

自来水行业集散型控制系统的可靠性技术及性能分析

TU991.62

The Reliability Technology and Performance Analysis for Centralized - Distributed Control Systems in Tap Water Industry

蒋继申(杭州市自来水总公司,浙江杭州 310016)

摘 要 介绍了采用可靠性冗余设计技术来提高自来水给水集散型控制系统可靠性的方法,详细介绍了控制系统中冗余技术设计方案、整体结构的分析、主控机双机热备的设计方案以及 PLC 双机热备系统的实现。

叙 词: 可靠性 控制系统 自来水供水 集散型控制系统 冗余 双机热备

Abstract To enhance the reliability of the centralized - distributed control system for feed water, the technology of redundant reliability design is used. The designing strategy of the redundant technology for the control system, the analysis of the whole architecture, the design method of hot spare main control machine and the implementation of PLC hot spare system are described in detail.

Key words: Reliability Control system Feed water of tap water Centralized - distributed control system Redundant Hot spared machine

集散型控制系统简称 DCS,是目前大中型自来水公司较为普遍选用的一种自控系统。近年来,随着 DCS 的逐渐普及,其可靠性技术已被大家所重视,通过比较,探索提高系统可靠性的各种措施。同时,由于自来水工程是社会生产的基础结构,给水工程的自动控制系统又是规模较大的系统,因此它的可靠性对保证生产和人民生活有着举足轻重的影响,研究给水工程 DCS 可靠性的意义已经超出了它本身的价值。

可靠性指标,是工程系统的一项十分重要的评价指标,是现代技术经济分析的基础。本文试就自来水行业 DCS 的可靠性技术作一介绍,以期得到同行指正。

一、DCS 的冗余技术设计方案

DCS 作为一种综合控制系统,要提高它的可靠性从理论上说,可以采取多种不同的措施,比如元器件筛选技术、容错技术和冗余技术等。但由于受到企业条件的限止,可以采取的最有效的措施是冗余技术。

冗余技术的定义是,在系统中设计二套或二套以上的完成同一给定任务的设备的技术。

冗余技术可以在同样元器件情况下,将系统的故

障率降低几个量级。根据不同的服务对象,它有不同结构形式,图 1 列出了冗余技术的结构分类。

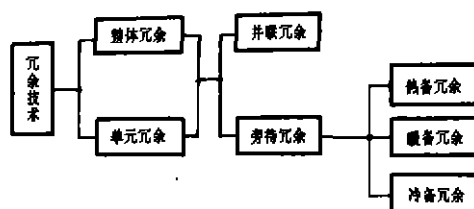


图 1 冗余技术的结构分类

在上述众多的冗余方案中,究竟选择哪一种方案才符合 DCS 的需要呢?

冗余设计按结构形式可分为整体冗余和单元冗余两种,整体冗余是指冗余单元以整个系统为对象,单元冗余则是以系统中的单元为对象,以双工系统为例,它们的可靠性框图如图 2 所示。

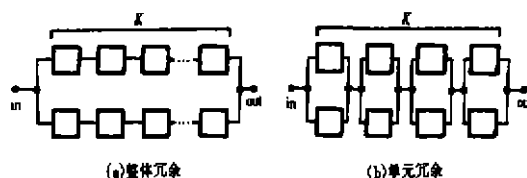


图 2 按结构形式分的双工冗余系统框图

假定上述系统中的单元数为 K ,且每个单元可靠度都等于 R ,那么,

未经冗余的系统可靠度: $R_s = R^K$

整体冗余的系统可靠度: $R_A = R^K(2 - R^K)$

单元冗余的系统可靠度: $R_O = R^K(2 - R)^K$

由于 $R < 1$,上述三种情况中,未经冗余的系统可靠度 R_s 最小。

又由于 $\frac{R_O}{R_A} = \frac{R^K(2 - R)^K}{R^K(2 - R^K)} = \frac{(2 - R)^K}{2 - R^K} > 1$,

得到 $R_O > R_A$ 。可见单元冗余系统的可靠度要大于整体冗余的可靠度,在自控系统中单元冗余设计是优先考虑的设计方案。

按照工作方式,冗余系统又分为并联冗余和旁待冗余两种。以双工系统为例,其可靠性框图如图 3 所示。

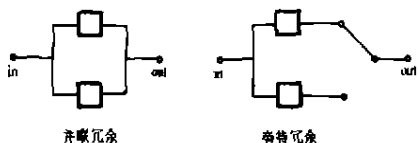


图 3 按工作方式分的双工冗余系统框图

在并联冗余结构中,冗余单元直接接入工作系统,接法虽然比较简单,但各单元之间互相影响,而且对系统的可靠性提高不大。旁联冗余系统增设了一个检测切换装置,用以检测工作单元的工作情况,一旦发现失效,切换开关立即进行切换。系统中的冗余单元和工作单元是分开的,不存在因一个单元失效而引起系统参数的改变。在自控系统中,一般采用旁待冗余系统。

旁待冗余系统中,按旁待单元所处状态的不同,又分为热备旁待、暖备旁待和冷备旁待三种旁待状态。

在自动控制系统中,数据库内容处于不断更新状态,当工作单元一旦发生故障,冗余单元及其数据库要立即接替失效单元进入工作状态,而暖备旁待和冷备旁待的数据库,是不和工作单元数据库同步更新的,因此这两种旁待系统无法满足要求。只有热备旁待系统,它的数据库内容和工作系统数据库内容是始终保持一致的,可以随时接替失效单元工作,而不影响整个系统的工作状态,是自控系统较为理想的旁待方式。

把 λ 定义为单个系统在单位时间内的失效概率, t 定义为工作时间,并且假定切换装置失效率为 0,那么根据对系统数学模型的可靠性分析,可以列出单个系统和二单元热备冗余度系统的几项主要比较参数(见表 1)。从表 1 可以看出,经过旁待系统后,MTBF 比不做冗余的单个系统增加 50%,而经济尺度比不做冗余的单个系统减少了 25%。这说明热备旁待系统是一种提高系统可靠性的优良方案。

表 1 单个系统和热备冗余度系统参数的比较表

参 数	未作冗余的单个系统	二单元热备冗余度系统
可靠性框图		
可靠度	$e^{-\lambda t}$	$2e^{-\lambda t} - e^{-2\lambda t}$
故障概率	$1 - e^{-\lambda t}$	$1 - 2e^{-\lambda t} + e^{-2\lambda t}$
MTBF	$1/\lambda$	$3/2\lambda$
经济尺度	1	0.75

总之,要提高 DCS 自动控制系统的可靠性,需要在某些对整个系统有决定性作用的重要单元建立热备

旁待冗余单元,这种方案既具备优良的故障隔离性能,又能较大幅度地提高整个系统的可靠性,而且还有优良的性能价格比,因此是一种较好的方案。

二、DCS 整体结构的分析

从图 4 所示的可靠性框图可以看出,框图上各子系统的重要性是不相同的。各子系统中重要性最高的是中心调度室主控机和水厂 PLC 子系统,如果中心调度室主控机失效,整个自控系统的指挥工作将瘫痪,如果 PLC 失效,制水厂的生产将瘫痪。

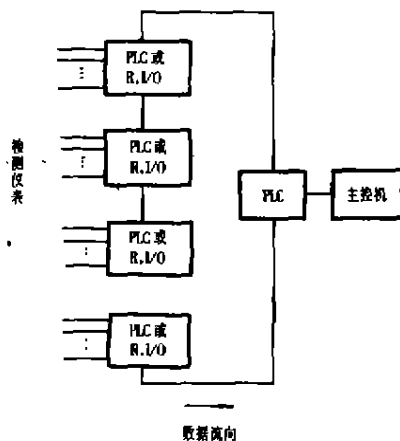


图 4 DCS 自控系统的可靠性框图

水厂主控机和各远程 I/O 子系统虽然也很重要,但它们失效产生的影响是局部的,对整个系统不是致命的。

在设计冗余系统时,如果对各子系统采用相同的高可靠措施,在技术上是合理的,在经济上也是不合算的,从重要性的角度来看,应该对中心调度室主控机和水厂 PLC 系统采取高可靠措施。这样,在各个子系统的失效率都相等的条件下,这种方案将产生最高的效益。图 5 是采用冗余系统后的可靠性框图。

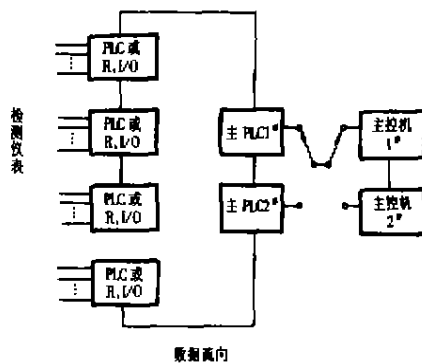


图 5 采用冗余系统后的可靠性框图

三、主控机双机热备的设计方案

图6是DCS主控机双机热备系统的方框图,2套主机系统互为备分,每套主机都负责两个数据库。但是,平时只允许1台作工作主机,承担系统的监测、控制和调度任务。

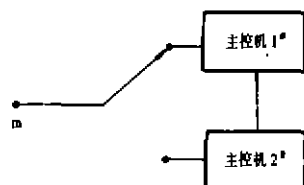


图6 主控机双机热备系统方框图

(1) 正常运行时

1[#]机作为工作主机,2[#]机处于备分状态,每隔 ns ,1[#]机将一个周期信息送到2[#]机。该信息有二个作用,一是告诉2[#]机,1[#]机目前处于工作主机状态;二是周期信息内的数据将更新2[#]机的数据库,使两套主机的数据库内容同步变化。

(2) 发生故障和切换

当1[#]机发生故障时,它将给2[#]机一个信号,让它立即升为工作主机;或者是1[#]机中断了送到2[#]机的正常的周期信息。在这两种情况发生时,即2[#]机在接到升为工作主机的信号或者在 ms 内没有收到正常周期信号,它都将主动地从备分状态升为工作主机,承担起主机应承担的所有任务。

用户也可以采用手动切换方式,将工作主机的工作从1[#]机切换到2[#]机。

(3) 新的工作主机进行工作

2[#]机升为工作主机后,有故障的1[#]机可以换下来安排维修或更换,整个系统的工作情况始终不受影响。

四、PLC双机热备系统的实现

由于PLC系统的标准各不相同,以美国AIKEN-BRADLEY公司的PLC-5/60双机热备系统为例来说明双机热备系统是如何工作的。它的硬件连接方式如图7所示。

图中,P7为PLC电源,5-60为PLC处理器的模块,BCM为后备通信模块,BEM为后备扩展模块。从图可看出,主系统和后备系统有相同的硬件配置。下面按工作过程进行讨论。

(1) 正常运行

主系统进行控制工作,并通过BCM把远程I/O数据和数据表数据送到后备系统中,使两系统的数据库

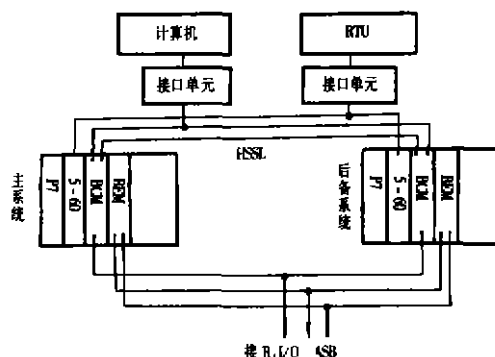


图7 PLC双机热备连接方式

有相同的内容,远程I/O数据是在应用程序的支持下,在高速串行链上自动传送的,数据表数据是通过梯形图中的块传送指令,从主系统传送到后备系统中的。

BCM模块提供2个系统之间的高速通信和故障切换功能,即负担着主处理器和后备处理器之间的数据传递和信息交换作用,确保后备系统中的数据表是主系统的拷贝。

(2) 故障诊断和切换

BCM和BEM模块有对下列故障进行检测的功能:电源故障;处理器故障;BCM模块故障;主系统工作方式的改变(从运行方式改变到编程方式);BCM模块之间的高速串行链的通信发生超时;主系统BCM模块上控制命令的传送故障。

当以上某项故障发生时,BCM将在小于50ms时间内将控制工作从主系统切换到后备系统。在发生切换时,远程I/O的输出保持最后状态,直到被后备处理器所控制。这样,在不关机的情况下,整个PLC系统就进入后备系统下工作。

(3) 进入新系统工作

切换之后,整个PLC系统进入备分系统进行工作。备分系统成为新的主系统,换下来的老的主系统可以安排维修或更换,换上后成为新的备分系统。整个过程中,系统工作不受影响。

(4) BCM模块和BEM模块的功能

在双机热备系统中,BCM后备通信模块的功能可以归纳为:

- ① 从主系统到后备系统的高速数据传送;
- ② 为数据表提供4K字节的缓冲区;
- ③ 进行主处理器和后备处理器状态信息的交换;
- ④ 自动把远程I/O传送读的值送入后备系统;
- ⑤ 进行故障判断和切换;
- ⑥ 连接远程I/O和高速数据通道(DH+)网络;
- ⑦ 进行系统隔离,用以保证当一个系统故障时,

不影响其它系统;

⑧ 诊断信息可视(LED)及网络;

⑨ 用于后备处理器的远程可编程功能;

⑩ 兼容 BEM 模块,以切换到 4 个配置的通信通道的功能。

BEM 通信扩展模块是和 BCM 模块配合使用的,由于 BCM 模块只有 2 个通信通道,而 PLC-5/60L 有 4 个通信通道,因此需再配置和 BCM 兼容的 BEM 通信扩展模块,BEM 上有 2 个通信通道,这样,BCM 加上 BEM 就使 PLC-5/60 的 4 个通信通道都能工作。

五、结 论

① 在自来水行业集散型控制系统中,采用双机热备冗余设计是一种合理的选择。

(上接第 22 页)

达 1200m,传送速率可达 100Kbps。

② 采用单片微处理器进行比较、延时和各种逻辑运算操作,减少了元器件数目,提高了控制器的稳定性,调整也简单。

③ 可以采用先进的控制算法以提高执行器的响应速度,并改善执行器的动态性能。

④ 行程开关、过力矩开关和过热检测器等器件仅用于提供电压信号,流过的电流较小,有利于提高其使用寿命。

⑤ 自动检测,出现故障及时给出故障信号。

⑥ 输出轴转向控制只用一个开关或一条控制指令即可完成,零位控制、灵敏度控制和转角控制也可由控制指令完成。

⑦ 便于给出工作状态、错误报警和错误类别等指示信号用于现场指示或通过通信线路传给控制计算

(上接第 36 页)

四、结 论

该电路可用于条件恶劣的环境中,用电流环传输可接收长达十几 km 远的低频脉冲信号,对信号脉冲的干扰具有很强的抑制作用。它不但能有效地抑制在脉冲前后沿跳变时易发现的干扰,对在脉冲期间出现的一些尖峰干扰也能自动消除,能自动检测判断正常信号脉冲。

该电路是远距离信号接收器的一部分,通过一些煤矿使用情况看,该电路具有很高的可靠性,基本上消

② 双机热备系统应该设置在重要度最高的中心调度室主控机和水厂 PLC 系统中。

③ 采用以上的可靠性设计方案后,较大幅度地提高了自控系统的可靠性,主要体现在:

a. 确保了设备工作的连续有效性,提高了设备的可工作时间;

b. 起到了故障隔离作用,避免了故障引起的关机,可以在不影响生产的情况下对故障设备进行维修;

c. 避免和减少了因设备故障引起的损失,使整个工程的社会效益和经济效益得到较大的提高。

收稿日期:1997-06-12。

作者蒋继中,男,52 岁,1969 年毕业于西安军事电讯工程学院,高级工程师。

机。

⑧ 可控硅驱动采用单片光隔离可控硅驱动器,采用零交脉冲控制法,不污染电网,电路简单,工作稳定可靠。

参 考 文 献

- 1 魏庆福,等. STD 总线工业控制计算机的设计与应用. 北京:科学出版社,1991.
- 2 张积东,等. 单片机 51/98 开发与应用. 北京:电子工业出版社,1994.
- 3 王 兴,蒋庆华. 电动执行器. 北京:机械工业出版社,1982.
- 4 天津市自动化仪表七厂. DKJ 型电动执行器使用说明书,1993.
- 5 大连第三仪表厂. DDZ 型电动执行器使用说明书,1993.
- 6 联热工装自控仪表有限公司. 3610R 系列角行程电动执行器使用说明书,1995.

收稿日期:1997-07-10。

第一作者王东兴,男,34 岁,1990 年毕业于北京理工大学研究生院,硕士,讲师。

除了普通计数装置易产生的空翻误计现象,给低频信号脉冲的处理提供了一种可靠、简单、实用的方法。

参 考 文 献

- 1 中国集成电路大全编写委员会. 中国集成电路大全·CMOS 集成电路. 北京:国防工业出版社,1985.
- 2 [美]Frederick J. Hill, Gerald R. Peterson. 时序电路逻辑设计与特殊组合函数. 郑友明,江太解译. 北京:高等教育出版社,1990.

收稿日期:1997-03-20。

第一作者丁保华,男,34 岁,1991 年毕业于天津大学研究生院,硕士,讲师,主要从事机械电子产品的研究开发及教学工作。