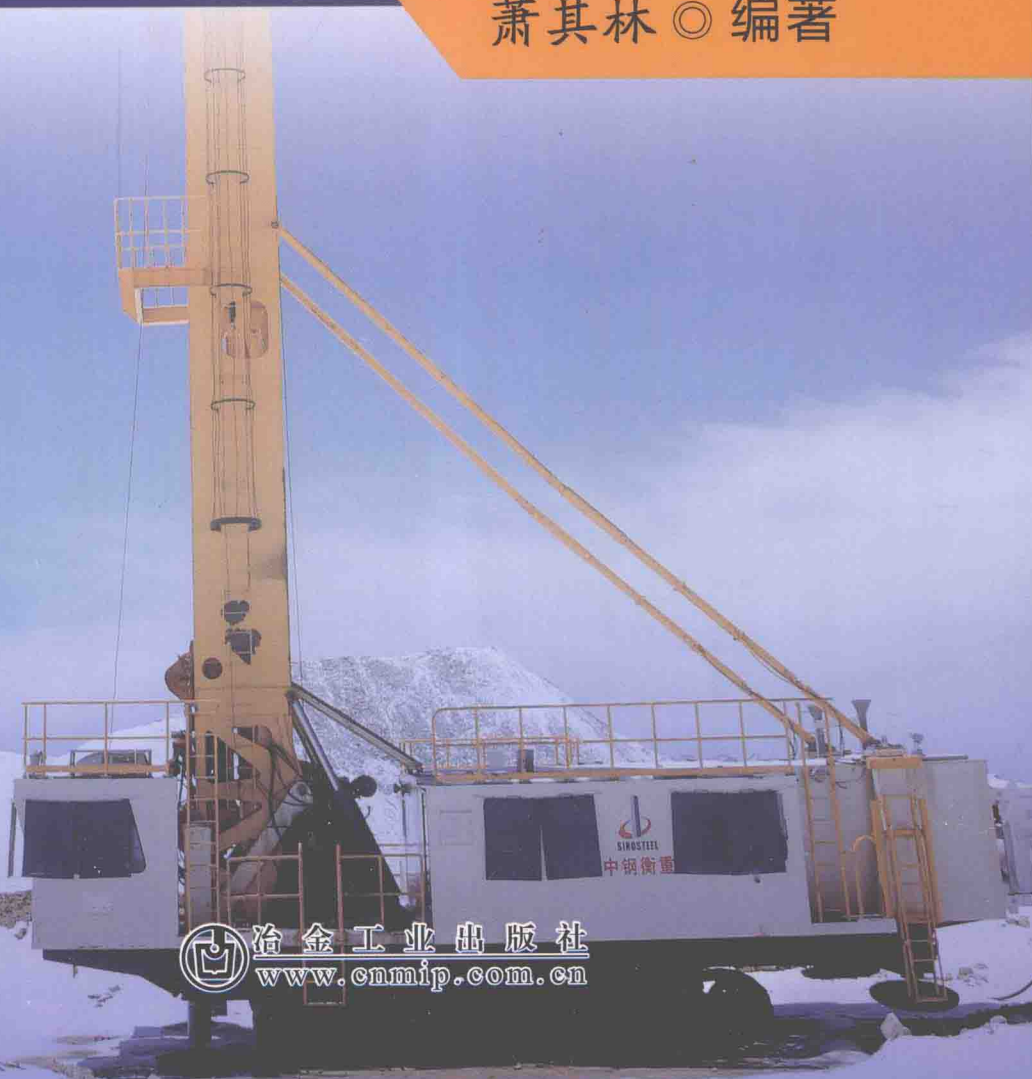


“十三五”国家重点出版物出版规划项目

露天矿用牙轮钻机

萧其林 ◎ 编著



冶金工业出版社
www.cnmip.com.cn

“十三五”国家重点出版物出版规划项目



露天矿用牙轮钻机

萧其林 编著

北 京

冶金工业出版社

2017

内 容 提 要

本书共分 14 章, 主要介绍了露天矿爆破钻孔、牙轮钻机的基本构成与工作原理、牙轮钻头、牙轮钻机结构分析、原动机与动力装置、控制与保障系统、计算机系统、附属装置、设计计算、工艺性与制造、检测与试验、安装调试与使用、生产能力与选型等。本书内容系统、翔实、结构完整、图文并茂、通俗易懂、实用性强。

本书适合大专院校相关专业师生、研究院所和设计单位从事露天矿用牙轮钻机的研究、设计人员使用, 也可供露天矿用牙轮钻机制造企业的管理、技术人员和生产工人, 以及使用露天矿用牙轮钻机的矿山维修人员和操作者参考与使用。

图书在版编目(CIP)数据

露天矿用牙轮钻机/萧其林编著. —北京: 冶金工业出版社, 2017. 2

“十三五”国家重点出版物出版规划项目

ISBN 978-7-5024-7428-7

I. ①露… II. ①萧… III. ①露天开采—采矿机械—牙轮钻机 IV. ①TD422. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017) 第 016197 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcs@cnmp.com.cn

责任编辑 常国平 杨秋奎 美术编辑 杨 帆 版式设计 杨 帆

责任校对 石 静 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-7428-7

冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销; 固安华明印业有限公司印刷

2017 年 2 月第 1 版, 2017 年 2 月第 1 次印刷

787mm × 1092mm 1/16; 41.5 印张; 1004 千字; 647 页

150.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题, 本社营销中心负责退换)

前 言

本书是国内第一部系统地对露天矿用牙轮钻机的结构、设计与应用进行介绍和论述的书籍，内容系统、翔实、结构完整、图文并茂、通俗易懂、实用性强。

近三十年来，国内外露天矿用牙轮钻机的技术与理论发展很快，原有一些文献中的许多内容已不能反映当前的实际情况；与此同时，原来一些文献中没有涉及的新技术、新结构则更需要补充；加之我国许多企业与科研设计单位通过引进与消化国外先进技术，在设计、制造、使用露天矿用牙轮钻机中积累的丰富经验也需要系统地加以总结。本书正是为适应这种新形势的需要而编写的。

本书尽可能不重复一般文献中已经多次介绍的结构与设计方法，而是尽量向读者介绍国内外露天矿用牙轮钻机的新结构、新技术、新设计方法，对露天矿用牙轮钻机各个组成部分以及它的发展、设计、制造、检验、使用与维护都做了比较系统、全面的介绍。

全书共分14章。第1章介绍了国内外主流牙轮钻机的历史、现状和发展趋势。第2章介绍了露天矿山的三大类岩石及其开采中涉及的工艺特性。第3章介绍了露天矿爆破钻孔的基本概念和方法的选择。第4章介绍了露天矿爆破钻孔作业中常用的牙轮钻头的工作原理及其结构类型。第5章对构成牙轮钻机的主要机械构件的功能、类型与结构进行了分析。第6章介绍了牙轮钻机的原动机类型、工作原理、基本结构，并对这些原动机和动力装置在牙轮钻机中的应用现状进行了论述。第7章对牙轮钻机的电控、液压、气控、润滑、主空压机、除尘、空气增压与净化等系统进行了介绍。第8章对计算机在牙轮钻机中的应用进行了介绍。第9章对牙轮钻机的主要附属装置进行了介绍。第10章介绍了牙轮钻机的设计方法与设计的计算机优化。第11章对牙轮钻机的制造及工艺性进行了论述。第12章介绍了牙轮钻机的综合性能试验、出厂检验和工业试验。第13章对牙轮钻机的安装、调试与使用进行了介绍。第14章介绍了牙轮钻机

的选型与综合分析。

本书适合高等院校相关专业师生、研究院所和设计单位从事露天矿用牙轮钻机的研究、设计人员使用，也可供露天矿用牙轮钻机制造企业的管理、技术人员和生产工人及使用露天矿用牙轮钻机的矿山维修人员和操作者参考和使用。

本书的编写和出版得到了作者原所属单位中钢集团衡阳重机有限公司领导的大力支持，在编写过程中公司技术中心的多位同仁提供了许多参考资料，特别是公司牙轮钻机首席专家、教授级高工黄惠明先生对本书的编写提出了诸多宝贵意见，在此表示感谢。

本书在编写过程中还得到了行业内有关专家和牙轮钻机生产一线操作者的大力支持；所参阅的国内外有关生产厂商的相关资料和个人发表的相关论文，绝大部分均已在参考文献中予以注明，但也有个别的由于找不到原始出处而无法注出，在此一并表示感谢。

编集诸家之精华，著书一孔之拙见，为作者编著此书之初衷。但由于作者水平所限，书中如有不足之处，敬请各位读者批评、指正。

作 者

2016年10月

目 录

1 牙轮钻机的历史与发展	1
1.1 牙轮钻机的分类与应用	1
1.1.1 分类	1
1.1.2 应用范围	2
1.2 牙轮钻机发展简史	2
1.2.1 初始的爆破孔钻孔	2
1.2.2 初期的牙轮钻机	9
1.2.3 逐渐成熟完善	11
1.2.4 全面持续提升	15
1.2.5 牙轮钻机发展的三个阶段	20
1.3 国内发展概况	25
1.3.1 初始探索阶段	25
1.3.2 自主研制与设备引进阶段	27
1.3.3 消化吸收仿制阶段	32
1.3.4 创新发展阶段	36
参考文献	41
2 岩石分类、特性与分级	42
2.1 岩石分类	42
2.1.1 岩浆岩	42
2.1.2 沉积岩	45
2.1.3 变质岩	48
2.1.4 岩石主要特性对比	51
2.1.5 研究岩石的结构与构造的意义	52
2.2 岩石主要特性	53
2.2.1 物理特性	53
2.2.2 力学（机械）特性	60
2.3 岩石的工业分级	67
2.3.1 岩石工业分级的意义	67
2.3.2 分级原则	67
2.3.3 坚固性分级	68
2.3.4 稳定性分级	70

2.3.5 可钻性分级	70
2.3.6 可爆性分级	73
参考文献	75
3 露天矿爆破钻孔	76
3.1 露天矿开采的基本概念	76
3.1.1 露天开采概念	76
3.1.2 露天采场的构成	76
3.1.3 露天矿的开采特点与工艺分类	78
3.2 炸药与起爆	80
3.2.1 炸药与爆炸的特征	80
3.2.2 矿用炸药	81
3.2.3 炸药的起爆方法	84
3.2.4 起爆器材	87
3.2.5 岩石的爆炸破碎	93
3.3 露天矿爆破钻孔	99
3.3.1 露天矿爆破钻孔简介	99
3.3.2 露天矿爆破孔钻孔方法的选择	104
3.4 露天矿钻孔爆破方法	108
3.4.1 露天矿爆破的目的、特点和要求	108
3.4.2 露天矿常用的爆破方法	108
3.4.3 露天矿的深孔台阶爆破特点与要素	110
3.4.4 深孔台阶爆破参数的选择与优化	112
3.4.5 深孔台阶爆破的典型工艺	120
参考文献	125
4 牙轮钻头	126
4.1 牙轮钻头的工作原理	126
4.1.1 工作原理	126
4.1.2 排渣方式	132
4.1.3 牙轮钻头的几何形状与主要参数的选择	133
4.2 牙轮钻头的类型与牙齿	134
4.2.1 牙轮数目	134
4.2.2 牙齿形状	135
4.3 牙轮钻头的结构	139
4.3.1 总成	139
4.3.2 牙掌	139
4.3.3 牙轮	140
4.3.4 轴承	141

4.3.5 轴承的冷却	142
4.4 牙轮钻头型号命名	143
4.4.1 GB/T 13343—2008 对矿用三牙轮钻头的命名方法	143
4.4.2 IADC 的三牙轮钻头的命名方法	144
4.5 牙轮钻头的设计制造与选型	146
4.5.1 牙轮钻头的设计概要	146
4.5.2 牙轮钻头的连接形式与参数	147
4.5.3 牙轮钻头的材料、热处理与制造公差	148
4.5.4 牙轮钻头的选用	150
参考文献	152
5 牙轮钻机机械结构分析	153
5.1 牙轮钻机的工作原理与基本构成	153
5.1.1 工作原理	153
5.1.2 基本构成	153
5.2 总体布置	154
5.2.1 总体布置的基本类型	154
5.2.2 典型整机的平面布置与特点	155
5.2.3 钻机总成的分布	159
5.3 钻架总成	159
5.3.1 主要功能	160
5.3.2 基本类型与结构特点	161
5.4 回转机构	179
5.4.1 主要功能	179
5.4.2 基本类型	179
5.4.3 技术特点与结构分析	181
5.5 加压提升机构	196
5.5.1 主要功能	196
5.5.2 基本类型	196
5.5.3 技术特点与结构分析	199
5.5.4 链条传动加压提升与无链传动加压提升的对比	214
5.6 行走机构	217
5.6.1 主要功能	217
5.6.2 基本类型	217
5.6.3 履带行走装置的技术特点与结构分析	222
5.7 主平台、走台、支撑千斤顶	238
5.7.1 主平台	238
5.7.2 走台	241
5.7.3 支撑千斤顶	242

5.8 司机室与机房	244
5.8.1 司机室	244
5.8.2 机房	250
参考文献	252
6 原动机与动力装置	253
6.1 原动机的类型、特点与应用	253
6.1.1 原动机的类型	253
6.1.2 原动机的特点与适用范围	254
6.1.3 原动机的选择	254
6.1.4 原动机在牙轮钻机中的应用	255
6.2 电动机	257
6.2.1 交流电动机	257
6.2.2 直流电动机	260
6.2.3 交流变频电动机	263
6.3 液压马达	266
6.3.1 主要类型	266
6.3.2 工作原理	267
6.3.3 结构分析	270
6.3.4 液压马达在牙轮钻机中的应用	279
6.4 柴油机	280
6.4.1 主要类型	280
6.4.2 基本工作原理与典型工作过程	281
6.4.3 结构分析	285
6.4.4 牙轮钻机所使用的柴油机	297
6.5 主空压机	298
6.5.1 主要类型	298
6.5.2 工作原理与结构特点	299
6.5.3 在牙轮钻机中的应用	311
参考文献	314
7 控制与保障系统	315
7.1 电控系统	315
7.1.1 静态直流传动	315
7.1.2 静态交流变频传动	316
7.1.3 YZ 系列牙轮钻机电气控制系统的特点	316
7.1.4 构成电控系统的子系统及其功能	319
7.2 液压系统	332
7.2.1 开式液压系统与闭式液压系统	332

7.2.2	YZ 钻机的液压系统的主油路和控制油路	334
7.2.3	YZ 钻机液压系统的子系统	335
7.2.4	钻机的闭式液压系统	343
7.3	气控系统	352
7.3.1	气动及其系统组成	352
7.3.2	YZ 系列钻机的气动控制系统	353
7.3.3	YZ 系列钻机的气动系统的主要回路的工作原理	355
7.3.4	对气控系统的连锁要求	357
7.4	润滑系统	357
7.4.1	牙轮钻机的润滑方法和润滑油脂种类	357
7.4.2	牙轮钻机的干油集中润滑	358
7.5	主空压机系统	362
7.5.1	滑片式空压机系统	362
7.5.2	螺杆式空压机系统	365
7.6	除尘系统	371
7.6.1	湿式除尘系统	371
7.6.2	干式除尘系统	373
7.6.3	牙轮钻机的湿式除尘与干式除尘对比	376
7.7	空气增压与净化系统	377
7.7.1	空气增压系统	378
7.7.2	空气调节系统	378
	参考文献	379
8	计算机系统	380
8.1	计算机控制系统概述	380
8.1.1	计算机控制系统	380
8.1.2	计算机控制系统的组成	381
8.1.3	计算机控制系统的应用类型	383
8.2	牙轮钻机计算机控制系统基础	385
8.2.1	钻进操作的工作循环	385
8.2.2	牙轮钻机的计算机基础平台	387
8.2.3	钻孔数据库系统的自动检测与数据采集	391
8.2.4	牙轮钻机的钻孔作业的自动控制系统	394
8.2.5	牙轮钻机计算机化的硬件与软件	394
8.3	牙轮钻机控制系统的自动化与智能化	396
8.3.1	可编程控制器和现场总线控制技术	397
8.3.2	钻孔作业的自动化	398
8.3.3	钻孔作业的智能化	399
8.3.4	牙轮钻机的故障诊断与远程监控	401

8.4 现代主流牙轮钻机的计算机控制系统	404
8.4.1 国外主流牙轮钻机控制系统的主要特点	404
8.4.2 牙轮钻机本机控制的智能化与系统作业的智能化	408
参考文献	411
9 牙轮钻机的附属装置	412
9.1 钻杆	413
9.1.1 功能	413
9.1.2 钻杆的类型与结构特点	413
9.2 稳杆器	420
9.2.1 功能与作用	420
9.2.2 稳杆器的类型	421
9.2.3 稳杆器的结构特点	422
9.3 减振器	426
9.3.1 减振器的功能与作用	426
9.3.2 减振器的工作原理	426
9.3.3 减振器的结构类型与特点	427
9.4 其他装置	431
9.4.1 定心与缓冲装置	431
9.4.2 炮孔保护装置	433
参考文献	434
10 设计计算	435
10.1 基本设计原则	435
10.1.1 必备条件	435
10.1.2 尺寸与重量	435
10.1.3 回转速度与扭矩	437
10.1.4 轴压力和钻进速度	440
10.1.5 提升力与提升速度	440
10.1.6 接卸杆力矩	441
10.1.7 液压千斤顶调平与地面承重	441
10.1.8 主空压机的排气量与排气压力	442
10.1.9 原动力	442
10.2 整机性能指标	443
10.2.1 整机性能指标	443
10.2.2 主要工作参数及其确定	444
10.3 总体设计	452
10.3.1 总体设计的选择与分析	453
10.3.2 总体布置	456

10.3.3 钻机的重心与稳定性	460
10.4 工作装置设计	463
10.4.1 钻架及起落架装置	463
10.4.2 回转机构设计	472
10.4.3 回转加压小车	479
10.4.4 封闭传动链条式加压提升机构	483
10.4.5 无链加压提升机构	495
10.4.6 压气排渣系统	499
10.5 行走机构(底盘)设计	503
10.5.1 主平台	504
10.5.2 履带行走装置	505
10.5.3 履带行走装置计算	507
10.6 高原型牙轮钻机设计	515
10.6.1 海拔高度对牙轮钻机工作状态的影响	515
10.6.2 高原牙轮钻机空压机的选择	516
10.6.3 高原牙轮钻机电气设备的选择	519
10.6.4 高原牙轮钻机的其他问题与对策	520
10.7 牙轮钻机的安全设计	521
10.7.1 牙轮钻机的安全本质化	521
10.7.2 安全设计原则与方法	522
10.7.3 牙轮钻机安全设计要求	523
10.7.4 牙轮钻机安全设计实例	527
10.8 牙轮钻机的现代化设计与优化	529
10.8.1 现代化设计方法的应用	529
10.8.2 设计参数的优化与匹配	531
10.8.3 有限元设计分析实例	532
10.8.4 牙轮钻机设计软件系统	536
参考文献	541
11 工艺性与制造	542
11.1 主要零部件的典型制造工艺	542
11.1.1 桁架类	542
11.1.2 架体类	546
11.1.3 箱体类	550
11.1.4 齿轮类(盘套类)	552
11.1.5 轴类	553
11.1.6 履带板	556
11.2 制造质量控制	558
11.2.1 质量控制与检验	558

11.2.2	主要零部件质量的控制与检验	560
11.2.3	整机质量的控制与检验	567
11.2.4	焊接结构件质量的防变形控制	569
	参考文献	571
12	综合性能试验、出厂检验与工业试验	572
12.1	综合性能试验	572
12.1.1	试验内容	572
12.1.2	试验方法	572
12.1.3	试验设备	573
12.1.4	检测控制系统	576
12.2	出厂检验	578
12.2.1	整机要求	578
12.2.2	主要零部件要求	579
12.2.3	检验规则	579
12.2.4	出厂检验试验方法	579
12.3	工业试验	580
12.3.1	工业试验的目的	580
12.3.2	工业试验的准备	581
12.3.3	工业试验的内容	581
12.3.4	工业试验的方法	582
	参考文献	584
13	安装调试与使用	585
13.1	安装与调试	585
13.1.1	前期准备	585
13.1.2	现场安装与调试	586
13.2	验收	596
13.2.1	验收前的准备	596
13.2.2	钻机安装调试验收与移交	597
13.2.3	现场的工业试验项目与试验方法	597
13.3	操作	597
13.3.1	适用于牙轮钻机使用的安全防护守则	597
13.3.2	操作装置	598
13.3.3	操作程序	603
13.4	维护	610
13.4.1	日常保养	611
13.4.2	主要运行部位的检查及调整	611
13.4.3	润滑	612

13.4.4 定检定修	613
13.5 常见故障及排除	616
13.5.1 机械系统的常见故障及其排除方法	616
13.5.2 液压系统的常见故障及其排除方法	616
13.5.3 气控系统的常见故障及其排除方法	617
13.5.4 干油润滑系统的常见故障及其排除方法	617
13.5.5 除尘系统的常见故障及其排除方法	618
13.5.6 主空压机系统的常见故障及其排除方法	618
13.5.7 电气系统的常见故障及其排除方法	619
参考文献	621
14 牙轮钻机选型综合分析	622
14.1 采购需求分析及注意事项	622
14.1.1 基本分析	622
14.1.2 采购方法与内容分析	623
14.2 牙轮钻机钻孔成本分析	625
14.2.1 成本的基本概念	625
14.2.2 爆破钻孔的工作模式和钻孔成本的相关因素	627
14.2.3 牙轮钻机钻孔成本的分析	630
14.2.4 间接成本	638
14.2.5 炮孔钻孔总成本	638
14.2.6 成本分析计算的注意事项	639
14.3 牙轮钻机的选型原则与方法	640
14.3.1 牙轮钻机的选型原则与要点	640
14.3.2 牙轮钻机的技术经济指标与主要材料消耗	641
14.3.3 牙轮钻机的选型计算	643
参考文献	647

1 牙轮钻机的历史与发展

本章内容提要：本章首先介绍了牙轮钻机的基本类型及应用范围；为了系统地认识牙轮钻机的发展历史，还用一定的篇幅介绍了一个多世纪以来牙轮钻机演变发展的过程。本章的重点是对牙轮钻机在国内使用和研制的各个发展阶段进行了系统的介绍，并分三个阶段详细阐述了国外主流牙轮钻机的历史、现状和发展趋势。

1.1 牙轮钻机的分类与应用

经过 100 多年的发展，牙轮钻机已经成为世界上露天矿山穿孔作业及其他工程爆破孔穿孔作业中广泛采用的主要钻孔装备。

根据不同的应用领域和结构特性，牙轮钻机有不同的类型和应用范围，本书的研究对象是应用于露天矿山穿孔作业及其他工程露天爆破孔穿孔作业的牙轮钻机，即露天矿用牙轮钻机。

1.1.1 分类

露天矿用牙轮钻机可以按照其物理结构的不同特点，即按照原动力、传动、加压、回转、行走和电力拖动的方式进行分类。露天矿用牙轮钻机的分类见表 1-1。

表 1-1 露天矿用牙轮钻机的分类

原动力	传动形式	加压方式	回转方式	行走方式	电力拖动方式
电动机	电液混合传动	齿轮齿条封闭链加压	顶部回转滑架	履带式行走	交流多级
		齿轮齿条无链加压	底部回转卡盘	轮胎式行走	直流无级
		直流电机钢丝绳加压	底部回转转盘		交流变频
柴油机	全液压传动	液压马达封闭链加压	顶部回转滑架	履带式行走	—
		油缸封闭链加压	底部回转卡盘	轮胎式行走	—
		油缸钢丝绳加压	底部回转转盘		—
混合动力	全液压传动	液压马达封闭链加压	顶部回转滑架	履带式行走	—
		油缸封闭链加压	底部回转卡盘	轮胎式行走	—
		油缸钢丝绳加压	底部回转转盘		—

注：1. 表中所列出的类型为理论上可以组合实现的类型。在露天矿山实际的工业应用中，底部回转卡盘、底部回转转盘和轮胎式行走形式的牙轮钻机现在已经十分罕见。

2. 原动力为混合动力的牙轮钻机主要应用在牙轮钻机/潜孔钻机共用的中型钻机上。

从表 1-1 中可以看到，按照钻机物理结构的不同特点，可以有以下六种分类方式：

- (1) 根据原动力的不同,有电动机驱动、柴油机驱动和混合动力驱动三种类型。
- (2) 根据工作机构传动形式的不同,有电液混合传动、全液压传动两种类型。
- (3) 根据加压方式的不同,有液压马达封闭链加压、油缸封闭链加压、齿轮齿条封闭链加压、油缸钢丝绳加压、齿轮齿条无链加压、直流电机钢丝绳加压六种类型。
- (4) 根据回转方式的不同,有顶部回转滑架式、底部回转卡盘式、底部回转转盘式三种类型。
- (5) 根据行走方式的不同,有履带式行走、轮胎式行走两种类型。
- (6) 根据电力拖动方式的不同,有交流多级拖动、直流无级拖动、交流变频拖动三种类型。

另一种分类方式是按照其主要技术特征进行分类,即按照其主要技术特征规格的大小分类。表 1-2 为露天矿用牙轮钻机的主要技术特征分类。

表 1-2 露天矿用牙轮钻机的主要技术特征分类

技术特征	小 型	中 型	大 型	特大型
穿孔直径/mm	≤150	≤280	≤380	>400
轴压力/kN	≤225	≤350	≤500	>600

1.1.2 应用范围

露天矿用牙轮钻机是一种以牙轮钻头为工具,在足够大的回转扭矩和垂直向下的轴向压力的作用下,通过旋转、挤压、切削、冲击的方式对岩层进行破碎和穿凿的钻孔设备。根据其工作原理和结构特性,其应用的范围主要适用于以下工程领域和工况:

- (1) 石油开采油气井的穿凿是露天矿用牙轮钻机最早开始应用的工业领域。如今已经形成了专门用于石油开采油气井穿凿的油气井用牙轮钻机,这不是本书的研究内容。
- (2) 大中型金属露天矿开采作业中爆破孔的穿凿。
- (3) 大型、特大型露天煤矿开采作业中爆破孔的穿凿。
- (4) 大中型非金属、非煤露天矿开采作业中爆破孔的穿凿。
- (5) 其他需要使用露天矿用牙轮钻机进行穿孔作业的施工建设工程。

1.2 牙轮钻机发展简史

1.2.1 初始的爆破孔钻孔

追溯历史,爆破孔钻孔技术应该是在沿袭了人类钻井技术的基础上产生和发展的,其钻孔方法、使用的钻孔工具和设备无不与钻井技术息息相关。为此,有必要简要地回顾一下国内外钻井技术的发展历史。

1.2.1.1 中国古代钻井技术的发展

钻井最初的目的是为了汲取地下水,在人类历史发展的长河中,钻井大体经历了挖掘井技术、顿钻法钻井技术和旋转钻井技术三个阶段。在前两个阶段中,中国都处于该钻井技术的前列。

A 挖掘井技术

公元前 1500 年前后, 在我国的甲骨文中就已经有了“井”字。春秋战国时期的井深已达 50 余米, 井的直径大约为 1.5m, 人可以从井筒下到井底。

公元前 255 ~ 公元前 251 年, 李冰任蜀郡守时, 在四川兴修水利, 钻凿盐井, 带领大家首次掘成一批大口径的盐井和天然气井, 这些井多为方形、长方形, 属于坑洼式, 口径和深度都只有 3 ~ 10m, 是由人下入井内挖掘而成。当地人民用开凿水井的方法开凿了我国第一口井盐——广都盐井 (在今成都市双流县境内), 揭开了中国井盐生产的序幕, 从而被誉为中国井盐生产的开拓者。

公元 147 ~ 189 年以前, 在四川邛崃钻出一口天然气井。随着天然气熬盐业的发展, 公元 557 年便把临邛火井所在地命名为“火井镇”。待到公元 616 年, 炀帝杨广更把临邛升为“火井县”。

时至汉代, 小口井浅井的掘凿非常流行, 其提升装置已属单辘轳型。同时, 大口径盐井的开发也很具特色, 具代表性的有东汉仁寿的陵井和晋以后的毒狼井以及南陵井。

到了隋唐时期, 挖掘技术达到了相当高的水平, 井的形状由坑洼式发展为立桶式、束腰式, 由方形变为椭圆形和圆形。井径和井深尺寸规格都较大, 井壁使用竹子和木材加固, 挖掘时全凭许多人在井底手工操作, 劳动艰苦, 工程浩大, 令人叹为观止。

B 顿钻井技术

中国古代钻井技术经过两千年的发展, 到北宋的庆历年间, 取得了具有划时代意义的突破——顿钻小口井技术。钻井井筒的直径仅有碗口大小, 井深可达 130m 左右, 古称卓筒井。对此, 英国著名学者李约瑟在他所著的《中国古代科学技术文明史》一书中写道“今天用于开采石油与天然气的深井就是从中国人的这些技术中发展起来的”, 并指出“这种技术大约在 12 世纪以前传到西方各国”。

北宋庆历年间 (公元 1041 ~ 1048 年), 四川的少数民族发明了卓筒井。据记载, 卓筒井的施工时很像古代的舂米, 所不同的是, 它的锥头下吊着一种特殊的圆锉, 里面有一把直刃。圆锉的直径与南方的楠竹相当, 因此卓筒井的井孔呈圆形。在人力的作用下, 锉不断地被高高吊起, 然后依靠自身的重力不断地冲击地下的泥土和岩石。圆锉的每冲击一次之后就换个角度, 以便锉内的直刃把井底的岩石击碎。这种钻井方式就称为冲击式顿钻凿井法, 如图 1-1 所示。

北宋庆历年间发明使用的“冲击式顿钻法”, 更是开创人类机械钻井技术的先河。这一深井钻凿技术后来传到西方, 有力地推动了世界凿井技术的发展。以自流井为代表的中国古代深井钻凿技术, 被誉为中国继四大发明之后的第五大发明。具体的操作方式就是设立木质碓架, 由人在碓架上一脚一脚地踩动 (捣碓), 运用杠杆原理, 带动锉头上下运动凿进。它是一种利用机械原理, 以牲畜作动力, 木杆作井架, 木制的碓架和地车子为钻机, 又以各种形状和规格的“锉”为钻头, 而钻出比大口浅井的井径小得多而井深大得多的新型钻井方法。这种方法比用人力掘凿大口浅井的方法要先进得多。它基本类似于近代的顿钻钻井。因此, 卓筒井的问世, 被称为钻井技术发展史上的第一次技术革命。

卓筒井在顿击钻凿过程中, 使用“扇泥筒”捞出捣碎的泥砂, 钻至一定深度后, 使用“大竹去节, 牝牡相衔”以封固井壁, 用“麻头油灰”以堵水和加固。由“相井、开井