

南宁轨道交通集团有限责任公司

城市轨道交通列车通信与运行控制国家工程实验室


联合发布白皮书

白皮书编号：WP-2019003

# 智能运维等级白皮书

签发时间：2019年12月

签发版本：第一版(V1.0)

签发人：

南宁轨道交通集团有限责任公司隶属于南宁市人民政府领导，负责轨道交通项目的投融资、建设、运营管理；承担与轨道交通相关联的市政工程项目建设；从事轨道交通技术的研发，提供与轨道交通项目建设、运营等相关联的业务设计、咨询、科研及教育培训服务等。

城市轨道交通列车通信与运行控制国家工程实验室由交控科技股份有限公司牵头，采用“政产学研用”协同创新模式，联合北京交通大学、北京市轨道交通建设管理有限公司、北京地铁车辆装备有限公司共同申报，并经国家发改委批复成立的第一个国家级城轨信号系统科技平台。白皮书是国家工程实验室的重大研究成果发布形式之一，旨在为城市轨道交通建设业主方提供决策依据，为设计方提供设计指南，为运营方提供运营维护指导。

《智能运维等级》白皮书，旨在以城市轨道交通列车通信与运行控制设备为研究对象，在我国城市轨道交通设备维护作业内容和流程的框架下，结合 RAMS 规范提出智能运维等级划分原则，总结智能运维的发展路径和智能技术典型应用场景，为行业各单位及相关专业提供参考，共同促进智能运维发展。

对本书有任何问题或建议，欢迎与我们联系。

联系电话：010-52824660；邮箱：whitepaper@bj-tct.com

# 智能运维等级白皮书

## 前言

运维是贯穿城市轨道交通系统全生命周期的关键生产活动。保持高质量的运维，对提高安全服务水平、保证系统稳定运行，控制运维成本有重要作用。近年来，我国城轨交通进入快速发展新时期，运营规模、在建线路长度、规划线路长度逐年屡创新高，可研批复投资额、投资完成额达到历史最高水平。客流强度持续增大、服务要求不断提升、安全压力、运维压力、成本压力等与日俱增、对设备的维修质量及运维管理提出了更高的要求。

在物联网、大数据、人工智能等智能技术不断发展成熟，“智能+”技术体系开始被工业领域和公共领域广泛接纳的时代背景下。应用智能技术全面赋能运维这一重要环节，实现安全服务水平和成本效益的进一步提升，成为城市轨道交通行业发展的必然趋势。为明确城市轨道交通“智能运维”内涵，根据行业智能运维应用现状，结合 RAMS 标准体系研究，以城市轨道交通列车通信与运行控制设备为研究对象，探索智能运维的发展路径和智能技术典型应用场景，为行业各单位提供参考，共同促进智能运维发展，特编制本白皮书。

本白皮书由南宁轨道交通集团有限责任公司和城市轨道交通列车通信与运行控制国家工程实验室组织编写。

本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

**主要编写人：**王江涛、黄伶俐、肖骁、刘超、赖治平、张日新、赵兴东、罗铭、陈寅昊、牛儒

**主要审查人：**郜春海、黄钟晖、唐涛、刘波、牛英明、徐鼎、肖培龙、谭文举、王伟、喻智宏、张世荣、张良、张建明

# 目 录

1.	背景 .....	1
2.	定义及相关说明 .....	2
2.1	轨道交通 RAMS .....	2
2.2	可维修性与运维管理 .....	3
2.3	关键设备 .....	4
2.4	智能运维 .....	4
2.5	在线可更换单元 .....	4
3.	智能运维等级 .....	5
3.1	分级原则 .....	5
3.2	智能运维等级划分 .....	6
4.	智能运维等级详述 .....	6
4.1	GoM0-状态本地监测 .....	7
4.1.1	关键特征 .....	7
4.1.2	状态本地监测 .....	7
4.2	GoM1-智能状态巡视 .....	7
4.2.1	关键特征 .....	7
4.2.2	远程集中监测 .....	7
4.2.3	智能状态巡视 .....	7
4.2.4	智能化效果 .....	8
4.3	GoM2-智能联动管理 .....	9
4.3.1	关键特征 .....	9
4.3.2	智能联动管理 .....	9
4.3.3	运维数据可视化 .....	9
4.3.4	智能化效果 .....	10
4.4	GoM3-智能诊断决策 .....	11
4.4.1	关键特征 .....	11
4.4.2	可靠性数据模型 .....	12
4.4.3	智能诊断决策 .....	12

4.4.4 智能化效果.....	14
4.5 GoM4-智能故障预测.....	14
4.5.1 关键特征.....	15
4.5.2 故障预测健康管理.....	15
4.5.3 运维体系自动运行.....	16
4.5.4 智能化效果.....	17
5. 发展建议.....	18

南宁轨道交通集团有限责任公司—国家工程实验室 (联合发布)

## 1. 背景

我国城市轨道交通在全面拥抱网络化运营时代的同时，客流强度持续增大、服务要求不断提升，安全压力、维修压力、成本压力等与日俱增、对设备的维修质量及运维管理提出了更高的要求。迫切需要利用智能技术手段提升设备维修水平，应对网络化运营挑战，同时开源节流，实现城市轨道交通可持续发展。

当前，移动通信、云计算、物联网、大数据、人工智能等智能技术已逐渐成熟，具备了良好的应用基础。轨道交通车辆、信号、通信、供电等关键系统设备的核心技术均实现了国产化，并正进行智能化升级。技术革新和设备升级为维修水平提升和运维管理智能化发展创造了良好的基础条件。

利用智能技术深度赋能城市轨道交通维修体系，支撑复杂脑力决策、加强安全和服务风险管理能力、深化全生命周期资产运用水平，满足未来社会和交通形态下的乘客出行需求，已成为我国城市轨道交通行业的发展共识。构建符合我国城市轨道交通建设运营实际需求的智能维修技术体系和发展路线，将智能技术与城市轨道交通维修体系深度融合，是整体转型升级的关键。

2002年，我国正式发布《GB/T 21562-2008/IEC 62278-2002:轨道交通可靠性、可用性、可维修性和安全性(RAMS)规范及示例》(以下简称“RAMS规范”)，标志着我国轨道交通行业对欧美RAMS管理体系的认可与接纳，基于RAMS的轨道交通维修体系在全世界得到了广泛认同和应用。

本白皮书参考RAMS规范内容，以城市轨道交通列车通信与运行控制设备为研究对象，在我国城市轨道交通设备维护作业内容和流程的框架下，提出智能运

维等级划分原则，总结智能运维的发展路径和智能技术典型应用场景，为行业各单位及相关专业提供参考，共同促进智能运维发展。

## 2. 定义及相关说明

### 2.1 轨道交通 RAMS

轨道交通实现运输服务的资源的状态、性能和安全直接约束了轨道交通运输的效率和安全性。轨道交通 RAMS 指标反映轨道交通设备故障频率、可用程度和维修难度的统计特性，也可以看作是轨道交通实现运营服务的“置信度”。在设备整个生命周期中，研发制造阶段的元器件选型、结构设计、加工制造等环节决定了设备的固有 RAMS 特性；而运行维护阶段的工作条件、维护水平等因素影响下表现出“后天”RAMS 特性，也称为运营 RAMS 指标。

轨道交通 RAMS 各要素（可靠性、可用性、可维修性和安全性）的相互关系如图 2-1 所示，安全性和可用性都会受到系统的可靠性和可维修性设计、运营条件和维修水平的影响。因此，为了实现运营 RAMS 目标，不仅要求设备达到约定的固有 RAMS 指标，而且需要对系统环境进行持续监控以及对运营维修活动进行科学管理。

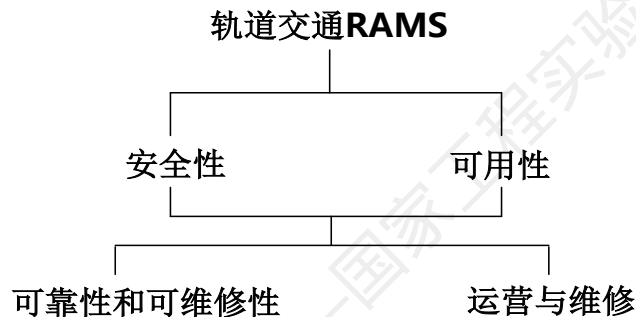


图 2-1 轨道交通 RAMS 各要素间的相互关系

要实现安全性和可用性的目标，需要做好以下基础工作：

- 控制设计因素：做好系统的可靠性和可维修性的设计；
- 控制运营因素：控制好环境条件、人为因素、运营程序、后勤保障；
- 控制维修因素：人为因素、维修程序、服务保障。

## 2.2 可维修性与运维管理

本白皮书主要阐述智能技术通过提升可维修性与运维管理水平，实现提升安全性和可用性目标，以下对可维修性和运维管理进一步说明：

**可维修性**是指在规定的条件下，使用规定的程序和资源进行维修时，对于给定使用条件下的产品在规定的时间内，完成指定的实际维修工作的能力。一般使用平均修复时间（Mean time to repair, MTTR）来进行衡量。

影响系统可用性的可维修性包括：

- 执行预防性维修的时间；
- 故障检测、识别及定位的时间；
- 失效系统的修复时间；
- 系统重启恢复及测试调整的时间。

影响系统安全性的可维修性包括：

- 与安全相关失效模式或危害有关的系统中子系统或其部件维修的方便性；
- 系统安全有关部件在维修工作期间内发生错误的概率；
- 系统恢复到安全状态的时间。

**运维管理**是指轨道交通运营企业依据生产经营目标,为保持或恢复设备规定功能的状态所进行的所有技术和管理工作,包括监督活动。 主要内容包括:

- 维修程序,包括预防性维修和修复性维修;
- 人为因素管理,主要控制对系统安全性和可用性的影响;
- 服务保障管理,包括人员安全措施、能力培训方案要求、备件备品、工具物料、系统运输、包装、搬运和贮存条件、供应商售后服务等。

根据 RAMS 规范,改善可维修性和运维管理,可提高系统的安全性和可用性,进而实现提升运营关键指标的目的。

## 2.3 关键设备

关键设备是指发生硬件故障或软件失效,可能导致人员伤亡、行车中断、列车掉线等后果的运营设备。

## 2.4 智能运维

智能运维,是以关键设备为主要管控对象,围绕设备运维全过程质量控制,采用移动通信、云计算、物联网、大数据、人工智能等智能技术,实现关键系统和设备故障自诊断、远程集中监测、专家系统综合决策、故障预测健康管理等功能的综合智能维修系统,以提高安全服务水平和管理效率,降低劳动强度、技能要求和运维成本。

## 2.5 在线可更换单元

在线可更换单元 (Line Replaceable Unit, LRU)，是指在日常维修过程中，可使用标准工具进行整体更换的模块化产品。

### 3. 智能运维等级

#### 3.1 分级原则

根据 RAMS 规范，故障检测、定位、修复时间，是影响系统可用性的可维修性因素，结合实际运营中维修人员的故障响应时间，故障发生到修复分为以下几个过程，如图 3-1 所示：



图 3-1 故障过程

通过减少故障持续时间实现系统可用性提升是运维管理的主要目标之一，智能运维主要体现在可维修指标及管理效率提升上，按照这一原则，智能运维等级划分为：

➤ **GoM0 级 – 状态本地监测：**以现场设备状态指示，各子系统终端分散监测为主，设备状态巡视及故障检测需要到设备本地完成，工作效率较低，故障持续时间长。

➤ **GoM1 级 – 智能状态巡视：**实时采集并远程集中监测设备状态，对状态数据进行智能分析，以统计结果集中呈现设备故障情况，代替人工巡视及数据分析过程，实现智能状态巡视，大幅缩短**故障检测时间**，可维修性指标得到提高，但仍可能存在故障通知、响应不及时的情况，导致故障持续时间增加。

➤ **GoM2 级 – 智能联动管理：**通过设备与管理系统数据互联、系统故障信

息自动推送给现场维修处置人员移动端，缩短了**故障响应时间**，进一步提高可维修性指标，但故障诊断和恢复仍主要依靠现场维修人员的经验和能力，存在故障不能及时修复的情况。

➤ **GoM3 级 - 智能诊断决策**：通过开发专家系统，实现故障智能诊断定位，并给出合理故障处置建议，缩短了**故障定位和修复时间**，可维修性指标持续提升，人员技能要求降低、运维成本减少。

➤ **GoM4 级 - 智能故障预测**：通过人工智能及大数据技术应用，实现故障预测与健康管理的结合，故障数量及维修工作大幅减少，运维工作以故障预防为主，设备故障和运维成本最大化降低。

### 3.2 智能运维等级划分

根据分级原则，**智能运维等级（Grade of Maintenance）及典型场景**总结如

图 3-2 所示：

智能化等级 Grade of Maintenance	智能运维典型场景								
	状态本地监测	远程集中监测	智能状态巡视	智能联动管理	运维数据可视化	可靠性数据模型	智能诊断决策	故障预测健康管理	运维体系自动运行
GoM 0 状态本地监测	有	无	无	无	无	无	无	无	无
GoM 1 智能状态巡视	有	有	有	无	无	无	无	无	无
GoM2 智能联动管理	有	有	有	有	有	无	无	无	无
GoM3 智能诊断决策	有	有	有	有	有	有	有	无	无
GoM4 智能故障预测	有	有	有	有	有	有	有	有	有

图 3-2 智能运维等级及典型场景

## 4. 智能运维等级详述

## 4.1 GoM0-状态本地监测

### 4.1.1 关键特征

GoM0 的设备状态监测方式是以现场设备状态指示，各子系统终端分散监测为主，状态巡视及故障检测需要到设备本地完成。

### 4.1.2 状态本地监测

需要维修人员在设备本地，通过指示灯、显示屏、子系统工作站，便携式工具、人工检查等方式，巡视设备状态和故障诊断，工作效率低，维修成本较高。

## 4.2 GoM1-智能状态巡视

### 4.2.1 关键特征

系统实现了关键设备远程集中监测及设备状态自动巡视功能，大幅缩短了故障检测和设备巡检的时间，维修成本得到一定优化。

### 4.2.2 远程集中监测

采用多类传感器技术，至少实现关键设备在线可更换单元工作状态监测功能，将采集到的运行状态及报警数据，通过有线或无线网络，发送到远程服务器进行集中存储和可视化呈现，实现系统远程集中监测，并根据实际需要进行多子系统、多专业、多线路的远程集中监测。

### 4.2.3 智能状态巡视

传统集中监测系统虽然实现了状态信息的集中显示，但由于设备数量多，仍然依靠值班人员逐个检查每个设备状态数据，并需要人工分析数据以判断设备状态，对值班人员责任心、专注度、技术水平提出了较高的要求，不仅费时费力，还存在人为遗漏和技能不足导致重大故障未及时发现的的风险。

智能设备巡视系统对各种传感器状态数据进行自动巡视及分析，根据预定判据及数据分析算法判断设备的工作状态，将系统所有设备运行状态巡视结果，以统计形式实时集中在一个页面呈现，代替人工巡视和数据分析过程，大幅降低巡视工作量及数据分析难度，实现设备状态自动巡视功能。发现设备状态运行异常时，才需要查询具体设备的详细状态和报警数据，降低了工作强度和技能要求。

#### **4.2.4 智能化效果**

##### **(1) 系统可用性改善**

故障单元自检测和系统远程集中监测功能，大幅缩短了故障检测时间，设备可维修性提升，使故障能被及时发现及处理，故障整体持续时间缩短，系统可用性提升。

##### **(2) 运维管理改善**

在线可更换单元实现状态自检测，并通过网络传输到监测系统中，自动将运行状态结果以统计形式呈现，维修自动化、智能化程度提升，降低了维修人员的工作强度和技能要求。

##### **(3) 运维成本改善**

通过远程集中监测，不仅节约维修人到达设备现场的时间，还减少所需的巡视人员以及巡视不同设备的时间，运维成本得到优化。

### 4.3 GoM2-智能联动管理

#### 4.3.1 关键特征

建立数据中心，实现设备状态数据与运维管理数据的联通和集中存储，基于设备运行状态自动触发维修工单；移动端可随时获取设备数据及维修信息，实现维修工作闭环管理及效率提升。

#### 4.3.2 智能联动管理

在保证数据安全、有效防护的前提下，通过数据中心实现设备状态数据与维护管理数据的互联和共享。

运维人员通过移动端随时随地查询设备运行状态，高效完成设备状态监测工作，移动端更快发现设备故障隐患，并便捷获取各种技术资料快速处理故障。

根据维修计划、设备实时状态、维修人员排班计划，自动生成计划及故障维修工单，智能推送到正确的现场执行人的移动端，维修人员按照工单开展工作。

#### 4.3.3 运维数据可视化

基于数据中心实现运维关键数据的可视化监测及分析应用，包括故障原因综合分析、运维指标监控等。

##### (1) 故障原因综合分析

实现设备故障数据集中可视化分析功能，根据各专业设备特点实现多维度（故障时间、安装地点、故障现象、故障原因、报警等级、维修人员、设备厂家等）、全周期（设计数据、生产数据、安装数据、测试数据、预防性维护数据、

纠正性维护数据、故障数据、更换数据、返厂修数据、更新改造数据、退役报废等)的数据分析应用。建立故障原因数据分析模型。

## (2) 运维指标监控

对运维指标数据进行可视化集中监测,包括安全指标、可靠性指标、可维修性指标、可用性指标、正点率、兑现率;运营延误数据、计划性维护工单数据、故障维修工单数据、运维成本数据、维修人员、物资工具等各种运维指标相关的数据的可视化监控和主题分析。

### 4.3.4 智能化效果

#### (1) 系统可用性改善

在 GoM1 基础上,通过系统设备与管理系统数据移动互联、系统故障信息自动推送给现场维修人员移动端,缩短了故障响应时间,维修人员通过移动端及时查询设备状态及报警数据,提前判断故障点并做好故障修复准备,可提高系统可用性。

#### (2) 运维管理改善

- 维修人员在移动端随时录入现场工作记录,实现了维修记录数字化;
- 现场维修人员可从移动端访问设备技术资料、维修文档、历史维修工单、故障数据、备件工具等;维修管理人员通过移动端,可快速查看设备及维修执行情况,提高工作效率;移动端数据可有效协助基层和决策层开展工作,数据价值开始展现。
- 故障分析时,可远程访问并下载故障分析所需数据,大幅提升问题解决效率。

➤ 移动端技术支持文件降低了人员要求；移动端记录关键工序数据，规范维修行为，减少了人为因素的影响。管理人员可从移动端随时随地检查现场维修记录，实现闭环管理，提高维修质量，安全和服务指标得到明显提升。

➤ 各种主题的大数据分析应用，协助维修人员深入分析故障原因和管理中的问题，提升设备故障表现，维修管理的质量及效率。

### **(3) 运维成本改善**

➤ 运维管理呈现闭环状态，减少了维修管理工作量，有效降低维修成本。

➤ 基于移动终端、互联网和云计算等技术，通过设备和管理的结合，将原有 GoM1 等级信息孤岛连通，有效减少各部门的沟通工作，数据以可视化报表呈现，大幅减少各种统计汇总工作，管理成本得到优化。

➤ 现场维修过程信息可通过移动端监控，减少信息获取的时间，成本优化。

➤ 生产调度可实时了解维修人员在班情况、任务工单的执行情况；物资管理人员可实时了解各仓库备品备件余量。数量到达报警阈值时，可通过手机移动端接收报警信息，提示物资管理人员及时补充备品备件，减少维修管理工时。

## **4.4 GoM3-智能诊断决策**

### **4.4.1 关键特征**

在 GoM2 级数据基础上，实现轨道交通线网领域内的数据互联与共享，建立关键设备的可靠性模型，并根据实时设备状态对模型进行动态调整。建立轨道交通领域的安全和服务风险模型，实现风险评估数据模型的标准化以及面向全领域的动态风险提示。

建立了关键设施设备的可靠性模型，融合设备工作环境数据、设备运用情况记录和设备状态记录，拟合或修正当前设备失效率，预测设备可靠性变化趋势。

设备技术专家、维修管理专家、数据挖掘专家的经验集成在大数据挖掘模型中，实现系统故障自动定位，故障处置自动建议，自动应急决策建议，数据联通运维体系各环节，运维管理效率及运维指标全面得到提升。

#### 4.4.2 可靠性数据模型

基于 RAMS 规范，影响故障失效或软件功能异常的可靠性数据模型建立，相应影响因素（人为因素、设备因素、环境因素、管理因素）全面数字化、可视化。在设备状态指标发生偏离时，基于可靠性数据模型，可快速分析到与之关联的影响因素，实现故障原因自动诊断。

#### 4.4.3 智能诊断决策

设备技术专家、运维管理专家，数据挖掘专家的经验集成于智能运维系统中，实现故障诊断及运维管理的综合决策。

**设备技术专家**，通过设备故障机理及性能指标，结合设备历史故障、试验及运营数据、梳理出各类设备健康特征、亚健康特征、故障特征，拟合出设备的可靠性曲线及健康模型，并由此初步确定设备健康状态的评估模型；

**运维管理专家**，梳理维修场景，将影响安全、服务质量、维修成本的人为因素、设备数据、物料数据、维修管理（在线、离线、返厂）数据、环境数据

进行关联，根据对安全、服务、成本指标影响程度赋予不同的权重系数，建立相应数据模型。

**数据挖掘专家**，根据不同需求，开发出设备级、系统级、单专业、多专业、线网级设备数据应用及维修管理应用，为运营安全、维修管理和设备管理等提供全生命周期相关的智能监控、智能诊断、决策建议。

系统综合考虑下列因素并集成专家经验，生成并不断优化**维修策略建议**：

- 设备原制造商提供的建议；
- 交通主管部门，上级单位制定的法规、服务或表现必须达到的要求；
- 故障或设备失效的风险或影响，以及修复时间要求；
- 设备的预期有效寿命；
- 设备故障机理；
- 设备可靠性影响因素数据；
- 设备可维修性数据。

根据以上因素，确定维修策略，包括：

- 监测项（性能参数、环境参数）；
- 维修周期（固定周期、固定里程、实时监测）；
- 维修内容（清洁保养、外观检查、状态检查、功能检查、指标测试、局部调整、部件更换、软件优化、数据备份等）；
- 维修项状态标准（健康状态、亚健康状态、故障状态）
- 维修资源要求（人员数量、技能要求、备件、维修工具及设施、耗时、成本）。

系统综合专家经验和设备状态监测、智能诊断结果，给出故障及应急处置建议，指导维修人员完成故障及应急处置，并能根据故障的原因，给出故障纠正措施，并对研发和设计提出改进意见。

根据历史维修数据、故障数据、成本数据、备件供应数据等，自动生成维修预算需求、物流采购需求，大幅提升后勤保障工作效率。

#### 4.4.4 智能化效果

##### (1) 系统可用性改善

在 GoM2 基础上集成专家系统，大幅缩短了故障定位及修复时间。专家系统自动诊断故障原因，形成数据分析报告反馈给设计人员对系统做设计改善，进一步提高系统的可维修性和可靠性，实现系统可用性整体提升。

##### (2) 运维管理改善

系统集成设备技术专家、维修管理专家、数据挖掘专家的经验，并基于大数据分析，提供了合理的维修策略和应急处置建议，大幅降低了维修管理难度。后勤保障数据化、智能化，实现维修各环节的联动，维修管理的各项工作基于数据实现自动连接，维修管理效率大幅提升。

##### (3) 运维成本改善

智能化的维修策略和应急处置建议，减少了不必要的维修工作，并降低了工作难度，维修成本得到了极大的改善。数据联通运维各管理环节，逐步实现数据驱动维修体系自动运行，成本得到了进一步优化。

### 4.5 GoM4-智能故障预测

#### 4.5.1 关键特征

人工智能技术全面应用于运维体系各环节，真正实现了设备故障预测及健康管理，基于历史故障数据积累，关键设备的潜在危害因素和潜在故障得到全面识别和有效管控，安全和服务指标得到了极大保证。

在 GoM3 级运营域数据联通基础上，轨道交通设计、生产、安装、测试、运用、维护、更换、报废等全生命周期、产业链各环节数据也实现互联，形成了以最终用户为核心的产业链数据中心，数据驱动运维单位各环节不断完善并自动运行，并带动产业链上下游单位的生产质量和经营效益的全面提升。

#### 4.5.2 故障预测健康管理

在 GoM3 运营域可靠性数据模型基础上，数据广度延伸到全产业链、全生命周期各阶段，可靠性数据模型的深度和广度进一步扩大，并集成人工智能深度学习等算法，影响设备故障和健康度的因素得到了全面收集，数据模型结合实际故障数据不断验证和完善。

通过人工智能技术的应用和大数据积累，突破了既有的专家经验知识，全产业链、全生命周期的潜在的设备设施运行危害因素和故障得到了监测、诊断、预警、预测，实现了全面可靠的故障预测和健康管理。

在故障预防方面，根据不同设备的可靠性模型和状态监测结果，自动生成预测修计划，现场维修人员根据推荐的维修建议，实施预防保养、性能检测恢复、消耗部件更换、寿命到期更新等不同的维修内容，保证设备处于良好健康状态。

在故障预警方面，在监测到设备处于亚健康时及时预警，根据设备故障可靠性模型和影响因素，自动输出合适的处置建议，使设备及时恢复到健康状态。

在健康状态管理方面，基于实时数据监测及智能评估，定期自动生成设备健康状态报告，并自动推送维修管理人员移动端，全面及时掌握设备状态。

#### 4.5.3 运维体系自动运行

基于可靠性模型及设备健康状态监测，根据设备不同状态（健康、亚健康、故障），自动触发预测修工单及故障修单，包括具体实施步骤，每个步骤的合格标准，引导维修人员按照要求完成维修工作，并自动校核维修后的设备健康状态，验证不合格时及时预警，保证维修质量，最大化减少人为因素。维修完成以后，自动生成维修报告，包括维修人员、时间、地点、设备、维修记录、维修结果、维修用时、维修用料、维修工具、更换部件、维修综合费用。并自动评估维修人员工作效率及质量。基于设备预测性维修和故障修信息，智能预测采购需求（备件、工具、物料），人力需求，更新改造需求、维修资金需求。

用户数据中心定期将设备状态数据、数据分析报告、健康检测报告、维修信息，推送到产业链上下游单位，自动督促相关责任单位反馈设备根本故障原因及改善建议，全面提升系统 RAMS 指标。

受益于产业链中心的建立，预测性计划确定的物料使用需求，以及故障修计划的物料消耗情况，当用户物料库存量定于预设值时，自动触发采购需求订单，供应商单位根据合同提前约定的时间和价格，提前和及时交付物料到用户，大幅降低了用户物料成本。

运维体系的全部工作，包括人员管理、设备管理、物资管理、维修策略管理、现场维修、离线维修、后勤保障、应急管理全面数字化、互联化、智能化，并集成到智能运维系统中，实现工作计划自动触发，自动实施监督，质量自动监控，绩效自动评估。运维体系以数据相互关联，减少不必要的沟通协调工作，按照预定规则流程自动运行。

#### 4.5.4 智能化效果

##### (1) 系统可用性提升

全产业链数据的建立和数据分享，可靠性数据模型全面完善，实现了关键设备的故障预测和健康管理，故障在全产业链各环节进行多维度分析和持续跟踪，系统可用性指标得到全面提升，并随着数据积累持续优化完善。

##### (2) 运维管理改善

运维体系集成在智能运维系统中自动运行，数据联动产业链上下游，数据驱动运维体系不断优化、完善。运维管理体系效率持续提升，运维管理难度持续降低。

##### (3) 运维成本改善

基于人工智能的大数据等运维体系不断成熟完善，全产业链、全生命周期数据驱动管理和成本持续改善优化。自动化和智能化的不断提升，对人员数量及技能要求持续下降，人员成本、维修成本、物料成本、更新成本、运作成本均持续下降。运维单位成本持续减少，经营绩效持续提升。

## 5. 发展建议

需要明确指出的是，“智能”实际上只是应用泛在数据和智能技术的一种赋能手段，“智能运维”的本质仍然是“运维”，其内核仍然是以保障运维安全、优化运营效能、提升服务质量为目标，对全生命周期运维管理水平系统性提升的不懈探索。在开展智能运维技术应用落地过程中，应当始终秉持以下原则和发展方向：

发展智能运维必须重视人的作用。人作为智能的顶端，其作用没有被智能技术替代，而是从部分结构化、重复性、经验性的简单脑力劳动中解放出来，在智能技术的赋能下，得以应对更为复杂挑战和应急处置。应把人作为整个系统的必要一环纳入考虑。加强基于人因工程的人机交互设计，做好“人在系统”的运维场景设计和管理工作。

运维体系全面自动化、智能化是技术发展带来的必然改变，每次技术变革都会带来一部分岗位的减少，但也带来了更多的技术性和挑战性岗位。运维提升安全性、服务品质、降低成本方面的需求不会停息，智能化带来的岗位职能发生变化，除了重视技术应用的岗前培训外，还应面向智能技术运维人员提供职业发展转型升级的路径。

发展智能运维必须结合运维管理体系。智能运维的本质是维修方式和管理理念的革命，智能技术和智能装备提供了一种解决问题的工具，真正产生价值的是适应智能化时代的高效组织架构和高效维修管理体系。从供应商、集成商到用户单位，都有必要从企业自身做起，在开展全面数字化转型的同时，应用与时俱进

的管理理念，提升组织效率，提高维修效能，打造新一轮市场竞争下的核心竞争力。

发展智能运维必须推动行业信息共享。以 5G、物联网、云等为代表的新一代技术，降低了不同专业、不同管理层级的信息沟通成本。信息共享在实践初期往往较难开展，需要克服技术体系建立、业务场景梳理、标准制定、流程再造、设备改造等重重难关，需要行业各界共同努力。应当重视数据发现、数据描述、数据治理、数据存储系列技术架构和通用协议标准规范的制定，推动具备行业共识的标准体系的建立，大幅加快行业信息共享的进程。运营单位可充分发挥体制优势，将智能运维工作列为一把手工程，在做好顶层架构和场景设计的基础上，团结供应商群体，大力推动标杆工程的落地。供应商企业可充分发挥自身技术优势，以本专业核心业务场景为牵引，实现技术能力以点带面的突破。探索基于信息共享的全新商业模式，蕴含巨大的商业潜力，并能够激发信息共享的规模效应，推动智能运维进入生态发展的良性循环。

城市轨道交通还将长期伴随我国的城市发展进程，为了实现以保障安全、提高服务、降低成本、提高质量为核心的可持续发展，须要对轨道交通运营设备开展全生命周期的监控和管理。智能运维作为连接系统全生命周期数据的关键环节，终将以点带面，打通以运营设备为核心的全供应链生产过程，建立城市轨道交通规划设计-建设-运营统一的全产业链信息共享和正向设计反馈体系，实现从设计源头和生产制造源头的质量控制，提升运营风险控制能力，降低全生命周期运营成本，实现城市轨道交通的永续发展。