

西气东输干线清管作业实践与建议

赵小川¹, 南发学², 刘振方¹, 韩永伟¹

(1 中国石油北京油气调控中心, 北京 100101; 2 中国石油管道建设项目经理部, 北京 100101)

摘 要: 分析了西气东输管道干线新疆段清管作业实践, 探讨了存在的问题, 结合国内外大口径长输管道清管作业经验, 进行了深入研究, 为以后天然气管线的安全清管作业提供了借鉴。

关键词: 西气东输管道; 天然气; 清管器; 作业; 实践; 研究

文章编号: 1006-5539(2008)06-0001-06

文献标识码: B

1 西气东输管道干线概况

西气东输管道干线轮南首站—上海末站总长 3 836 km, 管径/壁厚: $\Phi 1\,016 \times 14(17)\text{mm}$ 。干线共有 25 座清管站, 其中独立清管站 2 座: 延川、阳城清管站和压气站、分输站合并建设的有 23 座, 包括: 轮南、孔雀河、四道班、鄯善、哈密、雅满苏、红柳、柳园、玉门、酒泉、山丹、金昌、古浪、中卫、盐池、靖边、蒲县、郑州、淮阳、利辛、青山、芙蓉、上海站。除轮南首站只设有发球功能、上海末站只设有收球功能外, 每座清管站都设有收发球流程, 具有收发球功能。

2 清管作业背景和目的

自 2004 年西气东输干线投产以来, 上游气质出现过波动, 在近半年里输送的是湿气, 又加之投产时某些压气站机组安装管线打压时, 用的都是水试压。从生产运行实践看, 一些站场排污量较大, 冬季个别分输站场用户出现过冻堵现象; 压缩机干气密封失效引起的停机故障次数较多, 而它的寿命取决于供给干气密封的气质, 包括杂质颗粒、压力及露点。而且新建管线应在 3 年内进行全面性检测^[1], 要进行检测也必须先进行清管作业。

通过清管, 可以达到以下目的: 降低减少天然气中的悬浮物、固体颗粒, 使气质更加纯净; 清除管道

内部明水, 降低全线水露点, 使气质符合国家规定标准, 保证下游用户的用气质量; 清除管线内部积水、泥沙、污液等其它杂质, 降低天然气的摩阻损失, 提高管道的输送效率; 清除管线内部的锈渣、硫化铁粉末, 以及施工过程中留余的焊渣、杂质, 保证除尘分离过滤设备的正常使用。减少降低焊渣等金属碎屑对计量撬、调压撬、球阀密封面所造成的损伤。清除管线内部低洼处的明水, 减少冰堵产生, 降低电解质的形成条件, 减少管道内壁受到硫化氢、二氧化碳的腐蚀, 延长管道使用寿命; 降低减少天然气中的杂质、粉尘和污液对各种输气设备、仪器仪表的冲刷、污染、腐蚀等破坏作用。

3 清管作业方案

相关单位高度重视本次清管作业, 在多次讨论的基础上制定了作业方案。由于甘肃地区在 5 月以后管道地温才能恢复到 0°C 以上, 因此充分考虑清管的安全性, 2007 年全线清管从 4 月 20 日开始安排, 管输量为 $3\,600 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 5 月 15 日结束。清管作业顺序从轮南首站开始向下游逐段进行, 最终达到上海末站。

制定了作业计划表。按照清管平均流速约为 14 km/h 每站收发球作业时间 4 h 初步估算, 轮南—上海段清管一轮时间约为 20 d 预留机动时间, 此次清管按照 25 d 计划。

收稿日期: 2008-09-19

作者简介: 赵小川 (1973-) 男, 四川巴中人, 工程师, 学士, 主要从事长输油气管道运行管理工作。电话: (010) 64843746

b 4月输气计划为 $3\,600\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 全线可以运行 9~12座压气站,为了防止清管带出的水量过大对运行机组造成损坏,拟采取收球站停机、发球后再启机的运行调整方案,即收球的压气站提前停运,发球后且球经过 1个阀室后再启运。球过压气站前的最后一个阀室后且距离压气站 2 km左右,停运下一个压气站压缩机,依次向下行进。运行机组启停的调整由北京油气调控中心负责控制安排。清管期间启、停压缩机,允许各管理处根据现场实际情况控制启停压缩机。但压缩机的启、停各管理处需提前通知调控中心。

c 由于管道内天然气的行进速度较快,输量为 $3\,200\times 10^4\sim 3\,600\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 采取“自然憋压”的作业方式进行清管,同时采取了一些措施降低球速对收球筒的冲击。

d 受进气量及下游用户用气量的波动影响,以及压气站压缩机组是否运行的调整,具体收、发球时间将根据现场的实际运行参数和实际情况有所变化。

e 作业方案还对废旧清管器及清除物的处理提出了解决办法,提出了清管作业安全措施,对可能出现的故障也提出了处理办法,制定了发生爆管、火灾等的应急预案。

f 清管器运行计算公式^[1]

a)清管器运行距离

$$L=\frac{4T_0ZQ}{\pi dT_0P_m}$$

式中 L——清管器运行距离, m;

P_0 ——0.101 325 MPa;

T_0 ——293.15 K;

T——清管器后管段内气体平均温度, K;

Z——气体的压缩系数;

Q——发清管器后的累计进气量, Nm^3 ;

d——输气管内直径, m;

P_m ——清管压力,即某时刻清管器后管段内气体的平均压力(绝), MPa;

π ——3.141 592 6

b)清管器平均运行速度

$$V=L/\tau$$

式中 V——清管器平均运行速度, m/s;

L——清管器运行距离, m;

τ ——清管器运行距离所需的时间, s;

c)清管排液量的计算

通过排污池标尺读出;

按排污口水平喷射时的射流轨迹估计。

$$W=1.74d\sqrt{\frac{x}{y}}t$$

式中 W——排污量, t;

d——排污管直径, m;

x——排污口至流束落地点的水平距离, m;

y——排污口至流束落地点的垂直高度, m;

t——排污时间, s;

4 清管期间工艺运行调整方案

考虑到运行机组较多,全线启停操作频繁对运行本身也具有一定风险,因此调整方案主要参照以下原则:

a 清管期间不影响上游供气 and 下游用户用气;

b 现有机组能够维持输量情况下,短时间内停运收发球站的压缩机组,而不必启运该站上下备用站;

c 考虑新疆区域管段波动对上游进气可能造成的风险,新疆段必须启用备用站来弥补收球站机组停运的影响;

d 尽可能维持 $3\,600\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 的各种稳定工况。

根据 SPS模拟出的 $3\,500\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 输量下各压气站目标控制参数,见表 1。

表 1 $3\,500\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 输量下各压气站目标控制参数

	运行台数	转速 / $\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$	进站压力 / MPa	出站压力 / MPa	进站温度 / $^{\circ}\text{C}$	出站温度 / $^{\circ}\text{C}$
01轮南	1	3 991	6.40	8.17	19	42
02孔雀河	1	5 321	6.20	9.30	18	50
03四道班	0	0	8.03	8.03	28	28
04鄯善	1	4 593	6.40	8.32	14	39
05哈密	1	4 239	6.50	9.44	15	50
06雅满苏	0	0	8.28	8.28	24	24
07红柳	1	3 817	6.30	8.05	8	30
08柳园	1	4 999	6.60	9.54	14	48
09玉门	0	0	7.93	7.93	21	21
10酒泉	1	4 636	6.30	8.38	8	34
11山丹	1	3 930	6.80	9.41	13	43
12金昌	0	0	8.57	8.57	27	27
13古浪	0	0	7.60	7.60	16	16
14中卫	1	3 943	6.40	8.57	8	34
15盐池	1	4 135	6.80	8.42	13	33
16靖边	1	3 608	7.20	9.10	17	39

5 作业概况

2007年 4月 18~21日完成西气东输管道新疆段 2007年的第一次清管作业。清管作业区段为轮南站~28 阀室,轮南设有发球流程、孔雀河站设有收发球流程;四道班压气站、鄯善清管站和哈密压气站都设有收发球流程,具有收发球功能,雅满苏设有转球流程,这次不做转发球流程直接过球。由于管道内天然气的行进速度较快,实际输量为 $3\,200\times 10^4\sim 3\,500\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 采取“自然憋压”的作业方式进行清管,同时采取了一些措施降低球速对收球筒的冲击。

5.1 各站清管作业步骤

5.1.1 轮南站

库尔勒抢修队于 17日晚上把球放入球筒,18日凌晨把发射机装入清管器上,推入到发球筒大小头处,等待发射;首站把压缩机的转速以每 100 r/min 的速度下降,转速下降到 4 500 r/min 后,于 10:15 分整发出球。

5.1.2 孔雀河站

这次清管作业,因输量在 $3\,500\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 清管器运行速度已经远远超过清管方案中计算速度 14 km/h 也超过清管器运行速度一般宜控制在 3.5~5 m/s 的运行规范^[1]。在清管器通过 5 阀室时,运行速度实际测量为 24.56 km/h 并且预测到达接收点的速度将超过 25 km/h 为避免清管器对收球筒撞击,把清管器对收球筒的撞击的速度控制在正

常的运行速度范围内,采取停压缩机办法,在 18日下午 18 00 分停压缩机,由于上下游压差未平衡。使清管器停在管内,降低清管器的运行速度;大约在 48 min 后,收球筒旋塞阀 1203 有气流流动,在 19:53 分清管器顺利进入收球筒。经排污测量和打开盲板检查收球筒,管道内部没有任何物体,排污量 0.18 m³,清管器外形没有异常磨损和变形。

在现场对发球筒进行检查后,清管器装入发球筒内,经过安全检查、压力平衡、跟踪仪器检查、密闭检查等发球前的准备工作后,20:30 分清管器从孔雀河站发出。发球指示器没有动作,但跟踪仪器报警球已发出。

出现较大振动,但未冲击盲板,见图 1。

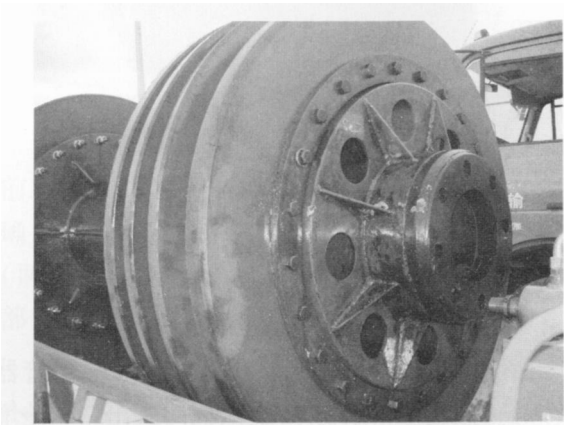


图 1 取出的清管器

5.1.3 四道班

四道班是停机状态,在倒为收球流程后,运行一段时间听到一声巨响,DN300 管线有颤抖,在站控室检测进站阀 1202 前后压差在不断增大。

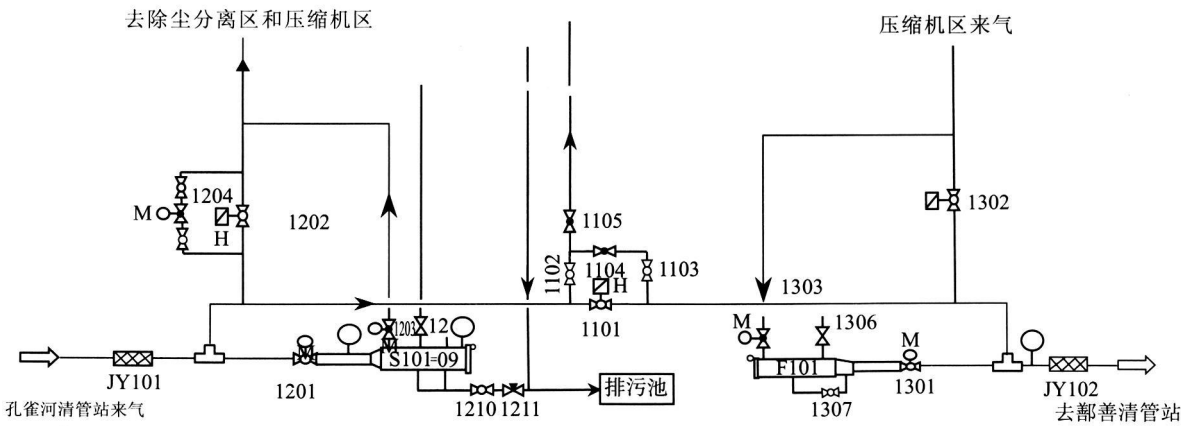


图 2 四道班压气站清管工艺流程示意图

b 打开 1101 越站阀旁通阀 1102 井 1103 井 1104 井听到一声响后气流声正常(事后打开收球筒后发现防撞轮胎 2 个未绑紧,判断是在收球流程下把一个轮胎吸到 DN 300 管线入口,堵塞管线)见图 2。

c 清管器到站后可以听到已在地面管内往上运动,但推力不够,关闭 1104 旋塞阀到三分之一时清管器到球筒过球指示器立起。倒正常流程。

d 打开收球筒未发现任何污物也未有污水,只在清管器上有少许黑色粉末,见图 3。

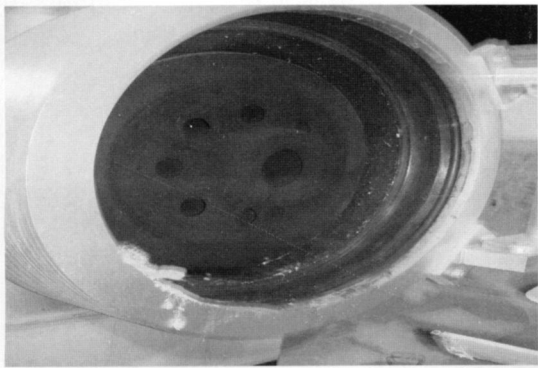


图 3 取清管器

5.1.4 鄯善站

a 在 13:30 分停压缩机,大约 15:30 分清管器到收球筒,但收球指示器未动作,同时进出站压差增大(事后观察是清管器撞到防撞轮胎上使轮胎分开,一个到 DN300 管线入口堵塞管线造成;轮胎未绑紧)。

b 球经过距站最近的一个阀室后停机,倒通收球流程,但未立即关 1202 阀,直到球离站 1 km 左右时,自动关 1202 阀,结果球速较快,冲击盲板力量较大,导致轮胎被撞飞,吸附到 $\Phi 325$ 管线出口处,轮胎严重变形,并被撕掉一块,盲板上有明显的轮胎痕迹,见图 4。

5.1.5 哈密站

a 球过 18 号阀室后 30 min 哈密站压缩机在做 ESD 测试停机;测试完后倒收球流程,球在 11:50 分到球筒,过球指示器立起,打开盲板,确认球在球筒内。

b 发现有 2 kg 黑色污物,在污物中发现有 2 个铜芯、3 个铁销子和 2 块铁块。

c 排污量为 0.84 m³。

d 12:45 分从哈密发出球;由于要同时进行

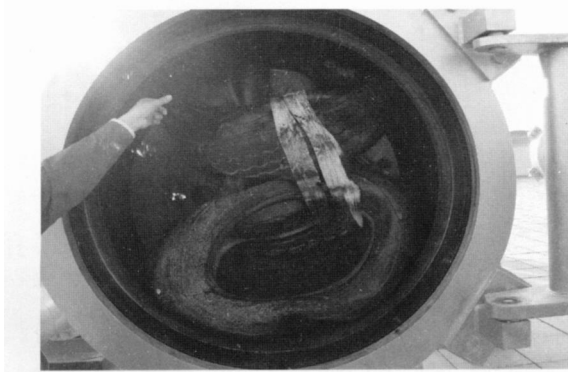


图 4 发生猛烈碰撞

ESD 测试,所以提前停机。球过 18 阀室后停机,倒通收球流程后,自动关 1202 阀,清管器很顺利地进入了收球筒,未出现较大的振动和冲击,见图 5。



图 5 清出来的不明物

5.2 运行速度

运行速度情况,见图 6。

6 发现存在的问题

a 在收发球过程中,发现有的站场阀门出现泄漏,从而影响收发球的顺利进行。例如:四道班的 1209 阀法兰处外漏,1303 阀内漏;鄯善和哈密的 1203 阀内漏。这些都给取球和装球的过程带来了安全隐患,对于 1303 阀内漏,现场采取的临时措施就是注密封脂。对于四道班的 1209 阀外漏,采取的临时措施是紧固法兰。但放空管线上只有 1209 井单阀,一旦此阀外漏严重,紧固法兰失效,将影响清管顺利进行。

b 在收球流程时,收球筒内的防撞轮胎有时会

吸附到气体出口处,导致憋压。使进站压力迅速上升,出站压力迅速下降。在不到 10 min 的时间里进

出站压差达到了 2 MPa 左右,进站压力最高达到 9 MPa 左右,四道班和鄯善都出现了这种情况。

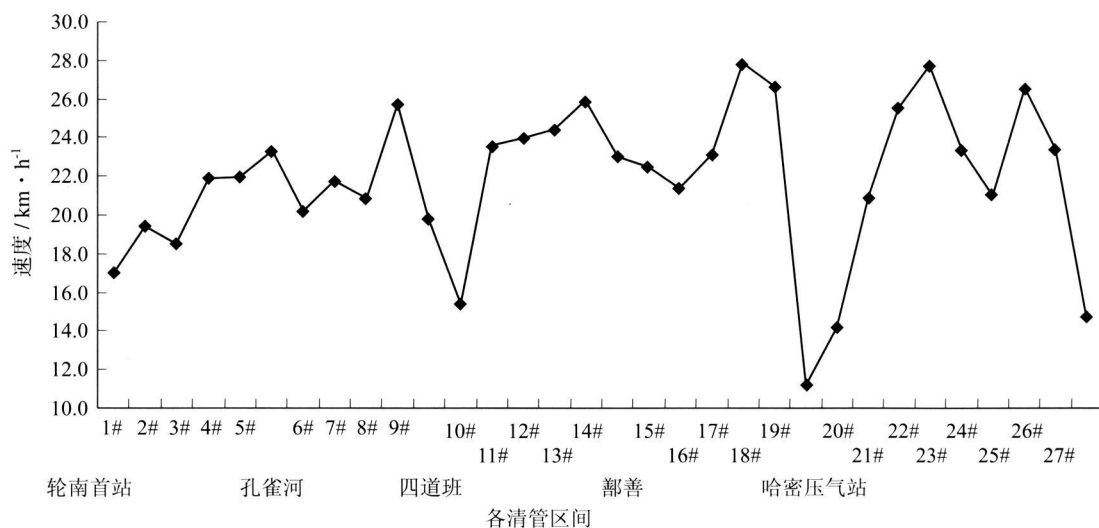


图 6 各区间清管器实际运行速度

a) 现场的处理办法:

迅速打开旁通流程,即全开 1102 阀和 1103 井阀,再逐渐打开 1104 阀平衡压力。

压力平衡后,根据实际情况再缓慢关 1104 阀或减小阀门开度,观察进出站压力,直到进出站压差在合理的范围内 ($0.2 \sim 0.3\text{ MPa}$),且比较稳定为止。

如果还无效,则开旁通,关 1203 阀,放空收球筒。

b) 原因分析:

- ° 两个轮胎未绑好;
- ° 收球筒上的 $\Phi 325$ 管线出口离盲板太近;
- ° 四道班可能是在倒为收球流程时发现放空阀 1209 外漏,于是现场决定对收球筒进行放空,处理 1209 阀外漏,在放空过程中轮胎可能发生了移动,当再次倒为收球流程时,就出现了轮胎被吸附的情况;

° 鄯善是球进筒后,由于球速较快,撞击轮胎力量较大,导致轮胎飞起后被吸附,打开盲板后轮胎处于清管器上部,堵在 $\Phi 325$ 管线出口处。

° 清管指示器有时失灵。在全线 5 号球指示器、孔雀河发球指示器、9 号球指示器、四道班过球指示器、鄯善收球指示器、19 号球指示器、哈密站发球指示器未动作。

° 跟踪仪在球在球筒内接受不到信号,在收球

前站内 200 m 处也检测不到信号。跟踪仪定位不准确,对球的位置判断产生偏差。检测仪数量不够(两部),阀室需要一部,离清管站 1 km 处需要一部,清管站内需要一部。

° 收球筒内的轮胎未绑紧造成轮胎被撞开,吸入到管线入口堵塞管线,对收球判断产生影响。

° 每个站的收球方式不同。为了控制进站球速,每个站的方式不同,产生的效果也不同,其中最好的是哈密站。

° 收球筒上的消防注水口未连接注水管线,消防水不足,可能是受当地条件限制。

° 所有阀室的管线温度变送器已被拆掉,调控中心看到的实际上是室温。

7 建议

° 清管过程中球速监控是关键,有几种方法监控清管器运行速度:

a) 首先最简单的方法是降低输量。但西气东输是极其重要的天然气管道,而且天然气供应具有政治性,关系千家万户,在储气库还没有完全建成的情况下降低输量没有可操作性,并且这对上游也将带来很大影响。实际上,2007 年下半年以来输量一直上升,冬季曾达到 $4\,700 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 塔里木油田有作业区检修时输量稍有下降,应结合上游来进行

清管作业。

b)使用可以控制其运行速度的清管器。据了解这种清管器是通过其本身的电子元件来实时测量如管壁厚度、凹痕、腐蚀及其他的管道特性,当速度有改变时控制泄流孔开度来调节自己的速度。这种清管器在北美地区已大量使用,但在国内还属空白,建议有关部门开展类似调研。

c)在平坦的地段速度控制可以通过天然气的流速来操作。但在海拔起伏较大的地段速度控制变得困难许多,需要监测两监控点间的水力特性。如果能从干线截断阀知道了这些参数就比较容易监测,否则就必须注意清管段间的压缩机进出口压力。

d)当清管器走下坡的时候,地心引力将加速它的运动。如果在靠近上游压气站下坡移动时,会发现流量保持不变但出口压力下降,而下游压气站入口压力增加,运动一段时间后上游压气站出口压力又将增加,时间长短由压气站和清管器的距离确定。理想状况下可以通过减少上游压气站的流量来弥补清管器重力,但对下游压气站的入口压力却没有效果。当清管器向下运动到靠近下游压气站时,又需要减少流量。

e)当清管器向上运动时,如果流量不增加速度将减小。如果在靠近上游压气站向上移动时,会发现流量保持不变但出口压力上升,而下游压气站入口压力减小,运动一段时间后上游压气站出口压力又将增加。理想状况下可以通过增加上游压气站的流量来弥补清管器重力,但对下游压气站的入口压力却没有效果。当清管器向上运动到靠近下游压气站时,又需要增加流量。

f)在各压气站间清管作业时,调控中心运行人员可以通过把握机组启停时间和对运行的相邻压气站机组出口压力进行调整来控制球速。由于各站间距不一样,各机组性能不一样,这需要大量的经验总结。特殊情况下通过 1104 旁通阀来控制球速等。

g)清管前应对相关阀门进行检查,发现问题及时处理,避免清管过程中出现问题,影响清管进行。

h)调度要熟悉清管方案、应急预案、相关程序文件,这样在与现场沟通和调度指挥时可以引用。

i)对收球筒盲板改造^[2],加长收球盲板到 1203 阀门管线中心位置距离,降低收球时球对盲板的冲击,收球盲板到 1203 阀门管线中心位置距离为 90 m,球长 1.8 m。

j)新疆段收球筒的注水口没加注水阀,建议安装^[3]。

k)当球卡在进站三通处时,如果靠自然的压差不能使球进筒,根据这次经验有两种方法:

a)通过越站的 1101 阀门旁通阀 1102 和 1103 和 1104 打开,降低球上游压力,反推球,再关旁通阀,引球进筒。

b)可打开进站阀 1202 和再打开 1205 放空阀,再关 1202 阀门,降低球下游压力,引球进筒。

l)在天然气管道设计时应考虑清管时的流速,规范^[4]中应明确。

参考文献:

- [1] SY/T5922—2003 天然气管道运行规范[5].
- [2] GB 150—1998 钢制压力容器标准[5].
- [3] GB 50183—2004 石油天然气工程设计防火规范[5].
- [4] GB 50251—2003 输气管道工程设计规范[5].