

附件 3

《废光伏设备回收处理污染控制技术规范
(征求意见稿)》

编制说明

《废光伏设备回收处理污染控制技术规范》编制组

2024 年 10 月

目 录

1 项目背景	1
1.1 任务来源	1
1.2 工作过程	1
2 标准制订的必要性分析	2
2.1 项目相关行业概况	2
2.2 相关环境管理工作的需要	5
3 国内外相关标准情况的研究	7
3.1 主要国家、地区及国际组织相关标准情况的研究	7
3.2 国内标准情况的研究	8
3.3 本标准与国内外同类标准或技术法规的对比	9
4 标准制订的基本原则和技术路线	9
4.1 标准制订的主要方法	9
4.2 标准制订的基本原则	10
4.3 标准制订的技术路线	10
5 标准主要技术内容	11
5.1 标准适用范围	11
5.2 标准结构框架	11
5.3 术语和定义	11
5.4 标准主要技术内容确定的依据	11
6 标准实施建议	13
7 参考文献	14

《废光伏设备回收处理污染控制技术规范》

编制说明

1 项目背景

1.1 任务来源

为贯彻落实《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》《中共中央 国务院关于全面推进美丽中国建设的意见》《国务院办公厅关于加快构建废弃物循环利用体系的意见》等系列重要文件关于废光伏设备的重大决策部署,适应新时期废光伏设备回收处理的环境管理要求,进一步强化废光伏设备回收处理过程的污染防治,生态环境部提出制订《废光伏设备回收处理污染控制技术规范》(以下简称《技术规范》)的需求,按照生态环境部固体废物与化学品司的要求,由生态环境部固体废物与化学品管理技术中心承担制订工作,由生态环境部华南环境科学研究所、中国物资再生协会、清华大学、中国科学院广州能源研究所、中国环境科学研究院作为该标准项目的协作单位。由此正式启动了该标准的研究和制订工作。本项目为计划外项目。

1.2 工作过程

(1) 前期准备过程

2023年9月,针对废光伏设备回收拆解环境管理现状开展实地调研工作,初步发现废光伏设备回收拆解过程中存在的环境管理问题。

2023年10~11月,对我国废光伏设备环境保护现状、处理企业设施进行调研,开展数据资料的收集整理,总结分析现有技术政策与实际情况的匹配程度,研究提出标准编制方案。

2024年1月根据要求,调研相关领域的科研、设计、咨询单位,召开标准编制研讨会,形成标准编制团队,制定工作计划,确定任务分工。

(2) 文本编制过程

2024年2~3月,采用文献调研的方式,收集国内外有关废光伏设备回收处理环境保护的文献资料。召开标准编制研讨会,按照标准制订方案完成部分编制工作。

2024年4月,继续深入开展实地调研工作,针对不同类型企业继续完善调研,了解典型废光伏设备拆解企业、场地、设施等实际情况,结合文献,进一步完善《技术规范》内容。

(3) 立项开题过程

2024年5~6月,标准编制工作组召开内部会议及专家咨询会对标准草稿进行多次修改,完成项目立项。

2024年7月,完成开题报告、编制草案、征求意见稿及编制说明。

(4) 技术审查过程

2024年7月,标准编制组召开开题论证暨技术审查会,与会专家就编制组提交的征求意见稿和编制说明内容进行了质询和讨论,形成修改意见主要为:一是进一步完善文本结构和内容,部分名词更换为专业、统一的表述。二是围绕废光伏设备回收处理污染控制需求,

进一步明确标准适用范围。三是进一步确认文本中引用标准的准确性、规范性。

编制组根据专家意见，修改完善了标准文稿和编制说明。

2 标准制订的必要性分析

2.1 项目相关行业概况

2.1.1 行业发展现状

中国光伏行业的发展历程可以划分为四个阶段：缓慢发展期（1970~2004年）、快速成长期（2005~2012年）、高速发展期（2013~2018年）和平价上网期（2019年至今）。

在缓慢发展期，中国太阳能电池技术从航空向民用领域过渡，21世纪初，无锡的企业成功建立10MW太阳能电池生产线，大幅缩短了中国与国际光伏产业的差距。

在快速成长期，中国光伏企业在美上市，带来的“首富效应”成为中国光伏产业的加速器。2006年，中国颁布了《中华人民共和国可再生能源法》，2009年的“金太阳工程”等政策进一步促进了可再生能源的开发利用，标志着中国光伏产业发展进入快车道。

在高速发展期，全国光伏发电累计装机容量超过10倍增长。

进入平价上网期，2019年，国家发改委印发《关于积极推进风电、光伏发电无补贴平价上网有关工作的通知》，拉开了光伏平价上网时代的大幕。2020年竞价政策提前下达，但补贴退坡趋势愈发明显，且电价继续下调，行业开始进入提质增效发展阶段。中国光伏新增装机量连续10年位居全球首位，展现了中国光伏行业的强大实力和发展潜力。

随着光伏设备的更新换代造成的批量替换和初期光伏设备的报废潮来临，国内的光伏设备集中退役潮将至。同时，光伏设备生产线的报废件也是废旧光伏设备的一个主要来源。

目前，废光伏设备回收面临的环境问题主要包括：有毒有害气体和废液产生、重金属污染风险、有价资源浪费、固体废物处置以及碳排放等。具体来讲，①在废光伏设备的利用处置过程中，采用化学试剂溶解EVA（Ethylene Vinyl Acetate Copolymer，乙烯-醋酸乙烯共聚物）会产生有机和无机的酸、碱废液，从而对环境造成污染；早期光伏设备的背板多由含氟材料制成，采用火法利用处置会产生氟化氢等有毒有害气体，污染环境。②部分光伏设备含有铅、镉、镍、氟等有毒有害物质，具有较高浸出毒性，易导致土壤和水源污染。薄膜太阳能电池特别是碲化镉薄膜电池中镉、铜等重金属元素含量很高，可能对土壤和植被造成破坏，如果处理不当，可能通过食物链积累，对人类健康构成威胁。③随着光伏装机容量的快速增长，废光伏设备数量将急剧增加，如果处理不当，不仅会对环境造成负面影响，还会导致资源的浪费。④光伏设备生产过程具有一定的碳排放，通过相应的回收技术可以降低光伏设备全生命周期的碳排放，实现绿色低碳可持续发展。此外，由于废光伏设备的利用处置属于一个新兴领域，相关的政策法规体系尚不完善，如回收利用的责任主体不清晰、环境监管法规缺失、回收技术标准和操作规范缺乏，尤其是利用处置过程污染控制技术规范的缺失。因此，亟需建立一套针对废光伏设备利用处置的污染控制技术规范，对废光伏设备回收全过程的环境污染进行控制，进一步完善废光伏设备回收利用的政策标准，强化环境监管，规范废光伏设备的回收利用处理工作，为开展违法拆解废光伏设备等污染环境专项整治提供标准依据。

2.1.2 光伏设备退役情况

光伏设备拆装比较简单，可流通性比较强，目前大多采用装机时间推算或模型估算法。光伏设备使用寿命一般为20~25年，由于我国光伏行业起步较晚，尚未进入大规模报废期。根据行业协会数据，截至2023年，累计退役的光伏设备约9万吨。

根据2024年2月28日国家能源局发布的《2023年光伏发电建设情况》，2023年我国太阳能（光伏）新增装机容量为21630万kW，累计装机容量60892万kW。2024年1月26日，国家能源局发布《2023年全国电力工业统计数据》显示，截止至2023年底我国太阳能发电装机容量同比增长55.2%。对于废光伏设备而言，如果处理不当，在造成大规模有价资源浪费的同时，还会带来一系列的环境污染风险，如氟化氢、铅、镉、镓、铟等有毒有害物质的泄漏，会造成严重的土壤、水体等污染和破坏，进而影响人的身体健康和动植物的生物多样性。由于大量“作坊式”回收企业的存在，会出现劣币淘汰良币的不良市场现象，严重扰乱废光伏设备的回收利用市场，挤压合规回收利用企业的生存空间，严重影响废光伏设备循环利用体系的构建。

2.1.3 主要处理技术

目前，在光伏设备的回收处理行业，主要有物理法、火法和化学法三种处理处置技术，在实际产业化过程中，往往是多种技术方法的结合，而不是单纯某类技术。

根据产品的结构和组成，主要以玻璃、背板、电池、铝边框、铜焊带和接线盒的处理为主。废光伏设备中包含铜、铝、硅、银、镓、铟等多种材料具有较高的回收利用价值，其中银、铟、镓等稀贵金属占比约0.02%。然而，光伏设备背板多由聚偏氟乙烯、聚氟乙烯等含氟薄膜组成，存在回收难度大、环境污染隐患大等风险。目前，国外主要采用热刀分离法、机械物理破碎法和热解法等技术处理废光伏设备，尚未实现大规模产业化应用；近年来国内科研单位也开展了相关技术研发，主要包括热裂解法、破碎分选法和深冷物理法等技术，目前该领域的回收处理技术仍处于探索阶段。

表 2.1 各环节存在的环境风险

重点环节	可能产生污染的工序/行为	污染物种类
拆卸、收集	暴力拆卸、露天堆放等	破碎零部件、油液、粉尘
运输、贮存	运输过程发生碰撞、贮存场地配套设施不全、液态物质及化学品贮存不规范等	破碎零部件、油液、粉尘、危险化学品
拆解	清洗、去边框、层压件拆解	废矿物油、废电路板、废铅蓄电池、粉尘、硅胶
利用和处置	层压件回收利用、焊带退锡铅、背板与EVA剥离、硅材料除杂、玻璃碱洗等	废水：锡、铅、银、铝、铜、镍、悬浮物、氟化物 废气：二氧化硫、氮氧化物、硫酸雾、氯化氢、硫化氢、氟化物、非甲烷总烃、金属颗粒物

(1) 物理法

物理法拆解最常用的是机械破碎法。一般先通过撕碎机或剪切机将组件分割成小块，然后采用刀式或叶片式转子破碎机对小块组件进行破碎，得到不同尺寸分布的物料碎片、颗粒或粉末。EVA 胶膜具有较大的粘塑性，破碎机需要施加足够的剪切力，且一般需要多级次破碎，比如一级粗碎、二级细碎、三级研磨等。玻璃、硅、银、铜、胶膜、背板等的物性差异，不同尺寸分布的破碎产物中所含成分不同。粘塑性较大的胶膜破碎成较大的碎片，脆性较大的硅、银等容易被研磨成粉，体量较大的玻璃则会具有较宽的尺寸分布，从颗粒到粉末都有。为避免物料破碎对环境产生粉尘污染，破碎可在液体介质中进行。

物理破碎法除了采用机械破碎外，还可以采用高压脉冲破碎。将晶硅光伏组件置于某种特定的液态电介质中，通过往电介质上施加短时高压脉冲，电介质电击穿放电对组件产生冲击从而使其破碎。由于是在液态介质中进行，也称为电液破碎法，其优点是不会产生粉尘污染。

破碎后得到的混合物料需进行物料分选，常用的分选方法包括密度筛分法和静电分选法。

密度筛分法选用合适密度的筛分液体，将混合物料置入其中，由于物料组分与筛分液密度的差异，密度小的物料上浮，密度大的物料下沉。一般对于大尺寸块体或颗粒可以采用静置液体进行筛分，而对于尺寸较小的粉体材料，由于表面张力作用，静置筛分效果较差，可以采用带回旋液体的动态筛分。

静电分选法利用不同组分导电性不同在电场作用下产生的静电极化效果不同来达到物料分选的目的。但物理法分选出的物料纯度是有限的，比如废硅粉中会含有一定量的金属和玻璃，玻璃粉或金属粉中也会含有一定量的硅。

在物理破碎法基础上，为提高物料破碎分离效果，特别是尽可能消除胶膜对玻璃、硅、银等无机组分的粘连，可以增加一些弱化胶膜粘性的处理过程，这主要包括低温冷冻和超临界二氧化碳处理。低温冷冻可采用液氮进行，低温作用使胶膜脆化，粘性降低。超临界二氧化碳处理可使二氧化碳在一定的高温高压下渗入到胶膜内对其结构进行破坏，弱化其粘结强度。

(2) 化学法

化学法指利用有机或无机化学溶剂浸泡，通过化学反应溶解 EVA，破坏其界面粘结力。无机溶剂常用的是硝酸，腐蚀性强，但同时会破坏电池片，比如溶解电池片上的银。有机溶剂可选用的较多，效果较好的主要有三氯乙烯、甲苯、四氢呋喃、邻二氯苯等。由于化学溶剂只能从电池片的四周边缘往 EVA 胶膜内渗入，整体胶膜的粘结强度弱化需要几天乃至更长的时间。

为提高溶剂化学法的处理速度，可以与物理破碎法结合，先把完整组件破碎成小块、颗粒或粉末，再进行化学溶剂处理，这样 EVA 胶膜与化学溶剂的接触面积增大，可提高溶解溶胀速度。

此外，还可以采用一些辅助手段来强化溶剂浸泡的作用效果，这样的强化辅助手段包括超声波、微波、超临界二氧化碳等。例如在微波作用下，溶液中的三氯乙烯更容易渗入到胶膜内，加速 EVA 胶膜溶胀，弱化其界面粘结能力。

(3) 火法

通过高温下的热解化学反应使 EVA 分解去除，从而拆分出玻璃、电池片、焊带、汇流条等。

EVA 热解过程存在两个阶段，第一阶段发生在 300~400℃之间，该阶段主要破坏酯键结合，释放出乙酸；第二阶段在约 400~520℃的温度下发生，剩余有机体继续断链生成烯烃及烷烃等的混合物。为使 EVA 热解产物去除干净，热解可在含氧气氛中进行，分解产物被氧化生成二氧化碳。

由于背板中含氟，如果与 EVA 胶膜一起热解，会产生含氟物质排放，污染环境。因此，在进行热解处理前，先将背板拆除是较好选择。大尺寸光伏设备可采用固定床热解炉处理，连续化批量处理可采用隧道窑；颗粒状物料处理可采用流化床热解炉，物料与热解气氛接触更充分，胶膜去除更彻底。

热解工艺控制得当，可以得到完整的玻璃板和电池片。如果 EVA 热解生成的气体缺乏释放通道，气量过大会使电池片受到应力冲击而破碎，升降温速率过快也会导致玻璃板因内生应力而开裂。热解处理还需注意避免胶膜碳化在玻璃或电池片上留下碳沾污。

2.2 相关环境管理工作的需要

2023 年 12 月 23 日，《焦点访谈》发布的《废旧光伏组件流向何方》揭露了河南新乡地区存在的光伏废物非法处置问题，这不仅严重污染了当地的环境，也对居民的健康造成了潜在的威胁。其中，银、硅等材料的提取需要更高的工艺要求和更严格的管理，一旦处置不当，就会对土壤和地下水等造成严重污染，危害更大。随着光伏装机容量的迅速增加，光伏废物已成为一个不容忽视的新型污染源，加强对回收利用处置全过程的环保监督力度，预防环境风险迫在眉睫。

(1) 各组成部分环境风险防控需求

晶体硅光伏组件一般分为单晶硅光伏组件和多晶硅光伏组件，两种光伏组件主要结构基本相同，主要有铝金属外框、钢化玻璃、晶体硅片、背板、EVA 等五部分组成，其中主体部分以钢化玻璃—EVA—晶体硅片—晶体硅片—背板组成的三明治结构形式粘结而成。从质量分布来看，玻璃约占整个光伏组件质量的 68%，铝边框约占 18%，硅片约占 3%，三者占比接近总质量的 90%，其中 EVA 与背板占比约 9%。EVA 树脂是 VA（Vinyl Acetate，醋酸乙烯）的共聚物，早期的光伏组件背板通常由 PVF（Poly〔Vinyl Formal〕，聚乙烯醇缩甲醛）、PVDF（Polyvinylidene Difluoride，聚偏二氟乙烯）等含氟材料，近几年无氟背板也在逐步推广。

退役光伏组件除铝金属外框、钢化玻璃、晶体硅片、背板、EVA 等主体部分外，含有银、铜、镓、锗、碲等稀贵金属，同时还含有铅、镉、镉、氟等有毒有害物质，具有较高浸出毒性，易导致土壤和水源污染。薄膜太阳能电池特别是碲化镉薄膜电池中镉、铜等重金属元素含量很高，可能对土壤和植被造成破坏。光伏组件固废中有价元素分散、含量低，且以合金等复杂形态存在，回收技术难度大。如光伏电池中的稀有金属占比不足，与玻璃等成分紧密结合，高效分离难度极大。

(2) 不同处理技术污染防治要求

退役光伏组件受组装方式所限,多采用物理法、化学法、火法等综合利用技术进行处理。对于废气而言,其主要污染物来自玻璃、背板、焊带、塑料、金属铜等材料在物理法或火法处理过程,主要有氟化物、氮氧化物、二氧化硫、锡及其化合物、铅及其化合物、颗粒物、挥发性有机物以及无组织排放等。对于废水而言,其主要污染物来自硅片洗水、刻蚀洗水、刻蚀废水、金属镍洗水、电解废水(镍铜)、合金洗水、金属银洗水、脱银洗水、脱银废水、脱铝洗水、脱铝废水等,主要有总铜、总铁、总锡、总铅、总银、总铝、氨氮、总氮、总磷、COD(Chemical Oxygen Demand,化学需氧量)等。

目前,废光伏设备拆卸、收集、运输、贮存、拆解、综合利用和处置等过程的污染控制要求,主要参考《废电器电子产品回收利用通用技术要求》《废弃电器电子产品处理污染控制技术规范》,然而废光伏设备与废电器电子产品相比区别较大,一是从回收技术来看废光伏设备主要采用物理法、化学法和火法进行回收,火法和化学法在处理过程中可能会产生污染环境的废气和废水,而物理法则在物质提纯和精练方面存在挑战;废电器电子产品主要通过人工拆卸、分拣、物理破碎、分选等方法进行回收,二者之前工艺差别较大。二是《废电器电子产品回收利用通用技术要求》《废弃电器电子产品处理污染控制技术规范》等标准不能覆盖废光伏设备拆卸、收集、运输、贮存、拆解、综合利用和处置等工序的全过程,存在工序缺失的问题,现行标准已不能满足废光伏设备的回收利用。此外,随着废光伏设备退役量的不断增加,其利用处置技术也在不断迭代升级。因此,为适应新时期废光伏设备回收处理的环境管理要求,应当围绕废光伏设备利用处置全过程的污染控制提出明确要求,并将未来可产业化的回收技术污染防治要求前瞻性的纳入其中,从而全面强化废光伏设备回收处理过程的污染防治环境管理。

(3) 回收处理压力较大

据行业协会测算,预计2030年光伏设备累计报废量将达150万~200万吨,2040年将接近700万吨,到2050年将突破2000万吨。目前,光伏设备回收处理对象主要为生产过程的残次品,处置规模约6万千瓦(约10.9万片光伏设备)。未来光伏设备的回收处理将面临较大的压力,亟需制定相关政策和标准,加强对回收利用处置全过程的环保监督力度。

(4) 污染控制方面的技术规范存在空白

废光伏设备具有一系列区别于一般工业固体废物的特点,例如有机组分和无机组分并存且分离难度大,富含多种高价值元素(如硅、铜、银、钨、镓、锗、碲等),回收利用处置的技术难度大,环境污染隐患大、危害高,未来几年集中产废量基数大、增速快等。目前,废光伏设备处理处置行业还广泛面临着行业水平参差不齐、处理处置环节环境风险大、循环利用技术能力不足等问题。然而现阶段,我国的污染控制相关标准主要是《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》(GB 18599)、《固体废物再生利用污染防治技术导则》(HJ 1091)、《固体废物处理处置工程技术导则》(HJ 2035)等通用类标准,上述标准主要聚焦于工业固体废物污染防治处理,虽涉及产品的污染控制,但并不完全适合于废光伏设备的污染控制。

综上所述,制订专门的废光伏设备回收处理污染控制技术规范迫在眉睫。

3 国内外相关标准情况的研究

3.1 主要国家、地区及国际组织相关标准情况的研究

目前,无论是 ISO 还是 IEC,没有专门针对废光伏设备回收处理污染控制技术规范,同时,受限于各国发展市场经济的模式和实际情况不同,废光伏设备回收处理管理主要是依靠各国制定的 WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment, 废弃电子电气设备) 相关法律法规。各发达国家和地区对废光伏设备回收处理的管理有着自己的特点。

欧洲 2012 年首次将光伏设备纳入《欧洲废弃电子电器产品管理条例》,发布实施了 EN 50625-2-4《光伏板的处理要求》和 CLC/TS 50625-3-4《光伏电池板的去污染技术规范》,规定了专门的回收责任主体、回收率、再循环率,并列出了具体目标和时间表,其中,要求 2012 年 8 月 13 日~2015 年 8 月 14 日,光伏组件回收率达 75%,再利用率达 65%; 2015 年 8 月 15 日-2018 年 8 月 14 日,光伏组件回收率达 80%,再利用率达 75%; 2018 年 8 月 15 日之后,光伏组件回收率达 85%,再利用率达 80%。

欧盟成员国陆续执行 WEEE 法令对光伏设备的回收令,德国、法国、意大利、西班牙和韩国均实施严格政策,强调高回收率和再利用率,其中,德国发布《电气和电子设备投放市场、回收和环境兼容处置法 (ElektroG)》,规定关于对电气和电子设备进行投放市场,返还和环保处置的法律,要求制造商注册并分类,设定 2018 年高回收率 85%和再利用率目标 80%,且区分 B2C 和 B2B 模式进行不同处理。意大利发布第 49/2014 号法令,设定过渡期,强调生产商的高回收责任。法国发布《环境法 (de l'Environnement)》第 2014-928 号法令,设定最低回收率和再循环率分别为 85%和 80%,将其纳入国家环境法,强化执行力度。西班牙和韩国则通过生产者责任延伸制度 (Extended Producer Responsibility, EPR) 明确生产者责任。美国光伏废物受《资源保护和回收法案》监管,但该法案不包含任何针对光伏废物的具体监管要求,监管发展处在州一级。日本废弃光伏管理遵循《废物管理和公共清洁法》(Act on Waste Management and Public Cleaning),该法规定了工业废物产生者和废物管理的责任及工业废物的处理,包括垃圾填埋场的处置等等。澳大利亚则以地方立法为引领,禁止填埋,但整体监管尚待完善,期待行业主导计划。

表 3.1 各国废光伏设备回收处理管理特点

序号	国家	各国废光伏设备回收处理管理特点
1	欧盟-德国	德国光伏回收政策严格，要求制造商注册并分类，设定高回收率和再利用率目标，且区分 B2C 和 B2B 模式进行不同处理。
2	欧盟-法国	法国光伏回收政策严格，设定高回收率和再循环率目标，并纳入国家环境法，强化执行力度。
3	欧盟-意大利	意大利光伏回收政策严格，生产商责任重大，回收率高且管理细致。
4	欧盟-西班牙	西班牙光伏回收政策实施 EPR，生产者责任重大，通过生产者责任组织注册管理，目标逐年设定。
5	美国	美国光伏回收政策以州为主，缺乏统一联邦法规。
6	日本	日本光伏回收政策依赖一般废物管理框架，但已有专门指南和 FIT 计划资助。
7	韩国	韩国光伏回收政策实施 EPR，建立收集基础设施和开发回收技术，要求独立分类光伏设备，设定高回收再利用率标准。
8	澳大利亚	澳大利亚光伏回收政策以维多利亚州为先锋，禁止填埋光伏设备，但整体监管零散，标准待更新，国家计划推进缓慢，期待行业主导的产品管理计划出台。

3.2 国内标准情况的研究

目前，我国发布了多项政策文件均对废光伏设备回收处理提出相关政策要求，但在废光伏设备污染控制方面的技术规范仍存在空白。国内现有的相关标准规范主要包括：

国家标准：《光伏组件回收再利用通用技术要求》（GB/T 39753），该标准以回收利用为主，内容偏重技术，在污染控制、环境管理等方面的要求并不具体，缺少对不同技术路线产污环节、污染物种类的识别。

地方标准：目前，各地方仅宁夏回族自治区已发布《晶体硅光伏组件回收规范》（DB64/T 1971），其余各地方暂未发布与废光伏设备处理相关的标准规范。该标准主要作为晶体硅光伏组件的参考标准，依然着重对回收技术的规范化，涉及污染控制的内容较少。

团体标准：（1）《晶体硅光伏组件回收再利用通用技术要求》（T/CPIA0002），该标准主要作为晶体硅光伏组件的参考标准，更偏向于对回收再利用企业进行规范，对主管部门实际管理和执法提供的参考价值不大。（2）《退役光伏组件彩色涂层利用技术规程》（T/CPIA0066），该标准主要作为光伏组件的参考标准，提供了处理方法的具体细节，但适用范围相对狭窄，具有一定局限性。（3）《光伏发电设备拆除、回收利用及处置环境管理规范》（T/CRRA 9907），该标准偏向于对行业各参与方的管理制度、作业流程、应急响应等方面进行规范，覆盖范围较广泛，但涉及污染控制的部分较为简略，多为原则性、普适性要求。（4）《废弃晶体硅光伏组件回收利用技术要求》（T/CIET 176），该标准规定了废弃晶体硅光伏组件回收利用技术要求的术语和定义、基本原则、收集、运输及贮存、拆解处置、处理、再生利用、生产企业要求及报告内容、管理等内容。

3.3 本标准与国内外同类标准或技术法规的对比

目前,我国已建立针对废弃电器电子产品回收处理的政策体系,类似欧盟的 WEEE,但不同的是尚未将废光伏设备纳入其中。鉴于废光伏设备与废弃电器电子产品在回收处理中各具独特的对象特性、技术与难度挑战,以及差异化的回收价值关注点,它们之间难以简单地划一而论,如表 3.2 所示。

表 3.2 废光伏设备与废弃电器电子产品在回收处理的差异

分类	废光伏设备	废弃电器电子产品
处理对象特性	光伏面板等大尺寸、高重量、材料相对单一的部件,回收地点相对集中	废弃电器电子产品则包含多种复杂组件,如电路板、显示屏、金属外壳等
技术与难度	更侧重于物理拆解和自动化处理,首先拆除边框,随后通过破碎、研磨等方式将光伏面板分解成小块,再进行分选回收	涉及更多手工拆解和复杂工艺,如电路板拆解、金属回收等,且需根据产品类型和材料特性进行针对性处理。
回收关注点	更关注于光伏板中硅、铝等可回收材料的分离与再利用	废弃电器电子产品回收则需考虑更多元化的材料回收与环保处理。

4 标准制订的基本原则和技术路线

4.1 标准制订的主要方法

本标准采用系统而全面的标准制订方法,以确保标准制订的科学性、实用性,具体如下:

(1) 深入参阅相关法律法规与国内外相关标准

广泛参阅了国内外关于固体废物管理、环境污染控制及资源回收利用的法律法规,如《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》《危险废物贮存污染控制标准》(GB 18597)、《废电器电子产品回收利用通用技术要求》(GB/T 23685)等,确保标准内容符合法律框架与相关国家标准。同时,深入研究了光伏行业的相关技术标准、规范及学术研究成果,如《光伏组件回收再利用通用技术要求》(GB/T 39753)等,为标准的制订奠定了坚实的理论基础。

(2) 多渠道数据调研与信息收集

通过官方统计报告、行业协会资料、企业调研等多渠道,全面收集了光伏行业的发展状况、废光伏设备产生情况、回收处理现状等关键数据。了解行业的宏观背景,梳理废光伏发电设备拆卸、回收利用及处置技术路线等内容。

(3) 实地调研与问题明确

深入调研光伏设备制造商、运营商及回收处理企业,赴江苏、上海等多个省市调研当地光伏行业典型企业,直接了解了废光伏设备回收处理的实际情况。在此过程中,明确了不同工艺技术路线下的产污环节、产生的污染物种类、现行的污染控制措施、污染物排放情况等关键问题,为标准的制订提供了明确的方向。

(4) 专家评审与修订完善

标准草案完成后,通过邀请行业专家、学者和相关部门代表进行评审,广泛征求意见和

建议。对标准进行了多次修订和完善，确保标准的科学性和合理性。

4.2 标准制订的基本原则

本标准编制过程中遵循以下原则：

4.1.1 代表性原则

现阶段,我国的污染控制相关标准主要为聚焦于工业固体废物污染防治处理的通用类标准,并不完全适合于废光伏设备的污染控制。本标准充分考虑了不同工艺技术下产生污染的关键节点,定位特征污染物,能够适应新时期废光伏设备的环境管理要求,进一步强化废光伏设备回收处理过程的污染防治。

4.1.2 先进性原则

本标准技术内容综合考虑了未来数十年内废光伏设备的市场规模和经济效益,并对可能出现的新技术、新工艺进行了分析预测,具有一定的先进性、前瞻性和创新性。

4.1.3 科学性原则

本标准技术内容参考了固体废物处理、污染物排放要求等多方面政策法规及相关标准,深入研究了废光伏设备处理全过程的产污环节、污染物种类和减污方法,为废光伏设备提出了准确、可操作的环境管理要求,可为主管部门执法、相关方管理提供有力的技术保障。

4.3 标准制订的技术路线

本标准制订技术图线图如 4.1。

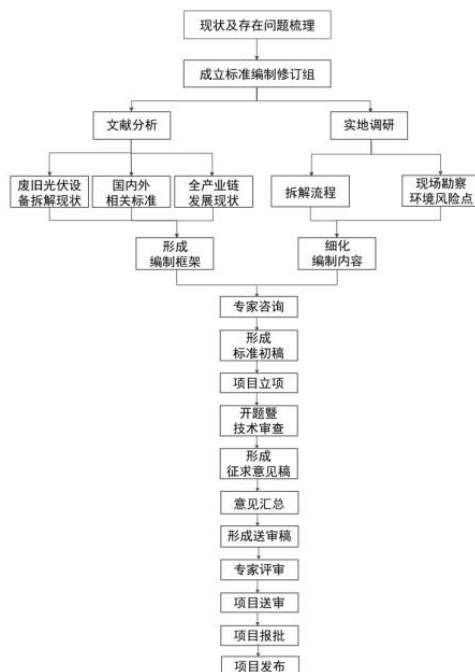


图 4.1 技术路线图

5 标准主要技术内容

5.1 标准适用范围

本标准规定了废光伏设备拆卸、收集、运输、贮存、拆解、综合利用和处置过程中污染控制技术要求。

本标准适用于废光伏设备处理全过程的污染控制,可作为废光伏设备综合利用相关建设项目环境影响评价的建厂选址、工程建设、运行管理、竣工环境保护验收、排污许可管理、清洁生产审核等的技术参考。

光伏设备在生产、安装、维修等过程中产生的废弃零部件、边角余料等固体废物回收处理可参照本标准执行。

5.2 标准结构框架

本标准的主要章节设置包括:前言,适用范围,规范性引用文件,术语和定义,总体要求,拆卸、收集过程污染控制要求,运输、贮存过程污染控制要求,拆解过程污染控制要求,综合利用及处置过程污染控制要求,管理要求,附录(资料性附录)光伏发电设备(组件)构成以及回收处理环境管理措施。

标准发布后,现有企业和新建企业需要对污染物控制技术设施、回收处理技术工艺进行升级改造,以满足最新污染控制要求。

5.3 术语和定义

本部分为执行本标准制订的专门术语,并对容易引起歧义的名词进行了定义,部分术语定义参考《太阳光伏能源系统术语》(GB/T 2297)、《电力工程基本术语标准》(GB/T 50297)。对于产品的定义规定了光伏设备、光伏组件、光伏层压件、废光伏设备的定义,针对废光伏设备处理处置涉及的流程,设定了拆卸、收集、贮存、拆解、综合利用、物理法、化学法、火法、处置等定义。

5.4 标准主要技术内容确定的依据

5.4.1 总体要求

本部分主要考虑废光伏设备处理的整体管理,提出了全过程适用的总体要求。根据《中共中央 国务院关于深入打好污染防治攻坚战的意见》提出的“坚持减量化、资源化、无害化”(简称“三化”)这一重要原则”等相关要求,规定废光伏设备处理全过程应遵循“三化”原则,并优先采用能耗低、资源回收率高、污染物排放量少的工艺和设备。

根据《中华人民共和国城市规划法》《建设项目环境保护管理条例》,明确了回收处理项目设施或企业建设项目的管理规划和评价的要求。此外,考虑到目前回收处理企业的规模、技术水平和规范程度参差不齐,为避免“小作坊”等技术条件薄弱、管理制度不完善的单位和个人造成较大环境污染,对企业规模、运营场地,以及管理模式做出了规定。

根据《中华人民共和国环境保护法》《排污许可管理条例》《排污许可管理办法》等法律法规的相关规定,对废光伏设备回收处理涉及的排污、废物管理,以及安全、职业健康、

消防、交通等方面亦提出总体管理的要求。

5.4.2 拆卸、收集过程污染控制要求

光伏产品处置的污染管理包含了报废，拆卸，收集、回收、处理处置、再利用等一系列的过程，拆卸和收集过程是目前最缺乏统一管理的过程之一，参与者有业主、施工单位，回收处理企业等。

实地调研表明，部分废光伏设备的拆卸、收集企业管理意识薄弱，暴力拆解、产生粉尘、破碎物、废液随意排放、产生噪声危害、拆解物品随便堆放等不规范行为普遍存在，该过程产生废粉尘（碎片）飞散、污水及废矿物油，渗入土壤会污染地表及地下水体，对周边环境造成极大危害。

废光伏设备的拆卸、收集，特别是集中式光伏设备，存在现场临时堆放和收集临时转存的情况，都需要根据类别、特性、后续资源利用的用途等因素考虑分类管理和保存。

综上所述，理顺拆卸、收集的过程污染控制要求十分必要，本部分对拆卸和收集过程中的污染控制提出相应要求。

5.4.3 运输、贮存污染控制要求

本部分规定了废光伏设备拆卸后的设备及零部件等的贮存场地、场内外运输等的污染控制要求。

运输、贮存过程提出的污染控制要求旨在避免废光伏设备及零部件在运输、贮存环节的环境污染。其中，强调危险废物转移需遵循《危险废物转移管理办法》，明确危险废物运输标准、分类转运规范、贮存场地条件及防火措施，以保障环境安全。

本部分规定可有效防范废光伏设备在运输、贮存过程中，避免因危险废物不当处理、产物混杂、贮存条件不达标等造成环境风险。

5.4.4 拆解过程污染控制要求

本部分规定了废光伏设备拆解过程的污染控制要求。其中，规定了清洗的污染控制要求及清洗废水、干燥过程污染控制要求。同时，规定了电子废物拆解等的污染控制要求。

拆解过程污染控制要求需要全面覆盖拆解前期准备、清洗干燥、场地布局、机械拆解及电子废物处理等各环节，旨在最大限度地降低废光伏设备拆解过程中的环境风险。其中，拆解方式的选择，废气、废水排放控制，场地布局和处理流程的规划尤其需要明确。同时，针对电子废物，需遵循《废弃电器电子产品处理污染控制技术规范》（HJ 527）等相关污染控制要求。

5.4.5 综合利用及处置污染控制要求

综合利用及处置过程的污染控制是废光伏设备环境管理的重要组成部分之一，综合利用涉及到的污染控制包含了废光伏设备特有的部分，即光伏面板、EVA胶。

针对不同废光伏设备组成部分（光伏层压件、金属、非金属材料）的处理提出污染控制要求，主要包括对应除尘、防爆、防泄漏、废气和废水收集处理以及固体废物的污染控制要求。

处置方面，固体废物的处置应按照其属性开展，例如炭黑、底渣、化学再生药剂、接线盒、引出线、胶膜和背板材料等均应分别明确污染控制要求。对有毒有害物质的无害化处理应进行全过程严格监控和记录。不能自行处置的，应交由有相应资质和处理能力的企业进行处置。

5.4.6 管理要求

本部分参考一般工业固体废物管理要求，结合行业特殊性，对于废光伏设备拆卸、收集、运输、贮存、拆解、综合利用和处置等全过程制定了环境管理相关要求。具体包括一般要求、环境监测要求、信息管理要求。

在一般要求方面，企业应制订企业突发环境应急预案，建立相应的工作机制和工作要求。此外，为了加强对于人员的管理，保障企业规范化运行，应规定从事废光伏设备回收处理各阶段活动的人员进行必要的环境、专业能力等方面培训。

在环境监测要求方面，根据相关规定，企业应建立企业监测制度及其环境监测要求，并要求保存原始监测记录。

在信息管理要求方面，企业应建立相应的信息管理台账，实现源头可追溯、过程可监控、流向可追踪、信息可查询。

5.4.7 附录

本标准提供了资料性附录作为正文内容的补充与支撑，具体包括光伏发电设备（组件）构成、光伏发电设备组件和零部件回收利用及处置全过程环境污染控制。

在光伏发电设备的构成方面，根据目前市场主流产品情况，明确了光伏发电设备主要包括光伏组件、支撑结构和相应的电气设备三个部分。当前，光伏组件包括晶体硅光伏组件和薄膜光伏组件，但是晶体硅光伏组件市场占有率在95%以上，因此本附录以晶体硅光伏组件为主。支撑结构包括支架、水泥、钢筋等。电气设备的选择与使用与光伏发电系统的应用场景有关，包括但不限于：逆变器、电缆、变压器、汇流箱、配电柜、开关柜、通讯监控设备等。

识别光伏发电设备主要组件及零部件在拆卸、回收利用及处置全过程中污染物产生情况是光伏发电设备回收利用及处置全过程污染控制的基础，因此，附表详细列出了光伏发电设备拆卸、回收利用及处置全过程污染因子，明确了光伏设备主要组件及零部件回收利用及处置全过程污染控制措施。

6 标准实施建议

本标准实施后，建议配套开展有关政策宣贯，包括光伏产业政策最新走向、废光伏设备回收处理行业发展情况、标准解释说明及实施过程中的注意事项等，用于指导地方开展废光伏设备处理环境监管工作，提升废光伏设备回收处理环境管理的整体水平。另外，建议进一步开展废光伏设备拆解处理、综合利用等方面的技术研究工作，为深入探究该行业特征污染物、解决行业存在的环境管理问题、进一步降低环境风险提供依据。

7 参考文献

- [1] 全国人民代表大会常务委员会.中华人民共和国固体废物污染环境防治法[L].2020-04-29:2020.
- [2] 中共中央国务院.中共中央国务院关于全面推进美丽中国建设的意见[EB/OL].(2023-12-27)[2024-07-16].https://www.gov.cn/gongbao/2024/issue_11126/202401/content_6928805.html.
- [3] 国务院办公厅.国务院办公厅关于加快构建废弃物循环利用体系的意见:国办发〔2024〕7号[A/OL].(2024-02-09)[2024-07-16].https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202402/content_6931080.htm.
- [4] 全国人民代表大会常务委员会.中华人民共和国可再生能源法[L].2009-12-26:2009.
- [5] 国家发展改革委.国家发展改革委 国家能源局关于积极推进风电、光伏发电无补贴平价上网有关工作的通知:发改能源〔2019〕19号[A/OL].(2019-01-07)[2024-07-16].<https://zfxgk.ndrc.gov.cn/web/iteminfo.jsp?id=16074>.
- [6] 国家能源局.2023年光伏发电建设情况[EB/OL].(2024-02-28)[2024-07-16].https://www.nea.gov.cn/2024-02/28/c_1310765696.htm.
- [7] 国家能源局.国家能源局发布 2023 年全国电力工业统计数据[EB/OL].(2024-01-26)[2024-07-16].https://www.nea.gov.cn/2024-01/26/c_1310762246.htm.
- [8] 生态环境部.一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准:GB 18599—2020[S/OL].<https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/gthw/gtfwwrkzbz/202012/W020201218695845325455.pdf>.
- [9] 生态环境部.固体废物再生利用污染防治技术导则:HJ 1091—2020[S/OL].<https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/jcffbz/202001/W020200115500479970734.pdf>.
- [10] 环境保护部.固体废物处理处置工程技术导则:HJ 2035—2013[S/OL].<https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/gthw/qtxgbz/201309/W020131105573858985159.pdf>.
- [11] European Commission.Waste from Electrical and Electronic Equipment(WEEE).(2019-08-03)[2024-07-16].https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/waste-electrical-and-electronic-equipment-weee_en.
- [12] 国家市场监督管理总局.光伏组件回收再利用通用技术要求:GB/T 39753—2021[S/OL].<http://c.gb688.cn/bzgk/gb/showGb?type=online&hcno=52FB1832EEA2048D34F6D74115EA1281>.
- [13] 宁夏回族自治区市场监督管理厅.晶体硅光伏组件回收规范:DB64/T 1971—2023[S/OL].<https://dbba.sacinfo.org.cn/stdDetail/9f8f52b67e9582df5db3aca44383cf38b8033d24d728e9aa2694a2c544c7222d>.
- [14] 中国光伏行业协会.晶体硅光伏组件回收再利用通用技术要求:T/CPIA 0002—2022[S/OL].<https://www.antpedia.com/standard/2082991705.html>.
- [15] 中国光伏行业协会.退役光伏组件彩色涂层利用技术规程:T/CPIA 0066—2024[S/OL].<https://max.book118.com/html/2024/0724/6012203111010204.shtm>.

- [16] 环境保护部.废弃电器电子产品处理污染控制技术规范:HJ 527—2010[S/OL].<https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/other/hjbhgc/201001/W020130201390662816601.pdf>.
- [17] 生态环境部.危险废物贮存污染控制标准:GB 18597—2023[S/OL].<https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/gthw/gtfwwrkzbz/202302/W020230224679408713470.pdf>.
- [18] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.废电器电子产品回收利用通用技术要求:GB/T 23685—2009[S/OL].<http://c.gb688.cn/bzgk/gb/showGb?type=online&hcno=818674E0FED0DCED4CDF236CAA6640FC>.
- [19] 中华人民共和国机械电子工业部.太阳光伏能源系统术语:GB/T 2297—1989[S/OL].<https://www.doc88.com/p-6837790324382.html>.
- [20] 中华人民共和国住房和城乡建设部.电力工程基本术语标准:GB/T 50297—2018[S/OL].<https://max.book118.com/html/2020/0812/8117014120002132.shtm>.
- [21] 全国人民代表大会常务委员会.中华人民共和国环境保护法[L].2014-04-24:2014.
- [22] 国务院.排污许可管理条例[L].2021-01-24:2021.
- [23] 排污许可管理办法[J].中华人民共和国国务院公报,2024,15:18-23.
- [24] 广州市市场监督管理局.建设工程绿色施工管理与评价规程:DB4401/T 154—2022[S/OL].<https://max.book118.com/html/2022/0430/7161061000004116.shtm>.
- [25] 危险废物转移管理办法[J].中华人民共和国国务院公报,2022,07:45-49.
- [26] 全国人民代表大会常务委员会.中华人民共和国水污染防治法[L].2017-06-27:2017.
- [27] 中华人民共和国国务院令 第 641 号:《城镇排水与污水处理条例》[EB/OL].(2013-10-16)[2024-07-16].https://www.gov.cn/zhengce/2013-10/16/content_2602624.htm?from=groupmessage&isappinstalled=0&wd=&eqid=9e4052f40005731100000004647bd3bb.
- [28] 全国人民代表大会常务委员会.中华人民共和国大气污染防治法[L].2015-08-29:,2015.
- [29] 国务院.消耗臭氧层物质管理条例[L].2023-12-29:2023.
- [30] 国务院.危险废物经营许可证管理办法[L].2004-05-30:2004.
- [31] 国务院.危险化学品安全管理条例:国务院令 第 591 号[A/OL].(2011-12-01)[2024-07-16].https://www.gov.cn/gongbao/content/2011/content_1825120.htm.
- [32] 全国人民代表大会常务委员会.中华人民共和国噪声污染防治法[L].2021-12-24:2021.
- [33] 环境保护部.排污单位自行监测技术指南 总则:HJ 819—2017.[S/OL].<https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/shjbh/xgbzh/201705/W020170511332490849000.pdf>.
- [34] 生态环境部.一般工业固体废物管理台账制定指南(试行)[EB/OL].(2021-12-31)[2024-07-16].<https://www.mee.gov.cn/xxgk/2018/xxgk/xxgk01/202112/W020211231674749725088.pdf>.