

基于大数据分析的电气系统供配电负荷预测与调度优化

吴春锐

(河钢集团张宣科技有限公司)

摘要: 随着能源需求的不断增长和电力系统的复杂化,基于大数据分析的电气系统供配电负荷预测与调度优化变得愈加关键。本文分析了基于历史负荷数据的时间序列分析方法和趋势分解技术,并结合天气、市场订单情况,对企业总体用电提出了数据采集与处理、负荷预测与优化、调度算法实现及实时监控与反馈等关键功能模块的设计方案。

关键词: 电气系统; 大数据分析; 负荷预测; 调度优化; 实时监控

2024.08.DQGY
86

0 引言

随着电力系统的规模不断扩大和电力需求的增加,电气系统供配电负荷预测与调度优化成为一项重要而具有挑战性的任务。传统的负荷预测和调度方法面临着数据量庞大、复杂度高和实时性要求等挑战,而基于大数据分析的方法能从海量数据中挖掘出有价值的信息,实现更准确和智能的负荷预测与调度优化。

1 电气系统供配电负荷预测与调度

1.1 电气系统供配电负荷预测

电气系统供配电负荷预测是指利用大数据分析技术,对电气系统中的负荷进行未来一段时间的预测。电气系统供配电负荷预测的基本原理是基于历史负荷数据和相关的环境因素,如天气、节假日等进行分析 and 建模。以统计分析、时间序列分析、机器学习等方法,找出负荷与这些因素之间的潜在关联规律,并利

用这些规律进行未来负荷的预测^[1]。

在预测过程中,首先需要收集和存储历史负荷数据,包括过去的负荷用电量以及与其相关的各项因素的数据,建立数据分析模型,捕捉到负荷与各个因素之间的潜在关系,并进行负荷预测,得出未来一段时间内负荷的估计值。电气系统供配电负荷预测的准确性需不断优化模型和数据源的质量来提升,同时采用合适的算法和技术进行预测,实时性则需要使用实时数据,及时更新预测结果,并根据实际情况进行调整。

1.2 电气系统供配电负荷调度

电气系统供配电负荷调度是指按照经济性、安全性和可靠性原则,对电网中的电力资源进行优化分配和管理的过程。其基本原理是根据预测的负荷需求、企业内部电网的运行状态和市场条件,以调度指令调整用电量,实现企业供电调整。

在进行负荷调度时,需要考虑多种因素,包括发

发电机组的运行成本、启动成本、功率限制和爬坡率限制，以及电路的安全运行约束，如线路的传输容量限制、节点的电压水平限制等^[2]。负荷调度通常采用优化算法来实现，如线性规划、混合整数线性规划、非线性优化、动态优化等，在满足所有操作和安全约束的前提下，计算出成本最低或效益最高的调度方案。

2 大数据分析在电气系统供配电负荷预测中的具体应用分析

2.1 基于历史负荷数据的趋势分析与预测

2.1.1 时间序列分析方法的应用

在电气系统供配电负荷预测中，时间序列分析即对历史负荷数据进行分析，在大数据分析的角度下应用各种时间序列模型进行趋势分析和预测。

其中，ARIMA模型（全称为自回归积分滑动平均模型）是一种用于分析和预测时间序列数据的强大统计工具，它结合了AR（自回归）模型和MA（移动平均）模型的优点，能够处理更复杂的时间序列问题。ARIMA模型是一种经典的时间序列分析模型，考虑到负荷数据中的趋势、季节性、残差等因素。ARIMA模型的基本思想是将当前时刻的负荷值与过去时刻的负荷值进行相关建模，以得到负荷的预测结果。利用时间序列数据的差分操作对负荷数据的趋势进行建模。

ARIMA(p, d, q)模型的公式表示为：

$$Y(t) = c + \sum \varphi(i) \times Y(t-i) + \sum \theta(j) \times \varepsilon(t-j) + \varepsilon(t)$$

式中， $Y(t)$ 为时间 t 的负荷值； c 为常数； $\varphi(i)$ 和 $\theta(j)$ 为AR和MA的系数； $\varepsilon(t)$ 为误差项； p 、 d 、 q 分别为自回归项、差分阶数和移动平均项的阶数。

代码示例：

```
import pandas as pd
from statsmodels.tsa.arima_model import ARIMA
data = pd.read_csv('load_data.csv') # 读取负荷数据
```

```
model = ARIMA(data, order=(p, d, q)) # 构建
ARIMA模型
model_fit = model.fit() # 模型拟合
forecast = model_fit.forecast(steps=12) # 对未来12个时期
进行预测
```

2.1.2 趋势分解及模式识别技术

大数据分析可应用趋势分解和模式识别技术，从历史负荷数据中提取趋势和周期性信息。趋势分解是将原始负荷数据分解成趋势、季节性和残差三个分量的过程。常用的趋势分解方法包括移动平均法、指数平滑法和小波变换等，能去除季节性和短期波动，突出长期趋势，为负荷的预测提供依据^[3]。

模式识别技术则对负荷数据的特征模式进行分析，提取出负荷的周期性和规律性，从而预测未来负荷的趋势。常用的模式识别算法包括聚类分析、支持向量机、神经网络等，可根据历史负荷数据的模式识别结果，对未来负荷进行准确预测。

2.2 结合天气数据进行季节性负荷预测

2.2.1 天气敏感负荷的特性分析

在电气系统供配电负荷预测中，在大数据平台上应用机器学习算法和统计分析方法，从海量的数据集中找出负荷变化与天气变化之间的关联规律。例如，构建回归模型来衡量负荷与温度、湿度等气象因素之间的关系，并利用模型来预测负荷对未来天气变化的响应，能了解天气与负荷之间的关系，从而提高季节性负荷预测的准确性和精度。

2.2.2 气象因素的数据处理与模型融合

在季节性负荷预测中，大数据分析可以融合气象因素数据的处理和模型来提高预测的准确性。首先，大数据分析平台对气象数据进行清洗和处理，包括缺失值处理、异常值检测和数据标准化等。其次，利用各种统计方法和机器学习技术，对气象因素和负荷数据进行特征提取和降维处理，以挖掘隐藏在数据中的

信息和关联。最后，在模型融合阶段，将气象数据与历史负荷数据相结合，构建综合的预测模型。例如，以回归分析、神经网络等方法来建立气象因素与负荷之间的关系模型，并将其与时间序列分析等模型进行融合，从而提高季节性负荷预测的精度和鲁棒性。

2.3 利用企业行为数据进行负荷预测

2.3.1 企业用电模式的挖掘与分析

大数据能利用企业行为数据分析企业的历史用电数据以揭示企业的用电习惯和行为模式。在大数据平台上应用机器学习算法和数据挖掘技术，从海量的企业行为数据中提取和识别出不同用电类型的用电模式，例如生产区域的用电量和办公区域的用电量，基于这些挖掘和分析结果，建立针对不同企业类型的用电模型，用于预测未来的负荷需求。例如，使用聚类算法对企业生产行为数据进行聚类分析，将相似的用电模式分为一类，然后根据类别来预测企业不同功能区域的负荷需求。

2.3.2 企业响应行为的模型构建

大数据分析可利用企业行为数据构建企业响应行为模型，从而进一步提高负荷预测的准确性。企业响应行为模型用于描述企业对电力系统变化的响应，并借此为负荷预测提供更加精确的输入。分析企业行为数据能了解企业对不同外部因素（订单量、生产时长）的响应模式。大数据分析平台使用机器学习算法和统计模型来构建企业响应行为模型，例如，使用回归分析来分析企业行为数据与电力系统变化之间的关系，并利用得到的模型来预测企业对未来变化的响应。将企业行为数据与其他因素（如销售数据）进行综合建模，实现更加准确和精细的负荷预测。

2.4 整合企业数据进行负荷需求预测

2.4.1 企业用电结构与负荷关系分析

利用大数据分析，在企业供配电负荷预测中整合生产数据，分析企业用电结构与负荷的关系。通过收

集和分析企业市场的相关数据，了解企业经营数据与负荷之间的相互影响关系，大数据分析平台使用数据挖掘和机器学习技术，对企业经营数据和历史负荷数据进行关联分析^[4]。例如，使用关联规则挖掘算法来发现市场因素与负荷需求之间的关联规律，以及不同市场模式对负荷的影响程度。

2.4.2 市场驱动因素在负荷预测中的考量

在负荷预测过程中，市场驱动因素，如电价变动、能源政策调整等，对负荷需求具有重要影响。大数据分析平台利用历史市场数据和负荷数据来分析这些因素的影响模式。例如，使用回归分析等方法，建立市场驱动因素与负荷需求之间的关系模型，并将其纳入负荷预测模型中，提供更全面、准确的市场驱动因素对负荷需求影响的认知，为未来市场变化的预测和负荷需求的调整提供依据。

3 基于大数据分析的电气系统供配电负荷调度优化设计

3.1 数据采集与处理功能

3.1.1 多源数据集成与同步

多源数据集成可将来自不同数据源的信息进行整合和统一处理。采用大数据分析平台，例如 Apache Hadoop 或 Spark，利用适配器和连接器等工具实现对不同数据源的集成，包括传感器数据、供电网络数据、企业用电数据等。在数据同步方面，利用分布式存储系统和数据同步技术，确保各数据源的数据在时效性和准确性上得到保障，也可以利用数据湖等技术将不同种类的数据存储于一个统一的数据存储库中，方便后续的处理和分析。

3.1.2 实时数据流处理技术

实时数据流处理技术能确保对数据的快速分析和响应。使用流式处理平台如 Apache Flink 或 Kafka Streams，能实现对实时数据流的处理和分析。系统使用这些技术及时捕获和处理来自不同数据源的数

据，并在较短的时间内做出相应的决策^[5]。例如，在负荷调度过程中，实时监测电力系统的负荷情况以及各种环境因素，从而及时调整配电策略。

3.2 负荷预测与优化功能

3.2.1 短期负荷预测算法应用

在基于大数据分析的电气系统供配电负荷调度优化设计中，短期负荷预测算法的应用能进行即时的负荷需求预测，并根据预测结果进行相应的负荷调度优化。使用大数据平台，应用各种机器学习和统计分析算法进行短期负荷预测。例如，使用时间序列分析方法（如 ARIMA 模型），基于历史负荷数据识别和预测负荷趋势。另外，使用基于回归分析的方法，建立负荷与天气等因素之间的关系模型，从而预测未来负荷的变化，还可以结合其他外部因素（如节假日、天气预报等）进行综合分析。

3.2.2 长期负荷趋势分析及规划

对历史负荷数据的分析能识别出负荷的长期趋势和周期性变化。可以使用时间序列分析方法和回归模型等，预测未来负荷的长期发展趋势，结合其他因素（如经济增长、人口发展等）进行综合分析，推断未来负荷的规模和特征，并基于此制定相应的负荷规划策略，包括变压器容量的调整、电力设备的优化配置等。

3.3 调度算法实现功能

3.3.1 动态调度策略与决策支持

使用大数据技术对实时监测到的数据进行快速处理和分析，能实现对电力系统负荷调度策略的动态优化。例如，使用实时数据流处理技术对即时需求和供给情况进行分析，结合预测模型，实时调整负荷分配和电力供应策略。基于历史数据的分析，利用机器学习算法建立动态调度策略模型，对当前情况做出最优决策，使电力系统实现对实时变化环境的有效响应和决策，从而提高电力供配的效率 and 稳定性。

3.3.2 多目标优化调度模型

借助大数据平台的强大计算和分析能力，需同时考虑成本、效率、稳定性等多个目标的优化问题。利用多目标优化算法（如遗传算法、粒子群算法）对多个调度目标进行协同优化，例如最小化成本、最大化供电可靠性等。基于对历史数据的深入分析，建立基于大数据分析的多目标优化模型，综合考虑多个指标之间的权衡关系，生成最优的供配电负荷调度方案，有效平衡各种因素，提高电力系统的整体运行效率和稳定性，同时保证供电的可靠性和经济性。

3.4 实时监控与反馈功能

3.4.1 异常检测与事件响应机制

利用大数据平台的实时数据流处理技术对电力系统的各项指标进行连续监测和实时分析，能发现潜在的异常情况。建立异常检测模型会对负荷、功率因数、电压等参数进行实时监控，并识别出异常值或异常趋势。一旦发现异常情况，系统会及时触发事件响应机制，包括报警、故障排除等^[6]。例如，利用机器学习算法，基于历史数据学习电力系统正常运行的模式，与实时数据进行比较，发现和预测潜在的异常情况，帮助电力系统迅速识别和应对问题，确保供配电负荷调度的稳定性和可靠性。

3.4.2 性能评估与反馈调整方法

在电气系统供配电负荷调度优化设计中，实时监控与反馈功能即利用大数据分析实现对电力系统性能的评估和反馈调整方法，借助大数据平台的数据处理和分析能力对电力系统的性能指标进行实时评估和监测。通过建立性能评估模型，对供配电负荷的可靠性、效率、成本等关键指标进行综合评估。基于历史数据的分析利用机器学习算法建立性能评估模型，并通过实时数据流处理技术进行实时监测和更新。根据评估结果，系统及时调整负荷调度策略和参数配置，以优化系统性能。例如，利用反馈调整方法，实时调整电源分配、变压器容量配置、线路负荷分配等。

4 结束语

综上所述，大数据分析技术在电力系统供配电负荷预测与调度优化中的巨大潜力，充分挖掘和利用历史负荷数据、天气信息、企业行为和市场动态等多源数据，能显著提高预测的准确性和调度的智能化水平。未来，随着数据量的进一步增长和分析技术的不断进步，电气系统的运营效率和可靠性将得到持续提升，也应关注数据安全和隐私保护等挑战，确保电力系统的可持续发展。

参考文献

[1] 杨帅，邹智慧. 电网供电负荷均衡自动调度监测仿真研究 [J]. 计算机仿真，2018，35（1）：113-116.

[2] 叶铁丰，戴志博，陈伟，等. 基于数据挖掘技术的短期电力负荷预测方法 [J]. 电子世界，2019（1）：30-31.

[3] 王子强，程哲，辛阔. 电网供电负荷均衡调度一体化智能指挥平台设计 [J]. 自动化与仪器仪表，2018（11）：164-167.

[4] 黄伟桥. 电网规划中长期负荷预测技术的研究 [J]. 科技创新导报，2016，13（35）：13-14.

[5] 王正雨，王贻胜，张明亮. 做好短期负荷预测保证电网安全经济运行 [J]. 农村电工，2020，28（5）：42.

[6] 谢国荣. 民用建筑新能源照明供电负荷预测方法分析 [J]. 光源与照明，2022（5）：39-41.

(收稿日期：2024-03-04)