

文章编号: 1005-8451 (2010) 04-0011-04

基于 RCM 的铁路信号设备维修周期的分析

左 飞, 贾 佳, 符 萌

(西南交通大学 信息科学与技术学院, 成都 610031)

摘要: 本文介绍我国铁路信号设备维修体制的现状, 提出建立以可靠性为中心维修体制, 然后分析确定合理的维修周期的必要性, 并使用 RCM 理论中的两种定时更换模型进行建模。最后给出一算例, 经过计算及 MATLAB 仿真得出相应的数据及图表结果, 并得出了结论。

关键词: 以可靠性为中心的维修; 铁路信号; 维修周期; 定时更换模型

中图分类号: U28 文献标识码: A

Analysis of railway signal equipment maintenance cycle based on RCM

ZUO Fei, JIA Jia, FU Meng

(School of Information Science and Technology, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: This paper introduced the situation of the Railway Signal Equipment Maintenance System, proposed that we needed to establish Reliability Centered Maintenance System, then analyzed the reasonable necessity of determining the maintenance cycle. And used two models built from time to time mode of RCM theory for modeling analysis. Finally, it given a numerical example, got the corresponding data and chart results by calculating and MATLAB simulation, and came to the conclusion.

Key words: RCM; railway signal; maintenance cycle; regular replacement model

铁路信号设备是保证列车行车安全的重要基础设备, 一旦出现故障, 所产生的影响以及造成的损失是巨大的。设备在其寿命期内能否少出故障稳定工作, 很大程度上取决于得当的维护和科学的维修。以可靠性为中心的维修 (Reliability Centered Maintenance, RCM) 是一种系统化考虑系统功能及功能失效的方法, 它是综合了故障后果和故障模式的有关信息, 将定性和定量的分析方法相结合的维修管理模式。近年来, 以可靠性为中心的维修在各行各业都有研究, 在航空、航天、军事和核电设备中的研究尤为突出, 在铁路信号系统中, RCM 的研究还处于初级阶段。

RCM 的预防性维修策略是一种比较广泛采用以及合理的维修策略。RCM 维修策略中维修周期的合理确定是保障其高质量的关键, 能避免或减少维修过程中的维修过剩及不足, 达到高效经济的效果。

1 我国铁路维修体制及 RCM 概述

我国铁路信号设备维修, 基本实行的是以故

障检修和预防性计划(定期)检修为主的设备维修体制。通常采取事后检修、预防性计划检修、状态检修等几种维修方式和相应的管理制度。

RCM 是目前国际上通用的一种确定装备(设备)预防性维修需求、优化维修制度的系统工程。以当前的设备工作状况为依据, 通过先进的状态监测手段、可靠性评价手段及寿命预测手段, 判断设备的状态, 识别故障的早期征兆, 对故障部位及其严重程度、发展趋势作出判断, 并根据分析诊断结果制定维修决策^[3]。

以可靠性为中心的维修思想就是集原有维修方法(状态维修、定期维修和事后维修)为一体, 综合分析设备的特性来进行维修策略的制定。它能达到优化维修策略, 提高维修效率, 降低维修成本, 减少原有维修方法的弊端。

RCM 要解决的关键问题有 3 个: 修什么? 怎么修? 什么时间修? 本文主要讨论的是第 3 个问题: 维修周期。

2 维修周期分析

2.1 维修周期分析的必要性

维修方式先后经由事后维修、定期维修和预

收稿日期: 2009-07-10

作者简介: 左 飞, 在读硕士研究生; 贾 佳, 在读硕士研究生。

防维修等等时期并不断的在发展丰富。RCM是基于预防性维修策略结合各种维修方法的一种方式。针对预防性维修而言，必然要明确的3个问题：对象，方法，时间。维修方法策略要解决的就是对于某一特定的设备，采用适当的维修方法，选取合理的维修周期间隔进行维修。

RCM维修工作间隔期的选择存在很大的不确定性。间隔期直接影响维修工作的适用性和有效性。间隔期越长，发生故障的概率就越长，设备出现安全性事故或影响运行的可能性就越大，甚至会超出允许程度；反之间隔期过短，必然造成维修工作频繁，影响设备的可用度，而且会使维修的费用增大。因此，确定维修间隔期，必须在满足使用要求的前提下进行优化。通过分析得到了设备所适合的维修方式，然后对不同的设备，进行可靠性数据的收集，从而利用相应的维修周期模型，计算出最佳维修周期^[3]。

2.2 维修周期模型分类

维修周期模型有多种，按照预防性维修的工作类型划分为：定时更换模型、功能检测模型和使用检查模型。

按照决策的目的划分为：费用模型、可用度模型和风险模型。

按照设备的复杂程度划分为：单部件模型、复杂系统模型。

在RCM的维修工作类型中，维修工作的间隔期一般是根据设计要求确定的。这里需要专门确定预防性维修工作间隔期指的是两类工作：(1) 检查工作，即使用检查和功能检测；(2) 定期更换工作，包括定期报废和定期拆修^[4]。

模型研究中的模型有多个，本文使用以定时更换模型，将其分为以费用为目的的定时更换模型和以可用度为目的的定时更换模型两类来进行分析。

2.3 定时更换模型

按照维修实践，将定时更换模型分为工龄更换和成组更换。2种更换在实质上有一定相同之处。

工龄更换策略见图1。工龄更换又叫个别定时更换，是指按每个设备的实际使用时间（或次数）进行的定时更换。成组更换又叫全部定时更换，是指按设备成批投入使用时刻起所经历的日历时间进行的定时更换。

在维修实践中，工龄更换将按照工龄T进行

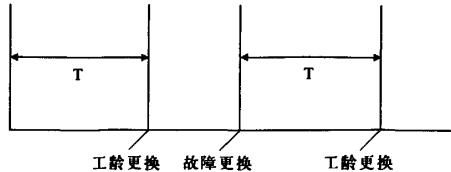


图1 工龄更换策略

更换，或发生故障后进行更换。它要求进行周期性的维修活动，不论是更换还是修复，都将按照规定的工龄进行而不管设备当时的状况如何。

工龄更换的建模需求是：利用数学模型确定更换间隔期T，使更换工作达到规定的目标。

假设每隔工龄T进行更换，在工龄期间发生故障则进行故障更换，时间T为维修更换周期。

模型分析中使用参数：

(1) C_p ：每次故障的总费用，包括故障更换费用和停运时间损失。

(2) C_p ：每次工龄更换的总费用，包括预防性更换的费用和停运时间损失。

(3) $C(T)$ ：以间隔期T进行工龄更换时，长期使用下的单位时间的费用。

(4) $A(T)$ ：以间隔期T进行工龄更换时，长期使用下的平均可用度。

(5) T_p ：预防性更换所需的平均时间。

(6) T_f ：故障更换所需的平均时间。

(7) $F(t)$ 、 $R(t)$ 和 $f(t)$ ：设备首次故障时间累积分布函数、可靠度函数和故障密度函数，其中，当 $t=0$ 时表示设备处于新状态。

2.3.1 以费用为目的的更换模型

以费用为目的的定时更换模型目标是要寻找合适的工龄T，使单位时间内的期望费用最小，即

$$\min \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{C(T, t)}{t}.$$

根据更新过程的基本理论，设备的平均费用、更新周期内总的期望费用、期望更新周期长度分别表示为：

$$C(T) = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{C(T, t)}{t} = \frac{\text{每个更新周期总费用的期望值}}{\text{更新周期长度}} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & \text{更新周期内总的期望费用} = \\ & \text{预防性更换的费用} \times \text{预防性更换的概率} \\ & + \text{故障更换的费用} \times \text{故障更换的概率} \\ & = C_p R(t) + C_f F(t) \end{aligned} \quad (2)$$

期望更新周期长度=

$$\begin{aligned} & \text{平均预防性更换周期长度} \times \text{预防性更换的概率} \\ & + \text{平均故障更换周期长度} \times \text{故障更换的概率} \quad (3) \\ & = (T + T_p) \times R(T) + \int_0^T (t + T_f) f(t) dt \end{aligned}$$

当 T_p 和 T_f 相对于 T 来说很小时, 在费用模型中可将其忽略。此时期望更新周期长度变为: $\int_0^T R(t) dt$, 使单位时间的期望费用最小, 求最佳的工龄更换周期 T :

$$C(T) = \frac{C_p R(T) + C_f [1 - R(T)]}{(T + T_p) R(T) + \int_0^T (t + T_f) f(t) dt} \quad (4)$$

以上方程, 如果 $T \rightarrow \infty$, 表明没有进行工龄更换, 所有的费用都是由故障引起的。此时, $R(t) \rightarrow 0$, 单位时间的费用为

$$C(T) \rightarrow C(\infty) \rightarrow C_f / \int_0^{\infty} R(t) dt = C_f / MTTF \quad (5)$$

通常很难用解析的方法求解出 T 值使 $C(T)$ 的值最小, 而采用对 T 的可行域进行搜索的数值计算方法比较简便。

实例分析如下:

假设某型号的转辙机故障时间服从 $\alpha=2$, $\beta=100$ 天的威布尔分布, $R(t)=\exp[-(t/100)^2]$ 。设 $C_p=8000$ 元, $C_f=16000$ 元, $T_p=1$ 天, $T_f=2$ 天。在RCM过程中解决: 是否选用工龄更换有效? 并确定最佳的更换间隔期是多少?

首先, 由式(5)可计算出长期使用单位时间的费用, 当 $T \rightarrow \infty$, 可以算出 $C(\infty)=176.56$ 元/天。表示不进行预防性维修, 等到设备故障后再进行维修, 这样故障更换的费用为 176.56 元/天。

在Matlab中进行编程计算, 给出不同的 T 值, 由式(4)可以算出 $C(T)$ 的值, 见表1和图2。

表1 $C(T)$ 值

T/天	60	70	80	90	100
$C(T)$	109.1	180.6	175.2	172.4	171.1
T/天	110	120	130	140	150
$C(T)$	170.8	171.1	171.7	172.4	173.2

从表1和图2可以看出, 当 $80 \leq T \leq 160$ 时, $C(T) < C(\infty)$, $C(110)=\min_T C(T)=170.8$ 元/天。因此, 从减少费用的角度来看, 工龄更换有效, 且最佳更换间隔期为 $T=110$ 天。

2.3.2 以可用度为目的的更换模型

为了保证设备的正常运行, 需要寻找合适的工龄更换间隔期 T , 使设备的可用度最大。以可用

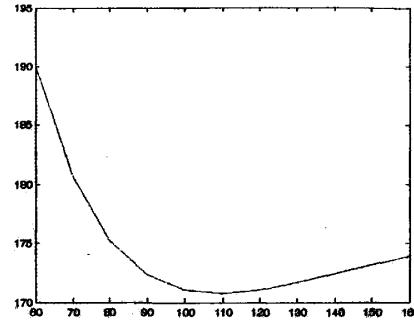


图2 $C(T)$ 与 T 对应关系图

度为目的的定时更换模型为:

$$\begin{aligned} A(T) &= \frac{\text{一个更新周期中设备工作时间期望值}}{\text{更新周期长度的期望值}} \\ &= \frac{\int_0^T R(t) dt}{(T + T_p) R(t) + \int_0^T (t + T_f) f(t) dt} \quad (6) \end{aligned}$$

当 $T \rightarrow \infty$ 时可以得到

$$A(T) \rightarrow MTTF / (MTTF + T_f) \quad (7)$$

如可用度是维修决策的主要因素, 工龄更换间隔期 T 应满足 $A(T) > A(\infty)$ 。

通过给定不同的 T 值, 用式(6)进行数值计算求出 $A(T)$, 最佳间隔期就是使 $A(T)$ 最大值时的 T 值。

与前例相同, 问题是从可用度的角度评估是否需要进行工龄更换? 如果需要, 最佳间隔期是多少天?

利用式(7)求出不进行预防性维修时的可用度, 即 $A(\infty)=97.79\%$ 。

表2 $A(T)$ 值

T/天	60	70	80	90	100
$A(T)$	97.62	97.74	97.85	97.86	97.86
T/天	110	120	130	140	150
$A(T)$	97.86	97.85	97.84	97.84	97.83

通过Matlab计算, 通过式6对不同的 T 值求出 $A(T)$, 结果如表2和图3。当 $T \geq 80$ 天时, $A(T) > A(\infty)$, $A(100)=\max_T A(T)=97.86\%$ 。

在时间为90天~110天的阶段为最佳间隔选取期。

3 结语

本文使用RCM理论中的以费用为目的和以可

文章编号: 1005-8451 (2010) 04-0014-03

基于 ARM9 的机车蓄电池状态监测系统的设计

金乾坤, 郭佑民, 刘娟, 朱鹏

(兰州交通大学 机电技术研究所, 兰州 730070)

摘要: 运用 S3C2410 芯片作为上位机处理芯片, ATmega16 作为下位机主控制芯片, 本文设计了一种机车蓄电池状态监测系统。系统完成对蓄电池电压、温度数据的采集, 显示和存储。为辨别蓄电池状态提供一定依据。

关键词: 机车蓄电池; 状态监测; S3C2410; ATmega16

中图分类号: TP39

文献标识码: A

Design on Locomotive Accumulator Condition Monitoring System based on ARM9

JIN Qian-kun, GUO You-min, LIU Juan, ZHU Peng

(Mechanical and Electronic Technology Research Centre, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: This paper designs a System of locomotive accumulator condition monitoring by applying S3C2410 chip as chip of master machine processing and ATmega16 as chip of slave machine controlling. The System was designed to implement data acquisition of accumulator voltage and temperature, displaying and saving. The result was provided for the estimation of accumulator state.

Key words: locomotive accumulator; condition monitoring; S3C2410; ATmega16

基于 ARM9 的蓄电池在线监测系统, 采用 S3C2410 芯片作为主处理器, 在机车行驶的过程中对各节蓄电池电压和温度数据不停顿地采集、

收稿日期: 2009-07-20

作者简介: 金乾坤, 在读硕士研究生; 郭佑民, 教授。

汇总、分析和存储。同时通过外接 LCD 实时显示电压和温度数据。最后 SD 卡转存到 PC 机, 通过地面分析软件绘制出电池电压, 温度曲线。监测系统能快速找出端电压上升或下降较快的一只或几只电池, 将其确认为需要更换的电池, 同时所采集

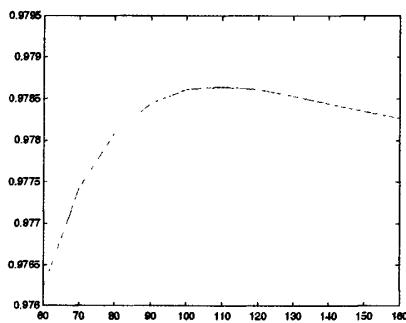


图 3 A(T)与T对应关系图

用度为目的的两种更换模型方法, 结合文中的算例, 对如何确定铁路信号设备的最佳维修周期进行了分析。

计算结果证明, 根据不同的设备要求, 选取对应的方法, 可以求解出最佳的维修间隔周期。

把 RCM 方法应用到铁路维修系统中将是发展

方向, 通过 RCM 方法选择最优的维修方案, 有效地指导维修活动, 具有一定的现实意义。

参考文献:

- [1] 贾希胜, 程中华. 以可靠性为中心的维修 (RCM) 发展动态[J]. 军械工程学院学报, 2002 (5).
- [2] Anon Maintenance management[J]. Foundry Management and Technology, 2003, 131 (1): 67-71.
- [3] 贾希胜. 以可靠性为中心的维修及其模型支持[J]. 军械工程学院学报, 2004, 16 (1): 15-18.
- [4] 温亮. RCM 决策模型及其计算原型系统[C]. 第一届维修工程国际学术会议论文集, 2006: 135-142.
- [5] 马晓芳. 发电设备预防性检修策略比较研究[J]. 中国机械工程, 2007, 18 (23): 2789-2792.
- [6] Aven, Dekker R. A useful framework for optimal replacement models [J]. Reliability Engineering and System Safety, 1997, 58 (1): 61-67.