

中华人民共和国机械行业标准

JB/T XXXXX—XXXX

代替 XX/T

激光清洗机技术规范

Technical specification for laser cleaning machines

(点击此处添加与国际标准一致性程度的标识)

(本草案完成时间：2025.08.27)

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

目 次

前 言 II

1 范围 3

2 规范性引用文件 3

3 术语和定义 3

4 分类和组成 4

 4.1 分类 4

 4.2 组成 4

5 技术要求 5

 5.1 激光清洗机的通用要求 5

 5.2 激光清洗机的参数要求 6

 5.3 激光清洗机的功能要求 7

6 试验方法 8

 6.1 激光清洗机的通用要求试验 8

 6.2 激光清洗机的参数要求试验 9

 6.3 激光清洗机的功能要求试验 11

7 检验规则 12

 7.1 总则 12

 7.2 检验分类 12

 7.3 检验条件 12

 7.4 检验项目与分类 12

 7.5 检验规则 14

8 标志、包装、运输和贮存 14

 8.1 标志 14

 8.2 包装 14

 8.3 运输 15

 8.4 贮存 15

附 录 A （规范性） 详细规范 16

附 录 B （资料性） 激光清洗机推荐工艺参数 17

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这些专利的责任。

本文件由中国机械工业联合会提出。

本文件由全国光辐射安全和激光设备标准化技术委员会（SAC/TC 284）归口。

本文件起草单位：武汉华工激光工程有限责任公司、湖北工业大学、华工法利莱切焊系统工程有限责任公司、深圳市嘉鑫激光科技有限公司、浙江工业大学、南京集萃激光智能制造有限公司、洛阳速飞信激光智能装备有限公司、深圳市联赢激光股份有限公司、武汉工程大学、江苏国源激光智能装备制造有限公司、武汉锐科激光技术股份有限公司、山东产研强远激光科技有限公司、大族激光智能装备集团有限公司、国网电力科学研究院武汉南瑞有限责任公司、烟台恩邦电子科技有限公司、中国电子科技集团公司第十一研究所、湖北省标准化与质量研究院等。

本文件主要起草人：

激光清洗机技术规范

1 范围

本文件规定了激光清洗机的分类和组成、技术要求，描述了技术要求相应的试验方法，规定了检验规则、标志、包装、运输和贮存等要求。

本文件适用于激光清洗机的制造。

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—2008 包装储运图示标志

GB 2894—2025 安全色和安全标志

GB/T 7247.1 激光产品的安全 第1部分：设备分类和要求

GB/T 17421.2—2023 机床检验通则 第2部分：数控轴线的定位精度和重复定位精度的确定

GB 44703—2024 光辐射安全通用要求

JB/T 15429 激光加工设备通用规范

3 术语和定义

GB/T 7247.1 和 JB/T 15429 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

激光清洗机 laser cleaning system

利用高能激光束辐照工件表面，使表面污染物发生瞬间气化、烧蚀或剥蚀，从而实现精密清洗的非接触式加工设备。

3.2

手持式激光清洗机 handheld laser cleaning machine

通过操作者手持激光清洗头直接控制清洗过程的激光清洗设备。

3.3

半自动激光清洗机 semi-automated laser cleaning system

通过预设程序和操作者人工辅助控制清洗过程的激光清洗设备。

3.4

全自动激光清洗机 fully automated laser cleaning machine

集成机器人技术、数控系统或自动化传输平台，能够自动执行清洗路径规划、激光参数调整与清洗质量监控的激光清洗设备。

3.5

激光清洗头 laser cleaning head

一种集成光学系统、扫描系统和聚焦机构，实现激光束精确控制和能量传递的核心执行部件。

3.6

清洗能力 cleaning capacity

激光清洗设备对目标表面特定污染物清洗后满足预期表面清洁度等级要求的程度。

3.7

清洗效率 cleaning efficiency

达到预期表面清洁度等级要求的激光清洗速度。

注：单位时间内有效清洗的表面积、单位时间内去除污染物的质量或厚度、或单位时间内清洗零件的个数。

3.8

表面清洁度等级 surface cleanliness grade

基于表面形貌学、光学表征和元素分析等多尺度表征技术，对清洗后表面污染物残留程度的定量分级评价级别。

3.9

除尘系统 dust collection system

一种通常由抽吸罩、连接管道、过滤单元、动力风机和收集容器等组成，用于捕获、收集和处理激光清洗过程中产生的各种形态污染物的装置或系统。

3.10

扫描线宽 scan line width

激光束在材料表面单次线性扫描轨迹的长度。

3.11

辅助设施与工具 auxiliary facilities and tools

支持激光清洗系统运行和优化的周边设备及工具集合，包括定位夹具、监测设备等。

4 分类和组成

4.1 分类

4.1.1 按设备类型分类

手持式激光清洗机、半自动激光清洗机、全自动激光清洗机。

4.1.2 按激光器工作方式分类

连续波激光清洗机、脉冲激光清洗机、复合激光清洗机。

4.1.3 按清洗原理分类

干式激光清洗机、湿式激光清洗机、激光冲击清洗/等离子体清洗机。

4.2 组成

激光清洗机由下列组成中的全部或其中部分组成：

- 激光器；
- 导光传输系统；
- 运动系统；
- 控制系统；
- 机械结构；
- 激光清洗工艺数据库；
- 除尘系统；
- 安全防护系统；
- 冷却系统；
- 辅助设施。

半自动式、手持式激光清洗机组成示意图见图 1，全自动激光清洗机组成示意图见图 2。

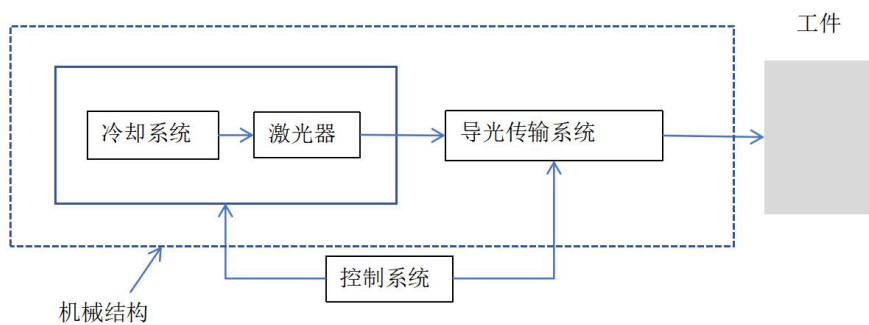


图 1 半自动式、手持式激光清洗机组成示意图

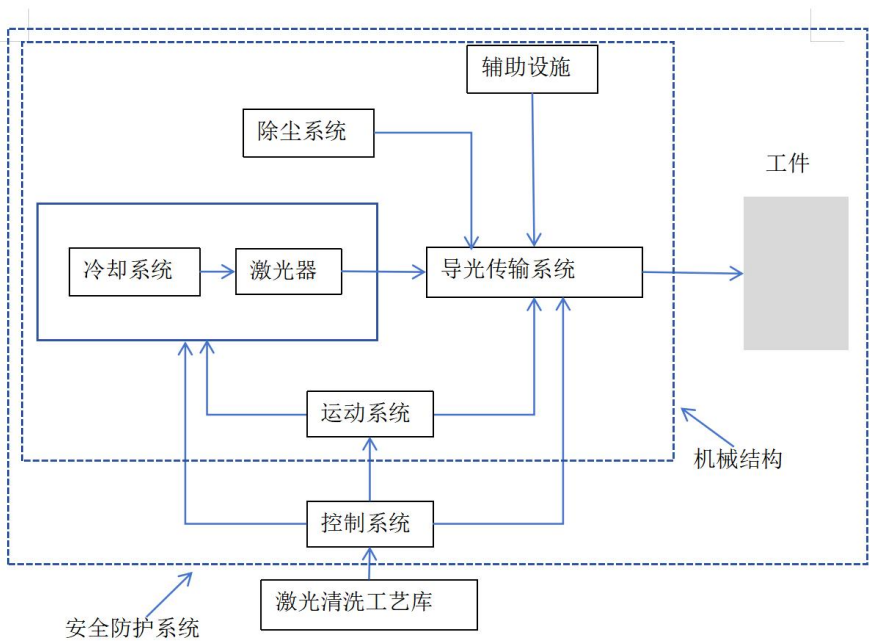


图 2 全自动激光清洗机组成示意图

5 技术要求

5.1 激光清洗机的通用要求

5.1.1 使用条件

激光清洗机的使用条件应符合 JB/T 15429 的要求。

5.1.2 布局 and 造型

布局 and 造型应符合 JB/T 15429 的要求。

5.1.3 气动、冷却、液压、机械润滑系统

气动、冷却、液压、机械润滑系统应符合 JB/T 15429 的要求。

5.1.4 外观要求

外观应符合 JB/T 15429 的要求。

5.1.5 互换性与维修

互换性与维修应符合 JB/T 15429 的要求。

5.1.6 可靠性

5.1.6.1 平均无故障时间

激光清洗机的平均无故障时间（Mean Time Between Failures，MTBF）应达到产品详细规范的要求。产品详细规范应涵盖附录 A 中项目。

5.1.6.2 激光清洗头抗高反能力

当对如铜、铝等高反射材料进行加工时，激光清洗头通常应配备多层防护结构，例如在输出头、合束器等关键部位设置反光探测与剥除装置，可连续承受高强度反射光冲击，保障激光清洗机运行稳定性和寿命。

5.1.6.3 抗振动能力

在运输、推行过程的挤压、高低频振动条件下，应保障激光清洗机连接件、结构的稳定性。

5.1.6.4 激光清洗头升温

激光清洗头表面及内部光学元件（如聚焦镜、振镜）的工作温度一般应≤60℃，避免高温导致镜片镀膜损伤、热透镜效应或光路偏移。

5.1.7 环保要求

环保应符合JB/T 15429的要求。

5.2 激光清洗机的参数要求

5.2.1 性能要求

激光清洗机基本性能参数见表 1。

表 1 激光清洗机基本性能参数

代号	参数		连续波激光清洗机	脉冲激光清洗机	复合激光清洗机
(1)	清洗头	通讯接口协议	●	●	●
(2)		响应速度	●	●	●
(3)		光纤接口类型	●	●	●
(4)		准直后光束直径	●	●	●
(5)		振镜镜片尺寸	●	●	●
(6)		振镜镜片材料	●	●	●
(7)		抗损伤阈值	●	●	●
(8)		最大承受功率	●	●	●
(9)		动态聚焦能力	●	●	●
(10)		焦距	●	●	●
(11)		焦深	●	●	●
(12)		焦距处光斑大小	●	●	●
(13)		光斑能量分布	●	●	●
(14)		定位精度	●	●	●
(15)		重复定位精度	●	●	●
(16)		摆动轴数	●	●	●
(17)		各轴最大摆动角度	●	●	●

(18)		各轴最大摆动角速度	●	●	●
(19)		最小步进角度	●	●	●
(20)		功率损耗	●	●	●
(21)	控制系统	控制系统类型	●	●	●
(22)		触发方式	●	●	●
(23)		通讯方式	●	●	●
(24)	清洗能力	可清洗污染物种类	●	●	●
(25)		扫描线宽	●	●	●
(26)		最大扫描速度	●	●	●
(27)	清洗效率		●	●	●
(28)	清洗质量	表面清洁度	●	●	●
注：“●”表示适用，“×”表示不适用。					

5.2.2 激光器

激光器的性能参数指标应符合激光清洗机产品规范要求。表 2 规定了激光器的性能参数。

表 2 激光器性能参数

代号	参数	连续波激光器	脉冲激光器
(1)	波长	●	●
(2)	功率	●	×
(3)	平均功率	×	●
(4)	激光功率调节范围	●	●
(5)	功率不稳定性	●	●
(6)	单脉冲激光能量	×	●
(7)	脉冲频率调节范围	×	●
(8)	脉冲宽度调节范围	×	●
(9)	脉冲峰值功率	×	●
(10)	光束质量	●	●
(11)	光束直径	●	●
(12)	发散角	●	●

5.2.3 导光传输系统

导光传输系统的性能指标应符合 JB/T 15429 的要求。

5.2.4 运动系统

运动系统的性能指标应符合 JB/T 15429 的要求。

5.3 激光清洗机的功能要求

5.3.1 使用功能

激光清洗机应具有以下基本使用功能：

- a) 激光清洗机使用激光作为能量源，对光束进行传输、扫描后，应满足激光清洗要求，具备预期清洗功能；
- b) 对于非可见光波长激光清洗机宜具备可见光同轴指示功能；
- c) 对于手持激光清洗机，宜具备可见光辅助对焦功能。

5.3.2 控制功能

激光清洗机具有以下基本控制功能：

- a) 激光清洗机的控制功能应符合 JB/T 15429 的要求；
- b) 针对集成工艺数据库的激光清洗机，激光清洗工艺数据库的功能应符合预期激光清洗要求，满足产品规范的规定。

注：典型的激光清洗工艺参数见附录 B。

5.3.3 安全防护

5.3.3.1 基本要求

激光清洗机应具有为实现预期使用功能所需的安全防护功能，包括光辐射安全防护、电气安全防护、机械安全防护、烟尘防护等功能及相应的安全标识。

5.3.3.2 光辐射

激光清洗机的光辐射安全应符合以下基本要求：

- a) 基本光辐射安全应符合 JB/T 15429 的要求；
- b) 移动式激光清洗机应采取保护措施，降低移动操作带来的物理损伤与连接可靠性风险。激光传输光纤应采用铠装护套予以保护，其接口须采用具备防呆与自锁功能的工业级高可靠性连接器，防止意外脱落或松动。光学保护镜片应安装在带锁紧结构的金属镜座中，并设计快速更换机构，便于现场维护；
- c) 对于支持作业头模块互换的激光清洗机，必须建立基于硬件的参数安全互锁系统。每个功能模块应嵌入具有唯一性编码的识别元件。主控系统在识别到模块更换后，应自动调用预存于该识别码中的安全工艺参数集，并锁定用户界面，禁止手动设置超出此安全范围的参数。此系统应确保激光输出特性始终与当前安装的光学模块的性能及安全上限相匹配。

5.3.3.3 电气安全

激光清洗机的电气安全要求应符合 JB/T 15429 的要求。

5.3.3.4 机械安全

激光清洗机的机械安全风险应符合 JB/T 15429 的要求。

5.3.3.5 烟尘防护

激光清洗机的烟尘防护应符合 JB/T 15429 的要求。

5.3.3.6 安全标记

激光清洗机的安全标记应符合 JB/T 15429 的要求。

5.3.4 辅助设施要求

激光清洗机的辅助设施应符合 JB/T 15429 的要求。

6 试验方法

6.1 激光清洗机的通用要求试验

6.1.1 使用条件

使用条件按照 JB/T 15429 的试验方法进行。

6.1.2 布局 and 造型

布局 and 造型按照 JB/T 15429 的试验方法进行。

6.1.3 气动、冷却、液压、润滑系统

气动、冷却、液压和润滑系统的试验应按照 JB/T 15429 的试验方法进行。

6.1.4 外观

外观的试验应按照 JB/T 15429 的试验方法进行。

6.1.5 互换性与维修

互换性与维修试验应按照 JB/T 15429 的试验方法进行。

6.1.6 可靠性

6.1.6.1 平均无故障时间

记录激光清洗机的总运行时间和故障次数，按照公式（1）计算平均无故障时间 θ ：

$$\theta = \frac{T}{r} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

T——激光清洗机的总运行时间，单位为小时（h）；

r——故障次数；

6.1.6.2 激光清洗头抗高反能力

通过反射功率直接测量和关键部位（场镜、振镜、反射镜、准直镜等）的红外热成像监测，辅已光学检查和功能测试，模拟实际工况对试验结果进行评估。

6.1.6.3 抗振动能力

枪头和控制盒在低频7.6Hz和高频37.2Hz下各振动2小时，观察枪头和控制盒晃动是否异响，出光是否正常。

6.1.6.4 激光清洗头升温

通过满功率激光连续出光运行八小时，监测清洗头关键部件（如透镜、振镜）的温度变化与表面状态，当温度超过限制条件时，应立刻停止出光。

6.1.7 环保

环保试验应按照 JB/T 15429 的试验方法进行。

6.2 激光清洗机的参数要求试验

6.2.1 性能要求

6.2.1.1 通讯接口协议

结合物理接口特征、协议分析及协议对应的专用工具进行测试。

6.2.1.2 响应速度

使用高精度示波器和信号发生器，测量从触发信号输入到系统完成响应的时间间隔。

6.2.1.3 光纤接口类型

通过观察接口形状、紧固方式等特征进行区分。

6.2.1.4 准直后光束直径

使用经过校准的激光束分析仪，在标准距离下测量光束横截面直径。

6.2.1.5 振镜镜片尺寸

采用经过检定的精密卡尺或影像测量仪，测量振镜镜片的直径、厚度等几何尺寸。

6.2.1.6 振镜镜片材料

使用X射线衍射（XRD）和能谱分析（EDS）等材料表征技术，分析镜片材料成分和晶体结构。

6.2.1.7 抗损伤阈值

按照GB/T 7247.1中的激光损伤阈值测试方法，逐步提高激光功率，观察镜片表面损伤情况。

6.2.1.8 最大承受功率

使用功率可调的激光源，逐步增加输出功率，监测镜片性能变化，确定最大承受功率。

6.2.1.9 动态聚焦能力

采用高速摄像系统和精密光学测量平台，测量不同运动条件下聚焦点的位置变化。

6.2.1.10 焦距

使用焦距测量仪或光学系统成像原理，测量透镜或光学系统的焦距。

6.2.1.11 焦深

采用高分辨率显微成像系统，测量清晰成像的轴向深度范围。

6.2.1.12 焦距处光斑大小

使用激光束分析仪，在焦距位置测量光斑横截面尺寸。

6.2.1.13 光斑能量分布

采用二维光电探测阵列或激光束分析仪，测量光斑的能量密度分布。

6.2.1.14 定位精度

按照GB/T 17421.2-2023中的测试方法进行试验。

6.2.1.15 重复定位精度

按照GB/T 17421.2-2023中的测试方法进行试验。

6.2.1.16 摆动轴数

观察清洗头内摆动轴的数量。

6.2.1.17 各轴最大摆动角度

使用高精度角度测量仪，测量各轴的最大旋转角度。

6.2.1.18 各轴最大摆动角速度

采用高速角度传感器和数据采集系统，测量各轴的最大角速度。

6.2.1.19 最小步进角度

使用高精度角度编码器，测量运动系统的最小可分辨角度。

6.2.1.20 功率损耗

使用精密功率计，测量输入功率和输出功率之间的差值。

6.2.1.21 控制系统类型

使用信号发生器和示波器，测试控制系统类型。

6.2.1.22 触发方式

使用信号发生器和示波器，测试内部控制和外部控制触发的响应特性。

6.2.1.23 通讯方式

结合物理接口特征、协议分析及专业工具对通讯方式进行检测。

6.2.1.24 可清洗污染物种类

采用标准化污染物模型，测试不同类型污染物的清洗效果。

6.2.1.25 扫描线宽

使用高分辨率光学测量系统，测量激光扫描线的宽度。

6.2.1.26 最大扫描速度

使用检定合格的高精度位移测量仪器，测量最大扫描速度。

6.2.1.27 清洗效率

采用精密称重法和光学表征技术，测量单位时间内的污染物去除率。

6.2.1.28 表面清洁度

针对现场快速质检，可采用外观检查快速判断大面积污染物是否有明显残留；若需要精准判断污染物是否彻底清除，可采用成分分析的试验方法进行试验。

6.2.2 激光器

激光器的指标按照JB/T 15429的试验方法进行。

6.2.3 导光传输系统

导光传输系统的指标按照JB/T 15429的试验方法进行。

6.2.4 运动系统

运动系统指标按照 JB/T 15429 的试验方法进行。

6.3 激光清洗机的功能要求试验

6.3.1 使用功能

激光清洗机使用功能的试验应按符合以下要求：

- 根据激光清洗机的预期用途对预期加工对象进行相应的激光加工，评估加工结果；
- 采用观察法对可见光同光路指示功能进行查验；
- 采用观察法对可见手持激光清洗机可见光辅助对焦功能进行查验。

6.3.2 控制系统

激光清洗机控制系统的试验应按符合以下要求：

- 控制系统的试验按照 JB/T 15429 的试验方法进行；
- 按照激光清洗机预期用途调用激光加工工艺数据库文件，编制激光清洗工艺进行激光加工，查验工艺数据库的功能。

6.3.3 安全防护

6.3.3.1 光辐射安全

激光清洗机光辐射安全的试验应按符合以下要求：

- 按照 JB/T 15429 的试验方法进行；
- 采用观察法检验移动式激光清洗机的保护措施；

c) 采用观察法检验互换式的安全保护措施。

6.3.3.2 电气安全

按照 JB/T 15429 的试验方法进行。

6.3.3.3 机械安全

按照JB/T 15429的试验方法进行。

6.3.3.4 烟尘防护

采用粒子数检查仪、尘埃检查仪进行查验。

6.3.3.5 安全标记

按照JB/T 15429的试验方法进行。

6.3.4 激光清洗机的辅助设施试验

按照 JB/T 15429 的试验方法进行。

7 检验规则

7.1 总则

除非另有规定，制造方应负责完成本标准和详细规范规定的全部检验。

7.2 检验分类

本标准规定的检验规定为：

- a) 型式检验；
- b) 出厂检验。

7.3 检验条件

除非另有规定，所有的检验都应在环境温度 5℃~40℃、相对湿度≤85%、大气压强 86kPa~106kPa 和产品规范规定的工作技术条件下进行。

7.4 检验项目与分类

本文件规定的激光清洗机检验项目见表 3，其中出厂检验项目中标记为“●”的项目为基本检验项目，其他需要增加的出厂检验项目应在产品规范中规定。

表 3 检验项目内容与分类

检验项目			要求	试验方法	检验分类	
					型式检验	出厂检验
通用要求	使用条件		5.1.1	6.1.1	●	x
	布局和造型		5.1.2	6.1.2	●	x
	气动、冷却、液压、润滑系统		5.1.3	6.1.3	●	●
	外观		5.1.4	6.1.4	●	●
	互换性与维修		5.1.5	6.1.5	●	x
	可靠性	平均无故障时间	5.1.6.1	6.1.6.1	●	x
		激光清洗头抗高反能力	5.1.6.2	6.1.6.2	●	x
		抗振动能力	5.1.6.3	6.1.6.3	●	x
		激光清洗头升温	5.1.6.4	6.1.6.4	●	x

	环保		5.1.7	6.1.7	●	x
	辅助设施		5.1.8	6.1.8	●	●
性能要求	激光清洗头	通讯接口协议	5.2.1（1）	6.2.1.1	●	x
		响应速度	5.2.1（2）	6.2.1.2	●	x
		光纤接口类型	5.2.1（3）	6.2.1.3	●	●
		准直后光束直径	5.2.1（4）	6.2.1.4	●	x
		振镜镜片尺寸	5.2.1（5）	6.2.1.5	●	●
		振镜镜片材料	5.2.1（6）	6.2.1.6	●	●
		抗损伤阈值	5.2.1（7）	6.2.1.7	●	x
		最大承受功率	5.2.1（8）	6.2.1.8	●	x
		动态聚焦能力	5.2.1（9）	6.2.1.9	●	x
		焦距	5.2.1（10）	6.2.1.10	●	x
		焦深	5.2.1（11）	6.2.1.11	●	x
		焦距处光斑大小	5.2.1（12）	6.2.1.12	●	x
		光斑能量分布	5.2.1（13）	6.2.1.13	●	x
		定位精度	5.2.1（14）	6.2.1.14	●	x
		重复定位精度	5.2.1（15）	6.2.1.15	●	x
		摆动轴数	5.2.1（16）	6.2.1.16	●	●
		各轴最大摆动角度	5.2.1（17）	6.2.1.17	●	x
		各轴最大摆动角速度	5.2.1（18）	6.2.1.18	●	x
		最小步进角度	5.2.1（19）	6.2.1.19	●	x
		功率损耗	5.2.1（20）	6.2.1.20	●	x
	控制系统	控制系统类型	5.2.1（21）	6.2.1.21	●	●
		触发方式	5.2.1（22）	6.2.1.22	●	●
		通讯方式	5.2.1（23）	6.2.1.23	●	●
	清洗能力	可清洗污染物种类	5.2.1（24）	6.2.1.24	●	x
		扫描线宽	5.2.1（25）	6.2.1.25	●	x
		最大扫描速度	5.2.1（26）	6.2.1.26	●	x
	清洗效率		5.2.1（27）	6.2.1.27	●	x
	清洗质量	表面清洁度	5.2.1（28）	6.2.1.28	●	x
激光器			5.2.2	6.2.2	●	x
导光传输系统			5.2.3	6.2.3	●	x
运动系统			5.2.4	6.2.4	●	●
功能要求	使用功能		5.3.1	6.3.1	●	●
	控制功能		5.3.2	6.3.2	●	●
	安全防护		5.3.5	6.3.3	●	●
	辅助设施		5.3.6	6.3.6	●	●
注：标有“●”的为检验项目，标有“x”的为不检项目。						

7.5 检验规则

检验规则按照JB/T 15429的方法进行。

8 标志、包装、运输和贮存

8.1 标志

8.1.1 铭牌

除非另有规定，在激光清洗机醒目的位置应牢固、清晰地附有下列标志：

- a) 制造商名称、注册商标及详细地址；
- b) 制造日期；
- c) 激光清洗机序列号或制造编号；
- d) 额定电源电压（V）、频率（Hz）、额定输入功率（kW 或 A）；
- e) 电池的类型、额定容量、额定电压（适用于配有电池的激光清洗机）。

8.1.2 标识

应在激光清洗机的适当位置设置符合 GB 2894-2025 和 GB 44703-2024 要求的安全警示标志。

8.2 包装

8.2.1 包装箱要求

对于不含电池的激光清洗机，应采用坚固、防潮、防震、防倾倒的包装箱。包装箱的结构和强度应能承受正常的运输、装卸和短期堆码。对于出口产品，包装应符合相关国际运输规定。

对于含电池的激光清洗机，包装设计必须能防止电池短路、意外启动。通常要求电池端子进行绝缘保护；包装材料应选择阻燃、绝缘的材料，以降低潜在风险。

8.2.2 内部防护

激光清洗机主机及所有附件在包装箱内应妥善固定，防止在运输过程中发生窜动、碰撞或摩擦。应使用合适的缓冲材料填充空隙，特别是对光学部件、精密传感器、显示屏等易损部件应进行重点保护。对于包含电池的激光清洗机，电池在激光清洗机内应被牢固安装，防止在运输途中松动、脱落。若电池为单独包装，其包装也应能提供足够的物理防护。

8.2.3 防潮防锈

激光清洗机在装箱前应进行清洁和干燥处理。对于易受潮或锈蚀的部件，应采取防潮和防锈措施。

8.2.4 包装箱外标志

包装箱外部应按照 GB/T 191-2008 的规定，清晰、牢固地印刷或粘贴储运图示标志，至少包括：

- a) 产品名称、型号规格；
- b) 收货单位和发货单位名称、地址、联系方式；
- c) 毛重（kg）、净重（kg）、包装箱外形尺寸（长×宽×高，mm）；
- d) “向上”、“小心轻放”、“防潮”、“防雨”等必要的图形标志；
- e) 根据需要可增加“由此吊起”、“重心点”等标志。

8.2.5 随行文件

每台激光清洗机出厂时应附带一套完整的随行技术文件，通常包括：

- a) 产品合格证（包含检验员签章和检验日期）；
- b) 产品使用说明书（应详细说明激光清洗机的技术参数、结构原理、安装调试、安全操作规程、工艺参数调整、日常维护保养、常见故障诊断与排除方法、激光安全注意事项、电气原理图、液压/气动系统图（若有）、易损件清单及更换指南等）；

- c) 装箱单（详细列出主机及所有附件、备件、工具的名称、规格、数量）；
- d) 保修卡或质量保证书。

8.3 运输

激光清洗机应按下列要求进行运输：

- a) 运输过程中应采取措施避免剧烈振动、冲击、雨雪淋湿和长时间日光曝晒；
- b) 装卸搬运时应严格按照包装箱上的储运图示标志进行操作，注意激光清洗机重心，使用合适的起吊工具和方法。禁止野蛮装卸；
- c) 对于包含精密光学系统或对振动敏感的激光清洗机，宜选用减震性能较好的运输工具（如气垫减震车），或在包装内部增加额外的减震措施；
- d) 长途运输或海运时，应考虑温度、湿度变化可能带来的影响，必要时采取特殊防护。

8.4 贮存

激光清洗机应按下列要求进行贮存：

- a) 激光清洗机（含包装）应贮存在温度适宜、相对湿度不大于某一限值、无腐蚀性气体、无易燃易爆物品、无强电磁场干扰、通风良好、清洁干燥的室内仓库中；
- b) 激光清洗机不应直接放置在地面上，底部应垫高，以防受潮；
- c) 包装箱的堆码层数不应超过包装箱上标明的堆码极限；
- d) 长期贮存前，应对激光清洗机进行必要的检查和防护处理。定期检查贮存状态；
- e) 对于含电池的激光清洗机，不应长时间满电或亏电贮存，建议对长期贮存（如超过 3 个月）的激光清洗机中的电池进行定期充放电维护，并记录检查情况。

附 录 A

(规范性)

详细规范

A.1 说明

本文件规定的详细规范由制造厂按照不同型号的激光器做出具体的规定。可以以产品说明书、检验作业指导书、企业标准等形式给出。

A.2 基本内容

A.2.1 技术要求

技术要求应包含以下内容：

- a) 环境适应性和电源适应能力；
- b) 冷却系统技术要求（如冷却液类型、温度、流量、压强等）；
- c) 工作气体和辅助气体技术要求（如气体种类、气体配比、纯度、耗气量等）；

A.2.2 性能参数

性能参数应包含表2规定的内容。

A.2.3 使用安全与防护

使用安全与维护应包括以下内容：

- a) 使用时，激光器的辐射安全与防护；
- b) 使用时，激光器的电气安全与防护；
- c) 安全联锁功能说明。

A.2.4 使用说明

使用说明应包括以下内容：

- a) 激光器结构和功能用途
- b) 激光器工作程序说明；
- c) 激光器操作说明；
- d) 激光器的激光、电气、结构接口的说明；
- e) 激光器外形尺寸、重量；
- f) 激光器搬运、安装方法。

A.2.5 维护

维护应包括以下内容：

- a) 激光器日常维护计划和方法；
- b) 激光器常见故障现象与排除方法；
- c) 激光器常用易耗件、备件、选件拆装更换方法和调试方法。

A.2.6 试验方法

试验方法应包含表3规定的内容。

A.2.7 备件、选件

备件、选件应列出激光器易耗件、备件、选件的技术参数和功能用途。

附 录 B
(资料性)
激光清洗机推荐工艺参数

表B.1和表B.2列举了常用激光清洗机推荐的工艺参数。

表 B.1 脉冲激光清洗机推荐工艺参数

清洗对象分类	清洗厚度分类	光路配置	聚焦光斑大小	清洗速度	扫描线宽	效率（基于试验评估值）
氧化层	≤25μm	场镜 f=254	85μm	15mm/s	100mm	5m ² /h
	≤50μm	场镜 f=254	85μm	7.5mm/s	100mm	2.5m ² /h
	>50μm	场镜 f=160	53μm	7.5mm/s	60mm	1.5m ² /h
锈层	≤50μm	场镜 f=254	85μm	15mm/s	60mm	3m ² /h
	≤100μm	场镜 f=160	53μm	10mm/s	60mm	2m ² /h
	>100μm	场镜 f=160	53μm	5mm/s	60mm	1m ² /h
油漆、镀层	≤50μm	场镜 f=254	85μm	10mm/s	30mm	1m ² /h
	≤100μm	场镜 f=160	53μm	5mm/s	30mm	0.5m ² /h
	>100μm	场镜 f=160	53μm	2mm/s	30mm	0.2m ² /h
橡胶、积碳层	≤25μm	场镜 f=254	85μm	10mm/s	60mm	2m ² /h
	≤50μm	场镜 f=160	53μm	10mm/s	30mm	1m ² /h
	>50μm	场镜 f=160	53μm	8mm/s	20mm	0.6m ² /h
注：波长：1064 nm，光束质量 M ² <1.6，频率范围 20-1000kHz，脉宽 10-350ns，功率 100W						

表 B.2 连续激光清洗机推荐工艺参数

清洗对象分类	清洗厚度分类	光路配置	聚焦光斑大小	清洗速度	扫描线宽	清洗次数	效率（基于试验评估值）
氧化层	≤25μm	场镜 f=170	113μm	15mm/s	50mm	1	2.7m²/h
	≤50μm	场镜 f=170	113μm	15mm/s	50mm	3	0.9m²/h
	≤75μm	场镜 f=170	113μm	15mm/s	50mm	5	0.54m²/h
锈层	≤30μm	场镜 f=170	113μm	50mm/s	50mm	1	9m²/h
	≤60μm	场镜 f=170	113μm	35mm/s	50mm	1	6.3m²/h
	≤100μm	场镜 f=170	113μm	20mm/s	40mm	1	2.88m²/h
油漆、镀层	≤200μm	场镜 f=340	227μm	10mm/s	90mm	3	1.08m²/h
	≤400μm	场镜 f=340	227μm	10mm/s	90mm	5	0.65m²/h
	≤600μm	场镜 f=340	227μm	10mm/s	90mm	6	0.54m²/h
	≤800μm	场镜 f=340	227μm	10mm/s	90mm	7	0.46m²/h
	≤1000μm	场镜 f=340	227μm	10mm/s	90mm	8	0.4m²/h
	≤1200μm	场镜 f=340	227μm	10mm/s	90mm	9	0.36m²/h
注：波长 1080 nm，光束质量(BPP)<1.5(mm×mrad)，频率范围 20-5000 Hz，功率 2kW							