

控制系统管理平台（PAS） 在数字智能化工厂的应用

马鹏飞 周东浩

中国石油天然气股份有限公司长庆石化分公司

摘要：工业智能化的核心是工业化和信息化的高度融合。智能化是在数字化的基础上，利用物联网的技术和设备监控技术加强信息管理和服务；通过大数据与分析平台，将云计算中由大型工业机器产生的数据转化为实时信息，并加上绿色智能的手段和智能系统等新兴技术于一体，提升工业生产效率和质量。目前，通过工业化与信息化的不断融合，炼化企业已逐步在生产过程优化智能化、设备全生命周期管理智能化等方面取得初步成效。近年来，长庆石化公司坚持以建设世界一流示范型城市炼厂为战略目标，突出“绿色工厂”和“智能工厂”两个特色打造。本文结合长庆石化 PAS 控制系统管理平台自身特点，从 PAS 系统介绍、系统数据采集方式开始，详述系统的基本功能以及实际应用情况，有效地提高了工作效率，实现了控制系统的预知性维修。

关键词：PAS；控制系统管理；诊断；控制回路性能

按照炼化板块“十四五”信息化顶层设计，中国石油天然气股份有限公司长庆石化分公司（以下简称“长庆石化”）数字化转型以“健康、安全、环保”为保障，以精益生产与运营管理为抓手，以三维数字化工厂运行为特征，以先进过程控制和工艺优化为基础，基于工业互联网，夯实数字智能化工厂建设。控制系统管理平台（PAS）投运以来，目前，已实现长庆石化 5 套关键装置 DCS 系统的完整性监测及控制回路控制性能分析与诊断，以及 1 套 SIS 系统的在线运行风险分析监测。实现了对控制回路运行状态的数据采集、实时监测、统计分析、报警推送、健康管理以及 P&ID 自动诊断等功能，从而实现对关键仪表、阀门的电子巡检和预知维护。通过大数据分析形成维护管理评价 KPI 报告，逐步完成仪表设备及控制系统向预知性维修转变。

1 PAS 控制系统管理平台

工控系统完整性管理和控制性能在线监测与优化平台（PAS），自动对工控系统进行安全漏洞分析与组态/逻辑缺陷分析、实现对过程控制问题的远程快速诊断、实现大修期间工控系统的变更记录与追踪、预测分析潜在隐患与风险、为生产安全稳定保驾护航。实现对主要生产装置的控制回路和 APC 控制器进行在线性能监测、自动在线诊断控制回路的问题包括回路硬件问题或 P&ID 参数问题、在线诊断 APC 控制器的问题。

1.1 PAS 控制系统结构

在 DCS 的 OPCServer 的安全网关后部署 3 台服务器，一台服务器用于控制回路在线性能评估、诊断与优化，一台服务器用于工控系统完整性管理，另一台运行 SQL Server 数据库，用于控制回路诊断与优化系统及工控系统完整性管理平台的数据存储。系统部

署在生产网段，数据单向传输，不影响工控系统，实现对长庆石化全厂 5 套主装置 DCS 的工控系统风险管理以及控制回路、APC 性能诊断与优化的一体化管理功能。

1.2 PAS 控制系统基本功能

PAS 系统主要由表 1 控制回路性能监测（PSS）、表 2 工控系统完整性管理（ICS）组成。

2 PAS 控制系统管理平台功能应用

控制回路的运行性能对生产稳定、生产效率乃至生产安全等各方面影响巨大。如果生产过程发生扰动，最有效、安全的方式就是通过常规控制回路自动进行调整，这样损失会降到最低。如果常规回路调节失效，就会进入报警并且操作员进行人工干预；如果干预不成功，则会进行安全联锁，进行安全停车等。这些生产扰动的处理，

表 1 控制回路性能监测（PSS）主要功能模块

模块名称	功能概述
Alarm& Event Analysis 报警与事件	警报和事件分析是用于控制系统的警报和事件分析解决方案。警报和事件分析使用各种警报，事件日志和系统文件来分析和报告警报系统的当前状态和性能，这对于确定改进领域至关重要。这些分析提供了可测量工厂警报管理系统性能的工具。根据提供的分析，可以制定行动计划以优化警报管理系统。
Control Wizard 控制回路评估	对控制回路进行实时性能监管、对控制回路故障进行在线诊断、对控制回路之间的耦合程度进行分析，自动生成定制的回路性能分析报告，自动推送给预先定义的工作人员。 多维度回路性能分析
Control Wizard APC 控制回路评估	对 APC 先进控制器的性能进行在线分析与监管，通过提前识别 APC 存在的问题并找到根本原因，帮助仪表人员减少生产损失。
Tune Wizard P&ID 参数调优	P&ID 参数优化工具，所见所得的 P&ID 参数优化工具，可以帮助用户寻找到当前工况下最优的 P&ID 参数。简单易用的工具，可以让每个用户成为 P&ID 参数优化的专家。生产 P&ID 参数优化报告（与之前 P&ID 参数的对比报告）

表 2 工控系统完整性管理（ICS）主要功能模块

模块名称	功能概述
Automation Integrity Base ICS 组态管理	Configuration Management 组态管理，MOC 组态变更管理 Defects Management；自动组态缺陷分析与汇总、生成报告 Control Map；控制联络图自动生成（跨系统） Spare Management 资产（裕量）管理
Cyber Integrity Endpoint Protection ICS 完整性管理	Inventory Management 库存管理 Vulnerability Management；自动系统安全漏洞查询分析并生成报告 Baseline and Policy Management；组态基准管理、与安全策略管理 Patch Management 补丁管理 Backup and Recovery 系统备份与恢复 Recon Management；工作站（工程师站、操作员站等）管理 Document Manager；文档管理；搜索任何含有搜索目标的文档文件如 PDF、Word、Excel 等。
ICS Asset Models ICS 资产数据管理	DSC-AC800FR；ABB DCS 系统资产模型 DSC-GE GMR 90-70；GE GMR 90-70 SIS 系统资产模型 DSC-HMI Intouch；Wonderware Intouch 资产模型 DSC-ITCC TS1131；Triconex TS1131 资产模型（机组控制） DSC- PHD；Honeywell PHD 资产模型 Recon- Workstations；工作站资产模型

每提高一次干预的程度，损失和危险性就会加大。而最理想的状态是通过常规控制回路的自动调节消除扰动。因此，控制回路的性能就变得非常重要，直接关系到生产稳定、效率和生产安全。

引起控制回路性能差的主要原因：工艺差和过程控制设计差、泵和压缩机的设计选型不合理、加热 / 冷却能力不足、P&ID 参数设置不合理、与其他控制回路的耦合、选择不正确的控制算法、没有对过程特性的改变进行补偿、控制阀门存在问题（阀门卡堵、阀门死区（迟滞）、阀门尺寸规格不合理、阀门工作特性变性）、非线性过程行为、生产产量变化、环境因素变化、产品等级变化、

不同的操作模式以及传感器问题等。因此保持良好的控制回路性能和自控率是数字化智能工厂建设基础保证。目前，

PAS 控制系统管理平台在实际生产中，应用效果如下。

2.1 实现控制回路自控性能监控

PSS 系统控制回路性能在线诊断平台能够实时精确计算控制回路的性能指数、动态监测回路健康度和诊断控制回路存在的问题，及时发现异常因素。通过 60 多项参数进行性能分析，可实时诊断 900 条控制回路的健康状况，及时给出维护建议。

PSS 系统对 P&ID 控制回路提供 30 个不同类别的分析类型、70 个不同的分析，对控制回路进行综合性能打分，ControlWizard 从 30 个分析类型、70 个不同的分析计算出控制回路的 Service Index（服务指数）、Stable Index（稳定指数）和 Respond Index（响应指数），通过这三个指数加权，得到能够真正综合反映该控制回路性能的指数 CLPI（Control Loop Performance Index），即控制回路性能指数。

PAS ControlWizard 自动生成各种树形图如图 1 所示，直观显示每个回路或回路组的性能概览，可以直观地监管装置的各个控制回路的性能情况，进一步进行诊断，找出根本原因，并提供改善方法。通过颜色和面积的区分，对回路性能的好差（越绿越好，越红越差）及回路重要度（面积越大回路越重要）对装置的回路健康情况进行诊断。系统推送相应回路的诊断

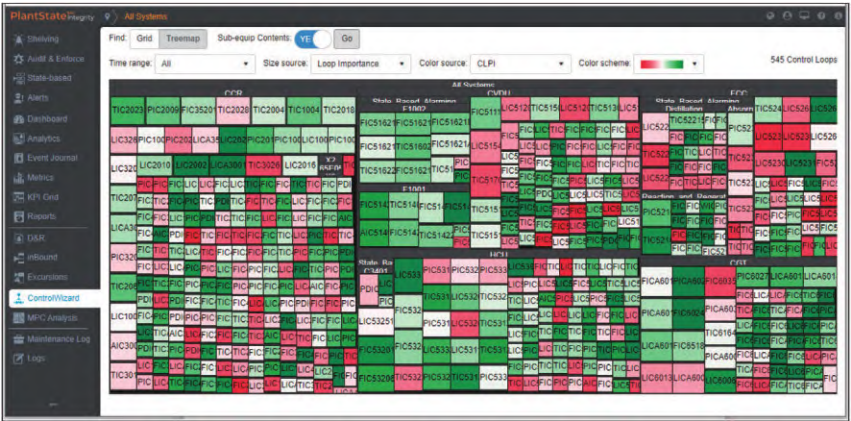


图 1 控制回路树形图

细节和问题解决指导。

对控制回路按控制回路性能指数如图 2 所示进行自动排序,性能最差的、最重要的回路,即最需要进行优先处理的会自动排在最前面。这样,仪表运维人员就准确知道在哪些地方需要关注,提高工作效率。

2.2 解决现场仪表控制阀故障问题

在日常仪表现场调节阀维护中,往往通过日常巡检和维护的方式了解阀门的运行状态,由于缺乏相应的有效的技术手段无法进行深入地排查,许多的隐形故障不得而知,如阀芯的磨损、阀芯阀套密封不佳和内漏等原因造成的阀门控制性能不佳,控制回路振荡,从而影响生产的正常操作。由于阀门磨损等原因会引起阀门工作特性曲线的变形,导致阀门开度和控制器输出失衡,从而造成控制回路性能变差,这都可以通过 PAS 软件系统进行诊断。并且根据给出合适的措施建议,可以对阀门进行维修处理。

如图 3 所示控制阀门出现了严重的卡堵,并给出卡堵的程度,通过趋势可以对其他迟滞以及传感器故障自动进行诊断。如果回路性能不好是其他原因造成的,系统同样可以给予诊断分析与修复建议,以解决问题,提升控制回路性能。

2.3 实现 P&ID 参数优化整定

PAS Tunewizard 可通过左右调节干扰抑制的滑块计算出最合适的 P&ID 参数。同时还提供 P&ID 参数优化前后各种数据变化曲线供各参考。对性能不好的控制回路,如果不是硬件问题,可以通过 P&ID 参数调优进行回路性能改善,如图 4 所示控制参数调整前和调整后的非常明显地对比,调整前的 P&ID 参数 (P=1, I=1, D=0),调整后的 P&ID 参数 (P=0.47, I=0.2, D=0)。中间通过绿色和黄色色块的对比,明显看出,调整后的 P&ID 参数比原来的 P&ID 参数效果好得多,值得投用新的 P&ID 参数。

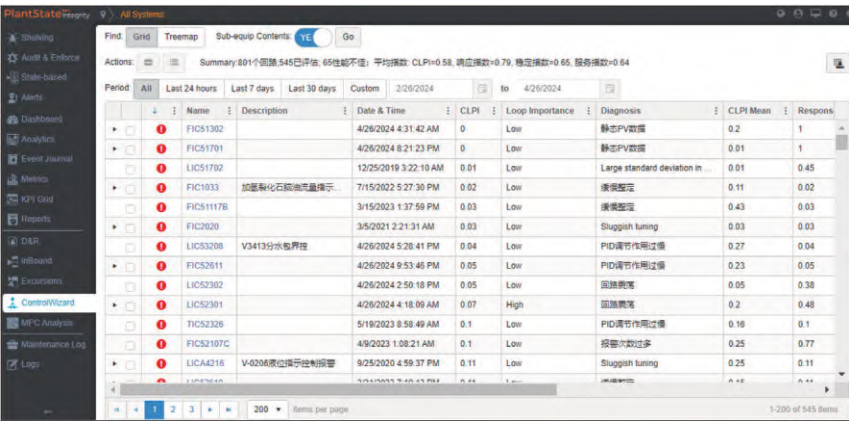


图 2 控制回路性能指数表

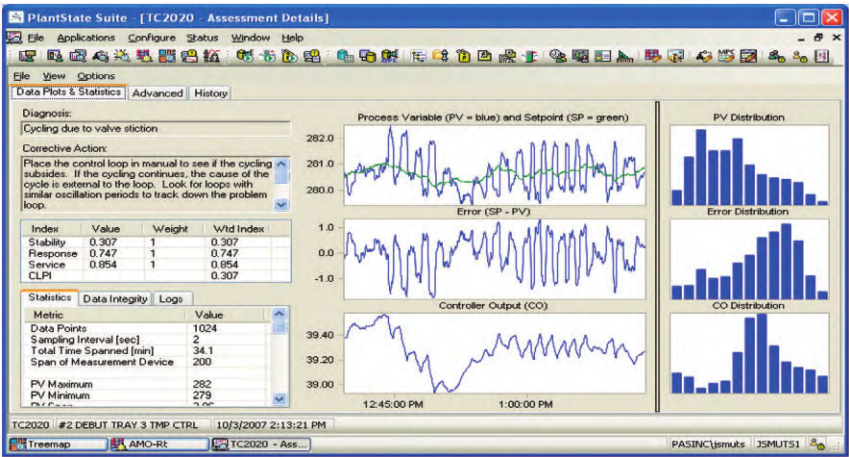


图 3 阀门卡堵问题诊断

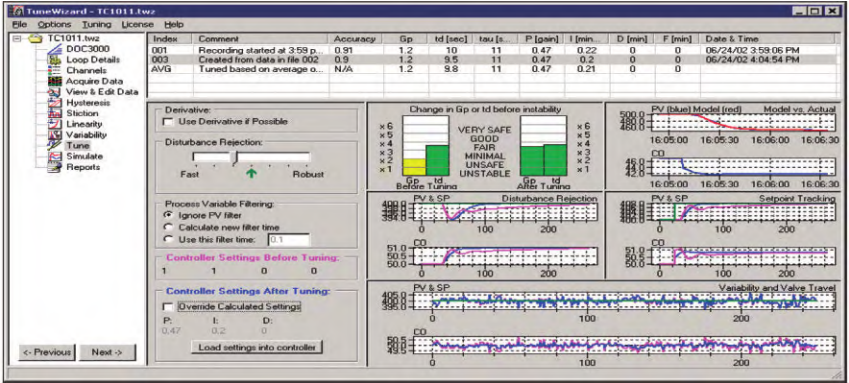


图 4 P&ID 参数调整前后对比图

P&ID 参数调优可通过使用滑轨,滑动鼠标轻松得到最优化的 P&ID 参数组(上图红色椭圆标注的地方, P&ID 参数调整滑轨)。

P&ID 参数自整定应用案例如图 5 所示: 利用 Tunewizard 软件对公司加氢裂化装置液位控制回路 LIC53202B 进行 P&ID 参数自诊断, 依据模型计算出的 P&ID 参数设置投运后, 自控回路

运行平稳, 效果显著。

PAS 系统软件通过 OPC 实时采集控制回路数据, 自动分析报告报表等, 持续诊断回路问题, 从而保证控制回路的性能保持长期优化。经过 P&ID 参数优化后, 取得效果: 1) 在进行控制回路性能管理和提高后, 回路性能指标能够提高平均 10% ~ 30%。2) 减少回路的波动。①提高控制回路的自控投用率;

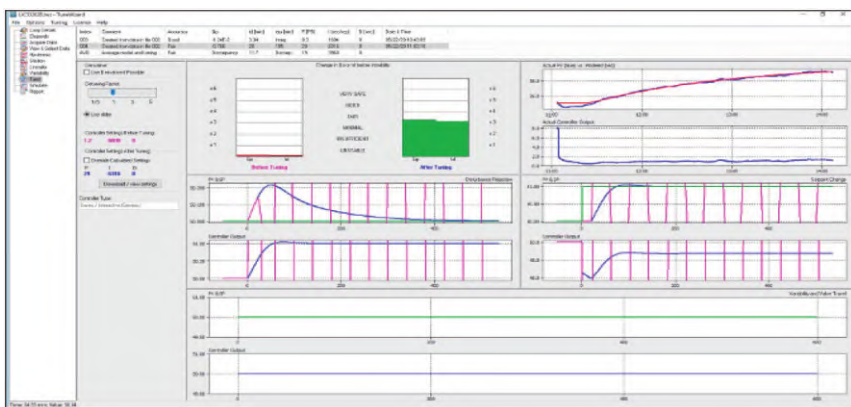


图5 加氢裂化装置液位控制回路 LIC53202B 参数整定

②对生产控制振荡进行快速的原因诊断和解决，稳定生产；③减少控制阀门的动作，降低维护工作量。3) 提高控制回路的抑制干扰的能力。①帮助工艺避开非正常工况，减少由于控制回路性能低下导致的报警。②改善生产过程稳定性，可以节约 10% 的生产启动时间。4) 减少维护成本并更好地计划安排阀门的维护。①控制阀门的诊断功能会帮助仪表人员识别阀门问题、提供更好地检测阀门问题的能力，并对问题阀门的维护进行优先级排序。②维护计划优化，提高预知性检修率。

通过 PAS 系统的深化应用，使装置自控率提升工作中的难点 P&ID 参数整定过程变得简单可靠，经过对 62 条投运不好的自控回路使用 PAS 系统的 P&ID 参数自整定模型工具后，效果良好，长庆石化装置平均自控率达到 99.8% 以上。

2.4 实现工控系统资产的完整性管理

通过完成工控系统（DCS、PLC、SIS、ITCC）的数字化，实现工控系统在役库存的远程透明管理，解决仪表人员对工控系统普遍存在的认知偏差问题。

该系统能够自动进行健康检查如安全漏洞、组态缺陷自动检测与汇总、第一时间发现 I/O 卡件、通道、回路以及通信等潜在风险。并对组态的修改进行记录、追踪与回溯，识别非法修改并定位，进行修改前后同框比较，

解决非法修改带来的风险。能够生成对象 / 位号在本系统或跨系统的控制逻辑图，实现远程对控制故障的快速诊断。帮助审核数据链是否正确（如 SIS->DCS->PHD），解决不同系统之间的组态失配问题（如量程不一致、工程单位不一致等），确保数据传输的一致性。同步实现控制系统组态程序的定期自动备份，以备在系统出现问题时能够对系统进行快速恢复。

针对 SIS 系统运行监控，实现 Bypass 的管理、对非法联锁切除的预警、自动判断联锁动作逻辑执行的准确性以及自动进行 SIS 运行中的风险和可用性分析。实现 SIS 风险的可视化监测，保证在需要安全联锁时 SIS 系统的可用性，把好生产安全的最后一道关口。

2.5 实现 APC 运行实时评估与监控

MPC 性能分析统计中的指标，直接反映了先进控制系统的利用率、平稳、效益指数和模型精度情况，实现对 APC 运行的在线量化评估和性能预测，为 APC 的长期、稳定、高效运行提供支持。

3 实际取得的效果

控制系统管理平台（PAS）运行 4 年以来，以平台推送的报警信息及处置建议为基础，仪表检修计划日趋合理，智能仪表设备检维修逐渐成为检维修综合计划的主要内容。PAS 系统中 5 套装置共 570 个控制回路性能在线诊断功能已可以使用，通过 60 多项

参数进行性能分析，可以诊断出控制回路性能不良的具体原因，并给出维护检修意见。投用初期共检测出 78 个控制性能不良的回路并预警，目前已对出现预警中的 20 个控制回路进行了保养或检修，总体控制回路健康指数也上升至 90 分以上，剩余预警回路已制定计划逐步开展预知性检维修工作。以智能化平台推动的仪表运行体系及理念的转变，使仪表运行出现了质的改观，由日常检修辐射至仪表专业设备的预维护体系化。检维修费用稳步下降，传统的经验维修及定时维修的数量得到切实降低，检维修费用降低明显。每年仪表设备检维修费用同比降低约 400 万元以上。

4 结论

通过控制系统管理平台（PAS）以及仪表管理平台（AMS）的结合应用，仪表实现了从现场仪表到控制器乃至操作站的运行管控一体化监控，为装置平稳运行起到了保驾护航的作用，目前，长庆石化仪表自控率已达到 99.8%，装置平稳率保持在 99.8% 以上，操服人员减少 10%，“大平稳、大效益”初步显现。下一步将沿着智能工厂建设方向，不断开展深化应用，创新实践，并在炼化板块指导下逐步实现智能工厂最终建设目标。

参考文献

- [1] 葛朋朋. 自动控制系统中的智能化技术运用[J]. 集成电路用, 2024.01.037.
- [2] 鲁欣萌. 浅谈智能化工厂解决方案[J]. 应用能源技术, 2022, (04): 15-16.
- [3] 韩承宇, 鲁铮, 许明阳, 等. 大数据监测系统在工厂智能化中的应用[J]. 化学工业与工程, 2022, 39(02): 37-40+49. DOI: 10.13353/j.issn.1004.9533.20210401.