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要求

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

全国团体标准信息平台

目　　次

前言 II
引言 III
1　范围 1
2　规范性引用文件 1
3　术语和定义 1
4　基本原则 2
4.1　同步基本功能 2
4.2　功率控制基本功能 3
5　功能要求 3
5.1　基本功能 3
5.2　弱电网运行 3
5.3　相位跳变 3
5.4　一次调频 3
5.5　无功调压 3
5.6　惯量响应 3
5.7　动态稳定 3
5.8　故障穿越 3
6　性能要求 3
6.1　一次调频 3
6.2　无功调压 4
6.3　惯量响应 4
6.4　阻尼控制 4
6.5　故障穿越 4

全国团体标准信息平台

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。

本文件主要起草人：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。

全国团体标准信息平台

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。

全国团体标准信息平台

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。

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 14549-1993 电能质量 公用电网谐波
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 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幺值与并网点电压变化量标幺值的比值。

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幺值（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幺值（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幺值与系统频率变化率标幺值的比值。

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）与系统频率变化率标幺值（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：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。

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

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（5），构网型风力发电机组一次调频示例曲线如图1所示。

$$\Delta p = -K_f \times \frac{\Delta f}{f_N} \times P_n \quad (1)$$

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±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。

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。

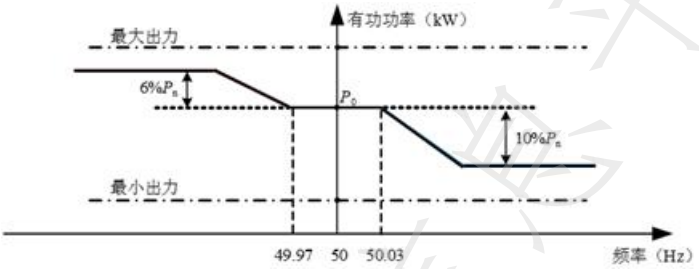

图 1　构网型风力发电机组一次调频示例曲线

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±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≤100ms，上升时间≤200ms，调节时间≤500ms，允许偏差不大于±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。