

# 天然气管道泄漏分析及动态处理技术

李永贵（新捷燃气有限责任公司，新疆 乌鲁木齐 830000）

**摘要：**天然气管道工程项目开展过程中，为降低管道材质老化、管道安装、维护不当、地震、滑坡等自然灾害对管道破坏产生泄露现象。以天然气管道项目工程为例，在分析天然气管道泄漏原因基础上，采用不停输带压封堵处理技术进行管道泄露位置处理。不停输带压封堵技术具备动态处理特征，能在管道系统正常运行基础上进行封堵作业，能够在短时间内恢复管道的正常运行，降低泄漏带来的损失与风险。

**关键词：**天然气；管道泄漏；带压封堵；动态处理

## 0 引言

天然气作为清洁高效的能源，在现代社会的能源结构中占据着举足轻重的地位。随着天然气管道网络的复杂变化，管道泄漏问题也逐渐凸显出来。天然气管道泄漏不仅会造成能源的浪费，还可能引发火灾、爆炸等严重事故，对人民群众的生命财产安全构成威胁。因此，对天然气管道泄漏进行深入的分析，并研究有效的动带压封堵态处理技术，对于确保天然气管道的稳定运行具有至关重要的意义<sup>[1]</sup>。

## 1 工程概况

某天然气管道项目为当地的重要输送管线，规格D580mmX6.4mm，设计压力3.9MPa。该管道需要穿越当地河流，运行条件比较恶劣，容易造成结构损坏等问题。2012年受到台风的影响，河流水位快速上涨，洪水冲刷较为严重，河道内部的管道埋设深度明显减小。为确保天然气管道正常运行，经过多方面的专家综合论证，选择使用定向钻技术穿越河流改线，改线长度898m。在改线完成后，新旧管线使用不停输带压方式连接，确保连接效果合格。

## 2 常见泄漏分析

### 2.1 连接部位泄漏

天然气管道安装的环节，法兰作为主要连接部件，如果该位置出现渗漏的问题，容易导致非常严重的事故。法兰发生泄漏的原因较多，包含如下几个方面：首先，法兰本身存在设计缺陷。法兰设计的环节选择结构形式存在问题、选择材料不当或者加工工艺选择不合理，投入使用后受到管道内部压力的作用，导致法兰出现开裂等现象，进而造成严重的泄漏问题。其次，法兰安装不合理而导致的泄露问题。法兰安装的环节工作人员严格按照规定操作要求开展安装作业，从而使得法兰能够正常使用。但如果安装环节选择工艺方案不当、现场安装控制不严格，造成法兰安装效

果不达标，进而引发渗漏的问题。例如，管道受到外部冲击、振动或温度变化时，法兰连接处可能产生松动或变形，从而引发泄漏。同时，若操作人员操作不当，如超压、超温运行，也可能导致法兰连接处受损，进而引发泄漏。

### 2.2 冲刷引起的管道泄漏

冲刷主要发生在管道内部，特别是当管道内输送的天然气含有杂质、颗粒或水分时，这些物质在高速流动的天然气作用下，会对管道内壁产生持续的冲击和磨损。随着时间的推移，这种冲刷作用会不断加剧，导致管道内壁的防腐层或金属基材逐渐磨损变薄，甚至出现坑洞或穿孔。一旦管道内壁的完整性受到破坏，天然气就有可能从这些薄弱点泄漏出来。冲刷造成的管道渗漏情况较为严重，这与天然气本身的性质存在一定的关系，同时还会受到设计、安装、运行条件等多方面的影响。比如管道设计流动速度较高，弯头或者变径位置设计不合理等，造成冲刷问题更加严重。此外，法兰安装阶段安装效果不合格，防腐层结构设计不当，投入使用环节出现压力以及温度波动变化过于剧烈等情况，造成管道的泄漏问题发生<sup>[2]</sup>。

### 2.3 填料部位泄漏

填料部位泄漏，特别是在阀门填料处或机泵的轴向填料密封处，通常源于一系列因素的综合作用。这些因素可能包括填料材料选择不当，例如使用了不耐介质腐蚀、不耐高压或真空、高温或低温的材料；填料的安装问题，如安装不正确、以小代大、螺旋盘绕、接头不良、上紧下松等缺陷；填料超过使用期限，老化、丧失弹性；阀杆精度不高、弯曲、腐蚀、磨损等缺陷；填料压盖的紧固性效果不合格，螺栓结构损坏，无法达到压紧的状态，进而导致结构出现泄漏的现象；阀门或者机泵投入使用的阶段，因为介质的压力、温度、振动能持续作用，造成填料泄漏。如果填料安装的环境

节选择安装工艺不当,导致填料磨损老化较为严重,也会造成填料位置的泄漏危害。

### 3 不停输带压封堵施工方案的确定

#### 3.1 封堵次数的确定

本项目改线后的两侧连头间隔距离 898m,架设长距离的旁通管道施工难度较高,并且成本比较高。基于上述多方面因素进行分析,施工单位选择使用“四封”施工方案,也就是在管道不停输的情况下进行带压封堵,并在两侧设置旁通通道,确保管道的传输不受影响。

#### 3.2 施工机具及施工工序

不停输带压封堵环节,机具包括 KKJ--500 型开孔机 2 台、TCH500 封堵接合器 4 台、SV500 夹板阀 4 台、TPP500 液压站 2 台及封堵三通、封堵皮碗等。

施工工序为:

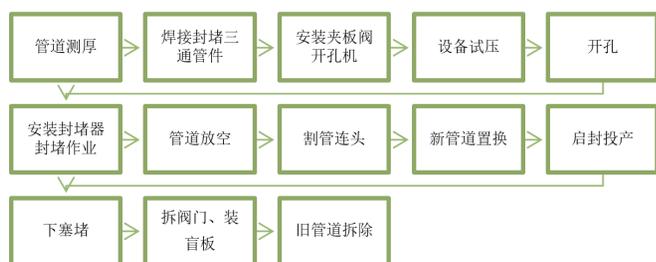


图 1 施工工序

#### 3.3 管道允许施焊压力计算

由技术人员计算确定管道允许施焊压力为 2.5MPa 以内,焊接点位置运行的压力为 2.3MPa,符合焊接作业的要求,现场焊接作业不受影响。

### 4 天然气管道泄漏分析及动态处理技术要点

#### 4.1 作业坑开挖

天然气管道在维修、施工等环节动火作业比较普遍,特别是焊接的过程中需要有足够的空间,并确保各环节焊接作业效果达到要求。根据当前的焊接作业需求,在管道两侧开挖工作坑,其长 20m、宽 4.5m、高 3m,满足现场作业的要求,管道安装作业效果合格。

作业坑开挖环节为防止作业坑的设置对管道结构造成影响,可在两侧管道位置设置支撑点位,使得支撑的稳定性符合要求。通过布置两个支撑点位能保证结构支撑效果达标,防止施工环节出现管道结构的变形、损坏等情况。作业坑两侧需设置安全通道,其宽度在 1000mm 以上,坡度在 60° 以内,并且采用阶梯式设置的方式,台阶高度在 200mm 以内。

作业坑现场开挖环节选择人工联合机械方式进行,先使用机械设备开挖到规定部位,再调整为人工

开挖作业方式,确保开挖的尺寸合格,且防止给各结构部位造成负面影响。

#### 4.2 焊接工艺评定

天然气管道安装施工阶段封堵三通和管件焊接作为重要工序,对管道的运行效果存在直接影响。为使得焊接效果合格,需执行焊接工艺方案的规定,切实保证各焊接环节效果达到标准,焊接性能合格。焊接作业开始前制定焊接工艺方案,并遵循国家标准以及行业规范开展焊接作业时,各结构部位焊接效果达到要求。

封堵三通以及管件焊接前严格按照规定要求进行焊接工艺评定,检测焊接参数以及焊接方案的可行性。焊接前选择合适焊接材料,加强电流、电压、焊接速度等方面参数检测,确定最佳焊接工艺方案,从而使得后续焊接作业效果合格,管道系统连接的性能达标。

焊接作业阶段由质检人员随时监控焊接效果,对焊接过程展开检测,特别是加强各项焊接参数的检测以及记录,随时了解各方面参数才能保证焊接工作有序完成建设,防止焊接完成之后出现焊接缺陷。

由于天然气管道厚度较大,采用多层焊接方式比较普遍,加强层间温度检测极为重要。如果层间温度比较高,容易造成母材过度熔化、焊接位置缺陷问题,强度、密封性无法满足工程的要求。因此,焊接环节随时监控层间温度,选择合适冷却设施,确保层间的温度在合理区间内。

#### 4.3 封堵管件焊接

天然气管道焊接作业开始前应加强监督检查,各项参数符合要求后再开展现场焊接作业。首先,焊接前监控管道运行压力,保证管道允许条件下再开展焊接作业,防止因为焊接操作给天然气管道造成严重的破坏影响。其次,焊接点定位确定时应避免设置在管道焊缝上,从而减少对原有焊缝造成的影响。如果焊接时无法规避原管道焊缝,则需要使用工具进行焊道位置打磨,使得管件与母材的缝隙在 1m 以内。定位结束后使用设备测量管道厚度,并进行现场的焊接薄弱点位检测,防止后续施工作业造成负面影响。最后,焊接环节需要在焊口周边的圆管道上安装接地桩,灌入饱和食盐水,接地电阻在 4Ω 以内。目前管件焊接时使用手工电弧焊比较普遍,选用 E5015 型焊条,直径为 3.2mm。焊接环节加强层间温度、焊接熔深方面检测,使得电流在 100~120A 之间,填充焊以及盖面焊电流为 100~130A 之间。管件焊接结束后,焊接表

面采用渗透、磁粉无损检测方式检测焊接效果。管件焊接参数可见表 1。

表 1 管件焊接的参数控制

焊道	焊接速度 / (cm/min)	热输入 / (kJ/mm)
预堆焊	12~18	0.8~1.6
根焊	6~12	1.2~3.6
填充焊	6~12	1.2~3.2
盖面焊	7~13	1.6~3.6

#### 4.4 不停输带压开孔

管件以及开孔接合器试压系统内，安装夹板阀、开孔接合器等，再进行试压检测，焊接作业有序进行，防止造成严重事故。首先，在接合器的位置上注入一定量的氮气，对焊道、阀门以及接合器等部位进行试压检测。试验的环节以管道运行压力作为基础，模拟管道以及设备的运行状况，了解其承压状态。在试验阶段保持足够的时间，通常稳压 10min，观察管道设备的运行情况。其次，使用发泡剂对各焊道阀门以及接合器表面渗漏检测，各部位的密封性达到要求。试压结束后关闭夹板阀，再将接合器内部的压力完全释放，最后关闭针型阀。该环节的主要作用是后续为密封性试验检测提供基础，也保证各项工作顺利开展。最后，检测夹板阀的密封性。该环节中工作人员使用工具确保夹板阀的开孔作业符合要求，防止试验以及运行的环节造成气体泄漏等事故<sup>[3]</sup>。

开孔作业。不停输带压开孔操作的环节，根据先上游、后下游的顺序逐步进行，并且注意如下事项：第一，开孔作业阶段，工作人员使用钻机设备进行钻孔作业，并详细计算钻孔作业深度，在标尺上进行精准标记。第二，操作人员确定开孔部位后，关闭液压站，使用手柄调整到手动进给，然后再进行接合器的操作，并且关闭夹板阀。第三，开启接合器的放气阀，将内部空气全部放出，再将开孔机取出，并做好现场标记工作，开孔作业顺利完成。

#### 4.5 不停输带压封堵

封堵作业开始前，对管道运行状况展开检测，使得管道内部气体流动速度在 5m/s 以内，并根据先上游、后下游的顺序逐步完成现场施工作业。

不停输带压封堵操作过程中，根据规定流程进行。先进行接合器以及管道压力检测，开启夹板阀以及液压站，再进行现场封堵作业。在封堵作业阶段使用液压站缓慢下降，封堵部位封闭密封性合格，持续完成各位置的封堵作业。在封堵阶段，由工作人员监控

管道运行状态，及时将铁屑、杂物等清理干净，持续 1min 吹扫处理，将各位置封堵完成。

封堵效果检验：燃气管道在封堵工作结束，加强封堵效果检测是保证封堵合格的关键。就本项目来说，选择使用平衡放散孔方式检测封堵效果。首先在管道开口部位安装平衡放散阀门，将内部压力排出。在压力下降到 1MPa 以内时，即可停止放空作业，并随时记录压力表的数据变化。其次，观察封堵环节压力是否存在上升的情况。如果压力没有出现上升的变化，表示封堵效果良好。但为确保现场检测达到准确性的要求，需持续进行观察并继续进行泄压测试，直到管道内压力下降到 1MPa 以内。经过检测管道内部压力在 1MPa 以下时，再次进行管道内压力的监控，如果该环节压力出现急剧上升的情况就说明封堵效果不能符合要求，并且各位置出现泄漏的现象，需重新进行封堵处理，以免引发安全事故。如果在现场观察时发现压力下降到 1MPa 以内后没有出现上升的迹象，说明封堵成功，该环节说明封堵或者设备已经能够阻止天然气的流动，达到预期的封堵效果，现场施工作业可有序进行<sup>[4]</sup>。

### 5 结论

本项目案例中天然气管道不停输带压封堵施工工期为 11d，通过焊接、开孔、封堵、动火连头、置换投产等各项工序，已经正式投入运行，且没有造成任何事故，说明本项目天然气改线取得圆满成功。经过对本文实际案例展开分析，制定合理策略，各项施工措施有序完成，切实提高天然气管道的维修、改造水平，能适应多种条件下的施工需求，防止造成事故问题，也能提升天然气的运行水平，为社会输送更高质量的天然气能源。

#### 参考文献：

- [1] 吴建宏. 天然气管道泄漏分析及动态处理技术探讨 [J]. 石化技术, 2022, 29(05): 42-44.
- [2] 陈福鼎, 蒋明, 李徐伟. 天然气管道泄漏分析及动态处理技术的思考 [J]. 化工管理, 2018, (14): 86.
- [3] 周长昱. 天然气管道泄漏原因及处理分析 [J]. 全面腐蚀控制, 2019, 33(07): 56-58.
- [4] 魏星. 埋地天然气管道泄漏检测技术与策略研究 [J]. 上海煤气, 2023, (06): 18-20.

#### 作者简介：

李永贵 (1974.05-) 男，回族，新疆人，成人本科，助理工程师，主要从事天然气相关业务。