



REETC/TN001: 2020

升功率机组样机测试验证方案

Prototype test verification plan for power-increased wind turbine

2020-10-15 发布

2020-10-15 实施

可再生能源专家技术委员会 发布

版权声明

本文的著作权属于可再生能源专家技术委员会成员单位共有，任何成员单位不经其他成员单位同意不得直接或变相将本文全部或部分用于商业用途或市场宣传。对于违反此声明或者其他违法使用本文内容者，可再生能源专家技术委员会将依法追究其法律责任。

本文件起草召集人：王丹丹

本文件主要起草人员（按姓氏拼音排序）：蔡继峰，蔡志崧，陈思敏，高中华，胡代群，黄剑锋，李强松，唐建平，王伟，魏煜锋，文茂诗，巫发明，徐可，易权，余清清，曾兴国，张兆智，周民强，朱志权



目 次

1	范围	2
2	规范性引用文件	2
3	术语和定义	2
4	通用要求	3
5	载荷计算模型影响分析	3
5.1	气动模型	4
5.2	结构动力学模型	5
6	补充测试验证方案	5
6.1	载荷测量	5
6.2	齿轮箱现场挂机实验	5

升功率机组样机测试验证方案

1. 范围

IECRE OD-501 规定了已完成型式认证机组进行设计变更后的样机型式测试要求，变更内容包括额定功率、额定转速、叶片翼型以及其它对载荷有显著影响的变化等，其中额定功率增加超过 5%时需要进行新的型式测试。

本说明规定额定功率增加超过 5%，增加方式限于增加额定扭矩或同时改变额定转速的样机型式测试方案，其他设计变更后机组的型式测试方案也可参考。

升功率后机组的设计评估和部件型式试验按照 GB/T 35792-2018 和 GB/T 18451.1-2012 要求进行。

2. 规范性引用文件

下列引用文件对于本说明的应用是必不可少的。凡是注有日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本规范。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修订版）适用于本说明。

IECRE OD-501 Edition 2.0 2018-05-24 Type and Component Certification Scheme

GB/T 35792-2018 风力发电机组 合格测试及认证

GB/T 18451.1-2012 风力发电机组设计要求

GB/T 37257-2018 风力发电机组 机械载荷测量

GB/T 19073-2018 风力发电机组齿轮箱设计要求

3. 术语和定义

3.1

基础机型 basic wind turbine generator

指用于比较的风力发电机组，一般已完成或正在进行型式认证。

3.2

攻角 attack angle

来流合速度方向和翼型弦线的方向（前缘指向后缘）的夹角，也称迎角。

3.3

失速攻角 attack angle of stall

在零度攻角附近，升力系数随着攻角的增加而增加，但攻角增大到某一个角度时，攻角的继续增加反而会使升力系数降低，该角度称为失速攻角，也称临界攻角。

4. 通用要求

依据 GB/T 35792-2018，风电机组型式试验和样机相关的测试包含：安全及功能测试、功率特性测试、载荷测量和齿轮箱现场挂机试验。其中齿轮箱和发电机等关键部件的型式试验和适应性评估在设计评估和部件认证中完成，不属于本说明样机测试验证范畴。

安全及功能测试的目的是验证机组整体的控制保护系统功能是否能按照设计预期实现，功率增加对机组的各种功能无影响，无需进行额外的测试。

功率特性测量的目的是获得机组的实测功率曲线，若机组的额定功率发生变化，可根据实际项目情况或业主需求进行选择。

载荷测量的目的是验证载荷计算模型和方法的有效性，功率增加后机组的运行范围增大，需要分析新的运行范围对载荷模型的影响，根据分析结果确认补充测试验证方案。

齿轮箱现场挂机实验的目的是验证齿轮箱的振动特性是否满足标准要求，以及润滑及冷却系统的功能是否能按照设计预期实现。在完成升功率后的传动链动力学分析和齿轮箱的部件试验的基础上，提升功率小于等于 15%，可不进行额外测试；大于 15%时需进行补充测试。

综上，机组提升功率后的样机测试验证要求见表 4-1。

表 4-1 升功率后的样机测试验证要求

测试项	测试验证要求
安全及功能测试	无需进行额外测试
功率特性测试	根据实际需求选择
载荷测量	根据分析结果确认补充测试验证方案
齿轮箱现场挂机试验	提升功率小于等于 15%，无需额外测试；提升功率大于 15%需进行补充测试

5. 载荷计算模型影响分析

风电机组载荷计算模型包括气动模型和结构动力学模型。

5.1 气动模型

常规的气动模型是参考叶素动量理论，并使用二维翼型的升阻力系数和三维修正方法建立。当风电机组叶片运行的攻角接近或者超过失速攻角时，翼型升力随着攻角的增加反而降低，可能会使风电机组在某个模态下处于负阻尼状态，加大机组的载荷和振动从而诱发叶片的颤振等问题，也使得现有理论对这种情况下的气动分析结果存在较大局限性。

提升功率后可能会使机组的运行攻角范围增加，从而导致机组运行攻角接近甚至大于失速攻角，带来额外的失速风险。因此需要进行失速风险分析。

在基础机型得到有效验证的前提下，提升功率后新的攻角范围若无失速风险或相对基础机型并未显著增加失速风险，则无需额外的样机测试验证，反之则需要补充测试验证。失速风险分析方法如下：

1：分别对基础机型和提升功率后的机型在设计条件下的正常运行工况进行时序仿真，工况设置按照设计等级参考 GB/T 18451.1-2012 的正常运行工况 DLC1.2，选取额定风速-2m/s、额定风速-1m/s 和额定风速三个风速 bin 区间，每个风速区间种子数不少于 6 个。

2：计算每个风速 bin 区间内十分钟样本的各翼型运行攻角的平均值和标准差，并在风速 bin 区间内对多个样本取平均值和平均标准差，得到该风速 bin 区间下各翼型运行攻角平均值和平均标准差。

3：根据翼型所处叶片截面的不同位置选取相应的判断指标，当翼型的平均值和标准差满足一定的条件下，可以无需进行额外的样机测试验证，判断详见表 5-1。

表 5-1 失速风险分析方法

运行攻角分析区域	判断指标	无需额外测试验证的条件
距离叶根 2/3 处到叶尖区域	指标 1：所有 bin 区间满足提升功率后机组运行攻角的平均值+2.33 倍的标准差小于失速攻角。 指标 2：平均值最大的 bin 区间满足下式 提升功率后运行攻角平均值-基础机型运行攻角平均值 $\leq 0.5^\circ$	满足指标 1 或者满足指标 2
距离叶根 1/2 处到叶根 2/3 处	指标 1：所有 bin 区间满足提升功率后机组运行攻角的平均值+1.28 倍的标准差小于失速攻角。 指标 2：平均值最大的 bin 区间满足下式 提升功率后运行攻角平均值-基础机型运行攻角平均值 $\leq 0.5^\circ$	满足指标 1 或者满足指标 2

5.2 结构动力学模型

转速的倍频是系统激振力的主要来源，功率提升后机组正常运行的转速范围可能会增大，增加新的共振点从而带来额外的共振风险。因此结构动力学分析主要进行共振风险分析，具体分析方法如下：

对于新增转速区间内，分析 1P、3P、6P 激振力与系统固有频率的最小差异。

- 最小差异若大于等于 10%，无须额外的样机测试验证。
- 最小差异若小于 10%，需要结合模态阻尼和激振力能量来源分析是否存在共振可能（风险），无法明确时则需要通过补充样机测试验证。

6. 补充测试验证方案

6.1 载荷测量

对于第 5 章分析结果需要进行补充测试的情况，补充测试工况要求见表 6-1，其它采集系统要求同 GB/T 37257-2018。

表 6-1 补充测试工况

测试工况	测试变量	样本数	
额定风速-2m/s	塔底两个方向弯矩	不小于 6 个 10 分钟	或测试结果中有不少于 6 个 10 分钟内持续达到额定功率
额定风速		不小于 12 个 10 分钟	
额定风速+2m/s		不小于 6 个 10 分钟	

允许使用经过检定且处于有效期内的机舱风速计的采集获得测风数据。

测试结果与仿真结果的比对要求参考 IEC61400-13 附录 E。

6.2 齿轮箱现场挂机实验

升功率超过 15%时需要进行齿轮箱现场挂机实验，测试要求详见 GB/T19073-2018。