

文章编号:1673-9981(2017)02-0118-05

客运架空索道子系统重要部件失效模式与定性风险评估方法的探讨*

邱治国

广东省特种设备检测研究院,广东 广州 510655

摘要:通过对单线循环固定抱索器、单线循环脱挂抱索器和双线往复式客运架空索道进行研究,将客运架空索道系统划分为14个子系统.在对14个子系统重要部件的失效模式和失效原因分析后,归纳出客运架空索道的失效模式有139种,失效原因由608项.在此基础上提出了客运架空索道定性风险评估流程,建立了索道子系统重要部件失效可能性和失效后果程度的风险矩阵,以及对客运架空索道子系统重要部件的定性风险评估方法.

关键词:客运架空索道;失效模式;子系统;重要部件;风险评估

中图分类号: TH235

文献标识码: A

客运索道在我国作为特种设备的一种,由政府对其进行安全监管.根据《特种设备安全监察条例》(国务院549号令)的规定,客运索道是指由动力驱动、利用柔性绳索牵引箱体等运载工具运送人员的机电设备,包括客运架空索道、客运缆车、客运拖牵索道等.截至2016年11月,我国已建、在用的客运架空索道有985条.近年来,随着我国老旧索道数量的不断增加,老旧索道的安全状况已经成为影响我国客运索道安全发展的重要因素.客运索道安全风险评估方法的建立,不仅可提高客运索道行业的运营安全和经营管理水平,还可提高我国客运索道产业发展的总体水平.目前,我国客运索道的法定检验主要是检验设备是否符合检验规则和安全标准的有关要求,但不能对客运索道系统和设备的潜在风险做出准确的评估,不能对风险的发展进行有效的分析^[1]及对客运架空索道系统和子系统进行风险等级的评定.因此,提出适合我国国情的客运架空索道风险评价方法,准确了解客运架空索道设备的安全状况和风险程度,可为客运架空索道的科学监管打下基础.

1 客运架空索道子系统重要部件的失效模式

1.1 客运架空索道子系统的分类

根据客运架空索道系统的特点及设备相关性,以单线循环固定抱索器、单线循环脱挂抱索器和往复式客运架空索道为研究对象,将客运架空索道系统划分为14个子系统:(1)线路设施;(2)钢丝绳;(3)运载工具;(4)抱索器;(5)托压索轮组(鞍座);(6)动力系统(驱动电动机、制动器、减速机、联轴器、驱动轮、迂回轮);(7)张紧装置;(8)液压系统;(9)站房钢结构、基础及标识;(10)脱挂抱索器加减速器与推车机构;(11)通讯系统;(12)电气设备(动力、拖动、控制);(13)安全保护装置(机械、电气);(14)保护装置.

1.2 客运架空索道子系统重要部件的失效模式及失效原因

在分析各种客运架空索道事故及故障的基础

收稿日期:2017-05-05

* 基金项目:国家“十二五”科技支撑计划项目(2011BAK06B05)

作者简介:邱治国(1978-),男,广东普宁人,工程师,本科,主要从事机电类特种设备安全和相关科研工作.

上,归纳出客运架空索道失效模式有 139 种,失效原因有 608 项.表 1 和表 2 分别列出客运架空索道线路设施和运载工具两个子系统重要部件的失效模式及失效原因.

表 1 线路设施的失效模式与原因分析

Table 1 Failure modes and causes analysis of line facility

序号	失效模式	失效原因
1	支架异常晃动、变形	①设计缺陷;②材料不符合要求;③安装及施工质量;④基础不符合要求;⑤法兰连接质量(螺栓强度、螺栓防松情况);⑥地脚螺栓不符合要求(螺栓数量、尺寸、安装工艺);⑦气候环境(管内积水结冰、积雪);⑧外力破坏(飞石、树木倒塌);⑨自然灾害(地震、山体滑坡、泥石流).
2	支架腐蚀	①设计缺陷;②选材问题;③制造工艺不符合要求;④使用环境(气候条件);⑤维护保养欠缺.
3	支架折断、损坏	①设计选材问题;②地脚螺栓断裂;③法兰螺栓强度不足;④自然灾害;⑤焊缝质量;⑥人为破坏.
4	基础开裂移位	①勘探、设计不符合要求;②施工不规范;③气候原因;④混凝土选型及质量问题;⑤日常维护不符合要求;⑥自然灾害(地震、山体滑坡、泥石流).
5	吊具刮碰破损	①线路选择不当,倾角过大,与钢丝绳刮碰;②离地距离过小;③与外侧障碍物碰撞;④与支架刮碰.
6	支架移位	①基础缺陷;②自然灾害(地震、泥石流、山体滑坡);③地脚螺栓锈蚀、断裂;④连接无防松措施、松动.
7	脱索停机	①张紧力不足;②支架安装精度不符合要求;③使用环境(风力风向);④导向翼与挡板碰撞.

表 2 运载工具的失效模式与原因分析

Table 2 Failure modes and causes analysis of means of delivery

序号	失效模式	失效原因
1	锁门机构失效	①设计不合理;②安装质量;③结构变形;④疲劳;⑤锁具腐蚀;⑥复位装置失效;⑦拉线机构失效;⑧润滑不良.
2	吊架断裂	①设计缺陷;②材料疲劳;③制造质量;④材质质量.
3	吊架腐蚀	①选材不符合要求;②涂装不符合要求;③使用环境(气候);④使用维护不当.
4	吊具变形损坏	①设计缺陷;②线路设计问题;③使用管理不当(超载);④日常维护不符合要求;⑤设计有缺陷;⑥安装质量不符合要求(抱索器防滑力不足);⑦材料质量不符合要求(选材,材料厚度等).

2 客运架空索道子系统重要部件定性风险的评估方法

美国安全工程师学会(ASSE)将风险定义为潜

在危险发生事故的的概率和事故发生后可能造成的后果及其严重程度.风险是事件发生的概率和与事件相关联的后果(通常是不利的)的函数,风险可以用式(1)表示^[1]:

$$\text{风险} = \text{可能性} \times \text{后果} \quad (1)$$

风险评价的关键是风险评估,风险评估是对事件发生危险的概率及后果程度进行评估和计算,以确定风险的程度,从而提出预防风险的措施和降低风险的要求.风险评价结果的准确性及可靠性主要取决于风险评估的过程.根据风险的定义,定性分析方法的主要步骤有:A.失效可能性系数的确定;B.失效后果系数的确定;C.失效等级的确定;D.风险类别矩阵的确定.

定性风险评估方法能够比较快捷和准确地将大量索道失效模式和失效原因组合项目中的低风险和高风险项目区分出来,既能够判断子系统重要部件的风险,还能够减少定量分析的工作量.本文采用FMEA分析与定性风险分析相结合的方法,对客运

架空索道子系统重要部件的失效模式进行定性风险分析.

FMEA法指故障模式和影响分析(Failure Mode, Effect Analysis),是一种自下而上的故障分析方法,即以分析零件故障产生的后果为基础来分析部件的故障,由部件故障进一步分析整个系统的故障^[2];是生产过程中进行事前预防的分析手段,是评审及可靠性分析的重要工具.

客运架空索道的定性风险评价是针对确定的评价对象,在收集相关数据信息的基础上,对其子系统及关键部件进行失效模式与原因分析、失效概率和后果严重程度评估、风险类别确定,风险等级评定等.定性风险评价的流程如图1所示.

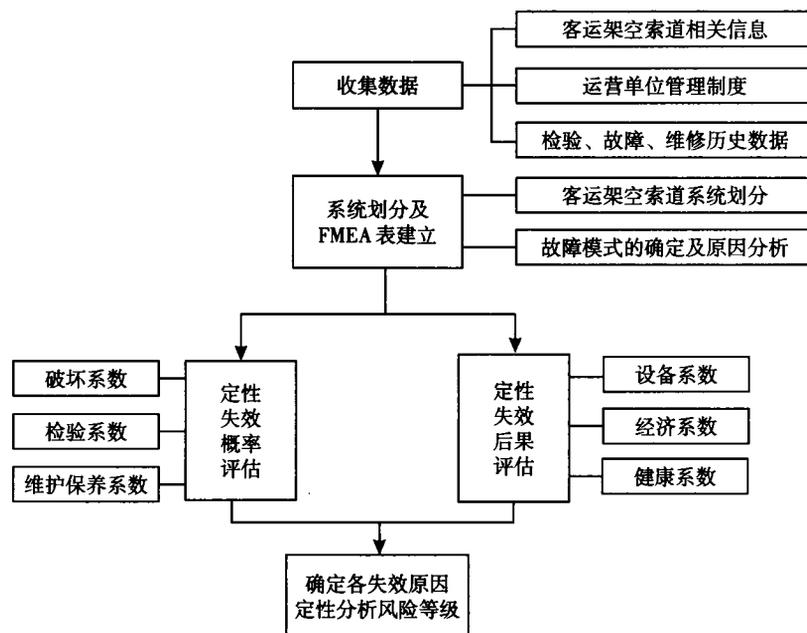


图1 定性风险评价流程图

Fig. 1 Qualitative risk assessment flow chart

2.1 客运架空索道定性失效可能性评估

故障模式,即故障的表现形式,一般是对产品所发生的、能被观察或测量到的故障现象的规范描述^[3-5].对于特种设备,识别其故障模式应以系统层级和故障现象为基础进行深入分析,找出该现象的具体原因,进而分析故障的影响程度.故障现象有可能是子系统整体,也有可能是子系统某一部件,如液压系统失效,或者是油泵、电机等某一部件失效,或者阀门故障、储能器泄漏等.在分析故障模式及原因时,应将曾发生的故障和事故的数据信息,作为失效

可能性评估的依据和基础.

对于故障发生可能性的定性评估可通过“高”、“中高”、“中”、“中低”、“低”5个等级来描述客运架空索道的失效可能性.对每一个失效模式及失效原因,失效发生的可能性由以下方式表示:A—频繁、B—很可能、C—偶尔、D—极少或不太可能、E—几乎不可能.

定性评估方法是基于专家的丰富经验,通过一定的分析方法对所评估的系统、子系统、管理、环境等进行分析评估,进而作为失效概率和失效后果的分析基础^[1],最后以定性的形式给出,如“高”、“中”、

“低”。这种评估方法的优点是在数据无法获取或不全的情况下,评价专家也能对设备做出准确的风险评估。所以,评价专家的经验及其专业知识对定性分析结果的准确性非常重要。

评估失效发生可能性时,应从索道的设计、运行、检测记录、操作历史等方面对设备状态进行评估,对客运架空索道子系统重要部件是否有全部的操作运行历史和完整的检测记录,是否发现缺陷,设计资料是否齐全,安全管理制度是否建立并落实到位等因素也要考虑,同时还要考虑与危险相关的客运架空索道部件或子系统可靠性、事故、故障记录和统计数据(事故或故障发生的频次),以及应考虑客运架空索道系统的操作人员和使用客运架空索道的乘客暴露于某种危险情节中的频次和时间等因素。失效概率评估应以现场检验和测试的结果、安全管理制度的建立和执行检查情况为主要依据,参照现有法规和标准,结合专家经验进行判断。在定性失效可能性的评估中,不仅要参照上述评价依据,也要根据以下方面的信息:1)对设备相关资料调研和查阅的情况;2)索道管理的基本制度、安全机构与岗位责任制、人员资格、安全制度及工作记录等。最后通过风险评价会议充分讨论来确定索道风险可能性等级。

2.2 客运架空索道定性失效后果评估

定性失效概率和失效后果严重程度评价是风险评价的核心内容和关键步骤。通过对定性失效概率及失效后果的评价,建立其评价准则。在所建立的评价准则的基础上,根据所收集的数据和现场检测结果,对根据 FMEA 表格所确定的客运索道的一级子系统故障模式的具体原因进行风险分析,确定每种故障原因发生的概率等级和后果等级。再依据风险矩阵确定每种故障原因的风险等级。

索道各子系统重要部件的失效对乘客的人生安全、使用单位经济损失的影响是不同的。对于那些涉及人身安全,易引发严重后果的子系统重要部件应进行重点、全面的检测,而那些失效后果不是特别严重的,检测程度可相对降低。客运架空索道一旦发生事故常常会产生严重的后果,失效后果评估应从人员伤亡后果、社会影响和经济损失等方面考虑。定性失效后果分析可对各系统或重要部件进行单独估算。在定性评价方法中,后果程度等级可以分为“很高”、“高”、“中”、“低”、“很低”5 个等级或者使用

“高”、“中”、“低”3 个等级。在评估失效后果的严重程度时还应考虑以下因素:(1)索道的子系统或结构失效后,对索道影响不大,可以继续运转或者能在很短的时间内修复后就可继续运转;还是会对索道产生较大影响,造成索道长时间停运或索道严重损坏,需大修才能将设备修复;或者会对索道产生严重影响,导致索道停运。(2)是否会威胁到人员生命安全,对乘客是否会造成伤害,甚至死亡等。(3)事故导致停运后造成的经济损失,包括企业收益、设备维修费用及周围损坏带来的经济损失等方面。

2.3 客运架空索道子系统重要部件风险评定

根据定性失效可能性评估和失效后果评估可得到子系统失效模式下具体失效原因的可能性等级(1~5)以及失效后果严重程度等级(1~5),再利用矩阵法确定风险类别。

根据失效可能性和失效后果的定义,建立了索道子系统重要部件失效可能性和失效后果程度的 5×5 风险矩阵,如图 2 所示。定性评估风险可概括为低风险、中风险、中高风险和高风险四种类别。根据图 2 所示的风险矩阵,当子系统被评估为中低风险时,需进行简单的风险管理,把风险降至最低;当子系统被评估为中高风险时,需进行风险管理,把风险降低后进行再次评估;当子系统被评估为高风险时,说明存在较大的安全隐患,需进行定量风险评估。

失效可能性	5	中高	中高	中高	高	高
	4	中	中	中高	中高	高
	3	低	低	中	中高	高
	2	低	低	中	中	中高
	1	低	低	中	中	中高
		1	2	3	4	5
		失效后果				

图 2 定性风险分析矩阵

Fig.2 Qualitative risk analysis matrix

3 结 论

针对目前我国客运架空索道缺乏从风险的角度

分析原因的现状,对客运架空索道子系统重要部件的失效模式和失效原因进行了分析,提出客运架空索道失效模式有139种,失效原因有608项.建立了索道子系统重要部件失效可能性和失效后果程度的风险矩阵,同时,提出了客运架空索道风险评价的流程以及对客运架空索道子系统重要部件的定性风险评估方法.

参考文献:

- [1] 钱剑雄. 客运索道风险评价方法研究[D]. 北京:北京化工大学, 2014.
- [2] SINGH M, LATHKAR G S, BASU S K. Failure prevention of hydraulic system based on oil contamination [J]. Journal of The Institution of Engineers (India): Series C, 2012, 93 (3): 269-274.
- [3] 何厚全. RCM在住宅维修中的应用研究[D]. 南京:东南大学, 2005.
- [4] 马士宾. 以可靠性为中心的沥青路面维修关键技术研究[D]. 西安:长安大学, 2008.
- [5] 郭磊,王艳辉,祝凌曦. 动车组转向架系统故障模式及影响分析[J]. 铁道机车车辆, 2013, 33(6): 97-100

Research on failure mode of passenger aerial ropeway subsystems and critical components and qualitative risk assessment method

QIU Zhiguo

Guangdong Special Equipment Inspection Institute, Guangdong 510655, China

Abstract: According to the research of single-line fixed-holding clipper, single-line recirculation off-hooker and double-track reciprocating, the passenger aerial ropeway can be divided into 14 subsystems. By means of analyzing the failure modes and reasons of critical components of 14 subsystems, 139 failure modes of passenger aerial ropeway are summarized, and 608 items are invalid. On this basis, the qualitative risk assessment process of passenger aerial ropeway is put forward. The risk matrix of failure probability and failure consequence of the critical parts of the cable subsystem is established. The qualitative risk assessment method of the important parts of the passenger aerial ropeway subsystem is established.

Key words: passenger aerial ropeway; failure mode; subsystem; critical component; risk assessment