

第 1 章 简介

1.1 引言

造纸过程管理范围很广,涵盖了整间工厂控制生产运作的各类活动,包括造纸厂操作人员的各种操作指令和与之相关联的各类自动化系统。本书主要介绍整个造纸体系中的自动化部分,特别是过程控制管理系统,而对现场的基础自动化系统则着墨不多。

1.2 自动化系统的前景

自动化系统占整个造纸厂投入的比例从百分之几到 30% ~ 40% 不等。一般来说,产量恒定、纸种单一或品种较少的造纸厂所需的自动化系统投入较低;而较高的自动化系统投入通常适合于具有以下特点的造纸厂:原材料变化频繁、纸种繁多、间歇工艺与连续工艺兼有。多年来,市场对稳定的高质量纸品的不断追求促使企业大力投资于质量分析仪、质量控制器和各种监测系统。

1.2.1 自动化系统的重要性

那么,在实际生产中哪些操作和功能需要自动化? 监控和控制工作在人工操作和自动化系统之间如何分配? 这些问题很难回答,也不可能总结出通用的建议或准则。对操作者来说,因身体反应不够快,所以那些在生产过程中很难控制的快速变化的变量需要自动化;同时重体力和危险的操作过程也需要自动化。另外,虽然操作人员可以在较短时间内非常好地控制某个复杂过程,但是无法长时间保持这种最佳工作状态;而且操作者的差异也会引起产品质量和生产过程的波动。

生产中要管理好整条生产线是非常困难的,因为它们不会一直保持稳定,而是在不断地变化,且可能伴随着一些复杂而又难以测量的化学变化。因此,管理主要是监控并获取准确及时的信息,利用优化工具来确定最佳生产方案或资源分配方案。

对于那些已使用很久的、操作复杂且长期未做设计和计划的操作流程,因为操作人员很难回想起已有的最佳解决方案,所以特别需要计算机决策工具的支持。

1.3 自动化程度的概念

“自动化程度”是指操作任务在操作人员和自动化系统之间的分配程度。有些操作可以手动实现,有些操作可以自动实现,而有些操作通过手动和自动均可实现。这里需要注意的是,“自动化程度”不是一个量化的值,而是一种定性的说法。

1.3.1 自动化系统的收益

是否投资上自动化系统考虑的主因并不是操作和安全,而是上自动化系统的投入成本和预期的成本节约。自动化系统的投入成本很容易计算,但预估成本节约却需要用到生产工艺知识和经验。

通常,使用自动化系统所带来的益处包括以下几个方面:

- ① 更加稳定和更好的质量;
- ② 更高的产量;
- ③ 更低的原材料消耗和能耗;
- ④ 更优的转产管理;
- ⑤ 更加有效地利用劳动力;
- ⑥ 获取更优质和丰富的信息。

1.3.2 自动化系统的优点

(1) 减少生产的波动

自动化系统一个重要的优点是能提高产品质量。对于连续生产的造纸厂,自动化系统可以减少不同操作者和工作班次之间的差异。使车间运作更加稳定,使产品质量显著提高。自动化生产可以稳定质量参数,减少劣等次品,降低因产品质量造成的损失,从而提高产量或提高单位产率,进一步实现原材料与能耗的节约。

例如,在硫酸盐法制浆过程中,通过提高目标纸浆卡伯值的方法,不仅可以减少纸浆卡伯值的波动,而且可以提高纸浆的产量和得率。也即是说,在相同的木材用量,甚至更低的能耗下,可以生产出更多的纸浆。像这样的伴随着产品质量提高的同时带来其他益处的案例在制浆厂和造纸厂的质量控制系统中随处可见。

(2) 提高产量

提高纸浆或纸张产量的途径如下:其一,如前所述,通过高效的自动控制系统来提高生产效率或产品质量;其二,有效利用原材料(提高得率);其三,改进生产计划(原材料种类和品质变化)的管理方式,降低干扰的影响。例如,有效的浆池管理可以阻断生产扰动从一个工序传递到另一个工序;通过改善瓶颈工序的运行状况可以提高整条生产线的产量。

(3) 节约资源和能源

同样地,使用类似上述方法也可以节省原材料和化学药品。典型方法包括:更精确的剂量控制、更高的得率、稳定的质量和更规范的流程操作。

通过高度自动化系统实现节能的途径有三条:降低单位能耗(蒸汽或电能);使用高能效的设备并加强管理;协调好生产过程与发电厂之间的供需矛盾。例如,加强对间歇蒸煮器(耗

汽设备)的管理就是上述最后一条节能途径的典型例子。

(4)减少人身伤害

随着自动化程度的日益提高,那些常规操作、高强度的和危险的操作均由自动化系统来完成,使人们可以有更多的时间来实现更高级的监控功能。高质量的信息同样也能带来经济上的节约,但是这很难用准确的数字去量化。

1.4 层级化的描述

人们常用层级化的方式来描述一个系统的功能,这种表达方式特别适用于全厂自动化系统。图 1-1 是一种层级表达方式。

1.4.1 过程控制和管理层监控

根据操作时间的长短,过程控制通常分为两个层级:直接控制层和监控层。根据操作者或监控层确定的设定值,直接控制层主要控制工艺过程中的单变量参数。

1.4.1.1 直接控制层

这一层级中的过程控制通常分为两类:

- ① 不论是否存在干扰,将过程变量(温度、压力、流量等)控制在规定的稳定值(设定值),通常把这种控制称之为“定值控制”或“监管控制”。它们在流程工业中随处可见。
- ② 设定值是变化的,控制过程变量跟随其变化,称为“伺服控制”或者“过渡控制”。例如,根据已设置的设定值变化曲线来控制间歇反应器的温度。在制浆造纸过程中,对纸机或制浆线的产率和质量变化进行控制则更为困难,为此需要对多个变量根据已设置的变化规律来调节。

1.4.1.2 监控层

监控层用于计算设定值,输出到直接控制层,将单个被控对象或多个对象控制在最佳工作状态。具体包括:根据产品质量要求或设定的产量来确定过程变量的最优值,也就是稳定的或受控的设定值。最优化包括静态优化和动态优化。

1.4.2 自动化管理的必要性

制浆造纸企业实现全厂自动化管理是非常重要的,它主要用于协调和控制各车间、工厂和整个企业的生产、能耗和产品质量,这将带来很多益处;而且现代数据传输技术的发展为全厂自动化的实现提供了更高的可行性。

车间计划的制订和协调用于各车间的控制和监控,例如制浆厂的制浆车间和回收车间的监控。全厂计划的制订和协调与车间级的作用类似,该级需要确定全厂各个工序的产品质量要求,使全厂的总目标得以实现。

层级化的表示方法通常用于表示单层级的运行操作,但是用这种常规的表达方法不容易把各层级的硬件设备及之间的相互关系表达清楚。图 1-1 是一个全厂监控系统的层级简图,更多的信息可以查阅标准 ANSI/ISA 95 和 ISO/IEC 62264。

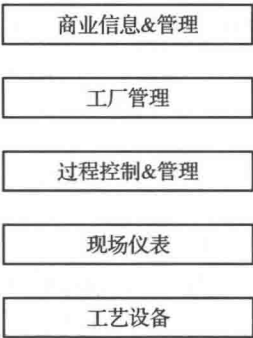


图 1-1 控制层次

1.5 维护管理

维护管理是本书的另一个主题,它与过程管理的功能或多或少有些类似,即哪怕是在工艺设备损坏或磨损的情况下,也能确保生产过程的正常运行。从机器设备的可靠性和适用性的角度来说,维护管理可以在产量和质量方面优化工厂的生产能力。

信息技术的进步对维护管理产生了很大的推动作用,许多维护管理的应用均基于现代信息技术和数据通信技术,且主要基于离线系统。此外,还需用到高精度的过程维护传感器或特殊的维护传感器,以及大量的数学运算。

1.6 小结

本书的后续章节将逐一介绍制浆造纸企业在过程控制和维护管理方面的最新进展和未来发展趋势。第①至③章讲述自动化系统和控制方法的发展,第④章讨论制浆造纸过程中特殊参数的测量,第⑤至⑥章介绍化学制浆(硫酸盐法制浆)的自动化系统,第⑦章是机械制浆的过程控制,第⑧章讨论造纸的控制系统,第⑨章阐述工厂的维护管理,第⑩章介绍一些维护管理常用的专业术语,第⑪章讲述维护管理的基础知识,第⑫章介绍如何实现全厂的维护管理,第⑬章简介现代维护管理中的服务供应链管理,第⑭章和第⑮章介绍造纸污水处理过程中的计算机仿真、控制及故障诊断的最新研究成果。

第②章 技术问题

2.1 过程自动化的发展

20 世纪 50 年代,随着中央控制室和标准化系统的引入,逐渐产生了自动化系统。随后电气系统开始在自动化功能块中得到应用,到 20 世纪 60 年代出现了面向功能自动化系统。这些系统有独立的功能块,如测量、控制、监控和连锁。

计算机自动化开始于 20 世纪 60 年代初。在美国,1961 年,爱达荷州 Potlatch Forests 公司安装了第一台纸机控制系统;1962 年,亚拉巴马州 Gulf States Paper 公司安装了第一个蒸煮器控制系统^[1]。1963 年,芬兰 Enso - Gutzeit Oy's Kaukopaa Mills 公司率先在欧洲使用计算机自动化系统^[2]。那个时期的计算机控制系统均使用大型商业电脑。

20 世纪 70 年代是工业过程专用计算机在制浆造纸企业各子工艺过程控制中的应用时期,当时已经出现了用于纸机、蒸煮等车间的专业配套控制系统,到 70 年代后半期,第一个数字化自动控制系统进入市场。

进入 80 年代,越来越多的企业开始采用分布式控制系统(DCS),即一种同时具备分散控制功能和集中过程管理功能的系统。由于 DCS 需要高效的数据传输功能,所以市场上很快出现了各种数据总线和网络组件。从 90 年代开始,标准信息技术广泛应用于过程自动化领域。现代自动化系统无疑是多技术结合的产物,包括数字技术、数据传输技术、软件工程、人体工程学等。

现代控制系统架构将自动化系统和工厂各数据处理单元连接起来,其发展经历了三个阶段:在 20 世纪 80 年代以前,过程控制使用独立的计算机或根据实际应用而定制的自动化系统,每个具体的应用均由单独的供应商提供,因此要实现不同系统之间的互操作性基本上是不可能的;紧接着出现了拥有以单一标准网络为骨架的开放系统,所有的子系统连接到这个开放网络上,随着数据库的引入,他们可以共享应用程序和用户界面;现代控制系统差不多可以视为连接这些拥有不同网络标准的网络,可以实现多种功能定制,这样就形成了系统架构。

2.2 系统架构

2.2.1 系统网络

分布式架构需要更多的数据传输,这在 DCS 内部非常普遍,例如,过程站与操作站之间的数据传输和人机界面(HMI)之间的数据传输。特别是在前述的不同层级之间,数据传输显得尤为重要。

图 2-1 展示了企业网络的一般形式。传感器总线和现场总线从现场设备、仪表、智能传感器和分析仪表处收集信息;然后自动化网络将收集的信息传输给 DCS、可编程逻辑控制器(PLC)或者更先进的过程管理 SCADA(数据采集与监视控制)系统;在操作管理层,数据通过车间网络在不同的系统中传输;管理信息系统 MIS、制造执行系统 MES;最后,企业网络对采集数据进行计算处理以利于企业决策计划(企业资源计划 ERP)。

来自不同生产厂家的系统功能实现方式存在巨大差异,甚至各系统和网络组件的命名方式也不相同。在后续的章节中将对其部分内容作简要介绍。



图 2-1 企业网络结构

随着数据传输和网络化系统的不断增长,催生了新型的智能网络设备的快速发展,用于在不同的应用平台之间提供数据传送帮助和协议转换,同时也是维护网络安全性和可靠性所必需的设备。

2.2.2 DCS 和 PLC 的结合

DCS 系统主要应用于需要连续测量和控制的流程工业,而 PLC 控制系统则主要应用于离散制造工业的非连续性控制和事件触发操作的控制。然而,也有些间歇过程,例如间歇蒸发器,需要以上两种控制系统的结合:连续过程、周期性的或事件触发性的控制共同作用。

目前,DCS 和 PLC 系统均采用了同样的技术,它们之间的差异正在逐渐消失。PLC 系统中越来越多地出现类似 DCS 的功能,反之亦然。例如,市场上出现 DCS 系统与电机驱动相结合的产品。如今,系统硬件和人机界面 HMI 已越来越接近,它们的区别主要体现在控制算法的差异。

最近的发展促进了所谓的混合控制器的诞生,这种控制器兼顾连续控制和离散控制的特点,并且适用于间歇过程的顺序操作和 SCADA 功能,它结合了 DCS 与 PLC 两者的优点,兼有 DCS 中开放的总线技术与其他数字设备的互操作性、全局数据库的访问、Block 编程的优势和 PLC 的短暂响应时间和可扩展性的特点^[3,4]。

2.2.3 基于 PC 的自动化

PC 技术在诸如造纸工业类的过程控制领域里的运用已经非常普及,主要是因为 PC 平台上具有服务于 DCS 和 PLC 人机界面/SCADA 的应用软件。虽然直接控制的应用软件比较少,

但是在报警处理、远程监控方面,PC 机仍然很受欢迎。

PC 应用在过程自动化中存在三个重要的因素:可靠性、系统标准的开放性和实时可操作性。PC 应用的安全性将在以后的章节中讨论,现在讨论另外两个因素:

Window NT 操作系统在过程控制领域越来越受到欢迎,这得益于标准的数据通信,主要是基于微软的组件对象模型(COM)、对象衔接与嵌入技术(OLE)。在这些技术的基础上推出了一种新的工业标准——OPC,即用于过程控制的 OLE。OPC 标准成功地将 PCs 与传统的 DCS、SCADA 和 PLC 系统连接起来。由于其稳定性,OPC 标准似乎在很多情况下已取代动态数据交换(DDE)。并且无线设备之间的连接也可以通过 OPC 实现^[5,6]。

实时可操作性是系统的控制功能所必需的。“实时”意味着系统必须有能力及时响应控制要求,保证过程操作正确,符合预期效果。这对操作系统和数据传输都提出了高要求,尤其是确定性操作。

一般来说,实时操作系统(RTOS)需要具备以下几点属性:

它们必须能够同时执行多个任务,即能够在不同任务与硬件之间共享数据。实时操作能够中断处理和任务调度。利用基于优先级的调度和/或时钟中断分时,任务调度必须保证每个功能有足够的处理能力和 CPU 的利用率最大化(或者最少浪费时间)。RTOS 也可以将动态内存分配用于不同任务间的数据传递。

PC 技术到底给控制系统带来什么好处呢?它首先降低了成本,同时给自动化系统的层级提供了数据信息。在某种程度上,PC 技术改变了传统自动化控制系统的层次结构^[7]。在监测显示方面,它提供了操作更方便、更通用的标准人机接口。PC 技术同样也增加了系统的开放性,而开放性系统的好处是系统的运行与现行标准保持一致,这样供应商可以生产出可互操作性的产品,提供更多的控制解决方案,更加吸引客户。

2.2.4 现场总线技术

现场总线是用于实时分布式控制的工业计算机网络协议中的一种,标准是 IEC 61158^[8]。此标准定义和规范了传统的 OSI 参考模型中的物理层、数据链路层和应用层。

现场总线是现代实时分布控制系统中不可或缺的部分。它通过数字串行双通道通信系统将仪表、传感器、执行器和控制器连接在一起,可以在不同的网络结构和网络拓扑上使用。现场总线位于工厂网络结构中的最底层(参见图 2-1)。它将现场仪表连接起来组成一个局域网(LAN),该网络上分布着大量的控制点。现场总线还必须采用由多个供应商和多种技术所支持的开放访问通道。

模拟仪表产生一个 4~20mA 的电流信号,该信号通过电缆从被测点传输到控制室,然后再从控制室传输到被控对象。传统方案是通过 RS-232 标准串行口连接计算机,但这种连接方式只能同时允许两台设备通信。然而,目前的现场总线方案中单根电缆可以连接多个仪表,并允许多个模拟设备和数字设备同时通信,这使得安装中的电缆布线投资大量减少。

使用现场总线节省了系统的运行和维护成本^[9]。其配置很简单,而且可以建立涵盖整个工程和带有诊断功能的远程操作站。精确的测量数据使得更优良的控制策略和更严格的质量控制成为可能,高质量的数据被广泛应用于工厂管理、预防维修和资产管理中。

现场总线技术的应用也引入了智能控制:使用智能传感器和执行器的高级系统具有更强的可操作性和可靠性。变送器有压缩法和标度法两种不同的算法,执行器中含有能进行控制

运算的处理器^[10]。更分散的控制系统和无线技术的应用使控制系统变得更加强大。

在过程自动化中包含两种技术:过程现场总线(Profibus)和基金会现场总线(Foundation Fieldbus)。Profibus 源于 PLC 架构,且符合 EN 50170 标准,在过程自动化中通常有三种类型:Profibus - FMS, Profibus - DP 和 Profibus - AP^[11],它们在 OSI 模型中对物理层和数据链路层的定义都相似。欧洲大多采用 Profibus 协议,而北美则更多采用 Foundation fieldbus 协议。Foundation fieldbus 协议在高级控制策略方面更具优势,其定义包含了物理层、应用层和通信栈的第 2 至 7 层^[12]。

2.2.5 网络化控制

正如前面多次提到的,网络化是控制系统的未来——工厂内部网络或者常见的因特网。监控和控制网络化意味着距离不再是限制。控制网络化可以实现以下三方面:

a. 网络控制;b. 远程监控;c. 性能监测和控制器调优。

网络化控制与传统控制有很多不同,包括滞后时间、安全性、数据一致性和用户访问渠道等方面,其中最重要的是滞后时间^[13]。网络滞后时间可以固定不变,当传感器、执行器、控制器和人通过网络交换数据时就会有网络滞后,其时间长短取决于网络的结构、传播介质和通信协议。网络滞后时间又可以分为通信滞后和计算滞后。在响应缓慢的过程控制中,滞后时间对控制性能只有很小的影响。而在响应快速的控制回路中,滞后时间对控制性能影响很大,甚至导致系统崩溃。

设计网络控制系统一般有两种方法。如图 2-2 所示,最简单的方法是利用远程控制器计算出设定值并传输到实际控制着传感器和执行器的本地控制器,这种方法在不良数据通信的情形下也可以保证控制的连续性(见图 2-2)^[14];另一种方法是将所有的控制计算处理归置于远程控制器中,这就需要系统有安全措施和联锁功能来应对控制系统或数据传输中可能出现的干扰。

网络化控制必须达到两点要求:带约束的时滞和稳定的数据传输^[15],也就是控制的实时性和合理的数据一致性。无效的数据传输和大时滞的信息可能会影响控制系统的性能,甚至导致严重的系统瘫痪。有两种解决方法:一是尽量降低控制系统不利因素出现的可能性;二是在控制应用中将这些不利因素考虑在内,即主要是时滞补偿。

远程监控可以将过程或设备中的数据传送到另外一个地方,甚至是某个移动设备上,而且这并不局限于工厂内部。远程监控可以分为两类:按需监控和连续监控。在按需监控的情况下,只有产生了监控需求,远程控制室才会与现场网络连接,例如分析故障或调整控制回路,这是一种被动的方式,适用于停机成本低的应用场合;而连续远程监控属于预见性监控,采用诸如统计过程控制(SPC)等方法。

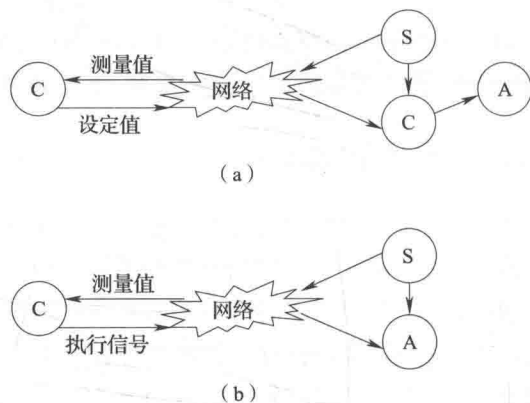


图 2-2 网络控制系统

(a) 串级控制 (b) 远程控制

C—控制器 S—传感器 A—执行器

制浆造纸企业中运用到远程监控的地方很多^[16],包括报警和故障通知、报警、故障、运行日志、趋势检测、SPC、操作员交互记录,等等。利用无线技术,远程监控还可以实现设备的无人操作。

远程监控还可以对控制器进行性能跟踪和控制器调优。过程数据被自动收集后通过网络传输到远程服务器,系统就会根据错误属性、最大超调量、校正时间和其他控制回路性能指标参数计算出当前系统的性能状况,同时将结果传送给用户或现场工作人员。如果条件允许,还可以通过远程连接直接优化控制器的参数。

2.2.6 无线技术

根据使用环境的不同,工业现场的配线成本从每米 300 美元到 6000 美元不等,是传感器价格的数倍^[10]。因此,工业自动化使用无线传感器网络(WSN)将会很有吸引力。无线应用技术从近程个人区域网络发展到蜂窝网络,在某些情况下甚至运用卫星进行全球通信。无线通信替代有线通信不仅将显著减少安装成本,而且无线技术还具有以下优点^[17,18]:a. 网络升级的灵活性;b. 减少维护成本;c. 自控功能进一步分散;d. 可以运用在移动和旋转设备上;e. 提高故障定位和隔离能力。

WSN 包含至少 3 个不同的节点:收发器节点、接收器节点和中继节点。收发器可以实现数据采集和通信,其他两个节点只用通信功能。节点中包含微控制器、数据存储器、模数转换器、数据收发器、碎片集成化控制器和电源。无线传感器网路拓扑构架包含:星形、树形和网形等。

电源是 WSN 中的短板。毫无疑问,对于拥有成百上千个传感器的工业控制系统而言,电源尤其重要。资料显示^[19],若电池寿命达到 2~5 年,则 WSN 的停延时间不能超过 1%,否则维护成本将会超过节省的安装成本。为了解决这个问题,大多数工业传感器自配电源。随着通信距离的增加和障碍物对信号的衰减,无线通信耗电量快速上升。WSN 无线电的功耗大概是 20mW,范围通常是几十米。一般采取减少通讯次数或者不通信时关闭接收器的方式降低能耗;另外还有一些方案可以降低能耗,例如在节点就地处理数据,只在需要时进行通信、数据整合、压缩和调度。

WSN 的标准有如下几种:a. IEEE 802. 11(WLAN);b. IEEE 802. 15. 1(Bluetooth);c. IEEE 802. 15. 3(UWB);d. IEEE 802. 15. 4(ZigBee, WiHart and 6loPAN);e. IEEE 802. 16(WiMAX);f. ISO 14443/ISO 18000(RFID)。

IEEE 802. 15. 4 是其中最重要的标准^[19,20]。该标准的介质访问控制层使用了 CSMA-CA 机制,而且定义了物理层中两种选择频率:a. 低波段频率 868/915MHz(欧洲/北美);b. 高波段频率 2. 4GHz。

WSN 可以应用于以下领域^[18]:小概率事件检测、定期数据采集、实时数据采集、控制领域、工业移动机器人和实时库存管理。WSN 可与电机轴承、油泵、引擎、振动传感器连接,或在有线连接难以接近或危险的环境中使用。

WSN 的应用越来越广泛,但仍然面临诸多挑战:a. 特制的无线自构型网络开发;b. 降低电量消耗;c. 带多反射的通信范围扩展;d. 兼容性问题;e. 安全性问题。



图 2-3 面向服务的体系结构

2.2.7 软件架构

现场总线和传感器网络的运用使过程监控更智能化,其另一个趋势是与公司级和其他 IT 系统的融合,这需要新的软件架构和标准^[21]。

面向服务的体系结构(SOA)通常被称为已定义功能层的层次结构(如图 2-3 所示),它是一个利用微小组件(即服务)构建大型自组系统的设计开发方法,它独立于实现服务的硬件平台、操作系统和编程语言。SOA 也可以被视为一种设计框架,让系统的开发变得更加快速、灵活和低成本。

SOA 是面向服务、分布计算环境中的软件组件^[10],分布在依靠互联网相连的远程站点。它们既各自独立,又可以与其他服务组成嵌套结构;它们定义明确,又可以自动组合升级。例如,来自不同供应商的组件模型能够自动构建工厂模型,并由其他供应商根据工厂实际条件进行优化^[10]。结合不同供应商的服务,可以加强系统的可靠性、安全性、可维护性和可更新性/可升级性。

目前,OPC 统一架构(OPC UA)和新的语义网技术都采用面向服务的体系结构(SOA)^[21]。

2.2.8 系统安全

早期的过程自动化系统只是单一供应商的系统,这种系统很少或几乎不与其他信息系统联系。移植到基于微软 Windows 操作系统的应用后,随着互联网(如以太网)的出现和通用数据库的使用,使过程自动化系统开始受到这些开放系统的威胁。

过程自动化系统与其他 IT 系统的主要区别是:过程自动化系统必须保证全天候不间断的运行状态,在被干扰后必须在短时间内(只有几分钟而不是几小时)恢复正常运行。过程自动化系统在可靠性、有效性和可维护性方面的要求远高于其他 IT 系统,尤其在高安全性的应用领域,如核电站。总的原则是即使在紧急情况下,控制过程也必须处于可控条件下。

人员、过程和技术是最有可能存在安全漏洞的地方^[22]。其中,技术漏洞是最容易解决的,信息技术就可以提供很多工具和解决方法。如今的商用系统提供了很多安全服务,以应对诸如入侵检测、病毒扫描删除、修复网络广播风暴和拒绝服务攻击等。除此之外,用户身份验证、设置登录密码和防火墙同样都是可行的方法。

相比之下,克服人员漏洞要困难很多。从技术的角度,通过登录密码来限制用户访问的方法很容易,但随之而来的问题是:谁有权获得密码?访问的目的是什么?谁有权使用自动化系统中的信息?谁有权连接新的设备和安装新的应用程序?

来自过程的安全问题是指操作步骤、方案和工作^[22]。如果升级后系统更复杂更难操作,就应该考虑过程的安全;系统更新需要重启计算机,而重启计算机只有在生产过程停机后才能进行;当遇到系统崩溃时,应尽量降低其影响,并快速有序地恢复系统。

例如,在设计、安装和使用 SCADA 系统时,必须考虑到以下风险因素^[23]:

- ① 通用 PC 技术中存在的风险;
- ② 与其他网络连接所存在的风险;
- ③ 共享设施中伴随的问题;
- ④ SCADA 节点间的信任问题。

无线通信的特点也酿成了安全隐患。IEEE 802.15.4 标准给物理层和数据连接层提供高级别的安全性,但是从网络层到应用层,必须具有安全密钥管理、适当的信息完整性、保密性和信息源认证方法^[19]。安全级别的选择也会对无线网络的性能、接收器的功耗和整个网络延迟产生影响。资料显示:大多数造纸厂的通信信息对安全性要求不高。

系统安全有几个标准:ISO 17799 规定了合格的信息安全管理要求,ISO 27001 规定了信息安全管理体系的指标,而 BS7799-3 涉及风险管理^[24]。

2.2.9 即插即用组件

即插即用是指系统自动检测硬件设备而无须为其单独配置的能力,各种 USB 设备就是最好的例子。传感器网络化的不断扩大和变化(智能化)使即插即用功能必不可少,不同软件组件的结合同样有类似的需求。如前所述,目前 OPC 是主要的工具。

参考文献

- [1] Uronen P., Williams T. J. 1978. Hierarchical computer control in the pulp and paper industry. Report Number 111. Purdue Laboratory for Applied Industrial Control, Purdue University. pp. 7-10.
- [2] Korhonen J. 1983. In: Paper Manufacturing (A. Arjas, Ed.), part 2. Teknillisten Tieteiden Akatemia, Turku. pp. 877-910.
- [3] Smith J. PLC versus DCS. Directory\M articles. (On-line). [Referred 7. 2. 2009]. Available at: http://articles.directorym.net/PLC_versus_DCS-a941877.html.
- [4] Waterbury, B. DCS, PLC, PC, or PAS? Unsure about blurring control system distinctions, users identify with functionality. [Referred 7. 2. 2009]. Available at: http://www.iconics.com/news/article_display.asp?Article=cm_7-01.htm.
- [5] Liu, J., Lim, K. W., Ho, W. K., Tan, K. C., Tay, A., Srinivasan, R. 2005. Using the OPC standard for real-time process monitoring and control. IEEE Software. Vol. 22, Issue 6, pp. 54-59. ISSN 0740-7459.
- [6] Hernandez, S. I. R., Ochoa, M. P., Ramirez, J. C. V. 2007. Bluetooth and OPC (OLE for Process Control) for the distributed data integration. In: 1-on Fourth IEEE Congress of Electronics, Robotics and Automotive Mechanics. 25-28 Sept., pp. 27-32.
- [7] Cawfield, D. 1997. PC-based direct control flattens control hierarchy, opens information flow. Real-Time Magazine. Issue 4, pp. 47-53.
- [8] Fieldbus. Wikipedia. [Referred 21. 12. 2008]. Available at: <http://en.wikipedia.org/wiki/Filedbus>.
- [9] A PTO White Paper. 2006. Why use a fieldbus? [Referred 21. 12. 2008]. Available at: <http://www.us.profibus.com/docs/Why%20Use%20a%20Fieldbus.pdf>.
- [10] Samad, T., McLaughlin, P., Lu, J. 2007. System architecture for process automation: Review and trends. Journal of Process Control. Vol. 17, Issue 3, pp. 191-201.

- [11] Profibus – PA. Technical Information. [Referred 21. 12. 2008] . Available at; http://www.samson.de/pdf_en/1453en.pdf.
- [12] Foundation Fieldbus. Technical Information. [Referred 21. 12. 2008] . Available at; http://www.samson.de/pdf_en/1454en.pdf.
- [13] Yliniemi, L. , Leiviska, K. 2006. Process control across wired network. In: IASTED International Conference on Parallel and Distributed Computing and Networks. Innsbruck, Austria, February 14 – 16. 9 p.
- [14] Mattina, V. , Yliniemi, L. 2005. Process control across network. Report A. No. 28, Control Engineering Laboratory, University of Oulu. ISBN 951 – 42 – 7875 – 5.
- [15] Wei, Z. , Branicky, M. S. , Phillips, S. M. 2001. Stability of networked control systems. IEEE Control Systems Magazine. Vol. 21, Issue 1, pp. 84 – 99, ISSN 0272 – 1708.
- [16] Bixler, T. S. 2008. Remote monitoring and expert diagnostic support for the pulp & paper industry, In: Conference Record of 54th Annual Pulp and Paper Industry Technical Conference, Seattle, WA, 22 – 27 June 2008. pp. 181 – 191.
- [17] Aakvaag, N. , Mathiesen, M. , Thonet, G. 2005. Timing power issues in wireless sensor networks – an industrial test case. In: Proceedings 2005 International Conference an Parallel Processing Workshops. Oslo, Norway, June 2005. pp. 419 – 426.
- [18] Low, K. S. , Win, W, N, N. , Meng, J. E. 2005. Wireless sensor networks for industrial environment. In: International Conference on Computational Modelling Control and Automation, and International Conference on intelligent Agents, Web Technologies, and Internet Commerce. Vienna, Austria, 28 – 30 Nov. 2. pp. 271 – 276.
- [19] Gutierrez, J. A. , Durocher, D. B. 2005. On the use of IEEE 802. 15. 4 to enable wireless sensor networks in Pulp and Paper industry. In: 2005 IEEE Pulp and Paper Conference, Jacksonville, FL, 20 – 23 June, pp. 105 – 110. ISBN: 0 – 7803 – 9089 – X.
- [20] Gutierrez, J. A. , Durocher, D. B. , Lu, B. , Habetlet, T. G. 2006 Appling wireless sensor networks in industrial plant energy evaluation and planning systems. In: 2006 IEEE IAS Pulp and Paper Conference. Appleton, WI, June 18 – 23. pp. 1 – 7.
- [21] Seilonen, I. , Aarnio, P. , Koskinen, K. 2008, IT infrastructure for decision – making. In: Operational decision making in the process industry. Multidisciplinary approach. Editor Teemu Matasniemi. ISBN 978 – 951 – 38 – 7222 – 9. Also available at; <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2008/T2442.pdf>.
- [22] Hagedorn, D. , Honda, B. , Peterson, D. 2007. Process control security journey. In: Conference Record of Annual Pulp and Paper Industry Technical Conference. Williamsburg, VA, June 24 – 28. pp. 131 – 137. ISBN 0190 – 2172. ISBN 1 – 4244 – 1192 – 0.
- [23] Brown, T. 2005. Security in SCADA. How to handle the growing system menace to process automation. IEE Computing & Control Engineering. Vol, 16, Issue 3, pp. 43 – 47. ISSN: 0956 – 3385.
- [24] Induction to ISO 17799/BS7799. [Referred 28. 12. 2008] . Available at; <http://www.induction.to/bs7799/>.

第 3 章 方 法

3.1 开环控制与闭环控制

开环控制过程变量进行控制,如图 3-1 所示,它的输出值直接受输入值或控制信号的影响;而闭环控制则引入变量形成闭环,检测值与设定值比较后产生一个偏差,系统的输出值会根据这个偏差进行调整,如图 3-2 所示,这是通过反馈变量控制的回路。表 3-1 中列出开环控制和闭环控制的不同之处。

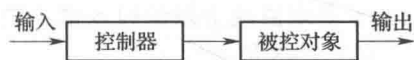


图 3-1 开环控制

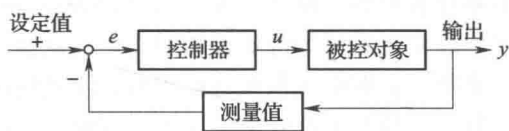


图 3-2 闭环控制

表 3-1 开环控制与闭环控制的比较

项目	开环控制	闭环控制
测量值	(干扰)	输出值
控制作用	基于扰动	基于偏差
硬件	简单,便宜	
调试要求	高	低
稳定性问题	不常见	有时严重
效率	对单个扰动有效	对所有扰动有效

3.2 数字控制算法

在数字控制器中广泛采用 PID 算法或对应的三种控制算法。这是因为 PID 算法具有极其广泛的应用范围和易于整定的特点,同时也延续了传统模拟控制器的优点。

连续 PID 算法的理想形式如下:

$$u(t) = K_c \left[e(t) + \frac{1}{T_R} \int_0^t e(t) dt + T_D \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (3-1)$$

其中, $u(t)$ 是控制器的输出值, $e(t)$ 是偏差, K_c 是比例增益, T_R 是积分时间, T_D 是微分时间。

在数字控制中, 对各个变量的处理是离散进行的。通常最简单的离散化形式已经可以满足控制要求。式(3-1)中的积分项部分可以近似表示为:

$$\int_0^t e(t) dt = \sum_{i=0}^n e_i T = T \sum_{i=0}^n e_i \quad (3-2)$$

其中, T 是采样周期。

式(3-2)的计算结果通常并不是直接对每段采样周期内的偏差求和, 而是将其保存在存储器中。如式(3-3)、式(3-4)所示:

$$S_n = S_{n-1} + e_n \quad (3-3)$$

$$S_n = \sum_{i=0}^n e_i \quad (3-4)$$

将以上几个方程结合起来得到数字 PID 算法:

$$u_n = u_0 + K_c \left[e_n + \frac{T}{T_R} S_n + \frac{T_D}{T} (e_n - e_{n-1}) \right] \quad (3-5)$$

其中, u_0 是控制变量的初始值。

设置式(3-4)中的 S_n 初始值为 0, u_0 为控制变量的当前值, 这样就从手动控制转为数字控制。将偏差暂时设为 0, 可以消除其他因素的影响。

当控制变量到达极限, 而偏差仍不为零时, 这种算法就存在不足之处。在这种情况下, 偏差的累计求和值不断增大或降低, 直到偏差从正变为零, 又从零变为负(或反向变化); 而控制变量的改变还需要等待更长的时间。这就会导致在响应过程中产生很大的超调量。

限制 S 值的变化范围有助于改善上述情况, 即当 u 趋近于上限值或下限值时 S 值不再改变。但是当偏差的符号随后发生改变时, 这又将会导致一个错误的 S 值。

为了避免此类情况, 将式(3-5)变换为:

$$u_n = u_{n-1} + \Delta u_n \quad (3-6)$$

用式(3-7)计算控制变量 u 的修正值 Δu :

$$\Delta u_n = K_c \left[e_n - e_{n-1} + \frac{T}{T_R} e_n + \frac{T_D}{T} (e_n - 2e_{n-1} + e_{n-2}) \right] \quad (3-7)$$

式(3-7)中不包括控制变量 u 的初值和对偏差的累计求和值 S , 而是在前一时刻的控制变量 u 基础上, 新增加一个增量。当从手动控制切换为自动控制时, 控制变量 u 获得一个瞬时值。通过简单地限定控制变量的范围可以避免饱和。

模拟 PID 控制器与数字 PID 控制器的主要区别在于, 数字算法使用了采样周期。若使用足够短的采样周期(最大为时间常数的一半), 则数字控制算法与模拟控制算法一样; 否则, 就要使用特殊的方法。

式(3-1)是理想的 PID 算法。为了满足不同需求, 商用控制器可以提供几种不同的改进算法, 其中至少包含两种算法, 即并行算法和串行算法:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{1}{T_R} \int e(t) dt + T_D \frac{de(t)}{dt} \quad (3-8)$$

$$u(t) = K_c \left[e(t) + \frac{1}{T_R} \int e(t) dt \right] \left[1 + T_D \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (3-9)$$

有些控制器使用比例度(PB)替代增益:

$$PB = \frac{1}{K_c} \quad (3-10)$$

3.3 自整定和 PID 控制回路的性能监测

3.3.1 自整定的作用

在控制系统开始投运和正常运行的过程中,控制器需要利用数字自动化系统和单回路控制器逐渐增强的数据处理能力进行参数整定。生产现场可能有上千个 PID 控制器,要通过人工整定的方式保障调节器始终处于良好的运行状态,是极其耗时的。当然也有其他几种方式:工业应用中已有一些控制回路性能的自动监测工具和历史运行数据,通过网络技术很容易远程获得这些信息,然后利用基于网络的分析软件,实现控制器的参数整定。

维持控制回路的良好性能具有以下四点重要作用^[1]:

① 定期采集 PID 控制回路的历史数据,验证控制回路的性能(在线)。数据的质量、数量和准确性均影响参数整定的优劣。

② 辨识出有缺陷的控制回路,与用户沟通(在线)。

③ 用户利用系统中提供的工具分析控制回路的性能(离线)。

④ 修复有缺陷的 PID 控制回路,或重新整定 PID 参数(离线)。

这种调节器参数整定可以是预先计划好的,或必要时由自控人员操作完成,但是其参数整定程序不一定是自动的。从这个角度来说,这里所说的自动整定方法与接下来要讨论的自适应自整定控制是不同的。

3.3.2 测试功能

在如今的商用控制器和自动化系统中,都含有自整定功能。为了获取被控对象的动态性能,需要做一个过程测试以收集其间的过程数据。通常正常运行时收集的数据并不包含控制器参数整定所需要的全部信息,因此这就需要人为改变被控对象的运行状态。常用的测试信号有:阶跃信号、脉冲信号、随机信号、伪随机信号。所施加的信号幅度和持续时间长短与被控对象有关。

某些时候需要建立被控对象的模型,模型的类型取决于具体的被控对象。时间域或频域中的线性模型是最常见的,取某个固定的工艺点附近一个狭小的区间内进行测试操作,该测试数据通常不能反映任何非线性动态性能。

阶跃信号是最常见的测试信号,输入变量发生阶跃变化。阶跃信号的数学表达式如下:

$$f(t) = \begin{cases} A, & t \geq 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases} \quad (3-11)$$

在阶跃响应中辨识对象参数的方法有多种。通常是在阶跃响应曲线上画一条切线或者取若干个特定的点,然后利用计算机计算出对象参数。通常,一个带单一时间常数和滞后时间的传递函数已经能充分表现对象特性。式(3-12)是一个带滞后的一阶传递函数:

$$G(s) = \frac{K_p e^{-Ls}}{1 + Ts} \quad (3-12)$$

式中 K_p ——比例增益

L ——滞后时间

s ——拉普拉斯变量

T ——时间常数

图 3-3 显示了上述对象的阶跃响应曲线和切线,通过常用的 Ziegler - Nichols 法对阶跃响应进行分析,可以确定对象的时间常数和滞后时间,比例增益是稳态阶跃响应与阶跃量的比值(= K/M)。

通常,一次测试操作只能确定一个变量。若阶跃信号、脉冲信号和斜坡信号在正负两个方向上均能改变,则有助于辨识出对象可能存在的非线性特性。输入信号应该连续变化的,经过足够长的时间,当输出响应趋于稳定时,接着改变输入信号的方向。图 3-4 是一种信号施加方式。测试信号必须在被控对象处于稳定状态时进行,否则就会得到错误的对象模型。

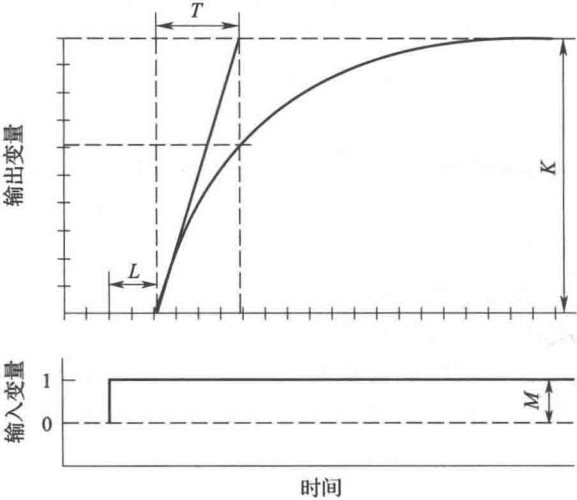


图 3-3 阶跃响应和 Ziegler - Nichols 方法

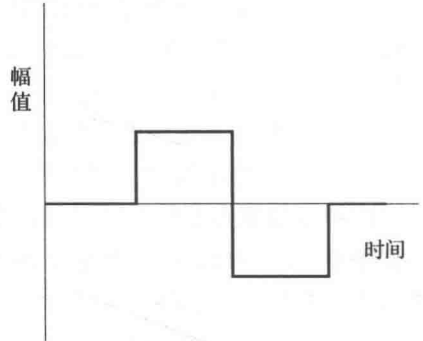


图 3-4 测试对象非线性特征的阶跃测试方案

除建模外,阶跃信号测试还可以为过程监控提供数据。常用的阶跃测试信号特征参数^[2](开环振荡系统)如下:a. 最大超调量或峰值超调率;b. 稳定时间($\pm 5\%$);c. 衰减率($1/4$);d. 过设定值时间;e. 峰值时间和上升时间。

闭环控制的性能监测通常用到误差的积分形式:

$$IAE = \int_0^T |e(t)| dt \tag{3-13}$$

$$ISE = \int_0^T e^2(t) dt \tag{3-14}$$

$$ITAE = \int_0^T t |e(t)| dt \tag{3-15}$$

$$ITSE = \int_0^T te^2(t) dt \tag{3-16}$$

脉冲信号的测试类似于阶跃信号的测试。输入信号在短时间上升和下降。理想脉冲信号时间为零,幅值无穷大。很显然,现实中不存在理想脉冲信号。其数学形式表达如下:

$$f_0(t) = \begin{cases} 1/0, & t \leq 0 \\ 0, & t > 0 \end{cases} \tag{3-17}$$

同样,脉冲响应曲线的分析类似于阶跃响应。图 3-5 是不带滞后的一阶过程的脉冲响应曲线。对象的时间常

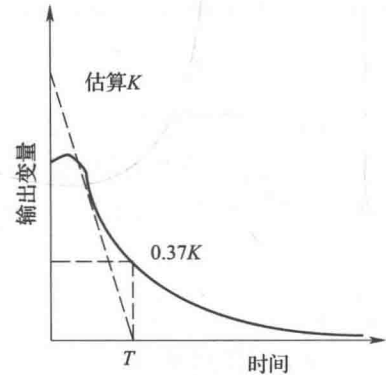


图 3-5 根据脉冲响应确定一阶对象模型

数就是响应达到下列值时所对应的时间:

$$\frac{K}{T}e^{-\tau/T} = \frac{K}{T}e^{-1} = 0.37 \frac{K}{T} \quad (3-18)$$

实际应用中不能提供理想的脉冲信号。因此,可以在 $t=0$ 附近曲线斜率最大处作一条切线,它与时间轴的交点就是时间常数的实际值。

二阶传递函数如式(3-19)所示:

$$G(s) = \frac{K}{(s/\omega_0)^2 + 2\xi s/\omega_0 + 1} \quad (3-19)$$

式中包含了响应形式、阻尼系数 ξ 和固有频率 ω 之间的关系。

3.3.3 相关性分析

相关性分析可以比较测量信号在不同时间点的测量值,以分析干扰和变化趋势;自相关性分析描述同一个信号不同瞬时值之间的相关性。它可以用于分析各种平稳信号、连续信号和历经信号。自相关函数的定义如下:

$$\phi_{xx}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} (1/2T) \int_{-T}^T x(t)x(t+\tau) dt \quad (3-20)$$

式中 τ ——滞后时间

$-T, T$ ——时间间隔

图 3-6 是平稳随机信号的自相关函数的主要形式,同时也是对式(3-20)更形象化的表达。

自相关函数描述了信号在一段时间内重复的方式,也表明了被控对象的周期性。滞后时间足够长时,纯随机变量的自相关性趋于 0;随着滞后时间的延长,通常自相关函数值会逐渐下降;如果变化速度越快,自相关函数值快速趋近一个极小的值。此定理会运用在控制回路的性能研究中。

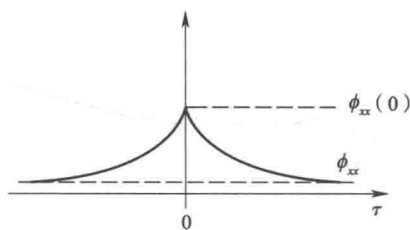


图 3-6 自相关函数的一般形式

两个信号的互相关函数如式(3-21):

$$\phi_{xy}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} (1/2T) \int_{-T}^T x(t)y(t+\tau) dt \quad (3-21)$$

互相关函数值在 -1 到 1 之间变化。值越大表明互相关性越强,正负号表示变量之间相互作用的方向。最大互相关值并不一定在 $t=0$ 的时刻,两个独立信号之间的互相关性为 0。

除了定义相关信号和非相关信号以外,互相关函数还可以定义两个变量之间的滞后时间。它的峰值位置表明了两个变量之间的及时距离。如果存在纯时间滞后,那么互相关函数的峰值将会接近 -1 或 +1。但如果同时含有时间常数,那么峰值的位置就不容易确定,而且这种方法很容易高估时间滞后。

功率谱和功率谱密度是在频域下分析信号的一种方法。功率谱的峰值表示有极大扰动的频率。如果是周期性变化,那么功率谱只有一个狭窄的峰值;如果是随机性变化,功率谱会在不同的频率处均匀分布。

功率谱下任意两值之间的区域面积与频率带的信号方差成正比,整个功率谱曲线的面积又与信号方差成正比。

功率谱描述了不同信号之间的相关性。在相同的频率下,如果两个或两个以上的信号表