

陆上风力发电机组
混凝土塔筒生产技術规程

编制说明

(征求意见稿)

标准编制组

2024年4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	2
(四) 单位分工和主要起草人	3
(五) 工作过程	3
二、标准编制原则和主要内容	4
(一) 标准编制的原则	4
(二) 标准的主要内容	5
三、主要试验（或验证）情况分析	15
四、标准中如果涉及专利，应有明确的知识产权说明	20
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	20
六、采用国际标准和国外先进标准情况	22
七、与现行相关法律、法规、规章及相关标准	22
八、重大分歧意见的处理经过和依据	23
九、标准性质的建议说明	23
十、贯彻标准的要求和措施建议	24
十一、废止现行相关标准的建议	24
十二、其他应予说明的事项	24

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，《陆上风力发电机组混凝土塔筒生产技术规程》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，由上海电气研砣（木垒）建筑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

随着国内风电市场的快速发展，混塔的应用越来越广泛，混塔技术的发展、技术的更新迭代及技术创新日趋成熟，已经有越来越多的厂家和不同的材料供应商等在尝试研究混凝土塔筒技术。但目前混凝土塔筒生产技术良莠不一，为防止混塔质量问题，确保塔筒安全可靠，机组安全运行及人身安全，在混凝土塔筒预制生产过程中应依据文件内容严格把控各个环节的工艺、流程及质量，规范混凝土塔筒构件的生产施工及质量评定。

混凝土塔筒由多段混凝土筒节段组成，在制作方面以预制装配式为主要实现方式。在混凝土塔筒预制时，应注意生产工艺设计和生产组织设计；在混凝土塔筒构件生产制造时，应考虑模具安装、钢筋加工及质量控制、隐蔽工程检查、混凝土生产浇筑质量控制、构件堆存养护、构件出厂质量控制等依据标准严格要求，以确保塔筒质量。

我国目前有关于混凝土塔筒生产制造的标准和规程，国家标准《风力发电机组 塔架》GB/T 19072-2022、行业标准《风电机组混凝土-钢混合塔筒施工规范》NB/T 10908-2021、团体标准《风力发电机组预应力装配式混凝土塔筒技术规范》T/CEC 5008-2018。这几本标准的重点内容不一，有的偏重钢塔筒、有的偏重安装，对于混凝土塔筒的生产过程控制和技术质量要求，只做简单规定，无法满足塔筒构件生产过程质量管理的具体要求。

针对风力发电机组混凝土塔筒构件的生产制造过程的技术和质量管理要求没有专门详细的标准和规程的问题，使得生产企业在构件生产时的控制要求和质量要求不一，业主方在使用混塔时没有较有说服力的行业或国家标准作为参考，

在一些问题上经常需要专家评审来判断技术是否可行，对人力物力都造成了一定程度的浪费，对混塔的发展造成了阻碍。编制《陆上风力发电机组混凝土塔筒生产规程》对于规范混凝土塔筒构件生产质量控制，以及保证混凝土塔筒工程应用的构件质量，乃至风力发电机组混合塔架的安全运行，具有重要的意义。

标准编制组经广泛调查研究，认真总结各混凝土塔筒生产企业及相关行业的实际经验，在参考有关国内外标准，将编制组多年的生产技术质量管理实践和研究经验进行了总结，充分征求各方意见的基础上，编制了本规程。目的是制定详细的混凝土塔筒构件生产全流程管理的技术质量要求，规范企业的生产技术和行业的产品质量验收标准，以保证产品的质量和工程使用安全。

（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、上海电气研砣（木垒）建筑科技有限公司、北京天杉高科风电科技有限责任公司、浙江华东新能科技有限公司、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，参编单位有一重（黑龙江）风电混塔有限公司、巨杰科技发展集团股份有限公司、江苏正锐达新能源有限公司、远景能源有限公司、明阳智慧能源集团股份公司、中国广核新能源控股有限公司、协合新能源集团有限公司、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、上海电气研砣（木垒）建筑科技有限公司分公司、一重上电（齐齐哈尔市）新能源有限公司、同济大学、同济大学建筑设计研究院（集团）有限公司。

（四）单位分工和主要起草人

本规程共分 10 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 总则	上海电气研砣（木垒）建筑 科技有限公司牵头	张后禅、徐瑞龙、孙莉丽
2 术语	北京天杉高科风电科技有限	徐瑞龙、黄张裕、付坤

	责任公司牵头	
3 基本规定	浙江华东新能科技有限公司牵头	付坤、宋媛、高军峰、彭文兵
4 生产组织设计	内蒙古金海新能源科技股份有限公司牵头	黄张裕、周瑞权、曹周生
5 原材料	北京天杉高科风电科技有限责任公司牵头	徐瑞龙、陈峻岭、魏思航、曹周生、秦廉、张信祯、王兆邻
6 构件生产	上海电气研砮（木垒）建筑科技有限公司牵头	张后禅、钟华、高军峰、陈峻岭、曹周生、张明熠、黄张裕、赵学明、梁言、白海洋
7 试验室管理	内蒙古金海新能源科技股份有限公司牵头	黄张裕、钟华、秦廉、宋媛、徐瑞龙、周瑞权
8 技术资料管理	浙江华东新能科技有限公司牵头	付坤、徐瑞龙、张后禅、周瑞权
9 信息化管理	上海电气研砮（木垒）建筑科技有限公司牵头	张后禅、秦廉、魏思航、曹周生、付坤
10 安全管理及环境保护	上海风领新能源有限公司牵头	宋媛、孙莉丽、赵学明、张明熠、王兆邻
统稿	上海电气研砮（木垒）建筑科技有限公司牵头	张后禅、钟华、徐瑞龙、高军峰、陈峻岭、秦廉、魏思航、黄张裕

（五）工作过程

2023年12月20日，编制组成立暨第一次工作会议在北京召开。会上，由上海电气研砮（木垒）建筑科技有限公司张后禅对标准前期调研和准备工作情况进行汇报，编制组成员对于当前混凝土塔筒构件产品生产技术资料管理情况、执行标准情况，以及生产过程管理要求进行了充分的交流，明确了参编单位的分工及标准编制进度，并针对标准编制原则、标准适用对象及范围、标准架构及主要技术要求等关键点提出了意见和建议。

2024年3月11日，规程编制组以线上会议形式召开了第二次会议。会上，规程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3月26日，规程编制组成员在上海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，对于核心

技术指标，如构件出厂强度控制等，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送审稿的时间。

2024年4月2日，规程编制组成员召开了本规程征送审稿定稿的线上讨论会，确定了送审稿中的具体内容和技术要求，完善了本规程的编制架构，就送审稿的优化内容进行了讨论和确定。

2024年4月30日，本规程送审稿送交中国混凝土与水泥协会标准质量部审查批准。

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《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 1.1-2020及《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，促进风电预制混凝土塔筒行业健康发展和产品推广的原则。

为了加强陆上风力发电机组混凝土塔筒生产质量管理，明确技术要求，规范混凝土塔筒生产过程控制及质量管理要求，编制本规程。本规程的内容借鉴混凝土塔筒生产企业和混凝土预制构件行业生产管理经验，以及大量的风电塔筒工程应用实践经验，提出切实可行的混凝土塔筒构件生产管理技术要求的条文内容，具体控制措施简明扼要，通俗易懂。本规程适用于陆上风力发电机组混合塔筒结构的预应力装配式混凝土塔筒的生产和质量控制，对于其他形式的风力发电机组塔架混凝土结构，由于结构形式、制造工艺等均与混凝土塔筒构件有很大区别，故本规程没有纳入。凡本规程未作规定的，应符合国家现行有关标准的规定。

（二）标准的主要内容

本规程共分10章，分别为：1 总则；2 术语；3 基本规定；4 生产组织设计；5 原材料；6 构件生产；7 试验室管理；8 技术资料管理；9 信息化管理；10 安全管理及环境保护。

1 总则

1.0.1 风力发电机组混合塔筒技术已经在我国大批量推广应用，本规程的制定旨在规范和指导混凝土塔筒构件的生产，明确生产技术要求，确保工程质量。

本规程主要根据我国现有的标准规范、科研成果和实践经验，并参考国际先进标准制定而成。

1.0.2 本规程适用于陆上风力发电机组混凝土塔筒构件的生产管理和质量检验和验收等，对于其他形式的风力发电机组塔架混凝土结构，由于结构形式、制造工艺等均与混凝土塔筒构件有很大区别，故本规程没有纳入。

本规程不涉及混凝土塔筒构件及风电塔筒的设计技术，以及施工吊装技术要求等，也不包含对于构件结构安全的评估技术内容。

1.0.3 混凝土塔筒构件生产涉及不同工程类别及国家标准或行业标准，在使用中除应执行本规程外，还应按所属工程类别符合国家现行相关标准的规定。当设计文件对混凝土塔筒构件结构及生产有不同于本规程的专门要求时，应遵守设计文件执行。

2 术语

本章节中的术语都是在混凝土塔筒构件设计和生产时用到的重要定义内容，为了明确其定义，编制专门的说明内容。

2.0.2 混凝土塔筒构件，主要指按照装配式结构原理设计的风电混凝土塔筒预制构件。目前混凝土塔筒的主要外形为圆筒或圆锥筒形，构件按其分片形式有半环型、1/4环型，以及整环型。近年来，混凝土塔筒结构外形还出现多种不规则形状，如六边形、八边形等，其结构还是筒式结构，现场装配组成整环塔筒节段。本规程的技术要求可参考执行。

2.0.3 混凝土塔筒结构中，转换段结构不同混塔型式各有特点，有混凝土锚栓结构转换段，以及钢结构的转换段。本规程中的转换段以及其生产质量控制要求，主要指预应力锚固端位于混凝土塔筒的顶部节段构件上的转换段，其壁厚较大，生产质量控制要求高。

3 基本规定

本章规定了混凝土塔筒构件生产企业应该具有的生产技术管理、质量管理等的要求，旨在提高混凝土构件生产企业的技术质量管理水平，明确基本要求，提升企业产品质量。

3.0.1 混凝土塔筒构件生产厂家应有全过程质量管理体系，包括对模具的设计、材料选择、生产制造、质量验收及安装验收等环节的质量控制；对钢筋及钢

筋骨架的加工制作，高强混凝土的材料选择、配合比设计、制备、运输、浇筑、振捣；对混凝土塔筒构件的养护、堆存、运输保护等环节进行质量控制。

3.0.2 高强混凝土的生产制备及生产过程质量控制相对复杂，需要对原材料、配合比设计、混凝土拌合物制备、混凝土浇筑等环节进行严格的质量管控，试验室在其中发挥着重要作用。对于混凝土塔筒构件生产企业，试验室的设立应作为评价其技术和质量管控能力的重要指标之一。

3.0.5 混凝土塔筒构件的生产工艺相比传统的混凝土预制构件，有其自身的技术特点和复杂性，主要体现为高强混凝土生产质量管控要求高、构件的精度要求高。因此，对生产操作人员，按照工艺技术文件要求进行必要的操作技能培训，使其认识到生产操作要求的重要性，是非常有必要的。

4 生产组织方式

本章主要规定了混凝土塔筒生产工艺和生产组织设计、设备等的要求。由于风力发电工程地域性和工程施工周期问题，以及受成本限制，混凝土构件不适合于大规模的长距离运输的特点，混凝土塔筒构件生产工厂大量采用的是临时性生产场地。受场地条件和既有设备条件制约，生产工艺和生产组织设计需因地制宜，根据既有条件和工程周期等因素合理进行，使经济性最优。

露天生产对混凝土塔筒构件的质量影响明显，特别是极端天气影响。因此，对于采用露天生产方式进行塔筒构件生产，应对生产过程工艺技术管理尤其重视，制定合理的工艺制度，配备必要的生产辅助设施，确保产品质量。

5 原材料

5.1 一般规定

本章规定了混凝土塔筒构件生产的原材料技术质量要求，以及执行标准规范，如水泥、砂、石、外加剂、钢筋、预埋件等。以及原材料进场验收的组批原则和复验要求

5.1.2 混凝土塔筒构件生产原材料进场后，应按照相关标准规范、企业技术文件内控要求等，检查其质量证明文件，并进行来料抽样复验，满足质量要求，经检验合格后方可投入使用。企业技术文件的内控质量要求不得低于相关标准规范中的有关规定。

5.2 混凝土原材料

在混凝土原材料方面，规定了水泥、矿物掺合料、砂、石、外加剂、纤维等的关键技术指标和要求，以及原材料进场验收的组批原则和取样复验要求。

5.2.1 水泥中的氯离子含量，《混凝土结构通用规范》GB 55008及《混凝土结构设计规范》GB 50010中规定的技术指标要求仅规定了混凝土中的氯离子含量要求，远高于《通用硅酸盐》GB 175中水泥氯离子含量要求，且高强混凝土的耐久性均较普通混凝土优异。混凝土塔筒参考50年建筑设计寿命，采用GB 175中规定的水泥氯离子含量技术指标要求，完全能够满足风力发电机组塔架设计使用寿命的要求，无需进行特殊要求。

5.2.6 塔筒构件混凝土中若掺加纤维，纤维的选型和技术指标要求应执行相关产品标准规范的有关规定，以及混凝土配合比设计的要求，并经试验验证后方可使用。

5.3 钢筋

本节规定了钢筋的材料种类牌号要求，以及执行标准，进场组批和检验复验要求。

5.4 预埋件

本节主要规定了预埋吊件和预埋套筒、预应力锚垫板的选型和材质要求，以及执行标准、进场验收要求。预埋锚栓和锚板的选型、材质，以及进场验收允许偏差要求等。

5.4.4条中混凝土塔筒中的锚板，指混凝土转换段中的预埋锚板，有别于钢转换段或钢塔筒中法兰板，在结构中主要为承压结构。本条中规定了锚板生产制造时，可以采用多片焊接成型，也可采用一体锻造成型。采用焊接成型时，应对焊缝的焊接质量进行检验，应满足NB/T 47013.3-2015及NB/T 47013.4-2015中的I级板的探伤要求。

6 构件生产

6.1 一般规定

本章规定了混凝土塔筒构件生产的各工序的生产操作、质量验收要求等，用于指导构件生产管理、确保产品质量合格、质量活动可追溯。

6.1.2 混凝土塔筒构件的尺寸精度要求较高，因此，对模具的生产质量、安装质量应严格控制，并加强构件首件生产质量检验验收，并及时对检验不合格项进行整改和再验收，是提高混凝土塔筒产品质量的必要管控措施。

6.2 钢筋工程

6.2.1 钢筋原材料进场应确保无损伤、无污染，应进行进场质量检验验收。

6.2.2 钢筋切断加工应采用规定的设备，不得采用火焰切割。

6.2.3 采用焊接成型钢筋网，特别是采用机械自动焊接成型钢筋网，能极大提升生产效能，在建筑工程中，特别是装配式混凝土构件中已经大量使用。混凝土塔筒构件的钢筋加工成型，采用焊接成型钢筋网时，按照《钢筋混凝土用钢第3部分：钢筋焊接网》GB 1499.3的有关规定进行质量控制和质量验收。

6.2.8 钢筋骨架的加工应严格执行图纸要求下料、半成品应标识分类存放。钢筋骨架的加工可采用绑扎工艺，也可采用焊接工艺。应按照工艺要求进行操作和质量验收。

6.2.10 钢筋骨架加工及安装质量，应按照表6.2.10及相关标准规范执行。因钢筋骨架安装时，预埋件安装工序同时完成，故钢筋骨架制作安装质量检验中，加入了预埋件的安装尺寸允许偏差要求。

6.3 模具工程

混凝土塔筒构件生产过程中，模具的质量和精度对构件的产品质量的影响极大，本节主要规定了模具的生产质量和安装质量要求。

6.3.1 混凝土塔筒构件尺寸精度要求较高，钢制模具具有刚度大、重复使用高等优点，因此，混凝土塔筒构件生产宜采用钢制模具。模具的设计应根据构件外形、生产工艺和尺寸偏差控制要求，合理设计。

6.3.4 模具安装应确保安装质量，安装底座应具有足够的刚度。当安装在混凝土地坪面上时，混凝土地坪应坚实不变形、不沉降。固定锚栓或膨胀螺栓与混凝土地坪之间应有足够的连接强度，避免构件脱模起吊时将模具拉脱变形。当强度不足时，应采取加固措施。模具的出厂及安装质量应按照表6.3.3进行质量验收。当采用卧式钢模生产混凝土塔筒构件时，可参考表6.3.3进行验收，或按照卧模设计要求进行验收，但不得低于表6.3.3中的尺寸偏差控制要求。

6.3.4 模具长时间未使用，超过6个月应重新进行模具安装偏差检验，符合要求方可投入生产。生产过程中，应定期对模具进行安装质量检查和尺寸偏差测量，并通过构件的尺寸偏差测量结果，调整模具安装尺寸偏差。

6.4 混凝土工程

混凝土塔筒构件的生产中，混凝土拌合物的配制和生产浇筑过程质量管理，直接影响产品的质量和工程的安全。本节规定了混凝土拌合物的生产管理要求和混凝土配合比的技术管理要求。混凝土的浇筑过程中应加强工艺管理，特别是高温季节及冬期施工，对混凝土的浇筑质量影响大。

6.4.2 外加剂的选用，应根据生产气候条件、运输距离、配合比设计等要求合理选用。使用前，应进行水泥适应性试验，并经配合比试验验证，达到要求方可使用。

6.4.5 混凝土生产拌制时，试验室应测定砂、石含水率，及时调整砂、石的用量和用水量，确保满足配合比设计要求。搅拌工对配合比调整应进行授权管理，确保混凝土拌合物质量可控。拌制过程中，搅拌工应加强拌合物状态观察，在授权管理调整权限范围内进行调整，使混凝土拌合物性能满足生产浇筑要求。

6.4.6 混凝土塔筒构件生产时，应加强混凝土拌合物性能测试，并进行记录，确保混凝土拌合物质量可控。

6.4.7 混凝土拌合物的运输时间控制，应根据温度条件、运输距离和浇筑时间要求合理调整，混凝土配合比设计时，对超出控制要求时，应采取技术措施，控制生产浇筑时混凝土拌合物性能满足质量控制要求。

6.4.8 当混凝土拌合物坍落度损失过大而卸料困难，现场可采取掺入适量减水剂并快速搅拌的方法进行调整。但减水剂的掺量应经试验室试验确认对构件的强度和其他性能无影响，并制定实施技术方案，在技术方案的规定下实施。

6.4.9 混凝土浇筑前，应完成隐蔽工程检查及模具安装质量检查，完成工序交接验收，方可进行混凝土浇筑。混凝土浇筑前，应记录混凝土生产编号、性能数据、模具编号等，确保质量可追溯。

6.4.12 高强混凝土的胶凝材料掺量大、水胶比低，极易在混凝土表面早干固化干燥开裂。混凝土浇筑完成后，应及时抹面收光，并保湿覆盖，避免表面开裂。

6.4.13 转换段构件因其壁厚较大，且高强混凝土水化热较高，极易造成内外温差过大，构件内部产生温度裂缝。因此，转换段的生产宜参照大体积混凝土浇筑技术要求执行，采取必要的温控措施。

6.4.14 构件的加热养护制度应经试验验证，并根据生产环境温度条件进行调整，实施过程中应严格执行。

6.4.17 冬期施工生产拌制混凝土，应采取措施，提高骨料的温度，或采取热水搅拌方式。有条件企业，宜对搅拌楼及砂、石骨料堆放场地、输料机构进行密封保温，并设置必要的采暖措施，使混凝土拌合物出料温度达到技术要求。

6.4.18 冬期施工生产浇筑混凝土塔筒构件，应编制专项冬期施工方案，应包含工艺实施方案、设备方案、技术控制要求等内容。参考《混凝土结构工程施工规范》GB 50666中规定，冬期施工时C50及C50级以上混凝土的受冻临界强度确定为不宜小于30%，且对于有抗冻耐久性要求混凝土，受冻临界强度不宜小于设计强度的70%。因此，本规程中规定，塔筒构件混凝土受冻前的强度不宜小于设计强度的30%，当达到设计强度的70%时，方可撤除养护措施。考虑到冬期施工地区，低温条件下混凝土强度几乎无增长，因此规定，混凝土塔筒构件出厂强度需达到设计强度等级要求方可出厂。

6.5 构件质量检验

6.5.2 混凝土拌合物取样频次，参考《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204，以及混凝土塔筒构件产能情况综合确定。混凝土强度试件制作数量，应满足技术管理要求，根据生产实际情况确定，上、下午、晚班应各取样进行混凝土强度试件制作。试件数量应根据检测试验项目内容确定，且不得少于3组。试件尺寸，考虑混凝土塔筒均为高强混凝土，成型150mm×150mm×150mm边长立方体试件，对压力试验机的量程要求高，因此，也可成型100mm×100mm×100mm边长的立方体试件，抗压强度试验时，尺寸影响系数应参考标准规范执行，或经试验确定。

6.5.4 混凝土塔筒构件的外观质量和尺寸偏差检验应遵守以下规定：

1、外观质量检验应按照表6.5.4-1中的要求进行，检验时应形成检查记录，并有必要的外观质量缺陷描述。严重质量缺陷不应有，若构件出现严重质量缺陷，应先进入不合格品处置流程，然后进行结构评估。对结构安全有影响且无法修复

构件，应报废处理；对于结构无影响，或经结构加固后能达到设计要求，可制定专项加固修复方案，经修复或加固后，重新检验合格方可进入堆场存放或出厂。一般缺陷不宜有，对已出现一般缺陷的构件，应按照构件修复专项技术方案及时修复，重新检验合格方可进入堆场存放或出厂。构件修复应形成实施前后的文字和图像资料记录，重新检验，合格方可放行。

2、尺寸偏差检验应按照表6.5.4-2的要求进行，对尺寸偏差超过规定时，应进行结构复核，若可修复，则应修复至表6.5.4-2的允许偏差值，若无法修复，且结构复核不满足设计要求，应报废处理。

6.5.6 混凝土塔筒构件出厂强度值设定，主要参考以下标准规范规定：

1、《混凝土结构设计规范》GB 50010-2010中第10.1.4条：施加预应力时，所需的混凝土立方体抗压强度应经计算确定，但不宜低于设计的混凝土强度等级值的75%。

2、《无粘结预应力混凝土结构设计规程》JGJ 92-2016中第6.3.8条：无粘结预应力构件的侧模可在张拉前拆除，下部支撑体系的拆除顺序应符合设计的规定。无粘结预应力筋张拉时，混凝土同条件立方体试块抗压强度应满足设计要求；当设计无具体要求时，不应低于设计混凝土强度等级值的75%。

3、《工厂预制混凝土构件质量管理标准》JG/T 565-2018中第9.1.7条：预制构件出厂时混凝土强度实测值不应低于设计要求；当无设计要求时，出厂时混凝土强度不应低于设计混凝土强度等级值的75%。

4、高强混凝土普遍较脆，应在工厂堆场内进行浇水湿润养护，为保证产品出厂运输的外观质量，同时依据高强混凝土强度发展规律，定义出厂时混凝土养护龄期不低于7d。

综合以上依据，本规程编制组经慎重讨论，确定“混凝土塔筒构件出厂强度应不低于设计强度等级的75%，出厂时，混凝土养护龄期不应少于7d”的表述。

6.5.7 混凝土塔筒构件生产企业应对构件强度回弹值与混凝土养护龄期、生产地域、设计强度、同条件试块抗压强度等进行数据汇总分析，建立塔筒构件高强混凝土专用回弹换算测强曲线，提高回弹检测混凝土强度的准确性。

6.6 构件堆存运输

6.6.2 混凝土构件堆放，底部应放置垫块，垫块放置位置应合理，可参考相关标准规范或技术资料进行设计。垫块上应放置软性过渡材料，放置构件混凝土与垫块硬接触崩裂。构件堆放应有必要的防倾倒措施，特别是1/4环型构件。

6.6.3 混凝土构件在堆存场地应加强浇水养护，可采用蓄水养护、人工浇水，自动雾化喷淋等方式。由于混凝土塔筒构件均为竖向存放，上表面积小，浇水后容易快速表面干燥，因此，宜采用覆盖保湿方式进行养护，特别是在干燥地区、高温天气进行构件浇水养护，采用覆盖保湿方式进行养护的效果较好，混凝土强度增长较快，表面不易形成干燥收缩裂缝。

6.6.4 构件出厂运输前，应进行运输道路踏勘，根据道路情况、通行条件制定专项运输方案，运输方案中应包括构件加固防倾倒措施，混凝土接触面、边角等的防磕碰保护措施等。

7 试验室管理

7.1 一般规定

本章规定了混凝土塔筒构件生产企业应建立企业试验室，规范试验室的试验检测活动，为构件生产过程质量管理提供依据和支撑。

7.1.3 企业试验室应根据生产企业的特点、场地条件、检测能力等要求进行建设，对于采用商品混凝土时，可共用或租用商混搅拌站场地和设备进行试验检测活动

7.1.6 无资质的企业试验室，不能出具具有法律效力的检验试验报告，只能作为企业内部生产质量管控的管理依据。应根据生产质量管理及竣工验收要求，委托具有资质的第三方机构进行检验试验，并出具报告。

7.2 仪器设备管理

7.2.1 检验试验仪器设备应定期进行计量检定/校准，检定/校准合格的仪器设备应张贴管理标识，进行试验检测活动，确保检测数据的可靠性和有效性。

7.2.2 试验室的仪器设备应张贴状态管理标识，确保试验检测过程的数据真实性

7.2.5 专项检测试验室的环境条件应满足相关标准规范的有关规定。

7.3 人员管理

7.3.1 企业试验室应配备具备相应能力的试验室主任和试验室人员，确保

试验室的试验检测数据的及时性和有效性,能为混凝土塔筒构件生产企业的生产质量管理工作提供依据,提升企业的管理水平。试验室人员的配置应根据工作内容、工作强度等情况综合确定,也是评价企业技术管理能力的重要因素之一。

7.4 技术管理

7.4.1 企业试验室应加强数据的统计分析管理,为生产质量管理和成本管理提供依据。

7.4.3 企业试验室应做好技术资料的存档管理,确保质量数据可追溯。

7.4.6 试验数据应真实有效,按要求填写。

8 技术资料管理

8.0.1 企业应建立技术资料管理体系,明确保管人员、负责人等,确保生产过程资料保存满足表 8.0.5 以及相关标准规范、法律法规的要求,确保企业的生产质量管理过程可追溯。

8.0.2 技术资料包括纸质资料和电子文档资料,包括生产过程管理技术资料,也包括其他与生产活动相关的文件和资料。

9 信息化管理

9.0.1 信息化管理有助于提升企业的管理效率,鼓励生产企业采用生产过程信息化管理措施。

9.0.3 生产过程管理信息化系统软件应能满足企业经营管理和构件生产过程控制及质量管理的要求。

10 安全管理及环境保护

10.1 安全管理

10.1.1 生产企业应建立健全安全生产管理制度,落实安全生产责任,确保安全生产管理落到实处。

10.1.5 企业员工应配备必要的劳动防护用品,进入生产区域必须佩戴安全帽,安全员应加强安全巡视。

10.1.6 设备操作应严格执行操作规程,特种设备应指定专人持证操作。

10.2 环境保护

10.2.1 企业的生产经营活动应建立在环境保护法律法规的要求下,企业应制定环境保护管理计划,明确管理目标。

10.2.2 企业生产经营活动应有必要的防尘、防噪、污水及固废处理措施。

三、主要试验（或验证）情况分析

本规程的编制参考了相关文献和试验验证数据

（一）5.2.1 条混凝土原材料中水泥品种做了规定，高强混凝土配制也可选用强度等级为 42.5 级硅酸盐或普通硅酸盐水泥，具体试验验证如下：

水泥应采用强度等级不低于 42.5 级的硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥的要求，主要考虑随着水泥厂家的生产工艺提升，水泥质量稳定、强度富余系数高，且随着聚羧酸系高性能减水剂和配合设计理论的发展，混凝土强度的提高不再单纯依靠水泥的强度和用量，42.5 级硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥配制高强混凝土已日趋成熟；同时综合考虑塔筒构件生产地处偏远地区，受限于水泥供应和运距等因素，本规程中规定了 42.5 级的硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥也可选用，并经试配验证，42.5 级水泥性能完全能满足配制高强混凝土需要。

表 2 C80 混凝土 P042.5 级与 52.5 级水泥配合试验对比表

水泥等级	天瑞水泥	科建 S95 矿粉	F 类 I 级粉煤灰	天然砂	机制砂	碎石 5mm-10mm	碎石 10mm-20mm	江汉 SF-90 硅灰	江汉 uffa 2.0 微珠	应诺施外加剂	水	1d 强度 MPa	7d 强度 MPa	28d 强度 MPa
P052.5	420	90	60	375	375	350	650	30	20	5	152	49.5	85.5	96.2
P042.5	420	90	60	375	375	350	650	30	20	4.4	152	35	70.4	92.8

检测报告

MA 211001042104

MA 检验检测机构 资质等级 甲级

检测类别: 委托检测

工程名称: 上海电气核电(太仓)建筑科技有限公司

委托单位: 上海电气核电(太仓)建筑科技有限公司

检测内容: 普通硅酸盐水泥

中国检测测试控股集团徐州有限公司

地址: 徐州市云龙区汉江路6号
邮编: 221000 电话: 0516-85092788

中国检测测试控股集团徐州有限公司

检测报告 第 1 页, 共 2 页

报告编号: CN113112100074	委托编号: 202406020
委托单位: 上海电气核电(太仓)建筑科技有限公司	样品名称: 普通硅酸盐水泥
工程名称: 上海电气核电(太仓)建筑科技有限公司	样品规格: 15kg
检测单位: 中国检测测试控股集团徐州有限公司	样品状态: 符合检测要求
检测日期: 2024-06-02	检测日期: 2024-06-02 09:00-06:00

检测环境: 温度: 20±2℃ 相对湿度: 65%±5% 养护: 20±1℃ 养护: 3天 20±2℃ 28天 20±2℃ 化学分析: 符合标准要求

检测设备: 符合标准要求

判定依据: GB 175-2007

检测标准: GB 175-2007

检测结果: 样品符合标准, 所有项目均符合 GB 175-2007 标准要求, 检测结果符合标准要求。

检测结论: 符合标准, 符合 GB 175-2007 标准要求。

检测人员: 孙永清

审核: 孙永清

签发: 孙永清

中国检测测试控股集团徐州有限公司
检验检测专用章

中国检测测试控股集团徐州有限公司

检测报告 第 2 页, 共 2 页

序号	检测项目	计算参数	技术要求	检测结果	判定
1	强度	/	符合 GB 175-2007 标准要求	符合	符合
2	比表面积	3000	3000	3000	符合
3	标准稠度用水量	28.5	28.5	28.5	符合
4	安定性	0.5	0.5	0.5	符合
5	凝结时间	180	180	180	符合
6	氯离子含量	0.06	0.06	0.06	符合
7	三氧化硫	0.3	0.3	0.3	符合
8	氧化镁	0.5	0.5	0.5	符合
9	烧失量	0.5	0.5	0.5	符合
10	细度	0.5	0.5	0.5	符合
11	水胶比	0.5	0.5	0.5	符合
12	水胶比	0.5	0.5	0.5	符合

(以下空白)

图1 P042.5水泥检测报告



图2 P042.5水泥的混凝土配合比报告

(二) 5.2.3 条混凝土原材料中骨料的性能做了规定，具体指标依据如下：

1、“粗骨料宜采用连续级配碎石，其最大公称粒径不宜大于25mm，且不应超过钢筋净距的3/4”的表述，参照现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164-2011的第2.2.3 条“对于混凝土结构，粗骨料的最大公称粒径不得大于构件截面最小尺寸的1/4,且不得大于钢筋最小净距的3/4”和“对于高强混凝土，粗骨料最大公称粒径不宜大于25mm”的规定；同时结合目前混凝土塔筒构件生产立模模具混凝土浇筑高度>3m的特点，如采用最大公称粒径>25mm粗骨料时易出现大石子沉底造成浇筑过程中顶部浮浆过厚的现象（如图3所示），综合考虑塔筒构件后确定此要求。



图3 立模表面浮浆过厚

2、“粗骨料的泥粉含量不大于0.5%”的表述，参照现行国家标准《混凝土质量控制标准》GB 50164-2011中的第2.2.3条“对于高强混凝土含泥量和泥块含量分别不应大于0.5%和0.2%”和现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55-2011中的第7.3.1条“高强混凝土的原材料应符合以下规定：粗骨料含泥量不应大于0.5%”。综合分析了混凝土塔筒构件大量生产数据，试验验证了以混凝土配合比（水泥：矿粉：硅灰：微珠：天然砂：机制砂：水：大石子：小石子：外加剂=430：150：40：30：370：370：147：680：300：8.9）的连续生产情况，跟踪同一产地、同一规格碎石从0.1%到0.5%范围的泥粉含量变化，通过自测数据比对，可知含泥量0.5%以内变化对混凝土的和易性和强度无明显影响。因此本规程参考GB 50164-2011的规定进行表述。

表3 粗骨料泥粉含量变化对混凝土性能影响对比表

碎石进场日期	泥粉含量	T500 (S)	扩展度(mm)	28d 标养强度 (MPa)
2024/2/27	0.80%	8	620	104.2
2024/3/11	0.50%	10	620	93.4
2023/12/22	0.40%	9	630	104.9
2023/12/2	0.30%	10	630	104.4
2023/8/25	0.20%	8	640	103.6

3、“细骨料宜采用洁净硬质的天然砂或机制砂。天然砂的细度模数宜为2.3~3.2，机制砂的细度模数宜为2.5~3.5，且细骨料的含泥量应不大于2.0%，泥块含量应不大于0.5%，氯离子含量应不大于0.02%。当采用机制砂时，石粉亚甲蓝（MB）值应小于1.4，石粉含量不应大于10%，压碎指标值应小于20%。细骨料的其他质量应符合《建设用砂》GB/T 14684的有关规定”的表述。目前我国大部分地区在生产混凝土时还是以天然砂作为主要的细骨料，而天然砂属于地方性不可再生资源，区域品质差异大，也不利于长距离运输。我国不少地区已出现天然砂资源枯竭，过量开采天然砂对自然环境造成的破坏问题也日益严重，使用机制砂代替天然砂已成为混凝土技术发展的重要组成部分。

对近一年来的生产原材料试验检测数据汇总，其中天然砂细度模数分布（如图4所示）中的下限均符合I类砂2.3~3.2下限要求，机制砂的细度模数以2.6~3.0区间为主（如图5所示）。细度模数低于2.6的细骨料为8批次，比例为2.1%，在混凝土配合比进行微调后混凝土各项技术指标符合要求，同期各地区混凝土各项性能指标未受影响，如同期中部、西部和北方混凝土强度波动均正常（如图6、

图7、图8所示)。混凝土塔筒构件的细骨料考虑“天然砂的细度模数宜为2.3~3.2, 机制砂的细度模数宜为2.5~3.5”的要求是综合考虑砂资源地域特点, 同时兼顾混凝土塔筒构件高强度混凝土对生产质量控制的要求, 并结合生产数据试验验证分析确定的细度模数范围。

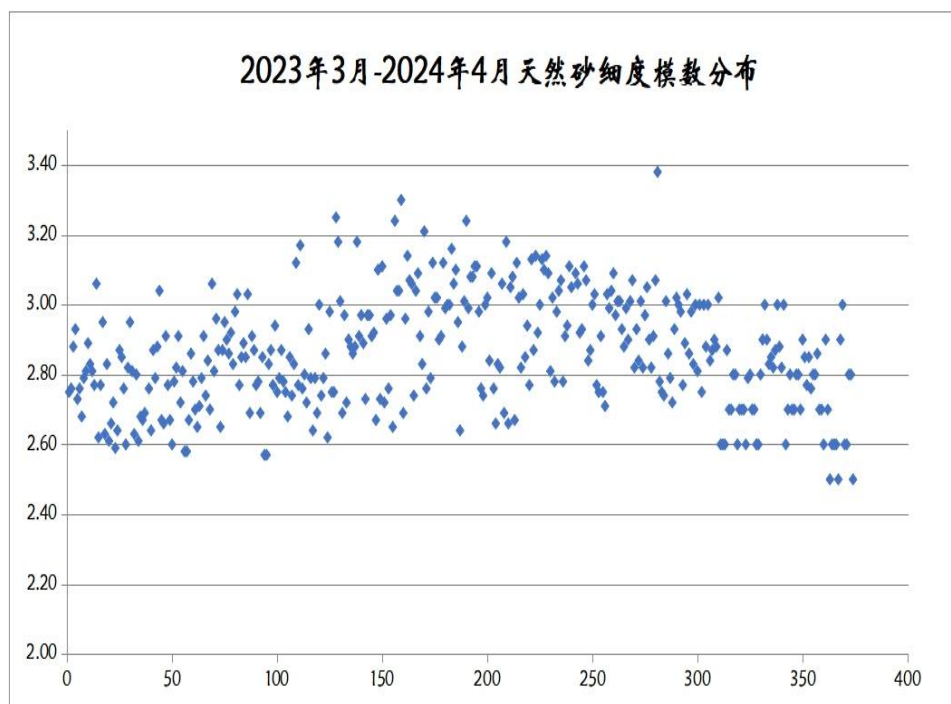


图4 天然砂细度模数分布



图5 机制砂细度模数分布



图6 中部地区混凝土28d强度波动曲线

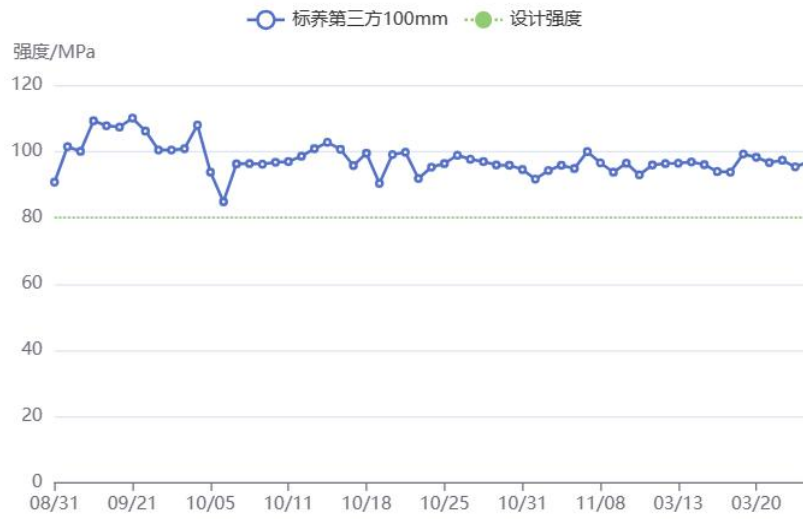


图7 西部地区混凝土28d强度波动曲线



图8 北方地区混凝土28d强度波动曲线

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%。

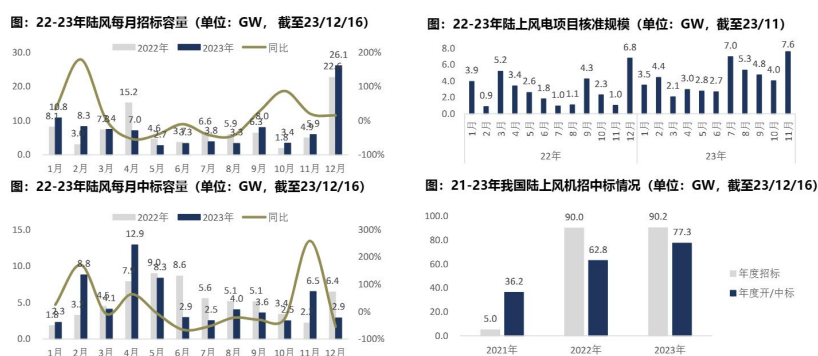


图9 中国风电陆风招标/中标量

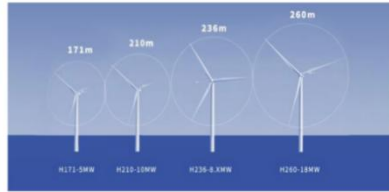
国家“双碳”政策提出后行业规划的多批陆上风光大基地资源的批量释放。陆风大基地项目、老旧机组改造、分散式核准制改备案制，共同推动“十四五”末期中国陆风进入装机高峰期。23年1-11月我国陆上风电核准项目规模达47.2GW，同比增长71.4%。进入23年下半年，风电项目核准规模较23年上半年显著增长。

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年新增长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。

中国海陆海上风机往大型化方向迭代的示意图



资料来源：GWEC、中国海装、BNEF、平安证券研究所



图 10 风机大型化趋势

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(%)

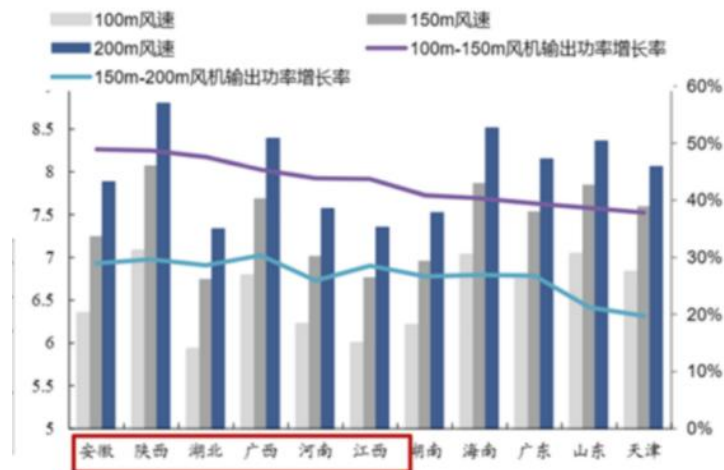


图 11 混塔经济性优势

风机大型化发展趋势下，钢混组合的混合塔架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 $>140\text{m}$ 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%。

对于钢混组合的混合塔架方案中重要的组成部分，混凝土塔筒占钢混塔架总造价的近 90%，因此，在产业化情况方面，混凝土塔筒为主体的风电钢混组合混合塔架在市场中已经在大量地推广应用。但是，混凝土塔筒没有专门的技术标准规范，用于指导构件的生产和质量管理，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。

在产业推广方面，本规程的制定，将会使混凝土塔筒构件的生产企业的经营和生产活动更为规范、产品质量过程管控有据可依，工程单位根据本规程能够进行合适的生产过程监督和质量验收，必将推动风电混合塔架产业的更大规模应用，为国家新能源政策发展助力，推动产业的规模化发展。

在推广应用论证方面，本规程的编制是在总结了混凝土塔筒构件生产企业大量的质量管理经验，借鉴了预制构件行业生产管理要求，以及参考相关国家行业现行标准规范基础上进行编制，具有其实施的可行性。本规程对于规范混凝土塔筒构件生产质量活动具有积极意义。本规程的内容已经过十几家生产企业、设计单位、高校、第三方机构以及工程使用单位的相关专家多次讨论确定了最终内容，值得在整个混凝土塔筒构件生产行业和工程应用领域推广应用。

在经济效益方面，本规程的编制和实施，将规范企业的生产质量管理，提升产品质量，必将使混凝土塔筒在现有行业规模化应用的基础上，扩大市场应用规模，也必将产生显著的经济效益。

六、采用国际标准和国外先进标准情况

本规程制定参考了国际电工委员会标准《Tower and foundation design requirements》IEC 61400-6 和欧洲标准《Common rules for precast concrete products》EN 13369:2018。

七、与现行相关法律、法规、规章及相关标准

现行国家标准《风力发电机组 塔架》GB/T 19072-2022，主要内容包括有风力发电机组塔架设计原则；钢塔架的设计、材料及生产制造要求；混凝土塔架的设计、材料、生产制造及吊装施工要求等，标准中主要内容中钢制塔架的设计、材料以及焊接制造加工、质量检验验收的要求内容详实，规定明确。针对混凝土塔架，重点规定混凝土塔架的设计计算方法和材料性能要求等，以及混凝土塔筒的施工安装，对于塔筒的生产制造部分技术和工艺质量控制等的具体措施和要求阐述较为简单，没有针对生产过程工艺控制技术质量要求作详细规定，以指导生产。

现行行业标准《风电机组混凝土-钢混合塔筒施工规范》NB/T 10908-2021主要内容包含有模板工程、钢筋工程、现浇混凝土塔筒施工、装配式混凝土塔筒施工、预应力工程等，标准的内容重点在于钢混组合混塔筒的生产施工全过程，包含了现浇混凝土塔筒部分的技术要求，对于目前市场主流的装配式混凝土塔筒内容部分，对于塔筒构件的生产技术及质量管理、工艺过程控制等具体要求阐述较少，且内容偏重于吊装施工技术要求，没有针对塔筒构件的工厂化生产技术质量控制要求进行详细的阐述和规定，对于生产工程的技术指导作用有限。

现行团体标准《风力发电机组预应力装配式混凝土塔筒技术规范》T/CEC 5008-2018 主要内容包括风电塔筒的设计、材料要求、基础设计及施工、塔筒构件生产、风电塔筒运输吊装及质量验收等，标准内容偏重于预应力装配混凝土塔筒的设计、生产及安装施工的全过程技术要求，针对混凝土塔筒构件生产的技术内容部分，只是做了简单的表述，无法满足生产企业在生产制造过程中的技术和质量管理的具体实施要求。

本规程的编制主要内容为装配式混凝土塔筒构件的生产技术质量控制要求，重点围绕混凝土塔筒构件生产的工艺设计、材料要求、生产过程控制质量及技术工艺要求进行，主要目的为指导构件的生产过程质量管理，侧重点与现行相关标准规范有区别，也是为了弥补现行标准中没有专门针对混凝土塔筒构件专门的技术标准规范的空缺。

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《陆上风力发电机组混凝土塔筒生产技术规程》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。