

# FXN5C型货运机车制动电阻装置可靠性建模与分配

武 阳 高 梅 马 晨 王 峰

西安铁路信号有限责任公司 陕西西安 710100

**摘 要:** 针对FXN5C型货运机车制动电阻装置的功能特征和维护特点, 分析各组件间逻辑功能关系, 初步建立其可靠性模型。在此基础上, 以复杂度、技术成熟度、重要度、环境严酷度为可靠性分配评价因素, 采用评分分配法将制动电阻装置整体可靠性指标分配到每一个组件, 明确了各组件的可靠性定量要求, 为制动电阻装置设计和运用维护提供参考依据。

**关键词:** 制动电阻; RAMS; 可靠性模型; 可靠性分配

## Reliability Modeling and Distribution of Brake Resistance Device for FXN5C Freight Locomotive

WU Yang, GAO Mei, MA Chen, WANG Feng

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

**Abstract:** According to the functional characteristics and maintenance characteristics of the brake resistance device of FXN5C freight locomotive, the logical function relationship between each component is analyzed, and the reliability model is preliminarily established. On this basis, with complexity, technical maturity, importance, environmental severity for reliability allocation evaluation factors, score distribution method will overall reliability index to each component, clear the reliability requirements of each component, provide reference for the design and application of brake resistance device maintenance.

**Keywords:** Brake resistance; RAMS; Reliability model; Reliability distribution

### 引言:

FXN5C型货运机车是为担当国内干线货运而全新研发的新一代机车, 机车采用标准化、平台化和模块化设计思想, 有较高的可靠性、可维护性及可利用率指标<sup>[1]</sup>。制动电阻装置属于机车牵引主传动系统的组成部分, 客户对其可靠性指标也提出了要求, 因此, 在制动电阻装置设计的同时, 也对其系统可靠性模型及分配方法做了分析研究。

制动电阻装置功能实现的过程是: 机车施行电阻制动时, 牵引电机由串励电动工况转变为他励发电工况, 机车的动能转变为电能, 通过制动电阻装置的电阻带转变为热能, 由并联在电阻段上的直流风机将热能吹散到大气中<sup>[2]</sup>。

可靠性是指产品在规定的条件下和规定的时间内, 完成规定功能的能力<sup>[3]</sup>。制动电阻装置主要功能是为机车提供制动力, 同时保证自身散热。制动电阻装置发生不能提供制动力的故障时, 机车只能依靠空气制动, 在

长大坡道区段上增加乘务员操纵难度, 提高“放扬”事故概率。因此, 本文将把不能提供制动力的故障作为可靠性考核指标, 据此对FXN5C型货运机车制动电阻装置进行可靠性建模和分析。

### 1 系统概述

FXN5C型货运机车制动电阻装置主要由安装在框架中的电阻单元A、电阻单元B、电阻单元C、电阻单元D及与电阻单元D并联的风机组成。如图1所示, 电阻单元A、B安装在远离风机侧, 电阻单元C、D安装在靠近风机侧, 风机并联在电阻单元D上。4个电阻单元和风机都安装在构架上。构架除容纳其它组件外, 还为冷却气流提供风道。

从图1上可看出, 电阻单元A、B串联为一个回路, 电阻单元C、D串联为一个回路。机车施行电阻制动时, 这两个回路分别接入励磁电流, 在电阻带上产生热能, 为机车产生制动力。风机并联在电阻单元D上, 从该回路上分压取电, 为所有电阻单元提供冷却气流。

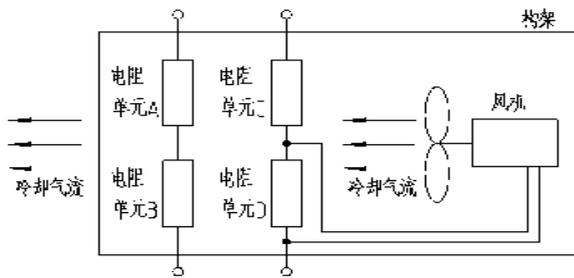


图1

## 2 可靠性建模

### 2.1 可靠性指标

FXN5C型货运机车制动电阻装置任务书中提出了可靠性的定量要求，规定产品平均故障间隔时间MTBF为14143h。

### 2.2 假设

一般情况下，外来因素如外接电路损坏、水淹或员工错误等，不列为故障。以下非责任故障不列为产品可靠性分析的考虑范围：

- (1) 超过寿命期的损耗件；
- (2) 连带故障，即由前级故障导致的故障；
- (3) 修复前相同故障的重复出现；
- (4) 碰撞、事故、故意破坏；
- (5) 操作或维修人员的疏忽或不遵守操作规程。

### 2.3 可靠性框图

结合图1，依次分析各组件可能会发生的造成制动电阻装置不能提供制动力的故障：

任一电阻单元故障，其所在回路不能为机车提供制动力，并可能造成制动力不平衡。为实现机车平稳、可靠地电阻制动，两个回路必须同时正常工作，任一单元故障，都会导致整个制动电阻装置故障。

制动电阻装置工作时，电阻带上产生的大量热，必须由冷却气流及时带走，否则电阻带会烧损。所以风机无法工作时，制动电阻装置无法工作。

构架为其他组件提供了安装空间和固定方式，为冷却气流提供了流道，所以当构架发生故障时，制动电阻装置也无法工作。

所以组成制动电阻装置的构架、四个电阻单元和风机这六个组件中任一组件发生故障，都会导致整个产品故障，所以其可靠性模型是串联模型，可靠性框图如图2所示。

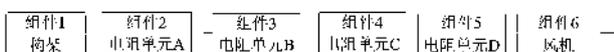


图2 制动电阻装置系统任务可靠性框图

## 3 可靠性分配

### 3.1 可靠性分配原则

可靠性分配是将产品可靠性的定量要求合理分配到组件、元器件上的分解过程<sup>[4]</sup>。可靠性分配是从上到下、从整体到局部的分解。在产品的设计阶段分配可靠性，可明确各组件的可靠性定量要求，使产品整体和组件的可靠性要求协调一致。

因为制动电阻装置可靠性数据掌握较少，所以在可靠性分配时选用评分分配法。评分分配法是通过有经验的设计人员、专家对影响产品可靠性的重要因素打分，综合计算评分值，获得各组件间的可靠性相对比值，根据相对比值给每个组件分配可靠性指标。

鉴于制动电阻装置的结构功能、运用环境、维修保障特点，参考以下评分因素和原则进行可靠性指标分配：

3.1.1 复杂度：根据组成组件的零部件数量以及它们组装的难易程度评定。最复杂的组件评10分，最简单的单元评1分。

3.1.2 技术成熟度：根据组成组件的技术成熟度评定。技术成熟度最低的评10分，最高的评1分。

3.1.3 重要度：根据组成组件的重要程度评定。重要程度最高的组件评1分，最低的评10分。

3.1.4 环境严酷度：根据组成组件所处的环境评定。组件工作过程中会经受恶劣且严酷的环境条件的组件评10分，环境条件好的评1分。

照此原则对FXN5C型货运机车制动电阻装置各组件的可靠性指标进行评分。设 $r_{ij}$ 为第 $i$ 个组件第 $j$ 个影响因素的评分值，则 $\omega_i = \prod_{j=1}^4 r_{ij}$ 为第 $i$ 个组件的评价分数。那么，第 $i$ 个组件的评价系数为 $C_i = \omega_i / \omega$

式中 $\omega = \sum_{i=1}^6 \omega_i$ 为制动电阻装置的总评分值。

根据可靠性理论，复杂系统的故障分布规律服从指数分布，制动电阻装置属于复杂系统，可认为服从指数分布。制动电阻装置的故障率设计指标为 $\lambda$ ，则分配给第 $i$ 个系统的故障率应为。

### 3.2 可靠性分配

在给制动电阻装置各组件分配可靠性时，首先对可靠性指标MTBF留出10%余量，即分配时MTBF取15557h，故障率 $\lambda$ 为 $64.3 \times 10^{-6}$ 。

由图2可知，制动电阻装置各组件间为串联关系，参照上述评分因素和原则，采用评分分配法对FXN5C型货运机车制动电阻装置故障率进行分配。

评分时，充分考虑各组件的特点，包括其安装位置、所处环境、实现功能、结构特性、工艺复杂度等。冷却气流先经过电阻单元C、D，温度升高后才流过电阻单元

A、B, 所以电阻单元A、B所处环境要比电阻单元C、D更严酷<sup>[5]</sup>。电阻单元D要并联风机, 比其余的电阻单元多一处接线点, 结构、工艺上较复杂, 技术成熟也略低。且电阻单元D要为风机供电, 也较其余电阻单元更重要。

各组件故障率分配结果见表1。

表1 FXN5C型货运机车制动电阻装置故障率分配结果

组件名称	复杂度 $\gamma_{i1}$	技术成熟度 $\gamma_{i2}$	重要度 $\gamma_{i3}$	环境严酷度 $\gamma_{i4}$	评分数 $\omega_i$	评价系数 $C_i$	故障率 $\lambda_i$ ( $10^{-6}/h$ )
构架	3	1	5	3	45	0.0412	2.7
电阻单元A	5	4.6	2	7	322	0.2951	19.0
电阻单元B	5	4.6	2	7	322	0.2951	19.0
电阻单元C	5	4.6	2	5	230	0.2108	13.6
电阻单元D	6	5.2	1	5	156	0.1430	9.2
风机	8	2	1	1	16	0.0147	0.9
总计	-	-	-	-	1091	1	64.3

从指标分配结果看, 重要度高的电阻单元D和风机分配了较低的故障率, 这些组件必须予以高度重视。构架组件应其较低的复杂度, 成熟的技术, 分配的故障率也较低。电阻单元C在复杂度、技术成熟度和重要度上与电阻单元A、B一样, 但其所处环境没有电阻单元A、B严酷, 所以也能实现较低的故障率。

#### 4 实际应用

依据上文对各组件提出的故障率指标, 在后续的设计中, 增加以下设计要求, 以满足故障率指标:

4.1 构架为冷却气流提供流道, 流道可影响电阻单元的温度均匀性, 影响电阻带烧损的可能性。所以设计时应加入流道改善设计, 合理调整内、外围流道的扩张比, 可改善电阻带的温度均匀性, 防止局部温度过高而烧损电阻带。

4.2 电阻带应选用均匀性、抗热变形好的材质, 严格要求原料的电阻参数, 避免电阻带因热变形导致的熔融烧损。

4.3 绝缘材料的绝缘功能失效也可能引起接地等故障, 导致电阻带烧损, 设计时应考虑材质性能, 如高温强度、绝缘性、耐腐蚀性等, 并须通过耐压测试。

4.4 风机的叶片和电机的故障会失去冷却气流, 导致电阻带烧损, 设计时应将风叶组件和直流电机设为关键件, 将关键特性传递给供应商。

4.5 产品使用中, 可靠度会逐渐下降, 故在预防性维修中采取一定的措施来避免, 如检查线路、瓷夹的绝缘性, 线夹的牢固性, 及时维护电机, 更换润滑脂、碳刷等。

#### 5 结论与建议

5.1 基于FXN5C型货运机车制动电阻装置的结构功能特征和维护特点, 以影响到机车正常运行的故障作为可靠性考核指标, 分析各组件间的逻辑功能关系, 建立可靠性模型。

5.2 应用评分分配法对FXN5C型货运机车制动电阻装置可靠性指标进行分配。鉴于制动电阻装置的结构功能、运用环境、维修保障特点, 以复杂度、技术成熟度、重要度和环境严酷度作为评分因素, 依据评分结果对制动电阻装置可靠性指标进行合理分配。

5.3 通过分配, 为各组件提出了可靠性指标, 在后续的设计、生产、运用和维护上, 要充分考虑到可靠性指标。

本文仅对FXN5C型货运机车制动电阻装置可靠性建模和指标分配方法做了初步研究, 尚有很多工作需要进一步完善。

#### 参考文献:

- [1] 梅兰风, 束昊昱, 宫文家, 等. FXN5C型交流传动货运内燃机车电传动系统设计[J]. 机车电传动, 2021, (11): 66-72.
- [2] В.Г.Кращенинников, 孙奏英(译). 电阻制动在内燃机车上的应用[J]. 国外铁道机车与动车, 1964, (09): 40-41.
- [3] 李巧良. 可靠性工程师手册[M]. 中国人民出版社. 2012.
- [4] GB/T 21562, 轨道交通可靠性、可用性、可维修性和安全性规范及示例[S].
- [5] 吴志东. 机车制动电阻装置散热设计探讨[J]. 机车电传动, 2021, (05): 75-76.