

文章编号: 1000-128X(2017)01-0017-05

动车组维修体制现状分析及展望

周斌¹, 谢名源¹, 吴克明²

(1. 上海铁路局 高铁运维技术中心, 上海 201812;

2. 上海铁路局 上海动车段, 上海 201812)

摘要: 回顾了现代轨道装备维修体制的发展历程, 对动车组维修体制的现状及存在的不足进行了阐述, 指出计划预防修存在维修不足、过度维修、次生灾害风险高、维修成本高的弊端, 分析了我国动车组开展视情维修的可行性并对此进行了论证, 绘制了动车组维修逻辑决断流程图, 提出了动车组修程修制的优化建议。

关键词: 动车组; 修程修制; 视情维修; 计划预防修

中图分类号: U266.2; U269.6

文献标识码: A

doi: 10.13890/j.issn.1000-128x.2017.01.100

Analysis and Prediction on the Current Situation of the Repair Class and Repair System of Electric Multiple Units (EMU)

ZHOU Bin¹, XIE Minyuan¹, WU Keming²

(1. Operation and Maintenance of High-speed Railway Technical Center, Shanghai Railway Bureau, Shanghai 201812, China;

2. Shanghai EMU Depot, Shanghai Railway Bureau, Shanghai 201812, China)

Abstract: The development of modern railway equipment maintenance system was reviewed, detailed in the current condition and defects of EMU maintenance system, and the disadvantages of periodic maintenance such as insufficient repair, excessive repair, high risk of secondary disasters, and high cost of maintenance were pointed out. Then, the application of condition based maintenance (CBM) in EMU was analyzed and demonstrated. Lastly, the logic decision flow chart of EMU maintenance was proposed and the development trends of EMU maintenance system in the future were prospected.

Keywords: EMU; repair class and repair system; condition based maintenance (CBM); periodic maintenance

0 引言

随着科技水平的进步和维理论的发展, 轨道交通装备的维修体制也在不断变革, 从早期的事后维修体制到计划预防修体制, 再到正逐步推进的视情维修体制, 现代轨道交通装备运维管理水平正不断提高。

国内外很多学者对高速列车的修程修制做了大量研究^[1-8], 例如依据多年运维经验对 CRH2 型动车组修程修制的特点和优化方法的论证和研究^[1-4], 还有基于各类数学方法和模型对现有修程修制进行综合评价^[5], 也有学者从设计研究角度对动车组的修程修制的规划和合理性进行分析研究^[8]。基于此, 本文对动车组维修体制现状进行了分析, 并以具体维修项目为例, 运用视情维

修的相关思想论证了其可行性和必要性。

1 现代轨道交通装备维修体制的发展

现代轨道交通装备维修早期采用事后维修体制, 现已发展到计划预防修与视情维修相结合的预防性维修体制。

1.1 事后维修体制 (Breakdown Maintenance)

事后维修也叫故障修, 即在设备发生功能故障后再进行修理。这种维修方式适合结构简单、故障后果不严重的装备, 如生活中对自行车的维修、早期蒸汽机车的维修通常采用这种维修方式。

1.2 预防性维修体制 (Preventive Maintenance)

随着装备结构日趋复杂, 事后维修逐渐不能满足需求, 出现了预防性维修体制, 即通过对装备进行系统性检查、设备测试和更换等以防止功能故障发生。“以可靠性为中心的维修” (RCM) 是推动预防性维修理论发

收稿日期: 2016-07-25; 修回日期: 2016-10-28

基金项目: 中国铁路总公司科技研究开发计划课题 (2016J007-B)

展的最重要的思想, 根据对装备不同零部件的不同故障模式和故障影响进行分析, 采取相应的维修方式。预防性维修的发展经历了计划预防修和视情维修 2 个阶段:

①计划预防修 (Periodic Maintenance)。计划预防修也叫定期维修, 是指依据相对固定的周期 (时间或使用寿命) 进行的预防性维修。计划预防修构成因素主要包括维修周期、维修项点、维修质量标准, 其中最重要的因素是维修周期。维修周期主要依据浴盆曲线理论, 每个装备因个体差异有不同的状态退化曲线, 通过这些退化曲线可以计算出装备的寿命分布情况, 当给定失效风险概率后, 就可以从理论上得到定期维修间隔。

②视情维修 (Condition Based Maintenance)。视情维修也叫基于状态的维修, 是指无固定维修周期的、根据部件运行状态演变趋势而决定是否进行维修的预见性维修。随着轨道交通装备结构的日趋复杂, 部分部件的性能退化趋势不符合浴盆曲线理论, 按照固定的维修间隔实施预防性维修并不能防止故障的发生。随着信息技术手段不断发展和现代维修理论的不断演化, 出现了视情维修体制, 它是运用数据分析与维修决策方法对装备状态进行实时评价, 在有维修需求时才进行的预见性维修。

2 动车组维修体制现状

我国动车组目前实行的是“计划预防修为主、事后维修补充”的维修体制, 维修周期采用以走行公里周期为主、时间周期为辅的模式。

2.1 国内动车组维修体制现状

我国动车组维修修程共分为 5 级, 其中一、二级检修为运用检修, 三、四、五级检修为高级检修, 如表 1 所示。

表 1 动车组计划预防修周期表

车型	一级检修	二级检修	三级检修	四级检修	五级检修
CRH1	(4000±400)km 或运用 48 h	(3.3万~40万)km 或 6~540 d	(120万±10万) km 或 3 a	(240万±10万) km 或 6 a	(480万±10万) km 或 12 a
CRH2	(4000±400)km 或运用 48 h	(3万~60万)km 或 30~360 d	60 ^{±5} 万 km 或 1.5 a	120 ^{±5} 万 km 或 3 a	(240万±10万) km 或 6 a
CRH3	(4000±400)km 或运用 48 h	(2万~80万)km 或 20~720 d	(120万±12万) km 或 3 a	(240万±12万) km 或 6 a	(480万±12万) km 或 12 a
CRH5	(5000±500)km 或运用 48 h	(6万~60万)km 或 60~720 d	(120万±12万) km 或 3 a	(240万±12万) km 或 6 a	(480万±12万) km 或 12 a

一级检修以目视检查和功能测试为主。二级检修在目视检查和功能测试的基础上, 增加了性能检测和维护保养等内容。三级检修主要对转向架进行分解检修, 对制动、牵引、空调等系统进行性能测试和维护保养。四级检修主要对动车组各系统进行分解检修。五级检修是对全车进行分解检修, 较大范围地更新零部件^[1]。

2.2 国外动车组维修体制现状

日本高速列车主要采用以可靠性为中心的预防修制度, 注重对设备性能和可靠性周期的优化, 并合理优化其维修策略和周期, 主要分为 4 个等级的修程:

日常检查(日检)、周期检查(月检)、转向架检查(年检)、全面检查(大修), 此外还有临时检查和运行检查组成的 2 类临时性检查^[7]。德国 ICE 高速列车维修体系以计划预防修为总体框架, 采用定期检测、保养与状态修相结合, 部件互换修和主要部件集中修相结合的方法, 按照走行公里和运行时间计划实施各级检修, 主要有 L 级检查、N 级检查、IS510 级检查、IS520 级检查、IS530 级检查、IS540 级检查以及大修 (Rev) 等修程^[5]。法国高速列车 TGV 的维修体制也大致类似, 以计划预防修为主体, 分为运营检查、定期检查、定期部件更换等几级修程^[6]。

欧洲以德国为代表的高速列车检修采用了先进的车载故障监测诊断系统、丰富的信息感知网络、多种地面智能检测诊断设备、车地实时通信、车辆综合检修信息系统等技术手段, 因此各级修程规定的内容都以例行检查为主, 对转向架、高压牵引、制动等关键系统和部件可基本实现视情维修。这些措施的实施, 使得这些高速列车运维经验丰富成熟的国家可以实现最大限度地减少人力, 提高车辆检修效率和精度。

2.3 我国动车组维修体制分析

我国动车组目前采用的维修体制基本满足了动车组运行安全的需求, 但随着对全寿命周期内动车组服役性能退化规律研究的深入, 发现计划预防修体制在实际应用过程中也存在不少的弊端和不足。

①维修不足。一方面, 由于动车组高度的集成化、复杂化、一体化, 故障规律不再简单地遵循机械磨损理论, 简单地按照固定周期进行维修已无法防止功能故障的发生; 另一方面, 由于设备的个体性差异实际存在, 而制定维修周期间隔时考虑的风险失效概率不可能覆盖所有个体, 所以计划预防修体制必然存在维修不足的问题。对于关键部件来说, 维修不足问题带来的后果是严重的, 将直接危害动车组的运行安全。

②过度维修。鉴于动车组运行工况的差异、部件个体性能的差异、部件制造工艺的差异等因素, 在确定动车组设备维修周期时往往过于保守, 以保证足够低的风险失效概率。所以, 对于大部分的动车组部件来说, 存在过度维修问题。

③次生灾害风险高。一方面, 由于频繁地定期维修, 人为地破坏了设备原有的良好配合, 降低了设备可靠性, 导致了故障率升高; 另一方面, 由于维修作业避免不了人力的不可靠性, 不必要的过度维修实际增加了作业类问题的发生, 在这些年的动车组运维过程中作业类故障或事故并不鲜见。

④运用效率低。无论是因为“过度维修”占用的维修修时, 还是因为“维修不足”导致的故障维修修时, 或者是诊断监测装置设备的不足, 都势必影响动车组的运用效率。根据统计, 2015 年全路动车组平均检修率

达 14.22%, 这意味着目前全路每天有大量动车组处于检修状态而无法上线运营, 75% 左右的平均上线率和德国等国家 90% 左右的上线率相比, 仍有较大差距。

⑤维修成本浪费。“过度维修”带来的最大影响就是不必要的维修产生的成本浪费, 同时导致人力成本的居高不下。根据美国国家统计局过去的研究资料, 计划预防修体制下装备维修费用中有近 1/3 是由于“过度维修”造成的浪费。

3 动车组视情维修的可行性分析

我国动车组维修体制的发展趋势如图 1 所示。当前动车组维修体制仍以计划预防修和事后维修相结合为主, 随着动车组车载信息感知网络、车地通信技术以及先进的诊断与预测等技术手段的运用, 我国已经具备对动车组部分部件开展视情维修的能力, 动车组维修体制也已经具备向“计划预防修为主、视情维修辅助、事后维修补充”发展的条件, 以下对已经具备的条件进行分析。

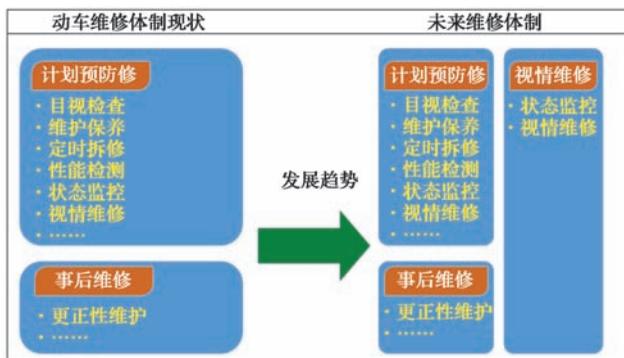


图 1 动车组维修体制发展趋势

①列车状态信息感知网络的完善。随着动车组数字化、智能化、集成化及列车控制网络的发展, 动车组关键部件状态监控、车载自诊断功能和远程数据传输功能的不断完善, 为动车组状态预防修的实施提供了可靠的数据基础。以 CRH380B(L) 型动车组为例, 列车控制与管理系统 (TCMS) 对动车组的运行速度、环境温度、GPS 坐标、网压、轴温、电流、电压等超过 110 类数据进行实时采集、监控、诊断, 构成了动车组系统及部件的状态感知网络。当前已装备了走行部轴承温度报警、转向架故障诊断监控、受电弓系统实时监测等装置, 今后还将从设计研发角度进一步拓展, 提高关键设备和部件的状态监测能力。

②高速车地通信技术的发展。随着车地通信技术的发展, 动车组实时采集的各类数据可以通过车载信息无线传输系统 (WTDS) 实时发送至地面服务器, 1 列 8 编组的动车组每天发送回来的各类数据超过 170 万条。依托地面服务器的计算处理, 可对车载数据进行深度挖掘和分析, 及时掌握系统部件的工作性能与状态。

③诊断和预测技术的发展。随着对动车组服役性能的跟踪、对动车组典型故障机理研究以及台架试验、

仿真分析的深入, 可以建立能够评估动车组系统及部件当前状态甚至预测未来状态的数学模型或物理模型, 揭示动车组关键部件的性能退化规律和全寿命周期健康演变趋势。

④设计研发阶段的修程修制规划。在动车组设计研发阶段已充分开展修程修制规划研究, 充分考虑不同系统和部件的维修需求, 合理规划其维修范围、维修方式和策略、维修级别和周期。对牵引变流、转向架、辅助电气等关键系统, 继续完善车载感知网络的诊断监测功能, 丰富并优化传感器输出参数, 实现系统部件的视情状态修^[8]。

4 动车组视情维修的典型应用

以 CRH380B 型动车组牵引变压器散热装置清洁作业为例, 中国铁路总公司维修标准如表 2 所示。该标准在执行过程中暴露出了“维修不足”的问题, 在早期执行过程中多次发生因变压器油温过高导致动车组减载、限速的问题。为此, 铁路局在执行过程中采取了加装滤棉和缩短清洁周期的强化措施, 如表 3 所示, 但维修周期过于保守, 存在“过度维修”、“成本浪费”、“次生灾害”等问题或隐患。

表 2 中国铁路总公司针对牵引变压器的维修标准

修程	周期间隔	维修措施	备注
I2	2 万 km 或 20 d	大功率吸尘器吸尘	柳絮季节可根据实际情况调整
M1	10 万 km 或 90 d	高压水冲洗	每年柳絮季节前 1 周和柳絮季节后各清洗 1 次

表 3 铁路局针对牵引变压器运维强化措施

周期间隔	不同季节的维修措施		
	柳絮季节加装滤棉 (4 月 15 日~6 月 15 日)	夏季 (6 月 15 日~10 月 31 日)	其他季节
4 d	更换滤棉	清洁	无
2 个 I2 修	更换滤棉, 高压水冲洗	高压水冲洗	无
M1 修	更换滤棉, 高压水冲洗	高压水冲洗	高压水冲洗

按照视情维修的基本思想, 通过对牵引变压器散热装置性能恶化时的故障机理进行分析, 建立根据牵引变压器散热装置的热平衡油温动态判断维修时机的策略, 即当牵引变压器散热装置热平衡温度达到或超过 70℃ 时, 安排更换滤棉, 当滤棉更换时间间隔已短于或等于 4 天时, 组织冲洗。

选取 1 列 CRH380B 型动车组进行试验对比验证, 如图 2、图 3 所示, 2016 年 4 月 19 日至 2016 年 5 月 4 日期间按照 4 天的固定周期进行换棉作业, 5 月 5 日至 6 月 5 日期间根据牵引变压器油温的变化趋势判断换棉作业时机, 平均换棉周期达到 10 天, 维修工作量减少了约 60%。且由于维修的针对性强, 试验验证期间未再发生牵引变压器散热装置的相关故障, 表现出维修安全性、预见性、针对性和经济性等优势。

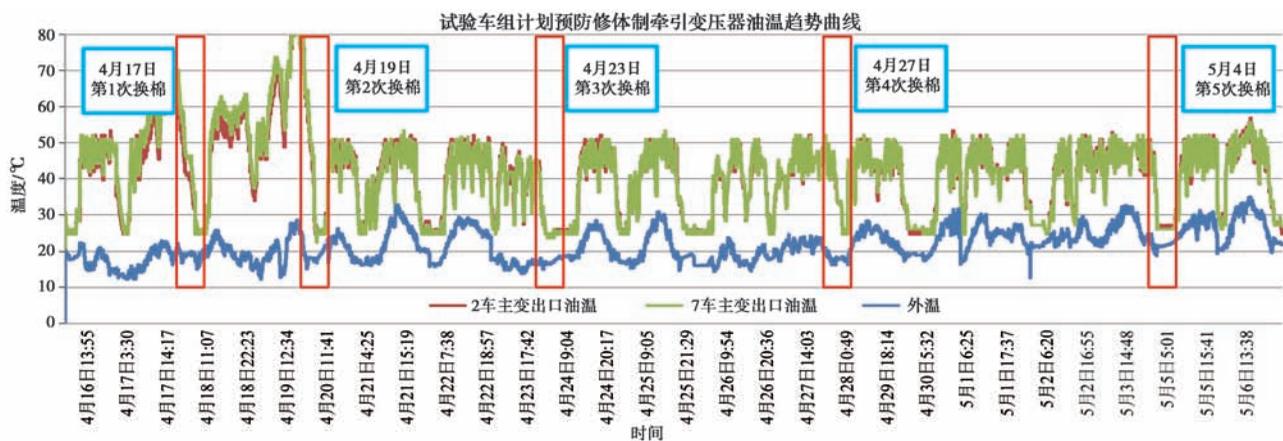


图2 试验动车组计划预防修换棉情况

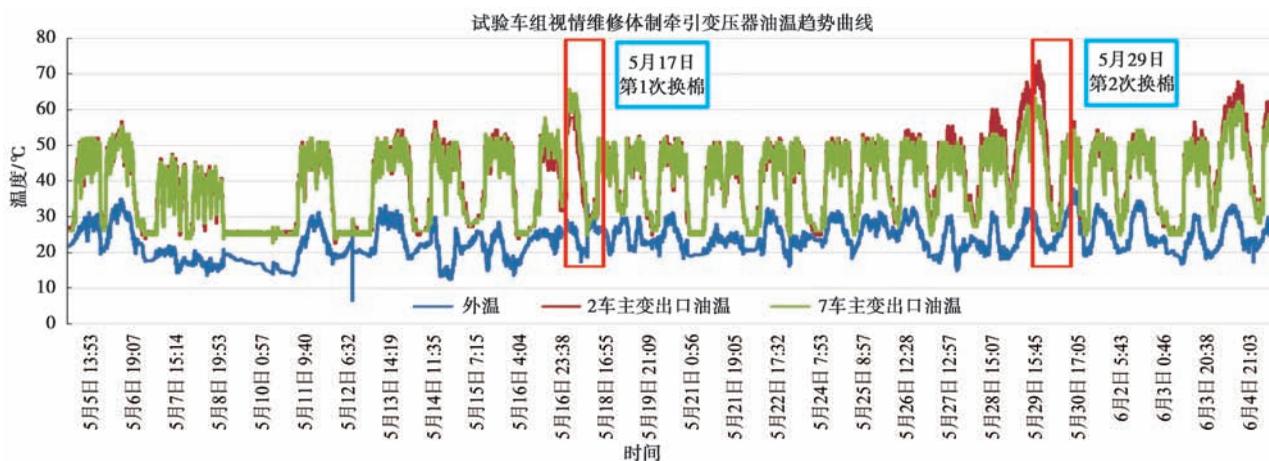


图3 试验动车组视情维修换棉情况

除牵引变压器散热装置外,在现有数据的基础上,同时在二级修范围内对牵引电机、蓄电池、空调装置、轴箱轴承等多个部件开展视情维修的研究,以充分发挥视情维修体制的优势。

5 动车组修程修制优化的建议

通过对动车组维修体制的现状及发展趋势的分析可知,我国动车组维修体制已经具备向“计划预防修为主、视情维修辅助、事后维修补充”发展的条件,参考美国航空运输协会(ATA)发布的《运营人/制造厂预定维修大纲制订文件—MSG-3》的理念^[9-10],并结合我国动车组维修特点制定动车组维修策略逻辑决断流程图(见图4),建议未来在编制新型动车组维修大纲或对既有动车组检修规程进行修订时,参照该逻辑决断流程进行判断和评估。逻辑决断流程的优点主要体现在4个方面。

①逻辑决断方法的使用。通过逻辑分析决断的方法,可以快速地、正确地确定维修体制、维修项点、维修修程、维修方式等关键要素,科学地指导维修大纲的建立。

②视情维修体制的应用。视情维修可以通过发现潜在的故障隐患而开展针对性维修,凡是具备实施视情维修条件的,都应该优先开展状态预防修。

③故障模式的深度分析。根据不同部件的不同故

障模式危害程度的不同,辨识动车组关键部件、重要部件和一般部件,分别采取针对性的维修策略,在确保动车组安全性和使用性的前提下,最大程度地实现经济性维修的目标。

④主动辨识设计类源头问题。任何维修方式都无法解决动车组的设计缺陷,因此,必须通过维修数据的积累和分析,将设计类的源头问题反馈至设计环节中去,以从根本上改善和提高动车组的可靠性。

6 展望

本文回顾了轨道装备的修程修制发展历程,分析了当前存在的不足,并论证了开展视情维修的可行性。文章以CRH380B型动车组牵引变压器散热装置清洁为例,运用实时数据监测和健康预警预测模型的手段对清洁作业进行了视情维修的探索,充分验证其可行性。本文最后分析了动车组修程修制发展趋势,提出了新的动车组维修大纲和修程编制依据——动车组维修策略逻辑决断流程图。

本文所提方法仍处在理论探索和实践验证阶段,研究的部件和对象仍不足,作者所在研究团队将长期致力于动车组健康管理系统的深入研究,后期将运用大数据分析挖掘、物理失效模型、可靠性模型、数据驱动以及预警预测模型等方法手段对动车组的牵引电机、轮对轴承、空调系统等13个关键部件及子系统进

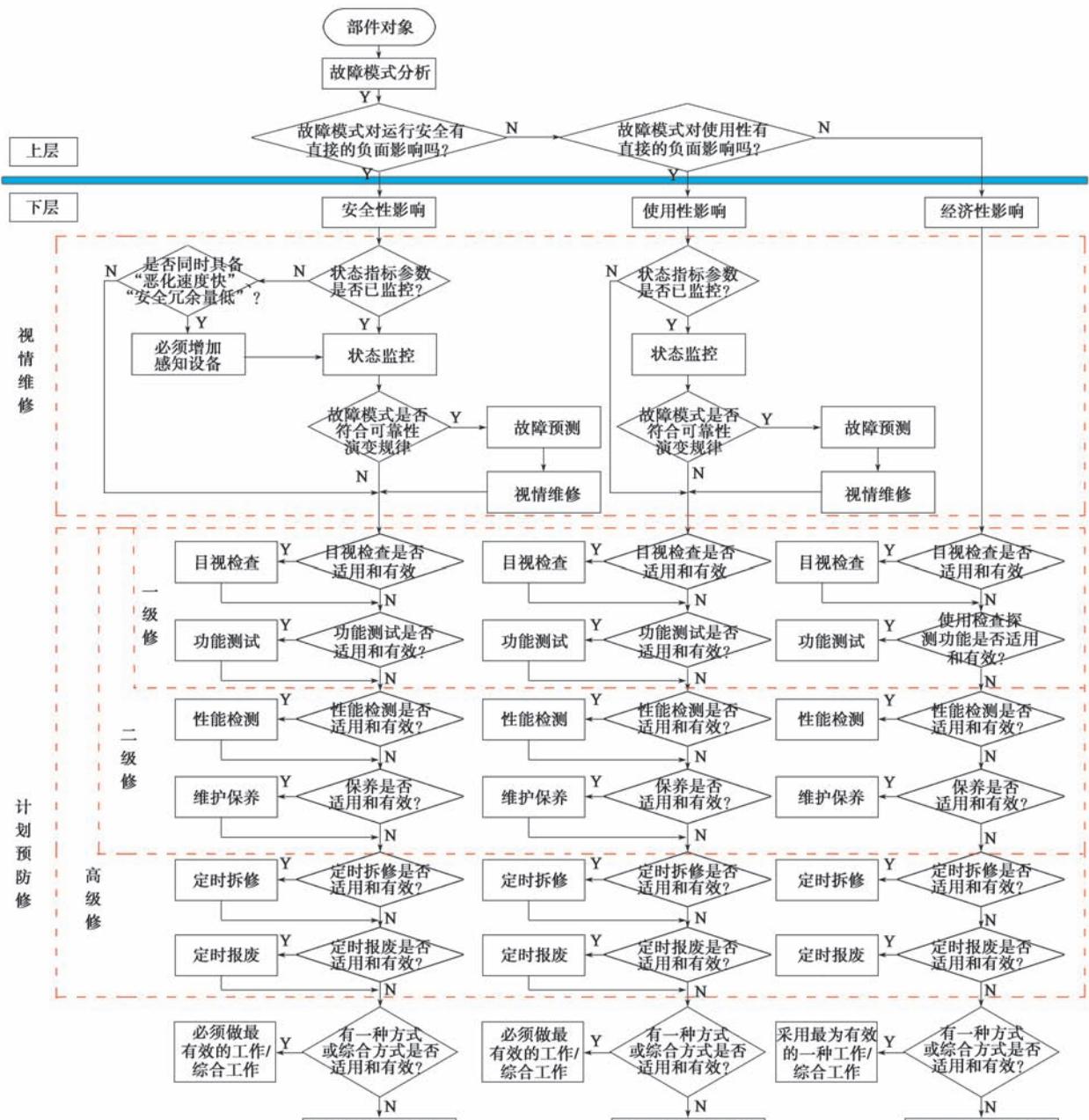


图 4 动车组维修策略逻辑决断流程图

行实时和全周期健康状态监控和预警预测分析, 并构建动车组健康评价指标和健康度指数模型等状态评判依据, 为修程修制的优化提供理论和实践支撑, 实现动车组全生命周期的健康管理。

随着现代维修理论不断发展、动车组运维经验的不断积累、信息技术手段的不断进步, 视情维修将完善和解决当前维修体制下“维修不足”、“过度维修”等不足, 对于推动我国动车组维修向“计划预防修为主、视情维修辅助、事后维修补充”的发展具有重要意义。

参考文献:

[1] 刘刚, 王华胜, 文礼. 高速列车修程修制技术 [J]. 中国铁路, 2010 (12): 62-66.

[2] 池毓敢, 周力. 时速 200 km 动车组修程修制的建议方案 [J]. 铁道车辆, 2005, 43(4): 30-32.

[3] 费良飞, 王鹏, 王灵芝. 动车组修程修制模糊综合评价方法与应用 [J]. 城市轨道交通研究, 2013(7): 67-72.

[4] 文礼, 王华胜, 李忠厚. 基于可靠性维修的 CRH2 型动车组修程修制优化研究 [J]. 铁道机车车辆, 2015, 35(1): 78-81.

[5] 冯双洲. 德国 ICE 高速动车组及其检修技术 [J]. 机车电传动, 2002 (4): 4.

[6] 张欣元. 法国 TGV 高速列车的检修 (三) [J]. 国外铁道车辆, 1999 (3): 39.

[7] 王勇智. 日本新干线铁路车辆检修 [J]. 机车电传动, 2003 (5): 27-29.

[8] 王华胜, 朱庆龙, 钱小磊, 等. 研发阶段动车组维修规划研究 [J]. 铁道车辆, 2015, 53(11): 16-19.

[9] 姜国权. MSG-3 维修理念在维修工程管理中的应用 (上) [J]. 航空维修与工程, 2005 (2): 17-19.

[10] 童健. 浅论 MSG-3 的逻辑分析方法在修改维修方案中的运用 [J]. 江苏航空, 2004 (3): 32-34.

作者简介: 周 斌 (1986-), 男, 工程师, 从事动车组故障预测与健康管理的 (PHM) 及运维决策系统研究。