

# 中乌天然气管道工程投产临时工程的影响因素分析

陈军<sup>1</sup> 马强<sup>1</sup> 谢冬梅<sup>1</sup> 杨松<sup>2</sup>

**摘要：**中乌天然气管道B线由于首站未能及时交付使用，需在6<sup>#</sup>、8<sup>#</sup>阀室建设临时工程来实现天然气的置换。以中乌管线投产时的临时工程为分析对象，分析水合物生成、节流温度变化、阀门耐低温性能、管线震动及流速控制等对投产置换的影响，结果表明：采取调节阀门组开度控制上下游压差、控制天然气流量，根据节流温度情况是否投入加热设备、阀门组予以固定等措施，对于提高投产置换的安全性，保障管线运行有着现实作用。

**关键词：**天然气管道；投产；置换技术

Doi:10.3969/j.issn.1006-6896.2016.5.025

## Analysis of Influencing Factors in China-Uzbekistan Natural Gas Pipeline Project Temporary Engineering

Chen Jun, Ma Qiang, Xie Dongmei, Yang Song

**Abstract:** Because of the China-Uzbekistan natural gas pipeline B-line can't be delivered in time, the temporary engineering was built for gas substitution in 6<sup>#</sup> and 8<sup>#</sup> valve chamber. In the article, it analyzes the hydrate formation, temperature difference in throttling process, low temperature resistance of valve, pipeline vibration and flow control include. Based on the actual calculations result of displacement rate and the pressure changes of valve back, the flow rate has been controlled by adjusting. According to whether the heating equipment works and valves to be fixed, It is very important to improve the safety of gas purging, especially it's helpful for pipeline operation.

**Key words:** natural gas pipeline; commissioning; gas purging

中亚中乌天然气管道工程起始于土乌边境，终止于乌哈边境。单线线路长度约 529 km，管道采用双管并行敷设方式，管道间距 30 m。全线设 36 座线路截断阀室（其中 B 线 18 座阀室），3 座压气站，2 座收球站，3 座发球站，1 座计量站，1 座调度控制中心以及 26 条 AB 线间跨接管线，设计压力 9.81 MPa。A 线已于 2009 年投产运行，B 线投产时由于首站竣工延期，本次投产范围为中乌天然气管道工程 B 线的 BV.0.2~BV.16.2 阀室、B 线 529 km 的主干线和 A、B 线之间的跨接线以及压气站 WKC1 的发球区 PLS1.2、压气站 WKC2 的收球站 PRS2.2、发球站 PLS2.2、压气站 WKC3 的收球站 PRS3.2、发球站 PLS3.2、ESD 区的投产试运行。

## 1 临时工程

B 线的乌方 GAZLI 压气站无法投用和计量站的

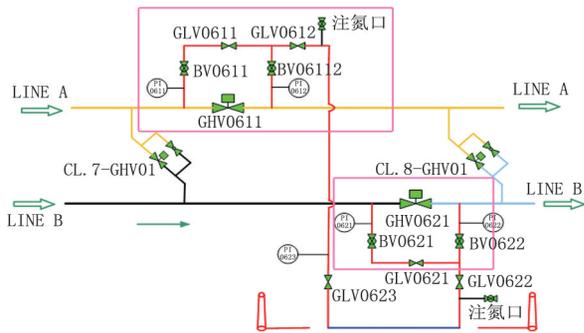
建设延期使得本次投产试运行时投产气源只能由前期已投入运行的 A 线提供，而 A 线运行压力为 9.81 MPa，远超置换时所需的天然气压力；各中间站均不具备天然气流量控制及压力调节功能，高压气流动无法实现流速和气量的控制，给投产运行带来安全隐患。经过多方论证，决定在中乌天然气管道 B 线投产前，在 6<sup>#</sup>、8<sup>#</sup> 阀室建设临时工程，如图 1 所示，对各段管道进行反向置换升压工作，其特点是利用阀室的放空管线将 A、B 线连接起来。投产置换时，A 线天然气经过 BV0611→GLV0611→GLV0612→GLV0623→GLV0622→GLV0621→BV0621 把天然气引入 B 线。

## 2 临时工程的影响因素

### 2.1 天然气节流温降

天然气经过节流降压后会产生温降现象（焦耳

<sup>1</sup>承德石油高等专科学校 <sup>2</sup>中国石油天然气管道局管道投标运行公司

图1 6<sup>#</sup>阀室临时工程示意图

一汤姆逊效应)。在天然气降温过程中是否会结冰或产生水化物则与天然气中含水量有关。依据经验,天然气节流压降一般为1 MPa下降5~6℃。也可用下式<sup>[1]</sup>进行粗略估算

$$T_2 = \alpha \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} T_1 \quad (1)$$

式中:  $p_1$  为节流前天然气的压力, Pa;  $p_2$  为节流后天然气的压力, Pa;  $T_1$  为天然气降压前的温度, K;  $T_2$  为天然气降压后的温度, K;  $\alpha$  为修正系数, 一般取0.8~0.9;  $k$  为绝热指数, 一般天然气取1.2~1.4。

由上式可知, 天然气节流后的温度取决于天然气节流前后的压力比和初始温度, 节流前后压力比越大, 温度下降越厉害。此外, 依据焦耳—汤姆逊公式<sup>[2]</sup>, 在相同压力下节流系数随温度降低而升高, 即入口气体温度越低, 节流后的温度降越大。当节流后的温度低于管输天然气在该压力下的水露点时, 就易在阀门节流处出现冰堵。

由于是在A线的6<sup>#</sup>(8<sup>#</sup>) 阀室处取气降压对B线进行置换, 则该点处天然气的气体初始温度为A线对应点处的天然气温度, 可由下式计算<sup>[3]</sup>

$$T_A = T_0 + (T_1 - T_0) \exp(-ax) \quad (2)$$

$$a = 225.256 \times 10_6 KD/QGc_p$$

式中:  $T_A$  为A线6<sup>#</sup>阀室处天然气的温度, ℃;  $T_0$  为管道周围介质的温度, 取12℃;  $T_1$  为首站天然气的出气温度, 取55℃;  $x$  为首站与6<sup>#</sup>阀室之间的距离, 取145 km;  $K$  为管道内的气体与土壤的总传热系数, 取1.745 W/(m<sup>2</sup>·℃);  $G$  为天然气的相对密度, 取0.726;  $c_p$  为天然气的定压比热容, 取1750 J/(kg·℃);  $Q$  为A线的天然气流量, 取600×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d;  $D$  为A线管道外径, 取1.067 m。

根据公式(2)和上述数据可计算得到天然气输送到6<sup>#</sup>阀室时的温度为12.02℃。若天然气由9 MPa降为0.2 MPa(置换初始压力), 温降按1 MPa下降5.5℃计算, 其节流后的温度为-

36.4℃。若天然气由8 MPa降为0.2 MPa, 其节流后的温度为-30.9℃。

在临时工程中加装的截止阀阀体为普通碳钢(WCB)材料, 设计最低耐低温温度为-29℃。调压后的温度已经超过阀门的设计低温极限, 将导致阀体钢材性能变化, 造成阀门的抗压能力下降。

## 2.2 流体振动

天然气在经过节流截止阀进行节流的过程中, 由于压降很大, 高速的气流会在阀门后形成大量的湍流运行, 使部分流体在截止阀后面的管线中做剧烈的漩涡运动, 这些漩涡与势流、管壁与漩涡之间的相互作用造成漩涡振动, 使得阀门及管线的出现剧烈震动, 进而使管线焊缝处的承压能力下降, 易形成投产风险。

## 2.3 流量控制

多位研究者的研究<sup>[4-6]</sup>表明: 天然气置换过程中的混气长度随背压、流速的增大逐渐增大。中乌管道的临时工程中缺少计量设备, 在置换期间只能依靠人工调节截止阀开度的大小来进行置换的流速控制, 如控制不好则有可能增加置换时的混气段长度, 增加投产的成本。

## 3 解决方案

根据以上情况, 为了降低中乌天然气管道B线投产的风险, 对以上问题可采取如下措施予以解决:

(1) 如图1所示, 将No.6.1和No.6.2阀室的放空管线切断后连通, 在连通管线上加装一个节流截止放空阀GLV0623, 在截止阀前安装压力表, 并在No.6.1阀室放空阀GLV0612下游放空管线加装一注氮阀及在No.6.2阀室放空阀GLV0622下游放空管线加装一注氮阀(8#阀室与之类似)。置换时, 由A线内天然气经No.6.1和No.6.2阀室旁通线转入B线将封存在No.6.2~No.5.2阀室之间的氮气向上游WKC1方向推进。节流产生的压降由GLV0612、GLV0623两个阀门均分, 既可避免出现某个阀门压降过大造成前后温降过大的现象, 从而将阀门调压后的温度尽量控制在阀门材料的低温限度附近, 又可以减轻阀门的震动, 确保阀门在低温情况下的运行安全。

(2) 由业主与上下游协调, 在满足下游用户用气需求的同时, 将A线运行压力降低到8.0 MPa以下, 再对B线进行投产, 以尽量减小初始置换时的总节流压降值。

(3) 针对节流产生的温降均分导致GLV0623

阀门出口处的温度低于阀门材料的设计低温极限，可采取在阀体上临时敷设大功率电热带并外包棉布的伴热方式对阀体进行加热，提升流体温度来避免阀门节流处因节流温度低于设计低温极限而造成阀门的抗压能力下降，同时也可避免产生冰堵。

(4) 对加装的放空管线和阀门采取加固措施，并且埋地以降低气流对阀体和管线高速冲击造成管线剧烈震动。

(5) 开始置换时，首先打开 GLV0611、GLV0612 放空阀，最后缓慢逐步打开 GLV0623、GLV0622 放空阀，控制开度向管线内注入天然气。同时观察压力表，起始压力为 0.2 MPa（表压），根据时间逐步缓慢升高压力（按每小时升高 0.14 MPa 进行操作）。在置换中根据其他检测组检测到的气体到达时间，测算实际的天然气置换速度之后，再根据实际情况手动调节 GLV0623、GLV0622 的阀门开度来控制置换气体流量，降低置换期间的混气段长度。

(6) 运行人员在置换过程中严密监视阀门组前后安装的压力表、温度计读数，尽可能地减小操作引起的故障。

## 4 实施效果

中乌天然气管道 B 线利用 6#、8# 阀室建设的临时工程使 A 线 8 MPa 的天然气调压至 0.2 MPa 引入 B 线，在不影响国内天然气供应的前提下，于 2010 年 8 月安全、平稳地实现乌国 500 km 天然气管道 B

线分 4 段投产成功，不仅为管道局节省了大笔工程费用，也为以后类似工程提供了良好的借鉴。

## 参考文献

- [1] 陈敏恒. 化工原理[M]. 北京：化学工业出版社，2008：23-24.
- [2] 国家经济贸易委员会. 天然气管道运行规范：SY/T5922-2003[S]. 北京：石油工业出版社，2003.
- [3] 田贯三，马一太，杨昭. 天然气节流过程水化物的生成与消除[J]. 煤气与热力，2003，23（10）：583-586.
- [4] 王俊奇，白博峰，郑欣. 输气管道置换过程气体混合的影响因素分析[J]. 油气储运，2010，29（6）：430-435.
- [5] 付春丽. 输气管道氮气置换混气长度的影响因素[J]. 油气储运，2011，30（2）：94-96.
- [6] 薛继军，张鹏云，王俊奇，等. 输气管道投产置换过程气体混合规律研究[J]. 天然气工业，2006，26（12）：147-149.

## 作者简介

陈军：副教授，硕士，1993 年本科毕业于石油大学（华东）热能工程专业，2006 年研究生毕业于清华大学工程热物理专业，主要从事热能动力设备的节能、油气集输、长输管道运行能耗分析等教学和科研工作，0314-2374616，cdpchenjun@163.com，承德石油高等专科学校热能工程系，067000。

收稿日期 2015-05-13

（栏目编辑 焦晓梅）

（上接第 85 页）

(3) 根据火炬计算公式，高度对辐射热强度影响较大，已建火炬可通过调整高度降低辐射。

## 参考文献

- [1] 云成生，韩景宽，章申远，等. 石油天然气工程设计防火规范：GB50183-2004[S]. 北京：中国计划出版社，2004：123-127.
- [2] 余洋，黄静，陈杰，等. 天然气站场放空系统有关标准的解读及应用[J]. 油气储运，2011，29（5）：11-14.
- [3] 赵广明，李凤奇，韩钧，等. 石油化工可燃性气体排放系统设计规范：SH3009-2013[S]. 北京：中国石化出版

社，2014：12.

- [4] 王艳玲，于风叶，张风波. 天然气净化厂火炬及放空系统设计探讨[J]. 天然气与石油，2008，26（6）：43-45.

## 作者简介

杨丽梦：工程师，大学本科，2008 年毕业于北京电子科技学院，从事地面工程规划工作，0459-5932129，yanglimeng@petrochina.com.cn，大庆市让胡路区玉门街 200 号，163000。

收稿日期 2016-03-17

（栏目编辑 焦晓梅）