



机械工业出版社高水平著作出版基金资助项目

掘进机截割的 关键技术研究

● 李晓豁 著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

● ISBN 978-7-111-22818-9

● 策划：邓海平 / 封面设计：张静

CMP CMP

地址：北京市百万庄大街22号 邮政编码：100037
联系电话：(010)68326294 网址：<http://www.cmpedu.com> (机工教材网)
(010)68993821 E-mail: cmp@cmpedu.com
网址：<http://www.cmpbook.com> (机工门户网)
E-mail: cmp@cmpbook.com

定价：25.00 元

ISBN 978-7-111-22818-9



9 787111 228189 >

机械工业出版社高水平著作出版基金资助项目

掘进机截割的 关键技术研究

李晓豁 著



机械工业出版社

部分断面掘进机是集截割、装载、转运、行走、降尘于一身的综合机组，是目前机械化掘进工作面的重要设备。掘进机的截割性能是整机工作性能的综合体现，是直接决定整机工作的可靠性、经济效益和生产率的关键。本书针对掘进机在截割方面存在的实际问题，以煤岩的机械特性分析、截齿和截割头截割的理论和实验研究为基础，对掘进机截割的关键技术进行了全面、系统、深入的研究，找出了各种复杂因素对掘进机截割性能的影响，建立了一套完整的掘进机截割头设计的理论和方法，提出了进一步提高和改进掘进机工作性能的措施和解决目前中型、重型掘进机截割的关键问题的方法，为该型掘进机的设计、制造、使用和改进提供了可靠的依据和有效的方法，从根本上解决了截割头以及掘进机在截割上存在的突出问题。

本书可供从事掘进机设计、研究、使用和技术管理以及煤矿安全与环境保护工作的工程技术人员参考，也可作为高等院校有关专业本科生、研究生的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

掘进机截割的关键技术研究/李晓豁著. —北京：机械工业出版社，2007.10

机械工业出版社高水平著作出版基金资助项目
ISBN 978-7-111-22818-9

I. 掘… II. 李… III. 掘进工作面-研究 IV. TD263.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 178049 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
责任编辑：邓海平 版式设计：霍永明 责任校对：袁凤霞
封面设计：张 静 责任印制：洪汉军
北京瑞德印刷有限公司印刷 (三河市胜利装订厂装订)
2008 年 1 月第 1 版第 1 次印刷
169mm × 239mm · 6.125 印张 · 236 千字
标准书号：ISBN 978-7-111-22818-9
定价：25.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
销售服务热线电话：(010) 68326294
购书热线电话：(010) 88379639 88379641 88379643
编辑热线电话：(010) 88379711
封面无防伪标均为盗版

前 言

部分断面掘进机是应用于铁路、公路的桥涵和隧道施工，以及矿井巷道机械化掘进的一种重要的机器设备，而截割头是掘进机直接参与截割的工作机构，其截割性能对整机的工作效率、可靠性和使用寿命，以及截割的经济效益都有直接的影响，是整机性能的综合体现。

本书针对掘进机在截割过程中存在的实际问题，围绕中型、重型掘进机的使用环境、截割对象，研究作为工作机构的截割头的结构形状与几何参数、截齿类型与布置以及工作参数对掘进机截割性能、截割效率和整机可靠性的影响，通过理论分析、模拟研究，以及截齿的截割性能实验和截割头的截割实验等一系列的研究，建立了一套完整的掘进机截割头设计的理论和方法，提出了进一步提高和改进掘进机工作性能的措施和解决目前中型、重型掘进机截割的关键问题的方法，为该型掘进机的设计、制造、使用和改进提供了可靠的依据和有效的方法。

本专著是作者主持完成原煤炭部的重点科研项目“掘进机截割的关键技术研究”、优秀青年基金项目“纵轴式掘进机截割头设计理论研究”和国家自然科学基金项目“采掘机械截割粉尘的成因及控制方法的研究”等科研项目后的又一项意义重大的工作，它不仅是这些成果的总结，也是项目研究的继续和深入。

本成果可根据使用现场的煤岩性质、工作面的条件和使用要求，设计出具有最佳截割性能和很高整机可靠性的截割头的结构参数、排列参数、运动参数和截割参数，从而实现了真正意义上的“有的放矢”的设计，也从根本上改变了现有的设计方法，提高了设计的质量和水平。因此，本成果无论从掘进机截割的关键技术研究，还是其设计理论和方法的提出，都具有非常重要的意义。

作者非常感谢国家自然科学基金委员会、中国煤炭工业协会、中国煤炭学会、煤炭科学研究总院及相关分院和阜新矿业集团公司、平庄煤业集团公司等煤炭生产企业、煤矿机械制造企业的领导和有关部门的同行的大力支持和帮助。同时，还要感谢机械工业出版社为本著作提供的基金支持。

编写此类专著，在国内外目前尚属首次。由于作者的水平所限，书中疏漏和不当之处在所难免，恳请读者批评指正。

李晓豁

于辽宁工程技术大学

目 录

前言

第 1 章 煤岩力学性能的测定	1
1.1 抗截强度测定装置及其原理	1
1.1.1 抗截强度测定装置的组成	1
1.1.2 抗截强度测定装置的工作原理	2
1.1.3 抗截强度测定装置的特点	2
1.2 煤岩性质测定	2
第 2 章 截齿截割性能的实验研究	4
2.1 刀形截齿的截割实验研究	4
2.1.1 问题的提出	4
2.1.2 前角及前刃面形状对截割过程的作用	4
2.1.3 实验的系统与方法	8
2.1.4 实验结果的分析	10
2.1.5 载荷的相关分析和频谱分析	23
2.2 镐形截齿的截割实验研究	29
2.2.1 实验台的组成及特点	30
2.2.2 试样的制备及其力学性能	30
2.2.3 截齿截割时的三向力测定	31
2.2.4 实验数据的整理	31
2.2.5 实验值与理论值的比较	32
2.2.6 结论	34
2.3 不同排列方式及截割参数的实验研究	34
2.3.1 实验的材料及系统	34
2.3.2 实验的内容及结果	34
第 3 章 截割头的结构和几何参数的研究	38
3.1 纵轴式截割头	38
3.1.1 结构型式的研究	38
3.1.2 结构参数的研究	41
3.2 横轴式截割头	49
3.2.1 结构型式的研究	49
3.2.2 影响截割头最大直径的因素分析	53
3.3 截齿切削宽度的计算及其影响的研究	54

3.3.1 问题的提出	54
3.3.2 截齿切削宽度的确定	55
3.3.3 截齿切削宽度的影响	56
3.3.4 结论	58
3.4 截线间距及其截齿位置的研究	59
3.4.1 截线间距及其影响的研究	59
3.4.2 最佳截线间距的确定	60
3.4.3 截齿的相对位置的确定	66
第4章 截割头的运动分析	68
4.1 纵轴式截割头	68
4.1.1 运动分析	68
4.1.2 运动的简化	72
4.1.3 运动的模拟研究	73
4.2 横轴式截割头	79
4.2.1 运动分析	79
4.2.2 运动的模拟研究	82
第5章 截割头的动力学参数及模拟研究	87
5.1 截割头载荷的确定	87
5.1.1 纵轴式截割头	87
5.1.2 横轴式截割头	94
5.2 截割头载荷的模拟研究	96
5.2.1 纵轴式截割头	96
5.2.2 横轴式截割头	101
5.3 掘进机钻进工况截割头载荷的模拟研究	103
5.3.1 截割头的载荷模型	103
5.3.2 模拟程序设计	105
5.3.3 模拟实例与结果分析	105
5.3.4 结论	106
5.4 随机载荷的模拟研究	106
5.4.1 硬质包裹体在煤层中分布的模拟研究	106
5.4.2 掘进机截割头随机载荷的模拟研究	110
第6章 掘进机动力学行为的研究	116
6.1 横轴式掘进机垂直截割的动力学模型	116
6.1.1 基本假设	116
6.1.2 掘进机的数学模型	116
6.1.3 结论	120
6.2 横轴式掘进机横向截割的动力学行为研究	120

6.2.1 假设与简化	120
6.2.2 运动微分方程的建立	121
6.2.3 模拟程序设计与结果分析	122
6.2.4 结论	124
第7章 截割头工况参数的研究	126
7.1 截割速度	126
7.1.1 对截割能力的影响	126
7.1.2 对截割头载荷的影响	127
7.2 横切速度	128
7.2.1 对生产率的影响	128
7.2.2 对截割头载荷的影响	129
7.3 工况参数影响的综合分析	129
7.3.1 对块度的影响	129
7.3.2 对截割效率的影响	130
7.4 结论	131
第8章 截割头工作规范的研究	133
8.1 操作方法及其影响的研究	133
8.1.1 掏槽深度	133
8.1.2 吃刀深度	135
8.1.3 横切速度	136
8.1.4 截割方式	137
8.1.5 结论	139
8.2 截割头缺齿运行及其影响的研究	139
8.2.1 问题的提出	139
8.2.2 缺齿运行时的载荷模拟	139
8.2.3 结果分析	141
8.2.4 结论	142
第9章 截割头的计算机辅助设计	144
9.1 纵轴式截割头的计算机辅助设计	144
9.1.1 截齿排列的计算机辅助设计	144
9.1.2 截割工况参数的优化设计	148
9.1.3 结论	152
9.2 横轴式截割头的计算机辅助设计	152
9.2.1 几何模拟及优化	153
9.2.2 运动学及动力学优化	157
9.2.3 计算机辅助设计软件	158
9.3 截割头工况参数模糊优化的模型及其解法研究	160

9.3.1 模糊优化设计数学模型的建立	160
9.3.2 最优水平截集上非模糊优化模型	162
9.3.3 结论	163
9.4 基于产尘量最小的掘进机参数优化设计研究	163
9.4.1 设计变量的选择	163
9.4.2 优化目标的建立	163
9.4.3 约束条件的确定	164
9.4.4 优化方法的选择与程序设计	165
9.4.5 优化实例及其结果分析	166
第10章 截割头的改进与实验	167
10.1 问题的提出	167
10.2 存在的问题分析	168
10.3 改进方案	171
10.4 方案的比较及最佳方案的确定	175
10.4.1 载荷及其性能参数	175
10.4.2 截割块度与效率	176
10.5 改进截割头的实验	177
10.5.1 工作面自然情况	177
10.5.2 试验结果及分析	177
附录	179
附录 I 常用截齿	179
附录 II 不同前角的截齿	179
附录 III 不同前刃面隆起角的截齿	179
附录 IV 具有不同前角和前刃面隆起角的截齿	180
附录 V 粒度分布	180
参考文献	184

第1章 煤岩力学性能的测定

在巷道掘进工作中，掘进机与煤岩体是主体和客体的两个方面，只有对客体的各种性质有明确的了解，才能设计出高效的掘进机截割头。因此，掌握煤岩体的性质是十分重要的。

多年的实践表明，“坚固性”一词大体上反映了煤岩破碎的难易程度，可以用于对煤岩进行分级。而抗截强度（刀具单位截割深度的截割阻力）是一个反映煤岩性质的综合性指标，可用以划分煤岩抵抗钻进的难易程度（可钻性）和煤岩抵抗切割的难易程度（可截割性），是设计掘进机工作机构、确定截齿上的截割阻力、计算截割头所需要的截割功率的重要参数^[1-3]。为了测定煤岩的抗截强度，了解其力学性能，我们研制了 MJ-1 型测定装置。

1.1 抗截强度测定装置及其原理

1.1.1 抗截强度测定装置的组成

MJ-1 型抗截强度测定装置的结构原理^[6]如图 1-1 所示。该测定装置由架

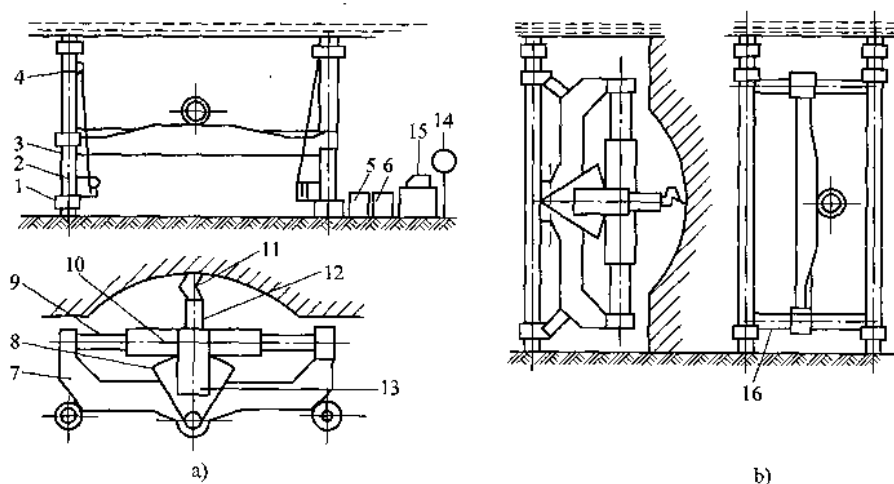


图 1-1 MJ-1 型抗截强度测定装置

- 1—卡紧器 2—手动绞车 3—立柱 4—滑轮 5—泵站 6—油箱
7—螺形座 8—齿扇 9—双活塞杆 10—液压缸 11—刀具 12—截割臂
13—推进螺母 14—压力记录仪 15—数据处理装置 16—丝杠

体、工作装置、调整机构、固定装置、检测记录装置和动力源等几部分组成。工作装置包括齿扇 8、液压缸 10、截割臂 12 和刀具 11。调整机构用于改变刀具的工作位置（即截割高度和进刀量），它由手动绞车 2、滑轮 4、蝶形座 7、推进螺母 13 和丝杠 16 构成。

1.1.2 抗截强度测定装置的工作原理

该装置采用液压传动，它固定在一基础上，在此基础上再固定一个台架，台架上可固定 2m^3 的试块。蝶形座 7 两端圆环滑装在立柱 3 上，利用手动绞车 2、钢丝绳和固定在立柱 3 顶部的滑轮 4 调整蝶形座的高度，以适应不同的截割高度或改变截割间距。高度调整合适以后，利用卡紧器将蝶形座固定在立柱上。截割臂 12 和齿扇 8 固定在一起，利用专用扳手可以调整截割臂的伸出长度，以改变刀具截割试块的深度（即切屑厚度，又称切削深度）。齿扇与蝶形座铰接，可相对摆动。齿条液压缸 10 的缸体在齿扇一侧有齿条，与齿扇的轮齿啮合。双活塞杆 9 的两端与蝶形座固接。刀具 11 安装在截割臂前端。当泵站 5 向液压缸供油时，齿条液压缸的缸体沿活塞杆的轴向移动，通过齿条带动齿扇连同截割臂绕其铰接点摆动，使刀具做弧线截割。通过压力记录仪 14 检测刀具截割过程的力，由数据处理装置 15 统计分析，并进行显示、打印和记录。

1.1.3 抗截强度测定装置的特点

MJ-1 型抗截强度测定装置具有以下几个方面的特点：

- 1) 该装置结构紧凑，操作方便，工作可靠，性能稳定。
- 2) 利用台架加压固定试块，可以在一定程度上模拟工作面煤岩的受压状态。
- 3) 刀具呈弧线截割，这种工作方式更接近于掘进机截割头上的截齿的运动规律。
- 4) 该装置不仅可以水平截割（图 1-1a），而且还能实现垂直方向的截割（图 1-1b），这种垂直于煤岩层理方向的截割更接近于掘进机的实际工况。因此，这样测出的抗截强度值更有实用价值。

5) 整个实验过程实现实时在线检测，所有测定结果既可由仪表显示其大小，又能通过函数记录仪绘制其变化曲线，而且各种数据都能经单板机处理后直接打印输出，信号的获取极为方便。

- 6) MJ-1 型装置适于在实验室条件下使用，稍加改装也可在井下实测。

1.2 煤岩性质测定

利用该装置，可以对所研究煤田、矿井中选取的大块煤岩经修整和处理后进行测定，也可以对选用不同材料、采用不同配比制成的各种性质的试块经养生后

进行截割测定。

对用 1:3 的比例制成的水泥-炉渣试块所做的截割试验结果如表 1-1 所示。

表 1-1 抗截强度测得结果

h/mm	5	10	15	20	25	30
Z/N	1689.9	3319.7	4949.7	6560	8151.9	11345.6
$A/\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$	333.98	331.97	329.98	328	326	378

利用该装置测得的截齿截割阻力 Z 与切屑厚度 h 间的关系曲线见图 1-2, 其斜率即抗截强度 A 。

利用该装置所做的大量实验发现: 对同一种煤岩来说, 用结构参数一定的刀具进行截割, 单位截割深度的截割阻力大体为常数; 而对于不同矿区、甚至于不同煤层的工作面, 用同一刀具进行截割测定, 抗截强度值是不同的。

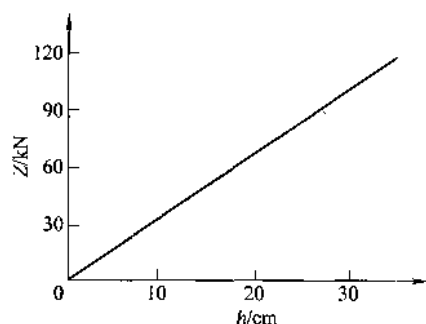


图 1-2 截齿截割阻力与切屑厚度的关系

第2章 截齿截割性能的实验研究

考虑大多数测试仪表解决不了防爆问题,无法完成井下截割实验的测试任务。为此,利用实验室条件进行有关实验,通过统计分析,找出规律性的东西,为截齿的研究和掘进机截割头的设计提供可靠的资料。

2.1 刀形截齿的截割实验研究

2.1.1 问题的提出

研究截齿的目的是为了提高其使用的可靠性,降低失效率。对于截齿的失效形式的调研表明,因刀形齿折断而导致失效的很少,主要是磨损、丢失、崩刃、合金头脱落。其中尤以丢失、磨损现象较为严重,而90%以上的合金头脱落也是由于截齿严重磨损而造成的。可见,磨损是刀形齿失效的主要原因。

刀形齿几何形状对磨损的影响,已有较为确切的结论:后角越小,刀形齿磨损得越快(即磨损失效取决于后角);刀形齿磨损后,受力增大,而且牵引阻力比截割阻力增加得更快(一个宽为2mm的磨损平面足以使截割阻力增大2倍,使牵引阻力增大5倍左右)。前角不同时,刀形齿的磨损情况也不大一样,前角越大,磨损就越快。前刃面和后刃面为平面的刀形齿,其棱角磨圆后,将使其截割阻力和牵引阻力增大,加速刀形齿的磨损。

综上所述,目前刀形齿丢失及磨损的主要原因是其前角取值不合适及前刃面形状选择不当造成的。为此,应开展这一研究工作。

2.1.2 前角及前刃面形状对截割过程的作用

截齿前角在截割过程中有两个作用:一是增加齿尖锐度,改善截割条件,使截齿易于楔进煤岩体而起剪切和拉伸破碎的作用;二是改善排除密实核的条件,使截齿经常处于有利的截割状态,降低截割阻力。虽然,前角越大,上述作用越明显,但前角越大,楔角就越小,齿尖的强度将降低。相反,前角过小,甚至采用负前角,虽然提高了齿尖强度,但将使截割时的载荷加大。所以,对截齿前角应综合考虑,合理选择。前角不同时,作用在截齿上的受力如图2-1所示。

一般,截齿的前角 $\gamma = 0 \sim 10^\circ$ 。当截齿的前角为 $25^\circ \sim 40^\circ$ 时,截割阻力变化较小;而当 $\gamma > \alpha_f$ (刀具与粉煤或煤粉与煤体之间的摩擦角)时,截齿前刃面的

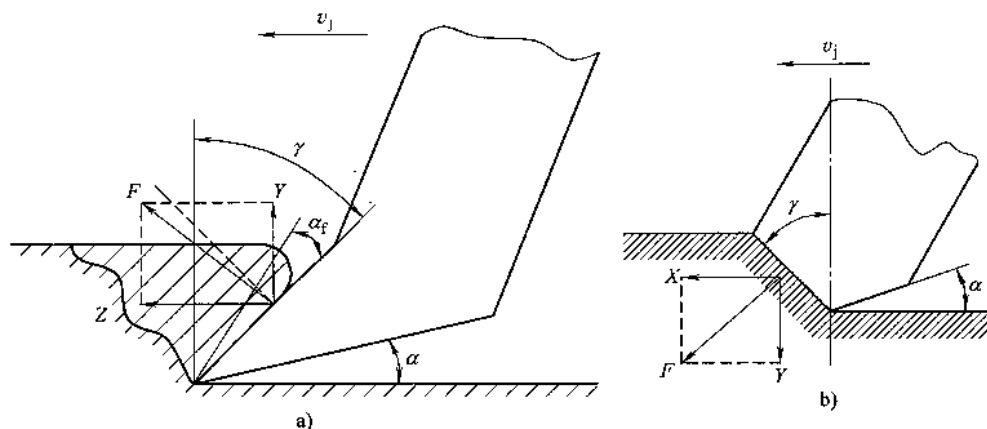


图 2-1 不同前角的截齿受力图

合力 F 指向自由面方向 (如图 2-1a 所示), 分力 Y 使煤岩产生拉伸破碎, 前角 γ 越大, 产生的拉力 Y 也越大, 所以截齿的前角取正值时, 最好满足 $\gamma_{\min} \geq \alpha_f$ 。当 $\gamma < 0^\circ$ 时, 它的合力 F 是指向煤岩体内部的, 分力 Y 的作用是使煤岩产生挤压破碎, 所以截割阻力较大, 且随负前角绝对值的增大而增大。

以上的分析均没有考虑密实核的作用, 所画的受力关系只有当 $|\gamma| > 20^\circ$ 以上时才可这样简化。面截割过程中遇到的密实核, 对截齿的作用力影响很大, 因此应考虑密实核的影响。

存在密实核时, 刀形齿的受力如图 2-2 所示。下面分两种情况进行研究。

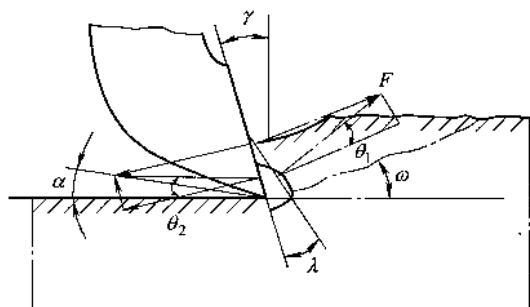


图 2-2 存在密实核时的截齿受力图

1. 密实核稳定不动

这时, 密实核在刀形齿的前刀面上不移动。

对于锋利截齿, 截割阻力 Z_n 、牵引阻力 Y_n 分别为

$$Z_n = N_n (\cos \gamma + \mu \sin \gamma) = F \cos (\gamma - \theta) \quad (2-1)$$

$$Y_n = N_n (\mu \cos \gamma - \sin \gamma) = F \sin (\gamma - \theta) \quad (2-2)$$

$$\text{则} \quad Y_n / Z_n = \tan (\gamma - \theta) \quad (2-3)$$

式中 N_n ——作用于截齿前刃面的正压力;

μ ——煤岩粉于截齿前刃面的摩擦系数, $\mu = \tan\theta$

θ ——截齿与煤岩间的摩擦角;

Y_2 ——截齿侧刃面的轴向分力。

当截齿切割煤岩时, 煤岩中的切削应力为

$$\begin{aligned}\sigma_r &= \frac{Z_a}{Y_2} 4N \sin(\theta + \gamma - \omega) \sin\omega / \cos\theta \\ &= 4N \sin(\theta + \gamma - \omega) \sin\omega / [\tan(\gamma - \theta) / \cos\theta]\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{而} \quad \frac{\partial \sigma_r}{\partial \omega} &= 4N / [\tan(\gamma - \theta) \cos\theta] [-\sin\omega \cos(\theta + \gamma - \omega)] \\ &\quad + \sin(\theta + \gamma - \omega) \cos\omega\end{aligned}$$

式中 ω ——截齿的前崩落角。

$$\text{令} \quad \frac{\partial \sigma_r}{\partial \omega} = 0$$

$$\text{有} \quad \sin(\theta + \gamma - \omega) \cos\omega - \sin\omega \cos(\theta + \gamma - \omega) = 0$$

$$\text{即} \quad \sin(\theta + \gamma - 2\omega) = 0$$

$$\text{则求得} \quad \gamma = 2\omega - \theta \quad (2-4)$$

结果表明, 当 $\gamma = 2\omega - \theta$ 时, N 值的存在可使截齿前的煤岩体应力达到最大值, 比能耗最小。

2. 密实核在切削而上整体移动

此时的情况比较复杂, 首先要考虑到作用在刀形齿上和煤岩体上的摩擦力的方向, 这些力的方向和粉煤的运动方向是相反的, 而且作用在刀具上的合力 F 的方向将是变化的。

截齿截割时, 因截槽底部变形而产生的力必然要作用在截齿的后刃面上。一块大的煤屑从它的截槽中崩落下来或抛出现象, 只能描述这种来自前刃面的崩落力, 但它并不能正确地确定在切削周期的全部过程中的挤压力的大小和方向。还需要指出的是, 随着前角的变化, 刀形齿与煤岩体的接触条件也会发生变化:

1) 当角 $(\gamma + \alpha)$ 明显地大于角 θ 时, 在刀形齿前被挤碎的煤岩是不稳定的, 很容易抛出来, 这时角 α 消失。

2) 当角 $(\gamma + \alpha)$ 明显地小于角 θ 时, 被挤碎的煤岩几乎不会在齿面上移动, 只有当煤屑被截落以后才能移动。压缩是恒定的, 而角 α 有增大的趋势。

综上所述, 密实核是使截齿性能不稳定、影响截齿实际前角的主要因素, 同时密实核也是形成粉尘的主要根源之一。所以, 消除密实核、改善截割工况的途

径是改变截齿前刃面的形状、缩小密实核的体积。

下面将研究截齿前刃面上的一小部分被破碎物质的平衡。

如图 2-3, 以密实核的中心为原点 O , 组成直角坐标系 $O-X_1Y_1Z_1$, 坐标取在截齿前刃面的右半部, 绕 OY_1 轴逆时针旋转 γ 角, 再绕 OX_1 轴逆时针旋转 λ' 角, 组成新的坐标系 $O-xyz$ 。截齿的阻力 R 沿 Ox 、 Oy 、 Oz 各坐标轴分解成 X 、 Y 和 Z 。

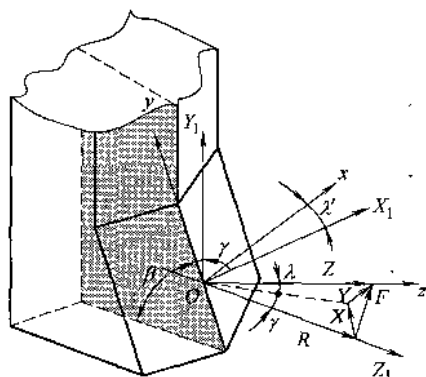


图 2-3 前刃面上破碎物的平衡分析

$$\begin{cases} X = R \sin \gamma \\ Y = R \cos \gamma \sin \lambda' \\ Z = R \cos \gamma \cos \lambda' \end{cases} \quad (2-5)$$

$$\text{合力} \quad F = \sqrt{X^2 + Y^2} = R \sqrt{1 - \cos^2 \gamma \cos^2 \lambda'} \quad (2-6)$$

式中 λ' ——截齿前刃面在 XOY 平面内的斜角, $\lambda' = (180^\circ - \lambda)/2$ 。

截齿在截割过程中, 由于 F_y 的作用把煤或煤粉向自由面推移, 而截齿与煤粉、粉煤与煤岩体之间的摩擦阻力 T_p 阻止煤粉的移动。

$$T_p = R \cos \gamma \cos \lambda' (f_1 + f_2) \quad (2-7)$$

式中 f_1 ——煤粉与截齿间的摩擦系数;

f_2 ——煤粉与煤岩体间的摩擦系数。

有效力与摩擦力之比:

$$k = \sqrt{\frac{1 - \cos^2 \lambda' \cos^2 \gamma}{(f_1 + f_2) \cos \lambda' \cos \gamma}} \quad (2-8)$$

式中 k ——判断密实核相对截齿前刃面移动标准的系数。

若 $k < 1$, 则密实核压入截齿底部, 粉尘从截齿后刃面喷出, 截割阻力增大; 若 $k = 1$, 则密实核停留不动, 但这种情况只是瞬间过程, 不会常出现; 若 $k > 1$, 则有效力大于阻力, 密实核沿刃形齿前刃面向上移动, 从截齿前的空间逸出。

虽然上式中的 k 值会随 γ 和 λ' 的增加而增大, 然面摩擦系数 f_1 和 f_2 除了与煤岩的性质有关外, 还与复杂的现场工况有关。只有当前角 γ 取值很大 ($\gamma \geq 25^\circ$) 及前刃面隆起角 (截齿两侧刃面形成的角度) λ 取值很小 ($\lambda < 90^\circ$) 时, 才有可能使截齿在整个截割过程中 $k > 1$, 但这时齿尖强度不足的问题极为突出。

目前, 常用的一般刃形齿的前角 (见表 2-1) 都很小, 截割时是以剪切和挤压为主, 截割阻力和牵引阻力都比较大^[7,9]。

表 2-1 常用刀形齿各种角度值

截齿型号	前 角	前刃面隆起角	后 角	侧 面 角
PJ—7507	1°45′	125°	7°	无
PJ—7505	10°	130°	6°	无
PJ—7506	10°	120°	6°	无
PJ—7404	7°	110°	6°	无
PJ—7402	6°	150°	4°	无
PJ—7808	5°30′	180°	7°	无
PJ—7911	10°	130°	4°	无
PJ—7DG1	8°	120°	7°	无
PJ—7015	8°	120°	7°	无
PJ—7916	5°	125°	6°	无
PJ—7920	6°	115°	8°	无
PJ—7921	5°	125°	6°	无
PJ—7918	-6°	110°	7°	无
PJ—7013	8°	120°	7°	无
PJ—7923	4°	125°	7°	无

注：常见的刀形齿实物照片参见附录 I。

2.1.3 实验的系统与方法

1. 实验系统

用于刀形齿实验的实验台^[10]如图 2-4 所示。它是由龙门刨床改制成的，有两个垂直力架，截齿的水平进给、垂直进给动作以及工作台的往返运动，分别由液压缸驱动，而且速度可调。

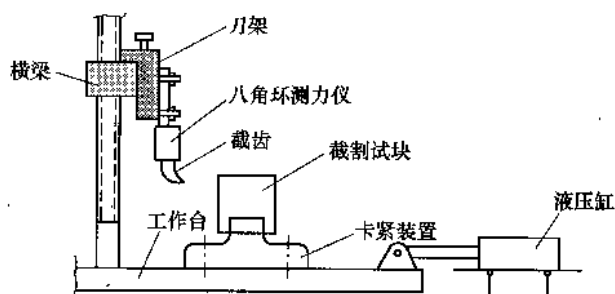


图 2-4 截齿三向力实验台

实验台的测试系统^[11]如图 2-5 所示，其测量属于多向力的动态测量，它由安装在刀体上的双八角环测力仪（该测力仪能将截割过程中载荷产生的应变按切向、法向和侧向分别转换成电量）和测试放大器以及记录分析仪器仪表组成。

整个测试系统用模拟量法收集数据，记录采用纸记录和磁带记录仪记录两种方式。记录在磁带中的信号，可通过重放，利用信号分析仪对波形进行统计分析和信号处理。