

国家标准

《晶体硅光伏组件回收处理方法 物理法》

（征求意见稿）编制说明

一、工作简况

1. 项目背景和立项意义

截至 2021 年底，全球新增光伏装机 183GW，中国新增光伏并网装机容量 54.88GW，同比上升 13.9%。根据《全球光伏》的调查，截止 2022 年 3 月底，全球累计光伏装机总量跨越 1 太瓦大关，光伏正式进入太瓦级“T”时代；中国累计光伏并网装机容量达到 318GW，新增和累计装机容量均为全球第一。伴随光伏产业的迅猛发展，大量光伏组件的使用也产生了一个新的环境问题：光伏组件的使用寿命一般在 20 到 25 年左右，但随着光伏组件产品的快速更迭，寿命期后的光伏设备材料（硅、铜、铝、银、钢、铅、玻璃、塑料等）亟待低成本环保回收处理。可以在一定程度上缓解光伏器件原材料短缺的问题，避免资源浪费和对生态环境造成污染。

（1）减轻或减免废弃晶硅组件对环境的污染

废弃光伏组件由于含有铅和氟等有害材料，如果不采用科学有效的方法进行回收和无害化处理，可能造成环境负担和环境污染。

在 PV Cycle 组织的研究报告中，分析了回收利用多晶硅光伏组件的生态环境效益，及光伏回收整个过程中不同步骤对于环境的影响程度。其中光伏回收与无害化处理步骤分为运输、材料分离、硅材料回收、玻璃回收、铜回收、铝回收等。从图中可以看出，在无机物消耗、温室气体排放、臭氧层破坏、富营养化及人类健康危害等方面的环境影响评估中，运输、材料分离等步骤会产生不利影响，而回收硅、玻璃、铜和铝等各种材料的步骤则产生有利影响，并且总体看有利影响大于不利影响，因此，光伏组件回收可以有效缓解生态环境的压力。

（2）避免废弃晶硅组件带来安全隐患

光伏组件寿命周期结束后，发电效率下降，如果继续留在原来的位置建筑物上，会影响建筑发电性能，部分甚至会影响建筑结构性能，存在安全隐患。

（3）规范废弃晶硅组件回收行业秩序

大量废弃组件面临报废，如果没有依据的方法类标准，可能造成行业秩序的混乱，因此本标准可以指导光伏组件回收作业，规范组件回收行业秩序。

(4) 实现资源可循环利用

从光伏组件的组成来看，主要包括光伏玻璃、铝边框、电池片、EVA膜、接线盒、光伏背板，各个组成部分的重量比大概为：玻璃70%、铝10%、粘合封胶10%、硅5%，银、铜、镓等稀有金属约占1%左右。从组件构成来看，一块光伏组件90%以上的材料可作循环再造材料。对废弃晶硅太阳能电池组件进行分类回收利用可以有效节约自然资源和生产成本，还可以为光伏产业以及其它产业的发展提供大量的半导体及其它原材料。

(5) 产生显著的经济和社会效益

废弃晶硅光伏组件回收一方面可以增加就业机会，另一面还可以减少对原生资源开采，达到降低资源提炼耗能和减轻生态环境影响及破坏的目的。本标准的制定可以有效引导和促进晶硅组件回收产业的发展，产生良好的社会效益和经济效益。

2. 任务来源

2020年，河北省凤凰谷零碳发展研究院提出制订《晶体硅光伏组件回收处理方法 物理法》国家标准的立项申请，并于2020年7月30日，在山东国家标准技术审评中心组织的国家标准立项评估会议上，采用网络会议对《晶体硅光伏组件回收处理方法 物理法》进行评估。2020年12月24日，国家标准化管理委员会在全国标准信息公共服务平台进行立项公示，并于2020年12月24日国家标准化管理委员会下达了《国家标准化管理委员会关于下达2020年第四批推荐性国家标准计划的通知》，立项编号为20204798-T-609。

3. 主要工作过程

项目预研阶段，河北省凤凰谷零碳发展研究院成立了专门的标准编制小组，落实了标准主要内容、涉及范围、基本原则、时间节点等工作。通过收集、整理国内外相关技术资料，对国内外晶体硅光伏组件回收产业相关现状展开调查研究，为标准制订提供技术参考和支撑，并编制标准立项申报材料，申请立项。

2020年7月30日，在山东国家标准技术审评中心组织的国家标准立项评估会议上，采用网络会议对《晶体硅光伏组件回收处理方法 物理法》进行评审，根据各专家提出对本标准的制订重点进行了整理，完善标准初稿。

2020年12月24日，国标委下达《国家标准化管理委员会关于下达2020年第四批推荐性国家标准计划的通知》，标准正式立项，立项编号20204798-T-609。

2021年7月30日，标准编制小组以科学开展项目研究、加快项目执行进度，实现预期目标，采用网络会议的形式召开了《晶体硅光伏组件回收处理方法物理法》标准启动会。会

上山西潞安太阳能科技有限责任公司、英利集团有限公司等单位对本标准的讨论稿提出修改意见。会后，根据各专家提出的意见进行整理完善。

2022年4月21日，标准编制小组采用网络会议的形式召开了《晶体硅光伏组件回收处理方法物理法》标准草案讨论会，会上山西潞安太阳能科技有限责任公司、英利集团有限公司等单位对本标准的讨论稿提出修改意见。会后，根据各专家提出的本标准的意见进行整理，对草案进行完善。

2022年7月19日，全国建筑用玻璃标准化技术委员会太阳能光伏中空玻璃分技术委员会采用网络会议的形式组织本次标准的工作会议，参会单位对《晶体硅光伏组件回收处理方法物理法》进行讨论，会上山西潞安太阳能科技有限责任公司、英利集团有限公司、英利能源（中国）有限公司等单位对标准草案提出修改意见。会后，根据各专家提出本标准的意见进行整理，形成征求意见稿。

二、标准编制原则和标准主要内容

1. 编制原则

（1）规范性原则：依据国家标准 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》、GB/T 1.2-2020《标准化工作导则第2部分：以ISO/IEC标准化文件为基础的标准化文件起草规则》的规定，规范标准格式。

（2）科学性原则：在参考 GB/T 39753-2021《光伏组件回收再利用通用技术要求》标准技术内容的基础上，结合物理法本身的特点形成标准草案。该标准草案和上述标准的技术内容基本一致。

（3）适用性原则：根据国内对晶体硅光伏组件回收处理物理方法的具体情况，充分考虑到实际操作回收处理的其他物理方法的需求为主要依据进行编制修订。标准力求做到合理、实用，能满足光伏组件回收处理行业对光伏组件各材料循环再使用的物理方法的需求。

2. 标准主要内容

本标准主要用物理法对晶体硅光伏组件进行回收处理，本标准针对回收处理的方法进行了详细的介绍，在实施过程中只需要严格按照该操作进行，其结果会相对统一，达到标准统一的效果。主要制定内容：

（1）物理法处理的分类。包括加热、高压剥离、切割、剪切、低温磨削、振动筛分、漂浮分选、离心分选等物理方法进行了详细的介绍。

（2）试样处理的步骤。包括处置过程、不同部位选择、质量回收率计算等。

(3) 试样处理的判定。包括详细阐述了物理法处理后的特征和判定，并进行了图示解释。

(4) 试样回收处理的数据。包括回收处理机构资质、信息统计系统、数据统计等。

3. 主要试验或验证情况的分析

本标准对物理法处理方案进行了试验验证，由于国际、国内无相关测试方法，本次验证由标准起草单位河北省凤凰谷零碳发展研究院、英利集团有限公司、国家电投集团青海光伏产业创新中心有限公司、中国科学院电工研究所、常州瑞赛环保科技有限公司、河北大学和英利能源（中国）有限公司共同完成，主要采用物理法处理晶体硅光伏组件各部分，主要包括预处理、边框处理、引出端处理、玻璃处理、背板处理、胶膜处理、焊带处理、电池处理。验证如下：

3.1 测试样品

选取 20 块废弃光伏组件如下样品表：

样品表

样品	光伏玻璃组件类型	数量 (块)	规格(mm)	20 块平均重量 (kg)	图片
1	晶体硅光伏组件	20	1650*992*35	17.60	

3.2 试验验证

边框处理

序号	处理方式	处理效果	质量回收率 (%)	备注	图片
1	机械（对边处理）	100%拆除，无边框残留	100	处理效率高	
2	机械（对角处理）	100%拆除，无边框残留	100	处理效率高	
3	手动（单边处理）	100%拆除，无边框残留	100	处理效率低	

注：本部分是对晶体硅光伏组件中边框处理。

引出端处理

序号	处理方式	处理效果	质量回收率 (%)	备注	图片
1	机械（剪切处理）	100%拆除，无接线盒、线缆残留	100	处理效率高	
2	机械（线切割处理）	100%拆除，无接线盒、线缆残留	100	处理效率高	
3	手动（剪切处理）	100%拆除，无接线盒、线缆残留	100	处理效率低	
4	手动（线切割处理）	100%拆除，无接线盒、线缆残留	100	处理效率低	

注：本部分是对晶体硅光伏组件中边框处理。

玻璃处理

序号	处理方式	处理效果	质量回收率 (%)	备注	图片
1	热刀分离法	100%拆除, 无玻璃残留	100	处理效率高	
2	高压研磨法	100%拆除, 无玻璃残留	100	处理效率高	
3	线切割法	100%拆除, 无玻璃残留	100	处理效率低	
4	溶胀法	100%拆除, 无玻璃残留	100	处理效率低	
5	机械破碎	100%拆除, 有玻璃残留	98	处理效率高	

注：本部分是对层压件中玻璃处理。

背板处理

序号	处理方式	处理效果	质量回收率 (%)	备注	图片
1	加热剥离法	100%拆除, 有背板残留	97	效率高	
2	研磨分离法	100%拆除, 无背板残留	95	效率高	

注：本部分是对层压件中玻璃处理。

胶膜处理

序号	处理方式	处理效果	质量回收率 (%)	备注	图片
1	研磨分离法	100%拆除， 有胶膜残留	82	效率高	
2	破碎分选法	100%拆除， 有胶膜残留	75	效率高	

注：本部分是对胶膜层中胶膜处理。

焊带处理

序号	处理方式	处理效果	质量回收率 (%)	备注	图片
1	研磨分离法	100%拆除， 无焊带残留	90	效率高	
2	破碎分选法	100%拆除， 有焊带残留	80	效率高	

注：本部分是对胶膜层中焊带处理。

电池处理

序号	处理方式	处理效果	质量回收率 (%)	备注	图片
1	研磨分离法	100%拆除， 有电池残留	96	效率高	
2	破碎分选法	100%拆除， 有电池残留	94	效率高	

注：本部分是对胶膜层中电池片处理。

3.3 试验总结

根据质量回收率按式（1）计算，总结如下：

$$\eta_0 = \frac{m_0}{M_0} \times 100\% \dots\dots\dots$$

(1)

式中：

η_0 —废弃光伏组件的质量回收率；

m_0 —回收后的废弃光伏组件质量，单位为千克（kg）；

M_0 —回收前的废弃光伏组件质量，单位为千克（kg）。

试验投入定制 20 块 1650mm×992mm×35mm 的五栅线多晶硅光伏组件，并进行数据采集及回收产品测算。

采用电子地上衡称取 20 块组件重量为 $M_0=352\text{Kg}$ 。首先，将多晶硅组件铝边框拆除，并称取铝边框重量为 $M_{01}=31.8\text{Kg}$ ；经玻璃分离得到整片玻璃，称取玻璃重量为 $M_{02}=260.2\text{Kg}$ ，同

时得到胶膜层；胶膜层经过数道物理法工序，经称重各组分质量分别为 $M_{11}=4.237\text{Kg}$ 、 $M_{12}=14.83\text{Kg}$ ， $M_{13}=39.93\text{Kg}$ 。多晶硅光伏组件各回收材料质量如下表所示。

多晶硅光伏组件各回收材料质量表

材料类别	材料组成	符号	重量 (Kg)
投入料	光伏组件	M_0	352
回收料	玻璃	M_{01}	260.2
	铝边框	M_{02}	31.8
	焊带	M_{11}	4.237
	电池粉 (含少量有机胶膜)	M_{12}	14.83
	有机胶膜	M_{13}	39.93

20 块晶硅光伏组件采用回收系统回收及分离后，目前总质量回收率最高可达 99.7%，主要原因是少量颗粒物进入了除尘系统。

根据上述总结如下：

- (1) 以上物理方法均对晶体硅光伏组件各组成部分的处理有着显著效果，通过肉眼可直观的辨别出来；
- (2) 对于晶体硅光伏组件在玻璃破碎的情况下，不会对后续处理产生太大的影响；
- (3) 处理晶体硅光伏组件后，部分材料中有相互掺杂；
- (4) 在使用物理方法得当的情况下，不会对环境产生危害和造成太大影响。

三、标准水平分析

目前国际上有关光伏回收的相关国际标准《建筑玻璃. 建筑集成光伏组件回收的一般技术要求》，但是该标准主要描述了建筑集成光伏 (BIPV) 组件的综合性回收要求，对于物理法的回收没有具体描述。

目前国内还没有关于晶体硅光伏组件回收处理方法 物理法的标准。

本标准主要参照参考 GB/T 39753-2021《光伏组件回收再利用通用技术要求》的内容，结合国内实际，目的是规范和统一晶体硅光伏组件回收处理方法 物理法的操作过程，规范了回收处理环节环境要求，确定了目前国内该项回收处理方法的精密度水平。

本标准具有国际先进水平。

四、与我国有关的现行法律、法规和相关强制性标准的关系

本标准与国家现行法律、法规和相关强制性标准不存在相违背和抵触的地方。

五、重大分歧意见的处理经过和依据

编制组根据起草前确定的编制原则进行了标准起草,标准起草小组前期进行了充分的准备和调研,并做了大量调查论证、信息分析和试验工作,标准在主要技术内容上,行业内取得了较为一致的意见,标准起草过程中未发生重大分歧意见。

六、标准作为强制性标准或推荐性标准的建议

本标准是目前主流的晶体硅光伏组件回收处理的方法,建议将本标准作为推荐性国家标准发布实施。

七、代替或废止现行有关标准的建议

无。

八、贯彻国家标准的要求和措施建议

本标准的发布实施与现有的其他标准没有冲突之处。本标准的制定和推广,有利于规范行业的发展,有利于国内回收处理晶体硅光伏组件的质量监控与品质提升的需求,有利于提高国内回收处理晶体硅光伏组件回收技术和资源循环利用与国际市场竞争能力,实现晶体硅光伏组件回收处理方法表征的民族自主可控。标准发布后建议组织标准宣贯推广会,促进标准的实施。

九、其他需要说明的事项

鉴于此标准不会有原则性意见分歧,期望能尽快审定、发布。

《晶体硅光伏组件回收处理方法 物理法》编制组
2022年8月22日