

核电厂 DCS 控制系统 I/O 分配的原则和方法

Principle and Method of I/O Assignment in DCS of Nuclear Power Plant

王 强

(北京中核东方控制系统工程有限公司,北京 100176)

摘 要: 针对核电厂工艺系统繁多、I/O 点数量大且类型多的情况,设计了一套针对核电厂的 I/O 点分配方法。首先根据核电厂 I/O 点的安全等级、列、机组号等属性对 I/O 点进行了初步的划分;然后通过分析核电厂的工艺,将各个系统的 I/O 点划分到不同的功能分区;最后,充分考虑设备之间的冗余、方便回路控制和后期维护等情况,将 I/O 点分配到卡件。以福清核电厂一号机组的反应堆冷却剂系统等 3 个系统为例,利用该方法进行 I/O 分配不仅提高了系统可靠性和可扩展性,而且后期维护量小。

关键词: 核电厂 DCS I/O 分配 功能分区 冗余 隔离

中图分类号: TL361

文献标志码: A

Abstract: In accordance with the conditions of numerous technological process systems and huge amount of I/O points in nuclear power plant, the method of I/O assignment suitable for nuclear power plant is designed. Firstly, based on the properties of the I/O points, e. g. , safety level, train and unit number, the I/O points are preliminary classified; then, the I/O points of each system are sorted into different functional section; finally, considering the redundancy among equipment, easement of loop control and post-maintenance, etc. , the I/O points are assigned to modules. With three of the systems including reactor coolant system, etc. , in Fuqing NPP Unit 1 as example, the method proposed has been used for I/O assignment, the reliability and expandability of the system are enhanced and a small amount of post-maintenance is needed.

Keywords: Nuclear power plant DCS I/O assignment Functional section Redundant Isolation

0 引言

随着社会经济的不断发展,电力需求也日益提高,核电因其高效性、清洁性和经济性而受到人们的广泛关注。伴随着科技的发展,核电厂控制系统也由数字化控制系统(digital control system, DCS)取代了传统的模拟控制平台。DCS 控制系统为核电厂提供了各种控制和保护手段及监控信息,保证了核电厂在正常启动、停堆、异常和事故工况下能够安全、可靠和有效运行^[1]。

由于核电厂工艺复杂,控制设备众多,导致控制和测量点的数量非常庞大;同时,传感器和执行机构的类型也是多种多样,供电方式、信号类型也有所不同。面对如此复杂的情况,将所有 I/O 点合理地分配到控制柜中就非常困难^[2-3]。本文列举了国际标准中对 I/O 分配的总的要求,并通过分析核电厂的工艺特点,借鉴 DCS 控制系统常用的 I/O 分配的原则,对核电厂的 I/O 点进行了合理的分配。

1 核电厂设计特点

由于核电厂涉及的系统众多,工程量较大,因此将核电厂的所有工艺系统分成了 3 个包。第一个包主要包括了核电厂的供配电功能,共 90 多个系统,从工程进度上来说,这也是核电厂首先需要完成的部分。第二个包是核电厂的核心部分,主要包括了核岛相关 90 多个工艺系统,这也是控制系统设计中难度最大的部分。第三个包包括了核电厂常规岛部分的 40 多个工艺系统,逻辑也比较复杂。

除此以外,核电厂还根据设备安全的重要性,对设备进行了安全分级,即非安全级、安全相关级和安全级。其中,安全级设备主要负责反应堆的紧急停堆、安全壳的隔离、余热导出和防止放射性物质向环境释放的功能。安全级设备是核电厂的核心,当核电厂出现事故时,安全级设备会及时启动安全级的控制系统,避免放射性物质的泄漏。执行正常的核电厂运行及与安全原则无关的控制系统和设备属于非安全级。此外,还有安全相关级,包括与安全有关的一些设备,如火灾探测和消防等。

根据国际标准 IEC 61513^[4],由于在安全方面的重要性不同,因此对不同安全等级的控制系统的要求也不尽相同。例如对于安全级和安全相关级,在

修改稿收到日期:2013-05-19。

作者王强(1977-),男,2008年毕业于东南大学控制理论与控制工程专业,获博士学位;主要从事核电厂 DCS 控制系统的研究。

失去厂外电时仍然需要运行,但是对非安全级就没有这个要求。另外,为了保证控制系统的冗余,将核岛的一些系统分为 A 列和 B 列,即对于一些冗余的控制回路,一部分分到 A 列,另外一部分分到 B 列。两个列的设备可以独立运行,以便保证在其中一列的设备出现故障时,另外一列的设备还能够保证核电厂的正常运行。

2 核电厂 I/O 分配的原则

由于核电厂在安全方面要求较高,因此核电厂在 I/O 分配方面有一部分特殊的要求。根据核电厂的特点,核电厂在进行 I/O 点分配时需要遵循以下原则。

(1) I/O 分开原则

不同安全级的 I/O 点要分开。例如安全级和非安全级的点就要分开,主要是由于不同安全级对核电厂安全生产的作用不同,同时在供电、抗震等方面的要求都不一致。另外根据标准 IEC 60709 的要求^[5],安全等级高的系统不能由于安全等级低的系统失效而受到影响。为了达到这个目的,不同安全等级的系统需要进行物理隔离,如不同的供电线路^[6]、控制柜放到不同的房间等。

(2) 机组分开原则

不同编号的机组的点要分开。核电厂建设时通常都是两个相邻的机组同时建设,两个机组的控制柜所放置的房间不同,供电线路也不同,因此不同机组的点要放在不同的控制柜中。另外,虽然两个机组的大部分设备是独立的,但是仍然有一些设备和系统是两个机组共用,如三废(废水、废气和废渣)处理系统。因此,为了保证当其中一个机组失效的情况下不影响公用机组的运行,公用机组与其他机组的点也要分开。

(3) A、B 列分开原则

A 列与 B 列的点要分开。由于 A 列与 B 列设备是互为冗余的,为了保证当其中一列设备出现故障时不影响另外一列设备的正常运行,因此需要对两个列的设备进行物理隔离。

(4) 功能分区原则

功能相关的系统或者是关系比较密切的系统应该放在一起。这样既减少了系统之间大量的信息交换,同时也便于将来的调试和维修。整个核电厂主要分为以下几个功能分区。

① 辅助系统:主要包括紧急供电系统、正常供电系统、通风和采暖系统等。

② 主回路系统:主要包括反应堆保护和控制系统、堆芯监测系统和棒控系统核岛中的系统。

③ 二回路系统:主要包括常规岛中凝汽器、除氧器和高低压加热器系统等。

④ 汽轮机发电机系统:主要包括汽轮机发电机监测、控制和保护系统以及凝结水系统等。

⑤ 除热系统:主要包括循环水过滤和处理系统、设备冷却水系统等。

⑥ 废物处理系统:包括核岛和常规岛的废渣、废液和废气处理系统等。

与功能分区原则类似,核岛和常规岛的设备也尽量分开。因为从物理位置上讲,核岛和常规岛是独立的两个部分,将核岛和常规岛的系统分开更有利于管理和维护。

(5) 隔离点集中原则

核电厂中存在着大量的不同供电类型的设备和 DCS 控制系统,如安全级与非安全级、A 列与 B 列等情况。它们之间也存在着大量的通信点,有些点是通过网络的方式通信,而有些点是通过硬接线的方式通信。对于硬接线通信的点,由于两边的供电类型不同,根据标准 IEC 60709 的要求^[5],为了避免不同安全级之间、冗余设备之间互相影响,这些 I/O 点需要进行电源隔离,即在不同安全级设备之间或不同的列之间安装隔离机柜,所有需要电源隔离的点都需要通过隔离设备送往另一个安全级别的设备。因此,为了使系统或设备更加安全、可靠和易于维护,尽量将一个控制柜内需要隔离的点放在一个模块上。

(6) 应急电源原则

当核电机组的所有电源都无法使用的情况下,LLS 系统(水压试验泵柴油机发电系统)能够给水压试验泵提供 380 V 应急电源,确保了冷却剂泵的注入水量,从而保证了反应堆冷却剂系统的完整性。同时,LLS 系统还能给其他应急设备和仪表供电。由于柴油机发电机组仅仅是在机组失电的情况下为保证核电厂安全而给一部分应急设备供电,其容量有限,因此,需要将 LLS 供电的设备 I/O 点集中在少量的控制柜中,不能太分散。

3 通用的 I/O 分配原则

虽然是核电厂,但是它的大部分 I/O 分配原则是通用的,例如冗余原则等。下面就介绍一下在核电厂 I/O 分配中所用到的通用的分配原则。

① 冗余原则

根据标准 IEEE 379 中单一故障准则的要求^[7],对于冗余的设备,不能由于其中一个设备出现故障而影响整个核电厂的运行。因此,对于冗余设备应该尽量

将其隔离,以避免互相影响,在分配互为冗余设备的点时,应该将冗余的两个设备的点分配到不同的模块或者主控制器上。

② 电源隔离原则

由于供电方式有所不同,例如有的 DO 点是 DCS 供电,而有的 DO 点是由现场供电,另外,有的 DO 点是 48 VDC,而有的 DO 点是 110 VAC,因此,为了保证不同的电源不会造成互相之间的干扰,我们将所有不同供电方式的点都分配到了不同的 DCS 模块。

③ 同一设备点集中原则

对于同一个设备,例如一个水泵有 6 个 I/O 点,其中包括 2 个 DO 点(开和关命令)、4 个 DI 点(开、关位置反馈,远程控制开关,水泵故障)。这些相关的点应该分配到一个控制器。这样在调试维修过程中便于寻找同一个设备的所有点。另外,应该根据电缆清单对 I/O 分配进行调整,避免将一个电缆中的两个信号分到不同的控制柜。

④ 便于集成和后期维护原则

为了便于集成和后期的维护,在一个基板上放置模块时,应先放置模拟量模块,再放置数字量模块,便于在控制柜内走线时模拟量和数字量分开走线。另外,每个模块都应该保留一部分空余通道,便于当该模块某个通道出现故障时的调整。

⑤ PID 控制回路集中原则

在常规岛控制中,有很多的 PID 控制回路,PID 的测量和控制信号都应该放在一个模块,这样可以减少 PID 控制回路的响应时间。另外,当多个模拟量进行 3 取 1 操作时,这些模拟量应该放在一个控制器中,以便减少回路计算的时间。

4 福建福清核电 I/O 分配

在福建福清一号机组的设计过程中,应用以上原则和方法对所有的非安全级和安全相关级的 I/O 点进行了分配。

下面以核岛相关系统为例进行说明。首先将所有核岛相关系统的点根据安全级别、列和机组号等原则进行划分。然后再根据功能分区将所有的系统进行划分,同一个功能分区的尽量放在一起,而不同功能分区的系统应该尽量分开。例如在功能分区为主回路系统的 26 个系统中,共有 4 000 多个 I/O 点。主回路系统功能分区 I/O 点统计如表 1 所示。

从功能分区上看,反应堆冷却剂系统、给水流量控制系统和辅助给水系统都属于主回路系统,这些点应该分在一起。而汽轮机厂房通风系统和安全壳空气净

化系统等都属于辅助系统,应该与主回路系统分开布置。

表 1 主回路系统功能分区 I/O 点统计

Tab. 1 Statistics of I/O points in main loop system functional section

列	安全等级	I/O 点数量
A	安全相关级	1 000
	非安全级	2 000
B	安全相关级	700
	非安全级	300

将系统按功能分区分开以后,就可以针对每个系统开始分配。例如,反应堆冷却剂系统的主要功能是使冷却剂循环流动,其主要控制设备是主泵。福清一号机组一回路共有 3 个主泵,且一回路的 3 个主泵互相独立且冗余。为了避免一个主泵出现故障而影响到另外的两个主泵,将 3 个主泵相关的 I/O 点分配到 3 个控制柜中。给水流量控制系统的主要功能是控制向蒸汽发生器的给水流量,保证蒸汽发生器的水位维持在整定值上,其主要设备是主给水调节阀。福清一号机组共有 3 条给水管道、3 个主给水调节阀,因此为了避免互相影响,也将 3 个主给水管道上的主给水调节阀的控制和测量点分到 3 个不同的控制柜中。

辅助给水系统的作用是在主给水系统发生故障时,作为应急手段向蒸汽发生器二次侧供水。福清一号机组的辅助给水系统主要由给水泵和流量调节阀组成。给水经给水泵分成 3 路经过调节阀后进入蒸汽发生器主给水管道。因此,在进行 I/O 分配时,3 个调节阀应该分配到不同的控制器中,以避免互相影响。但是当正常供电系统出现故障时,这 3 个调节阀都是由 LLS 供电,而且 LLS 系统本身的容量限制,需要尽量减少由 LLS 系统供电的控制柜数量。经过协调,将这 3 个调节阀分配到了 2 个控制柜中。

5 结束语

本文对核电厂 DCS 控制系统的 I/O 点分配的原则和方法进行了研究。从国际标准、核电工艺要求和通用的 I/O 分配方法 3 个方面进行了分析,并提出了核电厂控制系统 I/O 分配的原则和方法。最后利用所提出的方法对福清核电一号机组的点进行了分配,不仅避免了不同安全级、不同列、不同机组和冗余设备之间的互相影响,同时将同一分区的系统分在一起,减少了控制器之间内部点的通信。另外在每个卡件上预留空槽位,提高了系统的可扩展性,便于未来的调试和维护。

(下转第 57 页)