

# 探头旋转设备中多探头布置与横向检测螺距的关系

严欣贤,周友鹏,王子成,左义锋

(武汉中科创新技术股份有限公司,武汉 430068)

**摘要:**以探头旋转超声波检测设备为例,按100%的横向检测覆盖要求,对多探头布置形式、数量、位置以及螺距间的关系进行了模拟分析,为探头旋转检测设备的设计使用提供依据。螺旋扫查检测设备中,研究各种类型缺陷的扫描螺距时可借鉴该方法,所得到的结论也可用于其他类似布置的超声波螺旋扫查检测设备。

**关键词:**超声检测;探头旋转;横向缺陷;多探头布置;检测螺距

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2020)03-0063-05

## The relationship between multi-probes layout and transverse detection pitch in probe rotating equipment

YAN Xinxian, ZHOU Youpeng, WANG Zicheng, ZUO Yifeng

(Wuhan Zhongke Innovation Technology Co., Ltd., Wuhan 430068, China)

**Abstract:** Taking the probes-rotating ultrasonic testing equipment as an example, according to the requirements of 100% transverse detection coverage, this paper simulates and analyses the relationship between the multi-probes layout, quantity, position and pitch of multi-probes etc. The paper provides a basis for the design and the use of the probes-rotating ultrasonic device. The analytical method can be used to make sure the scanning pitch on the scanning longitudinal defects, layered defects for the probes-rotating ultrasonic testing device. The conclusions obtained in this paper can also be used in other similar ultrasonic spiral scanning and testing equipment.

**Key words:** ultrasonic testing; probe rotating; transverse defect; multi-probe layout; detection pitch

探头旋转技术是一种检测速度较高的螺旋扫查技术,国内的探头旋转技术主要是从跟踪、学习国外的探头旋转技术发展而来的,国内探头旋转检测设备的发展壮大使得国内的探头旋转检测技术越来越成熟<sup>[1]</sup>。目前,针对如何确定螺距、如何布置探头等的分析还较少,以下仅对多探头布置与检测螺距的关系进行模拟分析,为相关技术人员提供借鉴和参考。

### 1 组合式多探头结构

在探头旋转设备转速一定的情况下,为了进一

步提高检测速度,需要增加探头的数量。采用单晶片的独立探头时,由于探头晶片外部有外壳,所以随着探头数量的增多,旋转探头的结构会增大。为了减小结构体积,后来出现了组合式多探头。组合式多探头是由一整块晶片通过后期的切割做成的多个探头,由于组合式多探头共用一个外壳,所以相对于多个单体探头,其具有结构更紧凑、探头有效覆盖区之间的非检测区间更小的特点,因此在探头旋转设备中的应用更加广泛。其尽管是组合晶片,但晶片之间的有效覆盖区域也不能完全搭接,组合晶片长度与单晶片覆盖长度之间的关系如图1所示。

### 2 多探头布置与螺距的关系

依据标准 YB/T 4082—2011《钢管自动超声探

收稿日期: 2019-04-12

作者简介: 严欣贤(1974—),男,正高级工程师,硕士,主要从事非标自动化超声检测设备研发工作

通信作者: 严欣贤, 773657339@qq.com

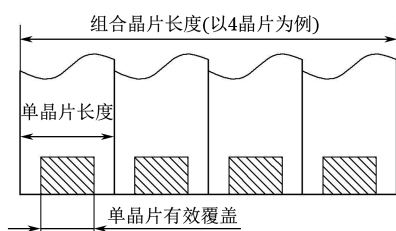


图1 组合晶片长度与单晶片覆盖长度之间的关系

伤系统综合性能测试方法》与 GB/T 5777《无缝钢管超声波探伤方法》,超声波自动化设备可用于检测无缝钢管的纵向、横向缺陷,通常所说的检测速度也是设备对于纵向缺陷的检测速度<sup>[2-3]</sup>。由于横向缺陷在探头长度方向的尺寸更小(最大宽度不超过 1.5 mm),所以对于纵横向都需要检测的设备,横向缺陷的探头覆盖区域、检测速度对设备的影响更大,为了避免设备漏报,以检测横向缺陷的组合探头为例,对探头布置与螺距进行分析。

## 2.1 横向缺陷检测探头

横向检测用组合探头的单个晶片尺寸(长×宽)为 12 mm×14 mm,单个晶片-6 dB 的有效检测区域为 6.8 mm(大于晶片尺寸的 0.5 倍)。依据标准 YB/T 4082 和 GB/T 5777,横向检测为双向检测,为了研究方便,仅以单向检测用的横向检测探头为例进行分析。为了实现工件正转、反转的正常检测,同向检测的探头应在一个圆周上均匀分布。

### 2.1.1 2 个探头 180°布置

2 个探头分为 2 组,每组 1 个探头,且在螺钉圆周上为 180°分布。2 个探头的布置及检测方法示意如图 2 所示,其检测参数如表 1 所示。

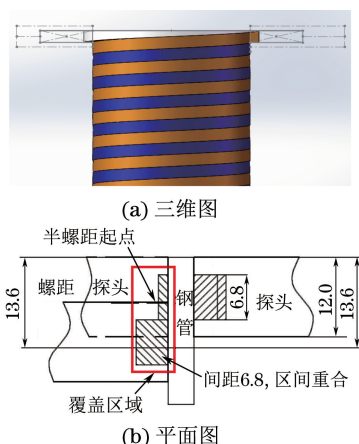


图2 2个探头的布置及检测方法示意

图 2(a)中黄色部分表示右侧探头的检测区域,蓝色部分表示左侧探头的检测区域,凸起的白色区域表示该区域漏检,探头轴向距离表示呈 180°分布的 2 个探头在工件轴向投影的位置距离。

表 1 2 个探头的检测参数

探头情况	单探头覆盖	探头轴向距离	最大螺距
2 组单晶片 180°分布	6.8	0	13.6

2 个探头的覆盖区间变化示意如图 3 所示,图 3 中的探头 1,2 表示设计的探头,阴影部分表示探头的有效覆盖,钢管左边的探头 2 和钢管右边的探头 1 在回转腔体的位置上相差 180°,所以当探头 1 单独运动到探头 2 的位置时,探头 1 与初始位置相差半个螺距。位于钢管左边的探头 2 可上下移动,表示探头 1 和探头 2 之间的初始相对位置差。从钢管右侧的图形分析可知,为了确保横向检测 100% 覆盖,当且仅当两个探头的覆盖区刚好接触时,两个探头的有效覆盖区域最大。此时探头 1、探头 2 在钢管长度方向上齐平。

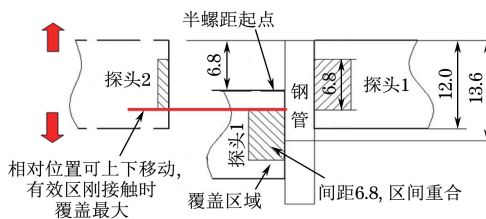


图3 2个探头的覆盖区间变化示意

从以上分析可以看出,对于 2 组探头,实现 100% 覆盖时,探头分布和螺距之间有如下关系。

- (1) 探头在轴向沿长度方向距离差为 0 mm。
- (2) 横向检测的最大螺距为 13.6 mm。
- (3) 组合探头的覆盖区长度为首尾探头的有效覆盖长度之和。

### 2.1.2 4 个探头 180°布置(2 组合晶片)

4 个探头分 2 组,每组 2 个探头,且每组之间在圆周上为 180°分布。4 个探头的覆盖情况和螺距如表 2 所示,其布置及检测方法示意如图 4 所示。

表 2 4 个探头的覆盖情况和螺距

探头情况	单探头覆盖长度	探头轴向距离	最大螺距
2 组 2 组合晶片	6.8	6.2	26.0
180°分布	6.8	6.0	25.6

图 4 中,当螺距减到 26 mm 时,探头之间还存在 0.4 mm 的区域漏检,实际的螺距=探头长度+2×单晶片覆盖长度,无漏检时,探头轴向距离为单晶片覆盖。

4 个探头的覆盖区间变化示意如图 5 所示,图 5 中的探头 1~4 表示设计的探头,阴影部分表示探头

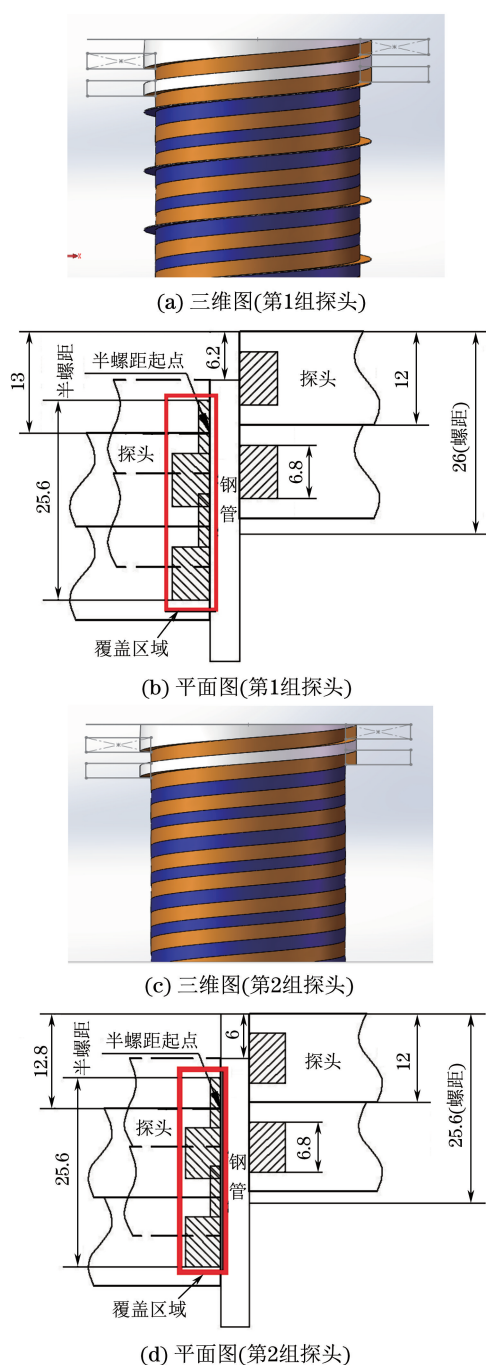


图4 4个探头的布置及检测方法示意

的有效覆盖区域,钢管左边的探头1,2和钢管右边的探头3,4在回转腔体的空间位置上相差 $180^\circ$ ,所以左右两侧的探头组(3,4)位置相差半个螺距。位于钢管左边的探头1,2可上下移动的距离,表示探头1,2和探头3,4之间的初始相对位置差。从钢管右侧的图形分析可知,为了确保横向检测100%覆盖,当且仅当探头1,3或探头2,4的覆盖区刚好接触时,4个探头的有效覆盖区域最大。此时探头1,3在钢管长度方向的位置差为半个螺距减去1个探头的有效覆盖长度。

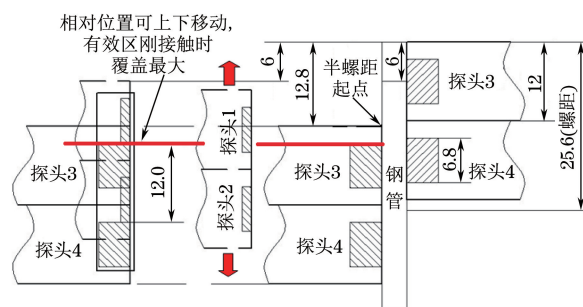


图5 4个探头的覆盖区间变化示意

从以上分析可知,对于2组各2个探头,实现100%覆盖时,探头分布和螺距之间有如下关系。

- (1) 探头在轴向沿长度方向距离差为6 mm(半螺距减去1个晶片的覆盖区域长度)。
- (2) 横向检测的最大螺距为25.6 mm。
- (3) 组合探头的覆盖区间长度为前后2个覆盖区之和再加上一个晶片的长度。

#### 2.1.3 6个探头 $180^\circ$ 布置(三组合晶片)

6个探头的覆盖情况和螺距如表3所示,6个探头的布置和检测方法示意如图6所示。

表3 6个探头的覆盖情况和螺距 mm

探头情况	单探头 覆盖长度	探头轴向 距离	最大螺距
2组3组合晶片	6.8	1.6	40.8
$180^\circ$ 分布	6.8	0	37.6

图6的三维图中黄色部分表示右侧探头的检测区域,蓝色部分表示左侧探头的检测区域,凸起的白色区域表示该区域漏检,探头轴向距离表示呈 $180^\circ$ 分布的两个探头在工件轴向投影的位置距离。

6个探头的覆盖区间变化示意如图7所示,图7中的探头1~6表示设计的探头,阴影部分表示探头的有效覆盖区域,在钢管左边有探头1~3,钢管右边有探头4~6。由于钢管左右两侧的探头4~6位置相差 $180^\circ$ ,所以左右两侧的4~6探头组位置相差半个螺距。位于钢管左边的探头1~3可上下移动的距离,表示探头1~3和探头4~6之间的初始相对位置差。从钢管右侧的图形分析可知,为了确保横向检测100%覆盖,当且仅当探头1,4或探头3,6的覆盖区刚好接触时,6个探头的有效覆盖区域最大。此时探头1、探头4在钢管长度方向的位置差为半个螺距减去1个探头的有效覆盖长度。如果左右两侧的探头位置差大于一个晶片的长度,可以减去1个探头的晶片长度,表示上一个螺距和当前螺距互补后可实现100%覆盖。



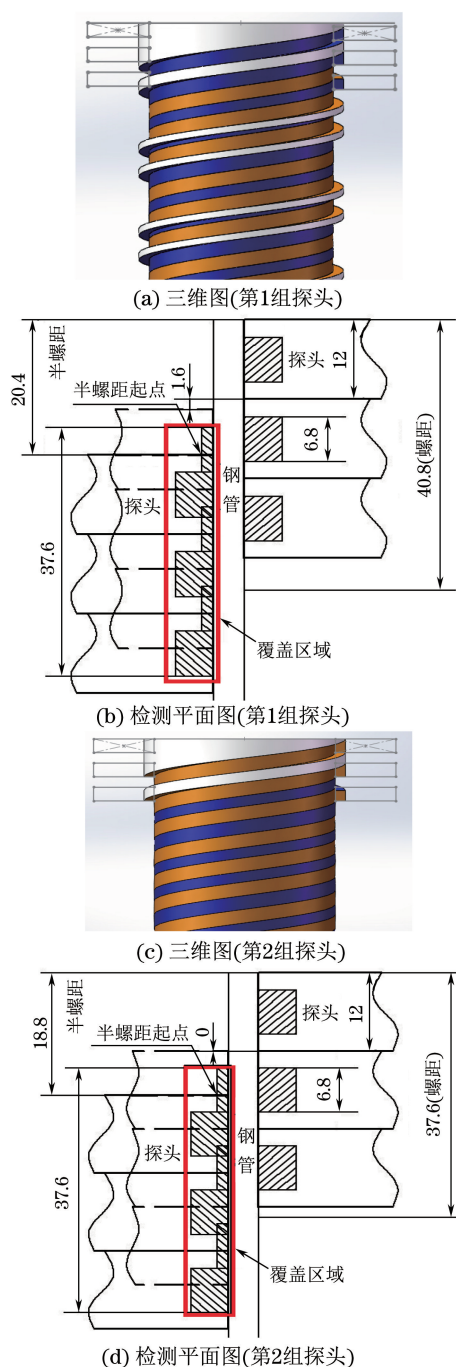


图6 6个探头的布置及检测方法示意

从以上分析可知,对于2组各3个探头,实现100%覆盖时,探头分布和螺距之间有如下关系。

(1) 探头在轴向沿长度方向距离差为0 mm(半个螺距减去1个晶片的覆盖区域长度和1个晶片长度)。

(2) 横向检测的最大螺距为37.6 mm。

(3) 组合探头的覆盖区间长度为前后2个覆盖区之和再加上2个晶片的长度尺寸。

#### 2.1.4 8个探头180°布置(四组合晶片)

同上,8个探头的覆盖情况和螺距如表4所示,8个探头的布置及检测方法示意如图8所示。

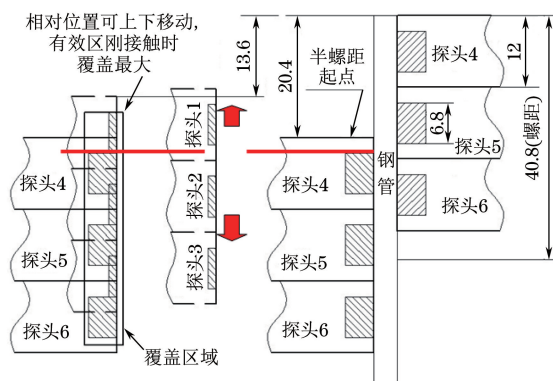


图7 6个探头的覆盖区间变化示意

表4 8个探头的覆盖情况和螺距 mm

探头情况	单探头 覆盖长度	探头轴向 距离	最大螺距
2组4组合晶片	6.8	8.4	54.4
180°分布	6.8	6.0	49.6

图8的三维图中黄色部分表示右侧探头的检测区域,蓝色部分表示左侧探头的检测区域,凸起的白色区域表示该区域漏检,探头轴向距离表示呈180°分布的两个探头在工件轴向投影的位置距离。

8个探头的覆盖区间变化示意如图9所示。图9中的探头1~8表示设计的探头,阴影部分表示探头的有效覆盖,钢管左边有探头1~4,钢管右边有探头5~8。由于钢管左右两侧的探头5~8位置相差180°,所以左右两侧的5~8探头组位置相差半个螺距。位于钢管左边的探头1~4可上下移动的距离,表示探头1~4和探头5~8之间的初始相对位置差。从钢管左侧的图形分析可知,为了确保横向检测100%覆盖,当且仅当探头1,5或探头4,8的覆盖区刚好接触时,8个探头的有效覆盖区域最大。此时探头1、探头5在钢管长度方向的位置差为半个螺距减去1个探头的有效覆盖长度。如果左右两侧的探头位置差大于一个探头的距离,可以减去1个或多个探头的晶片长度,表示上一个螺距和当前螺距互补后实现100%覆盖。

从以上分析可知,对于2组各4个探头,实现100%覆盖时,探头分布和螺距之间有如下关系。

(1) 探头在轴向沿长度方向距离差为6 mm(半个螺距减去1个晶片的覆盖区域长度和1个晶片长度)。

(2) 横向检测的最大螺距为49.6 mm。

(3) 组合探头的覆盖区间长度为前后2个覆盖区之和再加上3个晶片的长度。



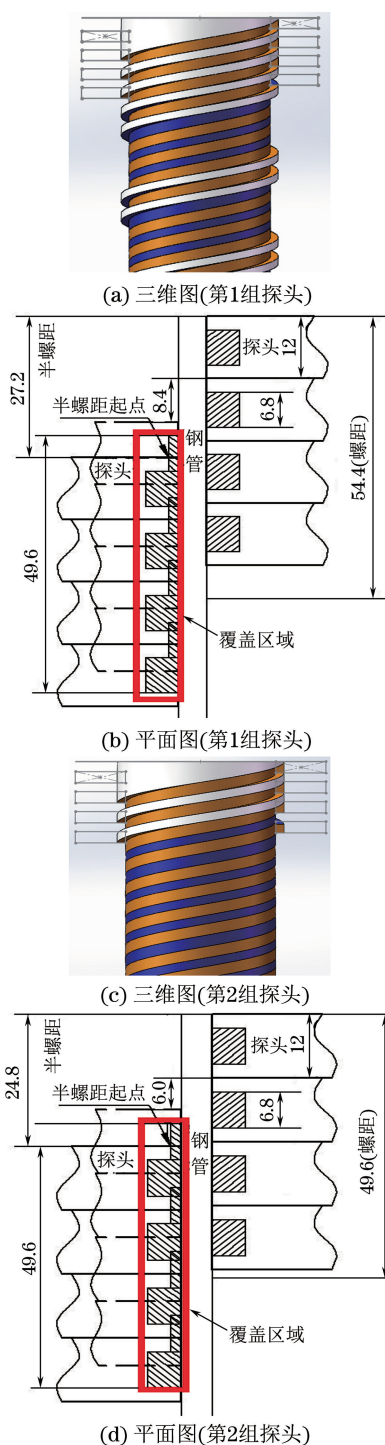


图8 8个探头的布置及检测方法示意

## 2.2 多探头布置时探头与螺距的关系

通过分析前述的探头布置,采用归纳法可得出:对于多探头布置的探头旋转检测设备,为了实现100%横向覆盖检测,单个探头-6 dB覆盖长度与探头长度、数量、螺距,以及探头之间的距离关系如式(1),(2)所示。

$$S = 2 \times A + (N/2 - 1) \times B \quad (1)$$

$$X = S/2 - A - n \times B \quad (2)$$

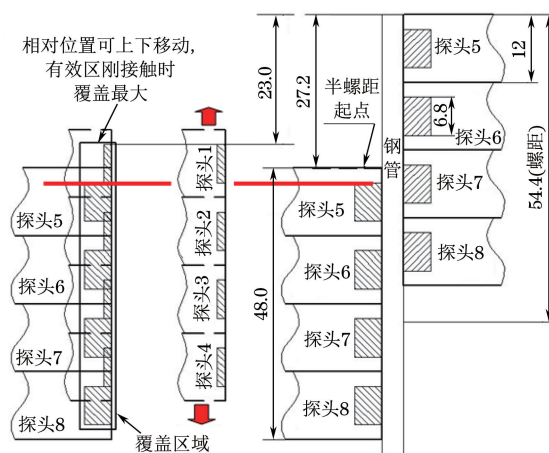


图9 8个探头的覆盖区间变化示意

式中: $S$ 为与覆盖长度对应的缺陷检测时的螺距; $A$ 为组合晶片中单个晶片相对某一缺陷-6 dB的覆盖区域长度; $N$ 为探头总数,为大于2的偶数; $B$ 为组合探头中,单个探头的长度; $X$ 为成 $180^\circ$ 分布的组合探头在轴向方向的距离;为整数,且 $n$ 为使 $X$ 不为负的最大整数。

令 $N = 4m$  ( $m$ 为自然数)时,则 $X = (2m - 1) / 2 \times B - n \times B$ ,即探头相距半个晶片长度。

令 $N = 4m + 2$  ( $m$ 为自然数)时,则 $X = m \times B - n \times B$ ,即探头相距为0 mm。

从上述公式可以看出,对于组合探头(或距离均布的单个探头),当单侧探头数量多于2时,设备检测的有效螺距小于所有探头的有效覆盖长度之和,并且数值与单个探头的有效覆盖长度和探头的数量相关,探头相距长度和探头的尺寸及数量相关。

## 3 结语

当探头-6 dB覆盖区域长度大于一半的晶片尺寸时,为了达到100%完全覆盖,需要将-6 dB覆盖区域最小的那组检测螺距作为设备的检测螺距,才能保证不漏检。当探头-6 dB覆盖区域尺寸小于一半的晶片尺寸时,可根据实际覆盖数值与晶片尺寸的关系,等分布同向检测探头以达到100%覆盖的目的。

## 参考文献:

- [1] 马小怀,江立新,王海良.探头旋转式管材超声自动超声检测系统的研制[J].中国有色金属学报,2010,20(1): 923-924.
- [2] 郑辉,林树青.超声检测[M].北京:中国劳动社会出版社,2008.
- [3] 李家伟,陈积懋.无损检测手册[M].北京:机械工业出版社,2002.