

《废弃风力发电设备拆除、回收利用及处置环境管理规范》标准研究

黄进¹ 程刚齐² 林翎¹ 冯志刚² 方菲¹ 张晓昕¹

(1.中国标准化研究院; 2.中国物资再生协会风光发电分委会)

摘要: 我国目前已成为全球最大的风力发电设备生产国和全球最大的风力发电应用国,预计3~5年内需要退役的风力发电机组数量将达上万台,拆除后产生的大量固体废弃物将带来严重的环境污染和风险,因而亟需对废弃风力发电设备的回收利用进行规范化和绿色化管理。本文重点阐述了风力发电设备拆除、回收利用及处置环境管理规范的研制思路和原则,针对废弃风力发电设备拆除、回收利用及处置的基本流程及其相关环境影响,提出各阶段环境管理要求、安全和应急响应要求,以及监测、分析、评价和改进要求,旨在使我国废弃风力发电设备的拆除、回收利用及处置过程中的环境管理工作有标可循,助力风力发电行业绿色高质量发展。

关键词: 风力发电设备, 环境管理

DOI编码: 10.3969/j.issn.1674-5698.2023.07.013

Research on Standard on Environmental Management Specification for Demolition, Recycling and Disposal of Waste Wind Power Generation Equipment

HUANG Jin¹ CHENG Gang-qi² LIN Ling¹ FENG Zhi-gang² FANG Fei¹ ZHANG Xiao-xin¹

(1.China National Institute of Standardization;

2. Wind and Solar Power Sub-committee of China Materials Recycling Association)

Abstract: At present, China has become the world's largest producer of wind power equipment and largest user of wind power. It is estimated that the number of wind power units to be retired in 3-5 years will reach tens of thousands of units, the large amount of solid waste generated after dismantling will bring serious environmental pollution and risk, so it is urgent to conduct standardized and green management of the recovery and utilization of waste wind power equipment. This paper focuses on the development ideas and principles of environmental management standards for dismantling, recycling and disposal of wind power equipment, and puts forward the requirements of environmental management, safety and emergency response in each stage and monitoring, analysis, evaluation and improvement requirements in view of the basic process of dismantling, recycling and disposal of waste wind power equipment and its related environmental impact. The purpose of this paper is to make the environmental management work in the course of dismantling, recycling and disposal of the abandoned wind power equipment in our country have a standard to follow, and promote the green and high-quality development of the wind power industry.

Keywords: wind power generation equipment, environmental management

作者简介: 黄进,中国标准化研究院资环分院研究员,全国环保产业标准化技术委员会(SAC/TC 275)和全国环境管理标准化技术委员会(SAC/TC 207)委员。长期从事环保产业、环境管理、资源循环利用等领域的标准化科研及重要技术标准研制工作,曾主持并参与30余项国家“十一五”和“十二五”重大科研项目,主持或参与制定环保产业、环境管理、资源综合利用等领域国家标准80余项。

1 标准研制的目的和意义

1.1 行业发展迅猛

全球能源革命和低碳经济的发展使得国际社会越来越重视能源安全与生态环保问题,减少化石能源燃烧并加快开发和利用可再生能源已成为世界共识。随着近年来风力发电技术的快速进步,加之商业模式的不断创新,风电正作为一种技术成熟、环境友好的可再生能源,在全球范围内实现大规模的开发利用,新增装机容量不断上升。截至2021年,全球已有100多个国家开始大力发展风力发电,风电累计装机容量达837GW,其中美国、英国、德国、加拿大、荷兰、丹麦、瑞典等国在风力发电的研究和应用方面均走在前列。

我国风电行业经过30余年的迅猛发展,目前已成为全球最大的风力发电设备生产国和全球最大的风力发电应用国。截至2021年底,我国已投产运营的风力发电机组约15万台。从累计装机量来看,陆上风电累计装机容量320GW,占全球陆上总装机量的40%,海上风电累计装机容量25.35GW,占全球海上总装机量的48%;与此同时,从新增装机容量来看,2021年全国风电新增装机容量55.92GW,也已成为全球第一大新增装机国家。国家能源局最新数据显示,截至2022年6月底,全国风电累计装机3.42亿千瓦,其中陆上风电累计装机3.16亿千瓦、海上风电累计装机2666万千瓦。“双碳”目标下,我国风电市场更是获得了史无前例的巨大发展,新增装机容量逐年递增,与之相呼应的,包含风电运维、技改升级、以大代小的风电后市场服务也已迎来新一轮增长。

1.2 退役大潮将至

我国新能源产业高速发展的20年,随着最早一批风电机组设计运行年限的临近,在2000年左右投入使用的风电机组,将率先在2025年迎来第一批大规模退役潮。根据CWEA数据,2012年底我国风电装机总量7532万千瓦,装机台数5,3764台。风力发电机组设计寿命通常为20年,这意味着到2022年底,运行10年及以上的风电机组已超过5万台,预计3~5年内需要退役的风力发电机组数量将达上万

台,拆除后将产生废弃物资近2000万吨,其中,固体废弃物(废钢、废铜、混凝土、复合材料等)约1970万吨,危险废弃物(废油、废电池)约30万吨。风电机组拆除将产生成倍剧增的废弃物,这无疑将为生态环境保护工作带来巨大压力。另一方面,进入“十四五”以来,风电高质量发展诉求明显,“上大压小”改造逐步开展,初步测算2021~2030年全国有改造退役需求的风电机组累计容量将超过6000万千瓦。因此,如何科学合理地解决风光设备退役问题,如何做好风电行业的全生命周期低碳发展,探索规范回收、可循环、高值化的再生利用途径,从而有效应对大规模退役所带来的环境问题,对于构建新能源行业的绿色循环产业体系将起到关键性作用。

1.3 政策规划引领

我国对再生资源行业的支持政策经历了从“技术发展”到“制度延伸”再到“体系建设”的变化。为积极应对大量报废的风力发电设备及组件等新型产业固废,国家相关部门高度重视,陆续出台政策部署相关工作。从顶层设计来看,相关的宏观政策和规划已对退役风电设备的回收处置工作指明了方向。

《关于“十四五”大宗固体废弃物综合利用的指导意见》(发改环资〔2021〕381号)规定:加快完善大宗固废综合利用标准体系,推动上下游产业间标准衔接。加强大宗固废综合利用行业统计能力建设,明确统计口径、统计标准和统计方法,提高统计的及时性和准确性。

《“十四五”循环经济发展规划》(发改环资〔2021〕969号)指出,对包括退役光伏组件和风电机叶片等废旧物资进行分类循环利用和集中处置。《2030年前碳达峰行动方案》提出,要全面提高资源利用效率,充分发挥减少资源消耗和降碳的协同作用。报废风力发电设备及组件拆解物料的再生利用对碳减排贡献显著,是实现碳减排、碳达峰的重要抓手。

2021年12月14日,工信部、国家发改委、科技部、生态环境部4部委共同编制了《国家工业资源综合利用先进适用工艺技术设备目录(2021年版)》。目录共评选了94项工业资源综合利用先进适

用工艺技术设备,其中再生资源利用工艺技术设备19项。

2022年10月31日,国家市场监督管理总局、国家发改委、工信部、自然资源部、生态环境部等9部门联合发布《建立健全碳达峰碳中和标准计量体系实施方案》,方案提出要围绕风电和光伏发电全产业链条,开展关键装备和系统的设计、制造、维护、废弃后回收利用等标准制修订。

1.4 厥待标准规范

从当前我国风电行业发展的状况看,风电设备的退役和回收将是整个风电行业高质量发展绕不过去的重点。退役风力发电设备作为一种新兴固废,其物质组成与相应产品基本相同,含铜、铝、银、锡等多种有价金属,资源回收价值相对较高,因而,对其进行资源化利用是资源再生利用产业的重要内容。一方面,退役风力发电设备的高效回收利用具有巨大的经济效益,有利于减少相关资源的进口依赖,防范原材料供给风险,对保障国家战略资源安全具有重要战略意义;另一方面,如果对退役风电设备处置不当,其带来的环境和生态影响也会极为严重,因此退役风力发电设备的环境管理工作,也是保护生态环境和促进风力发电产业可持续发展的重要内容。

风力发电机组可以拆解为叶片、发电机、齿轮箱、机舱、塔筒、箱变、混凝土基础底座、连接电缆等部分。在拆解作业过程中,现场会将叶片(树脂复合材料)、塔筒(钢材)进行切割,齿轮箱进行拆解,混凝土基础底座进行破碎处置,过程中会产生漏液、扬尘等环境污染现象,拆解过程将产生废旧铅酸蓄电池、齿轮润滑油等危险废物。有鉴于此,在对退役风电设备进行绿色拆除的同时,对退役风力发电设备及组件的全组分进行高值化清洁利用,实现设备、组件及材料的高回收利用率和材料的高可再生利用率,凭借其拆解过程中近乎100%的水循环利用率和废气零排放,将能更好地实现循环经济技术的环境友好性。

上述风电设备的绿色退出、循环利用等核心问题均离不开标准化的技术支撑。梳理当前有关风力发电设备方面的国家标准发现,有关风力发电机

组、设备方面的国家标准多达140余项,主要包括:GB/T 19960.1—2005《风力发电机组 第1部分:通用技术条件》、GB/T 19960.2—2005《风力发电机组 第2部分:通用试验方法》、GB/T 18451.1—2022《风力发电机组 设计要求》、GB/T 25385—2019《风力发电机组 运行及维护要求》、GB/T 20319—2017《风力发电机组 验收规范》等;此外,还包括风轮叶片、塔架、主轴、齿轮箱、电力变压器、复合材料机舱罩、风力发电场监控系统、双馈式变流器、异步发电机、永磁同步电机、小型风力发电机组、雷电保护、专用润滑剂、变桨距系统、防护涂装、建设工程验收等方面的标准。这些标准多为风力发电机组相关的产品标准、检测标准、设计运维验收标准,而非专门针对废弃风电设备拆除、回收利用及处置过程环境管理方面的技术标准。可见,运用标准化手段规范并引领风电设备的拆除、回收利用及处置全过程的环境管理工作,已成为当前迫在眉睫的重要课题。

2 标准总体原则

研制《废弃风力发电设备拆除、回收利用及处置环境管理规范》(以下简称《规范》)遵循以下总体原则。

2.1 符合性原则

《规范》的编制应符合现行的国家节能、环保、绿色、低碳、循环相关的法律法规和政策的要求,做到合规首位;同时符合风力发电行业发展现状和实际需求,坚持问题导向和目标导向,体现行业环境管理的需求和特点。

2.2 科学性原则

《规范》的技术内容应充分体现风力发电设备拆除回收利用及处置全过程管理的思想、管理学PDCA思想、清洁生产和循环经济理念,以及持续改进的思想,力求做到先进合理,操作性强,体现行业绿色发展、创新发展。

2.3 代表性原则

相关方的广泛参与是标准科学性、合理性、可操作性的决定因素,规范的编制应充分依靠各相

关方的力量，开放听取各相关方的需求、意见和建议，求同存异的前提下力求实现广泛代表性和普适性。

2.4 协调性原则

《规范》的编制与现行的本领域相关的国家、行业、地方标准（包括污染物排放标准，污染物治理技术标准，污染物治理工艺、设备、检测标准，环境管理标准，废弃产品回收、利用和处理标准等）紧密结合并保持相互协调一致；同时协调好风力发电设备拆除、回收利用及处置环境管理工作中各相关方（参与方）的权力和义务。

3 标准核心内容

《规范》主要技术内容包括：风力发电设备拆除、回收利用及处置环境管理规范的范围，规范性引用文件，术语和定义，拆除、回收利用及处置基本流程及其相关环境影响，基本要求，拆除阶段环境管理，回收利用阶段环境管理，处置阶段环境管理，安全和应急响应，监视、测量、分析和评价，以及改进。

3.1 范围

《规范》适用于因风力发电设备到达使用年限、失去维修价值，或升级更新、机位变更等原因对风力发电设备进行拆除、回收利用及处置全过程的环境管理。

3.2 规范性引用文件

《规范》的规范性引用文件包括风力发电机组相关国家标准，水、气、声、渣污染物排放标准，危险废物焚烧、贮存、填埋污染控制标准，质量、环境、职业健康安全管理体系标准，废弃产品回收利用、再生利用、再制造相关标准，固体废物鉴别、危险化学品贮存及安全标准等。

3.3 术语和定义

《规范》对风力发电设备、废弃风力发电设备、拆除、拆解、收集、贮存、处理、回收利用、再使用、梯次利用、再生利用、再制造、处置、参与方等关键术语进行定义。

(1) 按照GB/T 2900.53-2001《电工术语 风

力发电机组》的2.1.2，将“风力发电设备”定义为“将风的动能转化为电能的设备。通常包括风力发电机组（风轮叶片、机舱、塔架、箱变）、输变电线路等”。

(2) 按照GB/T 20861-2007《废弃产品回收利用术语》的2.1，将“废弃风力发电设备”定义为“设备的拥有者不再使用且因达到使用年限、失去维修价值、升级更新、机位变更等原因放弃的风力发电设备”。

(3) “参与方”定义为“参与风力发电设备拆除、回收利用及处置工作的相关各方。具体到规范，所指参与方包括行业组织、风电场运营商、风力发电设备制造商、零部件制造商、运行维护方、维修方、施工方、回收方、处理方、处置方等”。

(4) 其余术语和定义均来源于GB/T 20861-2007《废弃产品回收利用术语》和GB/T 28619-2012《再制造 术语》国家标准。

3.4 拆除、回收利用及处置基本流程及其相关环境影响

废弃风力发电设备拆除、回收利用及处置的基本流程主要包括拆除阶段、回收利用阶段和处置阶段。其中，拆除阶段主要是在对废弃风力发电设备进行现场检查后对设备及零部件进行拆除和拆解；回收利用阶段主要是对废弃风力发电设备和零部件进行收集、分类、运输和贮存，在处理方厂内进行除污、拆解或破碎，对除污、拆解后的废弃风力发电设备和零部件进行再使用或梯次利用，对破碎后的废弃风力发电设备和零部件进行再生利用及能量回收，或进行再制造；处置阶段主要是对无法回收利用或再制造的废弃风力发电设备零部件和材料进行焚烧或填埋等最终无害化处理。

废弃风力发电设备拆除、回收利用及处置基本流程如图1所示，对全过程中产生的相关环境污染及影响可概括为：扬尘、废液、噪声、有毒有害气体、散落、水源污染和土壤破坏等。危险废物则主要包括：废旧铅酸蓄电池、废齿轮润滑油、废润滑脂、废液压油、废冷却液等。

3.5 基本要求

《规范》对废弃风力发电设备拆除、回收利用

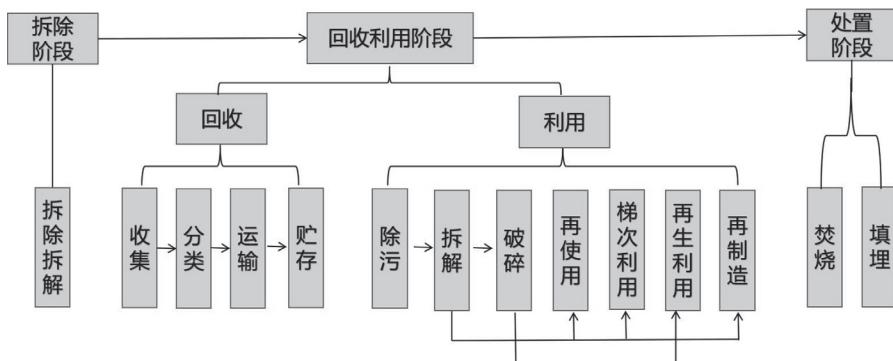


图1 废弃风力发电设备拆除、回收利用及处置基本流程

及处置全过程的环境管理基本要求做了统一规定。主要涉及：参与方应具备经营资质和与之对应的特种作业资质，包括营业执照的营业范围应包含回收处理的相关内容、与回收处理内容相对应的资质证明文件等。从事拆除、回收利用及处置活动应满足国家、行业、地方法律法规、政策及强制性标准的要求，参与方的管理体系建设和实施要求，全过程监管和信息管理系统要求，作业设施、设备、技术和工艺的要求，采用的环境保护相关技术和设备的要求，现场环境污染防治和生态环境修复要求，危废管理要求，人员专业培训和资质上岗要求等。

3.6 拆除阶段环境管理

《规范》将拆除阶段的环境管理分为“检查和准备”“现场拆除和拆解”两个子阶段的环境管理。

按照“基本要求”中所规定的“从事回收利用和处置的参与方应优先考虑废弃风力发电设备和零部件的再使用、梯次利用，其次考虑再生利用，采用最佳适用技术和设备提高再使用率、再生利用率，最大限度地减少对环境的影响”的规定，在

“检查和准备”子阶段，应对废弃风力发电设备进行拆除前的检查，记录有关环境污染控制的注意事项，并在醒目位置标识信息标签。应查阅废弃风力发电设备的有关图样资料，了解设备结构和装配关系，了解拆除过程可能产生的环境污染影响，根据零部件连接形式、规格尺寸设计及环境污染预防需求，选择并确定合适的拆除方法和工具。对存在危险的拆除操作，应制定专门拆除方案，方案应明确对可能发生的环境污染和危险的应对措施。

在“现场拆除和拆解”子阶段，应考虑的因素包括“进行必要的试验和诊断”“避免破坏性拆除和拆解”“有毒有害物质进行识别”“拆除前采取合理的防漏保护措施和安全防护措施”“拆解场地，拆除、拆解设施和设备地面防护”“拆除和拆解噪声、粉尘排放要求”“拆除后的风力发电机基础及附属设施基础（包括但不限于风机基础、箱变基础、集电线路杆塔基础等）的合规处理”等环境管理要求，对于风电场运营商，要求施工方、回收方、处理方、处置方等提供《风力发电设备绿色拆除报告》，行业组织以信息系统方式对项目报告进行收集归档。

3.7 回收利用阶段环境管理

《规范》将回收利用阶段的环境管理分为“回收”和“利用”两个子阶段的环境管理。回收涵盖收集和分类、运输和贮存；利用涵盖除污、破碎、再使用或梯次利用、再生利用和再制造。

在“回收”子阶段，对于收集和分类，应考虑的因素包括“零部件分类收集”“危废单独分类收集”“有毒有害物质不得随意丢弃、焚烧或存放”“集中放置并委托有资质的处理方或处置方处置”“记录处理方式和最终流向”等要求。对于运输和贮存，应考虑的因素包括“运输防护、避免二次污染”“一般工业固体废物贮存和填埋污染控制要求”“危险废物贮存污染控制要求”“贮存场所的环境管理要求”等，另外对于拆除或拆解后的废弃风力发电设备和零部件应分类存放，明确标识并建立管理台账，分类记录入库、出库数量，保持“账物卡”一致。

在“利用”子阶段，对于除污，应考虑的因素包括“环保型除污方法选择”“化学品安全贮存”“清洗除污原材料应可循环使用”“清洗剂安全使用和防护”“清洗废液、废渣、废气应进行无害化处理”等要求。对于破碎，应考虑的因素包括“破碎装备应采取防爆措施”“破碎噪声和粉尘应满足的排放标准”的要求。对于再使用或梯次利用，应考虑的因素包括“评估再使用环境效果”“优先选择直接再使用”“梯次利用前性能检测和安全评估”“进行标识，做好台账管理”“再使用和梯次利用满足安全规范”等要求。对于再生利用，应考虑的因素包括“环评资质”“企业选址环保要求”“具有节能低碳环保的再生利用设备和生产工艺流程”“具有专职技术人员和规范的化验评定手段”“选用适宜的预处理技术”“电线电缆、塑料和树脂的再生利用”“有价成分和有害成分分离环境污染防治”“采用节能、高效的环境治理技术及装备”“废渣、废液的排污许可证管理”“危废属性判定和最终处置”等要求，此外，《规范》还规定废弃风力发电设备和零部件再生利用时，应根据添加应用比例，做好台账管理，实现可追溯、可查询。对于再制造，应考虑的因素包括“再制造毛坯件清洗污染防治”“再制造所需环保型拆解方法的选择”“再制造处理方具备完善的环保和安全生产技术及设施，具备避免污染和质量安全事故发生的能力”等要求。

3.8 处置阶段环境管理

《规范》将处置阶段的环境管理分为“焚烧”和“填埋”两个子阶段的环境管理。在有毒有害物质的“焚烧”子阶段，应考虑的因素包括“焚烧企业资质”“应进行环境影响评价、安全生产评价和企业卫生评价。环境影响评价应符合HJ 2.1的规定，安全生产评价应符合AQ 8001的规定，企业卫生评价应符合GBZ 1的规定”“易燃危险废物不得焚烧”“节能环保型焚烧设备的选取和清洁能源的使用”“应对焚烧过程产生的异味进行治理”“污染物处理设施和排放标准要求”“炉渣的玻璃化处理”等要求。在有毒有害残余物质的“填埋”子阶段，应考虑的因素包括“被填埋的有毒有害残余物质的性质要求、安全性要求”“填埋场渗滤液的环

保处置”和“填埋场环境噪声”等要求。

3.9 安全和应急响应

《规范》对“风险及安全管理”和“应急准备和响应”两方面做出规定。“风险及安全管理”主要要求参与方确定其所处的环境、相关方需求和期望、合规义务，开展风险分析和研判，制定并实施相应的风险管理措施，建立健全并实施各阶段的安全管理制度和措施。“应急准备和响应”主要要求参与方识别废弃风力发电设备拆除、回收利用及处置各阶段可能发生的潜在事故或紧急情况，制定适合各参与方特别需求的应急准备和响应计划或应急响应预案，定期试验预案并进行应急措施的演习，开展培训和信息交流；按照应急响应预案对实际发生的事故或紧急情况做出响应，以预防或减轻事故或紧急情况发生可能带来的不利环境影响和人身伤害。在事故或紧急情况发生后，或应急预案定期试验后，还应对应急响应预案及措施进行及时评审和调整改进。

3.10 监视、测量、分析和评价

《规范》要求参与方应对废弃风力发电设备拆除、回收利用及处置各阶段的环境管理过程及环境管理绩效进行监视、测量、分析和评价。其中，需要监视和测量的内容通常包括但不限于：各阶段环境影响及控制措施的运行、参与方合规义务、各阶段关键的环境绩效参数等，参与方应确定监视和测量的时机、频次和方法。“分析和评价”则主要是参与方对环境管理过程及环境管理绩效进行分析和评价，需要考虑的事项包括分析和评价的时机、所采用的方法、所依据的准则或标准、选取适当的环境绩效参数、环境管理的有效性评价、数据分析方法等。

3.11 改进

《规范》要求参与方应通过分析监视和测量结果识别合规义务规定的限定要求的遵守情况、环境管理绩效的趋势和持续改进的机会。一旦发生不合规的情况时，从事废弃风力发电设备拆除、回收利用及处置各阶段活动的参与方首先应对不做出响应，采取适当措施控制并纠正，处理其所造成的后果，减轻不利的环境影响；其次，通过调查

和评审,确定原因,举一反三,避免或防止再次产生;同时,可采取预防措施避免存在潜在问题的事项发生。最后,还要跟踪所采取的纠正和预防措施,并评审其有效性,必要时,对纠正措施和预防措施予以调整。

关于持续改进,要求参与方应持续评价废弃风力发电设备拆除、回收利用及处置各阶段的环境管理绩效,持续改进废弃风力发电设备拆除、回收利用及处置环境管理工作的适宜性、充分性和有效性,以提升环境管理绩效水平。

4 结论

(1) 推动废弃风电设备及组件等新兴固废综合利用,是提高工业资源利用效率,推动实现资源节约和循环利用的重要举措。研制《规范》将更好地支撑退役风光发电设备相关政策落地,赋能循环利用和环保技术创新,在政策引领、标准完善、技术推广等方面协同发力,推动新兴固废综合利用产业加快实现绿色高质量发展。

(2)《规范》的研制及应用,将实现对风力发电设备全生命周期科学的环境管理,有助于促进资源合理利用,减少环境污染事故的发生,落实风电场相关各方的环境保护职责,提升风电场运营方及施工方的环境效益和经济效益,从而有助于构建科学有效的退役风光发电设备闭环管理体系。

参考文献

- [1] GB/T 2900.53—2001, 电工术语 风力发电机组[S].
- [2] GB/T 24001—2016, 环境管理体系 要求及使用指南[S].
- [3] GB/T 20861—2007, 废弃产品回收利用术语[S].
- [4] GB/T 28619—2012, 再制造 术语[S].
- [5] GB 18484—2020, 危险废物焚烧污染控制标准[S].
- [6] GB 18597—2001, 危险废物贮存污染控制标准[S].
- [7] GB 18598—2001, 危险废物填埋污染控制标准[S].
- [8] GB 18599—2020, 一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准[S].