

永磁直驱风电机组有功功率预测控制方法研究

目录

摘 要	I
第 1 章 绪论	4
1.1 研究背景及意义	4
1.1.1 风力发电发展现状	4
1.1.2 研究背景	5
1.2 国内外风电机组研究现状	6
1.3 风电机组超短期功率预测研究现状	6
1.4 研究内容	7
第 2 章 风电机组的基本工作原理	10
2.1 风电机组的基本组成结构	10
2.2 风电机组空气动力学理论	11
2.2.1 风能转换基本原理	12
2.2.2 风能捕获原理	13
2.3 风电机组基础运行	15
2.4 本章小结	15
第三章 线性功率预测方法	15
3.1 线性功率预测	16
3.2 最小二乘法	16
3.2.1 一元线性模型	17
3.2.2 多元线性模型	18
3.3 支持向量机法	18
3.4 线性方法的特点	20
第四章 非线性功率预测方法	20
4.1 粒子群优化算法	20
4.1.1 算法核心启示	22

4.2.1BP 算法简述.....	23
4.2.2BP 神经网络算法的原理与步骤.....	23
4.2.3 激活函数的意义.....	25
第五章 风电短期功率预测及其仿真分析	26
5.1 数据来源以及样本集分析.....	26
5.1.1 相关数据来源.....	26
5.1.2 训练样本集和测试样本集分析.....	26
5.2 风电短期功率预测分析.....	28
5.3 本章小结.....	35
第6章 总结展望	38
6.1 总结	38
6.2 展望	38

摘 要

【风电机组 功率预测】

风能作为一种清洁能源，风能发电效率的提升在双碳目标的今天有着重大的研究意义，但是风能具有不确定性，因为风力发电会受到自然环境的约束，导致了这个过程中的转化效率无法达到百分之百，也就是会存在效率高低的问题，大自然界中的风具有随机性，波动性以及不确定性等特点。由于风力资源的不确定性以及随机性，因此加剧了电网发电调频等工作的困难，人们的生活也会受到大大的影响，对于整个的电力系统的运行和风电机组的运行都有着极大的影响。因此对于新一代能源的探索和研究显得特别重要，开展风电机组的功率预测，能够极度有效地提高电网运行的稳定性，大限度的保证电力系统的安全性。

关于风电功率超短期预测的不确定性分析，本文选取来四种预测算法来进行预测，分为线性与非线性，线性使用最小二乘法与支持向量机；利用最小二乘法可以对未知的数据进行求解，支持向量机；非线性使用粒子群优化算法与 BP 神经网络算法，粒子群优化算法与传统算法最大的不同就是它具有记忆性，能够根据自身的速度来进行搜索，BP 神经网络的优点是有多层结构，应用的最为广泛。选取了春夏两组具有明显区别的数据，具有很强的代表性。做好春夏这两个月，季节分明具有代表性挑选了 4 小时、一天、三天的测试集以及训练集，明确功率的输入和输出数据，分别制作好测试集和训练集，运行选取的四种算法程序。分别利用月的数据和季度的数据，来得出预测结论，总结出未来的预测趋势。对于某一大型风力发电厂近一年的风速、温度、风力、风电功率等这么多的数据进行筛选，通过集中研究几个月的数据来大概预测一年的数据，最后得出预测图，来比较四种方法的不同对于最终的预测结果的影响。

关键词：风电机组；风电功率超短期预测；线性预测算法；非线性预测算法；Matlab 仿真

第1章 绪论

1.1 研究背景及意义

如今这个高速发展的世界，电自从发明问世以来，就已经不可被取代了，成为人类生活必须用到的重要资源 Error! Reference source not found.。世界是在飞速发展的，因此人们对生活质量的要求也是更高。近些年来因为技术的提高以及对这个领域研究的进展顺利，所以使得我们对对于研究好风力发电有很大的意义。人类社会一直在进步，所以人们对于电的需求是越来越高的，更加依赖于电，基于此风电占有的比重越来越大，可是在整个风力发电的研究过程和实地考察中，存在风的不随机性和高间歇性（张铭泽，李梓晨, 2022）。预测风电场的结果来预测今后的趋势，目的主要就是为了提高我国风电的竞争力。现代社会对电力供应的安全可靠性性能的要求越来越高，电力安全作为工业的主导地位比以往任何一个时候都更加重要，因此首要考虑安全性问题，那么风力发电的重要性就不言而喻了。所以电力系统的规模不断壮大发展迅速。由于地球上的资源不是无穷无尽的，所以就存在资源不足的情况，导致了局部甚至全球的大面积停电事故（王思远，陈俊杰, 2023）。传统的发电资源早已经是灯枯油尽，这样的后果就是带来了一系列的恶性连锁反应，影响范围会越来越大，1965 年的加拿大与美国东北部停电事件、2006 年欧洲大停电、2012 年印度大停电事件这些都是我们人类为了发展经济工业的同时，使得传统的不可再生资源发电越来越少，所以才导致了影响巨大的停电事故，对我们日常的生活起居带来了很大的麻烦。因此对于电网和电力系统的安全运行成为了当前我国需要首先解决的问题，映射到风力发电这个层面，需要进行好对风电功率的超短期预测（刘雨晨，王宇翔, 2021），能够保证人们用电的便捷性以及可清洁性，因为风能是非常清洁的一种可再生能源。

1.1.1 风力发电发展现状

我国主要的电力形式就是风力发电，对大自然中的风进行利用开发，使得风能能够用于工业发电。当然也有其他种的发电形式，可是由于安全性以及清洁性的考虑，我在这里还是介绍风力发电。我国国土辽阔，横跨多个季风区，我国位于太平洋的西岸，因此其特殊的地理位置使得我国会形成十分明显的“季风现象”，正是由于季风显著，我国是风能资源储备十分丰富的国家，查阅相关资料可知，风能资源总储量约为 32.26 亿千瓦，能够开发利用的风能储量为 10 亿千瓦(杨涛宇，吴志强, 2021)。以上可以看出，虽然平常生活中我们能够感受到风的存在，从这些反馈中可见可是将其应用到工业发展生产中，就要有很严格的技术水平，为了提高我们的风能发电水平，刻苦钻研是迫在眉睫的(赵晨曦，黄嘉伟, 2022)。将风力的功率转变为风力发电最关键的是要进行风力的装机，这里就要介绍一下风电的装机容量这个基本概念。风电设备的装机容量指的是单一风电场正常运行的装机容量, 包括正常工作的装机容量、事故准备容量以及检修后的装机容量。

通过观察和查阅我国的地图，以及网上搜索可知“中国风能资源分布图”，由于我国东南沿海的海面上都拥有丰富的风能资源，该结果与理论预期基本相同，验证了早期研究中提出的概念，进一步巩固了该领域的理论结构。本研究不仅在方法论上提出了新的观点，对实践也有重要的指导价值。通过对比分析，本文发现预期结果与实际之间的偏差源于特定变量的影响，为未来研究明确了路径。于是就开始有了海上风力发电场这个设想，海上风力发电场本身就是一个理想的风力发电地区，因为当时我国东南沿海地区的经济发达，能源需求量也很大，环境条件较为便利，相对于内地来说，在东南沿海地区建立大型风电场的可行性是很高的。可是在内地，风力资源没有东南沿海的得天独厚，在建立风电场的时候，还需要解决持续风力发电的问题, 所以可想而知在内陆地区的风力发电工作要面临很多的艰难险阻(邓博文, 何雨婷, 2020)。

1.1.2 研究背景

能源是这个世界发展和发展经济增长的最根本的驱动力，没有能源就没有着发展的动力，能源是我们人类赖以生存的基础。世界的发展由最开始的木柴柴薪，到之后的钻木取火获取了火的使用，又经历了以煤和石油为主的时代，现在向可再生

能源转变，以天然气为主，同时水能、光能、电能、风能等可再生能源正在得到了广泛的利用。水能的利用需要考虑更多的因素，比如对当地的影响，对江河湖海的利用会对生态系统产生的影响等等，而对于风的利用，更多的是在技术上的完善

(周梓涵, 林子俊, 2019)。随着技术水平的提高和市场的不断扩大, 近些年来光伏发电快速发展, 到了 20 世纪 90 年代后期, 发展更为迅速。这清楚体现了对于风电功率预测, 现今有很多方法能够很有效的对风电功率进行研究与预测, 其中基于主成分分析与人工神经网络应用是一种统计方法, 通过正交变换将可能线性的变量转换成非线性的变量 Error! Reference source not found.。但是对于本课题来说, 选取的方法线性分为最小二乘以及支持向量机 Error! Reference source not found., 非线性为粒子群优化以及 BP 神经网络。

1.2 国内外风电机组研究现状

在国外这个大国际环境下, 世界上各个国家对风力发电的要求也都在急剧上升, 而发达国家则更加注意对风力发电进行开发利用, 因为它们能够使我们国家在工业上的发展更加有利, 因为它们的可再生性质才会受到这么多地区和国际社会的青睐和关注。通过查阅相关资料可以得知我国在风电领域如今的强大(吕思慧, 郑晓霞, 2023)。查阅中国财新网的一篇文章名为 2020 年中国风电装机量增 178%超过去年之和可以看出我国 2020 年风电新增装机量飙升, 达到 7167 万千瓦, 同比大增 178%(徐子和, 高志龙, 2022)。这一数字已超过此前三年装机量之和, 同时创下历年新增装机的纪录。1 月 20 日, 国家能源局开放透露了上述装机数字。2020 年前 11 个月中国风电装机为 2462 万千瓦, 这意味着 12 月单月装机量高达 4705 万千瓦, 是 1-11 月新增装机量的近两倍。2020 年初, 新冠疫情普遍影响工期约 3 个月, 特别是风电、光伏等新能源项目如不能按期投产, 将影响电价补贴, 赶不上政策限制并网时间节点, 项目收益率也将降低。据统计, 截止到了 2020 年底, 我国的总发电装机容量为 22 亿千瓦, 累计装机占比达到了新的 12.8%。我国由之前的世界中游水平如今跃升到了世界前列, 在风力发电这个领域, 我国的发展越来越好, 这在一定程度上见证了风电装机容量更是连年快步提升(孙天宇, 冯学文, 2022)。可以看出, 本文的研究成果与之前理论验证基本一致, 这不仅证实了研究方向的正确性, 也进一步加强了该领域现有理论框架的有效性和可靠性。本研究通过引入新的视角和方法论, 对既有理论进行了丰富和完善, 为未来研究奠定了更为坚实的基础, 并开辟了广阔的探索空间。这都是我国技术水平的提升和无数愿意奉献的科研人员共同努

力所带来的优异成果。

从全球的角度来说，近几年间的发展突飞猛进，当前我国的发展现状很好。国内外都有很不错的研究环境，因此在风力发电这个领域，也是大增长的趋势。世界的风力装机容量较之前的年份是大大增加的(刘雅婷，张学杰, 2020)。由此可见整体发展的大趋势是单体的容量大大提高了，技术水平有了显著地提升，将会有更多的专业技术人才对风力发电这个领域进行更深层次的研究，会带来更多的新方案和新技术，研究风力发电的团队将会越来越大，这对我国大力发展风力发电行业是挑战也是动力，更是机遇。

1.3 风电机组超短期功率预测研究现状

风电机组工作的一年中有十二个月份，四个季度的这些功率数据。从提供的我国某大型风电场中选取适当的月份，对其进行超短期预测，对预测之后的结果进行分析，使用包括线性以及非线性在内的多种算法模型，在当前这个大环境下，节能环保是发展的同时也要保证的，因为地球的资源有限，我国的资源更是有限的，这就要求对现有的生产工作方式进行分析和对将来发展方向的预测，但是长期预测明显会比短期预测效率低下，因此如何进行好超短期预测就显得尤为炼集中，选取最具特点性的季节和月份，这些月份的功率数据是一个小样本，这在某种程度上揭露将一整年的十二月数据拆分成多个小集合的数据，比如一三五、二四六为一个组合，先训练前一组，之后训练下一组别，这样两组的训练结果和数据会有个明显的对比，再通过对下一组进行对比分析，就可以达到超短期预测的目的(陈志豪，许梓晨, 2022)。

1.4 研究内容

本课题主要研究线性和非线性回归的风电机组超短期功率预测并进行对比分析。主要内容有主要对线性算法以及非线性算法进行了解和学习。本文需要用到四种不同的算法，分别包含了线性算法以及非线性算法，线性预测算法主要选取了最小二乘法和支持向量机算法，非线性预测算法选取了 BP 神经网络算法和优化粒子群算法

Error! Reference source not found.。

(1) 确定常见的线性功率预测方法和非线性功率预测算法

(2) 利用 Matlab 电脑编程软件实现线性功率预测方法和非线性功率预测模型

(3) 利用季节数据训练线性和非线性功率预测模型，并利用训练后的数据对风电场功率进行超短期预测，对比分析线性功率预测和非线性功率预测各自特点。

(4) 利用月数据训练线性和非线性功率预测模型，并利用训练后的数据对风电场功率进行超短期预测，对比分析线性功率预测和非线性功率预测模型。

本文题目为对比分析线性与非线性的风电机组超短期功率预测，本文大致的章节安排如下：

第一章为绪论部分，主要讲述了本文研究的课题方向以及风电功率的研究发展现状，为开篇部分。

第二章讲述了风电机组的相关知识，诸如基础组成、空气动力学理论、机组功率特性。

第三章介绍了重头戏，即介绍了线性概念，提出了两种线性预测方法最小二乘法和支持向量机。

第四章介绍了非线性的概念，提出了非线性的两种方法粒子群优化和 BP 神经网络。

第五章为仿真部分，为代码运行结果。

第六章为总结和展望。

下图为本论文的总体章节流程图。

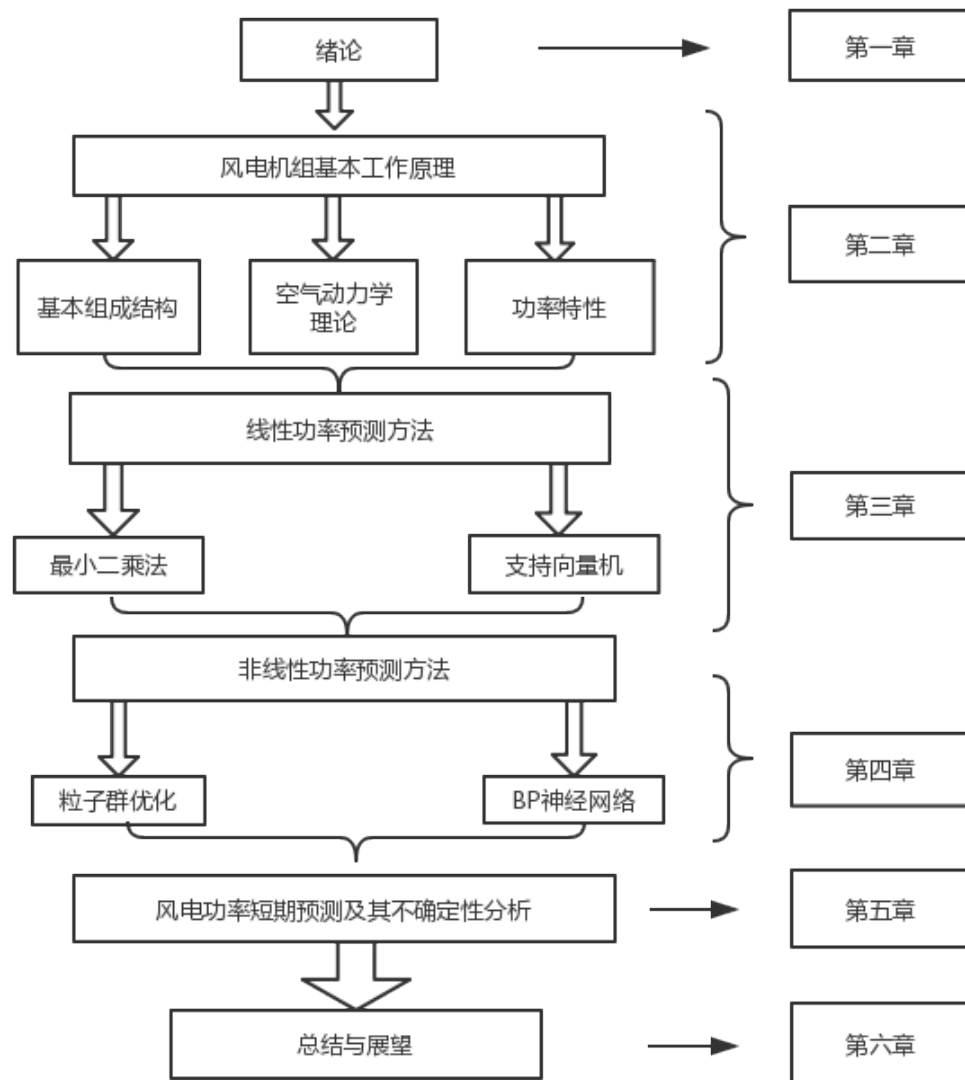


图 1 总体流程图

第 2 章 风电机组的基本工作原理

风力发电机组主要为风轮和发电。机风轮依靠叶片承受风力而旋转运行,发电机机头运行。风力发电电源主要由风力发电机构、支持着发电机构运行的塔架、蓄电池充放大器、和蓄电池这些单元组成。风电机组在运行过程中,是能够将自然界中的风能吸收,然后通过自身的转化,最后通过通电设备转化为能够使用的电能,这是一整个工作过程。那么在机组的正常工作当中,都需要保证此风电机组的频率是恒定的,这样可以提高工作效率减少误差(李冰洁, 王宇豪, 2022)。结论与预期的一致性为实际应用提供了理论支撑,表明基于这些理论发展的技术或策略是高效且可行的。本研究不仅在理论上做出贡献,在实践应用方面同样具有重要价值。然而,尽管现阶段的结果令人鼓舞,本文仍需认识到科学研究的动态特性和复杂性,持续关注新出现的情况和挑战,不断调整和优化研究策略。要想确保风电发生的频率是恒定的,一种做法就是确保风力驱动器的转速恒定,从这些分析中看出即是发电机转速恒频运行,另一种做法则是确保风力驱动器的转速会随着发生风速的变化,通过它们作为其他方法的手段,来确保发电机在转子上的输出功率恒定,即是发生了变速恒频的运行(刘昊然, 张云飞, 2023)。风力发电机组的工作原理简单来说就是 风的动能转化成发电机转子的动能,转子的动能随即又转化为电能。当前我国这些建造完工的发电场中,有许许多多的工业风车,风车们会依赖于吹过来的风,让风叶开始转动,从而能够带动风车内部的系统和机械,再连接到工业设备上,当流经的风速足够大时,就能带动发电机进行运作发电,把自然界中的风转变成可供社会使用的电能,而且此方法行之有效。依靠现有的风车发电技术,这在一定范围上展示大约是每秒三公尺的微风速度,这里的微风速度是指微风的程度,便可以开始发电。大型常见的结构是横轴式三叶片风轮,较为新颖的设计通常都是可以进行变速运转,利用这种可以进行变速的操作,风轮在空气动力效果上可以有明显的改进和优化,从而获得了更多的能源(赵琳娜, 杨文凯, 2022)。

2.1 风电机组的基本组成结构

风电机组的基本组成结构较为复杂，因为机组通常都承担了许多的工作任务与研究任务。它的主要组成部分有发电机、台架、塔架、传动链、高速轴、低速轴、轮毂、调速机构等，主要靠的是外界的风被吸收进风电机组，从而带动内部的发电机运作，使得整个机器开始工作。

2.2 风电机组空气动力学理论

风能曾经是蒸汽机发明之前最重要的动力来源，几千年之前，世界上远远没有飞机的时候，人们都是通过使用帆船运输物资，通过风力来推动帆船前进(梁梓和, 刘芷怡, 2019)。几千年之后，也就是如今的世界，世界各国为了各自的发展大肆使用能源，近年来，传统能源逐枯竭，石油煤矿等资源被大加开采，从这些反馈中可见对环境产生了不可逆转的污染，控制质量下降，绿色植被更多的被黄沙覆盖，南北极的冰山融化等等，使得人类开始将目光看向新能源，对新能源的利用刻不容缓。风能作为自古以来就非常清洁的能源得到人们更多的重视。本文介绍对比分析超短期的风电功率预测，就要用到风电机组，风电机组空气动力学的相关问题其实就是风轮叶片的空气动力问题。上述结果为后续研究提供了有意义的启示，强调了理论与实证研究相结合的重要性。本研究表明，构建理论框架时充分考虑实际数据和案例的支持，可以显著提高理论的解释力和预测能力。这不仅有助于更好地理解现有现象，也为未来新情况的应对提供了思路。包括了四个基本的理论，这里介绍其中两种理论分别为动量理论与叶素理论(吴欣妍, 赵嘉琪, 2019)。

(1) 动量理论

主要从对于风轮的尾流进行两种研究。不旋转的时候, 风能利用系数可以推导得

到 $C_p = 4a(1 - a)^2$ 其中 a 为轴向诱导系数，也称速度减少率。当时

$a = 1/3$ ，风轮功率系数最大约为 0.593，表明在无误差的理想条件下，风轮至少可吸收 59.3% 的风力，并且可以将风轮作为风能。风轮发生尾流而旋转时，这一瞬间的风轮功率系数可以被定义成如下的数学表达式(张瑾瑜, 孙国强, 2019)：

$$C_p = C_p(\lambda, \beta) \tag{2.1}$$

$$\text{叶尖速度比为}\lambda, \quad \lambda = \frac{2\pi Rn}{v} \quad (2.2)$$

典型风电机组的风轮功率系数可用如下数学表达式：

$$C_p(\lambda, \beta) = c_1 \left(\frac{c_2}{\lambda_i} - c_3 \beta - c_4 \right) e^{\frac{-c_5}{\lambda_i}} + c_6 \lambda \quad (2.3)$$

$$\frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{\lambda + 0.08\beta} - \frac{0.035}{\beta^3 + 1} \quad (2.4)$$

(2) 叶素理论

所谓叶素理论是一种数学模型，在工业和研究科学领域中很常用的一种数学模型。叶素理论可以对风电机组的叶片进行设计，也可以对其整个的表现进行评价分析，整个的表现是指在设计的整个过程中。该理论是较为完善的数学理论模型，对风轮的叶片设计，能够对风轮的各种部件参数进行确定工作，几何参数包括风轮直径，气动翼型，扭转角等等参数，这清楚体现了使用叶素数学模型能够大约估算出每个叶片的受力，这样是对测量主轴的输出功率和转矩是很有帮助的，能够减少很多无用功时间，提高运算速度和效率(许婷雨，李建伟, 2019)。任何理论模型都是现实世界的一种简化表示，因此难免包含一些假设和近似处理。这可能导致模型未能完全捕捉所有相关变量及其复杂的交互作用，从而引发偏差。为了解决这个问题，本文不仅依赖于广泛认可的理论基础，还结合最新的研究发现来完善和调整本文的分析框架。在讨论研究结果时，本文也特别注意区分哪些结论是基于特定假设得出的，哪些具备更广泛的解释力。

2.2.1 风能转换基本原理

这里引入气流的概念进行介绍，所谓气流是在气象天气领域常见的一个学术语言，通俗一点说气流就是一直流动着的空气。风其实就是来源于空气的动能，由于太阳辐射而产生，所以下式提出即为气流的动能表达式(周云峰，王海龙, 2022)：

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \quad (2.5)$$

引入了气流动能之后，根据物理定律，要求出气流所具有的质量。按照气体的质量公式，能够推导出体积为 V 的气流的质量：

$$m = \rho V = \rho S v \quad (2.6)$$

再根据物理常识，质量能够由体积与密度的数学乘积表示，因此这里用体积与密度替代式(2.6)中的质量，将空气气流的表达如下所示：

$$E = \frac{1}{2} \rho S v^3 \quad (2.7)$$

风力发电的原理相对来说比较复杂。对风能转换原理公式化表述之后，也要从实际部分出发去理解。风力发电的原理实际上就是风带动了风车叶片进行旋转，旋转之后会带动其中的发电机，发电机启动发电(高梓铭, 吕俊杰, 2022)。更加严谨的来说，由于每个风轮叶片的不对称性，叶片的横截面的前后左右不是完全对称，因此当自然风流经每个叶片时，流速都是不一样的，就会使得叶片周围各个方向的压强都是不一样的，上方压强会小于下方压强，故而会使得叶片形成较大的压力差，这在某种程度上揭露这个压力之间的差值足以令风轮进行旋转，而且旋转的强度会很大的，旋转的强度越大，压力值越大，从而叶片就会连带着风轮旋转的角度会越来越大(杨清晨, 魏晓明, 2021)。

2.2.2 风能捕获原理

如果按照风电机组的气动理论中的贝兹定理，风轮的工作状态是理想状态，需要对风能的捕获进行讨论，自然界中风是取之不尽的，但是如何将这些风的能量转换成电能，就需要研究风电机组的风能捕获原理，要求所选取的风电场中的风电机组能够最大限度的吸收风并且转换成电能。

对于这里本小结要讨论的风能捕获原理，其实有三种常见的控制算法，诸如最佳叶尖速比、爬山以及功率反馈法，但是这里这三种方法在这里不做过多介绍，了解即可(王俊宁, 李博涛, 2022)。

根据能量守恒定律可知，风轮产生机械能往往只有在空气动能减少时才能发生，则有 v_2 小于 v_1 ， $S_2 > S_1$ 。

状态连续条件可知(张明杰, 孙昊宇, 2021):

$$S_1 v_1 = S v = S_2 v_2 \quad (2.8)$$

风在风轮上面所产生的作用力为:

$$F = \rho S v (v_1 - v_2) \quad (2.9)$$

吸收功率为:

$$P = F v = \rho S v^2 (v_1 - v_2) \quad (2.10)$$

整个过程中的能量变化为:

$$\Delta E = \frac{1}{2} \rho S v (v_1^2 - v_2^2) \quad (2.11)$$

$P = \Delta E$, 则有:

$$v = \frac{v_1 - v_2}{2} \quad (2.12)$$

功率可以改写成:

$$F = \frac{1}{2} \rho S v (v_1^2 - v_2^2) \quad (2.13)$$

$$P = \frac{1}{4} \rho S v (v_1^2 - v_2^2) (v_1 + v_2) \quad (2.14)$$

微分处理, 即得到如下(2.15):

$$\frac{dP}{dv_2} = \frac{1}{4} \rho S v (v_1^2 - 2v_1 v_2 - 3v_2^2) \quad (2.15)$$

假设这个表达式的结果为 0, 这是推导出可吸收最大功率的数学前提, 所以可以得到 $v_2 = \frac{v_1}{3}$, 则通过式(2.6)最大功率为((唐嘉欣, 叶婉清, 2021), 2022):

$$P_{\max} = \frac{8}{27} \rho S v_1^3 \quad (2.16)$$

可以计算出最大风能利用系数, 物理意义实际上是将风能转换成电能的转换效率, 可由(2.17)式求出:

$$C_{p\max} = \frac{P_{\max}}{\frac{1}{2} \rho S v_1^3} = \frac{16}{27} \approx 0.593 \quad (2.17)$$

由式(2.17)可以知道贝兹理论的极限值为 0.593。它是风电机组的最大风能利用率，同时它也说明了一个情况，这在某种程度上体现了即风电机组捕获的风能的能力并不是没有限度的，而是有限的，这是因为在能量转换的过程往往会伴随着能量损耗的现象，这就导致了风电机组吸收的功率会降低(何炳辉，周志鹏, 2022)。研究进程中不可避免地遇到了一些挑战和局限性，例如在采纳已有理论框架时，尽量关注其适用性和局限性，并尝试用实证数据来测试和完善这些框架，这依然是一个不断更新的过程。这个功率损失值有很强的差异性，会因为风电机组的不同而有着不同的值，所以风电机组的 C_p 一定是小于 0.593 这个极限值的。就现在的风电机组来说，所能达到的风能利用系数大约在 0.4~0.5 之间，也就是说吸收功率的高低最能直观体现出风电机的好坏，比较高性能的风力机的机能实际上能达到 0.45-0.47。

风电机组中还有两个特别重要的参数：叶尖速比 λ 和风轮桨距角 β ，它们组成了功率因数 $C_p(\lambda, \beta)$ 的函数，按照贝兹理论，得出风轮从风能中捕获的机械功率为(吴怡霏，赵云鹏, 2020)：

$$P_m = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 C_p(\lambda, \beta) v^3 \quad (2.18)$$

2.3 风电机组基础运行

要引入风电功率预测，首要的就需要介绍风电机组，由于风能转化成电能要经历风电机组进行转化，因此本章对风电机组的基础运行做一个基础的介绍，从而对风电机组在整个功率预测的工作原理有基本的认识。

根据风速范围进行划分，能够简要的分为三个基础阶段(陈欣怡，高文婷, 2020)：

第一阶段：启动区，在该区域内的风速是小于切入风速的，风电机组逐渐进入到运行阶段。

第二阶段：最大风能捕获区，也是风电机组主要的工作区，在该区域内的风速大于切入风速且小于额定风速。使风电机组能够尽可能多的捕获更多的风能，为了捕获的风能够保证全数被吸收进风电机组内，所以对风速是有要求的。

第三阶段：额定功率区，这个区域的风速应当是额定的风速，而且切出的风速应

当是。在该范围内,要求风电机组输出功率始终保持在额定容量。

2.4 本章小结

本章的主要内容介绍了了风电机组的空气动力学理论并进行了较为详细的分析,在掌握风电机组的基本组成结构的基础上又学习了风能捕获原理,基于此提出了风速变化会给整个风能发电过程带来的影响,从这些分析中看出在此基础上分析了能对风电机组的输出功率产生影响的几个重要参数,分析了风电机组的功率特性(李思博, 孙凌云, 2022)。最后通过对风速的划分的风电机组的三个运行阶段的分析,重点介绍了第二阶段最大风能捕获区的相关知识。介绍了风电机组相关概念以及基本组成结构,并且还全面的分析了风速的变化对预测过程的影响,能够基本了解工作任务,能够为接下来选取方法并对其进行详细介绍打下基础。

第三章 线性功率预测方法

本章的主要内容为介绍线性功率预测方法的相关概念以及列举了两种常见的线性预测方法Error! Reference source not found.,最小二乘法以及支持向量机法,并分别对这两种方法单独做了介绍,介绍这两种方法的基本原理。并且为了突出两种方法之间的特点和区别,引用相关实例,由于二者的运行代码并不相同,因此最终得出的结果也大不相同,所以使用两种不同的代码对一个问题进行代入运算,得出的结果加以分析和对比,能够更加直观的发现这二者的区别。

3.1 线性功率预测

线性预测法是指依据已有的取样点,按照线性函数进行计算出某个离散取值的数学方法。在工业生产过程中,会碰到很多数字信号,在对于数字信号的处理中,线性预测一般也叫做线性预测编码(赵若颖, 郭翔宇, 2022)。线性回归预测法在统计学领域中属于一个常见的名词,一元线性回归分析预测方法,就是根据风电场的自变量 x 与因变量 y 之间的相互关系,由于这篇论文所要研究的就是对风电场的功率作出预测,因而并非只能被一个可以接近的因素所影响,必须要针对如何影响风电场功率的多种可接近因素作出全面的分析。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/168002076120007037>