

管道焊接工艺方法综述

苏欣¹,袁宗明¹,范小霞²,晏子³

(1. 西南石油学院, 四川 成都 610500; 2. 四川内江威东能源开发有限责任公司, 四川 内江 641000;
3. 油企信通(北京)科技发展有限公司, 北京 100086)

摘要:介绍了国内外长输管道常见的焊接工艺和方法,重点介绍了国外的自动焊系统,说明了选择焊接的方法以及如何进行检测,最后分析了焊接工艺发展趋势,指出了自动焊技术将得到越来越广泛应用。

关键词:管道;焊接;发展趋势

中图分类号: TG44 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-9614(2005)06-0035-03

Summary on Pipeline Welding Technology

SU Xin¹, YUAN Zong-ming¹, FAN Xiao-xia², YAN Zi³

(1. Southwest Petroleum Institute, Chengdu 610500, China; 2. Sichuan Weidong Energy Exploration Corporation, Neijiang 641000, China;
3. InfoPetro Technology Development, Ltd., Beijing 100086, China)

Abstract: This paper introduced several welding technologies commonly used at home and abroad in long distance pipeline. Besides, it gave a main introduction to the automatic welding system and to the way to select the welding method and the welding defects test technology. Finally, it analysed the direction of the welding technology development and pointed out the developing wide range of application of automatic welding technologies.

Key words: pipeline; welding; developing direction

1 引言

随着石油和天然气工业的发展,管道输送油气以其安全、经济、专能、高效而飞速发展。长距离、大管径、高压正成为陆上油气输送管道的发展方向,管线用钢 X56 ~ X70 系列高强度钢已广泛用于管道建设中, X80 高级强度管线也处于开发应用阶段,如德国在 1993 年建成一条直径为 1 200 mm、长为 126 km 的 X80 管线,1994 年,加拿大试建一条直径为 1 200 mm、长为 33 km 的 X80 管线。由于油气管线飞速建设的需要,管道焊接工艺、焊接设备、焊接材料也相应得到了很大发展。

2 国内外油气管线常用的焊接工艺

2.1 目前管道焊接的施工工艺^[1-2]

(1)手工电弧焊。由于手工焊的灵活性以及焊接设备要求不高等原因,目前,对于室外管线的焊接,手工电弧焊的工作量仍占 40% ~ 50%。

(2)纤维素下向焊接工艺。纤维素下向焊接工艺是国内外普遍采用的一种焊接工艺,应用于包括钢材为 X70 以下的所有薄壁大口径管道焊接。焊接速度快,根焊性能好,焊缝射线探伤合格率高,经济性优良。

(3)低氢型立下向焊条焊接。该工艺与纤维素下

向焊接工艺相比,根焊速度较慢,主要用于气候条件极端恶劣,输送酸性气体及高含硫油气介质,对低温韧性要求较高的管道或者厚壁管的焊接。

(4)立下向纤维素焊条打底焊, CO₂ 气保焊填充面。由于 CO₂ 焊生产率高、成本低,近年来不断得到推广和应用,但对油气管道焊,要实现全位置焊接,必须在较小的电流范围内,用短路过渡形式完成,而短路过渡方式用于打底焊易出现未焊透等缺陷。因此,采用立下向纤维素焊条打底实现单面焊,背面成型,然后再用效率高的 CO₂ 气保焊填充面。

(5)自保护药芯焊丝半自动焊。自保护药芯焊丝半自动焊特别适用于户外有风的场合,它不使用 CO₂, 靠药芯产生的气体保护,抗风性好,可用于管道的高熔敷率的全位置焊。目前,以林肯公司生产的自保护药芯焊丝为各国所认同,其品牌有 NR-207、NR-204-H、NR-208-H 等多种,可适用于 X70、X80 等管道的立下向焊。但该方法在打底焊时,焊根易出现未熔合的缺陷。

(6)高性能焊机的 CO₂ 气体保护半自动或全自动焊。目前,国外相继生产了对焊接电流和电压波形进行适时控制或对输出特性进行电能控制的高性能电源,林肯公司的 STT 表面张力过渡焊接技术就属于波形控制的范畴。基于焊接设备性能的提高,使得管道半自动及全自动 CO₂ 气保焊得以很好实现,这就大大提高了焊接效率和焊接质量。

此外,在工厂内进行管道焊接也采用自动 TIG 焊,该方法质量好,但生产效率低。

2.2 长输管道焊接方法^[1-7]

2.2.1 下向焊

1983年,由管道三公司在秦京线林南仓煤矿改线工程试验下向焊工艺成功后,在以后的中沧输气管线、中安、中开以及东临复线、青海花格线、内蒙的达哈线、突尼斯工程的前半期、1995年鄯乌线、1996和1997年陕京线等工程上使用了此工艺十几年。

手工下向焊接方法的焊接特点:在管道水平放置固定不动的情况下,焊接热源从顶部中心开始垂直向下焊接,一直到底部中心。其焊接部位的先后顺序是平焊、立平焊、立焊、仰立焊、仰焊。下向焊接工艺采用下向焊专用焊条。下向焊条以其独特的药皮配方设计,与传统上向焊焊条相比,具有电弧吹力大,焊接熔深大,打底焊时可以单面焊双面成型,焊条融化速度快,熔敷效率高等优点。另外,此焊接方法避免了大量的点状未焊透及层间夹渣,提高了焊接质量,节省了挑弧停顿时间,加快了焊接速度,简化了运弧工艺,降低了焊工劳动强度,不足之处是根焊难以看到熔池。相对于自动焊,克服了在野外较差的自然条件下使用设备复杂、操作不便的不足。因此,下向焊以其焊接质量好、焊接速度快等优点,已经广泛地应用于焊接工程,尤其是大直径薄壁长输管道的焊接。

目前,除了纤维素型焊条下向焊外,又出现了混合型焊条下向焊和复合型焊条下向焊焊接方法等。

混合型下向焊是指在长输管道的现场组焊时,采用纤维素型焊条进行根焊、热焊、低氢型焊条填充焊、盖面焊的手工下向焊的焊接工艺。它主要用于焊接韧性要求高和材质级别高的管道。

复合型下向焊是指对其根焊层与热焊层采用下向焊焊接方法,而对填充焊层与盖面焊层才用上向焊焊接工艺。这种焊接方法主要用于焊接壁厚较大的管道。

在国外,综合的焊接应用方案较多。在原苏联,混合型和复合型下向焊焊接方法颇为流行,而在德国,Ruhrgas管道中270 km长的等级为API5L X80管道也采用了混合型下向焊焊接。

2.2.2 半自动焊

半自动焊是指借助于设备进行焊接,但设备只负责填充金属的供给,焊接速度由焊工控制。半自动焊的优点是劳动强度低,工作效率高,焊接质量优,综合成本低。半自动焊接方法为纤维素型焊条手工下向根焊,自保护药芯焊丝半自动焊填充、盖面焊接。焊接熔敷效率高,全位置焊接成型好,环境适应能力强,是目前管道施工的一种重要的焊接工艺方法。目前,

国内主要采用手工焊打底、林肯半自动焊填充盖面方式。

在庫鄯输油管道工程中有160 km采用药芯焊丝半自动保护焊,中油管道一公司在东营至临邑输油管道改造工程中也采用了半自动焊接方法。国内管道施工队伍已经成功的将半自动焊接方法用于国外突尼斯天然气管道和苏丹输油管道工程的施工中。

2.2.3 自动焊

自动焊是指借助于设备进行焊接,设备负责全过程焊接,焊接操作工只起引导作用,对焊接操作工的技能可不作要求。国内的管道自动焊水平较低,目前主要处在研制阶段。

在国外,野外管道施工的自动化焊接技术已得到了较广泛的应用,如美国、加拿大、原苏联等国家在管道施工中均大量采用了自动化焊接设备。国外自动焊系统的主要种类如下^[8]:

(1)自动焊内焊带/外部单焊炬(Automatic internal welding w/ ext. single outside torch)。此系统应用气体保护金属极弧焊工艺。用多达6个焊头(装在内对器上)从内部完成根焊,其余焊道用单焊炬完成。随着焊丝和电源保证技术的改进,熔剂心焊丝工艺将应用于未来的系统上。

(2)自动焊内焊带/外部双焊炬(Automatic internal welding w/ ext. dual torches)。该系统采用相同的基本内焊系统,但在外焊机上增加了一个焊炬。这样,同时可完成两个焊道,第二个焊炬增加了每焊道的焊接金属熔敷,从而提高生产效率。

(3)全自动焊外焊带/铜垫圈(All automatic external welding w/ copper back-up ring)。此系统中根焊(熔透)用铜垫支持,剩余焊道用单/双焊炬完成,提高了产量。

(4)全自动焊外焊不带/铜垫圈(All automatic external welding w/ no back-up ring)。此系统中根焊(熔透)由电源电脑控制,由焊工控制行进速度,其余焊道由单或双焊炬完成。

(5)半自动根焊道与STT(表面张力转换)/剩余焊道用自动或半自动焊(外焊)(Semi-automatic root pass with STT / remainder w/ automatic or semi-automatic systems (all external welding))。STT工艺的最大优点是它不需要昂贵的内焊系统,焊缝的沉淀截面几乎是传统的GMAW沉淀的两倍。但是,STT焊速比内焊系统稍慢,当需要最大工效时,这可能是个缺点。

林肯电气公司的STT焊接工艺对焊缝根焊焊线跟踪控制时无需内部支撑。该工艺可应用到半自动或自动焊模式,剩余焊道用FCAW或GMAW工艺(单或双焊炬)完成。

目前,国内外用于现场焊接且比较成熟的自动焊接技术主要有金属焊丝气体保护自动焊(即熔化极气体保护电弧焊(GMAW))和药芯焊丝自动焊(即管状焊丝气体保护自动焊(FCAW)技术)。焊接设备如美国 CRC - EVANS 自动焊设备在世界范围内应用非常广泛^[7]。

3 焊接方法的选择

焊接方法的选择原则,就是选择一种费用最低而又能最大限度地提高生产率,并且能满足质量要求的焊接方法,其指标包括焊接方法的技术可行性、与施工预定速度的一致性、项目组织方案实现的可能性、焊接方法的能量效益和经济效益,这些指标在管道施工中的差别很大,在施工中就是要选择一种经济有效的焊接方法^[9-10]。

(1)选择焊接方法应考虑的因素包括管子直径、壁厚、管子级别、设计条件、管道长度以及施工地点等。

(2)直径和壁厚主要影响长输管道手工下向焊和(半)自动焊方法的选择。当管径达到某一范围时,可以考虑从手工焊改为(半)自动焊。一般直径小于 600 mm 时,采用手工下向焊;直径大于 600 mm 时,从施工进度上考虑可采用手工焊或自动焊。对大口径管道而言,壁厚同样在很大程度上影响着焊接方法的选择。对于大口径、大壁厚的管道而言,自动焊应该作为优先的选择。

对于长距离油气输送管道,采用自动焊是最佳的选择。另外,在不存在运输以及路由问题时,可采用“双联管”方法。

(3)如果管道设计用于输送酸性介质,或者对焊缝质量有较高的韧性要求,需要认真考虑焊接方法,采取的焊接工艺要得到允许。

(4)一般认为,手工下向焊可用于焊接 X70 等级以下的管道,并且实践证明也是成功的。对于 X70 等级以上的管道,为了保证焊接质量和较高的韧性条件,需要考虑其他的焊接方法。

(5)在野外施工中,管道自动焊能够使焊接工人从野外铺设管道比较繁重、恶劣的工作条件中解脱出来。

4 缺陷的检测^[11]

4.1 缺陷的检测技术

目前,国外管道无损检测技术主要包括射线探伤和超声波探伤。射线检测在国外已沿用了几十年,通常做法是 100% 环缝透照,对大口径管道采用管内爬行者周向一次曝光,对底片进行缺陷评定,并保存全部底片。超声波探伤识别缺陷的能力受评定者经验的影响,其准确性一直受到怀疑。随着计算机技术的

进步和推广,最近几年,自动超声波探伤设备问世,例如英国 AEA Technology 公司开发的管道自动超声检测设备。一组探头沿环焊缝轨道快速检测一周,借助 TOFD(Time of Flight Diffraction)技术和计算机处理,得到结果为三维缺陷的映像和尺寸,可以精确判断缺陷出现在哪道焊缝上,所有数据可以存储并再现。其缺点是焊缝表面缺陷不易反映出来,需配以外观检查。自动超声检测设备已受到越来越多的业主、承包商和政府部门的认同,并在许多重要管道建设中得以推广使用,其代表了管道检测技术的最新发展。

4.2 环焊接头断裂性能和缺陷的安全评定

相对于钢管预制在工厂条件下形成的埋弧焊接头,现场环焊接头是管道断裂的薄弱环节。首先,环焊接头受力复杂,包括焊接拘束应力、残余应力、热应力及地震、滑坡、管道下沟所引起的附加弯曲应力等复杂因素。其次,管道现场恶劣的施工环境不可避免地导致在环焊接头产生各种焊接缺陷。欧美国家从 20 世纪 50 年代起,对环焊接头断裂行为进行了大量研究,从基本强度理论到能量理论,从转变温度方法到断裂力学方法,从线弹性断裂力学到弹塑性断裂力学理论取得了较大的进展。尤其近 20 多年来,裂纹尖端张开位移 COD, J 积分等弹塑性断裂力学概念在管道断裂分析上得到了应用,形成了一套较为完整的理论,并制定了一系列的评定标准,如 API1104, BS4515 规范。

研究表明:在管道正常工作条件下,一定范围内的缺陷不会发生扩展,同样不会影响到管道的安全运行。把通过确定管道环焊接头中缺陷的容限或许用应力外加应力水平来评定管道安全性的方法称为“合于使用”原则(Fitness for purpose)。目前,断裂力学理论(运用 COD 值的方法)和“合于使用”原则在管道断裂研究中的应用,已成为各国学者研究和完善的热点,推出了许多研究成果。

4.3 现场环缝的无损检测技术

受检测设备、检测水平以及经济因素的限制,国内长输管线检测主要采用射线探伤抽检,辅之以 100% 手工超声探伤。这种方法已经远远不能满足当前工程建设的需要。对于薄壁管道焊缝而言,超声探伤结果误差和偶然性极大,往往造成缺陷的漏检和错检。在陕京天然气管道和苏丹管道工程建设中,先后采用了 γ 射线和 X 射线管内爬行者进行探伤,尤其苏丹管道工程采用 100% 射线探伤。

5 焊接技术的发展^[1,5,12]

受管道设计条件及国内制管机组等的限制,国内建设的长输管道焊接方法绝大部分选用手工下向焊。目前,国内的手工下向焊焊接技术工 (下转第 40 页)

阀门的节流进行调节,浪费了 85~200 m 的能量,很不经济。

3.2.2 串联方式运行

采用串联方式运行时,主泵可选用 3 台(两用一备),输量为 43 m³/h,其中扬程为 400 m 的主泵 2 台,扬程为 250 m 的主泵 1 台。3 台主泵所配电机负荷(90 kW,75 kW)、启动电流比并联的主泵所配电机负荷(160 kW)、启动电流都小得多,从而使所选柴油发电机组负荷大大降低。同时使燃油的耗量也有所降低。

当主泵采用串联输送汽油、航煤时,采用 2 台大泵串联运行;输送柴油时,采用 1 台大泵与 1 台小泵串联运行。根据实际运行参数得知:输送汽油、航煤、柴油时,泵提供的能量与管路所消耗的能量正好能满足要求。这样,根据所输油品的不同以及运行参数的变化,采用级差调节,既增加了调节的灵活性,又最大限度节省了由于节流调节造成的能耗损失。

由此可见,根据现有条件,格拉管道昆仑山口泵站(其他泵站也一样)主泵运行方式从管道优化运行角度看,串联运行比并联运行在降低能耗、节省能源、运行合理等方面更具优势。

3.3 旁接流程输送时的优化调节

为提高格拉管道军事经济效益,对以“旁接罐”为主要输送方式的格拉管道全线各站运行工况进行优化是非常必要的。采用旁接油罐流程输送时,旁接油罐起调节上下两站流量的作用。在绝大部分时间内,要求各站段的流量基本相等,即上站来油量与本站出量大体一致,使旁接油罐没有明显的油口进出,不一致只存在于发生流量差而进行调节的过渡过程中;优化运行工况则要求流量尽可能大,使全线以最大可行输量输送,且节流损失尽可能小。要达到此优化运行

之目的,应由经验粗略型工况调节方法向预定方案工况调节方法过渡。前者完全以实际操作经验为基础,各中间站根据进出站流量差和旁接罐液位高低,通过关小或者开大旁接支线下游进泵阀门的方法进行调节,若调节不能满足需要,则采取启动或停运辅泵的措施,但此措施耗能较明显,是一种比较粗略的方法。

预定方案工况调节方法是应用成品油管道输送基本原理和有关公式,通过理论计算和综合实际运行参数,找到全线最大可行流量,以其中最小者作为全线的最大可行流量 Q_{\max} ,并准确计算出各站的出站压力,以确定是否投运辅泵及进行节流。

格拉管道在 27 年的运行中积累了丰富的操作使用经验。可根据前 1 年运行参数的记录拟定当年输油的运行方案,这样更切合该管道实际,也便于计算,同时还可以使其达到工况最优。

4 结束语

针对落差大、存在翻越点、原设计主泵并联运行(改造后已改为串联)、仍存在“旁接罐”输油方式的格拉成品油管道的特点,在考虑其运行方案优化时,应依据现有条件,充分考虑其特殊性。在解决翻越点问题时,采用加减阻剂和合理调节的方法较为合适,主泵运行方式串联比并联在降低能耗等方面更具优势。鉴于该管道有部分时间仍采用“旁接罐”输油方式,其管道调节主要是各站间的调节,为优化全线泵站的运行工况,达到优化运行之目的,应采用预定方案工况调节方法来指导实际输油操作。

参考文献

(上接第 37 页)艺比较成熟,焊工资源充足。管道半自动焊正在逐步应用于管道焊接。存在的主要问题是国产纤维素型下向焊焊条的质量太差,规格不够齐全;低氢型下向焊焊条及药芯焊丝主要依赖于进口。因此,国内应加强低氢型下向焊焊条和药芯焊丝的研发和生产。

由于市场对长距离、大口径、重壁厚管线的施工需求的增加,必然驱动自动焊系统的发展。随着自动焊系统的频繁应用,熟练劳动力队伍不断扩大,启动费用将减少,工时减少、效率增加、质量提高、操作简化等特点将增加人们对各种自动焊的兴趣与使用。随着电力供应的改善以及电脑系统不断适应现场焊接,自动焊将成为管线施工的主要焊接方式。

参考文献

[1] 时效众,孙宏权.输油气管道常用的焊接方法.油气储运.2002,21(2):42-47.

- [1] 何绍军.顺序输送成品油管道主泵运行方式的优选.油气储运,1999,18(12).
- [2] 蒲家宁,蒋仕章.旁接油罐管输方式的最优调节.管道技术与设备,2002(1).
- [3] 蒲家宁.军用输油管线,北京:解放军出版社,2001.
- [2] 薛振奎.我国油气管道和焊接技术.焊接,2002(11):11-14.
- [3] 高泽涛.长输管道焊接技术及发展前景.石油规划设计,2002,13(6):106-109.
- [4] 林忠厚.浅谈输油(气)管道建设焊接技术.焊接技术,2002,31(增刊):5-9.
- [5] 于英姿.自动焊技术在长输管道焊接中的应用.焊管,2001,24(2):47-55.
- [6] 李宪政.长输管线高效焊接技术及焊机特点.焊接技术,2000,12(29)(增刊):34-36.
- [7] 龙金明.大口径管道下向焊接.管道技术与设备,2004(1):33-34.
- [8] 苏欣,黄坤,袁宗明,等.长输管道自动焊现状.焊管,2005,28(4):3-5.
- [9] 徐初雄.焊接技术问答.北京:机械工业出版社,2000.
- [10] 郑平.管道工程施工要点与技术规范全书(1-4)卷.吉林:吉林科学技术出版社,2001.
- [11] 郭爱东.大口径输气管道工程焊接施工技术的现状及展望.石油工程建设,2000(6):1-7.
- [12] 扬俊伟,李岩.全位置自动焊接在管道建设中的应用.油气储运,2001,20(12):27-28.