

## 一、专业实践训练整体情况

实践单位名称	浙江运达风电股份有限公司	
实践单位地点	杭州市西湖区文二路 391 号西湖国际大厦 18 楼	
实践岗位名称	项目助理	
专业实践训练时间	分段进行	2020 年 11 月 11 日开始 至 2021 年 05 月 31 日结束
		专业实践训练累计 201 天（单位考核前），其中项目研究天数 100 天（单位考核前）
<p><b>（1）基本概况（含实践单位简介、实习实践内容等）</b></p> <p>1、实践单位简介 浙江运达风电股份有限公司是浙江省机电集团控股的大型省属国有上市公司，我国新能源行业领军企业和浙江省最大的新能源装备制造企业，拥有全球四大研发中心、七大生产基地，业务涵盖风电机组研发和制造、新能源智慧服务、新能源开发等领域。公司自 1972 年开始自主设计和制造风电机组，是中国风电的拓荒者和创新者。2021 年公司营业收入达 160 亿元，新增吊装容量 7.64GW，位列全国第三名，营业收入和利润均达到历史新高，现全球装机超过 10000 台风机。</p> <p>2、实习实践内容 了解开发 SiteOpti®系统的项目概况、熟悉使用系统的各项功能、重点了解基于风轮面等效风速的发电量计算方法和致动盘尾流模型、完成系统测试及提出改进意见。</p>		
<p><b>（2）项目研究概述（含项目名称、项目来源、项目经费、主要研究目标和技术难点等）</b></p> <p>开发一套选址优化和风资源数据管理系统---SiteOpti®, 实现风资源工程项目管理、测风数据管理、风资源精确评估、多功能对象可视化、微观选址优化和风电机组选型等功能，能够完成风电项目的选址精细化设计。项目来源公司技术中心，经费来自公司研发费用，基于该系统，完成高效、全面的风资源技术解决方案，为风电场投标、风电场开发、风电场后市场提供高效、全面的风资源技术解决方案，降低风电场投资风险，提高风电项目风速评估的准确性。技术难点为模拟计算。</p>		

(3) 项目开展情况（含项目研究内容、研究方案及技术路线，研究团队分工、本人承担任务及完成情况，存在问题与改进建议等，不少于 500 字。）

#### 1、研究内容、方案及技术路线

1.1 多功能对象可视化开发 该功能用于提供风电场项目、测风塔以及各种计算结果的全局统计观察视角和展示。改功能可以在地图上标记出每个项目和测风塔的位置，实现拖动地图进行浏览，并执行所希望的操作，例如查看对象信息、打开对象、按一定的筛选条件显示灯。通过该功能可以清晰展示风电项目的宏观位置、模拟计算的中尺度、微尺度风能资源图谱等结果。

1.2 风资源模拟算法开发 单纯的微尺度 CFD 模型评估风资源的方法，已经被发现越来越不能适应低风速风电开发的高精度风资源评估需求。通过采用中尺度气象模式和微尺度数值模拟相结合的嵌套计算，能够有效提高风资源评估的精确度。技术研究和计算模型主要有微尺度 CFD 数值模拟、湍流计算模型、中尺度 WRF 计算模型、中微尺度风资源模拟嵌套计算模型。

1.3 测风数据分析与处理 该功能主要完成对测风塔的有效管理，自动接收测风塔实时数据实现测风数据分析报告的自动处理。也可手动导入测风数据。实现自动解析和数据质量的自动标记。可以对数据进行多种形式的统计分析和可视化展示，包括时间序列、玫瑰图、风频分布统计、湍流统计、风切变统计、日变化统计、月变化统计、年际统计等。同时提供数据质量可视化、自动标记、手动标记功能，基于同塔其他通道或其他测风数据的弥补功能，结合长期数据的代表年风速订正功能。

#### 2、团队分工、本人承担任务及完成情况

测试组主要完成中尺度 WRF 模式算法测试、测风数据分析和模块工程测试、项目管理和测风塔管理流程工程测试；设计组主要完成风电机数据库、知识库设计总控组主要完成硬件架构搭建和中微尺度系统的参数定义研究；本人在工程主要完成风场投资开发流程设计和系统流程分析。

## 二、专业实践训练收获

### (一) 围绕考核评价指标体系，举例说明以下收获（不少于 800 字）

#### 1. 知识掌握

##### 一、风资源评估理论知识

##### 1.1 风资源评估介绍

风能资源评估是分析待评估区域长期的风能资源气象参数的过程。通过对当地的风速、风向、气温、气压、空气密度等观测参数分析处理，估算出风功率密度和等效小时数等量化参数。主要用于评估风电场风能资源状况，为风电场前期设计方案（机组选型、机组排布方案、发电量预估、投资收益预估）提供数据支撑，从而提高风电场项目的投资收益并降低风险延长机组寿命。广义的风能资源评估是以风资源评估技术为核心进行风电场整体解决方案的优化设计。近十多年，风力发电在全球、在我国都保持了强劲的发展势头。然而，不可忽视的是，价格高，风况好，可盈利。随着我国风力发电竞价上网、平价政策的出台，风力发电的投资收益逐步被压缩。因此，对风资源精确性评估、提高风场内大气边界层流动的深入认识，对风电场的科学选址以及对风力机的合理布局，对我国风电健康、持续发展非常重要。

##### 1.2 风资源评估技术发展

2002 年以前主要利用地面气象站及探空气象站观测资料，外推风廓线，插值不同高度层的风资源分布来进行风资源评估，但气象站多数仅 10m，外推不确定性大。

2003-2010 年间主要利用线性数学模型来开展风资源评估理论，以测风塔数据为基础，考虑遮蔽物模型、粗糙度模型等，剔除地形地貌影响，得到该区域标准风图谱，外推到机位点。单价地形复杂指数（RIX）大于 0.3 的复杂地形下结果会失真。

2010 年以后计算流体力学 CFD 模型开始应用在风资源评估，计算流体力学数值仿真是将流体的数值求解用简化的雷诺时均方程（RANS）进行求解。改模型简化了风流体模型，湍流计算不准确，入口边界条件为假设模型。

2015 年以后利用中尺度 WRF 气象预报模式开始应用，中尺度预报模式和资料同化系统，多重嵌套、降尺度。优点是是不需要测风数据。但计算资源消耗大，微尺度地形影响考虑不足。

2016 年至今采用 CFD+WRF 模式，使用开源 CFD 对中尺度气象模型降尺度技术。引入以 LES 为求解方式的 CFD 模拟风电场技术；计算资源消耗大同时工程师的专业性对结果的影响较大。

#### 2. 能力提升

风资源评估行业相关标准和规范的学习，主要有中国可参考的《全国风能资源评价技术规定》，测风数据整理与分析是基于 GB/T 18710—2002 风电场风能资源评估方法；风资源评估计算基于 IEC61400-1 Ed.2（1999）标准/ IEC61400-1 Edition 3.0 Amendment-1 标准。系统的掌握了风电项目从前期的宏观选址、风资源分析和后评估等环节的流程设计和整体架构，了解和掌握了各流程和阶段的评估策略和手段，学习

了风资源相关的术语和参数，掌握了一些重要参数的意义和计算方法。学习到传统风资源评估方法存在两大局限性，目前我们主要采用微尺度 CFD 方法进行风资源评估，CFD 方法是在风电场区域内求解一组空气动力学控制方程，求解时需要在风电场区域边界处输入边界条件，包括风速、湍流、大气热稳定度。但是，由于风场范围很大，水平方向几 km 到几十 km，垂直方向 2-3km，没有有效设备能够获取边界处的准确大气边界条件，因此计算时采用理想状态下的大气边界条件，并且假定位均匀入流。但实际上，通常不满足理想状态、也不是均匀入流，大气热稳定度也是变化万千。

### 3. 素质养成

通过本次专业实践训练，系统地了解了风电项目评估的流程和设计，同时学习了风资源评估相关的理论知识和评估方法，初步具备了风资源评估工程师的能力和素质。

## （二）取得成效

### 一、技术创新

#### 1.1 基于风轮面等效风速的发电量计算方法

目前，发电量通过轮毂高度处的风速、风频分布和理论功率曲线计算得到。其中理论功率曲线是风力机发电功率与风速的关系曲线，通常采用风力机模拟工具在标准风况条件下计算得到，且采用动态功率曲线。但该发电量计算方法存在 2 方面的问题：

1) 风速在风轮面垂直距离上存在变化，即风切变，因此轮毂高度处单点的风速不能代表整个风轮面的风速；2) 在计算功率曲线时，风切变（风廓线）作为输入条件，通常被假定为指数型函数，且模型的切变指数为 0.2。然而，由于地形地貌和热力变化的影响，风电场的实际风切变通常不符合指数规律，且在不同的风电场、同一风电场内的不同位置存在较大变化。因此，由于风切变的影响，采用传统方法计算的风力机功率曲线和发电量，与实际情况相比存在较大差异。随着风力机叶轮直径不断增大，其扫风面受风切变的影响愈加不可忽视。现有研究表明，更准确的功率曲线定义方式是基于风轮面等效风速，而不是轮毂高度风速。结合风轮面等效风速的概念，建立了一种新的发电量评估方法。与传统发电量评估方法不同，该方法采用风轮面等效风速定义功率曲线，并通过理论功率曲线、风轮面等效风速及其风频分布计算发电量。由于风轮面等效风速能够表达风速在风轮面垂直方向的变化，因此该方法能够考虑风切变的影响。在该方法中，针对不同风力机位置处的风切变条件，不必多次重新计算功率曲线，具有较高的计算效率，具有较高的工程应用和推广价值。

#### 1.3 基于中微尺度耦合模式的风电场数值模拟研究

传统风资源评估方法在 CFD 计算时存在局限性，其假设均匀入流、假定大气边界层廓线、假定中性大气热稳定度，而实际流体是非均匀入流、不满足理想状态同时大气热稳定度变化万千，所以边界条件存在较大差异，导致风资源评估结果偏差较大；在综合计算时又存在无测风塔（大多数分散式风电项目）或者有测风塔但测风塔代表性不足（复杂山地、大范围风场等）。

基于以上传统风资源评估的局限和限制条件开展了基于中微尺度耦合模式的风电场数值模拟研究，其模式一为中尺度模拟数据替代测风塔数据，提供风速时间序列，即虚

拟测风塔；模式二是为传统微尺度 CFD 模型提供更贴近真实的大气边界层条件，把中尺度大气流场的边界条件作为 CFD 计算的初始输入，解决了 CFD 模型无法真正反映大气环流特性的难题，有效提升了风资源计算分析的精准性，提高风资源评估的计算精度。

二、成果转化、解决企业工程实际问题

2.1 工作效率提升。单个风电项目的选址方案计算时间从 7 天缩短到 3~4 天。常规项目的风资源分析与评估工作（测风数据处理、风资源分析报告编制）从 3 天缩短到 1 天。

2.2 解决了快速开发的分散式风电项目无测风塔，无法准确做风资源评估的问题。

2.3 解决了传统发电量评估中风切变的影响，尤其在低风速、大湍流环境下风切变对发电量评估的影响较大。

三、与学位论文撰写的相关程度

学位论文的选题是风储一体化设计，其中风资源分析部分理论和模型计算都来自于本实践训练内容。

3. 在校期间主要研究成果【含产品与样机、专利（含申请）、著作、软件著作权、论文、标准、获奖、成果转化等】

成果名称	类别含产品与样机、专利（含申请）、著作、软件著作权、论文、标准、获奖、成果转化等]	发表时间/授权或申请时间等	刊物名称/专利授权或申请号等	本人排名/总人数	学校排名/总参与单位数
------	---	---------------	----------------	----------	-------------

本人承诺

在专业实践训练及考核报告撰写过程中，如实提供材料，严守学术道德、遵循学术规范。

签字：柳立

2022年6月3日

### 三、考核评价

校外合作 导师(或现 场导师) 评价	<p>重点对研究生项目研究开展情况、职业素养、行业知识掌握、环境和岗位适应能力、工程实践能力、团队协作能力，以及通过技术创新、成果转化、解决工程实际问题等取得的经济和社会效益等方面的评价：</p> <p>在由公司技术中心牵头立项的适合风电项目评估的选址优化和风资源数据管理系统开发和测试过程中，做到了全程参与，主要负责测风塔信息和数据整理、平台搭建和设计以及平台的测试和反馈；</p> <p>做到了对风资源评估专业的基础知识了解和掌握，可以快速适应团队开发项目的整体安排和流程，岗位适应能力较好，工程实践能力和团队协作能力突出，同时还了解了公司机组的研发情况，对于现阶段风电项目风资源评估方面面临的问题进行了梳理，同时对现阶段前沿的理论也开展了学习，为后期毕业论文的撰写做了很好的铺垫。</p> <p>校外合作导师（或现场导师）签字：中新贺 2022年6月3日</p>
校内导师 评价	<p>重点对研究生科学素质、基础及专业知识掌握、技术创新能力、取得的研究成果、项目研究与学位论文撰写的相关程度等方面的评价：</p> <p>本次工程实践对研究生系统的掌握项目前期论证、设计以及实施方案的启动起到了较好的作用，对下一步学位论文的撰写提供了很好的帮助。同时专业实践的内容具备学科前沿的基础和专业知识的学习和掌握，在风资源评估专业国内的水平远不及国际，所以针对中国风电行业的发展还有很多内容需要深入讨论和研究，在训练过程中结合现阶段风资源评估遇到的问题提出了解决办法和创新思想，锻炼了独立思考解决问题的能力。</p> <p>校内导师签字：李焕海 2022年6月3日</p>

实践单位 过程考核 意见	实际实践开始时间:2020年11月11日 实际实践结束时间:2021年5月31日 专业实践训练累计天数:20/天 其中项目研究天数:100天 实践单位过程考核结果: <input type="checkbox"/> 优秀 <input checked="" type="checkbox"/> 良好 <input type="checkbox"/> 合格 <input type="checkbox"/> 不合格 审核签字并盖公章: 申新贤  2022年6月3日
最终考核 结果审核 备案	考核总成绩(由现场答辩考核成绩90%+单位过程考核成绩10%组成): 是否重修: <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 教学管理部(或相关分院)审核签字(公章): _____ 年 月 日

#### 四、相关支撑材料

在校期间主要研究成果【含产品与样机、专利（含申请）、著作、软件著作权、论文、标准、获奖、成果转化等】证明材料原件扫描件，具体提交要求如下：

1. 产品与样机扫描件包含企业证明材料（含产品与样机功能及创新性介绍、社会经济效益、个人贡献说明及相关照片等）。

2. 授权专利扫描件包含专利证书授权页；未授权专利扫描件包含专利受理书扫描件和专利请求书扫描件。

3. 著作扫描件包含封面、封底和版权页。

4. 软件著作权扫描件包含著作权证书和登记申请表。

5. 论文扫描件包含封面、封底、目录和论文全文（含收录证明）。

6. 标准扫描件包含封面、版权页、发布公告、前言和目次。

7. 获奖扫描件包含显示单位和个人排名的获奖证书。

8. 成果转化扫描件包含企业证明材料（含成果技术说明、社会经济效益、个人贡献说明及相关照片等）。