

尼日尔-贝宁原油外输管道工程倒水、排水过程中气阻现象与解决方法

周 磊

中国石油管道局工程有限公司第四分公司 河北廊坊 065000

【摘要】长输管道在试压后倒水、排水过程中发生气阻现象，从而导致排水压力大大高于理论估算值。尼日尔-贝宁原油外输管道工程（尼日尔段），同一试压段落在倒水和排水过程中发生了两次气阻现象，结合两次气阻现象的判定及解决方法（带压开孔）的工程实践，对长输管道倒水、排水过程中产生气阻原因，以及如何确定排水清管器卡阻位置以及带压开孔释放气阻的方法，对于长输管道工程的试压倒水、排水操作具有一定的指导作用。

【关键词】长输管道；倒水、排水；气阻现象；带压开孔

1 工程概况

尼日尔-贝宁原油外输管道工程，管线起点位于尼日尔东南部迪法省内Agadem油区Koulele首站，终点位于贝宁南部科托努以东约30km的赛美港末站，线路先呈东西走向，后呈北南走向，分为陆上部分和近海部分，该工程设计输油量为450×104t/a，最大输送能力满足486×104t/a。其中尼日尔段包括管道1250.1km、工艺站场6座、阀室35座，线路管径Φ508mm，材质X65，设计压力9MPa。尼日段管线划分成41个试压段落。

其中KP0~KP238（里程，一分部）为沙漠丘陵地貌，根据油气长输管道工程施工及验收规范^[1]和现场施工的实际情

况，把该段共划分了8个试压段落，其中上水水源有三个，分别为：PS01站储罐上水试沉后用水、N013水井水和PS02站水井水。试压段落划分及各段信息见表1。

尼日尔-贝宁原油外输管道工程（尼日尔段）第二试压段（里程：KP35-KP69；长度：34km）管道高程图见图1。

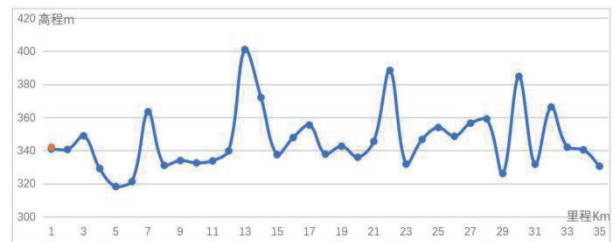


图1：管道高程图

表1：KP0~KP238试压段落划分及信息表

序号	里程区间	桩号	长度km	段落高点高程m	段落低点高程m	段落高差m	注水、倒水方式
1	KP0-KP35	N001-N007	35.00	379.4	320.1	59.3	PS01上水
2	KP35-KP69	N007-N013	34.00	401.0	318.2	82.8	N013上水
3	KP69-KP102	N013-N019	33.00	379.9	324.2	55.7	第2段倒水+N013补水
4	KP102-KP132	N019-N023	30.00	379.9	334.2	45.7	倒水
5	KP132-KP155	N023-N027	23.00	384.7	336.2	48.5	倒水
6	KP155-KP175	N027-N031	20.00	384.6	347.9	36.7	倒水
7	KP175-KP207	N031-N037+1	32.00	397.4	342.7	54.7	倒水
8	KP207-KP238	N037+1-PS02	30.60	406.1	349.1	57.0	PS02上水

2 判定气阻及确定清管器位置

2.1 气阻现象概念

气阻现象是指液体输送管路中由于气体的存在,形成“气带”,造成液体断流或流速下降的现象。在长输管道中多发生在管道试压结束倒水、排水过程中,当清管器运行至背坡面时,水由于重力作用向管道的坡谷处冲击,同时空气被水置换于坡上,产生空气隔绝于清管器与水之间的情况。倒水、排水过程中末端未建立背压,管道内水由于重力作用从排水管排出,相对高点和试压头间管段形成负压,导致空气通过排水管吸入到管段内,多次重复后管段就存在大量相对高点被水隔离的空气气囊,多个倒水、排水清管器前的水-空气气囊-水在管道内叠加的压力,造成了实际排水压力远远高于理论计算的排水压力,排水清管器不能正常行走,管道内的试压水也不能正常排出。此时,通常认为产生了气阻现象。

2.2 判定气阻

尼日尔-贝宁原油外输管道工程(尼日尔段)第二试压段段落的最大高程差为82.8m,通过安金龙^[2]长输管道排水过程中的气阻现象与气阻定律的排水压力估算,可以估算出最大倒水、排水压力约为1.69MPa。空压机的额定排气压力为2.4MPa,能够满足试压段落倒水、排水压力要求。第一次:第二试压段(里程:KP35-KP69;长度:34km)严密性试验合格后,开始往第三试压段进行倒水,在倒水施工4天左右,第二试压段首端压力与第三试压段倒水端压力持平,此时空压机推水压力达到额定压力2.4MPa,无法实现跨越管线倒水。切割跨越倒水管线,改为集水坑排水。排水约100m³后,末端不再出水。空压机出口压力已达到额定压力值,不能加载给管线加压送气,不能继续排水施工;第二次:第二试压段(里程:KP35-KP69;长度:34km)重新试压后直接排水过程中,排水首端达到空压机额定压力2.4MPa,排水末端压力为0MPa,不再出水。第二试压段两次在倒水、排水过程中排水压力均达到了2.4MPa,且排水末端无水排出,可以认定该试压段落倒水、排水过程中发生了气阻现象。

2.3 确定清管器位置

将第二试压段的倒水、排水压力从2.4MPa泄放至1.6MPa,重新启动空压机往管线内注入压缩空气,当倒

水、排水压力升至1.7MPa,此时排水末端没有水或气体排出,记录升压过程中所用的升压时间,再根据压力、空压机的排气量、以及升压时间来计算出清管器的大概位置,计算公式:

$$L = \frac{Q \cdot t}{V} \quad (1)$$

式中,L为清管器距排水首端的距离,m;Q空压机的额定排气排量,Nm³/h;t为注气时间,h;V为单公里管道容积,m³。

通过式(1)可计算出清管器的位置在17.1 km附近,开挖距排水首端15 km下坡段、22 km上坡段和下坡段三处管道,用RT检测方法进行验证所确定清管器位置是否正确,15 km下坡段管道RT检测为正常片,说明此处管道无水,22 km上坡段管道RT检测为白片,此处管道内有水,22 km下坡段管道RT检测为正常片,此处管道无水。确定清管器的位置在17.1 km附近。

3 产生气阻的原因分析

弯段驼峰气阻和水平段的驼峰气阻是工程实践中最常见的气阻类型,俞韵祺等^[3]海底输水管道中气阻及水击问题研究进展中有阐述。第二试压段(里程:KP35-KP69;长度:34km)为沙漠丘陵地貌,管道敷设波状起伏。

管道产生气阻现象原因如下:管道敷设存在波状起伏且管道内同时存在气、液两种介质时,是产生气阻现象的基本条件。首先,管道注水过程中,有气泡随着水进入到管道中,注水完成热稳定过程中,管道内小的气泡会慢慢聚集在管道的相对高点,随着压力的升高气泡会溶解到水中,压力试验的完成后,在降压的过程中,当压力降低到水的饱和压力以下时,溶解在水中的气体逸出并重新聚集为气泡,气泡会慢慢聚集在管道的相对高点;其次由于清管器的皮碗、密封板自身缺陷或是磨损严重导致过盈量不足,造成清管器密封性不严,使得空压机产生的高压空气透过清管器窜入到清管器前方,这样加剧了气阻现象的发生。管道试压结束后倒水、排水过程中,当清管器运行至背坡面时,水由于重力作用向管道的坡谷处冲击,同时空气被水置换于坡上,产生空气隔绝于清管器与水之间的情况。倒水、排水过程中末端未建立背压,管道内水由于重力作用从排水管排出,相对高点和试压头间管段形成负

压,导致空气通过排水管吸入到管段内,多次重复后管段就存在大量相对高点被水隔离的空气气囊,多个倒水、排水清管器前的水-空气气囊-水管内叠加的压力,造成了实际排水压力远远高于理论计算排水压力,排水清管器不能正常行走,管道内的试压水也不能正常排出。此时,通常认为产生了气阻现象。

4 解决气阻的方法

管道倒水、排水过程中发生气阻现象,解决方法主要有两个:一、增加排水压力,即更换更高额定压力的空压机或是增压机,继续增压可以解决气阻问题,达到最后的倒水、排水目的,由于尼日尔-贝宁原油外输管道工程(尼日尔段),从国内运至现场的没有更高压力的空压机或增压机可以使用,当地也租赁不到合适的设备,此种方法予以排除;二、排出清管器前的气阻压力,即带压开孔释放气阻,下面介绍此种方法。

5 带压开孔释放气阻

5.1 施工准备

编制带压开孔施工方案,并经TPI和业主审批。

5.2 工艺流程

确定开孔位置—开挖作业坑、清理防腐层—焊接短节、连接开孔设备—开孔施工—拆除开孔设备、连接临时排气管线—排除气堵。

5.3 作业坑开挖、清除管道防腐层

(1) 专人监护开挖,采用机械开挖与人工开挖相结合的方式。

(2) 确定管线位置,在光缆的另一方向距离管道1m处进行开挖,由于是砂质层,随着沙子滑溜,管线将会露出。露出管道后采取人工开挖光缆侧,开挖示意图见图3。

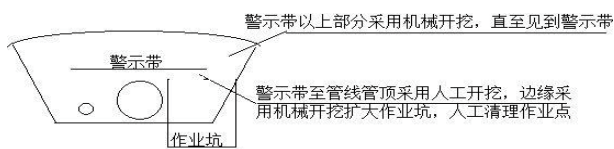


图3: 开挖示意图

(3) 使用挖掘机沿管线无光缆侧垂直管线方向扩大开挖作业坑,挖出适合的操作空间。

(4) 清除管线开孔位置的防腐层,避开有焊道的部位,以保证焊接质量和安全。

5.4 焊接短节、连接开孔设备

(1) 焊接短节时,要求短节与开孔管线的轴心线垂直相交,不带补强圈开孔短节焊接顺序见图4。

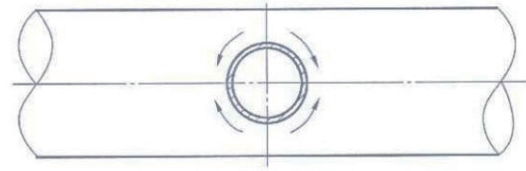


图4: 不带补强圈开孔短节焊接顺序

(2) 短节与管道角焊缝采取NB-WPS-S-012 工艺,氩弧打底+557 焊条填盖。

(3) 短节焊接完成后进行PT检测,焊缝满足SY/T4103-2006《钢制管道焊接机验收》规范要求^[4]。

(4) 连接带压开孔设备,中心钻提取鞍形板装置应工作可靠。刀具结合器与开孔机主轴之间的锥度联接不应有任何松动。测量筒刀与开孔结合器的同轴度,控制在1mm以内^[5]。

5.5 带压开孔施工

(1) 开孔前应对焊接到管道上的管件和组装到管道上的阀门、开孔机等部件进行整体试压,试验压力宜等于管道运行压力,最高不应超过管道运行压力的1.1倍,并填写开孔作业检查表。(2) 关闭夹板阀,卸去开孔结合器的压力,验证夹板阀的密封性,若密封良好,进行下道作业;若泄漏,应进行检修更换。(3) 开空前,应打开开孔结合器上的排气阀,当排气完毕后关闭排气阀,然后开孔。(4) 开孔时,当开孔机切削到预定尺寸后,停机,然后以手动操作开孔机使开孔刀前进5mm~10mm确定孔完全被开透,方可上提刀具。(5) 开孔完成后将刀退出,关闭夹板阀,卸放压力,然后排出开孔结合器内的介质,拆卸开孔机。

5.6 连接临时管线排除气阻

(1) 焊接临时排气管线,管头位置用土袋压牢;(2) 打开阀门,排除清管器前的气阻压力。

在三处阀门安装完成后采取无损检测查看检测是否合格。检测合格后打开第一处阀门,观看是否有气排出,直至无气体排出后,启动首端空压机注气,直至第一处阀门,直至有排水管整管水排出,关闭阀门。第二、三

处依次处理。再处理气堵的过程中，末端阀门处于关闭状态。处理完第三处后，首端空压机继续注气，观察注气压力，打开末端阀门观察是否有水、气或是水气混合物排出。在排水的过程中如发现末端不再出水后再循环打开第一、二、三阀门查看是否存在气堵的情况。直至完成排水施工。

5.7 QHSE保证措施

(1) 作业前进行危害因素识别及工作前安全分析，确定施工中存在的的风险，并制定预防、管控或消减措施。(2) 由业主及TPI方专业人员协助再次进行风险识别，现场共同核实风险识别是否全面，管控措施是否合理，查漏补缺，确保施工安全全面受控。(3) 编制应急预案，进行应急演练。(4) 参与开孔施工人员穿戴合格有效的劳动保护用品，特种作业人员如焊工需持证上岗，依照焊接工艺规程进行焊接。(5) 短节焊接完成后进行PT检测，焊缝满足规范要求为合格，方可进行下道工序的施工。(6) 参加施工的人员须经专门的安全教育培训，培训合格后方可上岗。(7) 施工前办理作业许可。(8) 施工时由专职安全员在现场进行监督检查。(9) 施工现场配备足够的应急救援物资及物品。(10) 施工人员进入现场必须严格服从命令，不得擅自离开岗位，随意走动。

(11) 施工现场不得堆放易燃易爆等物品，闲杂人员及车辆不得在现场逗留，设置警戒区域，并设专人进行监护。

(12) 开孔作业点应选择直管段上，开孔部位避开管道焊缝位置。

5.8 安保措施

鉴于当前沙漠地区的安全形势，施工期间应做好现场及路途中的安保防护。

(1) 出行前按照安保要求，申报武装护卫出行。(2) 为了预防爆炸物袭击，施工人员车辆要在武装护卫车辆之后行驶，并保持适当距离。(3) 施工现场要求武装护卫人员巡逻警戒，加强周边情况的监控，劝阻当地过往车辆及人员围观，应对突发情况，现场中方人员必须处于武装护卫的可视范围之内。

6 结束语

山区、丘陵地段的长输管道在试压后倒水、排水过程中时常发生气阻现象，导致排水压力大大高于理论估算值。本文对长输管道倒水、排水过程中气阻现象产生的原因、解决气阻现象方法进行了分析，还阐述了确定卡阻位置的方法，对于预防和解决山区、丘陵地段的长输管道倒水、排水过程中的气阻现象具有一定指导意义。

参考文献：

[1] 中国计划出版社. GB50369-2014油气长输管道工程施工及验收规范[M]. 中国计划出版社, 2012.

[2] 安全龙. 长输管道排水过程中的气阻现象与气阻定律[J]. 石油工程建设, 2010, 36(5):13~16.

[3] 俞韵祺, 万五一, 潘锦豪. 海底输水管道中气阻及水击问题研究进展[J]. 水利水电科技进展, 2015, 35(3):114~118.

[4] 中华人民共和国是有天然气含行业标准. 钢制管道焊接机验收: SY/T 4103-2006[S]. 2006.

[5] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 钢制管道带压封堵技术规范: GB/T 28055-2011[S]. 2011.

作者简介：

周磊(1981-), 男, 2005年河北建筑工程学院毕业, 工程师, 从事油气管道施工。