

基于最小支撑树模型的镇辖村级燃气管网 规划布局研究

——以长阳县龙舟坪镇为例

刘童灿¹, 冯德鸿¹, 杨雨凝^{2*}

¹三峡大学理学院, 湖北 宜昌

²宁波诺丁汉大学计算机科学系, 浙江 宁波

收稿日期: 2024年7月5日; 录用日期: 2024年7月29日; 发布日期: 2024年8月6日

摘要

在“乡村振兴”的时代背景下, 以长阳县龙舟坪镇为例, 应用图论中的最小支撑树理论模型, 结合卫星影像GIS测量技术, 研究了镇辖村级地下燃气管网的规划布局, 研究结果为当地城乡建设局与城乡规划部门提供了科学且可靠的总体实施方案, 具有重要的参考价值。

关键词

最小支撑树, 0-1整数规划模型, GIS, 镇辖村级燃气管网, 规划布局

Research on the Planning and Layout of Town Level Gas Pipeline Network Based on the Minimum Support Tree Model

—Taking Longzhouping Town of Changyang County as an Example

Tongcan Liu¹, Dehong Feng¹, Yuning Yang^{2*}

¹School of Science, Three Gorges University, Yichang Hubei

²Department of Computer Science, University of Nottingham Ningbo, Ningbo Zhejiang

Received: Jul. 5th, 2024; accepted: Jul. 29th, 2024; published: Aug. 6th, 2024

*通讯作者。

文章引用: 刘童灿, 冯德鸿, 杨雨凝. 基于最小支撑树模型的镇辖村级燃气管网规划布局研究[J]. 应用数学进展, 2024, 13(8): 3687-3693. DOI: 10.12677/aam.2024.138351

Abstract

Under the era background of “rural revitalization”, taking Longzhouping Town of Changyang County as an example, the planning and layout of the village level underground gas pipeline network under the jurisdiction of the town was studied by using the minimum spanning tree theory model in graph theory and combining with the satellite image GIS measurement technology. The research results provide a scientific and reliable overall implementation plan for the local urban and rural construction bureau and the urban and rural planning department, which has important reference value.

Keywords

Minimum Support Tree, 0-1 Integer Programming Model, GIS, Town Level Village Level Gas Pipeline Network, Planning Layout

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

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

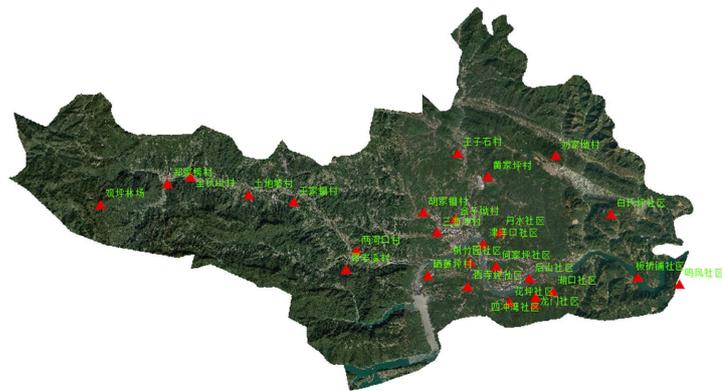
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

龙舟坪镇位居清江中下游、东临宜都，北接宜昌，地处“一坝两库”（隔河岩电站大坝，高坝洲与隔河岩库区），是长阳土家族自治县县城所在地，是全县政治、经济、文化中心。境内 318 国道、清江黄金水道横贯东西，王渔省道纵穿南北。地势西高东低，最高海拔 1740 米，最低海拔 80 米，年平均气温 18℃。龙舟坪镇管辖 13 个社区、14 个行政村，镇人民政府驻津洋口村（如图 1 所示）。全镇国土面积 340 平方公里，山林面积 9344 公顷，耕地 5257 公顷，其中水田 443 公顷。近年来全镇紧紧围绕建设“清江旅游重镇、宜昌卫星名镇、湖北经济强镇”的目标，以旅游服务、商贸流通、建筑安装、酒精食品、蔬菜瓜果、水产养殖、花木药材为发展重点，逐步形成了“沿江兴旅游、城区强工贸、国道创特色、城郊建支柱”的经济发展格局[1]。在地下燃气管网建设方面，面临着资金投入大、技术要求高、协调难度大、安全隐患多、后期维护难、经济效益低、村民接受度低、政策支持不足等问题和挑战，需要从规划、建设与运营等多个环节进行系统性的设计和管理、确保为农村居民提供安全可靠的燃气供应[2]。



注：该图基于自然资源部标准底图服务网站下载的审图号为 GS(2016)008 号的标准地图制作，底图无修改。

Figure 1. Geographic location of 13 communities and 14 administrative villages in Longzhouping in satellite image
图 1. 卫星影像图中龙舟坪 13 个社区 14 个行政村地理位置

本文从降低地下燃气管道建设成本出发,应用图论中的最小支撑树理论模型,结合 GIS 卫星影像测量技术,研究地下燃气管网的规划布局,力求使得管网总长最短的规划路径。

2. 最小支撑树模型建模

2.1. 问题描述

长阳县龙舟坪镇要沿 13 个社区 14 个行政村居民点规划布局规划地下燃气管网,依照沿公路网形成的各乡镇居民点分布图,完成地下燃气管网的规划布局,要求提供解决地下燃气管网路线优化方案,使得燃气管网地下铺设总路径最短。

2.2. 最小支撑树建模

设无向图 G 为龙舟坪各村(社区)形成的无向赋权图,权值 w_{ij} 表示两村(社区) i 与 j 之间的距离。根据无向赋权图构造邻接矩阵 $D_{27 \times 27}$ (对称矩阵), 27 是镇辖村(社区)个数,每个村(社区)就是一个节点。对图 $G = (V, E, W)$, $V = \{V_1, V_2, \dots, V_{27}\}$ 表示顶点集合, E 表示边的集合, $W = (w_{ij})_{27 \times 27}$ 。

求图 G 从顶点 1 开始的最小支撑树,其数学规划模型如下:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{当从 } V_i \text{ 到 } V_j \text{ 的边在树中} \\ 0, & \text{当从 } V_i \text{ 到 } V_j \text{ 的边不在树中} \end{cases}$$

1) 目标函数为

$$\min Z = \sum_{i=1}^{27} \sum_{j=1}^{27} w_{ij} * x_{ij}$$

2) 约束条件,对于起始点 1,至少有一条出去的路,即

$$\sum_{i=1}^{27} x_{1i} \geq 1$$

3) 对于其他节点,恰有一条路进入,即

$$\sum_{k=1}^{27} x_{ki} = 1 \quad i = 2, 3, \dots, 27$$

4) 对于图 G 不形成圈,约束为

$$u_i - u_j + nx_{ij} \leq n - 1, \quad 1 < i \neq j < n, \quad (n = 27)$$

最小支撑树问题的 0-1 整数规划模型为[3] [4]

$$\min Z = \sum_{i=1}^{27} \sum_{j=1}^{27} w_{ij} * x_{ij}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^{27} x_{1i} \geq 1 \\ \sum_{k=1}^{27} x_{ki} = 1 \quad i = 2, 3, \dots, 27 \\ u_i - u_j + nx_{ij} \leq n - 1, \quad 1 < i \neq j < n, \quad (n = 27) \end{array} \right.$$

2.3. 龙舟坪各乡村(社区)空间地理数据的搜集

为方便图论网络规划建模,先对龙舟坪镇各村(社区)标号[5],编号如下表 1。

Table 1. No. of villages (communities) in Longzhouping Town**表 1.** 龙舟坪镇各村(社区)编号

序号	地名	序号	地名	序号	地名
1	湖口社区	10	后山社区	19	三渔冲村
2	四冲湾社区	11	西寺坪社区	20	晒鼓坪村
3	龙门社区	12	板桥铺社区	21	厚丰溪村
4	花坪社区	13	白氏坪社区	22	两河口村
5	枫竹园社区	14	刘家坳村	23	王家棚村
6	津洋口社区	15	黄家坪村	24	土地坡村
7	丹水社区	16	王子石村	25	全伏山村
8	何家坪社区	17	合子坳村	26	郑家榜村
9	鸣凤社区	18	胡家棚村	27	观坪林场

在天地影像图中统一以各村(社区)党员活动中心 WGS-84 坐标系下的坐标位置为基点,沿道路测量得到龙舟坪镇各村(社区)距离,构成邻接矩阵[6] [7],如下表 2 (限于篇幅只列出了有限的第 1 到 27 行、第 1 到 9 列)。

Table 2. Adjacency matrix formed by the distance between villages (communities) in Longzhouping Town (Columns 1~15) (Unit: km)**表 2.** 龙舟坪镇各村(社区)距离构成的邻接矩阵表(第 1 到 15 列)(单位: km)

起点终点	湖口社区	四冲湾区	龙门社区	花坪社区	枫竹园区	津洋口区	丹水社区	何家坪区	鸣凤社区
湖口社区									
四冲湾区	1.2								
龙门社区	1.3	0.64							
花坪社区	2.3	1.1	1.3						
枫竹园区	4.6	3.7	4.2	3.1					
津洋口区	4.5	3.9	4.5	3.7	1.3				
丹水社区	4.7	4.3	5	4.5	2.5	1.2			
何家坪区	3.1	2.3	2.9	2.1	1.5	1.6	2.4		
鸣凤社区	2.6	3.8	3.8	4.9	6.9	6.5	6.2	5.4	
后山社区	1.3	1	1.6	1.8	3.3	3.2	3.5	1.8	3.7
西寺坪区	4.3	3.2	3.6	2.3	1.5	2.6	3.8	1.9	6.9
板桥铺区	4.4	5.6	5.5	6.7	8.6	8.1	7.7	7.1	1.8
白氏坪区	5.5	6.4	6.7	7.4	7.7	6.9	5.9	6.7	4.1
刘家坳村	8	8.3	8.9	9	7.8	6.5	5.3	7.3	7.8
黄家坪村	7.6	7.4	8	7.5	5.1	4	3.1	5.4	8.6
王子石村	9.5	9.2	9.9	9.2	6.5	5.6	4.9	7.2	10.7
合子坳村	6.6	6	6.6	5.7	2.7	2.1	2.3	3.7	8.5
胡家棚村	8.1	7.4	7.9	6.9	3.8	3.6	3.9	5.1	10.1

续表

三渔冲村	7.5	6.5	7	5.8	2.9	3.5	4.5	4.4	9.8
晒鼓坪村	6.4	5.3	5.6	4.4	2.2	3.3	4.5	3.5	8.8
厚丰溪村	10.6	9.5	9.9	8.6	6.3	7.1	8.1	7.8	13.1
两河口村	10.3	9.2	9.6	8.4	5.8	6.5	7.3	7.3	12.7
王家棚村	14.2	13.2	13.7	12.5	9.7	10	10.5	11.1	16.5
土地坡村	16.5	15.5	16	14.7	11.9	12.3	12.9	13.4	18.8
全伏山村	19.7	18.7	19.1	17.9	15.1	15.5	16	16.6	22
郑家榜村	20.7	19.7	20.1	18.8	16.1	16.5	17.1	17.6	23
观坪林场	23.7	22.6	23	21.7	19.2	19.7	20.4	20.7	26.1

3. 模型分析与计算

求解最小支撑树的算法有很多种, 如 Prim 算法与 Kruskal 算法[6], 考虑到上述模型为 0-1 整数规划模型[6] [7], 应用破圈法求图 G 的最小支撑树[7], 在 LINGO 环境下编程得到实现[4] [7], 计算结果如下图 2, 总长度 54.84 km。

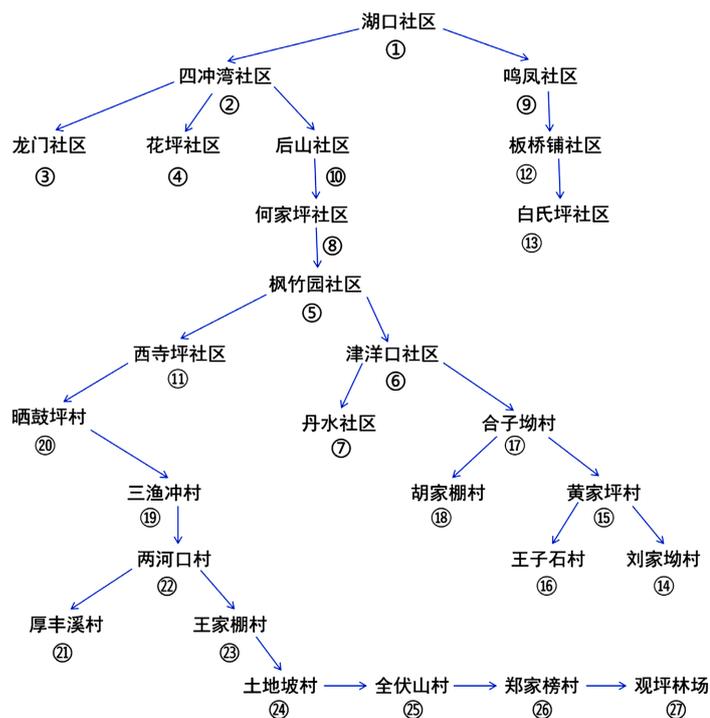


Figure 2. Calculation results of the minimum support tree theory model
图 2. 最小支撑树理论模型计算结果

4. 计算结果的可行性分析

由于清江流域的存在, 该方案的多处连接跨过了水域: 8 号何家坪社区和 5 号枫竹园社区; 11 号西寺坪社区和 5 号枫竹园社区; 8 号何家坪社区和 10 号后山社区; 1 号湖口社区和 9 号板桥铺社区; 11 号西寺坪社区和 20 号晒鼓坪村; 15 号黄家坪村和 14 号刘家坳村; 6 号津洋口社区和 7 号丹水社区; 24 号

5. 结论

应用图论最小支撑树理论模型与 0-1 整数规划的破圈算法, 结合天地图 GIS 测量技术得到的龙舟坪镇各村(社区)地下燃气管网 GIS 规划布局初步方案。可以考虑以下几个因素对模型继续改进:

① 考虑地形因素: 龙舟坪镇的地形复杂, 包括山地、丘陵、河流等。不同的地形对管网的施工难度和成本有很大影响。可以在模型中加入地形系数, 以反映不同地形的施工难度和成本差异。例如, 在丘陵施工难度更大, 成本更高, 地形系数可以设置为较高值; 而在相对平缓的地区施工难度较小, 成本较低, 地形系数可以设置为较低值。

② 考虑人口密度因素[9]: 龙舟坪镇不同区域的人口密度差异较大。人口密度对管网的需求和成本有影响。可以在模型中加入人口密度系数, 以反映不同区域的管网需求和成本差异。例如, 人口密度高的区域, 对管网的需求更大, 成本也更高, 湖口社区, 四冲湾社区, 龙门社区, 花坪社区, 后山社区, 这 5 个社区离得很近, 导致该地区人口密度大, 且建筑物多, 公路复杂, 人口密度系数可以设置为较高值; 而人口密度低的区域对管网的需求较小, 成本也较低, 白氏坪社区, 每户之间距离较远, 人口密度系数可以设置为较低值。

③ 考虑环境保护因素[10]: 在乡村地区环境保护至关重要, 管网建设可能对环境产生影响, 包括对植被、水源和土壤的破坏。可以在模型中加入环境保护系数, 以反映不同区域的环保要求和成本差异。例如在生态敏感区域, 环保要求更高, 成本也更高, 环境保护系数可以设置为较高值, 观坪林场、郑家榜村就需要保护其森林资源, 板桥铺村、枫竹园社区距离清江较近, 在铺设时需要保护水资源; 在普通区域环保要求较低, 成本也较低, 环境保护系数可以设置为较低值。

总之, 按照地下燃气管网行业施工标准, 乡村社区间管道距离测量数据肯定还与实际距离存在误差, 但只需要求解最短布线路径, 具体的管道规划布局方案还需考虑上述多因素考, 本研究具有重要参考价值, 不影响总体规划布局结果。

致 谢

长阳土家族自治县城建设规划局。

参考文献

- [1] 湖北省宜昌市长阳县龙舟坪镇概况(2024) [EB/OL]. http://www.tcmapp.com.cn/hubei/changyang_longzhoupingzhen.html, 2024-06-27.
- [2] 湖北省住房和城乡建设厅. 长阳: 县住建局开启智慧燃气管理服务新模式[EB/OL]. 2022-05-07. https://zjt.hubei.gov.cn/bmdt/dtyw/szsm/202205/t20220507_4117159.shtml, 2024-06-27.
- [3] 韩中庚. 数学建模方法及应用[M]. 第三版. 北京: 高等教育出版社, 2017: 341.
- [4] 司守奎, 等. LINGO 软件及应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2017: 137-139.
- [5] 张淑萍. 最小生成树算法及其在天然气管道网中的应用研究[J]. 电脑知识, 2020, 16(17): 214-216.
- [6] 徐家旺, 刘彬. 实用管理运筹学[M]. 第 2 版. 北京: 清华大学出版社, 2014: 318-319.
- [7] 涂鹏, 等. 基于权矩阵的通风网络最小生成树算法研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2018, 15(9): 2285-2292.
- [8] 石善忠. GIS 在城镇燃气管网中的关键技术及应用[J]. 科技资讯, 2024, 22(6): 36-40.
- [9] Li, H. and Zhang, K. (2022) On the Shortest Path Problem of Uncertain Random Digraphs. *Soft Computing*, **26**, 9069-9081. <https://doi.org/10.1007/s00500-022-07305-3>
- [10] Dhoub, S. (2024) Innovative Method to Solve the Minimum Spanning Tree Problem: The Dhoub-Matrix-MSTP (DM-MSTP). *Results in Control and Optimization*, **14**, Article ID: 100359. <https://doi.org/10.1016/j.rico.2023.100359>