

文章编号: 1000-8241(2016)06-0662-05

三维环境下煤层气管道寻优模型的改进

刘钊¹ 魏繁² 侯超波¹ 王旭¹ 宫敬³

1. 中国石油北京油气调控中心; 2. 中国石油管道分公司; 3. 中国石油大学(北京)

摘要: 在煤层气田的开发过程中, 气体管道的投资占总投资的比例较大, 缩短管道长度可以有效降低投资成本。而在实际设计过程中, 由于两点间的管道连接方式有多种, 因此需要设计者有扎实的设计经验和丰富的现场知识, 极大地增加了工作难度, 为此不少学者提出了三维环境下的管道寻优模型。以现有的管道寻优模型为基础, 以煤层气田开发的实际情况为背景, 对原有的遗传算法提出了改进建议, 通过模拟算例进行验证, 计算结果表明: 改进后的算法能够更有效地解决三维环境下煤层气管道的寻优问题。(图 7, 参 13)

关键词: 煤层气田; 三维环境; 遗传算法; 寻优模型; 改进建议

中图分类号: TE863

文献标识码: A

doi: 10.6047/j.issn.1000-8241.2016.06.018

Improvement of optimizing model for coalbed methane pipeline in three-dimensional environment

LIU Zhao¹, WEI Fan², HOU Chaobo¹, WANG Xu¹, GONG Jing³

1. PetroChina Beijing Oil & Gas Control Center; 2. PetroChina Pipeline Company;

3. China University of Petroleum (Beijing)

Abstract: Since investment for gas pipelines shares a big proportion in total investment during coalbed methane development, reducing the length of pipeline can significantly cut down the investment. In practices, the designers need to have rich experiences and knowledge with consideration to multiple ways for connecting two points of pipeline. To reduce the difficulties in practical design, many scholars have proposed the optimizing model for pipeline in three-dimensional environment. On the basis of current optimizing model for pipeline, this paper puts forward improvements of genetic algorithm in the background of coalbed methane field development. By means of case simulation, the verification results demonstrate that the improved algorithm can resolve the problem of optimizing model for coalbed methane pipeline in three-dimensional environment more effectively. (7 Figures, 13 References)

Key words: coalbed methane field, three dimensional environment, genetic algorithm, optimizing model, improvement

管道设计是气田建设过程中的重要组成部分, 在设计过程中, 如何在满足设计要求的同时降低投资成本是研究者和设计者所面临的重要问题。在分析当前管道寻优模型的基础上, 对现有方法提出了改进建议, 并利用改进后的计算方法解决管道的寻优问题。

1 管道寻优计算现状与改进

传统的人工选线设计需要有经验的现场设计师反复考虑各种因素并找出合适的管道铺设路线, 但连接两点之间的线路可以有无数条, 无形中增加了管道选

线的难度。由于遗传算法具有全局搜索性、自然随机性等优点, 近几年国内学者引入了此法进行求解。

1.1 现有的寻优模型

国内学者在求解三维环境下的最短路径问题时, 使用了如下数学模型^[1-7]:

设计一个曲面为 $U(x, y, z) = 0$, 给定曲面上的两个固定点 $P_1(x_{P_1}, y_{P_1}, z_{P_1})$, $P_2(x_{P_2}, y_{P_2}, z_{P_2})$, 求解曲面上 A 、 B 两点间的最短距离(图 1)。 W 是曲面 U 上 AB 两点之间任意一条空间曲线。

区域 F 是曲面 U 在二维平面上的投影(图 2), L_{\min} 和 U_{\max} 是曲面 U 在二维平面投影的边界曲线, 将

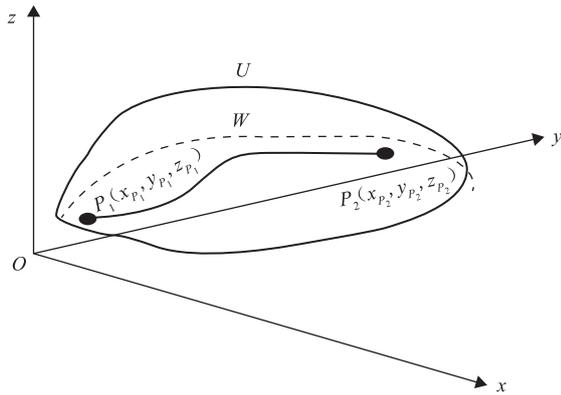


图1 曲面U最短距离空间曲线示意图

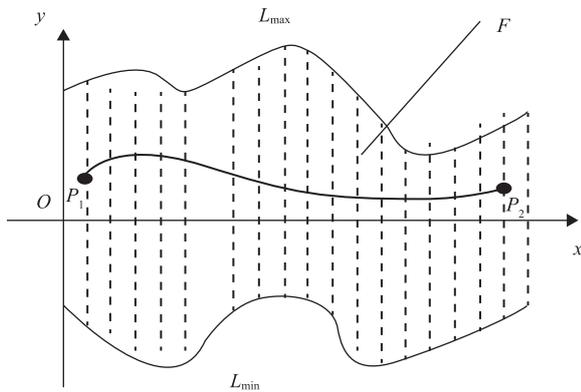


图2 曲面U在二维平面上的投影分割示意图

曲面U在二维平面上的投影区域均分为n份,同时对应地将空间曲线W在二维平面的投影也均分为n段,由此可以通过路径起点和设定的步长计算出各节点的x坐标和y坐标,然后通过空间曲面U得到对应的z_i,此时空间曲线也相应地划分为n个。

设定曲线的起点为P₁(x_{P₁}, y_{P₁}, z_{P₁}), 终点为P₂(x_{P₂}, y_{P₂}, z_{P₂}), 各段的分割点为(x_i, y_i, z_i), 设定空间曲线划分后的线段长度为S_i, 求解S_i, 通过累加S_i得到空间曲线W的长度S(图3)。

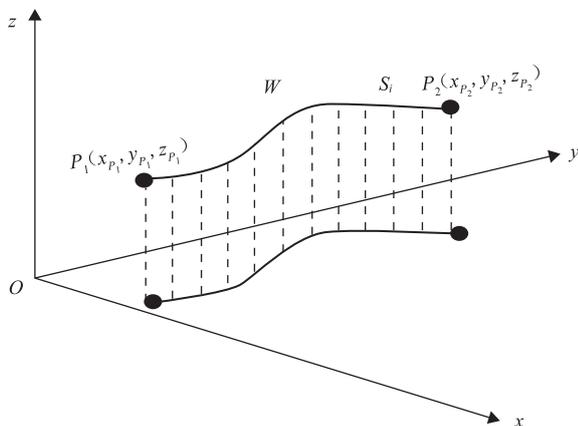


图3 A、B两点间空间曲线划分示意图

在求解S_i的过程中,可以通过对路径进行二次离散获得更好的计算效果,具体做法为将每个小的线段再均分,通过其两个端点坐标和空间欧几里德距离公式对空间曲线上的相邻两点进行求解:

$$d_i = \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2 + (z_{i+1} - z_i)^2} \quad (1)$$

式中:d_i为两点之间的曲线距离,m;x_i为x轴第i段的起点数值,m;x_{i+1}为x轴第i段的终点数值,m;y_i为y轴第i段的起点数值,m;y_{i+1}为y轴第i段的终点数值,m;z_i为z轴第i段的起点数值,m;z_{i+1}为z轴第i段的终点数值,m。

由此,曲面上连接两给定点的长度变为:

$$R = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n S_i \quad (2)$$

式中:R为曲面上两给定点的距离,m;n为曲线划分的段数;S_i为曲线上第i段的长度,m。

随着n值的无限增大,R值也更接近准确值。至此,将曲面上两点间的最短距离转化为以下公式^[7]:

$$\begin{cases} \min R = \sum_{i=1}^{n-1} S_i(y_1, y_2, \dots, y_n) \\ L_{\min}(x_i) \leq y_i \leq L_{\max}(x_i), (1 \leq i \leq n) \end{cases} \quad (3)$$

式中:L_{min}为曲面U在二维平面投影的边界曲线最小值,m;L_{max}为曲面U在二维平面投影的边界曲线最大值,m。

在实际求解过程中,有的曲面是离散数据组成的函数,并不连续,因此传统的求解方法不适用于这类问题,故采用遗传算法进行求解^[8]。

1.2 存在的问题

在求解过程中,适应度函数有如下几种形式:

$$Fitness = 1/L_k^i \quad (4)$$

$$Fitness = A - BL_k^i, i=1, 2, \dots, m; k=1, 2, \dots, g \quad (5)$$

$$Fitness = A - BL_k^i - CD_k^i, i=1, 2, \dots, m; k=1, 2, \dots, g \quad (6)$$

式中:A,B,C,D为比例系数;L_kⁱ为第k代路径集合中第i条路径的长度,m;D_kⁱ为第k代路径集合中第i条路径的起伏,m。

以上适应度函数在求解三维环境下管道寻优问题时都存在局限性,如式(4)适用于无障碍且地形起伏较小的环境;式(5)适用于无障碍、有地形起伏的环境;式(6)适用于有障碍、有地形起伏的环境。

使用 Java 语言对该数学模型进行编程,验证了不同适应度函数的计算情况,发现当网格划分稀疏或障碍物外形不规则时,计算结果较差,主要表现为生成的路径会穿越障碍物,导致得出的结果不可接受(图4)。对上述3种形式进行求解,生成的路径都会穿越障碍区域,图中灰色区域为设定好的障碍物区域。

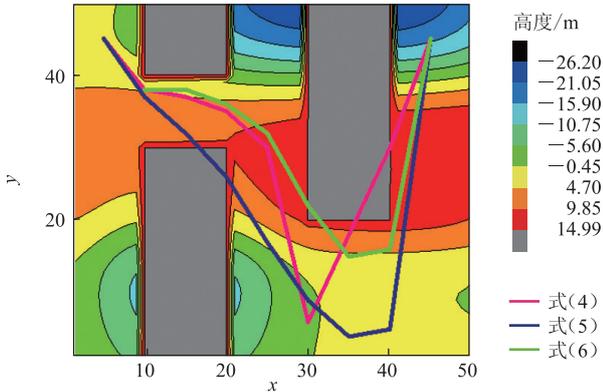


图4 3种路径寻优算法的计算结果二维图

1.3 原因分析

根据上述问题做以下分析:设定虚线构成的为粗网格,虚线和实线共同构成细网格,红色区域为障碍物区域(图5),使用现有的适应度函数进行求解。

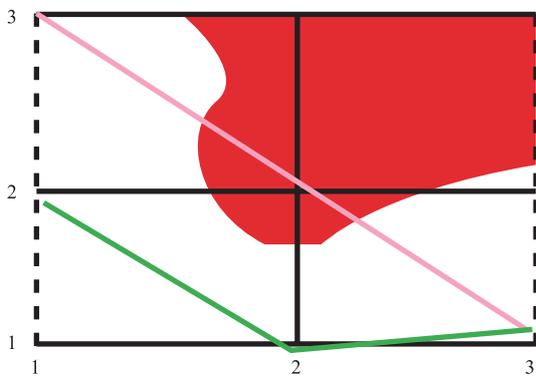


图5 现有适应度函数求解示意图

在细网格下可能会生成绿色路径,虽然路径未穿越障碍物区域,但路径的长度并未达到最优,同时较细的网格会减慢计算机的求解速度,使得算法的运行效率降低^[9]。

在粗网格下可能会生成粉色路径,粉色路径明显穿越了障碍物区域,不符合预期要求,这是因为当前适应度函数中只对两个节点与障碍物的关系进行了判断,但对中间生成的路径不进行分析判断,因此使用现有适应度函数无法排除此状况的产生^[10-12]。

1.4 改进措施

综合以上原因分析可知,为了避免出现不符合预

期的计算结果,需要将相邻节点之间生成的路径与障碍区域进行有效联系,并由此判断生成的路径是否与障碍物相交,通过该方法来排除这些不符合预期的计算结果^[13]。

(1)令 L_k^i 代表第 k 代路径集合中第 i 条路径的长度:

$$L_k^i = \sum_{j=1}^{n-1} \sqrt{[x_{k(j+1)}^i - x_{kj}^i]^2 + [y_{k(j+1)}^i - y_{kj}^i]^2 + [z_{k(j+1)}^i - z_{kj}^i]^2} \quad (7)$$

(2)令 D_k^i 代表第 k 代路径集合中第 i 条路径的起伏情况,用来度量当前点与前后两点的起伏差:

$$D_k^i = \sum_{j=2}^{n-1} \{ [z_{k(j+1)}^i - G]^2 + [z_{kj}^i - G]^2 + [z_{k(j-1)}^i - G]^2 \} \quad (8)$$

式中: G 为相邻3点 z 轴数值的平均值 $G = (z_{j-1} + z_j + z_{j+1})/3$ 。

(3)令 T_k^i 代表第 k 代路径集合中第 i 条路径的环境方差和,用来衡量当前点与周围点的环境落差:

$$T_k^i = [(Z_e - Q)^2 + (Z_w - Q)^2 + (Z_n - Q)^2 + (Z_s - Q)^2] / 4 \quad (9)$$

式中: Z_e, Z_w, Z_s, Z_n 分别为第 k 代路径集合中第 i 路径中第 n 个点的东、西、南、北方向的 z 轴数值; Q 为第 k 代路径集合中第 i 路径中第 n 个点的东、西、南、北方向的 z 轴数值的平均值 $Q = (Z_e + Z_w + Z_n + Z_s) / 4$ 。

由此,可将改进后的适应度函数定义为:

$$Fitness = A - BL_k^i - CD_k^i - DT_k^i, \quad i = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, g \quad (10)$$

2 实例验证

根据改进后的算法编写相应的 Java 程序,并以仿真算例进行试算,对改进后的算法进行判断。

2.1 仿真算例

为了便于比较算法的计算效率,借用文献[1]的模拟地形进行仿真实验,仿真函数为:

$$z(x, y) = \sum_{i=1}^n h_i \cdot \exp \left\{ - \left(\frac{|x - x_{c_i}|}{u_i} \right)^{P_i} - \left(\frac{|y - y_{c_i}|}{v_i} \right)^{Q_i} \right\} \quad (11)$$

将整条路径划分为9个节点,初始群体的数量为50个,复制概率的大小为0.1,交叉概率的大小为0.7,变异概率的大小为0.05,迭代次数为5000次。使用上述地形函数进行仿真实验,路径的起点为 $A[5, 45]$, 终点为 $B[45, 45]$, 灰色区域为指定的障碍区域,

粉色路径为式(4)求解的最优路径,蓝色路径为式(5)求解的最优路径,绿色路径为式(6)求解的最优路径,黑色路径为式(10)求解的最优路径(图6)。模拟地形三维图中的黑色线条也为式(10)求解的最优路径(图7)。

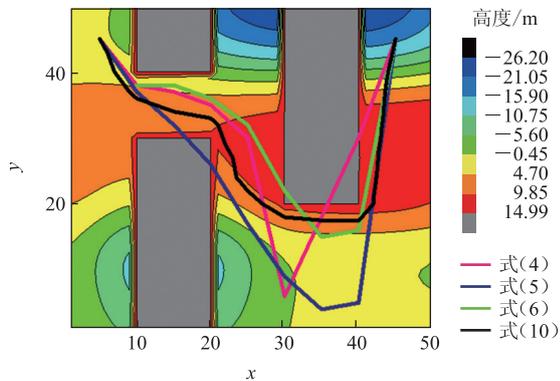


图6 4种求解方法最优路径示意图

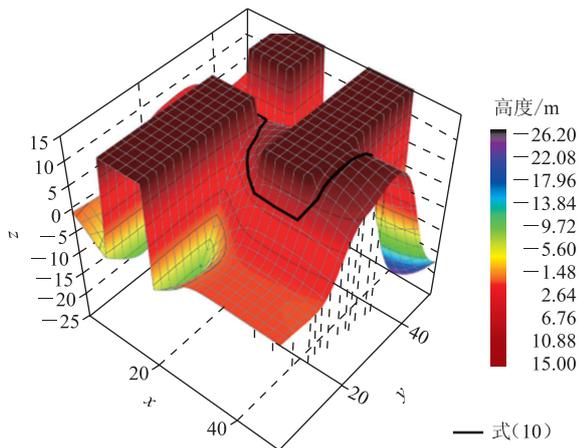


图7 50 m×50 m的地形求解最优路径三维示意图

2.2 效果分析

通过绘制的曲线可知,采用式(4)~式(6)得到的最优路径穿越了障碍物,不能满足实际要求,且式(5)和式(6)的适应度函数值并未表现出穿越障碍物的迹象,进一步表明该适应度函数存在一定的缺陷。

使用改进后的适应度函数(式(10))生成的计算结果未穿越障碍物,且生成的路径长度和适应值更理想,因此该方法是可行的。

3 结论

针对三维环境下管道的寻优问题,在总结前人研究成果的基础上,提出了对现有计算模型的改进方法。结合现有算例,通过Java语言实现模型的求解,结果表明:改进算法能够满足实际生产要求,且与现有的求

解方法相比,具有更广泛的适应性,可以有效地指导煤层气集输系统的规划和布局。

参考文献:

- [1] 冉戎. 基于GIS的道路自动化选线方法研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2006: 40-43.
RAN R. Methods of selecting road route automatically based on GIS[D]. Chongqing: Chongqing University, 2006: 40-43.
- [2] 黄樟灿, 陈思多, 康立山, 等. 基于模拟退火算法的曲面最短路径求解[J]. 武汉大学学报, 2000, 46(6): 273-276.
HUANG Z C, CHEN S D, KANG L S, et al. Solving the shortest path on curved surface based on simulated annealing algorithm[J]. Journal of Wuhan University, 2000, 46(6): 273-276.
- [3] 吴晓涛, 孙增圻. 用遗传算法进行路径规划[J]. 清华大学学报, 1995, 35(5): 14-19.
WU X T, SUN Z Q. Using genetic algorithm for path planning[J]. Journal of Tsinghua University, 1995, 35(5): 14-19.
- [4] 陈思多, 黄樟灿. 坡度约束下曲面最短路径算法[J]. 武汉汽车工业大学学报, 2000, 22(1): 84-87.
CHEN S D, HUANG Z C. Algorithm of the shortest path on curved surface under slope constraints[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2000, 22(1): 84-87.
- [5] 刘春林, 何建敏, 盛昭瀚. 给定限制条件下最小风险路径的选取算法[J]. 系统工程学报, 1999, 14(3): 221-226.
LIU C L, HE J M, SHENG Z H. An algorithm to select the minimum risk path by a given deadline[J]. Journal of System Engineering, 1999, 14(3): 221-226.
- [6] 陈雪冬, 杨武年, 罗虎. 基于栅格数据道路选线模型算法的应用研究[J]. 公路, 2004(5): 6-9.
CHEN X D, YANG W N, LUO H. Research on algorithm of road routing model based on grid data[J]. Highway, 2004(5): 6-9.
- [7] 蒋玉明. 快速求取自由曲面上两点的最短路径算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 1994, 6(1): 28-32.
JIANG Y M. An algorithm for fast finding the shortest path between two points on free-form surface[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 1994, 6(1): 28-32.
- [8] OLORUNNIWO F O. A methodology for optimal design and capacity expansion planning of natural gas transmission

- networks[D]. Austin: University of Texas at Austin, 1981: 181-183.
- [9] HANSEN C T, MADSEN K, NILSEN H B. Optimization of large networks[J]. Mathematical Programming, 1991(52): 41-45.
- [10] 张启阳, 史培玉, 李玉星. 基于遗传算法的油气混输管网参数优化[J]. 石油规划设计, 2004, 15(3): 25-28.
ZHANG Q Y, SHI P Y, LI Y X. Optimization of parameters for combined oil and gas pipelining networks based on genetic algorithm[J]. Petroleum Planning & Engineering, 2004, 15(3): 25-28.
- [11] 娄红洋, 张宏波, 许铁红, 等. 油气混输管网参数优化研究[J]. 河南石油, 2006, 20(2): 87-88.
LOU H Y, ZHANG H B, XU T H, et al. Study on parameter optimization of combined network of pipeline[J]. Henan Petroleum, 2006, 20(2): 87-88.
- [12] 李卫华, 李长俊. 基于遗传算法的天然气集输管网参数优化设计[J]. 天然气工业, 2005, 25(2): 158-160.
LI W H, LI C J. Parameter-optimized design of gas gathering and transmission system by heredity solution[J]. Natural Gas Industry, 2005, 25(2): 158-160.
- [13] GOLDBERG D E, KOU C H. Genetic algorithms in pipeline optimization[J]. Journal of Computing in Civil Engineering, 1987, 1(2): 128-141.
(收稿日期: 2015-05-11; 修回日期: 2015-10-10; 编辑: 杜娟)

作者简介: 刘钊, 男, 工程师, 1987年生, 2013年硕士毕业于中国石油大学(北京)石油与天然气工程专业, 现主要从事长输天然气管道调控工作。地址: 北京市东城区东直门北大街9号中国石油大厦B1906, 100007。电话: 15101149388, Email: liuzhao248@sina.com

(上接第 661 页)

- Chongqing Jiaotong University (Natural Science), 2008, 27(4): 532-536.
- [8] 薛光雄, 沈锐利, 先正权, 等. 悬索桥基准丝股线形的确定与测控[J]. 桥梁建设, 2004(4): 4-6.
XUE G X, SHEN R L, XIAN Z Q, et al. Determination, measurement and control of datum wire strand geometry of suspension bridge[J]. Bridge Construction, 2004(4): 4-6.
- [9] 李海, 先正权, 沈良成, 等. 润扬大桥悬索桥主缆索股垂度调整方法[J]. 桥梁建设, 2004(4): 36-39.
LI H, XIAN Z Q, SHEN L C, et al. Method of adjusting cable strand sagging for suspension bridge of Runyang Bridge[J]. Bridge Construction, 2004(4): 36-39.
- [10] 陈常松, 陈政清, 颜东煌. 悬索桥主缆初始位形的悬链线方程精细迭代分析法[J]. 工程力学, 2006, 23(8): 62-68.
CHEN C S, CHEN Z Q, YAN D H. Accurate iteration method to calculate the initial states of main cables of suspension bridges[J]. Engineering Mechanics, 2006, 23(8): 62-68.
- [11] 张志国, 张晓民, 邹振祝. 悬索无应力索长精确解[J]. 东北公路, 2003, 26(4): 86-87.
ZHANG Z G, ZHANG X M, ZOU Z Z. Exact solution of the unstressed cable length for suspension cable[J]. Northeast Highway, 2003, 26(4): 86-87.
- [12] 钱冬生. 大跨悬索桥的设计与施工[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 1997: 45-47.
QIAN D S. Design and construction of long-span suspension bridges[M]. Chengdu: Southwest Jiaotong University Press, 1997: 45-47.
- [13] 中交第一公路工程局有限公司. 公路桥涵施工技术规范: JTG/T F50-2011[S]. 北京: 人民交通出版社, 2011: 167-180.
CCCC First Highway Engineering Co. Ltd.. Technical specifications for construction of highway bridges and culverts: JTG/T F50-2011[S]. Beijing: China Communications Press, 2011: 167-180.
(收稿日期: 2015-01-04; 修回日期: 2016-05-19; 编辑: 潘红丽)
- 作者简介:** 张勤, 男, 助理工程师, 1988年生, 2014年硕士毕业于西南交通大学桥梁与隧道工程专业, 现主要从事公路与城市桥梁设计研究工作。地址: 湖北省武汉市解放公园路41号, 430010。电话: 15680552265, Email: 731382095@qq.com