

陆上风力发电机组
钢混塔架维护技术规程

编制说明

(征求意见稿)

标准编制组

2024年5月

目 录

一、工作简况	1
(一) 任务来源	1
(二) 编制目的	1
(三) 参加单位	1
(四) 单位分工和主要起草人	2
(五) 工作过程	3
二、标准编制原则和主要内容	3
(一) 标准编制的原则	3
(二) 标准的主要内容	4
三、主要试验（或验证）情况分析	5
四、标准中如果涉及专利，应有明确的知识产权说明	5
五、产业化情况、推广应用论证和预期达到的经济效益等情况	5
六、采用国际标准和国外先进标准情况	7
七、与现行相关法律、法规、规章及相关标准	8
八、重大分歧意见的处理经过和依据	8
九、标准性质的建议说明	8
十、贯彻标准的要求和措施建议	8
十一、废止现行相关标准的建议	8
十二、其他应予说明的事项	9

一、工作简况

(一) 任务来源

根据中国混凝土与水泥制品协会《关于下达 2023 年中国混凝土与水泥制品协会标准制修订计划（第四批）的通知》（中制协字[2023]55 号）的要求，《陆上风力发电机组钢混塔架维护技术规程》为协会标准制定项目。

本规程由中国混凝土与水泥制品协会负责管理，由中国混凝土与水泥制品协会风电混塔分会牵头制定，由浙江华东新能科技有限公司负责起草并组织相关单位共同完成。

(二) 编制目的

随着风电机组大型化、高空化发展，混凝土-钢混合塔筒因其技术经济优势，得到越来越广泛的应用。混凝土-钢混合塔筒投入运行后，在循环往复的风机载荷和外界环境的作用下，往往会出现一些缺陷或损伤，需要通过定期维护的方式，及早发现并解决问题，以免影响正常使用。传统钢塔架已有成熟的维护规范来约束和指导维护工作，但是混凝土-钢混合塔筒相对较新，目前还没有统一的维护标准。

本标准结合混凝土-钢混合塔筒的结构特点，从影响混凝土-钢混合塔筒正常运行和极限承载的要素出发，对混凝土-钢混合塔筒的维护内容、标准、方法、周期做了规定，在风电机组整个服役期内，通过定期维护，及时掌握混凝土-钢混合塔筒的运行状态，及时了解混凝土-钢混合塔筒缺陷和损伤的性质、部位、严重程度、发展趋势，评估对混凝土-钢混合塔筒的影响，为混凝土-钢混合塔筒的维护提供可靠的技术依据。

本标准的编制规范了混凝土-钢混合塔筒运维，可有效预防风机运行过程中由于混凝土-钢混合塔筒问题导致的质量缺陷、问题或事故，保障了服役期内混凝土-钢混合塔筒及搭载主机的安全、可靠运行，对于风电行业健康、高质量发展具有重要意义。

(三) 参加单位

本规程由中国混凝土与水泥制品协会负责管理，由中国混凝土与水泥制品协会风电混塔分会牵头制定。主编单位有中国混凝土与水泥制品协会风电混塔

分会、浙江华东新能科技有限公司、北京天杉高科风电科技有限责任公司、上海电气研砵（木垒）建筑科技有限公司、内蒙古金海新能源科技股份有限公司、上海风领新能源有限公司，参编单位有协合新能源集团有限公司、中国华能集团清洁能源技术研究院有限公司、中国广核新能源控股有限公司、中国三峡新能源（集团）股份有限公司、中国船级社质量认证有限公司、上海电气研砵（木垒）建筑科技有限公司分公司、中汉能源（上海）有限公司、威胜利工程有限公司、柳州欧维姆机械股份有限公司、江苏陆海工程科技有限公司、中铁二十四局集团桥梁建设有限公司、中铁建大桥工程局集团建筑装配科技有限公司、同济大学建筑设计研究院（集团）有限公司、同济大学。

（四）单位分工和主要起草人

本规程共分 11 章，主要起草人及分工如表 1 所示。

表 1 主要起草人及分工

章节名称	单位分工	主要起草人
标准编制进度统筹	中国混凝土与水泥制品协会风电混塔分会	孙莉丽
1 范围	浙江华东新能科技有限公司牵头	张栋梁、钟华
2 规范性引用文件	中国船级社质量认证有限公司牵头	李刚、王培显、张栋梁
3 术语和定义	浙江华东新能科技有限公司牵头	张栋梁
4 基本要求	内蒙古金海新能源科技股份有限公司牵头	刘源、张栋梁
5 基础维护	同济大学建筑设计研究院（集团）有限公司牵头	彭文兵、张栋梁
6 混凝土塔筒维护	浙江华东新能科技有限公司牵头	张栋梁、张后禅、王培显、刘源、李梦媛、叶志燕、王全良、宋雪飞、许德民、刘圣源
7 内附件维护	浙江华东新能科技有限公司牵头	张栋梁、张后禅、王培显、刘源、李梦媛
8 转换段维护	浙江华东新能科技有限公司牵头	张栋梁、张后禅、王培显、刘源、李梦媛、陈俊岭
9 钢塔筒维护	北京天杉高科风电科技有限责任公司牵头	王培显、张栋梁

10 预应力系统维护	威胜利工程有限公司牵头	杨明、彭渝舒、李云、张栋梁
11 缺陷处理	浙江华东新能科技有限公司牵头	张栋梁、张雪松
统稿	浙江华东新能科技有限公司牵头	张栋梁

(五) 工作过程

2023年12月20日上午召开编制组成立暨第一次工作会议。会上，由浙江华东新能科技有限公司介绍了标准编制的技术背景、主编和参编单位基本情况、标准主要内容及分工、标准编制工作计划，中国混凝土与水泥制品协会主管标准工作领导介绍了标准工作要求、流程和注意事项。

2024年1月17日，标准编制组以线上会议形式召开了第二次会议。会上，编制组通报了规程草稿的编制进度情况，就草稿的相关内容等进行了讨论和交流，就规程草稿的修改反馈意见进行了通报和讨论，对于规程草稿的初步修改提出了修改意见和建议，明确了下一次会议讨论的主要技术要求内容和会议时间。

2024年4月1日，标准编制组以线上会议形式召开了本规程的草稿修改稿讨论会，对本规程的每章条文内容、章节标题、术语等进行了讨论和修改，进行了充分讨论，并确定了编制意见，提出了具体指标的修改意见及确定完成征求意见稿的时间。

2024年5月13日，本规程征求意见稿送交中国混凝土与水泥协会标准质量部。

二、标准编制原则和主要内容

(一) 标准编制的原则

本规程按照《工程建设标准编写规定》(建标[2008]182号)给出的规则进行编写。本规程的编制遵从以下规则：贯彻执行国家的政策、法规，与现行其他国家标准协调一致的原则；技术指标制定先进可行、规范合理的原则；标准制定突出产品特性，适用于陆上风力发电机组混凝土-钢混合塔筒的维护，促进陆上风

力发电机组混凝土-钢混合塔筒行业健康发展和产品推广的原则。

(二) 标准的主要内容

本规程共分 11 章，分别为：1 范围；2 规范性引用文件；3 术语和定义；4 基本要求；5 基础维护；6 混凝土塔筒维护；7 内附件维护；8 转换段维护；9 钢塔筒维护；10 预应力系统维护；11 缺陷处理。

1 范围

规定了本标准适用范围。

2 规范性引用文件

规定了本标准引用的规范。

3 术语和定义

规定了本标准采用的术语和定义。

4 基本要求

包括维护人员要求、安全要求、维护文件要求、环境保护要求及其他要求。

5 基础维护

包括一般规定、沉降、混凝土结构、防水、电缆桥架和爬梯、接地等维护内容和要求。

6 混凝土塔筒维护

包括一般规定、表观质量、垂直度、表面清洁等维护内容和要求。

7 内附件维护

包括一般规定、升降机和免爬器、平台和护栏、塔筒门、塔筒照明、塔筒接地、电缆及附属构件、爬梯与防坠落系统、安全标志等维护内容和要求。

8 转换段维护

包括一般规定、钢制转换段、混凝土转换单等维护内容和要求。

9 钢塔筒维护

包括一般规定、焊缝、表观质量、螺栓等维护内容和要求。

10 预应力系统维护

包括一般规定、索体、索力、锚头及锚固区等维护内容和要求。

11 缺陷处理

包括缺陷判定和缺陷处理程序。

三、主要试验（或验证）情况分析

本规程为规范陆上风力发电机组混凝土-钢混合塔筒的维护，相关技术数据和要求引用现行国家及行业标准规范。

四、标准中如果涉及专利，应有明确的知识产权说明

本规程不涉及专利和相关知识产权。

五、产业化情况、推广应用论证和预期达到的经济效果等情况

2023年12月20日，国家能源局发布1-11月份全国电力工业统计数据。截至11月底，全国累计发电装机容量约28.5亿千瓦，同比增长13.6%。其中，太阳能发电装机容量约5.6亿千瓦，同比增长49.9%；风电装机容量约4.1亿千瓦，同比增长17.6%。1-11月份，全国主要发电企业电源工程完成投资7713亿元，同比增长39.6%。其中，太阳能发电3209亿元，同比增长60.5%；核电774亿元，同比增长45.3%；风电2020亿元，同比增长33.7%。电网工程完成投资4458亿元，同比增长5.9%。

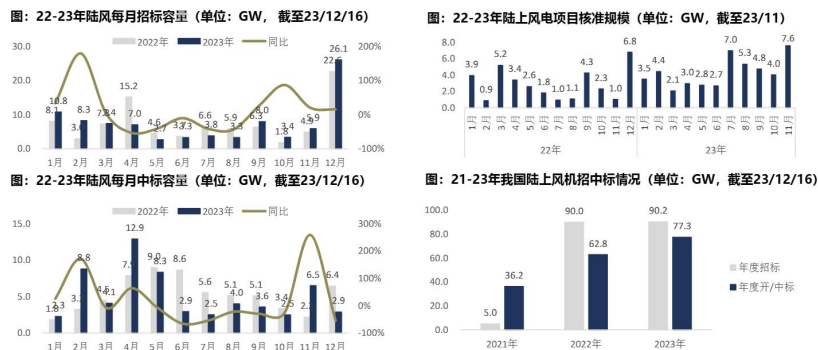


图 1 中国风电陆风招标/中标量

国家“双碳”政策提出后行业规划的多批陆上风光大基地资源的批量释放。陆风大基地项目、老旧机组改造、分散式核准制改备案制，共同推动“十四五”

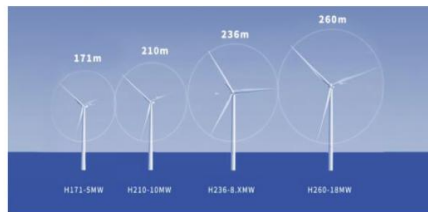
末期中国陆风进入装机高峰期。23年1-11月我国陆上风电核准项目规模达47.2GW，同比增长71.4%。进入23年下半年，风电项目核准规模较23年上半年显著增长。

风电平价时代的到来，使风机单机容量明显提升。据中国风能专业委员会发布的数据，2022年，中国新增装机的风电机组平均单机容量为4.49MW，同比增长27.8%，其中陆上风电机组平均单机容量为4.3MW，同比增长37.9%，海上风电机组平均单机容量为7.4MW，同比增长33.4%。

风电机组：大型化趋势明显

- 风机大型化是降本的重要抓手，近年风机大型化的速度加快，2022年新增装机的单机容量同比明显增长。
- 展望未来，风机大型化还将更进一步，目前风机企业已经推出10MW左右的陆上机组，并即将批量应用，头部风机企业已经开始着手研发12-15MW单机容量的陆上机组；海上方面，头部的海上风机企业已经推出16-18MW的海上机组，后续推出单机容量20MW以上的机组可期。

◎ 中国海装海上风机往大型化方向迭代的示意图



资料来源：OWEA、中国海装、BNEF、平安证券研究所

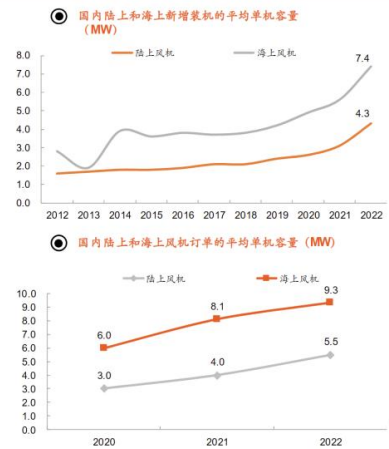


图2 风机大型化趋势

风机大型化发展趋势下，混凝土-钢混合塔筒方案技术的经济性优势随塔筒高度的增加不断体现：

(1) 高风速地区风能开发殆尽，中、低风速地区资源亟待开发，需提升轮毂高度获得更高风速，增加风机输出功率；

(2) 混塔整机结构刚度大，抗疲劳和避震性能更强，结构更加安全；

(3) 混塔频率高，振动频率可避开共振点，安全稳定性高；

(4) 混凝土与预应力体系协同作用，安全稳定性高；

(5) 据测算，塔筒高度>140m时，混塔更具经济性；

(6) 分片式解决大直径塔筒运输难题。高塔筒通过增加直径既可以提升塔筒的承载能力又能兼顾经济性，但受制于运输限制，传统钢塔管的直径很难突破5m。分片式塔筒可采用堆叠式或单片式运输，能够很好地解决大直径塔筒的运输难题。

高塔架方案可显著提升低风速高切变风资源区发电量。风切变越大，增加塔

高时风机输出功率的提升效果越显著，发电量越多，如安徽、河南、湖北、湖南、江西等低风速地区，塔高由 100m 增至 150m 时，安徽/陕西/湖北风机功率增幅约 50%，由 150m 增至 200m 时，陕西/广西/安徽/湖北/江西风机功率增幅约 30%。

图：低风速省市近地面高度风速(m/s)及输出功率随高度增长率(%)

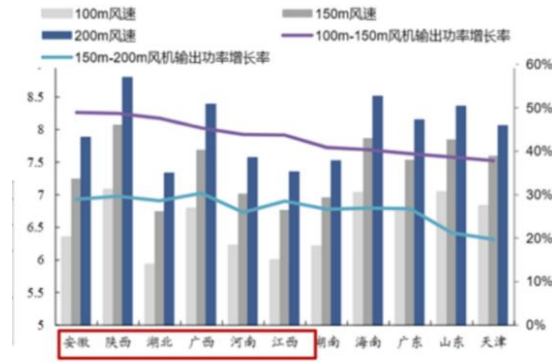


图 3 混塔经济性优势

但是，混凝土-钢混合塔筒没有专门的维护技术标准规范，用于指导维护，也是制约产业进一步发展、工程使用安全性保障的一个重要因素。

本标准结合钢混塔架的结构特点，从影响钢混塔架正常运行和极限承载的要素出发，对钢混塔架的维护内容、标准、方法、周期做了规定，在风电机组整个服役期内，通过定期维护，及时掌握钢混塔架的运行状态，及时了解钢混塔架缺陷和损伤的性质、部位、严重程度、发展趋势，评估对钢混塔架的影响，为钢混塔架的维护提供可靠的技术依据。

本标准的编制规范了钢混塔架运维，可有效预防风机运行过程中由于钢混塔架问题导致的质量缺陷、问题或事故，保障了服役期内钢混塔架及搭载主机的安全、可靠运行，对于风电行业健康、高质量发展具有重要意义。

六、采用国际标准和国外先进标准情况

《Wind energy generation systems - Part 6: Tower and foundation design requirements》(IEC 61400-6:2020) 第 9 章提到“structural inspections should include: concrete cracking and concrete surface defects, state of joints (open/closed, cracked mortar or grouts, etc.), any detectable tower tilt, and any signs of distress of tower, foundation or soils around the installation”，意思是结构检查应考虑混凝土裂缝和混

凝土表面缺陷、接缝状态（开/合、砂浆或灌浆料开裂等）、任何可检测到的塔架倾斜以及塔架、基础或土壤破坏迹象，虽然提到了混凝土塔筒检测项，但是对于检测标准、方法、周期都未做详细规定。

七、与现行相关法律、法规、规章及相关标准

经广泛调研和多方面征求意见，本规程符合现行的相关法律、法规、规章及相关标准的要求。

八、重大分歧意见的处理经过和依据

无。

九、标准性质的建议说明

建议《陆上风力发电机组钢混塔架维护技术规程》作为推荐性团体标准发布实施。

十、贯彻标准的要求和措施建议

尽快做好标准发布实施工作，标准颁布实施后，相关部门和企业应做好标准宣贯培训工作，制定相应的实施方法，使本规程得以认真执行，在混凝土塔筒构件生产技术和质量管理方面起到重要的指导作用。

十一、废止现行相关标准的建议

无。

十二、其他应予说明的事项

无。