was developed based on mathematical model of components and entire system fault tree analysis, and interlocking system failure probability trend was calculated in the application background of CBTC system. System trend diagram implied that it had three operating condition stages, and corresponding maintenance strategies was linked with critical importance probability of failure events in each stage. The method provided theoretical basis for system prognostic evaluation, maintenance strategy.

**Keywords:** fault tree; prognostic evaluation; computer interlocking system; maintenance decision; criticality importance measures

## 0 引言

计算机联锁系统作为铁路信号系统中的关键安全设备, 是铁路安全可靠运转的重要保证<sup>[1-2]</sup>。为了避免系统故障产生的严重影响, 计算机联锁系统采用冗余技术来提高系统的可靠性和安全性<sup>[3-4]</sup>, 但铁路系统设备维护方面仍然存在着系统及设备状态监测不足、故障诊断和处理方式存在缺陷、维修维护手段亟待改进<sup>[5-7]</sup>等一些不足。

故障预测和健康管理 (prognostic evaluation and health management, PHM) 近年来迅速发展, 成为系统保障维护的趋势, 并且在航空航天等领域得到了广泛的

应用<sup>[8]</sup>。

本文在对计算机联锁系统结构分析和部件的故障模型建立的基础上, 利用故障树方法对系统失效率变化趋势进行预测, 采用关键重要度分析故障树基本事件对系统状态的影响, 结合系统失效概率趋势图对系统状况进行客观评估并选取维修阈值, 找出影响系统运行期间失效率大幅增加的基本事件, 为计算机联锁系统故障的科学预防和合理维修的决策提供客观依据。

## 1 计算机联锁结构及故障分析

### 1.1 计算机联锁结构及工作原理

控制铁路信号的计算机联锁设备安全性能需要达到 SIL4 级<sup>[9-10]</sup>, 常用结构包括双机热备、三取二和二乘二取二等形式。其中, 二乘二取二结构系统基本结

收稿日期: 2017-05-17; 修回日期: 2018-06-03

基金项目: 中国铁道科学研究院重点计划项目(1652TH0903, 1651TH7005)

构图如图1所示, 在可靠性和安全性方面具有相对优势因而得到了广泛的应用<sup>[11]</sup>。

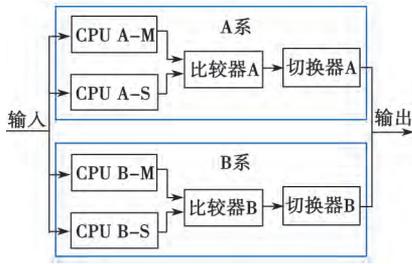


图1 二乘二取二系统基本结构

二乘二取二系统的基本结构包括两系, 每系包括1个主CPU-M和1个从CPU-S, 1个比较器和1个切换器。4个CPU同时接收外来数据。当系内2个CPU计算输出数据不同或者通信中断时, 系内比较器的比较结果会出现不一致, 报告切换器并视情况进行切换。如果没有故障, A和B系内两个CPU计算结果一致, 比较器分别输出有效信号给切换器将运算结果输出。

采用二乘二取二结构的计算机联锁系统中包括2个系统A系和B系, 二者结构相同, 分别包括主处理器CPU-M和从处理器CPU-S、1个比较器CMP、1个切换器SW、IO输入输出子系统、电源板POWER、2个CAN通信板CAN-M和CAN-S、1个与线路侧电子设备(line electronic unit, LEU)连接的串口板COM、1个以太网板ETH通过内部交换机与人机交互接口机器(man machine interface MMI)通信、3个以太网板ETH通过数据通信系统(data communication system, DCS)

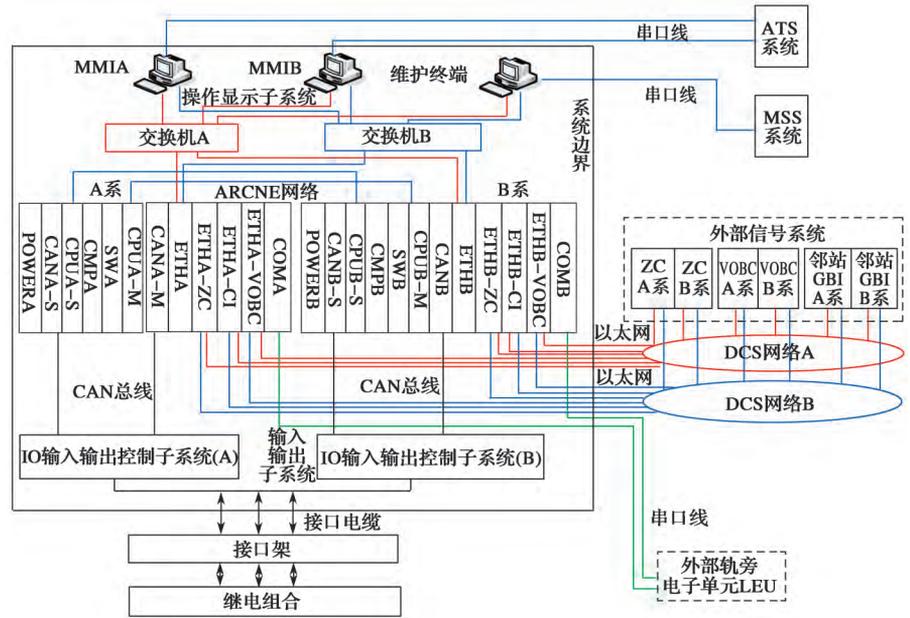


图2 计算机联锁系统在CBTC系统中连接图

分别与区域控制器(zone controller, ZC)、车载控制器(vehicle on board controller, VOBC)、临站联锁(computer interlocking, CI)系统通信, 此外还包括2个监控机MMI和1个维护终端。MMI通过串口线与列车自动监控(automatic train supervision, ATS)连接通信, 维护终端通过串口线与微机监测系统(machine supervision system, MSS)连接通信。在基于通信的列车自动控制环境中的应用如图2所示。

### 1.2 计算机联锁故障模型

#### 1.2.1 故障树分析

针对计算机联锁系统的系统结构特点和风险识别, 得到故障树如图3所示。

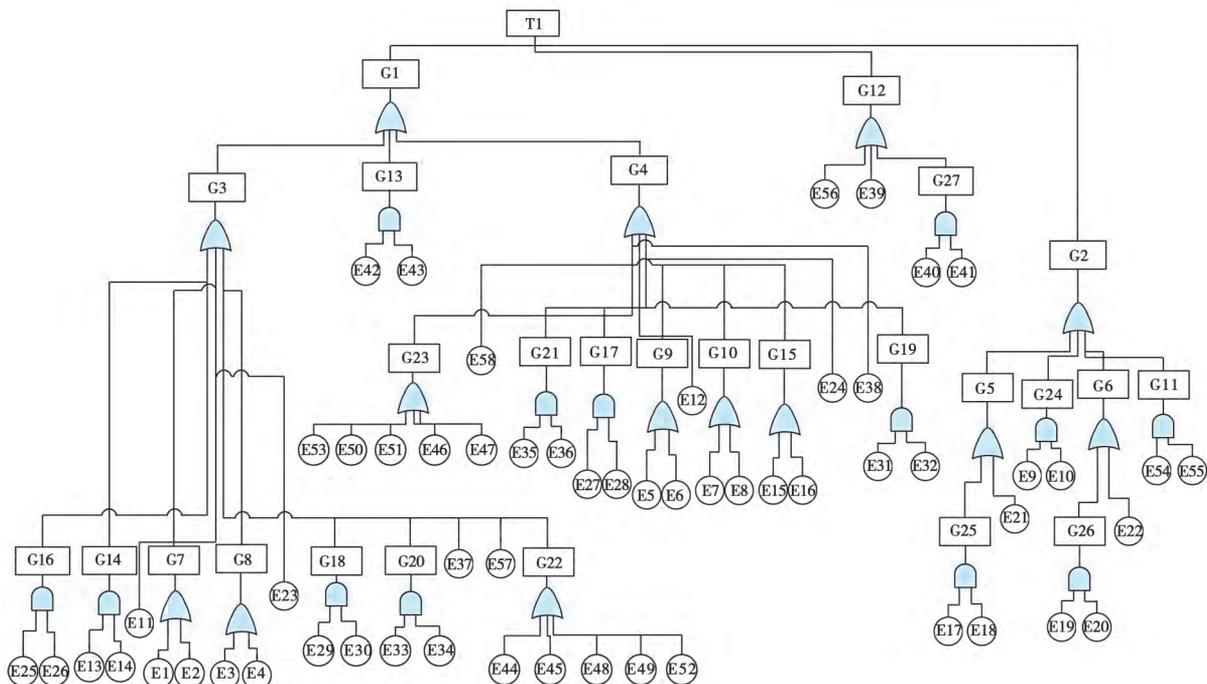


图3 计算机联锁系统故障树

表 1 中列举了图 3 中系统故障树的顶事件、门事件、基本事件的描述以及基本事件发生的概率。

顶事件 T 可以由最小割集  $C_1, C_2, \dots, C_m$  的组合表示:

$$T = \sum_{i=1}^m C_i \quad (1)$$

顶事件 T 计算机联锁失效概率  $Q_T$  由最小割集概率  $P(C_i)(i=1, 2, \dots, m)$  表示:

表 1 事件及发生概率

事件符号	描述	概率 P/%	事件符号	描述	概率 P/%
T	计算机联锁系统失效	-	E16	ETHB 与交换机 B 的蓝网连接线路故障	5
G1	控制子系统输出导向故障 - 安全状态	-	E17	MMIA 与交换机 A 的红网连接线路故障	5
G2	操作子系统故障	-	E18	MMIA 与交换机 B 的蓝网连接线路故障	5
G3	A 系输出导向故障 - 安全状态	-	E19	MMIB 与交换机 A 的红网连接线路故障	5
G4	B 系输出导向故障 - 安全状态	-	E20	MMIB 与交换机 B 的蓝网连接线路故障	5
G5	MMIA 失效	-	E21	MMIA 电源故障	1
G6	MMIB 失效	-	E22	MMIB 电源故障	1
G7	比较器 CMPA 检测到运算模块可测失效, 导致 A 系输出导向故障 - 安全状态	-	E23	B 系电源 POWERB 故障	1
G8	比较器 CMPA 检测到两运算模块结果不一致, A 系划归为故障系且切除	-	E24	A 系电源 POWERA 故障	1
G9	比较器 CMPB 检测到运算模块可测失效, 导致 B 系输出导向故障 - 安全状态	-	E25	ETHA-ZC 与 DCSA 的红网连接线路故障	5
G10	比较器 CMPB 检测到两运算模块结果不一致, B 系划归为故障系且切除	-	E26	ETHA-ZC 与 DCSB 的蓝网连接线路故障	5
G11	操作子系统与 ATS 通信中断	-	E27	ETHB-ZC 与 DCSA 的红网连接线路故障	5
G12	维护终端失效	-	E28	ETHB-ZC 与 DCSB 的蓝网连接线路故障	5
G13	A 系与 B 系通信中断	-	E29	ETHA-CI 与 DCSA 的红网连接线路故障	5
G14	A 系与 MMIA 和 MMIB 同时通信中断	-	E30	ETHA-CI 与 DCSB 的蓝网连接线路故障	5
G15	B 系与 MMA 和 MMIB 同时通信中断	-	E31	ETHB-CI 与 DCSB 的红网连接线路故障	5
G16	A 系与 ZC 通信中断	-	E32	ETHB-CI 与 DCSB 的蓝网连接线路故障	5
G17	B 系与 ZC 通信中断	-	E33	ETHA-VOBC 与 DCSA 的红网连接线路故障	5
G18	A 系与临站 CI 通信中断	-	E34	ETHA-VOBC 与 DCSB 的蓝网连接线路故障	5
G19	B 系与临站 CI 通信中断	-	E35	ETHB-VOBC 与 DCSA 的红网连接线路故障	5
G20	A 系与 VOBC 通信中断	-	E36	ETHB-VOBC 与 DCSB 的蓝网连接线路故障	5
G21	B 系与 VOBC 通信中断	-	E37	COMA 与 LEU 的串口连接线路故障	10
G22	A 系与 IO 通信中断	-	E38	COMB 与 LEU 的串口连接线路故障	10
G23	B 系与 IO 通信中断	-	E39	维护终端电源故障	1
G24	操作系统与控制系统通信中断	-	E40	维护终端与交换机 A 红网连接线路故障	5
G25	MMIA 与交换机 A 和 B 中断	-	E41	维护终端与交换机 B 蓝网连接线路故障	5
G26	MMIB 与交换机 A 和 B 中断	-	E42	CPUA-M 与 CPUB-M 连接 ARCNET 连接线路故障	1
G27	维护终端与交换机 A 和 B 中断	-	E43	CPUA-S 与 CPUB-S 连接 ARCNET 连接线路故障	1
E1	处理器 CPUA-M 可测失效	1	E44	IO 通信模块 CANA-M 故障	1
E2	处理器 CPUA-S 可测失效	1	E45	IO 通信模块 CANA-S 故障	1
E3	处理器 CPUA-M 不可测失效	1	E46	IO 通信模块 CANB-M 故障	1
E4	处理器 CPUA-S 不可测失效	1	E47	IO 通信模块 CANB-S 故障	1
E5	处理器 CPUB-M 可测失效	1	E48	IO 通信模块 CANA-M 与 IO 输入输出子系统 A 的通信线路故障	1
E6	处理器 CPUB-S 可测失效	1	E49	IO 通信模块 CANA-S 与 IO 输入输出子系统 A 的通信线路故障	1
E7	处理器 CPUB-M 不可测失效	1	E50	IO 通信模块 CANB-M 与 IO 输入输出子系统 B 的通信线路故障	1
E8	处理器 CPUB-S 不可测失效	1	E51	IO 通信模块 CANB-S 与 IO 输入输出子系统 B 的通信线路故障	1
E9	交换机 A 故障	1	E52	IO 输入输出子系统 A 故障	1
E10	交换机 B 故障	1	E53	IO 输入输出子系统 B 故障	1
E11	比较器 CMPA 失效, 无法正确比较 A 系 CPUA-M 和 CPUA-S 的计算结果	1	E54	MMIA 与 ATS 系统的连接线故障	10
E12	比较器 CMPB 失效, 无法正确比较 B 系 CPUA-M 和 CPUA-S 计算结果	1	E55	MMIB 与 ATS 系统的连接线故障	10
E13	ETHA 与交换机 A 的红网连接线路故障	5	E56	维护终端与 MSS 系统的连接线故障	10
E14	ETHA 与交换机 B 的蓝网连接线路故障	5	E57	切换器 SWA 失效	1
E15	ETHB 与交换机 A 的红网连接线路故障	5	E58	切换器 SWB 失效	1

$$Q_T = \sum_{i=1}^m P(C_i) - \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=i+1}^m P(C_i C_j) + \dots + \sum_{i=1}^{m-2} \sum_{j=i+1}^{m-1} \sum_{k=j+1}^m [P(C_i C_j C_k) + \dots + (-1)^{m-1} P(C_1 C_2 \dots C_m)] \quad (2)$$

式 (2) 可以采用二元决策图 (binary decision diagram, BDD) 方法进行求解<sup>[12]</sup>。

### 1.2.2 基本器件故障失效模型

表 1 列举的基本事件概率分布函数可选取指数分布、威布尔分布、线性分布和常数分布<sup>[13]</sup>, 如式 (3) ~ 式 (6) 所示。

指数分布:

$$f(t) = 1 - e^{-\lambda t}, t \geq 0 \quad (3)$$

式中:  $\lambda$  为指数参数。

威布尔分布:

$$f(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha}, t \geq 0 \quad (4)$$

式中:  $\alpha$  为形状参数;  $\beta$  为尺度参数。

线性分布:

$$f(t) = \begin{cases} nt, n > 0, nt < 1 \\ 1, n > 0, nt \geq 1 \end{cases} \quad (5)$$

式中: 参数  $n$  为线性参数。

常数分布:

$$f(t) = K, t \geq 0 \quad (6)$$

式中:  $K$  为常数,  $K \in [0, 1]$

根据计算机联锁系统组成器件的设计参数和测试试验数据, 确定基本事件的故障失效数学模型和参数, 如表 2 所示。

表 2 基本事件数学模型参数

基本事件	$\lambda$	$\alpha$	$\beta$	$n$	$K$	基本事件	$\lambda$	$\alpha$	$\beta$	$n$	$K$	基本事件	$\lambda$	$\alpha$	$\beta$	$n$	$K$
E1	-	0.1	$10^3$	-	-	E21	-	10	$10^4$	-	-	E41	-	-	-	-	$10^{-11}$
E2	-	0.1	$10^3$	-	-	E22	-	10	$10^4$	-	-	E42	-	-	-	-	$10^{-11}$
E3	-	10	$10^3$	-	-	E23	-	10	$10^4$	-	-	E43	-	-	-	-	$10^{-11}$
E4	-	10	$10^3$	-	-	E24	-	10	$10^4$	-	-	E44	-	0.01	$10^4$	-	-
E5	-	0.1	$10^3$	-	-	E25	-	-	-	-	$10^{-11}$	E45	-	0.01	$10^4$	-	-
E6	-	0.1	$10^3$	-	-	E26	-	-	-	-	$10^{-11}$	E46	-	0.01	$10^4$	-	-
E7	-	10	$10^3$	-	-	E27	-	-	-	-	$10^{-11}$	E47	-	0.01	$10^4$	-	-
E8	-	10	$10^3$	-	-	E28	-	-	-	-	$10^{-11}$	E48	-	-	-	$10^{-7}$	-
E9	$10^{-6}$	-	-	-	-	E29	-	-	-	-	$10^{-11}$	E49	-	-	-	$10^{-7}$	-
E10	$10^{-6}$	-	-	-	-	E30	-	-	-	-	$10^{-11}$	E50	-	-	-	$10^{-7}$	-
E11	-	-	-	$10^{-7}$	-	E31	-	-	-	-	$10^{-11}$	E51	-	-	-	$10^{-7}$	-
E12	-	-	-	$10^{-7}$	-	E32	-	-	-	-	$10^{-11}$	E52	$10^{-6}$	-	-	-	-
E13	-	-	-	-	$10^{-11}$	E33	-	-	-	-	$10^{-11}$	E53	$10^{-6}$	-	-	-	-
E14	-	-	-	-	$10^{-11}$	E34	-	-	-	-	$10^{-11}$	E54	-	-	-	-	$10^{-11}$
E15	-	-	-	-	$10^{-11}$	E35	-	-	-	-	$10^{-11}$	E55	-	-	-	-	$10^{-11}$
E16	-	-	-	-	$10^{-11}$	E36	-	-	-	-	$10^{-11}$	E56	-	-	-	-	$10^{-11}$
E17	-	-	-	-	$10^{-11}$	E37	-	-	-	-	$10^{-11}$	E57	-	-	-	$10^{-7}$	-
E18	-	-	-	-	$10^{-11}$	E38	-	-	-	-	$10^{-11}$	E58	-	-	-	$10^{-7}$	-
E19	-	-	-	-	$10^{-11}$	E39	-	10	$10^4$	-	-						
E20	-	-	-	-	$10^{-11}$	E40	-	-	-	-	$10^{-11}$						

由式 (3) ~ 式 (6) 可以得到系统故障树的 58 个基本事件在  $10^5$  h 内的失效概率趋势图, 如图 4 所示。

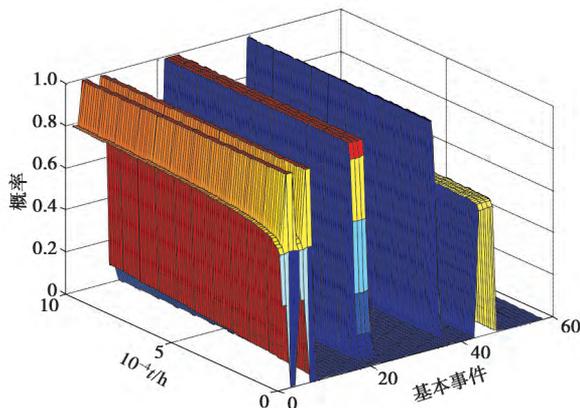


图 4 计算机联锁系统基本事件失效概率趋势

## 2 系统状态评估

### 2.1 系统状态评估指标

图 3 的系统故障树顶事件代表系统失效状态概率, 可以采用关键重要度参数进行分析<sup>[14]</sup>。该参数  $CI(t)$  可以反映基本事件产生的微小的相对变化而导致顶事件发生概率的相对变化率, 计算公式如下:

$$CI(t) = \frac{f(t)}{Q_T} \frac{\partial Q_T}{\partial f(t)} \quad (7)$$

根据表 1 和表 2 的模型参数, 式 (2) ~ 式 (7) 计算得到的各个基本事件对顶事件的关键重要度影响如图 5 所示。

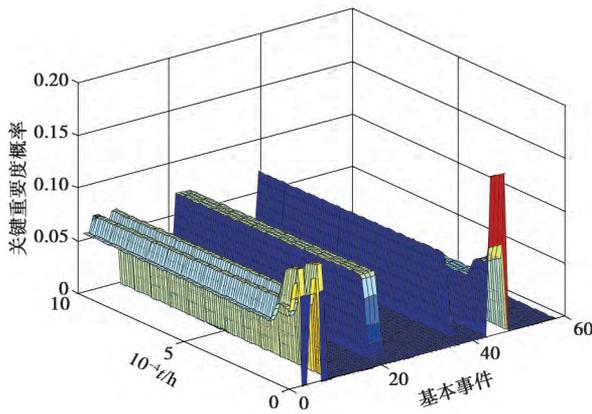


图 5 基本事件的关键重要度

图 5 反映了所有基本事件对整体系统的影响程度。E1 至 E8, E44 至 E47, E21 至 E24, E39 这些基本事件在系统运行过程中对整个系统顶事件有重要影响, 不同运行阶段的影响效果和趋势不同。

### 2.2 系统失效概率趋势及其分析

根据表 1 和表 2 的参数, 式 (2) ~ 式 (6) 计算得到顶事件计算机联锁系统的失效概率  $P$  随时间  $t$  变化趋势, 如图 6 所示。

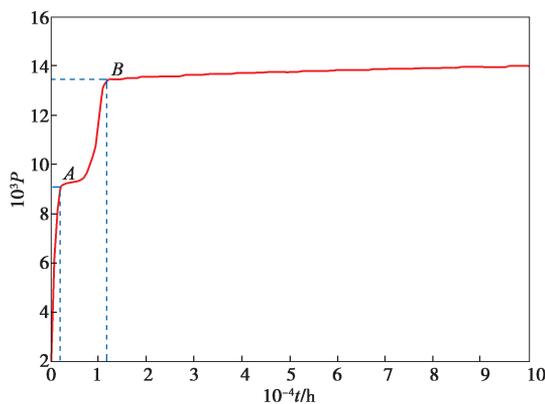


图 6 计算机联锁系统失效概率趋势

图 6 表明计算机联锁系统失效概率可以分为 3 个阶段:

- ①阶段 I: 系统运行初期 2 000 h 内, 系统失效概率快速增加;
- ②阶段 II: 系统运行至 2 000 ~12 000 h 的时间区间内, 系统失效概率再次大幅攀升;
- ③阶段 III: 系统运行至 12 000~10<sup>5</sup> h 内, 系统失效概率趋于稳定阶段。

整体趋势图中, 阶段 I 到阶段 II 的转折点 A 和阶段 II 到阶段 III 的转折点 B 是系统状态重要的转换节点, 也是系统故障诊断亟待分析的关键点。当系统处于状态转折点 A 和 B, 计算各个基本事件的关键重要概率图如图 7、图 8 所示。

由图 7、图 8 可知, E1 至 E8, E44 至 E47 这 12 个基本事件在 2 个系统全阶段持续产生影响, 因此在系统全寿命运行周期, 需要对两系主从运算模块 CPU、

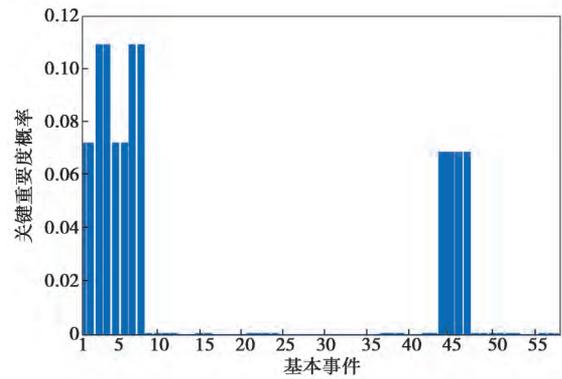


图 7 系统位于分析点 A 时各个基本事件的关键重要度概率

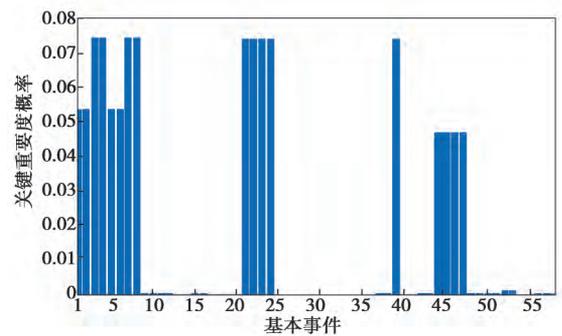


图 8 系统位于分析点 B 时各个基本事件的关键重要度概率

两系主从 IO 通信模块进行持续关注, 做好备品备件工作。

从图 7 和图 8 对比可知, 基本事件 E21 至 E24, E39 的关键重要概率从 0.002 增加到 0.07, 增加了 34 倍, 系统的电源故障是系统第 II 阶段运行故障增加的新原因, 维修人员需要对联锁系统、MMI 和维护终端的电源模块重点关注。

根据系统运行状况不同阶段的特点, 得到计算机联锁维修计划如表 3 所示。

表 3 计算机联锁系统维修策略

运行阶段	基本事件	重点关注的系统部件
I	E1,E2,E3,E4,E5,E6,E7,E8,E44,E45,E46,E47	两系主从运算模块 CPU, 两系主从 IO 通信模块
II	E1,E2,E3,E4,E5,E6,E7,E8,E21,E22,E23,E24,E39 E44,E45,E46,E47	两系主从运算模块 CPU, 两系主从 IO 通信模块, 联锁系统, MMI 和维护终端的电源模块
III	系统进入稳定阶段	-

### 3 结论

本文建立的系统故障预测模型, 在以下方面发挥了重要作用:

①根据系统失效概率趋势图将系统运行状况合理规划分成不同阶段, 针对不同运行阶段的特点, 寻找造成系统失效的关键因素, 有针对性地制定人员维修计划和备品备件准备工作, 为系统维修计划提供了客观参考依据, 同时提高了系统的可靠性和可用性。

②通过对系统状态的准确判断, 降低了检修人员工作强度, 减少了对备品备件、保障资源的需求, 降低了维修维护成本, 实现对系统生命周期费用的有效

管理。

③分析结果为系统升级换代提供有效的理论指导。对 E1 至 E8, E44 至 E47 等对系统性能产生重要影响的关键少数基本事件的产生原因进行进一步分析, 并对相应器件进行重点改良, 提升系统性能。

通过合理选取组成器件失效模型和系统故障树, 该方法可推广到其他领域复杂电子系统的故障预测中。

#### 参考文献:

- [1] 许丽, 苏思琦, 旷文珍. 全电子计算机联锁系统的通信协议设计及安全性分析 [J]. 中国铁道科学, 2012, 33(6): 83-87.
- [2] CENELEC. Railway applications: safety related electronic systems for signaling: BS EN 50129: 2003 [S]. Britain: European Committee for Electrotechnical Standardization, 2003.
- [3] CHEN X X, ZHOU G SH, YANG Y, et al. A newly developed safety critical computer system for China metro [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2013, 14(2): 709-719.
- [4] 张本宏, 陆阳, 韩江洪, 等. “二乘二取二”冗余系统的可靠性和安全性分析 [J]. 系统仿真报, 2009, 21(1): 256-261.
- [5] 陈建译. 基于故障预测与健康管理的铁路信号设备维护技术研究 [J]. 中国铁路, 2015(3): 16-20.
- [6] 王圯, 何正友, 林圣, 等. 高铁牵引供电系统 PHM 与主动维护研究 [J]. 西南交通大学学报, 2015, 50(5): 942-952.
- [7] 何正友, 程宏波. 高铁铁路牵引供电系统健康管理及故障预警体系研究 [J]. 电网技术, 2012, 36(10): 259-264.
- [8] 彭宇, 刘大同. 数据驱动故障预测和健康管理综述 [J]. 仪器仪表学报, 2014, 35(3): 481-495.
- [9] 旷文珍. 铁路车站分布式计算机联锁系统 [J]. 中国铁道科学, 2012, 33(5): 139-143.
- [10] 陈光武, 范多旺, 魏宗寿, 等. 基于二乘二取二的全电子计算机联锁系统 [J]. 中国铁道科学, 2010, 31(4): 138-144.
- [11] 冯雪, 王喜富. 基于动态故障树的计算机联锁系统可靠性及性能分析研究 [J]. 铁道学报, 2011, 33(12): 78-82.
- [12] 陶勇剑, 董德存, 任鹏. 故障树分析的二元决策图方法 [J]. 铁路计算机应用, 2009, 18(9): 4-7.
- [13] 米根锁, 张凤霞, 魏蕾. 基于剩余寿命的铁路轨道电路调整型维修方法研究 [J]. 铁道学报, 2015, 37(4): 69-74.
- [14] 曹利锋, 邹树梁, 唐德文. 基于 VC++ 与 MATLAB 的故障树分析系统 [J]. 计算机技术与发展, 2014, 24(1): 77-84.

作者简介: 冯浩楠 (1984-), 男, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为城市轨道交通系统研究与故障识别。

(上接第 111 页)

- [2] 李逆. 基于虚拟仪器的 PCBA 智能视觉检测技术研究 [D]. 桂林: 桂林电子科技大学, 2009.
- [3] 李汉国, 何星, 阎晓娜. 印制电路板的自动光学检测 [J]. 无损检测, 2004, 26(4): 307-309.
- [4] 陈锡辉, 张银鸿. LabVIEW 8.20 程序设计从入门到精通 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2007.
- [5] 杨乐平, 李海涛, 赵勇, 等. LabVIEW 高级程序设计 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.

- [6] 吕军. 基于虚拟仪器技术的工业视觉检测系统 [D]. 广州: 暨南大学, 2003.
- [7] 刘波. 表面贴装 LED 全自动编带机视觉监测系统研制 [D]. 西安: 西安工业大学, 2013.

作者简介: 高峰 (1985-), 男, 工程师, 主要从事电路板 DFT/DFM, 边界扫描测试、在线测试、机器视觉等测试技术研究。

## 广告索引

深圳市宝创科技有限公司 (封 2- 前插 1)  
 株洲中车时代电气股份有限公司 (前插 2)  
 广州金升阳科技有限公司 (前插 3)  
 三菱电机机电 (上海) 有限公司 (前插 4)  
 北京赛为达科技有限公司 (前插 5)  
 咸阳亚华电器有限公司 (前插 6)  
 湖南中车时代电动汽车股份有限公司 (前插 7-8)  
 湖北平安电工材料有限公司 (前插 9)  
 南通江海电容器股份有限公司 (前插 10)  
 雷莫电子 (上海) 有限公司 (前插 11)  
 株洲时代新材料科技股份有限公司 (前插 12)  
 株洲庆云电力机车配件工厂有限公司 (前插 13)  
 河谷 (佛山) 智能装备股份有限公司 (前插 14)  
 汕头华兴冶金设备股份有限公司 (前插 15)  
 宁夏银利电气股份有限公司 (前插 16)  
 世模科技股份有限公司 (中插 1)

湖南中车时代通信信号有限公司 (中插 2)  
 株洲中车时代电气股份有限公司半导体事业部 (中插 3)  
 株洲交流技术国家工程研究中心有限公司 (中插 4-5)  
 襄阳中车电机技术有限公司 (中插 6-7)  
 宝鸡中车时代工程机械有限公司 (中插 8)  
 上海意兰可电力电子设备有限公司 (后插 1)  
 深圳通业科技股份有限公司 (后插 2)  
 舟山市庆丰铁路仪表有限公司 (后插 3)  
 温州市龙电绝缘材料有限公司 (后插 4)  
 湖南省宁乡县中南散热器有限公司 (后插 5)  
 2018 第十三届上海国际轨道交通展览会 (后插 6)  
 珠海金电电源工业有限公司 (后插 7)  
 中铁检验认证株洲牵引电气设备检验站有限公司 (后插 8-9)  
 宁波市江北九方和荣电气有限公司 (后插 10)  
 中车威墅堰机车车辆工艺研究所有限公司 (后插 11)  
 安徽省康利亚股份有限公司 (后插 12)  
 无锡东电化兰达电子有限公司 (封 3)  
 深圳市中电华星电子技术有限公司 (封 4)