

管道维修补强技术及其发展趋势

北京安科管道工程科技有限公司(100083) 王修云 郑 岩 王金友
北京科技大学(100083) 路民旭

摘要 管道进行检测-评估-维修补强是保证管道完整性的一个有效的作业链,管道维修补强技术是保证管道完整性和延长管道使用寿命的重要手段。本文对迄今为止管道维修补强的有关方法进行了总结归类,并对其各自的优缺点进行了对比。总结认为,迄今国内外用于管道维修补强的方法大致可以归结为焊接类型、夹具类型和纤维复合材料类型三大类,并可以细分为堆焊、打补丁、打套袖、夹具、夹具注环氧、玻璃纤维复合材料和碳纤维复合材料等七小类。尽管这些方法各有优点,但总的来说,碳纤维复合材料补强技术是综合性能最优,是目前最有应用前景的维修补强技术。

Review of the repairing and reinforcement technologies for pipelines

Beijing Safetech Pipeline CO., LTD (100083) Wang Xiuyun, Zheng Yan, Wang Jinyou

Corrosion and Protection Center University of Science and Technology Beijing(100083) Lu Minxu

Abstract The process of detection-assessment-repairing and reinforcement is an effective operational chain to assure the integrity of the pipelines. The technology of repairing and reinforcement for pipelines is one of the most important ways to assure their integrity and prolong their operational life span. The methods used in the pipeline repairing and reinforcement were reviewed and relevant comparisons among them were also made. These methods, such as surfacing welding, patching reinforcement, sleeve reinforcement, clamping fixture, clamping injected with epoxy resin, fiberglass composite and carbon fiber composite reinforcement, can be categorized into three main types, welding type, clamping fixture type and fibrous composite reinforcement type. Among them, the reinforcement technique with carbon fiber composite possesses the most optimal combination properties and the widest application potentiality.

1 引言

在役管道不可避免地会由于腐蚀、疲劳和机械损伤等方式造成管道缺陷,降低管道最大安全操作压力和可靠性。我国现有管道4万余km,如何保证这些管道的完整性并使其安全运行是油气工业面临的一个重大课题。国内外的实践证明,对管道进行检测-评估-维修补强是保证管道完整性的一个有效的作业链条。检测是利用内检测或外检测技术检测防腐层和管体的缺陷和损伤;评估是利用弹塑性力学、断裂力学和损伤力学的模型、方法和软件评价含

缺陷管道的剩余强度,并结合缺陷长大动力学规律,预测含缺陷管道的剩余寿命;补强是利用各种方法管道缺陷进行修复和补强,使其恢复管道的安全运行压力。关于管道检测和评估的原理、方法和应用国内外具有大量的论述性文献^{[1][2]},关于管道的补强维修技术国内外也已经进行了大量的研究^{[3][4]}。本文着重对管道的维修补强各种技术方法进行归类总结,对各种方法的优缺点进行比较,并对各种方法的原理进行简要介绍,以兹对现场生产的管理工作者和工程师具有参考作用。

2 管道维修补强技术的分类

管道的维修补强技术是保证管道完整性和延长管道使用寿命的重要手段。为此国内外对于管道维修补强技术研究和开发非常重视。迄今国内外用于管道维修补强的方法大致可以归结为三大类型和七小类型:

(1) 焊接类型:(a)堆焊;(b)打补丁;(c)打套筒;

(2) 夹具类型:(d)夹具;(e)夹具注环氧;

(3) 纤维复合材料类型:(f)玻璃纤维复合材料修复;(g)碳纤维复合材料修复。

下面我们将对这些方法的原理、特点及其使用范围进行简要叙述。

3 焊接类型维修补强方法

这一类方法的通用思路是采用焊接的方法,在含缺陷管道上面焊接上补强金属,从而恢复管道的服役强度。其中堆焊主要针对深度不大的单点缺陷,打补丁主要针对小面积多个点腐蚀的情况,而打套筒则主要针对大面积腐蚀的情况。

这类方法的共同优点是费用较低。但其缺点是:(1)由于要在服役管道上焊接,焊穿的危险性大;(2)服役管体与补强钢材之间的传力均匀问题和焊缝材料与母材性能匹配问题;(3)当焊接环境湿度较大和温度太低时有产生氢脆和冷脆的危险性。

3.1 堆焊

对于金属损失量不大的单点缺陷,有些公司探索用堆焊的方法来进行维修。这种方法在我国有所使用,但在欧洲和美国,由于对安全的重视,禁止使用。这种方法应用的注意事项和优缺点如下:

(1)堆焊必须将输油管道输送压力降低到设计压力的 1/3 以下。如果是天然气管道必须停气泄压后进行。在英国 TRANSCO 公司、美国、加拿大管道公司一般不推荐使用。这种方法一般主要针对非干线管道进行。

(2)应先考察缺陷的类型,对于单个体积型缺陷可以使用,但对于裂纹型缺陷,这种方法不适用。

(3)一般适用于深度较小的缺陷,对于深度较大的缺陷,不能使用这种方法。其原因有三:a)为了使

缺陷底部平缓过度,缺陷需要打磨。如果缺陷较深,加上打磨的深度,剩余母材可能会很少。在焊接时可能会有管体焊穿的危险性。b)如果缺陷深度较大,在焊接区域产生的热影响区较大,应力集中也大。c)焊接材料和母材不一样,如果焊接缺陷太大,焊材和母材的性能匹配问题就显得特别突出。

(4)这种方法要特别注意焊接时的外部条件环境,当空气湿度太大时,容易产生氢脆,当环境温度太低时容易产生冷脆问题。

(5)必须严格按照《焊接规程》,采用经过严格筛选后的适合于母材的焊接材料。焊机的电流和电压都应通过前期试验后确定。

3.2 打补丁

打补丁的方法适合于小面积多个点腐蚀情况的维修,维修时需将输送压力降低到设计压力的 1/3,对于天然气管道必须停气泄压进行。由于这种方法在焊接热影响区内容易产生氢脆,在北美和欧洲等国家一般不推荐使用这种方法,尤其对输气管线禁止使用这种维修方法。加拿大曾发生输气管道打补丁后,产生脆断的事故。这种方法应用的注意事项和优缺点如下。

(1)焊接的补片应是圆角的,补片材料等级应与所修理的管子材料等级匹配,应采用填角焊将补片焊牢。尽可能减小由于修理所造成的应力集中。

(2)对只使用填充熔敷金属的修理工作,焊接工艺应符合所修管子材料标准的等级和类型的有关要求。

(3)在有涂层的管子上进行修理时,应先除去所有受损的涂层,并涂敷新的防腐涂层。

(4)修理在役管道,应仔细进行检查,确保在经过打磨补焊前,管道具有足够的壁厚不至于使管道焊穿。

(5)在管线不能停输的特殊情况下,则应将管线的工作压力降低到能保证安全维修作业的水平,并制订严格的焊接作业规程。

(6)这种方法要特别注意焊接时的外部条件环境,当空气湿度太大时,容易产生氢脆,当环境温度太低时容易产生冷脆问题。

3.3 打套筒

打套筒方法比较适合管体出现大面积腐蚀的情况。施工时需要将管道输送压力降压到设计压力的

1/3 后再进行焊接。对于天然气管道必须停气泄压后进行。这种方法的潜在危险性是当环境湿度较大和气温较低时焊接热影响区有产生氢脆和冷脆的危险性。这种方法应用的注意事项和优缺点为：

(1) 用两个半圆管包在管子上进行焊接, 主要用于腐蚀区域, 一般不得用于泄漏点、凿痕、凹痕或其他缺陷的修补。

(2) 半圆补强管不应横跨环焊缝

(3) 应特别注意半圆补强板的边缘同所修补管子间的紧密贴合以及尽量降低由于修补所致的应力集中。

(4) 打套筒的焊缝应该用无损检测的方法进行探伤。

4 夹具类型维修补强方法

这类方法的共同特点是采用机械夹具的方式来恢复管道的服役强度。其优点是不用在服役管体上直接进行焊接, 避免了焊穿和发生氢脆、冷脆的风险性。但其缺点是施工设备和施工工艺相对复杂, 成本较高。

4.1 夹具

图 1 示出一个夹具照片。这种方法适合于石油、天然气管道的临时抢修。由于造价较高, 主要是针对管道发生了泄露时使用。天然气管道抢修时必须考虑将管道内的压力降到管道设计压力的 1/3 以下, 可以考虑使用在下述几种情况下:

(1) 管道机械损伤, 比如出现凹坑, 在确认没有

裂纹产生的情况下使用。

(2) 管道单点腐蚀严重, 超过管道壁厚 2/3 以上。

(3) 管道的临时维修和抢修。

4.2 夹具注环氧

图 2 示出夹具注环氧的典型照片和施工现场。英国 TRANSCO 公司对这种方法在英国申报了专利^[5]。该方法是在打套筒的技术上改进而成的。主要要点是在套筒内部留出一定空间, 用来填充环氧树脂, 利用环氧树脂将力传递到套筒上。实施套筒的方法主要有两种:

(1) 有螺栓夹具注环氧

(2) 无螺栓两半(焊接)夹具注环氧

这种方法的优点是施工后的强度可以满足要

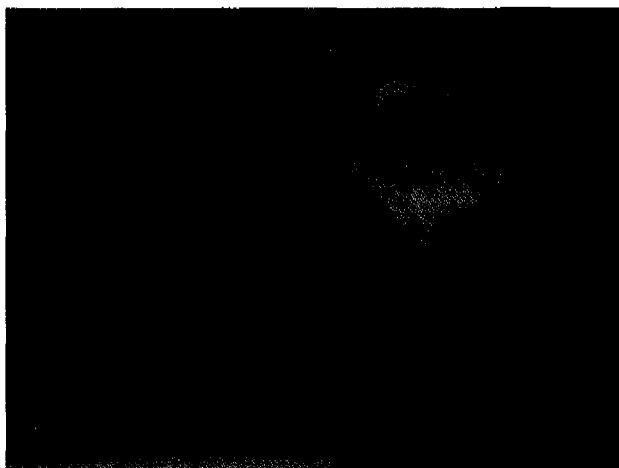


图 1 典型夹具照片

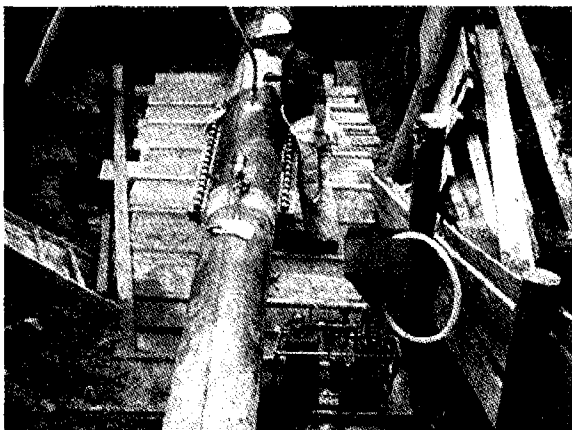
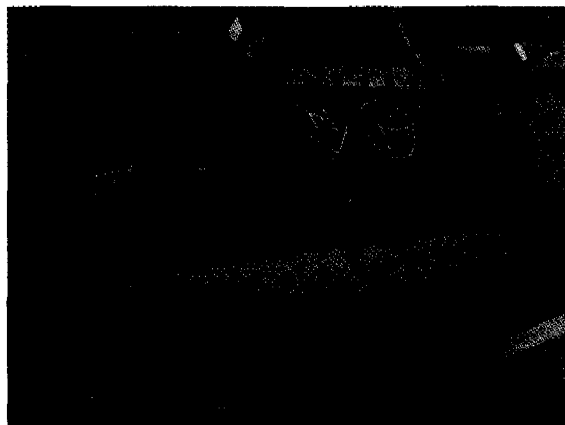


图 2 夹具注环氧的夹具照片和施工现场

求,缺点是施工后的防腐比较麻烦。

5 纤维复合材料类型维修补强技术

利用纤维复合材料进行钢质管道修复补强的技术是上世纪 90 年代以后发展起来的技术。这种修复补强技术的主要思路是利用纤维材料在纤维方向的高强度特性,利用粘结树脂在服役管道外边包覆一个复合材料修复管道层,来恢复含缺陷管道的服役强度。其优点是不用在服役管道上进行焊接,避免了焊穿和发生氢脆、冷脆的风险性。这类方法进行修复补强的费用在焊接修复方法和夹具修复方法之间,其综合性能价格比在三种类型之间是最好的。在国外,复合材料补强技术已成为各个管道公司普遍接受的补强技术。

由于上个世纪 90 年代,碳纤维复合材料的价格昂贵,这类修复补强技术最早是用玻璃纤维复合材料进行修补的。进入 21 世纪以来,碳纤维的价格已经有了较大幅度的下降,已经达到了民用工业可以接受的价格范围。但其性能无论从强度、弹性模量、延伸率、耐环境退化能力等诸多方面,都有着玻璃纤维无法比拟的优势。所以北京科技大学在北京华油天然气有限责任公司的协助下,开发了碳纤维复合材料补强技术,已经在陕京管线得到大量使用。估计采用碳纤维复合材料应该是纤维复合材料补强技术未来的发展趋势。

目前的玻璃纤维复合材料补强技术由于玻璃纤维的强度低,多制成一定厚度的半成品,在施工现场进行干法缠绕施工。而碳纤维复合材料补强技术由于碳纤维的强度非常高,在现场进行湿法缠绕施工。碳纤维复合材料补强技术和玻璃纤维复合材料补强技术主要有下述几点优缺点对比。

(1)碳纤维复合材料与钢管具有非常优良的变形协调能力。碳纤维的弹性模量 213GPa 和钢的弹性模量 207GPa 十分接近,这样非常有利于碳纤维复合材料与钢的协同变形,有利于载荷在钢和碳纤维复合材料之间的均匀分布,从而有利于达到补强效果。玻璃纤维复合材料的弹性模量比钢的弹性模量小约一个数量级,从结构强度的角度考虑,如果用玻璃纤维复合材料,只有当钢管发生很大的塑性变形以后才能将力值传递到补强材料。所以从变形协

调能力来说,使用碳纤维综合补强技术远远优于玻璃纤维补强技术。

(2)碳纤维具有足够的变形量,大于 1.4%。按照管道设计规范,对于一类地区,最大操作压力应当是屈服压力 P_s 的 0.72 倍。屈服压力对应的规定条件是 0.5%或者 0.2%的变形量,则最大操作压力所对应的最大变形量根据规定条件不同为 0.36%和 0.14%,这是碳纤维复合材料可承受变形量的 1/4 到 1/10。也就是说,一般情况下,管体变形远小于碳纤维复合材料的变形量,使用碳纤维复合材料进行补强是从管体变形的角度来说也是足够保险的。

(3)由于弹性模量高,和我们开发高粘结性树脂,可以进行环焊缝和螺旋焊缝的补强,玻璃纤维产品由于弹性模量低,不行。

(4)由于湿法缠绕碳纤维布的柔韧性好,对于具有较高焊缝余高和错边严重的螺旋焊缝和环焊缝,用碳纤维复合材料补强技术非常易于施工。通常所用的玻璃纤维产品由于厚度大和硬度大,在这种状态很难操作。

(5)由于整体补强层很薄,比玻璃纤维产品材料低一个数量级,补后两端防腐与玻璃纤维产品相比,要容易的多。

(6)强度随着时间增加基本保持不变,而玻璃纤维产品的强度则随着时间增长而降低。

(7)碳纤维复合材料可以轴向和环向组合铺设,各个铺层之间交错组合铺设。这样既可以有效承受环向应力,也可以有效承受轴向应力。这种组合铺设的方式,可以使补强层形成一个整体,特别适用于沿轴向大面积腐蚀的长缺陷的补强。玻璃纤维补强技术由于补强卷材材料和干法铺设方法的限制,不可能形成一个整体,对于长腐蚀缺陷的补强则无能为力。

(8)碳纤维补强技术还适用于环焊缝和螺旋焊缝裂纹缺陷的补强,而玻璃纤维不行。

6 管道维修补强技术比较

我们在对陕京管线补强时,与北京华油天然气有限责任公司一起,对国内外现有管道维修补强方法进行了调研、分析、对比、排序。表 1 将各种补强技术的效果进行了对比,以供参考。管道的维修补强技

表1 管道维修补强方法比较

指标类型	维修方法	安全性 要求和特点	服役寿命	补强效果	施工工艺	维修费用	适用范围	发展 趋势	综合 排序
焊接 类型	堆焊	需降压至 2.0MPa, 具有 焊穿、氢脆和 冷脆风险性	取决于防 腐效果	取决于焊接 材料与管体 材料的匹配 性	焊接材料 和工艺要 求严格, 需 要预先研 究确定	费用低	深度 25% 壁厚 以下的小缺陷 体积型缺陷, 不 适合于裂纹型 缺陷	欧美禁 止使用	6
	打补 丁	需降压至 2.0MPa, 具有 焊穿、氢脆和 冷脆风险性	取决于防 腐效果	焊疤下面部 分与管体的 贴紧度需要 注意	焊接材料 和工艺要 求严格	费用相对 较低	小面积多个点 腐蚀的体积型 缺陷, 不适合于 裂纹型缺陷	欧美禁 止使用	7
	打套 筒	需降压至 2.0MPa, 具有 焊穿、氢脆和 冷脆风险性	取决于防 腐效果	套筒与管体 的贴紧度需 要注意	焊接材料 和工艺要 求严格	费用相对 较低	大面积腐蚀减 薄的体积型缺 陷, 不适合于裂 纹型缺陷	欧美禁 止使用	5
夹具 类型	夹具	不需降压, 没 有焊穿、氢脆 和冷脆危险 性	临时抢修, 取决于密 封条寿命	可以基本达 到强度, 但取 决于夹具与 管体的贴紧 度	表面清理 干净即可, 施工相对 简单	费用相对 较高	适合于抢修用	临时抢 修仍然 可以用	4
	夹具 注环 氧	不需降压, 没 有焊穿、氢脆 和冷脆危险 性	取决于防 腐效果	一般可以达 到强度要求, 但环氧树脂 的弹性模量 决定管体的 变形情况	工艺相对 复杂	费用较高	适合于大面积 腐蚀缺陷, 但对 裂纹型缺陷不 适合	大面积 腐蚀会 采用	2
纤维 复合 材料 类型	玻璃 纤维 补强	不需降压, 没 有焊穿、氢脆 和冷脆危险 性	取决于强 度随时间 衰减速率	由于弹性模 量低, 管体需 要产生塑性 变形后才能 达到补强要 求	工艺相对 简单,	费用适中, 成本低	适用于各种体 积型腐蚀缺陷 修补, 不适合于 裂纹型缺陷。焊 缝余高和错边 大时不好施工	可供选 择方法 之一	3
	碳纤 维补 强	不需降压, 没 有焊穿、氢脆 和冷脆危险 性	强度不随 时间衰减, 50 年以上	弹性模量与 管体一致, 管 体一旦承压, 便可达到补 强效果	工艺相对 简单	费用适中, 成本稍高	不仅适合于体 积型腐蚀缺陷, 而且适合于裂 纹型缺陷, 对焊 缝余高和错边 要求不严。	将是主 要发展 方向	1

浅谈城市管道燃气备用气源的选择

潍坊港华燃气有限公司(261031) 杨建伟 赵 亮

1 引言

1.1 天然气需求强劲

随着天然气西气东输工程全线商用,众多沿线城市居民相继使用上了洁净环保的天然气。天然气作为一种清洁的能源,燃烧时温室气体排放量低,是公认为未来世界普遍采用的燃料,随着燃气空调等新型设备的技术业已成熟,相对于电力、煤炭、燃油的经济性明显,再者由于价格稳定,天然气需求量节节攀升。据有关部门分析:未来几年内,我国天然气需求增长将快于煤炭和石油,预计2010年,天然气在能源总需求构成中的比重约为6%,需求量将达到900亿 m^3 。2020年,需求量将达到2000亿 m^3 。

1.2 单一气源供应风险

目前,国内管道输送天然气供应能力不足的瓶颈,制约了下游用户市场的发展,由于管输天然气供应量紧张,对于下游终端用户市场的发展与用气调峰皆带来很多限制。目前城市能够实现天然气管输双气源的寥寥无几,天然气供应仅仅依附于中石化、中石油、中海油,如果上游供应异常,下游供应就会

被迫限气,严重时会在用户的正常使用,尤其是较大的工业客户有被迫停工的危险。

从安全及商业角度综合考虑,采用双气源供应、多供应商供应,不仅可以确保城市燃气稳定供应的大局,而且也有利于改变目前卖方市场的局面。

2 目前的天然气备用气源

2.1 液化天然气 LNG

是将天然气在冷却到 -160°C 的低温下时,使其由气态变成液态,然后通过储罐运往使用地区,使用地区建设接收卫星站,将LNG再度气化重返气态,然后通过管道输送到最终消费者,1 m^3 的LNG,气化后可变成大约625 m^3 的天然气,其物理特性与天然气相同。

2.2 压缩天然气 CNG

是将天然气加压至20MPa,并以气态储存在容器中,CNG可作为车辆燃料利用。在20MPa的高压下,其压缩比为276:1。CNG系统供应城镇方式源自天然气汽车加气的子母系统,CNG撬车一般为12m

术是保证管道完整性和延长管道使用寿命的重要手段。尽管这些方法各有优点,但总的来说,碳纤维复合材料补强技术是综合性能最优,最有应用前景的维修补强技术。

参考文献

1 Alfred E. Crouch, Gary L. Burkhardt. CONFORMABLE EDDY CURRENT ARRAY FOR MAPPING EXTERNAL PIPELINE CORROSION. Proceedings of IPC.02 4th International Pipeline Conference September 29–October 3, 2002,

Calgary, Alberta, Canada. IPC2002–27147.

2 Patrick C. Porter. COMPOSITES—AN EFFECTIVE REPAIR ALTERNATIVE. Corrosion 2002. Paper No.02095.

3 Fawley Norman C. Method of apparatus for reinforcing pipe [P].U.S. Patent US6336983, 2002.01.

4 Houssam Toutanji *, Sean Dempsey. Stress modeling of pipelines strengthened with advanced composites materials. Thin-Walled Structures 39 (2001) 153–165.

5 Bennett, Peter George. Pipe repair clamp [P]. Patent EP 0779465 A1, 1996.12