

的各项数据进行了筛选和确定，为排气的设计研发节省了大量的时间。结合 KTM690 单缸发动机排气特性，最终选择 304 不锈钢。如图 4

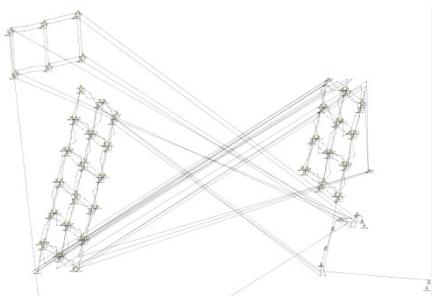


图 4 GT-SUITE 消音器离散化模型

消音器容积为 4.4L 分为 4 个腔室：入口膨胀腔 2.3L、中间扩张腔 1.1L、过度腔 1.0L 及出口扩张腔 1.0L。入口膨胀腔；KTM690 发动机废气以脉冲形式，压力大，速度快，初次进入突然扩大的腔室大部分低频噪音在腔体里面发生反射并与后面进入噪音发生干涉并抵消，2.3L 的容积可以抑制低转速时排气爆鸣声。中间间扩张腔；承接第一腔膨胀过后的气流，进一步扩张，降低流速，让压力降低容积较小对高频噪音抑制，让发动机在 4000-6000 转获得更好的动力响应。过度腔；第二腔气流平顺过度到第三腔，两给腔室之间管并不是对流，圆中心相差 97°。减少对流带来的噪音及减少气流在腔体与腔体之间流动时的阻力。出口膨胀腔；容积大会进一步减小低频噪音的抑制，但会影响高转区间的动力使排出气体流速变慢，小容积高转速更加顺畅，功率输出更强。选取 1L 容积可以缓解未充分燃烧汽油被高温气流二次点燃的爆鸣声。通过 ANSYS 流体仿真知道废气的速度以及压力通过多次数据对比发现连接管在不同腔室的长度会对消音器的压降及管口的速度均会有影响。

如图 5 图 6 所示

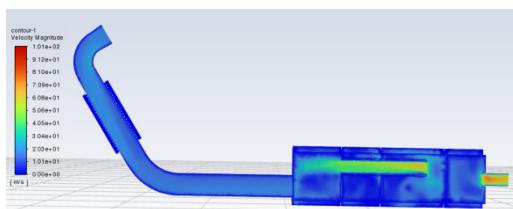


图 5 废气部分速度云图

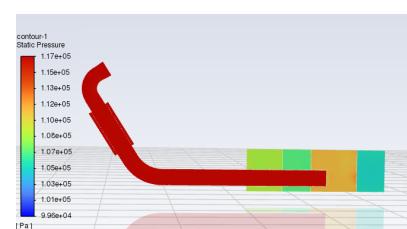


图 6 废气压力云图

2.6 台架测试

在完成排气的设计和焊接后，依托湘仪动力的 FC3000 发动机控制系统和电涡流测功机对发动机的性能进行了测试，数据如下图 7 所示：



图 7

通过良好的排气设计，在确保符合赛事噪音规则的前提下，发动机拥有宽泛的扭矩输出平台，同时在进气有 20mm 的限流阀的状态下，发动机功率恢复到了原车功率 75%（原车功率为 54KW），动力性能优秀。24 赛季整套排气系统重 6.1kg（头段 1.15kg、消音器 4.95kg）；本赛季消音器均用 304 不锈钢，较 24 赛季减重 1kg，通过氩弧焊工艺焊接而成。分贝仪放置赛车的噪音等级将使用静态方法测定。使用 FAST C 加权的分贝仪探头将位于尾气出口后方 0.5m（19.68 英寸）处，与排气口水平，并与气流流动方向夹角 45°。变速箱处于空挡且发动机处于指定转速。检测将测量排气口的噪音等级，取最高读数为最终测量值 102 分贝。

3 结语

本文设计 690 发动机排气系统针对发动机排气特性进行排气系统设计。首先改变回旋盒式中鼓，减少排气头段弯头使发动机废气更加顺畅排出；其次使用头端变径管合理使用不同管径，提升高转动力同时低转扭矩不会损失严重；最后消音器依据 KTM690 发动机排气脉冲特性针对性设计消音器每一个腔体容积，在减少废气压力，速度同时不会增加回压，可以提升发动机经济性，保证发动机怠速稳定，高转省油。

参考文献

- [1] 中国汽车工程学会.2025中国大学生方程式汽车大赛规则 [J]. 2025.
- [2] 谢田峰.汽车排气系统声学分析及消音器设计 [D].武汉：华中科技大学，2003.
- [3] 陈永光. 消声器容积计算公式分析研究 [J]. 小型内燃机与摩托车，2008，37 (5) : 71-74.
- [4] 郑殿民, 仍越光, 李向雷, 等. 汽车排气消音器的设计 [J]. 现代机械, 2006 (5) : 80-82.
- [5] 季振林. 消声器声学理论与设计 [M]. 北京：科学出版社，2015.

Exploration of overseas maintenance mode for railway freight cars

Wanhua Luo

Zhongcar Changjiang Transportation Equipment Group Co., Ltd., Science and Technology Development Branch, Wuhan, Hubei, 430212, China

Abstract

This paper examines the current status of China's railway freight car exports overseas. It analyzes key challenges in overseas maintenance, including technical consistency issues, weak technical foundations for operation and maintenance systems, complex conditions for maintenance base construction, lack of basic data on track conditions and operational practices, and substantial workloads in research and standard adoption. The study establishes design principles and objectives for overseas maintenance models, incorporating domestic railway freight car maintenance classification systems while drawing on international practices. Four maintenance levels (A, B, C, D) are proposed with tailored procedures. Additionally, the paper investigates an overseas maintenance information management system, providing technical foundations for establishing China's overseas railway freight car maintenance centers.

Keywords

overseas maintenance; repair process; information system

铁路货车海外维保模式探索

罗万华

中车长江运输设备集团有限公司科技开发分公司，中国·湖北 武汉 430212

摘要

本文介绍了我国铁路货车海外出口现状，分析了技术状态一致性好、运用和维护体系技术基础薄弱、维保基地建设条件复杂、线路和运用基础数据缺乏、调研及标准的消化吸收工作量大等铁路货车海外维保^[1]特点，明确了铁路货车海外维保模式设计原则及目标，并结合国内铁路货车检修修程等级划分，充分借鉴国外类似铁路货车维保实践经验，设置了A、B、C、D四个等级的修程，并针对性设置了修程^[2]，研究了海外维保信息管理系统，为我国铁路货车海外维保中心的建设提供技术基础。

关键词

海外维保；修程；信息系统

1 引言

近年来，我国铁路货车已向东南亚、南亚、西亚、澳洲、南美、北美、非洲等三十多个国家和地区出口，涵盖了敞车、棚车、罐车、漏斗车、平车、自翻车等多种车型。为满足我国出口铁路货车产品的运用维护需求，更好为海外客户提供系统性服务，本文通过对海外维保特点进行分析，提出合理可行的铁路货车海外模式设计方案。

2 铁路货车海外维保特点分析

技术状态一致性好。由于同一编组车辆具有车型一致、编组固定，车辆装卸方式、运行线路、运用环境等工况条件

相对固定等特点，同一列车技术状态基本一致。

运用和维护体系技术基础薄弱。目前非洲等相关国家和地区的铁路货车全部依靠进口，没有建立完整的产品应用和维护体系，修程修制、技术标准、管理制度等基本处于空白状态，无法提供定制化需求和技术支持，需进行深入的调研和需求分析。

维保基地建设条件复杂。维保基地建设的地理环境、法律法规、人文环境、人员素质等与我国存在很大差异，很多重要零部件采用 AAR、ASTM、UIC 等不同标准体系设计制造，既有成熟技术难以移植，必须进行深度融合研究。

线路和运用基础数据缺乏。海外相关国家和地区的线路等级低，运用工况复杂，难以提供基础数据。修程修制制订缺乏科学准确的数据支撑，需要大量数据采集、持续研判和深入分析。

【作者简介】罗万华（1984-），男，本科，中国四川宜宾人，工程师，从事工艺制造技术研究。

调研及标准的消化吸收工作量大。对海外各国家、各地区的调研工作量大，对海外各种标准需要系统的消化吸收。

信息化系统的适应性难度大。海外维保信息化系统须适应不同国家、不同地区、不同标准、不同运用工况的需求，适应性难度大。

3 铁路货车海外维保模式设计原则及目标

3.1 维保模式设计基本原则

安全性原则。对车辆状态进行实时监控，将故障消除在萌芽状态，降低车辆使用过程中的突发性故障，确保列车运行安全。

经济性原则。维保基地机构及人员精简、高效配置，

工艺布局统筹兼顾各级修程一体化设计，工艺装备可靠、经济、实用、柔性化，尽量“一机多能、一人多岗”。

高效性原则。减少在修时长，提高车辆使用效率。

3.2 维保目标

保障铁路运营安全和运营效率，维持车辆性能，确保车辆备用和上线率在 95% 以上。

4 铁路货车海外维保模式设计方案

4.1 修程设置

结合国内铁路货车检修修程等级划分，并充分借鉴国外类似铁路货车维保实践经验，修程设置为 A、B、C、D 四个等级，检修内容融入状态修理念。修程基本情况见表 1。

表 1 修程基本情况

本方案等级	A 级	B 级	C 级	D 级
检修周期	一个往返一次卸后	随机性故障处理	2 年或 40 万 km (先到为准)	8 年或 160 万 km (先到为准)
检修内容	日常检查、维护	摘车故障处置	全面检查、重点检修	全面分解、全面检修
检修地点	卸货点停车线	检修基地	检修基地	检修基地
作业时间	1 小时 / 列	4 小时 / 辆	8 小时 / 辆	3 天 / 辆
质量保证	保证一次装卸循环的车辆运行安全	修理部位质量保证到下一次 C 级修，非修理部位质量保证一个首次运行期	整车及配件质量保证至下一次 C 级修	整车质量保证至下一次 D 级修，其他零部件质量保证至下一次 C 级修

各修程主要作业内容：

A 级修。该修程为车辆日常检查维护，机检故障确认，列车每运行一个往返后，进行一次卸货后列车检查，主要采取人工检查方式，进行一次目视状态检查和列车制动试验，更换磨耗过限闸瓦，补充圆销和紧固螺栓等易丢失小配件，每列作业时间控制在 1 小时内。

B 级修。为临时故障修，该修程为车辆临时故障维修，对 A 级修发现的危及行车安全且在列检线路上不能快速处置或无法检修的车辆，摘车送检修基地后，进行临时故障修理，该修理主要采用换件修，每辆车检修作业时间约为 4 小时。

C 级修。为车辆定期小修，该修程为车辆定期修，对达到检修周期的车辆进行检修，该修程为中级修。对车辆整车进行全面检查，重点对转向架、车钩缓冲装置、制动阀分解下车检修，其它配件不做分解，在原位外观检查。主要内容是车轮踏面加工、轴承状态判断或更换，轮轴、钩舌及尾框裂纹探伤，制动阀检修等，落成后进行单车制动试验。每辆车检修作业时间约 8 小时。

D 级修。该修程为车辆定期大修，对达到检修周期的车辆及各部件进行全面分解、除锈、检测、检修、组装、试验和油漆涂装。每辆车检修作业时间 3 个工作日。

4.2 主要作业内容

4.2.1 A 级修主要作业内容

对每次卸货后列车，进行一次目视状态检查和机车制

动试验，主要通过观察列车制动、缓解试验检查车辆制动装置是否存在明显泄露及制动是否作用良好；对整车进行全面检查，对 TFDS、TADS 预报故障进行人工检查和确认；检查闸瓦磨耗、车轮踏面擦伤及配件丢失情况等，摇枕、侧架、车钩、钩舌是否具有明显裂纹，车辆是否存在异常震动及摇晃；补充丢失零配件、紧固件；更换磨耗超限的闸瓦，紧固松动的螺栓等。对于重车到站使用翻车机卸货后的车辆进行检查，检查配件是否正位、是否脱落，对于较大故障车辆在列检所实施边线换件修。对停车现场无法处理的故障车辆，及时扣修，进入 B 级修场地实行临时故障维修。

4.2.2 B 级修主要作业内容

对 A 级修发现无法处理的临时故障进行维修，对列检人员无法进行故障处理的车辆，摘车后送维修基地检修。临时故障检修采用换件修方式，并对故障车辆进行全面检查，更换故障零配件及部分易损易耗件，组装后全面检查及试验。

4.2.3 C 级修主要作业内容

对车辆进行全面的外观检查，对整车车体、转向架、钩缓、制动部分采用高压水冲洗，将转向架与车体分离，对转向架及其轮轴进行检查检修和更换。分解钩缓装置，并对制动装置进行检测，更换制动阀及不良配件。将车体架起后检查、消除车体各处裂纹或焊缝开裂，对车体各处变形进行调修，更换有缺陷的配件。转向架检修，轮轴与转向架分离，更换破损或变形的心盘磨耗盘和弹性旁承，制动梁等配