

ICS 27.180
CCS F 11

团 体 标 准

T/CERS 0066—2024 /T/EPTC 004-2024

构网型风力发电机组技术规范

Technical specifications for grid-forming wind turbine generators

2024-12-24发布

2024-12-24 实施

中国能源研究会

中关村智能电力产业技术联盟

发 布

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。

本文件由中国能源研究会提出，本文件由电能技术专业委员会归口。

本文件起草单位：国网冀北电力有限公司电力科学研究院、国网冀北电力有限公司、国网冀北张家口风光储输新能源有限公司、国网电力科学研究院有限公司、新疆金风科技股份有限公司、上海交通大学、华北电力大学（保定）、国家电投集团风电产业创新中心、南方电网数字电网科技（广东）有限公司。

本标准主要起草人：吴林林、刘辉、田云峰、孙大卫、王耀函、王潇、吴宇辉、王宣元、刘海涛、张东晖、龙凯华、才鸿飞、臧鹏、于思奇、邓晓洋、杨艳晨、孙雅旻、苏田宇、任怡娜、徐曼、王德胜、陈璨、巩宇、侯凯、过亮、孙素娟、杨志千、敬双、蔡旭、张琛、王晗、颜湘武、高本锋、杨建林、陈波。

目 次

引 言 4

构网型风力发电机组技术规范 5

1 范围 5

2 规范性引用文件 5

3 术语和定义 5

 3.1 构网型风力发电机组 grid-forming wind turbine generator; GFWG 5

 3.2 构网型风力发电机组有功调频系数 active power-frequency regulation coefficient of GFWG .. 5

 3.3 构网型风力发电机组无功调压系数 reactive power-voltage regulation coefficient of GFWG 6

 3.4 构网型风力发电机组惯性时间常数 inertia time constant of GFWG 6

 3.5 构网型风力发电机组惯量响应 inertia response of GFWG 6

 3.6 有功调频启动时间 pick-up time of active power-frequency regulation 7

 3.7 有功调频响应时间 response time of active power-frequency regulation 7

 3.8 有功调频调节时间 settling time of active power-frequency regulation 7

 3.9 构网型风力发电机组机端短路比 short-circuit ratio(SCR) of wind turbine terminal 7

4 基本原则 7

 4.1 同步基本功能 7

 4.2 功率控制基本功能 7

5 功能要求 7

 5.1 基本功能 7

 5.2 弱电网运行 8

 5.3 相位跳变 8

 5.4 一次调频 8

 5.5 无功调压 8

 5.6 惯量响应 8

 5.7 动态稳定 8

 5.8 故障穿越 8

6 性能要求 8

 6.1 一次调频 8

 6.2 无功调压 9

 6.3 惯量响应 9

 6.4 阻尼控制 9

 6.5 故障穿越 9

引 言

随着全球能源结构的转型和可再生能源的快速发展，风电作为清洁能源的重要组成部分，在电力系统中的装机容量和电量供应比例日益增加。然而，风电机组作为非同步发电机，其并网运行时对电网的频率和电压支撑能力有限，这在一定程度上影响了电网的安全稳定性。为了提升风电场的电网适应性和抗扰动能力，构网型风力发电机组技术应运而生，它通过模拟同步发电机的电压源特性，实现与电网的同步并提供必要的频率和电压支撑。目前，国内外尚未形成针对构网型风电机组的统一技术规范，这限制了技术的规范化发展和应用。

制定“构网型风力发电机组技术要求”标准的主要目的在于规范构网型风电机组的技术性能指标，确保其在并网运行时能够安全、稳定、高效地提供电网支撑服务。通过标准化的技术要求，推动构网型风电技术的规范化发展，促进风电场与电网的协调互动，提高电网对可再生能源的接纳能力和新能源的利用率。

该标准的制定和实施将对风电行业和电力系统产生深远影响。首先，它为构网型风电机组的设计、制造、测试和运行提供了明确的技术指导，有助于提升风电机组的性能和可靠性。其次，标准有助于统一行业内的技术要求，促进技术的交流与合作，推动构网型风电技术的创新和进步。此外，该标准还将增强电网对风电场的调控能力，提高电网的运行安全性和稳定性，为构建新型电力系统提供技术支持。最终，该标准的实施将促进风电资源的高效利用，推动能源结构的优化和环境保护，实现可持续发展目标。

构网型风力发电机组技术规范

1 范围

本文件规定了构网型风力发电机组的基本规定、功能要求和性能要求。

本文件适用于并入10kV及以上电压等级电网的构网型风电机组，并入10kV以下电压等级电网的分散式风电机组和微电网中采用孤网运行方式的构网型风电机组可参照此标准开展测试。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是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。

GB/T 12325-2008 电能质量 供电电压偏差

GB/T 12326-2008 电能质量 电压波动和闪变

GB/T 15543-2008 电能质量 三相电压不平衡

GB/T 15945-2008 电能质量 电力系统频率偏差

GB/T 14549-1993 电能质量 公用电网谐波

GB/T 19963.1-2021 风电场接入电力系统技术规定 第1部分：陆上风电

GB/T 20320-2013 风力发电机组 电能质量测量和评估方法

GB/T 36994-2018 风力发电机组 电网适应性测试规程

GB/T 36995-2018 风力发电机组 故障电压穿越能力测试规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

构网型风力发电机组 grid-forming wind turbine generator; GFWG

通过模拟同步机电压源特性实现与电网同步，使得输出的功率、电压特性与同步机相似的风力发电机组。

3.2

构网型风力发电机组有功调频系数 active power-frequency regulation coefficient of GFWG

构网型风力发电机组有功功率变化率标幺值与系统频率变化量标幺值的比值。

注：有功调频系数用 K_f 表示，计算方法如式（1）所示。用构网型风力发电机组有功功率变化量标幺值（以构网型风力发电机组额定有功功率为基准值）与系统频率变化量标幺值（以系统额定频率为基准值）的比值来表示。

$$K_f = -\frac{\Delta P / P_N}{\Delta f / f_N} \quad (1)$$

式中：

ΔP ——构网型风力发电机组有功功率的变化量， $\Delta P = P_e - P_0$ ， P_e 是频率变化后的构网型风力发电机组有功功率， P_0 是系统频率保持额定频率时的构网型风力发电机组有功功率，单位为兆瓦（MW）。

P_N ——构网型风力发电机组的额定有功功率，单位为兆瓦（MW）。

Δf ——系统频率的变化量， $\Delta f = f - f_N$ ， f 是频率变化后的系统频率，单位为赫兹（Hz）。

f_N ——系统额定频率，单位为赫兹（Hz）。

3.3

构网型风力发电机组无功调压系数 reactive power-voltage regulation coefficient of GFWG

构网型风力发电机组无功功率变化率标么值与并网点电压变化量标么值的比值。

注：无功调压系数用 K_V 表示，计算方法如式（2）所示。用构网型风力发电机组无功功率变化量标么值（以构网型风力发电机组额定容量为基准）与并网点电压幅值变化量标么值（以并网点所在电压等级对应的标称电压为基准）的比值来表示。

$$K_V = -\frac{\Delta Q / S_N}{\Delta U / U_N} \quad (2)$$

式中：

ΔQ ——构网型风力发电机组无功功率的变化量， $\Delta Q = Q - Q_0$ ， Q 是并网点电压变化后的构网型风力发电机组无功功率， Q_0 是并网点电压变化前的构网型风力发电机组无功功率，单位为兆乏（MVar）。

S_N ——构网型风力发电机组额定容量（视在功率），单位为兆伏安（MVA）。

ΔU 并网点电压幅值变化量， $\Delta U = U - U_0$ ， U 是变化后的构网型风力发电机组并网点电压， U_0 是变化前的构网型风力发电机组并网点电压，单位为千伏（kV）。

U_N ——并网点所在电压等级对应的标称电压，单位为千伏（kV）。

3.4

构网型风力发电机组惯性时间常数 inertia time constant of GFWG

构网型风力发电机组有功功率变化率标么值与系统频率变化率标么值的比值。

注：有功调频系数用 T_J 表示，计算方法如式（3）所示。用构网型风力发电机组有功功率变化量标么值（以构网型风力发电机组额定有功功率为基准值）与系统频率变化率标么值（以系统额定频率为基准值）的比值来表示。

$$T_J = -\frac{\Delta P / P_N}{df / dt / f_N} \quad (3)$$

式中：

T_J ——构网型风力发电机组惯量时间常数，单位为秒（s）；

df / dt ——频率变化率，单位为赫兹每秒（Hz/s）。

3.5

构网型风力发电机组惯量响应 inertia response of GFWG

构网型风力发电机组在系统频率变化率发生变化时, 输出有功功率产生相应变化的特性。

注1: 构网型风力发电机组惯量响应的电磁功率用 P_{inertia} 表示, 单位为兆瓦 (MW), 计算方法如式(4)所示。用构网型风力发电机组惯性时间常数乘以系统频率变化率标幺值再乘以机组额定有功功率。

$$P_{\text{inertia}} = -T_J \frac{df/dt}{f_N} P_N \quad (4)$$

式中:

P_{inertia} ——构网型风力发电机组惯量响应的电磁功率, 单位为千瓦 (kW);

3.6

有功调频启动时间 pick-up time of active power-frequency regulation

从系统频率升高或降低超过有功调频死区开始, 构网型风力发电机组实际有功功率变化量达到有功目标值和初始值之差的10%所需的时间。

3.7

有功调频响应时间 response time of active power-frequency regulation

从系统频率升高或降低超过有功调频死区开始, 构网型风力发电机组实际有功功率变化量达到有功目标值和初始值之差的90%所需的时间。

3.8

有功调频调节时间 settling time of active power-frequency regulation

从系统频率升高或降低超过有功调频死区开始, 构网型风力发电机组实际有功实测值与有功目标值之差的绝对值始终不超过有功目标值和初始值之差的绝对值5%的所需时间。

3.9

构网型风力发电机组机端短路比 short-circuit ratio(SCR) of wind turbine terminal

构网型风力发电机组升压变压器低压侧的短路容量与构网型风力发电机组额定容量之比。

4 基本原则

4.1 同步基本功能

构网型风力发电机组应具备不依靠锁相环即可与电网同步功能。

4.2 功率控制基本功能

构网型风力发电机组应具备GB/T 19963、NB/T 31078、NB/T 10314所规定的有功功率与无功功率控制相关要求。

5 功能要求

5.1 基本功能

构网型风力发电机组应具备弱电网稳定运行、适应相位跳变, 一次调频、无功调压、惯量响应、阻尼控制和故障穿越功能。

5.2 弱电网运行

构网型风力发电机组应具备弱电网稳定运行功能，在机端短路比（SCR）大于等于1.1小于等于10的电网接入条件下，构网型风力发电机组可连续稳定运行。

5.3 相位跳变

构网型风力发电机组应具备适应相位跳变的功能，在机端电压相位跳变幅度小于等于30°的扰动下构网型风力发电机组连续运行不脱网。

5.4 一次调频

构网型风力发电机组应具备参与电网频率调节的功能，当系统频率偏差值大于死区时，构网型风力发电机组应自动调节有功功率，进行一次调频。

5.5 无功调压

构网型风力发电机组应具备电网电压调节功能，当系统电压偏差值大于死区时，构网型风力发电机组应自动调节无功功率，进行无功调压。

5.6 惯量响应

构网型风力发电机组应具备惯量响应功能，当系统频率变化率大于死区时，构网型风力发电机组应自动调节有功功率，进行惯量响应。

5.7 动态稳定

构网型风力发电机组应具备阻尼控制功能，模拟同步机阻尼特性，使由外界作用或电力系统本身固有原因引起的功率振荡幅度逐渐下降，提高电力系统动态稳定性。

5.8 故障穿越

构网型风力发电机组应具备故障穿越功能，低电压和高电压和连续故障穿越要求应符合GB/T 36995的规定。

6 性能要求

6.1 一次调频

当系统频率偏差超出死区范围±(0.03~0.1) Hz范围，且构网型风力发电机组有功功率大于20% P_n 时，构网型风力发电机组应具备参与电力系统一次调频能力，并且构网型风力发电机组有功功率变化量 ΔP 应满足公式（4），构网型风力发电机组一次调频示例曲线如图1所示。

$$\Delta P = -K_f \times \frac{\Delta f}{f_n} \times P_n \quad (5)$$

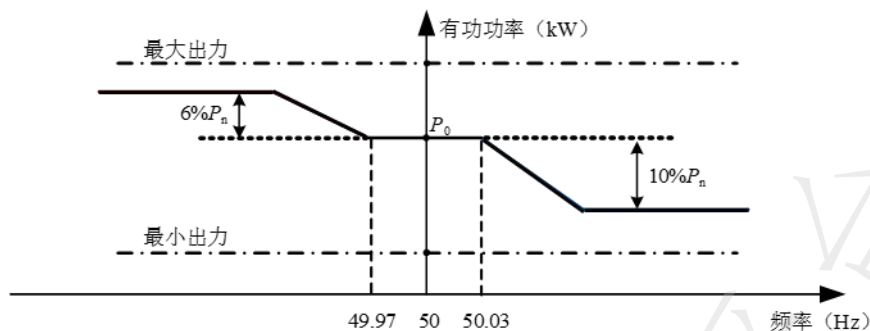


图 1 构网型风力发电机组一次调频示例曲线

有功调频系数一般设置为10~50（该值可根据电力系统实际情况确定）。

当电力系统频率大于50Hz时，构网型风力发电机组应根据一次调频曲线减小有功输出，减少功率的限幅可根据实际电力系统要求确定，宜为 $10\%P_n$ 。

当电力系统频率小于50Hz时，构网型风力发电机组应根据一次调频曲线增加有功输出，增加功率的限幅可根据实际电力系统要求确定，宜为 $6\%P_n$ 。

构网型风力发电机组一次调频调节时间应不大于15s，有功功率调节允许偏差不超过 $\pm 1\%P_n$ 。

构网型风力发电机组一次调频功能启动时间应不大于500ms，响应时间应不大于5s。

6.2 无功调压

构网型风力发电机组应具备多种无功控制模式，包括电压无功下垂控制、恒功率因数控制和恒无功功率控制等，具备快速响应电站无功控制指令，完成在线切换运行模式的能力。

在电压无功下垂控制模式下，构网型风力发电机组无功调压系数 K_v 宜在12.5~33.3范围内；无功功率响应时间应不大于50ms；无功功率控制允许偏差应在 $\pm 2\%S_N$ 以内。

6.3 惯量响应

构网型风力发电机组等效惯性时间常数 T_J 一般设置为0s~12s（该值可根据电力系统实际情况确定）。

构网型风力发电机组有功功率变化量响应时间 $\leq 100\text{ms}$ ，上升时间 $\leq 200\text{ms}$ ，调节时间 $\leq 500\text{ms}$ ，允许偏差不大于 $\pm 2\%P_N$ 。

6.4 阻尼控制

构网型风力发电机组在小于49Hz的频段内应提供正阻尼。

构网型风力发电机组在大于51Hz的频段内应提供正阻尼。

6.5 故障穿越

构网型风电机组低电压穿越功能在符合GB/T 36995的规定基础上，构网型风电机组自并网点电压跌落出现的时刻起，动态容性无功电流控制的响应时间不大于20ms。

构网型风电机组低电压穿越功能在符合GB/T 36995的规定基础上，构网型风电机组自并网点电压抬升出现的时刻起，动态感性无功电流控制的响应时间不大于15ms。

构网型风力发电机组技术规范

编 制 说 明

目 次

1 编制背景..... 12

2 编制主要原则..... 12

3 与其它标准文件的关系..... 12

4 主要工作过程..... 12

5 标准结构和内容..... 13

6 条文说明..... 13

1 编制背景

新型电力系统中风电既是装机与电量供应主体，也应是可靠供电的责任主体。但风电尚不具备火电机组的主动支撑频率和电压的能力，导致系统抗扰能力下降，安全稳定问题突出。“构网型”技术是实现新能源主动支撑能力的重要手段，因此，“构网型风力发电机”应运而生。

目前还未见针对构网型风电机组的技术规范对其功能进行标准化要求。亟需一套完整的构网型风电机组技术规范，同时分析不同接入机模式下构网型风电机组技术指标的适应性，从而实现管控简单、有序接入的目的。

为规范构网型风力发电机组技术性能指标，保障电网安全稳定运行，参照国家和行业现行有关技术标准，结合电网实际，制定了本技术规范。

通过本文件的制定和实施，为构网型风电机组的实验室及现场测试提供技术指导，引导构网型风电技术的规范化发展，保障电网安全稳定运行。

2 编制主要原则

本文件主要根据以下原则编制：

- 遵循标准化编制的“四性”要求：技术上的先进性和科学性、与国家法律法规和相关标准的协调性、标准发布实施上的可操作性。
- 贯彻执行国家的有关法律、法规和方针、政策，研究现行相关标准，做到技术先进、经济合理、安全适用、确保质量、保护环境、提高投资效益，保证电力工程安全和稳定运行。
- 充分考虑编制本文件的目的和必要性，总结近年来风电机组并网性能测试的实践经验 and 研究成果，加强调研，借鉴国内外成熟、先进的技术和方法，充分继承，合理改进，积极、谨慎、稳妥地采用新技术、新设备，保持本文件的先进性。
- 标准的编写符合统一的规定，内容编排上符合先共性、后个性的原则，做到内容完整、具体，用词简明，规定明确，不模棱两可。格式规范，逻辑严谨，结构清晰。
- 工作分工协作、落实责任，即严格控制进度计划、又确保质量。

3 与其他标准文件的关系

国内相关的标准包括：《风电机组发电机组第2部分：通用试验方法》（GB/T 19960.2-2005）、《风力发电机组 电网适应性测试规程》（GB/T 36994-2018）、《风力发电机组 故障电压穿越能力测试规程》（GB/T 36995-2018）、《风电机组电气仿真模型验证规程》（NB/T 31053-2021）等。

国外相关的技术规范包括：《Grid Code (GC) GC0137: Minimum Specification Required for Provision of GB Grid Forming (GBGF) Capability (formerly Virtual Synchronous Machine/VSM Capability)》、《FNN Guideline: Grid forming behaviour of HVDC systems and DC-connected PPMs》等。

本文件的适用范围限定于构网型风电机组，在并网性能测试内容、测试程序等方面填补了相关技术空白。

本文件不涉及专利、软件著作权等知识产权使用问题。

4 主要工作过程

2023年3月，国网冀北电力有限公司电力科学研究院（华北电力科学研究院有限责任公司）向中国能源研究会提出编制《构网型风力发电机组技术规范》的申请。

2023年6月，中国能源研究会批准该标准立项。

2023 年 7 月，由国网冀北电力有限公司电力科学研究院（华北电力科学研究院有限责任公司）、国网冀北电力有限公司电力调度控制中心等单位组成标准起草小组。

2023 年 8 月，标准起草小组完成编写大纲及人员分工。

2023 年 9 月-2024 年 6 月，通过对构网型风电机组并网特性的理论研究、建模仿真和控制器半实物硬件在环测试结果分析，标准起草小组召开第一次工作会议，组织邀请了 10 多位来自电网、高校和设备厂家的行业专家对标准修订重点、内容修改及调整形式进行了研讨并形成了基本统一意见。在此基础上，标准起草小组完成“征求意见稿”。

2024 年 7 月，向华北电力大学等单位征求意见，返回意见 15 条。根据意见修改形成送审稿。

2024 年 11 月，召开标准送审稿审查会，根据会议意见修改形成报批稿。

5 标准结构和内容

本文件为规范标准，在文件形式上具有典型结构，按照 GB/T 1.1—2020 和 GB/T 20001.5《标准编写规则 第 5 部分：规范标准》的规定起草。

本文件主题章分为 6 章和，其中第 5、6 章是本文件的核心内容，在构网型风力发电机组的功能要求、性能要求等方面提出了具体规范。

6 条文说明

本文件规定了构网型风电机组并网性能测试的测试内容、测试装置、测试程序、测试报告内容等。其主要内容如下：

- (1) 在第 1 章范围中，明确了标准的适用范围。
- (2) 在第 2 章规范性引用文件中，列入了本文件所引用的国家标准和行业标准。
- (3) 在第 3 章术语和定义中，定义了本文件中涉及的主要专业术语或名词。
- (4) 在第 4 章基本原则中，规定了构网型风力发电机组的同步基本要求和功率控制基本功能。
- (5) 在第 5 章功能要求中，逐项规定了构网型风力发电机组的基本功能、弱电网运行功能、相位跳变要求、一次调频要求、无功调压要求、惯量响应要求、动态稳定要求、故障穿越要求等功能要求内容。
- (6) 在第 6 章性能要求中，对一次调频、无功调压、惯量响应、阻尼控制、故障穿越功能的性能要求作了相应规定。