江苏中特创业设备检测有限公司

2026 · 合肥

换热器泄漏预防与治理关键技术

汇报人 强天鹏（首席专家）

2026 年 11 月 6 日

单位 江苏中特创业设备检测有限公司

联系方式 手机号：17361853939 | 邮箱：13776663939 @ vip.163.com

成立于 2003

- **江苏中特创业设备检测有限公司（简称江苏中特）成立于2003年，总部位于风景优美，人文荟萃的六朝古都南京，是一家服务于石油、化工、能源等行业的无损检测专业公司，是江苏省高新技术企业，主要为社会提供无损检测新技术服务。这些新技术项目包括：**

01 管子管板角焊缝射线检测（TTS-RT）

02 管子管板角焊缝相控阵超声检测（TTS-PAUT）

03 局域强磁涡流检测（ILSM-ECT）

04 内旋转超声检测（IRIS）

05 相控阵超声检测（PAUT）

06 衍射时差法超声（TOFD）

07 奥氏体不锈钢超声检测（ASSUT）

08 全聚焦3D实时成像相控阵超声检测（TFM-PAUT)

09 多模态全聚焦相控阵超声检测（MTFM-PAUT）

主要客户：巴斯夫（中国及东南亚）、科思创、阿科玛、杜邦、大金、万华、中石化、中石油、云天化等。

江苏中特技术服务的重点是化工换热器泄漏的预防与治理



- 预防：在换热器制造阶段实施，对管头角焊缝的检测和对管子原材料及在穿管过程管子损伤的检测
- 治理：在换热器使用阶段实施，对管头角焊缝和管束因腐蚀、应力腐蚀和其他损伤导致泄漏的检测

- **换热器泄漏的预防与治理必要性：据行业机构最新测算数据：2026年石化行业产值约16万亿元，因管壳式换热器管束和管头泄漏失效造成的损失（包含减产、物料报废、环保罚款等）约110-165亿。**

- **换热器的管头角焊缝与管束结构特殊，常规无损检测技术无法实施，必须采用专门检测技术！**

四项特殊无损检测技术介绍

01 管子管板角焊缝射线检测技术（TTS-RT）

02 管子管板角焊缝相控阵超声检测技术（TTS-PAUT）

03 管束局域强磁涡流检测技术（ILSM-ECT）

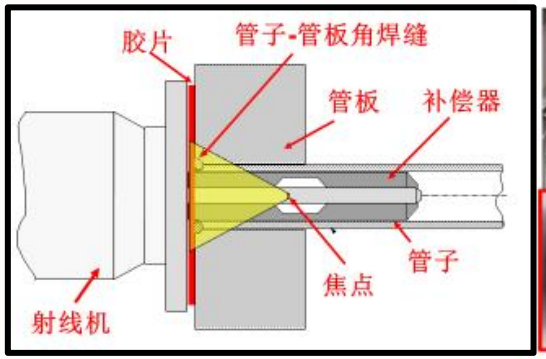
04 管束内旋转超声技术（IRIS）

01

SECTION 01

管子管板角焊缝射线检测技术（TTS-RT）

- 1.1 技术引进与创新
- 1.2 工程应用成果



TTS-RT检测原理图



Ir192放射源灵敏度Φ1mm　棒阳极胶片灵敏度Φ0.3mm　棒阳极DR 灵敏度0.3mm

- 基于微小焦点和厚度补偿的管子管板角焊缝射线检测技术（TTS-RT)是德国巴斯夫公司发明的。
- 江苏中特2004年跟巴斯夫建立合作关系，学习掌握这项技术，在中国推广应用，并且在其后20年里不断改进创新，取得多项成果，检测技术和质量达到国际先进水平。包括：

1、**理论创新，提出参数关联法则**：从理论上厘清了TTS-RT检测灵敏度的影响因素。

2、**工装的优化**：发明了精密补偿技术，使管子管板角焊缝灵敏度达到巴斯夫规范最高水平（0.3mm平底孔）。

3、**技术与工艺优化**：完成多项工艺优化，使不同结构型式规格的角焊缝适用范围扩大2倍。

4、**发明高仿型灵敏度鉴定试块**：确保了实际工件检测与工艺鉴定试验的灵敏度一致性。

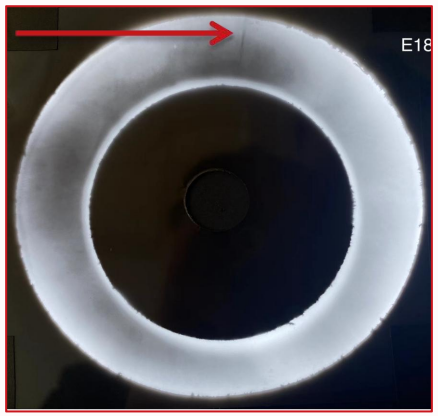
5、**起草两个TTS-RT标准**：NB/T47013.2和QSH0842-2022，在技术、工艺，评级方面有创新。

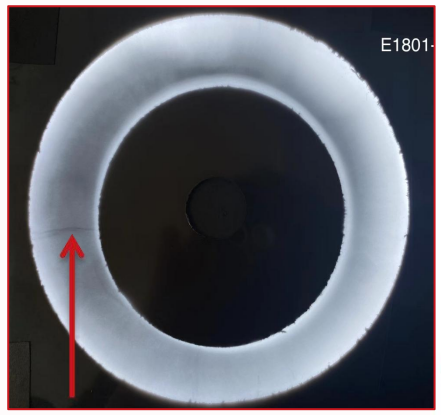
6、**在中国推广TTS-RT技术**：大幅度提高了中国制造换热器产品质量。

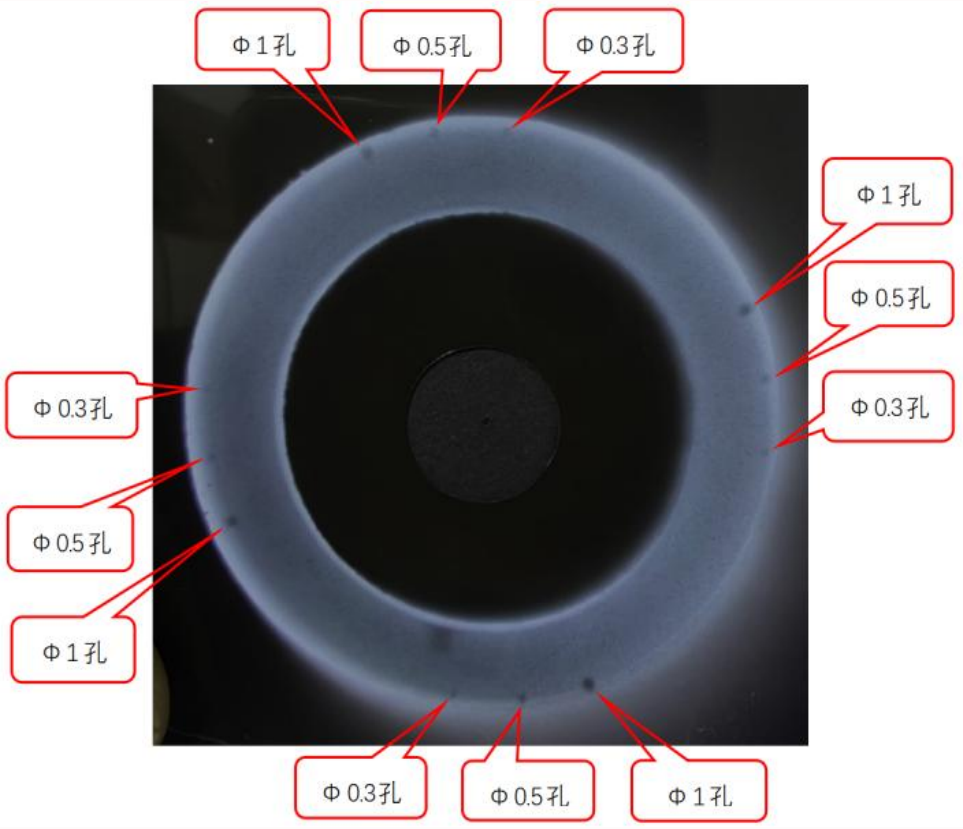
7、**在换热器泄漏治理中发挥了关键作用**：解决了多家石化企业换热器泄漏频发的难题。

8、**实现了关键设备国产化**：与丹东无损检测设备公司合作攻关，研制出优质可靠的国产棒阳极X射线管。

江苏中特发明的**精密补偿技术**，使管子管板角焊缝照相的散射比极小，底片黑度均匀，全焊缝灵敏度达到**φ0.3mm**平底孔（直径0.3mm×高度0.3mm），是**巴斯夫规范灵敏度最高等级**









江苏中特的TTS-RT技术在石化企业换热器泄漏治理中发挥了关键作用

- XX天然气净化厂是中石化下属企业，投资130亿，年处理能力120亿立方米高含硫天然气，规模世界第二。
- 净化厂投产3年后换热器泄漏频发，严重影响正常生产。
- 江苏中特得知此情况后，主动向厂方建议开展泄漏治理，对新造换热器管头焊接质量严格控制，对**在役换热器**进行普检、修复、更换，高灵敏度TTS-RT技术在治理过程中发挥了关键作用，经过5年的努力，企业恢复了正常生产，为此获得**2022年河南省科技进步二等奖。**
- 与治理同期开展的“百亿方级特高含硫天然气净化装置安全清洁生产关键技术与设备”国产化攻关中，江苏中特的高灵敏度TTS-RT技术确保了产品质量，为此获得**2023年甘肃省科技进步一等奖。**



江苏中特荣获政府奖励

2023年甘肃省科技进步一等奖



甘肃省科技进步奖

证　书

为表彰甘肃省科技进步奖获得者，特颁发此证书。

项目名称：百亿方级特高含硫天然气净化装置安全清洁生产关键技术与装备

奖励等级：一等

获 奖 者：江苏中特创业设备检测有限公司

2023 年 7 月 14 日

证书号：2022-J1-024-D7

2023年河南省科技进步二等奖



NO: J004882

河南省科学技术进步奖

证　书

为表彰河南省科学技术进步奖获得者，特颁发此证书。

项目名称：特大型制硫炉及余热回收关键技术与工业化应用

奖励等级：贰等奖

获 奖 者：江苏中特创业设备检测有限公司

2023 年 12 月 15 日

证书号：2023-J-098-D05/06

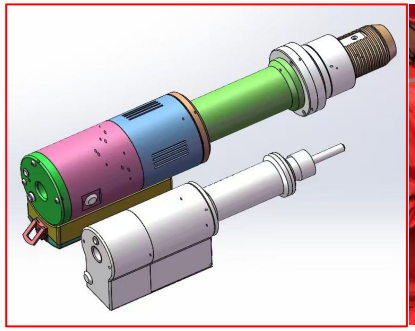
- 据不完全统计：江苏中特使用高灵敏度管子管板角焊缝X射线检测技术（TTS-RT）检测换热器管子管板角焊缝20年（2005-2026），检测管头数量超过**70万**个，为公司创造的产值超过**8000万**元。为企业挽回经济损失数十亿元。
- **江苏中特的TTS-RT技术服务质量可靠**：据江苏中特的最大客户——巴斯夫中国反馈的信息：二十二年来，江苏中特为其检测的换热器管头数量超过**30万**个，**从未发生过缺陷漏检和换热器泄漏案例**。近几年来江苏中特为巴斯夫服务的范围已经从巴斯夫中国扩大到巴斯夫东南亚（泰国、印尼、马来西亚、韩国等）。
- TTS-RT技术在中国推广应用产生巨大社会效益和经济效益：中国换热器制造质量大幅度提升，石油化工生产装置的换热器泄漏率大幅度降低。

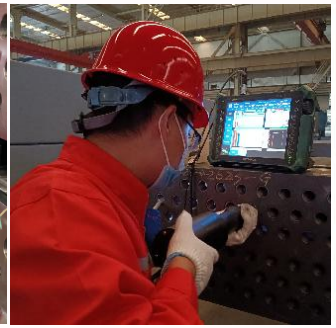
02

SECTION 02

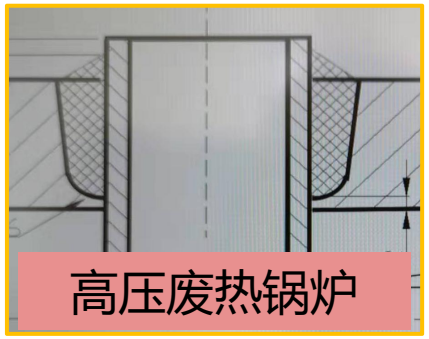
管子管板角焊缝相控阵超声检测技（TTS-PAUT）

- 2.1 研发背景
- 2.2 技术特点
- 2.3 自研扫查器
- 2.4 应用成果
- 2.5 难题攻克

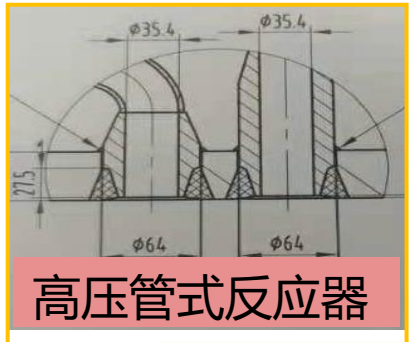





- 在TTS-RT技术达到国际先进水平以后，江苏中特决定再接再励，研究开发管子管板角焊缝相控阵超声检测（TTS-PAUT）技术。**为什么要研发TTS-PAUT？因为TTS-RT使用的棒阳极X射线管电压无法超过160KV，焦距无法超过60mm**，以致很多厚壁的、大直径的、深坡口的，特殊材料的（镍、铜、锆），特殊结构的（高压加氢空冷器、尿素高压洗涤器器）的角焊缝无法实施检测；另外，在检测速度，灵敏度、缺陷测量精度等方面，TTS-RT不能令人满意，环保方面的问题也无法解决。



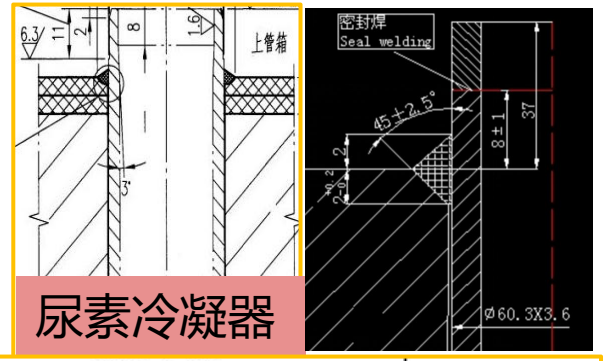
高压废热锅炉



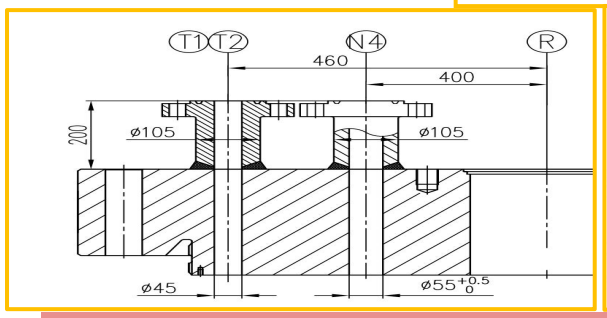
高压管式反应器

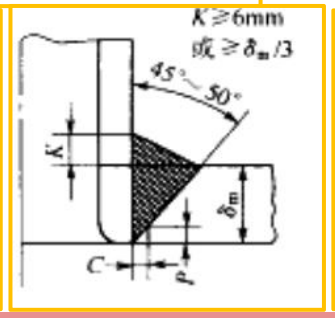


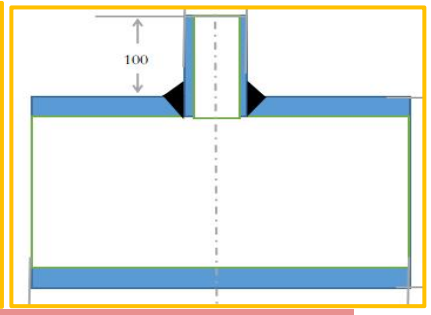
高压加氢空冷器



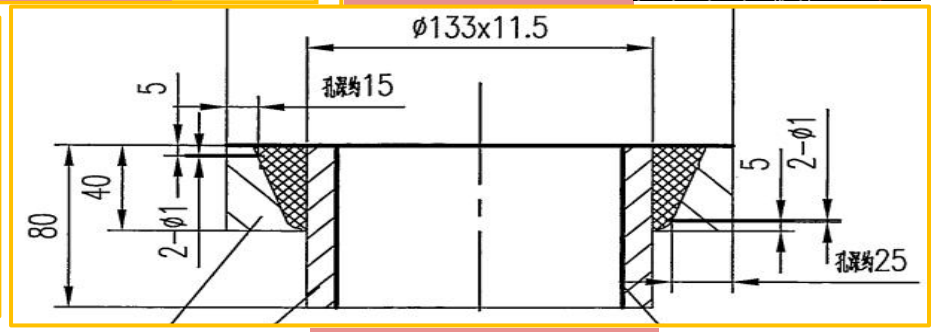
尿素冷凝器





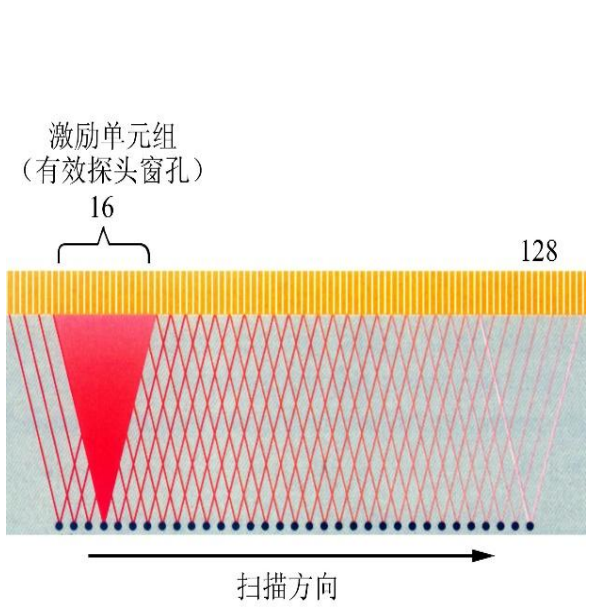


压力容器和管道的接管角焊缝

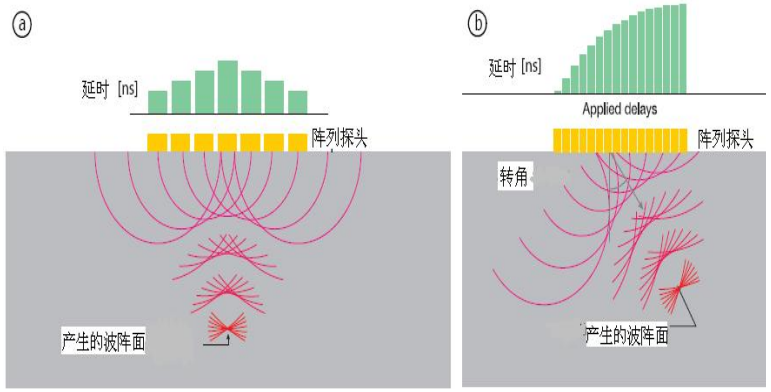


多晶硅还原炉

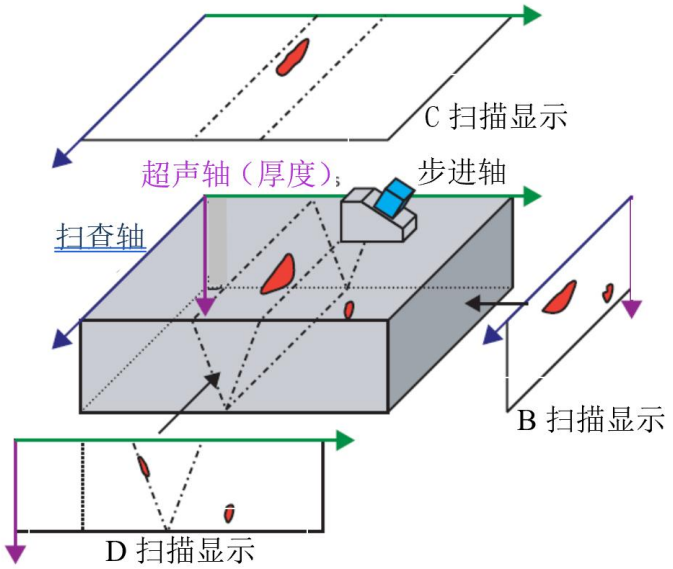
- 相控阵技术具有**高灵敏度，高信噪比，高精度**等优点，其原理是采用阵列晶片探头，用计算机控制多路激励电脉冲的激发时间，使探头各阵元发出的超声信号有不同延时，产生不同相位的超声波，合成后的超声波束可实现扫描、偏转、聚焦等功能。



电子扫描



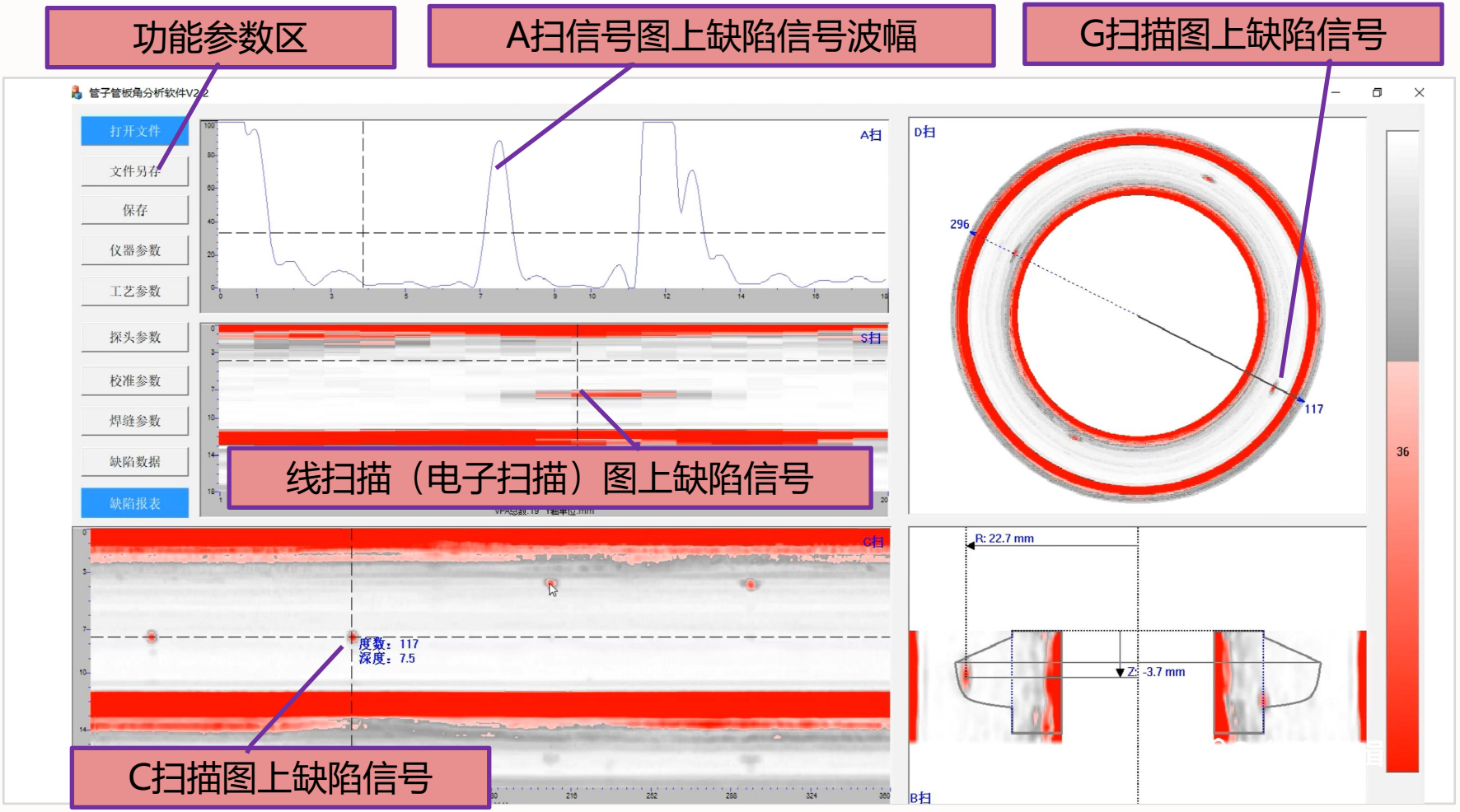
电子聚焦



多维度成像

江苏中特研制的扫查系统软件输出的图谱页面与信号显示特点

“三向观测，五图联动”把缺陷位置、尺寸、形态表示的清清楚楚

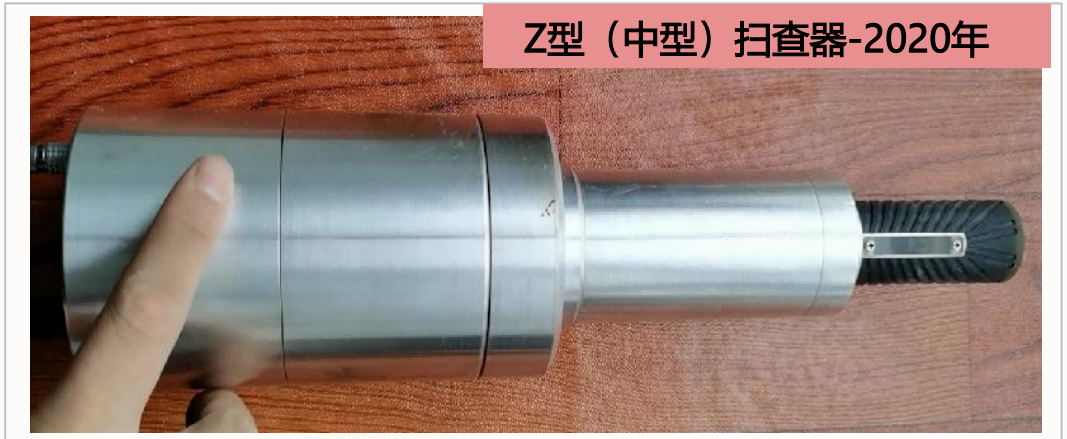


TTS-PAUT相对于TTS-RT的优势

序号	TTS-RT的不足	TTS-PAUT的优势	序号	TTS-RT的不足	TTS-PAUT的优势
1	检测速度慢	检测速度快，扫查一个管头用时 12秒	8	厚壁管子无法穿透	可检测管子壁厚最大 20mm
2	现场辐射防护和环保问题	无辐射，无污染，真正绿色环保低碳	9	深坡口焊缝无法透照	可检测坡口最深 40mm
3	现场交叉作业难以安排	现场不妨碍其他作业，可安排近距离同时进行	10	有障碍的管头无法检测	可穿越管箱检测空冷器管头角焊缝
4	测不出未焊透深度	能测出未焊透深度，误差小于 0.3mm	11	异形管头无法检测	可检各种急冷器，反应器，废热锅炉的角焊缝
5	测不出缺陷高度	能测出缺陷高度，误差小于0.3mm	12	射线难以穿透特材（镍、锆、钽）	可对各种特材（镍、锆、钽等）管头实施检测
6	测不出埋藏深度	能测出埋藏深度，定位精度小于 0.3mm	13	灵敏度——检出Φ0.3mm 孔	灵敏度——检出Φ0.2mm 孔
7	大直径管头无法检测	可检测管头最大内径 120mm	14	提供底片作为依据	可提供包含 5 种视图的相控阵图谱作为依据

- 管子管板角焊缝相控阵超声检测（TTS-PAUT)系统、技术与工艺研发”课题于2017年立项，经历多次失败，终于在**2020年研制出率先工程应用的首台套TTS-PAUT检测系统**。到2025年共研制出4种不同规格型号的系列扫查器。

Z型（中型）扫查器-2020年

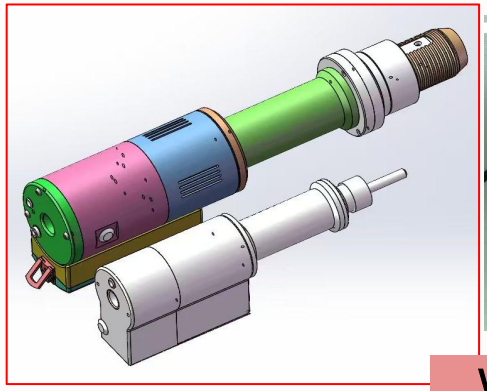


K型（空冷器专用）扫查器-2021年





D型（大型）扫查器-2024年





W型（小微型）扫查器 -2026年

- 与此同时，研制了与四种扫查器配套的装备，包括两种相控阵主机，一套离线软件，50种余不同规格尺寸前端和适配的探头，上百种校准试块和模拟试块，以及完整的检测技术与工艺。



各种扫查器与配套主机

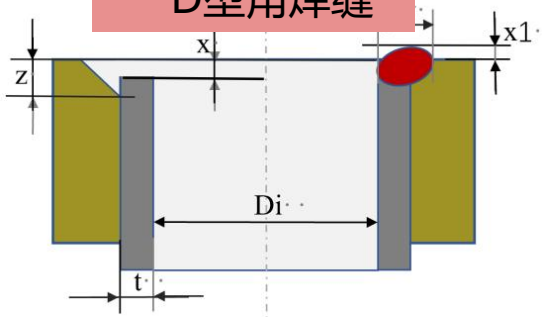

各种规格探头


各种规格前端、校准试块和模拟试块

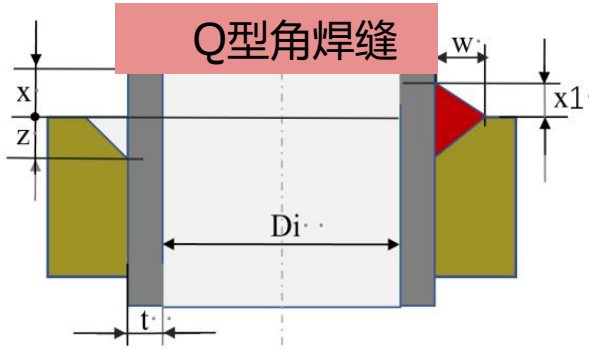
- **江苏中特的TTS-PAUT技术已在工程中广泛应用，覆盖了几乎所有结构型式、规格尺寸和材质的角焊缝。**

角焊缝类型包括：D型内角焊结构（管子低于管板）、Q型外角焊结构（管子伸出管板）、N型内孔焊结构（焊缝在管孔下部）。管子内径：从最小Φ9mm到最大Φ110mm区间的任何尺寸；管子壁厚：从最小1.5mm到最大20mm区间的任何尺寸；焊缝坡口深度从最小0mm到最大40mm区间的任何尺寸；管子伸出管板长度：从最小-1.5mm到最大80mm的任何尺寸；材质包括碳钢、不锈钢、钛及钛合金、镍及镍合金、锆及锆合金等。

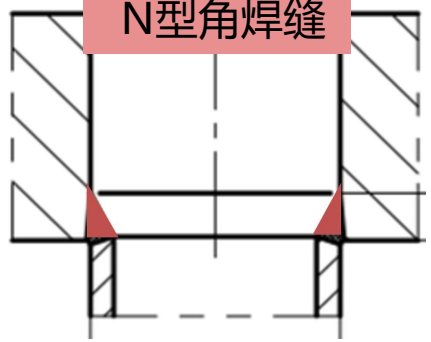
D型角焊缝



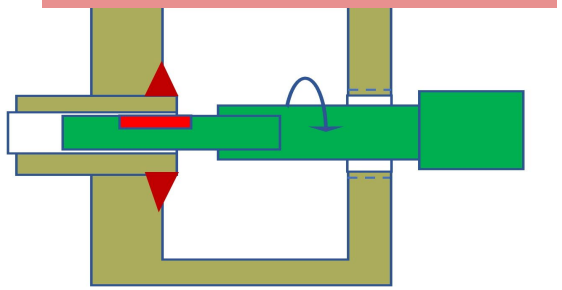
Q型角焊缝

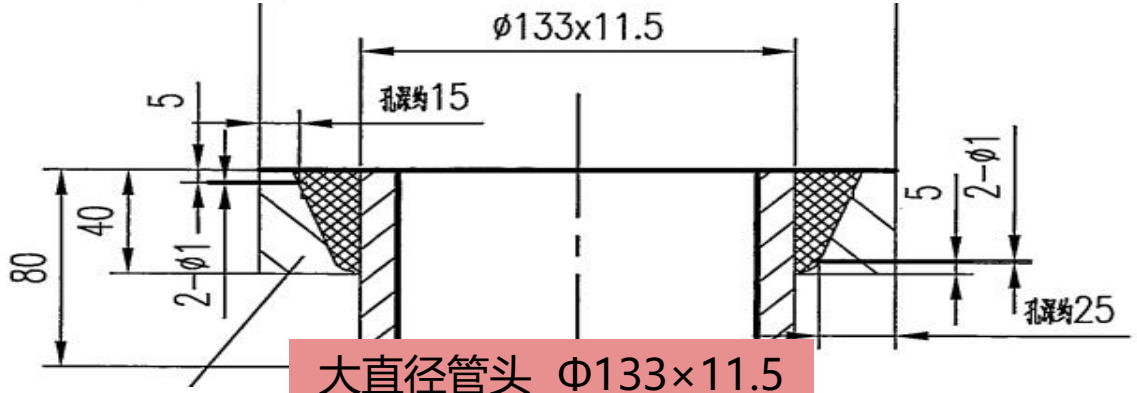


N型角焊缝

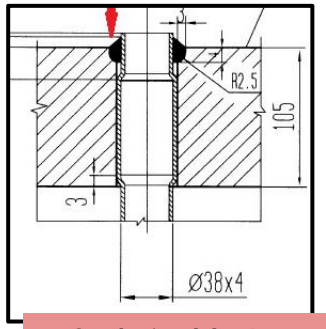


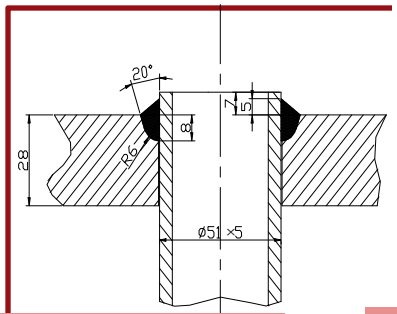
高压加氢空冷器角焊缝



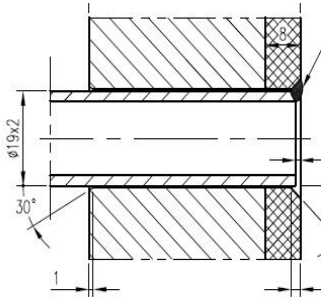


大直径管头 Φ133×11.5





中直径管头Φ38×4，Φ51×5



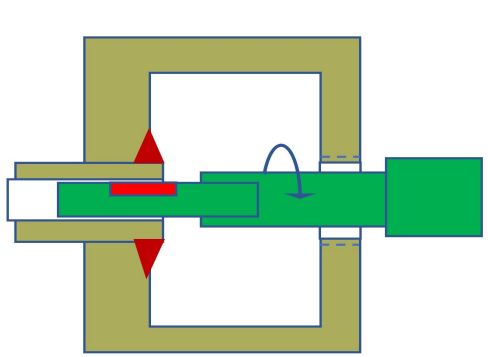
小直径管头Φ19×2

技术研发成果与检测业绩

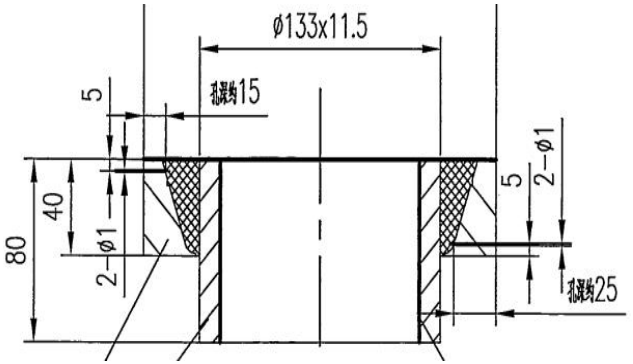
- 江苏中特发明的换热器管子管板角焊缝相控阵超声检测（TTS-PAUT）系统于2020年实现工程应用，是世界上该类设备的工程应用**首台套**。
- 江苏中特在换热器管头检测技术研发中共取得**14项专利**，其中**6项发明专利**。
- 从2021到到2026年，TTS-PAUT已完成的管头检测数量超过**8万**个，为公司创造产值近**千万**元；
- 管子管板角焊缝相控阵超声检测（TTS-PAUT）与管子管板角焊缝射线检测（TTS-RT）两项技术形成互补，能覆盖管子管板角焊缝种类（结构、规格、尺寸、材质）**90%**以上，数量**99%**以上。
- 江苏中特利用管子管板角焊缝相控阵超声检测（TTS-PAUT）技术与工艺解决了管子管板角焊缝检测的**4个世界难题**。

TTS-PAUT解决了换热器角焊缝检测的4个“世界难题”

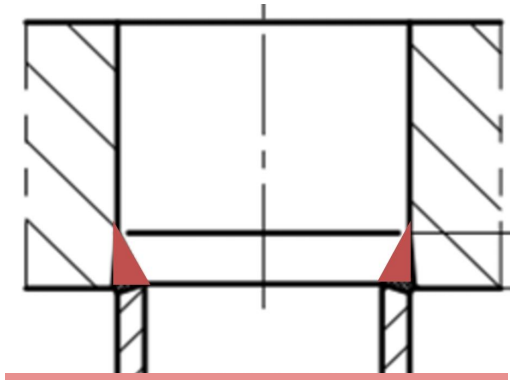
- 1、以**高压加氢空冷器**为代表的特殊结构管子管板角焊缝的检测——由于管子管板角焊缝位于整体管箱后壁，制造时要求先焊管箱，后焊管子管板角焊缝，胶片无法靠近焊缝，TTS-RT检测无法实施。
- 2、以**多晶硅还原炉**为代表的大直径深坡口角焊缝的检测——由于管头尺寸超大（133×11mm），坡口超深（40mm），TTS-RT无法检测。
- 3、高压换热器经常采用的**内孔焊角焊缝**的检测——由于焊缝结构特殊，TTS-RT无法检测。
- 4、尿素换热器和列管式AA反应器等立式换热器经常发生从管子管板角焊缝根部起裂的**穿透性裂纹**——由于裂纹焊缝结构、裂纹发生部位，方向、尺寸特殊，TTS-RT无法检出。



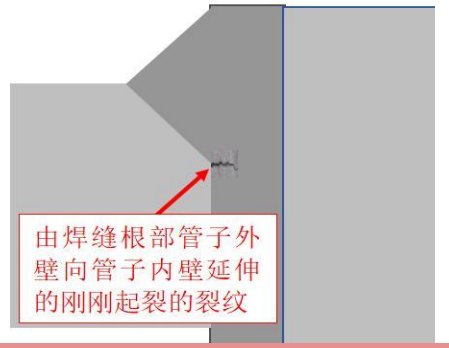
高压加氢空冷器



多晶硅还原炉



高压换热器内孔焊结构



从焊缝根部起裂的初生裂纹

03

SECTION 03

管束检测技术

局域强磁涡流检测技术（ILSM-ECT）

内旋转超声检测技术（IRIS）

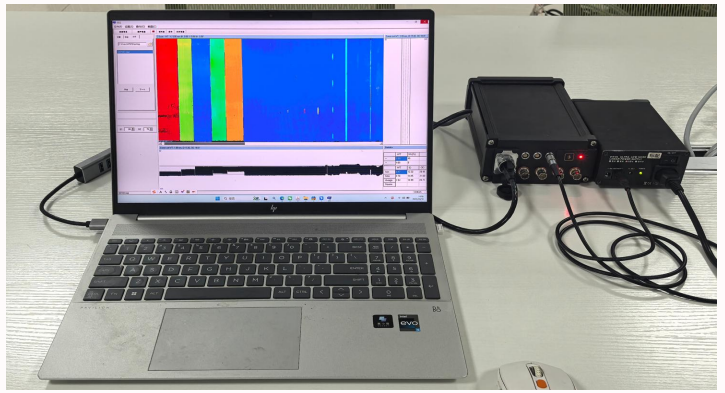
- 3.1 检测队伍和检测装备、科研与创新
- 3.2 局域强磁涡流检测技术（ILSM-ECT）
- 3.3 内旋转超声检测技术（IRIS）
- 3.4 管束检测典型案例
- 3.5 近十年检测业绩

- 检测队伍：拥有**十余组**具备超高检测技术检测队伍。
- 检测设备：拥有**8套**国际先进的涡流和内旋转超声检测仪器MS5800；另外拥有**8套**达到MS5800水平的自研内旋转超声检测仪器。
- 检测探头：拥有超过**60种规格**的内穿式涡流探头，拥有多套**内径14-80mm**的内旋转超声检测探头。
- 检测样管：拥有超过**40种**各种规格、材质、标准的涡流样管，来图加工的涡流样管（转交给客户）近千件。











- 科研与创新：江苏中特18年持续研究试验、攻克了多项换热器管束检测技术难题，研制出多项检测工艺，取得多项专利。包括：

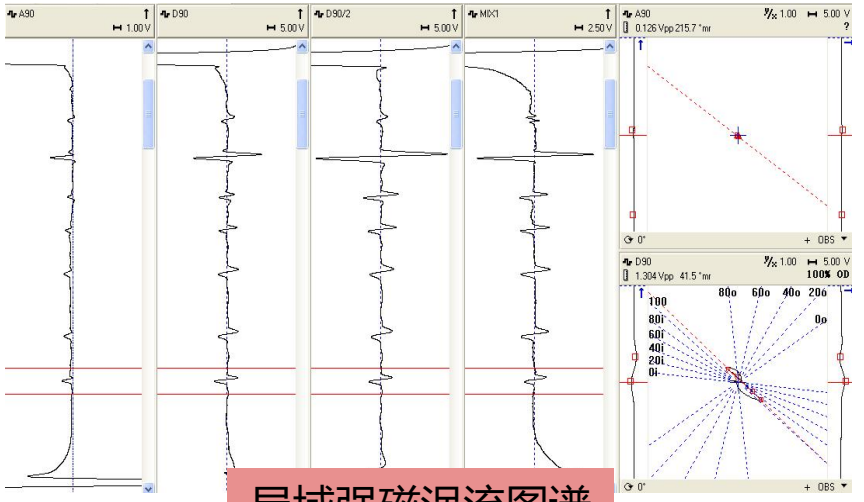
1、发明了**局域强磁涡流（ILSM-ECT)技术**，用于检测双相钢换热器和碳钢换热器，灵敏度和图像信噪比超过远场涡流技术。

2、完成了**翅片管空冷器**的涡流检测试验，优化检测工艺并开展检测业务。

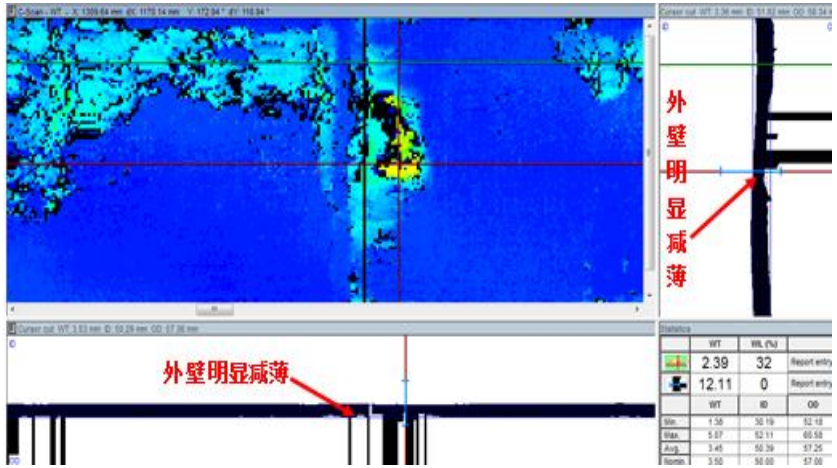
3、发明**减少盲区**的内旋转超声检测技术与工装。

4、发明**局部充水**的内旋转超声技术。

5、研发出**国产IRIS检测系统**，避免了被卡脖子的风险。

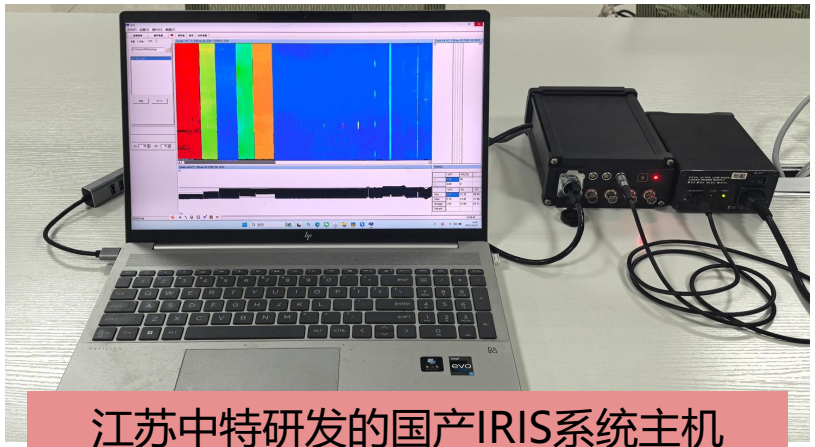


局域强磁涡流图谱

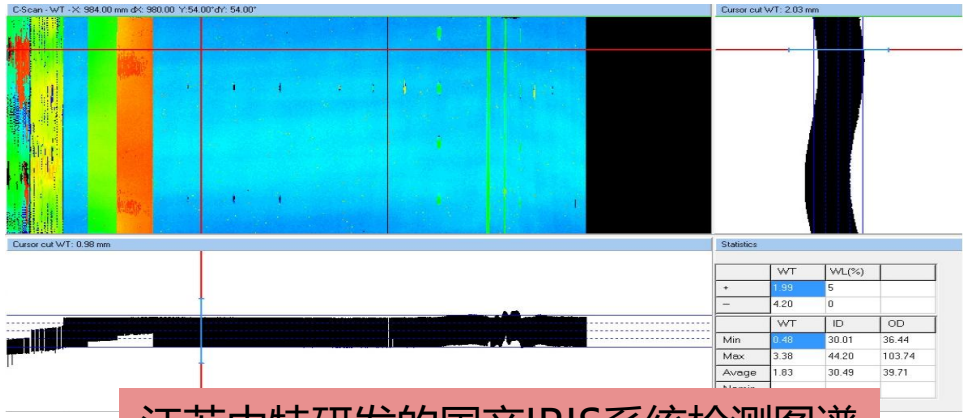


IRIS图谱

江苏中特研发成功国产IRIS检测系统，避免了被卡脖子的风险



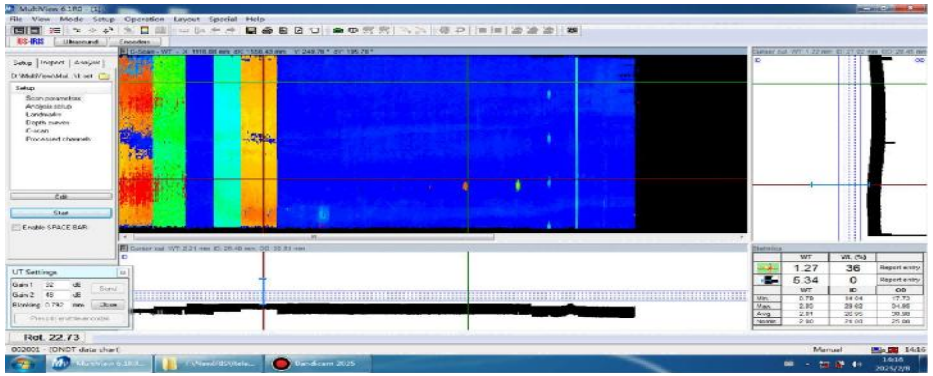
江苏中特研发的国产IRIS系统主机



江苏中特研发的国产IRIS系统检测图谱



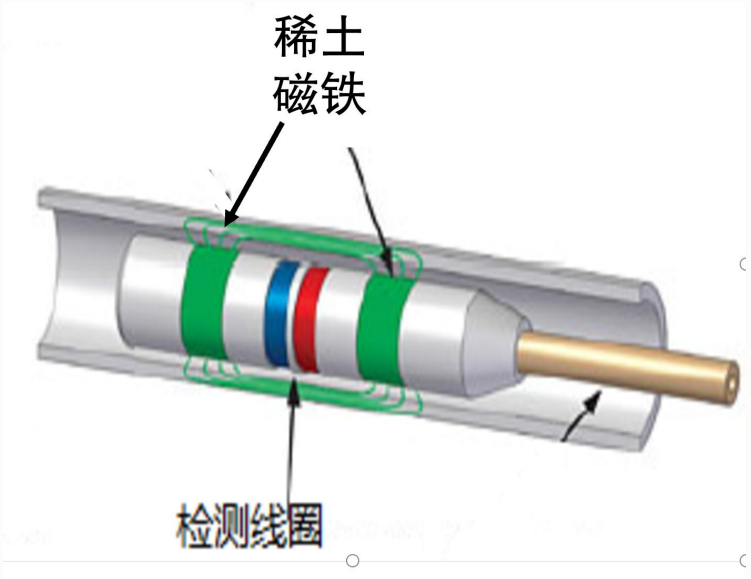
国外某著名品牌的IRIS系统主机



国外某著名品牌IRIS系统检测图谱

局域强磁涡流（ILSM-ECT）检测原理与特性

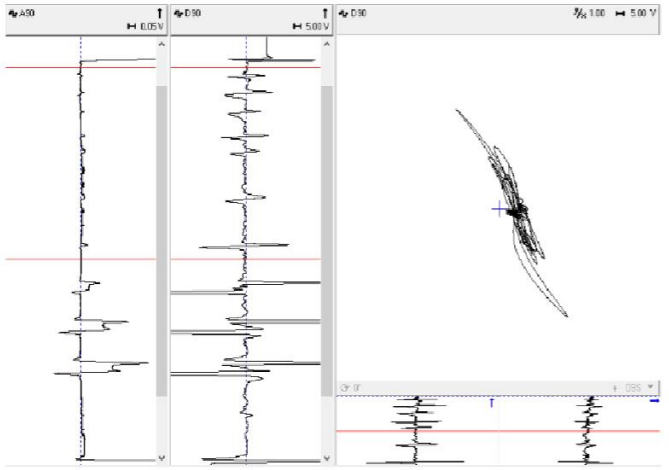
- 局域强磁涡流技术是江苏中特**自主研发**的先进涡流检测技术。该技术可以**取代远场涡流技术**用于铁磁性材料检测。
- 局域强磁涡流技术的原理是：使用磁性极强的**稀土磁铁**约束磁畴方向与大小的变化，从而降低涡流信号噪声，提高灵敏度和信噪比。
- 适用尺寸范围：管束内径Ø10-110mm 、壁厚T≤3mm;
- 适用材质：可以用于各种金属材料，包括非铁磁材料（奥氏体钢、铜、钛）、弱铁磁性材料（双相钢）和铁磁性材料（低碳钢、低合金钢、镍及镍合金）等;
- 缺陷检出能力对比：**局域强磁涡流的信噪比远高于远场涡流！**用同一根碳钢试样管进行测试，前者能检出Ø2mm通孔，后者只能检出Ø5mm通孔。



局域强磁涡流、常规涡流、远场涡流信号对比

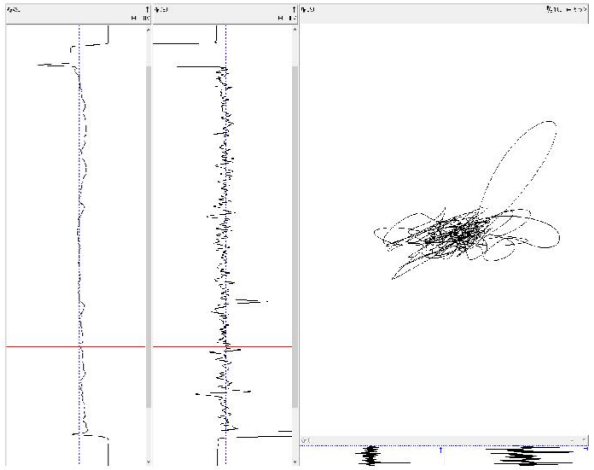
- 对碳钢样管分别使用局域强磁涡流、常规涡流、远场涡流分别实施检测，三项技术的信号图谱对比。
- 局域强磁涡流技术的信噪比、灵敏度、分辨率远远高于常规涡流和远场涡流。
- 三种技术检出通孔的灵敏度分别为：局域强磁约ϕ2mm清晰分辨，常规无法检出， 远场约ϕ4mm勉强分辨。

局域强磁涡流：信噪比很高，灵敏度很高



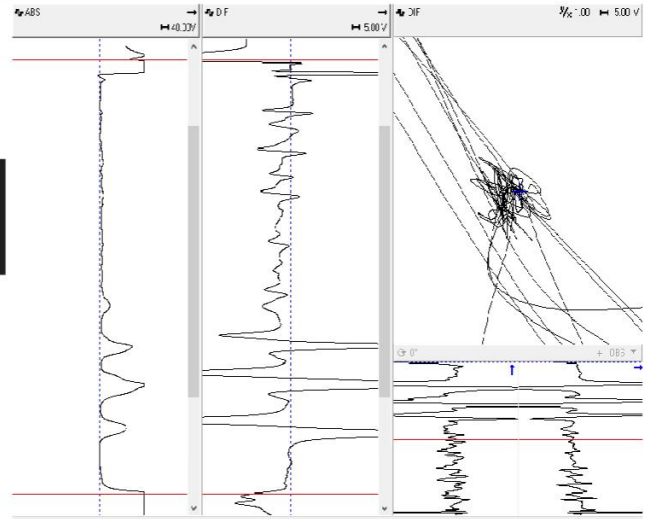
VS

常规涡流：信噪比极低，无法应用



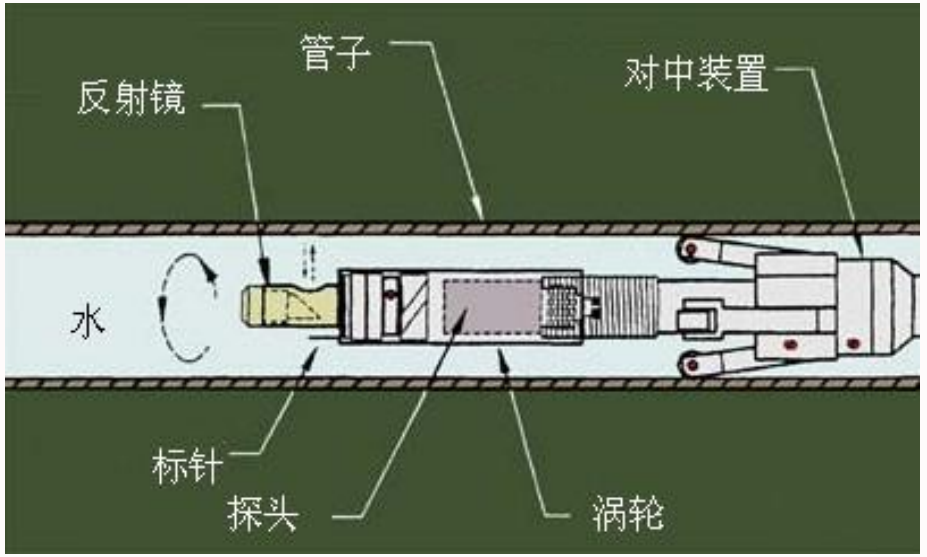
VS

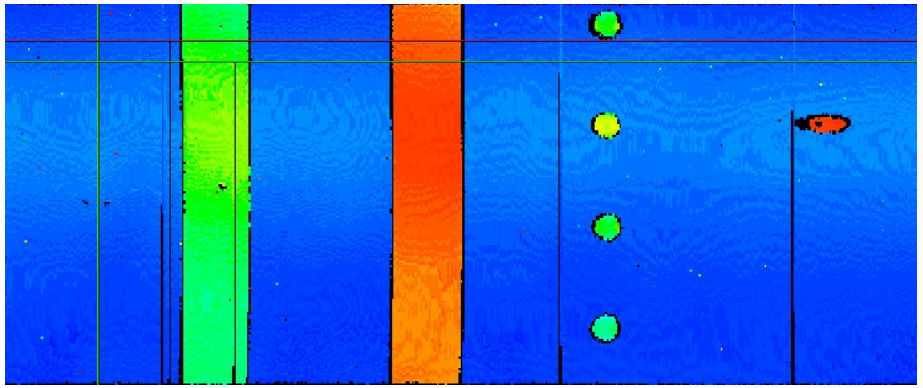
远场涡流：信噪比很低，灵敏度很低



内旋转超声检测（IRIS)原理与特性

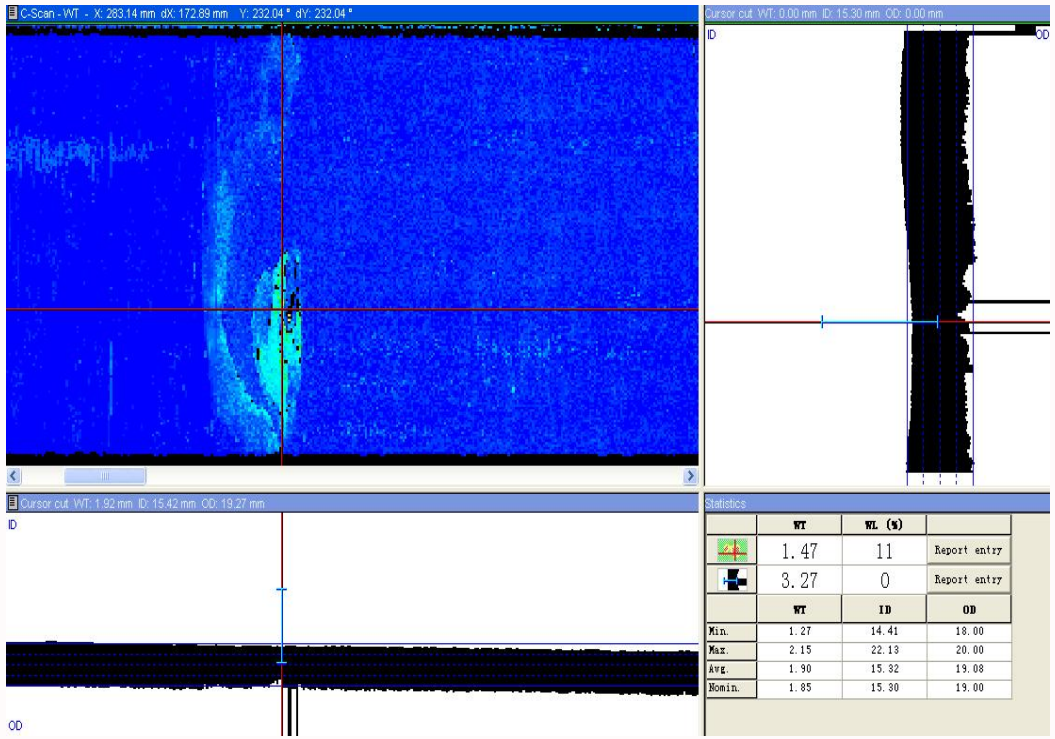
- 工作原理：超声波探头在充水的管内移动过程中不断激发超声脉冲，超声波通过45°反射镜改变波束方向，信号穿过管内壁和外壁产生的回波信号原路返回，被探头接收。仪器根据信号时序和返回时间计算出各个点的管子壁厚数据展示成图谱（通过软件，把不同壁厚值用不同颜色标记出来，把整根管束展开，形成一张C扫图）。
- 适用材质：不受材质限制，任何材质都可以检测，如碳钢、双相钢、不锈钢等。
- 适用范围：管束内径14-76mm之间、壁厚0.8-8mm之间。
- 检出能力：壁厚减薄类型的缺陷，各种类型的腐蚀减薄、直径＞3mm的腐蚀坑等，壁厚测量准确，精度能达到0.1mm。
- 检测速度：检测速度1-5米/分钟，比涡流慢很多。





IRIS检测图谱和管子损伤照片

- 下图为一根因冲刷导致换热管损伤的IRIS检测图谱，实际缺陷情况和IRIS展开检测图谱非常吻合。

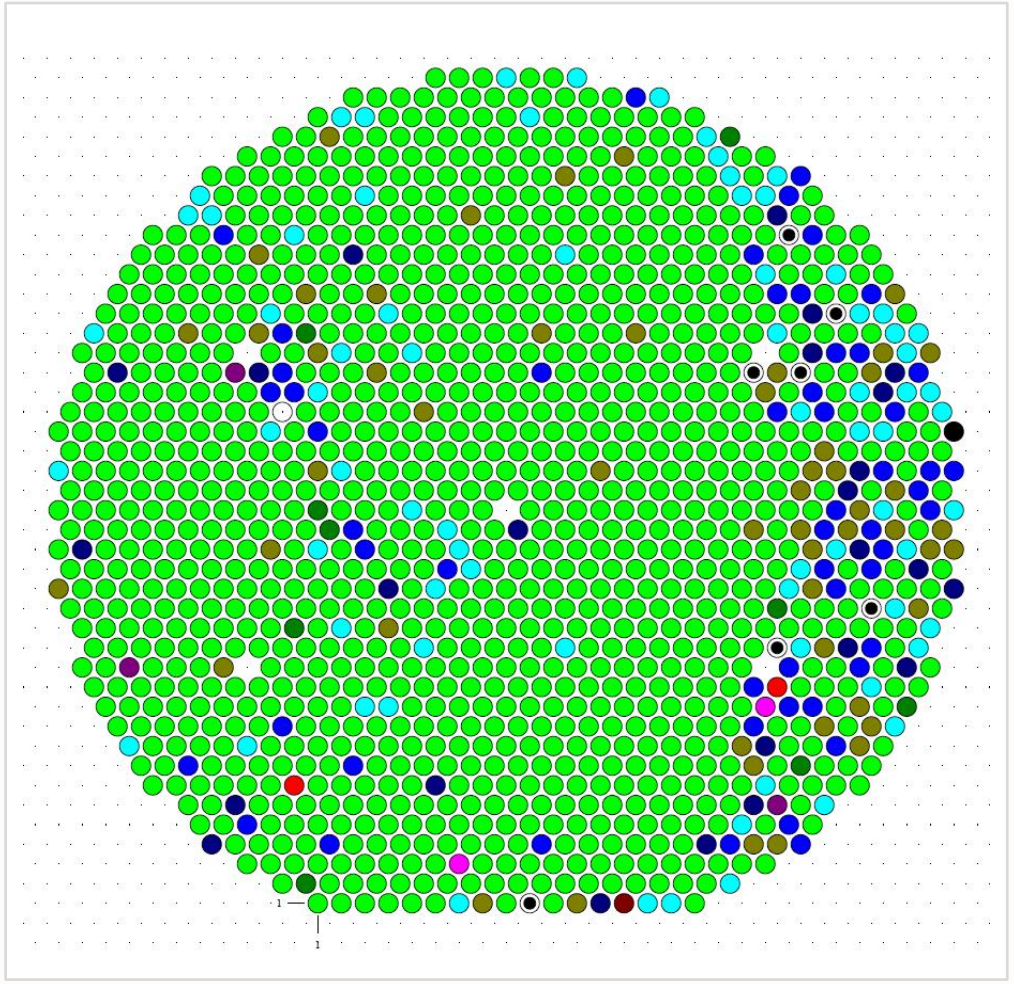




换热器管束ECT+IRIS检测典型案例

- 设 备 名 称 ： 再沸器；换热管规格： Φ25*2*2500mm
  换热管材质： 00Cr19Ni10（304）；摆 放 型 式 ： 立式。
- 检测结果：
  对1343根管子实行涡流全检，部分管子发现超标信号，显示存在点状缺陷和大面积腐蚀减薄类缺陷；
  考虑涡流定量不够精确，又进行IRIS抽查复核29根，发现管束内壁减薄严重，最大减薄量60%；
  换热器管束检测一般技术方案：应定期进行检测。先采用ECT大比例抽查快速检测，再对损伤严重区域采用IRIS小比例抽查验证，若问题严重，应进一步扩大检测比例。

7	PLG: Plugged	2	60 < Defect <= 70	74	20 < Defect <= 30
1	90 < Defect <= 100	3	50 < Defect <= 60	53	10 < Defect <= 20
2	80 < Defect <= 90	25	40 < Defect <= 50	9	0 < Defect <= 10
1	70 < Defect <= 80	54	30 < Defect <= 40	1111	No Defect Detected



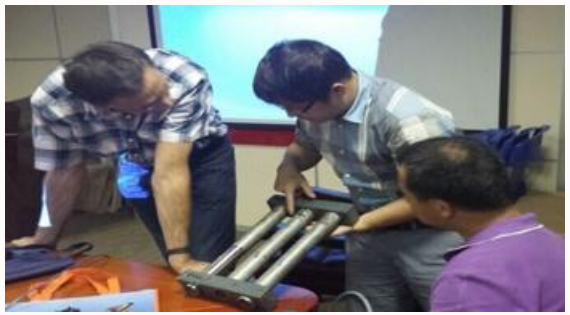
换热器管束ECT+IRIS检测应用业绩

- 据不完全统计，从2016-2025十年间，使用ECT技术检测换热器**1328**台，使用IRIS技术检测换热器**1576**台。

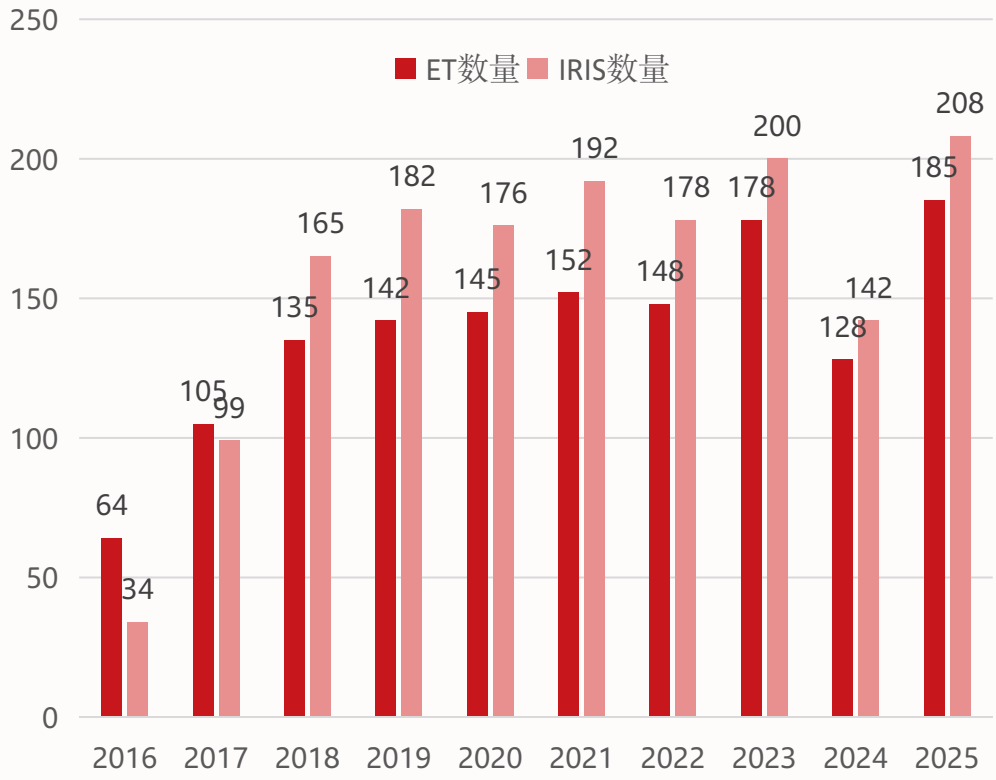
据江苏中特的管束检测最大客户中国万华化学集团反馈：十年间经江苏中特检测的在役换热器没有发生过任何泄漏事故。











想换热器不漏，找江苏中特！

公司全称　江苏中特创业设备检测有限公司

地址　江苏省南京市江宁区秣陵街道正方路88号

业务联系　025-83659657 / 15261483654（王女士）

技术咨询
- 管头检测 17361853939（强先生）
- 管束检测 18626461488（龚先生）

邮箱 / 官网　jsztcy@vip.163.com | www.jsztcy.com

关注

微信公众号



抖音号

微信视频号

汇 报 结 束，感 谢 垂 听

期待与各位同仁线下交流沟通

江苏中特创业设备检测有限公司