

西气东输管道自动化系统设计

徐志强* 迟彩云

中国石油天然气管道工程有限公司

徐志强等. 西气东输管道自动化系统设计. 石油规划设计, 2006, 17(3): 13~16

摘要 在西气东输管道自动化系统的设计中, 遵循了国内外的相关标准和规范。结合以往国内外天然气长输管道自动化系统的设计经验, 根据西气东输管道的特点和需求, 提出了适合于该管道安全、高效运营的自动控制系统方案。介绍了西气东输管道自动化系统的构成及功能, 论述了西气东输管道计算机自动控制系统、自动化技术的安全措施以及精确可靠的计量系统、压力控制系统及气体分析检测系统的设置等, 总结了自动化系统在西气东输管道工程中的重要作用。

关键词 西气东输 管道 自动化系统 设计理念 创新 构成 功能 应用

西气东输管道横贯中国东西部, 是目前国内设计压力最高、管径最大、输送距离最长、跨越地域最广及沿线分布站点最多的一条天然气管道。目前, 干线共设置压气站 10 座; 具有分输功能的站场共 37 座, 主要集中在人口密集以及经济较发达的干线东段和支干线、支线。当前正在进行的西气东输管道增输工程建设, 是在西气东输管道现有主干线基础上再增设 12 座压气站, 使其达到最终设计输量为 $170 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。

根据管道建设和下游市场用气需求, 西气东输管道东段(靖边—上海)已于 2003 年 10 月正式投产, 由陕甘宁气田为西气东输管道下游用户供气。2004 年底西气东输管道已全线贯通, 将新疆的天然气源源不断地送往东部各用户。西气东输管道增输工程将在 2006 年底投产。

自动化系统设计方案

1 总体方案

西气东输管道自西向东所经地区的地理、地质、环境、气候、人文、经济等状况具有很大差异。针对西气东输管道建设规模以及输送工艺特点, 根据

西气东输管道对自动化系统的需求分析, 西气东输管道自动化系统设计采用了当今国内外自动化领域先进的测量和控制技术以及网络和通信技术, 将成熟的应用经验和技术与现代高速发展的先进技术相结合, 建设可靠、先进、适宜并且符合西气东输管道特点的自动化系统, 是西气东输管道自动化系统的基本设计思想。

西气东输管道自动化系统由计算机监视与控制系统、现场检测仪表和控制系统以及管理信息系统等组成。计算机监视与控制系统采用以计算机为核心的数据采集和监视控制系统(SCADA——Supervisor Control And Data Acquisition), 完成调度控制中心对全线各站的远程监视、控制和统一管理。以 SCADA 系统数据作为生产信息平台构建的管理信息系统(MIS——Management Information System), 具有生产过程和办公过程的信息化管理以及电子商务等功能, 实现了西气东输管道分公司管理和控制一体化的现代企业管理模式。目前, 西气东输管道 SCADA 系统已投入正常运行, MIS 将根据今后的管理需要进行逐步实施。

* 徐志强, 男, 1956 年生, 高级工程师。1983 年毕业于管道职工学院仪表自动化专业, 现在中国石油天然气管道工程有限公司任副总工程师。通信地址: 河北省廊坊市金光道 22 号中国石油天然气管道工程有限公司, 065000

2 设计原则

西气东输管道自动化系统是以现场检测仪表和各种执行机构作为生产过程直接检测和操作工具；以计算机监控系统为控制和管理生产过程的手段；以 SCADA 系统提供的生产数据为基本信息源；以整合企业内部资源与信息、打造企业核心竞争能力为发展方向，充分利用先进的自动控制技术和信息管理技术，以提高企业的管理水平和提高经济效益为目标的综合自动化系统。西气东输管道自动化系统的设计原则主要包括：

(1) 仪表与自动控制系统将自动、连续地监视和控制管道的运行，保证人身、管道及设备的安全。

(2) 全线所有站场达到无人操作，有人值守的运行管理水平。

(3) 在保证安全的前提下，确保为下游用户连续供气，同时满足环保的要求。

(4) 选择合理的检测、控制设备和系统配置方案以及输气管道应用软件，使管道以最低的运行成本、最优的工况正常运行。

(5) 在技术先进和经济合理的前提下，尽可能地提高计量系统的准确度。贸易计量系统应满足体积和热值交接的需求。

3 系统构成及功能

西气东输管道自动化系统是集生产过程控制及信息管理于一体的自动化系统，主要由用于生产过程监视和控制的 SCADA 系统和企业经营的管理信息系统组成。自动控制系统与管理信息系统之间相互沟通和配合，为西气东输管道分公司提供先进、高效、安全的运营管理平台。

西气东输管道 SCADA 系统由上海调度控制中心、北京后备控制中心、沿线各工艺站场及远控线路截断阀室的远程监控站 SCS (Station Control System) 或 RTU (Remote Terminal Unit)、操作区的监视终端及通信系统等组成。调度控制中心与远程监控站之间通过广域网连接，目前，通信信道采用卫星和电信公网。西气东输管道光通信系统工程建设完毕后，管道干线自动化系统的数据传输将以光通信作为主通信系统，卫星通信为备用通信系统。

(1) 调度控制中心

西气东输管道 SCADA 系统可以达到在调度控制中心对全线进行自动监控的技术水平。正常情况下，由上海主调度控制中心通过 SCADA 系统完成对各站的监视、控制和管理。当上海主调度控制中心发生故障时，由北京后备控制中心接管其监视和控

制任务。在管道所属的 6 个操作区管理处设 SCADA 远方监视终端，以便于区域管理部门掌握本区域及全线的运行工况。调度控制中心的 SCADA 计算机系统按客户机/服务器结构设置，各操作员工作站作为局域网上的一个节点，共享服务器的资源。调度控制中心配置的软件包括计算机操作系统软件、SCADA 监控软件、电子流量及贸易管理软件、压缩机组故障监测和分析软件、输气管道模拟仿真软件等。

(2) 站控系统

站控制系统 (SCS) 和 RTU 是 SCADA 系统的远程监控站，执行调度控制中心的指令，实现站内数据采集及处理、联锁保护、顺序控制、连续控制以及对工艺设备运行状态的监视，并与调度控制中心交换各种数据与信息。通常情况下，各站内无须人工干预，SCS 或 RTU 能自动处理并维持生产过程及设备处于预定的运行状态下。一旦偏离预定状态，在报警提醒基础上自动切换到安全状态。必要时启动紧急切断系统 (ESD——Emergency Shutdown System)，停运部分设备或关闭整个站场。在设置 RTU 的清管站和远控线路截断阀室，不设置独立的 ESD 系统，各 RTU 可执行调度控制中心发布的 ESD 命令。站控制系统主要由计算机网络系统、过程控制单元、ESD 系统、操作员工作站、数据通信服务器以及进行数据传输的通信接口设备组成。过程控制单元采用可靠性高的可编程序逻辑控制器 (PLC——Programmable Logical Controller)。ESD 系统采用了满足 SIL2 等级的控制设备。SCS 的软件配置主要包括计算机操作系统软件、通信服务器软件、PLC 编程软件及 HMI 组态软件等。

在各压气站随压缩机组配套提供一套独立的、可以对压缩机组进行启动、停车、监视、控制和保护的机组控制系统 (UCS——Unit Control System)。UCS 通过数据网络接口与 SCS 相连，进行数据交换，并向调度控制中心传送信号，同时可以接受调度控制中心与 SCS 下发的命令。UCS 设有独立的 ESD 系统，并与 SCS 的 ESD 系统具有联锁关系。

为保证控制系统的可靠性，调控中心的服务器、站控制系统及 UCS 中的所有主要监控设备、网络系统及数据通信系统等均按冗余热备方式配置。

(3) 现场仪表及控制系统

现场检测仪表和控制系统是为 SCADA 系统提供生产过程实时数据和直接控制过程运行参数的单元。主要由用于贸易交接的计量系统、保证供气压力的压力控制系统、用于气质监测的分析仪表以及

可燃气体及火灾检测和报警系统等组成。

自动化系统设计特点

1 先进的自动化水平

西气东输管道 SCADA 系统在结构上是一个分布式的计算机自动控制系统,由广域网连接着不同地域的远程监控站,局域网连接着本地控制设备。从 SCADA 系统的设备配置、数据存储和传输方式、网络结构及系统功能等各方面比较,西气东输管道在以往的管道 SCADA 系统基础上有了进一步的提升。

(1) 采用当今先进的计算机技术、网络技术、通信技术以及先进的系统设计思想,建立集监控和数据采集系统、管理信息系统于一体的综合运营管理系统。

(2) SCADA 系统采用分布式服务器结构,使功能分散、危险分散,提高了系统的可靠性和灵活性,同时提高了系统的数据处理和存储能力,便于管理和今后的扩展。

(3) SCADA 系统设置主调度控制中心和后备控制中心,两个控制中心进行实时通信,确保管道运行数据的异地备份,提高了 SCADA 系统的可靠性。

(4) SCADA 系统提供 Web 服务器作为与 MIS 系统衔接的网络服务器,Web 服务器作为 SCADA 系统数据的出口在 MIS 网络中以网站的形式出现。

(5) 站场所有第三方智能设备或子系统的信号通过 SCS 的通信服务器进行处理,保证了 SCADA 系统与其他系统或设备的通信连接顺利实施,减轻了生产过程控制设备和调度控制中心设备的负担。

(6) 压缩机组监控系统(UCS)通过网络与本地 SCS 相连,重要信号采用硬线与 SCS 及 ESD 系统连接,在确保安全的同时,达到在调度控制中心对压气站进行远程控制和操作的技术水平。

2 安全的自动化技术措施

西气东输管道自动化系统设计上采用安全可靠的设备和系统配置方案以及专用软件和应用软件相结合,从硬件、操作及联锁等方面保证管道运行和人身的安全。

(1) ESD 系统的控制设备采用独立的、符合 IEC61508 不低于 SIL2 等级的设备,提高了管道的安全等级。

(2) 管道泄漏检测报警和定位系统的设计,确保了管道沿线和各站场的安全。

(3) 压缩机组故障检测和分析系统,在线监测压缩机组的运行工况,诊断和分析故障的可能性和判断导致事故的故障件,避免重大事故的发生。

(4) 采用防火墙、网络隔离、身份认证及密码进

入等技术和手段保证自动化系统网络和信息安全。

(5) 分输站压力安全设备采用独立的安全切断阀和监控调压阀相结合的双重保护方式,确保为下游用户安全、连续的供气。

(6) 在压气站设置声光报警设备,用于压缩机组或压缩机厂房内出现紧急情况下的及时告警,以确保站场内所有工作人员的安全。

3 精确可靠的计量系统

西气东输管道流量检测与计量的特点是高压、大流量、流量变化范围大。为了保证计量系统的准确度,根据目前国内外天然气管道贸易计量系统的现状以及计量技术的发展趋势,在技术先进和经济合理的前提下,尽可能地提高计量系统的准确度是贸易计量系统设置的基本原则。贸易交接流量计口径和类型的主要选型依据是流量范围、准确度等级、使用条件、输量递增台阶及价格等因素,同时考虑了目前国内对气体流量计的标定能力以及西气东输计量测试中心建成后的标定能力。

(1) 西气东输管道用于天然气贸易交接的流量计准确度等级按国家标准统一归类为 1.0 级。流量计在分界流量点与最大流量之间工作时的准确度为 0.5 级。

(2) 根据各站不同的用气量和输量台阶,选用超声波流量计或涡轮流量计进行贸易计量,运行方式为一用一备或多用一备。流量计口径小于 Dn 300 mm,便于在线标定和离线标定。

(3) 根据技术经济比较,以 Dn 150 mm 为分界口径,流量计口径大于 Dn 150 mm 时,采用气体超声波流量计;口径小于 Dn 150 mm 时,采用气体涡轮流量计。

(4) 在启输量小或正常用气经常波动的站场,设置一路较小口径的流量计,以满足小流量工况时的精确计量。

(5) 计量系统具有在线比对和在线标定功能,同时在调度控制中心设置计量和贸易管理系统,既可以完成与现场流量计量的比对、校验和核查等功能,又可以完成向调度控制中心计量贸易管理系统提供数据的功能。

4 安全连续供气的压力控制系统

压力控制系统将保证输气管道能够安全、平稳、连续地为各下游用户供气,维持系统下游压力在工艺所需的范围之内,确保系统下游压力不超过允许的压力,需要时还可以完成限制系统下游的流量不超过设定值的功能。

(1) 西气东输管道分输站压力控制系统在国内输气管道中首次采用安全切断阀、自力式调压阀、

电动调节阀串联设置方式,自力式调压阀和安全切断阀作为安全设备,当电动调节阀或控制系统出现故障时,压力安全设备将自动投入运行。保证了压力调节的灵活性、安全可靠性和系统的连续性,同时还能满足限流的工艺要求,保证了连续为下游用户供气。

(2) 压力控制系统设计为压力/流量自动选择性调节系统。正常情况下,系统为压力调节,以维持下游压力在允许的范围内;当供气流量超过设定值时,控制系统将自动切换为流量调节,以达到限制供气量的目的。

(3) 电动调节阀和自力式监控调压阀采用不同的动力源,提高了系统的可靠性。

(4) 经计算和技术经济比较,压力控制系统设备按照一用一备或多用一备的方式进行配置,以便在其中一路发生故障时,不影响为下游供气。

(5) 对启输量较小或用气波动频繁的城市燃气用户,设置小口径的压力控制系统设备,以满足投产初期和用气低谷时的压力控制。

5 设置合理的气体分析检测系统

为保证管道的安全运行及维护业主与用户的利益,对输送气体特别是对于 H_2S 、 SO_2 、游离水以及天然气组分的检测非常重要。在西气东输管道干线各分输站设置了在线气相色谱分析仪,对天然气的组分(摩尔百分比含量)进行监测,为计量系统和站控系统提供气体的实时组分信息和气体热值计算结果,提高了贸易计量系统的准确度,满足了天然气计量系统采用体积计量和热值计量两种计量体系的要求。考虑到西气东输管道距离长,气体压力、温度变化大,并且沿线气候环境各不相同,通过对各站功能、压力和温度范围、环境条件、站间距以及站场所在区域进行分析,确定在沿线一些重要的站场(包括轮南至靖边段的中间站场)设置水露点分析仪共计10套。确保管道和设备安全以及下游用户的利益。另外,在输气首站、靖边压气站(第二气源首站)、博爱分输站(干线第一个分输站)以及上海末站设置 H_2S 分析仪,用于监视输送气体的 H_2S 及总硫含量。

6 可燃气体及火灾检测和报警系统

长江三江口盾构隧道总长度为1992m,两岸设置隧道竖井及值班室。为保证输气生产的安全,及时发现天然气泄漏和预防火灾发生,在隧道中设置了可燃气体及火灾检测和报警系统。系统以隧道中心为分界线划分为两个报警区域,在两岸值班室内分别设置区域报警控制器。火灾自动报警系统具有自动和手动两种运行方式,报警系统同时与隧道通

风系统进行连锁控制。信号传输系统采用工业现场总线方式配置,减少了报警、控制信号传输电缆总长度,降低了工程量和成本。是首次在国内长输管道的盾构隧道中设计了可燃气体及火灾检测和报警系统。

应用效果分析及建议

1 应用效果分析

西气东输管道自动化系统通过两年多的实际运行,从SCADA系统的调度控制中心、各站控制系统、ESD系统、压缩机组监控系统(UCS),到输气站场的贸易计量系统、压力控制系统、气体分析检测系统等,都经过了实际运行的考验。特别是在恶劣的工况和事故状态下,ESD系统、分输压力控制系统、计量系统(包括色谱分析仪)、管道沿线设置的在线水露点分析仪等均发挥了应有的作用。在上海调度控制中心不仅可以实现对全线各站的统一生产过程监视与控制,保证输气生产的安全运行,而且作为商业与贸易中心还可以实现全线的贸易管理,能够根据管道实际进出的气量、天然气的质量(热值)、市场价格、用气合同价格、市场预测等因素制定未来的销售策略及计划。

2 设计建议

(1) 根据西气东输管道自动化系统的实际运行情况,建议在今后的SCADA系统设计中,对于不打算自行敷设光缆的管道,应根据管道站场所处区域的公网覆盖情况,在公网DDN电路能够接通到所需站场的情况下,应优先选用DDN电路进行SCADA系统数据传输,以保证数据通信系统的可靠性。

(2) 目前西气东输管道上海调度控制中心实时监控着全线所有工艺站场。由于各站上传到中心的数据总量较大,过多占据了中心服务器数据库的容量,造成了服务器和通信信道的有效资源利用率降低。因此,建议在I/O数据表编制时,应与工艺、电力等专业以及运行管理单位落实需要传送到调度控制中心监控的数据,在保证安全、生产调度需求的前提下最大限度地压缩数据量。

(3) ESD系统在保证安全方面起着非常重要的作用。建议ESD系统的执行机构(如切断阀)的功能应是独立且专用的,动力源除电以外还应配备第二动力源(如气、液等),以保证系统整体的可靠性和可用性。

收稿日期:2005-12-14

编辑:郭洁敏

ABSTRACTS

OF ARTICLES

4 Application and Development Trend of Automation Technology in Oil and Gas Fields

Ji Hong , et al.

The monitor and control technology for production status was developed with the advanced technologies of crude oil ,natural gas and water system in the surface engineering of oil-gas field. In the last decades , a group of advanced world-class automatic control systems were developed in the oil fields of West China , central gas field of Changqing area and Datianchi gas field of Sichuan Province. Additionally , the innovative improvement of automation system was made in the gas fields of Daqing , Liaohe , Jilin and Dagang areas. All up-to-date technologies used in oil-gas field were analyzed , and the main achievements were summarized in the paper. The existing problems in the development of automation technology for oil-gas fields were analyzed , and the development trends in China were discussed.

9 Application of Merit Chart Measurement Technology in Dagang Oil Field

Shi Mingyi , et al.

Aiming at ground system optimization and simplification of Dagang Oilfield , the pilot test of merit chart measurement technology was made. The technological principles of merit chart measurement were described. The single-well on-line remote measurement technology was tested in different kinds of oil well and newly developed area. The merit chart measurement technology was improved according to the result of test. The picture law amount can expand the application range of oil-measurement software technology. The test indicates that the merit chart measurement technology can meet the requirement of online remote measurement of oil wells.

13 Design of Automation System in West-East Gas Transmission Pipeline

Xu Zhiqiang , et al.

The design of automation system for the West-East gas transmission pipeline follows the domestic and overseas standards and specifications. According to the former design experiences of automation system for long-distance gas transmission pipeline , a project of automation control system fitting for safety and expedient operation of pipeline was put forward on the basis of the characteristics and requirements of the West-East Gas Transmission Pipeline. The constitution and functions of the automation system for the West-East gas pipeline were introduced. The great effects of the automation system on the West-East Gas Transmission Pipeline Project were described. The characteristics of automatic control system , safe measurement technology , precision and probability of the automatic metering system , pressure control system and gas analysis system were discussed.

21 Research on Computer Inspection Control System in Water Injection Station

Wang Gang , et al.

Super-high pressure difference between pump and tube in water injection station can lead to low-efficiency water injection. Reasonable control of the pressure difference between pump and pipe is the effective way to enhance the efficiency of injection system in water injection station. The development and application of the microcomputer inspection control system in water injection station can control the pressure difference between pump and pipe in water injection station and reduce the cost of water injection. The

composition and working principle of the control system , design of computer software , hardware and disturbance resistance system were introduced. The in-situ application effect of the computer system was analyzed.

27 Application of SCADA System in Natural Gas Field of Eastern Sichuan Province

Qu Yan , et al.

The SCADA system was successfully applied in the natural gas field of the eastern Sichuan Province. According to the natural gas production process and the basic geological situation of natural gas field in the eastern Sichuan Province , the design , technological demand , monitoring object , hardware and software composition , structure , function and the maintenance management of SCADA systems of Datianchi and Chongqing natural gas pipeline net of natural gas fields in the eastern Sichuan Province were analyzed. The operation status of the SCADA system and technological demand were discussed. The problems existing in the operation of the system were analyzed. Some suggestions were presented in this paper.

34 Computer-aided Test System for Natural Gas Flow Rate

Li Yong , et al.

The gas flow rate measured by the metering devices with the same precision and range is different under different working environment. A new method for recording the parameters of performance by a set of flow measuring devices with the same precision and different span was proposed. The data can be acquired by computer or remote terminal unit or programmable logic controller , and the flow rate can be calculated by optimum measured values automatically selected. The programmable logic chart to realize the computer program was presented in this paper.

42 Development Status of Technologies for Oil Transmission Pipeline at Home and Abroad

Liu Zhihui

Crude oil pipeline and network are the fundamental facilities in the petroleum storage and transportation and also the available approach to guarantee the national energy and strategic security. The necessity for construction of petroleum pipeline and network was analyzed, and the current situation and developing trend of technologies for the international petroleum pipeline and network were discussed. The technological discrepancy of petroleum pipeline and network in China with the advanced level of world was investigated. Some suggestions for the construction of petroleum pipeline and network in China were presented.

45 Discussion on Purchase of Steel Pipes for Oil and Gas Pipeline Project

Zhang Jing , et al.

The current status of steel pipe purchase in oil and gas pipeline engineering was introduced. The main problems existing in steel pipe purchase at present were analyzed. The definition , origination , organization , attentive issues and evolution of strategic alliance partnering were discussed. It is suggested that steel pipe purchase should be based on strategic alliance partnering with domestic and overseas steel mills in order to guarantee steel pipe resource and reasonable price.

48 Selection and Application of Electronic Map for Planning Route of Oil and Gas Pipeline

Yu Zhiguang , et al.

The relief map is necessary for planning route of oil and gas pipeline. Electronic map is better than the map made of paper. According to the practical demand and the applied data , the function and selection methods for four kinds of electronic maps including the World Map , China Map , NASA World Wind and Google Earth Map were introduced. The application of electronic maps in the construction of crude oil pipeline from Kazakhstan to China was analyzed.