仿真培训在输气管道调度管理中的应用

熊　辉[1], 程　华[2], 原立玮[3], 靳　毅[4], 杨劲松[2]

(1. 中国石油管道分公司科技中心, 河北 廊坊 102800;
2. 中国石油工程设计有限公司西南分公司, 四川 成都 610017;
3. 中国石油管道兰州输气分公司, 甘肃 兰州 730000;
4. 新疆油建公司陕京二线项目部, 山西 阳曲 030004)

摘　要: 针对鄯善—乌鲁木齐输气管道, 应用国外仿真软件 Stoner Pipeline Simulator(SPS)建立了鄯乌管道离线电子管道系统, 借助 Visual Basic(VB)程序开发语言, 开发了具有与现场一致的 SCADA 系统操作界面, 应用 SPS 软件与 VB 语言接口, 建立了前台操作界面与后台电子管道之间的实时连接, 使该系统的操作人员能通过系统界面上直观的设备命令来驱动后台的离线电子管道系统。

关键词: 输气管道; 仿真培训; 软件
文章编号: 1006-5539(2006)04-0029-03　　文献标识码: A

0　前言[1]

输气管道仿真软件的发展与计算机技术的发展密切相关。早在 20 世纪 60、70 年代, 国外一些管道公司、计算机公司、大学、科研院所就开始应用于管道设计和运行管理。

大多数输气管道仿真软件都具有独立的稳态仿真(steady simulation)和瞬态仿真(transient simulation)的模块, 但也有一些软件没有专门的稳态模块, 而是通过瞬态仿真收敛于所考虑的稳态工况。实践表明, 这种以瞬态逼近稳态的方法效果不佳。按照提供初始条件和边界条件的方法, 瞬态仿真分为离线(off-line)和在线(on-line)两种模式。尽管输气管道瞬态仿真有多种模式和方法, 但其采用的数学方法却没有本质区别, 通常为隐式中心差分法(Box 法)和特征线法。在仿真软件中, 对应于求解仿真数学模型的模块称为仿真发动机(modeling engine 或 simulation engine), 它是所有输气管道运行软件的核心模块。

输气管道仿真软件主要有三个应用领域: 管道设计、管道运行、管道调度和操作人员培训。在输气管道设计过程中, 稳态仿真软件可以帮助工艺设计工程师计算管道的设计参数和确定工艺设计方案; 瞬态仿真可以针对不同工艺设计方案进行多种典型条件(如调峰、管道发生断裂事故等)下的非稳态工况计算, 从而为设计方案优选提供依据。在输气管道运行管理过程中, 仿真软件可以用于制定和优选运行方案、预测事故后果、评价事故应急方案的效果(这种应用通常称为自救仿真即 survival simulation)等多个方面。

利用仿真软件进行人员培训是 20 世纪 90 年代兴起的, 这种培训方式是利用专门的仿真培训软件在计算机网络上进行的。与在实际管理上进行的传统培训方式相比, 它可以丰富培训内容、提高培训深度、增加培训兴趣和灵活性, 而且不会干扰实际管道的运行。仿真培训软件(training simulator)的核心仍然是通用的仿真发动机, 但比常规的仿真软件增加了教师接口和培训人员接口。目前, 仿真培训方式正在国际油气管道行业迅速普及。

自 20 世纪 80 年代末至今, 我国的仿真技术获得了极大的发展。但在油气管道方面, 目前仍未形成一套统一、系统的操作培训系统。一般说来, 对于需要有一个或一组熟练人员进行操作、控制、管理与决策的实际系统, 都需要对相关人员进行培训、考核。早期的培训大都是经过理论讲解和现场实习, 通过实际操作经验和积累来完成的, 这种培训方式因是在实际运行的系统上进行操作, 不仅培训成本高、培训时间长, 而且有些故障只能在实际发生时才

收稿日期: 2005-07-19
作者简介: 熊　辉(1977-), 男, 湖南岳阳人, 助理工程师, 从事石油天然气储运及管道数字化研究。电话: (0316)2174496。
?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

能得到实际操作的机会，致使一部分知识只有感性认识，得不到实际操作的锻炼。随着系统规模的加大、复杂程度的提高，特别是造价日益昂贵，训练时因操作不当引起的破坏而带来的损失大大增加，因此，提高系统运行安全性、可靠性事关重大。为解决这些问题，出现了仿真培训系统，模拟实际系统的工作状况和运行环境，以避免运用实际系统时可能带来的危险性及高昂的代价。

输气管道仿真培训系统集仿真技术、图形图像技术、数据库等技术于一体，依据输气管道及站场设备实物进行设计，如压缩机站场、中间阀室、分输站场状况，可在模拟设备和全线水力条件、热力条件上进行相应操作，采用鼠标点击的操作方式，简单、直观、易学。这种方式使管道运行人员的培训手段大大更新，提高了培训效率，缩短了培训周期，也进一步提高了运行人员的正确判断和处理事故的能力，防止事故扩大化和缩短事故处理时间，从而确保输气管道安全、可靠、经济运行。

本文针对鄯善—乌鲁木齐输气管道，应用国外仿真软件 Stoner Pipeline Simulator(SPS)建立了鄯乌管道离线电子管道系统。

1 系统总体结构[2]

“输气管道仿真培训系统”由离线电子管道系统和调度操作平台两大部分组成总体。两部分由 SpsDataServer 数据服务器进行连接，整套系统是以 SPS 仿真软件所建立的离线电子管道作为整套系统的后台计算引擎，电子管道中的参数共享于 SpsDataServer 数据服务器中，用户可通过操作平台来调用及修改数据服务器中的参数从而实现对电子管线中参数修改的目的，所有的连接关系在系统运行时均为实时连接。系统的总体结构见图 1。

图 1 输气管道仿真培训系统结构图

1.1 离线电子管道

根据 SPS 软件建模要求，结合实际的站场以及阀室的布置情况，建立了真实管道的仿真模型(即离线电子管道)。在鄯善—乌鲁木齐输气管道(以下简称鄯乌线)实例模型中采用传热模型，鄯善—乌鲁木齐输气管道在新疆维吾尔自治区境内，管道起始于鄯善县火车站西吐哈油田鄯善油库附近，在油田丘陵构造和鄯善构造之间穿过，经柯柯亚沿火焰山北到吐鲁番的葡萄沟北，经大河沿、天山、达板城、新疆盐湖化工厂、芨芨槽子、葛家庄、芦草沟，终止于乌鲁木齐市东山区的乌鲁木齐石油化工总厂，管道全长 301.625 km。在电子管道水力计算中考虑了各个阀、压缩机等设备所产生的摩阻损失，在热力计算中考虑了沿线各管段设备所带来的温升。

1.2 调度操作平台

SPS 仿真软件提供了自身软件与 Visual Basic 语言的接口，此接口以动态组件的方式定义了电子管道中阀、压缩机、管线等建模设备元件，应用 Visual Basic 语言，调用 SPS 所提供的接口，参照鄯乌管道实际站场 SCADA 调度操作平台，开发鄯乌管道各站场仿 SCADA 系统调度操作平台。界面的开发完全依托于鄯乌线 SCADA 系统操作界面，整套系统的界面涵盖了管线总貌、各站流程图以及总参数表三部分。

2 系统主要功能

2.1 仿真模拟

管道仿真软件的模拟效果，关键在于电子管道是否准确和完整地描述管道的水力、热力过程。根据鄯乌输气管线的具体情况，针对季节的不同，输入相关数据：地温、管道相关参数、气体组分等，分别对春、夏、秋、冬四个季节常见的十几种工况进行模拟计算，模拟结果完全能够体现现场实际运行状况，可为调度人员判别不同工况运行情况，并为其实际操作控制提供依据。具体的模拟结果与实际运行参数的比较见表 1。

2.2 参数监视

2.2.1 全线监视

通过系统总界面，可以实时看到各站设备和管道系统的运行情况、各站进出站压力、进出站温度、调节阀位置(开度%)、各分输门站分输量等参数。

2.2.2 站内监视

在各站界面内，可能实时看到各站进出站压力、进出站温度、压缩机入口端压力温度、压缩机出口端压力温度、调节阀位置(开度%)等参数。

2.2.3 图形监视

电子管道所模拟的结果及中间过程随时间变化的参数能以图形方式实时的呈现于操作者面前，操作者可以通过图形输出界面观察全线实时的压力曲降、热力曲线、流量曲线以及压力波在管道内的传播过程。图 2 为某工况压力、流量图。

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1　模拟结果与实际运行参数比较表

工况	比较参数		首站出站	新化站进站	城市站进站	乌石化站进站
日用气高峰期	压力/MPa	实际	3.19	1.58	1.47	1.35
		计算	3.19	1.61	1.49	1.41
	流量/m^3	实际	/	15 826	10 612	46 188
		计算	/	15 826	10 612	46 188
日用气低谷	压力/MPa	实际	2.58	1.61	1.52	1.44
		计算	2.58	1.59	1.50	1.45
	流量/m^3	实际	/	4 630	10 711	36 581
		计算	/	4 630	10 711	36 581
日过渡期	压力/MPa	实际	2.91	1.54	1.43	1.30
		计算	2.91	1.49	1.38	1.29
	流量/m^3	实际	/	12 674	6 831	42 433
		计算	/	12 674	6 831	42 433
春季日用气高峰期	压力/MPa	实际	3.17	1.62	1.54	1.41
		计算	3.17	1.60	1.49	1.40
	流量/m^3	实际	/	18 534	5 306	50154
		计算	/	18 534	5 306	50154
夏季日用气高峰期	压力/MPa	实际	3.19	1.58	1.47	1.35
		计算	3.19	1.61	1.49	1.41
	流量/m^3	实际	/	15 826	10 612	46 188
		计算	/	15 826	10 612	46 188
秋季日用气高峰期	压力/MPa	实际	3.19	1.34	1.16	1.04
		计算	3.19	1.37	1.19	1.09
	流量/m^3	实际	/	15 373	18 375	40 850
		计算	/	15 373	18 375	40 850
冬季日用气高峰期	压力/MPa	实际	3.33	1.42	1.25	1.15
		计算	3.33	1.47	1.29	1.19
	流量/m^3	实际	/	18 706	17 933	47 268
		计算	/	18 706	17 933	47 268

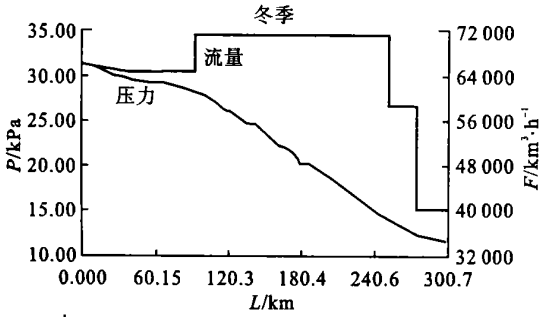

图 2　某工况压力、流量曲线图

2.3　各站主要工艺流程功能

各站流程界面上形象地绘制了各个元件设备，如：压缩机、阀、调节阀等，各个设备元件颜色代表了它所处的状态，红色代表停止或关闭，绿色代表运行或打开状态，如设备元件从一种状态变为另一种状态，则其中间变化过程的颜色会进行黄、蓝闪动以提醒操作者对某个元件进行了操作，同时该项操作所引起流程的变化，也会随着界面上线条颜色的黄、蓝闪动给操作者以形象的显示。

2.4　调度控制功能

调度人员可能通过各界面对电子管道进行实时的控制，所发的直观的设备控制命令通过 SpsDataServer 传到电子管道，从而实现实时电子管道参数修改及调整的目的。主要可以完成以下操作：任一站场与管道系统脱离和连接；压缩机组的启动和停运；压缩机组的切换；电子阀门的开发；流程切换及其显示；各站各类控制参数的给定与调整；系统的压力调节及逻辑保护；放空保护；管道系统动态参数及当前压力趋势显示；设备状态显示。

2.5　事故工况设定

系统内设了如下事故工况：首站事故停电；工业用户事故停用气；分输站事故关阀；各站间泄漏。

通过上述设计，可使受训人员处在管道无法实现的工况中。

3　应用结果及展望

针对鄯乌线所开发的管道仿真培训系统已经在管道分公司调控中心得到应用，并得到了充分的肯定。通过该系统可真实体会到管道动态运行时全线水力过程的变化。管道运行各种工况、意外事故和误操作均可在该系统中实施，操作者可对整个管道进行控制与监视，也可用该系统制定控制方案和控制定值，通过改变不同方案和定值，仿真其控制过程，确定合适的控制参数。此套仿真培训系统在鄯乌输气管道上成功地应用，表明它能够为生产提供科学依据，带来经济效益，它的成功将会推广到其它输气管道。

目前我国正处于管道大发展时期，在役管道的安全运行，新建管道的顺利投产日益被提上议程，管道仿真培训系统能提高培训效率、缩短培训周期、降低培训成本、提高运行人员的技术业务素质，作为一种新型的培训方式，其经济效益和社会效益是显而易见的，具有广泛的应用前景。

参考文献：

[1]　常大海，王善珂. 国外管道仿真技术发展状况[J]. 油气储运，1997，16(3)：9-13.

[2]　宫　敬，于　达. 庆铁输油管道仿真系统[J]. 油气储运，1999，18(11)：24-27.