目 录

[第1章 绪 论 1](#_Toc470247373)

[1.1 研究背景 1](#_Toc470247374)

[1.2 研究意义 2](#_Toc470247375)

[1.3 国内外研究现状 3](#_Toc470247376)

[1.3.1 国内外电力市场交易模式 3](#_Toc470247377)

[1.3.2 电力预测研究现状 4](#_Toc470247378)

[1.3.3 推荐系统研究现状 6](#_Toc470247379)

[1.4 论文章节安排 7](#_Toc470247380)

# 第1章 绪 论

## 1.1 研究背景

2015年3月，中共中央、国务院下发了《关于进一步深化电力体制改革的若干意见》(中发〔2015〕9号)（后文简称《意见》），备受社会各界瞩目的新一轮电力体制改革正式拉开帷幕。《意见》秉承五项基本原则：一是坚持安全可靠；二是坚持市场化改革；三是坚持保障民生；四是坚持节能减排；五是坚持科学监管。其中，市场化是电力体制改革的基本方向，也是实现电力体制改革的方式之一。有序推进电价改革是电力市场化改革的核心和先决条件。以双边交易市场为突破口，促进多主体、跨区域市场机制建设。长久以来，电力市场交易模式一直处于“垄断行业”状态，传统电力市场中，发电企业与购电企业之间不能直接进行交易，也无法直接电力传送，而需要一层国家电网的调度。在新一轮的电力改革方案启动之后，发电企业凭借自身的发电优势以及相关许可即可直接与购电企业达成交易，中间的竞价和市场中的竞争等环节不再受到国家电网等电力资源管理部门的严格约束，而是在合理的竞争规则内自由进行，这样形成了售电主体和购电用户之间的点对点交易。市场主体的自由性还体现在相互自主确定交易用户、交易电量和价格，交易过程中按照国家规定的关于电价输配的方案来决定过网费和相关手续即可。这样放开竞争可以为工商业用户和企业用户等提供更加优质和经济的电力保障和服务。政府敏锐的意识到市场的竞争应该交给市场自己调控，要减少对市场的控制，只需管住中间而放开竞争。《意见》中突出强调了电力体制改革的重要性和紧迫性。从根本上改变传统电力市场中发电厂与电网一体，政企不分的状态，争取形成电力市场自由竞争的多元化格局。竞争性环节电价的有序放开可以推进交易机构相对独立，规范市场运行。在市场竞争主体的范围不断扩大过程中，大用户与交易主体数量会呈几何级数增长，又加之交易行为具有实时性及地域性，竞争符合条件的市场主体可以通过移动终端与互联网技术发生电力交易行为。据不完全统计，2015年以来，输配电价改革以及其他减负措施的并行推进，已经累计为企业降低用电成本1800亿元以上。【3】

随着大用户直购电交易业务的深入开展和市场交易主体模式的多样化，参与清洁能源的直购电交易主体成员数量将会快速增长。随着移动互联网新技术的普及应用，它正在改变社会成员的沟通方式，改变人们的日常生活习惯，并且开始渗透到工业的各个领域，即将形成的“互联网+”的交易双赢模式，必将促进电力工业的社会效益和经济效益。移动互联网技术应用到大用户直购电双边交易业务情景，是“互联网+”电力市场交易模式的直接体现，也是贯彻落实“十九大”关于深化供给侧结构性改革的实施。随着电力市场的深入改革，电力交易成员数量的急剧增加，市场各类成员渴望提供更加弹性和多样化的电力市场交易方式，需要研究移动互联的电力交易用户行为模型和算法。因此，电力交易的移动端用户交互交易方式将成为电力市场用户交互方式的有效补充。

在数据量日益增大的今天，用户在数据的海洋里显得手足无措，数据量已经足够大，但是这些数据的利用率却降低，随之而来的“信息过载”问题亟待解决。目前，针对该问题以用户为主动的解决方案是当今互联网广泛采用的搜索引擎,而推荐引擎则是用户作为被动接受推荐对象的主体,广泛地应用于电子商务等互联网应用上。推荐技术在今天的互联网应用和产品中被广泛采用，比如电子商务的商品推荐、社交网络上的好友推荐等，它们是目前互联网上最常见的智能产品形式。推荐系统是为了解决“信息过载”问题而出现的新技术。从上个世纪90年代开始，推荐系统开始被众多学者及领域专家所熟知和研究，内容涉及近似理论、认知科学和信息检索等相关学科。长期以来，推荐系统领域的研究工作重点围绕在用户信息获取和建模、推荐算法研究、推荐系统评价指标、以及推荐系统的应用和社会影响的研究【2】。根据用户的兴趣爱好推荐符合用户兴趣的对象是推荐系统的核心功能。由于推荐系统可以辅助市场主体达到个性化营销而提升销售量，为企业增大利润，推荐系统相关技术获得了众多企业的重视，很多学者相继对推荐系统进行深入的研究，推荐系统领域得到了长足的发展。

基于电力市场急需的供给侧结构性改革，结合推荐系统在“互联网+”上的巨大成果，依托于电力市场的第二次改革背景，将推荐系统与电力市场有机结合是在即将形成的“互联网+”的交易双赢模式中移动互联网技术融合于实体经济的创新思想。在上述改革的大环境和要求下，本文首先调研发达国家在电力市场服务及移动互联网技术建设方面的先进经验和理念，从建立移动端电力市场交易管理的常态机制，提供完善的移动端电力市场服务产品角度出发，融合推荐系统技术体现的巨大商业价值，以满足统一电力市场交易平台运营管理的不同需求，既保证了供电侧发电供给与购电侧用电行为的平衡，又提高了服务模式的体验。

## 1.2 研究意义

在当前互联网技术以及市场竞争的大趋势下，各行各业的交易模式发生变化，开始将线下传统交易发展至网上交易，电力改革前，发电厂只是负责生产电，国家电网是电力交易的枢纽，发电厂和用户之间的交易需要通过国家电网参与，因此，随着电力的改革，电力交易方式也在改变，电是市场上的一种特殊商品，在经济上不可储藏，因此需要在生产者和消费者之间保持发电量的平衡稳定。设计一个直接交易的网上平台对电力点对点式直接交易模式至关重要。同时，将现如今的推荐系统应用到电力行业，对交易双方都是有利而无害的。结合以上内容，本文旨在电力交易方式的改变下，通过更精确的预测算法预测出发电企业下一个阶段的发电量，并提出基于用户侧属性特征的协同过滤推荐算法，将符合大企业用户需求的发电厂推荐给用户，为电力市场提供一个较好的移动平台进行双方交易匹配，实现移动平台上的交易结算。该平台对发电企业以及大用户双方都是有利而无弊的，促进双方的合作和经济的发展。

除此之外，电力市场中，火力发电行业与水力发电、核电和其他能源发电并列属于发电行业，中国的电力市场依旧以火力发电为主要供电主体，火力发电厂主要以煤炭为燃料运作。经调查显示，截止到2020年，非化石能源占一次能源损耗比重达到15%，天然气的比重可以到达10%以上，煤炭损耗的比重至少要节制在62%范围内。同时，目前存在的“弃风”、“弃光”等抛弃能源现象，对电网企业，有电网建设上的难题，也有经济性的考虑。因为电网企业过去是以赚取差价作为主要盈利手段，所以会更加倾向于接纳低价的火电、水电等。相比较之下，风电、光伏发电等价格更贵，对电网冲击更大。若输配电价改革落实到位，火力发电的低价格将不再成为一项很强的竞争力，要优先安排风能、太阳能、生物质能等可再生能源保障性发电，热电联产及燃气发电、水电、核电兼顾资源或调峰等需求安排发电，高效节能、超低排放煤电机组被放在最后。虽然有观点认为，这一顺序根据各地实际情况，具体实施时可能存在较大出入，但已经可以看出国家对于燃煤发电机组的定位愈发明确。因此，本论文旨在通过电力市场交易方式的改变，通过主动向大企业用户推荐发电厂，促进新能源发电企业的交易比重，既能促进经济发展，又可以优化能源使用率。

## 1.3 国内外研究现状

### 1.3.1 国内外电力市场交易模式

电力行业被认为是垄断行业[5]，因为电力行业有单一的生产者承担，其目的是可以利用规模的经济模式达到提高效率、节约资源。在第二次世界大战结束后，因为经济的发展和科学技术的进步，电力行业也加快了发展的步伐，在20世纪下半叶许多国家电力工业的基本结构以垂直一体化国有垄断模式存在[6]，如在1946年和1947年，法国电力公司和英国中央发电局分别成立了国家范围内的垄断一体化的国有大型电力企业，美国虽然没有直接的在全国范围内成立电力国有化和垄断集中化，但是也在企业间进行了较大范围的合并。但是，电力行业的垄断经营模式虽然获得规模性的经济，却带来了资源配置效率降低的问题。因为垄断的企业是具有市场化的，其可以按照自身获得利润最大化来制定其垄断价格，由于垄断的价格超出边缘成本，势必会造成资源配置效率降低问题。为了控制由于自然垄断而带来的超额利润，各个国家对电力工业进行了电力改革制度，采取了价格管控。但是，价格管制难以解决因为垄断而带来的资源配置效率低下等问题，另一个原因是因为电力行业的垄断经营使其避免了市场竞争的压力，这势必会导致因为降低成本而缺乏提高生产的动力。因此，由于垄断经营模式，使电力行业的弊端远远多过由于规模经济导致的高效率。除此之外，电力行业由发电方、输配电方和售电主体三个环节组成，每个环节的规模经济模式特征并不是相同的，将电力行业笼统的认为是垄断经营模式是不太准确的。把电力行业各个环节分开管理，在发电方和售电方这两个环节引入市场竞争的模式，输电环节可以采取政府管控下的垄断经营。

通过以上内容的分析，在20世纪80年代末到90年代初，世界上许多的国家开始执行电力市场改革，改革内容主要体现在放松管制、引入市场竞争上。其中，英国最先启动大规模的电力市场化改革[7]，将原有的12个地区的电力局完全私有化，将电力池作为电力市场的交易中心，发电公司和地区电力公司与5000多个大用户通过该交易中心进行批发电力交易，通过电力市场的改革，逐步形成了全国统一的电力交场市场。并且通过电力改革，英国的电力市场不仅解决了以往供不应求的情况还将电价大幅度下降。在英国电力改革取得一定成果后，许多国家也相继展开了电力市场不同程度的改革，改革内容是解除市场垄断，引入市场竞争，优化资源配置和效率，增强电力行业的活力等也成为了现代电力行业的发展趋势[8]。

对比西方的许多国家，中国的电力行业的国有垄断模式经营也持续了一段很长的时间。国家电网公司掌握的全国大部分地区的发电、输配电和售电等业务。通过借鉴西方国家的电力改革经验，同时结合我国实际情况，1998年，中国的电力改革首先在东北电网的辽宁，吉林，黑龙江以及山东、浙江、上海作为电力改革试点地区，采用发电厂与电网分开的模式经营，目标是建立发电侧的开放市场。随即，2002年开始，6个省级的电力市场也开始按照不同的经营模式运营。到2002年，电力体制出台了相关的改革文件，方案制定了关于电力改革的大方向，改革提出重组发电资产，建立独立的发电公司。同时也要重组电网资产，分别设立了电网公司等其他改革方案，大大缩小了电力行业垄断经营的模式。通过改革，我国的电力市场逐渐趋于完善，截止到2015年，新的电力改革文件出台，全国大部分地区的发电企业都可以实施竞价上网的模式运行，符合条件的大用户可以直接向发电企业购电，实现发电企业与大用户点对点直接交易，这将是目前我国电力市场建设改革的重点。

### 1.3.2 电力预测研究现状

随着当下电力工业的快速发展，电网的优化管理越来越重要。准确的预测电力负荷趋势是优化管理的先决条件，同时也是当今电力系统实现自动化调度和保持稳定的理论依据。电力负荷预测如果按照预测的期限分类可以分为：长期负荷预测，中期负荷预测，短期负荷预测。长期负荷预测一般是指时间为以年为单位的期限，通过多年度电量，年度电力等指标为内容进行预测。中期负荷预测一般是指时间为月为单位的期限，通常以月度各指标进行预测。短期则是以周、天甚至以小时为单位，来预测某个高峰期的电力负荷。本文将在小数据量时，预测中长期的相应的指标，同时在数据量大时，预测出短期的电荷的相应指标。前者一般使用的方法有类比法和专家估算法等，后者一般可采用灰色模型，回归分析预测，基于时间序列的预测方式等。但是这些方法的实验结果会受到多变量，非确定等因素影响，因而单一的预测方式不能适应更加复杂的情况，需要能将所有因素综合考虑的组合方式进行建模预测。随着机器学习算法的蓬勃兴起，电力负荷预测早就从单一变量延伸到了对多因素多变量问题的解决。依靠电力工作人员长期积累的经验来预测电力负荷的方法，早已经不适合目前电力市场的快速发展。进入二十一世纪，随着电力交易的更加开放，信息化程度高，电力系统更加复杂化，预测方法需要更加科学，预测的准确度需求更高，这也对预测电力负荷的理论知识的研究展开更深入的讨论。当前，国内外研究电力负荷预测的论文比较多，这其中使用的预测模型和分析方法也多种多样，总结起来包括两大类的方法：传统负荷预测，新兴的预测。

传统负荷预测传统的电力负荷预测一般挖掘出电力负荷本身的规律或者电力负荷与一些简单的变量之间的关系，从而运用这些规律对未来进行负荷预测。但这种方式所预测出的结果并不是让人十分满意。概括常见的方法有以下几种：

(1)时间序列法是在七十年代提出来的。首先需要获取电力负荷的历史数据，将这些历史数据当做为时间为变量的增长序列。因而可以对历史数据的统计进行系统的分析和研究，找出电力负荷随时间变化的关系，以此来建立时间序列模型。最后通过这样一个模型来对未来的某地区的电力负荷进行趋势预测。

(2)回归分析法属于统计学方法的一种。通常情况下，回归分析首先需要确定预测值和影响因子之间的关系进而预测出所需值。因为回归模型是对历史数据的从新构造，因而此方法能很好的对历史数据进行拟合。得到了较好的预测结果。

(3)曲线回归法又可称之为趋势外推法。当电力负荷变化与季节因素相关联很小时，则就可以根据已知的历史数据拟合得到一条曲线。曲线回归法的优点在于：适用于数据量少，有效的预测短期负荷。其缺点是：不能随动态的负荷变化进行预测，会增大误差影响结果。

新兴负荷预测

(1)人工神经网络神经网络[9]最早的研究是从40年代开始，有心理学家Mcclloch和数理逻辑学家Pitts首先提出了一个简单的神经网络模型。它是模拟动物神经网络行为特征的一种方法。这种预测方法能够从样本数据中自动学习以前的经验，通过样本数据建立一个规律模型，然后进行预测。由于神经网络具有多个神经原结构，因而它适用于分布式并行处理，显然具有较快的处理速度和较高的容错性。人工神经网络可自主学习，在学习的过程中进行优化，因而能得到一个较好的结果。但是人工神经网络也有其局限性比如：容易陷入局部极小值，当网络建立的过于庞大时收敛速度会出现缓慢的情况，同时他所需要的样本容量比较大等。这就出现了以神经网络为主体的改进算法。

(2)小波分析法[10]：其应用是数学研究成果转向工程学的另一个代表。它是对时域和频域分析的一种方法，使得在时域和频域中都达到良好的局部化性质。小波变化能将各种频率糅合在一起，并且将这些频率拆分成不同频带上的块信息。在进行短期负荷预测时，可以对负荷序列进行小波变换，这样就可以将序列映射到不同的尺度上，各个尺度上的子序列分别代表原序列中不同频域的分量，从而表现负荷序列的周期性。在经过分解过后的负荷子序列，分别建立相应的模型，得到各个负荷子序列预测情况，最后对子序列进行重构，完成预测结果。

(3)组合模型法：由于对电力负荷的影响因素多种多样，我们很难从单一模型中建立起对结果的精确预测。这是由于单个模型的或多或少尤其自身的局限性，使得得出的结果难以让人满意，这就进一步的促进了组合模型的发展。在国内外相当多的文献都运用了组合模型的方式进行算法改进。例如可以运用启发式算法（模拟退火算法，粒子群算法，遗传算法等）对神经网络进行迭代次数的优化。这样能综合各种算法的优点，提高预测的精确度和效果。

### 1.3.3 推荐系统研究现状

推荐系统是[11,12]目前互联网中最常见的智能技术，无论是电子商务、电影网站、音乐网站以及目前的在线广告和在线应用推荐，推荐系统都扮演着至关重要的角色。在20世纪90年代早期，利用网络上数百万人的意见帮助人们寻找自己感兴趣的商品和内容非常具有诱惑力。目前为止，这个简单想法确实在不同的领域也证明了其有效性，这个简单的想法就是推荐系统的前身。1992年，帕洛阿尔托研究中心在Tapestry系统中引入了协同过滤推荐的概念和算法，向世人展现了如果将显示的标签数据以及隐式的用户行为数据存入数据库中，以及用户如何通过这些数据进行过滤选择出自己感兴趣的商品或内容。

纵观推荐系统的发展历程，主要有四个相互交叠的发展阶段。在早期阶段基本上就属于推荐系统的探索阶段，不仅包括了协同过滤还包罗了基于知识的推荐系统，在初始阶段，例如FindMe系统证实了推荐系统的有效性，为日后人们在该领域展开科研以及互联网商业实践方面奠定了基础。在这一阶段中关键的事件是1996年3月份在伯克利举办的推荐系统协同过滤专利研讨会，研讨会将不同领域的中的人们聚集在一起，主要围绕推荐系统这一主题进行商讨最终达成共识。接下来的发展阶段，推荐系统随着快速发展的互联网行业而展现其功能，1995年MIT的Pattie Maes研究组创立了Agents公司，后期更名为荧火虫网络，同期还有许多其他公司兴起并奋起直追，在实验过程中，工作人员为了证明推荐系统能够提供有效的推荐而遇到各种挑战。需要处理上百万的用户和物品以及每秒成千上百的交易，开发人员为了降低在线计算时间而开发许多新的推荐算法，包括至今还在应用的降维方法和基于物品的关联算法。在这一时期，推荐系统的研究领域非常广泛，例如冷启动问题、隐式评分及可信度等用户体验相关的问题。但是，随着2000年到2005年互联网泡沫的破灭，许多推荐系统公司由于无法将推荐利用到更全面的商业主流互联网公司而倒闭，但是推荐系统作为一种技术依旧广泛应用在电子商务、互联网推荐中。同时，推荐系统吸引了各个学科的研究人员加入，如机器学习，人工智能，数据挖掘等，他们将本学科的方法引入到推荐系统中，为推荐系统注入了新鲜血液，提供了更多新的方法和成果。由于可以获得海量的数据，推荐算法的研究成果取得了很大的提升，在2006年Netflix大奖赛上将预测精度提高10%被奖励100万美元更是将推荐算法推上了高峰。

在我国，互联网行业快速发展，中国的网民数量已经达到世界首位，网络消费正在悄然改变着人们的消费观念，成为最有潜力的消费主流。许多国内大型电子商务平台都引入了推荐系统，如淘宝网、京东商城、当当网等针对不同用户的购物行为分析其偏好，使用户体验到个性化定制的消费体验，在海量商品中更加容易获得自己感兴趣的商品。除此之外，一些社区网站的兴起使电子商务平台网站结合用户的社区网络进行个性化推荐，如人人网、朋友圈、微博等社交网络的兴起，以及以陌陌、微信等为代表的基于移动互联网的社交网络快速发展社交网络的蓬勃发展推动了个性化推荐技术的进步，也对新形势下个性化推荐提出了新的要求，加速了电子商务与社交网络的深度融合。

## 1.4 论文章节安排

本文主要部分分为六个章节进行，下面描述每个章节的研究内容。

第1章，绪论介绍了论文的研究背景和意义，阐述了论文的主要内容是基于电力改革的背景而提出的交易平台设计，并在系统中实现电力负荷预测及推荐算法。同时，介绍了电力交易的国内外研究现状以及推荐系统的研究现状。

第2章，相关技术介绍主要是详细介绍推荐系统中协同过滤算法，同时介绍了传统互联网推荐系统与移动端推荐系统的概念和区别，除此之外，还介绍了推荐系统的相关技术和电力预测技术。

第3章，基于用户属性相似度的协同过滤推荐算法主要是针对本文电力交易方式改变这一背景，提出了基于用户相似度的矩阵填充算法，填充后的矩阵实现基于用户相似度的协同过滤推荐，以列表的形式将Top\_k发电企业推荐给大用户，促进双方交易。

第4章，基于粒子群神经网络电力负荷预测主要通过粒子群优化神经网络算法，精确预测发电企业的电力负荷，以服务与推荐算法中关于发电企业推荐的电量匹配中。

第5章，电力交易推荐系统的移动端的实现主要介绍了移动端电力推荐系统的整体架构以及架构实现，并将预测算法与推荐算法在移动端平台实现，实现整体电力交易推荐系统。

第6章，总结与展望主要内容是总结整篇论文的思路与设计，并针对不足对下一步工作提出展望

# 