

探析含硫天然气集输管道材料选择技术的应用价值

柳润泽（森诺科技有限公司，山东 东营 257000）

摘要：气体运输离不开管道，而管道中所含气体种类差异，对管道材料的要求也不尽相同。硫化氢是一种极具腐蚀作用的气体，在燃烧过程中极易产生化学反应。在选择管道的时候要特别注意，从多个角度来选择最适合的输送管道的材料，这样才能确保管道的安全运转，让含硫天然气顺利到达指定地点。本文首先从材料选择角度出发，对管道材料选择问题进行探讨，并给出针对性意见。

关键词：含硫天然气；集输管道；材料选择；应用价值

天然气是一种清洁、有效的能源，全球燃气需求不断增长。随着我国区域间天然气资源的不均衡，高压大流量天然气集中输送网络也得到快速发展。在选择材料时，要考虑其强度、韧性和焊接性，对于带腐蚀性的燃气管道要考虑其抗腐蚀性。在保证安全稳定的前提下，以最少的成本和最低的运输费用为基本原则。在大直径、长距离输送管道中，因其穿越的区域多数为极端恶劣的地质条件，对其技术指标也有较高的要求，因此管道材料的选择尤其关键。

1 天然气集输管道材料选择技术要求分析

1.1 强度要求

管道的强度分为两类：屈服和抗拉。屈服强度指一种物质抵抗塑性形变的能力；抗拉强度是在抗拉断裂之前，金属能够经受的最大压力。在具体的材料选择中，材料的屈服强度通常为 245MPa-555MPa，抗拉强度为 415MPa-625MPa。当钢的屈服强度增加时其韧度将下降，在保证安全稳定的前提下，尽量节省大量的钢筋，减少工程造价^[1]。

国内许多天然气输送系统，均采用扩管方式，增加了天然气输送压力。西气东输项目选择的是 X70 钢（其屈服强度 OS 为 485MPa）。在运行过程中获得了巨大的成功，在以后的管道工程中广泛采用 X70 钢材。但在第二阶段，通过对该项目的研究，最终确定了使用 X80 钢（Os=555MPa）等级。同时，选择优质钢材还能减小管材的厚度，缩短在工地上的焊接时间。在此基础上，每提升一级钢材，工程造价就会降低 8%。通过改善焊缝质量，以达到加快施工速度，减少总造价的目的^[2]。

1.2 韧性要求

韧性是指金属在被破坏之前所吸收的能量，是由外部力量引起的变形功和断裂功的总和，是一种测量物质对裂缝扩散的抗性的方法。对物质力学的理论分

析认为，物质不仅要有一定的强度，还要有一定的韧度，才能防止其产生断裂。管道的柔韧性能直接关系到管道的安全性。管材的破坏可分为两种类型：塑性破坏和脆性破坏。

而在过载条件下，材料的塑性破坏往往会导致材料的脆性破坏。如果管道的韧度不高，则裂缝会迅速扩大，甚至超过了降压波动的传播速率，从而导致裂缝继续扩大，产生危害；如果管道具有很高的韧性，则可以阻止裂纹的产生。在高强度、低塑性、低韧性的钢、金属材料中，通常会出现脆性破坏。即便是具有良好塑性的钢，在低温厚截面受冲击和有缺陷时，仍有可能产生脆断。在这种情况下，钢的塑性变化很小，因此很难被发现。

为了确保输油管道的使用安全性，一是要确保在延性破坏后，裂纹在某一长度范围之内停止；二是要保证不出现脆断现象。为了防止管道出现脆断，必须继续改进冶炼工艺，尽量减少各种缺陷。对于同样的外径、同样的壁厚、螺旋缝埋弧焊管，其止裂韧度与直缝埋弧焊管的要求一致。在采购钢材时，对管道的最低韧度要高于其预计的止裂韧度，以便在出现塑性破坏时可以起到止裂韧度的作用。焊接韧度对裂纹的止断没有影响，它的值只需能预防塑性断裂即可；基体材料必须具有足够的韧度，才能防止延性破裂的扩大。

1.3 可焊性要求

在管道建设中，对管道焊接接头的焊接性能提出了更高的要求，对焊接接头的冷裂敏感性也更高。管道的可焊接性能与其碳当量关系密切，随着现代冶炼工艺的进步，其碳当量（ C_{eq} ）可以被有效地调控，从而获得优良的可焊接性能。在工程实践中，对于 X60 以上的管道，在较低温度的区域，焊接时要注意对焊接接头进行预热、保温，以避免出现冷裂。管道的焊

接性能通常从两个方面来看。为将不同成分的其他合金成分与不同成分的金属成分按照某种比例的变化,以不同成分的形式加入到管道中,从而得到不同成分的金属成分。较高的碳当量可提高钢材的强度,但也增加了焊缝裂纹的产生^[3]。当前,国内外普遍存在着两种不同的碳当量计算方法。

$$C_{ep} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Ni + Cu}{15} + \frac{Cr + Mo + V}{5} \quad (1)$$

$$P_{CM} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn + Cu + Cr}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B \quad (2)$$

许多金属中的成分在其中所起到的影响是非常复杂的,单一的“碳当量”并不能完全反映出不同金属材料的可焊性。近年来,随着低碳高韧性管道钢的快速发展,在实际应用中,上面的公式(1)与管道钢实际焊接性能之间的冲突日益突出,尤其是对于X80级及以上的高钢级厚壁管道钢而言,这一冲突更加突出。为此,在美国石油协会(第42版)的新API5L(第42版)中,对“碳当量”提出了“基于含碳量的”新定义。

方程式(1)在含碳量大于0.12%的情况下使用;式(2)在含碳量小于0.12%的情况下使用。

金属材料可以承受一个坚硬的对象所造成的凹进的表面,这就是硬度。对管道来说,通常采用洛氏、布氏、维氏三种硬度。较高的碳当量和较大的冷却速率可提高HAZ的硬度。

在800~300℃范围内,降温速率对热影响区的微观结构有较大的影响,降温速率愈大,热影响区的微观结构愈脆弱,硬度愈高;在300~100℃范围内,降温速率对HAZ的扩散有一定的作用,使HAZ的韧度下降,塑性破坏的易损性增加。

1.4 抗腐蚀要求

通常情况下,为了减轻介质的侵蚀,可以控制介质的流动速度。外腐蚀的防护有很多种,有涂料防护(三层聚乙烯、聚丙烯、环氧粉末、液体聚氯树脂等)、阴极保护、缓蚀剂防护。结果表明:在输油管道中,介质的侵蚀及外部侵蚀对输油管道的破坏作用并不明显。

天然气管道的抗腐蚀性能是天然气管道设计中的

一个重要问题。金属材料的腐蚀失效模式可分为三类:应力腐蚀失效、硫化氢脆化、氢致裂纹。在一定的腐蚀条件下,管道在抗拉应力作用下发生的脆性断裂,被称作应力腐蚀失效。应力腐蚀开裂的灵敏度与两个重要的物性参数密切相关,即硬度与应力^[4]。对此,应采取增加管子内壁及焊缝硬度的措施。氢诱导爆裂由金属内部的不同平面上的氢气泡互相连接而产生的一系列的内部分裂纹称为氢致裂纹。在没有外力的情况下,HIC的产生是不需要外力的。这主要是因为汽化过程中,汽化气泡内的压力不断积累,使汽化气泡周边产生了较大的气压。结果表明,在钢水中,氢气在汽化过程中的积累与氢气在钢水中的溶解程度密切相关。氢气的固溶作用与溶液的酸碱度及溶液中的H₂S浓度密切相关。氢气泡是指在钢铁材料中形成的一种不连续的空穴(例如:气孔,分层,硫化物等)。

在厚卷钢中往往会出现氢气泡,尤其是当硫化物夹杂物被拉出时,会出现条形组织。结果表明,在薄板中产生的非连续夹杂的面积、数量及形状均与薄板中非连续夹杂的数量及数量密切相关。为了达到这个目的,钢中的含硫量是一个重要的指标。而减少硫化物的质量分数,则能有效地减少钢的氢起泡,减少钢的氢腐蚀。

一是通过添加少量的Cr、Mo元素来实现对晶粒的精细,Mo元素在调质或正火钢板的热处理过程中可以形成碳化物,用以除去固溶碳。钒、钛和硼元素能提高钢的相变温度,改善钢的硬化性能;

二是使焊接接头及热影响区的表面硬化程度较低,使焊接部位产生较小的残余应力。

首先要从焊缝入手,制定出一套较为科学的焊缝加工方法,以确保焊缝加工后的焊缝加工品质。

其次,在焊接过程中,除了对焊缝进行预加热之外,还要对焊缝进行焊接后的热处理,使焊缝的硬度和金相结构都得到了改善。

其三,采用精振法、高效铁水预处理法及联合炉外法精炼法是可行的。

最后,根据有关管道气体的品质要求,开发新的脱硫脱水工艺降低H₂S的浓度,同时增加H₂S的浓度,有效抑制H₂S的吸附和侵蚀速度。

2 含硫天然气集输管道材料选择

2.1 含硫天然气分析

含硫气体中的H、S、CO₂的浓度很高,同时还含

有很多的水汽, 这些水汽对一般的管道材质有着强烈的腐蚀性, 在运输的时候, 还会腐蚀金属的管道。由于这些管道的建造费用很高, 施工公司很少会对管道进行全面改装, 更多是对管道的维修保养。由于对天然气管道材料选择不当, 一旦出现泄漏, 极易引起燃气泄漏而引起火灾、爆炸等重大事故, 不仅给天然气管道带来巨大的经济损失, 而且还会对周边环境及人民生命财产安全产生不利影响。在对含硫天然气的输送管道进行选材时, 应当根据含硫的特性, 根据硫的腐蚀特性, 选择具有抗腐蚀能力的材料, 从而满足含硫天然气的输送需求, 保证管道可以成功地运输天然气^[5]。

2.2 选材时应注意的问题

根据当前的含硫天然气输送管道的选择材质的应用状况来观察, 许多的研究技术人员对天然气管道的输送过程进行了仿真, 对天然气在复杂的自然环境下的腐蚀状况进行分析, 从动静两个角度对其进行综合判断: 对含硫天然气输送管道选择材质的关键是要保证其具有的抗腐蚀性能。在选择管道的时候, 由于含硫天然气的硫含量的多少、所处的运输环境的温度和运输时承受的压力程度的差异, 所要考虑的就是材料在酸性环境下的抗腐蚀性能。除此之外, 在对含硫天然气输送管道的材料进行选择的时候, 采购技术人员要考虑到, 不同材质的管道材料具有不同的功能, 材质的价格也有差异, 并且要根据所处的情况, 来选取与含硫天然气输送管道相匹配的材料, 这样才是最合适的。

3 含硫天然气集输管道材料选择技术的应用

3.1 镍基合金材料

在含硫高的天然气中, 使用最多的是镍基合金。各种镍基非晶合金的力学性质也各不相同。从目前的情况来看, 镍基合金材料用作管道材料输送含硫天然气时, 不同质量等级的镍基合金会因环境和含硫量的不同, 出现局部腐蚀和管道周边的环境腐蚀而断裂的现象。

通过采用移动电位法测试点的腐蚀情况, 对各种类型的镍基合金的性能进行粗略的评价, 结果表明国内外的品牌型号相同的镍基合金, 在组织结构与化学组成上没有比较显著的区别, 都具有较好的抗腐蚀性能。

然而, 我国白色生产的镍基合金, 其抗侵蚀能力比从外国引进的镍基金属的抗侵蚀能力要差一些。中

国对镍基合金的应用, 通常为 100kg/m/m/s, pH 值要大于 3.5 时, 硫化氢的分压应小于 6Pa, CO₂ 的分压应小于 4Pa, 并适合于含少量硫的情况。实际应用中, 两种镍基合金钢在极强的强腐蚀性条件下, 均有可能出现点蚀。在采用镍基合金材料的时候, 必须要考虑到环境的温度因素以及含硫量的多少, 对其进行适当的选择, 以此来促进管道输送天然气的安全运营。

3.2 双金属复合管焊缝材料

采用力学和冶金相结合的方法, 研制出了一种性能优良的耐硫型管道, 用于模拟含硫气的管道。目前, 该产品的开发具有较大的市场前景^[6]。复合管焊缝既有抗硫的耐腐蚀, 又有预防裂纹的功能, 在双金属复合管焊缝的选择上, 可以选择国产 X52/825 的冶金复合管, 该复合管焊缝既有耐化学腐蚀又有抗裂纹的功能。此外, 采用 L245/825 圆弧焊接和直线焊接两种焊接方式的焊接接头, 其焊接接头的抗裂性较好, 但不适用于腐蚀性较大的场合。在选择管道材料时, 工作人员可以根据管道的总体运输环境, 在采购费用充足的前提下, 进行优选。

4 结束语

天然气是一种绿色环保的洁净能源, 没有任何的污染, 其应用可以从本质上提高环境的品质, 并且其成本相对低廉, 可以被大量的用户所利用, 其输送传输有利于国家的可持续发展: 对于含硫天然气的输送管道的材质要进行谨慎选择, 要从运输中的温度、压力、含硫量和环境等方面来选择合适的材质, 使得含硫天然气可以顺畅地运输到目的地, 从而推动天然气的科学、理性的利用。

参考文献:

- [1] 陈海彬. 油气集输管道内腐蚀及内防腐技术 [J]. 全面腐蚀控制, 2023, 37(02): 116-118.
- [2] 刘玉亮. 油田集输管道腐蚀与防腐技术分析 [J]. 全面腐蚀控制, 2023, 37(01): 91-93.
- [3] 李敏. 油田集输管线的腐蚀原因与防腐对策 [J]. 化工管理, 2022(33): 119-121.
- [4] 张春元. 含硫天然气集输管道材料选择技术探讨 [J]. 油气田地面工程, 2022, 41(10): 81-84.
- [5] 张兴隆, 赫俊霞. 低渗透油田集输管线防腐技术优化研究 [J]. 天津化工, 2021, 35(06): 110-113.
- [6] 柳跃鹏. 油田集输管道腐蚀因素及防腐措施 [J]. 全面腐蚀控制, 2020, 34(05): 60-61+64.