

# 长输管道 SCADA 系统冗余技术及应用

刘 丽 郑 杰 石油大学自动化系 (257061)

杨兴国 上海大学机电工程与自动化学院 (201900)

## Abstract

This paper has discussed the classification, configuration and adaptability of the redundancy technology in SCADA system of oil and gas pipeline for long distance. The schematic configuration and implementation of the redundant SCADA system for Shan-Yin natural gas pipeline has been illustrated.

**Keywords:** oil and gas pipeline for long distance, SCADA, redundancy technology, control center

## 摘 要

本文阐述了长输管道 SCADA 系统冗余技术的分类、配置和适用性,并列出了陕银线 SCADA 系统冗余技术的配置方案和具体实现。

**关键词:** 长输管道, SCADA, 冗余技术, 控制中心

## 1 长输管道 SCADA 系统简介

长输管道 SCADA 系统是通过采用仪表、控制装置及电子计算机等自动化技术工具,对管道生产过程进行自动检测、监视、控制和管理,以保证安全、平稳、经济的输油、输气。目前,北美、欧洲、南美、中东等地输油/气管道已广泛采用 SCADA 系统进行全线监控。

80 年代以前,我国长输管道基本上是常规仪表检测、就地控制。80 年代中期以来,在铁岭-大连输油管线和东营-黄岛输油管道复线上引进了国外先进技术,填补了我国管道应用 SCADA 系统的空白,达到国外 80 年代水平。在铁岭-秦皇岛输油管线和轮南-库尔勒输油管线上采用了我国自行设计的 SCADA 系统。目前,SCADA 系统已广泛应用,成为管道自控系统的基本模式。

## 2 长输管道 SCADA 系统冗余技术

长输管道 SCADA 系统要求具有较高的可靠性和安全性,故需要采用冗余技术构成容错控制系统以保障安全高效生产。长输管道 SCADA 系统冗余技术以硬件冗余为主,时间冗余和软件冗余为辅。冗余结构应做到可靠性和经济合理性两点。

### 2.1 长输管道 SCADA 系统冗余结构分类

从目前国内外应用情况来看,长输管道 SCADA 系统冗余结构一般有以下几种。

(1) 仅控制中心主计算机冗余(如图 1 所示)

控制中心主计算机监控全线,要求绝对可靠,故

按一级冗余配置,即双机热备。其外围设备不再冗余,全部单机运行。它只占用一条通讯线,控制中心主计算机与各站 PLC 进行多站通信。

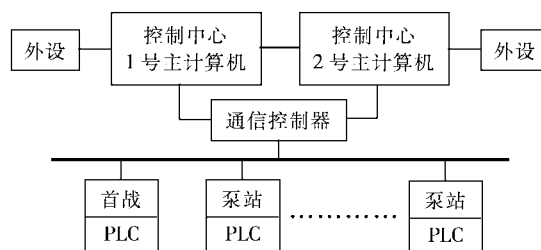


图 1 控制中心主计算机冗余

这种冗余结构较简单、经济。但对站级维护工作要求较严格。特别是 PLC 的各类模块应及时检查,有疑问要及时更换,并要求维护人员有较强的故障识别能力和责任心。这类冗余结构一般用于老线改造,保留原有检测仪表作为备用。或者用于短距离的小管道,且没有复杂严格的逻辑控制要求。

(2) 控制中心主计算机冗余、站 PLC 分级冗余

站 PLC 分级冗余,仅指在管道的首站设置全冗余结构,其余站除一台主 PLC 外,再用一台微型 PLC 做后备。其结构图如图 1 中,首站 PLC 改为双 PLC,泵站 PLC 改为 PLC 与微 PLC 的冗余结构。

这样,当其他站的 PLC 发生故障而不能工作时,首站可以全压启动,越站输送,确保管线不因控制系统的故障而停输。所以首站按一级冗余考虑,热备运

行。其余站的冗余配置需使用同一厂家的系列产品。主 PLC 要采用产品系列中功能强、容量大的高级型号,冗余的微型 PLC 可选用同系列中功能简单、价格便宜的较低级产品,例如 AB 公司的 PLC5 系列与 SLC 系列产品。同时,要将少量关键数据输入微型 PLC 中。一旦 PLC 发生故障,控制中心的主计算机通过微型 PLC 仍能采集到关键数据,从而掌握管道的运行情况;并可以给微型 PLC 发送指令,完成较简单的逻辑控制功能,确保管道安全生产。

这种冗余结构经济、实用,且使用较多。

(3) 控制中心主计算机、站 PLC 采用全冗余结构

控制中心主计算机和站级 PLC 采用同样的两套设备。控制中心主计算机热备运行,站级 PLC 根据输送工艺可热备、也可冷备,用户可以随意使用。其结构图如图 1 中,首站和泵站 PLC 均改为双 PLC 冗余结构。

这种结构可靠性高,对于技术力量薄弱,操作经验不足,但资金较充裕的用户还是比较适合的。

(4) 系统分层多级冗余(如图 2 所示)

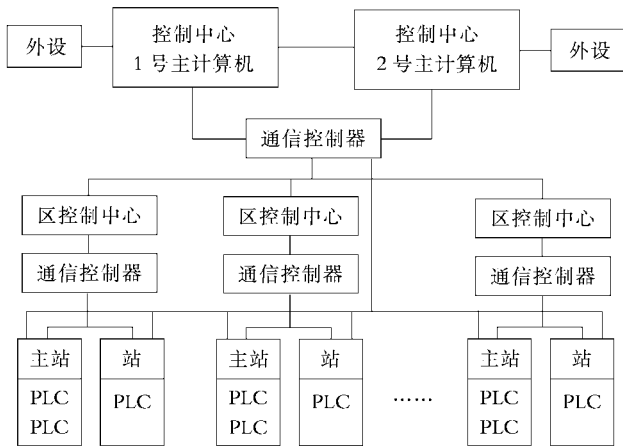


图 2 系统分层多级冗余

全线分成若干个区域。每个区设一个区域控制中心,负责该区所辖站的监控和数据采集,并将信息发送给中心控制室主计算机。中央主机从区域控制中心计算机处提取数据,监视全线工况。一旦区域控制中心计算机发生故障,中央主计算机可立即对该区进行监控。因此,区域中心计算机不设冗余。站 PLC 可分区进行冗余。按所在区的工艺流程、设备,功能及在全线所处的位置进行组配,灵活冗余。对于特长管道,还可为大区、小区设置。

对于管道较长,设站较多的情况宜采用这种冗余结构。这种配置既减轻了中央主机的负担,又能提高系统的可靠性,缩小故障发生范围,方便操作和维修。

根据管道输送的具体情况,区域中心计算机可以仅监视该区各站,并负责维修。国外一些大型管道多采用这种冗余结构。

这种结构需占用较多的通讯线路。因此,在工程设计中,如何合理使用通信线路、选择什么样的通信方式,应视具体情况而定。

(5) 全冗余结构(包括站级 I/O 模块,如图 3 所示)

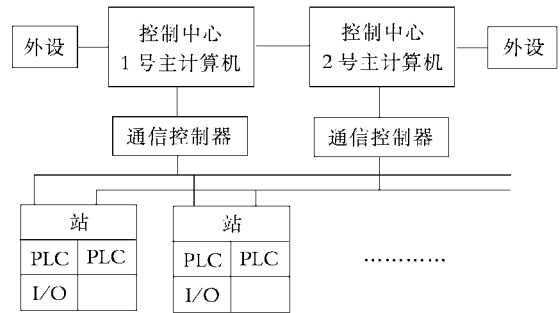


图 3 全冗余结构

这种大规模整体冗余结构,是在同一条管道上同时使用完整的两套 SCADA 系统,占(租)用一条线路。这种结构可用于环境恶劣、无人或少人的地区。这种系统的可靠性无可置疑,但是费用昂贵。因此,一般的工程很少采用。

2.2 SCADA 系统控制中心冗余结构

由以上分析可知,在 SCADA 系统的设计与运行中,控制中心是系统的核心和心脏。因此,在 SCADA 系统冗余结构中,控制中心计算机系统冗余的设计与研究是首要的和关键的。SCADA 系统控制中心冗余结构大致可分为以下三类:

(1) 服务器冗余

在控制中心计算机系统中,若只有一套服务器,则系统存在一个脆弱点。一旦这套服务器发生故障,整个控制中心计算机系统就不能正常监视和控制全线工况。但是,配置一套与此服务器完全相同的冗余服务器将会消除这个脆弱点,使系统稳定。(如图 4 所示)

服务器冗余方式下,系统正常工作时,由主服务器行使控制权,冗余服务器从主服务器读取数据以更新自身数据库,同时还可暂时充当显示终端;一旦主服务器发生故障,控制权立刻移交给冗余服务器,系统依然能够正常工作;当主服务器排除故障、能正常工作后,系统再次将控制权交回主服务器,并确保无数据丢失。

这种冗余结构简单、经济,适用于短距离、且没有

复杂严格的逻辑控制要求的管道。

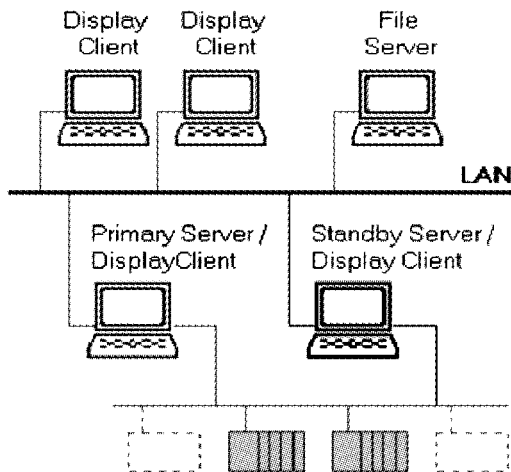


图4 服务器冗余

### (2) 局域网冗余

在控制中心计算机系统中设置一套完全冗余的局域网将使系统更加稳定,排除因网络故障而造成的监控失败(如图5所示)。

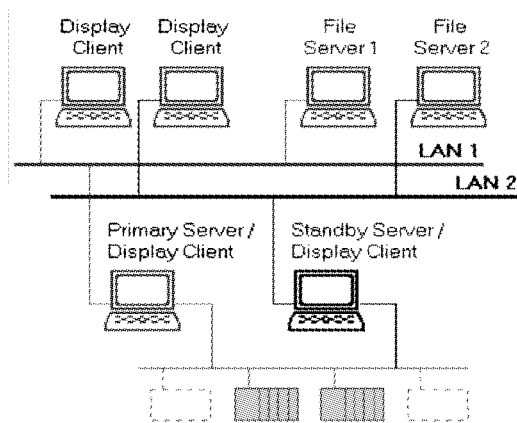


图5 局域网冗余

在这种系统中,若服务器或局域网发生故障,控制中心计算机系统中仍有近一半的计算机可以正常工作。若在每个计算机中装两个网卡,那么,即使局域网中有一半计算机发生故障,整个控制中心计算机系统人仍能正常执行监控功能。

这种冗余结构可靠性较高,且经济、实用,应用较为广泛。

### (3) 系统冗余

这种整体系统冗余结构具有两套并行的报警、报表、趋势服务器和三个可暂时充当显示终端的冗余服务器(I/O SERVER)。(如图6所示)

正常运行情况,系统下镜像所有的主服务器和冗

余服务器。一旦主服务器(报警、报表、趋势服务器或输入/输出服务器)发生故障,控制权立刻移交给冗余服务器,所有的客户终端均从冗余服务器读写数据。当主服务器排除故障、能正常工作后,系统再次将控制权交回主服务器,并确保无数据丢失。

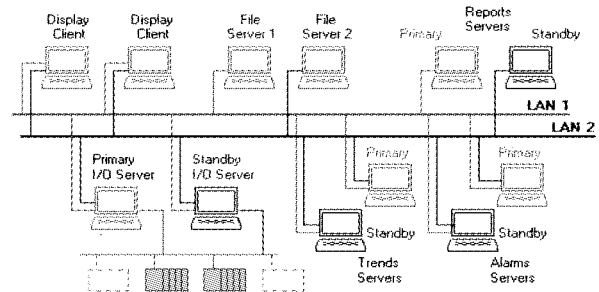


图6 系统冗余

这种冗余结构稳定、可靠,适用于较大规模的 SCADA 系统。但是,在工程设计中,应精心规划系统主、从服务器的数据通信方式,做到最优。

## 3 陕银线 SCADA 系统概况

陕甘宁气田至银川输气管道(陕银线)工程是宁夏回族自治区在九五期间的一项重点工程,主要为宁夏化工厂二套化肥装置提供用气,并可以解决临近县市和银川城市用气。管线总长度 291.081km,设计管径(426mm,输气压力为 6.27Mpa,年输气量为 4~6 亿立方米(一期工程)。全线设 2 座黄河岸边阀室,8 座线路紧急截断阀室,9 座阴极保护站,2 个计量站(靖边首站、银川末站),1 个盐池清管站,以及设在银川市里的控制中心,整个线路采用埋地敷设方式。

陕银线 SCADA 系统以安全可靠、技术先进、经济实用为原则,在全线设靖边首站、盐池清管站、银川末站的站控系统和银川市内的控制中心。由控制中心对靖边首站、盐池清管站、银川末站的生产运行及操作进行远距离的数据采集、监视和管理。系统配置如图 7 所示。自动化系统完成的主要功能:站内电动阀门的远方操作;清管系统的顺序控制;工艺参数的采集、处理(包括瞬时流量、累计流量);与控制中心的数据通信。工艺流程的动态画面显示;报表、事件、报警的打印;报警画面显示;实时趋势显示;历史趋势显示;柱状图显示;模拟数据显示等。

## 4 陕银线 SCADA 系统冗余技术

### 4.1 冗余设计

陕银线 SCADA 系统设计为三级控制:第一级,银川控制中心集中监控;第二级,站控;第三级,就地手动。在一般情况下都执行第一级控制。

陕银输气管线结构简单,数据通信量较少,没有

复杂的逻辑控制要求。因此,在控制中心计算机系统中将输入/输出服务器(I/O Server)、报警服务器(Alarm Server)、趋势服务器(Trend Server)、报表服务器(Report Server)等分项服务器的功能集中于一台服务器。服务器担负全线的数据采集和控制任务,任何时刻,保证服务器与站控系统之间的正常数据传输是整个SCADA系统网络正常运行的关键所在。

综合考虑系统可靠性和经济合理性,决定对控制中心进行服务器全冗余配置,主从服务器热备运行。在系统运行时,由主服务器行使控制权。主服务器将所有采集到的数据及状态信息通过局域网传送给后备服务器。后备服务器此时可暂时充当显示终端。一旦主服务器发生故障,后备服务器按预先给定时间间隔从动态数据库中读取数据、做出判断,并立刻接管主服务器的控制权、执行监控功能。当主服务器排除故障、恢复正常工作后,后备服务器又将控制权交回主服务器,并确保无数据丢失。

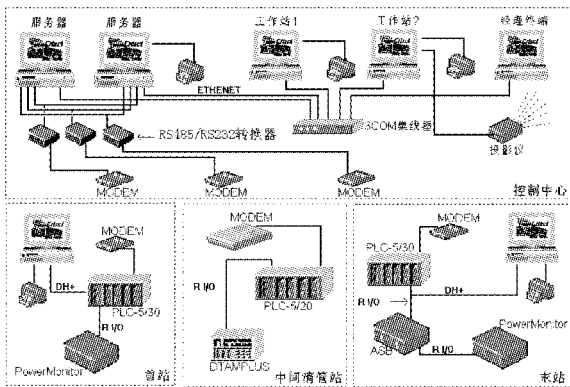


图7 陕银线 SCADA 系统配置图

服务器外围设备,如彩色CRT、键盘等也设置完整的两套设备。另外配置了两个操作员终端和一个经理终端,可同时监控全线,也可单独操作。必要时可抽出一台,用来培训操作员。

站级控制器、PLC不再冗余,全部单机运行。

控制中心服务器与各站PLC进行一对一通信,每站占用一条通信线与控制中心进行通信。

#### 4.2 硬件配置方案

控制中心硬件配置如图8所示,其硬件核心是HOPRO6型主从热备服务器。系统通过3C16405型集线器和五类双绞线网络电缆将主从服务器、操作员终端和经理终端连接在一起组成10Base\_T网,共享信息资源。控制中心主从服务器内均设置研华485卡,以通过RS-485网屏蔽电缆接线分别与三个RS-232/485转换器相连,这三个RS-232/485转换器再通过串口电缆接线与控制中心的MT2834BLI

型调制解调器相连。控制中心的调制解调器通过光纤通信系统与站控制系统的调制解调器相连。

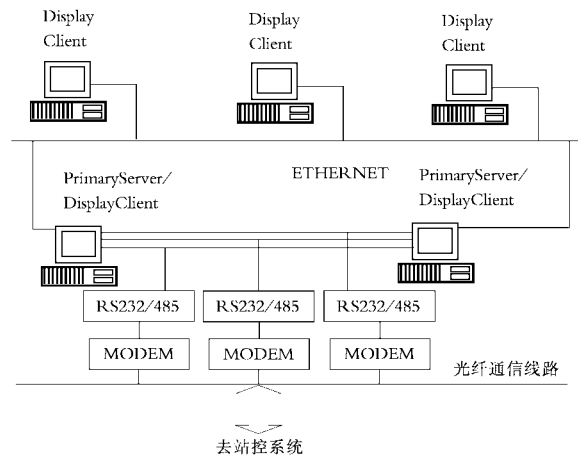


图8 控制中心硬件配置图

站场控制系统网络较为简单。靖边首站、盐池清管站和银川末站站控制系统的硬件核心是AB公司的PLC5/30可编程逻辑控制器。各站场的调制解调器与PLC-5/30之间均采用串口电缆相连。靖边首站的计算机内置KTX板与PLC-5/30、PLC-5/30与PowerMonitor之间,盐池中间站的PLC-5/30与DTAMPLUS之间,和银川末站的计算机内置KTX板与PLC-5/30、PLC-5/30与ASB、ASB与PowerMonitor之间均采用DH+电缆相连。

银川控制中心控制室内放置四台上位监控微机,另有数台经理终端分别放在各经理室内。上位微机分别运行相同的采用Citect开发的监控程序,供控制中心操作人员监控全线生产运行情况。靖边首站和银川末站分别放置一台上位监控微机,运行各自采用Citect开发的监控程序,供操作人员监控各站生产运行情况。

#### 4.3 软件配置方案

为实现这种冗余结构,并充分利用工控软件特有的功能,在上位机组态软件中设置三个磁盘变量:ComTestP1,ComTestP2,ComTestP3。用这三个磁盘变量分别表示主服务器与三个RS232/485转换器的通信是否正常。若通信正常,ComTestP1,ComTestP2,ComTestP3均为“1”;若通信不正常,ComTestP1,ComTestP2,ComTestP3均为“0”。这三个磁盘变量ComTestP1,ComTestP2和ComTestP3为内部变量,分别存于主、从服务器的硬盘中,通过以太网进行读写。

主服务器正常工作时,每隔一秒运行一次主服务

器通信测试程序,分别测试主服务器与三个 RS232/485 转换器的通信是否正常,得到 ComTestP1, ComTestP2 和 ComTestP3 这三个磁盘变量的取值:若通信正常均为“1”;若通信不正常均为“0”。

从服务器正常工作时,每隔一秒运行一次从服务器通信测试程序,分别读取这三个磁盘变量的取值:若为“1”,禁止从服务器与相应的 RS232/485 转换器进行数据通信;若为“0”,允许从服务器与相应的 RS232/485 转换器进行数据通信或为“0”。

系统正常运行时,主服务器每隔一秒运行一次通信测试程序,测试后得到 ComTestP1, ComTestP2 和 ComTestP3 这三个磁盘变量的取值为“1”。则主服务器行使控制权,分别与三个 RS232/485 转换器进行读写数据交换,并将所有采集到的数据及状态信息通过局域网传送给后备服务器。从服务器定时与主服务器进行数据交换,更新自身数据库。另外,主服务器和后备服务器皆可充当显示终端。

一旦主服务器发生故障,后备服务器在运行自身通信测试程序时检测到三个磁盘变量 ComTestP1, ComTestP2 和 ComTestP3 均为“0”,则立刻接管主服务器的控制权,启动从服务器的监控功能,准许从服务器与相应的 RS232/485 转换器进行读写数据交换,保证整个 SCADA 系统并不因主服务器发生故障而影响其正常工作。

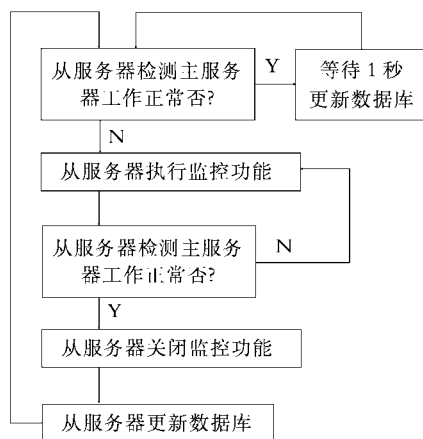


图9 从服务器工作流程

主服务器排除故障、恢复正常工作后,后备服务器在运行自身通信测试程序时立即检测到三个磁盘变量 ComTestP1, ComTestP2 和 ComTestP3 均变为“1”,则将其控制权转交给主服务器,禁止从服务器与相应的 RS232/485 转换器进行数据通信,由主服务器分别与三个 RS232/485 转换器进行读写数据交换。此时,从服务器定时与主服务器进行数据交换、

更新自身数据库,直到主服务器再次发生故障。

从服务器工作流程如图 9 所示。

## 5 结束语

随着 VLSI 技术的迅速进步,微电子硬件的体积迅速变小,计算机中央处理单元的处理能力越来越强,时钟频率越来越高,长输管道 SCADA 系统冗余技术也在不断的提高和完善。陕银线 SCADA 系统结构简单,数据通信量较少,且没有复杂的逻辑控制要求,采用“仅控制中心主计算机冗余”的整体冗余结构和“服务器冗余”的控制中心计算机系统冗余结构,兼顾了管线所在地区的实际经济情况,也在一定程度上保证了 SCADA 系统的可靠性。

陕银线 SCADA 系统已于 1999 年正式投产,经过一年多的安全运行,证明该系统具有较高的可靠性和安全性,提高了平均无故障时间 MTBF 和故障间隔时间,做到了在确保管线安全输送的前提下,既节省投资,又使系统达到了较高的自动化水平,提高了经济效益和劳动生产率,真正实现了陕银输气管道安全、平稳、高效、经济的运行。

## 参考文献

1. 燕永田,工业控制计算机系统的设计与应用,中国铁道出版社,1998.12
2. 严大凡,输油管道设计与管埋,石油工业出版社,1986
3. Citect User's Guide. Ci Technologies Pty. Limited. 1998
4. Citect Technical Overview. Ci Technologies Pty. Limited.

全球重要的现场总线会议将于 2002 年 1 月进行

位于美国德克萨斯州的现场总线基金会 2001 年 11 月宣布,全球最重要的现场总线会议由于受到 911 事件的影响,将推迟到 2002 年 1 月进行。由于 Lee 学院在控制技术方面的创新表现,美国国家科学基金会推荐 Lee 学院作为此次活动的承办单位。举行此次活动的承办单位将是基金会的成员,原定的是 INTERKAMA 2001 在德国的杜塞尔多夫。基金会主席认为,这次活动应当是一次真正的全球现场总线盛会,要充分体现现场总线在工厂最优化以及企业综合决策中的优势。全球的控制、仪器仪表、制造业的最终用户、制造商、供应商和集成商都可以通过网络参加这次会议。这次会议将会在全球范围内进行网络传送,可以登录以下站点进行访问:

<http://www.fieldbus.org>, <http://www.controleng.com>,  
<http://www.ianmag.com>