

永磁牵引系统混合动力调车司机操纵台可靠性分配与分析

高梅 马晨 武阳 吕俊峰

西安铁路信号有限责任公司 陕西西安 710100

摘要: 操纵台是机车运行操纵的人机界面,是机车最重要的组成部分。现根据永磁牵引系统混合动力调车司机操纵台(以下简称:操纵台)内部各个单元的功能特点和逻辑关系,建立了操纵台相关可靠性模型,根据操纵台各部件的复杂程度、重要程度、技术成熟度、环境条件的指标对操纵台各部件进行可靠性分配,并给出了具体的分配方法,结果表明:该操纵台可靠性模型正确,分配结果合理,对没有经过完整生命周期的产品采用专家评分分配法可行。

关键词: 司机操纵台; 可靠性; 可靠性分配

Reliability distribution and analysis of permanent magnet traction System Hybrid driver control console

Gao Mei, Ma Chen, Wu Yang, Lv Junfeng

Xi'an Railway Signal Co., Ltd. Shaanxi Xi'an 710100

Abstract: The control console is the man-machine interface of locomotive operation and operation, and it is the most important part of the locomotive. Based on the functional characteristics and logical relations of each unit in the permanent magnet traction system hybrid locomotive control console (hereinafter referred to as the console), the relevant reliability model of the console is established. According to the complexity, importance, technical maturity, and environmental conditions of each component of the control console, the reliability distribution of each component of the control console is carried out, and the specific distribution method is given. The results show that the reliability model of the control console is correct and the distribution results are reasonable. It is feasible to adopt the expert scoring distribution method for the products without a complete life cycle.

Keywords: driver console; reliability; reliability distribution

一、概述

调车作业是铁路运输生产的重要组成部分,相较于机车运行,因其作业区域线路复杂,作业方式变化多样,调车机车运行所涉及的安全问题也更繁杂。2017年以来铁路系统因司机操纵原因造成的机车调车作业险性事故频发,操纵台作为机车的人机界面,是司机获取信息并进行正确、安全驾驶机车的特定作业场所,因此其生命周期内的可靠性直接关系到机车安全运行能力。

在对永磁混合动力调车司机操纵台组成结构、工作原理充分认识的基础上,对其进行分解,充分借鉴机车可靠性技术研究的经验和方法,初步建立操纵台的可靠性模型,并通过专家评分方法给出其可靠性指标分配原则和结果。

二、可靠性目标要求

操纵台应满足GB/T21562-2008《轨道交通可靠性、可用性、可维修性和安全性规范及示例》中所有条款

可靠性、维修性、可用性要求:平均无故障工作时间MTBF \geq 52560h。

三、操纵台可靠性建模

3.1 操纵台的结构

操纵台分为显示单元、控制单元及操纵台构架。显示单元主要是显示机车运转状况,状态等信息,使司机随时观察与掌握机车各系统的工作状态,方便司机制定合适的运行计划,确保机车能够短时、高效的完成作业。控制单元由司控器、扳键开关、脚踏开关等组成;控制机车的日常作业,同时也负责机车内照明系统、空调系统的正常运行;操纵台骨架是控制单元和显示单元的载体,方便驾驶员获取信息并正确、安全驾驶机车。因此整个操纵台中任何一个单元都不能出故障,其可靠性直接影响到机车行驶安全。

3.2 可靠性框图

操纵台在设计上采用的串联模型,其单元中任何一种电器或组件发生故障,均会导致操纵台故障,都将影响到操纵台最终功能的实现。其可靠性框图见,图1。



图1 操纵台可靠性模型RBD框图

依据串联可靠性模型,式(1)给出机车操纵台可靠度计算公式:

$$R=R_{显} \times R_{控} \times R_{构架} \quad (1)$$

式中, R为操纵台的可靠度, $R_{显}$ 、 $R_{控}$ 、 $R_{构架}$ 分别为操纵台显示单元、控制单元、操纵台构架的可靠度。

控制单元由按钮、扳键开关、脚踏开关、司控器、万转开关、断路器组成,机车紧急制动、鸣笛,采用双冗余设计,控制单元的可靠性模型见图2。

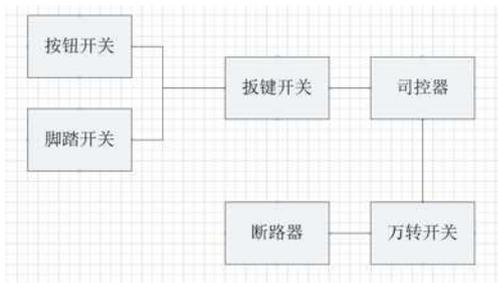


图2 控制单元可靠性模型RBD框图

控制单元根据串并联模型,公式(2)给出其可靠性模型。

$$R=[1-(1-R_{脚踏} \times R_{按钮})] \times R_{扳} \times R_{司} \times R_{万} \times R_{断} \quad (2)$$

式中, R为控制单元的可靠度, $R_{脚踏}$ 、 $R_{按钮}$ 、 $R_{扳}$ 、 $R_{司}$ 、 $R_{万}$ 、 $R_{断}$ 分别为按钮、扳键开关、脚踏开关、司控器、万转开关、断路器的可靠度。

显示单元主要分布在操纵台的仪表面板上,包括监控显示,微机显示、风表、速度表、压力表、指示灯等在设计上采用的串联模型。其可靠性框图,见图3。

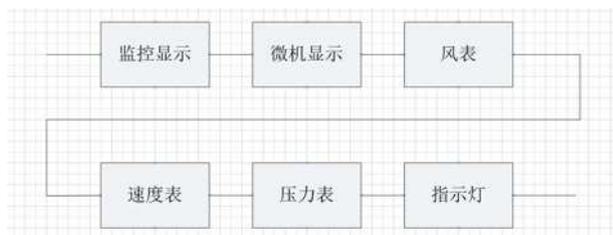


图3 显示单元可靠性模型RBD框图

依据串联可靠性模型,式(3)给出操纵台显示单元可靠度计算公式:

$$R=R_{监} \times R_{微} \times R_{风} \times R_{速} \times R_{压} \times R_{灯} \quad (3)$$

式中, R为显示单元的可靠度, $R_{监}$ 、 $R_{微}$ 、 $R_{风}$ 、 $R_{速}$ 、

$R_{压}$ 、 $R_{灯}$ 分别为监控显示,微机显示、风表、速度表、压力表、指示灯的可靠度。

操纵台构架是仪表和开关电器的载体。由操纵台柜体,仪表面板,开关面板、门板组成,操纵台构架的可靠性模型见,图4。



图4 操纵台构架可靠性模型RBD框图

依据串联可靠性模型,式(4)给出操纵台构架可靠度计算公式:

$$R=R_{柜} \times R_{仪} \times R_{开} \times R_{门} \quad (4)$$

式中, R构为操纵台构架的可靠度, $R_{柜}$ 、 $R_{仪}$ 、 $R_{开}$ 、 $R_{门}$ 分别为操纵台柜体,仪表面板,开关面板、门板的可靠度。

四、操纵台可靠性指标分配

4.1 可靠性分配的原则

可靠性分配就是将操纵台研制合同中规定的可靠性指标,由上到下,从整体到局部,逐步分解,分配到各单元。根据操纵台结构和特点,采用专家评分分配法^[2]对其可靠性指标进行预分配。

专家评分分配法参考以下的准则进行评价。各个因素评分值范围为1分~10分,评分越高说明对产品的可靠性指标越低。

1) 复杂程度,根据产品组成单元的数量以及组装的难易程度来评定的,越复杂的产品,可靠性就越低。最复杂的评10分,最简单的评1分。

2) 重要程度,根据各单元在操纵台中的重要程度评定,重要的部件可靠性要求高,给以较低的评分,重要度低的评10分,重要高的评1分。

3) 技术成熟度,根据操纵台目前的技术成熟度来评定。成熟度低的评10分,成熟度高的评1分。

4) 环境条件,根据操纵台各单元所处的环境来评定。严酷环境条件的评10分,环境条件好的评1分。

采用专家评分分配法对操纵台的可靠性影响因素进行评分,设 r_{ij} 为第i个单元第j个影响因素的评分,则:

$$\omega_i = \prod_{j=1}^3 r_{ij} \quad (5)$$

ω_i 为第i个单元的评价分数。那么第i个单元的评价系数为:

$$C_i = \frac{\omega_i}{\omega} \quad (6)$$

$$\omega = \sum_{i=1}^n \omega_i \quad (7)$$

式中n为操纵台所包含的单元数。大量实践表明,复杂系统的故障服从指数分配^[3]。如果操纵台的故障为λ,则对于串联模型,对应的分单元的故障为C_iλ。平均故障时间间隔MTBF是指部件或单元两次故障间的工作时间的平均值。平均故障率λ和平均故障里程是倒数关系,即

$$\lambda_s^* = \frac{1}{MTBF} \quad (8)$$

4.2 可靠性分配

操纵台需求规格书上规定了产品故障率指标。其中,操纵台的MTBF ≥ 52560h,按高于指标最低可接受值的10%进行分配,即故障率指标 $\lambda_s^* = \frac{1}{52560 \times 110\%} = 17.3 \times 10^{-6}$ 。分配结果见表1。

从表1中分配的结果可以看出,操纵台构架没有冗余设计,分配了比较低的故障率,平均故障间隔时间较长。同时也可以看出由于显示单元和控制单元结构较为复杂,重要度比较高,分配的故障率就有所上升,平均故障间隔时间较短。

表1 操纵台可靠性分配结果

单元名称	复杂度 r ₁₁	技术成熟度 r ₁₂	重要度 r ₁₃	环境严度 r ₁₄	分系统的评分数 ω _i	分系统的评系数 C _i	分配给分系统的故障率 (10 ⁻⁶ /h) λ _i
控制单元	8	5	8	5	1600	0.46	7.96
显示单元	6	5	8	5	1200	0.34	5.88
操纵台构架	5	7	4	5	700	0.2	3.46
总计					3500	1	17.3

控制单元中,把可靠性模型中并联的脚踏开关、按钮开关统称为开关组,对控制单元进行分配,由表1得控制单元的故障率为7.96 × 10⁻⁶/h,其各元器件分配结果如表2所示。开关组的故障率为1.96 × 10⁻⁶/h,由于开关组是并联模型,冗余设计,故脚踏开关、按钮开关故障率应小于为1.96 × 10⁻⁶/h。

表2 控制单元可靠性分配结果

单元名称	复杂度 r ₁₁	技术成熟度 r ₁₂	重要度 r ₁₃	环境严度 r ₁₄	分系统的评分数 ω _i	分系统的评系数 C _i	分配给分系统的故障率 (10 ⁻⁶ /h) λ _i
开关组	6	6	8	5	1440	0.25	1.96
扳键开关	5	8	8	5	1600	0.27	2.18
司控器	10	5	1	5	250	0.04	0.34
万转开关	7	5	10	5	1750	0.30	2.39
断路器	8	2	10	5	800	0.14	1.09
总计					5840	1	7.96

对显示单元进行分配,按钮、扳键开关、脚踏开关、司控器、万转开关、断路器串联组成,由表1得显示单元的故障率为5.88 × 10⁻⁶/h,其各元器件分配结果如表3所示。

表3 显示单元可靠性分配结果

单元名称	复杂度 r ₁₁	技术成熟度 r ₁₂	重要度 r ₁₃	环境严度 r ₁₄	分系统的评分数 ω _i	分系统的评系数 C _i	分配给分系统的故障率 (10 ⁻⁶ /h) λ _i
监控显示	2	3	2	5	60	0.13	0.75
微机显示	3	4	2	5	120	0.26	1.50
风表	2	1	1	5	10	0.02	0.13
速度表	2	3	6	5	180	0.38	2.25
压力表	2	2	5	5	100	0.21	1.25
指示灯	1	1	4	6	24	0.05	0.30
总计					470	1	5.88

对操纵台构架进行分配,操纵台柜体,仪表面板,开关面板与门板串联组成,由表1得操纵台构架的故障率为3.46 × 10⁻⁶/h,其分配结果如表4。

表4 操纵台构架可靠性分配结果

单元名称	复杂度 r ₁₁	技术成熟度 r ₁₂	重要度 r ₁₃	环境严度 r ₁₄	分系统的评分数 ω _i	分系统的评系数 C _i	分配给分系统的故障率 (10 ⁻⁶ /h) λ _i
操纵台柜体	2	3	2	5	60	0.16	0.56
仪表面板	3	4	2	5	120	0.32	1.12
开关面板	2	1	1	5	10	0.03	0.09
门板	2	3	6	5	180	0.49	1.68
总计					370	1	3.46

可以用同样的方法在对司控器,扳键开关等其他部件进行进一步分配。

五、结论与建议

本文根据永磁牵引系统混合动力调车司机操纵台的结构特点,对各个部件之间的关系进行了产品树分析,建立了永磁牵引系统混合动力调车司机操纵台及其各子单元的可靠性模型,并采用了专家评分分配法对其进行可靠性指标预分配。分配结果表明,在系统没有经过完整生命周期、故障样本数较少情况下,采用专家评分分配法进行可靠性指标分配是可行的。

参考文献:

- [1]李巧良.可靠性工程师手册[J]. 中国工业出版社, 2017.10(1): 185-187.
- [2]曾声奎.可靠性设计与分析[J]. 国防工业出版社, 2014.10(14): 110-112.
- [3]戴树森.可靠性试验及其统计分析(上册)[M]. 北京国防工业出版社, 1983.22: 26-27.