

运用检修

列控车载设备维修分析过程概述

许 丽，李 强

(湖南铁路科技职业技术学院，湖南 株洲 412006)

摘 要：为达到以最少的资源消耗来保持和恢复铁路列控车载设备的固有技术水平，对列控车载设备维修进行深入分析，提出对列控车载设备中不同任务性质的模块采用不同的维修方案或直接报废，以实现减少维护费用的目的。

关键词：车载设备；MTBF；维修规程；维修级别；维修方案

中图分类号：U260.4⁺2；U269.6 文献标识码：B
文章编号：1000-128X(2015)06-0108-03
doi：10.13890/j.issn.1000-128x.2015.06.029

0 引言

铁路列控车载设备是保障列车行车安全的重要设备，应用管理部门针对每种列控车载设备都制定了详尽的维修规程。规程中所规定的维修级别及维修范围，为列控车载设备在生命周期内保持其固有可靠性、稳定性、安全性提供保障，同时也关系到维修工作量及资源的消耗，包括经济资源和人力资源消耗。

维修规程所规定的往往是一种预防性维修方案，而需进行的预防性维修工作的类型和间隔周期又取决于设备的初始设计。因此在设备的论证、研制与改进时，要通过分析来确定减少和便于预防性维修的设计重点，应消除或尽量减少有严重影响的隐蔽功能故障。一旦设备定型，从理论上来说其维修级别和维修范围已经基本确定。列控车载设备的维修级别分析，首先必须是建立在以可靠性计算数据和类似设备的维修经验基础之上的分析；其次是指通过非经济性和经济性分析确定可行的修理或报废的维修级别分析过程，其目的是为设备的修理确定可行的、费用效能最佳的维修级别或做出报废的决策，这种决策会影响设备的寿命周期费用和功能的完整性。

本文着重介绍列控车载设备的维修级别分析的过程，希望在制定维修规程时，不仅从安全性、可靠性角度考虑，而且从经济性角度给出一种方法。

1 维修规程的有效性准则

维修规程的有效性准则，是根据设备的功能、性能、用途等综合条件考虑，在制定维修规程时应该考

虑的基本准则。铁路列控车载设备是确保列车安全运行的重要设备，直接涉及安全，也影响生产的效率。根据《铁路技术管理规程》，铁路列控车载设备的维护工作应贯彻按期大修、强化中修、确保维修的指导思想，坚持以安全和质量为主的原则，依据设备的技术状态、变化规律和磨损程度做好大修、中修和维修工作，保证设备符合技术标准，能在规定的寿命周期内性能良好、质量稳定、安全可靠地运用。这里的大修、中修和维修基本规定了维修级别，但是怎么修、修什么需要根据每种列控车载设备的实际情况进行分析研究，制定具体的维修级别，那么分析的过程就非常重要。

1.1 安全性影响类产品预防性维修工作的有效性
列控车载设备属于安全影响类产品，预防性维修工作的目的在于避免有安全类影响的故障的发生。将故障发生的危险降低到可接受的水平，即规定可接受概率。若通过预防性维修工作，可将故障概率降低到可接受水平，则认为该类预防性维修工作有效，否则认为无效。

1.2 任务性影响类产品预防性维修工作的有效性
列控车载设备也属于任务影响类产品，在某些情况下其任务性要求与安全要求几乎同等重要，所以拟定的预防性维修工作是否有效，取决于能否将故障概率降低到规定的可接受的水平，若拟定的预防性维修工作可将故障概率降低到可接受水平，则认为该类预防性维修工作有效，否则认为无效。

1.3 经济性影响类产品预防性维修工作的有效性
列控车载设备的预防性维修需要一定的经济费用，其预防性维修是否有效取决于其经济效果，可用效益比 K_{CA} 来衡量，如果 $K_{CA} \leq 1$ ，则认为有效，若 $K_{CA} \geq 1$ ，则认为无效。 K_{CA} 的计算公式如式（1）：

$$K_{CA} = \frac{C_{PM} + C_{SPM}}{C_{NPM} + C_{SNP}}$$

(1)

式中： C_{PM} —预防性维修工作的费用； C_{SPM} —预防性维修工作的保障费用； C_{NPM} —不做预防性维修工作的损失费用（故障的代价）； C_{SNP} —不做预防性维修工作的保障费用（故障的代价）。

2 修理级别的分析过程

在对某一列控车载设备进行维修级别分析时，应在寿命周期内反复进行，通过系统的评估过程来实施，并影响设计和维修规划，以得到有效和经济的维修方案。维修级别分析应与设备所处的寿命周期阶段相一致，分析工作也应包括有关管理与技术资源等方面的内容，并应确定与其他有关分析和设计工作之间的接口关系。这个过程应根据设计、研制、生产、使用、性能和保障等方面的特性，确定细化该设备的维修与保障方案。修理级别分析过程如图 1 所示。

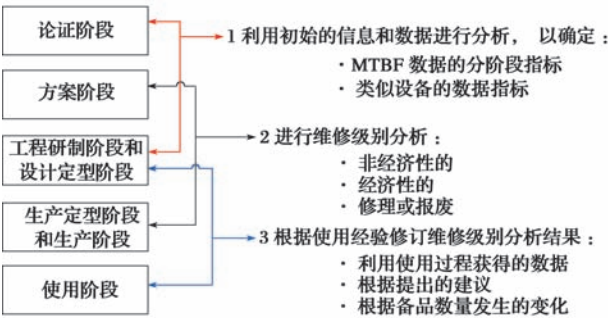


图 1 维修级别分析过程

2.1 初始分析阶段

维修级别初始分析应包含论证阶段和工程研制阶段及设备定型阶段。按照目前的设计理念，列控车载设备在设计阶段就已经提出了 MTBF 数据，并且在生产定型阶段完全按设计进行选型生产，那么 MTBF 分配的可靠性数据，是进行维修级别分析论证阶段的主要数据，结合设备在实际运行环境的相关因素，考虑类似设备的维修数据，首先可对设备进行一个初步的维修级别判定，然后再进行下一步分析。

假设某一列控车载设备由 A~G 模块构成，根据经验数据 MTBF 分配如表 1，可以将 MTBF 分配值等效地看做维修级别的年效基数。如果按照规定的修程，将小修（Ⅰ）规定为对设备进行检查维护，并利用测试、试验等手段实现预防修；将中修（Ⅱ）规定为整修、补强、恢复、完善，设备必须下车进行全面的整修；将大修（Ⅲ）规定为全面检修，恢复设备的基础质量，那么根据各模块的 MTBF 数据，可以初步规定各模块的维修级别如表 1。

表 1 设备组成及 MTBF 分配

单元名称	MTBF/h	年效基数	小修（Ⅰ） 周期	中修（Ⅱ） 周期	大修（Ⅲ） 周期	报废 周期
A 模块	6.0×10^4	约 6 年	每年	2 年	4 年	6 年
B 模块	4.0×10^4	约 4 年	每年	2 年		4 年
C 模块	1.2×10^5	约 13 年	每年	2 年	8 年	13 年
D 模块	9.0×10^4	约 10 年	每年	2 年	8 年	10 年
E 模块	1.4×10^5	约 16 年	每年	2 年	14 年	16 年
F 模块	2.5×10^5	约 28 年	每年	2 年	28 年	28 年
G 模块	2.3×10^3	约 2 年	每年			2 年

对表 1 中 MTBF 分配值分析发现，有些模块并不一定经过大修（Ⅲ），大修也不见得可以恢复设备的初始质量，应该直接报废，比如 B、G 模块；而有些模块在基础设计时完全考虑了各种应力，进行了充分的冗余设计，而且目前的技术水平完全满足寿命周期需要，在设备的整个生命周期内不要进行大修（Ⅲ），比如 F 模块。

2.2 深入分析阶段

维修级别深入分析应包含方案阶段和生产定型阶段及生产阶段。主要是通过一些经济性指标分析维修级别的过程。

2.2.1 非经济性分析

非经济性修理级别分析从超过费用影响方面的限

制和参照现有类似设备的修理级别分析决策出发，确定修理的维修级别或确定报废。实施该分析虽然不注重费用因素，但是可以根据非经济性评估结果提出的建议给出经济性评估。限制因素一般是指将修理或报废的决策限制在特定的维修级别的因素或限制了可用的备选方案的因素。

非经济性修理级别分析是一个通过考虑影响修理或报废决策的限制因素来进行问答的逻辑过程，限制因素应尽可能考虑全面。

2.2.2 经济性分析

经济性分析的目的在于定量计算所有修理方案对应的修理费用，然后对这些费用进行比较，以选择费用最低的修理方案。

2.2.3 费用分析

根据列控车载设备的使用特点，对其设备进行维修时的费用分类大概包括表 2 所列的几个方面。

表 1 费用组成

费用名称	费用解释	费用代号
备件费用	所需备件的总费用，它由购置费用、库存费用及运输与包装费用构成	C_{SP}
设施费用	使用场所相关设施的费用（含水、电、气等费用）	C_F
人员费用	所需人员的全部费用（含培训、劳务及工作空间使用费用）	C_P
资料费用	所需文件资料的费用	C_I
材料费用	消耗的材料费用（各种元器件）	C_M
保障费用	所需全部保障设备的费用（工具、维修台、专用测试设备等）	C_{SE}
运输与包装费用		$C_{P\&T}$
总费用	以上费用的总和	C_t

2.2.4 费用计算

维修方案的总费用应该是各级维修费用的总和，假设设备分 N 个部分，则

$$C_t = \sum_{i=1}^N C_i \tag{2}$$

式中： C_i 为设备或子部件在某一维修级别的费用，即 C_i 的取值只能为 C_I 、 C_{II} 、 C_{III} （ C_I 、 C_{II} 、 C_{III} 分别为某部件Ⅰ级修、Ⅱ级修、Ⅲ级修的维修费用）。对于某一具体设备或子部件在某一维修级别的维修费用为：

$$C_i = C_{SP} + C_F + C_P + C_I + C_M + C_{SE} + C_{P\&T} \tag{3}$$

2.2.5 模块分类

根据维修规程的有效性准则，对设备模块进行分类，并对每个模块在各个阶段维修总费用进行计算。

表 3 中的任务影响类部件比如 A 模块，即使在列车运行途中发生了故障，也只会影响任务的正常完成，不会对安全性有任何影响。如果Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ各级别的维修都执行，在整个生命周期内， C_i 计算如式（4）：

$$C_i = \sum_{i=1}^{\text{III}} C_i \tag{4}$$

式中： C_i 计算见式（3）。

表 3 设备模块分类及维修相关费用

单元名称	影响分类	维修总费用	新品费用
A 模块	任务影响类	C_{At}	C_A
B 模块	安全影响类	C_{Bt}	C_B
C 模块	安全影响类	C_{Ct}	C_C
D 模块	安全影响类	C_{Dt}	C_D
E 模块	安全影响类	C_{Et}	C_E
F 模块	任务影响类	C_{Ft}	C_F
G 模块	任务影响类	C_{Gt}	C_G

如果 A 模块的修理成本 C_t 大于购置成本 C_A ，则购置一定备品，在故障时仅对其进行更换所花费的费用较少，就可采取此类直接更换的方案。根据目前以及以后人力资源成本走势，人力资源成本费用将会越来越高，此类任务影响类产品如果在每个维修级别都进行维修，势必会造成 C_t 指数的上升，因此，制定合理的维修级别是减少维护费用的有效方法。

2.3 结论阶段

经过以上初步分析阶段和深入分析阶段，基本得

表 4 列控车载设备不同模块的维修周期

单元名称	影响分类	小修（Ⅰ） 周期	中修（Ⅱ） 周期	大修（Ⅲ） 周期	报废 周期
A 模块	任务影响类	每年			故障更换
B 模块	安全影响类	每年	2 年		4 年
C 模块	安全影响类	每年	2 年	8 年	13 年
D 模块	安全影响类	每年	2 年	8 年	10 年
E 模块	安全影响类	每年	2 年	14 年	16 年
F 模块	任务影响类	每年			28 年
G 模块	任务影响类	每年			故障更换

到设备在生命周期内的维修级别和维修的费用，以及设备各模块的影响分类。综合各个阶段，可以制定设备的维修级别，再根据日常的维护经验进行细微调整，就可以得出该列控车载设备在生命周期内的最佳维修方案，制定详细的维修规程，如表 4。

3 结论

列控车载设备既涉及安全性，又涉及任务性，制定维修规程时，在充分保证安全可靠的前提下，通过一定的经济性分析，可以确定一种可行的、费用效能最佳的维修级别或做出报废的决策，以减少设备的过剩维修和二次处理造成的环境污染。随着自动化程度的提高，电子设备大量存在于轨道交通机车车辆中，因为其受运行环境和运行任务影响，只有通过制定合理的维修规程，才能既安全可靠，又节约费用，从而达到最佳的效果。

参考文献：

[1] 杨志刚. LKJ2000 型列车运行监控记录装置 [M]. 北京：中国铁道出版社，2003.
[2] 铁道部运输局. 列车运行监控记录装置（LKJ）检修规程 [M]. 北京：中国铁道出版社，2008.
[3] 王奇. 轨道交通安全相关系统安全完整性的探讨 [J]. 机车电传动，2015(2)：1-3.

广告索引

深圳市宝创科技有限公司（封 2）
史陶比尔（杭州）精密机械电子有限公司（前插 1）
广州金升阳科技有限公司（前插 2、3）
株洲南车时代电气股份有限公司（前插 4）
湖南南车时代电动汽车股份有限公司（前插 5、6）
三菱电机机电（上海）有限公司（前插 7）
北京石竹科技股份有限公司（前插 8）
上海王丰复合材料有限公司（前插 9）
思库机电工程技术（上海）有限公司（前插 10）
汕头华兴冶金设备股份有限公司（前插 11）
宁夏银利电气股份有限公司（前插 12）
珠海金电电源工业有限公司（内页首页）
滨特尔电子电气设备（上海）有限公司（中插 1）
株洲南车时代电气股份有限公司半导体事业部（中插 2）
株洲南车时代电气股份有限公司通信信号事业部（中插 3）
铁道部产品质量监督检验中心牵引电气设备检验站（中插 4、5）
株洲时代装备技术有限责任公司（中插 6、7）
株洲南车时代电气股份有限公司印制电路事业部（中插 8）

宁波南车时代传感技术有限公司（中插 9）
襄阳南车电机技术有限公司（中插 10、11）
宝鸡南车时代工程机械有限公司（中插 12）
浙江永贵电器股份有限公司（后插 1）
株洲变流技术国家工程研究中心有限公司（后插 2）
深圳市通业科技发展有限公司（后插 3）
株洲时代新材料科技股份有限公司（后插 4）
株洲时代电气绝缘有限责任公司（后插 5）
四川永星电子有限公司（后插 6）
安富利物流（深圳）有限公司（后插 7）
温州市龙电绝缘材料有限公司（后插 8）
咸阳亚华电子电器有限公司（后插 9）
深圳意杰（EBG）电子有限公司（后插 10）
上海鹰峰电子科技有限公司（后插 11）
南车株洲电机有限公司（后插 12）
国际铁路轨道交通展（上海）（后插 13）
株洲庆云电力机车配件工厂有限公司（后插 14）
南车株洲电力机车研究所有限公司风电事业部（后插 15）
安徽省康利亚实业有限公司（后插 16）
SynQor Hongkong Limited 深圳代表处（封 3）
深圳市中电华星电子技术有限公司（封 4）