



中华人民共和国国家标准

GB/T 44693.2—2024

危险化学品企业工艺平稳性 第2部分：控制回路性能评估与优化技术规范

Process stability of hazardous chemical enterprises—
Part 2: Technical specification for control loop performance evaluation and optimization

2024-09-29 发布

2025-04-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	III
引言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义、缩略语	1
3.1 术语和定义	1
3.2 缩略语	3
4 总体要求	3
5 基础信息管理	3
6 性能评估	4
6.1 范围	4
6.2 数据采集及处理	4
6.3 单回路评估	5
6.4 综合评估	6
7 性能诊断	6
8 性能优化	6
8.1 优化准备	6
8.2 优化执行	6
8.2.1 维护检修	6
8.2.2 控制策略完善	7
8.2.3 PID 参数优化	7
8.3 优化验证	7
9 证实方法	7
附录 A (资料性) 数据采集周期	8
附录 B (资料性) 控制回路性能评估指标计算	9
附录 C (资料性) 控制回路性能评分的权重系数选择	11
附录 D (资料性) 控制回路性能定级	12
附录 E (资料性) 控制回路关键绩效指标	13
附录 F (资料性) 控制回路性能故障诊断指标	14
附录 G (资料性) PID 参数优化方法	19
附录 H (资料性) 控制回路性能评估与优化系统	21
参考文献	23

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是 GB/T 44693《危险化学品企业工艺平稳性》的第 2 部分。GB/T 44693 已经发布了以下部分：

——第 1 部分：管理导则；

——第 2 部分：控制回路性能评估与优化技术规范。

请注意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专利的责任。

本文件由全国危险化学品管理标准化技术委员会(SAC/TC 251)提出并归口。

本文件起草单位：中石化安全工程研究院有限公司、应急管理部化学品登记中心、中石化国家石化项目风险评估技术中心有限公司、中国石化青岛炼油化工有限责任公司、中国石油化工股份有限公司镇海炼化分公司、北京化工大学、中控技术股份有限公司、天津渤化化工发展有限公司、万华化学集团股份有限公司、中化蓝天集团有限公司、山东华夏神舟新材料有限公司、中国石油工程建设有限公司华北分公司、南通星辰合成材料有限公司、重庆川仪调节阀有限公司、安徽金禾实业股份有限公司、山东海化华龙新材料有限公司、上海华谊天原化工物流有限公司、浙江衢州硅宝化工有限公司、宁波博汇化工科技股份有限公司、大连奇凯医药科技有限公司、山东海王化工股份有限公司、山西富亨迪新材料股份有限公司、福建立亚化学有限公司。

本文件主要起草人：杨哲、徐伟、苟成冬、高新江、何亚东、王春利、李传坤、刘格宏、孙冰、杜延华、张喆、张杰东、张帅、陈鑫、王峰、李荣强、姜巍巍、杨勇、王婷、杨占强、耿志强、袁壮、武传朋、林扬、陈国鑫、童不凡、唐在峰、姜建德、孙传义、陈强、陈武、周忠泽、王亮、胡川、路荣博、刘发安、张健、刘小强、杨乐、徐家德、詹江琴、李冲合、金碧华、张洪学、孙彤江、柴俊才、郑桦。



引 言

工艺平稳性是实现危险化学品生产企业持续发展和创新的基础。基于我国安全发展理念及危险化学品生产企业工艺管理现状,建设 GB/T 44693《危险化学品企业工艺平稳性》综合管理体系,创新与升级工艺管理模式,构建一套科学、高效、规范的工艺运行过程管控机制,对于有效防范和化解危险化学品生产企业重大安全风险,确保生产过程的平稳安全具有重要意义。

GB/T 44693《危险化学品企业工艺平稳性》拟由 6 个部分构成。

- 第 1 部分:管理导则。目的在于确定适用于工艺平稳性管理需要遵循的总体原则和相关要求。
- 第 2 部分:控制回路性能评估与优化技术规范。目的在于为工艺平稳性管理中的控制回路评估与优化提供可操作、可证实的方法。
- 第 3 部分:标准操作程序编制与使用规范。目的在于明确工艺平稳性管理中的标准操作程序(作业指导书)编写、使用需要遵循的原则和要求。
- 第 4 部分:开工过程管理规范。目的在于为工艺平稳性管理中的装置开工管理确定需要遵循的基本原则和工作规范。
- 第 5 部分:工艺报警优化技术规范。目的在于为工艺平稳性管理中的工艺报警优化提供可操作、可证实的方法。
- 第 6 部分:关键绩效指标技术规范。目的在于为工艺平稳性管理的关键绩效评价提供可操作、可证实的指标与计算方法。

控制回路作为危险化学品生产企业基本过程控制系统的关键构成部分,集成了传感器、执行器、控制器及信号处理器等组件。依据实际生产装置的特定需求,多个控制回路间能够灵活组合,构建出多样化的复杂控制系统,以应对不同的工艺场景。这些控制回路通过不间断地监测工艺参数并实施精准调控,有效降低了参数波动对生产过程的干扰,减少了人工操作的介入,确保了生产的稳定性,提升了产品质量与生产效率,为生产安全提供了坚实保障并助力企业实现节能减排的目标。然而,随着生产装置运行周期的延长以及工况条件的不断变化,控制回路的性能往往会逐渐衰减,因此,为了确保控制系统的长期高效稳定运行,对控制回路进行持续的性能评估与优化尤为重要,这是维持生产流程平稳、安全、环保及高效运作的必要措施。

本文件针对危险化学品生产企业控制回路的性能评估和优化技术进行有效规范,定义了控制回路性能评估与优化的术语和模型,建立了有效评估和优化控制回路系统所推荐的技术方法,可以有效指导企业及时发现存在性能问题的控制回路,并对造成性能不良的原因进行诊断和优化,提升装置控制回路性能表现,保障生产过程安全、高效运行。



危险化学品企业工艺平稳性

第2部分:控制回路性能评估与优化技术规范

1 范围

本文件规定了危险化学品生产企业控制回路性能评估与优化技术的总体要求以及基础信息管理、性能评估、性能诊断和性能优化方面的要求,描述了证实方法。

本文件适用于危险化学品生产企业的装置基本过程控制系统的控制回路性能评估与优化。

注:在不引起混淆的情况下,本文件中的“危险化学品生产企业”,以下简称为“企业”。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 31497 信息技术 安全技术 信息安全管理 监视、测量、分析和评价

GB/T 44693.1 危险化学品企业工艺平稳性 第1部分:管理导则

3 术语和定义、缩略语

3.1 术语和定义

GB/T 44693.1 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

控制回路 control loop

自动控制系统中,由传感器、执行器、控制器和信号处理器等组成的基础控制单元。

注:控制器通过比较来自传感器的被控变量测量值与系统期望值的差异,自动调整控制器输入,使被控变量趋近于期望值。

3.1.2

控制回路性能 control loop performance

在面对系统内部参数变化或外部干扰时,控制被控变量快速、精确与稳定跟随期望值的能力。

3.1.3

控制回路性能评估 control loop performance evaluation

综合考虑控制回路性能表现及控制特性,对控制回路性能(3.1.2)进行定量或定性分析、评价的过程。

3.1.4

控制回路性能优化 control loop performance optimization

对控制回路性能(3.1.2)进行提升和改进的过程。



3.1.5

自控率 rate of automatic control

统计时间范围内,自控状态下(AUTO、CAS、REMOTE等)的时间占统计时间的百分比。

3.1.6

有效自控率 rate of effective automatic control

统计时间范围内,自控状态下输出不饱和且控制有效的时间占统计时间的百分比。

注 1: 输出饱和是指调节阀处于上限位、下限位、常开或常关等状态,反之为输出不饱和情况。

注 2: 控制有效是指输出单元有效控制,例如串级回路的副回路主控状态,主回路输出失效。

3.1.7

饱和率 saturation rate

统计时间范围内,自控状态下输出值处于限位的时间占统计总时间的百分比。

3.1.8

平稳率 stable rate

被控变量的波动情况。

注: 可根据自控率(3.1.5)及有效自控率(3.1.6)进行评估。



3.1.9

准确率 accuracy rate

控制回路测量值与设定值之间的差异程度情况。

注: 可根据控制偏差(3.1.13)控制偏差及控制偏差系数(3.1.14)进行评估。

3.1.10

快速率 fast rate

控制回路测量值跟踪设定值变化的及时响应情况。

注: 可根据稳态时间(3.1.17)与上升时间(3.1.18)进行评估。

3.1.11

比例积分微分控制 proportion integration derivative control

基于比例、积分和微分 3 种控制规律组合的调节方法或控制策略。

注: 可通过调整 3 种控制的作用强度,实现对被控对象的精确控制。

3.1.12

比例积分微分控制参数优化 proportion integration derivative control parameter optimization

通过优化 PID 控制器的比例增益、积分时间和微分时间 3 个参数的设定值,使被控对象达到控制性能要求的过程。

3.1.13

控制偏差 control deviation

统计时间范围内,控制回路过程测量值与设定值之间的差值。

3.1.14

控制偏差系数 control deviation coefficient

统计时间范围内,控制偏差(3.1.13)绝对值的均值与设定值均值的比值。

3.1.15

控制偏差标准(偏)差 control deviation standard(deviation)

统计时间范围内,控制偏差(3.1.13)序列各数据点的离散程度。

3.1.16

控制偏差标准偏差系数 control deviation standard deviation coefficient

统计时间范围内,控制偏差标准(偏)差(3.1.15)与测量值均值的比值。

3.1.17

稳态时间 steady-state time

控制变量过程测量值从开始响应设定值变化到稳定在新的设定目标值附近所需的时间。

3.1.18

上升时间 rise time

闭环状态下,响应曲线从零时刻到首次达到稳态值的时间。

注:通常定义为响应曲线从稳态值的10%上升到稳态值90%所需的时间。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

APC:先进过程控制(Advanced Process Control)

AUTO:自动(Automation)

BPCS:基本过程控制系统(Basic Process Control System)

CAS:串级(Cascade)

DA:数据访问(Data Access)

MODE:控制模式(Mode)

OP:过程输出值(Output Value)

OPC:OPC基金会(非盈利工业协会)[OPC Foundation (a non-profit industry association)]

PID:比例-积分-微分(Proportional-Integral-Derivative)

PV:过程测量值(Process Value)

REMOTE:远程控制(Remote)

SV:设定值(Set Value)

UA:统一架构(Unified Architecture)

4 总体要求

4.1 企业应构建控制回路性能评估与优化技术管理机制,对基础信息进行收集和维护,明确控制回路变更范围及程序,并对设备进行预防性维护,规范操作管理。

4.2 企业应明确控制回路性能指标及管理目标,定期进行控制回路性能评估与诊断,制定并落实相应的整改优化措施,实现持续提升。

4.3 企业应定期对工艺、操作人员进行控制回路操作、评估、诊断与优化技术培训。

5 基础信息管理

5.1 工艺专业设计资料,应包括但不限于:

- a) 管道及仪表流程图;
- b) 工艺操作控制原理。

5.2 仪表专业设计资料,应包括但不限于:

- a) 仪表索引表/控制系统监控数据表/控制回路汇总表;
- b) 复杂控制回路说明;
- c) 仪表回路图;
- d) 复杂控制回路图;
- e) 流量计及调节阀计算书;
- f) 控制回路仪表安装图;
- g) 技术规格书。

5.3 集成资料,应包括但不限于:

- a) 测点清单;
- b) 回路测试及调试记录;
- c) 内部软硬件资产清单;
- d) 系统验收测试报告。

5.4 仪表类设备资料,应包括但不限于:

- a) 产品详细技术方案;
- b) 产品详细说明书;
- c) 试验及检验证书、合格证;
- d) 有关特性计算书(如需要);
- e) 工厂测试报告或检定(校准)证书;
- f) 产品详细的尺寸图、安装图和接线图;
- g) 安装、操作和维护手册。

5.5 运行资料,应包括但不限于:

- a) 控制回路台账;
- b) 控制回路变更登记台账;
- c) 控制回路变更审批表;
- d) 控制回路长期停控单;
- e) PID 参数调整记录;
- f) 维护日志。

6 性能评估

6.1 范围

6.1.1 企业应将装置中的所有控制回路全部纳入监测、评估和分析范围,特殊情况经管理部门审批后可不纳入监控范围,包括但不限于以下情况:

- a) 具有报废手续的管线、单元或装置上的控制回路;
- b) 由于先进控制或顺序控制系统替代,而导致无法长期投用的控制回路;
- c) 随开(停)工、物料或季节变化、仪表日常维护、生产计划安排而间歇性停运的控制回路;
- d) 为了防回流、防超温、达到设定值排液、达到设定值放空等控制阀长期处于全开或全关状态的控制回路;
- e) 联锁系统及机组协调控制系统控制回路。

6.1.2 企业不应将长期因生产技术、电仪、设备等原因造成的手动状态控制回路排除在监控范围外。

6.1.3 企业不应采用非常规控制手段提升绩效指标,如过窄或频繁修改的控制阀位设限、设置不合理的 PID 参数、过度使用滤波功能、现场控制阀的上下游截止阀限流或开副线等情况。

6.1.4 企业开(停)工(非计划、检修、消缺)期间可不进行控制回路监控及评价计算。

6.2 数据采集及处理

6.2.1 企业数据采集及处理,应满足以下基本要求:

- a) 来源于工控数据接口,采用 OPC DA 或 OPC UA 等接口实时采集控制回路的相关运行数据;
- b) 运行数据至少包括:PV、SV、OP、MODE 等;

- c) 根据被控对象的特性、硬件性能及系统处理能力确定数据采样周期,数据采样周期见附录 A;
- d) 对采集数据进行质量评估及数据清洗,确保数据质量;
- e) 数据采集应具有保证控制系统安全的措施。

6.2.2 为提高企业控制回路性能评估与诊断的准确性,宜满足以下提升条件:

- a) 采集控制回路的比例、积分、微分、输出值限位、输出值量程、设定值限位、测量值量程、死区等控制回路属性;
- b) 建立多工况判断指标,根据不同工况判断回路是否需要进行分析。

6.3 单回路评估

6.3.1 企业应按照控制回路的特性及投用状态,通过有效自控率、平稳率、准确率、快速率等性能指标对控制回路进行性能评估。控制回路性能评分(P)应按照公式(1)计算:

$$P = \frac{\sum(A \times a + F \times f + S \times s)}{a + f + s} \times R \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中:

- P —— 性能评分, %;
- A —— 准确率,指测量值相对于设定值的偏差大小情况, %;
- a —— 准确率的权重系数;
- F —— 快速率,指测量值跟踪设定值变化的及时响应速率, %;
- f —— 快速率的权重系数;
- S —— 平稳率,指被控变量波动情况, %;
- s —— 平稳率的权重系数;
- R —— 有效自控率,指执行器及控制器有效调节情况, %。

其中, A 、 F 、 S 的计算公式见附录 B。

其中, a 、 f 、 s 应采用相似权重,也可根据回路特性或应用场景确定其数值范围。权重系数确定原则参考表 1。

表 1 权重系数确定原则

类型	描述	权重系数确定原则
稳定型	适用于需要精确且稳定控制的场合,确保被控对象的输出能够稳定地接近预设的期望值,例如温度控制、压力控制等	a 、 f 、 s 相似
慢速型	适用于不需要快速响应或需要平滑过渡的场合。例如需要缓慢调节某些工艺参数的工业过程	f 偏小
快速型	适用于需要迅速调整被控对象输出的场合。例如副回路、电动机速度控制、机器人运动控制等	f 偏大
逻辑型	适用于根据预设逻辑规则来执行控制操作的场合。例如防回流、防超温、达到设定值安全动作等	a 偏小
注: 权重系数选择见附录 C。		

6.3.2 企业应根据控制回路性能评估情况将控制回路性能进行分级管理,见附录 D。

6.3.3 企业应将数据异常及时段内自控率低于预设百分比的控制回路判定为回路性能最低等级。

6.4 综合评估

6.4.1 企业应根据控制回路性能评估与诊断指标,建立企业级、装置级等不同维度的关键绩效指标,实现对控制回路性能总体评价。关键绩效指标包括但不限于表 2 所述。

表 2 关键绩效指标

指标	计算方法
实时自控率	当前时刻,企业/装置所有参与评估的投自动的回路数量占参与评估总回路数量的百分比
平均自控率	统计时间范围内,企业/装置所有参与评估控制回路自控率的加权平均值
平稳率	统计时间范围内,企业/装置所有参与评估控制回路平稳率的加权平均值
性能评分	统计时间范围内,企业/装置所有参与评估控制回路性能评分的加权平均值

6.4.2 企业应对关键绩效指标建立管理目标,见附录 E。

7 性能诊断

企业应针对低性能控制回路进行故障原因识别,控制回路性能故障诊断方法见附录 F,识别故障类型包括但不限于。

- a) 仪表故障包括:失灵、走平、过大的测量噪声等。
- b) 执行器故障包括:阀门选型不合理、黏滞、内漏等。
- c) 控制策略设置不合理包括:耦合回路、控制模式选择不当等。
- d) PID 参数选择不合理包括:振荡、发散、持续存在偏差等。
- e) 其他参数设置不合理包括:控制状态失效、输出限位、测量限位、设置限位等。
- f) 数据异常包括:数据停滞、突变、通信中断等。

8 性能优化

8.1 优化准备

8.1.1 企业应基于装置生产过程需求并结合性能评估、诊断结果,检查仪表元器件运行状况、控制策略、PID 参数设置等,确定低性能控制回路优化范围、目标和优化方案。

8.1.2 企业应对涉及组态变动、控制计算机系统软件升级及控制回路相关仪表设备的新增、拆除、停用等操作内容执行变更管理程序。

8.2 优化执行

8.2.1 维护检修

因仪表故障导致性能不佳的控制回路,企业应维修或更换仪表设备。仪表设备维护方法包括:

- a) 检查控制系统的运行状态,及时修复存在的硬件故障、软件问题或通信故障等;
- b) 检查控制回路现场仪表,及时修复故障并校准,确保其准确性和可靠性;
- c) 检查控制回路所有的电缆和接头的紧固及四线制仪表外壳接地是否完好、发热、损坏或性能下降等情况,并及时更换;
- d) 硬件的安装方式与设备选型评估。

8.2.2 控制策略完善

因控制策略导致性能不佳的控制回路,企业应结合实际工艺需求及回路特性,对存在优化空间的回路进行控制策略优化。优化方法包括:

- a) 针对有特殊作用的控制回路,如放空、超驰保护等回路,宜采用特殊的 PID 参数调整策略,以满足实际的回路调整要求;
- b) 针对非线性、大滞后、多变量耦合等情况的回路,宜采用串级、分程、前馈、超驰等复杂控制策略进行优化;
- c) 如上述优化方法无法满足控制回路性能要求,宜采用 APC 技术优化控制策略。

8.2.3 PID 参数优化

因 PID 参数设置导致性能不佳的控制回路,企业应进行 PID 参数优化,实时监测控制回路性能,并进行持续迭代优化,及时记录 PID 参数的修改情况。PID 参数优化方法见附录 G。

PID 参数优化前,企业应:

- a) 分析工艺对象的特性以及性能优化对整个过程产生的影响,确立控制器可调节范围;
- b) 检查控制器的正反作用正确无误,确保仪表测量准确、阀门动作灵活,及时关注当前生产运行情况,确保安全。

8.3 优化验证

企业应在优化实施完成后,对控制回路性能优化效果进行目标要求验证,并做好回路优化前后效果对比记录,总结回顾优化策略与过程,持续跟踪优化效果。

企业应留存备用 PID 参数调整记录、设备更新参数记录、效果对比记录、变更记录等。

9 证实方法



9.1 企业应按照 GB/T 31497 管理要求,采用信息化和数字化技术,按照数据采样周期通过工控数据接口自动采集控制回路运行数据,并进行数据处理及存储。

9.2 企业应定期对装置控制回路性能进行评估,针对低性能及长期处于手动状态的控制回路,进行故障原因分析与性能优化工作,并对装置控制回路性能评估与参数优化情况进行统计、分析与评价。

9.3 企业应对控制回路性能评估与优化进行现场核实、检查与考核。

9.4 企业宜采用信息化系统软件开展控制回路性能评估与优化工作。包括但不限于:

- a) 建立控制回路性能评估与优化系统,开展在线的控制回路性能评估、低性能控制回路故障诊断与优化提升工作,见附录 H;
- b) 采用控制回路参数优化软件,辅助进行 PID 参数优化;
- c) 采用 APC 系统等专业软件,改善多变量耦合过程的控制效果。

附 录 A
(资料性)
数据采样周期

在控制回路性能评估过程中,数据采样周期的选择对控制回路性能评估的准确性和有效性具有直接影响。

首先,较短的采样周期能够捕获更多的数据细节,从而更精确地展现控制回路的动态特性。然而,过短的采样周期可能导致数据冗余,进而增加处理难度和计算负担。相反,如果采样周期过长,可能无法及时捕捉到关键的变化信息,导致性能评估结果失真。

其次,在选择采样周期时,还需充分考虑控制回路的特性和要求,不同的控制回路可能对采样周期有着不同的需求。

因此,在进行控制回路性能评估时,通常需要综合考虑控制回路性能要求、系统动态特性、硬件性能以及数据处理能力等多个方面,以选择适当的数据采样周期,见表 A.1。

表 A.1 数据采样周期

被控对象	数据采样周期 s
流 量	≤ 5
压 力	≤ 10
液 位	≤ 20
温 度	≤ 30
成 分	≤ 60

附录 B

(资料性)

控制回路性能评估指标计算

B.1 自控率

自控率表示控制器处于自动状态时所占总时间的百分数,自控率越高表示人员操作越少,异常扰动时系统能自动调节。自控率(*Auto*)按照公式(B.1)计算:

$$Auto = \frac{AutoTime}{AllTime} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

Auto —— 自控率, %;

AutoTime —— 统计时间范围内,控制回路的控制模式为自动的时长,单位为秒(s);

AllTime —— 统计时间范围的总时长,单位为秒(s)。

B.2 有效自控率

有效自控率表示控制器处于有效自动状态时所占总时间的百分数,有效自控率越高表示异常扰动时,控制器越能及时调节执行器动作并消除扰动。有效自控率(*R*)按照公式(B.2)计算:

$$R = \frac{AutoRealTime}{AllTime} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

式中:

R —— 有效自控率, %;

AutoRealTime —— 统计时间范围内,自控状态下输出不饱和且控制有效的时长,单位为秒(s);

AllTime —— 统计时间范围的总时长,单位为秒(s)。

B.3 准确率

准确率主要用于检测测量值是否达到设定值。准确率越差表明控制回路存在余差情况越严重,被控变量无法满足控制精度要求。准确率(*A*)按照公式(B.3)计算:

$$\left\{ \begin{array}{l} A = \left[1 - \left(\frac{|\overline{E}|}{|\overline{E}|} \right) \times \left(1 - \frac{1}{e^{(|\overline{E}|/|\overline{E}_{\max}|)}} \right) \right] \times 100\% \\ |\overline{E}_{\max}| = \frac{\sum [\max(|E_i|) - |E_i|]}{n} \\ |\overline{E}| = \frac{\sum |E_i|}{n} \\ E_i = PV_i - SP_i \end{array} \right. \quad \dots\dots\dots (B.3)$$

式中:

A —— 准确率, %;

\overline{E} —— 控制偏差的平均值;

$|\overline{E}|$ —— 控制偏差绝对值的平均值;

$|\overline{E}_{\max}|$ —— 控制偏差绝对值偏离的平均值;

E_i —— 被控变量的第 *i* 时刻控制偏差;

n —— 统计时间范围内总的的数据个数;

PV_i ——被控变量的第 i 时刻测量值；
 SP_i ——被控变量的第 i 时刻设定值。

B.4 快速率

快速率评估控制回路跟踪设定值变化的响应速度特性。快速率越高,表明当出现较大扰动或设定值调节时,执行性能能够及时响应,较短的时间内调节被控参数达到设定值;快速率越低,表明当出现较大扰动或设定值调节时,执行器未能及时响应,较长一段时间被控参数无法达到设定值。快速率(F)按照公式(B.4)计算:

$$F = 1 / e^{(T/T')} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (B.4)$$

式中:

F ——快速率,%;
 T ——控制回路的实际稳态时间,单位为秒(s);
 T' ——控制回路的理想稳态时间,单位为秒(s)。
 实际稳态时间 T 计算见附录 F。

B.5 稳定率

稳定率计算主要采用了标准差的思想,若实际运行值与设定值之间偏差的标准差越小,则表明偏差上下波动越平稳,即可表示实际输出值在设定值附近上下波动的幅度较小。稳定率(S)按照公式(B.5)计算:

$$\left\{ \begin{aligned} S &= [1 / e^{(\sigma/0.05 \times U)}] (1 - O_{sc}) \times 100\% \\ \sigma &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E})^2}{n - 1}} \\ E_i &= PV_i - SP_i \end{aligned} \right. \quad \dots\dots\dots (B.5)$$

式中:

S ——稳定率,%;
 e ——自然常数;
 σ ——控制偏差的标准差;
 U ——仪表量程;
 O_{sc} ——振荡率,%;
 n ——统计时间范围内总的的数据个数;
 E_i ——被控变量的某一时刻控制偏差;
 \bar{E} ——控制偏差的平均值。

其中, O_{sc} 的计算公式见附录 F。



附录 C

(资料性)

控制回路性能评分的权重系数选择

针对稳定控制、慢速控制、快速控制、逻辑控制等不同种应用场景的控制类型,可通过调整 a 、 f 、 s 权重系数,实现对不同控制类型的专业性评估,见表 C.1。

表 C.1 不同控制类型的参考权重系数

类型	描述	a	f	s
稳定型	适用于需要精确且稳定控制的场合,确保被控对象的输出能够稳定地接近预设的期望值,例如温度控制、压力控制等	0.2	0.3	0.5
慢速型	适用于不需要快速响应或需要平滑过渡的场合。例如需要缓慢调节某些工艺参数的工业过程	0.3	0.1	0.6
快速型	适用于需要迅速调整被控对象输出的场合。例如副回路、电动机速度控制、机器人运动控制等	0.2	0.5	0.3
逻辑型	适用于根据预设逻辑规则来执行控制操作的场合。例如防回流、防超温、达到设定值安全动作等	0	0.4	0.6

附 录 D
(资料性)
控制回路性能定级

通过性能定级,迅速识别出性能较差或极差的控制回路,帮助企业更合理地分配资源,优先对性能较差的控制回路进行改进,避免其对整个生产流程造成不良影响,性能定级见表 D.1。

表 D.1 性能定级

性能评分 $P/\%$	性能定级
$90 \leq P < 100$	一级
$80 \leq P < 90$	二级
$70 \leq P < 80$	三级
$60 \leq P < 70$	四级
$0 \leq P < 60$	五级



附 录 E
(资料性)
控制回路关键绩效指标

E.1 关键绩效指标管理目标

通过优化控制算法、调整控制参数、升级硬件设备等措施,提高控制回路的自控率,减少人工干预。在提升装置的自控率基础上,进行控制系统性能优化提升,包括:响应速度、控制精度、抗干扰能力等,提高装置平稳率。关键绩效指标管理目标见表 E.1。

表 E.1 关键绩效指标管理目标

指标	计算方法	参考目标
实时自控率	当前时刻,企业/装置所有参与评估的投自动的回路数量占参与评估总回路数量的百分比	$\geq 90\%$
平均自控率	统计时间范围内,企业/装置所有参与评估控制回路自控率的加权平均值	$\geq 95\%$
平稳率	统计时间范围内,企业/装置所有参与评估控制回路平稳率的加权平均值	$\geq 95\%$
性能评分	统计时间范围内,企业/装置所有参与评估控制回路性能评分的加权平均值	$\geq 80\%$

E.2 控制回路权重选择

对于控制回路较多的装置,企业可根据控制回路参数的重要性进行控制回路分级,并根据级别确定权重系数。控制回路权重选择见表 E.2。

表 E.2 控制回路权重选择

类型	描述	权重
一级	一级控制回路是对装置整体性能、安全性、经济性或环保指标具有决定性影响的控制回路,通常直接关联到系统的核心控制目标,如负荷控制、连锁相关的控制等	3
二级	二级控制回路对装置运行的稳定性或对主要设备的安全性有较大影响,但通常不直接决定装置的核心控制目标,在装置中起到辅助和保障作用,确保装置在各种工况下都能稳定运行	2
三级	三级控制回路是系统中相对次要的自动控制回路,它们主要用于维持系统的辅助设备和系统的正常运行状态,控制性能对系统整体性能的影响较小,但仍是保障系统稳定运行不可或缺的一部分	1

附录 F

(资料性)

控制回路性能故障诊断指标

F.1 振荡率

用于衡量控制回路测量值振荡程度的指标,反映了测量值有规律的周期性重复变化情况,可用于诊断 PID 参数设置不当、输出值存在黏滞特性等问题。

根据振荡波形的特性,可通过数据序列的每个持续正或负值的累计和(面积)相似与每个持续正或负值的持续时间相似进行数据序列的振荡情况评估。振荡率(Osc)按照公式(F.1)计算:

$$Osc = \frac{Asosc + Atosc + Bsosc + Btosc}{4} \dots\dots\dots(F.1)$$

式中:

Osc —— 振荡率, %;

$Asosc$ —— 持续为正值的面积值 As_1, As_2, \dots, As_n 相似率, %;

$Atosc$ —— 持续为正值的持续时间 At_1, At_2, \dots, At_n 相似率, %;

$Bsosc$ —— 持续为负值的面积值 Bs_1, Bs_2, \dots, Bs_m 相似率, %;

$Btosc$ —— 持续为负值的持续时间 Bt_1, Bt_2, \dots, Bt_m 相似率, %。

相似率可通过对数据序列的最小距离法计算所得。假设需要计算的数据序列 $K[i] (i = 1, 2, \dots, m), m > 10$, 首先,根据最小距离法计算当前数据序列的初始平均值;为了避免过大或过小的数据对平均值的影响,其次,根据各时刻序列的数据与初始平均值的偏差情况进行数据清除;最后,根据清除后的数据系列计算最终平均值及相似率。具体计算过程如下。

a) 最小距离法计算平均值:

当在 i_{min} 时刻时, $K[i] (i = 1, 2, \dots, m)$ 所有数据与 $K_{i_{min}}$ 偏差的平方和最小,则 $K_{i_{min}}$ 为平均值 avg 。最小距离法计算平均值(avg)按照公式(F.2)计算:

$$\begin{cases} avg = K_{i_{min}} \\ \sum_{i=1}^m (K_i - K_{i_{min}})^2 \leq [\sum_{i=1}^m (K_i - K_j)^2] (j = 1, 2, \dots, m) \end{cases} \dots\dots\dots(F.2)$$

式中:

avg —— 最小距离法计算的平均值;

m —— 数据序列总个数;

K_i —— 数据序列在第 i 时刻的值;

$K_{i_{min}}$ —— 数据序列在偏差平方和最小的时刻的值;

K_j —— 数据序列在第 j 时刻的值。

b) 清除数据序列 K 中与平均值不相似的数据:

如果平均值为 0,则表示无波动,令 $z = 0$,将 K 系列数据清空;如果 $0.5 \geq (K_i / K_{i_{min}})$ 或 $1.5 \leq (K_i / K_{i_{min}})$,则表示与平均值不相似,将 K 系列在 i 时刻的数据清除,则得到与平均值相似的新数据序列 $Kn[i] (i = 1, 2, \dots, z)$;如果 z 过小则退出,即平均值相似率为 0。

c) 根据步骤 a) 重新计算平均值(avg_n),相似率(S_i)按照公式(F.3)计算:

$$\begin{cases} S_i = \sum_{i=1}^z \frac{\min(Kn_i, avg_n)}{\max(Kn_i, avg_n)} / m \times 100\% \\ avg_n = Kn_{i_{min}} \\ \sum_{i=1}^z (Kn_i - Kn_{i_{min}})^2 \leq \{ \sum_{i=1}^z (Kn_i - Kn_j)^2 \} (j = 1, 2, \dots, z) \end{cases} \dots\dots\dots(F.3)$$

式中：

- S_i ——相似率，%；
- z ——清理异常数据后的数据序列总个数；
- m ——数据序列总个数；
- $avgn$ ——清除异常数据后的平均值；
- $Kn_{i\min}$ ——清理异常数据后的数据序列在偏差平方和最小的时刻的值；
- Kn_i ——清理异常数据后的数据序列在第 i 时刻的值；
- Kn_j ——清理异常数据后的数据序列在第 j 时刻的值。

F.2 黏滞系数

用于量化控制回路输出值黏滞特性的指标，可通过控制回路输出值、测量值的特征数据计算获得，有助于诊断输出值的黏滞特性等问题。

闭环条件下，阀门黏滞会导致被控变量及输出值呈现方形或异常三角形等非对称异常振荡波形。因此，可以基于控制回路的控制偏差及阀门输出偏差的振荡率及异常波形振荡率计算控制阀的黏滞率。黏滞系数(St)按照公式(F.4)计算：

$$St = \max(Ef, Of) \times \sqrt{Er \times Or} \quad \dots\dots\dots (F.4)$$

式中：

- St ——黏滞系数，%；
- Ef ——控制偏差异常波形振荡率，%；
- Of ——阀门输出偏差异常波形振荡率，%；
- Er ——控制偏差振荡率，%；
- Or ——阀门输出偏差振荡率，%。

其中，异常波形振荡率可通过正值或负值序列的各值的相似率及持续正值或负值序列的极值时刻的相似率计算。即分别计算：正值序列 $A[i](i=1, 2, \dots, n)$ 的平均值及平均值相似率 Ao ；计算负值序列 $B[i](i=1, 2, \dots, m)$ 的平均值及平均值相似率 Bo ；计算持续为正值的最大值的持续时间 $Amt_1, Amt_2, \dots, Amt_n$ 相似率 Amt_o ；计算持续为负值的最小值的持续时间 $Bmt_1, Bmt_2, \dots, Bmt_n$ 相似率 Bmt_o 。异常波动性振荡率计算过程如下。

- a) 如果持续正向的偏差的平均值相似率过大($Ao > 40$)且持续负向的偏差的平均值相似率过大($Bo > 40$)，则表示可能存在方形波形振荡。方形波形异常振荡率(F_s)按照公式(F.5)计算：

$$F_s = \frac{Ao + Bo}{2} \quad \dots\dots\dots (F.5)$$

式中：

- F_s ——方形波形异常振荡率，%；
- Ao ——正值序列的平均值相似率，%；
- Bo ——负值序列的平均值相似率，%。

- b) 如果持续正向的最大值持续时间的平均值相似率过大($Amt_o > 40$)且持续负向的最小值持续时间的平均值相似率过大($Bmt_o > 40$)，则表示在时间上存在振荡；如果 Amt_a 与 Bmt_a 偏差过大，则表示存在异常波动振荡，例如三角形波形振荡。三角形波形异常振荡率(F_t)按照公式(F.6)计算：

$$F_t = \sqrt{1 - \frac{\min(Amt_a, Bmt_a)}{\max(Amt_a, Bmt_a)}} \quad \dots\dots\dots (F.6)$$

式中：

- F_t ——三角形波形异常振荡率，%；

$Amta$ ——最小距离法计算的正值序列平均值；

$Bmta$ ——最小距离法计算的负值序列平均值。

- c) 取方形波形异常振荡率及三角形波形异常振荡率的最大值得到异常振荡率。异常波形振荡率(Ff)按照公式(F.7)计算：

$$Ff = \max(Fs, Ft) \dots\dots\dots (F.7)$$

式中：

Ff ——异常波形振荡率，%；

Fs ——方形波形异常振荡率，%；

Ft ——三角形波形异常振荡率，%。

F.3 饱和率

可根据输出值处于限位(最大/最小值)的时间占统计总时间的百分比进行评估,可用于诊断执行器(如调节阀)是否存在过大或过小的问题。饱和率(Sa)按照公式(F.8)计算：

$$Sa = \frac{AutoSaturateTime}{AllTime} \times 100\% \dots\dots\dots (F.8)$$

式中：

Sa ——饱和率，%；

$AutoSaturateTime$ ——统计时间范围内,自控状态下输出饱和或限位的时长,单位为秒(s)；

$AllTime$ ——统计时间范围的总时长,单位为秒(s)。

F.4 稳态时间

表示控制变量过程测量值从开始响应设定值变化到稳定在新的设定目标值附近所需的时间,反映了系统对变化的响应速度和稳定性,可用于识别 PID 控制器参数设置不当或控制算法不合适等问题。

实际稳态时间 T 可以通过阶跃响应测试、被控对象模型辨识、系统单位脉冲响应函数等方法获得。例如利用自回归滑动平均模型的时域特性获得系统单位脉冲响应函数,可对系统动态响应性能进行分析。

对于时间序列 $\{x_t\}$,如果 x_t 的值不仅与过去 p 步过程值有关,还与过去 q 步扰动有关,则被称为 p 阶自回归 q 阶滑动平均模型,记为 $ARMA(p, q)$ 。时间序列在 t 时刻的取值(x_t)按照公式(F.9)计算：

$$x_t = \xi_t + \sum_{i=1}^p \varphi_i x_{t-i} - \sum_{j=1}^q \theta_j \xi_{t-j} \dots\dots\dots (F.9)$$

式中：

x_t ——时间序列在第 t 时刻的值；

ξ_t ——均值为零、方差为 2 的白噪声序列在第 t 时刻的值；

p ——自回归滑动平均模型中包含的滞后项数；

φ_i ——自回归系数序列在第 t 时刻的值；

x_{t-i} ——时间序列在第 $t-i$ 时刻的值；

q ——自回归滑动平均模型中包含的滞后误差项数；

θ_j ——滑动平均系数序列在第 i 时刻的值；

ξ_{t-j} ——均值为零、方差为 2 的白噪声序列在第 $t-j$ 时刻的值。

通过最小二乘估计及极大似然估计等统计方法进行自回归系数 $\varphi_i (i=1, 2, \dots, p)$ 及滑动平均系数 $\theta_j (j=1, 2, \dots, q)$ 的辨识。自回归滑动平均模型最主要的时域特性为系统的单位脉冲响应函数 G_j , 表征系统特性,在时序方法中又被称为 Green 函数。

根据自回归系数及滑动平均系数计算 Green 函数,令 $G_0 = 1$,当 $p > q$ 时,Green 函数按照公式(F.10)计算：

$$\begin{aligned}
 G_1 &= \varphi_1 G_0 - \theta_1 \\
 G_2 &= \varphi_1 G_1 + \varphi_2 G_0 - \theta_2 \\
 &\vdots \\
 G_q &= \varphi_1 G_{q-1} + \varphi_2 G_{q-2} + \cdots + \varphi_q G_0 \\
 &\vdots \\
 G_p &= \varphi_1 G_{p-1} + \varphi_2 G_{p-2} + \cdots + \varphi_p G_0 \\
 G_{p+1} &= \varphi_1 G_p + \varphi_2 G_{p-1} + \cdots + \varphi_p G_1 \\
 &\vdots \\
 G_{p+y} &= \varphi_1 G_{p+y-1} + \varphi_2 G_{p+y-2} + \cdots + \varphi_p G_y
 \end{aligned}
 \tag{ F.10 }$$

式中：

- p ——ARMA 模型中包含的滞后项数；
- q ——ARMA 模型中包含的滞后误差项数；
- y ——脉冲序列的总个数。

将单位脉冲响应函数稳定在 5% 或 2% 的时间 $3T$ 或 $4T$ 作为控制回路的实际稳态时间，判断系统的响应速度。

F.5 输出值行程指数

表示统计时间范围内，平均每小时输出值的运动里程，有助于评估阀门磨损情况。例如，当输出值为调节阀开度时，过多的阀门动作会造成阀门快速磨损，输出值 1 h 行程指数为 0 时，说明回路异常，需诊断分析。输出值行程指数($Trip$)按照公式(F.11)计算：

$$Trip = \frac{\sum_{i=2}^n |Op_i - Op_{i-1}|}{t} \times 100\% \tag{ F.11 }$$

式中：

- $Trip$ ——输出值行程指数，%；
- n ——统计时间范围内总的的数据个数；
- Op_i ——第 i 时刻输出值，%；
- t ——统计时间范围内，总的小时数据，单位为小时(h)。

F.6 好值率

用于表征控制回路执行器与仪表存在的异常程度情况，有助于诊断因通信故障、仪表故障设备等原因导致的控制回路数据异常。可根据数据停滞、突变、通信异常等异常情况时间占总统计时间的百分比计算得出。好值率(Qu)按照公式(F.12)计算：

$$Qu = \frac{AutoQualityTime}{AllTime} \times 100\% \tag{ F.12 }$$

式中：

- Qu ——好值率，%；
- $AutoQualityTime$ ——统计时间范围内数值正常的总时间，单位为秒(s)；
- $AllTime$ ——统计时间范围的总时长，单位为秒(s)。

F.7 相关性指数

用于衡量不同控制回路各参数变量之间关联程度或倾向性的指标，有助于诊断多个控制回路之间的耦合情况以及过程控制策略的有效性，可基于历史数据采用皮尔逊相关系数公式计算得出。相关性系数(Sim)按照公式(F.13)计算：

$$Sim = \frac{\sum_{i=1}^n (Ns_i - \overline{Ns})(Os_i - \overline{Os})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Ns_i - \overline{Ns})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Os_i - \overline{Os})^2}} \dots\dots\dots (F.13)$$

式中：

Sim ——相关性系数，%；

Ns_i ——当前回路数据采集序列的某个参数在第 i 时刻的值；

\overline{Ns} ——当前回路数据采集序列的某个参数的平均值；

Os_i ——目标相关回路数据采集序列的某个参数在第 i 时刻的值；

\overline{Os} ——目标相关回路数据采集序列的某个参数的平均值；

n ——统计时间范围内总的的数据个数。

F.8 多指标综合诊断

鉴于控制回路的复杂性，其潜在的故障原因多种多样，使得控制回路的数据表现形式呈现出明显的差异性，因此，单纯依赖单一指标来进行故障定位往往无法精确判定故障的根本原因。为了提升故障定位的精确度，有必要采用多指标综合诊断的方法，通过深入分析这些指标的变化趋势以及它们之间的相互关系，初步判断控制回路可能存在的故障类型。

在进行故障定位的过程中，除了依赖数据分析，企业还需要结合实际情况进行人工的逻辑推理和判断，进一步确认故障的具体原因，提高故障定位的准确度，为后续回路的故障修复和优化工作提供有力的支持。

附 录 G

(资料性)

PID 参数优化方法

G.1 工程整定方法

通过合理的 PID 参数调整和优化,可以提高控制回路系统的控制精度和响应速度,从而满足实际应用的需求。在安全控制工况下,对控制回路进行阶跃测试,并结合工程经验公式对 PID 参数进行整定,是确保系统稳定、可靠运行的关键步骤。

阶跃测试,通过对系统施加突然的输入变化,观察其输出响应,进而评估系统的动态特性。在测试过程中,可以采用反应曲线法、衰减法等工程经验公式对 PID 控制器的参数进行整定,以优化系统的控制效果。

反应曲线法,通过观察系统输出响应曲线来整定 PID 参数。在阶跃测试中,记录系统输出随时间的变化情况,并绘制出反应曲线,通过分析曲线的形状、斜率等特征,初步判断系统的动态性能,如响应时间、超调量等。根据这些性能指标,可以调整 PID 控制器的比例、积分和微分参数,以改善系统的控制效果。

衰减法,通过调整 PID 参数,使系统输出响应在达到稳态后呈现一定的衰减趋势。这种方法通常用于避免系统出现振荡或超调现象,在阶跃测试中,通过逐步调整 PID 参数,观察系统输出响应的衰减情况,找到使系统稳定且性能良好的参数组合。

值得注意的是, PID 参数的整定是一个持续优化的过程,需要根据实际系统特性和控制需求进行反复调整。除了反应曲线法和衰减法外,还可以结合其他工程经验公式或优化算法进行 PID 参数的整定,以进一步提高系统的控制性能。

G.2 基础理论公式方法

通过收集控制回路的运行数据,建立被控对象的数学模型,并利用多种 PID 参数优化方法计算确定 PID 参数,具体步骤如下。

a) 基础数据处理

数据是进行系统辨识和参数整定的基础,在进行系统辨识之前,应首先进行数据预处理。可以采用小波去噪、滑动时间窗平均滤波、归一化等方法,以消除噪声、平滑数据并统一量纲,为后续的分析 and 计算提供准确可靠的数据。

b) PID 控制算法分析

各种 BPCS 系统中的 PID 控制策略在原理上大致相同,但其内部具体运算逻辑却存在显著差异,这种差异不仅体现在算法的实现方式上,还涉及参数调整范围、控制策略选择等多个方面。因此,在针对特定 BPCS 系统进行 PID 参数优化前,有必要先对 PID 算法功能进行深入分析,包括:PID 控制算法的基本原理、不同 BPCS 系统中 PID 算法的差异性、参数调整范围以及可选的控制策略等。

c) 被控对象的模型辨识

为了真实刻画被控对象的动态特性,需要将对真实过程的整定过程转化为对被辨识模型的整定。根据被控变量的特性,首先,需要确定使用一阶模型或者二阶模型来描述自恒对象与非自恒对象。其次,通过阶跃响应法、脉冲响应法、最小二乘法等方法,对被控对象进行模型辨识,以获取其动态特性的准确描述。

d) PID 参数整定

基于辨识得到的被控对象模型及 PID 控制算法,可以运用多种方法进行参数优化。例如:

- 1) Lambda 整定法,利用系统的频率特性来选择适当的 Lambda 值,以实现响应速度与稳定性的平衡。
- 2) 内模 PID 控制器参数整定法,通过引入内部模型来调整参数,提高系统的鲁棒性和抗干扰能力。
- 3) 自适应整定:针对非线性控制,提供自适应控制策略。在工艺条件变化过程中,识别适用于操作分区域场合,按照不同的操作范围设置不同控制参数。
- 4) 工程整定公式法,如 G.1 介绍。

在实际应用中,企业需要根据具体情况选择合适的方法,并结合工程经验进行微调,以实现 PID 控制器的最佳性能。此外,可借助专业化 PID 参数整定软件或计算工具,辅助进行 PID 参数的自动优化,提高优化过程的便捷性和效率。



附录 H

(资料性)

控制回路性能评估与优化系统

H.1 应用架构示例

图 H.1 给出了控制回路性能评估与优化系统的一种典型应用架构示例,具体功能要求如下:

- 系统支持 OPC DA/UA 通信服务标准,通过数据服务进行数据采集;
- 通过数据服务将采集的控制回路数据保存至历史数据库,用于服务层的数据支持;
- 通过在服务层建立数据处理、控制回路回路关键绩效指标评估、诊断分析、模型辨识、PID 参数优化等不同功能模块的计算服务,实现控制回路性能评估与优化的核心功能及关键数据处理;
- 通过应用层建立多维度指标监控、性能定级、PID 参数整定、台账管理等应用,实现对控制回路的性能评估与优化。

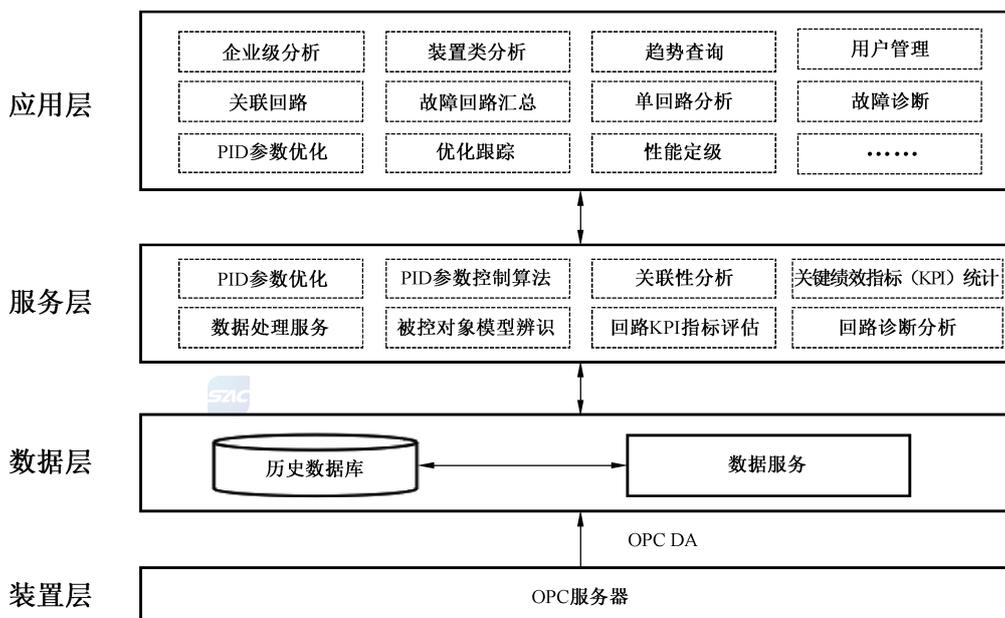


图 H.1 应用架构示例

H.2 系统功能示例

企业可采用控制回路性能评估与优化系统自动化实现数据收集、指标计算、性能评估、故障诊断、性能优化等工作。系统应包括如下功能。

- 通过工控数据接口采集控制回路数据,至少包括:测量值、设定值、输出值、控制模式等。
- 系统支持建立控制回路台账,实现台账管理功能。
- 系统需建立标准所列的各项评估指标,并可以通过公司信息网访问在线统计、分析、监测。
- 控制回路的性能评估结果支持分级:一级、二级、三级、四级和五级等,且较差的控制回路应有醒目的提示,并根据数据分析给出初步的诊断结果与合理意见。
- 系统具备控制回路评估报告生成与导出功能,并可通过公司信息网访问,报告内容应至少包

括：装置名、统计时间、装置总回路个数、参与统计的回路数量、控制回路未投用原因分析与统计、装置整体的自控率、装置整体的性能评分、控制回路性能评分较差后 10 位、控制回路的自控率较差后 10 位。

- f) 系统具有近三年内各项评估指标的历史查询功能。



参 考 文 献

- [1] GB/T 19001 质量管理体系 要求
- [2] GB/T 20438.2 电气/电子/可编程电子安全相关系统的功能安全 第2部分:电气/电子/可编程电子安全相关系统的要求
- [3] GB/T 32854.1 工业自动化系统与集成 制造系统先进控制与优化软件集成 第1部分:总述、概念及术语
- [4] GB/T 33009.1 工业自动化和控制系统网络安全 集散控制系统(DCS) 第1部分:防护要求
- [5] GB/T 33863.1 OPC 统一架构 第1部分:概述和概念
- [6] GB/T 50770 石油化工安全仪表系统设计规范
- [7] HG/T 20519 化工工艺设计施工图内容和深度统一规定
- [8] HG/T 20636 自控专业设计管理规定(所有部分)
- [9] HG/T 20637 化工装置自控专业工程设计文件的编制规范
- [10] HG/T 20638 化工装置自控工程设计文件深度规范
- [11] HG/T 20639 化工装置自控专业工程设计用典型图表(所有部分)
-

