

# 门座起重机 RCM 维修决策系统设计

张树忠

(福建工程学院 机械与汽车工程学院, 福建 福州 350118)

**摘要:**应用面向对象高级语言 C# 和 SQL Server 2005 数据库,采用风险矩阵法、模糊层次分析法、根本原因分析法、综合决策法、逻辑决策法等方法,开发一套基于 RCM 技术,能够完成港口门座起重机的基础信息管理,以风险为基础,具有良好目标性的维修决策系统,根据用户选择的影响因素来确定其零部件的维修方式和最佳维修周期,以提高机械设备的可靠性和安全性,为企业提供优化、系统、科学的维修决策支持。

**关键词:**门座起重机; RCM; 维修决策系统; 风险分析

**中图分类号:** TH17

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1672-4348(2016)03-0223-04

## RCM-based maintenance decision-making system design for portal crane

Zhang Shuzhong

(College of Mechanical and Automotive Engineering, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China)

**Abstract:** Using object-oriented high-level language C# and SQL Server 2005 database, adopting risk matrix method, fuzzy analytic hierarchy process, root cause analysis, integrated decision-making method and logical decision methods, a maintenance decision-making system for portal crane based on reliability centred maintenance (RCM) technology and risk-analysis was developed. The system can implement the basic information management of portal crane, which is based on risk analysis and can realize targeted maintenance decision-making. The system can determine the repair method and best maintenance period of components based on the factors influencing users, the selection to improve the reliability and safety of machinery and equipment, and provide minimum downtime optimization, systematic and scientific maintenance decision support.

**Keywords:** portal crane; reliability centred maintenance (RCM); decision-making system; risk analysis

以可靠性为中心的维修(reliability centred maintenance, RCM)是国际通用、用以确定资产预防性维修需求、优化维修制度的一种系统工程方法<sup>[1]</sup>。实践证明:如果 RCM 被正确运用到现行的维修系统中,在保证生产安全和资产可靠的条件下,可将日常维修工作量降低 40%~70%,提高资产的使用效率<sup>[2]</sup>。

RCM 所需分析的内容多且复杂,工作量大,涉及多部门,因此,国外一些知名机构、企业研发了 RCM 专用软件,如 Orbit RCM, RCM Blitz, ReliaBuilder, RCM Destop, RCM ++, RCM WorkSaver, RCM Turbo, RCMtrim, RCM Toolkit, IRCMS 等。应用这些软件工具可以提高分析效率和准确度,同时减少重复性工作。

收稿日期: 2016-04-14

基金项目: 福建省教育厅科技项目(JB14074); 福建工程学院科研启动基金(GY-Z14005); 福建省质量技术监督局科技项目(FJQ12014056)

作者简介: 张树忠(1980-),男,福建周宁人,副教授,高工,博士,研究方向:机电液一体化及维护策略优化。

相对而言,国内可用的 RCM 专业软件则较少,开发处于起步阶段,目前一些机构和高校正着手研制 RCM 软件<sup>[3-4]</sup>,其中文献[5]采用了工业和信息化电子第五所自主研究的可靠性维修性保障性工程软件 CARMES 进行 RCM 分析。

门座起重机是福建省各大港口最重要的散货装卸设备,为保证其可靠性和提高使用效率,本文开发一套基于 RCM 的门座起重机维修决策系统。

## 1 主要功能和模块

### 1.1 主要功能

通过实施 RCM 准确地识别出生产装置中动设备的风险等级,针对中、高风险设备制定出可降低和预防设备失效的维护任务计划,使设备风险处于低风险等级;对识别出的低风险设备减少不必要的维护任务。

### 1.2 主要模块

RCM 软件系统主要有数据输入、系统筛选、设备系统、详细分析、资料管理、报告、基础数据库 7 个模块,其中系统筛选、设备系统模块为系统划分后的筛选,包括一级筛选和二级筛选;详细分析模块包括了故障模式与影响分析(failure mode and effects analysis, FMEA)和维修周期优化,拥有故障风险评估、维修方式决策,如图 1 所示。

1) 数据输入模块:完成设备运行参数、现有维修计划、成本金额、失效模式、失效原因等批量数据的输入;

2) 系统筛选模块:通过一级风险评估(1 个 $5 \times 5$ 的风险矩阵)筛选确定哪些系统具有高风险等级,哪些为低风险等级;

3) 设备系统模块:对系统的下一级即设备零部件进行二级风险评估(采用 4 个 $5 \times 5$ 的风险矩阵),筛选出重要的设备零部件;

4) 详细分析模块:通过分析设备的失效模式对其进行定量的影响分析和风险计算,对中高風險进行原因分析,通过逻辑决断或层次分析法确定维护方式,制定周期的维护/维修任务计划;

5) 资料管理模块:对输入的数据资料可进行编辑和浏览;

6) 报告模块:可以生成并输出执行筛选分析和详细分析报告;

7) 基础数据库模块:基于 SQL Server 2005 建立数据库,对 RCM 分析的数据信息进行保存。

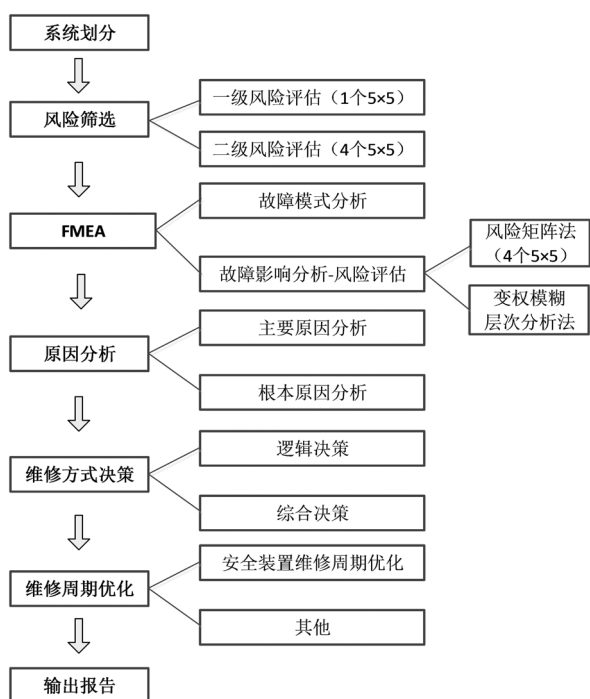


图 1 RCM 系统中的分析流程及功能列表

Fig.1 RCM analysis process and functions

## 2 起重机的 RCM 系统分析过程

以某型门座起重机作为研究对象,该机为四连杆组合臂架式的转柱式门座起重机,通过该样机的 RCM 分析来说明 RCM 软件的实现过程。

### 2.1 门座起重机系统划分

门座起重机又简称为门吊、门机,是港口最重要的散货装卸设备。它的构造可分为上部旋转和下部运行两部分。上部旋转部分安装在一个高大的门形底架(门架)上,并相对于下部运行部分可以实现 $360^\circ$ 任意旋转。门架可以沿轨道运行,同时它又是起重机的承重部分。起重机的自重和吊重均由门架承受,并由它传到地面轨道上。

1) 功能和相关性能标准:港口式门座起重机有主要功能、次要功能、保护功能以及冗余功能等 4 种功能。

如果用户所需要的性能指标大于设备所固有的性能指标,那么常规的维修不再有效,只有对设备进行改进。

2) 系统划分:门座起重机的系统划分遵循 3 个原则:①系统相互独立;②功能相关并相对完整;③各子系统、各子子系统属性相近<sup>[1]</sup>。按照原则,门座起重机可分为金属结构、吊具索具、安全装置、起升、变幅、行走、回转以及电气控制 8 大

系统;在子系统层次上按照功能可以继续划分为子子系统。

2.2 系统筛选和设备筛选

对一级子系统采用 1 个 5×5 的风险矩阵评估其风险大小,并进行筛选。对二级以上的子系统采用 4 个 5×5 的风险矩阵(包括生产损失、维修成本、安全影响和环境影响)来评估和筛选。

风险矩阵法<sup>[6-7]</sup>是最常用方法之一,它基于对风险后果和可能性的分类,同后果法相比它增加了风险发生频率的考虑。应用时需构建一个矩阵,后果和可能性分别为矩阵的一个坐标的横轴和纵轴,同时每一个矩阵元素为一个安全等级。根据后果的严重程度和事故可能性就可对应地找到所需的安全等级。该方法基于 ANSI/ISA - 84.01-1996 是一种定量的方法。

一级子系统筛选中,结合门座起重机的实际情况,将风险后果和可能性各分为 5 级,构造风险矩阵,根据可能和后果的不同分为低、中、高风险,见图 2 中的风险矩阵分布。

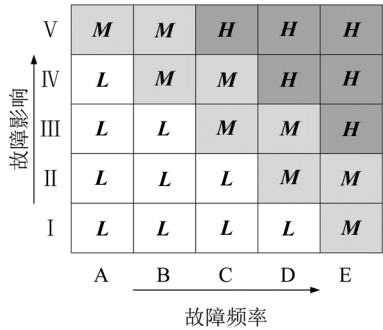


图 2 一级筛选的风险矩阵

Fig.2 Screening risk matrix of level one

根据门座起重机的系统划分,对其进行一级风险评估后,8 个子系统中风险的 5 个(金属结构、安全装置、行走、回转、电气),高风险的 3 个(吊具索具、起升、安全装置),因此都应开展二级子系统的风险筛选。

根据门座起重机的系统筛选结果,对各二级子系统进行风险筛选,采用 4 个 5×5 的风险矩阵,包括生产损失、维修成本、安全影响和环境影响,根据使用单位情况,将各影响等级分为 5 级,故障的可能性等级划分与一级系统筛选相同。

门座起重机故障受环境影响很小,故环境影响可取为最小值 1。根据二级使用单位的实际资料和专家进行安全装置的二级风险筛选,为了保

证系统的安全性,取 4 个风险矩阵中风险最大的作为二级筛选的结果。通过筛选,安全系统中 4 个高风险,其余为中风险,各子系统均需开展 RCM 分析,根据风险评估建议,4 个高风险的应采取降低风险措施,避免事故的发生。

根据系统和设备筛选的结果表明,高风险项目主要包括卷筒、减速器、臂架系统、钢丝绳、电机、回转支承以及安全装置,应对这些项目进行详细的 RCM 分析及制定合理的维护措施以降低其风险,避免事故的发生,如表 1 所示。

表 1 门座起重机设备筛选结果  
Tab.1 Screening result of portal crane

零部件	建议
1 卷筒	花键检查,卷筒基座检查
2 减速器(起升、变幅、回转)	油液分析、花键检查
3 臂架系统	结构检测
4 钢丝绳	钢丝绳探伤,更换计划
5 电机(起升、回转、变幅)	电机检测、花键检查
6 回转支承	结构检测
7 安全装置(限位器、力矩限制器、缓冲器)	安全装置检查

2.3 中高风险的项目 FMEA

故障模式影响分析指出系统中的各个子系统或元件可能发生的故障类型和故障出现时的状态,分析其对系统整体的影响。这里所指的故障,是指元件、子系统或组件,以及子系统在运行时因不能达到设计要求,而不能完成规定的任务或任务完成不好,其中一些故障会造成事故损失。

根据 RCM II 中的前 5 个步骤,对系统筛选和设备筛选结果为中高风险的项目开展 FMEA,依序分析设备的功能、功能失效、失效模式、失效影响,然后通过 4 个 5×5 的风险矩阵法或通过变权层次分析法来评估其失效风险。

对臂架系统开展 FMEA 中的故障模式分析,其实现的功能、功能故障、故障模式、故障影响和故障后果分别如表 2 中的①~⑤所示。

2.4 对故障的影响进行风险评估

(1) 风险矩阵法

基于安全影响(等级)、生产损失(小时)、维修成本(元)、环境影响(等级)、故障频率(次/年)对各个故障模式的安全、生产、维修、环境风险

表 2 臂架系统的 RCM 分析实例  
Tab.2 RCM analysis example of boom system

RCM 的 7 步	臂架(二级子系统)
① 功能	在不同幅度和高度支撑起载荷等
② 功能故障	结构缺陷(机械设备)
③ 故障模式	破裂或裂缝
④ 故障影响	可能导致臂架及载荷坠落,发生事故
风险评估	H-高风险
⑤ 模糊层次法	4.2(评价最大 5)
主要原因	破裂或裂缝
⑥ 根本原因	非设计工况,如超载
⑦ 维修方式	状态监测-规范操作,避免超载工作

进行评估,取其中风险最大的作为总风险,定义好各个风险矩阵的级别划分,通过对 4 个影响因素的评估,以及输入其故障频率,该臂架的故障模式破裂或裂缝的 4 个风险矩阵分别为  $H$ 、 $L$ 、 $M$ 、 $L$ ,取最大的  $H$  作为该故障模式的风险值。

(2)模糊层次分析法

第 1 步:①将风险矩阵法中与严重性相关的 4 个影响因素(安全、生产、维修、环境)通过三角隶属函数得到隶属度评价矩阵;②对 4 个因素之类的权重通过判断矩阵进行构权并求解,而后通过激励变权法重新计算权重;③通过评价矩阵和变权后的权重,求出故障后果的严重程度。

第 2 步:输入该故障模式的可探测性(可探测性分为 5 级:很高、高、中等、低、很低)。

第 3 步:通过以上 3 步得到严重程度、可探测性和故障频率;再通过模糊层次分析对这 3 个因素进行构权并求解,而后通过激励变权重新计算

权重;并根据前面所获得的严重程度、可探测性和故障频率的因素值结合变权后的权重来计算该故障的风险大小。

2.5 维修任务决策

综合决策:第一步确定模糊评价矩阵,第二步确定各个因素的权重分配,第三步确定各因素的子因素权重分配,第四步进行综合评价,得到维修决策的推荐维修方式是状态维修、定期维修或者是事后维修。

逻辑决策:根据故障模式的风险值,自动选中高风险,然后根据逻辑图来进行推理得到推荐维修方式和维修建议。

2.6 维修任务优化

根据综合决策或逻辑决策的结果,通过任务对话框开展任务制定,此外可根据平均故障间隔(mean time between failures, MTBF)和可靠度要求对安全装置开展维修周期优化<sup>[8]</sup>,得到最佳维修周期。

3 结论

1)采用 1 个和 4 个 5×5 的风险矩阵分别对一级和二级子系统进行风险评估和筛选,有效筛选出子系统的风险高低。采用风险矩阵法和模糊变权层次分析法对故障模式进行评估,得到不同故障模式的风险大小。通过综合决策,确定故障的维修方式是状态维修、定期维修或者事后维修。

2)基于 RCM 技术制定了门座起重机维修决策系统的 7 个模块:系统划分、风险筛选、FMEA、原因分析、维修方式决策、维修周期优化,通过实例分析,证明了所设计系统的可行性。

参考文献:

[1] Moubray J. Reliability-Centred Maintenance[M]. 2nd ed. Oxford: Butterworth-Heinemann,1999.  
[2] Smith A M, Hinchcliffe G. RCM-Gateway to World Class Maintenance[M]. 2nd ed. Oxford: Butterworth-Heinemann,2003.  
[3] 王世达.以可靠性为中心的维修软件系统开发及工程应用[D].北京:北京化工大学,2009.  
[4] 陈刚.减速机械的可靠性维修及其维修决策研究[D].武汉:武汉理工大学,2007.  
[5] 李颖,黄进永.以可靠性为中心的维修技术工程应用探讨[J].电子产品可靠性与环境试验,2010,28(5):55-60.  
[6] Marszal E M, Scharpf E W. Safety Integrity Level Selection: Systematic Methods Including Layer of Protection Analysis [M]. Research Triangle Park, NC: The Instrumentation, Systems and Automation Society,2002.  
[7] American National Standards Institute. Application of Safety Instrumented Systems for the Process Industries; ANSIASA-84.01[S]. Research Triangle Park, NC: The Instrumentation, Systems, and Automation Society,1996.  
[8] 张树忠,曾钦达.起重机械安全装置的故障检测周期优化[J].起重运输机械,2014(4):81-82.