



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

有色金属

理论与技术前沿丛书

SERIES OF THEORETICAL AND TECHNOLOGICAL FRONTIERS OF

NONFERROUS METALS

弱化胎体耐磨损性的 金刚石钻头

DIAMOND BIT WITH ABRASIVE RESISTANCE WEAKENING MATRIX

王佳亮 张绍和 著

Wang Jialiang Zhang Shaohc



中南大学出版社
www.csupress.com.cn



中国有色集团



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

有色金属理论与技术前沿丛书

弱化胎体耐磨损性的 金刚石钻头

DIAMOND BIT WITH ABRASIVE RESISTANCE
WEAKENING MATRIX

王佳亮 张绍和 著
Wang Jialiāng Zhang Shāohé



中南大学出版社
www.csupress.com.cn



中国有色集团

图书在版编目(CIP)数据

弱化胎体耐磨损性的金刚石钻头/王佳亮,张绍和著.
—长沙:中南大学出版社,2016.1
ISBN 978-7-5487-2246-5

I. 弱... II. ①王... ②张... III. 金刚石钻头-研究
IV. P634.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第093823号

弱化胎体耐磨损性的金刚石钻头

RUOHUA TAITI NAIMOSUNXING DE JINGANGSHI ZUANTOU

王佳亮 张绍和 著

☐责任编辑 刘小沛 胡业民

☐责任印制 易红卫

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-88876770

传真:0731-88710482

☐印 装 长沙超峰印刷有限公司

☐开 本 720×1000 1/16 ☐印张 9 ☐字数 173千字

☐版 次 2016年1月第1版 ☐印次 2016年1月第1次印刷

☐书 号 ISBN 978-7-5487-2246-5

☐定 价 50.00元

图书出现印装问题,请与经销商调换

内容简介

Introduction

本书系作者近年来针对金刚石钻头在坚硬致密弱研磨性地层钻进打滑问题的部分研究成果。其中详细介绍了近年来国内外孕镶金刚石钻头的研究进展,展开了对弱化胎体耐磨损性钻头的研究,探讨了钻头的参数设计对胎体耐磨损性能的影响规律,总结了弱化胎体耐磨损性钻头的碎岩机理。本书通过弱化胎体的耐磨性能研究以提高钻头钻进效率,并为在金刚石钻头设计中的推广这一新的思路提供了理论支撑。本书可供钻探工程、地质工程专业大专院校师生和相关生产单位的技术人员使用。

作者简介

About the Author

王佳亮 男，1986 年生，博士，现为湖南科技大学海洋矿产资源探采装备与技术工程实验室讲师。主要从事金刚石碎岩工具、绳索取芯钻具、深海取样设备等方向的研究与教学工作。参与多项纵向及横向课题，已在《有色金属学报》《地球科学：中国地质大学学报》《中南大学学报》《粉末冶金与材料科学与工程》*Journal of Central South University* 等核心期刊发表论文数篇。

张绍和 男，1967 年生，博士，中南大学教授，博士生导师。主要从事钻探工程、超硬材料与制品、基础工程等方面的教学和科研工作。先后主持和参加国家级、省部级及其他科研项目 30 余项，发表学术论文 110 余篇，出版专著和教材 10 部，获得授权和申请专利 40 余项。

学术委员会

Academic Committee

国家出版基金项目
有色金属理论与技术前沿丛书

主 任

王淀佐 中国科学院院士 中国工程院院士

委 员 (按姓氏笔画排序)

于润沧	中国工程院院士	古德生	中国工程院院士
左铁镛	中国工程院院士	刘业翔	中国工程院院士
刘宝琛	中国工程院院士	孙传尧	中国工程院院士
李东英	中国工程院院士	邱定蕃	中国工程院院士
何季麟	中国工程院院士	何继善	中国工程院院士
余永富	中国工程院院士	汪旭光	中国工程院院士
张文海	中国工程院院士	张国成	中国工程院院士
张 懿	中国工程院院士	陈 景	中国工程院院士
金展鹏	中国科学院院士	周克崧	中国工程院院士
周 廉	中国工程院院士	钟 掘	中国工程院院士
黄伯云	中国工程院院士	黄培云	中国工程院院士
屠海令	中国工程院院士	曾苏民	中国工程院院士
戴永年	中国工程院院士		

编辑出版委员会

Editorial and Publishing Committee

国家出版基金项目
有色金属理论与技术前沿丛书

主 任

罗 涛(教授级高工 中国有色矿业集团有限公司原总经理)

副主任

邱冠周(教授 中国工程院院士)

陈春阳(教授 中南大学党委常委、副校长)

田红旗(教授 中南大学副校长)

尹飞舟(编审 湖南省新闻出版广电局副局长)

张 麟(教授级高工 大冶有色金属集团控股有限公司董事长)

执行副主任

王海东 王飞跃

委 员

苏仁进 文援朝 李昌佳 彭超群 谭晓萍

陈灿华 胡业民 史海燕 刘 辉 谭 平

张 曦 周 颖 汪宜晔 易建国 唐立红

李海亮

总序

Preface

当今有色金属已成为决定一个国家经济、科学技术、国防建设等发展的重要物质基础，是提升国家综合实力和保障国家安全的关键性战略资源。作为有色金属生产第一大国，我国在有色金属研究领域，特别是在复杂低品位有色金属资源的开发与利用上取得了长足进展。

我国有色金属工业近 30 年来发展迅速，产量连年来居世界首位，有色金属科技在国民经济建设和现代化国防建设中发挥着越来越重要的作用。与此同时，有色金属资源短缺与国民经济发展需求之间的矛盾也日益突出，对国外资源的依赖程度逐年增加，严重影响我国国民经济的健康发展。

随着经济的发展，已探明的优质矿产资源接近枯竭，不仅使我国面临有色金属材料总量供应严重短缺的危机，而且因为“难探、难采、难选、难冶”的复杂低品位矿石资源或二次资源逐步成为主体原料后，对传统的地质、采矿、选矿、冶金、材料、加工、环境等科学技术提出了巨大挑战。资源的低质化将会使我国有色金属工业及相关产业面临生存竞争的危机。我国有色金属工业的发展迫切需要适应我国资源特点的新理论、新技术。系统完整、水平领先和相互融合有色金属科技图书的出版，对于提高我国有色金属工业的自主创新能力，促进高效、低耗、无污染、综合利用有色金属资源的新理论与新技术的应用，确保我国有色金属产业的可持续发展，具有重大的推动作用。

作为国家出版基金资助的国家重大出版项目，“有色金属理论与技术前沿丛书”计划出版 100 种图书，涵盖材料、冶金、矿业、地学和机电等学科。丛书的作者荟萃了有色金属研究领域的院士、国家重大科研计划项目的首席科学家、长江学者特聘教授、国家杰出青年科学基金获得者、全国优秀博士论文奖获得者、国家重大人才计划入选者、有色金属大型研究院所及骨干企

业的顶尖专家。

国家出版基金由国家设立，用于鼓励和支持优秀公益性出版项目，代表我国学术出版的最高水平。“有色金属理论与技术前沿丛书”瞄准有色金属研究发展前沿，把握国内外有色金属学科的最新动态，全面、及时、准确地反映有色金属科学与工程方面的新理论、新技术和新应用，发掘与采集极富价值的研究成果，具有很高的学术价值。

中南大学出版社长期倾力服务有色金属的图书出版，在“有色金属理论与技术前沿丛书”的策划与出版过程中做了大量极富成效的工作，大力推动了我国有色金属行业优秀科技著作的出版，对高等院校、研究院所及大中型企业的有色金属学科人才培养具有直接而重大的促进作用。

王淀佐

2010年12月

前言

Foreword

我国热压孕镶金刚石钻头的研制始于 20 世纪 60 年代,经历了五十余年的发展历史。由于热压孕镶金刚石钻头的性能可调范围广,钻进效率高,对岩石的适应能力强,故被广泛应用于地质找矿、工程勘查、建筑工程等领域。但是,在钻进过程中遇到坚硬致密弱研磨性岩层的情况非常普遍,热压孕镶金刚石钻头在该类地层钻进时易出现打滑不进尺的现象,极大地影响了钻头的钻进效率。因此,研究解决金刚石钻头在该类地层钻进中打滑的问题仍然十分必要。

本书提出了一种弱化钻头胎体耐磨性的设计思路。该思路将胎体耐磨性弱化元素以硬质颗粒的形式添加至钻头胎体中。由于耐磨性弱化颗粒具有一定的强度且与胎体的黏结力较弱,在钻进的过程中易于从胎体表面脱落,增加了钻头唇面的粗糙度。此外,残留孔底的耐磨性弱化颗粒与岩粉共同研磨胎体,提高了岩粉的研磨能力,达到了促进金刚石的新陈代谢速度、提高钻头钻进效率的目的。本书展开了以下研究工作:

1. 从胎体配方、钻头切削齿结构、金刚石参数、钻进仿真分析、钻头制作工艺及设备研究等方面详细介绍了国内外孕镶金刚石钻头的研究进展;阐述了进行胎体耐磨性弱化研究的重要性,明确了主要的研究内容,确定了研究思路和拟采用的技术路线。

2. 结合坚硬致密弱研磨性地层的特点,总结了金刚石钻头的碎岩机理;探讨了孕镶金刚石钻头的参数设计规律,为弱化胎体耐磨性的钻头设计提供了理论基础;提出了一种室内微钻试验台的改造方案,该方案在现有钻机的基础之上对其进行了自动化改造,满足了室内钻进试验的技术指标要求。

3. 采用混合试验和极端顶点试验法对钻头胎体配方进行了优化, 结果表明: 当含 WC 50%、Ni 2%、Co 7%、Mn 5%、663 Cu 26% 时, 胎体配方硬度达到最高值, 预报值为 HRC 42.91。对其进行优化验证性试验, 所测硬度为 HRC 42.3, 与预报值基本吻合。对胎体耐磨性弱化颗粒材质进行了优选, 借助扫描电镜等技术手段对胎体磨损形貌进行观察, 分析了不同材质弱化颗粒对胎体耐磨性能的影响, 结果表明: 30/35 目的 SiC 颗粒作为胎体耐磨性弱化颗粒较为合适。综合考虑金刚石粒度、浓度, 胎体弱化颗粒浓度及胎体硬度设计正交试验对钻头性能进行优化, 结果表明: 胎体硬度 HRC 25, 金刚石粒度 40/50 目、金刚石浓度 55%, 胎体弱化颗粒浓度 30% 为最优的参数组合方案。对钻进工艺参数对钻进性能的影响进行了研究, 结果表明: 在相同主轴转速条件下, 随着轴向力的增加, 单孔钻进时间减少, 钻进效率提高, 但是其轴向压力不宜超过 3.5 MPa。在相同轴向压力的条件下, 主轴转速的提高, 能够在一定范围内提高钻进效率, 其主轴转速以 750 ~ 850 r/min 为宜。

4. 基于 ANSYS/LS-DYNA 有限元数值模拟软件, 建立了钻头与岩石的受力模型, 模拟了金刚石钻头的碎岩过程, 研究了钻头切削齿结构对钻进性能的影响。结果表明: 在相同钻进参数条件下, 平底型钻头和同心环齿型钻头在钻进初期沿旋转方向切削齿前缘出现应力集中现象, 花齿型钻头未出现明显的应力集中; 平稳钻进过程中, 切削齿唇面应力值分布范围以花齿型最均匀, 同心环齿型其次, 平底型最差; 所有齿型钻头在钻进的后期均会不同程度地出现内外径边缘靠近水口部位应力集中的现象且应力值较大; 花齿型钻头的首次大位移下降时间点分别较平底型钻头和同心环齿型钻头提前了 0.00047613 s 和 0.00037823 s; 对比在 0.00017199 s 时的岩石应力分布图中 1.5×10^8 Pa、 1.05×10^8 Pa、 6.0×10^7 Pa 应力值的分布面积, 发现同心环齿钻头较平底型钻头岩石表面应力分别提高了 10%、23%、72%, 花齿型钻头岩石表面应力值较平底型钻头分别提高了 169%、41% 和 140%。钻进效率预测结果为: 花齿型钻进效率最高, 同心环齿型钻头其

次,平底型钻头最差。

5. 试制了胎体耐磨性经弱化处理的金金刚石钻头,并在江西某矿区进行了两轮现场钻进试验。分析了试验结果,完善和补充了弱化石体耐磨性的金金刚石钻头碎岩机理。结果表明:胎体耐磨性经弱化石处理的钻头在石英含量极高的地层中钻进时,钻进时效较普通钻头提高了64%,钻头寿命较常规钻头略有下降,但仍在使用要求之内;胎体耐磨性经弱化石处理的钻头其切削齿齿型结构不宜设计过于复杂,以同心环齿型设计为宜;相比于室内钻进试验阶段优化得出的最优设计方案,现场钻进试验的胎体弱化石颗粒浓度最优设计值要低于室内钻进试验阶段的设计值,以金金刚石浓度62%、胎体弱化石颗粒浓度25%为宜;钻头钻进效率的提升主要是由于弱化石颗粒能够促进金金刚石出刃高度的增加及加快金金刚石新陈代谢速度,以耐磨性弱化石颗粒本身在胎体中的造坑能力及残留孔底增加岩粉研磨能力为辅。

研究工作得到了中南大学地球科学与信息物理学院、材料科学与工程学院、机电工程学院等单位测试部门的支持和协助。感谢佳顺超硬材料有限公司在试验原材料上提供的帮助;感谢福建省121地质大队为钻头野外试验提供的支持与帮助;感谢杨昆、谢晓红在试验阶段给予的无私帮助;感谢吴有平博士及汪洋博士对试验方案提供的宝贵建议;著作中还引用了前人的研究方法和研究资料。本书的出版得到了中南大学创新驱动项目的资助,在此一并表示诚挚的感谢!

由于作者水平有限,时间仓促,加之试验与检测设备尚不够完善,本专著中可能存在某些问题和不足,敬请读者批评指正。

王佳亮

目录

Contents

第1章 绪论	1
1.1 研究意义	1
1.2 基于打滑地层的金刚石钻头研究现状	2
1.2.1 人工出刃方法研究	2
1.2.2 胎体配方研究	2
1.2.3 金刚石钻头结构研究	4
1.2.4 金刚石设计参数研究	9
1.2.5 钻头碎岩模拟仿真分析研究	10
1.2.6 钻头制作工艺及设备研究	10
1.3 研究内容及思路	13
1.3.1 研究思路	13
1.3.2 研究内容	14
1.3.3 技术路线	14
第2章 弱化胎体耐磨性钻头的参数设计研究	16
2.1 坚硬致密弱研磨性岩层的含义	16
2.2 孕镶金刚石钻头碎岩机理	18
2.2.1 外荷载在压力接触面上的分布及岩石内部应力状态	18
2.2.2 金刚石钻进机理	19
2.3 孕镶金刚石钻头磨损机理	20
2.4 孕镶金刚石钻头参数设计	21
2.4.1 金刚石参数设计	21
2.4.2 胎体耐磨性设计	23
2.4.3 胎体耐磨性弱化方式设计	25

2 /	弱化胎体耐磨损性的金刚石钻头	
2.4.4	切削齿齿型结构设计	27
2.5	本章小结	29
第3章	室内试验台的研制	30
3.1	试验台基本功能	30
3.2	试验台各子系统及功能设计	32
3.2.1	液压给进系统设计	32
3.2.2	冷却及夹持系统	38
3.3	试验台性能调试	40
3.4	本章小结	41
第4章	弱化胎体耐磨性钻头的室内试验研究	43
4.1	钻头胎体成分设计	43
4.1.1	试验方法选择	43
4.1.2	试验设计	44
4.1.3	试样制备与性能测试	45
4.1.4	数据处理与分析	48
4.2	室内钻进试验	51
4.2.1	试验砖材料优选	51
4.2.2	胎体耐磨损性弱化颗粒材质优选	54
4.2.3	弱化颗粒材质对钻进效率的影响	58
4.2.4	弱化胎体耐磨性钻头的参数优化	66
4.3	本章小结	73
第5章	切削齿齿型结构对钻进性能影响的仿真分析	76
5.1	切削齿齿型结构优选	76
5.2	有限元方法简介	77
5.3	建模过程与求解	79
5.3.1	建立模型	79
5.3.2	设置材料属性	80
5.3.3	网格划分	81
5.3.4	定义接触类型与求解	81
5.4	结果分析	82
5.4.1	钻进过程中岩石的应力分析	83

5.4.2 平底钻头应力分析	84
5.4.3 同心环齿型钻头应力分析	85
5.4.4 花齿型钻头应力分析	85
5.5 钻进效率对比分析	87
5.6 本章小结	92
第6章 现场钻进试验	95
6.1 矿区简介	95
6.2 钻头设计与制造	95
6.2.1 石墨模具结构设计	95
6.2.2 钻头钢体结构设计	98
6.2.3 钻头热压工艺参数设计	99
6.3 钻进试验结果与分析	102
6.3.1 第一次现场钻进试验	102
6.3.2 试验结果	103
6.3.3 弱化胎体耐磨性钻头的碎岩机理	104
6.3.4 第二次现场试验	107
6.3.5 试验结果	108
6.3.6 分析与讨论	109
6.4 本章小结	113
第7章 研究结论与建议	115
7.1 研究结论	115
7.2 进一步研究建议	116
参考文献	118

第1章 绪论

1.1 研究意义

矿产资源是国民经济和社会发展的重要物质基础。“十二五”以来,为缓解我国经济社会持续发展与矿产资源供给的深层次矛盾,增强资源勘探对国家经济安全的保障能力,我国陆续实施了危机矿山接替资源找矿、攻深找盲和深部找矿等多项重大行动,找矿突破上升到国家战略层面,对全面建设小康社会宏伟目标的实现具有重要意义^[1-2]。地质找矿的深度已从过去浅部、中深部转向深部勘探(1000 m以深),以寻找隐伏矿与深部矿的“第二找矿空间”为主要目标^[3]。在深部找矿工作中,以三大专业为技术支撑,即“地质出思路,物探圈靶区,钻探作验证”,钻探技术在深部找矿中已显得尤为重要^[4]。

通过钻探手段直接从地下深部获取岩矿芯,是评价矿产资源储量的直接方法。要有效获取岩矿芯则要求钻头必须具有优良的性能,而特殊地层对于钻头的性能要求更高^[5]。坚硬致密弱研磨性岩层俗称“打滑”地层,其地层特性主要包含以下几个方面:①岩石硬度大,石英含量高;②岩石强度高,造岩矿物细;③岩石研磨性弱,岩粉少且细。在该岩层钻进时金刚石难以切入岩石,出刃的金刚石在不大的钻压条件下很快钝化、破裂,新的金刚石难以出刃,容易出现钻进中的打滑现象,钻进时效极低^[6-7]。

随着我国“十二五”期间找矿向深部的发展,钻进坚硬致密弱研磨性岩层的几率和比例提高。因此,研究解决金刚石钻头在该类岩层钻进时的打滑问题极其必要,该难题的解决也对保障“十二五”期间我国深部找矿突破战略行动顺利进行具有重要的现实意义。

本书所研究项目的科学意义在于:针对坚硬致密弱研磨性岩石的可钻性,通过对弱化胎体耐磨性钻头的设计参数规律及其碎岩机理展开研究,建立弱化胎体耐磨性钻头参数设计合理性判断模型,力争解决钻头在坚硬致密弱研磨性岩层钻进时的打滑问题,为使弱化胎体耐磨性设计思路进一步推广至其他金刚石碎岩工具提供理论及模型依据。

1.2 基于打滑地层的金刚石钻头研究现状

我国金刚石钻头制造始于 20 世纪 60 年代。60 年代末开始研究无压浸渍法、冷压浸渍法。70 年代初,热压法制造金刚石钻头技术通过冶金部、一机部、国家地质局的联合鉴定,开始生产并投入使用。1976 年无压浸渍法制作的钻头通过了国家地质总局的鉴定;1977 年电镀金刚石钻头技术通过了国家地质总局的鉴定^[8-10]。自打滑现象成为钻进坚硬致密弱研磨性岩层的主要矛盾以来,国内外科研人员对解决钻进时钻头打滑问题进行了多方面的研究。主要集中于人工出刃方法研究、钻头胎体配方研究、钻头唇面结构研究、钻头金刚石参数研究、计算机仿真分析、钻头制作工艺及生产设备创新研究等几个方面。

1.2.1 人工出刃方法研究

人工出刃法是指在每回次钻进前人工研磨钻头胎体迫使金刚石出刃的一种方法^[11]。该方法作为一种辅助应急性方式在解决钻头打滑现象时具有一定效果。目前常用的人工出刃方法主要有:喷砂法、酸蚀法和研磨法^[12-13]。

①喷砂法是指利用高压空气或水介质,以金刚石为磨料,锐化钻头唇面的方法。该方法的优点在于喷砂均匀有力,钻头出刃效果好。由于喷砂作用仅发生在钻头表面,对胎体的损害程度不大,不影响钻头的内外径,对钻头寿命影响较小。

②酸蚀法是指利用酸与钻头胎体中的 Cu 基成分发生化学反应,酸蚀胎体迫使金刚石出刃。酸蚀法的优点在于现场操作方便,无需添加设备,效果明显。但是应注意控制酸蚀时间和深度。由于毛细管现象,在酸蚀的过程中,钻头的内外径也受到酸蚀作用,易造成钻头外径减小,增加后续钻头的扩孔量;内径增大,造成卡簧配合不吻合。

③研磨法是指利用强研磨性物质研磨钻头胎体,使金刚石出刃的方法。通常分为孔口石墩研磨和孔内投砂研磨两种方式。孔口石墩研磨是将研磨性较强的岩石或混凝土浇筑成石墩置于孔口。然后将钻头通过异径接头接于主动钻杆上,大钻压,慢转速,研磨开刃。孔底投砂法是指为了增加冲洗液固相颗粒的研磨能力,有意识地向孔内投放磨料,促进钻头的出刃。该方法简单、易行,使用时应注意控制研磨料的投放数量。若冲洗液中固相含量过高,易导致钻杆和钻具的非正常磨损。

1.2.2 胎体配方研究

钻进打滑地层时,为了加快钻头胎体磨损,提高金刚石新陈代谢速度,提出了降低胎体硬度的设计思想。侯传彬、郭铁峰等人对我国经典的 63 号钻头胎体