

团 体 标 准

T/CWAN 0168—XXXX

移动式激光焊接与增材制造系统
通用技术条件

General technical specifications for mobile laser welding and additive
manufacturing systems

（征求意见稿）

（本稿完成时间：2025 年 8 月 7 日）

2025 - XX - XX 发布

2025 - XX - XX 实施

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 系统分类	2
4.1 按送料类型	2
4.2 按执行模块的运动机构类型	2
5 系统组成	2
6 主要性能参数	3
7 技术要求	3
7.1 一般要求	3
7.2 机器人本体	4
7.3 移动装置	4
7.4 电气与控制系统	4
7.5 激光器	5
7.6 激光加工头	5
7.7 送料装置	5
7.8 水冷机	5
7.9 移动运输	5
7.10 安全防护	6
8 检验方法	6
8.1 试验条件	6
8.2 外观检验	6
8.3 电气系统检验	6
8.4 机器人本体重复定位精度检验	6
8.5 移动装置性能检验	6
8.6 焊接和增材制造系统功能检验	7
8.7 焊接和增材制造系统稳定性检验	7
8.8 连续运行试验检验	7
8.9 移动与部署性能检验	7
9 检验规则	7
9.1 检验分类	7
9.2 出厂检验	7
9.3 型式检验	7
10 标志	8
10.1 产品标志	8
10.2 操作和维护标志	8
10.3 安全警告标志	8

10.4	包装标志	8
11	包装储运	8
11.1	包装	8
11.2	运输	8
11.3	储存	9

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。

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。

本文件由南京辉锐光电科技有限公司提出。

本文件由中国焊接协会归口。

本文件起草单位：……。

本文件主要起草人：……。

移动式激光焊接与增材制造系统通用技术条件

1 范围

本文件规定了移动式激光焊接与增材制造系统的术语、分类、性能参数、技术要求、检验方法、标志及包装储运等。

本文件适用于移动式激光焊接与增材制造系统的设计、制造和使用。

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 2894 安全色和安全标志
- GB/T 4768 防霉包装
- GB/T 4879 防锈包装
- GB/T 5048 防潮包装
- 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 11291.2 机器人与机器人装备 工业机器人的安全要求 第2部分：机器人系统与集成
- GB/T 12642 工业机器人 性能规范及其试验方法
- GB/T 12643 机器人 词汇
- GB/T 12644 工业机器人 特性表示
- GB/T 13306 标牌
- GB/T 13384 机电产品包装通用技术条件
- GB/T 15313 激光术语
- GB 15577 粉尘防爆安全规程
- GB/T 16977 机器人与机器人装备 坐标系和运动命名原则
- GB/T 18490.1 机械安全 激光加工机 第1部分：通用安全要求
- GB/Z 19397 工业机器人-电磁兼容性试验方法和性能评估准则-指南
- GB 19517 国家电气设备安全技术规范
- GB/T 19876 机械安全 与人体部位接近速度相关的安全防护装置的定位
- GB/T 20722 激光加工机器人 通用技术条件
- GB/T 35351 增材制造 术语
- GB/T 39329 增材制造 测试方法 标准测试件精度检验
- GB/T 39463 工业机器人电气设备及系统 通用技术条件
- GB/T 40712 多用途货车通用技术条件
- GB 44703 光辐射安全通用要求
- GB 50169 电气装置安装工程 接地装置施工及验收规范
- JB/T 8896 工业机器人 验收规则
- NB/T 25082 核电厂设备构件超音速火焰喷涂修复技术规范
- T/CITS 343 激光智能焊接装备通用技术要求

3 术语和定义

GB/T 12643、GB/T 15313及GB/T 35351中界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

移动式设备 mobile equipment

具有双重移动特性的机电装置，同时满足以下特征：

- a) 能适应不同作业场地的空间条件与环境要求,通过快速拆解与组装技术实现“运输状态”与“作业状态”的模式转换的设备。
- b) 设备执行模块配备行走机构、轨道装置或其它运动机构,可在固定作业场地内沿预设路径或自主规划路径移动,完成指定空间范围内的作业任务。

3.2

激光焊接与增材制造系统 laser welding and additive manufacturing system

采用激光束作为热源,按应用需求实现焊接或增材制造的多用途设备与系统。

4 系统分类

4.1 按送料类型

4.1.1 无送料激光焊接系统:利用激光束直接作用于工件,使工件自身熔化并冷却凝固,达到焊接目的,过程中无需额外送料。

4.1.2 送粉式激光焊接与增材制造系统:采用金属粉末作为添加材料,利用激光束同时作用于工件与添加材料,实现材料的冶金结合与逐层堆积,形成所需的零件或结构。

4.1.3 送丝式激光焊接与增材制造系统:采用金属丝作为添加材料,利用激光束同时作用于工件与添加材料,实现材料的冶金结合与逐层堆积,形成所需的零件或结构。

4.1.4 丝粉同送激光焊接与增材制造系统:同时采用金属粉末和金属丝作为添加材料,利用激光束同时作用于工件与添加材料,实现材料的冶金结合与逐层堆积,形成所需的零件或结构。

4.2 按执行模块的作业现场移动方式

4.2.1 手动式:执行模块的移动完全依赖操作员人力直接驱动与控制进行移动的设备类型。

4.2.2 电动式:执行模块的移动平台配备有电动机、伺服驱动器或其他形式的动力装置作为主要驱动力源,并可通程序控制、遥控或半自动/自动方式实现移动的设备类型。

5 系统组成

系统为模块化设计,基本组成如图1所示,分为前端执行模块与后端支持模块。前端执行模块包括机器人、激光加工头、移动装置(可选项含移动小车,电动底盘等);后端支持模块包括激光器、送料装置(可选项含送粉器,送丝机)、保护气瓶、水冷机、稳压电源。

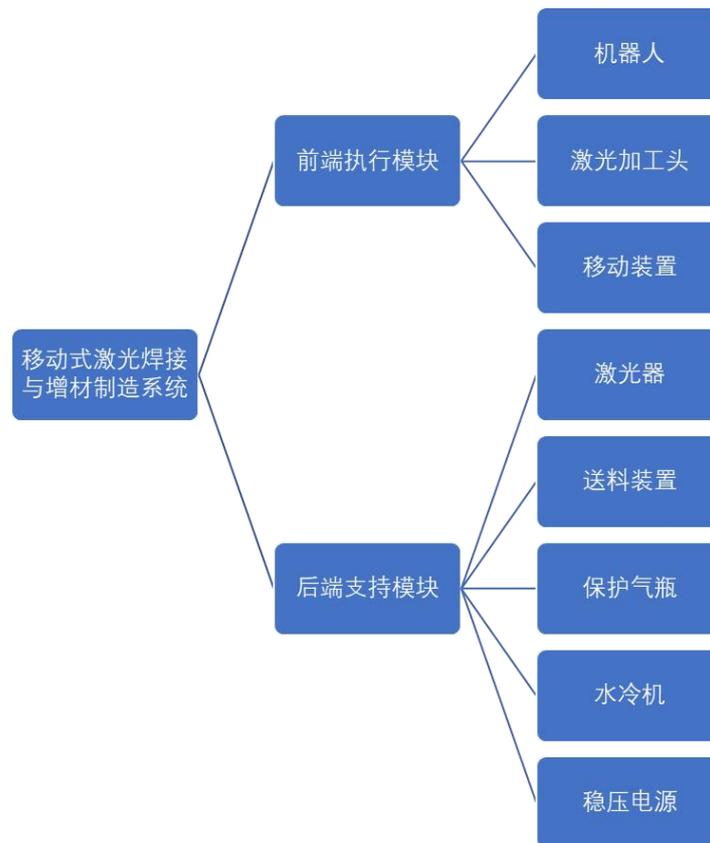


图1 移动式激光焊接与增材制造系统组成框图

6 主要性能参数

主要技术参数包括：

- a) 激光器稳定输出功率范围，单位：瓦（W）；
- b) 激光器激光波长，单位：纳米（nm）；
- c) 激光头可承受最大激光功率，单位：瓦（W）；
- d) 激光头聚焦焦距，单位：毫米（mm）；
- e) 激光聚焦光斑直径，单位：毫米（mm）；
- f) 移动装置负载，单位：千克（kg）；
- g) 带有加工终端的可移动模块重量，单位：千克（kg）；
- h) 机器人额定负载，单位：千克（kg）；
- i) 机器人重复定位精度，单位：毫米（mm）；
- j) 机器人作业半径，单位：米（m）；
- k) 送粉器送粉量范围，单位：克/分钟（g/min）；
- l) 送粉器送粉精度，单位：百分比（%）；
- m) 送粉器送粉距离，单位：米（m）；
- n) 送丝机送丝速度范围，单位：米/分钟（m/min）；
- o) 送丝机送丝精度，单位：百分比（%）；
- p) 送丝机送丝距离，单位：米（m）；
- q) 动力源参数及总功率，单位：瓦（W）；
- r) 系统总质量及运输状态下空间尺寸，单位：千克（kg）/长 x 宽 x 高（m³）。

7 技术要求

7.1 一般要求

7.1.1 系统应按规定程序批准的图样及技术文件制造。

7.1.2 系统外购件应符合技术文件要求。

7.1.3 系统应模块化布局、可达性高、环境适应性强，操作简便、造型美观、便于维护。

7.1.4 系统各模块外观颜色应美观、协调、表面光洁，不应有漏漆、起皮、脱落等缺陷。

7.1.5 系统工作条件

a) 环境条件：

——环境温度：5℃~45℃；温度变化：最大1.1℃/min；

——相对湿度：<90%，没有凝露；

——振动：加速度<0.5g；

——海拔：<4500 m；

b) 制造厂与用户之间可以商定不同的使用条件和贮存条件。

7.1.6 系统外露器件和电气线路的防护

应符合 GB 50169 的规定。电气线路应用特制柔性防飞溅套管防护，电气元器件防护采用防飞溅护板隔离，防止焊接飞溅的粘附，机器人的管线包应固定可靠，避免发生刮绕、拉扯、磨损现象。

7.2 机器人本体

7.2.1 系统所用的机器人本体应符合 GB/T 12642、GB/T 12644、GB/T 16977、GB/T 20722、GB/Z 19397 和 JB/T 8896 的要求。

7.2.2 机器人性能，主要包括：

a) 机器人本体重定位精度：≤±0.08mm；

b) 机器人本体应运行平稳，无抖动和爬行现象；

c) 机器人工作半径：满足移动修复需求，一般>1.4m；

d) 机器人本体各运动装置应具备可靠的硬件限位装置；

e) 机器人操作系统应具备激光焊接与增材制造专用软件包；

f) 机器人应能够与激光器或控制系统建立稳定的通讯；

g) 机器人在额定负载下，关节最高速度运行时的噪声：≤80dB(A)；

h) 持续运行：机器人在额定负载和额定工作速度下连续运行120小时，应工作正常，电机温度不高于100℃；

i) 机器人额定负载不低于夹持激光头及其附属装置总质量的1.3倍，并保持机器人运行平稳；

j) 机器人本体应可靠固定，在运行过程中不应倾覆。

7.3 移动装置

7.3.1 移动装置技术参数，主要包括：

a) 轴数，单位：个(PCS)；

b) 移动速度，单位：米/分钟(m/min)；

c) 电机功率，单位：瓦(W)；

d) 整机刚性：以保证机器人可靠的结构强度，机器人刚性在一轴指标要求：450Nm/arcmin；

e) 最大负载，单位：千克(kg)；

f) 坡度锁定及防倾倒功能：为防止移动设备发生非计划的移动，应在设计时定义制动临界角与倾覆临界角，单位：度(°)。

7.3.2 移动装置的行走轨道结构形式

根据具体待加工工件的特点等因素，合理设计移动装置的行走轨道结构形式，一般按照前后、左右、上下三个方向平移和旋转的需求进行组合设计。

7.3.3 移动装置常用的结构形式

机器人行走轨道(前后、左右、上下组合)。

7.4 电气与控制系统

7.4.1 电气设备应符合 GB 19517及GB/T 5226.1的规定。

7.4.2 移动式设备的电气控制系统应采用模块化设计，每个模块具有明确的输入输出，可单独或并行开发。

注：电气控制设备的模块化设计旨在通过划分和组合功能模块，提高设计效率，降低复杂度，便于维护和更新。模块化设计将系统分解为相对独立的模块，每个模块具有明确的输入输出，可单独或并行开发，提高了系统的可扩展性和兼容性。

7.4.3 电气控制系统的各模块之间应采用快接头设计。

注：快接头设计是针对弱电系统控制柜配线的一种集成化产品，主要特点是全系列模块化结构，能简化盘内布线，省略端子排，避免误操作等。快接头设计提高了配线的效率和可靠性，使得维护和操作更加便捷。

7.4.4 动力线与信号线合理布局，对信号线采用电磁屏蔽等抗干扰措施。

7.4.5 电气设备在工作中、试验中或检修维护中突然停电后，再恢复供电时，不得自行工作。

7.4.6 控制系统与机器人和激光器建立稳定可靠通讯，并可具备焊缝跟踪和在线监测等选配装置的通讯接口。

7.4.7 应具备控制系统急停功能。

7.5 激光器

7.5.1 激光器一般采用光纤传输激光的激光器。

7.5.2 激光器输出功率的衰减率：不大于 5%/年。

7.5.3 实际输出功率可在最大输出功率 10%~100% 内自由设定，分辨率 $\leq 1\%$ ，线性误差 $< \pm 2\%$ 。

7.5.4 激光器可选配备光闸/光耦。

7.5.5 激光器应具备IO/总线控制接口，可以与机器人/控制系统建立稳定的通讯。

7.5.6 激光器应具有完备安全控制回路，包含急停回路和安全回路。

7.5.7 激光器应具有光纤与激光加工头连接断开报警功能。

7.5.8 激光器应具备激光输出、准备、故障报警指示灯。

7.5.9 激光器应具备用于光路校准的指示光。

7.6 激光加工头

7.6.1 激光加工头的最大承受功率不小于激光器的最大输出功率。

7.6.2 激光加工头应至少适用于波长范围 900nm~1100nm 的红外激光。

7.6.3 激光加工头应具有与光纤连接的标准接口，带机械锁紧与防尘设计。

7.6.4 激光加工头应具有可更换的保护镜片。

7.6.5 激光加工头的激光能量透过率不低于 95%

7.6.6 激光加工头应具有激光输出安全警示标识。

7.6.7 激光加工头可具有防飞溅/烟尘空气刀。

7.6.8 激光加工头可具有摆动功能。

7.6.9 激光加工头可具有防碰撞装置。

7.6.10 激光加工头可具有镜片温度监测装置。

7.6.11 激光加工头可带有成像模块，以实现熔池形状及温度分布的监控实施。

7.6.12 激光加工头的整体重量不宜超过8kg。

7.7 送料装置

7.7.1 送粉器送粉量范围：0.5~300g/min（以铁基合金为例）。

7.7.2 送粉器送粉精度误差： $< \pm 2\%$ 。

7.7.3 送粉器最大送粉距离： $\geq 10\text{m}$ 。

7.7.4 送丝机送丝速度范围：1~10m/min。

7.7.5 送丝机送丝精度误差： $< \pm 3\%$ 。

7.7.6 送丝机最大送丝距离： $\geq 10\text{m}$ 。

7.8 水冷机

7.8.1 水冷机制冷量满足激光器满功率使用的制冷要求。

7.8.2 水冷机采用两路输出，一路用于激光器水冷，一路用于激光加工头水冷。

7.8.3 可进行双温双控，分别对两路输出的水温进行设置和反馈控制。

7.8.4 水冷机温度控制精度： $\pm 1^\circ\text{C}$ 。

7.9 移动运输

- 7.9.1 移动运输工具应符合 GB/T 40712 的规定。
- 7.9.2 设备在移动运输过程中应采用可靠的紧固装置，确保与运输平台间位移量 $\leq 5\text{mm}$ 。
- 7.9.3 设备在运输工具中的重量应均匀分布，防止运输车辆超载或重心偏移引发侧翻。
- 7.9.4 移动式激光焊接与增材制造系统在工作状态与移动运输状态间的相互转换时间应不超过60分钟。

7.10 安全防护

- 7.10.1 机器人系统安全防护设施应符合 GB 11291.2 的规定。
- 7.10.2 机器人系统相关电气设备应符合 GB 19517 和 GB/T 39463 的规定。
- 7.10.3 激光焊接与增材制造系统应符合 GB/T 18490.1 的规定；辐射安全应符合 GB 44703 的规定。
- 7.10.4 电气设备的安全应符合 GB/T 5226.1 的规定。
- 7.10.5 机器人和激光器安全互锁机制。
- 7.10.6 激光头部件应采取防护措施，防止断电失控后损坏光学元件。
- 7.10.7 由材料和物质产生的危险的防护应符合下列要求
 - a) 对有毒气体、烟及粉尘的安全防护应符合 NB/T 25082 和 GB 15577 的规定；
 - b) 除尘器必须通过防爆认证。
- 7.10.8 辅助气体使用的防护应符合下列要求
 - a) 设置气源到激光加工头气路的减压装置；
 - b) 设置激光加工头气路进口的过压报警，防止高压泄漏对人和机器造成伤害。
- 7.10.9 运转时容易松脱的零件应装有可靠的防松装置，影响安全的外露运动零件应有防护装置，定位要求应符合 GB/T 19876 的规定。
- 7.10.10 操作用手柄、脚踏装置等的动作，应灵活、安全、可靠。
- 7.10.11 应有故障监控和显示功能。
- 7.10.12 安装使用设备需要正确接地，并确保接地可靠，使用过程中需要注意用电安全，防止电击伤害。
- 7.10.13 作业现场1.5倍范围内，应设置隔离屏障，悬挂“非操作人员禁止进入”的警示牌。
- 7.10.14 应在工作人员上料操作部位及控制系统操作部位设置急停按钮。
- 7.10.15 紧急停止开关应能同时实现：
 - a) 使机器人及其附属设备停止工作；
 - b) 切断激光器泵浦电源，停止激光输出。
- 7.10.16 应编制设备上电检查清单，在设备完成现场部署后，通电启动前逐项检查，以保证设备与人员安全。
- 7.10.17 应编制设备拆卸装车流程文件，在设备完成现场作业后，按流程顺序依次切断电源，按模块拆卸，装车固定，以保证设备与人员安全。

8 检验方法

8.1 试验条件

实验前应保持空气干燥，周围无强气流、强磁场的影响，水、电、气供应正常。

8.2 外观检验

- a) 目视检查所有管道及线缆不应有破损，所有电缆及管路接头连接紧密；
- b) 检查水冷系统各接头连接处密封性，不应有渗漏现象；
- c) 检查气动接头，不应有漏气声，调整减压阀及各阀的手动调整功能应能达到规定的要求。

8.3 电气系统检验

检查电气系统的工作情况，各电气元器件应连接紧固，按钮反应灵敏，按 GB/T 5226.1 及 GB 50169 的有关规定进行检验。

8.4 机器人本体重复定位精度检验

应符合 GB/T 12642 的规定。

8.5 移动装置性能检验

- 8.5.1 额定负载测试，按设计最大负载加载均布或集中载荷，持续 30 分钟以上，移动装置结构无塑性

变形、焊缝无开裂、轮轴/导轨无异常变形。

8.5.2 加载额定负载的 120%~150%，持续 5-10 分钟，卸载后移动装置结构残余变形量 \leq 1%，无功能失效。

8.5.3 满载时倾斜装置至倾覆临界角（如 10°），移动装置不发生倾覆，重心偏移量 \leq 设计值。

8.5.4 满载时倾斜装置至制动临界角（如 5°），打开制动开关（电子或机械），装置不发生滑动。

8.5.5 电动式移动装置运动功能检测：

测量移动装置各轴运动速度、电机电流。

a) 移动装置以最大设计速度移动，实际速度与理论速度偏差 \leq 10%；

b) 在运动速度范围内，电机实测电流不超过额定电流值的 80%。

8.5.6 手动式移动装置运动功能检测：

a) 使用测力计测量空载/满载时水平匀速推动所需力，或导轨滑动阻力，推动力 \leq 15%负载重量；

b) 在光滑地面、粗糙地面及斜坡（ \leq 5°）测试移动平稳性，无卡滞、偏摆或异常振动。

8.6 焊接和增材制造系统功能检验

8.6.1 系统的焊接能力检验应符合 T/CITS 343 的规定。

8.6.2 系统的增材制造成形能力检验应符合 GB/T 39329 的规定。

8.7 焊接和增材制造系统稳定性检验

在系统标称的激光焊接参数范围内，通过机器人示教器设置 1 组激光自熔焊接参数（激光功率、焊接速度、离焦量等）、1 组激光送丝焊接参数（激光功率、离焦量、光丝间距、焊接速度、送丝速度等）、1 组激光送粉增材制造参数（激光功率、激光扫描速度，离焦量、送粉量、搭接率等）。每组参数进行不少于三次重复试验，在满足焊接及增材制造成形外观要求情况下，通过金相检验，测量熔深和熔宽，测量结果：（最大值-最小值）/平均值 \leq 10%。

8.8 连续运行试验检验

编订系统测试程序，在额定负载状态下连续运行 8 小时无故障。运行中如出现故障，经排除后重启系统，重新开始计时，24 小时无故障。

8.9 移动与部署性能检验

编订移动式激光焊接与增材制造系统卸车-部署-安装-拆解-装车流程，准备现场相关辅助工具，由 2 名受过培训的操作工人进行操作并计时。

在运载移动式激光焊接与增材制造系统的车辆到达现场时开始计时，到设备正常开启激光实现单道自熔焊接，时间不超过 60 分钟。

在设备完成最后一道激光焊接并关闭光后开始计时，到设备以可运输的状态进入移动运输工具，时间不超过 60 分钟。

9 检验规则

9.1 检验分类

移动式激光焊接与增材制造系统检验分为出厂检验和型式检验。

9.2 出厂检验

移动式激光焊接与增材制造系统出厂前应经制造厂质量检验部门检验合格并签发合格证明书后方可出厂，出厂检验项目如下：

- a) 外观检验；
- b) 电气系统检验；
- c) 焊接和增材制造系统稳定性检验；
- d) 机器人本体重复定位精度检验；
- e) 移动装置性能检验；
- f) 连续运行试验检验。

9.3 型式检验

有下列情况之一，应进行型式检验：

- a) 新产品试制鉴定时；
- b) 当设计、工艺、材料有较大改变，可能影响产品性能时；
- c) 国家质量监督机构提出型式检验的要求时。

型式检验项目为本标准的全部要求。

型式检验的样品在出厂检验合格的产品中，任意抽取一套。

型式检验时，若有不合格项目，应重新抽样对不合格项目进行复检，若仍不合格，则判定型式检验为不合格。

10 标志

10.1 产品标志

每套产品应在明显位置固定产品标志，并应符合 GB/T 13306 的规定。该标志应包括下列内容：

- a) 产品型号和名称；
- b) 制造单位名称；
- c) 出厂编号和制造日期；
- d) 主要技术参数；
- e) 外形尺寸和质量。

10.2 操作和维护标志

每套产品都应有设备铭牌并应符合 GB/T 13306 的规定。该标志应包括下列内容：

- a) 激光器参数铭牌；
- b) 移动装置铭牌、润滑铭牌；
- c) 焊接夹具卡紧试件螺栓锁紧/放松标识；
- d) 安全标识包括当心激光、佩戴激光防护眼镜、焊接变位机回转注意提示、焊接夹具使用的提示；
- e) 移动装置护罩类防止踩踏标识；
- f) 焊接回路、接地标识；
- g) 防护栏内非工作人员禁入标识。

10.3 安全警告标志

移动式激光焊接与增材制造系统在移动并定位至工作位置后，应设置有关的注意事项和警告标志。该标志的大小和位置应能使在危险区外面的人员清晰地看到。标志的颜色、尺寸及印刷形式应符合 GB 2894 的规定。

10.4 包装标志

包装储运标志应符合 GB/T 191 的规定。

11 包装和储运

11.1 包装

11.1.1 系统按模块独立包装，带有机电部件的模块应符合 GB/T 13384 的规定。

11.1.2 机器人本体应单独包装，机器人活动手臂可靠固定。

11.1.4 包装材料要求防雨。

11.1.5 包装材料与固定装置应满足重复使用一次的要求，完成设备一次运输至现场，工作后离场的包装要求。

11.1.5 随机文件应用塑料袋封装并放置于单独箱内，文件包括：

- a) 产品合格证；
- b) 装箱单；
- c) 安装使用说明书；
- d) 设备使用、维护说明书；
- e) 随机备件清单。

11.1.6 应符合 GB/T 4768、GB/T 4879 和 GB/T 5048 的相关规定。

11.2 运输

- 11.2.1 设备按模块装/卸车，模块数量和类型与拆卸装车流程文件中的检查清单相符。
- 11.2.2 各模块在移动运输装置内部应牢靠固定。
- 11.2.3 运输车辆应符合 **GB/T 40712** 的相关规定。
- 11.3.4 产品运输过程中应小心轻放，不准许倒置和碰撞。
- 11.3.5 产品、附件应加以包装并固定在包装箱中。
- 11.3.6 产品需做好防雨和防潮措施，搬运时应注意轻放。

11.3 储存

产品应在室内储存。环境湿度 20%~80%（不结露），无易燃气体和腐蚀性气体。
