

天然气输气工程不停输动火连头作业应用

陈智健 (国家管网甘肃公司酒泉输油气分公司玉门作业区, 甘肃 酒泉 735100)

摘要: 西气东输三线与西气东输二线天然气站场合建、管网联络且放空管线共用, 为避免因传统的全站停输放空动火连头作业带来的巨大经济损失, 提出天然气管道不停输动火连头作业方案, 并从动火作业的组织、作业现场的管理、动火点的隔离与密封、氮气置换等关键点进行论述, 以阐明不停输动火连头作业确为一种安全、经济、有效的施工手段。

关键词: 天然气管道; 不停输; 动火连头

0 引言

动火连头作业就是在天然气压气站内进行维检修以及扩建的情况下, 将原有管道与新建管道进行动火焊接的作业。在天然气站场动火作业过程中, 为避免隔离不严密, 经常采取天然气站场停输放空天然气进行动火作业。但西气东输三线西段与西二线并行建设, 设置的 17 座工艺站场均与西二线对应站场进行并站合建, 站场之间设置联络线、共用放空管道, 采用联合运行模式。单座站场需要进行 10 余处动火连头作业, 采用传统天然气站场停输放空模式进行动火连头作业, 势必严重影响西二线正常输气生产运行, 造成巨大的经济损失。因此, 采取一种即可确保动火作业过程安全, 又不影响西二线正常输气运行的动火作业隔离方案, 可获得非常可观的经济效益。

1 传统停输动火连头作业经济损失分析

在西三线站场建设中, 因西三线站场与西二线站场合建, 且放空管道共用, 因此需进行动火连头作业。若采用传统的天然气站场停输动火连头作业方案, 则需停运全负荷运行中的西二线站场压缩机组, 同时对西二线站场进行全站放空。如此, 势必严重影响西二线正常输气生产运行。按照单站动火连头作业时间约 2 ~ 3d 进行计算, 期间的经济损失计算如下:

1.1 天然气放空经济损失

单座天然气站场动火连头作业需要放空天然气约为 $18 \times 10^4 \text{ m}^3$, 按每标方天然气单价 2 元计算, 单次天然气站场动火连头作业天然气放空经济损失约为 36 万元。

1.2 西二线单站停运经济损失

目前, 西二线各站场已满负荷运行, 日输送天然气约 $8 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{d}$ 。根据水力计算公式计算单站停输经济损失。

水利计算公式:

$$q_v = 1051 \left\{ \frac{[P_1^2 - P_2^2(1 + a\Delta h)]d^5}{\lambda Z \Delta T L [1 + \frac{a}{2L} \sum_{i=1}^n (h_i + h_{i-1}) L_i]} \right\}^{0.5} \quad (1)$$

式中: q_v 为气体 ($p_0=0.101325 \text{ MPa}$, $T=293 \text{ K}$) 的流量, m^3/d ; p_1 为输气管道计算段的起点压力 (绝), MPa ; p_2 为输气管道计算段的终点压力 (绝), MPa ; d 为输气管道直径, cm ; Z 为气体的压缩系数; Δ 为气体的相对密度; T 为气体的平均温度, K ; L 为输气管道计算段的长度, km ; a 为系数, $a=0.0683 (\Delta / ZT)$; Δh 为输气管道终点和起点的标高差, m ; n 为输气管道沿线高差变化所划分的计算段数; h_i , h_{i-1} 分别为各分管段终点和起点的标高, m ; L_i 为各分管段长度, km ; λ 为水力摩阻系数。

水力摩阻系数采用科尔布鲁克 (Colebrook) 计算公式:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2.011 \lg \left[\frac{k}{3.71d} + \frac{2.51}{Re \sqrt{\lambda}} \right] \quad (2)$$

式中: k 为管内壁绝对粗糙度; d 为管内径, m ; Re 为雷诺数。

通过模拟计算, 得出西二线单站停输放空进行动火连头作业时, 西二线沿线的水力坡降图。

与正常输气工况相比, 西二线单站停输后, 管道系统的输量降低约 $8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{d}$, 年输量降低约 $2.8 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{a}$ 。按照单站停输放空进行动火连头作业 48h 计算, 西二线单站停运经济损失约 3200×10^4 元。因此, 若希望避免因传统的天然气站场停输动火连头作业所造成的巨大经济损失, 则需采取既可确保动火作业过程安全, 又可不影响西二线站场正常运行的动火作业隔离方案, 即不停输动火连头作业。

2 不停输动火作业技术及其实施过程

天然气不停输动火连头作业是一项技术性高、难

度大、风险高的特种作业，其是在保证天然气压气站场正常生产运行的前提下，在动火点处有效隔离输送介质，将原有管道与新建管道焊接的动火作业。作业过程中，往往是一边生产，一边动火，稍有不慎很容易发生火灾爆炸事故。因此，输送介质的有效隔离及实施过程的有效管理是重中之重。

2.1 动火作业前准备

2.1.1 组织机构的设置

天然气动火连头作业往往具有动火点多、作业区域分布广、动火作业时间长的特点。为确保各个动火点按照既定动火作业方案、作业程序进行施工，并避免疲劳作业，动火作业组织机构的设立应考虑到现场指挥管理、人员责任划分、交接班管理、通讯联络等因素。

在西三线天然气站场与西二线站场动火连头过程中，动火组织机构设置动火指挥组、运行调度组、工程施工组、安全保障组、现场监测组。各个动火作业组明确负责人，依靠防爆式对讲机建立单独通讯频道，以确保现场通讯联络畅通。同时工程施工组、安全保障组执行交接班工作制度，避免现场人员疲劳施工作业。

2.1.2 作业坑开挖

天然气动火连头站场隐蔽工程涉及工艺管网、消防管网、仪表电缆、动力电缆等，地下情况复杂、危险性较大。作业坑开挖前，施工方人员与天然气站场运行管理人员进行地下设备设施技术交底，根据地质、地下管道、埋地电缆等情况，进行作业坑开挖。开挖出的隐蔽工程应使用防火毯进行包袱，避免因现场动火连头作业引发火灾。

动火作业坑开挖除了要遵循 GB50007-2011《建筑地基基础设计规范》要求，根据现场土质的类型确定斜坡或台阶的坡度允许值（高宽比），以及确定是否需要支撑和挡板，挖出物或其他物料至少应距坑、沟槽边沿 1m，堆积高度不应超过 1.5m，同时还要注意开挖作业坑是否能够释放管道应力。在西三线与西二线动火连头过程中，多次出现因为作业坑开挖不足导致管道无法释放应力，管道组对错边量偏差大于管道壁厚的 1/6，无法进行焊接作业的情况。在实际作业坑开挖过程中，应沿管道方向开挖 3 ~ 5m，以确保释放管道应力，便于现场进行管道组对。

2.1.3 作业许可管理

动火连头作业技术性高、程序复杂、涉及其他特种作业多，动火作业现场应实行作业许可制度。在动火作业现场各项措施落实后，动火作业申请人应在现

场办理动火作业许可，现场指挥批准后，进行动火作业。

动火作业时应执行“动火现场指挥不下令不动火，动火监护人不在现场不动火，防火措施不落实不动火”的原则。特别是在对输气油管道进行多处动火时，相连通的各个动火部位的动火作业不应同时进行。上一处动火部位的动火作业完成后，可进行下一个部位的动火作业。

2.2 动火作业现场管理及输送介质的有效隔离

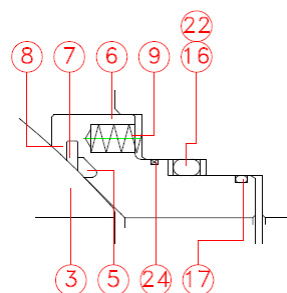
2.2.1 动火作业管道接地

在动火连头作业中，管道焊接时会产生杂散电流，当电流积存到一定量时，会产生一定的温度，从而引发火灾。焊接前，必须在动火点两侧设置单独的动火专用接地体，用角钢埋置在动火坑内地下，角钢需要用扁钢连接，然后接入焊接引线，降低焊接点两侧杂散电流。同时对动火作业管道接地进行电阻测试，如果焊接的电阻较大，超过 4Ω 时，必须增设一根角钢或对土壤采用浇盐水增湿和添加降阻剂，使得接地的电阻控制在 4Ω 以内^[1]。

2.2.2 隔离介质密封

天然气站场球动火点隔离球阀采用耐高温、金属+VITON 双阀座双密封、双活塞效应的设计，经现场研究论证确认，动火点与主工艺管网之间依靠单个球阀可以实现绝对隔离密封。

2.2.2.1 金属+VITON 双阀座双密封



3 阀体，5 阀座，6 阀座支撑圈，7 阀座压环，8 固定销，9 弹簧，16 密封圈，17 密封圈，22 挡圈，24 填料

图1 隔离球阀密封设计

球阀密封分为两级密封（图1），第一级密封由阀座和球体的金属对金属之间实现；第二级由弹性材料对球体来实现绝对的零泄漏。其中，第二级密封采用独立轴向浮动的支承圈，弹簧预压实现阀座的低压密封，设计成具活塞效应由介质压力自动实现高压密封来切断介质。西三线动火连头作业，动火隔离球阀前后压差达到 8MPa，但通过此种设计无论球阀前后的压差大小如何，都能确保连续无泄漏。在支承圈的

外径上设置 O 形密封圈, 实现与阀体的密封, 设计膨胀石墨密封环, 实现失火状态下的密封。

2.2.2.2 双活塞效应密封

双活塞效应的阀座具有更可靠的密封性能和优点, 阀座结构按 DPE 双活塞效应设计 (图 2)。双活塞效应的阀座的基本原理, 即每个阀座可以承受来自两个方向的介质压力而密封。如上游阀座损坏, 介质进入中腔, 而中腔的压力仍然能使下游阀座达到密封。所以, 当西三线动火连头作业期间, 隔离球阀靠近工艺管网侧密封在极端情况下完全损坏, 天然气泄漏至隔离球阀腔内, 天然气压力能够使阀座压向球体, 达到密封的目的。该类阀座的设计可保证即使球阀的进口端阀座受到损伤, 也能通过下游端阀座保证密封。

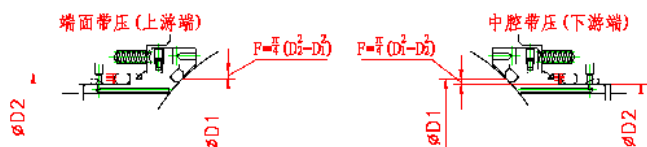


图 2 隔离球阀双活塞效应设计

为避免在极端情况下, 隔离球阀上、下游两端密封全部失效, 天然气通过下游段密封泄漏至动火点风险, 在动火作业现场通过打开隔离球阀阀腔泄放阀, 连接临时放空管道连通大气, 及时排除积聚在阀腔内的天然气。

2.2.2.3 耐高温阀门密封

由于西三线动火连头焊接作业, 需要对管道进行 100℃ 高温预热, 高温会降低弹性密封性能, 动火作业隔离球阀设计膨胀石墨密封环, 具有极强的抗高、低温性, 可以有效避免弹性密封失效。通过图 3, 可以发现 O 形密封圈 (弹性密封) 温度上限达到 150℃, 完全可以保证在 100℃ 高温下正常工作。

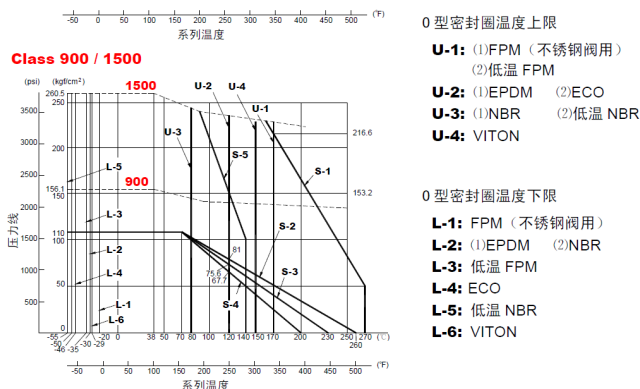


图 3 阀门 O 型密封圈温度极限图

2.2.3 积液检测

由于已建管网已投运, 管道内壁存在轻烃和凝析油等液态残留积液的风险, 在气体检测合格后必须进

行积液检测, 确保动火的安全。检测方法为通过气体检测孔, 采用白色棉球作为检测探针, 从检测孔深入管道地步检测管内是否残留积液, 如无积液, 再次确认可燃气体合格后即可进行切割作业。如存在积液, 且积液较多, 则用磁力钻在管道正下方开孔, 排除积液。再次检测合格后进行切割作业。

2.2.4 焊接工艺

动火连头作业过程中, 最重要的是焊接工艺的选择。为了提高焊接质量, 一般采用氩弧焊打底, 半自动药芯保护焊填充和盖面的。氩弧焊工艺的焊缝, 具备良好外观, 焊接强度满足施工要求。在焊接过程中少有飞溅, 可以有效保证管道内清洁, 节约动火连头时间。相比手工电弧焊, 氩弧焊焊接质量高, 缺陷少, 大大降低了返修的几率, 从而既保障了焊接质量, 又大大提高焊接效率, 降低整个动火作业的危险性^[1]。

3 实践论证

在西气东输三线天然气压气站场与西二线站场动火连头过程中, 通过管道接地连接释放静电杂散电流, 氮气置换清理天然气管内残留可燃气体, 采用冷切割机切割避免切割割口间隙过大等传统动火风险点。针对不停输动火连头作业隔离介质的风险, 依靠隔离球阀可以有效消除。

4 结论

通过对不停输动火连头作业进行分析, 确认动火连头作业主要风险点, 现场优化动火作业方案, 精心组织施工前期准备, 控制施工关键工艺, 保证不停输动火连头作业的成功实施。为今后类似不停输动火连头作业提供借鉴和参考。

参考文献:

- [1] 初易武, 林军, 孙野秋, 等. 如何做好长输在役管道动火连头 [J]. 中国石油和化工标准与质量. 2013, (14). 218-218.
- [2] 倪晓岚, 唐彪, 裴斌, 等. 管道动火连头施工要点与难点 [J]. 科技创新与应用. 2013, (1).
- [3] 武钊宇, 种若杉, 程斌. 石油天然气管道动火连头技术浅析 [J]. 中国高新技术企业. 2010, (22).
- [4] 朱力挥, 院振刚, 许爱华. 天然气输气工程动火连头技术 [J]. 电焊机. 2007, (2). 62-66.
- [5] 李志飞, 黄涛. 管道动火开孔黄泥墙封堵工艺参数及施工流程探讨 [J]. 新疆石油科技. 2010, (2). 63-66.

作者简介:

陈智健 (1985.02-) 男, 汉, 安徽砀山, 学历: 本科, 职称: 工程师, 研究方向: 油气储运。