长输成品油管道环焊缝相控阵检测的应用探析

何显荣　邹绍维
国家石油天然气管网集团有限公司华南分公司　广东　茂名　525000

摘　要：对于长输成品油管道的检测，由于管道输送介质为液态汽油、柴油，不能使用射线检测，近年来，较多采用相控阵超声波（PAUT）检测方法对管道的环焊缝进行检测。目前，相控阵超声波检测工艺评定国内尚未完全成熟，笔者从管道管理方角度出发，结合相控阵检测技术原理、工艺及相关标准规范选取，提出对长输成品油管道环焊缝相控阵检测应用上的一些探析。

关键词：长输成品油管道；环焊缝；相控阵检测；检测应用

十四五以来，国家对能源高质量发展、保障国家能源安全方面的要求日益提高，长输成品油管道的运行压力通常为3-10MPa之间，传输介质为成品汽、柴油，一旦管道环焊缝焊接质量缺陷导致管道泄漏，对国家能源安全和当地生态环境均会造成影响[1]。如何对在营长输管道焊缝质量进行检测、评估，以确保其继续使用显得尤为重要。管道企业有责任做好在营管道的检查、维修，通过定期内外检测排查隐患，及时开展管道环焊缝检测及修复工作。

1 管道环焊缝失效影响因素及相控阵检测原理

1.1 长输成品油管道环焊缝失效影响因素

长输成品油管道发生环焊缝失效的原因主要包括环焊缝焊接缺陷、变壁厚或错边、环焊缝性能不合格、焊接接头低强匹配以及各种因素导致的附加载荷[2]。

1.1.1 环焊缝焊接缺陷

长输成品油管道由于管径比长输天然气管径小、管道采用钢级低，建设期受焊接工艺、焊接条件、人工操作等因素影响，会在环焊缝内产生裂纹、夹渣、气孔、内外表面金属损失、未焊透等缺陷。有研究表明：约80%的管道环焊缝失效与焊接质量有关[3]，是管道环焊缝失效的主要原因。

1.1.2 变壁厚或咬边

管道变壁厚焊接容易形成应力集中点，焊接处易产生焊接缺陷，通常在变壁厚环焊缝处，应力集中在壁厚较小一侧焊趾处。有统计表明：约有50%的在营管道环焊缝失效事故原因出在变壁厚处[4]。

1.1.3 其它原因

管道建设投产后，在环焊缝有缺陷的管道上方或周边形成高填土、占压，导致管道载荷增大引发管道环焊缝失效事故；另一方面是母材选材强度不足，管道在环焊缝处更易发生失效，对于长输成品油管道而言，由于小管径选材韧性较高，此点少见。

1.2 相控阵检测技术原理

超声相控阵（PAUT）技术主要是利用计算机控制单个或多个多晶片探头，从多个角度覆盖扫描同个部位的焊缝，通过控制声束的角度、聚集距离、各芯片的激励振幅和延时，改变声波到达某点的相位关系，从而实现超声波波束的扫描、偏转、聚焦，利用计算机采集处理信号和数据，更加直观的呈现出超声检测结果，为进一步分析缺欠性质提供支持[5]。

2 管道环焊缝相控阵检测的应用分析

2.1 相控阵检测技术工艺选择

以华南地区长输成品油管道为例，茂名-南海/花都的长输成品油管道于2006年4月建成投产，管道全长超700公里，管径273.1/323.9/406.4mm，壁厚5.6/6.4/7.1mm，设计压力9.5MPa，管道材质选用X60级钢管，设计输量1000万吨/年，管道经过粤西沿海地区及珠三角地区，地貌以平原为主，管道线路焊接以人工焊为主。

此段管道环焊缝相控阵检测工艺一般采用多普勒Phcan-32/64设备进行检测，配置5MHz，16晶片探头和SD1-N55S-IHC楔块，考虑到管道内液体对超声波的影响，使用横波斜入射扫描检测，形成扇扫描角度范围35°～70°，为了减小盲区，楔块需尽量靠近焊缝边缘，聚焦深度为2.2倍的板厚。聚焦法采用同时激发16晶片，使用扫查架进行单面双侧扫描，根据焊缝坡口形式设置S扫描范围，尽量采用多角度纵波一次波和二次波进行焊缝检测，由于焊缝宽度等因素限制，实际应用时也采用二、三次波进行焊缝检测。

2.2 无损检测单位和人员资质要求

执行国家标准GB T 32563-2016《无损检测 超声检测 相控阵超声检测方法》及行业标准SY/T4109-2020《石油天然气钢制管道无损检测》和国家管网DEC文件《油气

管道工程相控阵超声检测技术规定》。要求检测单位按DEC文件编制检测工艺规程和操作指导书，并执行实施质量管理工作，检测设备与器材应有法定计量检定机构或授权检定机构的检定合格记录，每组检测人员应至少有2人持有特种设备检测员 UT Ⅱ级资格证书，且应经过国家管网公司认可的PAUT和 TOFD培训，并取得 PAUT Ⅱ级证书。管道单位在检测作业前应对照检查单位资质和人员资质要求，满足后方可开展检测作业。

2.3 缺欠评定评级依据

检测后的数据在经过数据有效性确定后，对数据中管道环焊缝的缺欠位置、长度、深度、数量需开展数据评判和评级，主要执行标准SY T4109-2020《石油天然气钢制管道无损检测》以及国家管网DEC文件《油气管道工程相控阵超声检测技术规定》。两个标准在缺欠的评定和评级上标准是一致的，不允许存在裂纹和外表面未融合，对缺欠的评定分为点状、线状和密集缺欠，其中线状缺欠还分为表面线状和埋藏线状缺欠，对焊缝质量分为4个等级，管道环焊缝检测中常见的线状缺欠的质量分级如下表所示。

表1 质量分级

评定分级	表面线状缺欠		埋藏线状缺欠	
	指示长度	指示高度	指示长度	指示高度
I	不允许		不允许	
II	≤T且12.5mm，300mm范围内累计≤25mm	≤1/3T且≤3mm	≤2T且≤25mm，300mm范围内累计≤50mm	≤1/3T且≤3mm
III	≤2T且25mm，300mm范围内累计≤50mm	≤1/3T且≤4mm	≤2T且≤50mm，300mm范围内累计≤75mm	≤1/2T且≤4mm
IV	大于III级者			

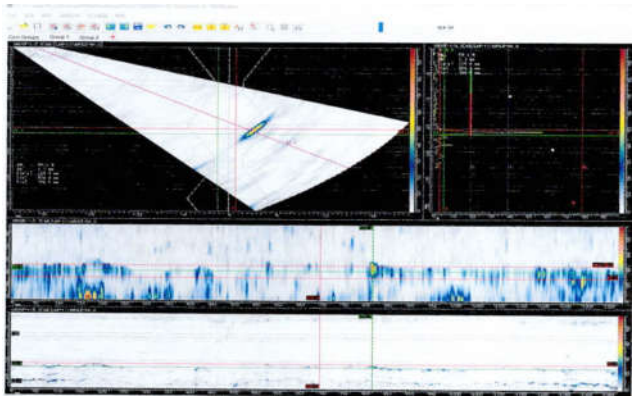

图1 某管道环焊缝相控阵检测扫描图像

管道企业在拿到无损检测报告后，应特别注意报告对缺欠的类别的判定及判定级别是否与标准一致，要求提供缺欠评定的依据，如某管道环焊缝的相控阵检测A,Y,S扫描图像（如图1），自行可结合标准再次对检测评级结果进行复核，如下图所示。检测管道为Φ406*7.1mm成品油管道，该处环焊缝缺欠类型属于埋藏线状缺欠，缺欠长度14mm，缺欠深度0.9mm，缺欠高度0.6mm，波幅高度68.5%，评定焊缝质量级别为II级。

2.4 管道适用性评价标准的选取

若管道环焊缝质量评级为III级或IV级，即判定为环焊缝质量不合格，需将不合格的缺陷委托缺陷适用性评价单位进行环焊缝适用性评价。适用性评价是确定管道在规定的安全极限范围内是否有足够的结构强度来承载运行过程中收到的各种载荷。适用性评价结论会对缺陷是否进行补强修复给出明确结论，并推荐适合的补强方式。常用的评价标准主要有ASME B31G、DNV RP-F101、PCORRC等方法，其中长输成品油管道最常用的评价标准为ASME B31G，作为管道运营管理人员，应对其评价标准进行了解。评价标准应结合缺陷情况进行选取。

3 结语

（1）对在营长输成品油管道环焊缝检测，因管内存油，不便于使用其它检测手段来说，相控阵检测技术能够有效判断管道焊缝的缺陷情况，并具有较高的检出率。

（2）相控阵检测工艺选择上，在长输成品油管道一般选取在横斜波检测，使用一次波和二次波，采用多角度纵波一次波进行检测。

（3）相控阵检测工艺应用上，要特别注意检测单位和人员资质，需满足DEC管控要求方能开展检测作业；对报告的缺欠评定和评级结果，需对照标准及报告图像、数据内容进行复核，以免有错评现象发生；对照缺欠类型选择合适的适用性评价标准。

参考文献

[1]张静.长输油气管道安全隐患及管理措施的探讨[J].炼油与化工，2019，30（04）：47-48.

[2]田中山，戴福俊，帅健，宫敬.成品油管道运行与管理[M].北京：中国石化出版社，2019：2019（27）：171-210.

[3]张振永.高钢级大口径天然气管道环焊缝安全提升设计关键[J].油气储运，油气储运，2020，39（7）：740-748.

[4]陈小伟，张对红，王旭.油气管道环焊缝面临的主要问题及应对措施，[J].油气储运，2021,40（9）；1072-1080.

[5]朱晓恒，高晓蓉，王黎，等. 超声探伤技术在无损检测中的应用［J］. 现代电子技术，2010(21):112－116.