

# 管线钢管生产制造过程中无损检测标准的应用分析

王联国,樊少波,贾鹏军,张 奕,杨力能

(中国石油集团石油管工程技术研究院, 西安 710077)

**摘要:** 钢制石油管材的生产制造过程中涉及很多无损检测标准, 按照国内石油管线管材生产制造中采用的 GB/T 9711—2017《石油天然气工业 管线输送系统用钢管》, API SPEC 5L《管线钢管规范》第 45 版与第 46 版等产品标准, 对石油管线管材产品标准涉及的无损检测标准进行归纳整理并加以比较分析, 为其生产制造中的无损检测工艺制定及质量控制提供保障。

**关键词:** 管线钢管; 无损检测; 标准

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2019)02-0056-05

## Application Analysis of NDT Standard in Line Pipe Manufacturing Process

WANG Lianguo, FAN Shaobo, JIA Pengjun, ZHANG Yi, YANG Lineng

(CNPC Tubular Goods Research Institute, Xi'an 710077, China)

**Abstract:** A lot of NDT standards are involved in the production and manufacturing process of steel oil pipe. According to the standard of GB/T 9711—2017 *Petroleum and Natural Gas Industries-Steel Pipe for Pipeline Transportation Systems* and API SPEC 5L *Specification for Line Pipe* forty-fifth and forty-sixth edition version adopted in the production and manufacturing process of domestic petroleum pipeline, the NDT standards for petroleum pipeline products are summarized and compared.

**Key words:** line pipe; nondestructive testing; standard

一般石油管材包括石油管及管件, 石油管材在生产制造过程中涉及的标准规范较多, 在标准规范的应用过程中会遇到许多问题, 不同用途的管材对应的标准规范要求也不尽相同, 目前国际上关于石油管线管生产执行的标准有 API SPEC 5L 第 45 版《管线钢管规范》、ISO 3183:2012/Amd 1:2017《石油天然气工业 管线输送系统用钢管》, 国内有 GB/T 9711—2017《石油天然气工业 管线输送系统用钢管》等。

管线管在生产过程中涉及多项无损检测方法, 管体及焊缝等的无损检测国内外标准繁多, 如何按照产品标准进行无损检测对产品的质量控制至关重要。

收稿日期: 2018-07-19

作者简介: 王联国 (1969—), 男, 高级工程师, 主要从事石油管材及装备的无损检测及石油管材质量监督检验工作

通信作者: 王联国, 365450917@qq.com

要。笔者对现行非酸性或非海上服役条件钢制石油管线管生产制造执行的 API SPEC 5L 第 45 版、GB/T 9711—2017 等标准中涉及的无损检测内容进行归纳整理, 并对标准使用过程中遇到的问题进行比较说明, 以为管线管材生产制造中的无损检测工艺制定及质量控制提供借鉴。

## 1 管线管生产制造采用的产品标准

目前钢制石油管线管生产执行的标准主要有:

- ① API SPEC 5L 第 45 版, 2013 年 7 月 1 日实施, API SPEC 5L 第 46 版, 2019 年 5 月 1 日生效;
- ② ISO 3183:2012/Amd 1:2017, 2017 年 11 月生效;
- ③ GB/T 9711—2017 标准, 2017 年 12 月 1 日生效。

API 采用 ISO 3183 作为 API SPEC 5L; GB/T 9711—2017 在 ISO 3183:2012 第 3 版和 API SPEC

5L 第 45 版基础上编制;API SPEC 5L 第 46 版与第 45 版相比,主要增加了附录 N《纵向塑性应变能力 PSL2 钢管的订购》,其无损检测采用附录 K《酸性、海上服役条件和/或纵向塑性应变能力条件钢管的无损检测》,附录 K 产品范围增加了纵向塑性应变能力条件钢管,内容无变化。

## 2 管线管产品标准中涉及的无损检测标准

钢制石油管线管生产执行 API SPEC 5L 第 45 版(第 46 版)、ISO 3183:2012/Amd 1:2017、GB/T 9711—2017 标准,在进行无损检测时,可以按照产品标准规定的一种标准或与其等效的标准进行。

按照 API SPEC 5L 第 45 版、ISO 3183:2012/Amd 1:2017、GB/T 9711—2017 标准的要求,可以采用与其等效的标准进行检测,例如用 GB/T 9711—2017 进行电磁(漏磁)检测,超声检测和射线检测,不仅可以采用 ISO 系列标准检测也可采用 SY/T 系列标准检测。

## 3 产品标准对管线管无损检测的规定

管线管无损检测主要包括管体无损检测和管端无损检测两部分:无缝管管体指整根钢管,焊管管体指不包括焊缝和热影响区的整个钢管;管端指不能

被自动检验系统覆盖的部分,对于焊管应不小于 200 mm 管端范围内,但要注意不同的标准规范对管端范围的要求各不相同。

### 3.1 管体无损检测(非酸性或非海上服役条件)

标准要求对于钢级  $\geq L210/A$ (L 表示管线管钢, A 表示钢管等级), 直径  $\geq 60.3$  mm(2.375 in.) 的焊管的焊缝、成品螺旋焊缝钢管上的钢带(卷)/钢板对头焊缝应按表 1 的规定进行 100% 无损检测。要求对钢管焊缝的无损检测采用一种方法或几种方法的组合, 焊缝类型为 SAW(埋弧焊接)和钢带(卷)/钢板对头的射线检测可协商采用射线检测代替超声检测, 见表 1。

标准要求所有 PSL2 无缝(SMLS)管, 以及 PSL1 的钢级为 L245 或 B 级的淬火加回火无缝管, 应按表 2 的规定进行全长(100%)无损检测。

对于在重大项目中使用的管线管, 制造过程中一般执行用户的技术条件, 如目前正在进行的中俄东线工程按照 Q/SYGD 0503.2—2016《中俄东线天然气管道工程技术规范 第 2 部分:X80 级螺旋缝埋弧焊管技术条件》执行, 在技术条件中明确要求钢管应进行焊缝全长 X 射线检测, 同时应在水压试验后进行焊缝全长全焊缝区域纵横向缺陷超声检测。

表 1 钢管焊缝无损检测要求

焊缝类型	电磁	超声	射线
对钢管实施的电阻焊或电感应焊接工艺(EW)	一种方法或几种方法的组合		不适用
对钢管实施的激光焊接工艺(LW)	不适用	要求	不适用
对钢管实施的埋弧焊接工艺(SAW)	不适用	要求 <sup>a</sup>	如果协议
对钢管实施的组合焊接工艺(COW)	不适用	要求	不适用
钢带(卷)/钢板对头	不适用	要求 <sup>a</sup>	如果协议

注:a 要求进行,制造商与购方已协议用射线检测代替超声检测时除外。

表 2 无缝管管体无损检测要求

项目	无损检测方法		
	电磁	超声	磁粉(圆周区域)
任何钢级的 PSL2 钢管		一种方法或几种方法的组合	
L245/B 钢级 PSL1 钢管,淬火加回火		一种方法或几种方法的组合	
除以上钢级外其他钢级的 PSL1 钢管		如果协议,一种方法或几种方法的组合	

### 3.2 管端无损检测(非酸性或非海上服役条件)

对于焊管,如果使用自动超声或自动电磁检测系统时,对任何不能被该自动检验系统覆盖的钢管管端焊缝,应采用手动或半自动超声斜角(声束)法或射线检测方法(选适用者)检验管端焊缝中的缺

陷,否则应切除未检验管端。

对埋弧焊管和组合焊管,应采用射线检测方法对每根钢管至少 200 mm(8.0 in.) 管端范围内的焊缝进行检查。

对于无缝管,如果使用自动超声或自动电磁检

测系统时,对任何不能被该自动检验系统覆盖的钢管管端,应采用手动或半自动超声斜角(声束)法或磁粉检测方法检验管端焊缝中的缺陷,否则应切除未检验管端。

对于管端检测,在 QSYGD 0503.4—2016《中俄东线天然气管道工程技术规范 第4部分:X80 级直缝埋弧焊管技术条件》中要求至少应距管端 300 mm 范围内采用手动超声检测,X 数字射线检测时如存在盲

区,则至少对管端 250 mm 焊缝进行拍片检测;对于钢管,技术条件要求管端应进行磁粉检测或渗透检测。

#### 4 管线管无损检测方法对比分析

##### 4.1 射线检测

###### 4.1.1 射线检测技术

管线管的射线检测,按照表 3 所示的标准方法进行。

表 3 射线检测技术标准

检测技术	标准号	标准名称
射线胶片照相	ISO 10893-6:2011	钢管无损检测 第 6 部分:焊接钢管焊缝缺欠的射线检测
	SY/T 6423.1—2013	钢管无损检测方法焊接钢管焊缝缺欠的射线检测
	ASTM E94-17	工业射线照相胶片射线照相检验的标准指南
数字射线	ISO 10893-7:2011	钢管无损检测 第 7 部分:用于焊接钢管缺陷探测的数字射线检测
	SY/T 6423.5—2014	钢管无损检测方法 第 5 部分:焊接钢管焊缝缺欠的数字射线检测
	ASTM E2698-18	用数字检测器阵列进行射线检测的标准作法
	ASTM E2033-17	用计算机射线照相术(光致发光法)进行射线照相检验的标准实施规程

ISO 10893-6:2011 适用于直焊缝或螺旋焊缝埋弧自动焊钢管的 X 射线胶片照相法检测,也适用于圆形空心部件的检测;ASTM E94-17 适用于 X 射线和  $\gamma$  射线胶片照相法检测;ISO 10893-7:2011 适用于计算机射线照相技术(CR)或使用数字检测器阵列检测直焊缝或螺旋焊缝熔化电弧自动焊钢管的情况,也适用于圆形空心部件的检测;ASTM E2698-18 适用于使用数字检测器阵列(DDA)系统对金属和非金属材料的 X 射线和  $\gamma$  射线检测;ASTM E2033-17 适用于使用穿透辐射发射光致发光法进行 X 射线、 $\gamma$  射线或中子(CR)检测的情况。

SY/T 6423.1—2013 等同采用 ISO 10893-6:2011,SY/T 6423.5—2014 等同采用 ISO 10893-7:2011。ISO、SY/T 标准与 ASTM 标准相比,ASTM 标准适用范围更大一些,另外标准中管线管的射线检测只包含射线胶片照相和数字射线。

###### 4.1.2 成像介质及影像质量要求

要求数字成像能够达到标准要求的灵敏度;胶片应符合 GB/T 19348.1—2014《无损检测 工业射线照相胶片 第 1 部分 工业射线照相胶片系统的分类》的 C4 级或 C5 级或 ASTM E1815-08(2013)e1《工业射线照相胶片系统分类标准测试方法》中的 I 级或 II 级(见表 4),且应使用铅增感屏;射线底片的黑度不应低于 2.0,焊缝的黑度不低于 1.5;达到所用胶片类型的最大对比度。标准中黑度给出了下限,上限没有要求;最大对比度无法量化或测量,很

难实现。

表 4 常用胶片的牌号型号

胶片系统	常用胶片的牌号型号				
	对应的类别				
GB/T 19348.1—2014	ASTM E1815-08(2013)e1	FUJI	AGFA	KODAK	
C1	特殊用途	IX25	D2	DR50	
C2	I	—	D3	M100	
C3	I	IX50	D4	MX125	
C4	I	IX80	D5	T200	
C5	II	IX100	D7	AA400	
C6	III	IX150	D8	CX	

###### 4.1.3 像质计

按照 GB/T 23901.1—2009《无损检测 射线照相底片像质 第 1 部分:线型像质计像质指数的测定》、ISO 19232-1:2004《无损检测 射线照相底片像质 第 1 部分:线型像质计 像质指数的测定》或 ASTM E747-04(2010)《射线检验用线型像质计(IQI)的设计、制造和材料组分类标准作法》选用 ISO 或 ASTM 线型像质计(IQIS),如果使用其他标准的像质计,其灵敏度应与线型像质计的灵敏度相同或更高。所采用的像质计(IQI)应横跨焊缝放置在代表完整余高的焊缝上,且应包含两种基本线径,一种线径由具有完整余高的焊缝厚度确定,另一种线径由无余高的焊缝厚度确定。

GB/T 23901.1—2009 等同采用 ISO 19232-1:2004。

#### 4.1.4 设备校验(标定)

进行动态检验时,应使用像质计校验灵敏度和检验工艺的适用性。采用射线胶片时,每张底片应有像质计。实施时,只应采用在射线源一侧的像质计对图像质量进行检查。

初始检验系统的确认过程中,探测器的空间分辨率除采用像质计进行测定外,还应采用双丝型像质计进行测定。

#### 4.1.5 射线检测发现缺欠

判定缺欠是否能够验收,应考虑的重要因素是缺欠尺寸、间隔以及在规定长度内缺欠的直径之和。所有圆形缺欠采用同样的验收极限,包括圆形夹渣和气孔型缺欠。由射线检测发现的裂纹、未焊透和

未熔合应判定为缺陷。

#### 4.1.6 射线检测图像的可追溯性

射线检测图像应追溯到相应的钢管。

### 4.2 超声检测和电磁检测

#### 4.2.1 检测技术

管线管的超声检测和电磁检测,按照表 5 所示方法进行。

(1) ISO 10893-8:2011 适用于无缝钢管和焊管(埋弧焊除外)管体及热影响区母材分层缺欠的超声检测,ISO 10893-9:2011 适用于焊接钢管制造的板带分层缺欠的超声波检测,ISO 10893-10:2011 适用于无缝钢管和焊接(埋弧焊除外)钢管纵向或横向缺欠的常规超声或相控阵检测,ASTM A435/A435M-17 适用于厚度在 12.5 mm 以上的碳和合金轧制钢板直声束脉冲反射法超声波检测,

表 5 超声检测和电磁检测技术标准

检测技术	标准号	标准名称
	ISO 10893-8:2011	钢管无损检测 第 8 部分:无缝钢管和焊管之分层缺欠的自动超声波检测
	ISO 10893-9:2011	钢管无损检测 第 9 部分:用于焊接钢管制造的板带分层缺欠的自动超声波检测
	ISO 10893-10:2011	钢管无损检测 第 10 部分:无缝钢管和焊接(埋弧焊除外)钢管纵向和/或横向缺欠的自动全周向超声检测
超声检测 (管体)	SY/T 6423.4—2013	石油天然气工业 钢管无损检测方法 第 4 部分:无缝和焊接钢管分层缺欠的自动超声检测
	SY/T 6423.3—2013	石油天然气工业 钢管无损检测方法 第 3 部分:焊接钢管用钢带/钢板分层缺欠的自动超声检测
	ASTM A435/A435M-17	钢板直声束超声检验标准规范
	ASTM A578/A578M-17	特殊用途轧制钢板的直声束超声检验标准规范
	ASTM E213-14e1	金属管超声检验标准作法
自动超声检测 (焊缝)	ISO 10893-11:2011	焊接钢管焊缝纵向和/或横向缺欠的自动超声波检测方法
	SY/T 6423.2—2013	石油天然气工业 钢管无损检测方法 第 2 部分:焊接钢管焊缝纵向和/或横向缺欠的自动超声检测
	ASTM E273-15	焊管焊缝区超声检测标准作法
	ISO 10893-11:2011	焊接钢管焊缝纵向和/或横向缺欠的自动超声波检测方法
	SY/T 6423.2—2013	石油天然气工业 钢管无损检测方法 第 2 部分:焊接钢管焊缝纵向和/或横向缺欠的自动超声检测
手动超声检测 (焊缝)	ASTM E164-13	焊接件的接触式超声检测标准作法
	ASTM E587-15	接触式超声斜射法检测标准作法
	ISO 10893-3:2011	无缝和焊接(埋弧焊除外)铁磁性钢管纵向和/或横向的缺欠的自动全周漏磁检测
电磁检测 (漏磁)	SY/T 6423.6-2014	石油天然气工业 钢管无损检测方法 第 6 部分:无缝和焊接(埋弧焊除外)铁磁性钢管纵向和/或横向缺欠的全周自动漏磁检测
	ASTM E570-15e1	铁磁性钢管产品漏磁检验标准作法
	ISO 10893-2:2011	钢管无损检测 第 2 部分:无缝钢管和焊接(埋弧焊除外)钢管缺欠的自动涡流检测
电磁检测 (涡流)	ASTM E309-16	钢管产品磁饱和涡流检验标准作法

ASTM A578/A578M-17 适用于厚度在 10 mm 以上的特殊用途碳和合金轧制钢板直声束脉冲反射法超声波检测,ASTM E213-14e1 适用于金属管材脉冲反射法超声波检测。

(2) ISO 10893-11:2011 适用于埋弧焊或电阻和感应焊接(EW)钢管焊缝纵向和/或横向的缺欠检测(常规超声或相控阵),ASTM E273-15 适用于管径为 50 mm 以上、壁厚为 3~27 mm 的金属管材焊缝的超声检测。

(3) ASTM E164-13 适用于手动脉冲 A 扫描反射法对黑色及铝合金焊缝的检测,ASTM E587-15 适用于接触式脉冲斜射法超声检测。

(4) ISO 10893-3:2011 适用于外径不小于 10 mm 的铁磁性无缝和焊接钢管的全周自动漏磁检测,ASTM E570-15e1 适用于直径为 12.7~610 mm,壁厚不大于 12.7 mm 的铁磁性钢管产品的漏磁检测。

(5) ISO 10893-2:2011 适用于外径不小于 4 mm 的无缝和焊接管的自动涡流检测(埋弧焊管除外),ASTM E309-16 适用于铁磁性管材的涡流检测。

SY/T 6423.3—2013 等同采用 ISO 10893-9:2011,SY/T 6423.4—2013 等同采用 ISO 10893-8:2011;SY/T 6423.2—2013 等同采用 ISO 10893-11:2011;SY/T 6423.6—2014 等同采用 ISO 10893-3:2011。ISO、SY/T 系列标准与 ASTM 相比,ASTM 适用范围更大,而 ISO、SY/T 系列标准对被检产品的限制更多。

#### 4.2.2 对比标样

对比标样应包含标准规定的参考反射体,可以是一个或多个机加工刻槽,或一个或多个径向钻孔;对比标样上的参考反射体之间应有间隔,以便足以产生分辨的信号;对比标样应通过鉴定。

#### 4.2.3 设备校准(标定)

制造商应采用文件化的程序确定超声检测或电磁检测(选适用者)的拒收门限。在正常工

作条件下,应能够检测出相关标准规定的参考反射体。

#### 4.2.4 验证系统能力的记录

用参考反射体确定设备检测灵敏度时,制造商应保存验证系统检验能力的无损检测(NDT)系统记录。这些验证性记录至少应包括覆盖面计算(如扫描方案)、对预定壁厚的检测能力、重复性、检测制管工艺产生的典型缺陷的探头布置方法、采用适用无损检测方法检测出制管工艺的典型缺陷的证明资料、门限设定参数等内容。

#### 4.2.5 验收极限

由参考反射体产生的信号验收极限应符合标准规定。焊管超声检测系统在动态检验模式下发现的任何大于标准规定验收极限的缺欠应判为缺陷,而以下情况之一者除外:

(1) 在静态模式下,超声检测系统发现的缺欠,其产生的信号幅度小于标准规定的适用验收极限,且信号幅度确实是该缺欠产生的最大幅度。

(2) 确定产生信号的缺欠是表面缺欠,但非表面缺陷。

(3) 对于埋弧焊和组合焊管,通过射线检测确定引起超标信号的缺欠是满足标准规定的夹渣型缺欠或者气孔型缺欠。

除非表面缺陷和夹渣型缺欠或者气孔型缺欠允许外,超声检测发现的缺陷不应依据随后的射线检测归类为缺欠。对于无缝管,除确定产生超标信号的缺欠不是表面的缺陷外,产生的回波信号幅度大于标准中适用验收极限的任何表面缺欠应判为缺陷。对于组合焊缝,对任何高度大于背景噪声,长度大于 25 mm 的连续信号,应采用符合标准规定的射线检测方法复检或协议规定的其他检测方法复验。

### 4.3 磁粉检测

#### 4.3.1 检测技术

管线管的磁粉检测按照表 6 所述方法进行。

表 6 磁粉检测技术标准

标准号	标准名称
ISO 10893-5:2011	钢管无损检测 第 5 部分:无缝钢管和焊接钢管表面缺欠的磁粉检验
SY/T 6423.7—2017	石油天然气工业 钢管无损检测方法 第 7 部分:无缝和焊接铁磁性钢管表面缺欠的磁粉检测
ASTM E709-15	磁粉检验标准指南

ISO 10893-5:2011 适用于无缝钢管和焊接钢管表面缺欠的磁粉检测,包括钢管内外表面及端面

的检测;ASTM E709-15 适用于铁磁性材料表面及近表面裂纹或其他不连续性的检测。

## 2019 年《无损检测》专题报道计划

2019 年,《无损检测》编辑部计划开展三个专题报道:应力无损测试技术应用、数字 X 射线检测技术发展与应用、《中国 2025 无损检测技术发展路线图》。具体内容如下:

### 1 应力无损测试技术应用

应力的无损测试,对确保结构件的安全性和可靠性有着重要的意义。《无损检测》期刊拟于 2019 年第 6 期组织“应力无损测试技术应用”专题。专题在介绍应力无损测试技术理论及特点的基础上,介绍常用的应力无损测试方法,并以工程检测应用为例,综述应力无损测试技术的国内外发展、研究现状与未来发展趋势。

### 2 数字 X 射线检测技术发展与应用

近年来,随着计算机数字图像处理技术的发展,数字 X 射线检测技术获得了快速的发展并逐步广泛应用于航空、航天、石油化工等工业领域。《无损检测》期刊拟于 2019 年第 10 期组织“数字 X 射线检测技术发展与应用”专题。专题在介绍其工作原

理、技术特点的基础上,综述数字 X 射线检测技术的国内外发展、研究现状及未来发展趋势;并以工程检测应用为例,介绍其在无损检测领域的应用进展。

### 3 《中国 2025 无损检测技术发展路线图》

对中国机械工程学会无损检测分会组织编制的《中国 2025 无损检测技术发展路线图》进行报道(计划 2019 年 7~12 期),以超声、射线、电磁、磁粉渗透、新技术等专业,航空航天、特种设备、铁路、石油化工、核电、汽车、建筑等行业为主线,重点介绍我国无损检测“十三五”发展目标、2025 中长期发展目标及发展路线图。

其中专题一、二面向行业内相关专家、学者及工程检测人员征稿,来稿时请登录“材料与测试网”[www.mat-test.com](http://www.mat-test.com),选择“在线投审稿”下的“无损检测-作者投稿”入口。另请在投稿时于文题处注明“专题”字样,以便快速处理该专题稿件。

《无损检测》编辑部

2019.01

~~~~~

SY/T 6423.7—2017 等同采用 ISO10893-5:2011,ISO、SY/T 系列标准与 ASTM 相比,ASTM 通用性更强。

#### 4.3.2 无缝钢管

如果磁粉检测用于纵向缺陷的检验,则整个钢管外表面均应按照标准检验;标准只提出了对无缝钢管磁粉检测的要求。

#### 4.3.3 设备及对比标样

磁粉检测设备应能产生满足标准要求的足够强度的磁场;试验应采用生产过程中的钢管,或制造商保留的有自然或人工制造的缺陷类似样管。

### 5 结语

国内石油管线管材生产制造过程中涉及的产品标准包括 GB/T 9711—2017 及 API SPEC 5L 第 45 版(API SPEC 5L 第 46 版)等标准,钢制石油管材的产品标准涉及很多不同类别的无损检测标准,合理使用适宜的无损检测标准规范对石油管线管材产品的质量控制至关重要,因此在工作中要根据不同的检测产品、产品规范选择合适的无损检测方法,制定合理的无损检测工艺,才能保证产品的安全可靠性。

欢迎网上投稿 欢迎订阅 欢迎刊登广告