

# 基于可靠性及经济性的电客车维修策略分析

常少锋 侯向阳

西安市地下铁道有限责任公司运营分公司 陕西 西安 710061

**摘要:** 主要利用基于设备可靠性的方式对电客车架大修维修策略和质量管理策略进行研究分析,并试图建立各类部件的分析模型,为制定更加科学合理的维修方案提供工程技术手段。

**关键词:** 可靠性;威布尔分布;维保策略;成本管理

城市轨道交通已经逐渐成为大中型城市人口的主要出行方式,对车辆的运行舒适性和安全性也提出了更高要求,且由于轨道交通车辆存量增大,各地铁公司电客车架大修业务量大幅增加,集约高效、高质量的实施电客车架大修修程,对于各地铁公司高质量发展具有重要意义。

目前国内地铁公司开展的地铁车辆架大修主要依据《城市轨道交通设施设备运行维护管理办法》中“架修间隔不超过5年或80万车公里,大修间隔不超过10年或160万车公里”的维修限度开展修程。架大修维修项目上则未有具体要求,各个地铁公司实施的维修内容则各不相同,但是总体维修技术方案和标准一般都按照主机厂及系统供货商提供的维保手册中明确的维修策略实施,仅在部分项目上结合实际情况做小范围调整或优化。考虑到原始厂家的维保策略偏保守,导致部分部件更换时存在一定的寿命余量,增加了电客车全寿命周期内的维保成本。另一方面由于不同设备的故障特性曲线呈现不同的状态,无法准确掌握更换时设备所处的具体位置,实际按照节点更换是否有利于降低故障率也存在不确定性。

如何跳出既有的架大修技术决策模式,制定更加符合设备特性、更加经济的技术方案,并在经济成本和设备可靠性之间做好平衡,需要采用更加科学、合理、系统的技术决策手段。目前在设备维保方面普遍采用的基于可靠性的维修策略实际,现以西安地铁1号线双扇电控电动齿带传动内藏门为例,通过对设备性能状态及可靠性要求分析建立门驱机构的维修策略分析模型。

车门的电控电动装置采用微处理器控制的电机驱动装置,传动方式采用齿带传动,上部导向装置、驱动装置和锁闭装置集中为一个紧凑的功能单元。行程开关是通过开关的动作状态指示车门的运动轨迹,提供车门位置信息的开关元件,在日常运用中故障率较高。以下以该部件为例探讨设备可靠性分析及维护成本分析在车辆设备维保中的应用。

## 1 行程开关可靠性分析及预测

行程开关采用点动触点开关,主要故障表现为开关卡滞、裂纹等故障,在运营过程中直接造成影响为车门无法正常开闭或车门状态监测异常,对于运营服务质量有较大影响,对于行车安全有一定影响。开关卡滞故障多为偶发故障,诱发故障发生的内外部因素消失后故障现象消失,多半难以准确定位故障原因,在本次统计中均按照开关故障进行统计,另外本次研究只针对行程开关状态进行分析,由于安装操作等导致的故障不纳入本次数据统计<sup>[1]</sup>。

设备可靠性指设备在特定时间内正产运行的能力,其量化参数可靠度在统计上的定义为时刻t时正常工作设备N-n(t)占设备总数量N的比例,其数学表达式为:  $R(t) = \frac{N-n(t)}{N}$ 。对某地铁线路同一批次电客车新车前5年的行程开关可靠性进行统计,电客车22列,每列车行程开关144个,共计3168个。各年具体数据如下:

年度	第1年	第2年	第3年	第4年	第5年
故障件数	22	44	72	127	165
可靠度	0.993	0.986	0.977	0.960	0.948

经查阅相关资料,行程开关故障函数符合威布尔分布,在此我们采用两参数的威布尔分部函数进行分析F

$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$ ,其中 $\eta$ 为分布的尺度参数,表示设备的平均失效时间或寿命,尺度参数越大表示设备寿命时间越长,尺度参数越小表示设备寿命时间越短; $\beta$ 为形状参数,反映了威布尔分布的曲线斜率和分布的形状特征,决定了失效率随时间变化的趋势,当形状参数大于1时表示失效率逐渐增加,即初期故障率低,后期故障率高。当形状参数小于1时,表示失效率逐渐降低,即初期故障率高,后期故障率低<sup>[3]</sup>。

威布尔分布可靠度为 $R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$ ,对两边取对数 $\ln[-\ln R(t)] = \beta(\ln t - \ln \eta)$ ,采用作图法,可近似求解得到形状参数 $\beta = 1.2$ 、分布参数 $\eta = 61$ 。根据参数计算

结果,  $\beta > 1$ , 故障率呈现为上升趋势。按照上述分析结论, 预测行程开关第5至10年可靠性如下:

年度	第6年	第7年	第8年	第9年	第10年
可靠度	0.940	0.928	0.916	0.904	0.892

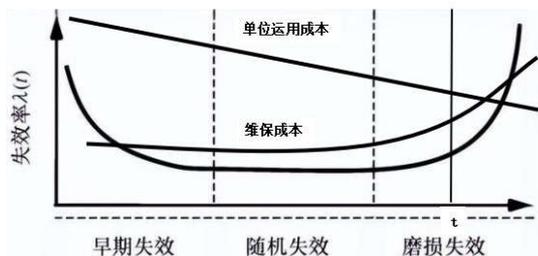
## 2 基于行程开关故障影响的分析

序号	故障现象	故障影响	发现时机	数量
1	开关壳体裂纹	开关性能下降, 不影响开关门功能	修程发现	210
2	开关卡滞、摆臂变形	正线车门开关门功能失效, 影响运营服务质量	正线故障	12
		开关性能下降或功能失效	修程发现	47
3	偶发故障	正线车门开关门功能失效, 影响运营服务质量	正线故障	6

由统计数据可以看出, 行程开关故障中壳体裂纹、开关卡滞、摆臂变形的故障占故障总数的97.8%, 此类故障均可在各类车门修程中由检修人员直接检出, 其检出率直接由修程设置和人员技能决定。如修程设置合理、人员技能及责任心较强, 则此类故障理论上均可在修程中检出并处理, 不会对正线运营造成影响, 从本次数据统计中可以看出该线路此类故障的检出率达到95.5%。已发生故障中有2.18%的偶发故障是在修程中难以控制, 并对正线运营造成一定服务质量下降的影响, 未影响到运营安全<sup>[2]</sup>。

### 3 综合的维修策略分析

电客车设备的维保策略、维保成本和设备可靠度三方面是紧密相关的, 行程开关的单位(里程)设备运用成本随运营里程的增加逐渐降低, 设备的失效率一般符合浴盆曲线, 在超过随机失效率后进入磨损失效区, 失效率呈加快上升趋势。在磨损失效区内由于故障高发, 故障处理及修程调整应对导致的维保及管理成本也会逐渐增加, 同时车辆运营的风险也在增加。



理论上设备维保策略的制定应考虑成本和可靠性综合决策, 确定整车及子部件的维保周期及方式。具体实施方式上应该分析准备以下材料:

#### 1、基于运营数据、设备特性及相关理论研究建立设

上述基于行程开关故障预测分析的总体样本较小, 为了进一步结合开关故障制定合理有效的维修策略, 有必要对具体故障现象、影响后果及应对措施进一步分析, 分类统计如下:

备可靠性模型, 对其可靠性进行预测分析, 从统计概率上较为精准的量化可靠性发展趋势。

2、基于运营故障发生情况及设备功能, 对设备故障发生模式、影响后果、事先预防手段、故障后的应对措施进行分析, 建立清单。

3、依据设备采购费用测算设备的年限或里程运用成本。

最后在决策中综合考虑设备故障分析结果和运用成本确定一个可容忍的设备失效率, 该失效率应该位于设备浴盆曲线的磨损失效区, 再加入管理成本的修正后确定最终的维保周期, 例如上图中的t时刻, 达到成本、设备可靠性的平衡。

#### 结束语

在地铁车辆设备大量进入深度维修的背景下, 工程技术人员应该积极运用设备可靠性分析、成本分析等系统手段进行设备维修策略分析, 分部件、分类别掌握设备运用动态, 并在设备运用中不断修正调整。如车辆上的电子原器件寿命一般符合指数分布、机械部件寿命一般符合威布尔分布, 再结合车辆运用数据, 可以有效的优化车辆修程、降低维保成本、提升设备可靠性, 具有较大的工程指导和实践价值。

#### 参考文献

- [1] 杨广斌. 产品生命周期可靠性工程. 机械工业出版社, 2021.
- [2] 任成伟. 试论地铁车辆关键系统可靠性分析及应用[J]. 山东工业技术, 2018第002期
- [3] 李浩宇. 关于地铁车辆可靠性评估与维修决策技术研究[M]. 中国设备工程, 2023.08