

中国矿业大学青年学术丛书

摩擦提升重大故障 分析及预防

肖兴明 著

〔煤炭科学基金资助项目〕



中国矿业大学出版社

77
X-1
中国矿业大学青年学术丛书

摩擦提升重大故障 分析及预防

肖兴明 著

煤炭科学基金资助项目

中国矿业大学出版社

(江苏·徐州 221008)

805460

(苏)新登字第 010 号

摩擦提升重大故障分析及预防

肖兴明 著

责任编辑 陈玉和

中国矿业大学出版社出版发行

新华书店经销 中国矿业大学印刷厂印刷

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 5.25 字数 132 千字

1994 年 8 月第一版 1994 年 8 月第一次印刷

印数 1—1000 册

ISBN 7 - 81021 - 347 - 4

TH·31

定价:12.00 元

内 容 简 介

本书以摩擦提升的制动失效、过卷、滑动故障为工程背景,应用故障诊断、摩擦学、传热学和机械振动的理论建立了故障分析模型;利用计算机仿真、模拟实验以及现场事故实例分析对故障分析模型进行了检验;论述了防止摩擦提升装置系统重大故障的措施和方法。本书的大部分内容是近年来在该领域的新成果。

本书可作为矿山机械,矿山机电的本科生和研究生的教学参考书,也可供从事矿山机电方面的科研人员,管理人员和教师参考。

前 言

矿井提升是煤矿生产的咽喉,其运行的安全可靠状况直接影响着煤矿生产人员的生命安全和矿井的生产能力。历来,我国对矿井提升的安全问题都极为重视,《煤矿安全规程》和《煤矿机电设备完好标准》对其安全都作出了明确规定;为保证达到这些要求和提升机的安全运行,有关科技工作者开展了大量的研究工作,开发了一些产品,这些工作对煤矿的安全生产起到了积极的作用;但由于煤矿生产的复杂性、环境恶劣以及研究中的局限性,有些保护未能达到预期的效果,致使煤炭生产中仍有不少故障发生,特别是摩擦提升机由于其载重量较大、运行速度较高,故障所造成的危害和经济损失也相当大,尤以制动、过卷、滑动故障最为严重。因此,为使摩擦提升机安全、高效、可靠地运行,有必要对其故障的机理进行研究分析,才能掌握故障的特征和诱发故障的基本要素,以利于预防故障。

本书是以摩擦提升机的制动、过卷、滑动故障作为工程背景,综合应用故障诊断、摩擦学、机械振动的理论构造了故障分析模型,通过理论、实验和实例,对故障进行了深入分析,提出了预防重大故障发生的措施和方法。本书大部分内容属于我们在进行两个煤炭基金项目:“从摩擦学的角度进一步解决摩擦提升机防滑问题”、“摩擦提升滑动保护研究”中所取得的科研成果。本书的主要内容包括:制动故障的机理分析;滑动故障的机理分析;过卷故障的机理分析以及故障预防四大部分。

、本书是作者在硕士研究生和博士研究生期间及近年科研工作的成果,因此,书中的每一项内容每一个结论都凝进了恩师夏荣海教授的心血,值本书出版之际,我要感谢恩师对我的指导、关怀和教育;我的爱妻刘光芬在我学习和工作中一直给我以巨大的关怀和帮助,做出了默默无闻的奉献,在本书编著过程中还得到了陈军、王秀元、苗运江、叶尔赞、孙玉蓉等同志的大力支持。出版社的领导和编辑在本书的出版过程中给予著者以很大的帮助,在此深表感谢。限于编者水平,书中难免有误和不妥之处,恳请读者批评指正。

肖 兴 明

1994. 7.

目 录

绪 论	(1)
1 摩擦提升紧急制动系统安全性分析	(7)
1.1 概述	(7)
1.2 事故树分析	(8)
1.2.1 建立事故树	(8)
1.2.2 结构重要度分析	(11)
1.3 结论	(14)
2 摩擦提升盘式制动器制动特性分析	(15)
2.1 盘式制动器的摩擦特性	(15)
2.2 制动器的温升计算	(17)
2.2.1 制动盘的温升计算	(17)
2.2.2 闸瓦的温升计算	(23)
2.3 温升对制动安全的影响	(29)
2.3.1 制动时系统运动学参数的确定	(29)
2.3.2 实例分析	(30)
2.4 结论	(32)
3 摩擦提升过卷故障分析	(33)
3.1 研究现状	(34)
3.2 罐道木的阻力特性	(36)
3.2.1 木材的单向受压特性	(36)
3.2.2 罐道木的阻力计算	(37)
3.3 过卷动力分析	(44)
3.3.1 过卷动力模型的建立	(44)
3.3.2 数值解法	(62)
3.3.3 实例分析	(70)
3.4 结论	(75)
4 摩擦提升的滑动分析	(76)

4.1	概述	(76)
4.2	衬垫的摩擦特性	(77)
4.3	紧急制动的滑动分析	(79)
4.3.1	模拟机的研制及实验	(79)
4.3.2	紧急制动滑动的力学模型	(84)
4.3.3	理论与实验对比	(88)
4.3.4	系统参数对滑动的影响	(89)
4.4	启动加速的滑动研究	(91)
4.4.1	概述	(91)
4.4.2	加速时的滑动分析	(94)
4.5	超载情况下的滑动研究	(99)
4.5.1	滑动时衬垫的温升	(99)
4.5.2	超载提升	(106)
4.6	控制滑动与防滑设计探讨	(112)
4.7	结论	(114)
5	摩擦提升故障预防	(116)
5.1	概述	(116)
5.2	预防故障的性能检测	(117)
5.2.1	制动器的性能检测	(117)
5.2.2	钢丝绳与衬垫间摩擦系数的测定	(126)
5.2.3	钢丝绳与衬垫间的滑动测试	(129)
5.2.4	钢丝绳张力平衡的测定	(133)
5.3	摩擦提升状态监测监护	(134)
5.3.1	制动器的状态监测	(135)
5.3.2	过卷保护装置	(138)
5.3.3	摩擦提升的滑动监控	(142)
5.4	结论	(148)
	参考文献	(149)

Contents

Introduction	(1)
1 The safety Analysis of Emergent Brake System	(7)
1.1 A General View	(7)
1.2 Fault Tree Analysis (FTA)	(8)
1.2.1 The Set-up of Fault-tree	(8)
1.2.2 Basic Factors of Fault-tree	(11)
1.3 Conclusion	(14)
2 The Analysis of Braking Properties on Disk Brake	(15)
2.1 Frictional Property in Disk Brake	(15)
2.2 Calculation of Temperature Rise in Brake	(17)
2.2.1 Calculation of Temperature Rise in Brake Disk	(17)
2.2.2 Calculation of Temperature Rise of Hem Shoe	(23)
2.3 Influence of Temperature Rise upon Braking Safety	(29)
2.3.1 The Set-up of Kinematics parameters	(29)
2.3.2 Analysis of Worksite Faults	(30)
2.4 Conclusion	(32)
3 Overwind Fault Analysis in Friction Hoisting	(33)
3.1 Existing State	(34)
3.2 Wedge Guide Timber Resistance Property	(36)
3.2.1 One-way Pressure on Wood	(36)

3. 2. 2	The Study of Resistance of Wedge Guide Timber	(37)
3. 3	The Overwind Dynamic Analysis	(44)
3. 3. 1	The Set-up of Dynamic Overwind model	(44)
3. 3. 2	Numerical Method	(62)
3. 3. 3	Analysis of Worksite Faults	(70)
3. 4	Conclusion	(75)
4	Slide Analysis of Friction Hoisting	(76)
4. 1	A General View	(76)
4. 2	Lining Friction Property	(77)
4. 3	The Slide Analysis of Emergency	(79)
4. 3. 1	The Making of Model Winder and its Experiment	(79)
4. 3. 2	Slide Model of Emergency Braking	(84)
4. 3. 3	Comparison of Theory and Experiments	(88)
4. 3. 4	The Influence of Parameters Toward Sliding	(89)
4. 4	The Slide Study of Acceleration	(91)
4. 4. 1	A General View	(91)
4. 4. 2	Slide Analysis While Accelerating	(94)
4. 5	Slide Study of Overload Hoisting	(99)
4. 5. 1	Lining Temperature Rise in Slide	(99)
4. 5. 2	The Hoisting in Overload	(106)
4. 6	Discuss in Design of Control Slide	(112)
4. 7	Conclusion	(114)
5	Prevention of Friction Hoist Faults	(116)
5. 1	A General View	(116)

5.2	Function Check to Prevent Fault	(117)
5.2.1	Function Check of Disk Brake	(117)
5.2.2	The Measurement of Lining Friction Coefficients	(126)
5.2.3	Slide Test	(129)
5.2.4	The Balance Check of Ropes Tense in Multion-rope Winder	(133)
5.3	The Monitoring of Fault Situation	(134)
5.3.1	Situation Monitoring in Disk Brake	(135)
5.3.2	Prevention Equipment of Overwind	(138)
5.3.3	Slide Monitoring	(142)
5.4	Conclusion	(148)
Reference		(149)

绪 论

提升机是矿井生产中的重大固定设备之一,它担负着提升煤炭、矸石、下放材料、升降人员和设备的任务,素有“矿井咽喉”之称。随着矿业生产的不断发展,矿井提升机也由单绳缠绕式发展为多绳摩擦式。摩擦提升机与缠绕式提升机相比,具有设备轻、体积小和不需安装断绳防坠器等优点,对于生产产量大和井筒较深的矿井更显示出其优越性,因此得到了越来越广泛的应用。我国自1958年开始生产第一台摩擦提升机以来,已有三百多台摩擦提升机投入运行。

随着我国改革开放政策的深入、社会主义市场经济体制的建立,煤矿单井生产的产量越来越大,效率越来越高,因此摩擦提升机的使用也越来越多,其单机功率也越来越大;但由于我国使用摩擦提升机的时间不长,与世界先进水平相比我们的技术相对落后、技术管理和维护水平也较低,加之摩擦提升是依靠钢丝绳与衬垫间的摩擦力来传递动力的,它存在滑动的可能性,这些因素导致了我国摩擦提升近年来发生了一些重大事故(制动失效、滑动、过卷);因此,如何避免重大事故的发生,保证摩擦提升机安全、可靠、高效运转,是当今摩擦提升机进一步发展中的重要研究课题,也是一项既有社会效益,又有科学意义的工作。

一 摩擦提升安全性研究概况

对于摩擦提升的安全问题,国内外均极为重视,已开展了大量的研究工作,不过,我国在这方面的研究起步较晚,很多工作都是从80年代初期开始的,其原因在于当时我国的摩擦提升发生了几

起较为严重的事故。目前国内外针对摩擦提升所开展的主要研究体现在以下几个方面。

1. 防滑计算方法的研究

我国现在《煤矿安全规程》和《煤矿设计规范》对防滑计算的一系列规定均沿用 50 年代苏联经过实践和理论所提出的方法,即动防滑安全系数 $\sigma_d \geq 1.25$,静防滑安全系数 $\sigma_j \geq 1.75$ 。近几年,国内同行对此提出了一些不同的看法,综合起来包含以下几个方面的内容:

(1) 对各种防滑计算方法的分析与比较,以寻求简便的计算方法。

(2) 对防滑安全系数值的探讨,以寻求最佳计算值。

(3) 对各种运行工况的分析,以寻求最危险的工况作为防滑验算工况。

2. 钢丝绳与衬垫间摩擦系数的研究

对钢丝绳与摩擦衬垫间的摩擦系数的研究,是在摩擦提升机开始使用以后才进行的,特别是近几年由于现场事故的发生以及建设大型矿井对提升机摩擦衬垫提出了更高的要求,使摩擦系数的研究越来越引起人们的重视。早在 50 年代末,北京矿业学院的师生在对运输带芯与钢丝绳所做的摩擦系数实验中,就发现比压、相对滑速对摩擦系数均有一定影响,联邦德国以及日本富士电机制造株式会社的实验结果也得出类似结论,即与古典的库仑定律有不相符合之处。

1986 年,我们承担了国家科委下达的“七·五”攻关课题——钢丝绳安全装置,同时还接受了煤炭部科学基金课题——从摩擦学的角度进一步解决摩擦提升机的防滑问题以及摩擦提升滑动保护研究课题。我们就针对上述三个课题展开工作,研究了各种工况下摩擦系数随比压、滑速及温度的关系,特别值得注意的是相对滑速和衬垫温升对摩擦系数的影响。

3. 对提升机制动系统的研究

由于在制动过程中动张力的出现,使摩擦提升机在各种条件下均以紧急制动为最危险的工况,因此就制动方面的问题,最近几年也有不少研究成果,概括起来有以下几方面的内容:

- (1) 制动力矩的整定;
- (2) 制动力矩的测定;
- (3) 制动器摩擦特性的研究;
- (4) 制动器状态的监测;

4. 对过卷故障的研究

对摩擦提升过卷故障的研究目前主要开展了两方面的工作,一方面是针对我国目前普遍使用的楔形罐道木的阻力问题,另一方面是研制各种防过卷保护装置。

二 摩擦提升安全性研究中存在的问题

1. 计算方法问题

目前尽管已提出了几种防滑计算方法,但所使用的基本理论仍是欧拉公式,只不过是在其表达形式或方便程度上有所不同。因此根本谈不上哪一种方法更好。另一方面所有的计算方法都未曾考虑提升速度的影响,也无法考察不同运行工况的危险程度。对于制动器和过卷保护方面的研究提出的要求较多,而在如何保证要求方面探讨较少。

2. 缺乏对故障的动态特征的认识

滑动、过卷、制动失效的故障都是发生在摩擦提升机的运行过程中,而目前的研究、事故分析等,多是从静力学特性去分析,这样所得出的结论也不能完全反映故障的特征。

3. 对故障的机理认识不足

由于研究、实验方法的缺陷,目前的设计计算方法无法解释现场中的一些故障,如在超载时,由于某种原因上提重物至一定的高

度而停车,再次开车时,司机误把方向开反,当确认系统处于高速下放运行时,施闸停车,但未能把系统制动住,造成井底过放,井口过卷,使容器和井口、井底设施遭到不同程度的损坏。事故发生后,摩擦衬垫未出现明显磨损,而制动闸瓦却烧坏了,若按现有的方法分析,根据现场所提供的制动力矩整定值,即使在超载和全速的情况下,也应该把系统制动住,同时还会有明显的滑动现象,为什么现场的事故情况与之不符呢?

又如在严重超载的情况下,开始能提动且未发现有明显滑动,当提升停止后发现有较明显的滑动,并且越滑越快,造成重大事故,在这类事故中,为什么经过一段时间的提升而停车后会有明显的滑动呢?上提过程中是否有滑动以及上提是怎样进行的呢?

三 本书涉及的内容

从前面的介绍中可以看出,对摩擦提升机安全运行的研究已做了大量的工作,但仍存在着一些问题需要解决,本书便是在前人研究的基础上,以现场所出现的三类重大事故作为工程背景,以制动盘与闸瓦、钢丝绳与衬垫的摩擦特性作为基础,综合应用多学科的理论和方法对故障机理进行研究,并在此基础上提出现场保证系统安全运行所应采取的措施。所涉及的内容包括以下几个方面:

1. 制动故障机理分析

首先,利用事故树分析法,对摩擦提升制动失效的原因进行了分析,然后对制动器在动态下所产生的温升对制动安全的影响进行了分析,提出了简单实用的计算模型,并通过实验和实例分析进行了验证。

2. 过卷故障机理分析

在这一部分,对目前普遍使用的楔形罐道木阻力特性进行了理论和实验研究,建立了过卷时摩擦提升的动力学模型,进行了计算机仿真分析,还对楔形罐道木防过卷的特性和效果进行了分析。

3. 滑动故障机理分析

对紧急制动、启动加速、超载上提滑动的机理进行了分析,建立了以上几种工况滑动模型,并通过实验和实例进行了验证。

4. 故障预防

介绍了预防摩擦提升故障所应进行的性能检测内容和方法。论述了预防三种重大故障的状态监测、监护原理和装置。

四 本书所取得的成果

如前所述,就我国矿井摩擦提升机而言,制动失效、滑绳和过卷是三类重大事故。就事故产生的原因以及如何防止事故来说,现有的方法有一定的缺陷,这样无法解释事故中所出现的某些现象,使不少问题无法从根本上得到解决。因此,为了从本质上摸清事故的机理,就必须在研究方法上进行开拓,作者努力在这方面做了些尝试,取得的主要成果如下:

1. 在以往的事故分析中,无论是对闸瓦还是提升机摩擦衬垫均考虑其摩擦系数为定值,然而实验结果表明摩擦系数与材料、温升及相对滑速紧密相关,因此本书以现场所易出现的下放重物事故为工程背景,首先利用安全系统工程的原理对此进行分析,得出了载荷、运行速度以及摩擦材料的摩擦特性对系统安全性有着不可忽视的影响;其次对紧急制动时,制动盘和闸瓦的温升进行了有限元法和解析求解,在此基础上探讨了制动过程中的温升对制动安全性的影响,再就是对下放重物产生滑动时的相对滑速和滑动量进行了实验和理论研究,提出了简单、适用的计算模型;经过实验和对现场事故的分析,结果证明所提出的分析模型是合适的。

2. 加速和减速是提升机运行过程中两个重要工况,无论是在提升机设计还是在选型设计中对此都引起了足够的重视,但目前国内在分析计算中均取平均加、减速度进行。然而钢丝绳属于弹性体,它对系统的动载荷影响如何呢?我们进行了动载荷分析,从中

得出了几个很有意义的结论。

3. 现场的使用表明,提升机有可能出现超载提升,因此对超载上提进行了理论和实验研究,结果表明摩擦提升机在超载上提过程中,可能处于边滑边提的状态,至于这种提升是否会出现严重事故,应视具体情况而定。

4. 实验表明,在滑动过程中衬垫温升对摩擦系数有明显的影响,在滑动分析时,必须考虑衬垫温度的变化,本书提出了按半无限大模型对衬垫温升进行计算的方法,计算与实验吻合较好,给出的有关计算式可作为现场使用。

5. 考虑到滑动有危险和安全滑动之分,我们首次提出了控制滑动量设计的新概念和新方法。

6. 为保证提升机安全运行,对其运行状态和技术参数的定期检测也是必不可少的,对此我们介绍了为防止提升机重大事故发生的故障诊断内容和方法。

7. 为防止意外事故的发生,除了从设计上考虑安全要求外,本书还提出了有关监测、监护的方法和措施,并就有关装置的工作原理、设计准则等进行了探讨。