

MR

中华人民共和国市场监管行业标准

MR/T XXXXX—XXXX

储罐底板自动漏磁检测机器人通用技术条件

General specification for automatic magnetic flux leakage testing robots for storage tank floors

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

国家市场监督管理总局 发布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 型号编码 2

5 技术要求 2

5.1 一般要求 2

5.2 功能要求 2

5.3 性能要求 5

5.4 基本安全要求 5

5.5 环境适用性 6

6 试验方法 6

6.1 通则 6

6.2 外观和结构检验 6

6.3 基础功能检查 6

6.4 通行入口试验 6

6.5 自主定位与复核定位试验 6

6.6 运动能力试验 7

6.7 底板布置测量试验 7

6.8 漏磁检测性能试验 7

6.9 电气安全 8

7 检验规则 9

7.1 检验分类 9

7.2 检验项目 9

7.3 出厂检验 10

7.4 型式检验 11

8 标志、包装、运输和贮存 11

8.1 标志 11

8.2 包装 11

8.3 运输 11

8.4 贮存 11

附录 A （规范性） 自主功能测试试板 12

附录 B （资料性） 储罐底板排板图 14

附录 C （资料性） 底板附属结构图 15

附录 D （资料性） 储罐底板检测图 16

附录 E （资料性） 上下表面缺陷分布图 17

附录 F （资料性） 钢板列表 18

附录 G （资料性） 单板缺陷分布图 19

附录 H （资料性） 最大缺陷扫查带分布图 20

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由国家市场监督管理总局提出。

本文件由市场监管行业标准化专业技术委员会（SAC/TC ）归口。

本文件起草单位：×××××、×××××。

本文件主要起草人：×××、×××、×××。

储罐底板自动漏磁检测机器人通用技术条件

1 范围

本文件规定了常压储罐底板自动漏磁检测机器人的范围、术语和定义、型号编码、技术要求，试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存。

本文件适用于检测铁磁性材料制立式圆筒形焊接常压储罐（以下简称常压储罐）底板母材上下表面腐蚀、机械损伤等体积型缺陷的漏磁检测机器人。待检储罐底板厚度一般不超过20mm，对厚度超过20mm的储罐底板漏磁检测，漏磁检测机器人应通过相应厚度试板的漏磁检测灵敏度验证。

本文件不适用于焊缝漏磁检测机器人。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 191 包装储运图示标志

GB/T 13384 机电产品包装通用技术条件

GB/T 20737 无损检测 通用术语和定义

GB/T 31212 无损检测 漏磁检测 总则

GB/T 34357 无损检测 术语 漏磁检测

GB/T 36321 特种机器人 分类、符号、标志

GB/T 40013 服务机器人 电气安全要求及测试方法

GB/T 40574 大型工业承压设备检测机器人通用技术条件

GB/T 5226.1 机械电气安全 机械电气设备 第1部分：通用技术条件

GB/T 5226.7 机械电气安全 机械电气设备 第7部分：工业机器人技术条件

GB/T 12604.6 无损检测 术语 涡流检测

NB/T 47013.12 承压设备 无损检测 第12部分：漏磁检测

JB/T 10765 无损检测 常压金属储罐漏磁检测方法

SJ/T 11852 服务型机器人用锂离子电池和电池组通用规范

3 术语和定义

GB/T 20737、GB/T 31212、GB/T 34357、GB/T 12604.6和 NB/T 47013.12界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

储罐底板漏磁检测机器人 magnetic flux leakage testing robot for storage tank floor

在常压储罐底板上自主行进，代替检测人员在常压储罐内部执行储罐底板漏磁检测作业的机器人。

注：以下简称漏磁检测机器人。

3.2

自主越障 autonomous obstacle crossing

漏磁检测机器人无需人工干预，自动识别、判定行进路径上的焊缝、焊瘤等可跨越障碍物，实现平稳跨越且不中断检测流程的能力。

3.3

自主避障 autonomous obstacle avoidance

漏磁检测机器人无需人工干预，自动识别不可跨越障碍物并自主规划安全轨迹绕行通过的能力。

3.4

避障路径 obstacle avoidance path

漏磁检测机器人规避障碍物所规划或行走的轨迹。

3.5

复核定位 repeated positioning

漏磁检测机器人对储罐底板扫查发现的缺陷进行复核时，自主移动至目标缺陷位置并实现精准定位的能力。

3.6

自动换轨 automatic track change

漏磁检测机器人在当前扫查轨迹检测完毕，或因局部障碍无法继续沿原轨迹行进时，自主切换至新扫查轨迹的能力。

3.7

异常状态 error state

漏磁检测机器人工作时偏离预设正常工况的各类非预期运行状态，如核心部件温度异常、检测进程非指令性中止等状态。

3.8

自主功能测试试板 autonomous function test plate

用于验证漏磁检测机器人的规划路径、行进、换轨、避障、越障、紧急制停、漏磁检测作业、缺陷复核及磁化强度调节等自主功能的专用标准试件。

4 型号编码

漏磁检测机器人型号编码应符合GB/T 40574中4.2的要求。

5 技术要求

5.1 一般要求

5.1.1 磁检测机器人系统至少由电源、自调节磁化单元、磁场传感器、信号采集单元、缺陷自主判定系统、显示报警单元、底板布置测量系统、定位导航单元、驱动单元、信息存储单元组成。

注：底板布置测量系统可以是能够与漏磁检测机器人进行数据交换的独立单元，向漏磁检测机器人提供储罐底板的排板信息和障碍物信息。

5.1.2 漏磁检测机器人应能自主完成储罐底板漏磁检测全流程作业，包括自主规划路径、行进、换轨、避障、越障、紧急制停、漏磁检测、复核定位等，具备自主调节磁化强度、信号分析与缺陷判定、检测结果输出等功能，并符合 GB/T 40574 中 5.1~5.5 的要求。

5.1.3 漏磁检测机器人的自主功能应能通过自主功能测试试板的测试。自主功能测试试板的整体结构与连接要求、分区及功能设置、加工、表面与材质要求等应符合附录 A 的规定。

5.1.4 漏磁检测机器人外观和结构应符合以下要求：

- a) 表面应无裂纹、明显的凹陷和变形，不应存在其他有损结构强度的质量缺陷；
- b) 机器人所有紧固件、连接件应装配牢固，所有相对转动、滑动部位应灵活可靠；
- c) 主体若采用金属材料制作，宜采用同种金属，不同金属的部件间应进行电化学隔离；
- d) 机器人本体（不含可拆卸或可折叠部件）的外形尺寸应满足通过直径 450mm 标准人孔的要求，且通过过程中不应出现卡滞。

5.1.5 工作电压要求：漏磁检测机器人驱动单元额定工作电压不应大于 24V，其余功能单元、控制系统额定工作电压不应大于 12V；机载电池本体及接线端子防护等级不应低于 IP68，能有效阻隔粉尘、液体侵入引发短路故障；整机电气回路应配置过流、过压、短路保护装置，保障设备电气运行安全。

5.2 功能要求

5.2.1 人机交互控件

机器人系统配置的机械按键、无屏触摸感应键、屏幕虚拟触控等人机交互控件布局应简单合理，各按键/触控操作顺畅无卡滞、动作灵活、接触可靠，按键信号触发准确。

5.2.2 显示功能：

机器人显示单元运行状态正常，画面清晰，无花屏、黑屏、乱码及异常报错，各项参数、设备状态信息显示准确、完整。

5.2.3 紧急制停与报警

漏磁检测机器人应具备在出现异常状态时自动制停并发出警报的功能，及时反馈机器人故障信息并保存日志。

5.2.4 自主定位

漏磁检测机器人应具备储罐内无卫星信号环境下全自主定位能力，作业过程无需人工实时遥控点位校正，支持离线建图、实时定位、轨迹自主更新，能独立完成储罐内部全域位置计算。

自主定位功能具备断点续位能力，作业中断重启后能自动识别历史作业位置，接续未完成区域检测，无需全域重新扫查。断点续位应与前期检测轨迹无缝衔接，衔接区域扫描参数、重叠宽度满足检测要求，无衔接盲区、过量重复扫查问题。

5.2.5 路径规划

机器人应具备储罐内全自主路径规划能力，能基于罐内环境信息、实时位姿或预设待检边界生成全域检测轨迹，无需人工预设轨迹、全程遥控引导。规划轨迹应完整覆盖划定待检区域，扫查间距、路径重叠宽度适配漏磁检测工艺要求，消除检测盲区，保障储罐底板扫查完整。

5.2.6 自主避障

机器人应具备自主避障能力，行进过程遇到障碍物时无需人工实时干预，能自主完成障碍物避让与行走速度调控，满足储罐自动化漏磁检测作业需求；避障处理后检测轨迹应连续有序，应能避免无序绕行造成检测效率下降、扫查区域划分混乱。

5.2.7 运动控制

机器人应具备全自主运动控制能力，能依据规划路径、实时设备状态及作业模式自主完成行走、调速、转向、轨迹跟踪等动作调控，无需人工持续操控；运动控制系统与自主定位、路径规划、自主避障功能协同联动，能根据实时作业工况动态匹配运动参数，保障行走过程可控、排布有序。设备仅允许在试验启动调试、故障处置阶段采用人工操控模式，任一操控模式下整机运行状态均应与下发控制指令保持一致，指令响应及时、行走平稳，不存在误动作、异常联动及运动卡滞。

5.2.8 障碍物识别

机器人系统应具备罐内障碍物识别能力，能识别储罐内浮顶支杆、加热盘管、物料管、牺牲阳极块等障碍物的边界数据，并同步关联定位信息。障碍物识别可以采用设备全自主识别测量模式或结合底板布置测量的人工定点标注模式。采用人工定点标注方式的设备，仍应具备障碍物实时感应识别能力。

5.2.9 自主越障

机器人应具备自主越障能力，能平稳通过储罐底板搭接焊缝、焊瘤；越障完成后应自主回归预设规划轨迹，持续开展漏磁检测作业，运行全程无碰撞、卡滞、非预期紧急停机。

5.2.10 复核定位

复核定位功能应能针对检测发现的缺陷点位，自主完成精准回位，无需人工点位标定与遥控对位。

5.2.11 底板布置测量

底板布置测量功能可以是全自主智能识别测量模式，也可依托人工定点识别、点位采集的方式实现底板结构数据采集。底板布置测量系统应根据测得的底板结构自动生成储罐底板排板图和底板附属结构（浮顶支杆、加热盘管、物料管、牺牲阳极块、集液坑等）图。

5.2.12 漏磁检测

机器人应具备储罐内全自主漏磁检测能力，能自主完成储罐底板障碍物区域以外的全覆盖漏磁扫描检测，根据底板厚度变化完成磁化自适应调节，无需人工持续干预检测作业。

漏磁检测功能应与自主定位、路径规划、运动控制功能协同联动，实现检测数据、位置坐标、行走轨迹的同步关联；自主检测作业缺陷识别判定、检测工艺参数均应满足 JB/T 10765、NB/T 47013.12 标准规定。

5.2.13 磁化自适应调节

机器人磁化控制系统应具备磁化自适应调节能力，检测过程中应依据实时识别的底板厚度动态调整磁化强度，调节逻辑应适配不同板厚，在保障检测灵敏度的同时抑制磁化过强产生的干扰信号。

对 6mm~20mm 储罐底板，系统应自主将磁化调节至磁饱和或近磁饱和状态，不应出现漏检缺陷。

5.2.14 相邻轨迹扫查带有效重叠

相邻轨迹扫查带有效重叠控制功能应能依据预设扫查带宽自主控制相邻检测路径的重叠宽度，消除扫查间隙造成的漏检区域。

5.2.15 缺陷自动识别与定位

机器人应具备缺陷自动识别与定位功能，检测过程中自主提取储罐底板漏磁特征信号，识别体积型缺陷信号，并结合定位信息精准计算缺陷坐标，输出缺陷原始位置数据。

5.2.16 缺陷识别分析与自动生成检测报告

机器人缺陷自主判定系统基于 5.2.15 输出的缺陷坐标原始数据，区分储罐底板上表面、下表面缺陷并判定缺陷当量深度；设备应对检出缺陷的位置、当量深度开展分析、判定，实时显示并完整存储记录。系统应支持自动生成检测报告，报告除包含储罐基本信息、漏磁检测技术信息外，还应包含以下内容：

- 储罐底板排板图，按固定比例呈现的带有焊缝分布和钢板排列编号的底板平面结构图，参考附录 B。
- 底板附属结构图，带有储罐底板浮顶支杆、加热盘管、物料管、牺牲阳极块、集液坑等内部构件的储罐底板结构图，参考附录 C。
- 储罐底板检测图，在储罐底板排板图上显示扫查带并以不同颜色区分显示不同当量深度的缺陷标记，参考附录 D。
- 上下表面缺陷分布图，通过颜色区分显示缺陷位于上表面、下表面、上下表面均有等不同信息的缺陷分布图，参考附录 E。
- 钢板列表，含各钢板编号及对应的最小缺陷和最大缺陷信息的储罐底板各钢板列表，参考附录 F。
- 单板缺陷分布图，显示缺陷中心坐标、缺陷自身尺寸等信息的单板缺陷分布图，参考附录 G。
- 最大缺陷扫查带分布图，根据每条扫查带中最大缺陷当量深度进行颜色区分的扫查带分布图，参考附录 H。

注：附录 B~H 中数值仅为范例。

5.2.17 垂直原扫查方向的缺陷验证

漏磁检测机器人应能自主完成 JB/T 10765 中 7.5 要求的扫查验证，对缺陷信号在垂直原扫查方向或其他多个方向进行再扫查验证，确认是否为真实缺陷，并根据结果调整缺陷记录与显示结果。

5.2.18 数据与图像传输能力

设备配备 USB 接口，支持 U 盘等移动存储介质离线导出全部检测数据、图像与报告文件。

5.2.19 数据稳定性

漏磁检测机器人在电源断电、欠电等供电异常情况下应能正常存储已完成检测部分的检测数据。

5.3 性能要求

5.3.1 漏磁检测机器人漏磁检测性能应满足 NB/T 47013.12 中 6.2.2~6.2.9 和 JB/T 10765 中 4.1~4.2 的要求，漏磁检测灵敏度应满足 JB/T 10765 中 6.1.4 的要求，缺陷量化应满足 JB/T 10765 中 6.2 对比试块的验证要求。

5.3.2 自主定位与导航系统应满足机器人作业点位绝对定位误差应不大于 ± 40 mm，重复定位误差应不大于 ± 20 mm。

5.3.3 漏磁检测机器人行进速度和转弯半径应满足 GB/T 40574 中 5.4 要求；扫查速度应满足传感器灵敏度性能的要求。

5.3.4 漏磁检测机器人漏磁检测单次扫查宽度应不低于 100mm，相邻轨迹扫查带有效重叠应不低于 10%，不引起漏检。

5.3.5 连续工作时间：漏磁检测机器人在不更换自带锂电池能源模组的情况下，单次充满电后连续运行时间应不小于 4 小时。

5.3.6 数据存储能力：漏磁检测机器人数据存储空间应满足单次完成待检储罐底板全部漏磁检测所产生的检测数据、日志及图像的存储需求，并应留有至少 10% 的冗余空间。

5.3.7 可靠性：机器人平均无故障工作时间（MTBF）应不低于 72h，平均修复时间不大于 3h。

5.4 基本安全要求

5.4.1 机械安全

在漏磁检测机器人生命周期内，物理上（机械结构产生的直接伤害）所有风险应被降低到可接受的程度，确保其对人员和周围环境不发生损伤或危害。设计时应避免锐边、尖角、凸出结构，金属薄板应剔除毛刺、倒角，防止对使用人员造成伤害。

5.4.2 故障防护

在常压储罐内独立作业的漏磁检测机器人，应有监控漏磁检测机器人状态的监控措施，接收故障信息与实时报警。

5.4.3 电气安全

5.4.3.1 通则

5.4.3.1.1 机器人整机电气安全应符合 GB/T 5226.7 中 4.1.2 的规定，其中 4.1.2.6、4.1.2.7、4.1.2.8、4.1.2.9、4.1.2.12 条款不适用；同时应符合 GB/T 40013 中 4.1 的通用电气安全要求，确保整机电气系统运行安全、可靠，满足储罐底板检测工况的使用需求。

5.4.3.1.2 驱动电机、电源转换装置、控制模块等机器人关键元器件的电气安全应符合 GB/T 40013 中 4.2 的规定，其中 4.2.8 条款不适用。关键元器件应满足防电击、防短路等安全要求，并应符合 GB/T 5226.1 中 7.1 的通用安全要求，保障整机电气系统的稳定性和安全性。

5.4.3.1.3 整机主电源开关、各路分路开关的安全结构应符合 GB/T 5226.1 中 5.4 的规定，开关分断隔离、防意外起动、绝缘防护满足整机电气安全要求。

5.4.3.2 电击防护

漏磁检测机器人应具备完善的电击防护措施，适应储罐检测潮湿、腐蚀性环境使用要求。电击防护应符合 GB/T 5226.1 第 6 章的通用规定及 GB/T 40013 中 4.3 的要求，并满足下列要求：

- a) 供电电源应采用独立密封外壳，外壳应由阻燃、耐腐蚀绝缘材料制成，内部带电部件应被绝缘物完全封闭，无裸露带电体，防止漏电及触电危险，其绝缘应符合 GB/T 5226.1 中 6.2.1 的规定，在正常工作条件下能承受机械、化学、电气及热应力作用；

- b) 电源外壳应有清晰、持久的警告标识（包括高压警示、绝缘警示）和产品铭牌，铭牌应标注额定电压、生产厂家等必要信息，标识应清晰可辨、不易脱落，符合 GB/T 5226.1 中 16.2.1 的规定。

5.4.3.3 短路保护

漏磁检测机器人应具有可靠的短路保护功能，其短路保护应符合 GB/T 5226.1 中 7.2 的规定。主供电回路、分支回路及电机回路应设置专用短路保护器件（如断路器、熔断器），保护器件额定值应与所在回路额定电流相匹配，动作应迅速可靠。当发生短路故障时，应能及时切断故障回路电源，防止故障蔓延及电气部件损坏、火灾等事故发生。

5.4.3.4 过热保护

漏磁检测机器人应具备有效的过热保护功能，超温时自动切断对应供电回路并触发报警，其过热保护性能应符合 GB/T 5226.1 中 7.4 的规定。

5.4.3.5 供电电源

机器人外接交、直流电源应符合 GB/T 5226.1 中 4.3.2、4.3.3、4.3.4 及 GB/T 40013 中 6.3；机载锂电池组应符合 SJ/T 11852 第 7、8 章。

5.5 环境适用性

漏磁检测机器人在以下条件应能正常工作，超出下列范围时由供需双方协商确定适用范围：

- a) 0℃～40℃ 的环境温度条件；
- b) 20%～90%的相对湿度条件；

6 试验方法

6.1 通则

漏磁检测机器人出厂前应按照本章节试验方法测试各项功能，提供完整功能测试报告。

6.2 外观和结构检验

检验在常规环境条件下开展，检验前将机器人调整至初始待机状态，采用目视观察法进行检查。

6.3 基础功能检查

6.3.1 人机交互控件检查

依据产品使用说明书检查机器人机械按键、无屏触摸感应键、屏幕虚拟触控。

6.3.2 显示检查

设备开机后，采用目视与实操相结合的方式开展检验，查看机器人本体、操控单元各显示界面，并记录显示状态。

6.3.3 紧急制停与报警

设备通电后，分别模拟各类异常工况、联锁触发条件开展试验，逐项验证紧急停机、报警输出、安全联锁及机构联锁功能，并记录设备停机动作、报警与联锁执行状态。

6.4 通行入口试验

试验按 GB/T 40574 中 6.4.1 进行。

6.5 自主定位与复核定位试验

试验在自主功能测试试板 A 区开展，采用屏蔽措施切断机器人卫星定位信号；将机器人放置于试板 A 区内，启动自动漏磁检测模式。试验期间应确认：

- a) 机器人在无卫星信号输入工况下可稳定实时解算自身位置，完整完成 A 区全域路径规划与漏磁扫查作业，扫查轨迹与试板区域边界吻合，计算定位误差；
- b) 全程运行无定位丢失、轨迹紊乱、非预期停机现象；
- c) 中途中断检测后，重新启动可接续未完成区域持续扫查；
- d) 下发复核定位指令时，机器人无需人工点位标定、遥控对位，可自主行驶至对应缺陷坐标位置；

6.6 运动能力试验

6.6.1 路径规划、运动控制、自主避障试验

按附录 A.3.2 要求完成障碍物安装与固定，将机器人放置于自主功能测试试板A区内，启动自动检测模式，试验期间应确认：

- a) 机器人应能自主完成 A 区全域检测路径规划，按规划路径行进、自动换轨，不间断完成 A 区漏磁检测；
- b) 自主检测过程中应能主动识别预设障碍物，并自主修正行进路线、合理绕行障碍物；
- c) 整机运行全过程应无碰撞、卡滞、非预期紧急停机现象。

6.6.2 障碍物识别试验

对底板布置测量系统为独立单元的漏磁检测机器人应进行障碍物识别试验。试验在自主功能测试试板A区进行，机器人启动自动漏磁检测后，在检测区域内随机增设牺牲阳极作为临时动态障碍物；机器人应实时识别新增障碍物，快速修正行进路径、主动规避。

6.6.3 自主越障试验

试验在自主功能测试试板 B 区开展，将机器人放置于试板 B2 区内并启动自动漏磁检测模式。试验期间应确认：机器人完成 B2 区漏磁检测后，应自主平稳通过 B2、B1 区间搭接焊缝，连续完成 B2 区与 B1 区漏磁检测；运行全程无碰撞、卡滞、非预期紧急停机。

6.6.4 运行速度试验

在自主功能测试试板A区按GB/T 40574中6.4.2测试漏磁检测机器人运行速度，测试期间自主功能测试试板水平放置。

6.6.5 最小转弯半径试验

按GB/T 40574中6.4.4规定测试最小转弯半径。

6.7 底板布置测量试验

试验在自主功能测试试板A区、B1区、B2区内开展，试板布置模拟浮顶支杆、牺牲阳极附属结构，试验期间应确认：

- a) 测量模式能完整采集试板底板及各类附属结构的尺寸、位置数据；
- b) 测量完成后系统能依据采集数据自动生成储罐底板排板图；
- c) 系统能同步生成浮顶支杆、牺牲阳极块等底板附属结构分布图；
- d) 生成图纸中各构件位置、轮廓与试板实物布局一致，无构件缺失、位置错乱现象。

6.8 漏磁检测性能试验

6.8.1 灵敏度试验

按JB/T 10765中6.2.1规定采用校准试板测试灵敏度。

6.8.2 相邻轨迹扫查带有效重叠试验

试验在自主功能测试试板A区开展，试验期间A 区不设置任何障碍物。启动机器人自动漏磁检测模式，沿试板A区长度方向完成全自动扫查；通过扫查轨迹及相应 $\Phi 2\text{mm}$ 通孔检出数据分析核验相邻扫查带重叠率。

6.8.3 单次扫查宽度试验

采用 6.7.2 相邻轨迹扫查带有效重叠试验的试板工况、扫查轨迹及缺陷检出原始数据开展核查，无需重复开展扫查试验。试验期间应确认：任意一条单次独立扫查轨迹范围内， $\phi 2\text{mm}$ 通孔缺陷有效检出数量不少于 10 个。

6.8.4 检测厚度性能和磁化自适应调节试验

采用 6.5.3 自主越障试验的试板工况与检测数据开展核查，无需重复开展扫查作业。试验期间应确认：机器人磁化控制系统能随底板厚度自适应调节磁化强度，且能有效检出试板 B1、B2 区内预设的 20%板厚底面球形缺陷。

6.8.5 缺陷识别分析与自动生成检测报告试验

采用 6.5.3 自主越障试验的试板工况与检测数据开展核查，无需重复开展扫查作业。试验期间应确认：机器人缺陷自主判定系统能区分试板 B1、B2 区内 20%板厚底面球形缺陷的上下表面并判定当量深度，对缺陷位置、当量深度完成分析、显示、存储，无漏检、误检，缺陷坐标能实现复核定位精准回位；系统能基于检测数据自动生成包含储罐基础信息、检测技术信息及附录 B~附录 H 全部附图附表完整检测报告，信息无缺失错乱。

6.8.6 垂直原扫查方向的缺陷验证

试验在自主功能测试试板A区进行，启动机器人自动漏磁检测模式。机器人应能有效检出 A 区预设 20%板厚底面球形缺陷，并自主沿垂直原扫查方向或其他多个方向开展复核扫查验证，根据多方向扫查结果区分真实缺陷与伪缺陷信号。

6.8.7 连续运行试验

机器人充满电后，在实际工作工况下连续运行 4h；试验过程中不得进行充电及更换电池组。试验期间机器人运行状态正常，无故障停机、无异常报警，各项功能工作应正常。

6.9 电气安全

6.9.1 供电电源试验

供电电源试验应参照 GB/T 5226.1 中 5.3 规定的试验方法进行。

注：供电电源使用环境超出上述范围时，供需双方可协商确定适用条件。

6.9.2 电源开关试验

试验前确认机器人供电电源处于正常工作状态。手动操作机器人全部电源开关（含主开关、分路开关），依次完成接通、切断循环操作，重复 10 次，单次操作间隔 10s。试验期间应确认：各开关通断动作顺畅，能正常接通、切断电源，无卡滞、接触不良现象；机器人电气系统对开关动作响应正常。

6.9.3 电击防护试验

电击防护试验按照 GB/T 5226.1 中 6.2.2 与 6.2.3 规定的试验方法进行试验。

设备外壳所有可触及开孔、缝隙防护等级满足 IP2X 要求，带电部件被有效绝缘件完全包覆，绝缘层完整无破损，能承受标准规定的机械、电气应力；无单独采用油漆、清漆、珐琅涂层等非有效绝缘材料作为带电部件防护绝缘情况。

6.9.4 电气保护试验

6.9.4.1 短路保护试验

采用电子负载模拟短路工况，将其可靠接入机器人开关电源输出端并实施短接，观察并记录开关电源响应。试验期间应确认：开关电源能快速切断输出电流，无异常发热、无器件损坏，短接解除后能正常复位工作。

试验应符合 GB/T 5226.1中 5.5 的要求，试验过程应采取安全防护措施，防止电弧伤人。

6.9.4.2 过热保护试验

采用可调节恒温箱进行试验，将机器人电子包（含锂电池、电控模块、驱动电机等主要发热部件）置于恒温箱内并密封。试验初始温度设为 40℃，恒温保持 10min；之后每升高 2℃，恒温保持 10min，直至箱内温度超过本文件 5.4.3.4 规定的预设温度，观察温度保护电路动作情况。

试验重复 5 次，每次均应自动切断对应电源回路并触发过热报警，设备降温后能正常复位工作。过热保护试验应符合 SJ/T 11852 的相关规定。过热保护动作阈值以设备技术文件为准。

7 检验规则

7.1 检验分类

- 7.1.1 产品检验分为出厂检验和型式检验。
- 7.1.2 产品交货时应进行的各项试验，统称为出厂检验。
- 7.1.3 按本文件要求对漏磁检测机器人规定的全部技术要求进行检验，称为型式检验。
- 7.1.4 有下列情况之一时，应进行型式检验：
 - a) 新产品定型或老产品转厂生产鉴定；
 - b) 定型产品的设计、关键工艺、原材料发生重大变更，可能影响整机性能；
 - c) 正常生产的产品，每满 3 年或累计台数大于 50 台时；
 - d) 产品停产 3 年恢复生产时；
 - e) 出厂检验结果与上一次型式检验存在明显偏差；
 - f) 国家市场监管部门提出要求时。

7.2 检验项目

检验项目见表1。

表 1 漏磁检测机器人产品检验项目表

序号	检验项目		技术要求	试验方法	出厂检验	型式试验
1	外观和结构		5.1.4 a)、b)、c)	6.1	√	√
2	基础功能检查		5.2.1、5.2.2、5.2.3	6.2	√	√
3	通行入口试验		5.1.4 d)	6.3	/	√
4	自主定位与复核定位试验		5.2.4、5.2.10、5.3.2	6.4	/	√
5	运 动 能 力 试 验	路径规划试验	5.2.5	6.5.1	/	√
		自主避障试验	5.2.6	6.5.1	/	√
		运动控制试验	5.2.7	6.5.1	/	√

		障碍物识别试验	5.2.8	6.5.2	/	√
		自主越障试验	5.2.9	6.5.3	/	√
		运行速度试验	5.3.3	6.5.4	/	√
		最小转弯半径试验	5.3.3	6.5.5	/	√
6	底板布置测量试验		5.2.11	6.6	/	√
7	漏 磁 检 测 性 能 试 验	灵敏度试验	5.3.1	6.7.1	√	√
		相邻轨迹扫查带有效重叠	5.2.14	6.7.2	/	√
		单次扫查宽度试验	5.3.4	6.7.3	/	√
		检测厚度性能试验	5.2.13	6.7.4	/	√
		磁化自适应调节试验	5.2.13	6.7.4	/	√
		缺陷自动识别与定位试验	5.2.15、5.3.5	6.7.5	/	√
		缺陷识别分析与自动生成检测报告	5.2.16	6.7.5	/	√
		垂直原扫查方向缺陷验证	5.2.17	6.7.6	/	√
		连续运行试验	5.3.5	6.7.7	/	√
8	电 气 安 全	供电电源试验	5.4.3.5	6.8.1	√	√
		电源开关试验	5.4.3.1 c)	6.8.2	√	√
		电击防护试验	5.4.3.2	6.8.3	√	√
		电气保护试验	5.4.3.3、5.4.3.4	6.8.4	√	√
注：√表示该检验类别应检验；/表示该检验类别无需检验。						

7.3 出厂检验

7.3.1 每台机器人都必须进行出厂检验，由制造单位的质量检验部门负责实施。

7.3.2 出厂检验项目全部检验合格后，出具产品合格证。

7.3.3 检验中任一项目不符合要求或发生故障时，应查明原因并进行返修。返修后对该项及上次检验中未进行项目重新检验。

7.3.4 在重新检验中，该项目再次出现不符合要求或发生故障时，则该产品被判为不合格。

7.4 型式检验

7.4.1 进行型式检验的机器人，应是出厂检验合格的产品，受检台数由产品标准规定。

7.4.2 型式检验由制造单位的质量检验部门负责实施，或由上级主管部门指定的单位实施。

7.4.3 型式检验任一项目不合格或设备发生故障时，应先排查故障原因并返修；返修后仅对该项目重新检验。若同一项目复检仍不合格，需出具原因分析报告，整机全部项目重新开展型式检验；再次出现不合格的，应对该批次产品统一处置后重新送检。完成型式检验的样品应留存专用标识。

7.4.4 检验后出具型式检验报告。

8 标志、包装、运输和贮存

8.1 标志

8.1.1 漏磁检测机器人应有永久性标签，文字、符号和标识应清晰、端正，符合 GB/T 36321 规定。

8.1.2 标签应包含下列内容：

- a) 产品名称、型号；
- b) 额定电压、额定功率；
- c) 出厂编号；
- d) 生产日期；
- e) 制造单位名称。

8.2 包装

8.2.1 包装箱应选用轻质材料，符合 GB/T 13384 的规定，耐振、耐摔。

8.2.2 包装标志应符合 GB/T 191 中的规定。

8.2.3 包装箱内用衬垫定位，机器人不应窜动、相碰撞。

8.2.4 包装箱应防尘、防雨。

8.2.5 包装箱内应附装箱清单、产品合格证、使用说明书、备件及专用工具。

8.3 运输

运输、装卸时应小心轻放，严禁抛掷和碰撞，避免雨雪直接淋浸，防止剧烈撞击、振动。

8.4 贮存

8.4.1 应存放在室内或能避雨、雪、风、沙的干燥场所，环境温度为 -10°C ~ $+50^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度应小于 80%。

8.4.2 贮存环境应无腐蚀、易燃气体、无强烈机械振动、冲击和强磁场作用，不应与腐蚀性物品放在一起。

附录 A
(规范性)
自主功能测试试板

A.1 总则

本附录规定了漏磁检测机器人自主功能测试试板（以下简称试板）的整体结构与连接要求、分区及功能设置、加工、表面与材质要求等。

本附录适用于漏磁检测机器人自主定位、路径规划、运动控制、障碍物识别、自动越障、自主避障、磁化自适应调节、垂直原扫查方向的缺陷验证、单次扫查宽度和相邻轨迹扫查带有效重叠等的测试验证。

A.2 整体结构与连接要求

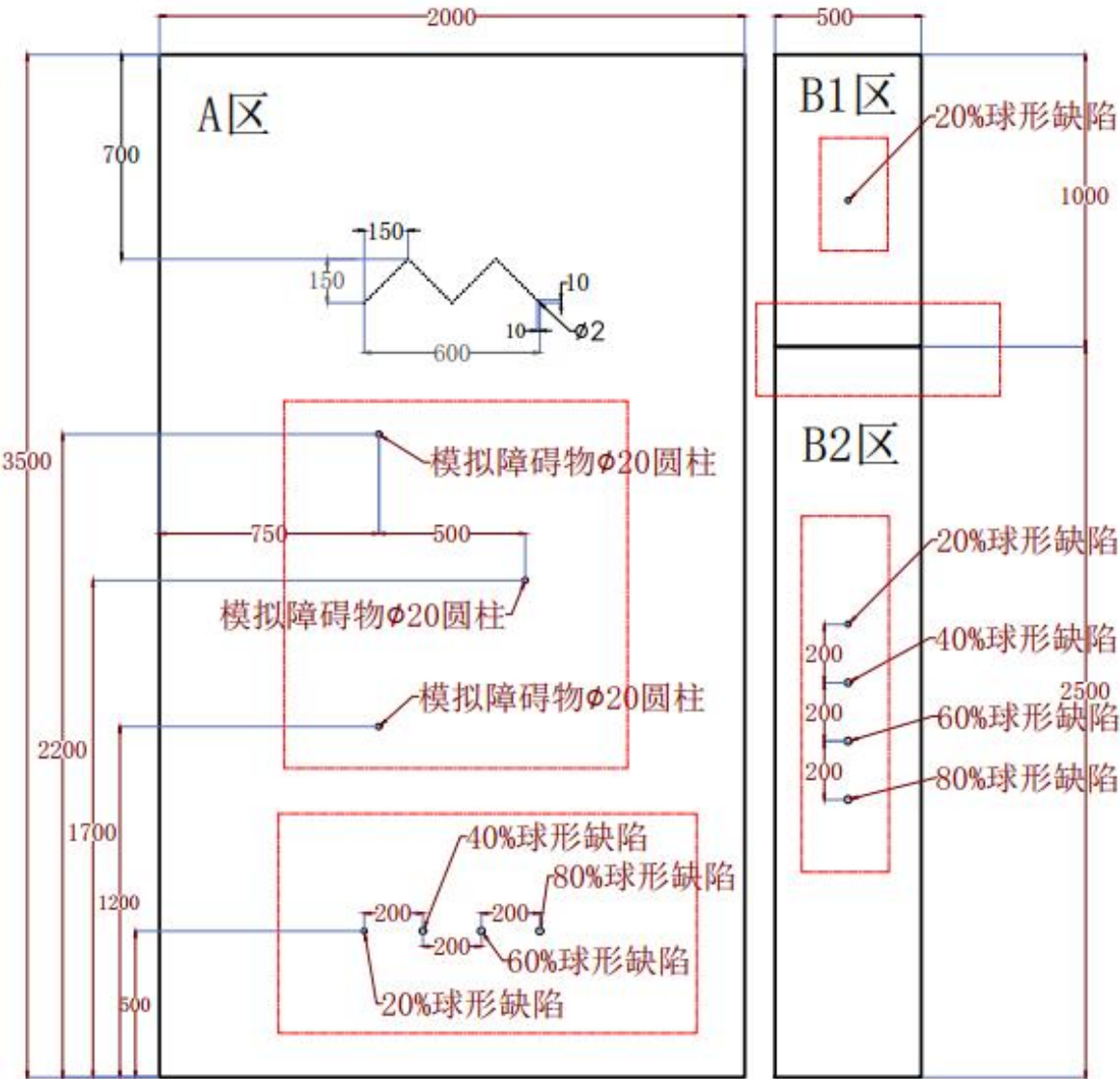


图 A.1 自主功能测试试板结构图

A.2.1 试板材质采用 Q235B 碳素钢板，整体划分为 A 区、B1 区、B2 区三个功能区域，钢板厚度分别为 12 mm、20mm、6mm；A 区与 B2 区下表面保持同平面，B1 区底面与 B2 区上表面同平面。试板各部位具体外形尺寸、孔位布置、缺陷设置、障碍物等信息详见图 A.1，本附录所有尺寸单位均为 mm。

A.2.2 区域连接：B1 区与 B2 区应采用搭接焊连接；A 区与 B1 区、B2 区可采用可拆卸连接方式，测试期间应无相对位移、松动；当无法实现可靠限位固定时，应采用搭接焊连接。

A.3 分区及功能设置

A.3.1 A 区设置 60 个直径为 2mm 的通孔，通孔垂直间距、水平间距均为 10mm，用于单次扫查宽度和相邻轨迹扫查带有效重叠性能测试。

A.3.2 A 区设置 3 个直径 20mm 的圆柱通孔，可安装塑料空心棒或放置牺牲阳极块模拟障碍物，用于障碍物识别、避障路径规划及避障能力测试。

A.3.3 A 区设置 4 个底面球形缺陷，深度分别为板厚的 20%、40%、60%、80%，用于垂直原扫查方向的缺陷验证测试对象。

A.3.4 B1 区设置 1 个底面球形缺陷，缺陷深度为板厚的 20%，用于 20mm 板厚时的漏磁检测能力测试和检测灵敏度测试；B1 区与 B2 区形成的搭接焊缝用于测试自主越障能力。

A.3.5 B2 区设置 4 个底面球形缺陷，深度分别为板厚的 20%、40%、60%、80%，用于 6 mm 板厚时的漏磁检测能力测试和检测灵敏度测试；B1 区与 B2 区共同作为板厚变化时磁化自适应调节能力测试。

A.4 加工、表面与材质要求

A.4.1 材质

Q235B 钢材力学性能、化学成分、热处理状态应符合 GB/T 700 规定，板材无分层、裂纹、夹渣、密集气孔等有害缺陷；板材磁导率应与在用常压储罐底板常用钢材相近，保证漏磁检测试验等效性。

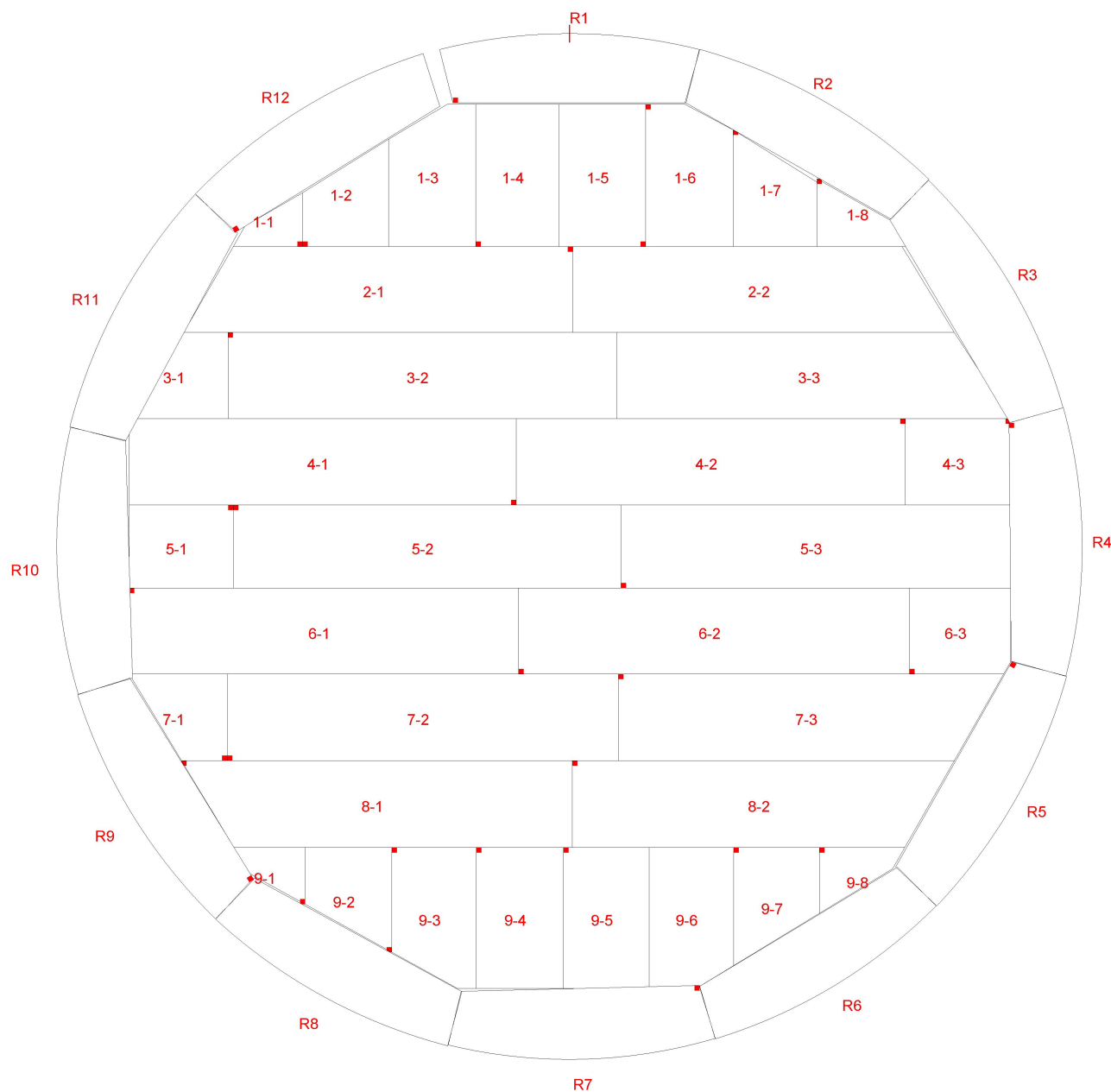
A.4.2 表面质量

试板表面应平整洁净，无锈蚀、油污、氧化皮、尖锐毛刺；焊缝、台阶位置应平滑过渡，不得影响机器人行走、导航及扫查稳定性。

A.4.3 加工精度

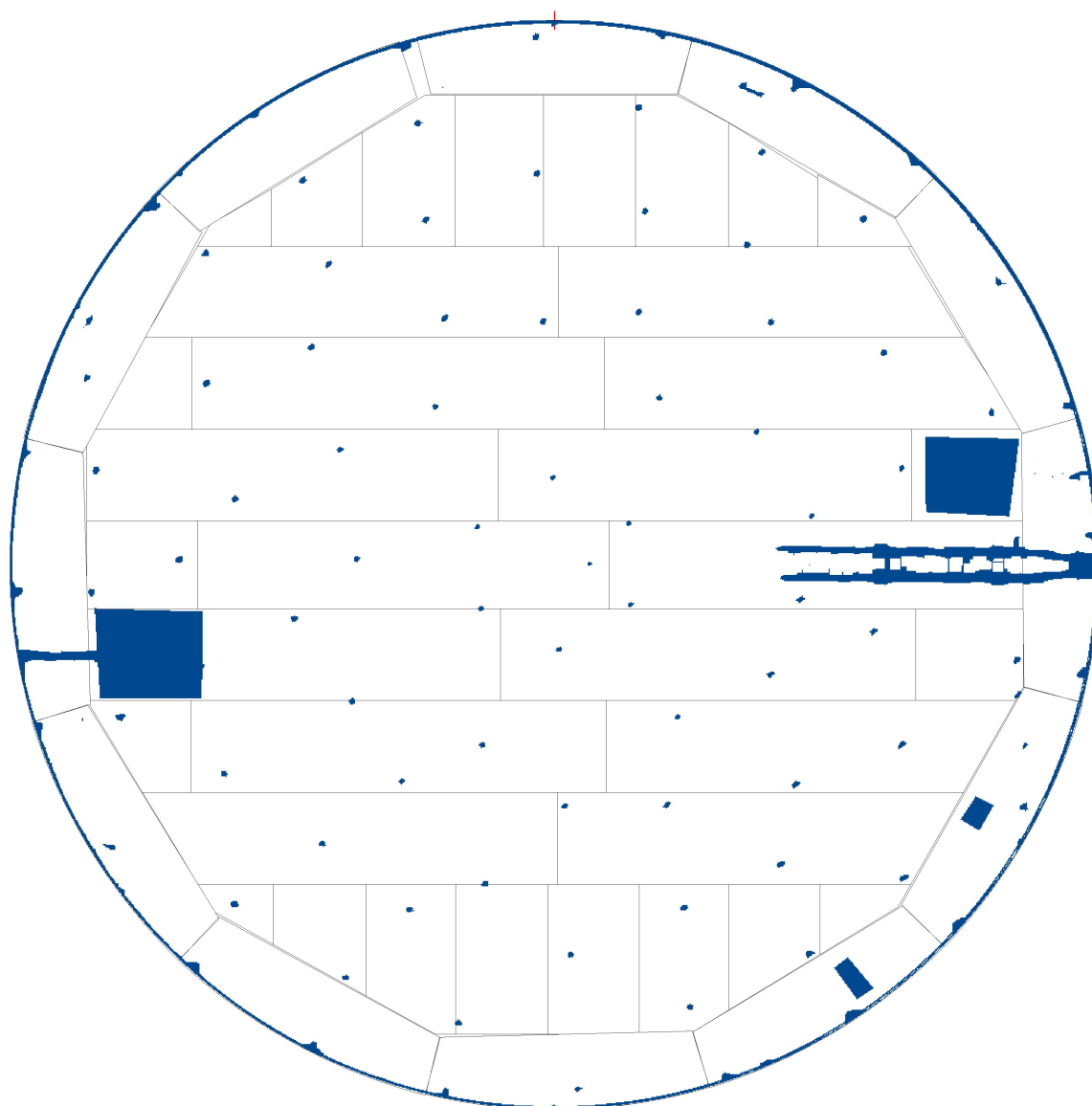
各区外形尺寸、孔位、缺陷深度、搭接台阶、安装孔位尺寸应满足图纸设计要求，关键功能结构加工应一致，保证试验重复性与比对一致性。

附 录 B
(资料性)
储罐底板排板图



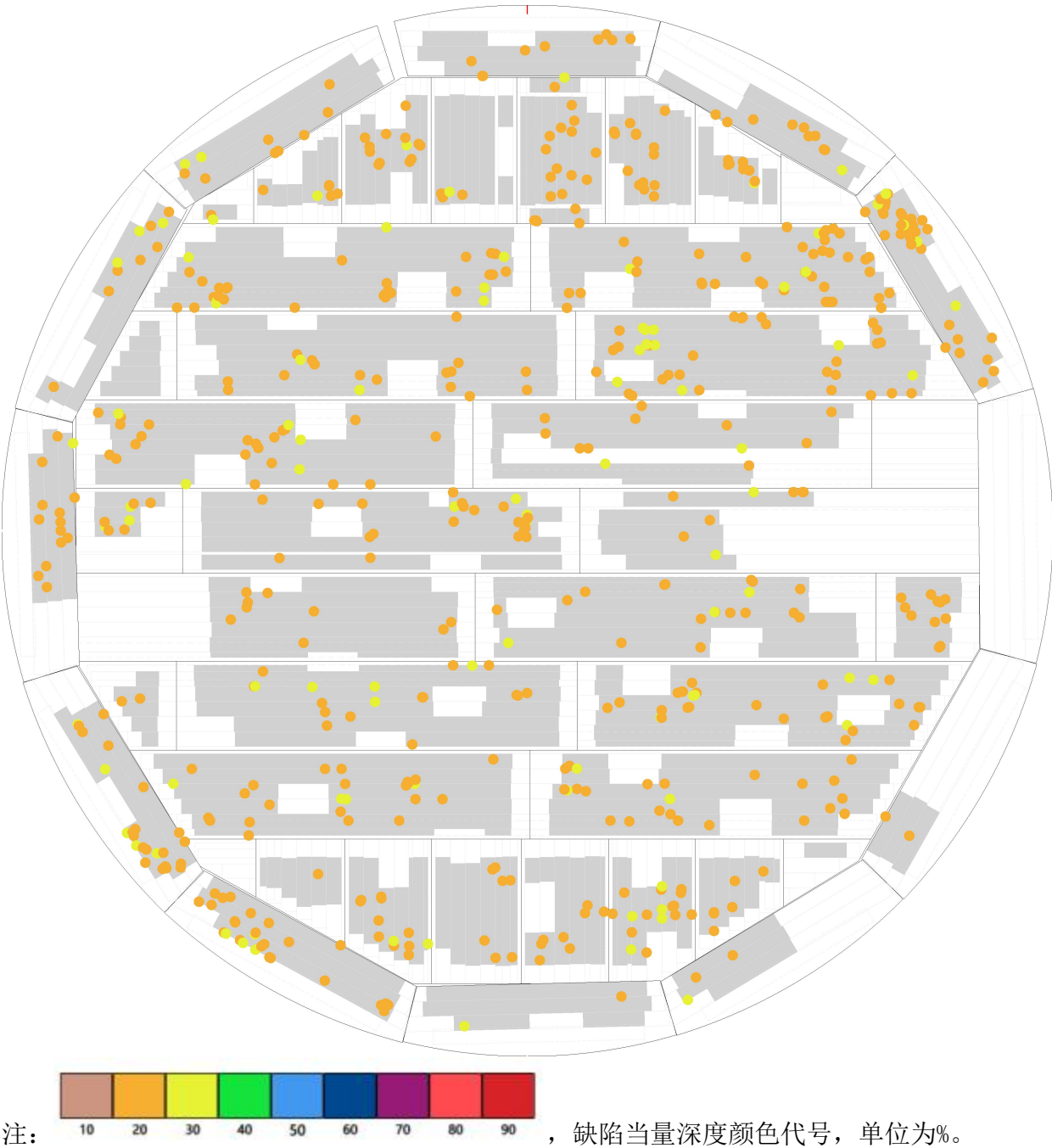
注：红色数字为储罐底边编号。

附录 C
(资料性)
底板附属结构图

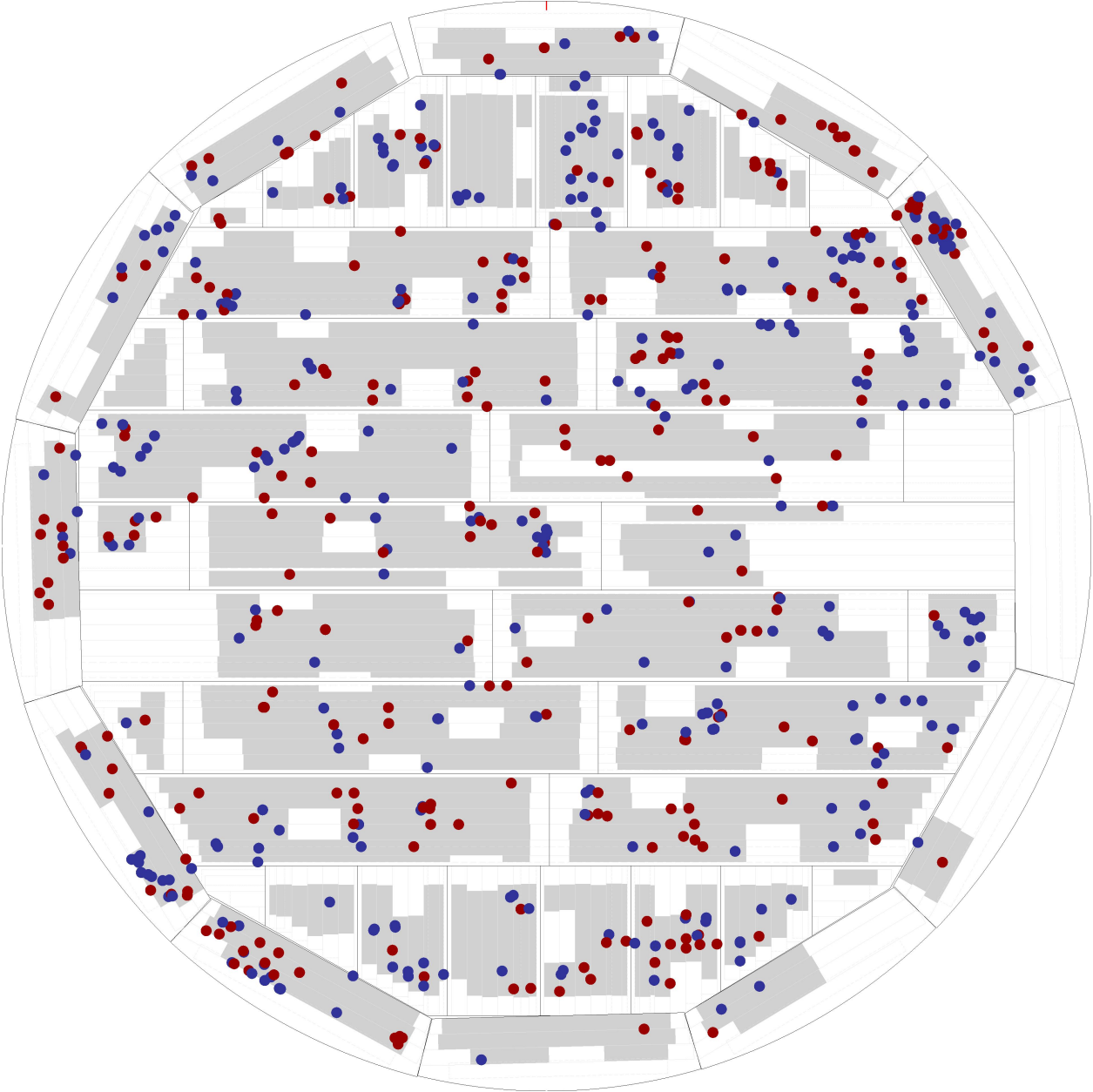


注：蓝色部分为储罐底板或底板附近影响漏磁检测机器人通行的障碍物。

附录 D
(资料性)
储罐底板检测图



附录 E
(资料性)
上下表面缺陷分布图

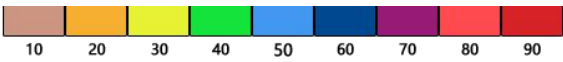


注：，红色表示缺陷在上表面，蓝色表示缺陷在下表面，绿色表示上下表面均有缺陷。

附 录 F
(资料性)
钢板列表

储罐名称： XXX

检测时间： XXXX.XX.XX

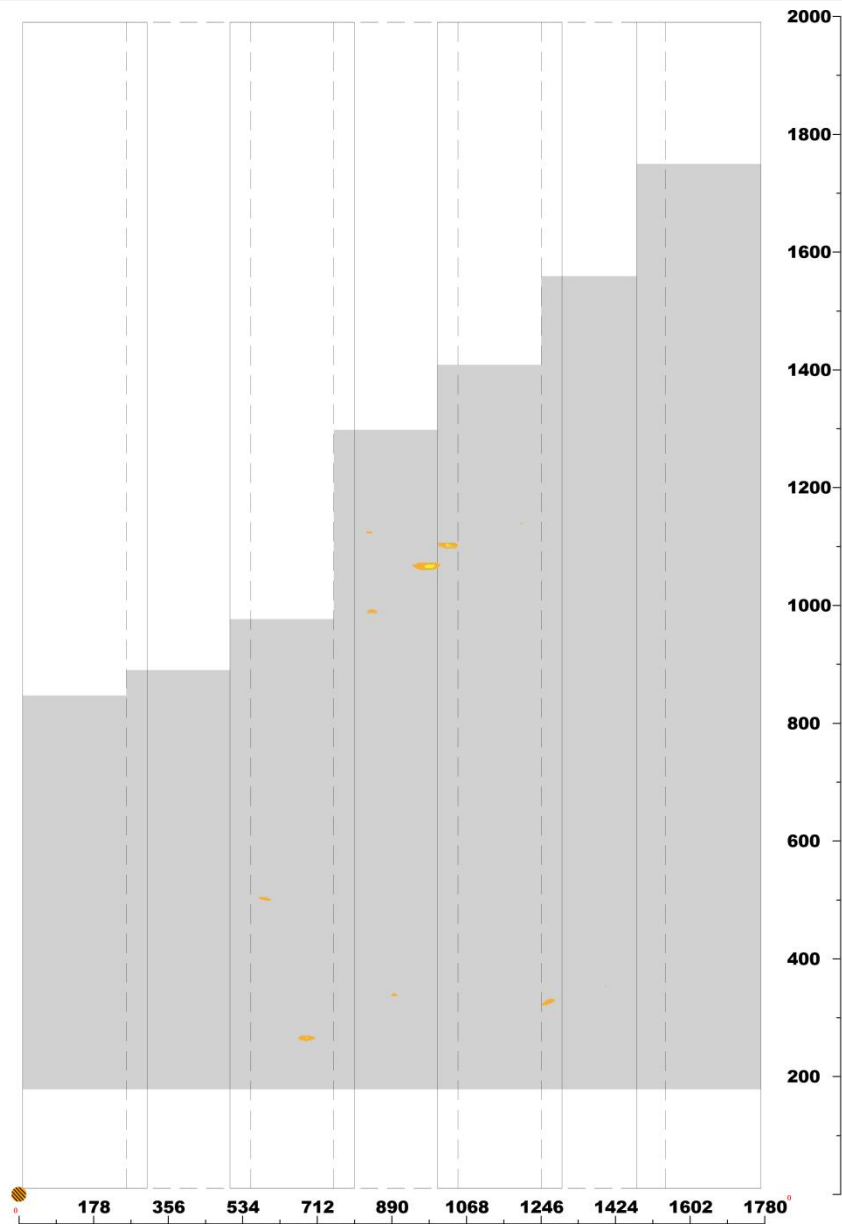


钢板名称	最小缺陷 (%)	最大缺陷 (%)	
R1	20.02	28.83	
R2	20.01	32.83	
R3	20.02	37.35	
R4	0.00	0.00	
R5	20.20	25.26	
R6	20.39	30.88	
R7	20.34	33.55	
R8	20.00	38.33	
R9	20.01	35.00	
R10	20.00	32.22	
R11	20.01	37.03	
R12	20.13	35.00	
1-1	20.12	30.11	
1-2	20.00	37.61	
1-3	20.00	34.39	
1-4	20.03	31.26	
1-5	20.01	30.80	
1-6	20.00	27.51	
1-7	20.01	34.90	
1-8	0.00	0.00	
2-1	20.01	36.77	
2-2	20.00	34.77	

注：本表仅为示例，完整钢板列表由设备软件按需输出。

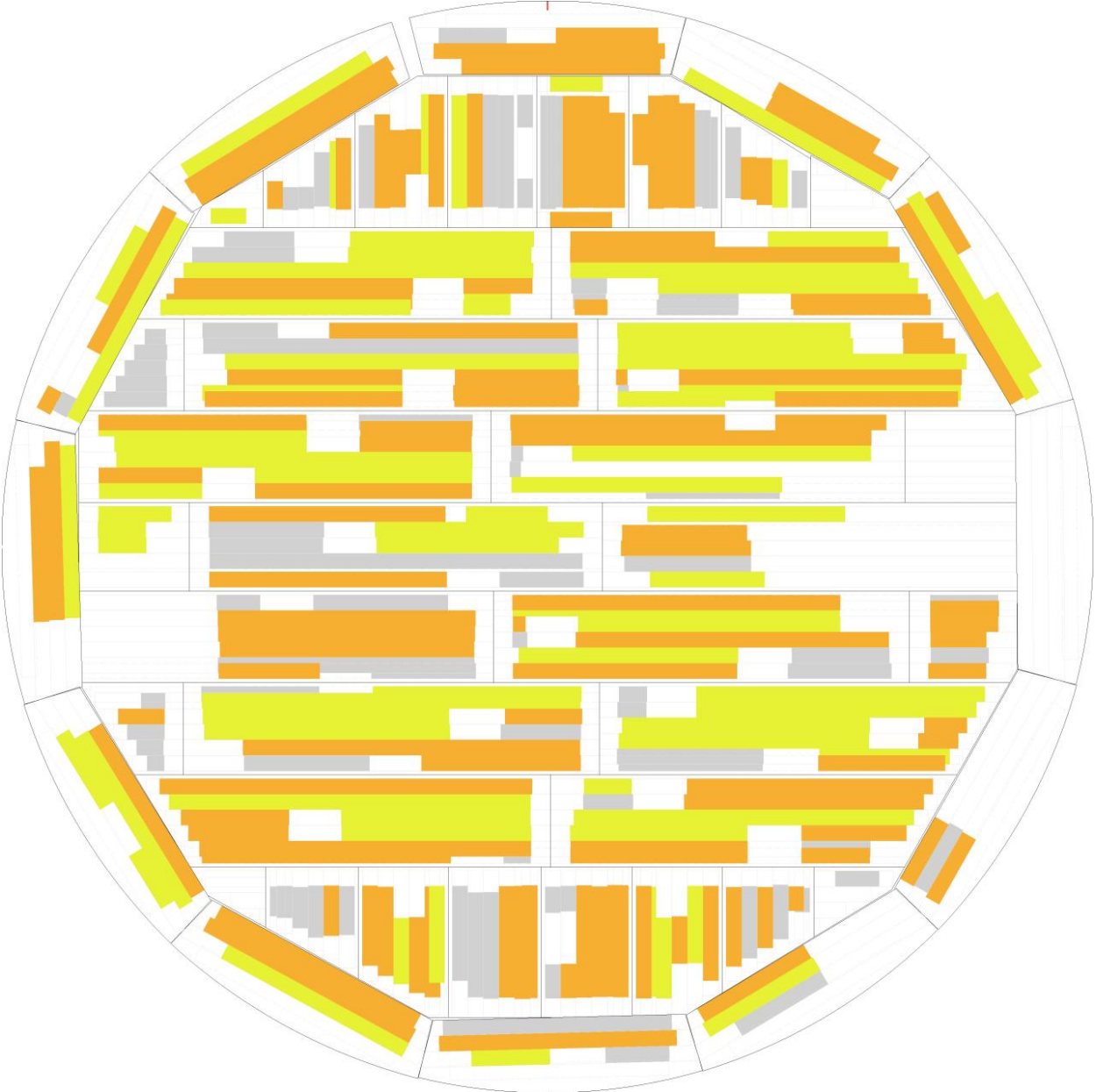
附 录 G
(资料性)
单板缺陷分布图

钢板编号	1-4	钢板类型	中幅竖板
钢板长度*宽度 (mm)	2910.00*1708.00	最大缺陷	31.3%



序号	缺陷中心坐标 (X, Y) mm	长度 mm	宽度 mm	缺陷类型	最大腐蚀 %	缺陷图片
1	(367, 628)	30	51	下表面	31	
2	(232, 518)	40	24	下表面	29	
3	(624, 569)	295	58	下表面	23	

附 录 H
(资料性)
最大缺陷扫查带分布图



注：，缺陷当量深度颜色代号，单位为 %。
