

油气管道安全施工技术研究与应用

陈旭宁（安徽省天长市经二路江苏油田油气生产服务中心，安徽 天长 239300）

摘 要：本课题对“地面工程油气管道施工”涉及的安全性问题进行分析，较系统提出若干提高油气管道施工安全性的措施，并通过开展科研攻克，逐一实施应用，取得提高油气管道施工本质安全的系列成果。重点围绕高压水切割工艺，开展工艺在现场施工适用性、可行性研究，引进配套技术，并开展应用研究和试验，初步掌握高压水切割工艺在油田应用的施工能力。自研法兰螺栓切割工具。引进环形割刀、电动往复锯等工具提高不同安全风险程度下的切割需要；开展油气管道封堵隔离技术研究，研制应用了卡箍封堵盲板、普通气囊封堵工具和具有导流卸压功能的特制气囊；开展油气管道野外搬运小车的研制，具备电动、遥控特性；开展氧气、乙炔气瓶支架研制，采用组合拼装式设计；开展油气管道维修技术研究。开展了锤击捻压焊接法等7种方法的应用性研究，满足不同施工条件。

关键词：油气管道；冷切割；隔离；气瓶支架；焊接；维修

1 成果概况

本项目主要从以下5个方面开展技术创新研究：

①针对常见的施工作业内容，开展油气管道封堵隔离技术研究，解决部分类型油气管道封堵隔离难的问题，提高封堵隔离可靠性；②针对油气管道开孔切割风险大，创新开孔切割方法，引进冷切割技术，针对现场要求对引进成熟的切割工具并实施改进；针对高风险区域内油气管道、容器紧固件拆卸难度大的问题，开展紧固件破拆工具的研制，在保障安全的前提下提高施工效率；③针对维修安装现场用火作业风险大的问题，优化施工工序，尽可能采取预制加工，为方便油气管道的预制加工，研制预制管件搬运工具，减少高风险区域用火作业的频率和时间；④针对油气管道维修施工风险大、难度大的问题，针对不同的油气管道类型和现场条件，开展油气管道维修技术研究，提高现场施工的质量和效率，同时提高施工安全；⑤针对气瓶使用，综合考虑气瓶运输过程摆放稳固、搬运、防倒等现场使用要求，设计制作气瓶支架，提高气瓶使用安全性，同时降低搬运劳动强度。

2 成果内容

2.1 油气管道封堵隔离技术

2.1.1 卡箍隔板

设计制作卡箍隔板工具的目的是为了解决卡箍连接方式设置隔板难的问题。利用上下卡箍补心间4~5mm间距，在原钢圈结构的轴向中断面增加一块钢板3mm左右钢板。钢板作用为阻隔板，同时依靠钢圈的外环密封面与补心密封面的密封作用，实现卡箍左右管段对外界的隔离。由于卡箍隔板内部挡板的厚

度较小，同时加工精度要求高，尝试采用焊接方法效果不佳，最终采用机械加工的方法达到设计效果。

2.1.2 气囊封堵工具

为避免焊接过程中高温导致气囊泄气，对已定制的气囊的导气管进行延长，同时采用金属材质。根据常见的施工油气管道尺寸，本项目共制作了加工制作了 $\Phi 40$ 、60、100mm的常规气囊10只，满足常见油气管道施工临时封堵的需要。

2.1.3 特制封堵气囊

本项目对普通封堵气囊进行优化改进，采取中空设计，将封堵端的残余状态不稳定介质导出，进一步提高施工安全系数。同时，这种设计更有利于封堵后压力持续上升的管段施工。

2.1.4 应用及效果评价

卡箍封堵隔板制作4块，基本满足日常用火施工需要。使用自制试验台对样品进行检测，测试压力6.5MPa（试验压力原设定值为2.4MPa），稳压5min，卡箍位置无刺漏，试验成功，隔板封堵效果和强度达到使用要求。

2.2 冷切割技术

2.2.1 高压水切割工艺现场研究应用

2.2.1.1 设备选型与定制加工

主要设备规格及适用性见表1。

紧急救护用水切割机加工制作技术要求如下：①额定工作压力在30MPa以上，耐压有1.5倍以上；②高压胶管承压30MPa以上，耐压有4倍以上；③切割5mm厚Q345钢板，速率达到20mm/min以上；④磨料罐一次性填料大于10L，爆裂压力大于100MPa；⑤

表 1 主要设备规格及适用性对比

设备	尺寸	重量	工作压力 MPa	动力源	切割效率	适用性
	mm	Kg				
化工用分体式水切割机	1000*460*800	255+90	45MPa	380V~	140mm/min (10mm 厚)	适合在站库内施工, 工程量大, 连续作业
	400*460*800					
紧急救护用水切割机	800*500*500	120	30MPa	汽油	60mm/min (10mm 厚)	适合站内、站外施工, 工作量小, 零星作业。 在增加沙罐容积后基本满足连续施工要求。

表 2

序号	项目	要求	切割对象	实验效果
1	切圆钢试验	连续作业, 直至圆钢切断。录取切割时长。	Φ25mm 圆钢	顺利一次性切断, 时长 2 分 14 秒。
2	切圆管试验	连续作业, 直至圆管切断。录取切割时长。	Φ65mm*4mm 圆管	顺利一次性对穿切割 (刀具未调整方位), 用时 9 分 38 秒
3	切角钢试验	连续作业, 直至角钢切断。录取切割时长。	40mm*4mm 角钢	顺利一次性对穿切断, 用时 5 分 10 秒
4	钢板开孔试验	连续作业, 在钢板上开出 Φ100mm 圆孔。录取切割时长。	5mm 厚钢板	顺利一次性切割完毕, 切口匀称光洁。用时 5 分 25 秒
5	切套管试验	一次作业, 在套管外表面沿径线方向切割一段距离。内放一只油漆桶, 桶内盛沾汽油的面纱。录取切割时长和割缝长度。	Φ200mm*3mm 圆管	顺利一次性切割, 切口闭环, 用时 6 分 38 秒。无异常

有辅助切割工装, 切割枪体能卡住卡死, 防止弹崩, 可以 360 度全方位切割作业; ⑥能直接切割 50mm 以上 Q345 圆钢; ⑦单个设备重量最大不超过 150Kg, 满足运输、人工搬运, 便于移动。

2.2.1.2 技术验证试验

根据重心地面施工特点, 选择以下 5 种常见施工材料作为切割对象开展切割试验, 试验模拟正常施工的条件和施工要求, 通过视频影像记录试验过程, 实验结果如表 2。

通过实验, 高压水切割设备满足规定的技术指标要求, 并经过现场培训, 完成了多项试验, 证明了能满足在油气等易燃易爆环境下, 使用本项目设备及配套工具能对日常各种型钢、钢管、钢板、罐壁实施切割, 切割效率达到技术指标要求。

2.2.1.3 现场应用

2019 年 10 月 24 日, 维修测试一大队组织施工人员到永 25-15 井开展高压水切割开孔施工, 根据现场施工条件, 将原施工方案种的圆形孔型改为方形孔型, 严格按重心施工安全相关规定和《水切割安全操作规程和防护措施》开展现场管理和作业。施工用时 35 分钟, 用砂量为 65kg, 成功在上法兰盘开出长 35mm, 宽 26mm, 厚度为 30mm 的孔, 满足后续下入 Φ22mm 压力计测试需要。

2.2.2 法兰螺栓切割工具

本项目设计的法兰螺栓切割工具思路如图 1 所示:



图 1 法兰螺栓切割工具示意图 (右侧为切割工具)

根据以上设计思路进行加工制作, 并开展现场试验。经试验, 能够成功将法兰螺栓实施切割。受到刀片加工的限制, 无法做到完全切割, 但操作可行性得到了验证。

2.2.3 引进新式切割工具

2.2.3.1 环形割刀

用于在油气较重环境且活动范围较窄条件下实施油气管道冷切割。常用的型号有 H4S、H6S、H8S, 分别对应 2-4"、4-6"、6-8" 规格的常规壁厚油气管道。要求油气管道与油气管道或墙及接近物的间距超过 10-15cm。切割过程中采取喷涂少量润滑油或水, 可以有效降低切割过程中的摩擦阻力, 降低切割刀片和被切材料割缝的温度, 起到防火作用。对 Φ80mm*6mm 低碳合金钢管切割试验表明, 5min 完成切割, 割缝处温度不超过体感可接收温度。

2.2.3.2 电动往复锯

电动往复锯可用于在油气较轻环境，经现场 JSA 分析，使用条件满足安全要求，对零星需要切割的物件进行快速切割。由于电动往复锯非防爆工具，因此，此设备不适合油气浓度达到爆炸条件下使用。同时，锯条高速运行，被切割本体割缝温度较高，可采取对切割部位和锯条连续给水降温，避免火花形成。

2.3 预制管件搬运工具

主要改进点设想有：①取消座椅和手动方向控制杆，但余留对接口，方便快速恢复使用；②转向机构采用电动控制；③采用遥控控制平板车运行；④增加平板围栏和困扎机构，防止运输过程中物件滚落。经过改进设计后的电动平板车具备较平整地面上的管件运输功能，特别适合运输油管等工具、材料。

2.4 油气管道维修技术

2.4.1 锤击捻压焊接法

此方法适用于低压容器及油气管道的裂纹或砂眼、气孔的焊接法。施焊尽量使用小直径焊条，焊接电流要严格按照工艺要求，操作采用快速焊法，用电弧的热量加热漏点处周边，熄弧后，用手锤或尖铲迅速向泄漏处挤压，边焊边锤击焊缝。

2.4.2 铆接焊法

有些裂纹较宽或砂眼、气孔直径较大时，采用锤击捻压有困难，可先用合适的铁丝或焊条将裂纹或孔洞铆住，以减少外漏的压力和流量，之后再小电流快速焊完成焊接。此方法操作的要点是一次只能先堵塞一段，然后快速焊，堵塞一段焊一段。

2.4.3 顶流焊接法

有些泄漏是因为腐蚀、磨损减薄而造成，此时不

要直接对泄漏处焊接，否则容易造成越焊漏洞越大。应在泄漏处的旁边或下边合适的位置点焊，这些地方没有泄漏，先建立起一个熔池，然后像燕子衔泥垒窝一样，一点一点向泄漏处围焊，逐渐缩小泄漏处的面积，最后再用小直径的电焊条合适的焊接电流封焊泄漏处。

2.5 气瓶支架研制

综合考虑气瓶运输过程摆放稳固、搬运、防倒等现场使用要求，设计制作气瓶支架，提高气瓶使用安全性，同时降低搬运劳动强度。

2.5.1 方案一

此种方案采用分体式设计，用料少，安装较复杂，但不用频繁拆装，能同时满足摆放稳固、搬运以及使用时防倾倒的要求。设计图见图 2。

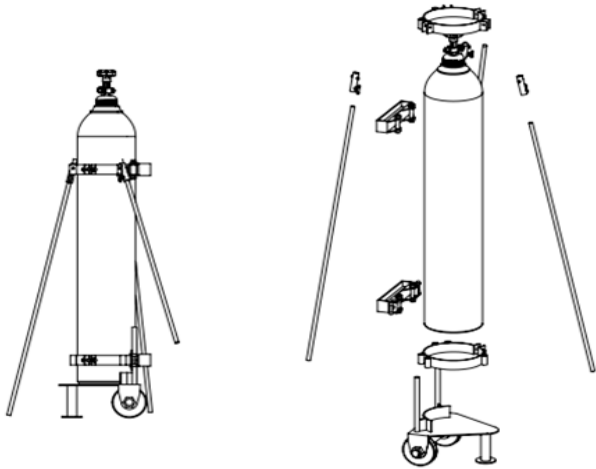


图 2 分体式气瓶防倾倒支架设计图

2.5.2 方案二

方案一在实际使用过程中，由于部分施工气源使

表 3

序号	成果	应用规模	取得的经济与社会效益	推广前景
1	卡箍隔板	已常态化应用	对提高井口用火作业安全性有较好的积极作用，主要应用单位在应用期井口用火作业出现失火、爆燃安全事件基本未发生	四项成果推广前景好
2	气囊封堵工具	油气管道更换工作量偏少，少量应用		气囊封堵针对扫线不彻底等突发情况时有较好的补救效果，建议进一步制作、推广。
3	法兰盲板垫片	已常态化应用		
4	油嘴死嘴堵头	少量应用		

表 4

序号	成果	应用规模	取得的经济与社会效益	推广前景
1	高压水切割技术	少	主要针对特殊情况下的切割作业，受此限制，应用规模不大，整体取得经济效益与社会效益较低。	在扫线难以扫清的流程油气管道、油气气管道等应用前景较好，可利用水力除锈功能应用在储罐维修上。
2	环形割刀	少		较好
3	电动往复锯	频繁		好
4	法兰螺栓切割工具	少		较好。但加工制作难度较大，制约了推广应用。

表 5

序号	成果	应用规模	取得的经济与社会效益	推广前景
1	焊接堵漏施工技术	少量应用	低	较好
2	钢带堵漏等不动火技术	已常态化开展。	避免用火作业，大大提高堵漏施工效率 and 安全性。	好。

表 6

序号	成果	应用规模	取得的经济与社会效益	推广前景
1	多功能气瓶支架	较少	较少	较好
2	氧气乙炔气瓶车	频繁，常态化应用	提高了现场使用气瓶摆放的稳定性，方便现场搬运，提高了现场用火作业的安全性。	良好，但容易损坏，采购成本高

用量大，需要一天换一瓶气，则导致更换气瓶支架变得频繁，更换的工作量较大，给施工人员造成麻烦。因此采用第二种设计方案，方案二采用一体式设计，可以将气瓶安放在支架上，方便搬运。同时可以使用支架的支撑机构，将气瓶倾斜立方，具有防倾倒作用。

3 应用情况

3.1 油气管道封堵隔离技术应用情况（详见表 3）

3.2 冷切割技术应用情况（详见表 4）

3.3 预制管件搬运工具应用情况

应用期内出现管件部件损坏，难以修复，所以未

开展应用。相关改造技术已初步掌握，但自身研制的难度大，推广难度大。

3.4 油气管道维修技术应用情况（详见表 5）

3.5 气瓶支架应用情况（详见表 6）

4 结论

通过从封堵隔离、冷切割、油气管道修复、油气管道搬运以及气瓶使用等 5 个涉及油气管道维修安全的 5 个方面的技术创新研究，全面提升油气管道维修施工的安全性，为安全施工打下坚实的基础。技术研究和引进均具有创新和实用性，总体评价良好。

