巡检线路的排班调度模型及其仿真

## 摘要

本论文研究题目来源于2017年全国大学生数学建模竞赛题D题，要求建立数学模型并用合适的算法解决巡检线路的规划问题。化工厂巡检是一个非常重要的工作，在合适的时间内巡检各个检查点能够有效地降低化工厂出现意外危险的概率，因此设计一个合理的巡检线路非常必要，要求用尽量少的人力资源达到巡检目的。

本文将基于该化工厂问题展开研究，经分析可知，各个巡检点的巡检时间和巡检周期已定，所以只能考虑通过减少在各个巡检点之间移动的时间来达到减少人力资源的目的。由此分析建立数学模型，根据原始的稀疏图利用弗洛里德算法求得各点之间的最短路径，建立无向带权完全图，将问题转化为寻找一条或多条线路使得遍历各点的路径之和最短，并使得各个路线的工作量均衡，可知这是一个旅行商问题。本文解决旅行商问题使用了Java语言编写遗传算法，求得近似最优解，经过实践分析，本文所建立的数学模型非常有效地解决了此类旅行商问题，规划了更优秀的巡检路线。

最终本文规划的巡检线路使用了更少的人力，采用了三班轮换和线路轮换的策略，任务更加均衡，最终可在13天内实现每个工人的任务量相对均衡。在第一问不休息排班中，本文规划的路线每班4人，每天只需12人即可完成巡检任务，采用线路轮换让每个员工任务量更均衡；在第二问可休息进餐排班中，本文规划的路线每天只需14人，其中由于进餐需要1至2名替班工人，早班2点到10点需4人，安排中班10点到18点需6人，晚班18点至次日2点4人；在第三问错时上班排班模型中，经分析是一个最小哈密顿回路问题，属于旅行商问题的子问题，在不休息排班中每天需12人，可休息进餐排班中每天需13人。

**关键词：**旅行商问题，最小哈密顿回路，遗传算法，巡检线路，最短路径

**Abstract**

目录

[巡检线路的排班调度模型及其仿真 1](#_Toc7451074)

[摘要 2](#_Toc7451075)

[1. 绪论 5](#_Toc7451076)

[1.1 研究背景与意义 5](#_Toc7451077)

[1.2 国内外研究现状 6](#_Toc7451078)

[1.3 本文内容与组织架构 7](#_Toc7451079)

[2. 相关基础介绍 9](#_Toc7451080)

[2.1 遗传算法 9](#_Toc7451081)

[2.2 弗洛伊德算法 9](#_Toc7451082)

[2.3 数学建模 9](#_Toc7451083)

[2.4 Java编程 9](#_Toc7451084)

[2.5 IDEA工具 9](#_Toc7451085)

[3. 模型与解法 9](#_Toc7451086)

[3.1 问题描述 9](#_Toc7451087)

[3.2 问题分析 10](#_Toc7451088)

[3.3 建立TSP模型 10](#_Toc7451089)

[3.4 遗传算法求解模型 11](#_Toc7451090)

[4. 算法设计与实验仿真 12](#_Toc7451091)

[4.1 算法设计 12](#_Toc7451092)

[4.2 实验结果 12](#_Toc7451093)

[4.3 结果分析 13](#_Toc7451094)

[4.4 优化 13](#_Toc7451095)

[4.5 线路规划 13](#_Toc7451096)

[5. 总结 13](#_Toc7451097)

[参考文献 14](#_Toc7451098)

# 绪论

## 研究背景与意义

本论文研究题目是2017年全国大学生数学建模竞赛题目D题。化工厂是一个比较危险的地方，为了减少事故发生的概率，安排人员定时巡检各个巡检点非常必要，可以有效降低事故发生率，提高化工厂安全生产水平。现有某个化工厂有26个巡检点，巡检周期和各个巡检点之间的连通图已在附件种给出，工人在调度中心XJ-0022上班接受任务后开始按照任务进行巡检，每个巡检点至少需要一名工人巡检，要求建立数学模型，设计出巡检路线，使每个巡检点能够按照要求完成巡检，并且耗费的人力资源尽量少，在固定时间不休息上班模式、可进餐可休息模式、错时上班模式三种情况下，分别求出每班最少需要的人数，给出每个巡检线路及其时间表。

巡检线路的规划问题，类似于车辆路径规划问题、物流配送问题，由于存在组合爆炸，我们人为规划的路线一般无法求得令人满意的结果，因此一般都会将原问题转化为旅行商问题。旅行商问题是一个NPC困难问题，在巡检点过多的情况下使用传统的算法，比如穷举法，将无法在可允许的时间范围内求得最优解，而现实生活中我们可能并不需要使用最优解，我们只要一个合理的接近最优解的解。目前解决旅行商问题已经有多种算法，主要有两大类，一类是传统的算法，一类是启发式算法，例如遗传算法、蚁群算法、退火算法等。对旅行商问题的研究是非常有意义的，因为在很多场合，很多问题在本质上就是旅行商问题。

本文研究的化工厂巡检排班问题截止至目前，网络上已经有多种解决方案，经过研究分析，发现解决本问题的方案主要有以下几种：基于图形启发法的数学模型、基于最短路径的数学模型、基于最小生成树的数学模型、基于哈密顿圈分割的数学模型、基于蚁群算法的数学模型等，其中基于哈密顿圈和基于蚁群算法的两种数学模型有相似共同的地方，都是将问题转化为旅行商问题，而其他的数学模型则较为简单。根据这几种解决方案在最好的情况下，在固定时间不休息工作模式下每班最少需要5人，一天需要15人；在可休息可进餐工作模式下每天至少需要16人，因为进餐时间需要一名工人代替工作；在错时上班模式下，针对问题1，每天最少只需要12人，针对问题2，每天至少需要13人。

在研究多种解决方案时，发现现存解决方案都有一个共性，就是数学模型要么过于复杂，要么过于简单，解决方法和模型的关联程度较低，更多的方案是直接采用图形启发法设计巡检线路，由于巡检点数较少，采用此方法也无可厚非，但是如果有另一个化工厂也需要规划路径，那么，但是出于严谨的角度我们应该增强数学模型的普适性和解法的强逻辑性，让解法每一步都有理可循。因此，建立具有普适性的数学模型，设计更合理的求解方法非常必要。

在本文中，我将采用遗传算法和图形启发法相结合的方式规划出更加节省人力的巡检线路，既满足了化工厂安全的需求，又满足了节约人力资源的目的。通过参考文献，取各家之长结合自己的想法重新建立了数学模型，下面分析问题。该化工厂巡检线路规划中最核心的要求是使用尽量少的人力资源完成巡检任务，各个巡检点的带权连通图和各点巡检时间已给出，所有巡检点的最小巡检周期为35分钟，该类巡检点共有18个，其余8个巡检点周期均大于35分钟。由此分析可知，每条巡检线路的周期不能大于35分钟才能满足巡检要求。因此只要每个工人在35分钟周期内巡检更多的巡检点就可以了，而工人线路巡检消耗的时间有路程时间和节点巡检时间，节点巡检时间是一定不能省的，因此只能考虑节省路程时间。综上分析，我们只要能节省巡检26个节点路程消耗的时间就能使用更少的工人完成巡检任务，分析至此，可知原问题已经转化为旅行商问题或多人旅行商问题，需要计算所有巡检点两两之间的最短距离，这个任务可以使用弗洛伊德算法完成。最后，通过遗传算法编程解决旅行商问题，再计算每条巡检线路的巡检时间，结合图论启发的方式做轻微调整。

## 国内外研究现状

1. **国内研究**

目前本文所研究的题目已有了多种解决方案，下面我将分析各种解决方案的思路和存在的问题，对多种解决方案的理论依据在国内外的研究现状做一个综述，并提出自己的更优秀的解决方案。

谢晓敏、王正的《化工厂安全巡检线路的排班研究[1] 》一文中采用了弗洛伊德算法找出各个巡检点之间的最短路径，并按照巡检周期是否为35分钟将26个巡检点划分为两类，一类巡检周期35分钟的有18个巡检点，另一类是巡检周期大于35分钟的8个特殊巡检点，对两类巡检点分别采用蚁群算法求出最小哈密顿回路，其中第一类巡检点又划分为4个区域，最终规划的线路的路程消耗时间至少为105分钟。文中对问题一规划出的巡检线路每天需要15人；对问题二规划的线路是建立在第一问基础之上，将周期大于35的穿插到第一问线路中，需要16人或17人每天；对问题三，原有模型已不适合，重新规划后固定时间上班排班需要14人，可休息进餐排班需要15人。

《化工厂安全巡检线路的排班研究》一文中建立的模型采用了区域划分、分而治之的思想，对不同区域采用蚁群算法求解，虽然解决了问题，但是建立的模型和弗洛伊德算法、蚁群算法之间的关联程度有所欠缺，最后需要人为修正路径，因为该模型划分的不同区域之间路径重合过多，所以在路程上消耗的时间也就相对较多。

在《巡检线路排班优化模型》[2]一文中，作者采用了基于最小生成树建立多旅行商模型，利用弗洛伊德算法求最短路径，使用MATLAB工具求解模型，最后人为规划线路。对问题一规划的路线需要15人每天；对问题二规划的线路需要16人，替班工人在12点和6点先后顶替其他工人的工作，让其他工人进餐；对问题三采用错时上班，固定时间上班排班需要12人每天，可休息可进餐排班需要多一名替班工人，需13人每天。

该文中建立的模型和解法相对灵活，较好的解决了巡检线路的规划问题，同时巡检人员的数量相对较少。但是解法出现误差的可能性大，因为人为划分线路，数据的读入可能会容易出现不精确的情况。

在《“巡检线路的排班”问题解析》文中，作者首先采用了LINGO程序得到了精确的路程耗时68分钟和检查耗时67分钟，共135分钟，经计算得知至少需要4个工人，作者考虑增加一名工人，由此划分5条线路。作者采用TSP建立模型，由启发式方法根据TSP图形划分了5条路线。对第一问需要工人15人每天；第二问需要工人16人；第三问中，固时上班需要12人，可休息进餐需要13人每天。

该文中作者对排班调度分析较为详细，基于TSP建立的图形启发式模型简单有效，问题分析到位。在解决问题三时，作者提出7小时换班制，会出现每天换班时间不一样的情况，提前了三小时，这里可以优化。

综合多方文献资料，现对各种解法做总结。多数解法都是围绕多旅行商问题划分为单旅行商问题建立模型，采用了不同的解法，因为巡检节点数只有26个，大多数使用了图论启发法，有的直接基于最短路径、最小生成树划分路径。多数建立的模型复杂，解法却比较简单。

本文将基于图论法建立TSP模型，使用遗传算法解决旅行商问题，基于任务均衡划分每条线路的巡检节点数量，期望使用更少的人力资源完成巡检任务。

旅行商问题在国内的研究……

1. **国外研究**

旅行商问题在国外的研究（介绍一页）

## 本文内容与组织架构

本论文为了解决化工厂巡检线路的规划问题，参考了多方文献资料，研究了旅行商问题的应用场景和解决方法，研究了遗传算法在解决旅行商问题的有效性，以遗传算法为核心建立数学模型并求解、仿真测验。

下文介绍论文结构及其内容：

第一章：绪论，介绍选题背景及其研究意义，阐述国内外研究现状，以及介绍论文结构。

第二章：相关基础介绍，主要介绍本文使用的算法，数学建模等基础概念及使用范围等。

第三章：建立数学模型，描述化工厂问题，并为化工厂问题建立数学模型。

第四章：算法实验及其仿真，完成算法并测试仿真，测试结果的准确性，规划出线路并给出巡检时间表。

第五章：总结全文。

# 相关基础介绍

## 遗传算法

## 弗洛伊德算法

## 数学建模

## Java编程

## IDEA工具

# 模型与解法

## 问题描述

某化工厂有26个巡检点需要巡检，巡检时间、巡检周期和各巡检点之间的连通关系和路程耗时由附件已知，现需要规划巡检路线，要求使用尽量少的人力资源并按质按量完成巡检任务，分别给出在固时不休息不进餐三班倒模式、可休息可进餐三班倒模式、错失上班三班倒模式下巡检人员安排时间表。

## 问题分析

分析原问题：对26个巡检点进行线路规划，26个巡检点总共的巡检耗时68分钟，为了精确计算巡检人员的下限，可知应该尽量减少巡检线路的路程耗时，即遍历26个巡检点，耗费时间最少，由此分析得知此问题是旅行商问题。经过计算，遍历所有巡检点路程耗时最少为67分钟，加上巡检点耗时68分钟，一共135分钟，巡检点的最小巡检周期为35分钟，135/35=4，因此至少需要4人才能完成巡检任务。

## 建立TSP模型

模型变量：

Z：巡检员工数量

MinZn：所有巡检线路路程耗时之和

D(i,j)：巡检节点i到巡检节点j的最小耗时

ak：表示某个化工厂巡检点标号

AREA(i)：化工厂部分巡检点的集合，集合元素为ak

模型建立：

AREA(i)={a1,a2,…,an}， (3.1)

i=1,2,…,Z；ak∈{1,2,3,…,26}；AREA(1)∩AREA(2)∩…∩ARAE(N)=Ф

F(k)=，k=1,2,…,Z；a1,an∈AREA(k)； (3.2)

MinZn=，i∈1,2,…,Z (3.3)

H(k)=F(i)/MinZn，i,k∈1,2,…,Z (3.4)

公式（3.1）表示将26个巡检点划分为Z个区域，每个区域由一个工人负责巡检；公式（3.2）表示对划分的每个区域计算路程耗时；公式（3.3）计算了所有区域路程耗时之和；公式3.4计算了各条线路的路程耗时与各线路总路程耗时之和的比例关系，可以通过比较此值判断工作均衡程度。

针对化工厂巡检问题一和问题二，固定时间上班不休息不进餐的三班倒模式和固定时间上班可休息可进餐的三班倒模式，可以转化为多人旅行商问题，由之前的分析可知最少需要4人，那么尝试将巡检点划分成4个部分，若不考虑工作均衡的问题，由多人旅行商的解决方案划分的某些线路可能会无法完成巡检任务，有些路线每周期总工作时间超出35分钟，有些路线工作量则太少，导致有些超出预期的线路需要增加一名工人才能完成巡检要求，这显然不是很符合我们的目的，而网络上有些解决方案也确实是这样的。在此我们考虑工作的均衡，将每条线路的节点数量控制在5-7个，这样就能解决工作均衡的问题又能让每条线路巡检时间趋向于饱和，最后可以根据网络图适当的调整，就可以设计出更加优秀的路线。

## 遗传算法求解模型

1. **染色体编码**

本文针对化工厂巡检的排班调度模型设计染色体编码，尽量使其具有更高的适用性和可移植性，在众多编码方式中，最终决定采用巡检点编号序列编码的方式，例如：

1 2 3 4 5 6 7……24 25 26，

表示从1号巡检点开始巡检，顺序巡检2号、3号……26号巡检点最后回到1号巡检点。

每个个体都含有一条染色体，染色体的基因序列表示访问巡检点的顺序。

1. **适应度函数**

每个个体都有适应度值，用来衡量该个体再群体中的适应程度，在本文中直接将线路耗时的倒数作为适应度函数值，路程耗时越小，适应值越大。

1. **个体选择**
2. **双亲交叉**
3. **子代变异**
4. **种群评估**

# 算法设计与实验仿真

## 算法设计

## 实验结果

## 结果分析

## 优化

## 线路规划

# 总结

# 参考文献

1. 谢晓敏,王正.化工厂安全巡检线路的排班研究[J].南通职业大学学报,2018,32(02):69-71+74.
2. 段振华,杨海铭,李循鹏,文雷华.巡检线路排班优化模型[J].南方职业教育学刊,2018,8(04):61-66.
3. 薛毅.“巡检线路的排班”问题解析[J].数学建模及其应用,2018,7(01):52-62+79.