

氢气长输管道的钢管 及材料适应性分析

赵博鑫* 彭莹

(中国石油管道局工程有限公司,河北廊坊065000)

摘要:通过深入研究氢气介质对钢材的损伤机理,结合国内外的最新研究成果,以工程实践为例,确定长输管道钢管、设备、材料的选择,计算方法及工程中需要注意的问题,为后续类似工程提供借鉴和参考。

关键词:氢气;长输管道;氢腐蚀;材料;计算方法

中图分类号:TE832

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2017)05-0217-03

DOI:10.16606/j.cnki.issn.0253-4320.2017.05.053

Analysis on tube and material adaptability for long-distance hydrogen pipeline

ZHAO Bo-xin*, PENG Ying

(China Petroleum Pipeline Engineering Co., Ltd., Langfang 065000, China)

Abstract: In order to provide useful references and experiences to similar engineering projects, the mechanism of hydrogen injuring steel materials is further studied, and then the selection of steel tube, equipment and materials for long-distance hydrogen pipeline, the calculation methods and the issues needed to be noted in projects are confirmed by combining with the latest research progress at home and abroad and taking certain practical projects as examples.

Key words: hydrogen; long-distance pipeline; hydrogen corrosion; material; calculation method

根据国家对油品质量升级的要求,国内部分石化企业采用汽柴油加氢技术提高油品质量,氢气消耗量随之大幅增加。与公路运输相比,利用管道将大大降低企业运行成本,经济性、环保性均有明显的优势。

本文中以内某新建氢气管道为例,将工程中的相关技术问题总结,供读者参考。目前,我国还没有关于长输氢气管道的设计规范,只能参照《输气管道工程设计规范》、《工业金属管道设计规范》等。

氢气具有腐蚀性、氢脆和氢致开裂等特点,对设计要求较苛刻;阀门、设备及配件选型较天然气更严格,对钢管的化学成分、力学性能、设备制造工艺及材料成分有特殊要求,需要严格控制有害元素含量。

针对上述问题,通过深入研究氢气介质对钢管的损伤机理,结合国内外的最新研究成果,在天然气管道设计规范的基础上,利用氢气管道管材适应性分析技术^[1],确保钢管在服役期间不会发生氢损伤,与执行工业管道规范相比将节省大量钢管投资。同时,结合氢气站设计规范和相关文献,在设备及材

料选择方面给出具体要求,降低氢气对管道及设备的敏感性,保证管道在安全可靠的条件下运行。

1 管材选取及适应性分析

1.1 管材的选取

氢气具有腐蚀性,由于焊缝内部夹杂物等缺陷极易造成氢腐蚀,为了保证管道的安全,本工程采用无缝钢管。氢脆对钢材的强度较为敏感,钢级强度越高,越容易发生氢脆,因此,通常选用较低钢级(本次选用L245材质,管径DN500 mm),国内外已建氢气管道基本以碳钢为主,如20#钢^[2]。

管材中的化学成分以及力学性能应符合酸性服役条件。钢管选用API Spec 5L《管线钢管规范》中的L245NS,等级为PLS 2,且执行附录H的相关要求。钢管制造执行《油气输送管道用管材通用技术条件—第8部分:无缝钢管》及《石油裂化用无缝钢管》。为了将管材中的缺陷、夹杂、残余应力等水平进一步降低,选用的管材需进行形变正火处理。

1.2 管材的适应性分析

氢气管道管材适应性分析是按照天然气管道设计规范设计的线路钢管,从钢级、压力、化学成分、韧

性指标等方面进行分析和完善,避免氢脆和氢致裂纹损伤等破坏。

根据氢气浓度进行分类,当氢气体积浓度大于等于 10% 时,可依据 ASME B31.12—2014 进行分

析,当氢气体积浓度小于 10% 时,主要参照欧洲的《Hydrogen Transportation Pipelines》和现有研究结论进行分析^[3],分析流程如图 1 所示,详细求解过程请参照原作者文章^[1]。

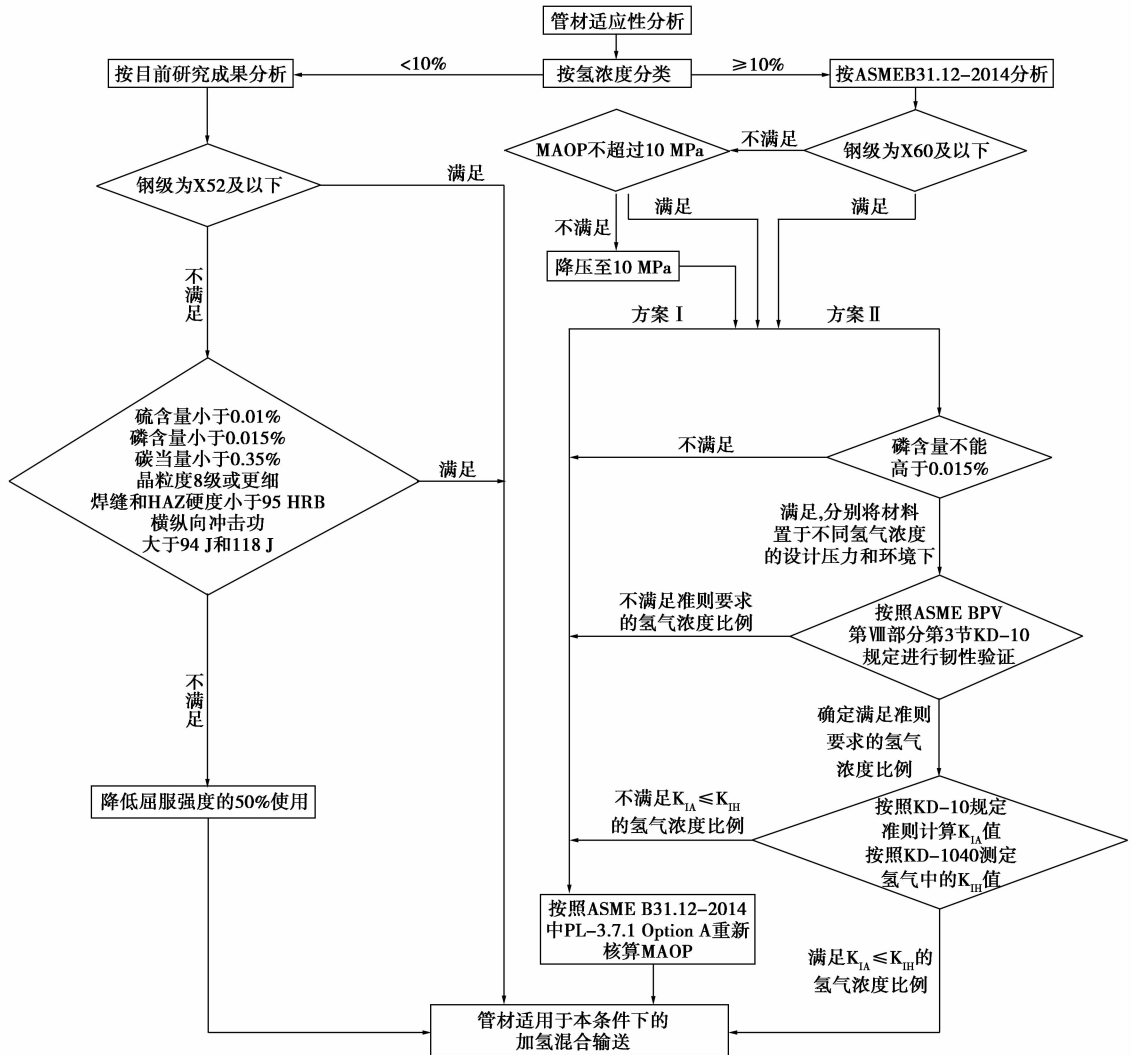


图 1 管材适应性分析技术

1.3 钢管壁厚计算及强度校核

1.3.1 壁厚计算

根据 ASMEB 31.12 《Hydrogen Piping and Pilelines》,钢管壁厚与压力、外径、钢管强度等级、强度设计系数及温度折减系数等有关,直管段壁厚按下式计算^[4]:

$$P = (2St/D)FETH_1$$

式中, D 为管公称外径; E 为纵向焊缝系数; F 为强度系数; H_1 为材料性能系数; P 为设计压力; S 为最小屈服强度 psi; T 为温度降级系数; t 为公称壁厚。

计算壁厚为 8.294 mm,综合国内无缝钢管厂的生产能力,选取壁厚 11.1 mm。

1.3.2 管道刚性校核

《输气管道工程设计规范》要求,管子直径与厚度比 $D/\delta > 140$,才会在管子正常运输、铺设、埋管情况下出现圆截面失稳。本工程用管的直径与厚度比值最大为 45.8,远小于 140,因此不会出现圆截面失稳问题。

1.3.3 直管段的当量应力校核

埋地管道必须进行当量应力校核。校核条件为:受约束热胀直管段,按最大剪应力强度理论计算的当量应力必须满足下式要求:

$$\sigma_e = \sigma_h - \sigma_L \leq 0.9\sigma_s$$

$$\sigma_L = \mu\sigma_h + E_\alpha(t_1 - t_2)$$

$$\sigma_h = Pd/2\delta_n$$

式中, σ_L 为管道的轴向应力; σ_h 为内压产生环向应力; σ_e 为当量应力; σ_s 为管子的最低屈服强度; P 为管道设计内压力; d 为管子内径; E 为钢材的弹性模量; t_1 为管道下沟回填时温度; t_2 为管道的工作温度。

经计算,对于 L245NS 钢管,管径 508 mm,壁厚 11.1 mm,运行压力 4.0 MPa,计算结果见表 1。

表 1 当量应力校核计算表

压力/ MPa	管径/ mm	壁厚/ mm	σ_L / MPa	σ_h / MPa	σ_e / MPa	$0.9\sigma_s$ / MPa	是否 满足
4.0	508	11.1	-96.74	87.53	184.27	220.50	√

经校核,管道强度满足要求。

2 站场设备及材料适应性分析

通常氢气对金属的损伤包括氢脆、氢鼓泡、脱碳、氢腐蚀等形态。氢脆是由于氢原子进入到金属内部,在位错和微小间隙处聚集而达到过饱和状态,使位错不能运动,阻止滑移进行,降低钢材晶粒间的原子结合力,造成钢材的延伸率和断面收缩率降低,强度也出现变化。氢鼓泡是氢原子进入到金属的间隙、夹层处,并在其中复合成分子氢,结果产生很高的压力而使夹层鼓起^[5-6]。设计过程中对钢管壁厚计算、试压技术、阀门、设备及配件选型与常规天然进行对比后确定,对钢管的化学成分、力学性能、设备制造工艺及材料成分有特殊要求,严格控制有害元素含量。在工程中要特别注意以下几个方面。

(1) 阀体、法兰、球体、阀盖应采用锻造 F316L 不锈钢(一般抗氢材料为奥氏体不锈钢、沉淀强化奥氏体合金、低合金钢、铜合金等)。

(2) 临氢材料的硫、磷有害杂质元素的含量应分别小于 0.015%、0.020%。

(3) 用于阀门密封的硬密封材料采用堆焊司太立合金六号,阀座软密封材料应采用 PTFE 或其他

适用于氢气的材料。

(4) 法兰密封面形式为 MFM(凹凸)或 TG(榫槽)面,并采用金属缠绕垫片+柔性石墨缠绕垫片。

(5) 阀门内腔及介质可能通过的地方需要打磨处理,保证无棱角。

(6) 不锈钢毛坯应做“固熔”处理,且零部件均应进行酸洗钝化处理。

(7) 锻件精加工后,不允许有微裂纹。

(8) 为防止氢腐蚀,选材时还要特别注意利用纳尔逊曲线^[7]判断氢腐蚀的起始温度和压力范围。

3 结论

目前,国内氢气长输管道线路用管设计技术尚属空白,均是参照天然气管道或工业管道进行设计,对于氢气管道不是最理想参考标准,存在氢脆和氢致裂纹的风险。而参照工业管道规范设计氢气管道钢管又太过保守,壁厚过大,造成投资增加。采用管道适应性分析技术可以有效平衡现有规范的不足。

由于氢腐蚀的存在,且通常存在一定的孕育期,因此临氢设备选材及标准控制应引起重视,一般按照纳尔逊曲线进行选材。

参考文献

- [1] 张小强,蒋庆梅. 在已建天然气管道中添加氢气管材适应性分析[J]. 压力容器,2015,32(10):17-22.
- [2] 张小强,蒋庆梅. ASME B31.12 标准在国内氢气长输管道工程上的应用[J]. 压力容器,2015,32(11):47-51.
- [3] Hydrogen piping and pipelines[S]. European Industrial Gases association,2014.
- [4] ASME B31.12—2014. Hydrogen piping and pipelines[S].
- [5] 王金富. 制氢装置管道材料的选用[J]. 石油化工腐蚀与防护,2004,21(3):19-22.
- [6] GB 50177. 氢气站设计规范[S].
- [7] API RP941—2008. Steels for hydrogen service at elevated temperatures and pressures in petroleum refineries and petrochemical plants [S]. ■

《现代化工》欢迎广大作者踊跃投稿,投稿系统: [hhp://www.chemmedia.com.cn/](http://www.chemmedia.com.cn/)

GOTOWEB/comtribute.html.