

论文题目：

## 基于 MATLAB 的刮板输送机功率优化及可靠性分析

作者姓名：张 超

入学时间：2013 年 9 月

专业名称：机械工程

研究方向：机电液控制及其自动化

指导教师：张建中

职 称：教 授

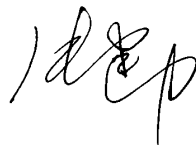
副指导教师：宋宪峰

职 称：高级工程师

论文提交日期：2015 年 5 月

论文答辩日期：2015 年 6 月

授予学位日期：                    





**OPTIMIZATION OF POWER AND ANALYSIS OF  
RELIABILITY FOR SCRAPER CONVEYOR BASED ON  
MATLAB**

**A Dissertation submitted in fulfillment of the requirements of the degree of**

**MASTER OF PHILOSOPHY**

**from**

**Shandong University of Science and Technology**

**by**

**Zhang Chao**

**Supervisor: Professor Zhang Jianzhong**

**College of Mechanical and Electronic Engineering**

**May 2015**

## 声 明

本人呈交给山东科技大学的这篇硕士学位论文，除了所列参考文献和世所公认的文献外，全部是本人在导师指导下的研究成果。该论文资料尚没有呈交于其它任何学术机关作鉴定。

硕士生签名: 张超

日 期: 2015.6.9

## FFIRMATION

I declare that this dissertation, submitted in fulfillment of the requirements for the award of Master of Philosophy in Shandong University of Science and Technology, is wholly my own work unless referenced or acknowledge. The document has not been submitted for qualification at any other academic institute.

Signature:

Date:

## 摘 要

刮板输送机在长臂式开采作业中是唯一的作为基础性关键的运输的设备，其在综采工作面中，其工况最为恶劣，同时它所承受的负载也是最为复杂的。也就是说刮板输送机是否能够正常的运行，直接决定矿井是不是能够安全的、高效的开采。自刮板输送机 40 年代出世以后，经过半世纪多的发展，各个国家在其各方面（如功率、可靠性等）取得了突飞猛进似的发展，并由于刮板输送机的发展，其各种配件部分（如圆环链、刮板、链轮等），也形成了标准化，大部分已经有国际标准。伴随高产量、高效率的要求提出，长距离、大运量、大功率刮板输送机需求量正在逐年增加，所以其发展方向正在向着上面的三个要求发展。由于刮板输送机是在井下长期运行的设备，所以出于对能源消耗的方面来看，其功率只要有一定的降低，那么由于降低所节省下来的对能源的消耗长时间累计下来则是一个十分可观的数据。同时刮板输送机的可靠性十分密切的影响着煤炭的产量，所以对于其可靠性和其使用寿命的分析的需求十分迫切。

本文通过结合其结构做出数学模型，结合 MATLAB 软件，对刮板输送机的中部溜槽的结构尺寸做出了优化，将刮板输送机在完成其规定运输量的前提下，降低了功率消耗，同时结合 MATLAB 软件和一些实用中统计的数据，对刮板输送机的寿命做出了一定的分析，在寿命分析的基础之上，做出了其可靠性的简单分析，结合 FTA 分析法，从设计、质量、使用三个主要方面对刮板输送机的可靠性做出了分析，上行法和 MATLAB 软件的结合，得出了三个方面的最小割集，为提高其可靠度提供了主要的致力方向。

**关键词：**刮板输送机，MATLAB，中部溜槽，故障树分析法，可靠性

## ABSTRACT

The scraper conveyer is the main conveyance in the long arm of mining operations. Its working condition is the worst with the most complex burden in the fully mechanized mining. It means that the safe and efficient mining depends on the normal operation of the scraper conveyer. With the scraper conveyer's development over the half century, many countries have achieved great success in this field. In addition, the fittings of the scraper conveyer has also got the international standard. With the requirements of high output and efficiency, the demand for the scraper conveyer with long distance, large volume and superpower is increased year by year. Thus, it develops based on these three requirements. Due to the fact that the scraper conveyer is an equipment operated in the long run under the shaft, the accumulated time of energy consumption is quite considerable, if we reduce the power. The reliability of the scraper conveyer influences the output of coal, thus the credibility and life time should be analyzed.

This thesis optimizes the structure of the middle chute through combining mathematical model and MATLAB. Under the condition of fulfilling the volume of the scraper conveyer, the author analyzes the life-span of it through combining MATLAB and statistics. The author also analyzes the credibility of the scraper conveyer from the design, quality and usage through FTA.

**Key words:** scraper conveyer, MATLAB, The middle chute, Fault tree, reliability.

# 目 录

1	绪 论 .....	1
1.1	选题背景及意义 .....	1
1.2	刮板输送机国内外发展现状以及发展方向 .....	2
1.3	该课题研究内容 .....	5
2	MATLAB 优化方法及可靠性介绍 .....	7
2.1	MATLAB 软件介绍 .....	7
2.2	可靠性基本理论 .....	9
2.3	系统的可靠性框图模型介绍 .....	12
2.4	本章小结 .....	16
3	刮板输送机中部槽数学模型基本参数计算 .....	17
3.1	刮板输送机中部溜槽结构 .....	18
3.2	SGZ1250/2000 型刮板输送机中部截面积估算 .....	19
3.3	刮板链与刮板单位长度质量折算值的计算 .....	23
3.4	刮板输送机运行阻力计算 .....	25
3.5	最小张力点计算 .....	27
3.6	本章小结 .....	29
4	基于 MATLAB 的 PSO 算法的刮板输送机的参数优化 .....	30
4.1	MATLAB 的 PSO 优化概念简介 .....	30
4.2	建立数学模型 .....	32
4.3	约束条件的建立 .....	35
4.4	MATLAB PSO 优化编程主要步骤设计 .....	38
4.5	本章小结 .....	43
5	基于 MATLAB 的刮板输送机整机系统可靠性分析 .....	44
5.1	故障树分析简介 .....	44

5.2 SGZ1250/2000 刮板输送机寿命分析 ..... 45

5.3 中部槽可靠性框图 ..... 48

5.4 故障树分析法特点与建树原则 ..... 49

5.5 求解最小割集 ..... 52

5.6 可靠性分析平台的建立 ..... 54

5.7 提高可靠性的保证措施 ..... 59

5.8 本章小结 ..... 60

6 总结与展望 ..... 61

6.1 总结 ..... 61

6.2 展望 ..... 61

致谢 ..... 63

参考文献 ..... 64

攻读硕士学位期间从事科学研究及发表论文情况 ..... 68

## Contect

<b>1</b>	<b>Introduction .....</b>	<b>1</b>
1.1	Background and significance of topics .....	1
1.2	Development status at home and abroad and the development direction of the scraper conveyor .	2
1.3	Research content .....	5
<b>2</b>	<b>Introduction of optimization method and reliability of the MATLAB .....</b>	<b>7</b>
2.1	Introduction of MATLAB .....	7
2.2	Basic theory of reliability.....	9
2.3	Block diagram model of the reliability system .....	12
2.4	Summary of this chapter .....	16
<b>3</b>	<b>Calculation of basic parameters of middle trough of scraper conveyor mathematical model.....</b>	<b>17</b>
3.1	Structure of middle chute of scraper conveyor.....	18
3.2	Evaluation of middle section area of SGZ1250/2000 type scraper conveyor .....	19
3.3	Calculation of the conversion value of scraper chain scraper and mass per unit length .....	23
3.4	Calculation of running resistance of scraper conveyor .....	25
3.5	Calculation of the minimum tension dot .....	27
3.6	Summary of this chapter .....	29
<b>4</b>	<b>Parameter optimization of scraper conveyor of PSO algorithm based on MATLAB</b>	<b>30</b>
4.1	Introduction to the concept of PSO optimization based on MATLAB.....	30
4.2	Establishment of mathematical model .....	32
4.3	Establishment of the constraints.....	35
4.4	Optimization design methods program based on MATLAB PSO.....	38
4.5	Summary of this chapter .....	43
<b>5</b>	<b>Reliability of scraper conveyer system analysis based on MATLAB .....</b>	<b>44</b>
5.1	Analysis by fault tree .....	44
5.2	Analysis of SGZ1250/2000 the life of scraper conveyor .....	45
5.3	Central trough the reliability block diagram .....	48



5.4	Characteristics of the method of fault tree analysis and principle of construction.....	49
5.5	To solution of the minimum cut set.....	52
5.6	To establish the reliability analysis platform.....	54
5.7	Guarantee measures of improve the reliability.....	59
5.8	Summary of this chapter .....	60
<b>6</b>	<b>Summary and outlook.....</b>	<b>61</b>
6.1	Summary .....	61
6.2	Outlook.....	61
	<b>Acknowledgement .....</b>	<b>63</b>
	<b>Reference .....</b>	<b>64</b>
	<b>During the period of studying for a master's degree in science research and published papers .....</b>	<b>68</b>

# 1 绪 论

## 1.1 选题背景及意义

当下先进的井下开采技术是长壁工作面采煤系统支护、采煤、装载、运输及整体推进等全盘机械化作业，刮板输送机是综采技术核心设备之一，广泛用于综合机械化采煤工作面，采区下顺槽、联络巷以及某些地面运输等，它利用扰性牵引机构的连续运输，实现运、装、卸煤机械化，清理浮煤，还是采煤机的运行轨道，液压支架前移的支点，设有卷放电缆、水管装置和采煤机牵引链张紧装置或无链牵引的齿轨，还有通一讯控制系统及照明装置等，刮板输送机和采煤机、液压支架一起实现机械化<sup>[1-3]</sup>。对于井下开采的输送，刮板输送机起着至关重要的作用，我国对于刮板输送机的设计与制造已经大致与国际领先水平持平，但是还是有着一一些差距，因此对于超重型刮板输送机的研究应加快步伐。

自刮板输送机 40 年代出世以后，经过半世纪多的发展，各个国家在其各方面（如功率、可靠性等）取得了突飞猛进似的发展，并由刮板输送机的发展，其各种配件部分（如圆环链、刮板、链轮等），也形成了标准化，大部分已经有国际标准。伴随高产量、高效率的要求提出，长距离、大运量、大功率刮板输送机需求量正在逐年增加，所以其发展方向正在向着上面的三个要求发展。

随着各种仿真软件和优化软件的发展，其仿真以及优化精确度高、可靠时人力优化难以达到的，而且随着计算机技术和软件技术的发展，优化的高效性无疑正在大大提高着工作人员的工作效率，为设计人员提供了更加快捷方便的途径，对节约必要劳动时间提供了快捷的途径，所以刮板输送机的结构设计和各种优化正在于计算机接轨。

本文基于 MATLAB 算法计算，进行了中部溜槽结构参数的优化、同时以中部溜槽为例做出了可靠性分析，通过这些优化和分析以求达到刮板输送机的功率和可靠性能的优化。

## 1.2 刮板输送机国内外发展现状以及发展方向

### 1.2.1 国内发展现状

在国内自从刮板输送机问世以来,在技术和制造水平上已经取得了巨大的进步,特别是二十世纪九十年代以后,在新技术革命的推动下,煤炭开采设备制造技术迅速发展成熟,为了适应市场需求,国内的各方(如制造企业、科研院、煤炭开采生产企业等)积极相互合作、优势互补,积极吸收国外先进技术以及制造工艺手段,依靠机电一体化技术和自动化技术的发展,努力研制开发出了依靠利用新型材料、制造新型产品为基础的高生产能力、高性能、高运输量刮板输送设备,并且慢慢形成了众多系列、众多结构类型的刮板输送机产品<sup>[4-11]</sup>。其所形成的高效、高产和集约化生产模式极大的支持了矿用机械水平以及经济效益的快速增长。在本世纪初,我国作为已建成一百个高效高产矿井的世界上煤炭产量最多的国家,我国的煤炭产业正在面临着怎样实现高度机械化、怎样提高安全可靠、产量和效率等问题,同时也承担着建设高度机械化、自动化矿井的历史任务。随着技术的发展,集工作能力强、高寿命和高性能为一体的重型刮板输送机在我国煤矿机械各部门相互合作下,结合国外先进技已经问世。

刮板输送机在我国的发展分为一下四个阶段:

第一个阶段,在上世纪三十至四十年代,出现了随着工作面变动需要人力拆装、搬移的可拆卸式刮板输送机,如 SGD-11 型等,该类刮板输送机多为单链结构,且有着功率小质量轻的特点;

第二个阶段,在上世纪四十至六十年代初出现了可与采煤机等井下工作设备配套的可弯曲刮板输送机,该机械最先由德国设计生产。SGW-44 型刮板输送机就代表了这个时期的刮板输送机可以实现在底板凹凸不平和水平弯曲等工作条件下工作的技术水平;

第三个阶段,在上世纪六十年代以后,出现了可以与当时新出现的液压支架配型的大功率、可弯曲作业的刮板输送机,同时使其设计生产技术进入了一个较为成熟的阶段,该时段的代表机型有 SGD-630/75 型等;

第四个阶段,自上世纪七十年代至今,我国刮板输送机的制造水平已经大大追近了与国际顶尖水平的距离,在七十年代中期我国引进了国外先进的生产技术以及领先产品,通过不断的研究、消化、吸收和自身的技术水平提高,并且对引进的技术加以巩固,我国正在一步一步的向着世界先进之林迈进。在当时的工作面中,刮板输送机的运输量是

600~800t/h, 运输距离是 160~180m, 其安装功率  $2 \times (132 \sim 200)$  kW, 其中溜槽的过煤量为一百万吨左右<sup>[12-14]</sup>。在综采工作面中, 刮板输送机事故的发生频率大约占到井下三机事故总数的 40-50%<sup>[15]</sup>。随后研制生产的 SGZ830/500 型刮板输送机已经达到了国际先进产煤国家二十世纪八十年代初期的制造水平。该机与之前的机型相较产量更高、效率更高。西北煤矿机械一厂在 10 年之后所开发研制的 SGZ880/2×400 型刮板输送机采用了中双链交叉侧卸重叠封底溜槽<sup>[16]</sup>, 进一步提高了国内该类机械的生产能力和运作效率, 该机型工作效率可以达到 1500t/h 可达日产 7000t 的采运原煤的工作任务。而之后张家口煤矿机械厂研发制造的 SGZ880/800(750)重型刮板输送机更进一步的提高了国内该类机械的生产能力和运作效率。但是我国由于生产技术的差距, 仍与国外先进国家有着一些差距, 主要表现在下列方面。

1) 在输送能力的方面与其他先进国家有着不小的差距, 通过对上世纪九十年代国内外刮板输送机工作能力的比较, 可以看出国外先进国家的机器输送能力至少比国内产品高 30%;

2) 由于基本生产技术原因, 机器内部各种关键的零件使用寿命还与与其他先进国家有着不小的差距, 这些差距致使过煤量远远小于国外的先进国家所制造的机型;

3) 技术性能的差距, 随着机电一体化技术的发展, 国外先进国家积极使用机电一体化技术, 进一步研发生产自动化输送设备, 伴随计算机技术的高速发展, 将输送设备与其相结合, 不仅增加了传动功率和生产能力, 而且使矿用设备运行于检测进入了智能化的时代。这样的计算机技术、机电一体化技术和输送设备的结合, 可以再刮板输送机工作时实时检测其运行状态, 获得第一手数据, 极大的提高了生产效率。国内由于技术水平限制, 并不能在其运行过程中特别精确地检测其状态, 对分析维护难以达到预期要求, 难以达到所期望的自动化程度。

### 1.2.2 国外发展现状

由世界上首台刮板输送机被设计制造出来以来, 在近 50 年的时间内人们通过不断的研究、测试和改进, 使刮板输送机成为了煤炭产业运输的主要设备。德、美、英等国家是世界上生产刮板输送机的主要国家, 几个国家生产的刮板输送机经历了从轻型到中型再到重型、超重型几个阶段<sup>[9]</sup>。保护形式有: 弹性联轴器、限距型液力耦合器、双速电机、调速型液力耦合器、软启动 (CST 可传动控制装置、阀控调速型液力耦合器、交流电机变频调速技术三种软启动装置) 等等。

在 1980 年以后,大概 5 年内,在生产的产量和效率等要求下,这些国家主要致力于其结构的改进与优化。这些国家采用了一些措施(如:增大组件强度、传动功率等)以求提高刮板输送机的输送能力和可靠性能。在之后的 5 年内,随着科技创新和技术发展,煤炭工业对刮板输送机的需求层次也越发提高,出现了“三大、二重、一新”等要求。具体来说这些要求体现在使用上要求其运载量大、运载距离长和功率大,体现在其结构上则是重型溜槽以及重型刮板链,体现在检测技术上则要求结合计算机和机电一体化技术达到自动检测。在这个时期,由德国的 DBT 公司所生产制造的 MTA-42-3×1000 型刮板输送机在各个方面都得到了重大的突破,其联接强度大于了 400 吨,在输送性能上,其输送能力达到了每小时 4500 吨。

在二十世纪八十年代,国外先进制造国家已经基本满足了上述三个要求,在运载量方面,从远远小于一小时 1000 吨的运载量,经过十年的研发和改进已经可以达到每小时 2500~3500 吨,同时槽宽也有了很大的增加;对于要求长距离输送,也由起初的不足 200 米增加到了 380 米,在技术增长的同时,国外的专家指出,当刮板输送机长度在 250 米,可达到经济效益最大化;对于大功率的要求上,在这十年中,结合高压电技术的发展,也取得了长足的进步,将安装功率已经提高了三到四倍;在兼顾上述问题的同时,在可靠性和长寿命方面也大大增加。

### 1.3.1 未来发展方向

通过与世界先进技术水平比较,我国的刮板输送机的发展方向如下:

#### 1) 努力发展先进制造技术

随着计算机技术、机电一体化技术以及各种先进技术的蓬勃发展,从事煤矿的企业重组、整合步伐加快,伴随而来的就是刮板输送机的市场竞争愈演愈烈,这就要求刮板输送机的制造生产企业生产能力要尽量快速提高,在满足各种基本条件的前提下尽量提高科技含金量,同时还要尽量满足不同企业特点,达到标准、模块化以便维护。

#### 2) 增加性能的可靠度

设备可靠是安全生产和高效生产的必要前提和最为基本的保障,由于工作环境条件恶劣,刮板输送机的维修条件相对于在其他工作环境的机器而言相对恶劣,这就要求其结构形式和选材等不仅要科学,还要求满足实际检验。

#### 3) 努力提高设备的安全性能

在煤矿事故频发的环境下,社会各个方面对于煤矿的实际生产的安全性高度关注,

随着社会对于煤矿安全的关注度增加,各大煤矿企业对煤矿机械要求层次也就越发的高,因为设备的安全始终贯穿着生产的整过程,而安全则是生产基本前提。对此刮板输送机的防护装置提出了近乎严苛的要求,以求避免由于机械不安全导致的不良后果。

#### 4) 随着机电液一体化技术的发展,机电液结合趋势愈发显著

随着时代的发展和科技的进步,对于刮板输送机实现机电液一体化是必然的,只有这样其才能适应新技术、新能源的发展需要。其主要表现在顺序启动、电机过载、过热保护等方面。

#### 5) 现代化设计辅助技术的运用

随着各种计算机工具的开发、发展、成熟,这些辅助工具的出现大大提高了设计生产效率,大大缩短了生产周期,运用这些设计工具可以大大节约时间成本,提高单位在市场、国家在这个市场的竞争力度。

对于未来刮板输送机的发着趋势有着如下特点:

1) 对于其未来发展特点,其一为设备的重型化。设备重型化是煤炭集约化生产、高强度开采、单机单产不断提高的要求,也是节约资本、提高生产效率、降低成本的主要措施。重型化集中表现在生产能力大,装机功率提高,电压高等方面;

2) 随着自动化控制技术的发展,设备的自动化已经成为提高企业的经济效益、降低工人劳动强度的必然选择。依据该技术,可以根据刮板输送机启动和运行时的负载等的实时状态快速收集,已达到快速调整其运行参数的要求[11]。

3) 随着智能化程度的提高,可以对正在工作中的刮板输送机实时采集数据,进行整理和分析,以便对刮板输送机的运行工状做出及时的调整。

4) 随着开采时间的增长,薄与较薄煤层的开采技术需求程度已经越来越大,由于国家政策和国际形势的变化,薄与较薄煤层的开采的重大意义已经愈发明显。

### 1.3 该课题研究内容

本文通过 MATLAB 所提共的优化算法对 SGZ1250/2000 刮板输送机中部溜槽参数和链条运行速度做出了参数优化,达到了对减小功率的目的,对长期运行的刮板输送机来说,无疑大大的降低了能耗,通过故障树分析法结合 MATLAB 求解,得到了中部溜槽的故障的最小割集,为提高整机的可靠性提高提供了方向。

本文具体研究内容如下:第一章,综述了刮板输送机的历史以及国内和国外的发展

现状、未来发展的方向以及课题的研究内容；第二章，介绍了 MATLAB 优化工具箱和优化函数以及可靠度的概念以及可靠度的几个主要度量，为接下来的计算找到了理论依据；第三章，通过根据其基本数据计算所得到的各种数据为 MATLAB 优化提供了基础数据；第四章，根据第三章提供的基本数据结合 MATLAB 优化函数对中部溜槽做出了结构参数优化，降低了功率消耗；第五章，根据该机型现场工作的故障次数和故障部位统计，通过对整机的寿命分析，得出了整机可靠度的曲线。结合故障树分析法和 MATLAB 函数计算，求解了中部溜槽的故障树的最小割集，为提高系统的可靠性提供了主要方向。

## 2 MATLAB 优化方法及可靠性介绍

随着计算机技术和 MATLAB 软件的发展, 该软件的功能越来越全面, 越来越多的被人们应用到实际的工程中, 在本文中, 无论是对于中部溜槽的 PSO 优化算法还是对于中部溜槽的故障树的分析以提高系统的可靠度, 都是基于 MATLAB 平台实现的。将具体的工程问题数据化至数学模型, 运用 MATLAB 的软件的强大的数据运算的功能, 实现 MATLAB 与实际的工程问题的结合。

### 2.1 MATLAB 软件介绍

MATLAB 作为一款强大的数学软件, 其功能几乎涵盖了数学领域的各个方面, 如矩阵理论、数值分析、数据可视化等。它将这些集成为一身, 为科研人员提供了强大的数学平台支持。MATLAB 是一个以矩阵为基本的计算单位的软件, 在这个软件中, 一切计算得基础都是矩阵, 以快速解释矩阵运算的程序作为其核心。

其具体功能如下:

- 1) 矩阵运算的功能;
- 2) 数据可视化功能;
- 3) GUI 程序设计功能;
- 4) Simulink 仿真功能;
- 5) 数量庞大的实现各种功能的工具箱。

#### 2.1.1 MATLAB 发展历史简介

在上世纪 70 年代后期, 当时美国墨西哥大学计算机科学系主任 Cleve Moler 教授为了方便自己的学生编程, 设计出了用 LINPACK 和 EISPACK 库程序的“通俗易懂”的接口, 此即用 FORTRAN 编写的萌芽状态的 MATLAB<sup>[18-20]</sup>。这个萌芽形态的软件一经推出, 立刻在校际之间流传, 几年之后在 Little Moler 和 Steve Banger 通力合作下, 将其推向市场。之后将该软件与 C 语言结合, 将其内核运用 C 语音编写, 这样在原来的基础上产生了数据视图功能。

至上世纪九十年代, MATLAB 由于其优秀的开放性以及运行十分可靠性将原来在控



制领域内的英国的 UMIST 等这种封闭式软件包淘汰，一跃成为市场主导，并获得了国际控制界的一致认可。一直到九十年代初期，与现在使用的 MATLAB 相较，大部分功能已经基本完善，由于功能强大很操作方便，其在数学计算方面可谓一枝独秀。

在上世纪九十年代初期，由 MathWroks 公司推出了 MATLAB4.0，不仅发展了原有的数值计算能力和数据视图功能，还出现了一个集系统建模仿真和分析等为一身的交互式操作环境—SIMULINK。同时在实时信息处理方面也取得了里程碑式的突破，该突破表现在软件中加入了直接数据交换的组件，为实时数据分析处理和硬件开发提高奠定了必要的基础。就在同年还推出加入了符号计算工具包和 NoteWorks，实现了与 Word 等软件的关联，提供了一个多元化的高水准操作环境给专业科技工作者。

之后随着技术的逐渐成熟，该公司又推出了众多版本，功能也是一步一步的完善化，操作简单化。

随着时代的发展，MATLAB 软件的生命力越发旺盛，MATLAB 语言之所以能够快速发展并生命力强劲旺盛，其原因主要是其语言独特，其语言的简洁性使其他同类语言不能比拟，同时 MATLAB 中有着可以使计算机人员和工程技术人员从繁琐复杂的程序代码之中解放出来的丰富的函数可以调用，故 MATLAB 语言公认为继 Basic 语言、Fortran 语言、C/C++语言之后的第四代计算机语言<sup>[21]</sup>。

### 2.1.2 MATLAB 优化函数介绍

随着时代的发展和技术的逐渐成熟，MATLAB 以其强大的功能，几乎赢得了全体科研工作人员的喜爱，将实际工程问题与该软件相结合，近乎能够解决全部的工程问题。近几年来该软件作用范围越加广泛，其应用范围涵盖了机构优化分析、机械控制和信息处理等领域。

基于其优化工具箱，MATLAB 可以解决对于线性、非线性或多目标的规划求解的问题。具体而言，包括线性、非线性最小化，最大最小化，二次规划，半无限问题，线性、非线性方程（组）的求解，线性、非线性的最小二乘问题<sup>[22]</sup>。另外，该工具箱还提供了线性、非线性最小化，方程求解，曲线拟合，二次规划等问题中大型课题的求解方法，为优化方法在工程中的实际应用提供了更方便快捷的途径<sup>[23-24]</sup>。

在其工具箱中所包含着多种优化时所需要用到的函数，其具体分类如表 2.1 所示。

表 2.1 MATLAB 优化工具箱函数介绍<sup>[25]</sup>

Table 2.1 Function introduction of MATLAB optimization toolbox

类型	函数	描述
最小化函数	fgoalattain	多目标达到问题
	fminbnd	有边界的标量非线性最小化
	fmincon	有约束的非线性最小化
	fminimax	最大最小化
	Fminsearch fminunc	无约束非线性最小化
	fseminf	半无限问题
	linprog	线性课题
	quadprog	二次课题
方程求解函数		线性方程求解
	fsolve	非线性方程求解
	fzero	标量非线性方程求解
最小二乘函数		线性最小二乘
	lsqlin	有约束线性最小二乘
	lsqcurvefit	非线性曲线拟合
	lsqnonlin	非线性最小二乘
	lsqnonneg	非负线性最小二乘
实用函数	optimset	设置参数
	optimget	
大型法函数演示	circstent	马戏团帐篷问题—二次课题
	molecule	无约束非线性最小化进行分子组成求解
	optdeblur	用有边界线性最小二乘法进行图形处理
中型法演示函数	bandemo	相交函数的最小化
	dfildemo	过滤器设计的有限精度
	goaldemo	目标达到举例
	optdemo	演示过程菜单
	tutdemo	教程演示

基于上述六种基本函数，通过基本的编程处理，可以完成对工程类问题的大部分问题的优化求解问题，而之后发展的优化求解方法则是根据这些基础的优化方法结合其他方面的知识，结合产生的。

2.2 可靠性基本理论

根据美国于 1980 年颁布的 MIL-STD-785B 将可靠性定义分为任务可靠性和基本可

靠性两部分<sup>[26]</sup>。任务司一靠性的定义为：“产品在规定的任务剖面内完成规定功能的能力<sup>[27]</sup>。”，它反映了产品在执行任务时成功的概率，它只统计危及任务成功的致命故障，基本可靠性的定义为：“产品在规定的条件下，无故障的持续时间或概率。它包括了全寿命单位的全部故障，它能反映产品，维修人力和后勤保障等要求<sup>[28]</sup>。

### 2.2.1 可靠性的要点

对于上述定义，要点包括下列几点：

1) 产品，这个概念是综合性的，其所指既可能是指有形的产品（如设备机器、部件、系统等），也可以是无形的系统（如人机系统等）；

2) 规定条件，此处所讲的条件，其包括了各个方面（如环境、维修、存储等）；

3) 规定时间，统可靠度高度依靠时间规定，这里的时间是以区间形式体现的，其单位可以是常用单位时分秒，也可以是其等效形式（如里程）；

4) 规定功能:这里所说的规定功能的概念指的是，所研发的产品遵循一定的功能参数的情况下可以正常的运行。这里所谓的实效是一个广义的概念，既可以指产品不能正常工作，也可以说的是其功能参数产生漂移现象。如同齿轮一般，在不同的工作环境的要求下，其失效的概念也大相径庭，若是在精密的环境中，其表面磨损就被定义为失效，可是在相对粗犷的工作环境下，轮齿断裂才算失效；

5) 概率：可靠度的概念是以概率为基础提出的，只有在引入了概率问题的计算之后，才能使可靠度的检测和比较等存在了统一的数学平台。

### 2.2.2 可靠性的特征量

产品的可靠性特征量是对产品在规定的的时间和规定的条件下完成规定的能力的描述，由于可靠性所研究的产品的复杂性和广泛性，所以对其性能的描述也是各有侧重。可靠性分析师各个是分别从不一样的方面和角度采用各类指标进行分析，这些指标称为可靠性特征量。

常有的可靠性特征包括以下几个方面。

1) 可靠度以及不可靠度

可靠度被定义为，在遵循规定的条件和时间前提下，完成指定功能的概率<sup>[29]</sup>。其可靠度函数为  $R(t)$ ；不可靠度与可靠度恰恰相反，其失效概率函数为  $F(t)$ ，该函数与上

面所说的可靠度函数相加为 1；

2) 失效率

失效率概率是指某产品尚未失效，但是却会在临近的单位时间内失效的概率。对于有多元件组成的产品，其失效概率为失效元件与元件总数的比其函数被记为  $\lambda(t)$ ；

3) 平均无故障工作时间和平均修复时间

平均无故障时间是指设备在正常工作状态下的时间的折算后的数值，这个时间是机器可靠性的必要保证，也是可靠性计算得必要数据；

平均修复时间是一个度量单位，该度量是指在可以所研制的可修复的产品在发生故障以后其可修性，其估计的数值的计算定义为总修复时间与修复次数的比值，这个度量单位描述了产品修复时间的平均值，既为产品平均维修时间；

4) 有效度

该特征量有效的将可靠度和维修度有机的相结合，用来描述研究对象的有效性。不同性质的产品对有效度的定义也不尽相同，对于可修复的产品，只要在规定时间内修好使之可以正常使用，即被认为产品正常，而不可修复产品其可靠度则仅仅与其可靠度；

5) 可靠性特征量间的关系

可靠性特征量包括可靠度  $R(t)$ 、不可靠度  $F(t)$ 、概率密度  $f(t)$ 以及失效率  $\lambda(t)$ ，它们的关系如下表所示：

表 2.2 可靠性特征量函数关系  
Table 2.2 Relationship between characteristics of reliability Function

基本函数	$R(t)$	$F(t)$	$f(t)$	$\lambda(t)$
$R(t)$		$1 - F(t)$	$\int_t^\infty f(t)dt$	$\exp\left[-\int_0^t \lambda(t)dt\right]$
$F(t)$	$1 - R(t)$		$\int_0^t f(t)dt$	$1 - \exp\left[-\int_0^t \lambda(t)dt\right]$
$f(t)$	$-\frac{dR(t)}{dt}$	$\frac{dF(t)}{dt}$		$\lambda(t)\exp\left[-\int_0^t \lambda(t)dt\right]$
$\lambda(t)$	$-\frac{d}{dt}\ln R(t)$	$\frac{1}{1 - F(t)} \cdot \frac{dF(t)}{dt}$	$\frac{f(t)}{\int_t^\infty f(t)dt}$	

## 2.3 系统的可靠性框图模型介绍

可靠性框图可以明确直观地表示系统各个部分之间的逻辑关系，显示出系统的实效逻辑，此类框图依靠方框与连线的逻辑布置，可以绘制出各个部分出现问题时对系统总体的影响<sup>[28]</sup>。

### 2.3.1 串联系统

由若干个部件构成，各个部分之间为串联的关系，只有每个部件工作正常，也就是说只要有任何一部分出现问题，系统就会出现故障。系统框图如下：

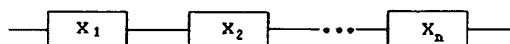


图 2.1 串联系统可靠性框图

Fig 2.1 Reliability block diagram of series system

其概率表达式如下：

$$R_s = P(A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_n) \quad (2.1)$$

式中：

$R_s$ ——系统可靠度；

$A_i$ ——第  $i$  个零件正常事件；

$n$ ——统中零件总数；

$P(\cdot)$ ——概率。

若是系统中各个环节都为独立事件，则式 (2.1) 可变为：

$$R_s = P(A_1)P(A_2)P(A_3)\dots P(A_n) \quad (2.2)$$

由上面公式可知，在串联系统中，环节数越多，系统可靠性越低。

### 2.3.2 并联系统

与串联系统相比，系统由  $n$  个部件组成，只有当  $n$  个部件全部故障时，系统才会出现故障，系统可靠性框图如下图所示：

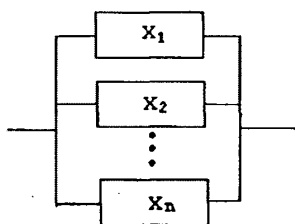


图 2.2 并联系统可靠性框图

Fig 2.2 Reliability block diagram of parallel system

其系统概率表达式为：

$$R_s = P(A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_n) \quad (2.3)$$

并联系统可靠性比其组成单元的任何一个都要高得多。

### 2.3.3 混联系统

#### 2.3.3.1 并—串联系统

在此系统中，总串联系统由若干个并联的子系统组成，只有其实一个子系统中的所有单元都出错，系统才会出错，其可靠性框图如下图所示：

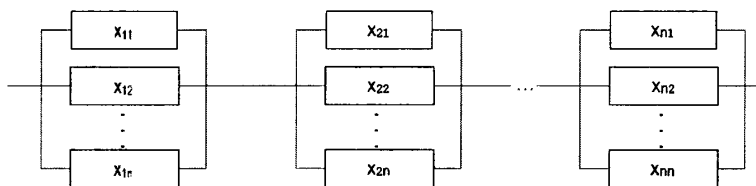


图 2.3 串-并联系统可靠性框图

Fig 2.3 Reliability block diagram of series parallel system

该系统由  $m$  个  $n_i$  维子系统组成，子系统可靠度为  $R_{ij}$ ，故其可靠度如下：

$$R_s = \prod_{i=1}^m \left\{ 1 - \prod_{j=1}^{n_i} (1 - R_{ij}) \right\} \quad (2.4)$$

当该系统每个子系统可靠度都相同时，且每个子系统都为  $n$  维时，该系统的可靠度为：

$$R_s = [1 - (1 - R^n)]^m \quad (2.5)$$

### 2.3.3.2 串—并联系统

该系统中，先将一行的子系统串联，然后整体并联计算，由于每个单元皆为独立事件，所以只有当一行中所有单元都出错时，系统才会出现错误，进而停止运行，其系统可靠性框图如下：

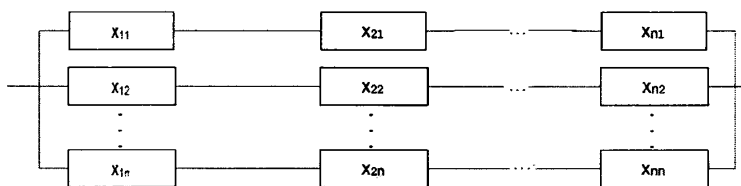


图 2.4 并-串联系统可靠性框图

Fig 2.4 Reliability block diagram of parallel series system

由上面系统可靠性框图可知，系统可靠度计算公式如下：

$$R_s = 1 - \prod_{i=1}^m \left\{ 1 - \prod_{j=1}^n R_{ij} \right\} \quad (2.6)$$

当该系统每个子系统可靠度都相同时，且每个子系统都为  $n$  维时，该系统的可靠度为：

$$R_s = 1 - (1 - R^n)^m \quad (2.7)$$

### 2.3.4 表决系统

在该系统中，要使系统成功完成任务，至少要有  $k$  个单元工作正常， $k$  取值在 1 到  $n$  之间，字母  $G$  表示系统完好，该系统可靠性框图如下：

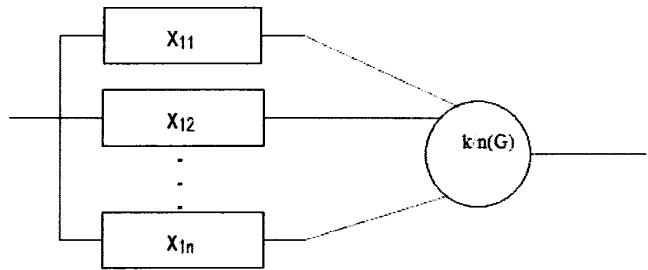


图 2.5 表决系统可靠性框图

Fig 2.5 Reliability block diagram of vote system

该系统工作情况有下表所示的三种状态：

表 2.3 表决系统状态分类

Table 2.3 State classification of voting system

k 的取值	系统状态
n	此时系统等价于 n 个部件的串联系统
1	此时系统等价于 n 个部件的并联系统
m+1	多数表决系统

部件工作状态用  $x$  表示，以数字“1”表示部件正常工作，以数字“0”表示部件故障，则系统工作正常则有如下条件：

$$\sum_{i=1}^n x_i \geq k \tag{2.8}$$

该类系统可靠度：

$$R_s = \sum_{i=k}^n \binom{n}{i} R^i (1-R)^{n-i} \tag{2.9}$$

2.3.5 贮备系统

该系统正常工作时，只有一个单元工作，其余作为贮备，只有所有单元都出现故障时，系统才会出现故障，其可靠性框图如下：



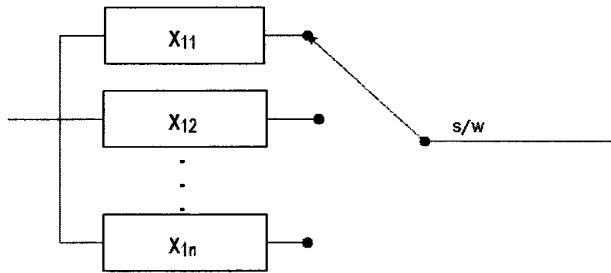


图 2.6 贮存系统可靠性框图

Fig 2.6 Reliability block diagram of storage system

## 2.4 本章小结

本章通简单介绍了 MATLAB 的优化工具箱和优化函数以及系统可靠度的系统概念，明确了优化设计的概念和可靠度的概念，列出了一些基本函数和基本数学公式，为接下来的计算提供了理论基础，而论是优化还是可靠度的概率计算，都是为了以后的 MATLAB 的编程计算提供建立数学模型的基础。

### 3 刮板输送机中部槽数学模型基本参数计算

溜槽部分作为承载和支撑机构，在刮板输送机的整体中占着重要地位，其载货能力与其结构尺寸密切相关。溜槽装载截面的尺寸越大，其运输能力越强。无论在何种工作面环境下，溜槽作为刮板输送机的运载主要部件，对其溜槽的表面强度、耐磨性和整体强度和刚度都有着十分严格的要求。现在的溜槽大致分为中部溜槽、连接溜槽以及调节溜槽等种类。在正常工作时，刮板输送机是依靠在采空区侧安装挡煤板用以提升其装载的能力，在靠近煤壁的一侧，则是安装铲煤板用以清扫煤道，来方便其推向煤壁。其溜槽从结构上划分大致分为两种，一种是敞底式，其二则为封底式。第一种形式，既敞底式虽然结构简单，而且易于维修，但是因为其支撑面较小，导致与地面连接处比压十分大，易造成由于下槽帮深陷底板以致空回链运行故障；另一种形式，既封闭式，这种形式的刮板输送机克服了地面硬度条件，可以用于底板较为松软的工作面，由于机器整体的稳定性性能优良，所以可以大大降低刮板链的运行的阻力。本文中的 SGZ1250/2000 型刮板输送机则是使用了这种封闭式的结构。该刮板输送机的型号 SGZ1250/2000 解释如图 (3.1)。

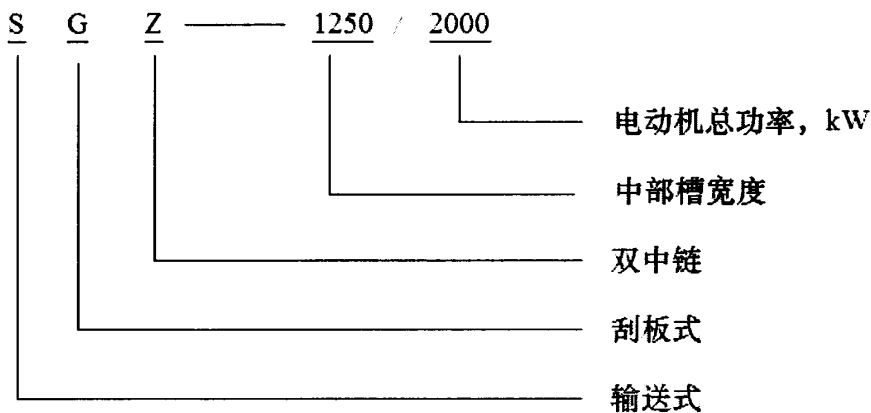


图 3.1 刮板输送机型号解释  
Fig 3.1 Interpretation of types of scraper conveyor

### 3.1 刮板输送机中部溜槽结构

中部溜槽是整体机器的机身的重要组成部分，它是由槽帮钢以及中焊板相互联接而成，溜槽分为上下两部分，上槽用以作为运载原煤的承载槽，而下槽则是用于提供刮板链返程所需的空間。虽然封闭式溜槽结构，有着降低刮板链返程的运行阻力以及可以铺设于结构较为松软的工作面的优点，但是由于机身封闭，同时给安装以及检修带来了极大的不便和困难。对此，为了减小检修和安装的困难，人们通常采用在封底溜槽中每隔几节就加入一节可以拆卸的可拆中板来实现减小困难的目的。

中部溜槽的链条安装形式有单链、边双链以及中双链三种结构类型。本文中的 SGZ1250/2000 型刮板输送机采用的是中双链结构，该结构有着边双链、单链结构的优点，既克服了边双链在运输大煤块多的原煤时两链条受力不均匀的缺点，又克服了单中链结构受力难以均匀而且整体破断力低的缺点，由于综合了两种类型链条安装形式的优点，使得双中链结构在重型刮板输送机的设计生产中十分受欢迎。

SGZ1250/2000 型刮板输送机采用了 E 形的槽帮钢，这种形状的槽帮钢与其他两种形状（D 形、M 形）的槽帮钢比较，不仅减少了中板的宽度使其刚度大大增加，还是焊接方便，减少了刮板链与焊缝的相互摩擦，减少了两者的磨损。该中部槽具体结构如下图 3.1 所示，其中由数字表示的结构，从 1 到 4 依次是：槽帮钢、支座、耐磨板、中板以及封底板。

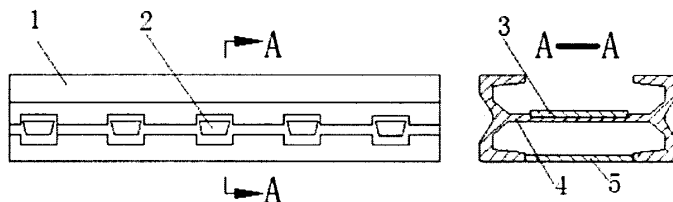


图 3.2 中部溜槽结构

Fig 3.2 Central chute structure

在中部溜槽的基本结构上，由于生产的要求，该刮板输送机与必要的结构相连接，构成了下图的结构，下图中从 1 到 10 依次是：铲煤板、槽帮钢、耐磨板、中部槽、定位架、无链牵引齿条、挡煤板、千斤顶连接孔和封底板。

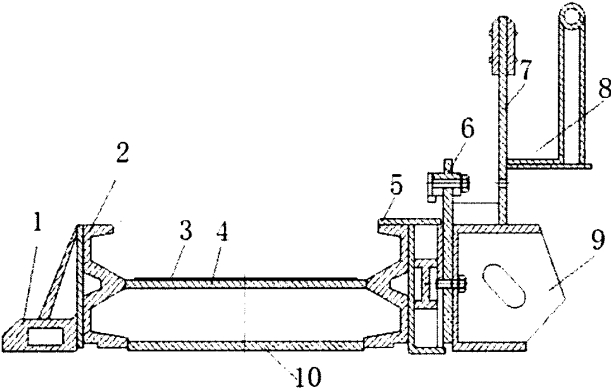


图 3.3 中部溜槽结以及附件的连接  
Fig 3.3 Central node and attachments.

根据该结构得到了在下面计算中所使用的数学计算简图 3.3。

根据下文的 MATLAB 目标函数以及约束条件所需计算得数据的需要，列出该机技术计算相关技术数据如表 3.1。

表 3.1 SGZ 1250/2000 型刮板输送机技术参数  
Table 3.1 Technology parameters of SGZ1250/2000 type scraper conveyor

	SGZ1250-200
运输能力	3200t/h
设计长度	300m
链速	1.52m/s
额定功率	2×1000kw
链条规格	GB/T12718-2001 圆环链 34X126-278-D
链条单位质量	22.7kg/m
链条安装方式	12 环安装方式中双链
电机型号	YSB-1000-4-A
减速器速比	30.67
中部槽	1250×200×40

3.2 SGZ1250/2000 型刮板输送机中部截面积估算

$$Q = 3.6Avp \tag{3.1}$$

$$Q=3.6\psi v\rho$$

(3.2)

式中：Q——刮板输送机的运输能力，(t/h)；

A——中部槽物料装载断面，(m<sup>2</sup>)；

v——刮板链运行速度，(m/s)；

ρ——物料散碎密度，煤取ρ=830~1000kg/m<sup>3</sup>，本设计中取850kg/m<sup>3</sup>；

ψ——装满系数，本设计中，刮板输送机为倾斜向上运输且倾角在5°到10°之间，

故取0.8。

由上式(3.1)推得：

$$A=\frac{Q}{3.6v\rho\psi}$$

(3.3)

将已知条件带入式(3.3)得：

$$A=\frac{3200}{3600\times0.85\times1.5\times0.8}=0.87(m^2)$$

单位长度货载质量：

$$q=\frac{Q}{3.6\times v}=\frac{3200}{3.6\times1.5}\approx593kg/m$$

3.2.1 确定链条最大破断力

表 3.2 链条机械性能要求

Table 3.2 Mechanical properties of demand chain

项目	强度等级		
	B	C	D
最小破断拉力/N·mm <sup>-2</sup>	630	800	1000
破断最小伸长度/%	12	12	12
试验载荷下最大总伸长度/%	1.4	1.6	1.9
试验应力/N/mm <sup>-2</sup>	500	640	800
试验应力与最小断应力之比/%	80	80	80

由已知链条型号并查阅《矿用高强度圆环连》根据 GB/T12718-2001 标准查得链条基本参数表 3.2 所示。

GB/T12718-2001 圆环链 34×126-278-D

GB/T12718-2001：为链条的标准号；

34×126：为链条规格；

278：链条的环数；

D：链条质量等级。

如表 3.2 所示，该刮板输送机所用的刮板链的强度等级为 D，所以我们可以知道，其链条的单链破断力如下

$$\text{链条的破断力 } s_p = 1000\text{N} \cdot \text{mm}$$

### 3.2.2 溜槽货载最大断面计算

根据产品说明，其刮板参数如下：

表 3.3 刮板尺寸

Table 3.3 Size of the scraper

刮板宽度	$b_0$	1235m
刮板高度	$h_0$	200m
刮板厚度	$d_0$	40m

由刮板输送机中部溜槽的具体结构（其具体结构如图（3.3）所示），可以将其简化，得到下图，以方便计算：

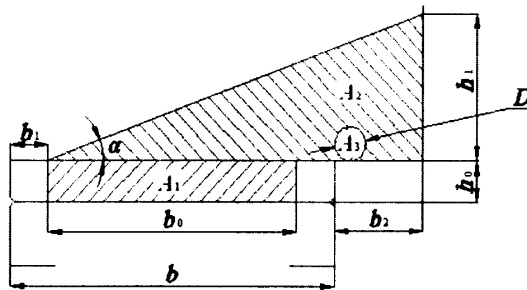


图 3.4 溜槽中货载最大断面积

Fig 3.4 Largest cargo chute basal area

溜槽中货载最大断面积  $A'$

$$A' = A_1 + A_2 + A_3 = b_0 h_0 + \frac{1}{2} \psi (b + b_2 - b_1) \times h_1 - \frac{\pi D^2}{4} \quad (3.4)$$

式中： $b$ ——溜槽宽度，(m)；

$b_0$ ——溜槽槽口宽度，(m)；

$b_1$ ——溜槽上框架宽度，(m)；

$b_2$ ——溜槽距挡板的距离，(m)；

$A_1$ 、 $A_2$ ——单侧挡板溜槽上物料断面各部分的面积，(m<sup>2</sup>)；

$A_3$ ——导向管断面面积，(m<sup>2</sup>)；

$h_0$ ——溜槽槽口高度，(m)；

$h_1$ ——刮板输送机工作时档煤净高，(m)；

$$h_1 = (b + b_2 - b_1) \times \tan \alpha = (1.5 + 0.25 - 0.125) \times \tan 32^\circ = 1.02\text{m}$$

$\alpha$ ——物料的动堆积角，经查阅《机械手册》，取  $\alpha = 32^\circ$ ；

$D$ ——导向管直径，(m)；

$\psi$ ——装载系数，由前面确定  $\psi = 0.8$ 。

根据产品图纸，可以得到下表（3.2）所示的参数，其单位为（m）。

表 3.4 溜槽中货载最大断面积计算参数  
Table 3.4 Lcargo chute basal area calculation parameters

项目名称	项目符号	具体数值 (m)
溜槽宽度	$b$	1.5
溜槽上框架宽度	$b_1$	0.125
溜槽距挡板的距离	$b_2$	0.25
溜槽槽口高度	$h_0$	0.2
导向管直径	$D$	0.08
物料的动堆积角	$\alpha$	$32^\circ$
装载系数	$\psi$	0.8
溜槽槽口宽度	$b_0$	1.25

将表 3.1 中的各项参数带入上式（3.4）中：

$$A' = A_1 + A_2 - A_3 = 1.25 \times 0.2 + \frac{1}{2} \times 0.8 \times (1.5 + 0.25 - 0.125) \times 1.02 - \frac{\pi 0.08^2}{4} = 0.91(\text{m}^2)$$

与章节 3.1 中由刮板输送机输送量求的溜槽货载最大横断面积比较有：

$$A' = 0.91\text{m}^2 > A = 0.87\text{m}^2;$$

由上面计算可以看出，实际的货载截面要大于用额定功率估算所得到的运载截面的面积，在后文中的优化中应用实际所求的面积。

### 3.3 刮板链与刮板单位长度质量折算值的计算

刮板链条单位长度质量  $q_0$ ，刮板的质量  $m_{刮}$ ，圆环连的质量  $m_{链}$ ，关系式如下<sup>[30]</sup>：

$$q_0 = m_{刮} + m_{链} \quad (3.5)$$

#### 3.3.1 总体刮板质量的计算

中双链刮板输送机根据负载和节距不同，相邻刮板间距可有 14 环、12 环、10 环三种不同的安装方式。根据实际刮板输送机的安装形式，确定 12 环安装方式，则可以得出相邻刮板间距  $L_1$ ：

$$L_1 = NP \quad (3.6)$$

式中： $N$ ——两相邻刮板间的安装环数，在本文计算中取值为 12；

$P$ ——所选圆环链节距，由所选链条规格可知节距为 126mm。

将所取数据带入上式（3.6）得：

$$L_1 = 12 \times 126 = 1512\text{m} = 1.512\text{m}$$

当单程长度  $S = 300\text{m}$  时，所需刮板数  $n$  为：

$$n = \frac{S}{L_1} = \frac{300}{1.512} \approx 200(\text{块})$$

式中： $S$ ——刮板输送机长度，单位  $\text{m}$ ；

$L_1$ ——相邻刮板间距，单位  $\text{m}$ 。

单块刮板体积：

$$v = db_0h_0 \quad (3.7)$$

式中： $d$ ——刮板厚度，单位为  $\text{m}$ ；

$b_0$ ——刮板宽度，单位为  $\text{m}$ ；

$h_0$ ——刮板高度，单位为  $\text{m}$ 。

将表 3.1 中数据带入上式，得：



$$v_{\text{刮}} = 0.04 \times 1.234 \times 0.2 = 0.01(\text{m}^3)$$

所以刮板质量为:

$$m_{\text{刮}} = v_{\text{刮}} n \rho \quad (3.8)$$

式中:  $\rho$ ——所选刮板密度, 查密度表可知,  $\rho = 7.85 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ ;

$v_{\text{刮}}$ ——单块刮板体积, 单位  $\text{m}^3$ ;

$n$ ——刮板数, 单位块。

将前面计算所得数据带入式 (3.8) 中, 计算得:

$$m_{\text{刮}} = 15.7 \times 10^3 \text{kg}$$

### 3.3.2 总体圆环链质量的计算

刮板链的总质量, 由其链条的数目以及刮板输送机的设计的长度和其单位质量共同决定, 其计算公式如下:

$$m_{\text{圆}} = \alpha S q \quad (3.9)$$

式中:  $\alpha$ ——链条数, 本刮板运输机为双中链结构, 故  $\alpha = 2$ ;

$S$ ——刮板输送机设计长度, 单位  $\text{m}$ ;

$q$ ——所选圆环连单位长度质量,  $\text{kg/m}$ , 查得该链单位质量为  $22.7 \text{kg/m}$ 。

将数据代入, 得:

$$m_{\text{圆}} = 2 \times 300 \times 22.7 = 1.362 \times 10^4 \text{kg}$$

### 3.3.3 单位刮板链与刮板单位长度质量折算值的计算

由于机器的刮板和链条在实际生产中不断的磨损和更换, 所以在此处只能取初始设计时其结构参数进行计算。在上面两个小节中分别计算了刮板的总质量和圆环链条的总质量, 确定了链条、刮板总数。根据上述计算数据, 将前面计算数据带入可得单位刮板链单位长度质量为:

$$q_0 = \frac{m_{\text{圆}} + m_{\text{刮}}}{S} = 97 \text{kg/m}$$

### 3.4 刮板输送机运行阻力计算

在采煤工作面中,刮板输送机是十分重要的运输设备,其传动效率与其运行阻力有着十分密切的关系,可以说其传动效率直接取决于其运行的阻力的数值的大小<sup>[31]</sup>。刮板输送机的运行阻力大致有以下几个部分组成,第一种是在重载段上由于货载加上刮板链在运行时的移动阻力,第二种是在刮板输送机在倾斜铺设时,由于货载的自重和倾斜角度,产生的货载自重分力,第三种是相对于重载段刮板输送机运行时也存在着空载段,刮板链在空载段移动时所产生的移动阻力,第四种刮板链在机身两头与链轮的结合处的链条的弯曲阻力,第五种是由于整机存在着一系列的传动装置,它们在工作时所产生的传动装置阻力。在本文优化中主要涉及到刮板输送机的空载以及重载段的阻力。

#### 3.4.1 平直段刮板输送机运行阻力计算

平直段的运行阻力指的是所在货物和刮板链在溜槽中运行时候两者与溜槽之间的摩擦阻力,同时也包括存在倾角时,由于倾角使货载和刮板链所产生的重力的分力,这个分离的方向是沿着斜面分布的。由产品说明书可知:刮板链规格  $\Phi 34 \times 126$ ; 通过上面章节的计算可以得出:刮板链单位长度质量为  $97\text{kg/m}$ 。刮板输送机重载段阻力  $W_{zh}$  和刮板输送机空段阻力  $W_k$  计算如下:

刮板输送机重载段阻力  $W_{zh}$ :

$$W_{zh} = g(q\omega + q_0\omega_1)Lg \cos \beta \pm (q + q_0)L \cos \beta \quad (3.10)$$

刮板输送机空段阻力  $W_k$ :

$$W_k = q_0Lg(\omega_1 \cos \beta \mp \sin \beta) \quad (3.11)$$

式中:  $g$ ——为重力加速度,单位  $\text{m/s}^2$ , 取  $9.8\text{m/s}^2$ ;

$\omega_1$ ——刮板链运行时在溜槽中的阻力系数,由于刮板运输机为双链设计,取值 0.3;

$\omega$ ——煤在溜槽中移动的阻力系数,取值为 0.7;

$L$ ——刮板运输机的铺设长度,单位 m;

$\beta$ ——刮板运输机铺设倾角,刮板运输机处于水平位置时运行阻力为最大,故取  $0^\circ$ ;

$q$ ——单位长度货载质量，单位  $\text{kg/m}$ ，由前面计算可知其值为  $593\text{kg/m}$ ；

$q_0$ ——刮板链单位质量，单位  $\text{kg/m}$ ，根据前面计算可知  $q_0 = 97\text{kg/m}$ ； $\pm$ ——对于重段，向上运行取正，向下取负；空载段与之相反。

将数据带入上式 (3.10) 与 (3.11) 得：

$$\begin{aligned} W_{zh} &= 9.8 \times (593 \times 0.7 + 97 \times 0.3) \times 300 \times \cos 0^\circ + 9.8 \times (593 + 97) \times 300 \times \sin 0^\circ \\ &= 1306.212\text{kN} \end{aligned}$$

$$W_k = 97 \times 300 \times 9.8 \times (0.3 \times \cos 0^\circ - \sin 0^\circ) = 85.554\text{kN}$$

到此可以得出在平直段，刮板输送机的重在段阻力和空载段阻力的具体数值，为计算其弯曲段的空载、重载运行阻力提供了方便。

### 3.4.2 弯曲段刮板输送机运行阻力计算

刮板输送机曲线段的运行阻力，指的是刮板两在机头和机尾两处与链轮相互啮合的时候的弯曲附加的阻力以及轴承的阻力，也包括在溜槽的弯曲段中，刮板链在运行的时候所出现的附加阻力，由于这一部分的阻力计算包括许多方面，且计算十分复杂，所以在多数情况下，其弯曲段的运行阻力的取值为平直段中重段阻力  $W_{zh}$  和空段阻力  $W_k$  相加所得的值的 10% 来计算其数值。

既：

$$W_f = 10\%(W_{zh} + W_k) \quad (3.12)$$

式中： $W_{zh}$ ——直线段重段阻力，单位  $\text{kN}$ ；

$W_k$ ——直线段空段阻力，单位  $\text{kN}$ 。

将上节计算所得到的数据带入公式 (3.12) 中，得：

$$W_f = 10\% \times (1306.212 + 85.554) = 139.2\text{kN}$$

### 3.4.3 刮板运输机的总运行阻力计算

刮板运输机总阻力为其直线段与弯曲段运行阻力的和，计算公式如下<sup>[32]</sup>：

$$W_0 = \omega_f [(W_{zh} + W_k) + W_f] \quad (3.13)$$

式中： $\omega_f$ ——附加阻力系数，值为 1.1，不弯曲时值为 1；

$W_0$ ——刮板输送机运行总阻力，单位 kN。

将前文中计算得数值带入公式 (3.13)，得：

$$W_0 = 1684 \text{ kN}$$

### 3.5 最小张力点计算

对于刮板链来说，其各点的张力指的是，在其处于运行状态下，在其整体分布上存在着转折点，这些转折点上的拉力既为其个点的张力。

在对于刮板链的各个点的张力计算来说，运用的是逐点计算的方法，该方法的原理是：将自传动的机构的各个点按顺序编号，起点为自传动机构的分离点，以它为起点直到相遇停止，对于各个点的张力来说，之后一点的张力为它所临近的前一个点与这二点之间在运行的时候的阻力的和：

$$F_i = F_{i-1} + W_{(i-1)-i} \quad (3.14)$$

式中： $F_i$ 、 $F_{i-1}$ ——分别为牵引机构上前后两点的张力，单位 N；

$W_{(i-1)-i}$ ——此两点之间运行阻力，单位 N。

为方便运用逐点法来计算最小张力点，绘制下面简图，具体分点如图 3.5 所示。

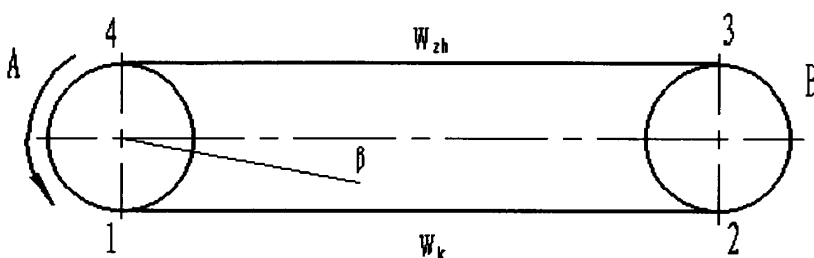


图 3.5 刮板输送机张力计算示意图

Fig 3.5 Schematic diagram of calculation of scraper conveyor tension

$$n_0 = n_A + n_B \quad (3.15)$$

$$F_2 = F_1 + W_k \quad (3.16)$$

$$F_4 = F_3 + W_{zh} \quad (3.17)$$

$$F_2 - F_3 = W_B = \frac{W_0}{n_0} n_B \quad (3.18)$$

$$W_B = \frac{W_0}{n_0} n_B = F_2 - F_3 \quad (3.19)$$

$$F_1 - F_3 = F_4 - F_2 = \frac{W_0}{n_0} n_B - W_K \quad (3.20)$$

式中： $W_0$ ——刮板机运行时的总阻力；

$n_0$ ——电动机总台数，取 2；

$W_B$ ——B 端牵引力；

$n_A$ 、 $n_B$ ——A、B 两端的电机数目，都取 1；

$W_{zh}$ 、 $W_k$ ——分别为刮板输送机平直段重段阻力和空段阻力；

$F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ 、 $F_4$ ——分别为 1~4 点的张力。

联立上式 (3.14) 至 (3.19) 得：

$$F_4 - F_2 = F_1 - F_3 = \frac{1}{2} (W_{zh} - W_k) \quad (3.21)$$

由前面计算可知  $W_k > 0$ ，故可知  $F_2 > F_1$ ，且  $W_{zh} - W_k > 0$ ，所以可得：

$$F_4 > F_2 > F_1 > F_3$$

则最小张力点为 3 点。最小张力点取值公式如下：

$$F_{\min} = n(2000 \sim 3000) \quad (3.22)$$

式中：

$n$ ——为链条数，取值为 2。

所以取：

$$F_{\min} = 5000N$$

### 3.6 本章小结

本章根据 SGZ1250/2000 型刮板输送机的基本技术指标，结合实际铺设，计算了中部溜槽的最大截面积、最小张力点、空载段运行阻力以及重在段运行阻力等，作为下章 MATLAB 求解的基本参数。为建立优化的数学模型提共了基本数据。

## 4 基于 MATLAB 的 PSO 算法的刮板输送机的参数优化

### 4.1 MATLAB 的 PSO 优化概念简介

粒子群算法 (PSO) 是一种基于群体的随机优化技术<sup>[33, 34]</sup>。该类算法与其他基于种群类型的进化算法既有相同点又有着许多的不同点。与其他的进化算法相较, 相同点一是在程序或者算法的初始化时都是使用了一组随机解, 而在函数求解时都是利用了迭代原理, 通过反复迭代求解最优解; 而不同点也十分明显, 不同于进化算法的适者生存的原则, 该算法将任何一个可能产生的解都看做粒子群模拟社会的一个粒子, 而每一个粒子都有着属于这个微粒自己的速度、位置向量, 和一个由目标函数计算而产生的适应度值<sup>[35]</sup>。在这个模拟社会中, 每个粒子都有自己的飞行速度, 而 PSO 算法通过对当前搜索到的最优解来寻求找寻全局最优解。

PSO 模拟社会也有着几条简单的规则以便对粒子操作,

- 1) 粒子在飞行时在搜索范围内尽可能的飞离临近粒子, 避免了粒子碰撞;
- 2) 所有粒子都是从周围以目标为中心点, 向着目标飞近;
- 3) 所有的粒子都是从周围向着种群的中心点快速靠近。

#### 4.1.2 PSO 算法原理

假若目标空间是一个  $S$  维空间, 其中包含粒子为  $m$ , 在这个空间中每一个粒子都是一个潜在的解, 其表现形式:

$$\vec{x}_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iS}), i = 1, 2, 3, \dots, m$$

系统搜索到这个解后带入目标函数, 就可以得到其这时候的适应度的值, 然后根据由这个解得到的适应度的数值, 来计算衡量所得解是否为全局最优解。

对于这个向量  $\vec{x}_i$  的速度向量与其维数是相同的, 其速度向量被定义为:

$$\vec{V} = (V_{i1}, V_{i2}, \dots, V_{is})$$

定义第  $i$  个粒子寻找到的最优解位置向量为:

$$\vec{P}_{is} = (P_{is}, P_{is}, \dots, P_{is})$$

定义整体空间寻找到的最优解的位置向量为:

$$\overrightarrow{P_{gs}} = (P_{gs}, P_{gs}, \dots, P_{gs})$$

若目标函数为  $f(x)$ , 则第  $i$  个粒子最优位置可以确定为:

$$p_i(t+1) = \begin{cases} p_i(t) \rightarrow f(x_i(t+1)) \geq f(p_i(t)) \\ X_i(t+1) \rightarrow f(x_i(t+1)) < f(p_i(t)) \end{cases} \quad (4.1)$$

定义完成以上参数表达形式以后, 将上述的参数表达式带入下面的公式, 实现对粒子的操作:

$$v_{is}(t+1) = v_{is}(t) + c_1 r_{1s}(t)(p_{is}(t) - x_{is}(t)) + c_2 r_{2s}(t)(p_{gs}(t) - x_{is}(t)) \quad (4.2)$$

$$x_{is}(t+1) = x_{is}(t) + v_{is}(t+1) \quad (4.3)$$

等式中,  $i = [1, m], s = [1, S]$ ,  $c_1$ 、 $c_2$  是算法系统的学习因子, 用户可以自定义, 这两个数是非负数常数,  $r_1$ 、 $r_2$  为系统中的两个在  $[0, 1]$  上均布的随机数,  $v_{is} \in [-v_{\max}, v_{\max}]$ ,  $v_{\max}$  为用户设定值, 其数值恒定。

在 PSO 算法中, 学习因子的作用分别为:  $c_1$  作为使粒子可以靠向自己的最优位置的步长的调节而使用,  $c_2$  则作为让粒子在整体空间内靠近最优位置的步长调节作用。为了防止粒子由于飞行的不确定性, 而脱离搜索空间, 那么就需要给粒子规定一个飞行的范围, 这个范围规定为  $v_{is} \in [-v_{\max}, v_{\max}]$ , 其中  $v_{\max}$  作为粒子飞行的最大的飞行的速度。假若寻找搜索空间定义为  $[-x_{\max}, x_{\max}]$ , 则两者有着如下关系:

$$v_{\max} = kx_{\max} \quad (0.1 \leq k \leq 1.0)$$

随着对于粒子群算法的完善, 而后对于公式 (4.2) 又做了如下的改进:

$$v_{is}(t+1) = \omega \cdot v_{is}(t) + c_1 r_{1s}(t)(p_{is}(t) - x_{is}(t)) + c_2 r_{2s}(t)(p_{gs}(t) - x_{is}(t)) \quad (4.4)$$

改进后的公式加入了一个非负的动力常。这个参数的加入, 加强了对全局和局部搜寻能力的区别寻优能力。当这个数值较大时, 此时之前时刻的速度作用较大, 此时, 全局性的寻优效果最佳, 当这个数值较小的时候, 由于后一时刻的速度对全局影响较大, 所以此时局部寻优的能力大大增加, 从而避免了在找寻全局最优解的时候系统陷入局部最后的不良影响。



算法的终止的条件是依据不同的问题中特定选取的最大迭代次数和最小适应值作为终止信号来终止系统的运算。

### 4.1.3 PSO 算法流程

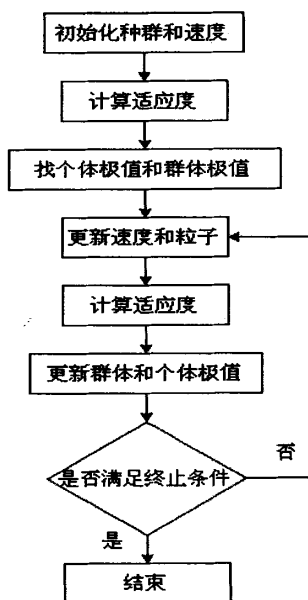


图 4.1 PSO 优化流程图

Fig 4.1 Flow chart of PSO optimization

PSO 算法在初始时会规定一定数量组成的群体，这个群体由许多粒子组成，在其中的粒子都是一个潜在的最优解，通过 MATLAB 计算寻优，逐步找到这些点中的最小值，逐个的比较其适应度来确定其最终的最佳位置。既找寻全局最优和局部最优解<sup>[36]</sup>。当满足迭代次数达到用户设定的最大迭代次数，或者找到了满足了最优适应度的值的情况，系统将会自动停止，将系统经过计算所得到的最佳位置的那一组向量，通过 MATLAB 命令窗口输出，展现为用户。

## 4.2 建立数学模型

数学模型既当人们在从事各种工程问题的时候，将实际问题通过数据收集、分析，将实际的工程问题简化为用数学符号构成的数学公式，这个简化所得到的公式即为所需

要的数学模型，建立数学模型也是依靠 MATLAB 软件计算得必要条件，因为 MATLAB 是基于矩阵快速解释核心的软件，任何工程问题落实到 MATLAB 计算上都要简化为最为直接的，MATLAB 可以识别的函数表达式或者矩阵量。

4.2.1 确定目标函数和设计变量

目标函数（performance function），指的是目标与相关联因素之间所存在的函数关系，既在得到的最优解之后要满足的数学表达式，也就是说通过最优化程序后要达到的数学公式。

设计变量（design variable），这里是指对目标函数的数值能够起到影响的一系列基本设计数值，这些变量由刮板输送机的设计决定，同时影响着目标函数的输出值。

根据上述两个定义，结合第三章的计算所得数据，列出了影响目标函数的基本参数作为设计变量，如表 4.1 所示。

表 4.1 目标函数参数值  
Table 4.1 Parameters of the goal function value

$W_{zh}$	刮板运输机平直段重段阻力	1306KN
$W_k$	刮板运输机平直段空段阻力	85.554KN
$q_0$	链条单位长度质量	97kg/m
$q$	货载单位长度质量	593kg/m
$L$	刮板运输机铺设长度	300m
$\beta$	刮板运输机铺设倾角	0°
$\omega$	货载在溜槽中的运行阻力系数	0.7
$\omega_1$	刮板链在溜槽中的运行阻力系数	0.3
$\rho$	被运物料的松散密度	850kg/m³
$\psi$	装满系数	0.8
$Q$	输送能力	3200t/h
$\phi$	物料堆积角	32°
$F_p$	单链破断力	1000N
$[m]$	安全系数	4.2
$\lambda$	双链负荷不均匀系数	0.9

### 4.2.1.1 设计变量的确定

取刮板输送机槽深  $H$ ，宽度  $B$ ，刮板链运行速度  $v$  作为设计变量，令：

$$X = P \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} H \\ B \\ V \end{pmatrix}$$

### 4.2.1.2 目标函数的确定

本文以刮板输送机的驱动功率为目标函数，下面建立 MATLAB 优化程序所需的目标函数：

目标函数：刮板输送机驱动功率<sup>[37]</sup>：

$$P = \frac{W_0 v}{1000 \eta} \quad (4.1)$$

将上面的目标函数用  $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$  表示，需联立下下列公式：

$$\begin{cases} P = \frac{W_0 v}{1000 \eta} \\ W_{zh} = (q \omega + q_0 \omega_1) L g \cos \beta \pm (q + q_0) \sin \beta L g \\ W_k = (\omega_1 \cos \beta \mp \sin \beta) q_0 L g \\ q = 1000 A \psi \rho \\ A = b_0 h_0 + \frac{1}{2} \psi (b_0 + b_2 + b_1)^2 \tan \alpha \\ Q = 3600 A \psi \rho v \end{cases} \quad (4.2)$$

由章节 3.5 的计算可知，最小张力点为  $S_3$  点，经章节 3.5 计算可知， $F_3 = 5000N$

则有下式 (4.3)。

$$F_4 = F_3 + W_{zh} \quad (4.3)$$

又因为：

$$F_4 - F_3 = \frac{(W_0)}{2} = \frac{1.1(W_{zh} + W_k)}{2} \quad (4.4)$$

$$F_1 = F_2 - W_k \quad (4.5)$$

又链轮的牵引力：

$$W_0 = 2(F_2 - F_3) \quad (4.6)$$

故联立式 (4.1) ~ (4.6) 可得:

$$N = \frac{9}{8} v \times \left[ \left( b_0 h_0 + \frac{1}{2} (b_0 + 0.375)^2 \psi \tan \alpha \right) \psi \rho \omega \cos \beta L g + 2 q_0 \omega_1 \cos \beta L g + q L g \sin \beta \right]$$

$$= \frac{9}{8} \times \left( b_0 h_0 \psi \rho \omega \cos \beta L g + \frac{1}{2} (b_0 + 0.375)^2 \psi^2 \rho \omega L g \cos \beta \tan \alpha + 2 q_0 \omega_1 \cos \beta L g + q L g \sin \beta \right) v$$

所以目标函数  $F(x)$  可以确定为:

$$F(x) = \frac{9}{8} \times \left[ x_1 x_2 \psi \rho \omega \cos \beta L g + \frac{1}{2} (x_2 + 0.375)^2 \psi^2 \rho \omega L g \cos \beta \tan \alpha + 2 q_0 \omega_1 \cos \beta L g + q L g \sin \beta \right] x_3$$

将上表数据带入目标函数  $F(x)$  中, 得:

$$F(x) = \frac{9}{8} \times \left[ \begin{array}{l} 0.8 \times 0.85 \times 0.7 \times 300 \times 9.8 x_1 x_2 + \\ \frac{1}{2} \times (x_2 + 0.375)^2 \times 0.8^2 \times 0.85^2 \times 0.7 \times 300 \times 9.8 \times \tan 32^\circ + \\ 2 \times 97 \times 0.3 \times 300 \times 9.8 \end{array} \right] x_3$$

$$= 1574.3 x_1 x_2 x_3 + 334.5 x_2^2 x_3 + 250.9 x_2 x_3 + 259.5 x_3$$

经如上计算, 最终确定目标函数为:

$$F(x) = 1574.3 x_1 x_2 x_3 + 334.5 x_2^2 x_3 + 250.9 x_2 x_3 + 259.5 x_3$$

### 4.3 约束条件的建立

在做优化问题时, 必须要遵守的一些条件, 即为约束条件。为保证优化后的安全正常使用, 分别从刮板输送机的运行速度、刮板输送机中部溜槽宽、刮板输送机的机槽深度、刮板输送机的生产率和刮板链的强度等六个方面来进行约束条件的建立:

1) 为了确保刮板输送机在工作状态下运行平稳安全, 避免震动与冲击, 其速度应该限制在如下范围  $v_{\min} < v < v_{\max}$ , 所以建立如下约束方程:

$$y_1(x) = v_{\min} - x_3 \leq 0$$

$$y_2(x) = x_3 - v_{\max} \leq 0$$

2) 在确保链条运行速度满足要求的情况下, 刮板运输机的溜槽宽度应该满足如下要求:

$$d_{\max} + 0.2 < B < B_{\max}$$

式中:  $d_{\max}$  ——所运载物料的最大宽度, 在这里取 0.5m。

所以建立如下约束方程：

$$y_3 = d_{\max} + 0.2 - x_2 \leq 0$$

$$y_4(x) = x_2 - B_{\max} \leq 0$$

3) 为了保证刮板输送机的槽深能够满足物料整体运行移动时的高度，采煤机支架的组合高度，又必须同时保证在输送过程中物料不至于抖落，所以需要满足如下条件：

$$H_{\min} < h_0 < H_{\max}$$

由上面条件可以建立如下约束方程：

$$y_5(x) = H_{\min} - x_1 \leq 0$$

$$y_6(x) = x_1 - H_{\max} \leq 0$$

4) 因为要确保满足生产任务的需求，所以生产率应该满足如下约束方程：

$$y_7(x) = KQ_e - 3600 \left( x_1 x_2 + \frac{1}{2} \psi (x_2 + 0.375)^2 \tan 32^\circ \right) \psi \rho x_3$$

5) 于此同时，刮板链强度应该满足如下要求：

$$k = \frac{nF_p \lambda}{F_{\max}} \leq 4.2$$

式中：k——刮板链的抗拉安全系数；

n——链条数，单链时为 1，双链时为 2；

$\lambda$ ——链条之间负荷分配不均匀系数，单链为 1，双圆环链为 0.85；

$F_p$ ——单链最大破断力，单位 N；

$F_{\max}$ ——刮板链最大张力点张力，单位 N。

根据上面的公式，可得如下约束函数：

$$y_8(x) = [k] - \frac{nF_p \lambda}{F_{\max}}$$

将参数替换得：

$$\begin{aligned} y_8(x) &= [k] - \frac{2F_p \lambda}{F_3 + g(q\omega + q_0\omega_1)Lg \cos \beta \pm (q + q_0)L \cos \beta} \\ &= [k] - \frac{2F_p \lambda}{F_3 + 10^3 b_0 h_0 \omega \psi Lg \cos \beta \tan \alpha + 500(b_0 + 0.375)^2 \omega \psi Lg \cos \beta \tan \alpha + q_0 \omega_1 Lg \cos \beta} \end{aligned}$$

所以参数函数为:

$$y_8(x) = [k] - \frac{2F_p \lambda}{F_3 + 10^3 x_1 x_2 \omega \psi L g \cos \beta \tan \alpha + 500(x_2 + 0.375)^2 \omega \psi L g \cos \beta \tan \alpha + q_0 \omega_1 L g \cos \beta}$$

6) 自变量的取值范围

查工具书《刮板机设计细则》、《矿上机械》、《刮板输送机通用技术条件》以及与其配套使用的得机器的使用手册, 确定出一下自变量  $X = \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{Bmatrix}$  的取值区域为:

$$lb = [0.1, 1.05, 0.8] \\ ub = [0.3, 1.45, 1.6]$$

根据以上条件, 可以编写以下程序以便得到目标函数的直观图像:

具体程序如下:

```
x1=linspace (0.3, 0.4, 100) ;
x2=linspace (1.05, 1.45, 100) ;
x3=linspace (0.8, 1.6, 10) ;
fx=1574.3*x1*x2*x3+334.5*x2.^2+250.9*x2*x3+259.5*x3;
[x1, x2]=meshgrid (x1, x2) ;
fx=griddata (x1, x2, fx, x1, x2, 'V4') ;
surf (x1, x2, fx)
```

运行上列程序后, 可在 MATLAB 图像输出窗口中得到下列图像:

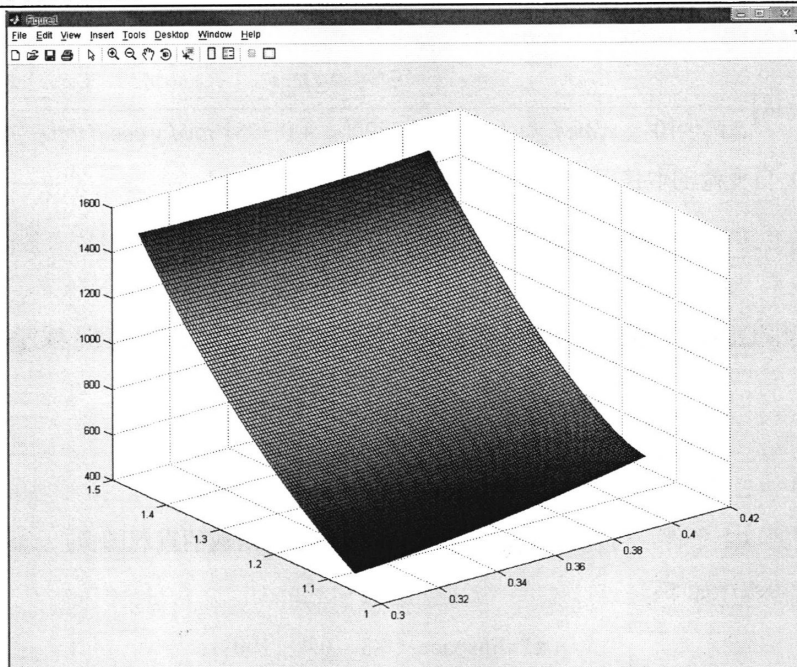


图 4.2 目标函数直观图

Fig 4.2 Objective function diagram

#### 4.4 MATLAB PSO 优化编程主要步骤设计

m 文件是一种脚本文件，它类似于 DOS 环境中的批处理文件，对于该文件主要是对于那些复杂的程序、或需要重复多次调出使用的程序而建立，主要是为了起到简化程序的作用。m 文件建立路径为：File/New/Script 操作步骤如图 4.3、4.4 所示：

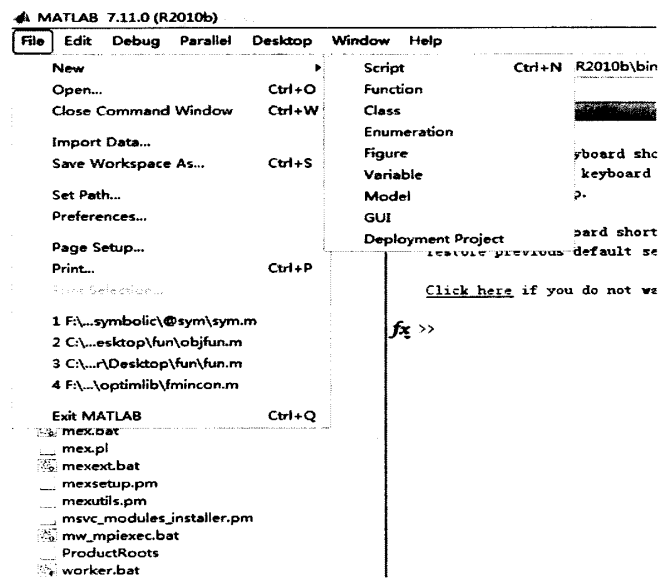


图 4.3 M 文件建立方式  
Fig 4.3 M file creation mode

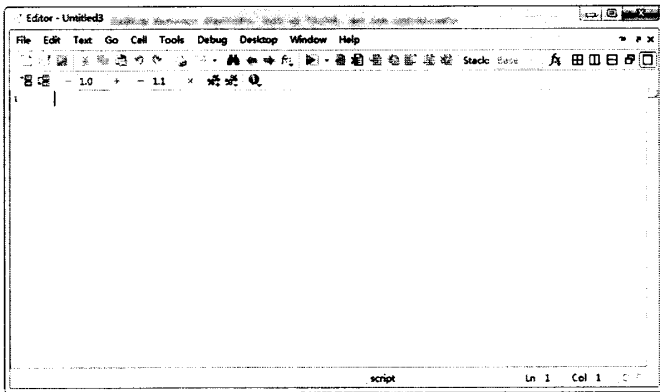


图 4.4 脚本文件操作窗口  
Fig 4.4 Script file operation window

目标函数与约束条件脚本文件文件编写下列程序：



```

function f = cost(x)
f = 140.1 * x1 + 1305.7 * x1. * x2. * x3 + 326.3 * x1. * (x2).^2;
function [g, geq] = constraint(x)
a = x1 * x2 + 1/2 * 0.8 * tan32? * (x2 + 0.375)^2;
b = 3600 * 0.8 * 0.85 * x3;
c = 514392(x2 + 0.375)^2;
d = 102878x1x2;
g(1) = 0.8 - x3;
g(2) = x3 - 1.6;
g(3) = 0.7 - x2;
g(4) = 1.05 - x2;
g(5) = 0.3 - x1;
g(6) = x1 - 0.4;
g(7) = 2816 - a * b;
g(8) = 4.2 - 1800/(4085.554 + c + d);
geq = [];

```

规定种群空间基本参数  $c_1$ 、 $c_2$ 、种群大小等参数的脚本文件的编写：

```

function [gbest, fbest] = pso_muncon(fhandle, fnonlin, lb, ub, para)
if
nargin <= 4, para = [20 100 0.95];
end
n = para(1);
time = para(2);
gamma = para(3);
scale = abs(ub - lb);

```

规定 PSO 优化所需的衰减因子和收敛速度，如下：

alpha=0.3;

beta=0.6;

编写粒子种群的初始化程序设计：

best = init\_pso(n, lb, ub);

fbest = 1.0e + 100;

全局最优解得寻找的程序设计：

```

for    t = 1 : time,
for    i = 1 : n,
        fval = Fun(fhandle, fnonlin, best(I,:))
if
fval <= fbest,
gbest = best(i,:);
fbest = fval;
end
end
end

```

绘制适应度图线的程序设计：

```

fitness1(t) = fbest;
plot(fitness1,'r','linewidth',2);
grid on
hold on
title('sufficiency')
end

```

将所需的 m 文件建立之后，将会在 MATLAB 的 Current Folder 界面内显示所有的所建立的 m 文件，如下：

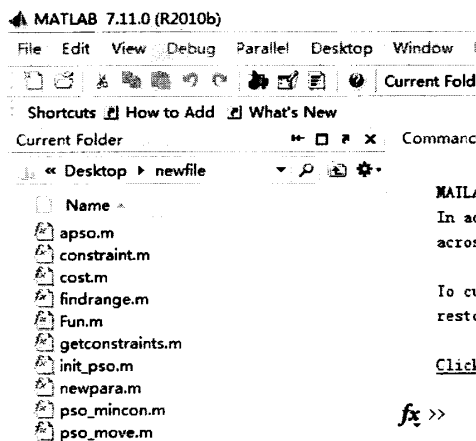


图 4.5 所建脚本文件汇总

Fig 4.5 Script file summary

在建立好各个环节的脚本文件之后，可以在 matlab 命令窗口中通过函数句柄直接调用，编写如下程序：

```
clc
clear all;
x0 = [0.21.251.5];
lb = [0.11.050.8];
ub = [0.31.451.6];
para = [20 150 0.9];
[getbest, funmin] = pso_mincon(@cost,@constraint,lb,ub,para);
Bsolution = getbest
funmin
```

得到优化结果与计算结果的比较如表 4.2 所示：

表 4.2 优化前后数据比较  
Table 4.2 Comparison of data before and after optimization

项目	初始方案	优化方案
设定变量	$h_0, b_0, v, N$	$h_0, b_0, v, N$
设定数值	0.2, 1.25, 1.5, 2234	0.1612, 1, 448, 1, 452, 2174.5

绘制适应度图线：

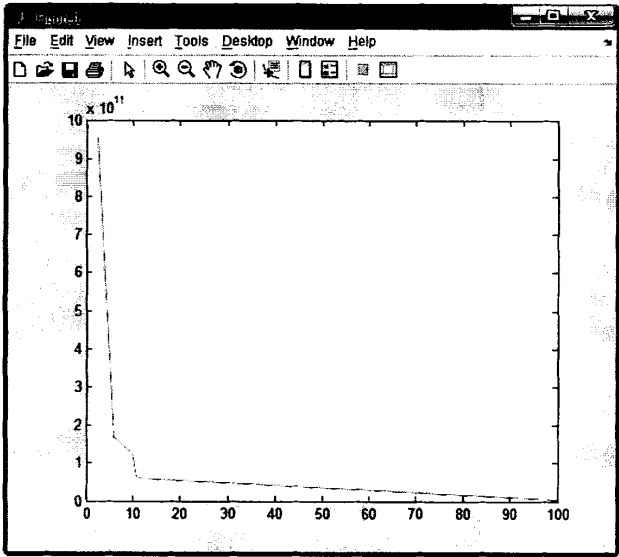


图 4.6 适应度曲线  
Fig 4.6 Fitness curves

在达到输送能力要求的前提下，刮板输送机经常由于参数设计问题出现故障，而合

理的选择参数,对刮输送机的工作可靠性优化有着至关重要的作用。对于优化来说,通过长时间的发展,优化设计已经成为一门独立的工程学科,其目的在于通过不断的完善来达到最终优化的目的,人们称之为进化优化<sup>[38-39]</sup>。本章通过 MATLAB 的有约束条件的优化求解,对刮板输送机的主要参数做出了优化,可以看出在相同运输量的前提下,优化后的方案对功率的消耗已经大大降低,对于刮板输送机这种长期运行的机械设备来说,在经济效益上得到了较大的提高。因此,建立优化数学模型,对刮板输送机进行优化设计,对于改善煤矿设备的使用性能,减少设备维护量,提高设计效率具有重要意义<sup>[40]</sup>。

在以前的算法公式的基础上,在新改进的公式中,加入了一个非负的动力常量。这个参数的加入,加强了对全局和局部搜寻能力的区别寻优能力。当这个数值较大时,此时之前时刻的速度作用较大,此时,全局性的寻优效果最佳,当这个数值较小的时候,由于后一时刻的速度对全局影响较大,所以此时局部寻优的能力大大增加,从而避免了在找寻全局最优解的时候系统陷入局部最后的不良影响。

算法的终止的条件是依据不同的问题中特定选取的最大迭代次数和最小适应值作为终止信号来终止系统的运算。

## 4.5 本章小结

本章介绍了 MATLAB 为基础的 PSO 优化方法,建立了刮板输送机中部槽的优化的数学模型,建立了优化约束条件,编写了优化程序,并选择主要部分进行了简单的介绍,通过本章的优化,将溜槽的结构参数达到了优化的目的,同时降低了在同样运载量的前提下所消耗的功率。对于长时间运作的机器来说,无疑大大的降低了能耗。

## 5 基于 MATLAB 的刮板输送机整机系统可靠性分析

### 5.1 故障树分析简介

现今广泛运用于工业生产,设计和运行管理中的可靠性工程的系统可靠性分析的方法共有两种:

一为失效模式影响分析(Failure Mode and Analysis,简称 FMEA),该模式是对发生失效的产品进行分析,其任务是找出零部件或系统可能发生何种失效模式,鉴别或推断其失效的机理,研究一该失效模式对系统可能产生什么影响,以及分析这些影响是否是致命的,其目的是显示出薄弱环节显示给设计人员,已达到提高系统可靠性的目的;

二为故障树分析法(Fault Tree Analysis,简称 FTA),最早是由美国贝尔电话实验室的 H·A·Wastson 提出的<sup>[40]</sup>。该方法具有简明、直观、易懂、灵活的特点,作为可靠性技术中评价系统可靠性和安全性的一种重要方法,已经广泛应用于宇航、核能、电子、机械等领域,由于该方法常用于对大型复杂系统进行分析,所以必须借助计算机软件来实现,目前国内外研究出的多种故障树分析软件基本上都是基于 VC++来实现的<sup>[41]</sup>。

故障树分析是一种评价复杂系统可靠性与安全性的方法,是在一定条件下用逻辑推理的方法<sup>[42]</sup>。既通过对可能造成系统故障的各种因素(包括硬件、软件、环境、人为因素)进行分析<sup>[43]</sup>,由总体至部分,按树枝状结构,自上而下逐层细化,画出逻辑框图即为故障树,从而确定系统故障原因的各种组合方式和发生概率<sup>[44-45]</sup>。并且采用正确的改进的方法,以提高系统的可靠性的分析方法,其为可靠性工程的重要组成,是当前国际上一致认可的对于复杂系统的安全性、可靠性分析的一种十分实用的方法,其对设计人员,运行人员和管理人员有效地进行系统分析提供了可靠有效的方法。

故障树分析法特点,FTA 是一种具有高度灵活性、高度直观性的逻辑图形演绎法,被广泛应用于宇航等各个方面,根据时代的发展,混合编程来解决实际问题已经成为主流,众多的学者经研究也研究出来了多种的实现方法<sup>[46-48]</sup>。其功能不仅仅在于对系统可靠性的一般性分析(如对系统某些故障原件分析),其更主要的作用是可以对导致故障的各种原因给以统一考虑。

软件分析法从最初的 PREP、KILL 到现在的故障树分析法<sup>[49]</sup>,本章就是通过对刮板输送机的可靠性分析,通过故障树分析法找到影响机器整体可靠性的主要原因,结合改

进法方，来提高刮板输送机的关键部分和整体的可靠性。

## 5.2 SGZ1250/2000 刮板输送机寿命分析

根据在一年中，本机器的运行情况，检测记录，得到了该机在运行过程中的正常的运行时间和发生故障的时间统计如表 5.1 所示。

表 5.1 使用过程时间统计  
Table 5.1 Use of time

设备名称	无故障运行时间	故障时间
SGZ1250/2000 型 刮板输送机	5500, 4740, 4450, 4350, 26360, 19710, 38429, 49960, 7150, 11065, 47960, 2930	512, 358, 980, 1030, 115, 575, 725, 286, 440, 730, 230, 880

根据上表数据可以得出系统的无故障的正常工作时间的期望值：

$$\theta = E(X) = \frac{1}{\lambda}$$

式中： $\theta$ ——为期望值；

$\lambda$ ——为系统发生故障的概率。

计算得出：

$$\theta = 127.3$$

将上表中的转化为 MATLAB 语句为：

```
A=[5500, 4740, 4450, 4350, 26360, 19710, 38429, 49960, 7150, 2930,
11065, 47960];
B=[512, 358, 980, 1030, 115, 575, 725, 286, 440, 730, 230, 880];
subplot (2, 1, 1);hist (A, k1);
```

其中矩阵 A、B 分别表示刮板机的正常运行时间和故障的时间，将两个矩阵分别依次放置到下面的两个区间内：

```
k1=[5000, 10000, 15000, 20000, 25000, 30000, 35000, 40000, 45000];
k2=[100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800];
```

利用 MATLAB 中 HIST 函数来预测和直观的展现其分布的规律<sup>[50]</sup>，结合 subplot 函数编写下列程序：

```
A = [5500,4740,4450,4350,26360,19710,38429,49960,7150,2930,11065,47960];
k1 = [5000,10000,15000,20000,25000,30000,35000,40000,45000];
B = [512,358,980,1030,115,575,725,286,440,730,230,880];
k2 = [100,200,300,400,500,600,700,800];
subplot(2,1,1);hist(A,k1);
subplot(2,1,2);hist(B,k2);
```

通过执行该程序，并将所得图像导出，可得到图 5.1。

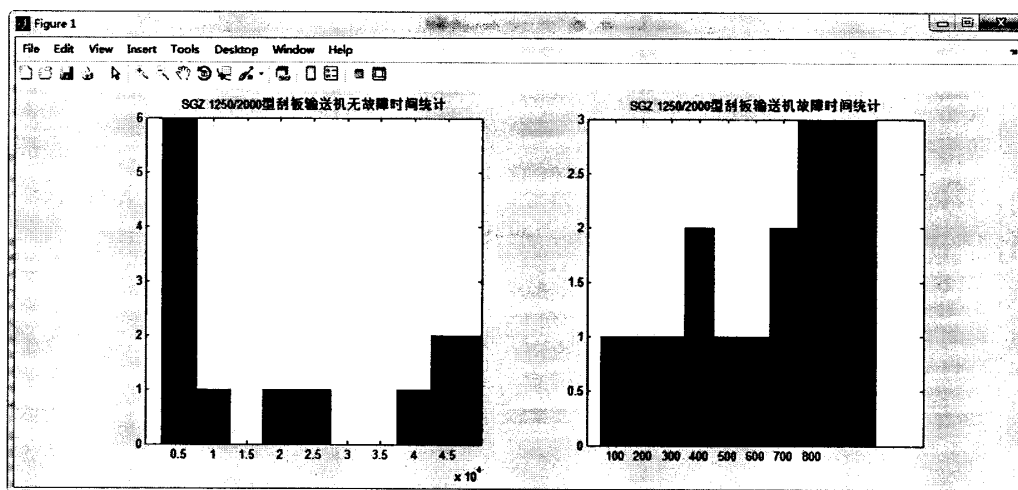


图 5.1 故障及无故障时间统计图

Fig 5.1 Fault and no fault time graph

然后根据上文所求的的数学期望结合 `expfit()` 函数和 `kstest()` 函数，可以对验证可靠性分析的参数是不是与设定的分布种类相符合，这两个函数的函数句式如下设计入下程序。求解刮板输送机处于正常运行状态时的参数估计以及假设验证计算：

```
A = [5500,4740,4450,4350,26360,19710,38429,49960,7150,2930,11065,47960];
[muhate1,mucie1] = expfit(A)

A = [5500,4740,4450,4350,26360,19710,38429,49960,7150,2930,11065,47960];
tA = A';
cdf = [tA,expfit(tA,127.33)];
[H,P,KSSTAT,CV] = kstest(A,cdf,0.05)
```

运行该程序可得到以下结果输出：

表 5.2 无故障时间计算输出数据

Table 5.2 Fault free time to calculate the output data

参数名称	Muhate1	Mucile1	H	KSSTAT	CV
计算输出值	16831	(10256, 32560)	0	0.1842	0.3654

仿照上面的对于刮板输送机无故障时间的计算方法，可以得到在刮板输送机故障时的各类参数：

表 5.3 故障时间计算输出数据

Table 5.3 Failure time to calculate the output data

参数名称	Muhate2	Mucile2	H	KSSTAT	CV
计算输出值	571.83	(349.4, 1105.9)	0	0.1939	0.3654

由上面结算所得的数据可以知道，由于  $H=0$  而且所得到的统计量的数值要较临界值的数值小，所以之前的假设成立，故刮板输送机的处在正常的工作状态的时间和其处于故障的状态的事件的值满足指数形式分布。其置信区间分别为 (10256, 32560) 以及 (349.4, 1105.9)，所有的统计点 95%以上都在这个区间内，根据表格数据可知，该机的正常运行时间为 16831 分钟，其处于不正常时间的估计时间为 571.83 分钟，折算为小时分别为 280.52 和 9.53 小时。基于以上数据，可以通过马尔科夫的求解分析的方法来求解所需系统的可靠性的各项参数<sup>[51]</sup>。

由上面所得数据，可以计算出其在不同的时间内的可靠度的变化，其计算过程如下：

故障率：  $\lambda = \frac{1}{Muhate1} = 3.56 \times 10^{-3} (h^{-1})$

修复率：  $\mu = \frac{1}{Myhate2} = 0.15 (h^{-1})$

有效度：  $A = \frac{\mu}{\lambda + \mu} = 0.977$

由于整体系统为串联系统，所以其可靠性求解公式：

$$R_s = e^{-\lambda t}$$

解得不同时间内可靠度的不同的数值，结合 MATLAB 中的 plot 函数输出下图，得到下图：



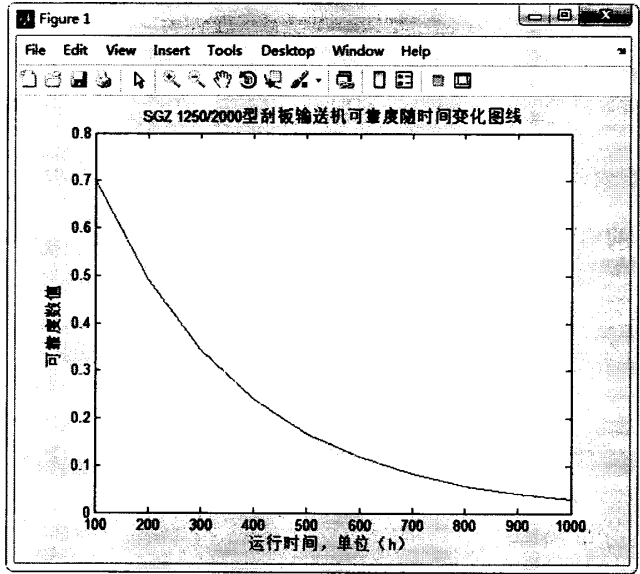


图 5.2 可靠度曲线图

Fig 5.2 Fitness curves

由该图像可以得知，随着刮板输送机使用时间的增长，其整机的可靠度的数值在不断减小，尤其是在前 300 小时内，可靠度降低速度十分快速，这就要求工作人员适时检修和维护，已达到减缓可靠度下降的目的。

### 5.3 中部槽可靠性框图

整机的可靠度是由其组成的各个部分所决定的，而在这些组成中，又存在主次之分，中部溜槽作为刮板输送机的主要承载部位，收到磨损等因素的作用，其损坏速率最为严重，所以刮板输送机中部溜槽为例，结合 MATLAB 和故障树分析法，分析中部溜槽的损坏主要因素，已达到可靠度优化的目的。

根据中部溜槽设计结构，以及工作原理得知，其系统为可修复系统，同时根据刮板输送机中部溜槽的结构区分主次，将次要的原件略，建立下面的可靠性框图，这也有利于其后的基于数学模型的计算<sup>[52-53]</sup>。其主要组成模块有中板、封底板、挡煤板等六个部分组成，而六部分中任意一部分失效，则都可能导致中部溜槽的故障，以致导致停机故障。所以建立中部溜槽的可靠性框图如图 5.3 所示。

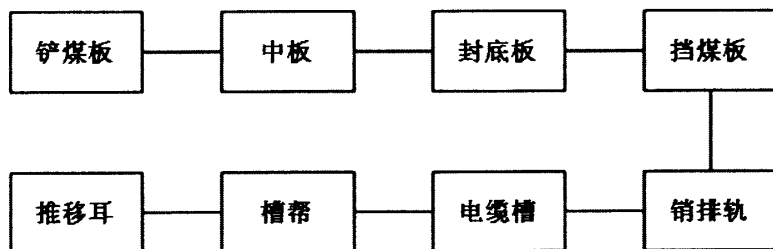


图 5.3 中部溜槽可靠性框图  
Fig 5.3 Middle trough of reliability block diagram

## 5.4 故障树分析法特点与建树原则

FTA 是将最不希望发生的事件作为顶级事件，故障树将已经选定的系统故障作为顶事件然后通过其发生的各种可能原因和组合进一步分析下一层次的原因，直至找到系统故障原因的基本事件为止。

在建立故障树的同时，应该注意以下几个事项：

- 1) 在准备建树时，应减少不必要事件，减少数的规模与冲突点；
- 2) 准确定义发生事件；
- 3) 建树时遵循自上而下的建立步骤，这样可以避免遗忘事件；
- 4) 建树时要尽量使逻辑简单直接，减少间接事件，同时严禁门与门直接相连；
- 5) 注重共因事件。

### 5.4.1 故障树建立步骤

在建立故障树的时候，需要先对所选的系统做一定的了解和分析，根据其结构和系统的特点建立符合其特点的故障树进行分析，根据长时间使用和统计，将所发生的故障记录、分类和统计，作为故障树的基本事件，然后将顶事件与基本事件运用逻辑运算和逻辑门科学可靠地进行连接，构成这个特定系统的特定的故障树，从而进行分析，以提整机的可靠性。其故障树的具体建树流程如下：

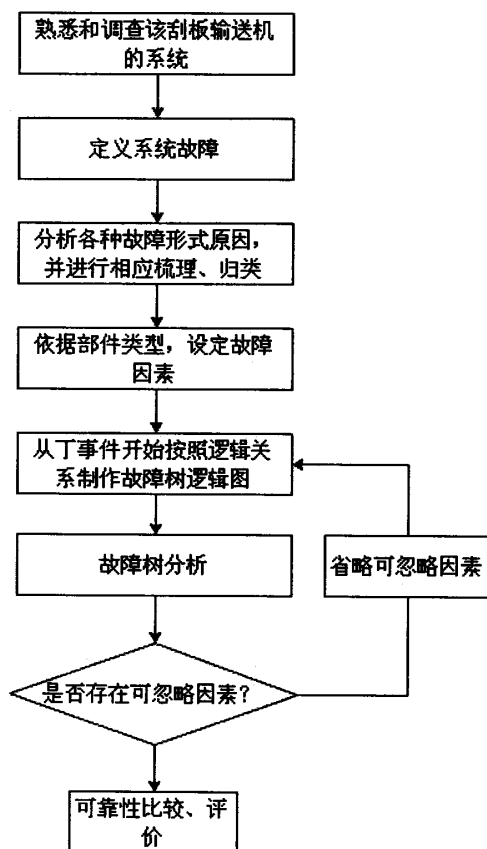


图 5.4 故障树建立流程图

Fig 5.4 Flow chart of fault tree

### 5.4.2 建立故障树

在故障树分析中，定性分析时故障树分析的核心内容，定性分析在本文可靠性分析中起着至关重要的作用。

故障树分析中的定性分析分为两个重要的步骤：

- 1) 建立逻辑树集以得到最小割集，使系统掌握故障的每种可能原因；
- 2) 基于上一步骤，判断系统的薄弱环节，对系统的改进提出可靠地依据。

在故障树分析中，某一个事件可能并不能使顶级事件，只有当一组事件发生的时候，才能使顶级事件发生，这一组事件的集合定义为一个割集，当割集之中只有每个底事件发生时才会触发顶事件，这种割集称为最小割集<sup>[54]</sup>。所以在可靠性设计中，必须尽量避免最小割集的出现。

最小割集的求法分为三种，分别是上行法、下行法和布尔割集法<sup>[55]</sup>。本章主要运用上行法求解最小割集。

表 5.4 事件定义解释  
Table 5.4 Event definitions

事件种类	事件名称
$T$ (顶级事件)	因中部溜槽引起的系统停机故障
$E_1$ (中间事件)	挡板推移耳、支座与槽帮开焊问题
$E_2$ (中间事件)	溜槽中板与两端的磨损问题
$E_3$ (中间事件)	销钉断裂等
$x_1$ (基本事件)	质量问题
$x_2$ (基本事件)	使用维护原因
$x_3$ (基本事件)	设计原因
•/+	与/或

由上述定义事件，确定故障树如图 5.5 所示。

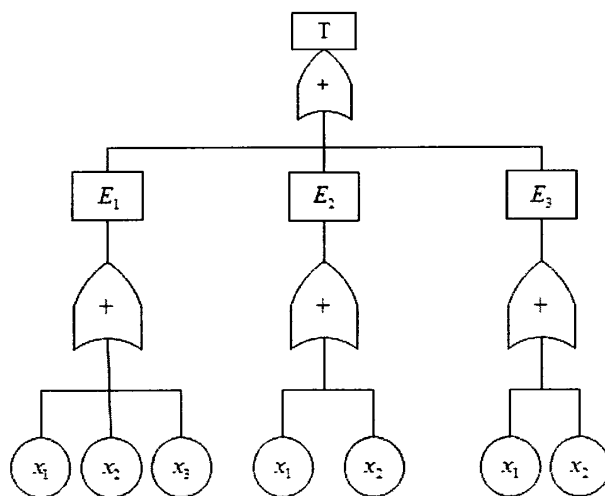


图 5.5 所建故障树  
Fig 5.5 Fault tree

## 5.5 求解最小割集

对最小割集的计算可以明确致使系统发生顶级事件的最小基本事件集合，使设计人员以及使用人员更加明确设计或使用时应注意的一般事项，用以达到将系统发生故障的概率降低的目的。

### 5.5.1 上行法求解最小割集

由所建立的故障树，可以得到顶级事件 T 与中间事件 E 的关系如下：

$$T = E_1 + E_2 + E_3$$

有所建立的故障树可知，中间事件 E 与基本事件 X 的关系如下：

$$\begin{cases} E_1 = X_1 X_2 X_3 \\ E_2 = X_1 X_2 \\ E_3 = X_1 X_2 \end{cases}$$

故可得，顶级事件 T 与基本事件 X 的关系如下：

$$T = E_1 + E_2 + E_3 = X_1 X_2 X_3 + X_1 X_2 + X_1 X_2$$

通过对上面所得的公式，可以通过布尔换算得到顶级事件 T 与基本事件 X 的关系式如下：

$$T = X_1 + X_2 + X_1 X_2 X_3$$

所以可你通过上面的所进行的运算得出其最小割集： $\{X_1\}$ 、 $\{X_2\}$ 、 $\{X_1 X_2 X_3\}$ 。

通过所得的最小割集我们可以看出，作为基本事件的质量原因和维护原因发生的概率要远远高于同为基本事件的设计原因，所以在设计初期可以采用强度高的材料制作溜槽，如 40Mn2，或对其表面进行处理以提高表面强度，在使用中应注意正确的使用与日常的维护，以提高溜槽的可靠性。

### 5.5.2 基于 MATLAB 的最小割集求解

通过上一节的上行法求解的最小割集由于算法的限制，所求得的最小割集可能不是最小割集，所以本文中结合 MATLAB 软件，通过程序计算，得到最小割集。

### 5.5.2.1 定义事件

由于 MATLAB 对于只对数字识别，所以将系统正常定义为状态“0”，系统故障定义为状态“1”。

根据上述定义，对于基本事件  $x(i)$ ，则有  $x(i): \begin{cases} 1, & \text{系统故障;} \\ 0, & \text{系统正常。} \end{cases}$ ；

顶级事件 T 用  $f$  表示，则有  $f: \begin{cases} 1, & \text{系统故障;} \\ 0, & \text{系统正常。} \end{cases}$ 。

对于所用逻辑门个数定义为  $M$ ， $M$  取值在 1 到  $n$  之间，对于所用逻辑门类型，定义如下：

$$V(M) : \begin{cases} 1, & \text{或门;} \\ 2, & \text{与门。} \end{cases}$$

对于输入至顶层的事件个数定义为  $N(M)$ ；

用  $I(M, J)$  定义第  $M$  个逻辑门第  $J$  项输入事件， $J = 1 \sim N(M)$ 。

根据上面所建立的故障树，结合本节定义的事件类型，得出下表数据<sup>[56]</sup>：

表 5.5 事件定义

Table 5.5 Definition of the event

逻辑门个数 ( $M$ )	逻辑门类型 ( $V(M)$ )	输入事件个数( $N(M)$ )	$I(M, J)$
1	2	3	$x_1 x_2 x_3$
1	2	2	$x_1 x_2$
1	1	2	$x_1 x_2$

根据上表的对于事件的定义和对逻辑运算分类定义，将直观的逻辑故障树结合 MATLAB 的软件特性，将图形符号转换成为 MATLAB 软件可以识别的简单的 0, 1 运算，通过软件对 0 和 1 的运算，可以得出所建立的刮板输送机中部溜槽的故障树的最小割集，来指导设计和使用，来提高刮板输送机的使用寿命和其可靠性。

根据上述的定义，可以在 MATLAB 命令窗口之中输入下面的程序，来求解该故障树的最小的割集，其具体程序如下：

```

syms A z k1 k2 k3 x1 x2 x3 n m B
A = [x1 * x2 * x3, x1 * x2, x1 * x2];
z = length(A)

for i = 1:z,
    for j = (i+1):z,
        [x, y] = numden(A(i)/A(j))
        if x == 1, A(j) == 2;
        else
            if y == 1, A(i) = 2
            else continue
            end, end, end, end

        for n = 1:z
            if A(n) ~= 2, m = m + 1;
            s(m) = A(n)
            end, end
        end
    end
end

```

根据上面程序可得矩阵  $B = [x_1, x_2, x_1 * x_2 * x_3]$ ，所以由 MATLAB 解得该故障树的最小割集为  $\{x_1\}$ 、 $\{x_2\}$ 、 $\{x_1 * x_2 * x_3\}$ ，由 MATLAB 求的最小割集，也可以说明在引起系统故障的原因上，同样也是质量和维护原因上占最主要的比重。

## 5.6 可靠性分析平台的建立

基于上面的各项计算，可以建立一个综合的针对于 SGZ1250/2000 的可靠性分析平台，平台的建立依靠 MATLAB 的 GUIDE 功能界面，同时结合 MATLAB 程序编写，建立该分析平台，可以再以后的工作中大大的简化工作量，来提高工作的效率。

### 5.6.1 MATLAB 的 GUIDE 功能简介

在 MATLAB 中所包含的 GUI 功能是一个功能强大的图形窗口，它涵盖了许多对象。在其中包含了一个可以为 GUI 的开发研究提供方便、高效的集成化的开发环境 GUIDE。这个开发环境是一个界面的设计的工具集合，在软件中，将所有的 GUI 可以支

持的控件都加入了这个开发环境中。

该模块包含了静态文本、按钮、坐标轴、动态可编辑文本等可以添加的功能，在一个完整的 GUI 中，包括着主要的两个部分：

- 1) FIG 文件：这个文件主要包含了 GUI 图形的窗口和所有的图形窗口对象；
- 2) M 文件：这个脚本文件主要涵盖了所有的图形按钮用到的基本功能的回调函数，是整个 GUI 的设计核心。

## 5.6.2 基于 GUIDE 开发环境的可靠型分析平台建立

根据上文中的所建立的数学模型，可以结合 MATLAB 编程，设计一个关于该刮板输送机的可靠性分析平台，通过这个分析平台，可以在以后的工作中，降低设计研究人员的工作的复杂度，提高设计的工作效率，提高设计可靠性。

建立该分析平台，首先要建立一个空白的 GUI 界面，建立的路径为：File>new>GUI，执行该路径之后，可以得到下面的窗口：

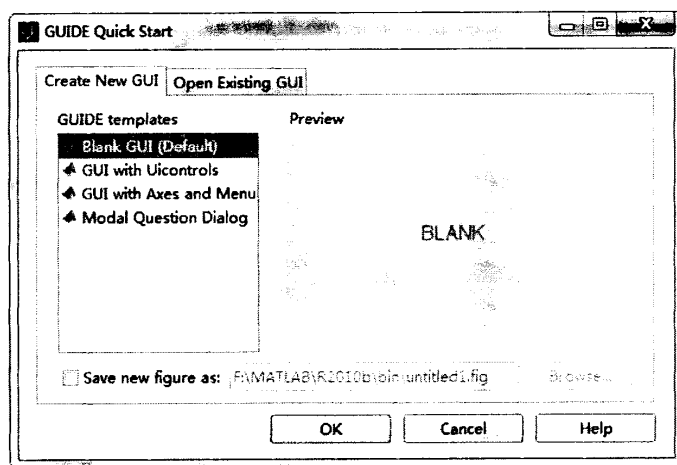


图 5.6 GUI 新建选项窗口

Fig 5.6 GUI new options window

在这个窗口中，包含四个选项，第一个为空白的 GUI 编辑界面，第二项为含有可以控制按钮的 GUI 界面，第三项的编辑界面中包含坐标轴和菜单，第四项是问答式的可对话的编辑界面。在本设计中使用的是第一种空白模板，所以选择第一项，可以得到如图 5.7 的编辑界面。



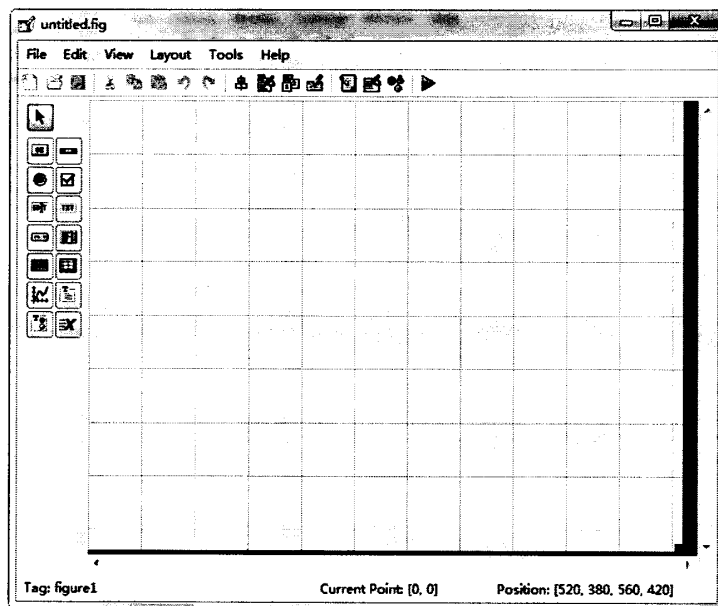


图 5.7 GUI 设计界面

**Fig 5.7 GUI interface design**

在这个界面的左侧是各种控件，结合上文将自己建立分析平台所需的空加入该空白模板之中，得到如图 5.8 的控制界面：

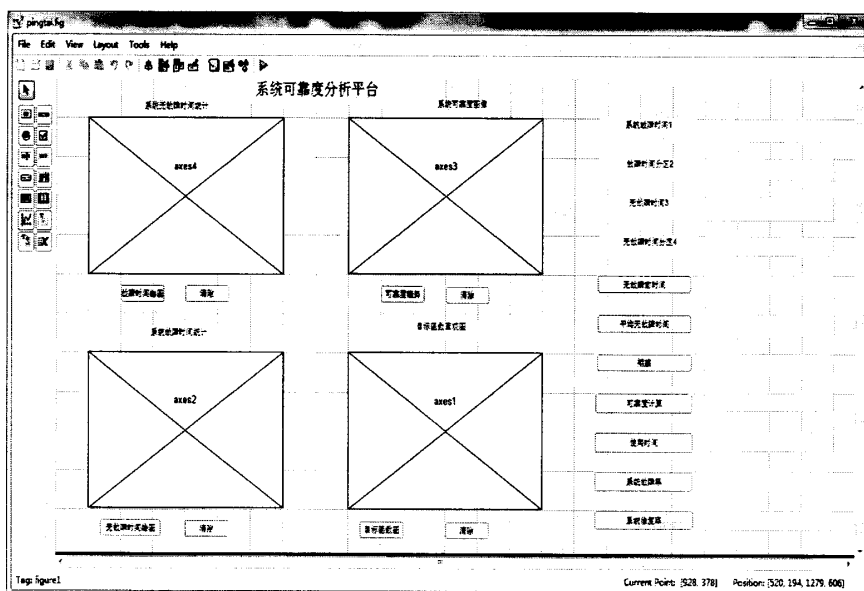


图 5.8 添加所需控件后的 GUI 界面

Fig 5.8 After add the required control GUI interface

在添加好所需控件之后，点击 M 文件编写，结合以上的计算公式，设计数学模型，编写各个控件的回调函数，分别加入总 M 文件中的对应的位置，完成后点击界面中的绿色按钮，可以得到如图 5.9 的操作界面。

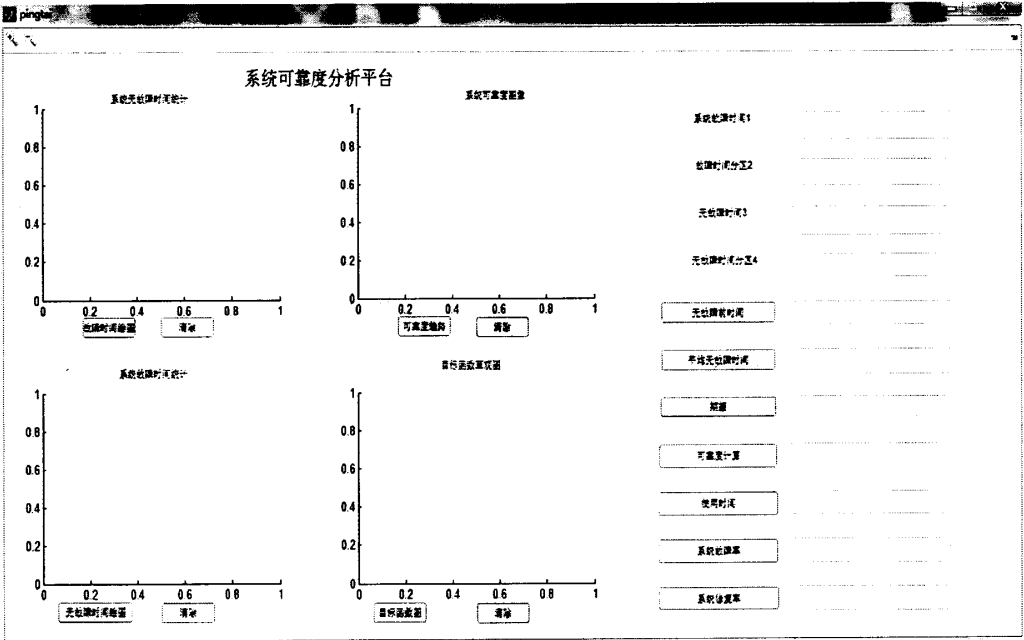


图 5.9 可靠性分析平台窗口  
Fig 5.9 Reliability analysis platform window

该窗口即为建立好的刮板输送机的可靠性分析平台，其包括平均无故障时间、故障时间、期望、可靠度计算等计算功能，同时也有着直观的图形输出功能，其图形的输出包括两个时间统计直方图窗口，一个可靠度随时间变化的输出窗口，还有一个是目标函数的直观图的图像显示窗口。

以故障时间和无故障时间统计为例，将上文中统计的数据：

```
A=[5500, 4740, 4450, 4350, 26360, 19710, 38429, 49960, 7150, 2930,
11065, 47960];
B=[512, 358, 980, 1030, 115, 575, 725, 286, 440, 730, 230, 880];
k1=[5000, 10000, 15000, 20000, 25000, 30000, 35000, 40000, 45000];
k2=[100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800];
```

分别输入所对应的位置，点击相应的绘图的按钮，经过回调函数的运行，可以得到下图中所显示的图形，其他的功能操作与之相似，不再一一叙述：

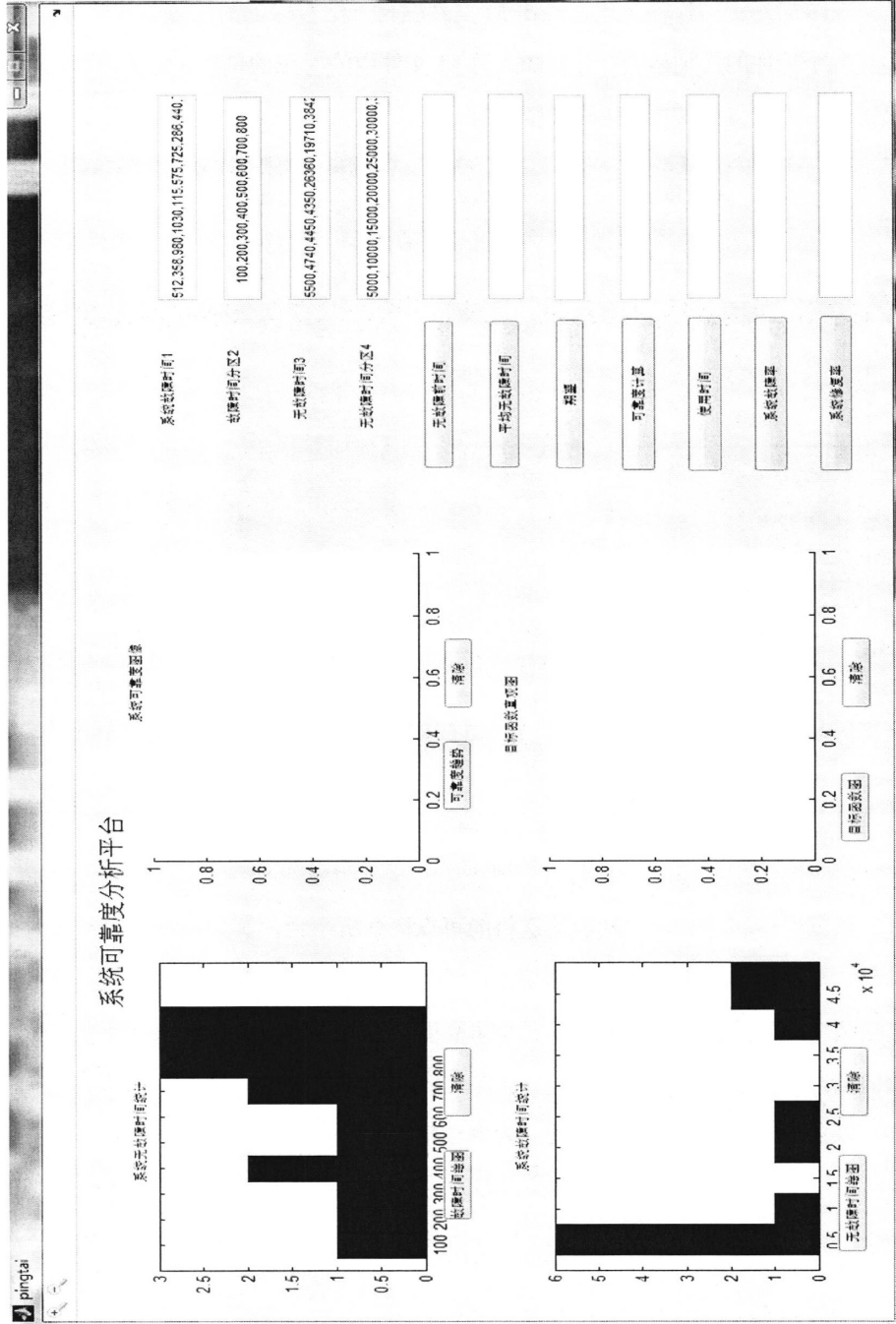


图 5.10 分析平台使用举例

Fig 5.10 Analysis platform used for example

至此基于 GUIDE 开发环境的可靠性分析平台建立完毕，通过此平台，可以在以后

的设计中，十分明显的提高设计效率，减去编程所需的时间，简化设计人员的工作量。

## 5.7 提高可靠性的保证措施

可靠性分为两种，一是固有可靠性，该类可靠性是由设计者设计所确定，设计者按照设计的要求以及流程规划，从确定设计零件的材质选用、设计、实验以及制造等步骤移植到产品完成，在这些过程中所确定的可靠性；其二为使用可靠性，其表现在已经完成的产品在使用的期间内所展现出来的对于一种性能的随时间变化的保持能力。它既受前者的影响，也受使用和维护等环境因素的影响。

通过上文中的故障树分析所求得的最小割集指出，在导致刮板输送机故障的因素中，设计和维护两个方面占主要因素，所以本小节以这两个方面为着手点，结合为提高刮板输送机系统的可靠度提出下列建议。

1) 从设计方面来说，提出下面几点建议：

(1) 在承载重、作用功能重要的部分的选材要充分考虑各方面因素，在保证经济的前提下，尽量从优选择，比如链轮选用经过电解的镍合金钢、溜槽材料使用 40Mn2 材料；在标准零件的选择上，尽量从优选择，以求提高其使用的寿命；

(2) 使用由 TTT 软启动技术功能的液力耦合器，以求提高启动的可靠性；

(3) 合理的设定链条的张紧力，避免出现不必要事故以及功率损耗；

(4) 结合传感器技术与机电一体化技术，使用实时检测系统，实时收集分析数据，用以提高系统的在运行之中的可靠性；

(5) 为了减少机器在直接启动的时候因为启动负荷对供电网络与电动机产生的冲击，在设计减速器与电机之间的结构的时候，加入限矩装置，以实现机器软启软停；

(6) 严格设计流程，使用尽量精密的工具设计，增加设计阶段的固有的可靠性能。

2) 从使用方面以及日常维护来讲，提出下列建议：

(1) 对于设备的操作人员，必须明确所用的设备的结构与功能，在使用过程之中，务必遵照各种作业规程，谨守岗位的职责；

(2) 应该尽可能的避免设备的频繁启动以及设备处于较长时间内的空转状态，禁止超载以及强制性的启动状态；

(3) 若是出现故障，造作人员应立即断电，对于飘链的设备故障，禁止脚踩处理；

(4) 在设备工作时, 要确保冷却器处于状态良好的工作状态, 并严谨在井下工作的情况下打开该设备;

(5) 在铺设刮板输送机的时候, 要尽量水平铺设, 避免折弯过多而造成的折弯段张力突增, 避免急弯;

(6) 适时检修, 保持关键传输部位的润滑。

## 5.8 本章小结

本章介绍了可靠性的概念, 并通过分析 SGZ1250/2000 型刮板输送机的整机的寿命特性, 做出了该机器的可靠度随着时间的变化曲线, 并以中部溜槽为例, 做出了中部溜槽的可靠性结构框图, 根据其框图, 依靠故障树分析法, 通过最小割集的求解, 分析了设计、质量、维护三个方面的在对机构可靠性的影响, 明确了刮板输送机在各个环节中对可靠性的影响程度, 并列出了一些提高可靠性的建议。

## 6 总结与展望

溜槽部位作为刮板输送机的主要承载部分，在刮板输送机的整体结构之中占着重要的地位。所以，本文中以山西煤机厂所生产的 SGZ1250/2000 型刮板输送机的中部溜槽为例结合 MATLAB 软件的优化功能以及故障树的分析功能，对中部溜槽截面做出了结构优化，并对整机的可靠性进行了分析。

### 6.1 总结

本文工作总结：

第一章，通过第一章，对刮板输送机的历史做了一定的描述，并介绍了其在国内外的发展情况，并对其未来的发展方向做出了预测；

第二章，该章节介绍了 MATLAB 的优化函数分类，为后文中所用的到优化函数做出了解释并。除此之外还介绍了可靠度的概念以及可靠度的几个主要度量，为接下来的计算找到了理论依据；

第三章，通过根据其 SGZ1250/2000 型刮板输送机的基本数据计算所得到的各种数据，为建立可靠地数学模型做好了数据准备，并且为 MATLAB 优化提供了基础数据；

第四章，根据第三章提供的基本数据做出了该问题的数学模型，结合 MATLAB 优化函数对中部溜槽做出了结构参数优化，通过该优化，达到了在保证运输量的前提下，降低了功率消耗的目的；

第五章，根据该机型现场工作的统计数据，通过对整机的寿命分析，得出了整机可靠度的曲线。结合 FTA 分析法和 MATLAB 函数计算，求解了中部溜槽的故障树的最小割集，为提高系统的可靠性提供了主要方向，提高了该刮板输送机的使用可靠性。

### 6.2 展望

在本文的设计中，由于在时间上的不足，论文深度依旧有待提高。而且作者的水平有限，需要作者自己的对知识的补充和对实践经验的积累。终结本文，列出以下几点：

- 1) 在本文中使用的的方法，很多地方上不是十分完善，实际的工程问题与 MATLAB

软件的联合有着许多问题，比如局限性大等，在以后的工作中应尽量了解该软件的特性，尽量做到与实际的工程问题贴合；

2) 在本文的设计中，由于该软件与实际工作问题缺少许多中间平台，所以优化和分系显得有些吃力，在以后的学习以及学习之中要尽可能多的关注中间平台的建立，利用好 Vb 等软件，将 MATLAB 软件和实际的工作问题之间做出良好的桥梁，构建类似于可靠性分析的工作分析平台；

3) 在本文的设计分析中有些问题并不是十分深入，只停留在表面，虽然数学模型建立时尽可能的贴合实际，但是还有与实际中的环境有些一些差别，在以后的工作中应该尽量完善。

## 致 谢

两年的研究生学习生活即将结束，在论文的撰写过程中，张建中教授以及各位老师的耳提面命使我受益良多、终身难忘，感谢张建中教授从我撰写该论文的过程中的悉心教导和无私帮助，感谢在论文撰写过程中的各位指导老师，在论文完结之际，再次对给与过我帮助的老师以真挚的感谢。

感谢山东科技大学给我这个研究学习的环境，让我有机会在这里聆听各位老师的高水平的教导与学术指导，在这两年的生活中的，使我个人的学习素质得到了很好的提升，为以后的工作打垫下坚实的基础。

感谢宿舍的师哥，王伟、于洪绪两人在我的论文和生活上给与的帮助，感谢实验室全体的成员，在我论文撰写的时间内给与的无私帮助与支持。

感谢各位评审老师在百忙之抽出时间来评审我的论文，并提出使我受益的宝贵意见。

张超

2015 年 5 月



## 参考文献

1. 郭忠. 刮板输送机链轮链条啮合特性仿真研究[D]. 西安: 西安科技大学,2011.
2. 罗庆吉, 石国祥. 综采工作面刮板输送机的现状和发展趋势:[C]. 桂林:中国煤炭学会,2000.
3. 吴爱民. 刮板输送机静态, 动态力学分析 [D]. 阜新: 辽宁工程科技大学,2006.
4. 马彩霞, 张建德, 呼如升. 我国刮板输送机发展的现状分析[J]. 煤炭技术,2006,(7): 11-12.
5. 杜宁. 刮板输送机的维护及检修[J]. 技术与市场,2014,(4): 121-121, 123.
6. 丁向杰. 刮板输送机的检修与维护[J]. 科技信息,2013,(18):396-397.
7. 向国兵. 刮板输送机的使用与维修分析[J]. 大科技,2013,(34):303-304.
8. 秦牛鹏. 刮板输送机的发展现状与趋势[J]. 黑龙江纺织,2012,(4):30-32.
9. 孙永新. 刮板输送机技术发展现状[J]. 煤炭技术,2013,(3):21-22.
10. 赵海贤. 刮板输送机配置系统的软件开发[J]. 制造业自动化,2011,(18):112-113, 116.
11. 郝丽娅. 煤矿无轨和输送运输设备的现状及发展趋势 [J]. 江西煤炭科技,2013,(1):81-83.
12. 毛军. 刮板输送机动力学行为分析与控制理论研究[D]. 阜新: 辽宁工程技术大学,2006..
13. 刘克铭. 刮板输送机的力学研究[D]. 辽宁: 辽宁工程技术大学,2005.
14. 罗国平. 刮板输送机的优化设计与故障分析[D]. 辽宁: 东北大学,2006.
15. 周洋. 浅谈我国机械自动化技术技术应用现状与发展趋势 [J]. 企业导报,2011,(11):277-277.
16. 陈朝鲜. 双速电动机解决刮板输送机在宽工作面被频繁压死的应用实例[J]. 煤炭工程,2008,(5):56-57.
17. 胡省三, 成玉琪. 集约化是煤矿现代化的发展趋势[J]. 煤炭工程,2008,(5):1-5.
18. 宋艳. 同杆并架双回线故障选相及测距算法的研究 [D]. 武汉: 国网电力科学研究院,2009.
19. 阎涛. 钢绳芯带式输送机静, 动态选型设计及 CAD 绘图系统 [D]. 太原: 太原理工大学,2006.

20. 彭祖平. 基于 MATLAB 的管网优化计算与图形表达[D]. 武汉: 华中科技大学,2006.
21. 石玉芳, 刘思齐. 浅析计算机语言的文化内涵[J]. 福建电脑,2013,(6):86-88.
22. 王冉. 零件尺寸在线检测系统的开发及误差计算方法研究[D]. 南京: 南京航空航天大学,2007.
23. 刘亚磊, 郭登明, 易先忠, 胡秀琴, 林扬. 基于 MATLAB 优化工具箱的机械优化设计[J]. 现代机械,2006,(6):32-33, 53.
24. 张岩. MATLAB 优化工具箱在机械优化设计中的应用 [J]. 中国机械, 2013,(11):115-115.
25. 欧阳文森, 朱建军, 李永春, 赖芳. 应用 Matlab 优化工具箱处理附线性不等式约束的最小二乘平差问题[J]. 测绘工程,2006,(3):8-11.
26. 冯海林. 网络系统中可靠性问题的研究[D]. 西安: 西安电子科技大学,2004.
27. 李鹤鹏. 基于搜索算法的煤矿生产系统可靠性优化研究 [D]. 阜新: 辽宁工程技术大学,2009.
28. 周光华. 大型电站锅炉制造可靠性管理的研究与实践[D]. 上海: 上海交通大学,2003
29. 沈戈. 工程机械液压系统动态可靠性建模理论及其仿真研究 [D]. 南京: 东南大学,2006.
30. 李莉莎, 吴晓星. 刮板输送机圆环链的选型验算[J]. 煤矿机电, 2010,(2):62-63, 66.
31. 张树齐, 赵聪. 刮板输送机运行阻力的分析计算[J]. 矿业研究与开发, 2008, (4): 41-42, 76.
32. 刘同芬, 张小玲. SGZ630/220 薄煤层刮板输送机选型验算[J]. 煤矿机械, 2012, (3): 8-9.
33. 赖旭芝. 基于双种群的改进粒子群优化算法研究[D]. 长沙: 中南大学,2007.
34. 刘衍民, 赵庆祯, 邵增珍. 一种改进的完全信息粒子群算法研究[J]. 曲阜师范大学学报(自然科学版), 2011, (1): 9-13.
35. 王雁鸣, 董士奎, 谈和平, 刘彬. 基于微粒群支持向量机的红外特性软计算:[C].郑州. 中国工程热物理学会, 2008.
36. 吴林丽, 赵海娜, 汪涛, 梁华. 新的全局-局部最优最小值粒子群优化算法[J]. 计算机应用, 2009,(12):3270-3272.
37. 王爱民, 廉自生. 基于 MATLAB 的重型刮板输送机参数优化[J]. 科学之友,

- 2009,(8):33-34.
38. Vanderplaats, Applications[D].G .N.Numerical Optimization Techniques for Engineering Design:withMcfTraw-Hill.1984.
39. L. A. Schmit, C.Fleury. Structural Synthesis by Combining Approximation Concepts and Dual Methods[J].J. AIAA. 1980
40. 刘鑫. 车辆用继电器电寿命试验的计算机控制与检测技术[D]. 天津: 河北工业大学,2004.
41. 曹利峰, 邹树梁, 唐德文. 基于 VC++与 MATLAB 的故障树分析系统[J]. 计算机技术与发展, 2014,(1):77-80, 84.
42. 韦家增. 故障树分析和模糊理论在机械故障诊断中的应用研究[D]. 合肥: 合肥工业大学,2002.
43. R.E.Barlow,et al. Reliability and Fault Tree Analysis [J],SIMA,1975.
44. 吴剑红. 故障树分析法在液压系统故障诊断中的应用 [J]. 内江科技, 2006,27(6):140-140.
45. 曹阳. 基于故障树方法的科研项目风险因子识别研究[J]. 中国科教创新导刊, 2012,(1):38-39.
46. Morgan Y L. Notes on DSRC&WAVE standards suite:Its ar-chitecture}design}and characteristics [J].IEEE communioa-Lions surveys&tutorials, 2010, 12(4) :504-518.
47. Zhao Jijun,Li Hua,Zhao Xin. The comparative research on the location technology of wireless sensor networks [J].Communications and network, 2009,1 (2):114 — 120.
48. Mak T K,Laber Leaux K P,Sengupta R,eL al. Multichannel medium access coWrol for dedicated short — range communi-cations [J].IEEE Lransactions on vehicular technology, 2009, 58 (1) : 349-366.
49. Kiran Kumar Vemuri,Automatic Synthesis of Fault Trees for Computer-Based Systems [J],IEEE Transactions on Reliability,1999,48(4):394-402.
50. Lars Bodsberg,Per Hokstad. Transparent Reliability Model for Fault-tolerant Safety System [J]. Reliability Engineering&System Safety, 1997, 55(1):25-38.
51. S. Saitta,B. Raphael,I.F.C. Smith. Data mining techniques for improving the reliability of system identification [J].Advanced Engineering Informatics,Volume 19,Issue4,October

- 2005,Pages 289-298.
52. Sriradha Somanchi,Vladislav Kecojevic and Tadeusz Kozminski , Advance design of lacing and breakout patterns for shearer drums,Mining Technology [J],June 2005.18-21.
53. Thomas A.C. Reliability-Based Mechanical Design[M].Marcel Delcker, 1997.
54. 苏晓勤. 故障树分析算法改进研究与实现[D]. 天津: 河北工业大学,2005
55. 石彬. 基于故障树的 EPS 系统可靠性及失效模式仿真研究[D]. 杭州: 浙江大学,2007.
56. Bi Yuanguo, Liu Kuanghao, Shen Xuemin,et al. A multi-channel token ring protocol for QoS provisioning in inter-ve-hicle communications [J], IEEE transactions on wireless communications,2009, 8(11):5621-5631.

## **攻读硕士学位期间从事科学研究及发表论文情况**

1. 张建中,张超,于洪绪,王庆.煤矿避难硐室环境监测系统的设计[J].煤炭技术.2015,(1):272-274.