

城市轨道交通运营车辆系统岗位培训教材

丛书主编：张 辉 谭文举 柳 林

城市轨道交通 车辆系统功能与组成

主 编：王 亮 罗 敏 明 洪 唐宇斌

主 审：李文柱 李 军

中国建筑工业出版社

城市轨道交通运营车辆系统岗位培训教材

城市轨道交通车辆系统 功能与组成

丛书主编	张 辉	谭文举	柳 林	
主 编	王 亮	罗 敏	明 洪	唐宇斌
主 审	李文柱	李 军		

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

城市轨道交通车辆系统功能与组成/张辉, 谭文举, 柳林丛书主编; 王亮等分册主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2017. 10

城市轨道交通运营车辆系统岗位培训教材

ISBN 978-7-112-20928-6

I. ①城… II. ①张… ②谭… ③柳… ④王…
III. ①城市铁路-铁路车辆-岗位培训-教材 IV. ①U239.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 156016 号

本书共 3 章, 分别是城市轨道交通概述、地铁电客车系统组成及研究、典型故障分析等内容。本书根据城市轨道交通车辆系统功能与组成岗位标准和培训规范进行编写, 对我国城市轨道交通车辆系统的实践进行的较为科学、全面的总结, 具有较强的实用性和操作性。

本书可作为城市轨道交通运营车辆系统岗位培训考试用书, 也可作为运营管理部门、设计部门、科研单位和教育机构的参考书。

责任编辑: 胡明安

责任校对: 焦 乐 刘梦然

城市轨道交通运营车辆系统岗位培训教材

城市轨道交通车辆系统功能与组成

丛书主编 张 辉 谭文举 柳 林

主 编 王 亮 罗 敏 明 洪 唐宇斌

主 审 李文柱 李 军

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

环球东方 (北京) 印务有限公司印刷

*

开本: 850×1168 毫米 1/32 印张: 8 $\frac{3}{4}$ 字数: 231 千字

2017 年 10 月第一版 2017 年 10 月第一次印刷

定价: 30.00 元

ISBN 978-7-112-20928-6

(30578)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本书编委会

丛书主编：张 辉 谭文举 柳 林

主 编：王 亮 罗 敏 明 洪 唐宇斌

主 审：李文柱 李 军

编 委：(排名不分先后)

黎 鑫 李福斌 高大毛 钟国强 郑吴富

李 辉 李大洋 谭睿珂 黄凯宇 向伟彬

黄 斌 桂许悦 秦杰荣 王 磊 赵磊通

毛松平 邓伟健 徐莎莎 任崇会 李燕艳

张雪琦 李军生 邱士正 张振东 张 度

王交奇 韦庭三 旷文茂 李 爽 张小勇

何 君

参编单位：南宁轨道交通集团有限责任公司

中国建筑股份有限公司

序

目前,随着我国城市轨道交通事业的快速发展,城市轨道交通的运营、管理及安全已经摆到了首位。轨道交通系统一旦建成,就必须夜以继日地保持系统的安全和高效运营。城市轨道交通系统设备先进、结构复杂,高新技术应用越来越普及,要保障这样庞大系统的安全和高效,必须依靠与之相协调的高素质的人员。轨道交通行业职工素质的高低直接关系到企业的生存和发展。因此,企业必须拥有一支高素质的技术队伍,培养一批技术过硬、技艺精湛的能工巧匠,才能确保安全生产,提高工作效率,提升非正常情况下的应急应变能力。

岗位培训是人才培养的重要途径,是提高企业核心竞争力的重要手段,而岗位培训需要适合的培训教材,在对国内城市轨道交通行业进行广泛调研的基础上,推出了“城市轨道交通运营车辆系统岗位培训教材”,涉及城市轨道交通标准化作业教程、电客车驾驶、工程车驾驶、工程车检修技术、厂段调度、车辆系统功能与组成、车辆检修技术、设备维修技术、设备操作原理、运营安全管理等内容。

本套教材由南宁轨道交通集团和中国建筑股份有限公司组织从事城市轨道交通建设和运营管理的专家编写。在教材内容方面,力求实用技术和实际操作全面、完整,在注重实际操作的基础上,尽可能将理论问题讲解清楚,并在表达上能够深入浅出。本套丛书不仅是城市轨道交通工程运营专业人员的岗位培训、技能鉴定的培训教材,也可以作为城市轨道交通大中专院校、职业学校学生的教学参考用书。

相信该套培训教材,能在广泛吸收国内、外同行技术与管理

经验的基础上，结合国内行业实际情况，为城市轨道交通车辆系统，提供一套完整而系统的参考读物，亦为我国城市轨道交通运营管理的基础理论和实用技术填补空白。

张 辉

前 言

自从世界上第一个地铁系统于 1863 年在英国伦敦建成运营以来，世界各大城市都采用轨道交通系统作为城市骨干公共交通系统。我国的城市轨道交通系统始于 1965 年，在城市公路交通状况日益恶化的背景下，全国越来越多的大中城市大力发展城市轨道交通来缓解交通拥堵状况。

在城市轨道交通系统中，电客车是承担正线运营服务的主要设备。电客车状态的好坏直接影响运营效率、运营质量和运营安全。而保障电客车车辆状态需要大量具有相关专业知识的技术人员和一线员工。随着目前我国各大城市轨道交通行业迅速发展，电客车专业人才的缺口不断增大，故迫切需要一部深入浅出、简明易懂、可在短时间内培养一批技术人员的教材。本书便是基于以上目的编著而成。

本书以南宁轨道交通一号线为例，通过介绍电客车组系统结构分解和典型系统故障分析相结合的方式，阐明了 RAMS 管理在城市轨道交通电客车运营使用中的应用方式。本书共分为 3 章，分别是：城市轨道交通概述、地铁电客车系统组成及研究、典型故障分析。

本书对编者多年来在轨道交通行业的实践进行了较为全面和科学的总结，具有较强的实用性和操作性，可作为城市轨道交通电客车技术工程师和电客车检修工的职业培训教材，也可供城市轨道交通系统的技术管理人员参考和借鉴。

本书在编写过程中得到了公司各级领导、专家的大力支持，在此一并致谢。在成文过程中，也参考和引用了部分同行的相关成果，特向相关作者表示感谢。鉴于编者水平有限，书中纰漏和不足之处在所难免，恳请广大专家、读者批评指正！

目 录

1 城市轨道交通概述	1
1.1 RAMS 基本理论	1
1.1.1 背景介绍	1
1.1.2 RAMS 基本概述	3
1.1.3 基于 RAMS 的故障分析方法	11
1.1.4 RAMS 管理的必要性	16
1.2 RAMS 在地铁车辆中的运用	17
1.2.1 国内外研究现状	17
1.2.2 轨道车辆 RAMS 管理	20
1.2.3 轨道车辆 RAMS 管理的具体应用	29
2 地铁电客车系统组成及研究	31
2.1 地铁电客车机械系统组成	31
2.1.1 车体	31
2.1.2 转向架系统	42
2.1.3 车钩系统	74
2.1.4 供风制动系统	88
2.1.5 车门系统	98
2.1.6 客室内装	141
2.2 地铁电客车电气系统组成	162
2.2.1 牵引系统	162
2.2.2 辅助电源系统	195
2.2.3 列车控制及诊断系统	200

2.2.4 乘客信息系统	219
3 典型故障分析	238
3.1 机械系统典型故障分析	238
3.2 电气系统典型故障分析	250

1 城市轨道交通概述

1.1 RAMS 基本理论

RAMS 即广义的可靠性,是可靠性 (Reliability)、可用性 (Availability)、可维护性 (Maintainability) 和安全性 (Safety) 的总称。在研究对象的生命进程中,利用已验证的工程技术与工具达到相应指标的安全性,并反映规定时间段内的标准置信度,能预示、分析并控制或消除所研究对象发生的故障危害,提高可靠性,使所研究对象处于安全区间内。RAMS 现已广泛应用于轨道交通行业,学者们提出了众多基于 RAMS 的轨道交通行业评判指标,以使地铁列车满足 RAMS 要求,进一步提高列车运行的可靠性,减少后期运营管理费用。RAMS 管理可量化被研究对象的质量影响,并表现在乘客服务水平上。其特性与列车所处的外界环境、工作负荷、线路条件、载客量、运营速度及司机操作等因素相关,是一种时间累积特性。

1.1.1 背景介绍

在 1939 年,美国出版了《适航性统计注释》,书中首次提出飞机的故障率必须小于 0.00001 次/h,这是最早出现的对可靠性进行定量评价的描述。1942 年,麻省理工学院则根据美国在军用航空领域实际遭遇到的难题,开拓性的提出了可靠性的定义。

20 世纪 40 年代,美国政府成立了专门的可靠性机构:电子管研究委员会,其职责是专门研究电子管可靠性的相关问题。20 世纪 50 年代,多数国家开始对关系到国家生死存亡的武器系统

的可靠性问题进行探索研究,进而确定了可靠性研究分析的理论基础及方向。在1952年,美国国防部专门成立了电子设备可靠性管理咨询小组,并发表了《军用电子设备可靠性》的可靠性研究分析报告,该报告第一次系统地确定了可靠性工程技术的发展方向以及未来的应用领域。20世纪60年代中期,可靠性技术委员会成立,这个部门专门负责协调世界上所有可靠性用语规范、可靠性方法步骤规范以及分析管理等可靠性领域的相关工作。

20世纪70年代,产品的可靠性问题引起了世界多数国家的普遍关注。在欧美各国,可靠性技术的研究已经从尖端武器与电子科技等领域逐步蔓延到了其他领域,如机械、电气、原子能、冶金、铁道、船舶、化工以及电站设备等等。可靠性研究工作逐步从军工产品扩展到民用产品,越来越多的部门和领域都认识到可靠性分析技术的重要意义及引入可靠性分析技术将会给企业带来的巨大经济效益,这使得可靠性的研究工作进入了一个崭新的蓬勃发展的历史阶段。

我国对RAMS的研究起步较晚,20世纪60年代首先在电子、航空部门进行了电子元件筛选试验及导弹制导系统可靠性研究。到了20世纪70年代,为了保证电子产品质量,国家有关部门对电子元器件的可靠性给予了极大重视,提出了严格要求,与此同时,航天部门可靠性工程的研究与试验也取得了巨大的成绩

1984年,在国家相关部门的领导下,一系列关于可靠性的国家标准和专业标准被相继制定,使我国的可靠性分析研究以及科学化地管理工作成功进入了标准化轨道。1992年,我国开始采用先进的ISO9000《质量管理和质量保证》系列标准,与此同时,国家还制订了4个关于寿命试验与加速寿命试验方面的相关标准以及《设备可靠性试验》标准等,所有这些举措都大大改进并提升了产品的质量,使“事后检验”改进变为“事前预防”,从而有效地提升了产品质量,使得可靠性研究逐渐渗透到各个领域。

近年来,产品的可靠性与维修性、安全性越来越受到重视并一起得到发展。从1992年开始,我国已经成功举办了多届国际可靠性、维修性与安全性会议,会议研讨内容均为近几年国际质量与可靠性领域的前沿水平,这一会议极大地加强了世界各国间在可靠性、维修性以及安全性方面的技术交流,促进提高了我国可靠性分析人员的技术水平,带动了世界范围内可靠性技术的进步。

1.1.2 RAMS 基本概述

1. 基本概念

(1) RAMS 的组成和定义

RAMS是可靠性(Reliability)、可用性(Availability)、维修性(Maintainability)和安全性(Safety)的缩写,RAMS工程是专门研究产品的RAMS特性的一门专业学科,主要目的是与产品的故障作斗争、最大限度的提高产品的可用性、改进产品的维修性、保证产品的安全性,并降低产品的全寿命周期费用(LCC)。

RAMS工程是一项系统工程,只有涉及的部门全力配合,才能最终保证产品的可靠性和安全性。只设计出安全可靠的零部件,或者只组装出安全可靠的列车,或者只在运行过程中采取相应的措施均不足以最终保证产品在使用过程中的可靠性和安全性,只有运营商、整车厂、机车、车辆部件的生产商(包括单独零件、部件的供应商)全力配合,才能在LCC的限制下,保证产品的可靠性和安全性。

1) 可靠性(Reliability),是指产品(轨道交通车辆)在规定的条件下运行时,在规定的时间内保持规定功能的能力。可靠性具有三个特征:①关注故障;②用定量的形式判断故障发生的可能性;③评价故障对系统功能的影响程度。可靠性具有2个基本参数:MTBF 平均故障间隔时间和 MTBSF 平均服务故障间隔时间。

2) 可用性(Availability),是指产品(轨道交通车辆)在任

一随机时刻需要和开始投入正线运行任务时,处于可工作或可使用状态的程度,就是产品(轨道交通车辆)处于可工作状态的可能性,包括维护保障能力及使用保障能力。

3) 维修性 (Maintainability),是指产品(轨道交通车辆)在规定的条件下和规定的时间内,按规定的程序方法进行维修时,保持或恢复到其规定状态的能力。

维修性具有三个特征:①关注故障,是针对故障的一种活动;②修复车辆故障的能力,表达车辆维修的难易程度;③产品设计所赋予的一种固有属性。

维修性具有 2 个主要参数:MTTR 平均修复时间、 $MTTR_{\max}$ 最大修复时间。

4) 安全性 (Safety),是指产品(轨道交通车辆)不发生系统危险事件 (Hazard Event, 亦称事故) 的能力。安全涉及在各种环境条件和工作条件下,在运行、维护和维修过程中发生的所有危险。关注危险,产品的危险包括:人员伤亡、重大财产损失、环境破坏。故障是危险的主要来源,危险性故障是全部故障的子集。安全性基本参数:MTBHE 平均危险故障间隔时间。

可靠性技术是一种用来研究产品全寿命过程中故障发生的原因及发展规律,有针对性的降低产品的故障率,从而提高产品质量的工程技术。在我国国标中,可靠性被定义为:产品在规定条件下和在规定时间内完成规定功能的能力。它旨在描述一个产品或系统随着时间的推移,能否稳定保持原有工作性能的问题。

(2) 可靠性指标

1) 故障率

故障率是指某正常工作的产品,从此刻起单位时间内发生故障的概率,记为 $\lambda(f)$ 。

对于可修复的产品,我们可以获得其寿命期中某观察期的观测值,即:产品故障发生次数和工作时间的总和。

一般情况下,故障率可分为三个阶段。

① 早期阶段。这个阶段由于产品刚投入使用,产品有可能

存在不合格或加工装配工艺不好的问题等，致使故障率较高。但随着时间的推移，由于产品的更换、磨合等因素，故障率会迅速下降下来。

② 故障率稳定阶段。产品的故障率在这个阶段是随机发生的，基本上等于一个常数，并且故障率的值较低。这一阶段是产品的主要工作阶段，在实际工作中，需要通过实时维修、科学管理来减小故障率，延长产品在稳定阶段的工作时间。

③ 故障率高发阶段。这一阶段由于产品的老化、磨损等，使其故障率迅速上升，如果不及时采取相应的预防性措施，产品很可能会因为故障而报废，造成经济损失甚至安全事故。因此，提前预测故障高发阶段的起始时间，及时发现、更换有故障的器件，对于保证产品工作在故障率稳定阶段具有重要意义。

2) 可靠度

可靠度是指用概率来度量产品在规定时间内和规定条件下，完成产品预定功能的能力。对产品而言，可靠度越高越好，可靠度高的产品，可以长时间正常工作，从专业术语上来说，就是要使产品无故障工作的时间越长，就要让产品的可靠度越高。

3) 平均修复时间

平均修复时间 (Mean Time To Repair) 是指修复元件所需时间的平均值，记为 MTTR。修复元件所需的时间一般是一个随机变量。

4) 平均故障间隔时间

对于可修复产品，为了保持其正常工作，当产品发生故障时，需要及时对其进行维修，以恢复正常工作状态。平均故障间隔时间 (Mean Time Between Failure) 是指产品每次故障之间能正常运行的平均时间，一般记为 MTBF。

2. 故障定义

运行故障是指：列车正常运行期间，列车发生的故障。

(1) 运营服务故障

运营服务故障是指列车不能继续维持商业运营或对商业运营

造成较大影响的故障，包括：

- 1) 救援：即需要另外一列车将故障列车拖回车辆段。
- 2) 掉线：需要立即疏散乘客，列车空车返回车辆段。或将乘客运送至终点站后，列车返回车辆段。
- 3) 未出库：由于车辆某一部件不能正常工作导致列车不能按所排定的运行图上线运营，需由其他列车替代其投入运营。

(2) 晚点故障

- 1) 大晚点：列车因故障在线路上停车时间超过 5min，对商业运行造成了较大影响。
- 2) 晚点：列车因故障在线路上停车时间超过 2min，对商业运行造成了影响。

(3) 维护故障

- 1) 碎修列检故障：车辆运营中由司机发现的车辆故障及检修人员检查中发现的故障。

对列车运营可靠性的要求：

- ① 服务故障：每列车平均无故障时间 6000h；
- ② 晚点故障：每列车平均无故障时间 2000h；
- ③ 碎修列检故障：每列车平均无故障时间 150h。
- ④ 列车可靠性计算采用以下公式：

2) 每列车平均无故障时间 = (年总运行组公里 / 旅行速度) / 年故障次数

3. 组成及关系

(1) 轨道交通 RAMS 管理的理论基础

随着企业改革发展的推进，原有管理体系的重组与整合不可避免，势必造成管理上暂时的青黄不接。主要体现在面对轨道交通车辆数以百万计的各种元（部）件、数据模块，其运行安全性、风险源的管控以及列车运行状态的预判等都需要通过新的、先进的管理理念、管理模式、管理措施和管理水平来加以提升。轨道交通车辆 RAMS 管理工作的建立是有效保障轨道交通安全、高效运行的基础工作之一，是保障轨道交通安全运营、降低

寿命周期费用和与国际先进水平接轨的必要工作。

(2) 轨道交通 RAMS
四要素 (图 1.1-1)

RAMS 作为一项产品、设备或者系统,在整个寿命周期内既辩证统一又相互联系、相互作用。那么,轨道交通产品或系统的可维修性指标的落实,可相对印证该项目的可用性的存在;轨道交通设施设备的安全性指标的提升,就意味着该项目可靠性性能参数的大幅提高。

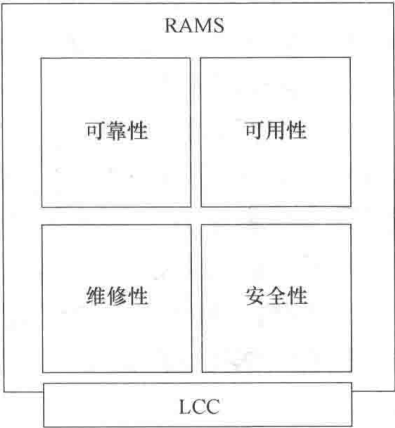


图 1.1-1 轨道交通 RAMS
组成四要素图

(3) 轨道交通 RAMS
四要素相互关系

1) 可用性与可靠性的关系

可靠性对可用性的影响主要表现为当产品、设备与系统发生故障时,无法在规定时刻或时间间隔内完成所要求的功能。因此,设备系统可靠性对其可用性的影响取决于故障状况,而故障状况主要包括故障模式、故障发生概率、故障检测率、故障严重性、故障损害大小等。例如,地铁列车在发生亏电时,使用逆变器应急启动,在 60s 内触发启动单元列车工况。这一设计理念就是对列车可靠性体现,当运行区间发生断电时,就可利用此项功能恢复列车运行状态。

2) 可用性与维修性的关系

产品、设备与系统的维修性,即维修的难易程度,主要通过与维修所需的相关时间量来影响可用性。为提高设备系统的可用性,设备系统既要保持较高的可靠性,还需具有良好的维修性。主要包括提高标准化和互换性、具有防差错识别标记、保证维修安全、关键部件的可修复性、减少维修内容和降低维修技术要求

和符合维修人机工程要求等。例如，地铁列车的控制回路使用模块化设计理念，并将控制模块群安置在列车司机室后背的设备柜中，这既提高了标准化和互换性，又方便了检测和更换，其目的是具备了良好的维修性。

3) 可用性与运行的关系

在整个寿命周期内，产品、设备与系统可用性还可能受到运行模式、寿命期望值、环境条件与人为因素的影响。例如，某地铁1号线使用的列车空调在设计之初并未完全考虑到全线高架线路在南宁炎热夏季条件下的运行工况，结果适逢连续高温日，列车空调根本无法完成降温冷却需求，其可用性和寿命期望值就大打折扣。

(4) 安全性与可靠性的关系

安全性与可靠性有关的因素主要包括：产品、设备与系统存在的危险、危险后果严重性、危险发生概率、发生危险事件的顺序及并发率等。例如，地铁车辆使用的继电器分为电磁式和磁簧式两种，但在某子系统控制回路发生大电流故障时，往往电磁式继电器发生故障的概率要高于磁簧式继电器，其可靠性直接影响到列车排除故障恢复运营的可能与否。

(5) 安全性与可维修性的关系

安全性与可维修性的关系主要表现设备或系统发生故障时对其开展维修工作的状态之下，主要包括维修位置对人体力学的影响、发生维修错误的概率、故障诊断、修复时间与安全控制等。例如，地铁列车气制动单元均在列车底部，但在车厢内独立设置了一个控制气阀，这一设计就是为了在列车发生故障迫停区间的状况下，方便列车司机无需下到隧道内、爬入车底进行气路人工缓解，而只需在车厢就可即时操作，提高了工作效率，提高了安全性。

(6) 安全性与运行维修的关系

影响系统安全性的运行维修因素主要有人的因素、安全设备与规章制度、安全控制与措施等。只有全面考虑系统 RAMS 的