**05C02车型空调PHM开发需求规格书**

编 制： 秦 敏

审 核： 叶笑冬

批 准： 席雪艳

****上海电气集团股份有限公司中央研究院

2020年5月7日

**目录**

更改记录 3

1 项目概述 4

2 文档说明 4

3 开发范围 4

4 数据条件 4

5 技术要求 5

5.1 系统目标 5

5.2 功能要求 6

5.3 性能要求 8

5.4 接口要求 9

6 测试与联调要求 9

6.1 PHM模型测试 9

6.2 系统联调 9

7 项目验收要求 10

8 项目计划要求 10

9 项目交付要求 10

10 质保要求 11

# 更改记录

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 版本号 | 日期 | 章节 | 更改人 | 更改内容描述 |
| V1.0 | 2020.4.7 | 全部 | 秦敏 | 撰写 |
| V1.1 | 2020.4.29 | 全部 | 秦敏 | 调整文体结构，增加接口、测试联调、项目验收、项目交付和质保等要求 |
| V1.2 | 2020.5.7 | 全部 | 秦敏 | 个别文字表述修改，接口要求修改 |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

# 项目概述

本项目以上海地铁5号线智能维保示范工程为依托，为满足城市轨道交通智能运维与健康管理平台建设要求，同时满足对车辆、供电、信号专业关键设备进行智能监测和智能诊断的要求，现拟对上海地铁5号线05C02车型空调系统进行PHM研究，以实现车辆空调系统智能预测与健康管理，为维保业务提供支撑。本项目空调PHM模型开发委托上海电气中央研究院人工智能及应用研究室总体负责，本文中定义上海电气中央研究院轨交运维产品室为甲方，上海电气中央研究院人工智能及应用研究室为乙方。

# 文档说明

为了使开发工作更加明确，本文档定义了空调系统故障预测与健康管理（PHM）的功能及非功能需求，主要包括PHM开发的范围、现有数据条件、技术要求、调试要求、验收要求等。技术要求描述了空调系统PHM的各项功能要求、性能要求及接口要求等，阐述了各项功能的具体含义及需要实现的功能效果。

# 开发范围

本项目空调PHM开发主要针对1列05C02车型共12台客室空调机组，不包含司机室空调机组。PHM开发输出成果为算法模型。

# 数据条件

上海地铁5 号线05C02车型空调机组数据主要包括原始数据、状态数据和结果数据（故障数据）。原始数据主要为传感器采集的温度、压力、电流等数据，状态数据主要为接触器、开关、风阀等部件的反馈信号，空调控制器根据采集的信号实现空调机组的运行控制，结果数据则为空调控制器自诊断产生的诊断数据及告警数据。空调控制系统包含但不限于以下数据：

1. 控制指令：空调模式控制指令、空调温度设置调整指令、压缩机启动指令等；
2. 原始信号：压缩机电流、压缩机吸入压力、新风温度、回风温度、送风温度、客室温度、冷凝器温度、蒸发器温度等；
3. 状态信号：空调机组工作模式、风阀打开/关闭状态、压缩机运行状态、冷凝风机运行状态、通风机高速/低速运行状态、接触器/开关动作状态等；
4. 诊断数据：主电源故障、变频器欠压锁定、变频器过流、系统排气温度过高、压缩机马保保护、吸气温度失效等；
5. 告警数据：压缩机高压故障、冷凝风机故障、通风机故障、温度传感器故障、变频器故障、风阀故障、紧急逆变器故障等；

整车空调控制系统与车辆TCMS网络和维护以太网进行通讯，空调机组接收来自TCMS网络发送的控制指令，同时将状态信息和故障数据发送给TCMS和维护以太网，空调数据再通过维护以太网中的车地无线传输系统传输落地至地面服务器。

目前部分空调数据已通过上述路径实现落地，为进一步满足空调PHM项点开发需求，拟对1列05C02型列车空调软件进行升级，同时调整车地无线传输策略，增加落地数据量，确保数据完整可用。该计划已纳入新车改造项目，将结合新车改造逐步推进，统一完成。

空调PHM开发工作需要大量数据支撑，开发前期需要足够的历史数据做探索性分析，开发后期完成算法模型需要接入数据（模拟数据）验证优化，空调故障预测与健康管理系统上线后需要接入真实数据投入使用。整个开发过程将与空调供应商积极配合，由空调供应商提供完整足量的数据。

# 技术要求

## 系统目标

空调故障预测与健康管理系统（PHM）利用05C02车型空调机组现有监测数据（原始数据、状态数据）、结果数据（故障数据），在车载空调既有控制自诊断系统功能的基础上进一步发掘，通过数据分析、机理分析开发新的功能项点，结合空调部件实际信号监测、数据采集情况，确定PHM开发层级，总体形成包含告警、预警、健康评估、寿命预测的空调机组故障预测与健康管理系统。空调PHM开发预计达到以下系统目标：

1. 通过数据分析、机理分析找出空调系统主要传感器数据采集的变化规律，在不额外加装传感器的情况下，实现传感器类故障自诊断，发现异常，及时给出告警信息；
2. 分析主要部件电流、电压、系统压力变化趋势，通过故障关联性分析，找出潜在规律，在故障前期发现异常，给出预警信息；
3. 针对设计使用寿命以动作次数进行衡量的关键部件，利用统计分析方法，计算剩余使用寿命，作为维护人员维修决策的参考依据之一；
4. 结合原始数据、状态数据、结果数据（故障数据）建立算法模型，从不同维度对空调机组整体运行状态进行综合评价，实现系统级健康评估。

## 功能要求

空调故障预测与健康管理系统在既有空调自诊断系统功能的基础上，开发新的功能项点，应实现包括故障告警、预警、健康评估、寿命预测等功能：

1. **故障告警**

深度分析空调机组既有控制系统故障告警条件和告警规则，基于现有数据条件，可通过优化告警规则，进一步完善告警条件，提升告警准确率，降低漏报率。通过整车空调机组数据对比分析，发掘新的告警项点。优化或新增告警包括但不限于以下项点：

表5.2-1 告警项点

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **告警项点** | **优化/新增** | **备注** |
| 1 | 新风温度传感器故障 | 优化 | 1个 |
| 2 | 回风温度传感器故障 | 优化 | 1个 |
| 3 | 送风温度传感器故障 | 新增 | 2个 |
| 4 | 客室温度传感器故障 | 新增 | 1个 |
| 5 | 蒸发器温度传感器故障 | 新增 | 2个 |
| 6 | 冷凝器温度传感器故障 | 新增 | 2个 |
| 7 | 吸气温度传感器故障 | 新增 | 2个 |
| 8 | 排气温度传感器故障 | 新增 | 2个 |

新增或优化后的温度传感器故障能够识别温度传感器漂移引起的温度检测误差，在一定检测误差范围之内给出告警信息，避免温度检测异常导致空调系统不工作或持续工作无法停止。

1. **故障预警**

基于原始数据分析空调机组关键技术参数的变化趋势，基于状态数据结合时间轴分析关键部件的性能劣化趋势，实现系统级或部件级故障预警。故障预警包括但不限于以下项点：

表4.2-2 预警项点

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **预警项点** | **层级** | **备注** |
| 1 | 新风阀/回风阀动作异常预警 | 部件级 |  |
| 2 | 系统高压预警 | 系统级 |  |
| 3 | 制冷剂泄漏预警 | 系统级 |  |
| 4 | 制冷效果不佳预警 | 系统级 |  |
| 5 | 制冷过冷预警 | 系统级 |  |
| 6 | 制热效果不佳预警 | 系统级 |  |
| 7 | 制热过热预警 | 系统级 |  |

1. **健康评估**

基于空调系统采集的原始数据、状态数据和结果数据（故障数据），通过数据分析、统计分析、关联性分析建立算法模型，从不同维度对空调机组整体运行状态进行综合评价，实现系统级健康评估。健康评估划分为不同等级，能够充分体现空调机组运行状况和健康程度，健康等级划分需有清晰的依据，并能够提供检修指导意见，例如不同的健康评估等级对应不同的关注度或检查频次，检修人员根据检修指导意见可以提前调整生产安排或优化修程修志，从而起到降本增效的作用。

1. **寿命预测**

基于空调系统采集的数据，充分发掘部件寿命预测的可能性。空调控制回路的主要接触器均有监测相应的反馈信号，可利用统计分析的方法，结合列车运行公里数或使用时间计算已经动作的次数，再根据接触器的设计使用寿命，计算剩余使用寿命。在列车大修或架修时，维修人员可根据计算结果，制定更换标准，从而降低总体维修成本。寿命预测包含但不限于以下部件：

表4.2-3 寿命预测主要部件

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **部件符号** | **部件名称** | **序号** | **部件符号** | **部件名称** |
| 1 | KM15 | 冷凝风机11接触器 | 9 | KM25 | 冷凝风机21接触器 |
| 2 | KM16 | 冷凝风机12接触器 | 10 | KM26 | 冷凝风机22接触器 |
| 3 | KM10 | 机组1正常通风主电源接触器 | 11 | KM20 | 机组2正常通风主电源接触器 |
| 4 | KEM10 | 机组1紧急通风主电源接触器 | 12 | KEM20 | 机组2紧急通风主电源接触器 |
| 5 | KM11 | 通风机11高速运行接触器 | 13 | KM21 | 通风机21高速运行接触器 |
| 6 | KM12 | 通风机11低速运行接触器 | 14 | KM22 | 通风机21低速运行接触器 |
| 7 | KM13 | 通风机12高速运行接触器 | 15 | KM23 | 通风机22高速运行接触器 |
| 8 | KM14 | 通风机12低速运行接触器 | 16 | KM24 | 通风机22低速运行接触器 |

## 性能要求

空调PHM开发实现的效果根据不同功能要求使用不同的评价指标，本项目告警和预警功能对准确率和漏报率均有要求，健康评估和寿命预测只需满足准确率要求即可。PHM模块应满足以下性能要求：

表5.3-1 PHM模块性能指标

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **功能** | **准确率** | **漏报率** |
| 1 | 告警 | ≥98% | ≤2% |
| 2 | 预警 | ≥90% | ≤5% |
| 3 | 健康评估 | ≥90% | / |
| 4 | 寿命预测 | ≥90% | / |

## 接口要求

PHM模型开发应满足与智能监控与健康管理系统对接的要求，乙方应在空调PHM设计方案中制定接口方案，充分考虑本项目后期PHM模型与智能监控与健康管理系统的接口要求，明确PHM模型数据输出形式和范围。建议系统形成PHM模型库，PHM模型库应考虑后期项目扩展的需求，如增加新的PHM模块，同时考虑PHM模型实例化可复制的要求，如实现多列车空调系统的故障预测与健康管理。

# 测试与联调要求

## PHM模型测试

每个PHM模型开发完成后，在现场数据不充分的前提下，乙方可使用甲方认可的模拟数据对模型进行验证，评估模型性能，并形成相应的测试报告，证明模型的性能符合性能指标要求。如性能未达要求，应检查模型开发存在的问题，及时调整技术路线，确保项目按时推进。同时后期模型部署应不断在线优化。

## 系统联调

系统联调主要包括PHM模型与智能监控与健康管理系统的联合调试。乙方在系统联调前应制定系统联调技术方案（含测试项目、测试方法、测试环境），在联调7个工作日前提交甲方审核，并根据审核意见完成修改后方能开展系统联调测试，最终形成测试报告。

如PHM模型或接口存在问题，乙方应根据测试反馈结果，与其它软件团队共同查找问题所在，并提出相应的解决方案。

系统联调还包括智能监控与健康管理系统与智能运维与健康管理平台的联合调试，乙方应积极配合提供技术支持。

# 项目验收要求

联调结束后可组织项目验收，乙方应在7个工作日前提供验收方案，并得到甲方的审批后方可实施。项目验收主要为了确认系统是否达到设计文件及标准要求，是否满足空调PHM的应用要求。验收过程应有验收记录表，最终形成项目验收报告。

# 项目计划要求

本项目乙方应按照甲方制定的时程计划推进项目执行，按时完成项目各节点任务，如有延期，须及时向甲方提交延期申请并说明情况，经甲方允许后可适当调整工期，项目计划如下表所示：

表8-1 空调PHM开发时程计划

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **事项** | **计划开始时间** | **计划完成时间** |
| 1 | 技术需求书编制 | 2020/4/7 | 2020/4/29 |
| 2 | 技术规格书编制 | 2020/4/20 | 2020/5/15 |
| 3 | 合同签署 | 2020/5/29 | 2020/6/5 |
| 4 | 机理研究 | 2020/4/13 | 2020/6/12 |
| 5 | 提供机理规则 | 2020/6/15 | 2020/6/26 |
| 6 | 建立模型 | 2020/6/15 | 2020/8/14 |
| 7 | 车辆数据接入 | 2020/8/21 | 2020/8/21 |
| 8 | 模型评估 | 2020/8/17 | 2020/9/18 |
| 9 | 算法与软件接口 | 2020/9/21 | 2020/10/16 |
| 10 | 现场测试与联调 | 2020/10/28 | 2020/10/30 |
| 11 | 验收 | 2020/11/6 | 2020/11/6 |

# 项目交付要求

本项目从方案设计、模型开发、测试联调到项目验收，乙方应在不同阶段提供相应的成果输出，输出成果应符合甲方的要求并得到甲方认可，如有歧义，乙方应根据甲方要求及时更改或更正，确保项目顺利推进。项目结题后，乙方应交付但不限于以下内容：

表9-1 项目交付项

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 交付内容 | 备注 |
| 1 | 项目设计方案 |  |
| 2 | 系统告警模型算法源码 |  |
| 3 | 系统预警模型算法源码 |  |
| 4 | 系统健康评估模型算法源码 |  |
| 5 | 系统寿命预测模型算法源代码 |  |
| 6 | 项目验收方案 |  |
| 7 | 项目验收报告 |  |
| 8 | 项目总结报告 |  |

# 质保要求

本项目乙方应提供为期2年的质保服务，自项目验收合格之日起计算。质保期间乙方应免费提供技术服务，如指导PHM模型的迭代优化。乙方应承诺在质保期后继续为系统提供技术支持，如甲方有系统扩展需求，乙方应提供相应的技术支持。