

蚁群算法在矿井通风系统优化设计中的应用

高 玮

(武汉工业学院土木工程系, 湖北 武汉 430023)

摘 要:从本质上讲,矿井通风系统优化设计是一个复杂的组合优化问题,而蚁群算法是近来发展起来的一种针对复杂组合优化问题求解的较理想的方法。因此,考虑到通风系统优化的本质,采用蚁群算法进行了矿井通风系统优化设计的研究,把通风系统优化设计作为蚂蚁路径优化问题处理,提出了一种新颖的通风系统优化方法。最后,采用某矿山通风系统优化的实例验证了蚁群算法的应用效果,结果表明,该方法可以较好的解决这类复杂的优化问题,具有较好的应用前景。

关键词:矿井通风系统;通风网络优化;蚁群算法

中图分类号:TD722 **文献标识码:**A

文章编号:1005 - 2763(2004)06 - 0091 - 04

Application of Ant Colony Algorithm in the Optimization of Mine Ventilation System

GAO Wei

(Department of Civil Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan, Hubei 430023, China)

Abstract: The optimization of mine ventilation system essentially is a very complicated combination optimization, while, ant colony algorithm, which is proposed recently, is a very good method to solve complicated combination optimization problem. In this paper, considering the essence of optimization of mine ventilation system, the ant colony algorithm is introduced to solve the optimization problem of mine ventilation system, in which ventilating network is optimized as the crawl routes of ant colony. So, a new method for optimization of mine ventilation system is proposed here. At last, a mining engineering example is used to verify the applied effects of this new method. The results show that, this method can solve this complicated problem very well, and has better application prospects.

Key Words: Mine ventilation system, Optimization of ventilating network, Ant colony algorithm

矿井通风系统是向井下各作业点供给新鲜空气,排除污浊空气的通风路线、通风动力和通风控制设施的总称。随着煤炭行业的发展,煤炭开采的规

模越来越大,相应矿井通风系统的规模也随之扩大,其复杂性也随之提高。目前我国一些煤矿井的通风系统不够合理,造成通风耗电量大,成本高,直接影响矿山生产的经济效益。合理地进行矿井通风系统设计,优化矿井通风系统给企业带来的经济效益和社会效益都是非常可观的。

矿井通风系统优化一般分为两种类型^[1],一是矿井通风网络内部调节最优化,其目标是对拟定的各系统方案求出一个最优的技术经济参数方案;二是在网络内部优化调节的基础上,在各拟定的系统方案之间选择最优矿井通风系统。矿井通风网络是实际矿井通风系统的数学表达,是矿井风流路线及其有关参数的组合,因此,矿井通风系统的优化设计在数学上的抽象便是网络优化。它所研究的问题可归结为通风网络解算和通风网络优化。因此,也可以说,第一种优化为矿井通风网络内部优化;第二种为矿井通风网络外部优化。从目前的研究现状看,第一类优化问题研究得比较充分^[1~4],而第二类则研究得较肤浅^[1,5]。因此,这里主要就第二类优化问题进行研究。

通俗地说,上述第二种优化可称为矿井通风系统方案选择。一般情况下,矿井通风系统方案选择是在原有开拓、采准、开采设计的基础上,合理布置及选择通风巷道网络。合理的通风系统要求在满足通风要求的情况下,使总的通风费用最少。与其有关的主要有3项费用,即巷道掘进费、巷道维护费和通风电费。不同的风网布置系统,这些费用差别很大,因此很有必要对通风系统网络布置方案进行优化研究。本质上,通风网络布置方案优选在数学描述上为一个复杂的组合优化问题——路径优化问题。针对复杂的组合优化问题,人们已开发了不少算法^[6],其中基于仿生学的蚁群算法是新近针对路径优化问题而提出的一种效果优良的智能算

法^[7,8]。

1 蚁群算法介绍

1.1 算法的基本原理

人工蚁群算法是人们受到自然界中蚁群行为的启发而提出的基于蚁群的模拟进化算法,属于一种随机搜索算法。它通过人工模拟蚂蚁搜索食物的过程(即通过个体间的信息交流与相互协作,最终找到从蚁穴到食物的最短路径)来求解复杂的组合优化问题。为了区别于真实蚁群系统,可称这种优化算法为“人工蚁群算法”。

象蚂蚁这类群居昆虫,其个体行为极其简单,但其群体却表现出极其复杂的行为,能完成复杂的任务,且能适应环境的突变,如在群体运动路线上突然出现障碍物时,它们能很快重新找到最短路径。仿生学家通过对这种现象进行大量的研究后,发现蚂蚁个体间通过一种称为外激素的物质进行信息传递,从而能够相互协作,完成复杂的任务。蚂蚁在运动过程中,能够在它所经过的路线上留下这种信息物质,而且能在运动过程中感知这种物质,并分辨其浓度,依此来指导下一步的运动,蚂蚁倾向于朝着该物质浓度大的方向运动。因此,蚂蚁的集体行为表现为一种信息正反馈:某一路径上走过的蚂蚁越多,则后来者选择该路径的概率越大,蚂蚁个体间就是通过此种信息交流达到搜索食物的目的。

1.2 算法的实现过程

为了描述方便,以求解 n 个城市的 TSP 问题为例说明蚁群算法的实现,之所以采用 TSP 问题为例,是因为该问题是最基本的组合优化问题,其它问题均可由此问题的求解模型得到解答。

建立算法模型前,先引入如下记号: m 为蚁群中个体的数目; d_{ij} 表示城市 i 与 j 间的距离; $b_i(t)$ 表示 t 时刻城市 i 处的蚂蚁数量, $m = \sum_{i=1}^n b_i(t)$; $\tau_{ij}(t)$ 表示 t 时刻路径 ij 上残留的信息量,初始时刻各条路径上信息量相同,设 $\tau_{ij}(0) = c$ (c 为常数)。蚂蚁 k ($k = 1 \sim m$) 在运动中,根据各条路径上的信息量决定转移方向, $p_{ij}^k(t)$ 表示 t 时刻蚂蚁 k 由位置 i 转移到 j 的概率,用下式表示:

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{\tau_{ij}^a(t) \eta_{ij}^b(t)}{\sum_{j \in allowed_k} \tau_{ij}^a(t) \eta_{ij}^b(t)} & j \in allowed_k \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

其中, $allowed_k = \{0 \sim n-1\} - tabu_k$ 表示蚂蚁

k 下一步允许选择的城市。与真实蚁群系统不同,人工蚁群系统具有一定的记忆能力,集合 $tabu_k$ 记录蚂蚁 k 目前已走过的城市,它随进化动态调整。随着时间的推移,以前留下的信息逐渐减少,用参数 $1-\rho$ 表示信息消逝程度,经过 n 个时刻,蚂蚁完成一次循环,各条路径上的信息量根据下式调整:

$$\tau_{ij}(t+n) = \rho \tau_{ij}(t) + \Delta \tau_{ij}$$

$$\Delta \tau_{ij} = \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{ij}^k$$

其中, $\Delta \tau_{ij}^k$ 表示第 k 个蚂蚁在本次循环中留在 ij 路径上的信息量; $\Delta \tau_{ij}$ 表示本次循环中留在 ij 路径上的总信息量。

根据不同问题, $\Delta \tau_{ij}^k$ 有 3 种表示方式:

$$\Delta \tau_{ij}^k = \begin{cases} Q/L_k & \text{若蚂蚁在本次循环中经过 } ij \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\Delta \tau_{ij}^k = \begin{cases} Q/d_{ij} & \text{若蚂蚁在本次循环中经过 } ij \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\Delta \tau_{ij}^k = \begin{cases} Q & \text{若蚂蚁在本次循环中经过 } ij \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

其中, Q 为常数; L_k 表示第 k 只蚂蚁在本次循环中所走过的路径总长度。初始时刻, $\tau_{ij}^0 = c$ 。3 种表示方式中,前一个利用整体信息,后两个利用局部信息。 α, β 分别表示蚂蚁在运动过程中所积累的信息及启发式因子,它们在蚂蚁选择路径中起不同作用。 η_{ij} 表示从城市 i 到 j 的期望程度,由启发式算法具体确定或直接取为 $1/d_{ij}$ 。参数 $Q, c, \alpha, \beta, \rho$ 由实验方法确定其最佳组合。算法停止条件为固定循环次数或进化趋势不明显时停止计算。

蚁群算法的实现为一个递推过程,很容易在计算机上实现,其实现过程可由伪代码表示如下:

begin(初始化过程)

$ncycle = 0$;

$bestcycle = 0$;

$\tau_{ij} = c$;

$\Delta \tau_{ij} = 0$;

$\eta_{ij} = 1/d_{ij}$ 或由某种启发式算法确定;

$tabu_k = \Phi$;

while(not termination condition)

{ $ncycle = ncycle + 1$;

for($index = 0; index < n; index++$)($index$ 表示当前已走过城市数)

{ for($k = 0; k < m; k++$)

{ 以概率 $P_{[tabu_k][index-1][j]}$ 选择城市 j ;

```

    j ∈ {0 ~ n - 1} - tabuk
  }
  将刚选择的城市j加入 tabuk 中;
  |
  计算  $\Delta\tau_{ij}^k(index), \tau_{ij}(index + n)$ ;
  确定本次循环中找到的最佳路径;
  |
  输出最佳路径及最佳结果;
end

```

2 应用实例

以邯郸矿务局某矿通风系统改造方案优选为例,研究蚁群算法在矿井通风系统优化设计中的应用。该矿目前的通风系统不太合理,需要进行改造。应该在充分利用原有通风巷道、尽量少掘新巷道的同时,使总的通风系统费用降到最低。图1为该矿通风系统所有可能通风方案的示意图,其中包括原有通风系统巷道及计划新掘通风巷道。

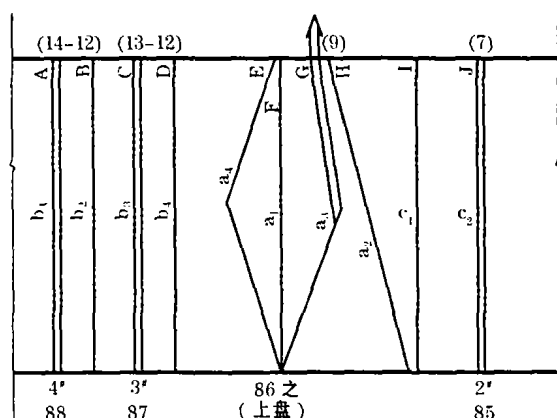


图1 某矿通风系统方案示意图

严格来说,矿井通风系统方案的优劣取决于很多因素,它们包括巷道系统的优化(其中应考虑巷道掘进费用、巷道维护费用,由于巷道支护形式与通风阻力有关,因此,巷道维护中又必须考虑通风因素。)、风机设置的优化、通风风量的调整优化及分风方案优化等。作为初步研究,为了研究方便,这里只进行通风巷道网络的优化研究,暂不考虑通风系统的其它优化问题。这样通风系统优化问题就变成了通风巷道路线优选的问题,可见,该问题同前述TSP问题有很大相似性,只需对上述基本蚁群算法做少量修改就可用来解决此问题。

同进化算法一样,用蚁群算法求解实际优化问题时,算法同实际问题的接口(联系)为评价路径系统性能的适应值函数,这里评价路径系统优劣的目

标值为通风系统方案的总费用最少。

计算表达式可采用下面的形式^[9]:

$$\text{目标函数} \quad \min F = \sum C_i + \sum D_i + \sum E_i$$

$$\text{约束条件} \quad q_{ij} = 0$$

$$h_{kj} = 0$$

式中: C_i —第 i 条巷道掘进费;

D_i —第 i 条巷道维护费;

E_i —第 i 条巷道通风费;

q_{ij} — i 结点流入(流出) j 结点的风量;

h_{kj} — k 网孔中 j 巷道的风压。

具体结合蚁群算法,即 d_{ij} 、 L_k 两个参数由上式计算得到。

求解矿井通风系统优化问题时,只需对 1.2 节中基本蚁群算法做如下少量修改:

城市 i 表示通风网络中的一个巷道端点,即网络节点; d_{ij} 表示通风网络中节点 i, j 间巷道的通风费用;每步允许选择的下一步巷道集合 $allowed_k$ 为通风网络前节点后面的巷道组合。由于该问题最终考虑目标为矿井通风系统总费用最少,因此,这里采用整体信息的 $\Delta\tau_{ij}$ 表达式,其中, L_k 表示本次循环的通风网络系统的总通风费用。

对该矿井通风系统,蚁群算法优选得到的结果为:矿井中央的 4 条通风巷道不要,西翼保留原有巷道 b_1 ,再新建两条巷道 b_2 和 b_4 。东翼只保留原有通风巷道 c_1 。优选通风系统的总费用为 445496.37 万元。

上述结果恰好同文献[5]的优化结果一致,说明蚁群算法可以较好的解决矿井通风系统优化问题。

实际上,在蚁群算法优化中考虑矿井通风系统的其它优化,进行通风系统的整体优化设计也相对比较容易,例如考虑矿井分风方案的优化仅相当于在计算 d_{ij} 时考虑风量的因素;考虑风机优化仅相当于计算 L_k 时考虑风机的布置因素而已。因此,采用蚁群算法进行通风系统优化可扩充性较强,加强这方面研究可望找到解决矿井通风系统全面优化的较理想方法。

3 结 论

(1) 矿井通风系统优化设计问题是一个复杂的路径组合优化问题,对它采用蚁群算法进行研究可以在计算相对简单的情况下找到较合理的组合方案,避免了人为因素的干扰。

(2) 蚁群算法不但可用于通风系统的局部优化研究,而且可以方便进行更复杂的整体系统优化研

究。该方法对新建矿井通风系统优化及老矿井通风系统改造同样适用。

(3) 蚁群算法是一种解决复杂组合优化问题的方法,它不但可用于矿井通风系统方案优选研究,而且在类似方案优选研究中同样具有良好的适应性。

参考文献:

- [1] 谢贤平,赵梓成. 矿井通风系统优化设计的研究现状与发展方向[J]. 新疆有色金属,1995, (4): 14~19.
- [2] 郁钟铭,伍宇光. 层次分析法在矿井通风系统方案优化中的应用[J]. 贵州工业大学学报,1997, 26 (5): 62~69.
- [3] 武卫东,景国勋,魏建平. 灰色关联分析法在平六矿通风系统方案优化中的应用[J]. 煤炭学报,2001, 26 (3): 290~293.
- [4] 谢贤平,冯长根,赵梓成. 矿井通风系统模糊优化研究[J]. 煤炭学报,1999, 24 (4): 379~382.

- [5] 王战权,赵朝义,云庆夏. 用遗传算法进行矿井通风系统优化的研究[J]. 矿业安全与环保,1999, (6): 6~8.
- [6] 邢文训,谢金星. 现代优化计算方法[M]. 北京:清华大学出版社,1999.
- [7] Dorigo M, Maniezzo V, Colomi A. Ant System: Optimization by a colony of cooperating agents[J]. IEEE Trans. on SMC, 1996, 26(1): 29~41.
- [8] Dorigo M, Bonabeau E, Theraulaz G. Ant algorithms and stigmergy[J]. Future Generation Computer Systems, 2000, 16: 851~871.
- [9] 汪光顺,舒航. 矿业经济分析数学[M]. 北京:中国标准出版社,1995.

(上接第29页)

估计安全系数值 $F_1 = 0.981$ 。

武汉岩土力学研究所通过仪器监测得出此处高边坡在经过加固后的平均安全系数为 1.115。显然,通过最大似然估计所得出的安全系数与仪器监测计算出的安全系数有一定的数值差距。但所得出的安全系数可以预测出东露天的 F , 滑体还有滑坡破坏的可能。

比较分析结果表明,用边坡稳定性极大似然估计、一般多元回归多项式方程所计算出的边坡安全系数,与现实测量所得的边坡稳定性结果比较接近,是可以应用于边坡稳定性分析的。

5 结 论

边坡稳定性的最大似然估计方程的确定来源于实际工程数据,估计方程的精度取决于参加统计的边坡实例数量,一般多元回归多项式的确定来源于

若干个边坡实际的回归。因此,这两种方法都具有一定的随机性。但是,它们与传统的极限平衡方法相比,却具有计算简单、应用方便等优点。另一方面,如果考虑复杂地质构造特征、地下水、爆破震动等方面对边坡稳定性的影响,最大似然估计与一般多元回归都存在考虑影响因素过少等一些不足之处,有待进一步研究讨论。

参考文献:

- [1] 童恒庆. 经济回归模型及计算[M]. 武汉:湖北科学技术出版社,1997.
- [2] 萨赫. 边坡稳定性的最大似然估计[R]. 印度:印度科学与工业研究中心中央采矿研究站,1995.
- [3] 孔怀胜. 岩质边坡安全系数的极大似然估计及其工程实例分析[J]. 广东土木与建筑,2002(10): 17.
- [4] 童恒庆. 统计计算软件[M]. 武汉:武汉工业大学出版社,1999.
- [5] 熊传治,葛修润,等. 大冶铁矿东露天深部边坡加陡研究[R]. 长沙矿冶研究院,中国科学院武汉岩土力学研究所,1994.

阿富汗的金属矿产资源

阿富汗的金属矿产资源相当丰富,根据国际地质界的看法,阿富汗位于远古印度次大陆同亚洲大陆板块碰撞的交汇处。大碰撞可以导致地壳深处的矿物出现在地表,这种地区在地球上并不多见。一位美国的资深地质学家曾说过,一旦阿富汗的矿藏得到充分开发,必将震动世界。目前,阿富汗的金属矿产绝大部分处于未开发状态。

(1) 铜矿。从喀布尔省延伸到 Logar 省的铜矿带,是可以和赞比亚媲美的巨型铜矿带之一,该铜矿带长达 110 km,品位在 0.6% 以上的矿石储量估计在 10 亿 t 以上。最具开采价值的是埃纳克铜矿(公路距喀布尔市 50 公里),已探明矿石总储量约 7 亿 t,平均含铜量 1.65%,矿区目前虽然荒无

人烟,但交通方便,水源充足,大部分可露天开采,建矿条件简单,前苏联为开发此铜矿已进行了长达 10 多年的勘探和试开采工作。

(2) 铁矿。位于 Bamian 省 Hajji Gak 地区的铁矿储量巨大,是世界级的大铁矿,总储量达到近 20 亿 t,由赤铁矿和磁铁矿组成,平均品位达到 62%。但矿区大部处于 4000 米的高海拔地区,交通不便,开发相当困难。

(3) 其它矿产。其它未进行任何开发的较大型矿山有:Oruzgan 省的 Taghawlur 锂、锡矿,拥有上亿吨的储量;Nangarhar 省的 Pasghushta 锂、钽、铌、锡矿,拥有上亿吨的储量;Logar 省的 Makhmudgazi 铬矿,和 Loghor 铬矿,铬矿石平均含量 42%,总储量近万吨;Ghor 省的 Kushkak 钨矿等。