



中华人民共和国国家标准

GB/T ××××—××××

风能发电系统 风力发电机组废弃纤维 复合材料回收方法

Wind energy generation systems—Method for recycling waste fiber composite materials of
wind turbines

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

××××-××-××发布

××××-××-××实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会

发布

目 次

1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 总体要求.....	2
5 回收收集.....	3
6 回收预处理.....	4
7 回收处理.....	4
附录 A（规范性）风力发电机组废弃纤维复合材料回收处理方法.....	7

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。

本文件由中国机械工业联合会提出。

本文件由全国风力发电标准化技术委员会（SAC/TC 50）归口。

本文件起草单位：中国质量认证中心等。

本文件主要起草人：

风能发电系统 风力发电机组废弃纤维复合材料回收方法

1 范围

本文件规定了风力发电机组废弃纤维复合材料回收所涉及的总体要求，回收收集，回收预处理，回收处理等方法和要求。

本文件适用于风力发电机组叶片，机舱罩，导流罩等废弃纤维复合材料部件的回收的方法及其应用。

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。

- HJ 1091 固体废物再生利用污染防治技术导则
- 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 18599 一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准
- GB/T 19001 质量管理体系 要求
- GB/T 20861 废弃产品回收利用术语
- GB/T 20862 产品可回收利用率计算方法导则
- GB/T 23331 能源管理体系要求
- GB/T 24001 环境管理体系 要求及使用指南
- GB/T 45001 职业健康安全管理体系 要求及使用指南

3 术语和定义

GB/T 20861 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

废弃纤维复合材料 waste fiber composite

产品的拥有者不再使用且已经放弃或者丢弃的纤维复合材料及其制品

3.2

拆解 disassembly

通过人工或机械方式将废弃产品进行拆卸、解体，以便于处理的活动。

3.3

回收 recovery

对废弃物通过物理、化学、能量等方法进行处理，并获取满足原料的使用要求或者用于其他用途的材料或者能量的过程。

3.4

物理方法 physical method

物理方法一般通过机械拆解和分离来处理废弃的复合材料回收物的回收方法。

3.5

化学方法 chemical method

化学方法是通过化学溶剂对风力发电机组复合材料进行回收的方法。

3.6

能量方法 energy method

过高温热分解的方法，将废弃复合材料回收物进行裂解，使其分解成可再利用的原材料或能源的回收方法。

3.7

绿色工厂 green factory

实现了用地集约化、原料无害化、生产洁净化、废物资源化。能源低碳化的工厂。

3.8

再生纤维 recycling fiber

从废弃纤维复合材料中提取的可重复利用的纤维。

4 总体要求

回收的关键方法及其过程的相关企业应按照GB/T 19001、GB/T 24001和GB/T 45001 建立、实施、保持并持续改进质量、环境和职业健康安全管理体系。同时参考GB/T 36132 文件要求，引入资源循环和绿色制造的理念，系统考虑材料，设备，制造各个环节对资源和制造的影响。企业应建立完善的回收物和回收过程的信息追溯系统，并根据回收信息系统的回收物流程情况，建立相应的回收评价标准和评价体系。本文件的总体要求分为回收方法的基本要求，回收的可追溯性要求和回收的可评价性要求三个方面。

4.1 基本要求

风力发电机组废弃纤维复合材料有体积大，分散性强，耐久度高等特点，其回收一般需经过回收收集，回收预处理和回收处理等过程。其具体方法应从安全、环保、技术和经济角度评估其可行性。回收处理方式可采用物理方法、化学方法和能量方法收等，回收处理方式应根据国家宏观指导政策、回收利用技术水平和经济效益确定，并综合考虑下列因素：

- 废纤维复合材料的部件降解潜力、碳含量、纤维构成等成分特征；
- 回收处理过程中的能耗高低，环境友好性；
- 回收的产品及其利用物的环保性；
- 回收的综合利用率 and 经济效益。

回收处理的方法应优先采用先进的材料，设备和工艺，提高回的利用效率和资源化综合利用率，回收过程不应引入其他有毒有害物质，同时要提高回收产品或其利用物的环保性，不应造成二次污染及二次回收困难。回收过程中的污染防治应满足HJ 1091要求。

4.2 回收的可追溯性要求

4.2.1 应建立回收信息管理系统，并保存纤维复合材料固体废物在收集、运输、接收、储存、出库、处置、回收物包装、存放、出厂等各个环节的流传台账，如实记录交接方式、数量、形态、交接时间等信息，并接受相关部门的监督。

4.2.2 应建立健全回收中所使用的其他原料的登记制度，明确原料来源及主要成分。

4.2.3 应根据回收物处理途径，明确处理方式、处理量等信息；综合利用时，明确综合利用量，形成回收物回收处理信息单，形成信息的闭环、可追溯。

4.3 回收的评价性要求

回收的相关企业应制定相应的评价要求和评价体系。评价的内容适应至少包括能源体系，环境排放，回收利用率等。

4.3.1 回收过程的关键企业应建立能源管理体系，并满足GB/T 23331 的要求，对能耗较

高的回收方法宜提高清洁能源的使用比例。

4.3.2 回收过程中的各企业应建立环境排放的体系要求。环境的管理系统应满足 GB/T 24001 的要求。企业厂界的环境噪声排放应符合 GB 12348 的要求。回收过程中产生的污水和固体废弃物的处理应符合 GB 8978 和 GB 18599 及其相关标准的要求。无法自行处理的，应转交给具备相应能力的和资质的处理单位进行处理，并建立追溯信息。

4.3.3 回收处理的企业应按照 GB/T 20862 建立可回收利用率评价指标，并利用计算结果对废弃纤维复合材料的可回收利用率进行改善。

5 回收收集

5.1 通用要求

风力发电机组废弃纤维复合材料的回收准备包括风力发电机组复合材料部件从风力发电机组拆除到地面后进行的拆解、运输等过程。拆解的主要方法包括人工法和机械法。同时回收收集的全过程应满足相关的人员资质的要求、环境和环保要求，操作过程应规范和可控的要求。

5.2 拆解

5.2.1 拆解的基本要求

5.2.1.1 根据待拆解物的特性采用适当的人工或机械拆解方法，并建立包括作业内容及分工、施工安排、作业规范、设备需求清单等在内的要求和规程。

5.2.1.2 进入风电场厂作业时，应照业主要求办理相关入场许可。

5.2.1.3 在拆解作业时，应严格按照拆解作业规范进行。

5.2.1.4 应制定相应的应急预案，确保拆解及时有效进行。

5.2.2 拆解的人员要求

5.2.2.1 拆解作业人员应具备必要的机械、电气、安全作业知识，熟悉风力发电机组设备的工作原理和风力发电机组的废弃纤维复合材料的基本构成。

5.2.2.2 拆解过程涉及到高空作业，电气设备和特种设备的，拆解人员应持有相应的登高，电气和特种作业证书，持证上岗。

5.2.2.3 拆解人员应正确使用劳动保护用品，且防护用品合格、有效。

5.2.2.4 拆解人员应掌握急救方法，正确使用消防器材和其他安全工/器具。

5.2.2.5 从事有职业病危害工作的人员应依据有关规定定期进行职业病专项体检和培训。

5.2.3 拆解的设备要求

5.2.3.1 拆解时应确保被废弃纤维复合材料部件固定牢固，必要时应采用特殊的工装和固定物。

5.2.3.2 定期维护和检查使用设备，确保设备运行正常、无故障等。

5.2.3.3 拆解时应检查并确保所使用的设备功能正常、状态安全。

5.2.4 拆解的环保要求

5.2.4.1 拆解作业时应远离居民区、水源地、生态保护区等环境敏感区域，并采取防尘、抑尘的措施，确保拆解不会对周围环境造成负面影响及二次污染，必要时需向当地环保部门报备。拆解时，应注意以下环境保护要求，并遵守当地的法律法规。

5.2.4.2 正确拆解并处理被拆解物，并对拆解中产生的废弃物进行处置和回收。

5.2.4.3 确保拆解作业不会导致废水排放，或者在必要时通过污水处理设施进行治理和处理，污水排放需满足 GB 8978 要求。

5.2.4.4 在拆解作业中控制粉尘和颗粒物的扬散，避免对周围空气造成污染。

5.2.4.5 尽可能减少资源消耗，如水、能源等，降低作业对自然资源的需求。

5.2.4.6 在拆解作业区域内保护当地生态环境，确保作业的绿色环保，拆解作业完成后，应恢复作业现场环境。

5.3 运输控制

5.3.1 运输纤维复合材料时，应采用相关防护措施，防止扬尘、遗撒。

5.3.2 有分类要求的固体废物，运输车辆应分类装载，不应混装。

5.3.3 跨省转运时，应符合相关法律的要求。

5.3.4 收集企业应采取国家鼓励的先进分类收集及运输方法，禁止二次污染环境。

5.3.5 企业应建立信息台账，包括收集、运输、处理、流向等信息。

6 回收预处理

6.1 预处理

风力发电机组复合材料预处理是指在对风力发电叶片等复合材料零部件进行再利用或回收处理前，对其进行的收贮及预加工或粗加工的分类处理过程，其采用的方法主要可分为的物理方法或化学方法。回收预处理是回收过程的必要环节。

6.2 收贮要求

6.2.1 收集废弃纤维复合材料时，应建设防风、防雨、防渗的封闭储存场所，必要时应对进行压缩打包，分类存放。

6.2.2 应建立管理台账，分类记录入库、出库数量和种类。

6.2.3 对于易燃易爆的废弃复合材料，应当采取相应的防火防爆措施，确保收贮的安全性。

6.2.4 对收贮的回收物定期进行检查，并做好检查记录，及时发现问题并采取相应的处理措施。

6.3 预加工处理

6.3.1 对收集的废弃纤维复合材料检查，评估其使用寿命、损伤状况和结构完整性，并对各个部分进行初步分类，确定是否可以进行再利用或回收处理，并根据回收方法制定预加工处理的方案，一般可采用物理方法或者化学方法。

6.3.2 采用物理方法时，应对回收物表面进行清洁、去除涂层或污染物，采用适当的切割或分离工具和方法，将按照设计的切割方案进行分段。

6.3.3 采用化学方法时，应浸泡在特定溶剂中清洗或去除特定材料，并对浸泡物和产生物进行记录，以便进一步的分解或回收处理。

7 回收处理

7.1 回收处理的一般原则

7.1.1 采用回收方法要符合相关法律法规和标准，确保回收过程符合环境保护和资源利用的要求。

- 7.1.2 综合考虑各种回收方法的技术可行性和经济性，选择最合适的回收方法。
- 7.1.3 确保回收过程能够最大程度地减少能源消耗和环境污染。
- 7.1.4 尽可能维持废弃复合材料的质量和性能，在回收过程中避免材料的过度降解和损伤。
- 7.1.5 提高回收效率和产出率，同时做好废弃复合材料的分类和处理，以便最大限度地提高回收效益。

7.2 回收方法和要求

7.2.1 风力发电机组废弃纤维复合材料回收是一个复杂和专业的过程，其处理的主要方法可以分为物理方法、化学方法和能量方法等几个方面。

7.2.2 物理方法的一般性要求

7.2.2.1 物理方法一般包括切割、破碎和分离等步骤。其可将废弃的纤维复合材料不同部分进行有效回收和处理，如金属部分、纤维部分及夹芯等部分和树脂部分分离，其中玻璃纤维分离率重量比应达到73%以上。

7.2.2.2 物理方法所采用的机械装置应具背或配套分选功能，若用水选法，水处理流程应配备相关净水设施确保废水达标排放，满足 GB 8978 要求；分选法所得材料杂质含量应小于 5%。

7.2.2.3 物理方法的全过程及其设备应全程配备除尘设施以保证粉尘达标排放。

7.2.2.4 物理方法的全过程及其设备全程的噪音应符合 GB 1234 的要求。

7.2.3 化学方法的一般性要求

7.2.3.1 采用化学法时，树脂的分解比例应达到 80%以上，再生纤维力学性能保持率 70%以上，回收纯度达到 80%以上。

7.2.3.2 化学溶液的成分避免剧毒、放射性等物质使用，尽量选用常规且对环境友好的溶剂和化学处理剂。

7.2.3.3 化学原料应该按国家规定相关化学品处置存放要求进行管理，应具有重复利用、收集处置装置。

7.2.3.4 回收人员需接受专业培训，具备相关化学知识和操作技能，了解化学品的安全使用和处理方法，同时需穿戴必要的防护装备，如手套、护目镜和防护服等，确保安全操作。

7.2.3.5 生产流程中应采用密封设计，尽量避免溶解过程和物料转移中挥发。同时应具备冷凝和尾气回收装置。

7.2.3.6 生产区域应通风，防火，防爆，具备连续泄露监测设施，设立灭火器、消防设备等，确保火灾风险降至最低。

7.2.4 能量方法的一般性要求

7.2.4.1 采用能量法时，其能源利用效率应达到60%及以上，如对纤维进行回收，其再生纤维的力学保持率应达到50%及以上。

7.2.4.2 需要事先进行分类和预处理并筛选，确保回收过程的高效进行和设备的友好性。

7.2.4.3 回收的操作员需要具备专业的操作技术和相关知识，需要佩戴专业的防护设备，防止热风、高温气体等对人员及周围环境的伤害，避免发生火灾和爆炸事故。

7.2.4.4 回收设备需要进行定期维护和检查，确保设备运行安全稳定，减少事故发生的概率。

7.2.4.5 回收过程中产生的有害气体，废气和废物，需要采取合适的排放和处理措施，不应环境的造成负面影响。

7.2.4.6 采用焚烧法时，容易释放出有毒气体和焚烧后的灰分，处理不当同样会对环境造成二次污染。因此采用焚烧法时需进行环保测评并获得焚烧许可。

附录 A (规范性)

风力发电机组废弃纤维复合材料回收处理方法

A.1 总则

- A.1.1 风力发电机组废弃纤维复合材料回收方法可以参考附录中推荐的方法。
- A.1.2 推荐的方法包括物理方法，化学方法和能量方法等方法。
- A.1.3 一般优先采用回收能效较低且绿色环保的回收方法。

A.2 物理方法

物理方法一般是指通过机械切割机粉碎的方法对废弃纤维复合材料进行回收。物理方法在机械处理和分离过程中具有产生其他原料的潜力。换句话说切割、粉碎、碾磨、筛选、过滤、收集、致密化和其他类似的方法。机械回收过程的开始步骤是将废弃复合材料零件切割和粉碎成小碎，然后从中提取粉末和纤维材料，回收产品主要用于建筑材料（沥青或水泥填料）及其他适用的领域。采用物理的方法，需要采用可提高回收纤维比例的方法，以保存/维持已开发产品的性能。

物理方法的一般要求如下：

- 机械装置应具有筛分功能，能够使纤维解离，玻璃纤维分离率重量比达到 65%；
- 机械装置应具有分选功能，若用水选法，水处理流程应配备相关净水设施确保废水达标排放；分选法所得材料杂质含量应小于 5%；
- 机械装置应全程配备除尘设施以保证粉尘达标排放；
- 机械装置的噪音应符合相关标准的要求。

A.3 化学方法

一般的化学回收方法包括溶剂溶解法、超临界流体法等。

A.3.1 溶剂溶解法

溶剂溶解法是指利用溶剂和热的共同作用使聚合物中的交联键断裂，分解成低分子量的聚合物或有机小分子溶解在溶剂中，从而将树脂基体和增强体分离。溶剂溶解法的主要指标是树脂的分解率 80%以上，纤维力学性能保持率 70%以上。溶剂分解法的优点是纤维力学性能保持率较高，树脂基体可二次利用；缺点是回收过程用到高浓度、腐蚀性强的溶液，回收过程潜在危险大，废液存在二次污染，回收成本较高等。

溶剂溶解法的一般注意事项有以下几个方面：

- 溶解液成分避免剧毒、放射性等物质使用，尽量选用常规化学品；
- 溶解过程中不宜使用压力容器，溶解温度不高于 180℃，溶解液应易于回收，可重复使用；
- 生产流程中应采用密封设计，尽量避免溶解过程和物料转移中挥发。同时应具备冷凝和尾气回收装置，溶解过程中不应产生难以处理的有害废气、废水及固废，烟气排放低于 DIRECTIVE 2010 标准；（欧盟 2010 标准(Directive 2010/75/EU)）
- 溶解区域应通风，防火，防爆，具备连续泄露监测设施；

——溶解所用原料应该按国家规定相关化学品处置存放要求进行管理，应具有重复利用、收集处置装置。

A.3.2 超临界流体法

超临界流体是指处于临界压力和临界温度以上的流体，密度与液体接近，黏度与气体接近，具有良好的扩散能力、溶解能力和溶剂化能力。树脂基体在超临界流体中的解聚反应主要是利用超临界流体优异的传质性能和溶解能力，降解或分解成液体或气体产物。

以超临界水为反应介质的超临界回收碳纤维树脂的方法具有无毒、无污染的优点，但是水的超临界温度和超临界压力均较高且超临界环境为强酸强碱环境，回收过程的能耗较高，对操作条件和设备的要求过高。相比其他方法，超临界流体法专一性高、污染小、回收的纤维强度保留率高。在进行超临界法回收复合材料时，需要注意以下事项：

- 选择合适的超临界流体用于回收目标成分，考虑其溶解度、选择性和成本等因素；
- 控制超临界操作条件，包括温度、压力和流速等参数，确保反应体系处于合适的状态；
- 在进行超临界法回收前，需要对废弃复合材料进行适当的预处理，例如研磨、干燥或浸泡等操作，以提高回收效率；
- 选择适当的超临界流体提取设备，并对设备进行优化，以提高回收效率和纯度；
- 操作人员需接受专业培训，了解超临界操作的安全要点，遵守操作规程，穿戴必要的防护装备；
- 对超临界法回收过程中产生的废弃物进行妥善处理，遵守环保法规，确保不对环境造成污染；
- 定期监测回收过程中的关键参数，如浓度、流速和压力等，及时调整控制，确保回收效果和安全稳定运行。

A.4 能量方法

能量方法包括传统无氧热裂解、流化床裂解、微波辅助裂解法以及焚烧。

A.4.1 热裂解法

传统热解技术的关键是将废弃的复合材料的有机部分降解为分子形式(气体或液体)。剩下的部分将是填料和纤维的形式。采用此方法，纤维力学性能降低显著，一般可达到50%左右。

热裂解法一般应注意以下几个事项：

- 热裂解过程需要高温条件，操作人员需要注意防止热风、高温气体等对人员及周围环境的伤害，避免发生火灾和爆炸事故；
- 热裂解过程中会产生大量有害气体和废气，需要采取合适的排放和处理措施，如安装烟气净化设备、废气处理装置等，确保废气排放符合环保标准；
- 热裂解产生的废弃物也需要进行合理处理，不能随意排放或弃置。应根据废弃物的性质采取相应的处理方法，尽量减少对环境的负面影响；
- 在热裂解过程中，操作人员需要佩戴符合安全要求的防护装备，包括耐高温防护服、防护面罩、手套等，确保人员安全；

- 对于热裂解设备需要进行定期维护和检查，确保设备运行安全稳定，减少事故发生的概率。

A. 4. 2 流化床裂解

流化床是一种热分解复合材料聚合物基体的方法。基本原理是指利用空气作为流化床反应器中的流化气体，在高温空气气氛下气化复合材料中的树脂，回收其中的纤维。其广泛应用于从退役复合材料中回收高质量的玻璃纤维和碳纤维。与其他类似工艺相比，该工艺回收纤维的效率较高。

采用流化床裂解时有以下几个方面的基本要求：

- 需要控制流化床中的操作温度，以保证复合材料有效分解，并确保提取出的有用组分不受热分解影响；
- 保证气流在流化床中的均匀分布，促进反应的进行；
- 对产生的废气需要进行合理处理，符合环保要求；
- 操作人员需要佩戴必要的安全防护装备，避免高温和有害物质对人员造成伤害。

A. 4. 3 微波辅助裂解法

微波辅助裂解法是一种用微波能量来加热复合材料以实现裂解的技术方法，这种技术可以用于回收纤维复合材料中的有用成分，例如树脂和纤维。微波能量可以直接加热复合材料内部分子，使得裂解过程更加高效。相比传统的热裂解方法，微波辅助裂解法可以实现更快的废弃复合材料处理速度，同时该方法可以减少能源消耗，废气排放相对较少，对环境的影响较小。

采用该方法时应注意以下内容：

- 需要确保微波能量的加热均匀，避免局部过热或者能量不足的情况发生；
- 操作过程中需要遵循相关安全操作规程，确保设备和操作人员的安全；
- 热解油应密闭、阴凉储存，储存罐体距离建筑物应符合相关规定；
- 裂解后的废物需要合理处理，符合环保要求，避免对环境造成影响；
- 对于提取出的有用成分，需要确保其纯度达到要求，以保证再利用效果。

A. 4. 4 焚烧法

焚烧法是一种常见的回收纤维复合材料的方法，一般也称为能量回收法，其通过高温焚烧将废弃的复合材料中的有机成分燃烧掉，从而分离出纤维和其他无机成分。该处理方法简单，但是焚烧过程中由于燃烧不完全，燃烧过程中容易释放出有毒气体和焚烧后的灰分，处理不当同样会对环境造成二次污染。

采用焚烧法时，有以下几方面基本要求：

- 焚烧时应满足当地的法律法规，并取得相关资质，必要时需要到当地环保部门进行报备；
- 应注意控制焚烧温度和氧气含量，避免产生有毒的气体；
- 对焚烧废气进行合理处理，以减少对环境的污染；
- 确保焚烧设备和工作环境符合安全标准，避免火灾和爆炸的发生；
- 尽量降低焚烧过程中的能源消耗，提高能源利用效率，减少对环境的影响。

参 考 文 献

- [1] GB/T 36132 绿色工厂评价通则
-