

输气管道投产中氮气置换的原则及技巧

崔茂林¹ 吴长春²

1. 中国石油管道分公司 2. 中国石油大学(北京)

崔茂林等. 输气管道投产中氮气置换的原则及技巧. 天然气工业, 2015, 35(2): 81-86.

摘 要 自我国第一条长距离大口径输气管道——西气东输一线投产以来, 在输气管道投产工作方面已进行了大量的尝试, 积累了许多宝贵经验, 但还普遍存在着一些问题, 如投产所需注氮量的确定还仅凭经验没有量化计算公式、在氮气置换中存在较多没有必要的操作等。结合笔者主持或参与制订国内外输气管道投产方案的实践, 归纳总结了近 10 余年来我国输气管道投产的部分经验, 介绍了在输气管道投产方案编制中的一些创新做法。包括自创了输气管道投产所需注氮量的计算公式, 将输气站场的并列管道依次氮气置换方式改为同时置换方式, 取消了站场放空和排污管线的氮气置换, 归纳总结了氮气置换操作中的多项技巧。这些创新既有科学依据又有以往投产实际经验和数据的支持, 在保证投产安全前提下极大地简化了输气管道投产期间的现场操作, 输气站场氮气置换的时间也大大缩短, 同时还节约了大量的氮气, 具有明显的经济效益。

关键词 输气管道投产 氮气置换 经验 问题 量化注氮量 简化操作 创新 经济效益

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2015.02.013

Principles of and tips for the nitrogen gas displacement in the gas pipeline debugging practices

Cui Maolin¹, Wu Changchun²

(1. PetroChina Pipeline Company, Langfang, Hebei 065001, China; 2. China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

NATUR. GAS IND. VOLUME 35, ISSUE 2, pp.81-86, 2/25/2015. (ISSN 1000-0976; In Chinese)

Abstract: Since the West-to-East Pipeline I was put into production, operators have tried in many different ways and collected many valuable experiences. However, there still exist some problems. For example, the injected nitrogen quantity was determined only by experience but not by quantitative calculation formula; much unnecessary work has been done in the nitrogen displacement process. Therefore, we summarized our personal experiences from various scenarios at home and abroad over the past decade and introduced some innovative methodologies in the programming of pipeline debugging schemes. The calculation formula was first developed for the required nitrogen quantity in the debugging process; the in-turn nitrogen displacement was displaced by the simultaneous way for the paralleling pipes at the stations; nitrogen displacement was abolished for vent and drainage pipelines; and many other tips were concluded for the nitrogen displacement process. Supported by the previous practices and data, the above innovative methodologies help not only to simplify the on-site operation on the premise of safe production but to shorten the nitrogen displacement time to a large degree and meanwhile to save a great quantity of nitrogen gas, as a result, the economic benefit is significantly enhanced.

Keywords: Gas pipelines debugging; Nitrogen displacement; Experience; Problem; Nitrogen quantity; Simplified operation; Innovation; Economic benefit

作者简介: 崔茂林, 1965 年生, 高级工程师; 主要从事输油气管道投产和输油气管道工艺安全分析等方面的研究工作。地址: (065001) 河北省廊坊市开发区四海路 18 号副楼 209 室。电话: (0316) 5973771, 13191980734。E-mail: cuimaolin1963@163.com

1 输气管道投产过程概述

输气管道投产是指将管道中的空气全部替换为天然气并升压至所要求的压力,然后进行 72 h 试运行的过程。先用惰性气体(通常为氮气)置换空气,然后用天然气置换氮气^[1-15]。为了节省氮气,不是将管道全部充满氮气而是将氮气注入首站至某一直线截断点之间的管道中封存。管道进天然气后推着氮气段进行全线置换,通常采用干线和站场同时置换的方式,即纯氮气段经过中间站场期间完成站场置换。由于上游供气压力较高,投产期间需用首站压力调节阀对天然气进行节流降压,为了避免节流降压后管道产生冰堵,节流降压可能不止一级,也可在调压阀上游注入甘醇以降低天然气水露点。天然气到达末站后全线开始分台阶升压直至最终达到所要求的压力值。

2 输气管道投产部分经验总结及简化投产的方法

2.1 输气管道投产充氮量和干线注氮长度的计算

输气管道投产充氮量指注氮结束后管道中封存的纯氮气的量(换算成零表压和实际温度下纯氮气的体积),干线注氮长度指在微正压(量化为 0.02 MPa 表压)和实际温度下投产充氮量对应的干线长度。

国内输气管道投产确定干线注氮长度的通常做法是取管道总长度的某个固定百分比,这种方式主要存在 2 个问题:①实践证明,投产过程中氮气段两端的混气段在达到一定长度后再增加就很缓慢,所以干线注氮长度的增加与干线总长度的增加不成正比,比如,1 000 km 管道所需干线注氮长度明显小于 500 km 相同管径管道所需干线注氮长度的 2 倍;②若中间站场数量和类型不同,同样长度和管径的输气管道投产所需干线注氮长度是不同的。

笔者于 2008 年根据科学的计算结合实际投产数据发明了一个投产充氮量及干线注氮长度计算公式,公式如下。

投产充氮量:

$$Q_{\text{封存}} = (25\,000 + 50L_{\text{总}})S + 3V \tag{1}$$

干线注氮长度:

$$L_{\text{注氮}} = \frac{Q_{\text{封存}} - 1.2V_1}{1\,200S} \tag{2}$$

式中 $Q_{\text{封存}}$ 为投产充氮量(零表压和实际温度下的体积), m^3 ; $L_{\text{注氮}}$ 为投产充氮量在 0.02 MPa 表压和实际温度下对应的干线管道长度,km; $L_{\text{总}}$ 为干线总长度,km; S 为干线管道平均内横截面积, m^2 ; V 为氮气封存

段以外所有站场管容总和, m^3 ; V_1 为氮气封存段中包含的站场管容总和, m^3 。

式中的“1.2”和“1 200”为与 0.02 MPa 表压有关的换算系数;“3”表示站场氮气置换消耗的氮气的量为站场管容的 3 倍;“25 000”和“50”为笔者经过反复试验后确定的经验系数。

式(1)和式(2)的主要适用条件:①干线长度范围为 200~1 500 km;②干线投产时,若支线和干线同时投产,干线计算结果应加上支线单独投产所需的充氮量;③干线为等管径;④如果没有中间站场或中间站场只有单一清管站,取计算结果的 70%~80%。单一清管站可近似看作为阀室,因为可以通过适当的流程使干线气流贯穿其主要流程。

为了验证式(1)和式(2)的实用性,选取了 2 种管径和 5 种干线长度的输气管道,按式(1)和式(2)计算出干线注氮长度,结果见表 1、2。

表 1 $\varnothing 610\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ 输气管道投产所需干线注氮长度计算结果表

管道干线总长度/ km	干线注氮长度/km (0.02 MPa 表压、实际温度)	干线注氮长度占 管道总长度的比例
500(4 个站场)	45.2	9.1%
750(5 个站场)	57.0	7.6%
1 000(7 个站场)	70.2	7.0%
1 250(8 个站场)	82.0	6.6%
1 500(10 个站场)	95.1	6.4%

注:干线管道平均壁厚为 10 mm,站场平均管容约为 150 m^3 ,氮气封存段中只有首站 1 个站场

表 2 $\varnothing 1\,016\text{ mm} \times 18\text{ mm}$ 输气管道投产所需干线注氮长度计算结果表

管道干线总长度/ km	干线注氮长度/km (0.02 MPa 表压、实际温度)	干线注氮长度占 管道总长度的比例
500(4 个站场)	44.3	8.9%
750(5 个站场)	55.7	7.4%
1 000(7 个站场)	68.1	6.8%
1 250(8 个站场)	79.5	6.4%
1 500(10 个站场)	91.9	6.1%

注:干线管道平均壁厚为 18 mm,站场平均管容约为 300 m^3 ,氮气封存段中只有首站 1 个站场

计算结果显示,计算所得干线注氮长度占干线总长度的比例不是固定百分比,干线越长比例越小,符合实际投产情况。

值得指出的是,表 1 和表 2 中不同管径管道计算

结果略有不同,根据投产经验,注氮长度这么小的差别不会对投产产生影响。

为了进一步证明式(1)和式(2)的实用性,将近 10 年来已投产的部分输气管道实际注氮长度和由式(1)和式(2)计算出的理论注氮长度(L)进行了比较,结果见表 3。

表 3 输气管道实际注氮长度与式(1)和式(2)计算结果的比较表

投产输气管道名称	实际注氮长度/km	实际封存压力/MPa	L 换算成 0.02 MPa 表压下的长度 $L_{0.02}$ /km	$L_{0.02}$ 占 干线总长度的比例	用式(2)算出的注氮长度 $L_{计}$ /km	$L_{计}$ 占 干线总长度的比例	管道参数
中卫—贵阳线中卫—南部段 1 号阀室—末站	60.3	0.02	60.3	7.2%	60.6	7.3%	该段管道长 834.9 km, $\varnothing 1\ 016\text{ mm}\times 18\text{ mm}$, 5 座站场
山东天然气管网泰安—青岛段 1 号阀室—末站	36.0	0.04	42.0	13.0%	40.1	12.6%	该段管道长 319.4 km, $\varnothing 1\ 016\text{ mm}\times 18\text{ mm}$, 5 座站场
西气东输西段轮南站—玉门站	63.1	0.05	78.9	6.2%	80.1	6.3%	该段管道长 1265.9 km, $\varnothing 1\ 016\text{ mm}\times 18\text{ mm}$, 8 座站场
忠—武输气管道干线	62.8	0.02	62.8	8.7%	63.8	8.9%	干线长 718.9 km, $\varnothing 711\text{ mm}\times 9.4\text{ mm}$, 11 座站场
忠—武输气管道潜湘支线	29.0	0.08	42.3	12.6%	43.2	12.9%	支线长 335.8 km, $\varnothing 610\text{ mm}\times 8.5\text{ mm}$, 6 座站场

注:①管道参数中的壁厚为全线估算平均壁厚;②“1 号阀室—末站段”全线氮气置换采用两级调压方式,在首站进行第一级降压节流,在 1 号阀室进行第二级降压节流,先进行首站—1 号阀室段氮气置换,再进行 1 号阀室—末站段氮气置换,1 号阀室—末站段的氮气置换可看作单独的一条管道的氮气置换

从表 3 数据可看出,已投产的多条输气管道的干线注氮长度和由式(1)和式(2)计算出的干线注氮长度很接近,误差在不影响投产的范围内,进一步证明了式(1)和式(2)的实用性。另外,某些已投产管道的实际干线注氮长度明显大于计算干线注氮长度,但氮气置换结束后剩余的纯氮气较多,说明实际投产充氮量过多。

2.2 站场并列管线氮气置换方式的优化

输气站场中并列管线比较普遍,如图 1 中并列的 3 路计量管线。2003 年之前,国内输气管道投产时站场并列管线置换一直采用依次置换方式,如图 1 所示,置换第 1 路管道时需关断其他 2 路,以此类推再分别置换第 2 路和第 3 路。依次置换的依据是认为气体通过并列管线中较小管径管道的时间远大于通过较大管径管道的时间。

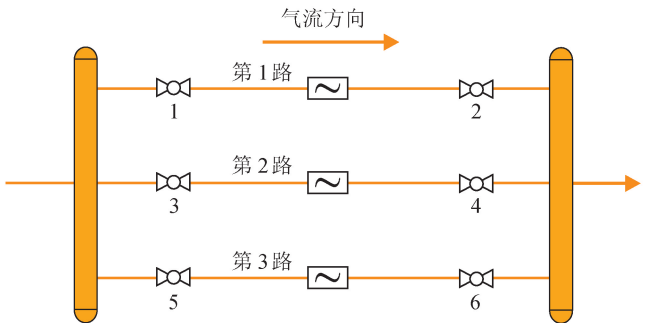


图 1 输气站场并列管线流程示意图

依次置换方式具有如下缺点:①需要操作的阀门过多;②需要的操作人员较多;③站场氮气置换时间长,站场氮气消耗量和天然气放空量大。由于干线和站场一般同时氮气置换,所需干线纯氮气段长度也较大(图 2)。

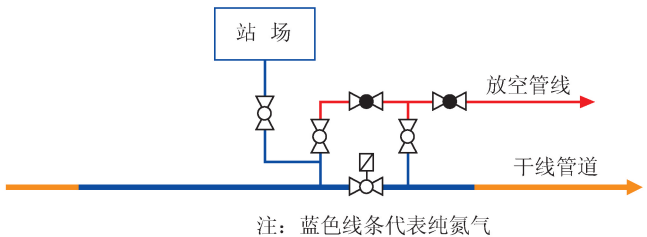


图 2 干线和站场同时氮气置换的示意图

2003 年在编制西气东输一线东段管道投产方案时,笔者首次采用了站场并列管线同时氮气置换方式,以图 1 举例,氮气置换前将 3 路管道上的 6 个球阀全部打开,投产时同时置换 3 路管道。

并列管线同时氮气置换方式的依据:投产氮气置换期间站场压力为 0.05 MPa,在这样的压力下,站场并列管线上下游压差小到无法检测,难以计算气体通过并列管线中各种管径管道的时间。笔者在以往的现场作业中曾粗略地检测过在压力很低(0.1 MPa)的情况下,天然气通过并列管线中各种管径管道的时间相差很少。在有现场依据的前提下,决定在西气东输一

线东段管道投产中首次尝试这种氮气置换方式。投产实测结果,站场 1 组并列管道管径相差悬殊,最大管径为 250 mm,最小管径为 50 mm,长度约为 30 m,纯氮气通过这 2 种管径管道的时间相差不到 1 min,而如果整个站场均采用依次置换方式而多出的置换时间可达 0.5~1 h,可见并列管线同时氮气置换方式节省的时间极为明显,置换得更充分。

2003 年以后,笔者将站场并列管线同时氮气置换方式成功地推广到了其他近 10 条国内外输气管道的投产,对简化投产起到了很好的作用。但到目前为止,国内输气管道行业还有不少地方仍然在沿用站场并列管线依次氮气置换方式。

2.3 投产期间可以不进行氮气置换放空和排污管线

为了进一步节省站场投产氮气置换时间,2006 年笔者在投产方案编制中取消了站场放空管线和通往排污池的排污管线的氮气置换(如果站场设置了排污残液罐,由于其处于密闭状态,通往残液灌的排污管线需进行氮气置换),多次投产实践证明这种做法是安全的。这种做法的依据:放空立管顶端和排污池压盖上通气管顶端均与空气直接相通,而且分别为放空和排污管线的最高点,由于天然气密度小于空气密度,天然气和空气在最高点处不断交换,正常运行期间,放空和排污管线内存在大量空气甚至可能全部为空气(得到过实际验证),而运行期间经常在高压下直接放空和排污作业(规程允许),但迄今为止还没有发生过站场因为正常放空和排污发生事故的案例。如果进行氮气置换,放空和排污管线内很快又会充满空气。

近年来,站场低压放空管线上加装了止回阀,但放空立管之前的放空总汇管中平常仍然充满了大量空气,因此,放空管线仍然可以不进行氮气置换。

2.4 注氮口选择的安全性

输气管道投产一般采用液氮车注氮,1 t 液氮实际转化为约 750 m³ 的氮气(1 个标准大气压下和 5 ℃ 条件下),通常实际注氮流量(液氮)最高可达约 6 t/h(4 500 m³/h)。注氮口常选在清管收(发)筒管径为 50 mm 的放空管或注水管上,6 t/h 流量下氮气在管径为 50 mm 注氮管(按常用规格 $\varnothing 60 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$)与清管器收(发)筒相连处的气流速度接近 636 m/s(相连处压力接近于零),如此高速气流有可能对注氮管内壁产生较大损伤。虽然迄今为止还未发现此类用于注氮管径为 50 mm 的管段发生过问题,但由于正常运行时此类管段不带压,因此,没出问题并不证明这些管段未受损伤。

在审查他人所做投产方案时,笔者曾阻止过欲将注氮口选在站场主管线阀门管径为 50 mm 旁通管上

的做法,这种做法存在以下隐患:①可能因氮气流速过高而损伤旁通管内壁,该旁通管的直弯道还可能会加剧损伤;②注氮期间旁通管管径小难以固定,注氮气时的强烈振动容易对旁通管与主管道之间的焊口产生损伤;③投产后正常运行期间该旁通管与主管线相通,一旦旁通管出现问题会造成重大安全事故。

若将注氮管管径增大为 80 mm(按常用规格 $\varnothing 89 \text{ mm} \times 5.5 \text{ mm}$),液氮流量为 6 t/h、管径为 80 mm 的注氮管中的最高气流速度接近 262 m/s,比起 636 m/s 有了大幅度的降低。因此,若注氮管段在投产后正常运行时不能与主管线隔断,建议所选注氮管直径不应小于 80 mm。

2.5 调整氮气段流速减少恶劣条件下的投产时间

如果投产期间遇上恶劣条件(如雷雨大风、恶劣路况等)时,交通、天气等不利因素就成为突出的安全问题,此时,可以适当提高氮气段流速、减少投产时间来规避风险。提速依据:《SY/T 5922—2012 天然气管道运行规范》中规定:“投产置换过程中管道内气流速度不宜大于 5 m/s”。说明 5 m/s 的速度限制是一个安全富余量比较大的数据。在笔者参加的某输气管道投产中,因为交通和天气方面的恶劣状况,临时将氮气段速度提高到 6 m/s 左右,减少了大量夜间投产时间,对投产的综合安全起到了保障作用。

如果在投产过程中遇上以上恶劣条件,为了追求“理想”的氮气段速度而增加各种安全隐患,这就违背了安全宗旨的本质。以往投产中就出现过类似情况,增大了投产的安全风险。

2.6 干线氮气段速度的控制方法

全线氮气置换期间宜只用首站进气流量来控制干线氮气段速度,使两者之间建立起唯一的对应关系,当干线氮气段实际速度偏离正常值时,可通过调节首站进气流量使其平缓地回归到正常值。

如果用改变干线氮气段背压(改变氮气段下游引气放空阀的开度)的方式来控制干线氮气段速度,则氮气段速度同时受到首站进气流量和氮气段背压这 2 个因素的控制,投产实践表明,这种控制氮气段速度的方式容易使氮气段速度忽快忽慢而失去控制,只有在特殊情况下才适宜改变背压来控制氮气段速度。

2.7 压力调节阀开度控制

通过压力调节阀的气体可以计量时,全线置换期间可以根据“投产期间进气流量表”中的数值结合流量计的读数来控制压力调节阀的开度。

如果通过压力调节阀气体不能计量,从设备厂家获取该压力调节阀在全线置换实际条件下的“流量—

开度”曲线,投产期间根据“进气流量表”的数值结合“流量—开度”曲线数值来控制压力调节阀的开度。

全线氮气置换期间,再根据下游站场和阀室气头检测结果计算出干线氮气段实际速度,如果偏离了正常速度值,还需对压力调节阀开度进行相应的调整。

2.8 引气放空点的设置

经验表明,全线氮气置换期间引气放空点不宜设在放空管线上有阻火器的中间站场,这是因为投产初期管道中固体杂质较多,站场引气放空时容易造成放空管线阻火器堵塞。引气放空点宜设在线路阀室,阀室放空管线上不设置阻火器。

末站必须设置引气放空,投产前应对阻火器进行检查清理,如果发生堵塞能及时进行处理。

3 站场氮气置换的一些实用技巧

3.1 带自力式分输调压橇下游管道的氮气置换方法

针对输气站场分输调压橇上的自力式调压阀或安全截断阀需调压橇上游压力达到约 0.3 MPa 时才能开启的情况:站场氮气置换期间压力远达低于 0.3 MPa 表压,在这种情况下,分输调压橇至分输出站阀之间管段的氮气置换有以下 5 种方式可供选择。

1) 投产前用氮气瓶至少导通多路调压橇中的一路(利用氮气瓶压力打开调压橇上的自力式调压阀和安全切断阀),直至站场氮气置换结束,在这种情况下站场按常规方式进行氮气置换。

2) 站场氮气置换前用氮气瓶将分输调压橇至分输出站阀之间管段全部注氮,待分输调压橇上游压力升至 0.3 MPa 表压后,再导通调压橇对下游管段进行氮气置换。

3) 如果分输调压橇设有旁通管道(图 3),站场氮气置换前全开旁通管路上的球阀,调压橇不用导通,只需打开各路调压橇前后的球阀,站场按常规方式进行氮气置换。

4) 投产前将一根胶皮管的两头分别与调压橇上游

和下游管线临近的压力表根部短接相连,氮气置换期间用调压橇上游的氮气置换下游管段的空气,置换结束后立即拆除胶皮管,恢复压力表原有状态。由于站场氮气置换期间压力为 0.05 MPa 表压左右,这种方式是安全的。

5) 仅为推荐方法:分输调压橇下游管道不用提前注氮,待分输调压橇上游压力升至约 0.3 MPa 表压时,导通调压橇,直接用天然气置换调压橇下游管段空气,由于压力较低并用调压阀控制流量,天然气和空气混气只从放空立管排放,这种氮气置换方式多次使用后被证明是安全可行的。

3.2 投产过程中的设备保护措施

1) 避免仪表管线进杂质而损伤设备。投产前关闭全线所有站场阀室的气液联动阀、调压橇、计量橇等设备仪表管线或引压管线上的阀门,避免全线氮气置换期间管道中的液体和固体杂质被气流带入而损伤设备。一般在站场或阀室压力升至 0.5 MPa 表压后再打开这些阀门,因为升压阶段管道内气流速度已经变得非常缓慢。

2) 保护站场自用气微压表。站场氮气置换前关闭或拆下各路自用气管线调压箱内的微压表,避免在置换时因超压损坏微压表,因为自用气管线置换时的压力远高于微压表的量程上限。

3.3 站场氮气置换期间阀门操作技巧

在输气管道站场氮气置换操作步骤中经常有“将阀门全开然后立即关闭”这样的描述,如果此类阀门打开到一定的开度后立即关闭就可以达到完全置换的效果,宜将上述操作步骤改为“将阀门打开到某个开度(如 50%、30% 等)后立即关闭”。大口径手动阀或气液联动阀(投产初期气液联动阀只能手动液压操作)全开全关一次时间较长,采用上述不全开阀门的操作方式可以节省时间减轻劳动强度,尤其是在类似阀门操作较多的情况下。

3.4 站场氮气置换时盲管的处理方法

站场盲管是指一端和主管线相通,另一端封闭的管段。在进行站场氮气置换空气时,对于长度不超过 3 m 的盲管没有必要特意进行置换,因为主管线置换时可以带出盲管中的空气。假设盲管内还存有极少量空气,这些空气和站场管网中的氮气混合后,天然气总含氧量也完全可以达标,因为这些极少量的空气容积占站场总管容的比例极小。如果特意对此类盲管进行氮气置换,会增加流程切换、阀门操作和置换时间,而且从安全角度上讲也没有必要。站场天然气置换氮气时,对盲管的置换也可按照以上方式。

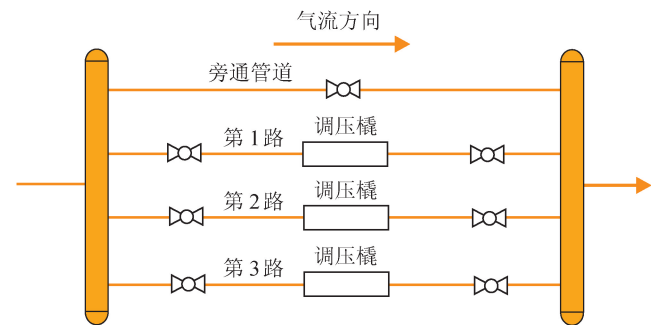


图 3 站场分输调压橇示意图

4 结束语

归纳总结了近十几年来我国输气管道投产的部分经验,介绍了笔者在投产方案编制中的一些创新做法。这些创新包括,自创了输气管道投产所需注氮量的计算公式、将输气站场的并列管道依次置换方式改为同时置换方式、取消了站场放空和排污管线的氮气置换、置换操作中的多项技巧等。这些创新方法既有科学依据又有以往投产实际经验和数据的支持,在投产实践中得到了验证并进行推广。这些创新做法在保证投产安全前提下极大地简化了输气管道投产期间的现场操作,输气站场置换时间的大大缩短节约了大量的氮气,产生了明显的经济效益。

参 考 文 献

- [1] 刘雪梅,谢英,袁宗明,苏欣,廖星.输气管道投产安全的探讨[J].天然气与石油,2007,25(4):11-14.
Liu Xuemei, Xie Ying, Yuan Zongming, Su Xin, Liao Xing. Discussion on gas pipeline safely put into operation [J]. Natural Gas and Oil, 2007, 25(4): 11-14.
- [2] 唐善华,张帆.靖边—上海输气管道的投产置换[J].油气储运,2005,24(5):54-57.
Tang Shanhua, Zhang Fan. The gas purging on Jingbian-Shanghai gas pipeline of West-to-East gas pipeline project [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2005, 24(5): 54-57.
- [3] 薛继军,张鹏云,王俊奇,曾学军,武喜怀.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.
Xue Jijun, Zhang Pengyun, Wang Junqi, Zeng Xuejun, Wu Xihuai. Study on gas mixing regulation of gas displacement operation for gas transmission pipeline commissioning [J]. Natural Gas Industry, 2006, 26(12): 147-149.
- [4] 刘雪梅,谢英,袁宗明,方曦.输气管道气体置换方案的比较及应用[J].油气储运,2008,27(1):47-50.
Liu Xuemei, Xie Ying, Yuan Zongming, Fang Xi. Comparison and application to gas displacement scenarios of gas transmission pipelines [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2008, 27(1): 47-50.
- [5] 吴运逸.天然气长输管道运行中的风险及控制探究[J].中国化工贸易,2014(9):286-287.
Wu Yunyi. The operation of long distance gas pipeline risk and control [J]. China Chemical Trade, 2014(9): 286-287.
- [6] 许玉磊,宋晓琴,张一峰,李果,杨宇航.输气管道“气推气”投产过程混气规律研究[J].油气储运,2008,27(1):11-13.
Xu Yulei, Song Xiaoqin, Zhang Yifeng, Li Guo, Yang Yuhang. Study on the gas diffusing rule for the “Gas-to-Gas Process” of gas transmission pipeline during commissioning [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2008, 27(1): 11-13.
- [7] 张城,张增强,左迎春,蔡柏松,吕晓华.SY/T 5922—2012

天然气管道运行规范[S].北京:石油工业出版社,2012.

Zhang Cheng, Zhang Zengqiang, Zuo Yingchun, Cai Baisong, Lü Xiaohua. SY/T 5922-2012 The operations regulation of gas pipeline [S]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2012.

- [8] 叶学礼,章申远,任启瑞,向波,吴克信,雒定明. GB 50251—2003 输气管道工程设计规范[S].北京:中国计划出版社,2003.
Ye Xueli, Zhang Shenyuan, Ren Qirui, Xiang Bo, Wu Kexin, Luo Dingming. GB 50251-2003 Code for design of gas transmission pipeline engineering [S]. Beijing: China Planning Press, 2003.
- [9] 魏国昌,陈兵剑,郑玉刚,王炜,续理,高泽涛. GB 50369—2006 油气长输管道工程施工及验收规范[S].北京:中国计划出版社,2006.
Wei Guochang, Chen Bingjian, Zheng Yugang, Wang Wei, Xu Li, Gao Zetao. GB 50369-2006 Code for construction and acceptance of oil and gas transmission pipeline engineering [S]. Beijing: China Planning Press, 2006.
- [10] 崔茂林,程德发,李国兴,安垚,游泽彬,许琛琛. Q/SY GD 0208.2—2012 油气管道投产方案编制导则 第2部分:天然气管道[S].廊坊:廊坊出版社,2012.
Cui Maolin, Cheng Defa, Li Guoxing, An Yao, You Zebin, Xu Chenchen. Q/SY GD 0208.2-2012 Preparation guide for start-up plan of oil & gas pipelines—Part 2: Gas pipeline [S]. Langfang: Langfang Press, 2012.
- [11] 闫宝东,李国兴.天然气管道现场技术与管理文集[M].北京:石油工业出版社,2006.
Yan Baodong, Li Guoxing. Natural gas pipeline field technology and management corpus [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2006.
- [12] 张鹏,张帆,唐善华,刘振方,郭永华,张利亚,等. Q/SY 202—2007 天然气管道运行与控制原则[S].北京:石油工业出版社,2007.
Zhang Peng, Zhang Fan, Tang Shanhua, Liu Zhenfang, Guo Yonghua, Zhang Liya, et al. Q/SY 202-2007 Pipeline operations and control philosophy [S]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2007.
- [13] 黄义忠.天然气管输运行前的氮气置换技术[J].中外能源,2008(5):73-76.
Huang Yizhong. Nitrogen replacement technology before natural gas pipeline running [J]. Sino-Global Energy, 2008 (5): 73-76.
- [14] 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.
Fu Chunli. Influencing factors of gas-mixing length during nitrogen purging & packing course of gas pipeline [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2011, 30(2): 94-96.
- [15] 黄金洲,方亮.输气管线氮气置换分析[J].石油化工建设,2010,32(3):73-75.
Huang Jinzhou, Fang Liang. On N₂ displacement technology used in gas pipe [J]. Petroleum & Chemical Construction, 2010, 32(3): 73-75.