

周向磁化方法在弯头中的应用

瞿华鹏

无锡市新峰管业有限公司 江苏无锡 214000

摘要：金属弯头在生产制作过程中发生较大的形变，极易将原先的缺陷扩展变大或者产生新的缺陷，因此选择合适的磁粉检测方法至关重要。本文根据实际产品规格选择中心导体法和偏心导体法，采用两种规格90°弯头进行了试验和工艺验证，保证检测灵敏度的同时最大限度提高了检测效率。

关键词：磁粉检测；弯头；中心导体法；偏心导体法

弯头是一种具有中空截面的管道配件，一般用于输送流体的管道中，运行过程中可能会承受应变负载、温度交替起伏循环、流体冲击、高压辐照等工况，如果存在超标缺陷极易导致运行中的设备破坏失效。常用弯头规格有45°、90°、180°等，分为有缝焊接弯头和无缝弯头，无缝弯头常由推制或者压制而成，由于生产工艺、热处理工艺及操作不当等原因，可能会产生不同类型、不同程度的缺陷，针对铁磁性材质的弯头选择磁粉检测能有效发现表面及近表面缺陷。

一、产品结构及检测要求

(一) 产品信息及特点 (图1)

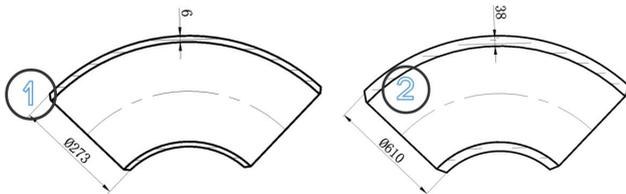


图1 90°长半径无缝弯头

弯头规格：①90°长半径无缝弯头， $\phi 273 \times 6\text{mm}$ ，材质为WP91。②90°长半径无缝弯头， $\phi 610 \times 38\text{mm}$ ，材质为WP91。

弯头一般批量规格生产少则几件，多则几百件，编制检测工艺时除应该满足检测灵敏度要求，还应考虑检测效率等因素，本文中针对不同规格弯头综合考虑后，采用中心导体法和偏心导体法/绕电缆法布置，使用湿连续法荧光法检测，满足检测灵敏度同时兼顾了检测效率。

(二) 检测要求

磁粉检测按照NB/T47013.4-2015标准要求执行，检测面包含内外壁所有可达表面，检测比例100%。

二、磁粉检测工艺制定

(一) 检测设备及电流参数的选择

现有8000A的荧光磁粉探伤机(ZY-CJW-8000)，按表1参数进行检测满足NB/T47013.4-2015标准要求。

表1 设备及磁化参数

设备型号	周向磁化电流		
	①铜棒中心导体	①软电缆中心导体	②偏心导体法/绕电缆
CJW-8000	3600	4000	3200

其余检测器材：铜棒、软电缆、荧光磁悬液、黑光灯、白光照射度计、黑光辐照计、磁场强度计、A1-30/100试片、A1-15/100试片、E型试块。

中心导体法整流电流值计算推荐公式 $I = (12 \sim 32) * \text{外径}$ ，偏心导体法电流值推荐公式 $I = (12 \sim 32) * (\text{电缆直径} + 2 * \text{壁厚})$ ，具体电流值应按灵敏度试片结果为准。

(二) 周向磁化方法的选择

①因使用的磁悬液为煤油配置，触头法易打火产生危险且易损伤工件表面，所以不采用触头法。

②弯头内部空间狭小，且生产批量一般较大，磁轭法效率较低且无法在弯头内灵活操作，所以不采用磁轭法。

③直接通电法不能检测空心工件内表面的不连续性，且弯头为带角度的弧形状不易夹持，所以不采用直接通电法。

④常规使用铜棒作为中心导体(图2)，使用在此处会导致铜棒到弯头内外表面距离相差较大，各点磁场强度不同，确定磁化电流较复杂，且弯头端面表面的轴向缺陷与铜棒夹角达到了45°，不利于轴向缺陷的检出^[1]，所以使用软电缆代替铜棒做中心导体法(图3)，①号弯

头采用如下中心导体法检测。

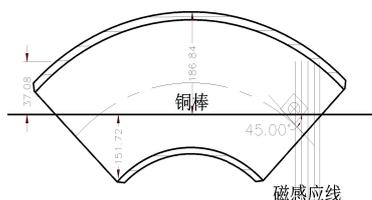


图2 铜棒导体法检测布置

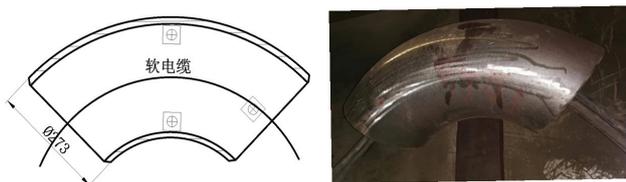


图3 软电缆中心导体法检测布置

当检测图1中②号弯头，直径较大壁厚较厚，根据安培环路定律，管壁上的磁场强度与距中心导体轴线的距离成反比，因此管壁上的磁通分布不均匀，离内壁越近，磁感应线越密，磁感应强度越大，且交流电产生的交变磁通会在表面形成涡流，涡流产生的磁场在管内壁处的要大于在管外表面上的，因此不能简单的直接用经验公式确定电流，需用灵敏度试片反复确认磁化电流对应的内外表面有效区域^[3]。采用偏心导体法，多匝电缆轴向穿过弯头内外，可以减小所需的电流^[4]，同时外表面也增大了磁场强度，如图4所示。



图4 偏心导体法检测多匝布置

(三) 磁悬液的配制和磁化时间

标准要求荧光磁粉配制浓度为0.5-3.0g/L，实际检测时候因为工件为弧形，侧壁呈直立状态，磁悬液流速

会比在平面上流速快，通过0.5浓度和3.0浓度对比试验，发现在弯头侧壁上灵敏度试片磁痕显示清晰度差异较大，如果按下限配制的磁悬液需要增加喷洒时间、磁化通电时间，并且磁痕还较淡，对于小缺陷容易造成漏检，磁化时间通常为1S-3S，此处也按照上限3S执行，磁悬液浓度按上限3.0配制，可以保证最佳检出率。

(四) 工件磁化布置

磁化时应尽量将弯头外弧朝上或侧向放置，可以防止磁悬液堆积在弯头内，一次检测和观察面积最大化并减少检测次数，对于底面不方便观察区域和工装接触的区域可调换位置二次磁化，当采用中心导体或偏心导体法时应使用非铁磁性材料工装将电缆固定。

三、工艺验证

表2 磁粉检测工艺相关质量控制

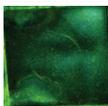
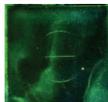
表面准备	无影响检测的物质，粗糙度 $\leq 25 \mu\text{m}$
磁悬液浓度	沉淀浓度0.3ml/100ml
工件表面黑光照度	2600 uW/cm ²
工件表面白光照度	15 LX
E型试块(750A)	三处磁痕清晰可见
灵敏度试片	A ₁ -30/100 磁痕清晰可见

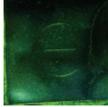
①号弯头铜棒导体法检测，按照图2布置通电重复磁化两次，每次2S左右，灵敏度试片结果见下表3。

①号弯头软电缆中心导体法检测，按照图3布置通电重复磁化两次，每次2S左右，灵敏度试片结果见下表，因磁化时底面观察不方便，可将弯头分两半区域分开磁化观察，灵敏度试片结果见下表3。

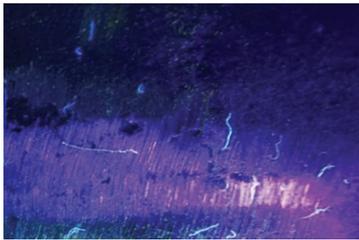
②号弯头偏心导体法/绕电缆法检测，按照图4布置通电重复磁化两次，每次2S左右，每次外表面有效检测区域长度约为4倍芯棒导体直径，最终用灵敏度试片确认每次磁化长度约为220mm，共分10个区域进行磁化，每两个区域之间应有10%的检测重叠区域，灵敏度试片结果见表3。

表3 工艺验证结果

	A1-15/100	A1-30/100
①号弯头铜棒导体法检测		
外侧	/	轴向磁痕不可见，较淡的外圈磁痕。 
①号弯头软电缆中心导体法检测		
内侧	磁痕清晰可见。 	磁痕清晰可见。 

外侧	中间磁痕较淡，外圈磁痕不可见。		磁痕清晰可见，清晰度稍低于内侧。	
②号弯头使用此检测工艺时，尺寸偏大无法正常放置于设备中平台上，且计算出的电流现有设备无法满足。				
②号弯头偏心导体法检测				
内侧	磁痕清晰可见。		磁痕清晰可见。	
外侧	磁痕清晰可见。		磁痕清晰可见。	

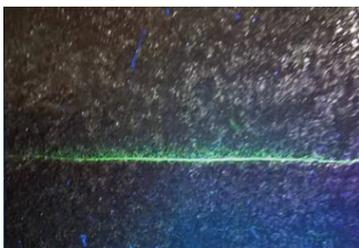
四、产品实际检测效果和磁痕分析



伪显示 - 毛纤维磁痕



内弧内表面划痕磁痕



内弧处轴向裂纹磁痕

磁痕显示一般分为伪显示、非相关显示、相关显示，管件磁粉检测中经常出现的磁痕显示如下：

(一) 伪显示

工件表面粗糙容易使磁粉堆积，一般此磁痕轮廓不清晰，有时候呈现斑块状；磁悬液浓度过大会使背景颜色过深，磁痕松散一般整体呈现黄绿色背景；工件打磨或者纱布手套接触后会粘着纤维线头，用手擦拭纤维会

跟着移动可排查此种显示。

(二) 非相关显示

工件截面突变处容易出现此类磁痕，磁痕松散有一定宽度，基本都规律出现在同一部位；当使用磁轭检测时，磁极与工件接触处产生较大的漏磁场，此处磁痕多而松散，改变磁极位置可进行区别分辨。

(三) 相关显示

一般为裂纹、气孔、表面划伤导致，裂纹磁痕清晰两端尖锐，气孔缺陷磁痕呈圆形或椭圆形，宽而模糊，显示不太清晰，磁痕的浓密程度和缺陷深度有关，表面划伤缺陷磁痕呈细长型，一般比较淡，擦拭后可以看到表面的划伤痕迹。

总结

在碳钢和合金钢弯头生产过程中，中心导体法和偏心导体法/绕电缆法成为了周向磁化的主要检测方法，检测方法和参数主要受弯头直径、厚度影响，过程中应注意软电缆与弯头中心轴线的偏移量，如有需要可使用工装进行电缆支撑固定，还应分辨解决检测面伪显示磁痕带来的不利影响，按照上述分析情况制定检测工艺实施，产品质量能够满足标准要求。

参考文献

- [1]NB/T47013.4-2015 承压设备无损检测第4部分：磁粉检测 [S].2015
- [2]宋志哲.磁粉检测 [M].2007
- [3]王海峰.钢管端部交流磁化时的集肤效应 [J].无损检测, 2009, 31 (3): 195~197
- [4]ASME 锅炉及压力容器规范第V卷 [S].2019