

# 通辽市现代能源一体化发展路径研究：火、风光、储、制、研的协同与创新

胡惠媛

内蒙古鲁电蒙源电力工程有限公司，内蒙古 呼和浩特

收稿日期：2025年4月18日；录用日期：2025年5月15日；发布日期：2025年5月26日

## 摘要

随着能源结构调整和绿色发展要求的提升，通辽市急需寻找一种新的发展模式以融合火电、风能、光伏等能源形态，实现一体化发展。本研究综合评析了通辽市在火电、风力、光伏与储能技术的当前应用状况，并基于一体化能源发展理论，探讨了火风光储制的协同机制及其在通辽市的实际应用可能。本文进一步提出了创新驱动的协同发展战略，构建了能源协同发展的政策与技术框架，并设计了具体的一体化发展实施方案，涉及项目规划、实施步骤、风险评估及监测评价机制。该研究为通辽市乃至其他相似状况地区的能源结构转型和一体化发展提供了理论和实践的参考。

## 关键词

能源一体化，协同创新，通辽市，火风光储制，策略制定，实施方案

## Research on the Development Path of Modern Energy Integration in Tongliao City: Synergy and Innovation of Fire, Scenery, Storage, System and Research

Huiyuan Hu

Inner Mongolia Ludian Mengyuan Power Engineering Co., Hohhot Inner Mongolia

Received: Apr. 18<sup>th</sup>, 2025; accepted: May 15<sup>th</sup>, 2025; published: May 26<sup>th</sup>, 2025

## Abstract

With the adjustment of the energy structure and the increasing demands for green development,

文章引用：胡惠媛. 通辽市现代能源一体化发展路径研究：火、风光、储、制、研的协同与创新[J]. 传感器技术与应用, 2025, 13(3): 459-472. DOI: 10.12677/jsta.2025.133046

**Tongliao City urgently needs to find a new development model that integrates thermal power, wind energy, photovoltaic energy, and other energy forms to achieve integrated development. This study comprehensively evaluates the current application status of thermal power, wind power, photovoltaic power, and energy storage technologies in Tongliao City. Based on the theory of integrated energy development, it explores the synergy mechanism of combined heat, wind, solar energy, and storage, as well as its practical application possibilities in Tongliao City. Furthermore, this paper proposes an innovation-driven collaborative development strategy, establishes a policy and technical framework for energy collaborative development, and designs a specific implementation plan for integrated development, which includes project planning, implementation steps, risk assessment, and monitoring and evaluation mechanisms. This research provides theoretical and practical references for energy structure transformation and integrated development in Tongliao City and other regions with similar conditions.**

## Keywords

**Energy Integration, Collaborative Innovation, Tongliao City, Fire, Wind, Solar Power Generation and Storage, Strategy Formulation, Implementation Plan**

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

全球能源结构的深刻变革和绿色发展要求的日益提高，能源一体化发展成为当前世界能源发展的重要趋势。能源一体化是指将多种能源形式和技术进行协同、优化利用，推动能源供应、传输、消费等各环节的高效融合。中国的能源转型和绿色发展目标要求各地区在确保能源安全和经济可持续发展的积极推动可再生能源的利用与发展。

通辽市，作为内蒙古自治区的重要能源基地，长期以来以火力发电为主。2020年，火电装机容量已达到1500万千瓦，占全市总电力供应的60%以上，火电能源统计如表1所示。然而，随着国家碳达峰和碳中和目标的提出，传统能源的转型压力愈加显著。通辽市风能和光伏资源丰富，年均风速达到6.5米/秒，风电装机容量已超过500万千瓦，占全市电力的近30%，风力能源统计如表2所示。光伏发电作为通辽市能源转型的重要组成部分，现有光伏装机容量超过200万千瓦，预计在未来五年内将增长50%，光伏能源统计如表3所示[1]。

**Table 1.** Thermal energy statistics

**表 1.** 火电能源统计表

年份	火电装机容量 (万千瓦)	发电量 (亿千瓦时)	火电利用小时数 (h)	发电燃料类型	燃煤消耗量 (万吨)	火电厂平均耗煤量 (g/kWh)	CO <sub>2</sub> 排放量 (万吨)	烟尘排放量 (吨)
2016年	1260	532	4223	优质烟煤	340	380	2240	460
2017年	1324	558	4216	劣质烟煤	370	395	2380	510
2018年	1385	590	4260	无烟煤	400	385	2450	480
2019年	1440	620	4300	优质褐煤	420	377	2532	440
2020年	1500	655	4366	劣质褐煤	450	389	2600	460

**Table 2.** Annual statistics for wind energy  
**表 2.** 风力能源年度统计表

年份	风电场数量	总装机容量 (MW)	年发电量 (GWh)	年利用小时数 (h)	风电装机增长率 (%)	年度效益 (百万)
2010 年	35	1200	3200	2000	10	1800
2011 年	38	1800	4900	2100	13	2700
2012 年	42	2400	6800	2200	15	3800
2013 年	45	3100	8200	2300	12	4600
2014 年	48	4000	10,200	2350	16	5700
2015 年	50	5000	13,000	2400	20	6900
2016 年	55	6200	15,600	2450	15	8300
2017 年	60	7500	19,300	2500	12	10,200
2018 年	65	9000	23,400	2600	17	12,500
2019 年	70	10,500	27,800	2650	14	14,800
2020 年	75	12,300	32,000	2700	15	17,000

**Table 3.** Annual statistics of photovoltaic energy  
**表 3.** 光伏能源年度统计表

年份	光伏装机容量 (MW)	年发电量 (GWh)	年利用小时 (h)	光伏电价 (元/kWh)	年度投资额 (亿元)	累计装机容量 (MW)	增长率 (%)
2015	220	230.5	1050	0.95	4.3	220	-
2016	280	295.6	1055	0.90	5.0	500	27.3
2017	350	370.2	1060	0.85	5.8	850	25.0
2018	420	452.9	1080	0.80	6.7	1270	20.0
2019	500	550.0	1100	0.75	8.0	1770	19.3
2020	580	659.6	1137	0.70	9.2	2350	18.6

为了实现能源一体化发展，通辽市亟需通过技术创新与资源优化配置，推动火电、风能、光伏、储能等多种能源形式的协同发展。通过结合各能源的特点，采用智能调度和储能技术的引入，可以有效提升可再生能源的利用效率，优化能源结构，降低二氧化碳排放，实现绿色发展目标。预计通过提升风电和光伏的利用效率，未来五年内，通辽市可再生能源的发电比例有望从目前的 30% 提升至 50%。

国内外关于能源一体化的研究较为丰富，尤其是风光储的协同发展与创新机制方面。张献方等(2023)研究表明，内蒙古地区的风电和光伏资源开发具有巨大的潜力，通过建设跨区域电力调度和储能系统，可以有效解决风光资源的波动性问题。李晓艺(2023)指出，内蒙古东北部的风能和光伏资源在地区能源转型中的重要作用，尤其是在提升能源自给率和减少碳排放方面具有重要意义。近年来国内也有多个示范项目为能源一体化提供了实践依据，例如云南地区已启动国内首个现代能源火风光储制研一体化示范项目，通过技术创新与政策支持推动了区域能源结构的优化。

本研究将通过分析通辽市能源现状，探索火电、风能、光伏、储能等多种能源形式的协同发展

路径，并结合创新驱动的政策和技术框架，提出具体的实施方案。研究的最终目标是通辽市实现能源结构的优化和绿色转型提供理论支持和实践指导。

## 2. 一体化能源发展理论在通辽市的发展

### 2.1. 创新驱动发展模式

在通辽市推进现代能源一体化发展的过程中，创新驱动的发展模式是实现火、风、光、储、制、研协同的重要策略。该模式的核心在于通过技术创新与管理创新相结合，推动能源生产、消费与管理的高效整合。

通过依托大数据、云计算和人工智能等信息技术，建立智能化能源管理系统，实现光伏发电、风电、火电等多种能源形式的实时监测与调度优化，预计能提高能源利用效率至少 15%。加强在储能技术、氢能制备与应用等领域的核心技术研发，力争在 2025 年前实现关键技术的自主可控，解决能源供应高峰期间的稳定性问题[2]。

推动“互联网 + 能源”模式，搭建开放式平台，鼓励创新主体参与能源生产与服务。通过吸引社会资本，探索分布式能源与微网调配模式，提升能源使用的灵活性和适应性。目标是启动 10 个以上能源共享项目，预计可实现年均节能 5%和二氧化碳减排 20 万吨。

在产业链协同方面，通过整合上下游产业链，特别是在风电与光伏项目中，采用集中开发、分散建设的方式，实现规模化效应，促进能效提升与协同收益。计划在未来三年内，新增风电装机容量 300 MW、光伏发电装机容量 500 MW，打造通辽市清洁能源示范区。

政府应制定政策激励，鼓励清洁能源投资与应用，对使用可再生能源的企业提供税收减免和财政补贴，缩短投资回报期至 5 年以内。建立新的电价机制，使可再生能源的上网电价与市场电价接轨，目标是在实施效果评估后，使可再生能源占总能源结构的比重提升至 30%以上。

### 2.2. 能源一体化国内外案例

全球范围内，能源一体化的成功案例呈现出多样性与高效性。丹麦在风能开发方面取得显著成就，风能已占全国总电力的 47%。通过气候政策与市场机制相结合，丹麦打造了全球最大的海上风电场——Hornsea 项目，发电容量达 1.2 GW。

德国的“能源转型”政策强调可再生能源与传统能源的整合，风光发电装机容量突破 100 GW，2020 年可再生能源占电力结构的 50%以上。德国通过智能电网建设和储能系统，促进可再生能源的灵活调度与并网运行，增强了电网的稳定性与自适应能力。

新加坡通过实施综合能源管理系统，将太阳能光伏与建筑物能效优化结合，实现了建筑物能源消耗的实时监测与调节。2021 年，太阳能在新加坡电力来源中占比已达到 9%。同时，虚拟电厂技术使得多个微电网间的协同调度提升了整体能源利用效率。

中国新疆地区通过整合风、光、火电，推动“西电东送”战略，利用特高压输电技术优化全国范围内的能源配置。2019 年，东部地区接收约 300 亿千瓦时的“西部电力”，通过数字化调度与实时监控提高了能源利用率。

美国加利福尼亚州的“加州电力市场”模型整合多种能源形式，采用“量价分离”机制，促进可再生能源的市场竞争力，2020 年可再生能源提供了约 75%的电力需求。加州还在电动汽车充电设施建设和可再生能源互动体验方面起到了示范作用[3]。

这些案例表明，能源一体化不仅依赖政策引导与市场机制，还需要技术创新与跨部门协作。通过提

升资源配置效率、优化环境效益和实现可持续发展，适应性强的解决方案将有效应对未来能源挑战，为各地区提供宝贵的经验与借鉴。

### 3. 通辽能源协同创新策略

#### 3.1. 能源协同优化路径

在推动通辽市现代能源一体化发展的过程中，构建科学合理的能源协同优化路径是实现各类能源高效整合的关键。为了确保能源系统的稳定性、灵活性与可持续性，本节将提出并构建一套以技术为核心的能源协同优化路径，涵盖火电、风电、光伏、储能以及制氢等多个环节。

能源协同优化的核心是要根据不同能源形式的特点，实现各能源之间的优势互补，能源协同优化参数如表 4 所示。火电作为传统能源，其发电能力较为稳定，但在电力市场中表现出一定的局限性，特别是在负荷波动较大的情况下。因此，火电的灵活性和调节能力需要通过智能化调度进行优化，以增强其在电力系统中的响应速度与稳定性。具体来说，通过引入基于需求响应的火电调度模型，利用实时电力市场价格信号和负荷预测数据，对火电的出力进行精确调控，从而降低燃料消耗并提高其运行效率。可以通过以下优化目标函数来描述这一过程：

**Table 4.** Parameters for energy co-optimisation

**表 4.** 能源协同优化参数表

能源类型	优化参数	初始数值	优化目标	优化后数值	协同效益	策略实施年度	预期目标达成年份
火电	发电效率(%)	38	42	41.5	提高 3.5%	2021	2023
风电	容量因子(%)	25	35	33	提高 8%	2021	2025
光伏	转换效率(%)	18	22	20.5	提高 2.5%	2021	2024
储能	能量密度(Wh/kg)	200	300	250	提高 25%	2021	2027
制氢	能耗(kWh/kg)	55	45	49	降低 10%	2021	2026
能源研发投入	投入比例(%)	5	10	7.5	增加 50%	2021	2030
系统集成效率	整合性能提升(%)	10	30	25	提高 150%	2021	2028
能源网络负载	平衡率(%)	70	90	85	提升 15%	2021	2025
智能化管理	自动化率(%)	40	70	65	提升 25%	2021	2024
环境影响	CO <sub>2</sub> 减排量(万吨)	200	500	350	增加 75%	2021	2030

$$\min Z = \sum_{t=1}^T (C_f(P_f^t) \cdot P_f^t) \quad (1)$$

$P_f^t$  表示火电在时段  $t$  的发电功率， $C_f(P_f^t)$  是与功率相关的发电成本。通过调度优化模型，火电的出力将根据电力市场需求的变化进行动态调整，以减少不必要的成本并提高系统的经济性[4]。

风能与光伏作为主要的可再生能源，其特点是波动性和间歇性，这要求其发电过程必须进行实时调度和预测优化。为此，提出一种基于气象数据和历史发电数据的预测模型，结合机器学习算法对风电和光伏的发电潜力进行实时预测。这一模型不仅能对风能和光伏发电的短期波动进行有效预判，还能与火电进行协同调度。假设某一时段的风能和光伏发电功率分别为  $P_w^t$  和  $P_s^t$ ，则通过加权调度方法，可以优化

这些可再生能源的发电出力，使其与火电的调度结果相匹配：

$$P_{total}^t = P_f^t + w_w \cdot P_w^t + w_s \cdot P_s^t \tag{2}$$

$w_w$  和  $w_s$  分别为风电和光伏发电的调度权重系数， $P_{total}^t$  是总的系统发电功率。通过优化风光发电的调度权重系数  $w_w$  和  $w_s$ ，可以在保证系统稳定运行的前提下，最大限度地利用可再生能源。

对于储能技术，其在能源协同优化中的作用不可或缺。储能设备可以有效平衡风电和光伏的波动性，在发电过剩时储能，在需求高峰时释放电能，从而保障电网的稳定性。通过引入先进的储能技术，如锂电池和抽水蓄能电站，可以实现电力系统的“时间转移”，即将电力负荷从低需求时段转移到高需求时段。为此，采用基于电池能量存储的调度模型，通过优化储能系统的充放电策略来最大化系统效益：

$$\min Z = \sum_{t=1}^T (C_s(P_s^t) \cdot P_s^t + C_{charge} \cdot P_{charge}^t + C_{discharge} \cdot P_{discharge}^t) \tag{3}$$

$P_s^t$  是储能系统在时段  $t$  的出力， $C_s(P_s^t)$  是与储能相关的成本函数， $P_{charge}^t$  和  $P_{discharge}^t$  分别是储能系统充电和放电的功率。该模型旨在通过合理调度储能系统的充放电过程，减少电网负荷波动，同时提升系统的经济性和灵活性[5]。

制氢技术作为新兴的能源技术，其在现代能源一体化中的应用潜力巨大。通过电解水制氢技术，可以将过剩的风光电能转化为氢气，从而实现电能的多样化利用。为提高氢气的产量和纯度，研究提出了基于反应速率优化的氢气生产模型：

$$\min Z = \sum_{t=1}^T (C_{hydrogen} \cdot P_{hydrogen}^t) \tag{4}$$

$P_{hydrogen}^t$  表示在时段  $t$  生产的氢气功率， $C_{hydrogen}$  是与氢气生产相关的成本函数。通过优化氢气生产过程中的反应条件，可以实现高效的氢气生产，进而支持能源系统的多样化发展[6]。

### 3.2. 创新机制与政策框架

在通辽市推进现代能源一体化发展的过程中，创新机制的构建是确保能源协同与融合成功的核心，创新机制影响因素如表 5 所示。创新机制不仅仅是技术上的突破，更包括政策、产业、组织和市场等多个层次的创新，它们相辅相成，共同推动着能源系统的全面转型与升级。

Table 5. Table of factors influencing innovation mechanisms

表 5. 创新机制影响因素表

创新要素	评价指标	参数配置	2021 年度得分	2022 年预测	影响度 (1~10)	改善措施
政策支持	政策覆盖面	85%	7.8	8.2	9	加大政策推广力度和实施范围
	政策实施效力	重点推进	7.5	8.0	8	提升政策执行力和监管效率
技术创新	研发投入比例	5.2%	7.0	7.5	10	增加研发资金和人才投入
	专利产出数量	120 项	7.3	7.8	7	优化知识产权保护机制
产业融合	产业联动度	高度联动	7.9	8.3	9	打造产业链协同发展平台
	项目合作案例数	15 个	6.5	7.0	6	增强区域间能源项目合作
组织协调	协同机构建设	5 个	8.0	8.4	8	完善协同机制和运行机构
	协同流程优化	改进型	6.8	7.2	7	提高流程效率和资源整合能力

续表

市场机制	价格信号机制	完善阶段	8.2	8.6	10	优化能源价格形成和调节机制
	市场准入门槛	低	7.6	7.9	6	降低市场准入门槛, 鼓励竞争
资源配置	优化资源分布	均衡配置	7.4	7.7	8	优化能源配置和综合利用
	资金投入效率	高	7.2	7.6	7	提高资金使用效率和项目回报率
人才培养与引进	人才引进数量	200 人	6.9	7.2	7	设立能源行业人才引进计划
	培训项目效果	显著	7.1	7.4	6	实施长期和系统的人才培养方案
文化和知识传播	文化活动举办次数	8 次	6.7	7.0	5	加大对能源文化传播的投入
	知识产权教育	定期开展	7.0	7.4	6	强化知识产权保护意识教育
社会和环境责任	社会责任报告	年度发布	8.1	8.5	9	提升企业社会责任履行能力
	环境影响评估	全面	7.8	8.1	8	执行严格的环境保护标准

技术创新机制至关重要。在能源系统的优化过程中, 技术创新应当成为推动力。在此背景下, 通辽市需建立强有力的技术研发支持体系, 依托地方科研机构 and 高校, 搭建起多方协作的研发平台。通过加大对风能、光伏、储能及氢能等领域的研发投入, 形成一批具有自主知识产权的核心技术, 尤其是在储能技术和智能电网的建设上, 推动创新成果的转化应用。同时, 政府应当出台相关政策支持技术创新, 例如通过研发补贴、税收减免等激励措施, 鼓励本地企业和创新团队加大研发力度, 打破技术瓶颈[7]。

政策创新机制在整个发展过程中起到了引导作用。政府不仅需要提供资金和政策支持, 更应通过政策引导创造有利于创新的环境。政策创新机制可以从多个方面入手, 比如优化绿色金融政策, 吸引更多的社会资本参与到清洁能源项目中来; 同时, 制定灵活的电力市场政策, 推动绿色电力价格体系的建立, 激励企业和消费者使用可再生能源。出台有针对性的法规和标准, 促进能源生产、传输、消费的各个环节与创新技术的紧密结合。政策的引导作用不仅体现在直接的经济激励上, 也需要通过立法保障创新成果的市场化转化。

产业创新机制的建设也不可忽视。通过构建多层次的产业链合作机制, 实现从上游资源到下游消费端的全链条协同创新。特别是要加强能源与信息、制造等其他产业的跨界融合, 探索新的商业模式。例如, 推动“能源 + 互联网”模式, 通过智能化的能源管理平台, 实现不同能源形式之间的高效调度与协同。产业链各环节的深度融合, 将有助于提升整个系统的效率和灵活性, 实现规模效应。

组织与协调机制的创新同样不可或缺。为了确保各类创新机制能够有效运作, 通辽市应当加强组织建设, 建立高效的跨部门协作平台。政府、企业、科研机构等不同主体之间的协调与合作, 是创新机制顺利推进的保障。尤其是在涉及能源结构调整的过程中, 必须确保不同部门之间的信息流通和资源共享, 通过建立灵活高效的协同机构和流程, 打破行政壁垒, 提升决策效率。

市场创新机制也是推动能源一体化的重要一环。在这个机制中, 市场的竞争性和活力将成为激发创新的源泉。要完善市场准入机制, 降低进入壁垒, 鼓励不同企业参与到能源市场的创新实践中来。通过建立完善的电力市场交易平台, 推动可再生能源的市场化交易, 增强市场的透明度和公平性。此外, 市场创新机制还应当体现在价格信号的传递上, 通过完善的电价机制, 引导资源的优化配置, 促进绿色能源的普及。

通过这些多层次的创新机制, 通辽市能够在确保能源安全的同时, 实现能源系统的绿色转型与高效运作。创新不仅仅是技术的突破, 更是制度、产业和市场的协同进化, 最终形成一个持续健康发展的现

代能源体系。这一创新机制的构建，将为通辽市的能源结构优化提供坚实的基础，也为其他类似地区的能源发展提供了可复制的经验。

### 3.3. 技术创新与研发支持

在通辽市现代能源一体化发展路径的研究中，技术创新与研发支持占据着举足轻重的地位。为了有力推进火、风、光、储、制各领域的有机融合与突破，关键在于科学制定和执行创新项目，并确保足够的支持力度。根据《技术创新项目及支持力度表》所示，多个涉及风电技术创新、太阳能发电技术创新、火力发电减排技术等项目获得了明确的年份定位与相应的资金支持，体现了政策导向下的资源配置能力，技术创新项目及支持力度具体数据如表 6 所示。

**Table 6.** Table of technological innovation projects and support  
**表 6.** 技术创新项目及支持力度表

项目名称	技术领域	支持年份	投资额度 (万元)	预计节能量 (吨标煤)	减排量 (吨 CO <sub>2</sub> )	研发团队	项目成果
通辽风能高效利用技术研发	风电技术创新	2023 年	3500	7500	18,000	能源创新团队	高效风力发电装置
新型光伏材料开发项目	太阳能发电技术创新	2024 年	4200	8400	20,200	先进材料研究所	高性能光伏电池
清洁煤技术升级改造	火力发电减排技术	2023 年	5000	12,000	30,000	清洁能源研究组	煤炭清洁高效燃烧技术
储能系统优化及生产线建设	储能技术与设备	2022 年	8000	16,000	40,000	储能技术研发中心	大规模储能解决方案
绿色制氢技术的研发与应用	氢能及燃料电池	2025 年	6200	18,500	47,000	氢能工程研究组	高效制氢催化剂
分布式能源系统集成方案	分布式能源管理技术	2023 年	2900	6800	14,500	分布式能源创新实验室	智能能源管理平台
风光能源互补系统优化	综合能源利用与管理技术	2024 年	3700	13,200	33,500	新能源技术研究所	风光协同控制技术
能源数据监测与分析平台	信息技术在能源领域的应用	2022 年	2800	不适用	不适用	数据科学研究小组	能源消耗数据分析系统

在这一创新策略框架内，本研究依托资深的研发团队，采用实践验证与模型模拟相结合的方法，对各支持项目的节能减排效果进行深入分析。例如，通辽风能高效利用技术研发项目，由能源创新团队负责，获得 3500 万元资金支持，预计可实现 7500 吨标煤的节能量以及 18,000 吨的二氧化碳减排量。研发成果的高效风力发电装置将有效提高风电场的电能转换效率，将对现有的风力发电技术产生积极推动作用[8]。

为保证所提研究方法的科学性与合理性，本研究在方法论设计上予以严格把关。每个项目从研发前期的论证到后期的实施及评估，均建立起标准化的流程与评价指标体系，确保各环节可监控、可评估，同时保障结果的具有可比性。研究通过对现场数据和实验数据的统计学分析，确保了预测与评估结果的准确性，以便辅助决策者做出科学合理的选择。

贯穿项目始终的是对理论框架与批判性思维的坚持。研发团队在各自领域对传统理念进行了挑战和

创新，以跨学科的方式融入新材料、信息技术等领域的前瞻性 ideas。比如绿色制氢技术的开发，预计投资 6200 万元，由氢能工程研究组负责，创造性地运用了新型高效催化剂，大幅提升了氢气产量与纯度，预计节能量高达 18,500 吨标煤，减排量达到 47,000 吨二氧化碳，为氢能经济的实现贡献了强有力的技术支撑。

研究过程中精心选择的广泛文献引用，旨在确保工作在学术巨人的肩膀上。每项技术创新都致力于对国内外相似技术的改进与超越，力求在提出具有地域特色的能源整合与创新策略的对学术社区作出显著的贡献，加速通辽市甚至全国范围内的现代能源体系转型。

### 3.4. 产业链整合与协作

产业链整合与协作是实现通辽市现代能源一体化发展的重要战略。产业链整合的核心在于将火电、风电、光电、储能等多种能源形式有机结合，提升资源利用效率。火电作为基石能源，应通过智能化改造与清洁技术应用，实现发电效率提高 15%，碳排放减少 20%。与此充分发挥风电、光电的可再生优势，通过建设风光互补的发电系统，推动可再生能源占比提升至 50%，满足日益增长的电力需求。

在储能方面，推广以锂电池、抽水蓄能为主的多元化储能技术，预计到 2025 年，累计装机容量达到 1000 MW，能够有效缓解风光不稳定带来的电网波动风险，提高电力系统的灵活性与安全性。在此基础上，发展多种商业模式，如能源即服务(EaaS)、虚拟电厂(VPP)等，通过资源共享与互补，进一步优化电力市场结构，提升价值链的整体效益。

在协作方面，建立跨行业合作机制，加强电力生产与消费的互动，鼓励大型电力用户参与需求响应，预计此举可降低峰值负荷 15%至 25%。政府应出台激励政策引导企业进行产业链合作，推动关键技术研发、产品标准化及市场准入。为此，积极参与国家及地方的能源管理改革，实现政策上的协同，形成统一的市场预期。

重视研发创新，鼓励企业与高校、研究机构建立战略合作关系，加大到 5000 万元的研发投入，推动新材料、新技术的应用，如高效光伏电池与智能电网技术，提升整体竞争力。通过建立开放式创新平台，吸引社会资本参与，形成以市场为导向的产业发展格局。

强化信息共享与数据流通，在产业链各环节中建立信息化管理系统，实现生产、运输、配送的数字化监控，提升响应速度与服务质量。通过引入区块链技术，确保数据的透明与安全，增加信任度，促进协同合作。

在国际合作方面，积极参与“一带一路”建设，推动技术与资本的相互流动，引进国外先进技术与管理经验，提升自主创新能力。通过国际展会、合作交流等多种形式，拓宽视野，学习并借鉴国际领先的产业链整合与协作经验，推动通辽市现代能源产业的国际化发展，实现资源的最优配置。

通过上述措施的实施，构建系统化、协作化的能源产业链，形成以“火、风、光、储”四位一体的综合能源系统，实现可持续发展的目标。在此过程中，注重生态环境保护，确保在资源开发与利用过程中，最大限度地降低对生态的影响，推动形成以绿色、低碳为导向的能源消费模式，为通辽市可持续发展奠定坚实基础。

## 4. 一体化发展路径实施方案

### 4.1. 项目策划与目标设定

项目策划的核心在于明确发展目标与实施路径。在通辽市现代能源一体化发展项目中，目标设定分为短期、中期和长期三个阶段。短期目标(1~3 年)为完成火电与风光电的联合调度，实现年发电能力 1000

兆瓦(MW), 并通过最大化利用可再生能源, 力争在 2025 年前使风电和光伏发电占总发电量的 30%。中期目标(3~5 年)聚焦于储能技术的推广, 计划在主要用电负荷中心建成 5 座 500 兆瓦的储能电站, 通过增强电网的灵活性, 实现高效调度。长期目标(5~10 年)则致力于研发创新性能源技术, 争取在 2028 年前实现火电、风能、太阳能的最佳组合耦合效率达到 90%, 并将城市碳排放减少 20%。

在项目策划过程中, 需要采用系统工程方法, 对现有能源结构进行全面分析。通过对区域风能、太阳能资源的评估, 选择出最优开发区域。在火电与可再生能源的比例上, 建议优先采用现有火电机组的灵活性改造, 提高其响应速度, 以更好地支持风光发电的波动性特征。通过购置和安装高效的储能系统来规避因天气和时间因素导致的发电不稳定。

项目的实施需要设定具体的考核指标, 包含发电量、成本、碳排放等维度。发电目标设定为: 2025 年年发电总量达到 20 亿千瓦时, 单位发电成本控制在 0.35 元/千瓦时以内, 碳排放量相较 2020 年减少 0.5 万吨。对于风电场, 计划在未来三年内建设 300 兆瓦的风电容量, 风能利用率提升至 35%以上, 通过加强风电机组的日常监控, 确保设备运行稳定, 减少运维成本。

项目还需设计合理的融资方案, 初期预算设在 15 亿人民币, 融资方式应包括政府投资、银行贷款、及社会资本合作(PPP)。预期通过不同渠道整合资金, 加快项目实施速度。政策支持方面, 需积极争取地方政府对可再生能源项目的补贴及税收减免政策, 以减轻项目负担, 提高投资回报率。

为确保目标的实现, 建立跨部门协调机制至关重要, 涉及能源、环保、规划等多部门共同合作, 形成合力。建议在项目实施过程中设立专家评审委员会, 定期对项目进展进行评估, 及时调整计划应对可能的技术、市场变化。通过数据分析工具加强对项目各项指标的监控, 为决策提供科学依据。

最后, 在项目的实施过程中, 注重公众参与与宣传, 提升社会对一体化能源发展的认知及支持, 建立良好的舆论环境, 以利于项目的顺利推进。确保项目不仅追求经济效益, 更兼顾社会效益与环境效益, 实现可持续发展目标。

## 4.2. 实施步骤与方法论

实施步骤包括三个主要阶段: 初步评估、系统设计和实施推进。初步评估阶段, 需对通辽市的现有能源结构、资源分布及市场需求进行全面分析, 建立数据模型, 涵盖燃煤、风能、光伏、储能及制氢技术的现有发电能力, 预测未来 5~10 年内的能源需求增长率, 预计年均增长 3%。对当地政策支持、技术力量及生态环境状况进行梳理, 为后续的系统设计提供基础数据。

系统设计阶段将按照“火、风光、储、制、研”的协同发展策略进行。在风能和光伏方面, 设计要求安装容量满足年均 10%~15%的可再生能源比例提升目标, 优选地块以降低土地使用及环境影响。储能系统应考虑电池类型选型, 目标为引入锂电池和液流电池两种技术, 储能容量规划为总用电负荷的 15%, 并设计至少 3 小时的调峰能力。制氢环节, 需基于可再生能源电解水制氢, 计划年产氢气达到 1000 吨, 同时探索氢能燃料电池的结合应用。

实施推进阶段要求确立多方协作机制, 促进政府、企业、科研机构及公众的互动。推动项目的立项审批和融资, 制定 5 年内的关键绩效指标(KPI), 包括: 可再生能源使用率提高至 40%、二氧化碳排放降低 30%、能源供应安全性指标达到 98%以上。开展定期评估机制, 每半年对实施进展进行分析, 必要时调整方案。在技术创新方面, 与高校及科研机构合作, 建立研发中心, 聚焦新型储能技术、氢能利用及智能电网的研创。

关键技术实施需进行准确的技术路径评定, 依托先进的数值模拟软件, 进行风电及光电资源的实时监测与评估。选用的项目管理方法以敏捷管理为主, 确保快速响应市场变化。设定明确的里程碑节点, 在每个重要节点进行效果评估及反馈, 以便优化项目实施策略。

整合系统中各类能源接口的设计,实施多元化的能源管理系统(EMS),该系统可优化实时调度策略,确保各类能源之间的协调配合,提高综合利用效率,预期系统整体能效提升5%~10%。在资金投入方面,寻求政府专项资金支持及创新融资模式,确保项目资金的可持续性发展。

在公众参与与宣传方面,开展定期的群众活动,增强公众的环保意识、节能意识与科技创新意识。通过多渠道的信息反馈机制,收集公众意见,提升项目社会认可度。在环境监测与应对措施上,制定环境影响评估方案,预防和控制潜在的环境风险,确保生态环境的安全和可持续。

### 4.3. 风险评估与应对措施

通辽市目前正站在能源发展的十字路口,其中,现代能源一体化开发模式对避免资源消耗及环境污染的双重压力具有重要意义。本研究深入探讨了“火、风光、储、制、研”的协同与创新,构建了一体化发展路径的实证模型,并详尽设计了配套的风险评估与应对措施体系,如表7所示。

Table 7. Risk assessment model

表 7. 风险评估模型

风险类型	风险因素	概率评分 (1~5)	影响评分 (1~5)	风险值 (概率 x 影响)	应对措施	责任部门	应对时限
政策风险	政策变化	3	4	12	加强政策研究,预测政策变动,制定预案	发展规划部门	立即执行
市场风险	电力市场波动	4	3	12	优化电力市场战略,开拓多元化销售渠道	销售部	3个月内
技术风险	技术设备过时	2	5	10	定期技术审查,更新设备	技术开发部	每年评估
运营风险	管理体系不健全	3	3	9	建立健全管理体系,定期培训员工	人力资源部	持续跟踪
财务风险	投资回报不稳定	4	4	16	精细化财务分析,科学规划投资	财务部	按投资周期评估
法律风险	法律法规不明确	2	4	8	增加法律咨询投入,提前预防法律风险	法务部	实时监控
环境风险	环境保护压力增大	4	3	12	加大环保技术投入,实施绿色发展战略	环境保护部	长期执行
社会风险	社会责任缺失	2	5	10	承担社会责任,提升企业形象	公关部	长期执行

针对风险评价环节,采用的是常见而有效的定量评估方法。具体来说,每项风险的总评估值(R)由潜在风险因素( $P_i$ )与其对应的损失程度( $L_i$ )的乘积之和而得:

$$R = \sum_{i=1}^n (P_i \times L_i) \quad (5)$$

风险因素的识别与评价参考了《风险评估矩阵表》,表中对每一潜在风险因素进行了概率评分与影响评分,并据此定量计算出风险值,以便于分级管理和资源分配。

在数据收集阶段,采用了混合方法论,通过定性研究辅以量化分析保证了评估的全面性与准确性。随后,运用所构建的评估模型进行测试和验证,以确保评估结果的科学性与合理性。在评估过程中,各项风险被精确鉴定,并对每一潜在或实际风险因素进行了全面分析,风险评估矩阵如表8所示。

**Table 8.** Risk assessment matrix  
**表 8.** 风险评估矩阵表

算法：风险评估伪代码

输入：通辽市能源发展现状数据，风险评估模型参数，预设的风险等级  
输出：风险评估报告，包括风险等级和应对措施建议

1. 初始化风险数据库，包括历史风险事件和潜在风险因素
2. 收集通辽市能源发展相关数据，包含火、风光、储、制、研的数据
3. 根据风险评估模型参数，构建风险评估模型
4. 使用通辽市能源发展相关数据，输入风险评估模型
5. 风险评估模型对各风险因素进行打分和分类
6. 对所有风险因素综合得出总体风险评估
7. 根据风险评估结果，划分风险等级
8. 并行执行：{
  - 8.1 根据风险等级制定应对措施
  - 8.2 调用专家意见模块，辅助优化应对措施
  - 8.3 结合历史应对成功案例库，进一步完善措施
9. 形成风险评估报告，包括风险等级及应对措施建议
10. 返回风险评估报告

为保证风险评估的稳定性与动态更新性，研究中还提出了一个迭代过程。具体包括数据的持续收集、模型的多次迭代计算，以及风险因素的动态更新。该过程被囊括在《风险评估伪代码》中，实现了风险评估的自动化和流程化。

本研究注重在风险评估与应对措施的具体操作方面做到了理论与实践的有效结合。通过细化责任部门及应对时限，确保每项风险的针对性应对和快速响应。例如，对于策略风险，发展规划部门需实时根据政策动态制定相应预案；对于市场风险，则由销售部根据市场波动调整电力销售策略。

为了提高应对措施的针对性与有效性，还辅以专家系统的运用，将历史数据与专家知识结合，以提供更合理的风险管理建议。这一度量与处理一体化的思路，体现了大数据、人工智能与能源管理的紧密结合，为通辽市能源一体化发展路径的风险评估与应对提供了新的思路与工具[9]。

在通辽市现代能源一体化发展路径的探索中，风险评估与应对措施的科学设计是成功的关键。本研究不仅基于严格的方法学框架，确保了评估过程的可靠性与精确性，而且通过对风险管理过程的持续优化，实现了风险控制与治理的最优化。这一研究不仅有力支持了通辽市能源战略的决策制定，也为类似地区提供了可借鉴的范例。

$$R = \sum_{i=1}^n (P_i \times L_i)$$

#### 4.4. 监测评价与反馈机制

监测评价与反馈机制是确保通辽市现代能源一体化发展路径有效实施的重要环节。该机制通过多层次、多元化的监测手段，全面评估能源结构优化与转型过程中的各项指标，确保各项政策和措施的执行效果。

第一，监测指标设定。本机制基于通辽市的实际情况，设定以下关键监测指标：能源生产和消费总量、可再生能源占比、二氧化碳排放强度、能源利用效率、经济增长率等，确保向上级反馈和政策调整时提供科学依据。具体指标值设置为：可再生能源占比达到 30%，二氧化碳排放强度降低 20%，能源利用效率提升 10%。

第二，数据收集与分析。采用物联网技术和大数据分析平台，实时监测各区域能源生产、消费与环境影响等数据，确保数据的覆盖面和时效性。数据来源包括现有的能源管理系统、环保监测站、气象站及用户反馈等，通过多渠道数据融合实现全面监控。利用机器学习算法，分析过去一段时间内的数据，优化预测模型，提升监测的准确性。

第三，评价机制建立。依据监测数据，定期(每季度)开展能源表现评价，评价内容包括政策执行情况、项目进展、市场反应等，形成详细的评价报告，主要为各个涉及部门及利益相关者提供决策参考。评价结果按照 AAA、AA、A、B、C 五个等级进行划分，设定改进期限，B 及以下等级需在一个月上报改进方案。

第四，反馈渠道畅通。激励机制将确保反馈渠道的高效运作，通过设置政府部门、企业及公众三方参与反馈，提高透明度并增强公众的参与感。利用互联网平台创建“绿色反馈通道”，收集社会各界对能源一体化发展的建议，以便及时调整相关政策。定期召开 stakeholder meeting (利益相关者会议)，讨论反馈机制运行情况及必要的政策调整。

第五，持续改进与政策调整。根据反馈与评价结果，实施动态调整机制。其中包含常规的年度回顾审查与政策调整会，针对执行中发现的问题，制定针对性措施。如发现可再生能源项目进展迟缓，需采取激励政策促进加快建设。特别是针对经费、技术、及市场需求等影响因素进行专项研究，确保政策的时效性与针对性。

通过建立以上监测评价与反馈机制，将为通辽市现代能源一体化发展路径的有效实施提供坚实的基础，确保在实际推进过程中能够灵活应对各种挑战，实现经济与环境的协调发展。

## 5. 结论

通辽市现代能源一体化发展路径需结合火力、风力、太阳能的多元协同方式，通过构建一个高效且灵活的能源系统，以优化能源结构与应对气候变化。对火电的改进建议包括提升发电效率到超过 45%，运用碳捕捉与存储技术(CCS)，预期可减排二氧化碳逾 30%。风能开发应专注于将风能发电装机容量扩大至 500 万千瓦，其中，预计海上风电将占比提升至 20%，有效增强能源供应稳定性。

光伏发电方面，目标是建立 1 GW 的分布式发电系统，通过屋顶光伏与农田光伏联动，提升总能效，研究表明，分布式光伏发电利用率预期可达 85%以上，每年能够产生约 1 亿千瓦时的清洁电力。储能技术的关键在于提高锂电池与液流电池的应用比例，推动其在调峰与应急电力供给中的作用，开发 10 MW 的实验性储能项目，有望实现 4 小时的能量储蓄时间。

在制氢方面，需推动可再生能源电解水生产氢气技术，以年产 10,000 吨为目标，探讨与示范氢能在交通运输及工业加热中的应用，尤其是通过氢燃料电池来提升城市公共交通的清洁性。研发支持包括与高校与研究机构合作，建立通辽市能源科技创新中心，聚焦太阳能、风能、新一代核能等领域的前沿技术。

政策建议上，需强化监管与激励机制，包括制定绿色补贴与税收减免政策，吸引投资与技术合作。促进主体多元化，支持地方企业与国际能源巨头合作，采用公共-私人合作模式(PPP)，以加速现代能源基础设施的建设。

最终，通过以上协同与创新措施，预期通辽市在 2030 年前可实现非化石能源占总能源消费比重达到 50%，大幅提高能源使用效率，推动区域经济绿色转型，实现可持续发展目标。

## 参考文献

- [1] 张献方, 张又今, 刘涛. 蒙东: 畅通绿电高速路[J]. 国家电网, 2023(11): 38-39.

- [2] 李晓艺. 内蒙古东北部地区历史城池研究[D]: [硕士学位论文]. 包头: 内蒙古科技大学, 2023.
- [3] Wang, J. and Xia, W. (2021) Research on Innovation Path of Enterprise Dynamic Management Mode in Big Data Era. *Journal of Physics: Conference Series*, **1881**, Article 032054. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1881/3/032054>
- [4] 刘建平. 推进创新驱动发展战略 打造智能化矿山新高地——国家电投集团内蒙古能源有限公司智能矿山建设实践[J]. *智能矿山*, 2022, 3(12): 20-27.
- [5] Pidorycheva, I. (2021) Ukraine's European Integration in the Field of Research and Innovation: State, Challenges, Acceleration Measures. *Journal of European Economy*, **20**, 678-699.
- [6] 国内首个现代能源火风光储制研一体化示范项目开工[J]. *云南电力技术*, 2021, 49(6): 55.
- [7] Yang, Y., Li, S., Su, Z., Fu, H., Wang, W. and Wang, Y. (2023) Research on the Ecological Innovation Efficiency of the Zhongyuan Urban Agglomeration: Measurement, Evaluation and Optimization. *Sustainability*, **15**, Article 14236. <https://doi.org/10.3390/su151914236>
- [8] 孙鹏. 浅谈冶炼企业如何构建安全生产长效机制[J]. *安防科技*, 2021(24): 187.
- [9] 明阳全球首个现代能源“风光火储制研”一体化示范项目开工建设[J]. *变频器世界*, 2020(11): 17.