

供热管道带水修复介质状态对活性 TIG 焊覆盖层的影响研究

张治国, 张丹丹

(陇南师范高等专科学校 机电工程学院, 甘肃 陇南 742500)

摘要: 供热管道带水修复, 管道内的介质状态是影响修复效果的重要因素。通过搭建可调节管道介质压力和流动状态的试验装置, 研究了利用活性 TIG 焊替代传统焊接方法对 6 mm 厚管道上的线性裂纹进行覆盖层焊接时, 介质压力与流动状态对焊接效果的影响规律。结果表明, 当介质压力较高时, 熔池成型受介质压力影响, 会导致二次泄露; 当介质压力较低时, 随着压力的减小, 裂纹的熔合深度随之增加。常压带水状态下, 可以将管壁裂纹的熔透, 相比焊条电弧焊盖面, 裂纹熔合深度有较大提升。静水静压状态下, 裂纹熔合深度大于动水静压状态。动水动压状态下, 裂纹的熔合深度随着介质压力的降低而增加。

关键词: 带水修复; 活性 TIG 焊; 覆盖层; 压力; 流动状态

DOI: 10.14158/j. cnki. 1001-3814. 20222023

中图分类号: TG444+.74

文献标识码: A

文章编号: 1001-3814(2023)07-0130-05

Study on Influence of Medium State on A-TIG Welding Cover Layer during Repair of Heating Pipeline with Water

ZHANG Zhiguo, ZHANG Dandan

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Longnan Teachers College, Longnan 742500, China)

Abstract: When the heating pipeline is repaired with water, the state of the medium in pipeline is an important factor affecting the repair effect. By building a test device that can adjust the medium pressure and flow state in pipeline, the active TIG welding was used instead of the traditional welding method for cover welding of the linear crack on 6 mm thick pipeline, and the influence of the medium pressure and flow state on the welding effect was studied. The results show that when the medium pressure is high, the formation of molten pool is affected by the medium pressure, which can lead to secondary leakage; when the medium pressure is low, the fusion depth of the crack increases with the decrease of the pressure. Under the normal pressure with water, cracks on the pipeline can be penetrated. Compared with the electrode arc welding for covering, the crack fusion depth is greatly improved. Under the hydrostatic pressure state, the crack fusion depth is bigger than that under the hydrostatic pressure state. Under the state of hydrodynamic pressure, the crack fusion depth increases with the decrease of the medium pressure.

Key words: repair with water; A-TIG welding; cover layer; pressure; flow state

供热管道发生泄露后, 关闭支路阀门或采取泄压措施进行焊接修复时, 管道内的介质不能在短时间内排空, 为尽快恢复供暖, 修复工作往往在低压带水环境中进行。受介质的影响焊接修复中需要先对泄漏点进行堵漏焊接, 作业难度较在线修复相对容易, 但带水作业泄漏处焊接修复质量存在较大的问题。对于低压管道线性裂纹, 常规的补焊方法是采

用铆接焊、鳌堵焊堵漏后, 在原焊缝上进行一层或多层覆盖焊。带水焊接时焊缝的冷却速度是无水焊接时的 20 多倍^[1], 裂纹的熔合深度较小, 虽然可通过覆盖层增强连接强度, 但补焊接头仍保留着较深的未熔合裂纹, 存在再次开裂的风险。

A-TIG 焊是一种被广泛研究的高效焊接方法, 其在继承 TIG 焊诸多优点的基础上, 可以使焊接熔深有很大提升^[2]。研究证实, A-TIG 焊接过程中, 电弧电流密度增加, 导电面积减小, 使得焊接电弧力增加^[3-4], 焊接熔池的流动状态由于表面张力温度梯度的改变而发生变化^[5], 在综合因素的影响下焊接熔深成倍增加。利用 A-TIG 焊进行供热管道带水环境

收稿日期: 2022-07-19

基金项目: 陇南市 2021 年科技计划项目(2021-09)

作者简介: 张治国(1985-), 男, 甘肃武威人, 讲师, 硕士, 主要从事高效焊接工艺研究; 电话: 18193912373; E-mail: namezz@163.com

下的覆盖焊接可提升裂纹的熔合深度^[6]。带水作业下,管道介质的状态对覆盖焊层的成型效果有非常大的影响。介质的压力大小、流动状态决定焊接方法的实用性和实效性。本文将 A-TIG 焊应用到供热管道带水修复中,代替线型裂纹修复时利用传统焊接方法进行的覆盖层焊接,实现增加裂纹熔合深度的目的。通过搭建模拟试验平台,研究了管道中介质状态对 A-TIG 焊覆盖层成型效果的影响。

1 试验方法与装置

试验材料选择壁厚为 6 mm 的标准供热管道,材质为 Q235B。活性剂选用自制低碳钢活性剂^[7],使用前用有机溶剂调制成糊状。为了保证覆盖层焊接效果的精确性,管道裂纹的堵漏焊采用焊条电弧焊在无水条件下直接焊接替代。为了模拟管道介质的实际状态,设计了一套模拟试验装置,示意图如图 1 所示,实物图如图 2 所示。

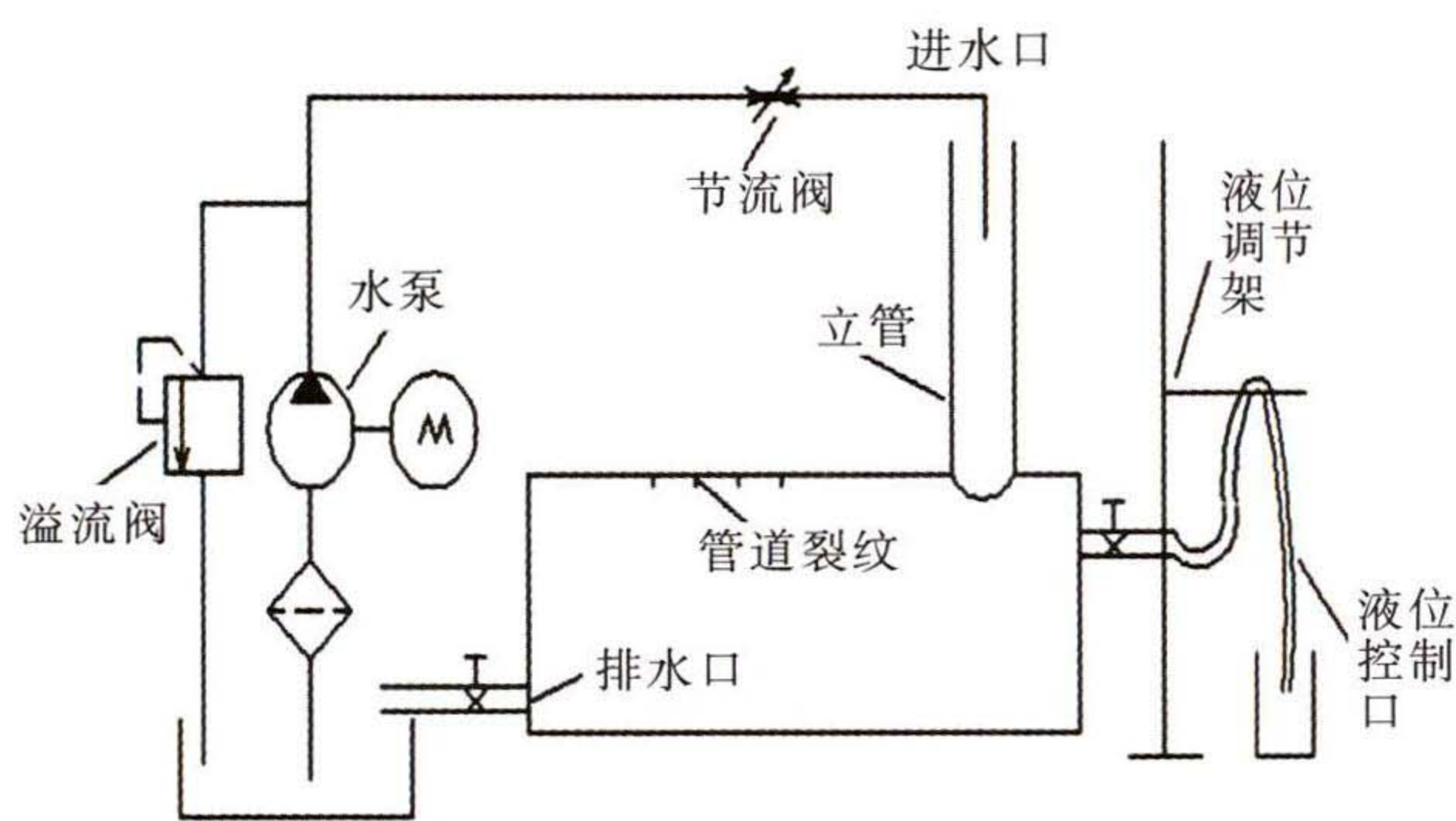


图 1 试验装置示意图
Fig.1 Schematic diagram of the test device

试验前,在管道上方圆周方向切割出若干模拟裂纹,在相同焊接工艺参数下,利用 $\phi 2.5\text{ mm}$ 的 J422 焊条,对切割的裂纹进行模拟堵漏焊接。之后,在管道上切割出立管、排水口、液位控制口焊接孔,将一端带内螺纹的排水管、液位控制管和立管焊接在管道上。进行内部清理后,用两块材质为 Q235 的圆板将管道两端密封。最后完成供水装置、排水装置、液位控制装置的安装。覆盖层焊接试验时,清理掉模拟密封焊缝上面的焊渣以及焊缝周围的铁锈,把糊状的活性剂均匀涂抹在密封焊缝及周边一定区

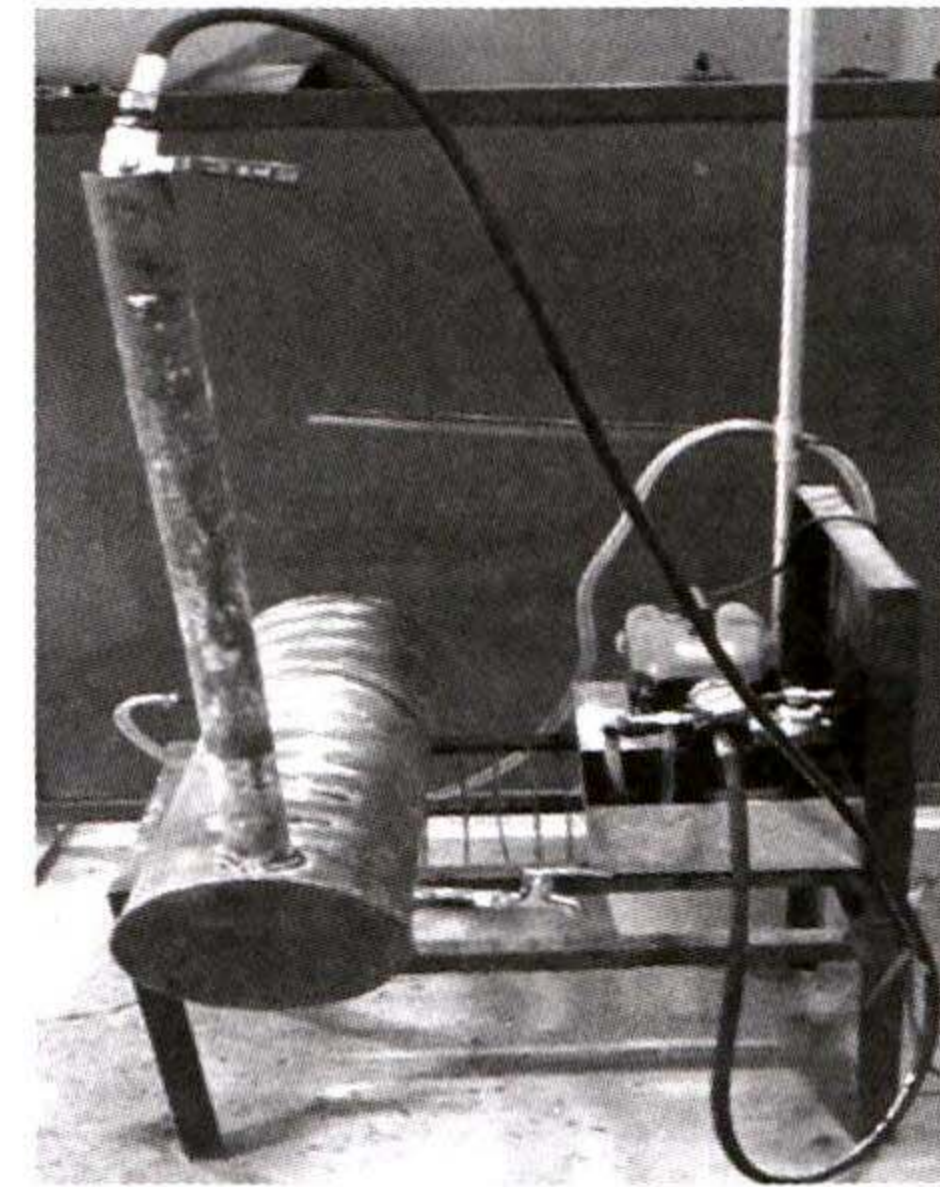


图 2 试验装置图
Fig.2 Test device picture

域内,进行 A-TIG 覆盖焊。利用水泵在进水口注水,流量(q_1)由进水口节流阀控制。排水口流量(q_2)由排水口节流阀控制。液位控制口流量(q_3)由液位控制口节流阀控制。管道的液位高低通过液位调节架进行调节。介质的流动状态(只考虑层流和静止状态)通过调节进出水口流量大小进行控制,介质的压力大小通过液位控制架的高低进行控制。

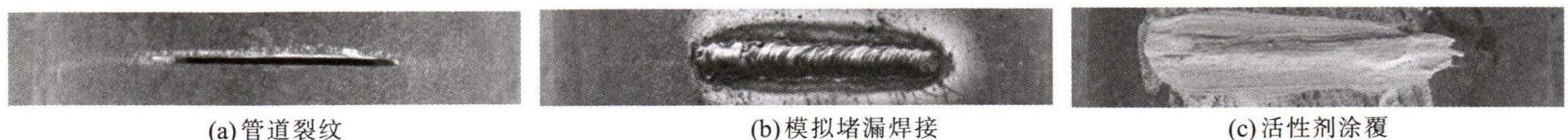
2 试验过程与分析

2.1 模拟堵漏焊接

在活性 TIG 焊覆盖层焊接之前对管道裂纹进行模拟堵漏焊接,工艺过程如图 3 所示。管道裂纹宽约 2 mm,利用焊条电弧焊进行模拟堵漏焊接,代替实际的铆接焊、鑿堵焊堵漏,使堵漏层焊缝的熔合深度均匀,以保证覆盖焊试验结果分析的准确性。模拟堵漏焊缝可实现对裂纹的密封,同时在进行覆盖层焊接时,由于活性 TIG 焊无填充材料,堵漏焊缝也可作为覆盖层焊接的填充金属。模拟堵漏焊接时,要求必须沿着裂纹进行焊接,否则会对覆盖层的焊接造成误导。模拟堵漏焊接后,为了不影响活性剂的效果,对堵漏焊缝及周围约 25 mm 范围进行打磨处理,将焊渣、飞溅物、铁锈等打磨干净,然后进行活性剂的涂覆。

2.2 介质压力对活性焊覆盖层的影响

试验设计时,裂纹分布于管道上方,近似于平焊位置,裂纹处介质压力的大小约等于立管水柱的压



(a) 管道裂纹

(b) 模拟堵漏焊接

(c) 活性剂涂覆

图 3 模拟堵漏焊接过程

Fig.3 Process of plugging welding simulation

力大小。关闭排水口节流阀,打开进水口节流阀与液位控制口节流阀,并使 $q_3 > q_1$, 则液位调节架相对于管道上方的高度为立管水柱相对于管道上方的高度, 通过控制调节架的高度就可实现裂纹处压力大小的控制。覆盖层活性焊接工艺参数见表 1。通过控制液位调节架, 当管道压力大于 50 cm 水柱压力, 进行活性焊覆盖层焊接时, 管道内的介质容易从熔池处流出, 不仅不能实现增加裂纹熔合深度的目的, 反而导致管道堵漏层出现了泄露, 焊缝外观如图 4 所示。从试验结果可以看出, 管道内介质的压力是影响

表 1 覆盖层活性焊接工艺参数
Tab.1 Active welding process parameters of covering layer

焊接电流 /A	焊接速度 / $(\text{mm} \cdot \text{min}^{-1})$	弧长 /mm	保护气体流量 / $(\text{L} \cdot \text{min}^{-1})$	钨极直径 /mm	钨极尖端角度 / $(^\circ)$
160	60~70	3~4	12	2.4	45

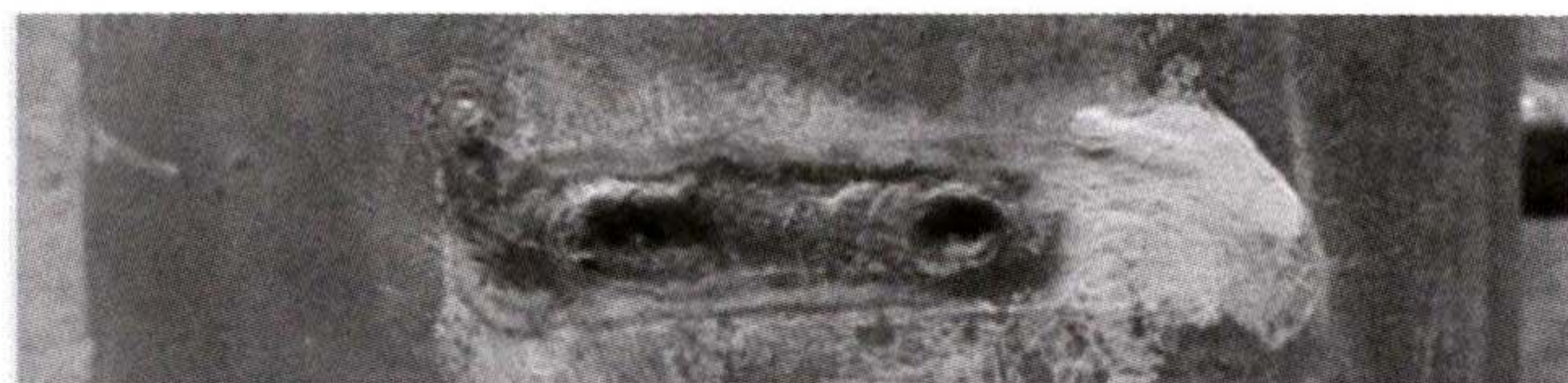


图 4 大于 50 cm 水柱压力下覆盖焊缝形貌
Fig.4 Morphology of overlay weld under water column pressure bigger than 50 cm

覆盖层焊接时裂纹熔合深度的重要因素。当介质压力大于一定值时, 覆盖层焊接只能通过增加焊肉厚度来提高连接强度, 不能通过增加裂纹熔合深度来提高修复质量。

当裂纹处压力降低到 30 cm 水柱压力, 进行活性焊覆盖层焊接时, 焊接过程中不会发生泄露。水柱压力每降低 10 cm 进行一次试验, 焊缝正反面外观形貌如图 5 所示。从外观形貌可以看出, 随着介质压力的降低, 活性覆盖焊后裂纹的熔合情况有明显改

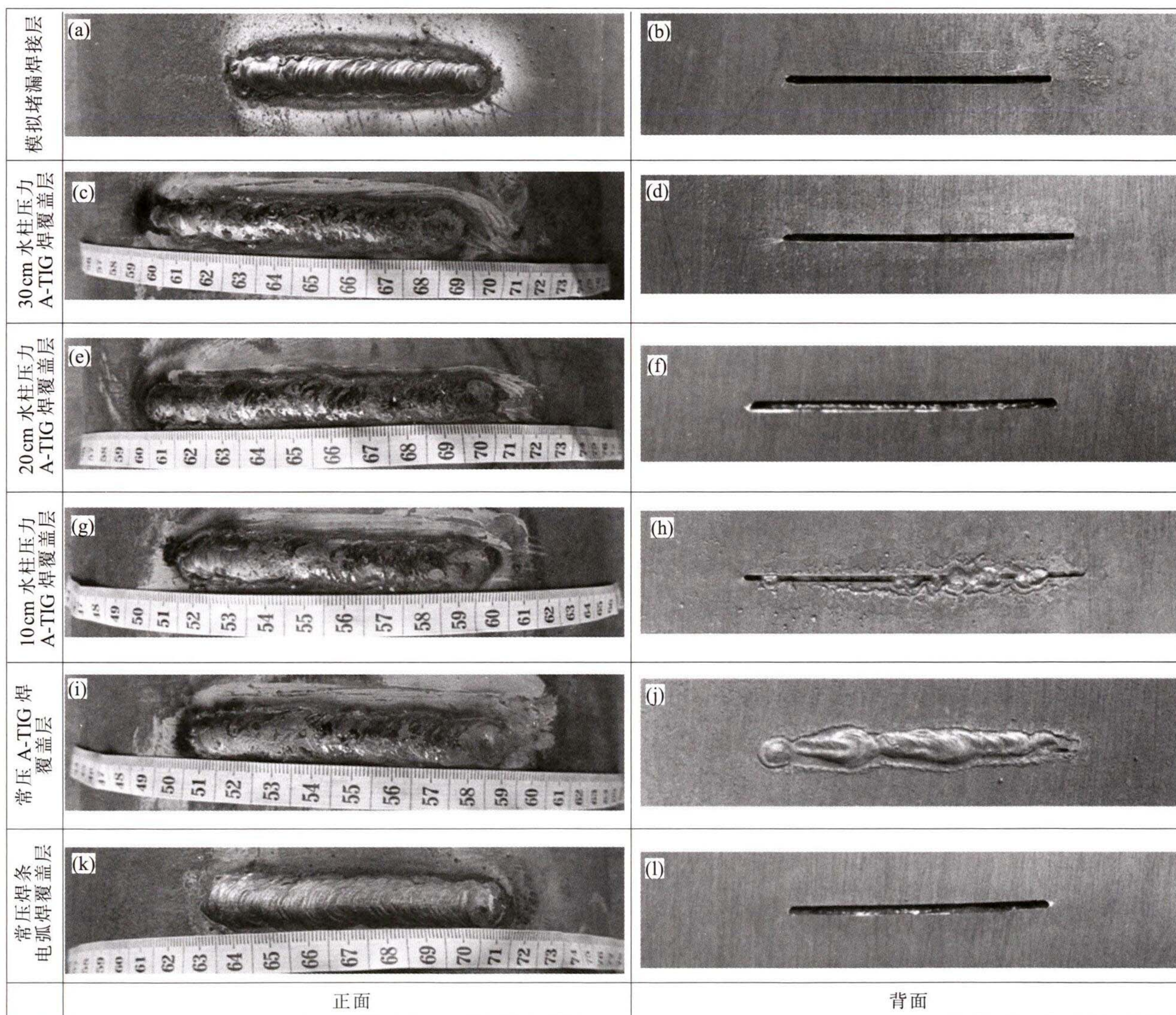


图 5 不同压力下覆盖层焊缝形貌
Fig.5 Morphologies of overlay welds under different pressures

善，且正面焊缝的高度也随着介质压力的降低而减小。当管道压力降低为常压时，通过活性焊覆盖层焊接可以将 6 mm 壁厚的裂纹基本熔透。为了进行对比分析，在常压带水条件下，利用 $\phi 3.2\text{ mm}$ 碱性焊条进行覆盖层焊接，焊接电流 130 A。由图 5(k)、(l)可以看出，大电流的焊条电弧焊覆盖层并不能将 6 mm 壁厚的管道裂纹完全熔合。

用钢钉、钢锯条对背面裂纹内的焊渣进行清理，利用减薄处理的游标卡尺对背面裂纹的未熔合深度进行多点测量。每条裂纹的测量点选择在距裂纹两端 5 mm 的中间区域内，相隔相同距离取 8 个点，测量结果如图 6 所示。可以看出，模拟堵漏焊接层裂纹的未熔合深度平均约为 4 mm；介质压力分别为 30、20、10 cm 水柱压力时，经活性 TIG 焊覆盖焊后，裂纹的平均未熔合深度约为 3.5、2.5、0.5 mm；常压时，经活性 TIG 焊覆盖焊后，6 mm 深裂纹基本熔透；常压时，经焊条电弧焊盖面焊后，裂纹的平均未熔合深度约为 3 mm。在相同的焊接工艺参数下，随着介质压力的降低，覆盖焊后裂纹的熔合深度显著增加。

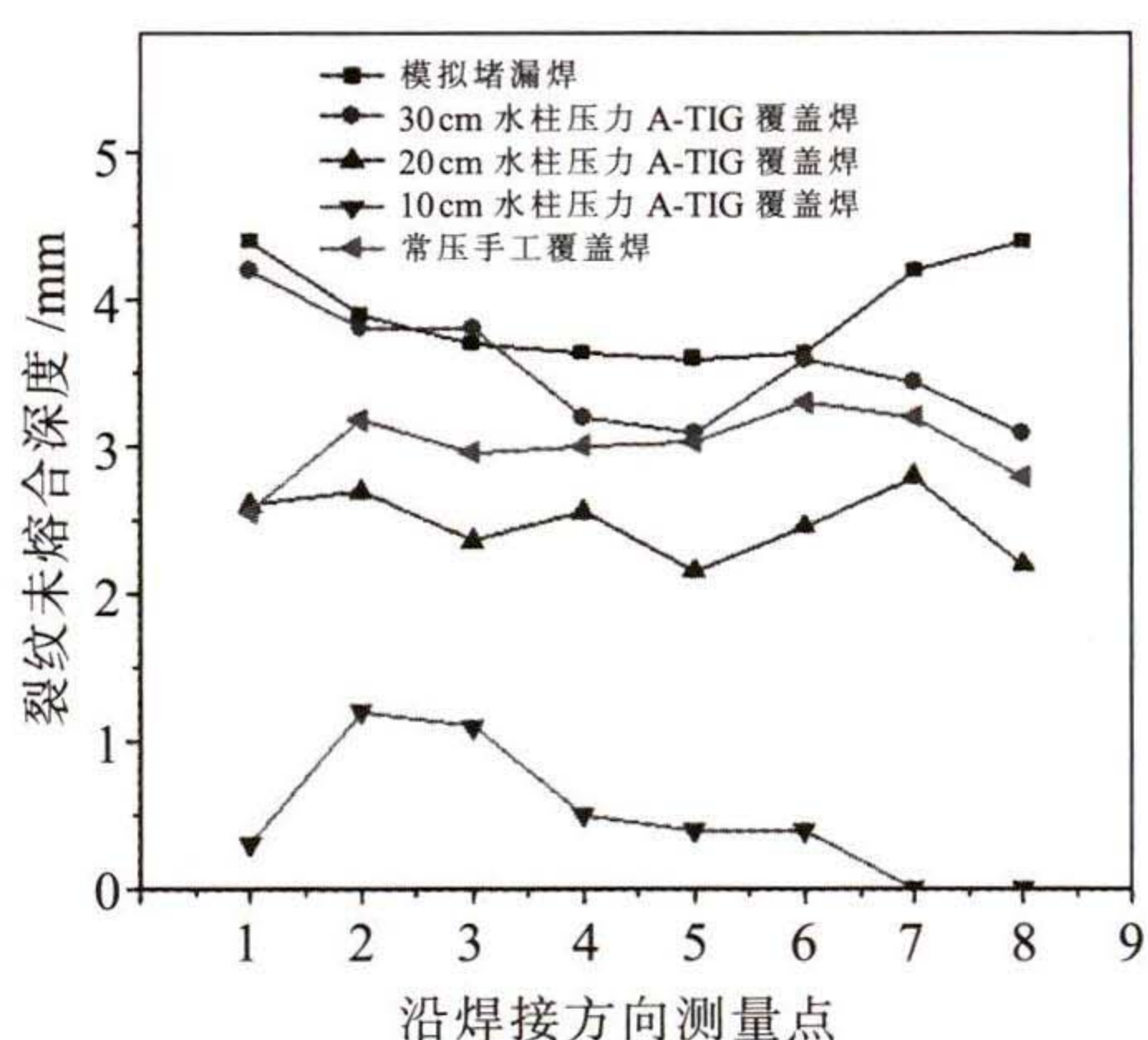


图 6 不同压力下裂纹未熔合深度

Fig.6 Crack unfused depth under different pressures

带水覆盖焊接时，熔池的主要受力情况如图 7 所示。其中介质压力为施焊过程中，在熔池背部由于高温将液态介质气化后形成的蒸汽气泡与液体介质对熔池底部形成的压力，其大小主要取决于管道压力。熔池上下表面都受到大气压力的作用，且方向相反，认为作用在熔池上下的大气压力相互抵消。熔池上下表面的表面张力在垂直方向的分量方向相反，近似认为其相互抵消，所以在平焊位置，促进裂纹熔合的力主要为重力与电弧力，抑制裂纹熔合的力主要为介质压力与界面支持力。根据相关研究，电弧力大小在数千帕^[8]，且熔池深度有限，故产生的重力大

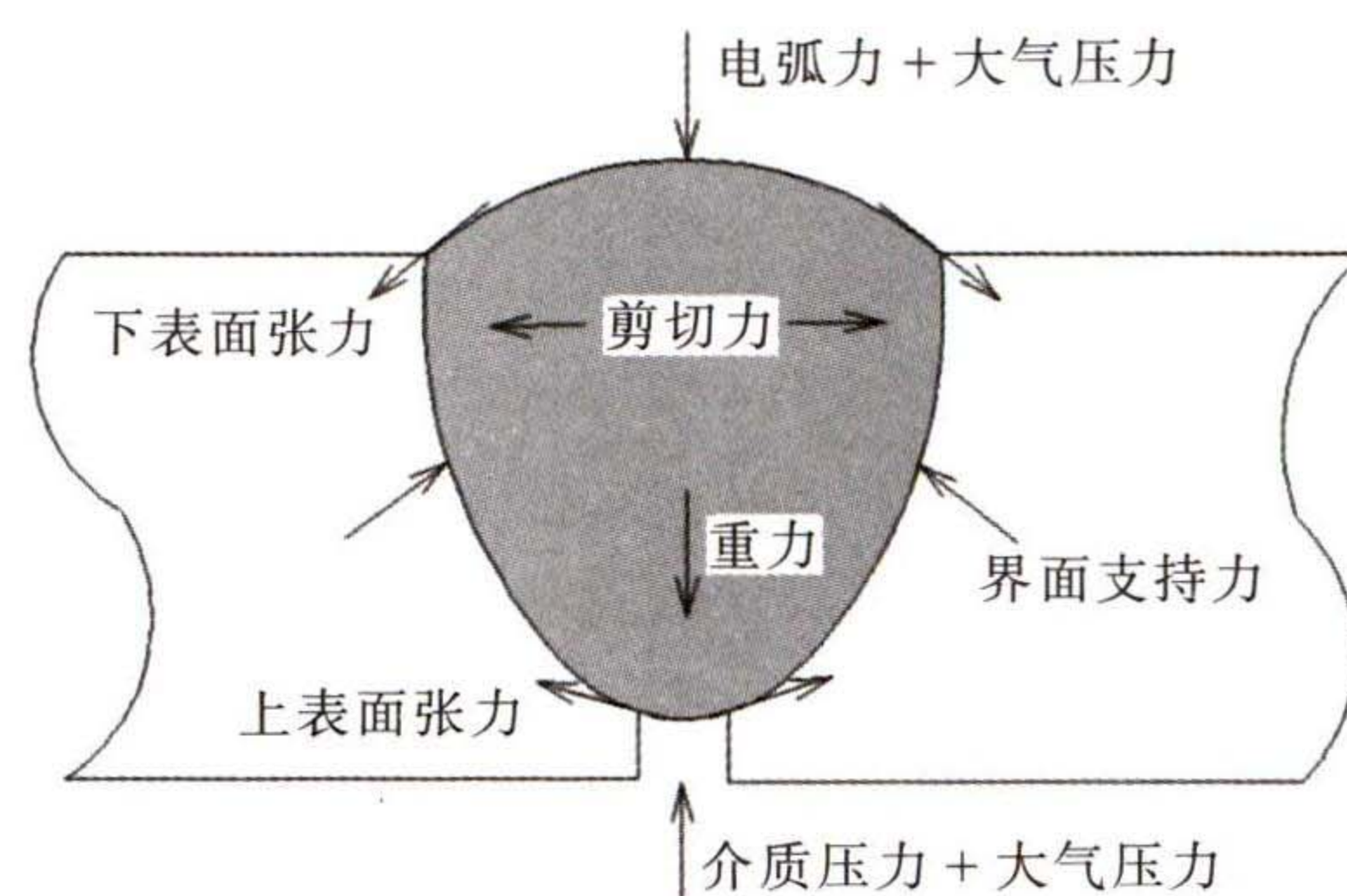


图 7 覆盖焊熔池受力状态

Fig.7 Force state of weld pool of the overlay welding

小相对较小，所以当管道介质压力较大时，抑制裂纹熔合的力大于促进裂纹熔合的重力和电弧力，将导致覆盖层熔池发生再次泄露。根据试验结果，当管道压力大于 50 cm 水柱压力时，覆盖焊时熔池受介质压力作用，影响熔池成形，发生泄露现象。随着管道介质压力减小，促进裂纹熔合的力大于抑制裂纹熔合的力，裂纹熔合深度随之增加。利用活性 TIG 焊进行覆盖层焊接时，在活性剂的作用下，焊接电弧中电子密度增加，且导电面积收缩，使电弧力增加^[3-4]，而且随着焊接熔深的增加，熔池重力也相应增加，最终使促进裂纹熔合的力显著提升，所以活性焊覆盖层裂纹的熔合深度远大于焊条电弧焊覆盖层。

2.3 介质流动状态对活性焊覆盖层的影响

管道带水补焊，活性焊覆盖层成型除了受管道内介质压力的影响外，介质的流动状态也是一个重要的影响因素。管道支路阀门关闭后，管道中介质状态有三种，分别为静水静压、动水静压及动水动压状态。试验中，通过调节进水口流量 q_1 、出水口流量 q_2 及液位控制口流量 q_3 的大小关系实现介质流动状态的控制。 $q_1=0, q_2=0, q_3$ 常开时，管道介质为静水静压状态，需要调节压力时，将液位控制口调节到相应高度，通过出水口排水，或通过进水口补水就可以实现； $q_3 > q_1 > q_2$ 时，管道中的介质处于流动状态，但受到液位控制口的调节作用，管道中的压力不变，管道处于动水静压状态； $q_2 > q_1, q_3$ 常开时，立管水位逐渐减小，管道中的压力也随之减小，管道介质处于动水动压状态。

10 cm 水柱静水静压状态下，活性焊覆盖层的形貌如图 5 所示，10 cm 水柱动水静压、30 cm 水柱动水动压状态下覆盖层的焊缝形貌如图 8 所示。可以看出：动水静压状态下，裂纹的未熔合深度大于静水静压状态，焊缝正面高度高于静水静压状态；动水

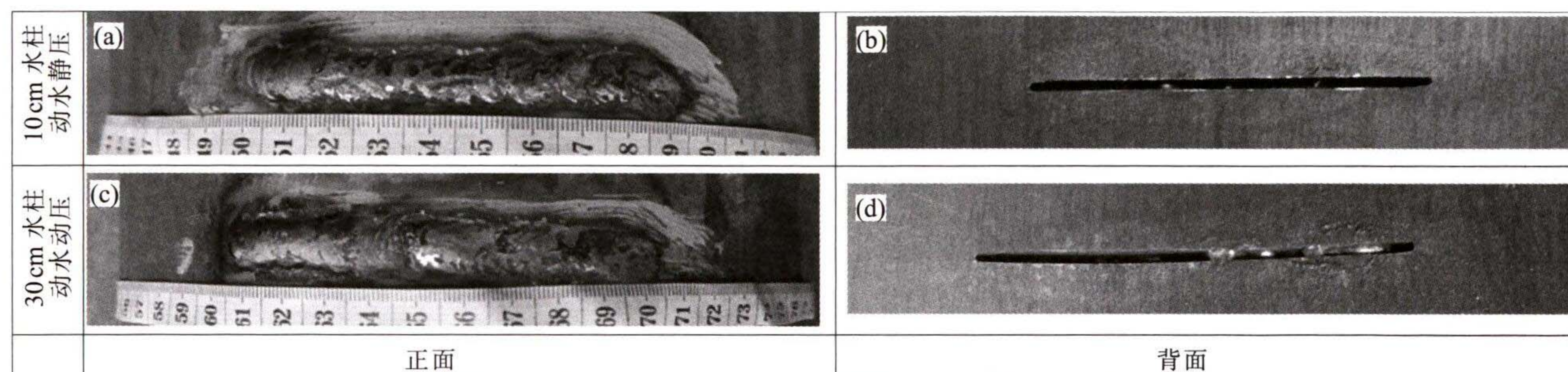


图8 不同流动状态下覆盖层焊缝形貌

Fig.8 Morphologies of overlay welds under different flow conditions

动压状态下,随着介质压力的降低,焊缝正面高度降低,焊缝未熔合深度减小。三种状态下进行覆盖层焊接后,裂纹的未熔合情况如图9所示,静水静压状态下裂纹的平均未熔合深度为0.5 mm,动水静压状态下平均未熔合深度为2.1 mm。动水动压状态下裂纹未熔合深度有明显的减小趋势。带水焊接时,熔池温度高,熔池底部的介质被快速蒸发形成一个蒸汽气泡,快速长大后破碎,破碎后的气泡在上浮过程中,部分被介质吸收,未被吸收的排到大气中,同时熔池底部会形成新的蒸汽气泡。蒸汽气泡的产生周期越短,液体介质与熔池底部的接触时间越长,意味着介质对熔池的冷却效果越强。动水静压焊接时,受到动水的影响,熔池底部气泡更容易破碎,介质对熔池的冷却效果更好,所以裂纹的熔合深度小于静水静压状态。动水动压焊接时,裂纹的熔合深度虽然受到动水的影响,但随着介质压力的减小,气泡对熔池底部的压力减小,裂纹的熔合深度整体呈现增加趋势。

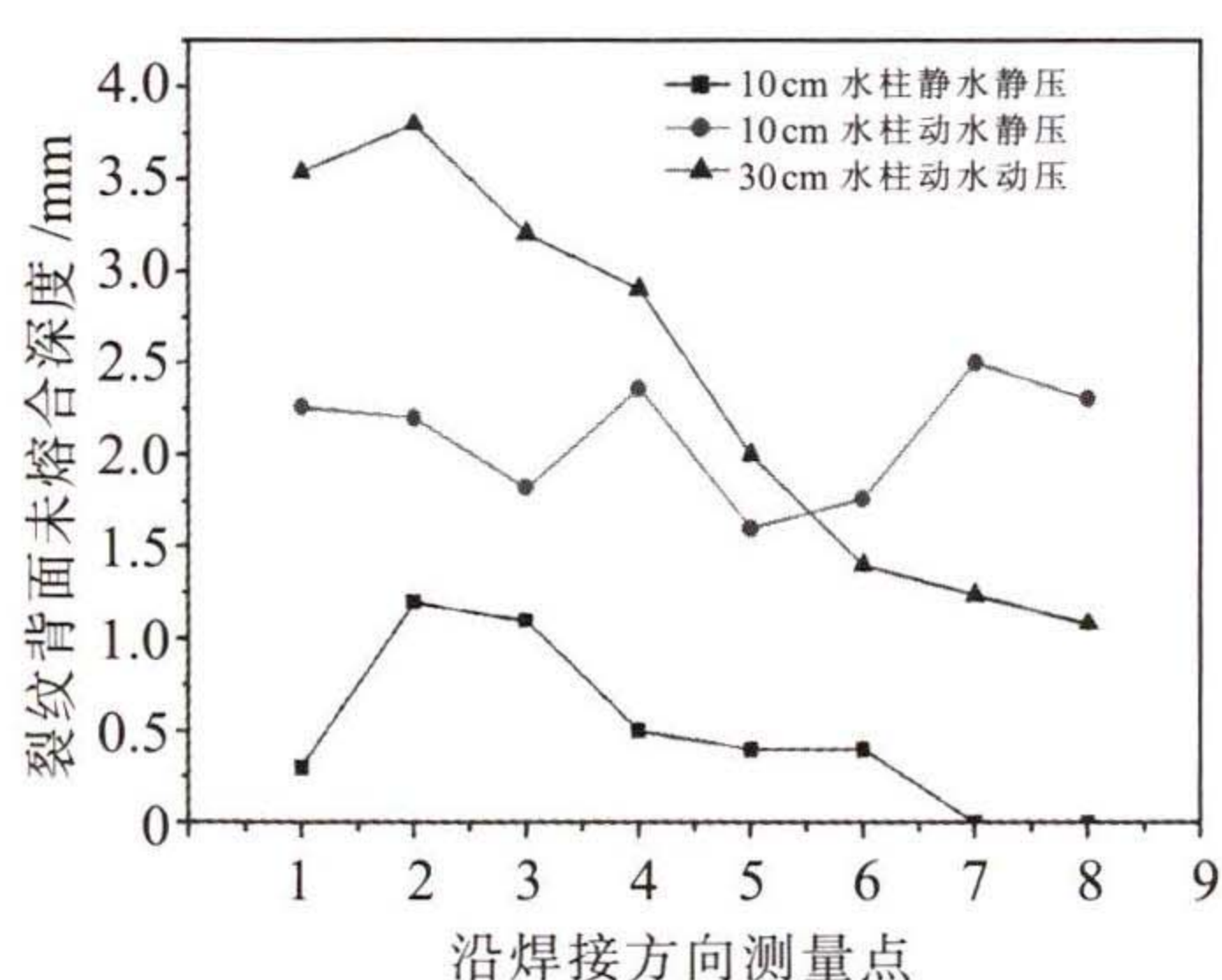


图9 不同流动状态下覆盖焊后裂纹未熔合深度

Fig.9 Unfused depth of the crack after cover welding under different flow conditions

3 结论

(1) 供热管道带水补焊, 在一定的介质压力范

围内,采用活性 TIG 焊替代常规焊接进行覆盖层焊接,裂纹的熔合深度大于常规焊接。

(2) 随着介质压力的降低,覆盖层焊接后裂纹的熔合深度逐渐增加,当压力降低为常压时,利用活性 TIG 焊进行覆盖层焊接,可以将 6 mm 壁厚裂纹熔合;当介质压力大于一定值时,覆盖层焊接只能通过小熔深增加焊肉的方式提高补焊强度,否则会引起再次泄露。

(3) 静水静压状态下,覆盖层焊接时,熔池底部蒸汽气泡的破碎频率小,介质的冷却效果弱,裂纹的熔合深度大于动水静压状态。动水动压状态下,覆盖层焊接对裂纹的熔合深度随着压力的减小而增加。

参考文献:

- [1] 戴迪. 带水焊接电弧及焊接工艺研究[D]. 济南:山东大学, 2016.
- [2] 黄本生,杨江,尹文锋,等. A-TIG 焊研究进展及前景展望[J]. 材料导报,2016,30(3):76-80.
- [3] 杨春利,牛尾诚夫,田中学. 表面活性剂对 TIG 焊电弧现象及焊接熔深的影响[J]. 机械工程学报,2000,36(12):43-46.
- [4] 柴国民,张慧. 活性剂等离子弧弧焊焊接电弧与电弧力[J]. 航空学报,2008(1):192-196.
- [5] 张仲国,张宇鹏,罗子艺,等. A-TIG 焊技术的研究进展与应用[J]. 热加工工艺,2013,42(5):191-194.
- [6] 张治国,张丹丹. 热力管道裂纹高效修复工艺研究[J]. 材料保护,2021,54(5):176-179.
- [7] 张治国,张丹丹. 热力管道裂纹修复用 A-TIG 焊活性剂研制[J]. 焊管,2021,44(1):9-13.
- [8] 朱胜,任智强,殷凤良,等. 水冷铜阳极法测量阳极等离子电弧力径向分布[J]. 中国表面工程,2010,23(5):82-85.