

ICS 13.030.50
CCS Z 05

团 体 标 准

T/CIECCPA 082—2025

晶硅光伏组件回收工艺技术及设备规范

Technical and equipment specifications for recycling processes of
crystalline silicon photovoltaic modules

2025 - 07 - 07 发布

2025 - 07 - 11 实施

中 国 工 业 节 能 与 清 洁 生 产 协 会 发 布

CLECCRA

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 基本原则2

5 回收工艺技术2

6 回收设备3

 6.1 废弃晶硅光伏组件回收设备分类3

 6.2 物理机械回收设备4

 6.3 高温热解回收设备4

 6.4 溶剂化学处理回收设备4

 6.5 物理机械-高温热解复合回收设备4

 6.6 物理机械-溶剂化学-高温热解复合回收设备5

7 收集、运输及贮存6

 7.1 总则6

 7.2 收集6

 7.3 运输6

 7.4 贮存6

8 前处理6

9 处理7

 9.1 一般规定7

 9.2 边框7

 9.3 接线盒7

 9.4 层压件7

 9.5 玻璃7

9.6 背板7

9.7 光伏电池 8

9.8 光伏电池中的金属材料 8

10 对生产企业的要求 8

11 对回收处理报告的要求 8

12 管理8

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。

本文件由中国工业节能与清洁生产协会提出并归口。

本文件起草单位：扬州大学、常州大学、宁夏大学材料与新能源学院、中节能太阳能科技（镇江）有限公司、长沙矿冶研究院有限责任公司、常州瑞赛环保科技有限公司、江苏大学、扬州大学扬州碳中和技术创新研究中心、北京绿碳循环信息技术咨询有限公司。

本文件主要起草人：丁建宁、李绿洲、袁宁一、杨亚、夏明许、李进、朱锋、朱佳、邓向辉、刘石梅、张建文、庄虎梁、许忠兴、胡宏伟、程广贵、温相丽、张帅、董旭、王爱丽、王芹芹、江瑶瑶、王茜、张文婷、梁晓苏、李成功。

CLECCRA

晶硅光伏组件回收工艺技术及设备规范

1 范围

本文件规定了晶硅光伏组件回收的基本原则、回收工艺技术、回收设备规范、收集、运输及贮存等工艺步骤、样品前处理/处理规定、对生产企业要求、回收处理报告及管理要求等内容。

本文件适用于晶硅光伏组件回收工艺技术及设备规范评价。根据晶硅光伏组件目前的回收方式及工艺水平，基于其回收过程中不同成分的回收路线，综合考虑组件中各成分的回收价值和环境评估。

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（包括所有的修改版）适用于本文件。

- GB/T 2297 太阳光伏能源系统术语
- GB 8978 污水综合排放标准
- GB 12348 工业企业厂界环境噪声排放标准
- GB/T 14264 半导体材料术语
- GB 16297 大气污染物综合排放标准
- GB 18484 危险废物焚烧污染控制标准
- GB 18599 一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准
- GB/T 23685 废电器电子产品回收利用通用技术要求
- GB/T 30102 塑料废弃物的回收和再循环指南
- GB/T 38785 建筑用薄膜太阳能电池组件回收再利用通用技术要求
- GB/T 39753 光伏组件回收再利用通用技术要求
- HJ/T 181 废弃机电产品集中拆解利用处置区环境保护技术规范（试行）
- HJ 942 排污许可证申请与核发技术规范
- HJ 1200 排污许可证申请与核发技术规范工业固体废物（试行）
- HJ 1301 排污许可证申请与核发技术规范工业噪声
- DB64/T 1971 晶体硅光伏组件回收规范
- T/CPIA 0009 电致发光成像测试晶体硅光伏组件缺陷的方法
- T/CPIA 0085 废弃晶体硅光伏组件回收的包装、运输、贮存技术规范
- IEC TS 61836 太阳光伏能源系统术语、定义和符号（Solar photovoltaic energy systems—Terms, definitions and symbols）

3 术语和定义

GB/T 2297、IEC TS 61836和GB/T 14264界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

废弃晶硅光伏组件回收技术 waste crystal silicon photovoltaic module recycling technology
废弃晶硅光伏组件定义参考（GB/T 39753 和 T/CPIA 0085），废弃晶硅光伏组件回收技术是对废

弃的晶硅光伏电池组件进行拆解、分离和收集其组成材料的过程，以提取其中的有用成分并减少对环境的影响。光伏组件主要由玻璃、背板、电池片、铝合金边框、乙烯-醋酸乙烯共聚物（EVA）、铜焊带、接线盒和其他金属组成，这些材料大多可以回收利用。目前根据层压件分离方式的不同，废弃晶硅光伏组件回收处理技术主要包括物理回收（拆解组件、粉碎组件、分拣和提取）、热解回收（高温处理和气体收集）及化学回收（溶解处理和分离提取）等。

3.2

废弃晶硅光伏组件回收装置 crystalline silicon photovoltaic group recovery device

废弃晶硅光伏组件通过不同技术进行回收的装置。

4 基本原则

- 4.1 最大化资源利用，最小化环境污染，最优化能源消耗。
- 4.2 应优先实现废弃晶硅光伏组件中的零（部）件在符合相关标准要求下再使用的原则。
- 4.3 应按照再使用和能量回收的顺序进行回收处理。
- 4.4 在收集、运输、贮存、拆解和回收等过程中应采取适当措施。避免锋利部件等对人员造成伤害，避免废弃光伏组件的零部件与材料（含铅、氟等元素）对环境造成污染，避免对废弃光伏组件造成二次破坏及污染。
- 4.5 废弃晶硅光伏组件不能直接焚烧或填埋。
- 4.6 回收处理企业应遵守 HJ942、HJ1200、HJ1301 等标准的规定取得排污许可证，确保产生的废气、废水、噪声等排放满足国家和地方的污染物排放标准与排污许可要求。还需具备环保部门颁发的危险废物经营许可证，以及危险废物转移联单等相关资质。
- 4.7 回收处理企业应具备废弃晶硅光伏组件的统计信息管理系统，并将有关数据提供给主管部门、相关企业和组织机构。

5 回收工艺技术

- 5.1 晶硅光伏组件的类型主要包括 Al-BSF（Aluminum-Back Surface Field，铝背场）、PERC（Passivated Emitter and Rear Cell，钝化发射极和背面电池）、TOPCON 和 HJT（Heterojunction with Intrinsic Thin Layer，异质结）。Al-BSF 电池在硅片背面沉积了一层铝膜，形成背场，以提高电池的输出电压和填充因子。PERC 电池在硅片背面增加了钝化层和隧穿氧化物层，同时在正面进行了发射极优化。TOPCON 电池结合了 PERC 和 HJT 的技术特点，具有隧穿氧化物层和多晶硅钝化接触层。HJT 电池采用异质结结构，具有非晶硅层和晶硅层的结合。
- 5.2 晶硅光伏组件主要由玻璃、背板、铝边框、晶硅太阳能电池、EVA 和接线盒等组成。
- 5.3 废弃晶硅光伏组件的回收流程分为拆卸、消除 EVA 层、刻蚀电池和金属提取等过程，回收工艺流程图如图 1 所示。

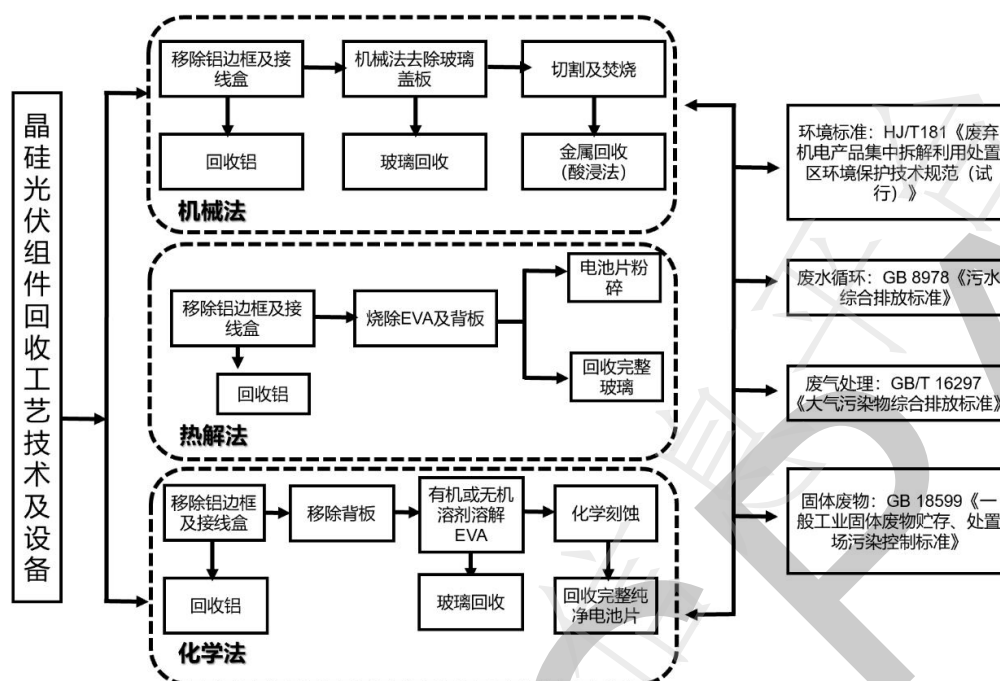


图1 废弃晶硅光伏组件回收工艺流程图

5.4 晶硅光伏组件回收过程中除了回收组成部分外,重金属等有害物质也需要通过分离法、热处理法、化学处理法和废水循环回收等工艺进行处理。

5.5 废弃晶硅光伏组件的回收率是指在光伏组件回收过程中,能够成功回收并利用的材料占总材料量的百分比。根据现有标准 GB/T 43752,光伏组件的材料回收率需达到 90%以上。

回收率 η 按照质量计算:

$$\eta = m_1 / m_2 \times 100\% \dots \dots \dots (1)$$

式中:

m_1 —光伏组件破碎、分选、回收的各种组分质量之和(单位为千克);

m_2 —与生产该光伏组件或回收处理前的光伏组件,各组分质量之和(单位为千克)。

5.6 废弃晶硅光伏组件回收率的关键是 EVA 层分解或解胶联。

5.7 物理回收法也叫机械法,主要是通过机械方式将废弃晶硅光伏组件中可直接回收部分进行回收处理,主要包括:机械粉碎法、低温静电分离法和热切割法。

5.8 热解回收法是在高温条件下, EVA 在惰性气体中溶解成醋酸、丙烷、丙烯及乙烷,也可在有氧环境中燃烧。热解法主要包括氮气热解法和空气燃烧法。

5.9 化学回收法是利用 EVA 和 POE 在化学溶剂中氧化或分解,实现层压件的分离。化学溶解法可分为无机酸溶解法和有机酸溶解法。

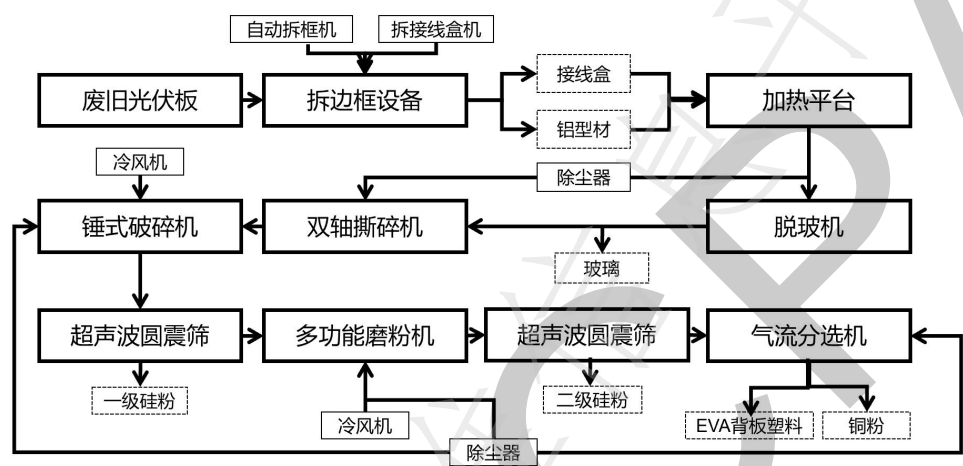
6 回收设备

6.1 废弃晶硅光伏组件回收设备分类

主要包括物理机械回收设备、高温热解回收设备、溶剂化学处理回收设备、物理机械-高温热解复合回收设备和物理机械-溶剂化学-高温热解复合回收设备等,其中以物理机械-高温热解复合回收设备应用范围最广。

6.2 物理机械回收设备

物理法设备，主要回收废弃光伏组件中的铝边框，接线盒，背板，玻璃，焊带等易回收的部分，工艺流程及相关设备如图 2 所示。用于分离及分选，不限于颗粒选、重力选、磁选、风选、密度选、色选等组合使用。包括用于对晶硅光伏组件进行拆除的拆框机；用于对拆除得到的不具有铝制框架、接线盒和电缆线预处理后的光伏组件进行破碎的破碎机；用于对破碎得到的硅粉与金属粉末混合物进行浮选的浮选装置。



注：脱玻机、双轴撕碎机、锤式破碎机、超声波圆震筛、多功能磨粉机和气流分选机等设备，在工作的同时已连接环保除尘设备！

图 2 物理法回收废弃晶硅光伏组件的工艺流程及相关设备图

6.3 高温热解回收设备

不同于高温焚烧，热解是在无氧或缺氧条件下有机物受热分解的过程，高温热解回收设备包括预升温箱、加热箱、加热管组、控气箱、伸缩封堵件和供热件等。加热箱内固定有加热管组，层压件位于加热管组内，加热管组进气端连通有控气箱，控气箱内设置有伸缩封堵件，伸缩封堵件的移动端与加热箱内的层压件同步运动，且移动端用于封堵与层压件分离的加热管组进气端，加热管组出气端与预升温箱连通。

6.4 溶剂化学处理回收设备

溶剂化学处理回收方法主要包括：有机溶剂浸泡法、热处理法、化学分解法、电化学反应法等。包括支架、加热模块、气体循环模块和液体循环模块。将组件的铝边框和接线盒拆除，将拆除后的组件放置于舱体内并抽真空，向舱体内通入有机溶剂直至浸没组件，加热组件并持续通入惰性气体，加热至玻璃板与电池片分离，随后冷却取出组件。

6.5 物理机械-高温热解复合回收设备

包括机械分离室、破碎机构、加热室、筛分机构以及分选机构，工艺流程及相关设备如图 3 所示。传送机构依次在机械分离室、破碎机构、加热室、筛分机构、分选机构之间传输物料；机械分离室采用机械分离法拆除接线盒、金属边框和背板；破碎机构将拆除接线盒、金属边框和背板后的破碎玻璃光伏组件粉碎为颗粒状的混合物；加热室加热气化 EVA 材料，筛分机构用于分离出金属焊带，分选机

构用于从分离金属焊带后的混合物内分离硅片与玻璃。

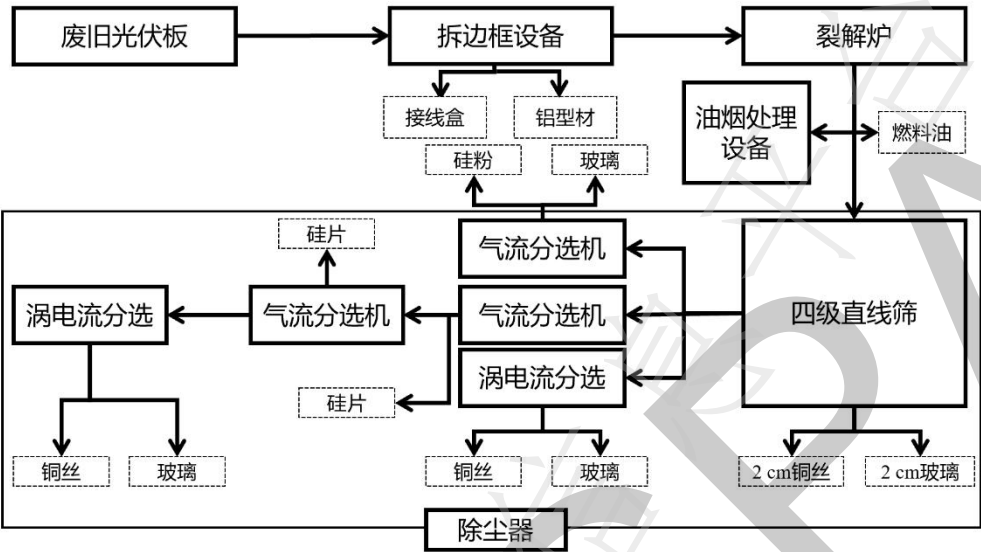


图 3 物理机械-高温热解复合回收废弃晶硅光伏组件的工艺流程及相关设备图

6.6 物理机械-溶剂化学-高温热解复合回收设备

包括对晶硅光伏组件层压件超声清洗处理，超声清洗包括水和辅助分离剂，辅助分离剂为聚乙烯蜡、聚丁烯和乙二醇乙醚醋酸酯中的一种或多种。将光伏层压件分离为玻璃板、第一粘接层、电池片、第二粘接层和背板，利用热解工艺去除玻璃版上残留的第一粘接层，去除电池片上残留的第一粘接层和第二粘接层，回收玻璃板和电池片，工艺流程及相关设备如图 4 所示。

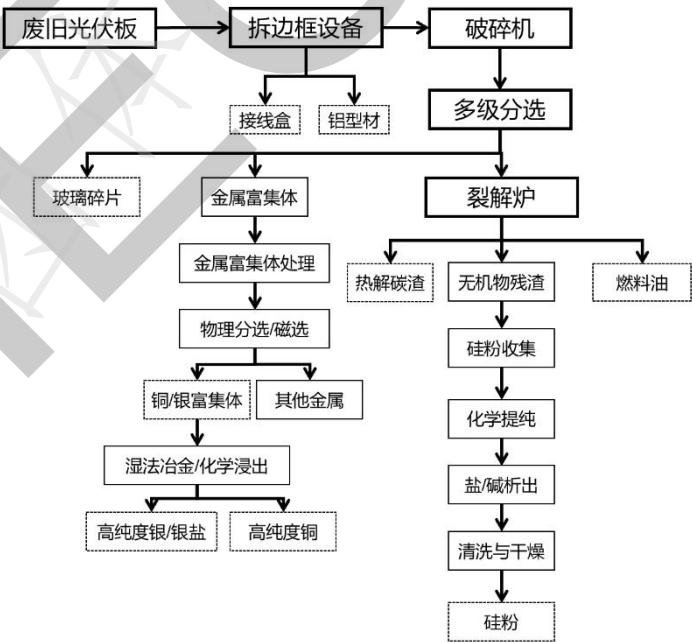


图 4 物理机械-溶剂化学-高温热解复合回收废弃晶硅光伏组件的工艺流程及相关设备图

7 收集、运输及贮存

7.1 总则

7.1.1 在收集、运输、贮存及回收废弃晶硅光伏组件过程中，应保证不对组件造成二次污染；还应避免光储存，避免其暴露在阳光下引发火灾，或电池漏电等行为对人员造成伤害。

7.1.2 对已丧失安全性能的晶硅光伏组件应按照失效原因（完全失效、发电效率降低等原因）进行分类收集、运输和储存。

7.1.3 在分选过程中可通过静电吸附原理对破碎后的颗粒进行分选的静电筛分设备；利用气流速度差异将不同密度颗粒分离的气流分选设备；通过磁场作用分离含金属与硅片等非磁性材料的磁选设备和通过振动作用将颗粒按大小进行分级筛分的振动筛分设备等，根据具体情况分选进行组合使用。

7.2 收集

7.2.1 废弃晶硅光伏组件禁止混入生活垃圾或工业固体废物中。

7.2.2 在废弃晶硅光伏组件收集过程中，需建立完整的信息数据记录。

7.2.3 在废弃晶硅光伏组件收集过程中，拆解完成回收材料应依据 GB/T 43752 需要设立可回收利用标识，以供消费者、回收者、处理者参考。

7.2.4 在废弃晶硅光伏组件收集过程中，需设置防护措施，避免对人体健康造成危害。

7.2.5 收集的废弃晶硅光伏组件应按本文件 7.4.1-7.4.3 的要求进行贮存。

7.2.6 收集的废弃晶硅光伏组件应交给拥有合法的营业执照、取得危险废物经营许可证并办理危险废物转移联单的专业机构进行贮存、拆解和处理等。

7.3 运输

7.3.1 运输前需对废弃晶硅光伏组件的类型、数量等具体信息进行登记备案。

7.3.2 严禁在运输过程中擅自对废弃晶硅光伏组件采取任何形式的拆解、处理和贮存等。

7.3.3 运输过程中的防护措施等应满足 TCPIA 0085 等标准要求。

7.3.4 应避免废弃晶硅光伏组件在运输过程中造成包装箱倾斜、暴力装卸和颠簸运输、不规范安装和维护及摆放不当等二次损坏。

7.4 贮存

7.4.1 废弃晶硅光伏组件贮存场地应符合 GB 18599 的相关规定。

7.4.2 废弃晶硅光伏组件应该进行分类存放，在显要位置标识其种类名称、数量及具体情况。

7.4.3 废弃晶硅光伏组件的堆放要求应根据废弃光伏组件的特性进行设置，避免发生组件坍塌、滑落等意外情况。

8 前处理

8.1 前处理过程中，需对晶硅光伏组件建立完整的信息记录，包括组件状态、来源、名称、编号、几何、尺寸及获取时间等信息。

8.2 拆解组件前需对废弃晶硅光伏组件进行清理，保证表面无泥土、油污和其它杂物。

8.3 废弃晶硅光伏组件拆解时应尽量保证层压件的完整性。

8.4 预先取出的所有零部件严禁随意丢弃，应按本文第 9 部分的规定进行处理。

8.5 拆解场地应符合 HJ/T 181 的规定。

9 处理

9.1 一般规定

- 9.1.1 处理过程中需按顺序拆解废弃晶硅光伏组件，依次得到接线盒、边框和层压件。
- 9.1.2 处理过程中所有取出的零部件及材料应贮存在适当场所，并清楚的标识。
- 9.1.3 处理过程中需对废弃晶硅光伏组件建立完整的信息数据记录。
- 9.1.4 处理过程中产生的废液需进行集中回收处理，处理后宜循环再利用的废水，排放需符合 GB 8978 的相关规定。
- 9.1.5 处理过程中产生的废气需符合 GB/T 16297 中的规定。
- 9.1.6 废弃晶硅光伏组件的任何零部件或材料都不能随意丢弃。
- 9.1.7 不能再生利用的材料或固体废物，需按照相关要求进行处理，处理应符合 GB 18599 的规定。
- 9.1.8 不能随意丢弃层压件，应按一定顺序对层压件进行处理。

9.2 边框

- 9.2.1 先采用人工或机械方式将金属边框上的密封剂分离，然后再将金属边框按照材料进行分类存放。
- 9.2.2 非破坏性拆解紧固件，再进行分类存放。

9.3 接线盒

- 9.3.1 接线盒和线缆应按照 GB/T 23685 的要求进行处理及再利用。

9.4 层压件

- 9.4.1 当处理过程中使用无机酸或有机溶剂等化学试剂时，需采用自动化程度高、密闭性良好、具有防止化学品外溢措施的设备进行处理；储存无机酸或有机溶剂的设备、储罐需具备必要的防溢出、防渗漏、安装事故报警装置等安全措施；废弃的无机酸或有机酸等化学药品禁止随意排放，需由专业机构集中处理或循环利用。
- 9.4.2 当处理方法涉及材料分解气化时，需设有烟气处理设施，必要时应配备防爆和报警装置，大气污染物排放需符合 GB/T 16297 和 GB 18484 的要求。
- 9.4.3 当处理方法有粉尘排放时，需采取除尘设施，并对存在大量粉尘的工作场所采取相应的安全预防措施，处理后的废气应符合 GB/T 16297 中的规定。
- 9.4.4 层压件处理后得到的部件和材料应分类收集，需分区贮存并设立明显的区分标识。

9.5 玻璃

- 9.5.1 回收后的玻璃未破碎，根据玻璃的种类进行分类存放。
- 9.5.2 需要对玻璃进行破碎处理时，需做好防护，避免玻璃碎屑飞溅伤人和粉尘对人体健康的影响，破碎后的玻璃需根据种类进行分类存放。

9.6 背板

- 9.6.1 含氟背板处理或热解法处理背板时，需具备相关的气体处理设施，氟化物或其他产生气体的排放标准应满足 GB/T 16297 和 GB 18484 的要求。
- 9.6.2 化学法分离后的背板材料进行分类存放。

9.7 光伏电池

- 9.7.1 对废弃晶硅光伏电池进行处理时，根据损坏程度可分为硅粉回收或整片回收。
- 9.7.2 以硅粉的形式回收，粉尘排放需符合 GB/T 16297 的规定。

9.7.3 以整片硅片的形式回收，采用化学方法进行清洗，取出其表面膜层及其他物质，进入再使用环节，排放的废液应符合 GB 8978 的规定。

9.7.4 酸溶法处置时需做到溶液无泄漏，反应时产生的酸性气体需及时处理。

9.7.5 处理过程中，需设置防护措施，不应污染环境或危害人体健康。

9.8 光伏电池中的金属材料

9.8.1 电池中的金属材料一般使用化学方法回收提纯。

9.8.2 提取贵金属材料时，需做到溶液无泄漏，反应时产生的酸性气体需及时处理，各项污染物排放需符合 GB/T 16297 的规定。废液经处理后各项污染物排放需符合 GB 8978 的规定。

10 对生产企业的要求

10.1 组件生产企业产品中所用材料应具有良好的再生利用性。

10.2 当回收处理企业要求时，生产企业应提供基本的材料信息，包括核心部件、电气连接装置、封装材料、封装辅材等。

11 对回收处理报告的要求

11.1 当生产企业要求时，回收处理企业应向生产企业提供回收处理报告，以便生产企业更加了解产品在回收处理时的状况，进而采取相应的设计改进措施，有利于产品的回收处理。

11.2 回收处理过程报告必须包含对回收处理过程的描述，回收处理过程的难点及回收处理的结果分析。

12 管理

12.1 回收处理企业具备相关能力且具备国家环保部门颁发的危险废物经营许可证，以及危险废物转移联单等相关资质的要求，在处理过程中需注意环境保护，符合 HJ/T181 的规定。

12.2 回收处理企业需建立详实的记录制度。

12.3 回收处理企业中有关废弃晶硅光伏组件处理的记录、污染物排放监测记录和其他记录需留存至少 3 年。

12.4 回收处理企业需定期监测排放的废液和废气中污染物的浓度。

12.5 回收处理企业需对厂界噪声定期进行监测，并符合 GB 12348 要求。

12.6 回收处理企业需制定突发事件的处理程序，有完整的防护装备和措施，操作应遵守国家相关的职业安全卫生法规或标准，比如 T/CRRA 9907，且企业应遵守 HJ942、HJ1200、HJ1301 等标准的规定取得排污许可证。

12.7 所有上岗操作人员均需进行岗前培训，培训后需在技术部门人员的指导下开展工作，经确认操作无误后可独立开展工作。

12.8 回收处理企业需具备相应的环保设施，并达到国家相关污染物排放控制标准，如 GB 8978。