

压力管道建造过程中焊接接头射线检测标准 比较与分析

于 磊

(安徽省特种设备检测院, 合肥 230051)

摘要: 压力管道按属性和用途分类, 可分为工业、公用及长输管道, 其焊接接头射线检测执行标准涉及NB/T 47013. 2, GB/T 12605及SY/T 4109, 此三项标准在检测适用性、检测工艺及检测质量分级等方面存在一定区别, 系统比较并分析了其相关特点和差异, 为从事压力管道设计、施工、检测及建造监督的相关人员提供参考, 尤其建议设计和业主者应对上述标准进行综合选用。

关键词: 压力管道; 焊接接头; 射线检测; 工艺; 质量分级

中图分类号: TG115.28 文献标志码: A 文章编号: 1000-6656(2024)07-0092-05

Comparison and analysis on radiographic testing standards for welded joints in pressure pipeline construction process

YU Lei

(Anhui Special Equipment Inspection Institute, Hefei 230051, China)

Abstract: Pressure pipelines are classified into industrial, public, and long-distance pipelines based on their properties and uses. The radiographic testing standards for their welded joints involve NB/T 47013.2, GB/T 12605, and SY/T 4109. There are certain differences among the three standards in terms of testing applicability, testing process, and testing quality grading. This paper systematically compared and analyzed the relevant characteristics and differences, providing reference for personnel engaged in pressure pipeline design, construction, testing, and construction supervision, especially reminding designers and owners to comprehensively select the above standards.

Key words: pressure pipeline; welding joints; radiographic testing; processes; quality grading

压力管道是重要的特殊承压设备系统, 按属性和用途分类, 可分为工业、公用及长输管道。压力管道是由各承压组件通过焊接等方式构成的密闭系统, 承担着内压、输送介质、外部荷载等作用。目前, 我国压力管道建造过程中的焊接方式基本为电弧焊。电弧焊质量通过焊接工艺、焊接管理、焊工技能水平保证, 必须承认近年来压力管道焊接质量已经有了很大提高, 但焊接部位相对管道承压组件本体而言依旧是薄弱环节, 所以对焊接接头的质量

仍需重点关注。管道焊接质量的检测分为有损检测及无损检测, 有损检测方法在焊接工艺评定验证、焊接接头失效分析等场合使用, 有一定局限性。而无损检测方法灵活性强, 在焊前、焊中、焊后及焊后服役过程中均能使用, 出具的无损检测结果可用来焊接工艺的改进进而提高焊接质量, 已成为管道焊接质量控制的关键措施^[1], 因此无损检测在压力管道建造过程中具有重要应用价值。无损检测方法主要包括射线、超声、电磁等技术。在众多焊接接头内部质量无损检测方法中, 射线检测因具有结果客观、易于掌握与操作、媒介可储存等优点而应用最为广泛。国内关于压力管道建造过程中焊接接头胶片法射线检测的标准主要有以下3项。工业管道主要执行NB/T 47013. 2—2015《承压设备无损检测 第

收稿日期: 2024-01-03

作者简介: 于 磊(1983—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事压力管道、焊接等方面检验检测及研究工作

通信作者: 于 磊, 467511091@qq.com

2部分：射线检测》，该标准前身为JB 4730—1994，JB/T 4730. 2—2005；公用管道涉及GB/T 12605—2008《无损检测 金属管道熔化焊环向对接接头射线照相检测方法》，该标准前身为GB/T 12605—90；长输管道主要执行SY/T 4109—2020《石油天然气钢质管道无损检测》，该标准前身为SY/T 4109—2005，SY/T 4109—2013。从上述标准名称可以看出，NB/T 47013. 2—2015为适用于含压力管道的承压设备的通用射线检测标准，GB/T 12605—2008及SY/T 4109—2020则是管道专项射线检测标准，三项标准关于压力管道在检测适用性、检测工艺、检测质量分级等方面都存在一定特点及差异，文章将对这些特点与差异进行分析。

1 检测适用性方面的特点及差异分析

三项标准在适用材料、检测壁厚、焊接接头形式上的表述有所区别和联系，其在检测适用性上的特点如表1所示。

从材料来看，NB/T 47013. 2与GB/T 12605适用材料一致，SY/T 4109仅适用于钢材料，实际上工业管道系统会涉及钢及各种有色金属材料，而公用及长输管道基本是钢材料。三项标准规定的检测壁厚下限均为2 mm，检测上限都不一致，检测上限能够满足各类管道实际壁厚需求，但工业管道系统有时存在名义壁厚小于2 mm的情况（满足设计、强度等要求），而NB/T 47013. 2标准的检测下限仅为2 mm。NB/T 47013. 2所述“环向焊接接头”说法与另两项标准不一致，实际上，NB/T 47013. 2中的“环向焊接接头”不仅包括普遍意义上的“环向对接接头”，也包括插入式和安放式接管环向角接接头情形。

2 检测工艺方面的特点及差异分析

射线检测工艺包括检测技术等级、透照方式、非中心透照时最少透照次数、射线胶片、射线能量、像质计灵敏度等，三项标准在射线检测主要透照工艺上的特点如表2所示。

从表2可以看出，NB/T 47013. 2与GB/T 12605

对于检测技术等级的表达不完全一致，SY/T 4109无检测技术等级说法；NB/T 47013. 2与GB/T 12605中的透照方式完全一致，而SY/T 4109相对前两者缺少单壁外透法；对于100%定向照射最少透照次数；NB/T 47013. 2中B级检测最严（需控制 $K \leq 1.06$ ）；GB/T 12605未明确检测技术等级、射线源种类、材料强度等级与对应胶片类别选用关系；考虑到像质计置于源侧相对于胶片侧灵敏度会降低，SY/T 4109规定线型像质计置于源侧时应通过对比试验确定相应灵敏度。

3 质量分级方面的特点及差异分析

3.1 质量分级一般要求

以钢焊接接头为对象，三项标准关于质量分级的一般要求如表3所示。

从缺陷类型看，SY/T 4109给出8类缺陷，GB/T 12605仅给出6类；GB/T 12605未对未熔合和未焊透进行定义，NB/T 47013将未熔合分为侧壁、层间和根部未熔合，GB/T 12605和NB/T 47013. 2在质量分级时均未对未熔合和未焊透进行细分，SY/T 4109把未熔合分为表面（外表面和根部）未熔合、夹层（层间、坡口）未熔合，SY/T 4109中坡口未熔合相当于NB/T 47013中侧壁未熔合，NB/T 47013未提及外表面未熔合。SY/T 4109把未焊透分为根部、错边及中间未焊透，错边未焊透按根部未焊透评定；SY/T 4109中非固定连头低碳钢低合金钢Ⅱ级、Ⅲ级接头中允许存在一定尺寸的影像黑度不超过较薄侧母材影像黑度的根部未熔合、夹层未熔合、根部未焊透、中间未焊透、条形缺陷，GB/T 12605中Ⅱ级、Ⅲ级允许存在一定尺寸的未焊透，NB/T 47013. 2中不加垫板单面焊Ⅱ级接头中允许存在一定尺寸的未焊透；SY/T 4109无综合评级相关规定。

3.2 未熔合和未焊透的质量分级

SY/T 4109关于夹层未熔合、中间未焊透、根部未焊透、错边未焊透，NB/T 47013. 2及GB/T 12605关于未焊透的质量分级如表4、5所示。

SY/T 4109对夹层未熔合、中间未焊透，以宽度、长度并结合黑度（可以表征深度）进行评级，对

表1 三项标准的检测适用性

项目	NB/T 47013.2	GB/T 12605	SY/T 4109
材料	适用钢及有色金属（含镍、铜、铝、钛）	适用钢及有色金属（含镍、铜、铝、钛）	仅适用钢（含低碳钢、低合金钢、不锈钢）
检测壁厚范围/mm	≥2	2~175	2~50
焊接接头形式	环向焊接接头	环向对接接头	环向对接接头

表2 三项标准中明确的主要透照工艺

项目	NB/T 47013.2	GB/T 12605	SY/T 4109
检测技术等级	分为AB、B两级, 对应中、高灵敏度; 通常采用AB级检测, 特殊情况下采用B级检测(建造过程中不允许采用A级检测)	分为A、B两级, 对应中、高灵敏度; 通常采用A级检测, 较高或特殊要求下采用B级检测	无检测技术等级说法
透照方式	包括内透法(中心透照、偏心透照)、外透法(单壁外透、双壁单影、双壁双影椭圆成像、重叠成像)(双壁双影针对小径管)		相对前二者, 缺少单壁外透法
100% 照射最少透照次数		100 mm < 外径 ≤ 400 mm 的环向对接接头(单壁外透、偏心内透、双壁单影), $K \leq 1.2$ (AB级); 此外采用双壁单影进行A级检测, 除满足上述要求外, 还应满足射线源至管道外表面距离与最少透照次数的相关规定	与NB/T 47013.2中AB级检测技术等级规定一致
	$K \leq 1.06$ (B级)	$K \leq 1.1$ (B级)	
小径管双壁双影透照	倾斜透照次数跟壁厚与直径的比值有关, 与检测级别无关 垂直透照一般透照3次, 与检测级别无关	A级倾斜透照最少透照次数与管径有关 垂直透照及用B级检测技术的倾斜透照规定同NB/T 47013.2	规定同NB/T 47013.2
射线胶片	分6类: C1~C6。C1~C6胶片类别等级依次降低; AB级检测采用C5以上类别胶片, B级检测采用C4以上类别胶片; γ 射线、高能X射线和标准抗拉强度在540 MPa以上的高强材料采用C4以上类别胶片	分4类: T1~T4。T1~T4胶片类别等级依次降低(GB/T 12605引用GB/T 19348.1—2003, 最新为GB/T 19348.1—2014) (这里T2相当于C4, T3相当于C5, T4相当于C6)	胶片类别和等级同NB/T 47013.2; X射线采用C5以上类别胶片; γ 射线和标准抗拉强度540 MPa以上的高强材料采用C4以上类别胶片; 透照厚度大于40 mm时, 可选用C5类胶片, 以提高感光速度
射线能量	在保证穿透力的前提下, X射线照相选用较低的管电压		
线型像质计灵敏度	单壁透照像质计置于源侧、双壁双影像质计置于源侧、双壁(单、双)影像质计置于胶片侧: NB/T 47013.2中AB级灵敏度与GB/T 12605中A级一致, NB/T 47013.2中B级灵敏度与GB/T 12605中B级一致	仅规定像质计放于胶片侧时的灵敏度, 与NB/T 47013.2中AB级、GB/T 12605中A级规定一致; 放于射线源侧时灵敏度应通过对比试验确定	

表3 三项标准关于质量分级的一般要求

项目	NB/T 47013.2	GB/T 12605	SY/T 4109
缺陷类型	分7类: 裂纹、未熔合、未焊透、条形缺陷、圆形缺陷、根部内凹、根部咬边	分6类: 相对于NB/T 47013.2缺少咬边	分8类: 相对于NB/T 47013.2增加烧穿
接头分级一般规定	分4级: I、II、III、IV级。I级: 不允许存在裂纹、未熔合、未焊透、条形缺陷、根部内凹和根部咬边 II级和III级: 不允许存在裂纹、未熔合和垫板单面焊未焊透 IV级: 缺陷超过III级者、黑度较大的深孔及长径>1/2壁厚的圆形缺陷	分4级: I、II、III、IV级。I级: 不允许存在裂纹、未熔合、未焊透、条形缺陷 II级和III级: 不允许存在裂纹、未熔合 IV级: 超过III级者、氩弧焊打底时产生的根部未焊透及长径>1/2壁厚的圆形缺陷	分4级: I、II、III、IV级。I级: 不允许存在裂纹、未熔合、未焊透、条形缺陷、内凹、内咬边和烧穿 II级和III级: 不允许存在裂纹、外表未熔合 IV级: 缺陷超过III级者, 固定连头接头和不锈钢接头根部未熔合、根部未焊透, 焊口返修部位的未熔合、未焊透, 非固定连头接头和非不锈钢接头中影像黑度超过较薄侧母材影像黑度者的根部未熔合、夹层未熔合、根部未焊透、中间未焊透、错边未焊透、条形缺陷; 黑度较大的针孔、柱孔及长径>1/2壁厚的圆形缺陷
综合评级	条形缺陷评定区内同时存在多种缺陷, 分别评定评定区内各种缺陷, 取最低级别作为综合评级级别; 当各种缺陷级别相同时, 降低一级作为最终级别, 最差为IV级	在评定区内, 同时存在几种缺陷, 先按各种缺陷分别评级, 然后将各自评级之和减1作为最终级别, 最差为IV级	无综合评级规定

根部未熔合、根部未焊透、错边未焊透, 以长度并结合黑度进行评级; NB/T 47013.2及GB/T 12605对未焊透均以深度和长度进行评级, 而未考虑到宽度

对评级的影响。

3.3 条形缺陷和圆形缺陷的质量分级

三项标准对条形缺陷的质量分级如表6所示。

表4 SY/T 4109关于夹层未熔合、未焊透的质量分级

质量分级	非小径管夹层未熔合、中间未焊透	小径管夹层未熔合	根部未熔合、根部未焊透、错边未焊透
II、III级	在黑度不大于相邻较薄侧母材影像黑度前提下,按宽度、单个缺陷长度、累计缺陷长度分级		不考虑宽度,在黑度不大于相邻较薄侧母材影像黑度前提下,按单个缺陷长度、累计缺陷长度进行分级
IV级		大于III级者或影像黑度超过相邻较薄侧母材影像黑度者	
说明:两个以上缺陷在同一直线上且相邻缺陷的间距≤较小缺陷长度时作为一个缺陷,间距不计入缺陷长度。			

表5 NB/T 47013.2, GB/T 12605关于未焊透的质量分级

质量分级	NB/T 47013.2		GB/T 12605					
	非小径管不加垫板单面焊未焊透	小径管不加垫板单面焊未焊透	非小径管未焊透	小径管未焊透				
II、III级	按深度、单个缺陷最大长度、缺陷累计长度分级	按深度、未焊透总长与焊缝总长之比分级	同NB/T 47013.2非小径管	同NB/T 47013.2小径管				
IV级	大于III级者		大于III级者					
— 说明:对断续未焊透,以未焊透本身的长度累加计算总长度								
说明:两个以上未焊透在任意直线上且相邻间距≤较小未焊透长度时作为单个未焊透处理,间距计入未焊透长度,否则应分别评定								

表6 三项标准关于条形缺陷的质量分级

质量分级	NB/T 47013.2	GB/T 12605	SY/T 4109	
			非小径管条形缺陷	小径管条形缺陷
II、III级	按单个缺陷最大长度、一组条形缺陷累计最大长度分级	按单个缺陷长度、断续缺陷累计长度分级	在黑度不大于相邻较薄侧母材影像黑度前提下,按缺陷宽度、单个缺陷长度、缺陷累计长度分级	
	说明:①当两个以上条形缺陷在任意直线上相邻间距≤较小条形缺陷尺寸时,作为单个条形缺陷处理,间距计入条形缺陷长度。任意直线是指与接头方向平行的、具有一定宽度的矩形区, $T \leq 25 \text{ mm}$ 宽度为4 mm; $25 \text{ mm} < T \leq 100 \text{ mm}$ 宽度为6 mm; $T > 100 \text{ mm}$ 宽度为8 mm; ②GB/T 12605两个以上缺陷不按本说明①进行评定时应单独评定		说明:两个以上缺陷在同一直线上且相邻缺陷的间距不大于较小缺陷长度时作为一个缺陷处理,间距长度不计入缺陷长度	
IV级	大于III级者		大于III级者或影像黑度超过相邻较薄侧母材影像黑度者	

关于圆形缺陷,三项标准在缺陷评定区尺寸、缺陷点数换算、不计点数的缺陷尺寸及厚度 $\leq 5 \text{ mm}$ 和 $>10 \text{ mm}$ 的接头各级别允许的圆形缺陷点数的上限值一致,关于 $5 \text{ mm} < \text{壁厚 } T \leq 10 \text{ mm}$ 的接头各级别允许的圆形缺陷点数的上限值如表7所示。

NB/T 47013.2及GB/T 12605关于条形缺陷的质量分级关键在长度,SY/T 4109按条形缺陷的宽度、长度并结合黑度(以三维角度)对条形缺陷进行分级;SY/T 4109在对于 $5 \text{ mm} < T \leq 10 \text{ mm}$ 的焊接接头圆形缺陷质量分级比NB/T 47013.2及GB/T 12605要松,SY/T 4109对黑度较大的柱孔及针孔、NB/T 47013.2对黑度较大的深孔缺陷评为IV级,而GB/T 12605中未给出针孔、柱孔或深孔的

相关概念。

3.4 内凹、咬边及烧穿的质量分级

NB/T 47013.2关于根部内凹及根部咬边、GB/T 12605关于根部内凹、SY/T 4109关于内凹、咬边及烧穿的质量分级如表8至表10(表10中根部弧坑按烧穿评定)所示。

从表8至表10可以看出,GB/T 12605中I级接头允许存在一定尺寸的内凹,NB/T 47013.2及GB/T 12605参照内凹和咬边的深度和长度进行评级,SY/T 4109按内凹、咬边的长度及烧穿的长度、个数并结合相应黑度进行评级;黑度在SY/T 4109的多种缺陷评定中均有应用,评级时应加以注意。

表7 $5 \text{ mm} < T \leq 10 \text{ mm}$ 的焊接接头圆形缺陷质量分级(允许点数的上限值)

质量分级	NB/T 47013.2	GB/T 12605	SY/T 4109
I级	1	1	2
II级	3	3	6
III级	6	6	12
IV级	缺陷点数大于III级,或缺陷长径大于 $T/2$		

表8 NB/T 47013.2关于根部内凹及根部咬边, GB/T 12605 及 SY/T 4109 关于内凹的质量分级

质量分级	NB/T 47013.2		GB/T 12605	SY/T 4109	
	非小径管根部内凹、根部咬边	小径管根部内凹、根部咬边	内凹	非小径管内凹	小径管内凹
I 级	不允许			不允许	
II 、III 级	按最大深度、累计长度分级 说明：对断续根部内凹和咬边，以根部内凹和咬边本身的长度累加计算总长度		按深度、内凹累计长度分级	按单个长度、累计长度并结合黑度分级(注意当内凹影像黑度不大于较薄侧母材黑度时，长度多长均评为 II 级)	按累计长度分级
IV 级	缺陷大于 III 级者		缺陷大于 III 级者	缺陷大于 III 级者	缺陷大于 III 级者

表9 SY/T 4109 关于内咬边的质量分级

质量级别	非小径管内咬边	小径管内咬边
II 、III 级	按单个缺陷长度、缺陷累计长度并结合黑度分级	在黑度不大于相邻较薄侧母材影像黑度前提下，按累计长度分级
IV 级	大于 III 级者	大于 III 级者或影像黑度超过相邻较薄侧母材影像黑度者

表10 SY/T 4109 关于烧穿缺陷的质量分级

质量级别	非小径管烧穿	小径管烧穿
II 、III 级	按单个缺陷长度、缺陷累计长度并结合黑度分级(注意当烧穿影像黑度不大于较薄侧母材黑度时，长度多长均评为 II 级)	按缺陷长度分级
IV 级	大于 III 级者	大于 III 级者或任意尺寸的缺陷多于 1 个

4 结论

射线检测是压力管道建造过程中检验焊接接头质量的重要技术手段，文章系统比较与分析了压力管道建造过程中涉及的三项射线检测标准在检测适用性、检测工艺、检测质量分级方面的特点与差异，得出如下结论。

(1) NB/T 47013. 2 标准在材料、检测壁厚范围、适用接头形式上的规定更全面，具有普适性；未考虑工业管道建造过程中名义壁厚低于 2 mm 的实际情形；用 B 级检测技术进行 100% 定向照射时的最少透照次数最严(保证 $K \leqslant 1.06$)。

(2) GB/T 12605 未明确检测技术等级、射线源种类、材料强度水平与对应胶片类别选用关系，没有给出针孔、柱孔或深孔的相关概念；对内凹评级较松。

(3) SY/T 4109 无检测技术等级说法；相对 NB/T 47013. 2 及 GB/T 12605，缺少单壁外透方式；规定线型像质计放于射线源侧时灵敏度应通过对比试验确定；规定的缺陷种类较全(有 8 类)，GB/T 12605 仅有 6 类；无综合评级相关规定；对夹层未熔合、中间未焊透、条形缺陷评级考虑到宽度影响，而 NB/T 47013. 2 及 GB/T 12605 未考虑宽度影响；SY/T 4109 中，缺陷黑度在除裂纹以外的缺陷评级中起到重要作用。

设计及业主者在压力管道建造实践中应根据以上标准的各自特点加以综合选用。

参考文献：

- [1] 冯涛. 燃气钢制管道无损检测的现状和发展趋势 [J]. 城市燃气, 2023(5): 30-34. .