

化工自控设计中冗余容错技术分析

郭振强 张航 董政

丰益高分子材料(连云港)有限公司, 江苏连云港, 222000;

摘要: 对于整个化工生产过程而言, 自动化控制系统的正常运转是保证整个生产过程安全、稳定、高效的必备条件。由于化工行业具有高温、高压、易燃、易爆、有毒有害等特点, 在自控系统出现故障时, 容易导致生产中断、发生经济损失等严重后果, 严重的还可能发生生产事故, 危及人员生命安全, 危害环境安全, 因而, 加强冗余容错技术的应用能提高化工自控系统的可靠性和可用性。冗余容错技术主要是在对自控系统中的关键部件、信号通路、控制逻辑等进行冗余布置和容错设计之后, 能降低故障率, 减少故障产生的影响。下面本文对化工自控设计过程中冗余容错技术进行了相关分析。

关键词: 化工自控设计; 冗余容错技术

DOI: 10.64216/3080-1508.25.09.020

1 冗余容错技术在化工自控设计中的核心价值

在化工自控系统里, 冗余容错技术具有以下价值:

(1) 保证了装置的安全性; (2) 保障了生产运行的连续性; (3) 降低了生产运行的成本。从安全角度来说, 可以避免因单台设备或单路信号异常导致紧急停车失效、联锁保护失灵等事故; 如前所述, 当液位传感器冗余时就可以避免因单路传感器故障导致储罐超压/泄漏的情况发生。从生产连续性的角度来看, 在这种情况下也可以做到不中断当前的工作, 在故障状态下进行“无扰切换”, 大大减少了计划外的停工时间。以某大型乙烯装置为例, 其压缩机组控制系统采用冗余设计后, 非计划停机率降低了80%以上; 从成本角度, 虽然冗余设计会增加初期设备与建设投入, 但相较于故障导致的停产损失、事故赔偿等, 长期经济效益显著, 据行业数据统计, 化工企业因自控系统故障导致的单次停产损失平均可达数百万元, 而合理的冗余设计投入通常可在1-2年内通过减少损失收回成本。

2 化工自控设计中常见的冗余容错技术类型及应用场景

2.1 控制器冗余技术

“1+1”热备冗余是目前化工自控系统中使用最多的控制器冗余方式, 即配置两台完全一样的控制器, 一台为“主控制器”, 实时运行控制程序, 读取现场采集的数据并输出控制信号; 另外一台则是“备用控制器”, 通过高速通信链路将与“主控制器”对应的运行数据(程序状态、I/O数据、报警信息等)实时同步到备用控制

器上, 并保持“热备”工作状态, 在“主控制器”出现硬件故障(如CPU损坏、电源故障)或者软件故障(如程序崩溃、通信中断)等情况时, 毫秒级切换到“备用控制器”继续完成控制任务, 保证过程控制设备(如阀、泵等)的工作状态保持不变, 实现“无扰切换”。适用于控制连续性要求非常高的场合。

“N+1”冷备冗余则适用于控制器数量较多且故障概率较低的场景, 例如某化工园区的集中监控系统, 包含多台负责不同工段的控制器(N台), 配置1台备用控制器。正常运行时, 备用控制器处于断电或低功耗的“冷备”状态, 当某一台主控制器故障时, 通过手动或自动方式将备用控制器投入运行, 并加载故障控制器的程序与数据。

2.2 I/O模块与信号路径冗余技术

I/O模块是控制器与现场设备(传感器、执行器)之间的“桥梁”, 负责信号的采集与输出, 其故障可能导致控制器无法获取现场数据或无法控制执行机构, 因此I/O模块与信号路径的冗余设计同样至关重要。

通常, I/O模块冗余有“模块级冗余”或者“通道级冗余”两种方式。其中, “模块级冗余”指的是给同一个组的I/O信号提供两块相同的I/O模块, 即反应釜温度传感器信号同时接在两个模拟量输入(AI)模块上, 两个模块均和控制器相通, 控制器分别从两个模块中选取信号用于计算和控制。并且有“二取一”或“二取二”的逻辑判断来决定选用哪路信号的合理性。“二取一”的使用情况是使用的是稳定性比较好的信号源, 随便选择一路就可以作为输入, 不会因为某一条出故障就

停止运行；“二取二”的使用情况是在十分重要的情况下才用到，比如一旦有任何一点不同就会发出报警，而且只会在正负误差的范围以内使用信号。而通道级冗余则是指在一块 I/O 模块上对应一个信号配置 2 个独立的通道，并且每个通道均有独立的信号处理电路。这样冗余度更大，但是相应的成本也要高一些，用在例如剧毒、易燃介质流量、液位等信号检测当中如丙烯储罐液位信号采集等情形。

2.3 电源冗余技术

为关键设备(控制器、I/O 柜等)配备“1+1”冗余电源，即给这些设备配两套各自独立的电源模块，两套电源模块同时为系统供电，并分担设备的工作负荷，只要其中有一套电源发生故障，则另外一套电源立即接替原先两套电源共同承担的全部负荷，防止设备断电。“1+1”冗余电源不仅有较高的可靠性、较快的切换速度，并且支持两路电源模块的“热插拔”功能，故障的电源模块可以方便地更换而不必关闭设备。如：DCS 控制柜配置两台 24VDC 冗余电源模块，电源负载率通常不超过 50%，这样即使有任一电源模块出现故障也可以保证 DAS 系统的正常工作。

2.4 通信网络冗余技术

通信网络是化工自控系统中数据传输的“血管”，用于控制器和 I/O 模块、操作站、现场仪表(智能阀门定位器、无线传感器)的数据交换，通信网络的失效会使得该部分数据通信中断，对控制决策以及操作监控带来不利影响。因此，通信网络的冗余设计对于保证系统协同运转十分必要。

化工自控系统的通信网络通常采用“环形冗余”或“双星形冗余”结构。环形冗余(如 PROFINET 环网、Modbus 环网)是将所有网络节点(控制器、I/O 模块、操作站)连接成一个闭合的环形，每个节点通过两根独立的通信链路 with 相邻节点连接，正常运行时，数据在环网中双向传输，当某一段通信链路断裂或某一节点故障时，数据可通过相反方向的链路传输，确保网络不中断。这种结构的优点是布线简单、冗余度高，适用于现场设备分布较分散的场景。

3 化工自控设计中冗余容错技术的应用要点与挑战

3.1 应用要点

3.1.1 风险评估先行

在引入冗余容错技术之前需要全面做好化工工艺过程的风险评估，确定哪些是主要的控制回路或重要的设备，并针对这些工艺环节，根据其危险等级确定冗余设计的范围以及级别。可以在做风险评估的时候用到 HAZOP 和 LOPA 方法，在 HAZOP 里，例如确定了反应釜的温度超高会引起爆炸的可能性，因此在对它的温度控制回路做控制时就需要按照“控制器 1+1 冗余+I/O 模块通道级冗余+传感器双冗余”的方式进行最高级别的冗余设置，而普通的循环水泵这样的低风险点就可以用上“控制器 1+1 冗余+电源冗余”即可。

3.1.2 冗余逻辑优化

不同的冗余逻辑对系统的可靠性和响应时间有很大差别，在实际应用中要灵活根据现场需要设置相应的冗余逻辑。比如压力控制回路用“二取二”的话，如果两个压力传感器信号的偏差值超过了范围，则整个系统会产生报警并停止控制，会造成停机，但“二取一(均值)”逻辑则可以弥补一部分不足，在一个传感器出了问题以后，依然可以使用另外的传感器或者是这两个传感器的数据求出平均值得到控制的信号进行控制，所以相比起前面一种逻辑会更好。同时，冗余逻辑还要考虑到准确性的要求，通过比较两个冗余信号之间是否出现偏差或者变化趋势上的异常，来判断是否有某个传感器出了问题，以免不正确的判断导致不正确的信号切换。

3.2 面临的挑战

3.2.1 成本与可靠性的平衡

冗余设计虽然能够提高可靠性，但是也会增加更多的设备、布线、安装、维护等等相关费用，寻找成本与可靠性的最优平衡点是化工行业目前必须要考虑的一个问题。如：从“1+1”冗余方式升级至“2+1”冗余方式，可提高设备可靠性 50%以上，但是成本也会上升 50%以上，这对于一些中小化工企业来讲是有很大压力的，所以在选择冗余方案时要结合自身企业的实际情况来定夺，防止因为盲目的追求高冗余度而造成成本的上升，同时也要注意不要为了节省成本而牺牲掉应该设置的冗余，增加安全隐患。

3.2.2 复杂系统的协同问题

随着化工装置越做越大，一套装置包含多个生产装置、甚至整个厂区生产过程的自控系统越做越大，其对应的冗余系统的规模越做越大，需要考虑更多系统间的

组件协同和回路协同等,多系统间的冗余设计互相独立也可能导致多系统的冗余出现问题。如在大型炼化一体化装置上DCS、ESD、SIS(安全仪表系统)、MES(制造执行系统)等各种不同类型的系统存在大量的信息交互情况,当各个系统的冗余都是单独存在时则会存在各系统信息对接延时以及故障互联等问题。此外,冗余系统的故障诊断难度也较大,当系统出现故障时,需快速定位故障点,若冗余组件之间的协同逻辑复杂,可能延长故障排查时间,影响系统恢复。

4 化工自控设计中冗余容错技术的未来发展趋势

4.1 智能化冗余技术的应用

伴随着人工智能(AI)、大数据、物联网(IoT)等新技术的发展,化工自控设计也将趋向于智能化冗余。运用AI算法对冗余系统运行时的数据(如部件的温度、电流、信号差、切换次数等)进行实时采集、分析,并针对数据进行故障风险预测,最后可以实现一种“预测性维护”的方法来避免由于设备老化、性能衰退导致的冗余失效。

4.2 模块化与标准化冗余设计

为了解决复杂系统的协同问题,降低冗余设计复杂度和成本,未来的冗余设计应该向模块化和标准化发展。模块化冗余设计将冗余系统分解成多个独立的模块,比如控制器冗余模块、I/O冗余模块、电源冗余模块等等,这些模块可以提供相同的接口和通信协议,可以根据用户的具体需要,自由组合成所需要的功能结构,能做到“按需配置”,比如工厂可以根据工艺工段风险级别高低不同,给关键工段配备“控制器+I/O+电源”的全冗余模块,而普通工段只需配备“控制器+电源”的简化冗余模块,这样就既提高了设计灵活性,又减少了系统设计成本。标准化冗余设计则是制定统一的冗余技术标准,包括冗余组件的选型标准、冗余逻辑的设计标准、冗余系统的测试标准等,确保不同厂家、不同类型的冗余组件能够兼容协同,避免因标准不统一导致的系统冲突。

4.3 无线冗余技术的推广

传统的冗余主要是有线通信方式,其存在安装费昂贵、维护难等缺点,对规模大、线路复杂的大型化工装置以及地形复杂的化工园区而言,不宜使用有线通信方式来布置数据线;而无线通信技术发展成熟后,将有较多的无线冗余方式可以在化工自控设计中应用。无线冗余是借助无线传感器、无线I/O模块、无线通信网络等组成冗余系统,用多频段、多路径的无线通讯方式实现冗余,如利用LoRa、NB-IoT等低功耗广域网技术,为现场传感器配置双频段无线通讯模块,在某一路通讯遭到破坏后,自动切换到另外一路通讯上。无线冗余技术的优势是布线简单、成本低、灵活性高,适用于难以布线的场景,如储罐区、管廊区、防爆区域等,未来将与有线冗余技术结合,形成“有线为主、无线为辅”的混合冗余模式,进一步提升化工自控系统的可靠性与灵活性。

5 结语

在化工行业安全生产与高效运行的要求日益提高的背景下,冗余容错技术在化工自控设计中的作用愈发重要。通过合理选择冗余技术类型、优化冗余设计方案、加强冗余系统的维护管理,可有效提升化工自控系统的可靠性与可用性,降低故障风险,保障生产安全。

参考文献

- [1] 孙丹苹,李泽瑞. 石油化工自控设计中冗余容错技术的实践应用经济效果[J]. 中国化工贸易,2022(30): 49-51.
- [2] 张亮. 石油化工自控设计中冗余容错技术分析[J]. 化工设计通讯,2020(02): 136-139.
- [3] 任喜金,蒋瑞,魏烈元. 石油化工自控设计中冗余容错技术实践[J]. 化工自动化及仪表,2014,41(04): 434-436.
- [4] 贾安. 石油化工自控设计中冗余容错技术实践[J]. 化工管理,2018,(24): 90.
- [5] 桂宏飞,孙虎. 石油化工自控设计中冗余容错技术的实践[J]. 化工管理,2021,(10): 59-60.