

竖井掘进机 凿井技术

刘志强 著

 煤炭工业出版社

竖井掘进机凿井技术

刘志强 著

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

竖井掘进机凿井技术/刘志强著. --北京:煤炭工业出版社, 2018

ISBN 978-7-5020-6761-8

I. ①竖… II. ①刘… III. ①竖井掘进—掘进机—研究 IV. ①TD421.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 156070 号

竖井掘进机凿井技术

著 者 刘志强
责任编辑 罗秀全
责任校对 尤 爽
封面设计 王 滨

出版发行 煤炭工业出版社 (北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
电 话 010-84657898 (总编室) 010-84657880 (读者服务部)
网 址 www.cciph.com.cn
印 刷 北京市庆全新光印刷有限公司
经 销 全国新华书店

开 本 710mm × 1000mm¹/₁₆ 印张 19 字数 342 千字
版 次 2018 年 11 月第 1 版 2018 年 11 月第 1 次印刷
社内编号 20180202 定价 160.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换,电话:010-84657880

内 容 提 要

本书分析了竖井掘进机的发展现状，对竖井掘进机进行了分类，在介绍破岩机理、钻井工艺、钻进参数等的基础上，对竖井掘进机的整体结构，包括支撑、推进、旋转驱动、破岩钻头以及电液控制系统进行详细论述，同时介绍了竖井掘进机的加工制造。本书为首部系统介绍竖井掘进机的专著，适用于矿山、水电、交通及地下工程建设领域研究、技术、教学人员及研究生参考。



序



煤矿、金属非金属矿山、水电及抽水蓄能电站、地铁、公路及铁路隧道等地下工程，有大量的井筒需要施工。井筒施工广泛采用的普通法凿井，以钻眼爆破为基础，需要大量的工作人员下井作业，工作条件十分艰苦，作业环境不安全，工人劳动强度大。因此，机械破岩是凿井技术的发展方向。我国从20世纪50年代开始研究钻井法凿井技术及装备，经过几十年的努力，形成滚刀破岩、泥浆护壁、压气反循环排渣、地面预制井壁、悬浮下沉井壁、壁后充填等一套完整的工艺方法。该工艺方法在100多个井筒成功应用，实现了“打井不下井”，而且地面预制和安装的井壁质量好，井筒不漏水。钻井法主要适用于以冲积层为主的含水地层，而对于坚硬岩石地层，由于破岩和排渣效率低下，且存在重复破碎现象，成井速度相对较低，因此需要研究更有效的机械破岩凿井方法。

“十二五”期间，国家“863”计划确定对矿山智能采掘技术及装备进行研究，以在短时间内提升我国矿山的智能掘采水平。其中重要的研究课题“矿山竖井掘进机研制”，为新的井筒机械破岩凿井工艺——竖井掘进机凿井工艺的研发打下基础。课题由刘志强研究员负责，“矿山竖井掘进机研制”课题组成员经过系统性研发和调试攻关，形成了竖井掘进机样机。

《竖井掘进机凿井技术》是首部关于竖井掘进机及凿井技术的专著，涉及机械设计、机械制造、钻井工艺、岩石破碎、工程地质等多方面的专业知识。本书也是作者多年对矿山凿井、机械破岩等研究成果的总结。三十多年来，作者作为我国首批钻井法凿井专业的研

究生，一直从事机械破岩凿井技术研究，参与和组织了反井钻机研制和反井钻井工艺研究，出版了《反井钻机》专著，为反井钻井技术发展做出了重要贡献。他还组织进行了“一扩成井”和“一钻成井”钻井工艺技术及装备研究，提高了钻井法凿井的钻井速度，减少了废弃物排放，扩大了钻井法凿井的应用领域。竖井钻机、反井钻机及竖井掘进机等机械破岩装备及钻井工艺的研发成功，为不同类型地质条件和工程条件采用机械破岩凿井取代钻爆法凿井打下了基础，作者在这三项技术研发中都做出了相应的贡献。

本书对普通爆破破岩凿井和机械破岩凿井进行了分析，对竖井掘进机的适用条件及不良地层改性技术进行了全面论述，对竖井掘进机凿井工艺、竖井掘进机结构形式、钻头结构及滚刀布置、破岩原理、方向控制理论、结构强度及稳定性、竖井掘进机设计加工等进行了系统论述。作为一部竖井机械化掘进领域颇具学术价值和实用价值的专著，该书极大地丰富了机械破岩凿井技术，对矿山、水电、隧道等地下工程建设技术人员具有借鉴作用。

煤炭科学研究总院建井研究院院长
深圳大学未来地下城市研究院院长
深圳市地铁集团有限公司总工程师



陈湘生教授，中国工程院院士

2018 年秋

竖井掘进机是一种掘进井筒的综合机械装备,采用机械破岩的方式将岩石从岩体上分离出来,由上向下在地层中钻进,同时采用机械设备进行井筒支护形成井筒,为矿体开采和地下空间建设提供通道。

我国在矿山和其他地下空间建设领域,每年需建设超过千条竖井,大部分竖井深度大,有的深度超过千米。竖井建设特别是深井建设难度大,目前多采用普通凿井方法施工,该法以钻眼爆破为基础,通过爆破孔的钻凿、装药、连线、爆破,将岩石从岩体上分离出来。爆破产生的岩渣由抓岩机装入吊桶,再由地面提升机将岩渣提升到地面,出渣完成后进行井壁的混凝土浇筑。普通凿井施工需要大量人员下井作业,容易受到塌方、落物、机械等伤害,伤亡事故时有发生。井筒内作业环境恶劣,潮气、有害气体、粉尘以及设备产生的高强度噪声,对作业人员产生不同程度的职业伤害,凿井成为艰苦的工作之一。每年井筒爆破需要消耗大量炸药,爆破产生的大量有害气体排放到空气中对环境产生污染。爆破还使井帮岩体不同程度受到破坏,需要增加支护强度。因此,研究不同形式的机械破岩凿井方法,不仅能够解决普通凿井存在的安全问题,还是井筒掘进向智能化方向发展的重要途径。

在此背景下,我们依托国家“十二五”“863”计划重大项目“煤矿智能掘采技术及装备”课题“矿山竖井掘进机研制”(编号:2012AA06A403),以及在科技部科研院所专项资金支持下,并在“反

井钻机”相关研究成果的基础上编著了本书。本书详细论述了竖井掘进机研制，以及在反井钻机钻进导井基础上形成的竖井掘进机凿井工艺。

竖井掘进机凿井采用滚刀破岩，破碎岩屑从导井掉落到下部巷道或隧道中由装岩机装入车辆或带式输送机运出，在钻进形成井筒空间的过程中，采用多层辅助吊盘进行井筒的临时支护。也可以采用吊盘和整体模板配合进行混凝土浇筑，形成井筒永久支护井壁。本书论述了多种竖井掘进机结构形式，对四柱式整体框架、径向双排支撑、四油缸推进、四台变频电机行星减速并单级驱动旋转、锥形钻头布置镶齿滚刀破岩进行说明。

根据竖井掘进机的适用岩石条件，论述了镶齿滚刀破岩机理，确定了竖井掘进机主要技术参数的计算方法；按照钻头滚刀布置、岩石物理力学性质、钻井深度、钻井直径、钻进速度等条件，确定了动力头旋转输出转速、扭矩、破岩钻压等参数；在分析支撑靴板和井帮的摩擦阻力的基础上，确定了竖井掘进机的支撑压力。在此基础上，对竖井掘进机的结构设计、关键部件受力变形的有限元分析模拟、加工制造和场内检验、样机形成过程进行了说明。

本书共 13 章，内容包括地下工程中的井筒特点，现有凿井方法，机械破岩理论，竖井掘进机凿井工艺、分类、结构形式，竖井掘进机的支撑推进、旋转驱动、破岩钻头及控制方式等。本书为竖井掘进机及机械破岩方面的专业书籍，可供矿山井筒及地下工程建设的技术人员、凿井装备设计人员及高等院校教师和研究生参考。

本书的编著得到了“矿山竖井掘进机研制”课题组全体成员的支持和帮助，煤炭科学研究总院建井研究分院、中国矿业大学（北京）、煤矿深井建设国家工程实验室和宁夏天地奔牛集团公司提供了研究、试验、数值分析及加工条件，李维远、荆国业、谭昊、程守业、韩云龙、傅文俊、高峰、谭杰、王强、孙建荣等同志在项目研究中做出了

贡献，申宝宏研究员给予了指导，李潮先生提供了资料，在此一并表示衷心感谢。最后感谢我的妻子刘艳芳对我及本书出版的关爱和帮助，感谢我的女儿刘睿琪做的一些资料收集和翻译工作。

由于作者水平所限，书中难免存在疏漏、欠妥及错误之处，敬请读者批评指正。

著 者

2018 年 6 月

1 绪论

1

1.1 竖井作用	1
1.1.1 井工开采	1
1.1.2 废料储存	4
1.1.3 水力发电和抽水蓄能电站	4
1.1.4 交通隧道	4
1.1.5 物料储存	5
1.1.6 市政工程	5
1.2 竖井凿井综述	5
1.2.1 普通法凿井	6
1.2.2 钻井法凿井	7
1.2.3 反井钻井法凿井	7
1.3 常用凿井方法分析	7
1.3.1 普通法凿井	7
1.3.2 钻井法凿井	10
1.3.3 反井钻井法凿井	10
1.3.4 竖井掘进机法凿井	11
1.4 竖井掘进机项目来源	11

2 竖井凿井方法

14

2.1 普通法凿井	14
2.1.1 设备设施布置	15
2.1.2 井筒锁口施工	15
2.1.3 掘进循环工艺	15

- 2.1.4 辅助作业 21
- 2.1.5 凿井装备 22
- 2.2 钻井法凿井 32
 - 2.2.1 竖井钻机 33
 - 2.2.2 破岩钻进 33
 - 2.2.3 洗井排渣 35
 - 2.2.4 临时支护 37
 - 2.2.5 井壁制作 37
 - 2.2.6 井壁安装 38
 - 2.2.7 壁后充填 38
- 2.3 反井钻井法凿井 40
 - 2.3.1 反井钻机 41
 - 2.3.2 辅助系统 43
 - 2.3.3 反井钻井工艺 43
 - 2.3.4 地层处理 45
- 2.4 凿井方法比较 47

3 竖井掘进机分类

51

- 3.1 下排渣式 51
- 3.2 上排渣式 52
 - 3.2.1 半淹水泵吸反循环排渣式 53
 - 3.2.2 全淹水泵吸反循环排渣式 55
 - 3.2.3 真空泵吸排渣式 56
 - 3.2.4 刮板链斗机械排渣式 56
 - 3.2.5 机械抓斗排渣式 57
 - 3.2.6 机械转轮排渣式 59
- 3.3 不同类型竖井掘进机分析 60

4 破岩刀具及岩石破碎

62

- 4.1 刮刀及刮削破岩 62

4.2	截齿及截割破岩	65
4.3	盘形滚刀及挤压破岩	67
4.4	楔齿滚刀及挤压刮削破岩	69
4.5	镶齿滚刀及挤压破岩	71
4.5.1	镶齿滚刀	72
4.5.2	单齿压入破岩	73
4.5.3	单圈齿滚刀破岩	75

5 破岩滚刀试验

79

5.1	旋转破岩试验台	80
5.1.1	主体结构	80
5.1.2	液压系统	82
5.1.3	旋转驱动系统	83
5.1.4	数据测量及控制系统	83
5.1.5	滚刀破岩试验	84
5.2	往复式破岩试验台	87
5.2.1	实验原理及参数	87
5.2.2	主体结构	88
5.2.3	加载系统	90
5.2.4	岩石试件箱	91
5.2.5	液压系统	91
5.2.6	电气及数据采集系统	92
5.2.7	滚刀破岩试验	94
5.3	滚刀密封试验台	101
5.3.1	主体结构	101
5.3.2	液压系统	102
5.3.3	滚刀密封试验	104
5.3.4	试验步骤	105
5.3.5	试验结果及分析	106

6 竖井掘进机凿井工艺**108**

6.1 竖井掘进机凿井工艺	108
6.1.1 凿井准备	110
6.1.2 破岩排渣	114
6.1.3 临时支护	114
6.1.4 永久支护	115
6.1.5 辅助作业	116
6.2 竖井掘进机作业方式	117
6.2.1 普通凿井作业方式	117
6.2.2 竖井掘进机凿井作业	117

7 竖井掘进机总体方案**119**

7.1 竖井掘进机结构选择	119
7.1.1 方钻杆传扭多倾斜油缸推进迈步式结构	122
7.1.2 方钻杆传扭多垂直油缸推进迈步式结构	123
7.1.3 框架传扭多油缸推进移步式结构	125
7.1.4 框架传扭单油缸推进移步式结构	126
7.1.5 竖井掘进机方案比较	128
7.2 竖井掘进机总体方案	128
7.2.1 竖井掘进机凿井循环	129
7.2.2 竖井掘进机结构总体方案	131
7.3 竖井掘进机辅助系统	135
7.3.1 辅助提升	135
7.3.2 井筒内设备悬吊	135
7.3.3 支护系统	136

8 竖井掘进机技术参数**139**

8.1 竖井掘进机参数确定依据	139
8.1.1 应用领域	139

8.1.2	地质条件	140
8.1.3	井筒深度范围	141
8.1.4	井筒有效直径	141
8.1.5	井筒用途及偏斜	142
8.1.6	井筒支护方式	142
8.2	竖井掘进机受力特点	142
8.3	竖井掘进机主要技术参数	143
8.3.1	钻井直径	143
8.3.2	钻井深度	144
8.3.3	钻头井底角	144
8.3.4	导井直径	145
8.3.5	滚刀覆盖系数	146
8.3.6	钻进速度	147
8.3.7	钻进作业循环	148
8.3.8	钻压和推力	150
8.3.9	输出转速	151
8.3.10	输出扭矩	151
8.3.11	系统功率	152
8.4	竖井掘进机主要参数汇总	153

9 竖井掘进机支撑推进系统

154

9.1	支撑推进结构形式	154
9.2	支撑结构受力	159
9.2.1	结构简化及坐标系建立	159
9.2.2	受力模型	161
9.3	支撑结构强度	165
9.3.1	支撑工况	165
9.3.2	结构校核	166
9.3.3	不同工况对比	172
9.4	支撑推进系统加工	179
9.4.1	材料准备	180

9.4.2	组件焊接	180
9.4.3	精加工	182
9.4.4	系统组装	185

10 竖井掘进机旋转驱动系统

189

10.1	驱动系统主要技术参数	189
10.1.1	行星减速	191
10.1.2	齿轮减速	191
10.2	驱动系统结构	192
10.2.1	减速箱箱体	192
10.2.2	主轴和齿轮	196
10.2.3	密封和轴承	196
10.2.4	强制润滑	197
10.3	齿轮箱体强度	199
10.3.1	建模和网格划分	199
10.3.2	应力分布	200
10.3.3	齿轮箱变形分布	201
10.4	驱动系统加工	202
10.4.1	齿轮箱体	202
10.4.2	主轴	205
10.4.3	大小齿轮	207
10.4.4	系统装配	207

11 竖井掘进机破岩系统

213

11.1	钻头结构	214
11.1.1	中心管	216
11.1.2	翼板	217
11.1.3	超前纠偏钻头	217
11.2	钻头滚刀布置	221
11.2.1	破岩滚刀	221

11.2.2 滚刀布置	223
11.3 钻头加工	224
11.3.1 中心管加工	224
11.3.2 翼板加工	225
11.3.3 钻头体组装	226
11.3.4 钻头体精加工	226
11.3.5 刀座焊接及滚刀安装	228

12 竖井掘进机控制系统

230

12.1 液压系统	230
12.1.1 执行元件	231
12.1.2 液压原理	233
12.1.3 液压泵站及布置	237
12.1.4 液压油泵控制	240
12.2 电气控制	241
12.2.1 用电负荷	241
12.2.2 供电系统	242
12.2.3 进线配电	243
12.2.4 无功补偿	243
12.2.5 备用配电	244
12.2.6 电气控制柜布置	245
12.3 系统控制	247
12.3.1 控制总体框架	247
12.3.2 操作控制台	251
12.3.3 监测及显示	254
12.3.4 远程操作	257
12.3.5 旋转驱动控制	259
12.3.6 推进及支撑控制	260

13 姿态控制及整机调试

263

13.1 竖井掘进机姿态	263
13.2 竖井掘进机姿态测量	266
13.3 竖井掘进机姿态调整	269
13.3.1 位移纠偏	269
13.3.2 角度纠偏	271
13.3.3 纠偏曲线的绘制	273
13.4 联机调试	274
13.4.1 液压系统调试	274
13.4.2 电气控制系统调试	275
13.4.3 整机调试	277

参考文献	281
------------	-----