

# 仪表设备完整性建设中的实践应用

金文军（中国石化镇海炼化分公司，浙江 宁波 315202）

**摘要：**本文介绍某公司仪表部门设备完整性体系建设，在技术工具应用策划、信息系统构建上取得的成果。技术工具应用方面，该部门采用系统辨识、智能仪表和计量健康管理平台（简称 SIMCP）系统等工具提升仪表专业预防性检修水平。通过完善已有实时数据库（PI）系统、财务共享系统（ERS）系统、设备管理系统（EM）系统等之间的数据接口，完成信息系统地构建，以此提升业务流程执行效率，降低人员数据统计等工作量，提升仪表专业设备管理水平。

**关键词：**信息化；数学模型；数据接口

根据《中国石化炼化企业设备完整性管理体系管理要求 V1.0》和《中国石化炼化企业设备完整性管理体系实施方案》和国家相关标准、规范，结合某公司设备管理实际，构建与设备专业化一级管理相适应，基于风险理念、系统化管理、持续改进的全生命周期设备完整性管理体系。将某公司以往优秀的设备管理实践融入到设备完整性管理体系实践中。

通过技术方法的集成应用、设备完整性管理信息系统的建设，进一步规范公司仪表专业管理，以专业为主线，以技术为支撑，依托风险管理技术，提升管理水平和效能，保障装置安全、高效、长周期运行<sup>[1]</sup>。

### 1 技术工具应用

#### 1.1 系统辨识应用

化工装置大部分设备特性与一阶对象即相似 $\frac{K}{TS+1}$ <sup>[2]</sup>，换热器、塔等设备根据其滞后特性还应有延时即 $\frac{K}{TS+1}e^{-\tau s}$ 。可以通过系统辨识工具，根据设备输入、输出数据，对化工设备进行特性识别，将设备辨识为数学模型，预测在既定输入下的输出。当预测输出与实际测量值偏差较大时，产生报警推送至操作人员。

对于仪表专业而言，将控制阀进行辨识，得出控制阀的系统模型，可预测在既定 OP 下的操作变量。与工艺设备不同，控制阀因盘根老化、定位器优化等问题，往往存在超调现象，此时需使用二阶欠阻尼模型辨识。

对于仪表专业而言，将控制阀进行辨识，得出控制阀的系统模型，可预测在既定 OP 下的操作变量。与工艺设备不同，控制阀因盘根老化、定位器优化等问题，往往存在超调现象，此时需使用二阶欠阻尼模型辨识。

##### 1.1.1 信号滤波

滤波是将信号中特定波段频率滤除的操作，是抑制和防止干扰的一项重要措施。

根据不同对象特性有不同滤波方法如表 1，对于常规现场仪表测量信号可采用一阶低通滤波器。其他信号如本特利轴系仪表信号，在 3500 系统中设置有带通滤波，可抑制低频和高频信号干扰。

信号滤波时需注意避免重复滤波，如 PKS 系统 DACA 模块中设置有滤波选项（LAG TIME），根据 Knowledge Builder 释义，PKS 系统的滤波即在 PV 值上叠加一阶传递函数进行滤波。同时需避免过度滤波，过度滤波会导致测量信号失真，如图 1，滤波（滤波时间为 10S）后

的信号已偏离实际 PV 值。由此可见，信号滤波需确保滤波后信号与原信号趋势一致的同时，尽可能消除信号中叠加的干扰信号<sup>[3]</sup>。

表 1 滤波方式

| 类型   | G(s)                                                        | G(ω)                                                                                     |
|------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| 一阶低通 | $\frac{\omega_c}{s + \omega_c}$                             | $\frac{\omega_c}{\sqrt{\omega^2 + \omega_c^2}}$                                          |
| 一阶高通 | $\frac{s}{s + \omega_c}$                                    | $\frac{\omega}{\sqrt{\omega^2 + \omega_c^2}}$                                            |
| 二阶低通 | $\frac{\omega_n^2}{s^2 + \xi\omega_n s + \omega_n^2}$       | $\frac{\omega_n^2}{\sqrt{(\omega_n^2 - \omega^2)^2 + (\xi\omega\omega_n)^2}}$            |
| 二阶高通 | $\frac{s^2}{s^2 + \xi\omega_n s + \omega_n^2}$              | $\frac{\omega^2}{\sqrt{(\omega_n^2 - \omega^2)^2 + (\xi\omega\omega_n)^2}}$              |
| 二阶带通 | $\frac{\xi\omega_n s}{s^2 + \xi\omega_n s + \omega_n^2}$    | $\frac{\xi\omega\omega_n}{\sqrt{(\omega_n^2 - \omega^2)^2 + (\xi\omega\omega_n)^2}}$     |
| 二阶带阻 | $\frac{s^2 + \omega_0^2}{s^2 + \xi\omega_n s + \omega_n^2}$ | $\frac{\omega_0^2 - \omega^2}{\sqrt{(\omega_n^2 - \omega^2)^2 + (\xi\omega\omega_n)^2}}$ |

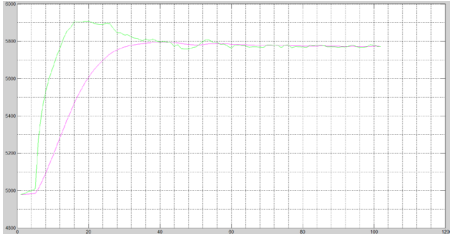


图 1 信号滤波、绿线 - 测量信号、红线 - 滤波后信号

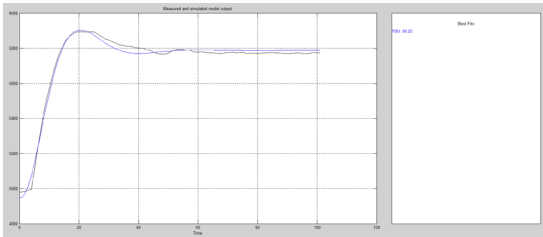


图 2 辨识结果、黑线 - 实际流量变化、蓝线 - 辨识模型流量变化

##### 1.1.2 应用实例

本文以 BA103 裂解炉第一组 DS 蒸汽流量调节阀 FV03041 为例，对控制阀模型进行辨识。在 BA103 投料期间，控制器置手动后将 OP 由 61.76% 改为 64.76%，给出 3% 的阶跃信号，流量相应由 4978kg/h 提升到 5772kg/h。因控制阀存在超调，其特性与二阶欠阻尼类

似（无超调现象的可辨识为一阶对象），辨识结果如式 1、图 2，辨识准确度为 90.25。

$$G(S) = \frac{89.3}{1 + 5.6S + 28.2S^2} \quad (\text{式 } 1)$$

将（式 1）离散后得到差分方程，通过流量值反推阀位，流量为 5772kg/h 时预测的阀位值为 64.96%，同时反推计算得到阀位最高点在 65.2%，即阀位超调了 0.5%，可见在测试数据范围内，模型预测值准确度较高。实际应用中，应在常用控制点附近做阶跃测试，以获取高准确度的阀位预测。

系统辨识需在被测对象上叠加阶跃干扰，阶跃信号越大，模型辨识结果越准确，适用范围越广。辨识得到的时域模型在测试数据范围内准确度较高，在测试数据范围以外，准确度会有所降低。其余模型如非线性、多项式只对测试范围数据有效且精度高，测试数据范围以外参考性较低，当常用控制点变化不超出这一区间时，可以采用这几种模型辨识。

### 1.1.3 神经网络模型应用

人工神经网络是对人脑或生物神经网络若干基本特性的抽象和模拟。为机器学习等许多问题的研究提供了一条新的思路，目前该公司利用历史运行数据和神经网络模型在控制阀健康程度预测等数据挖掘等方面获得成功应用。

根据设备对象实例需选择不同种类的样本集用于建立数学模型，主要为单个输入条件单个输出结果、多个输入条件单个输出结果、多个输入条件多个输出结果。如某控制阀有阀前压力、阀后压力、介质温度，需根据 DCS OP 值预测控制阀调节后的流量，该控制阀即为多入单出型。部分控制阀无阀前后压力测量仪表，也无介质温度测量表，可选择为单入单出型，即仅通过 DCS OP 来预测。由此得到的数学模型，可作为标准算法服务，用于类型相似阀门的模型训练。

化工装置控制阀通常控制在某个固定范围附近，样本分布极不均匀，因此需对输入数据进行平衡处理，保证模型尽可能充分拟合实际控制阀。

神经网络模型的建立需兼顾精度与适用性，即模型迭代次数不宜过多，通常选择迭代 100 次左右，模型精度可达到 95% 并能在最大范围内适用。某装置反应器进料调节阀无阀前后压力、介质温度测量，选择算法服务为通过 OP 预测流量，预测精度达到 98%。

## 1.2 健康管理平台应用

SIMCP 平台采用 C/S 结构，服务器端从实时数据库采集，根据装置重要性、仪表设备重要程度将监控信号分类，制定不同报警规则，以短信形式推送报警信息至对应维护人员手机。

### 1.2.1 背景

随着公司生产装置不断增加，安全环保要求的不断提高，仪表设备越来越多，分布的区域也更加宽广，但仪表维护和管理人员逐步减少。仪表部门通过制定巡检

制度和作业管理制度以此加强对仪表机柜间巡视和管理，但是在实际执行过程中，仍有不足之处难以解决，主要存在以下问题：

#### 1.2.1.1 巡检工作量大

班组人员每日对仪表机柜间进行巡检，需要检查机柜间内安装的各类控制系统控制器、卡件的运行状态、24V 直流电源的运行状态等多项内容。

#### 1.2.1.2 巡检问题不全面

仪表设备分布在全厂的角角落落，因巡检工作量大，有时候会出现疲于应付的情况，并且其他时间段设备出现问题，可能无法及时发现；不同巡检人员的水平、经验和检查标准存在差异。

为了有效地监控机柜间内仪表设备和控制系统的运行状态，及时发现设备存在的隐患和问题并进行处理，仪表部门转变观念，改变以前严防死守的管理策略，建设实时监控公司各类控制系统以及机柜间各类重要设备运行状况的仪表可靠性健康管理平台，将控制系及电源、机柜间内温湿度、伴热仪表温度、重要阀门阀位偏差等信号引入系统中进行监控和报警，向预防性维修和可知维修迈进。

#### 1.2.2 应用成果

SIMCP 包括仪表的报警管理、仪表统计分析、仪表故障预测性维护、仪表维护的远程协同、仪表知识库管理、仪表设备的定位管理、仪表设备综合看板。仪表智能综合管理系统是基于工业互联网平台的各个应用层的集合。形成基于工业互联网平台的仪表预测性维护、仪表远程协同、仪表定位管理等创新应用。通过该系统的建设，可以为仪表管理者提供仪表信息的在线智能查询、智能分析、可视化展示、预测性维护、实时定位、仪表知识库管理等。使各级仪表设备管理者可以运用信息化手段规范现有的业务管理、提高管理效率，实现生产管理的信息化、智能化。

目前，SIMCP 系统已建设完成，对现场在役装置已完成报警监控，如图 3。模块绿色为正常，黄色为有报警确认后未恢复，红色为有报警。SIMCP 系统报警查看方式为穿透式，即可双击装置模块，进入查看具体报警点，也可以通过以一览表方式查看现有报警。



图 3 SIMCP 监控总图

如卡件出现故障报警，对应装置模块显示红色，可穿透到具体故障卡件，从而第一时间了解故障的具体位置以及故障情况。监控画面一比一还原实际物理卡件，

可直接获取通道信息及现场设备台账，为风险识别提供便利（如图4）。

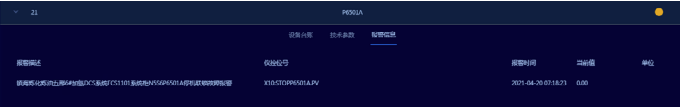


图4 控制系统报警

报警信息推送（如图5），对故障判断和处理的有效性有极大裨益。如系统推送某装置AO卡件软故障报警，技术人员根据报警信息判断为该装置某台减温水阀定位器回路存在短路开路现象，但因减温水流量下降量较小，故工艺人员未发现减温水阀问题。根据故障问题，及时检查定位器回路，避免因阀门误动作导致的非计划停车。



图5 系统报警推送

1.2.3 向现场延伸

SIMCP系统建立初衷在于监控各类控制系统报警，后续应用中不断向现场仪表拓展，增加了重要阀门偏差报警、保温箱内仪表温度监控、高温场合仪表温度监控、气报仪零飘报警、环保仪表及质量分析仪异常报警等，监控点数量持续增加，进一步降低维护人员巡检工作量。

为加强仪表保温伴热监控，降低维护人员巡检工作量，仪表部门将仪表保温箱内智能变送器温度信号通过HART引入DCS实时监控，并在SIMCP中设置高、低温报警。目前，公司所有在用装置仪表已完成伴热监控。未安装在保温箱仪表、法兰仪表的膜盒等伴热温度，无法用变送器电子部件温度表征，利用无线泵群监测系统，采用同品牌无线温变，将温度信号上传至DCS后接引至DCS和SIMCP平台监控、报警。

部分仪表安装在高温场合，如裂解炉COT温度变送器所处环境温度较高，温变旁的带叉椎体处因需防止出现裂缝而无保温，大于800℃的炉管裸露在外（散热后带叉椎体表面温度在200多℃），夏季环境可达到60℃。为防高温影响，在带叉椎体靠变送器侧用铝板隔热，避免直接热辐射至温变。隔热铝板在裂解炉运行期间若脱落，将导致温变环境温度可能达到70℃，对温变造成严重干扰。为此需要对COT温变环境温度进行监测如表2，并在SIMCP系统中设置高温报警，及时发现隔热铝板脱落，提高温变运行可靠性。

表2 COT温变环境温度监测

| 裂解炉温度变送器温度显示（环境温度：小于65度） |          |     |    |          |     |    |          |
|--------------------------|----------|-----|----|----------|-----|----|----------|
| 序号                       | 仪表位号     | 温度℃ | 序号 | 仪表位号     | 温度℃ | 序号 | 仪表位号     |
| 26                       | TT01014A |     | 51 | TT02014A |     | 76 | TT03014A |
| 27                       | TT01014B |     | 52 | TT02014B |     | 77 | TT03014B |
| 28                       | TT01014C |     | 53 | TT02014C |     | 78 | TT03014C |
| 29                       | TT01014D |     | 54 | TT02014D |     | 79 | TT03014D |
| 30                       | TT01014E |     | 55 | TT02014E |     | 80 | TT03014E |
| 31                       | TT01014F |     | 56 | TT02014F |     | 81 | TT03014F |

为避免因程控阀开关超时导致的生产异常，加强预防性维护，将程控阀开关时间在PI中，并列入SIMCP系统中，超时推送报警信息至相关人员手机，及时采取预防性检修措施。

2 信息化

某公司对关键绩效指标（KPI）指标和定时事务采取信息化措施，开发完善EM、ERS、PI等已有系统功能及数据接口，最终实现自动提取数据、自动生成报表、自动触发提醒，避免仪表人员重复的数据统计，降低工作量。

2.1 KPI 指标信息化

总部48个KPI指标中，仪表专业有6项指标，除故障强度外的5项指标需要实现自动取数。为实现KPI指标各项数据自动获取，需对已有的EM、数采系统等进行完善，开发数据接口。

表3 仪表专业KPI指标

| 序号 | 指标名称            | 专业 | 公式                                                                                | 业务规则                                                                                             |
|----|-----------------|----|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 自控率             | 仪表 | $\frac{[\text{投自动的控制回路数} / (\text{总控制回路数} - \text{不参与统计的控制回路数})] \times 100\%}{}$ | 从实时数采系统中采集自控回路投用状态进行统计。总控制回路数、不参与统计的控制回路数按照《炼化企业装置自控提升管理要求》中国石化炼设函〔2018〕144号进行统计。                |
| 2  | 联锁投用率           | 仪表 | $\frac{\text{（投用的联锁回路数} / \text{联锁系统总回路数）} \times 100\%}{}$                       | 直接从数采系统读取联锁投用率结果（联锁回路旁路按钮状态采至数采平台，联锁总回路为定时更新的常量，即监控联锁回路数量）。                                      |
| 3  | 百个控制回路控制系统报警次数  | 仪表 | $\frac{\text{（控制系统的系统报警次数} / \text{装置控制回路数）} \times 100}{}$                       | 从数采系统读取控制系统报警统计结果（目前人工取数）。                                                                       |
| 4  | 百个控制回路控制阀下线维修次数 | 仪表 | $\frac{\text{（控制阀下线维修次数} / \text{装置控制回路数）} \times 100}{}$                         | EM系统取数：（目前无法通过现有字段辨识下线维修）；设备类别属110201、110202，通知单-故障记录-措施-项目的活动（作业）代码有选择A599的M1+M2通知单数。           |
| 5  | 仪表故障率           | 仪表 | $\frac{\text{（仪表故障总台件数} / \text{仪表总台件数）} \times 100\%}{}$                         | EM系统取数：仪表总台件数：统计EM中设备台账类别为1101~1110（不包含1103、1104）大类台件总数（即仪表设备除去控制系统及附件），仪表故障总台件数：统计范围内的设备M2通知单数。 |
| 6  | 故障强度扣分          | 仪表 | 各专业设备四类及以上故障扣分之                                                                   | 人工取数                                                                                             |

2.1.1 联锁投用率

根据总部对联锁投用率定义，联锁总回路为定时更



仪表技术员、班组只需完善 EM 台账而不用再人工调整检查确认表。业务流程的自动发起后,设备完整性平台可依据计划员组从 EM 系统自动提取该检查确认表,自动流转至班组、技术员,具体参照该部门《三防和防凝工作管理细则》执行。

### 3 结论

仪表专业设备完整性体系建设,在完善体系文件的同时应注重技术工具的创新,提升仪表专业在预防性维护上的管理和操作水平,提高仪表运行可靠性。在信息系统建设上,应充分考虑仪表专业管理业务流程的优化和各项数据的自动统计,将仪表人员从日常琐碎中解脱出来,把精力投入到仪表设备可靠性提升上,提升仪表(上接第 82 页)因子、管道内介质平均温度及管道运行最大气体流速等),由于管道运行时间较长,难免会因人为因素造成数据的丢失或误差。在选取管道的运行参数时应保证数据的可靠性和准确性。

#### 3.4 管道高程剖面图

管道剖面图的精准度对评价非常重要,国外一般采用高精度 GPS 进行测量,因此在绘制过程中使用高精度仪器测量,同时结合管道建设工程资料准确识别区段目标管道沿线所有倾角,这将会直接影响到评价结果的因素之一。在云南地区管道的剖面识别工作量较大,也是必须需要开展的工作之一。

#### 3.5 后评价腐蚀模型

后评价阶段腐蚀速率模型是作为预测下次开展直接评价的重要依据,同时预测目标管道在产生腐蚀情况下的腐蚀深度。可通过对所建立的腐蚀速率模型进行不确定因素的定量分析。结合实验室数据来保障其精准度。

### 4 结论

通过对云南地区管道情况分析,ICDA 对云南地区那些不适宜或基于管道本身因素造成无法开展内腐蚀评价的管道具有一定的可靠性,也是目前行之有效的方法之一。不仅能可以减少管道企业在后期内检测方面成本的投入,还能提前识别管道内腐蚀高风险点,为管道安全运行管理提供支持。提高管道企业对管道内腐蚀预防性管理和管道运行维护管理水平,确保输气管道安全运行。

#### 参考文献:

- [1] 高强,罗鹏等.干气管道内腐蚀直接评价方法与应用[J].油气储运,2011,30(12):913-916.
- [2] 梁军营等.长输干燥天然气管道内腐蚀的直接评价技术[J].石油化工腐蚀与防护,2013,30(6).
- [3] 中国石油管道公司张一玲中国石油管道研究中心刘玲莉中国石油管道公司全国腐蚀大会罗鹏,陈洪源,张一玲,等.长输天然气管道内腐蚀直接评价[C]//第五届全国腐蚀大会论文集,2009.
- [4] 张一玲,罗鹏等.国外天然气管道内腐蚀直接评价案例分析[J].油气储运,2010,29(2):137-140.
- [5] 赵雪芬,姚安林,赵忠刚,等.输气管道内腐蚀直接评

专业设备管理水平,保障装置安全、高效、长周期运行。

#### 参考文献:

- [1] 石帅,胡军,夏向阳.石油化工企业设备完整性管理[J].化工管理,2021(07).
  - [2] 方崇智,肖德元.过程数学模型的建立方法[J].自动化与仪器仪表,1984(1).
  - [3] 王少勇,张继锋.石油化工自动化仪表标准化检修[J].化工管理,2019(8).
- 作者简介:**  
金文军(1981-),男,汉族,浙江宁海人,大学本科学历,工程师,研究方向:自动化专业,仪表专业设备管理。
- [4] 价法[J].焊管,2006,29(2):69-72.
  - [6] 中国石油管道公司.油气管道完整性管理技术[M].北京:石油工业出版社,2010.
  - [7] 胡铁华,郭静波.油气管道内检测新技术与装备的开发及应用[J].天然气工业,2019(01).
  - [8] 帅健,张春娥,陈福来.腐蚀管道剩余强度评价方法的对比研究[J].天然气工业,2006(11).
  - [9] 于刚,杜京蔚,杜树勋.三维高清漏磁内检测技术在天然气长输管道上的应用[J].油气田地面工程,2017(04).
  - [10] 鲍庆军,帅健.油气管道内检测技术研究进展[J].当代化工,2017(02).
  - [11] 杨理践,耿浩,高松巍.长输油气管道漏磁内检测技术[J].仪器仪表学报,2016(08).
  - [12] 郑伟,帅健,郑贤斌.埋地长输管道腐蚀状况检测技术[J].石油化工设备,2007(06).
  - [13] 龙媛媛,王遂平,刘瑾,石仁委,柳言国.油气长输管道腐蚀检测评估技术研究与应用[J].石油工程建设,2011(06).
  - [14] 罗会久,孙斌,陈彬.管道内检测腐蚀缺陷判别方法的研究[J].科技信息,2013(08).
  - [15] 林现喜,杨勇,裴存锋,杨佃强,张克政.油气长输管道内检测周期预测方法[J].油气田地面工程,2018(05).
  - [16] 刘刚.天然气长输管道应急管理思考与探讨[J].当代化工研究,2017(02).
  - [17] Internal Corrosion Direct Assessment Methodology for Pipelines Carrying Normally Dry Natural Gas. NACE SP0206. 2006
  - [18] Internal corrosion direct assessment methodology for liquid petroleum pipelines. Moghissi O, Sun W, Mendez C, et al. Corrosion. 2007
  - [19] Facilitating internal corrosion direct assessment using advanced flow and corrosion prediction models. Lagad V, Srinivasan S, Kane R. Corrosion. 2008
  - [20] McKay JS Biagiotti Jr, SF, Hen dren ES, et al. The challenges of implementing the internal corrosion direct assessment method [C]. Corrosion, Paper No.03185, Houston: NACE 2005.