

# 大数据技术在城市轨道交通车辆 RAMS 验证过程中的应用

王 伟<sup>1</sup> 李永生<sup>2</sup> 段洪亮<sup>3</sup>

(1. 中车长春轨道客车股份有限公司科技管理部, 130062, 长春;

2. 中车长春轨道客车股份有限公司基础研发部, 130062, 长春;

3. 中车长春轨道客车股份有限公司总体研发部, 130062, 长春; // 第一作者, 教授级高级工程师)

**摘 要** 以某城市轨道交通车辆项目的 RAMS(可靠性、可用性、可维护性、安全性)验证为例,在利用设计原理推断故障原因遇到瓶颈时,利用大数据技术,迅速分析比对,找出了真正的故障原因,排除了多个非车辆本身因素导致的故障。由此证明大数据技术在车辆运营数据和试验数据分析及数据深度挖掘中具有重要价值。

**关键词** 城市轨道交通; 车辆; RAMS 验证; 大数据技术

**中图分类号** U270.1<sup>+</sup>1

**DOI**:10.16037/j.1007-869x.2020.02.001

## Application of Big Data Technology in Urban Rail Transit Vehicles RAMS Verification

WANG Wei, LI Yongsheng, DUAN Hongliang

**Abstract** Based on the RAMS verification (reliability, availability, maintainability, safety) of a certain urban rail transit vehicle project, while obstacles in deducting failure causes occurred, big data technology was used to analyze and compare efficiently, the actual failure cause was allocated and many causes that were not coming from vehicle itself were excluded. It proves that big data technology has significant value in analysis of vehicle operational data and test data, as well as deep data mining.

**Key words** urban rail transit; vehicle; RAMS testification; big data technology

**Author's address** CRRC Changchun Railway Vehicles Co., Ltd., 130062, Changchun, China

2015年3月,中车长春轨道客车股份有限公司(以下简称“中车长客股份”)某海外项目已过了质保期,但业主发函称该项目的可靠性指标不合格,不能进行项目的终验,质保期将按合同规定顺延。该项目合同要求的列车的可靠性指的是:每发生1次事故的行程 $\geq 0.167$ 车·百万km,每发生1次大

于5min延误的行程 $\geq 1.0$ 车·百万km。合同规定:①以车·百万km为单位的大于5min的1次延误的平均行程的计算公式为:给定周期内以车·百万km为单位的包含所有车辆的总运行行程/给定周期内大于5min延迟的总数。②列车可靠性以月为基础对整个车队的列车或者计算时已移交的列车进行计算,用于可靠性评估的列车的可靠性性能为基于12个月的移动平均数值。③如果在论证周期之内,列车的可靠性/可用性目标不能达到合同要求,则论证周期延长1个月,并通过使用最近的12个月的数值来进行计算,直到所有的可靠性和可用性指标达到合同要求。

本文以该项目的RAMS(可靠性、可用性、可维护性、安全性)验证为例,介绍了大数据技术及其在城市轨道交通车辆RAMS验证中的应用。

## 1 列车运行可靠性指标统计

该项目于2013年3月开始记录故障信息,故障信息录入到中车长客股份的《RAMS信息管理系统》。负责车辆RAMS验证的经理依据系统中的数据和分析结果提交每月的故障分析报告以及终验报告。表1为2014—2015年连续12个月的列车运行可靠性指标数据。

由表1中可见,在连续12个月的论证周期内,仅有3个月的5min以上延误的指标合格,未达到连续12个月论证期内的可靠性指标要求。

## 2 车辆故障的初步分析

按照RAMS验证流程,出现故障后,设计师主导与业主方谈判,判定故障责任。故障责任主要分为运营(包括维护不当、司机操作失误)、信号和车辆3类。

属于车辆责任的故障列入可靠性指标考核计算。

负责车辆 RAMS 验证的经理和系统设计师从信息平台下载了 2013 年 3 月到 2015 年 2 月连续 24 个月发生的 66 个故障的清单,通过对故障责任进行分析发现,仅根据故障描述,不足以明确分析出故障责任,其中 4 个故障的初步分析见表 2。

表 1 2014—2015 年连续 12 个月的列车运行可靠性指标统计表

车·百万 km

可靠性指标	合同规定指标值	每月实际值											
		2014 年										2015 年	
		3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月
1 次 5 min 以上延误	≥1.00	0.54	0.65	0.81	0.99	0.87	1.01	1.02	1.10	0.89	0.90	0.98	0.88
1 次事故	≥0.167	0.380	0.420	0.460	0.550	0.500	0.540	0.550	0.570	0.510	0.530	0.590	0.550

表 2 2013 年 3 月到 2015 年 2 月 66 个故障中的 4 个故障的初步分析

序号	列车号	故障件	故障初步原因	故障影响	故障发生日期	故障发生地点	故障初步处理措施	备注
1	51	车门	列车驾驶员反映车门关闭出现问题。检查发现 T 型开关松动,与 DSS(门侧选择开关)接触不良	5 min 以上延误	2013-05-16	BTF	1) 10:01,PCT(行车指挥中心)让列车驾驶员取消命令,但结果失败;10:02,PCT 批准使用列车旁门;10:04,列车驾驶员发出通知,表示只能通过旁门运行列车车门。 2) T 型开关(车门选择开关)、线路和按钮(ddlpb1、ddlpb2)均已加固	
2	42	断路器	列车驾驶员无法在列车两头操作舱里解除制动,SIR(安全互锁继电器)莫名出现未配置情况	5 min 以上延误	2013-05-31	PVN	1) 15:56,列车驾驶员进行各项操作流程,但均失败;15:57,负责人提出让驾驶员停止运行故障列车 42,接管停在 Pavuna 站的列车 48(备用列车),从而执行旅客输送任务。 2) 未发现故障	
3	47	车门 3	列车驾驶员反映车门关闭出现问题;车门 3 未关闭。	5 min 以上延误	2013-06-03	BTF	1) 17:29,PCT 要求对车门进行(开启、关闭)操作,但操作失败;17:32,按照正常操作流程对车门进行操作后车门未出现任何不良情况,对车门进行机械锁定后列车 47 恢复运行。 2) 车门被锁定,处于封闭状态。经发现,接地线因受到损坏而被移除	门系统接地线发生损坏,属日常维修维护问题
4	52	车门 1	列车驾驶员反映车门关闭出现问题;1 号车门出现妨碍关闭的障碍物,处于开启状态	撤离	2013-06-03	TCL	1) 18:37,列车驾驶员尝试关闭车门,车门卡在开启位置;18:37—18:39,列车驾驶员进行了 3 次车门开启和关闭操作,但均失败;18:40,列车被撤离。 2) 检查维修时发现车门导轨限制门扇滑轮工作。已通过固定垫片的方式调整车门悬挂角度,并完成车门试验。公司尚未提供角度调整参数	门滑道上固定门扣铁用螺栓突起,影响开关门,属维修维护问题

按照设计师的初步分析,负责车辆 RAMS 验证的经理对可靠性指标进行了重新计算,2013 年 3 月到 2015 年 2 月连续 24 个月的统计区间内,有连续 12 个月的可靠性指标合格,刚好符合合同要求。

负责车辆 RAMS 验证的经理将修正后的 RAMS 系统验证报告,提交给项目部,由项目部发送给业主方。但业主方并不同意这样的分析,要求在现场举行现场会议,对这 66 个故障的责任逐一进行分析,并一并解决属于车辆的问题。

如果没有足够的试验数据支撑是很难说服业主方的,而故障分析最大的难点是很少能复现故

障。故障是偶发的,即使带测试设备也不一定能抓住故障的数据。利用设计原理推断故障原因遇到了瓶颈。

3 大数据分析理论的尝试

项目团队讨论后,决定尝试用大数据分析理论对故障清单的数据进行分析。

3.1 数据分析步骤

传统意义上的数据分析分为 5 个基本步骤:

1) 预测性分析。数据挖掘可以更好地理解数据,而预测性分析可以让分析员根据可视化分析和

数据挖掘的结果做出一些预测性的判断。在做大数据分析数据库框架时,预测性分析至关重要。

2) 数据质量和数据管理。这是管理方面的最佳实践。通过标准化的流程和工具对数据进行处理可以保证一个预先定义好的高质量的分析结果。

3) 可视化分析。不管是对数据分析专家还是对普通用户,数据可视化是数据分析工具最基本的要求。可视化可以直观展示数据,让数据自己说话,让观众看到结果。

4) 语义关键词。使用工具去解析、提取、分析数据。语义关键词需要被设计成能够从文档中智能提取信息。

5) 数据挖掘算法。可视化是给人看的,数据挖掘就是给机器看的。集群、分割、孤立点分析还有其他的算法可以深入数据内部,找出规律,挖掘价值。

### 3.2 语义关键词的设定

前期,中车长客股份现场售后人员做了大量的工作,相当于数据分析的前三步已经完成。项目团队只需要对既有故障数据按照数据分析的后两步进行归类分析。

关于语义关键词的设定,项目团队一致认为从发生故障的车号、时间、地点、系统及原因 4 个方面进行分析。

### 3.3 大数据分析 & 数据挖掘

为了方便查看,项目团队把 24 个月发生的故障从 24 个电子表格工作簿都粘贴到一个工作簿里。依次利用不同的语义关键词进行检索。

1) 语义关键词:发生故障的车号。根据可靠性计算原则,如果短期内发生在同一辆车的同一类型故障可以合并为一起。但通过对故障车号的检索,只发现有一例类似的情况,虽然是同一车组,但间隔半年的时间又重复发生。这显然不具有说服力。

2) 语义关键词:发生故障的系统及原因。项目团队将现场人员提供的故障分析表中的 66 个故障分为 7 类:换件故障 9 个,描述不明故障 6 个,原因不明故障 25 个,空压机故障 3 个,维护不当故障 11 个,误操作故障 4 个,蓄电池故障 8 个。利用电子表格的筛选功能,可以很方便地只查看其中的一类故障,省去了来回翻阅的时间,也方便了对同类故障的对比查看和分析。在翻看原因不明故障时有了新的突破,这些故障存在共同点:发生的地点相似,

频繁发生在 BTF\PVN 两个站点;故障类型相似,都是牵引无法建立之类的故障;回库后详细查找未发现问题。根据经验,换端操作失误会出现此类故障。经过现场经理确认,BTF\PVN 两个站都是终点站,需要进行换端操作。这样初步判断的前提条件就成立了。通过查看司机操作手册中的换端操作文件,其描述的误操作引发的后果与这些故障描述基本一致,都是牵引无法建立,这使推理有了理论依据。

3) 语义关键词:发生故障的时间。在检索 8 起蓄电池故障后,项目团队又对这 8 起故障的时间进行了检索,发现故障时间都是在当地的夏季,也就是故障都出现在高温天气。根据中车长春客车现场人员的测试结果发现,出故障的那几天的天气温度超出了合同规定的范围。项目团队以设备在超出设计范围温度造成故障为由进行申辩,争取将蓄电池这 8 条故障不计入可靠性考核计算。关于环境温度要求的合同规定见表 3。

表 3 项目合同规定的环境温度要求	
合同条款	合同内容
15.4.3	环境条件:敞开部分的外部条件应为 33 ℃,相对湿度为 88%;正常隧道条件应为 32 ℃,相对湿度为 87%
15.4.4	偶然的情况:对于拥挤的隧道,列车周围的自由空气的条件应为 46 ℃,相对湿度为 40%;对于炎热的夏天,外面敞开部分的条件是 43 ℃,相对湿度为 85%

## 4 车辆故障责任评定

### 4.1 换端导致车辆故障责任的判定

项目团队将 25 个可疑故障从 66 个故障中提取出来,放到一起,逐个进行分析,把发现的“通用故障属性”找出来:出现故障的车站均是在终点站;之前车辆一直正常,故障均体现为牵引无法建立;回库后这些故障车均未发现问题。

根据概率定律:不同的车组在不同的时间段发生故障可以认为是随机事件,每次“随机试验”事件必然发生,则称在“随机试验”中必然发生的事件为必然事件。在换端操作时发生列车无法缓解的故障,可以认定是偶发故障;但当故障的数量积累到一定数量后,则偶发结论不成立。25 个故障量足以说明是司机误操作导致的,而不是车辆的问题。

项目团队将事先准备好的、从司机操作手册中摘抄的“司机换端操作文件”提交给业主方,这份文件中描述的误操作会引起的后果与这 25 个故障描

述的一模一样,业主方最终接受了这类故障是属于司机误操作的结论。

### 4.2 蓄电池故障责任的判定

在对 8 个蓄电池故障原因申辩时,业主方提供了现场测试报告以及当地的气象预报,在合同规定的环境温度范围内也出现了多个车辆故障,以此证明:虽然有少数天气的气温超出合同范围,但是蓄电池设备的调控依然有问题。因此这 8 个蓄电池故障都算作车辆故障,列入可靠性考核计算。

### 4.3 其他类别故障的责任判定

按照上述“类比故障—推断结论—证明结论”

的工作思路,项目团队向业主方逐一展示合同条款、设计原理分析和操作说明,最终,故障清单中的 66 个故障,仅有 30 个故障算作车辆责任:换件故障 9 个,描述不明故障 2 个,换端导致故障 4 个,空压机故障 3 个,维护不当故障 4 个,蓄电池故障 8 个。

## 5 车辆 RAMS 验证结论

双方认可的故障统计分类结果、最终的车辆 RAMS 验证报告如表 4 所示。考核结论为:车辆可靠性指标完全满足合同要求。业主方代表在 RAMS 合格验收报告上进行了签字确认。

表 4 2014—2015 年连续 12 个月的列车运行可靠性指标考核表

车·百万 km

可靠性指标	合同规定指标值	每月实际值											
		2014 年										2015 年	
		3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月
1 次 5 min 以上延误	≥1.00	1.28	1.18	1.25	1.54	1.40	1.57	1.79	1.79	1.59	1.80	1.84	1.36
1 次事故	≥0.167	0.880	0.790	0.760	0.870	0.820	0.880	0.950	0.950	0.890	1.030	1.340	1.150

## 6 大数据分析的优势

一直以来,运营车辆故障的查找、分析、责任判定都是按照“设计原理—故障分析—责任判定”进行的,但实际效果不好。现场售后人员对故障描述不清晰,甚至会提供错误信息,这给故障分析和责任判定带来了困难,容易给业主方和项目方造成不好的影响。

在“正向分析”遇到瓶颈时,项目团队利用大数据分析对所有的故障进行了归类分析,起到了决定性的作用,最终的效果比设计师从纯技术角度分析效果更好。项目团队在合适的时间、利用最合适的方法解决了问题。也许上述条件发生少许变化就达不到这样好的效果,但不能否定的是大数据分析方法在本次故障分析中发挥的巨大作用。

培养一名合格的设计师,尤其是能解决现场问题、故障的设计师需要至少十年的时间,也许更长。但培养一名技术娴熟的信息分析人员也许只需 2~3 年的时间。而信息分析+合格设计师的强强联合将会产生 1+1>2 的良性效应。

大数据分析技术在该项目 RAMS 验证过程中的成功应用,为列车现场故障的分析和解决找到了一条新的路径。出现故障、分析故障到解决故障需

要理论分析、数据采集、数据分析、试验确认、设计方案变更、评审、试验验证,这一套流程下来,有时候半年都不一定能完成。而利用信息化分析手段,用更少的成本投入、更短的时间,就能快速总结出规律,解决更多的问题。

## 7 结语

少量的数据是可以依靠人工分析完成的,一旦需要处理的数据达到一定数量级,如果事先不做好筹划,那么这些数据就相当于垃圾数据。每个项目都有大量的车辆数据信息和海量试验数据,需要人员创立算法将其变废为宝,将这些宝贵的数据利用起来。大数据分析是重要的技术革新,应该利用大数据分析技术改变目前仅能做数据原始积累的现状,让数据能真正发挥效能。

## 参考文献

- [1] CENELEC. Railway applications-The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety: EN 50126-3-2006[S]. Brussels: CENELEC, 2010.
- [2] 马戈. 概率论与数理统计[S]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [3] 王星. 大数据分析: 方法与应用[S]. 北京: 清华大学出版社, 2013.

(收稿日期:2019-08-25)