

××集团××有限公司兆瓦级风轮叶片评估案例

推荐机构：中国船级社质量认证公司

认证类型：产品设计评估认证

认证人员：姜峰、王树军等

一、案例背景

近年，风机事故频发，叶片作为风力发电机组最核心的部件之一，是直接吸收风载荷的主要承力部件。针对这一产品，评审过程是利用专用技术软件，对叶片产品设计方案中各影响要素、关键技术参数进行技术评审，核查其是否均满足国标和规范要求。

二、审核策划

风电叶片设计方案评估的重要内容分为两大部分：叶片气动设计方案的评估及结构设计方案的评估。在项目组成立的前期策划过程中，项目组由气动和结构设计两个专业的审核员组成，从总体气动（载荷）和结构强度两条线路，分别进行技术评审。总体气动性能（载荷）技术评审的主要工作包括：叶片稳态性能计算、共振风电评估、工况载荷计算、疲劳寿命分析等工作。结构强度技术评审主要包括：叶片频率、结构强度、刚度变形等工作。两条线路同时进行，互有交叉。

评估的过程为：气动设计方案中的工况载荷计算完成后，结构专业审核员进行强度校核并对叶片频率进行计算，结构计算的结果再提交给气动专业的审核员进行模型真实性比对，达到两条线路技术模拟的一致性。之后进行设计方案确认评审，包括型式试验大纲评审、现场试验见证、试验结果与设计方案数据对比等。最终，总结结论，给予评估意见。

三、主要的审核发现、沟通过程

1) 企业提供资料的确认过程

2011年10月11号，审核组收到了企业提供第一批技术资料。根据审核工作计划，项目启动的初期，审核组会选择两名经验丰富的审核人员，分别对提交资料进行初审，以确保设计评估每阶段工作所要求的资料齐全。同时

对资料的准确性进行初步评估，发现资料中问题，及时与厂家沟通，确保提交资料准确，无异议。设计评估的输入资料的确认防止了由于企业资料的数据不确定引起的进入大量仿真模拟计算环节中的重复计算发生，故这一环节至关重要。

此项目在这一过程中，确实发现若干问题，包括载荷模型中大量计算数据与《风电叶片设计说明》和《风电叶片技术参数》中数据不一致、《风电叶片设计载荷》中缺少关键分析结论，简要列举如下：

- 1、提交模型风轮直径为 102.492 米，而载荷计算报告中为 102.524 米，不一致。
- 2、提交模型叶片重量为 10328Kg，而载荷计算报告中为 10299Kg，不一致。
- 3、载荷计算报告中，缺少功率曲线、推力系数曲线、扭矩系数曲线、轴功率曲线。

在初审过程中，发现大量类似问题，及时与企业沟通，发送联系函，将具体问题提交给企业，企业经过核实，对此表示认同，并进行后续修改。重新提交《风电叶片设计说明》和《风电叶片技术参数》报告，保证了企业技术资料数据一致性和关键数据完整性，并使审核工作顺利向下进行。

2) 评估过程

审核发现一

完成初审工作后，进行大量仿真模拟计算阶段，分别评审叶片载荷设计和结构设计。在评审叶片载荷设计过程中，发现厂家在计算湍流风工况时，每个平均风速只使用一个随机风场（风文件）数据。由于湍流风文件是根据湍流谱经过反傅立叶变换，从频域生成时域的湍流风场，由于这种变换不是一一对应关系，不同的风种子，生成的湍流风的纵向、横向、竖向的三个方向分量的波动具有随机性，容易造成载荷计算结果的统计稳定性不好，那么当这种带有随机波动性的风模型作用到风机叶片上时，容易造成载荷计算结果的统计稳定性不好。例如，对于同一个载荷计算模型，不同的技术审核员，使用相同平均风速不同随机风种子生成的湍流风进行仿真，或同一技术审核员使用平均风速相同的两个不同的湍流风文件，获得的极限载荷计算结果经常会存在较大差异。

理论分析表明，同一平均风速如果使用多个不同随机风种子生成的风文件，能更好地模拟实际可能发生的湍流风。在此计算结果基础上，对载荷数据应用适当的统计技术进行处理，可以提高载荷的统计稳定性，使极限和疲劳载荷更逼近真实值。

项目组结合《风力发电机组规范》（中国船级社 2008 版）、实践经验及相关规范、标准，向企业家提出了更改意见，如下：

- a. 使用正常湍流模型（NTM）的工况（涉及工况 d1c1.1、d1c1.2 等），同一风速，建议使用至少 6 个不同风文件计算，对于计算结果，采取 Gumbel 或其它统计外推法进行统计。尤其是适用 IEC61400-1 第三版标准计算载荷情况下，d1c1.1 的每个风速至少使用 50 个风文件进行计算。并对其结果使用超越概率法进行外推，推出 50 年一遇极限载荷；
- b. 使用极端风模型（EWM）的工况（d1c6.1~d1c6.3，d1c7.1），一个风速下要使用至少 15 个不同的风种子下的风文件进行计算，从 15 套结果中取其中具有代表性的 3 个。首先统计出 15 套结果中三个叶片根部弯矩(M_{xy})的三个叶根中最大值（共 15 个），统计出塔顶弯矩 (M_{xy}) 的最大值（共 15 个），计算这些最大值的平均值，然后选出 3 套中最大值离 15 套中的平均最大值水平最近的载荷时间历程，利用这三个时间历程加入到所有设计载荷工况的极限载荷统计；
- c. 使用湍流风的 d1c1.2 和 d1c6.4 工况，建议每个风速使用 6 个风文件进行计算，在疲劳后处理中，每个风速的持续时间由这 6 个工况共同分配。

厂家对我方提议表示认可，并重新计算，再次提交《风电叶片设计载荷》和《风电叶片技术参数》。经过极限载荷数据比对，审核组发现企业极限载荷与我方计算载荷误差控制在 5%以内，满足规范要求。

审核发现二

在评审叶片结构设计过程中，技术审核员十分关注结构仿真建模与实际风机叶片之间存在的差异。如何确保仿真模拟叶片与实际叶片一致，保证仿真模拟的结果可信度较高。审核组根据“GB/T 25383-2010 风力发电机组风轮叶片”的相关规定，要求厂家进行叶片全尺寸结构试验，采取理论与实践结合的手段去验证。

在对企业提交的《风电叶片静力试验说明书》，进行评审时发现试验说明书中的载荷数值与设计载荷报告中的载荷数值不一致。分析相关数据发现1.5m 截面位置的载荷被赋予了在其后面一个站位的载荷数值，依次类推，发生整体串行，而且是向叶根方向串行，这将导致叶片每个工况的实际加载值都偏低，达不到规范要求，从而无法验证叶片是否满足实际运行过程中的强度要求。

企业对此问题进行了修改，重新正式提交纸质版《风电叶片静力试验说明书》；当进行叶片静力试验包括叶片频率试验和静强度试验时审核人员现场见证两项试验的整个过程，确保厂家试验人员严格按照试验说明书的内容进行试验，现场进行数据采集。

技术审核员依据厂家提交的试验报告，验证仿真模拟叶片的真实性。仿真还原试验大纲中要求试验工况，包括频率试验、静强度试验，

通过仿真计算结果与试验结果比对，验证了仿真模拟的可信度较高，在工程误差范围。评估结果满足规范及标准要求，厂家叶片结构设计合理。

四、受审核方主要改进方法及绩效

通过对企业的技术资料审核，帮助企业发现叶片设计过程中存在的数据一致性和关键数据完整性的问题，排除了叶片设计相关环节的疑点，为后续叶片生产提供有力保障，同时极大的降低了企业叶片发生重大事故的可能性。该企业年生产叶片 600 套，三只叶片为一套，那么总共是 1800 支叶片，控制好设计环节，避免企业蒙受重大损失。

帮助企业提高叶片设计能力，加强叶片载荷计算的合理性掌握了设计的最先进技术。保障叶片重量和选材在一个合理的控制区间范围内，可以极大提高企业叶片产品与风电整机匹配范围，同时降低叶片成本，提高该型号产品的市场竞争力。

企业通过更正重要试验数据，确保随之开展的批量生产的叶片质量控制满足风机运行需要，降低了再运行现场叶片维修/更换的成本，提高了企业的竞争力。