

# 轴承圈相控阵检测系统

## 一、概述

本方案设计的系统是用于轴承内外圈的内部相控阵探伤，需要对工件的内部缺陷进行检测、生成图像、自动判别并生成报告。综合考虑决定采用桁架的方式对工件进行扫查。

## 二、工件

材质：轴承内外圈

形状：各种风电轴承圈

尺寸：300mm-4000mm

检测效率：100mm/s 线速度

缺陷类型：200mm 以内 0.5mm 平底孔

## 三、产品状态和工况环境

表面状态：精磨

工况环境要求（温度、湿度、周边大型机械）：周边需无大型机械、有工业用水、

工业用电、良好的接地端

## 四、技术描述

### 4.1 系统构成介绍

系统采用水浸耦合的方式、使用三轴模组加载探头对工件内部进行相控阵检测、主机采用奥林巴斯 FOCUS PX、整个系统主要包括以下几个单元：

超声单元

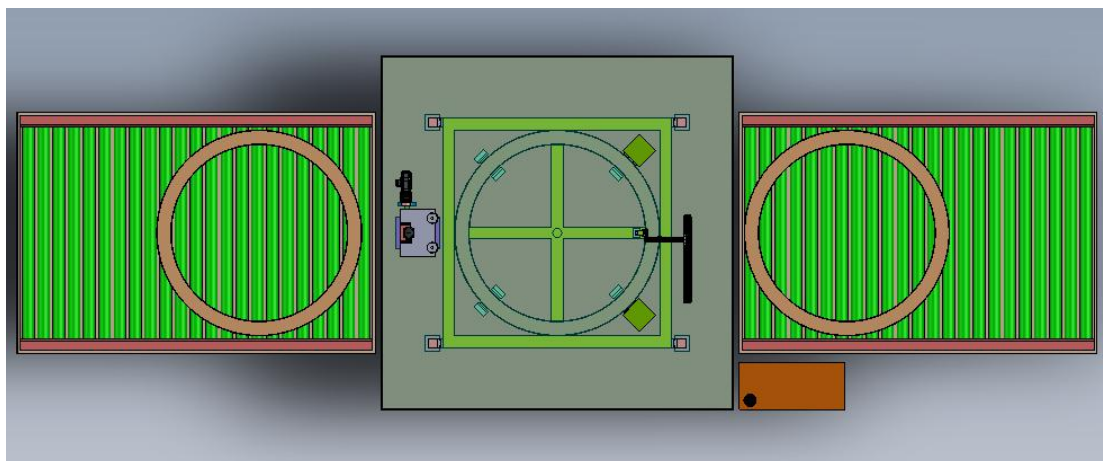
机械扫查运动单元

探头及耦合单元

水循环处理单元

客户操作软件界面单元

系统结构总图如下：

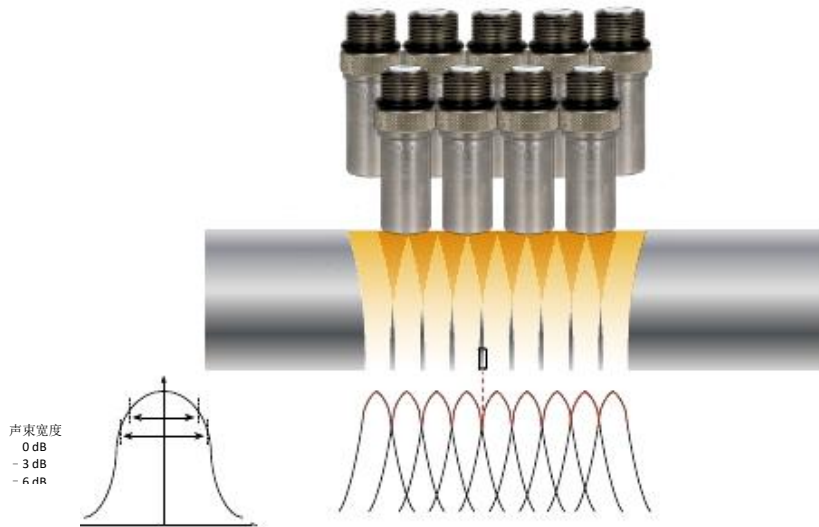


## 4.2 检测原理

检测方法为超声相控阵检测技术，使用超声相控阵技术进行缺陷检测。

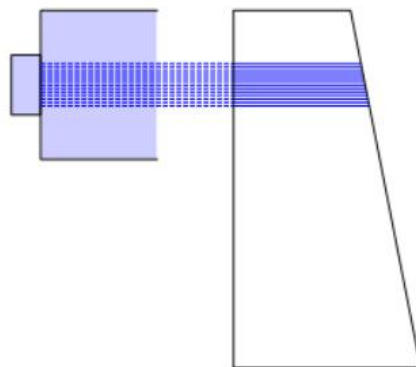
相控阵与常规超声的对比：

使用常规超声技术时，即使笔刷式超声探头能在一次旋转中检测较大的区域（宽度），但因为每个探头的声束之间并没有物理交叠，因此缺陷的探出率依然很低。虽然使用两排常规超声探头时可以增加超声声束的覆盖率，但坏材中能量密度的相对严重的不均衡状态依然存在。这样坏材中的某些区域会接收到较低的超声声束能量，探出该区域中细小缺陷的能力也随之减弱。此外，使用两排超声探头通常会造成机械定位的不稳定。



相控阵检测是一种特殊类型的超声检测，它使用成熟的多晶阵列探头和功能强大的仪器/软件，在测试工件中传播高频声束，并在仪器/软件中绘制回波曲线。相控阵探头实质上是一个被分为多个小晶片的长超声探头，这些晶片被单独触发。线性电子扫查是通过沿阵列轴方向移动声束而进行的，不需做任何机械运动。声束的移动通过分时多路切换激活晶片而完成。

三轴模组将加载相控阵探头可以对工件的侧面进行扫查，只需要保证探头声束与工件的侧面垂直即可对工件的内部进行检测，底部电机将会带动工件旋转以实现工件的所有面扫查。

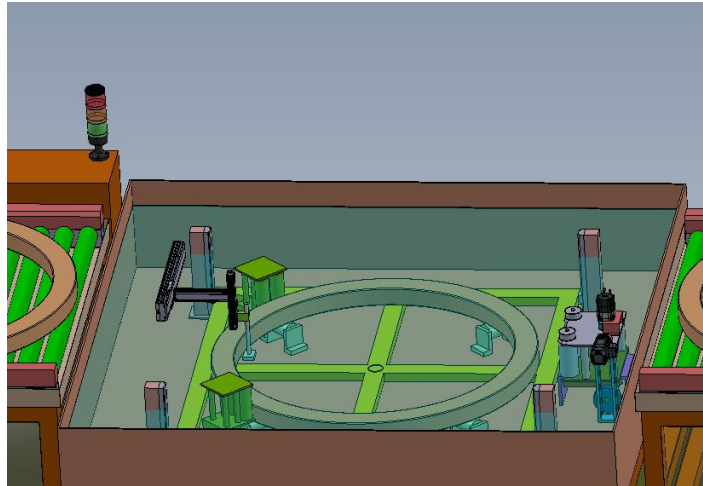


### 4.3 机械运动结构原理和检测方法

#### 1、上下料

因轴承尺寸比较大、工件的重量较大，故需要使用航车自主上下料。检测平台设置有可升降平台、方便工件的放置。

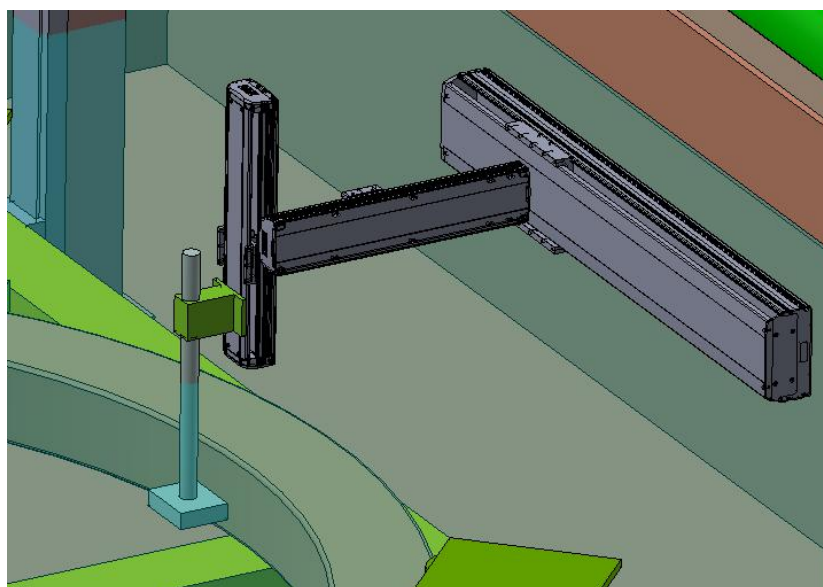
#### 2、超声检测



如上图所示、水槽底部将设置一个四爪卡盘用于固定工件，底部装载有旋转电机以实现工件的旋转。水槽上装载有三轴模组、模组的行程将保证能对各种类型的工件进行检测。

### 4.4 探头结构布局及检测效率计算

探头装载在 XYZ 轴电缸上，如下图所示：



根据工件的厚度、扫查的线速度为 100mm/s 左右，扫查宽度可选购、一般为 24.5mm 和 50mm 的扫查宽度，可自行选择探头宽度。

举个例子、1.6m 直径 400mm 高度的轴承圈选用 128 晶片相控阵探头扫查时间为 7 分钟左右。

## 4.5 机械及运动机构技术规格

设备上所有伺服均选用进口西门子伺服电机确保机械精度。

## 4.6 超声仪器介绍及技术规格

### 4.6.1 相控阵主机

FOCUS PX 是为自动检测系统设计的高性能传统和相控阵超声波采集单元。它没有进气口，经过测试可以在恶劣的生产环境中处理长时间运行。



FOCUS PX 旨在为上一代相控阵采集单元带来重大改进：

- 改进指标（30 MB / s 数据吞吐量，1024 个焦点法则，12 位 A 扫描等）
- 增强的可扩展性（最多 4 个并行的活动 FOCUS PX，设备同步功能等）
- 简化集成（减少了线缆，IP65 防护等级，无风扇设计等）
- 提高编程效率

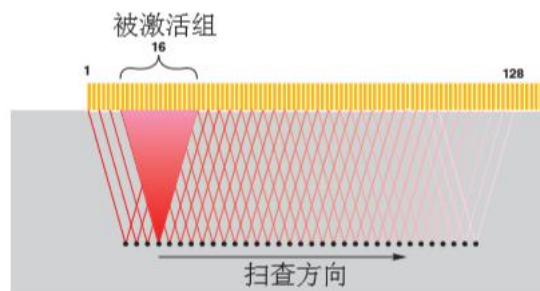
FOCUS PX 16:128	
Phased Array Connector Elements 相控阵连接晶片数量	128
Maximum Number of Elements per Focal Law 每个聚焦法则支持的最大晶片数量	16
Data Throughput 数据传输	Up to 30 MB/s for 1 Focus PX Up to 60 MB/s for 2 and more FPX

	1 台高达 30 MB/s, 2 台或以上高达 60 MB/s
Scalability 扩展性能	Up to 4 active PODs in parallel 多达 4 台并行
PRF 脉冲重复频率	Up to 20 kHz 高达 20kHz
A- scan samples A 扫数据点	Up to 16380 最大 16380
A-scan Resolution A 扫分辨率	8 bit / 12 bit
Real-time Data Compression 实时数据压缩	1 to 2000 ratio
Bandwidth at -3dB -3dB 带宽	PA : 0.6 MHz to 17.8 MHz 相控阵: 0.6 MHz-17.8 MHz
Pulsar Voltage 电压	PA : 4 V, 9 V, 20 V, 40 V, 80 V and 115 V
Gain 增益	PA : 80 dB (46 dB analog + 34 dB digital) 相控阵: 80dB ( 46dB 模拟增益+34dB 数字增益)
IP Rating IP 等级	IP65

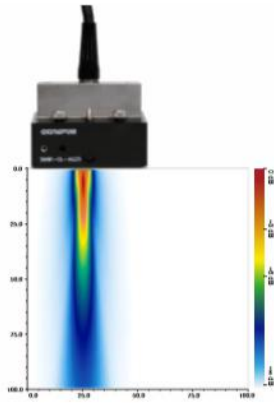
对于选定的型号，下表列出了主要 FOCUS PX 指标：

#### 4.6.2 相控阵探头

水浸相控阵为多晶片结构、能够实现声场的聚焦效果，相对于常规探头有更好的检测效果，针对本系统需特殊定制。



晶片激励示意图



声场聚焦示意图

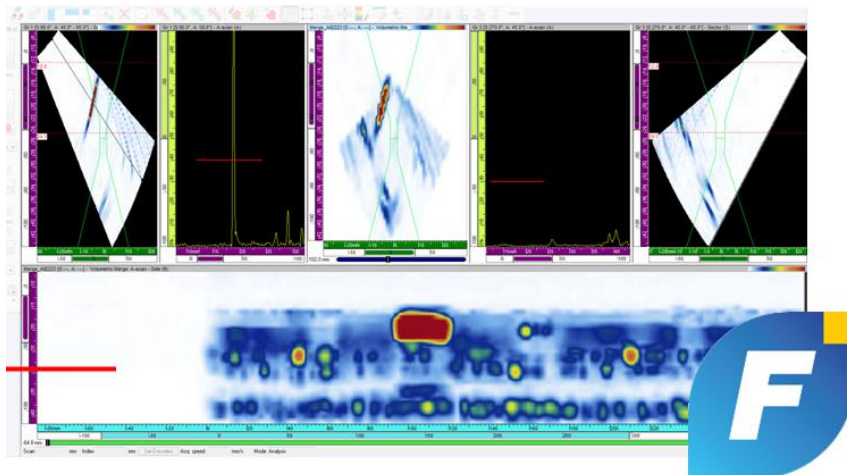


相控阵探头

我们将在相控阵探头测试样品后，确认探头的详细参数。

### 4.6.3 Focus PC 软件

Focus PC 是一款基于 PC 的软件、主要进行用于超声信号的数据采集和显示。可以自由的进行超声参数的配置、并显示不同的视图，数据库中有大量的探头、楔块和工件，可以自由的模拟工件并设置工艺。



Focus PC 软件界面

## 4.7 水循环系统

水循环系统采用粗过滤网将比较大的颗粒杂质过滤掉，然后再进入到细过滤网中，此时会将细小的东西给过滤掉。杂质通常是堆积在细滤网的内侧，细滤网的内、外两侧就形成了一个压差。当压差达到了预设数值，系统自动进行清理，清洗阀门会打开，清洗室及吸污器内水压下降，通过滤筒与吸污管的压力差，吸污管与清洗室之间通过吸嘴产生一个吸力，形成一个吸污过程。吸污器轴向运动与旋转运动的结合将整个滤网内表面完全清洗干净。当过滤器开始工作的时候，达到预设清洗时间后，电空气给水里控制阀、驱动电机信号，引发下列动作：电动机带动刷子旋转，对滤芯进行清洗，同时控制阀打开进行排污，整个清洗过程只需持续数十秒钟。等清洗工作结束之后，系统就恢复到了初始状况。

## 4.8 全自动化检测系统软件

### 4.8.1 概述

配套定制开发基于 Olympus FocusPC 的全自动化轴承滚子相控阵检测系统软件（BRbrois），具有数据采集与分析，实时运动控制、状态监控，实时成像，缺陷自动识别、数据管理、类型管理、报告管理和用户管理等功能。


BRbrois 软件包括“自动检测”、“手动检测”和“查看分析”（报告）“三种”工作模式，支持覆盖全部工作流程和业务需要。


### 4.8.2 运行环境


BRbrois 软件在装载了 Windows 7/10 操作系统的电脑（PC）中运行，通过工业以太网分别与超声系统和运动控制系统建立实时数据采集和运动控制通路。

### 4.8.3 角色与权限

相关人员需要事先具备自动化设备操作和超声无损检测基本知识。按照职能和业务群体，本软件的用户默认分为三种角色：操作员、设备/质量管理员和设备厂商。

操作员（OPR）：从事现场检测作业的一线技术人员，主要为设备操作员。软件开启后，默认用户类型为操作员，无需登录密码。

设备/质量管理员（ADM）：从事现场检测设备/质量管理的技术人员，主要为检测工艺/质量负责人、设备管理员等。设备管理员可以配置软件系统参数、检测参数、系统调试等。

设备厂商（MNF）：软件和检测系统的集成商，主要为检测系统设计开发、调试和售后服务等技术人员。设备厂商具有包括软件系统升级、软件功能配置等全部权限。

### 4.8.4 软件主要技术特点

BRbrois 软件一键安装，开箱即用。软件结构清晰，交互、数据、服务等模块化设计，低度耦合。与传统技术开发的工业软件相比，本软件有以下特点：

开放技术，面向未来：基于开放的 Web 技术和标准，便于技术升级和应用生态建设。

稳定可靠：成熟的 Web 技术和稳定的通信/接口协议，构建应用软件稳定可靠。

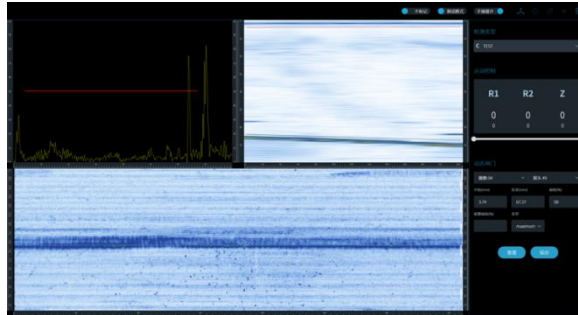
结构清晰，便于维护和灵活扩展：基于 Web 技术的工业应用，结构清晰，占用系统资源少，安装配置简单，便于维护和灵活扩展。

多终端适应，互操性好：基于 Web 技术的 GUI，便于多种操作系统、多终端自适应开发和系统移植。

## 4.8.5 软件主要功能

### 1、一体化渐进式 GUI

精简的一体化的用户交互界面设计，渐进式功能交互，增强用户体验，实现检测业务逻辑和流程自动化。



主用户交互界面 GUI 示意图

### 2、系统状态监控

软件启动后，自动探测超声仪器、自动化运动/系统、水系统和系统安全等子系统的状态，并界面提示或报警。

### 3、实时检测成像

包括数据采集、实时成像、动态闸门、图像优化等子模块，全参数化操控，实现数据采集、实时成像（A 扫、S 扫和 C 扫）、闸门设定、数据分析、图像优化处理等功能。

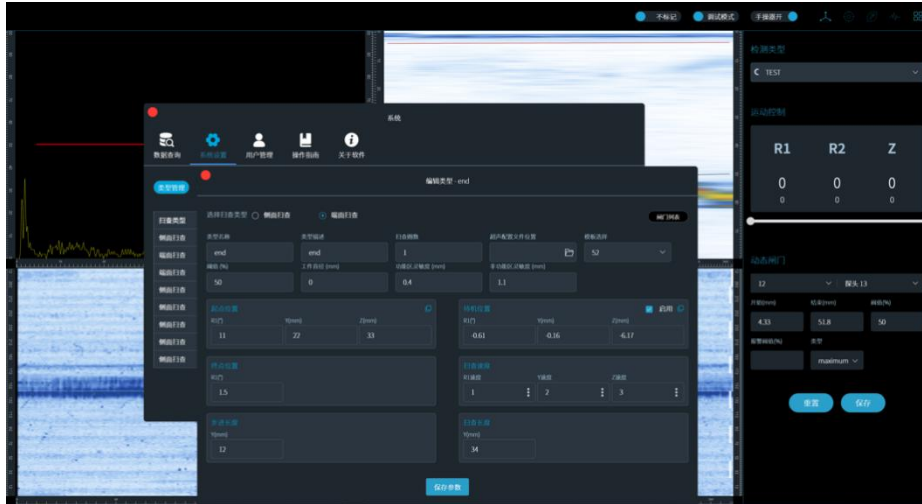
### 4、缺陷识别和标注

包括实时识别、缺陷标注、统计分析和报警提示等子模块。自动缺陷识别、标注，根据定义和需要在用户界面、自动化系统中声光报警。

缺陷统计结果实时显示在用户界面上，并记录在检测报告中。

### 5、类型管理

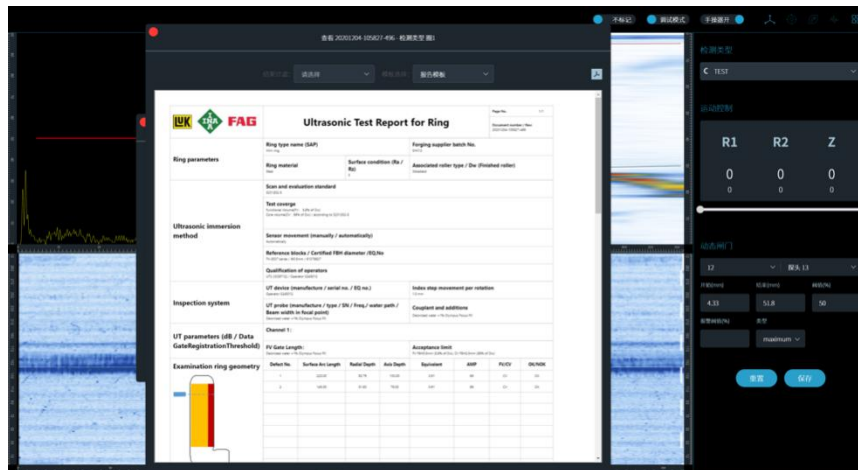
包括参数化配置、运动轨迹、闸门设置和超声配置等子模块。通过交互界面，实现检测工件类型的一键式选择切换和检测流程自动化。其中配置文件包括运动轨迹参数、闸门设置参数、超声系统配置参数，检测报告模板、默认存储路径和命名参数等。



类型管理功能界面示意图

## 6、检测报告

包括报告生成、报告查看/修改和报告下载等子模块。自动生成检测报告。报告内容包括缺陷详细信息列表、检测图像、工件信息、工艺参数、检测系统信息、用户信息和检测日期等。提供按日期和检测类型查询、下载和查看历史报告功能。



报告功能界面示意图

## 7、数据管理

包括数据存储、查询统计、图像查看、数据导出等子模块。检测数据和工艺参数等打包成一个数据文件，可以再导入软件系统回看。

提供按日期和检测类型查询、统计、下载和查看历史检测数据等功能。

在数据管理界面，计算、显示当前数据存储情况。

## 8、运动控制

包括状态与安全监控、调速与定位、运动模式选择和报警提示等子模块。提供通过RS232、TCP/IP等协议集成多轴自动化运动控制系统。实时监测运动机构的运行和安全状态，通过交互界面可实现运动轴的速度调节，点动或连续运转控制。并根据系统设置当运动系统出现安全事件和故障时，进行声光报警和界面提示。

## 9、系统日志

包括系统报警管理、日志查询和日志下载等子模块。实时监测系统状态，根据报警规则和系统设置进行声光报警和界面提示。记录系统、操作、用户和检测等日志，并在统一的日志管理界面提供按日期和类型查询、查看和下载。

## 10、系统设置

包括报警设置、工艺参数设置、报告模板设置和功能开关等系统配置子模块。并提供看板，可视化系统运行状态、数据和通讯接口运行详情。

## 11、用户管理

包括用户信息维护、用户身份切换/登录、密码修改与重置等子模块。

## 12、操作指南

在线帮助集成软件操作说明。

## 13、关于软件

包括软件名称、版本等信息，软件升级以及使用条款等内容。

# 五、检测流程

5.1 操作员将工件放到上料工位

5.4 超声检测夹紧机构将工件夹紧

5.5 3轴机构根据工件带着检测头定位到正确位置

5.6 检测的同时，工件同步进行转动

5.7 工件转动的同时，配置一个随动的编码器，确保工件滚动精准性

5.8 检测完成后，下料即可

5.9 软件会自动报警并生成报告

# 六、技术文档提供

- (1) 操作手册
- (2) 技术规格书
- (3) 电路图纸
- (4) 机械图纸
- (5) 水循环系统图纸

# 七、验收

7.1 验收对比试块

7.2 验收方法描述

## 八、卖方责任

- 按照供货范围进行设计、制造检测系统
- 对系统进行现场安装、调试
- 在客户现场用试块进行验收
- 对客户技术人员和操作人员进行系统操作培训
- 提供技术文档

## 九、买方责任

- 准备场地用于系统搭建
- 准备配电箱，符合设备使用条件
- 准备供水及排水通道
- 准备安装天车
- 提供人员配合系统安装
- 提供带人工缺陷的试块

## 十、商务

- 11.1 报价及分项报价
- 11.2 交货期及项目进度表
- 11.3 交货方式