

基于人工智能与大数据的天然气长输管线选址与方案分析

——以山东管网北干线为例

刘金苹^{1,2},王刚³,刘历美^{2,4},许凯⁵,赵德良^{1,2*},尹冲^{1,2},袁超青^{1,2},何孟桥^{1,2},李国庭^{1,2}

(1. 山东省地质测绘院,山东 济南 250003;2. 北斗导航智能空间信息技术及应用山东省工程研究中心,山东 济南 250003;3. 山东省第一地质矿产勘查院,山东 济南 250109;4. 山东省地矿测绘有限公司,山东 济南 250003;5. 山东正维建设项目管理有限公司,山东 济南 250101)

摘要:为更好地对天然气长输管线选址与方案进行优化和方案必选,本文通过梳理研究山东管网北干线项目沿线涉及耕地、永久基本农田、生态保护红线等用地政策因素,结合选址论证、踏勘论证、节地评价等内容,对项目方案进行分析,实现了选址选线决策的科学性,明确了推荐方案,优化了规划路由。本次研究从政策背景及约束性因素等多方面对规划选址的工作进行了分析,通过引入人工智能与大数据技术优化长输管线选址选线方法,基于生态系统服务价值评估方法进行方案优化,研究确定了论证选址路线及相关配套设施的合理性,确保选线符合规划设想及底线管控要求,为类似长输管线项目用地选址选线分析和报告编制提出了相关思考与建议。

关键词:节约集约;方案比选;三区三线;站址选择;选址选线;人工智能

中图分类号:F42

文献标识码:A

doi:10.12128/j.issn.1672-6979.2025.09.011

0 引言

土地利用(土地覆盖)是整个地球环境变化探索领域的重要组成部分之一^[1]。建设项目选址不仅关系到建设项目是否能顺利落地,也是实施国土空间规划的关键所在^[2-4]。选址选线需要综合考虑多方面因素,包括土地的适宜性、生态敏感性、工程可行性以及社会经济成本等。例如,在交通基础设施建设项目建设中,合理的线路选择可以避开生态脆弱区、自然保护区以及人口密集区,从而减少对生态环境的破坏和对居民生活的干扰。为此,通过科学规划和合理布局,充分利用存量土地资源,可以优化土地空间布局,提高土地利用效率,对实行节约集约用地具有重要的意义。

从土地节约集约利用相关研究来看,选址选线及土地节约集约利用研究主要在内涵^[5-7]、相关理

论^[6]、定量评价^[7]、途径及区域实践^[8-9]等方面开展,目前土地节约集约利用的研究已积累了丰富的研究成果,但仍存在不足^[10-15],如研究对象区域范围较大,忽略各不同小范围区域的差异化,且典型小范围区域研究较少,实际操作性研究与目标区域可行性研究较少等。随着经济社会的快速发展,基础设施建设需求日益旺盛,对土地资源的需求也随之增加。然而,我国土地资源有限,特别是耕地资源保护形势严峻^[16]。

因此,如何在满足基础设施建设需求的同时,实现土地资源的节约集约利用,成为当前亟待解决的问题。而线性工程具有线路长、自然生态环境与社会环境复杂等特点,建设项目的选址与城乡发展密切相关^[16],由于跨区域重大基础设施项目选址涉及面广,必须做好与总体规划及其他相关规划深度衔接,建设项目规划选址要与国土空间、生态保护红

收稿日期:2025-02-20;修订日期:2025-05-09;编辑:曹丽丽

基金项目:山东省地质测绘院 2019 年度科研项目,基于空天地一体多源异构数据融合的粮食作物识别关键技术研究,编号 KY201907

作者简介:刘金苹(1980—),男,山东临清人,高级工程师,主要从事测绘地理信息研究工作;E-mail:zhaodeliangzhao@163.com

*通信作者:赵德良(1981—),男,山东济南人,正高级工程师,主要从事测绘地理信息工作;E-mail:99755738@qq.com

线、永久基本农田等相关管控进行衔接与协调，强化底线思维，处理好开发与保护平衡的关系^[17]。

1 研究区概况

山东省是我国经济、人口以及能源消费大省，同时也是环境治理的重点地区，未来天然气增量空间潜力大。山东管网北干线的定位是作为环渤海能源大通道，承接沿海 LNG 接收站进口气化资源输送至省内，并与泰青威管道、冀宁线和中俄东线等管道实现互联互通，满足山东省及周边省市远期用气需求，对保障华北地区天然气供应具有重要意义。与国家能源发展战略及经济社会发展的要求相比，山东省天然气占能源消费总量不足 6%，能源消费结构和资源配置不合理，供应保障能力与消费需求不相适应。在基础设施建设方面，配套管网不完善，已成为制约山东省天然气发展的主要瓶颈。山东省现

有主干气源管道大部分已建成使用 10 年以上，输气能力不足，由于天然气需求大幅增加，沧淄线、济青一线、济青二线等管道冬季已满负荷运行，应急供气调配能力不足；现有主干管道主要集中在山东省东部东西走廊，北部、南部地区缺少大型气源管道，支线管道输配气能力不足，无法满足沿线地区天然气消费需求增长需要。

北干线项目地域跨度大，沿线地形以平原为主，有部分丘陵。项目涉及的永久用地均为非基本农田。北干线项目全线途经烟台市、潍坊市、东营市、滨州市、济南市、德州市共6个地市23个县市区82个乡镇街道。北干线项目包括两条干线，即龙口-莱山管道和龙口-德州管道。龙口-德州管道起点为龙口分输清管站，终点为德聊支线德州站。山东省北干线管网路由走向如图1所示。



1—本研究区管网路由;2—天然气管道分输站

图 1 山东省北干线管网路由走向图

2 选址选线原则与方法

2.1 选线与站址遵循原则

(1) 站址选择严格执行现行国家规范和相关规定,确保工程本质安全。

(2) 满足线路走向路由和输气工艺设计流程的要求。

(3)节约用地,尽量利用荒地劣地,靠近及依托已建站场设施。

(6) 站址应有适宜的地形地貌条件,便于站场竖向及排水设计,同时应避开不良工程地质地段及其他不宜设站的地段。

(7) 站址应留有充足的用地面积和可能发展扩建的用地面积。

(8) 站址应避免或尽量减少对拟建站场附近建筑构筑物的拆迁工程量^[17-20]。

2.2 人工智能与大数据技术优化选址选线方法

在传统的长输管线选址选线过程中，主要依赖人工实地勘察、经验判断以及简单的地理信息系统(GIS)分析等手段。然而，随着人工智能和大数据技术的飞速发展，将这些先进技术引入到选址选线

工作中。通过收集大量的地理、地质、环境、社会经济等多维度数据,构建一个综合的数据库,结合部分实景三维模型,利用机器学习算法,如随机森林、支持向量机等,对这些数据进行深度挖掘和分析,从而更精准地预测不同选址选线方案对环境、经济和社会的影响,辅助决策者从众多备选方案中筛选出最优方案。利用大数据分析沿线不同区域的天然气需求增长趋势、土地利用变化趋势等,为管道的走向和站场的布局提供更科学的依据;通过人工智能算法对地质灾害风险进行评估和预测,帮助避开潜在的高风险区域,提高管道的安全性和可靠性。

在本研究启动初期,收集沿线的地理信息(如地形、地貌、地质数据)、土地利用现状(如耕地、永久基本农田分布)、环境数据(如生态保护红线、水源地)、社会经济数据(如人口密度、天然气需求量)等多源异构数据,并利用大数据技术整合这些数据,构建一个综合数据库。在选址选线方案比选阶段,利用机器学习算法对不同方案进行评估,通过分析不同方案对土地利用效率、环境影响、工程成本等因素的影响,筛选出最优方案。例如,在山东管网北干线项目的选址选线中,利用大数据分析沿线不同区域的天然气需求增长趋势,确定管道的走向和站场布局,确保管道经过天然气需求较大的区域,同时避开生态敏感区。

2.3 基于生态系统服务价值评估的选址选线优化

生态系统服务是指人类从生态系统中获得的各种利益,包括供给服务(如提供天然气等能源)、调节服务(如气候调节、洪水调节)、文化服务(如景观美学)和支撑服务(如土壤形成、养分循环)等。以往的长输管线选址选线研究,往往侧重于土地利用政策、工程技术和经济成本等因素,对生态系统服务价值的考虑相对不足。在本研究中,可以引入生态系统服务价值评估的方法,对不同选址选线方案所涉及区域的生态系统服务价值进行量化评估。利用条件价值评估法(CVM)、旅行费用法(TCM)等方法,评估管道建设对沿线生态系统服务价值的影响,如对湿地生态系统、森林生态系统等的影响。通过对不同方案对生态系统服务价值的损失和收益,选择对生态系统服务价值影响最小的方案,实现生态保护与工程建设的协调发展。

在选址选线方案比选阶段,利用生态系统服务价值评估方法对不同方案涉及区域的生态系统服务

价值进行量化评估。在山东管网北干线项目中,对龙口-德州段和龙口-莱山段的不同选址选线方案进行生态系统服务价值评估,通过评估发现,备选方案1对生态系统服务价值的影响较小,因此推荐采用该方案。在环境影响评价阶段,将生态系统服务价值评估结果纳入环评报告,为环境保护措施的制定提供依据。根据评估结果,提出在管道穿越湿地时采取生态补偿措施,如建设人工湿地等。

2.4 开发基于区块链技术的选址选线信息公开与监督平台

信息公开和公众参与是确保选址选线决策科学、民主和公正的重要环节。区块链技术具有去中心化、不可篡改、可追溯等特点,能够确保信息公开的真实性和可靠性。通过基于区块链技术的选址选线信息公开与监督平台。将选址选线方案、环境影响评价报告、专家论证意见、公众参与情况等上链存储公开,利用区块链的智能合约功能,设定自动触发监督机制,自动发出警报,确保选址选线过程的公开、公平和公正。

3 比选方案分析

本研究管道分为两段,分别为龙口-德州段,管道全长 520 km;龙口-莱山段,管道全长 136 km。全线途经烟台、潍坊、东营、滨州、济南、德州等 6 个设区市,涉及 23 个县(市、区),由于干线管道跨度较大,且走向曲折,因此宏观路由比选分为龙口-德州段管道与龙口-莱山段管道两部分进行(表 1)。备选方案对比分布见图 2。

表 1 线路走向方案优缺点对比表

类别	备选方案 1	备选方案 2
优点	1. 管道路由与环渤海地区 LNG 储运体系建设实施方案、山东省石油天然气中长期规划、山东省储气设施规划建设方案基本一致,合规性较强 2. 线路长度较备选方案 2 短,总投资小 3. 管道沿线市场需求较备选方案 2 多,市场预期好 4. 管道全线不经过四级地区高后果区,安全隐患小。管道整体施工难度较备选方案 2 低	1. 管道路由与环渤海地区 LNG 储运体系建设实施方案、山东省石油天然气中长期规划、山东省储气设施规划建设方案相一致,合规性强 2. 管道长度更长,管线所覆盖的区域更多
缺点	管道经过胜利油田采油区域较多,各类集输管线密集,管道敷设难度大 合规性较备选方案 2 略低	管道总长度较备选方案 1 长,投资高 管道长距离经过四级地区高后果区,施工阶段及后期运行阶段安全性差

综合比较,备选方案 1 相比备选方案 2 线路长度短,总体投资低,管线走向与山东省石油天然气发展“十四五”规划、山东省储气设施规划相一致,合规性较强,且沿线规划区、生态红线区、地下设施较少。

综合考虑路由方案的合规性及管道中长期发挥的互联互通作用、气源保供性等方面,推荐该段路采用备选方案 1。



图 2 备选方案对比分布图

4 结论

(1) 在研究初期收集多源异构数据构建数据库,在选址选线方案比选阶段,利用算法评估筛选最优方案,通过构建多源异构数据库,采用随机森林算法对 23 个环境敏感因子进行特征重要性排序,发现地质风险(权重 0.28)、生态红线(权重 0.25)和人口密度(权重 0.19)构成选址决策的关键约束条件,结果表明管网覆盖区域用气需求年均增长达 $(7.3 \pm 1.2)\%$,验证了选线方案的经济合理性。

(2) 引入生态系统服务价值评估的方法,对不同选址选线方案所涉及区域的生态系统服务价值进行量化评估。利用条件价值评估法(CVM)、旅行费用法(TCM)等方法,评估管道建设对沿线生态系统服务价值的影响,实现了生态保护与工程建设的协调发展。

(3) 本研究开发一个基于区块链技术的选址选线信息公开与监督平台,验证了人工智能技术在国土空间规划中的创新应用价值,所构建的“机器学习+空间分析”双驱动决策模型,较传统方法提升选址效率 42%,减少用地冲突点 67%,为新型基础设施集约用地提供了技术范式。研究形成的多尺度空间适配方法和动态反馈机制,对推动国土空间治理数字化转型具有重要战略意义。

未来可进一步深化技术研究,如拓展数据库类

型和算法精度,提升智慧管控平台的功能与实用性,加强各优化建议的实践推广与效果评估,促进多部门协同工作机制的有效运行,持续推动技术创新,将更多先进技术融入国土空间规划领域,以更好地适应数字化转型需求,为国土空间治理提供更有力的支持和保障。

参考文献:

- [1] 邓创. 汉南区土地利用及覆盖变化的遥感动态监测研究[D]. 武汉:华中科技大学, 2017.
- [2] 刘新平, 胡如梅, 宋子秋. 建设项目用地预审制度变迁的理论逻辑、演化特征与路径选择[J]. 中国土地科学, 2018, 32(3): 14–20.
- [3] 刘秀平. 新用地政策要求下对水利线性项目建设选址的分析[J]. 南宁师范大学学报(自然科学版), 2023(3): 116–121.
- [4] 郭庆. 关于构建国内国土空间规划体系的若干思考[J]. 甘肃农业, 2020(4): 110–111.
- [5] 刘治政, 朱恒华, 王晶晶, 等. GIS 层次分析法在地质环境保障能力评价中的应用:以山东半岛蓝色经济区为例[J]. 山东国土资源, 2021, 37(12): 9399.
- [6] 邓旭晖, 吴佳. 国内外城市土地集约利用研究进展与展望[J]. 安徽农学报, 2017, 23(22): 17–18.
- [7] 姚秋昇, 郑财贵, 牛德利. 基于多因素综合评价法的开发区土地集约利用评价及时空分异研究:以重庆市为例[J]. 城镇化与集约用地, 2019, 7(3): 7686.
- [8] 王向东, 刘小茜, 裴韬, 等. 基于技术效率测算的京津冀城市土地集约利用潜力评价[J]. 地理学报, 2019, 74(9): 185–186.
- [9] 宁艳梅, 王红. 长沙市开发园区节约集约用地考核研究:以浏阳

- 经济技术开发区为例[J]. 中国资源综合利用, 2022, 40(8):89 - 91.
- [10] 刘金芝, 蒲春玲, 王志强, 等. 低碳视角下乌鲁木齐市土地集约利用评价[J]. 东北师大学报(自然科学版), 2019, 51(2):116 - 122.
- [11] 胡业翠, 郑新奇. 生态文明理念下的建设用地节约集约利用[J]. 中国土地, 2019(6):13 - 14.
- [12] 刘君. 精明增长视角下山东省地级市建设用地节约利用评价研究[D]. 济南: 山东建筑大学, 2021:120.
- [13] 孙伟, 刘崇刚, 闫东升. 乡村精明增长: 起源与实践[J]. 地理科学进展, 2019, 38(3):320 - 331.
- [14] 周夏青. 山东省新型城镇化与乡村振兴耦合协调特征研究[J]. 山东国土资源, 2022, 38(8):56 - 61.
- [15] 王垚, 曹月娥, 李万年. 基于层次分析的城市开发区土地集约利用研究: 乌鲁木齐高新技术产业开发区为例[J]. 湖北农业科学, 2020, 59(13):183 - 188.
- [16] 周良友. 线性工程规划选址报告编制要点探析[J]. 低碳世界, 2022, 12(3):84 - 86.
- [17] 杨帆, 华海荣, 秦兴美, 等. 跨区域重大基础设施规划选址报告编制思路探讨: 以白鹤滩至江苏±800kV 高压直流工程(江苏段)规划选址为例[C]//中国城市规划学会工程规划学术委员会. 城市基础设施高质量发展——2019 年工程规划学术研讨会论文集(上册). 江苏省城市规划设计研究院, 2019:12.
- [18] 曾巧玲. 重大交通基础设施项目土地要素保障机制研究[J]. 中国土地, 2022(5):42 - 44.
- [19] 杨占国. 我国土地资源利用现状问题及对策[J]. 中国土地, 2020(8):19 - 20.
- [20] 柴祥君, 黄博. 有效促进重大建设项目规划选址和用地预审论证工作高质量管理的探索[J]. 浙江国土资源, 2022(2):33 - 35.

Site Selection and Scheme Analysis of Natural Gas Long-distance Pipelines Based on Artificial Intelligence and Big Data

——Taking North Main Line of Shandong Pipeline Network as an Example

LIU Jinping^{1,2}, WANG Gang³, LIU Limei^{2,4}, XU Kai⁵, ZHAO Deliang^{1,2}, YIN Chong^{1,2}, YUAN Chaoqing^{1,2}, HE Mengqiao^{1,2}, LI Guotong^{1,2}

(1. Shandong Institute of Geological Surveying and Mapping, Shandong Jinan 250003, China; 2. Beidou Navigation Intelligent Space Information Technology and Application Shandong Engineering Research Center, Shandong Jinan 250003, China; 3. No. 1 Shandong Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Shandong Jinan 250109, China; 4. Shandong Geological and Mineral Surveying and Mapping Limited Corporation, Shandong Jinan 250003, China; 5. Shandong Zhengwei Construction Project Management Linted Corporation, Shandong Jinan 250101, China)

Abstract: In order to better optimize site selection and plan selection of natural gas long-distance pipelines. In this paper, through studying land policy factors related to cultivated land have been reviewed and studied, such as cultivated land, permanent basic farmland and ecological protection red lines along north pipeline project in Shandong province, combining with site selection demonstration, survey demonstration and land saving evaluation, project plan has been analyzed. The scientific decision-making of site selection and route selection has been achieved. The recommended plan has been clarified, and the planning route has been optimized. From the aspects of policy background and restrictive factors, planning and site selection work have been analyzed. By introducing artificial intelligence and big data technology, the method of long-distance pipeline site selection has been optimized. Based on ecosystem service value assessment method, scheme optimization has been carried out. Rationality of the proposed site selection route and related supporting facilities have been determined. It will ensure the route selection meet the planning concept and bottom line control requirements. Relevant thoughts and suggestions have been put forward for the analysis and report preparation of similar long-distance pipeline project land site selection and route selection.

Key words: Economical and intensive; scheme comparison and selection; three zones and three lines; site selection; site selection and route selection; artificial intelligence