

基于多元动态时间规整和 SSA-KELM 的日前光伏发电功率预测模型研究与设计

20201060366 20201060488 20201120591 20201060372

项目简介：

随着全球变暖、化石资源枯竭等问题的日益严重，光伏发电具有低成本、零污染以及资源丰富等优点而被视为最有潜力的可再生能源发电技术，然而光伏发电具有明显的间歇性和随机波动性。本项目旨在现有研究的基础上，针对传统光伏发电功率日前预测模型存在的相似日选取不准确、预测精度不足以及参数选择随意性强等问题，提出了一种新颖的基于多元动态时间规整（Multivariate Dynamic Time Warping, MDTW）和麻雀搜索算法（Sparrow Search Algorithm, SSA）优化核极限学习机（Kernel Extreme Learning Machine, KELM）的光伏发电功率日前预测模型。在现有的研究基础上，运用熵权法构造 MDTW 算法以挑选出与待预测日气象特征相似度较高的历史日训练集；其次，引入高斯核函数来替代传统极限学习机神经网络的隐含层随机映射，并使用 SSA 对惩罚系数等模型参数进行快速寻优；最后将所选相似历史日的气象特征和输出功率作为训练数据，进而运用 SSA-KELM 算法来建立预测模型。所提模型相比于 ELM、GA-ELM、GA-KELM 等现有预测模型具有更高的预测精度，可以更好地满足光伏发电功率日前预测建模的应用要求。

负责人参与科研情况：

- 1) 2022 年 参加校级大学生数学建模竞赛；

指导教师承担科研课题情况：

指导教师：云南大学信息学院李鹏，近年来以智慧能源系统为研究背景，重点开展了复杂工程系统过程监测与控制的基础研究和应用开发工作。主要研究内容包括：能源互联网用户负荷特性分析、预测与多能互动优化；物联网环境下高压输配电设备安全预警、故障诊断与运维决策；电力信息物理融合系统可靠性分析与攻击检测。主持国家级课题 2 项，省部级重点课题 1 项、面上课题 2 项，云南电网等企业委托课题 4 项；参与完成国家重点研发计划（863 课题）1 项。第一完成人获云南省科技进步三等奖 1 项、云南电网公司科技进步三等奖 1 项，主要完成人获南方电网科技进步二等奖 1 项、中国电力企业联合会电力创新二等奖 1 项，云南电网公司科技进步一等奖 1 项。第 1 作者或通讯作者在《Measurement》、《WIREs DMKD》、《电子学报（英文版）》、《仪器仪表学报》等国内外重要核心期刊发表论 文 40 余篇，其中 SCI/EI 期刊论文 20 余篇；第一发明人授权国家发明专利 3 项。

指导教师对本项目的支持情况：

确定项目的研究内容、研究意义以及技术路线和方法，在项目成员研究过程中提出建设性的有效意见，对项目成员解决研究瓶颈期提供理论指导；为开发提供必要的软硬件环境和资源；为本项目安排硕士生进行必要的研发指导；指导将相关成果转化为学术论文和相关应用。

研究目的：随着全球变暖、化石资源枯竭等问题的日益严重，可再生能源发电在世界范围内得到了极大地发展。其中光伏发电具有低成本、零污染以及资源丰富等优点而被视为最有潜力的可再生能源发电技术。然而光伏发电具有明显的间歇性和随机波动性，这使得大规模光伏并网会对电网的安全稳定运行带来巨大威胁。因此，开发光伏发电功率预测模型对电力系统的安全稳定运行尤为重要。以光伏电站输出功率日前预测作为研究对象，具体为对未来一天的光伏发电功率进行预测。因为光伏发电数据的非线性，目前光伏发电功率预测模型多采用具有强大非线性回归拟合能力的神经网络算法，但仍存在人为地确定隐含层节点数且待优化的参数过多，算法的收敛速度和预测精度仍然无法让人满意的问题。另日升日落、天气变换等原因，实际光伏发电具有明显的间歇性、随机波动性以及内在规律性，这导致了不同气象条件的日光伏发电功率曲线具有明显的差异。因此，相关研究往往先通过相似日理论来选取与待预测日气象特征相似度高的部分历史日数据作为训练集，然后再建立预测模型。现有相似日选取主要是在考虑各种气象因素的基础上采用欧式距离、皮尔逊相关分析、灰色关联分析等方法，但是欧式距离无法有效地体现气象特征曲线之间的形态变化相似性，而皮尔逊相关分析、灰色关联分析无法有效地衡量气象特征曲线之间的数值距离相似性。为了更好地实现光伏发电，本项目旨在针对光伏发电数据进行预测，研究目的主要有：

1) 使相似日选取方法同时衡量气象特征曲线数值距离相似性和形态变化相似性：现有相似日选取主要是在考虑各种气象因素的基础上采用欧式距离、皮尔逊相关分析、灰色关联分析等方法，但是欧式距离无法有效地体现气象特征曲线之间的形态变化相似性，而皮尔逊相关分析、灰色关联分析无法有效地衡量气象特征曲线之间的数值距离相似性。因此本项目旨在通过使用熵权法来构造 MDTW 算法，克服传统相似日选取方法无法同时衡量气象特征曲线数值距离相似性和形态变化相似性的弊端。

2) 提高光伏发电预测的准确度和运行鲁棒性：在最新的研究中，往往采用智能优化算法对 ELM 的输入权值和隐含层偏置进行优化确定。这虽然一定程度上克服了 ELM 隐含层随机映射的弊端，但是仍然需要人为地确定隐含层节点数且待优化的参数过多，这使得算法的收敛速度和预测精度仍然无法让人满意。因此本项目旨在通过引入高斯核函数来替代 ELM 的隐含层随机映射，弥补了 ELM 预测精度不足和运行鲁棒性较差的缺陷，并使用 SSA 对惩罚系数等模型参数进行快速寻优来进行光伏发电功率预测。

对光伏发电的预测，本质上是为了能更加高效、科学地提高能源需求侧的提供能力，实现绿色环保的能源需求。而高精度抗干扰的光伏发电预测，对于保证光能发电系统经济、安全和可靠运行具有重要作用。因此本项目旨在建立能应用于实际光伏发电预测的模型，并旨在能够以此作为光能发电系统进行更有效地高效发电的依据之一。

研究内容：

有效的相似日选取方法应该同时考虑气象特征曲线之间的数值距离相似性和形态变化相似性。但传统的欧式距离和皮尔逊相关分析和灰色关联分析都只考虑了一部分，并未全面。另外实际的光伏发电功率受到太阳辐照度、组件温度、环境温度以及相对湿度等多元气象特

征的影响且影响程度不同，因此相似日选取方法还应该考虑不同气象特征的重要程度。因此本项目是打算建立基于多元动态时间规整（Multivariate Dynamic Time Warping, MDTW）和麻雀搜索算法（Sparrow Search Algorithm, SSA）优化核极限学习机（Kernel Extreme Learning Machine, KELM）的光伏发电功率日前预测模型，实现对光伏发电更准确地预测，具体的研究内容如下：

1) 研究 MDTW 算法在相似日选取上的运用：

针对现有研究所提出的传统的动态时间规整（DTW）算法在相似日选取上对多元气象特征考虑不周到的问题，及传统的欧式距离和皮尔逊相关分析和灰色关联分析在相似日选取上气象特征曲线之间的数值距离相似性和形态变化相似性上无法同时衡量的问题，本项目旨在通过建立基于 MDTW 算法的日前光伏发电功率预测模型来提高日前光伏发电功率预测精度。考虑到不同气象特征对光伏发电功率预测效果的影响程度不同，本项目拟首先采用熵权法来为多元气象特征曲线之间的 DTW 距离进行加权，从而更好地衡量多元气象特征曲线之间的相似性。例如太阳辐照度、组件温度、环境温度、相对湿度等多元气象特征，按照各自对相似日选取的影响不同，使其有各自的权重比，对多元气象特征曲线的 DTW 距离进行加权，从而构造多元动态时间规整（MDTW）距离来衡量多元气象特征曲线之间的数值距离相似性和形态变化相似性，设定固定相似日选取天数，将与待预测日 MDTW 距离最近的固定天数的历史日选取为相似日，从而得到与待预测日气象特征相似度更高的历史日数据。

2) 研究 SSA-KELM 算法的核极限学习机预测网络建立及模型参数优化：

针对 ELM 中出现的网络的预测精度稍显不足且预测结果不稳定使得模型鲁棒性较差的问题，本项目拟通过引入高斯核函数来替代 ELM 的隐含层随机映射以弥补 ELM 预测精度不足和运行鲁棒性较差的缺陷，并以此来搭建核极限学习机预测网络结构。针对 KELM 的参数：惩罚系数和核函数难以人为地进行最优化选取的问题，本项目拟采用麻雀智能搜索算法（SSA），对惩罚系数和核函数进行参数寻优，提高模型的准确性，有效地进行最优化选取，从而减少该模型的人工成本。

国内外研究现状和发展动态：

为了实现光伏发电量的准确预测，需要建立科学的预测模型。常见的预测模型主要可以分为四类，即基于统计模型的预测模型、基于神经网络的预测模型、基于机器学习的预测模型和基于深度学习的预测模型。

基于统计模型的预测模型

基于统计模型的预测模型主要采用时间序列分析方法对历史数据进行拟合预测。例如，ARIMA 模型（Autoregressive Integrated Moving Average）将时间序列分解成趋势、季节性和随机性三个部分进行模型拟合，以得出光伏发电的预测值。ARIMA 模型在短期预测方面表现良好，但在长期预测方面存在误差。另外，SARIMA 模型（Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average）是 ARIMA 模型的延伸，可以用于季节性数据的预测。ARIMA 模型在光伏发电预测方面被广泛应用。例如，文献[1]中利用 ARIMA 模型对中国西北某地区的光伏发电进行预测，并与其他模型进行比较，结果表明 ARIMA 模型在预测精度、稳定性和适用性等方面表现优秀。SARIMA 模型也被用于光伏发电量的季节性预测，例如，文献[2]中利用 SARIMA 模型对新疆某地区的光伏发电进行了季节性预测，并取得了较好的预测效果。

基于神经网络的预测模型

基于神经网络的预测模型主要利用人工神经网络对历史数据进行拟合预测。例如，BP神经网络（Back Propagation Neural Network）是一种全连接的前馈神经网络，能够解决回归问题和分类问题。BP神经网络在中短期预测方面表现良好，但在长期预测方面存在误差。此外，RBF神经网络（Radial Basis Function Network）是一种含有径向基函数的神经网络，常用于处理非线性问题。LSTM神经网络则是一种基于循环神经网络的预测模型，解决了长期依赖问题。LSTM在短期和中期预测方面表现优秀，但在长期预测方面仍存在不足。BP神经网络在光伏发电预测方面也有广泛的应用。例如，文献[3]中利用BP神经网络对福建某地区的光伏发电进行了预测，得到了较好的预测结果。RBF神经网络在光伏发电量预测方面也有一定应用，例如，文献[4]通过对比不同模型的预测效果，发现采用RBF神经网络进行光伏发电预测的效果最好。

基于机器学习的预测模型

基于机器学习的预测模型主要利用支持向量机、随机森林等机器学习算法对历史数据进行拟合预测。例如，SVM模型（Support Vector Machine）是一种基于最大间隔分类的机器学习模型，能够构建核函数将数据映射到高维空间，然后进行分类或回归分析。SVM模型在预测精度和泛化能力方面表现良好，但需要大量计算资源。此外，随机森林模型（Random Forest）是一种集成学习方法，将多个决策树组合起来对数据进行分类或回归分析。随机森林模型在预测精度和泛化能力方面表现良好，但同样需要较大的计算资源。SVM模型在光伏发电预测方面也有应用，例如，文献[5]中利用SVM模型对湖南某光伏电站的发电量进行预测，并与其他模型进行比较，结果表明SVM模型在预测精度上表现优秀。随机森林模型在光伏发电预测方面也有应用，例如，文献[6]中利用随机森林模型对某光伏电站的日发电量进行预测，结果表明该模型在预测效果上表现优异。

基于深度学习的预测模型

基于深度学习的预测模型主要利用卷积神经网络和循环神经网络对历史数据进行拟合预测。例如，LSTM模型是一种基于循环神经网络的预测模型，解决了长期依赖问题。LSTM神经网络在短期和中期预测方面表现优秀，但在长期预测方面存在不足。此外，CNN模型（Convolutional Neural Network）通常用于图像处理领域，但也可以用于时间序列的预测。LSTM神经网络在光伏发电预测方面也有应用，例如，文献[7]中利用LSTM神经网络对广东某地区的光伏发电进行预测，结果表明LSTM模型在预测精度上表现良好。CNN模型在光伏发电预测方面的应用较少，但仍有一些研究，例如，文献[8]中结合CNN模型和LSTM模型对光伏发电进行了预测，得到了较好的预测效果。

发展动态

近年来，随着人工智能技术的发展，光伏发电预测模型的研究也取得了不小的进展。其中，最主流的方法包括多元线性回归模型、支持向量机模型、神经网络模型、基于时间序列的ARIMA模型等。虽然已经有许多预测模型被提出并用于光伏发电预测，但仍存在着一些挑战和难点。例如，预测模型需要考虑多种因素的影响，如天气、季节、地理位置等，如何将这些因素融合到预测模型中是当前研究的一个重要方向。此外，如何有效地处理大规模数据，以及减少预测误差等也是需要解决的问题。未来的研究方向还包括推动预测模型在实际生产中的应用，并探索新的预测模型。总的来说，光伏发电预测模型的研究仍具有广泛而深远的意义。总体来说，随着科学技术的不断进步，光伏发电预测模型的研究也在不断发展。针对不同的预测需求和实际应用场景，我们可以选择不同的方法，并不断探索创新，提高模型的预测精度和实时性。

参考文献

- [1] 王丹阳, 杜德斌, 吴晓巍. 基于 ARIMA 模型的光伏发电功率短期预测[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(19): 114-120.
- [2] 蒋俊, 董玉凤, 安徽. 基于 SARIMA 模型的光伏发电量季节性预测[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(8): 157-163.
- [3] 徐海波, 王美珠. 基于 BP 神经网络的福建光伏发电预测[J]. 电子技术应用, 2016, 42(4): 86-88.
- [4] 张扬, 李政, 马丽. 基于灰度关联分析和 RBF 神经网络的光伏发电量预测[J]. 陕西电力, 2019, 47(2): 11-14.
- [5] 陈靖江, 李云芝, 黄亚. 基于 SVM 模型的光伏电站发电量预测研究[J]. 煤炭技术, 2019, 38(2): 127-129.
- [6] 郑磊, 肖丽萍. 基于随机森林的光伏发电日发电量预测研究[J]. 电力学报, 2018, 33(7): 1447-1453.
- [7] 张宇, 吴毅成, 苏明. 基于 LSTM 和时间序列的光伏发电预测[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(6): 171-177.
- [8] 任文斌, 吴钦瑞, 张永伟. 基于 CNN-LSTM 模型的光伏发电短期预测[J]. 现代电力, 2021, 38(2): 58-63.

创新点与项目特色

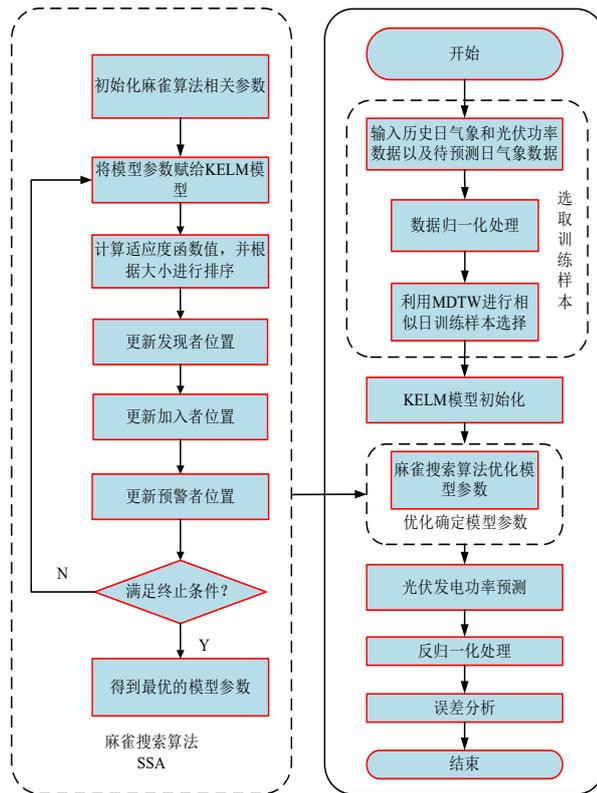
本项目的创新点与项目特色如下:

1) 相比于现有的研究, 本项目拟首先在相似日选取上, 采用 MDTW 算法, 按照不同气象特征对光伏发电功率预测效果的影响程度不同, 采用熵权法来为多元气象特征曲线之间的 DTW 距离进行加权, 从历史数据库中选取到与待测日气象特征最相似的历史日, 兼顾了气象特征曲线之间的数值距离相似性和形态变化相似性, 考虑了多元气象特征的影响及其影响程度, 有效提高了光伏发电功率预测的准确率。

2) 本项目拟采用麻雀搜索算法优化核极限学习机 (SSA-KELM), 即用高斯核函数来代替原始 ELM 的隐含层随机映射过程建立核极限学习机预测网络结构, 其非线性映射能力强; 并使用一种新颖的麻雀搜索算法 (SSA) 来优化模型参数, 进而在保留 ELM 快速学习能力的同时, 克服了其预测精度不足和运行鲁棒性较差的弊端。

技术路线:

本项目的技术路线主要为: 1) 光伏发电数据的预处理 (包括误差处理、归一化); 2) 采用 MDTW 算法选取建模所用训练样本即相似日选取; 3) 采用 SSA-KELM 算法搭建核极限学习机预测网络, 优化选择模型参数, 将气象特征 (太阳辐照度、组件温度、环境温度、相对湿度) 作为输入变量映射到高维特征空间中, 并在此特征空间中进行光伏发电功率下线性回归预测。总技术路线框图如图一:



图一

光伏发电预测总技术路线框图其具体技术路线内容如下：

1、研究 MDTW 算法在相似日选取上的应用：

①进行数据的预处理以便于拟合：

根据正态分布原则，找出异常的光伏发电数据，并根据前后相同时间下的光伏发电采用不同权重进行该异常光伏发电数据的校正，并进行光伏发电数据的归一化处理，避免了原始光伏输出功率和气象特征的值相差较大，导致建模时出现“大数吃小数”的现象。

②采用 MDTW 算法进行相似日选取：

确定模型的输入变量，即太阳辐照度、组件温度、环境温度以及相对湿度四种气象特征。运用 MDTW 算法从历史数据库中选取与待测日气象特征最相似的历史日作为训练集进行建模。根据所构造的 MDTW 距离，相似日选取方法主要有两种：一种是设定距离阈值，将与待预测日 MDTW 距离低于阈值的历史日选取为相似日。另一种是设定固定相似日选取天数，将与待预测日 MDTW 距离最近的固定天数的历史日选取为相似日，进而作为训练样本集。为了与其他相似日选取方法进行比较，我们选择第二种。这样在相似日选取上就可以更好地衡量多元气象特征曲线之间的相似性了。

2、研究 SSA-KELM 算法的核极限学习机预测网络建立及模型参数优化：

①搭建核极限学习机预测网络：

极限学习机(extreme learning machine, ELM) 作为一种学习速度快、泛化能力强的新型神经网络逐渐受到建模工程师们的青睐。然而，由于 ELM 的输入权重矩阵和隐含层偏置向量是随机生成的，这使得网络的预测精度稍显不足且预测结果不稳定使得模型鲁棒性较差。所以我们拟用核函数代替了 ELM 中的隐含层特征映射过程，选用非线性映射能力强的高斯核函数来搭建网络结构。

②优化选择模型参数:

KELM 的参数主要有惩罚系数和核函数宽度。其中, 惩罚系数的值越大, 则模型越容易出现过拟合; 惩罚系数的值越小, 则模型越容易出现欠拟合。核函数宽度则表征样本数据非线性映射到高维特征空间分布的复杂程度, 核函数宽度越小, 则模型越容易出现过拟合; 核函数宽度越大, 则模型越容易出现欠拟合。综上, 惩罚系数和核函数宽度的选取对模型预测效果起到了至关重要的作用, 且难以人为地进行最优化选取。我们拟采用麻雀智能搜索算法 (SSA) 对上述两者进行参数寻优。确定最终的回归预测函数。据所选取的相似历史日样本集训练 SSA-KELM 模型, 可以得到光伏发电功率预测模型的最优回归函数, 有效降低了该光伏发电预测模型的人工成本, 提高了其预测的准确度, 提高了模型的鲁棒性, 使得该光伏发电预测模型有了较强的实际预测能力。

可行性分析:

本项目的可行性较高, 具体原因有以下几点:

1、项目环境较好, 有一定的现有研究基础:

①光伏发电功率预测是近年来的热门问题, 有较多的现有研究基础以及类别丰富数据集作为项目研究对象, 能够提供评估模型预测效果的方法。

②目前已经有较好的传统的极限学习机 (ELM)、遗传算法优化的极限学习机 (GA-ELM)、遗传算法优化的核极限学习机 (GA-KELM) 等对负荷预测的理论指导, 从而可以指导本项目更好地分析麻雀搜索算法优化的核极限学习机 (SSA-KELM) 对光伏发电预测时的问题, 进而能够提供对其改进的理论依据。

③现有的优化器种类众多, 且针对不同的模型, 有着不同理论指导的优化器, 因此在提出光伏发电预测的模型后, 可在此基础上进行针对该模型进行优化器的合理改进, 以达到预测预测结果更精确的目的。

2、导师经验丰富, 项目成员有一定的基础:

①项目的指导教师为云南大学信息学院的李鹏老师, 有多年的研究光伏发电的相关算法的经验, 并主持光伏发电相关的国家自然科学基金和重点课题, 指导过多位学生研究光伏发电的相关问题, 因此, 能够对本项目提供较充足有效的理论指导, 对项目成员遇到难以解决的问题时能提供一定指导, 从而指导项目成员顺利完成该项目的研究。

②本项目成员具有一定的编程基础和深度学习理论知识储备, 对 MATLAB、C、PYTHON 等编程语言有一定的掌握, 同时, 项目成员有一定的相关算法理论基础并曾用深度学习的相关算法应用于实践, 且对分析预测类问题的处理有一定的理论和实践基础。

拟解决的问题:

本项目拟解决的问题有:

1) 解决主流的相似日选取方法无法同时衡量气象特征曲线之间的数值距离相似性和形态变化相似性且兼顾多元气象特征的问题, DTW 能够同时衡量待预测日气象特征曲线与历史日气象特征曲线的数值距离相似性和形态变化相似性, 但未考虑多元气象特征的权重。本项目旨在通过 MDTW 算法, 把待预测日气象特征输入历史日气象特征及其光伏发电功率数据库得

到相似日气象特征及其光伏发电功率数据库，以此得到同时衡量气象特征曲线之间的数值距离相似性和形态变化相似性的相似日数据。

2) **解决 ELM 模型预测精度不足且运行鲁棒性较差的问题**，本项目拟在通过在传统 ELM 的基础上，用核函数代替了 ELM 中的隐含层特征映射过程，即用非线性映射能力强的高斯核函数建立光伏发电功率预测网络。

3) **解决人为地设置模型参数难以保证预测精度且操作较为复杂的问题**，本项目拟在采用麻雀智能搜索算法 (SSA) 来优化 KELM 的核函数宽度和惩罚系数，减少人工的使用成本。

预期成果:

本项目旨在完成至少一项以下内容作为项目成果:

1) **发表论文:** 本项目拟最终在中文核心期刊发表一篇关于本项目研究内容的论文，总结本项目所提出的理论和模型。

2) **申请软著或实用新型专利:** 本项目拟最终基于本项目的研究，开发一套光伏发电预测的系统，本次项目研究的理论成果并转化为实践，以实现光伏发电的实时预测，并最终以该系统申请软著或实用新型专利。

3) **参加互联网+或挑战杯大赛:** 在上述成果的基础上，本项目将发挥该系统的使用价值和商业价值，参加互联网+或挑战杯大赛。

项目研究进度安排:

第一阶段(2023.4.21~2023.7.21): 理论学习，掌握动态时间规整(Dynamic Time Warping, DTW)和麻雀搜索算法(Sparrow Search Algorithm, SSA)核极限学习机(Extreme Learning Machine, ELM)的原理和应用场景，并根据掌握的理论基础，提出基于多元动态时间规整和 SSA-KELM 的光伏发电功率预测模型。

第二阶段(2023.7.21~2023.10.21): 模型搭建，充分应用第一阶段所掌握的理论基础，搭建基于多元动态时间规整和 SSA-KELM 的光伏发电功率预测模型，比较与其它光伏发电功率预测模型的优劣性。

第三阶段(2023.10.21~2024.1.21): 模型测试与改进，在第一、二阶段的基础上，对提出的模型进行测试、验证与研究，并指出该模型的不足之处，进行进一步的改进，使改进后的模型对研究的光伏发电功率数据有较好的预测效果。

第四阶段(2024.1.21~2024.4.21): 撰写论文或开发软著进行结项，总结第三阶段最终提出的模型，并整理本次项目研究的理论成果，进行论文撰写或开发基于该模型的光伏发电功率预测软件以结项。

已有基础:

项目指导老师在光伏发电预测领域有较深的研究，曾指导过许多光伏发电预测的项目，并主持光伏发电预测相关的国家自然科学基金和重点课题，可以指导项目成员有效地提出光伏发电预测的模型，使该模型能够较好地实现光伏发电的低误差预测，同时项目成员已掌握光伏发电预测的基本理论，对过去的光伏发电预测方案有较为足够的认识，有较好的编程能力，且过去实现过相关的预测问题，有一定的深度学习和预测类问题的算法基础。

条件与不足:

- 1) 目前已经存在了一些实施有效的光伏发电预测方法，有一定的光伏发电预测基础。
- 2) 存在光伏发电预测的可行性理论，可供学习研究。
- 3) 项目成员具有较好的编程能力、建模能力与代码分析能力，且有一定的深度学习和预测类问题的算法基础。
- 4) 尚未找到特别有效的结合算法来把多元动态时间规整和 SSA, KELM 相联系，以此提高对本项目研究对象的预测精度，因此会在第一阶段对基本理论进行更深入更全面的学习、探究与巩固的基础上进一步探索更适合的算法构建模型。