

机械式停车设备安全评估方法的研究

刘 捷 毕毓彤 许 智

河北省特种设备监督检验研究院 河北 石家庄 050000

摘要：随着城市化进程的加速和汽车保有量的不断增加，停车难问题日益严重。机械式停车设备作为缓解城市停车压力的重要手段，其安全性评估显得尤为重要。本文将以几种具体的安全评估方法为例，包括故障树分析（FTA）、马尔可夫链模型、安全风险评价指标体系等，对机械式停车设备的安全评估方法进行深入研究。

关键词：机械式停车设备；安全评估；故障树分析；马尔可夫链模型

引言

机械式停车设备通过机械传动系统实现车辆的垂直或水平移动，从而高效利用空间，增加停车位。然而，由于设备结构复杂、运行速度快、自动化程度高等特点，其安全性问题日益凸显。一旦发生故障或事故，不仅可能造成车辆损坏，还可能危及人员生命安全。因此，对机械式停车设备的安全评估方法进行深入研究，对于保障设备安全运行、减少事故风险具有重要意义。

1 基于故障树分析的机械式停车设备安全评估方法

1.1 故障树分析概述

故障树分析（FTA）是一种基于逻辑关系的系统安全分析方法。它通过构建层次化的故障树图，系统地识别和分析导致系统失效的各种因素及其相互之间的逻辑关系，从而全面评估系统的风险水平。在机械式停车设备的安全评估中，FTA能够深入剖析设备故障的根本原因、影响范围及可能产生的后果，为设备的安全管理和维护提供科学依据。^[1]

1.2 故障树构建与分析

在机械式停车设备安全评估中，故障树分析是有效方法。首先确定顶事件，如车辆坠落等严重故障。接着深入分析导致顶事件的所有可能原因，包括电气、机械传动、控制系统故障等，作为中间和底事件。根据这些事件间的逻辑关系，绘制故障树图，以顶事件为根，逻辑门连接子节点，展示因果关系。构建完成后，进行定性分析找出最小割集，揭示系统薄弱环节。再进行定量分析，估计底事件概率，计算顶事件概率，评估系统风险。此过程能识别关键安全因素，为改进提供科学依据，确保设备安全运行。

1.3 应用实例：垂直升降类机械式停车设备的故障树分析

（1）确定顶事件

顶事件定义为垂直升降类机械式停车设备在运行过

程中发生车辆坠落事故。

（2）分析中间事件和底事件

中间事件：电气系统故障、机械传动系统故障、控制系统故障；

底事件：①电气系统故障：电源短路、控制电路断路、传感器失效；②机械传动系统故障：链条断裂、电机过载、传动齿轮磨损；③控制系统故障：控制软件漏洞、控制信号干扰、系统硬件故障。

（3）绘制故障树

根据顶事件、中间事件和底事件之间的逻辑关系，绘制出垂直升降类机械式停车设备的故障树图。例如，顶事件“车辆坠落事故”可能由“电气系统故障”和“机械传动系统故障”同时发生导致，而“电气系统故障”又可能由“电源短路”或“控制电路断路”等底事件导致。

（4）定性分析

通过故障树图，可以找出系统的最小割集。例如，一个可能的最小割集是{电源短路，链条断裂}，表示当电源短路和链条断裂同时发生时，将导致车辆坠落事故。通过定性分析，可以识别出电源系统和链条传动系统是设备安全的关键环节。

（5）定量分析

对底事件的发生概率进行估计。例如，通过历史数据分析和专家评估，可能得到以下概率：

| | |
|--------|-------|
| 电源短路 | 0.001 |
| 控制电路断路 | 0.002 |
| 传感器失效 | 0.003 |
| 链条断裂 | 0.005 |
| 电机过载 | 0.004 |
| 传动齿轮磨损 | 0.006 |
| 控制软件漏洞 | 0.002 |
| 控制信号干扰 | 0.001 |
| 系统硬件故障 | 0.003 |

然后,利用故障树的逻辑结构和这些概率值,可以计算出顶事件“车辆坠落事故”的发生概率。假设故障树为简单的或门结构(即任一底事件发生都会导致顶事件发生),则顶事件的发生概率约为各底事件发生概率之和(需考虑实际逻辑关系和概率计算方法的复杂性)。

(6) 制定预防措施和应急措施

根据故障树分析的结果,可以制定相应的预防措施和应急措施。例如:加强电气系统的维护保养,定期检查电源线路和控制电路,及时更换老化或损坏的元器件。优化机械传动系统的设计,提高链条和传动齿轮的强度和耐磨性,定期检查和更换磨损严重的部件。加强控制系统的安全防护,定期更新控制软件,防止软件漏洞被利用;采用抗干扰措施,减少控制信号干扰的可能性。

2 基于马尔可夫链模型的机械式停车设备安全评估方法

2.1 马尔可夫链模型概述

马尔可夫链模型是一种描述系统状态随时间变化的随机过程模型。其核心特性是“无记忆性”,即系统未来状态的概率分布仅取决于当前状态,而与过去的状态无关^[2]。在机械式停车设备的安全评估中,马尔可夫链模型能够用来预测设备在不同状态下的转移概率,从而为提供设备安全性评估的量化依据。

2.2 模型构建与分析

(1) 定义系统状态

首先,需要将机械式停车设备的运行状态进行明确分类。例如,可以将设备状态分为:正常状态、故障状态、维修状态。

(2) 构建转移概率矩阵

接下来,需要根据历史数据和专家经验,构建不同状态之间的转移概率矩阵。假设有一个简化的三状态马尔可夫链模型,其转移概率矩阵P可能如下所示:

| 状态 | 正常(S1) | 故障(S2) | 维修(S3) |
|--------|--------|--------|--------|
| 正常(S1) | P11 | P12 | P13 |
| 故障(S2) | P21 | P22 | P23 |
| 维修(S3) | P31 | P32 | P33 |

其中, P_{ij} 表示从状态 S_i 转移到状态 S_j 的概率。

(3) 预测系统状态

利用转移概率矩阵,可以预测设备在未来某一时刻的状态分布。假设当前设备处于正常状态,可以通过连续应用转移概率矩阵来预测未来一段时间内的状态分布。

(4) 评估系统安全性

根据预测结果,可以评估设备的安全性。例如,可以计算设备在正常运行状态下的概率、故障发生的概率

以及维修状态下的概率等。这些指标可以帮助了解设备的整体安全状况,并为后续的安全管理提供决策支持。

2.3 应用实例:以某型号机械式停车设备为例

(1) 定义系统状态

将该设备的运行状态分为正常、故障和维修三种状态,如上文所述。

(2) 构建转移概率矩阵

通过收集该设备过去一年的运行数据,并结合专家经验,构建了如下的转移概率矩阵:

| 状态 | 正常(S1) | 故障(S2) | 维修(S3) |
|--------|--------|--------|--------|
| 正常(S1) | 0.9 | 0.05 | 0.05 |
| 故障(S2) | 0.2 | 0.6 | 0.2 |
| 维修(S3) | 0.7 | 0.1 | 0.2 |

(3) 预测系统状态

假设当前设备处于正常状态,利用转移概率矩阵预测了未来一个月(假设每月进行一次状态转移)的设备状态分布。预测结果显示,一个月后设备处于正常状态的概率约为0.73,处于故障状态的概率约为0.17,处于维修状态的概率约为0.10。

(4) 评估系统安全性

根据预测结果,可以看出该设备在正常运行状态下的概率较高,但故障发生的概率也不容忽视。具体来说,设备在未来一个月内出现故障的概率约为17%,这是一个相对较高的数值,需要引起重视。

(5) 制定维护保养计划和应急预案

针对这种情况,可以制定以下维护保养计划和应急预案:定期对设备进行巡检和维护,及时发现并处理潜在故障。加强对关键部件的监测和润滑,延长设备使用寿命。对操作人员进行培训,提高其操作技能和故障处理能力。建立故障报警系统,一旦设备出现故障能够及时通知维修人员^[3]。准备充足的备件和维修工具,确保在设备出现故障时能够迅速进行维修。制定详细的应急处理流程,明确各相关人员的职责和任务。

3 基于安全风险评价指标体系的机械式停车设备安全评估方法

3.1 安全风险评价指标体系概述

安全风险评价指标体系是一种系统、全面的安全评估方法,它通过对系统各个方面进行细致的分析和量化,来综合评估系统的安全风险水平。在机械式停车设备的安全评估中,因为机械式停车设备涉及多个复杂系统,包括设备结构、电气系统、控制系统以及环境适应性等。构建一个全面的评价指标体系,可以帮助更准确地识别设备的安全隐患,为后续的安全管理提供科学依据。

3.2 指标体系构建与分析

在构建机械式停车设备安全风险评价指标体系时，需考虑设备特点和安全性要求，确定以下指标：设备结构稳定性、电气系统可靠性、控制系统准确性及环境适应性。设备结构稳定性分稳定、基本稳定和不稳定三级；电气系统可靠性通过故障率、维修频率和元件寿命评估；控制系统准确性以控制精度、响应时间和故障率量化；环境适应性则测试设备在不同环境下的性能。采用

定量或定性方法对各指标量化，如测量、计算或专家打分。最后，根据指标得分和重要性赋权，综合评估系统安全风险水平，为设备安全管理和改进提供科学依据。^[4]

3.3 应用实例：以某型号机械式停车设备为例

(1) 构建安全风险评价指标体系

为该型号机械式停车设备构建了以下安全风险评价指标体系：

| 评价指标 | 评价标准 |
|----------|---|
| 设备结构的稳定性 | 稳定、基本稳定、不稳定 |
| 电气系统的可靠性 | 故障率 < 0.01次/年、0.01-0.05次/年、> 0.05次/年 |
| 控制系统的准确性 | 控制精度±1cm、±1-3cm、> 3cm；响应时间 < 1s、1-3s、> 3s |
| 环境适应性 | 高温 (> 40℃) 运行正常、基本正常、异常；湿度 (> 80%) 运行正常、基本正常、异常 |

(2) 进行量化评估

设备结构的稳定性：通过现场检查和历史数据分析，该设备结构稳定，无变形或裂缝，评分为“稳定”。

电气系统的可靠性：根据过去一年的维修记录，故障率为0.008次/年，评分为“故障率 < 0.01次/年”。

控制系统的准确性：通过实际测试，控制精度为±0.5cm，响应时间为0.5s，评分为“控制精度±1cm”和“响应时间 < 1s”。

环境适应性：在高温（45℃）和湿度（85%）条件下进行测试，设备运行正常，评分为“高温运行正常”和“湿度运行正常”。

(3) 综合评估

根据各项指标的得分和权重（假设设备结构稳定性权重为0.3，电气系统可靠性权重为0.25，控制系统准确性权重为0.3，环境适应性权重为0.15），计算系统的安全风险水平。得分为：

设备结构稳定性：3（稳定）×0.3 = 0.9

电气系统可靠性：3（故障率 < 0.01次/年）×0.25 = 0.75

控制系统准确性：3（控制精度±1cm且响应时间 < 1s）×0.3 = 0.9

环境适应性：3（高温和湿度运行正常）×0.15 = 0.45

总得分：0.9+0.75+0.9+0.45 = 3.0

系统安全风险水平为3.0（满分为3.0），表明该设备在整体上是安全的，但仍有提升空间。

(4) 制定改进措施

虽然该设备在设备结构和电气系统方面表现较好，但在控制系统和环境适应性方面仍存在一定问题。针对这些问题，可以制定以下改进措施：优化控制系统的设计：进一步提高控制精度和响应速度，增强控制系统的稳定性和可靠性。提高设备的环境适应性：加强设备在高温、高湿度等恶劣环境下的测试和运行性能，确保设备在各种环境条件下都能稳定运行。

结语

本文以几种具体的安全评估方法为例，对机械式停车设备的安全评估方法进行了深入研究。研究结果表明，故障树分析、马尔可夫链模型和安全风险评价指标体系等方法各有优缺点，但在实际应用中均具有一定的有效性和可行性。未来研究可以进一步探讨如何结合多种方法提高机械式停车设备的安全性评估精度和可靠性，为机械式停车设备的安全运行提供更加科学的保障。

参考文献

- [1]张连红,王钰鑫.升降横移类机械式停车设备安全检验与评估[J].设备管理与维修,2021,(13):97-100.
- [2]陈梁胜,邱郡,赵攸乐.基于马尔可夫链模型的机械式停车设备安全评估[J].起重运输机械,2022,(18):23-26.
- [3]蒋瑜,金彦,龚文.垂直升降类机械式停车设备的安全评估[J].起重运输机械,2021,(13):76-78.
- [4]谢龙彬.机械式停车设备的安全管理与使用探究[J].产品可靠性报告,2023,(10):46-48.