

文章编号: 1005-8451 (2018) 10-0053-04

# 基于层次全息模型的铁路信号系统风险分析

陈海欢

(西南交通大学 信息科学与技术学院, 成都 611756)

**摘要:** 为全方面、多角度分析铁路信号系统在其生命周期中存在的风险, 提出基于层次全息模型(HHM)的铁路信号系统风险分析方法, 结合实际运营情况, 将风险源主要分为8大类别, 基于双重标准对风险过滤和评级, 并利用多重标准进一步对风险因子进行分析, 提出预防措施, 为铁路信号系统风险分析提供参考。

**关键词:** 铁路信号系统; 层次全息模型(HHM); 风险分析; 风险源分类; 风险过滤

**中图分类号:** U284: TP39 **文献标识码:** A

## Railway signaling system risk analysis based on hierarchical holographic modeling

CHEN Haihuan

(School of Information Science and Technology, Southwest Jiaotong University, Chengdu 611756, China)

**Abstract:** To analyze the risk of railway signal system in its life cycle from all aspects and angles, this paper proposed a risk analysis method of railway signal system based on hierarchical holographic model (HHM). Combined with the actual operation, risk sources could be divided into 8 categories. Based on double standards, risk filtering and rating were carried out, and multiple criteria were used to further analyze risk factors. Preventive measures were put forward to provide reference for risk analysis of railway signaling system.

**Keywords:** railway signal system; hierarchical holography modeling(HHM); risk analysis; classification of risk source; risk filtering

铁路信号从产生至今, 在保证列车运行安全上起着至关重要的作用, 因此, 对铁路信号系统进行风险识别意义重大。在国外, 由欧洲电气化标准委员会(CENELEC)制定的欧洲铁路行业标准 EN50126、EN50128、EN50129, 对铁路的可靠性、有效性、维修性和安全性(RAMS)、通信、信号以及处理系统应用做了相关说明, 国内对铁路信号系统风险识别起步较晚, 但近些年也做了大量的研究。文献[1]针对我国高速铁路系统, 对其生命周期进行安全评估; 文献[2]借鉴国外风险评估技术, 对我国铁路信号系统中风险评估技术的应用进行了探讨; 文献[3]针对我国铁路行业历史数据不足、获取困难、难以量化评价等问题, 提出基于云模型和证据理论的铁路信号系统风险评估方法, 文献[4]采用基于模糊理论的风险评价方法。

铁路信号系统是计算机、现代通信和控制技术

在铁路运输生产过程中的具体应用, 在其生命周期各个阶段都可能存在风险。已有研究大多只针对运营过程中存在的某一种风险进行识别和评估, 忽视了制度、管理和组织等社会因素, 基于此, 本文提出基于层次全息模型(HHM)的风险识别方法, 从多角度分析铁路信号系统可能存在的风险。

### 1 层次全息模型

层次全息模型(HHM)将复杂系统以互补、协作的方式分解为部件、子系统层次, 每一层次都是完整系统的某一特定视角结构<sup>[5]</sup>。

HHM有价值的关键的一个方面是它有助于评估子系统风险及其对整个系统风险的相应贡献。在规划、设计或运营模式中, 对每个子系统贡献的风险进行建模和量化的能力明显有助于识别、量化和评估风险。特别地, HHM有能力对各个子系统之间的复杂关系进行建模, 并考虑风险和不确定性的所有相关和重要因素, 这使得建模过程成为更具代表性

收稿日期: 2018-01-04

作者简介: 陈海欢, 在读硕士研究生。

和包容性的风险评估过程。

## 2 铁路信号系统风险识别层次全息模型

铁路信号系统由车站联锁系统、区间闭塞系统、列车运行控制系统、行车调度系统、微机监测系统以及其他安全技术系统等构成，各子系统间通过有线或无线方式连接，控制铁路信号室内室外设备，保证运行安全。

在实际运营过程中，铁路信号系统易受设备可靠性、环境、自然灾害影响，结合铁路信号系统组成架构、工作环境、运营制度管理，构建 HHM 框架时将铁路信号系统运营阶段风险分为 8 个主要类别，如图 1 所示。

(1) 通信。通信是铁路信号系统中的基本要素，包括子系统间采用冗余环线的双向通信，列车控制系统中车-地、地-车通信方式。在列车控制系统中，通常采用应答器、轨道电路、GSM-R 进行通信。对于铁路运输，通信故障会影响列车到发时刻，减低运输效率。

(2) 基础设备。设备类别包括中心、车载设备以及铁路信号系统中的基础设备，包括有信号机、轨道电路、道岔转辙装置、控制设备、电线路，由于其所处环境的特殊性（信号机、轨道电路、道岔转

辙装置通常处于户外），是铁路信号系统中容易出现故障的地方。

(3) 环境。环境类别关注铁路信号系统所处的环境，如桥梁、隧道、地质情况、温度、湿度等。

(4) 制度。制度关注铁路信号系统在运营过程中受哪些制度影响。

(5) 管理。保证列车安全运行，需要各作业段上人员通力配合。列车运行受控于地面列控中心，安排列车运行，需人为安排列车接发车、通过进路等。操作关注于铁路调度人员操作合理规范性。

(6) 外部因素。来自外部的自然灾害和其他因素会影响铁路信号系统可靠性，如地震、台风、暴雨、突发事件等。

(7) 供电。铁路运输是 24 h 不间断运行的，对于提供各类设备运行的供电电源通常采用不间断电源（UPS），除此之外，因设备设计原理差异，直流电源和交流电源在设备中都会用到。例如，在 6502 电气集中联锁中无极和有极继电器均有使用。电源是保证设备运行的前提条件，一旦电源发生故障，应立即进行故障处理，且设备启动间隔时间应满足相应的安全规范。

(8) 车辆。车辆是铁路运输的载体，从蒸汽机车、内燃机车、电力机车到动车组列车，列车运行速度

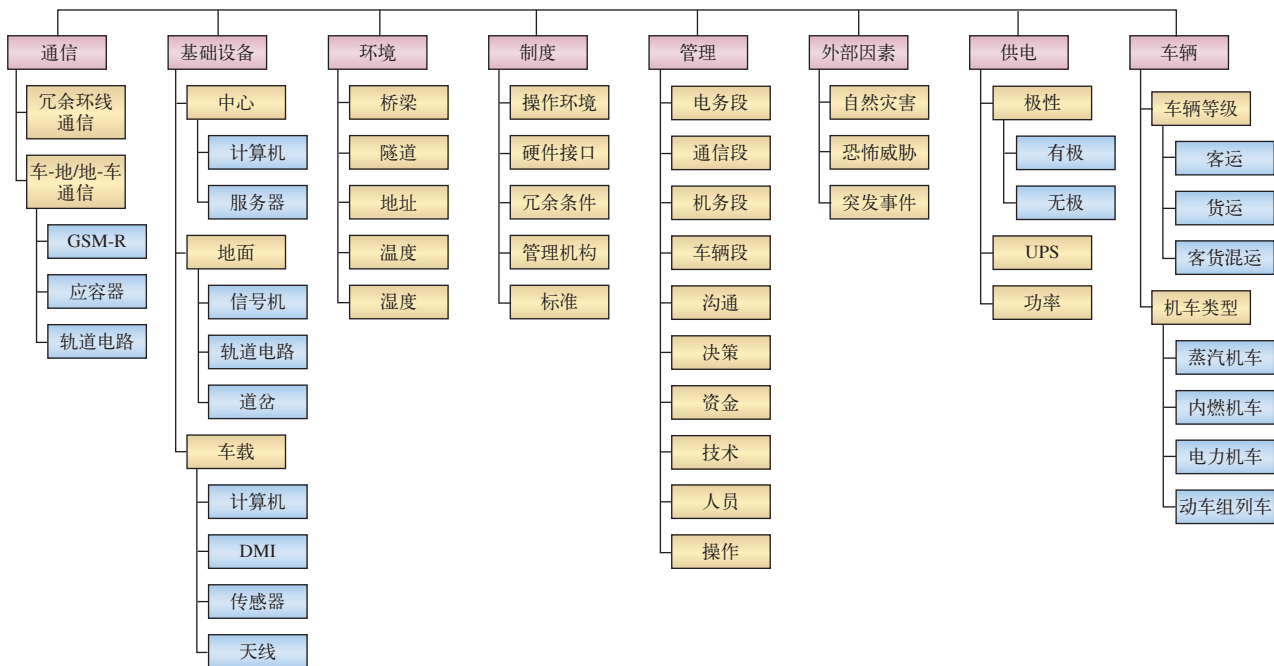


图1 铁路信号系统风险识别的HHM框架

越来越快。保证列车安全高效快速运行，就需要列车在信息接收、车载设备、运行稳定性上安全可靠。

3 铁路信号系统风险分析

3.1 风险过滤

在风险过滤过程的第1阶段，根据运营过程中铁路信号系统实际风险的来源，对风险来源进行过滤。该阶段的过滤标准包括决策层面、范围、以及时间域。因此，第2阶段的过滤是在专家经验和所研究系统的性质、功能、运行以及个别决策者的角色和责任的基础上实现。这个阶段往往将风险来源数量从几百减少到50以内。

安全是铁路生产中重要的课题，国内外专家和现场工作人员对铁路系统安全进行了大量的研究。研究显示，铁路系统安全具体包括人、设备、环境和管理4大因素<sup>[6-7]</sup>。基于对铁路信号系统性质、功能的认识，对图1中的风险源进行筛选，得到风险类别及其子类别：类别2，信号机、轨道电路、道岔；类别3，桥梁、隧道、地质、温度、湿度；类别5，沟通、决策、技术、人员；类别6，自然灾害、突发事件。

3.2 基于双重标准的风险过滤和评级

在该阶段，更趋向于量化化操作要考虑到两方面的信息：故障发生的可能性以及故障导致后果的严重性等级。分析这一过程，通常将故障发生的可能性和后果的严重性等级均划分为5个等级，再将两者综合考虑，得到高风险、较高风险、中度风险、低风险4个风险等级<sup>[8]</sup>，在双重风险矩阵中加以表示，如表1所示。

表1 故障严重性等级划分					
影响可能性	不可能	很少	偶尔	可能	经常
灾难性	高风险	高风险	高风险	高风险	高风险
严重	较高风险	较高风险	较高风险	较高风险	高风险
普通	中度风险	中度风险	中度风险	较高风险	高风险
轻微	低风险	低风险	中度风险	中度风险	较高风险
可忽略	低风险	低风险	低风险	低风险	中度风险

根据筛选后的风险类别、发生的可能性和严重性等级，得到双重标准风险矩阵，如表2所示。

3.3 多重标准评估

该阶段重点考虑每一个场景破坏系统弹性、鲁

表2 双重标准风险矩阵

类别	可能性	影响	评估结果
信号机	很少	灾难性	高风险
轨道电路	偶尔	灾难性	高风险
道岔	很少	灾难性	高风险
桥梁	很少	灾难性	高风险
隧道	偶尔	灾难性	高风险
地质	很少	普通	中度风险
温度	很少	普通	中度风险
湿度	很少	普通	中度风险
沟通	经常	严重	高风险
决策	偶尔	严重	较高风险
技术	不可能	灾难性	高风险
人员	不可能	灾难性	高风险
自然灾害	很少	严重	较高风险
突发事件	不可能	严重	较高风险

棒性和冗余性的能力，并设计出相应的标准，对每一标准又分为高、中、低3个风险级别<sup>[9]</sup>，如表3所示。

表3 高、中、低3个风险级别

标准	高风险	中风险	低风险
可察觉性	未知或不可察觉	较迟察觉	较早察觉
可控性	未知或不可控制	部分控制	完全控制
可修复性	不可修复	部分修复	完全修复
级联影响	未知或多级联影响	部分级联影响	无影响
影响持续时间	长时间影响	中等持续时间	短时间
运行环境	未知灵敏度或运行环境非常敏感	运行环境敏感	运行环境不敏感
外部保障	无外部保障	部分保障	充分保障

针对以上评估结果，对其划分更小的风险源，如表4所示。表中，“—”表示不可应用。

3.4 风险分析

铁路信号系统是一个复杂的系统，其中心设备通常采用二乘二取二或双机热备的方式保证可靠运行，用于连接各设备也采用冗余环线的通信网络，故其发生故障的可能性很小。故障往往发生在室外的基础设备上，或因铁路系统人员技术水平不够、或因操作失误，导致信号系统处于不安全状态，另外，对于突发的自然灾害，在现有技术水平上还不能对其准确预测，也是导致铁路信号系统处于不安全状态的重要因素。

4 结束语

针对铁路信号系统运营过程中可能发生的故障，利用层次全息模型的方法，可以更好地识别风险类

表4 风险源及其风险等级

标准	点灯电路 断线	点灯电路 混线	轨道电路 分路不良	绝缘节 破损	道岔机械 故障	道床质量 不佳	温湿度 异常	调度人员 沟通故障	决策失误	技术欠缺	灾害预防	应急能力
可察觉性	低	中	中	中	中	低	低	中	中	低	中	—
可控性	低	低	低	低	低	中	低	高	中	低	中	—
可修复性	低	低	低	低	低	低	低	低	中	低	中	—
级联影响	中	高	高	高	高	高	低	高	高	中	高	—
影响持续 时间	中	中	高	高	高	高	中	高	高	高	高	—
运行环境	中	中	高	中	中	高	高	—	—	—	高	—
外部保障	低	低	中	中	低	中	低	中	中	高	中	高

型。本文从人、设备、管理和环境 4 个方面对信号系统进行评价，对其风险源划分评级，有助于在实际运用过程中对风险进一步防范。对于过滤掉的风险，受数据可靠性影响，在今后铁路运输过程中应进一步监测和统计。

参考资料：

[1] 张曙光. 高速铁路系统生命周期安全评估体系的研究[J]. 铁道学报, 2007 (2) : 20-26.  
[2] 单铎年. 风险评估技术在铁路信号系统中的研究与应用[J]. 中小企业管理与科技, 2017 (7) : 100-101.  
[3] 张有鹏, 李远远. 基于云模型和证据理论的铁路信号系统风险评估[J]. 铁道学报, 2016 (1) : 75-80.

技管理研究, 2009 (4) : 161-163.  
[6] 王予平, 张长生, 陈志雄. 基于事故致因模型的铁路行车安全研究[C]// 合肥: 第八届中国智能交通年会论文集, 2013 : 503-507.  
[7] 杨连报, 李 平, 徐贵红, 等. 基于大数据技术的铁路安全管理研究[J]. 铁路计算机应用, 2016, 25 (9) : 83-89.  
[8] 卓 东, 刘黎明, 起晓星, 等. 基于层次全息模型的农业土地利用环境风险识别[J]. 生态与农村环境学报, 2013 (3) : 364-369.  
[9] Yacov Y.Haimes, Stan Kaplan, James H.Lambert. Risk Filtering, Ranking, and Management Framework Using Hierarchical Holographic Modeling[J]. Risk Analysis, 2002, 22(2): 383-397.

责任编辑 王 浩

(上接 P52)

Conf. on Wind Engineering, Lubbock (Texas), 2003.  
[5] 贾永兴, 梅元贵. 日本高速铁路强风预警系统的发展[J]. 铁道机车车辆, 2008, 28 (4) : 16-19.  
[6] 中国铁道科学研究院. 国外高速铁路自然灾害及异物侵限监测系统调研报告[R]. 北京: 中国铁道科学研究院, 2012.  
[7] 王 彤. 高速铁路防灾安全监控系统研究与开发[J]. 中国铁路, 2009 (8) : 25-28.  
[8] 中国铁路总公司. 高速铁路自然灾害及异物侵限监测系统总体技术方案(暂行)[Z]. 北京: 中国铁路总公司, 2013.  
[9] Kostas,C.,Psannis,K.E., Kim,B.G., et al. Secure integration of IoT and Cloud Computing[J]. Future Generation Computer

Systems, 2018, 78(3): 964-975.  
[10] Raguseo,E. Big data technologies: An empirical investigation on their adoption, benefits and risks for companies[J]. International Journal of Information Management, 2018, 38(1): 187-195.  
[11] 史天运, 刘 军, 李 平, 等. 铁路大数据平台总体方案及关键技术研究[J]. 铁路计算机应用, 2016, 25 (9) : 1-6.  
[12] 马小宁, 李 平, 史天运. 铁路大数据应用体系架构研究[J]. 铁路计算机应用, 2016, 25 (9) : 7-13.

责任编辑 陈 蓉