

梁桂芳 主编

切割技术手册

机械工业出版社

切割技术手册

梁桂芳 主编



机械工业出版社

本手册重点叙述氧气切割、等离子弧切割和激光切割及新开发的水射流切割的基本原理和特性、工具和设备、切割工艺与实例、切割质量的评定、切割对材质的影响,并对其他热切割方法和相关工艺(如碳弧气刨等)也作了介绍。同时列专章叙述了常用有色金属和某些非金属材料的切割方法。另外还评述了切割技术的发展和应用现状及动向。内容全面又具先进性。

书中引入大量图表均来源于权威著作及生产实践,实用可靠、准确。

本手册主要供从事切割工作的工程技术人员阅读和查检,也可作为与切割技术相关的科研和教学及切割设备制造人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

切割技术手册/梁桂芳主编. —北京:机械工业出版社,
1997. 5

ISBN 7-111-05432-6

I. 切… II. 梁… III. 金属切割-技术手册 IV.
TG4862

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 20668 号

出版人:马九荣(北京市百万庄南街1号 邮政编码 100037)

责任编辑:金晓玲 版式设计:李松山

责任校对:肖新民 封面设计:姚毅

北京市房山区印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1997年3月第1版·1997年3月第1次印刷

850mm×1168mm^{1/32}·25.75印张·690千字

0001—5000册

定价:40.00元

前 言

各种材料的切割加工已成为现代工业生产中的一个重要工序，广大从事切割技术的有关人员亟需一本较为系统、全面和实用的切割专集。同时，近十几年来，特别在国外，新的切割技术的开发和应用取得了长足的进步。为使我国科技人员了解当前切割技术的发展动向以及各种新的切割方法的基本原理、设备和工艺等的详情，便于在生产实践中根据需要推广应用，促进我国切割技术更快地发展，进而提高切割效率和质量，更好地适应现代化建设事业的需要。本着上述目的，特汇编了这本《切割技术手册》。

本手册所涉及的内容包罗了除机械切割法(剪切、锯切和铣切等)外，现用的主要热切割方法和新近开发和应用的水射流切割法(非热切割方法)。重点汇集工业上常用的氧气切割法和等离子弧切割法以及新的激光和水射流切割法的基本原理和特性、常用的和新型的切割设备和工具、切割工艺和应用实例、切割质量及其评定、切割对材质的影响、安全防护技术等资料。同时也介绍了其他热切割及相关的加工方法，如碳弧气刨、火焰气刨和火焰表面清理等。另外，还对工业上较常用的一些有色金属和非金属材料的切割加工辟专章进行了扼要的叙述。

在编集时，既考虑到手册应具备的可查检的实用性，又引用了国外新技术和应用经验，使得本手册具有先进性。同时，不但编入了大量图表，也辅以必要的文字说明，尤其对主要切割方法的机理作了较多的叙述，以供进一步研究时参考。

参加本手册编写工作的有卢瑞珍、陈介亮、白向梁、马国华等。在手册定稿过程中，承蒙钱在中、马承忠两位高级工程师提出修改意见，程舜麟高级工程师和胡顺初高级工程师提供部分资

料，特致以衷心的感谢。

本手册是从事切割加工研究和生产的科技人员常备的工具书，也是与切割技术相关的教学工作者和切割设备制造厂技术人员的参考书，同时还可作为技术工人的进修读物。

由于本手册所涉及的内容较广，而编者的学识、水平和经验有限，所搜集的资料也不够全面，书中难免存在错误或不足之处，祈望专家和读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第 1 章 综述	1
1 切割方法的分类	1
2 主要切割方法的切割特性	5
2.1 三种主要热切割方法的能量密度	5
2.2 切割时钢材的受热量和热影响区宽度	5
2.3 几种切割方法的切割精度和切割能力	6
3 主要热切割法的技术经济性 & 选用应考虑的因素	8
4 切割技术的发展和应 用 动 向	11
4.1 切割技术发展过程概要	11
4.2 主要切割方法的应用状况与前景	12
4.3 热切割技术的发展动向	17
参考文献	23
第 2 章 氧气切割	25
1 氧气切割的基本原理和机理	25
1.1 氧气切割原理和过程	25
1.2 钢材氧气切割时的铁-氧反应和燃烧热	28
1.3 钢材气割过程的热平衡	29
1.4 钢材的理论气割速度	30
1.5 钢材氧气切割的机理	30
1.6 预热火焰在气割过程中的功能	34
2 金属的气割性及各种元素对钢材气割性的影响	39
2.1 金属可气割的必要条件	39
2.2 各种元素对钢材气割性的影响	40
2.3 各种钢材的气割特性	40
3 气割用气体及其器具	42
3.1 气割用氧气及有关器具	42

3.2	气割用燃气	58
3.3	乙炔发生器及回火防止器	77
3.4	乙炔瓶、石油气瓶及其附件	95
3.5	乙炔汇流排和乙炔管道	101
3.6	气体胶管和快速接头	105
4	割炬和割嘴	106
4.1	割炬	106
4.2	割嘴	117
5	气割设备	166
5.1	气割机的种类	166
5.2	手扶式半自动气割机	167
5.3	半自动气割机	168
5.4	仿形气割机	169
5.5	圆气割机	177
5.6	椭圆气割机	178
5.7	型钢气割机	179
5.8	多向气割机	181
5.9	管子气割机	183
5.10	钢管投影孔气割机	184
5.11	钢管桩气割机	184
5.12	钢锭气割机	185
5.13	光电跟踪气割机	186
5.14	门式气割机	191
5.15	数控切割机	201
5.16	封头余量气割装置	207
5.17	鞍形支管端头气割机	216
5.18	连续铸坯气割机	218
5.19	型钢数控自动切割装置	223
6	气割工艺与技术	225
6.1	影响气割过程的主要因素	225
6.2	气割工艺要点	239
6.3	焊接坡口的气割	244
6.4	大厚度钢材的气割	258

6.5	薄钢板的气割	267
6.6	叠板(多层)气割工艺与技术	268
6.7	圆钢的高效气割	273
6.8	圆管的快速气割	274
6.9	合金钢的气割	275
7	气割质量和质量管理	277
7.1	气割面质量和尺寸精度评定标准	277
7.2	提高气割质量的途径和措施	280
7.3	气割变形及防止方法	286
7.4	气割面的裂纹	294
7.5	气割质量管理	295
8	气割对钢材热影响区材质的影响	301
8.1	钢材气割时热影响区的宽度	301
8.2	热影响区化学成分的变化	302
8.3	热影响区显微组织和硬度	305
8.4	热影响区的残余应力	307
8.5	气割边的力学性能	309
9	气割安全技术	321
9.1	气割作业安全技术要点	321
9.2	电石的储存、运输与使用安全事项	322
9.3	乙炔发生器的安全管理和安全操作	323
9.4	各种气瓶搬运和使用安全事项	326
9.5	割炬的安全使用	328
9.6	橡胶软管的安全使用	329
	参考文献	330
第3章	等离子弧切割	334
1	等离子弧切割的基本原理	334
1.1	等离子电弧	334
1.2	等离子电弧的种类及其适用性	335
1.3	等离子电弧的某些特性	337
1.4	等离子弧切割的原理和特点	340
2	等离子弧切割用的工作气体	344
2.1	工作气体种类及其适用性	344

2.2	等离子弧切割对工作气体的质量要求	347
2.3	常用工作气体的质量与气态体积	348
3	各种等离子弧切割法及其工艺特性	348
3.1	等离子弧切割法的种类	348
3.2	氩-氢等离子弧切割法及其工艺特性	349
3.3	氩-氮-氢等离子弧切割法及其工艺特性	350
3.4	氮等离子弧切割法及其工艺特性	350
3.5	氮-氢等离子弧切割法及其工艺特性	350
3.6	氮-氩等离子弧切割法及其工艺特性	350
3.7	空气等离子弧切割法及其工艺特性	351
3.8	氧等离子弧切割法及其工艺特性	355
3.9	水再压缩等离子弧切割法及其工艺特性	357
3.10	氧再压缩等离子弧切割法及其工艺特性	361
3.11	高精度等离子弧切割法及其工艺特性	361
3.12	双层气流等离子弧切割法及其工艺特性	363
3.13	常用等离子弧切割法的工艺特性比较	364
3.14	等离子弧切割操作成本的计算方法	370
4	等离子弧切割装置	371
4.1	等离子弧切割装置的基本构成	371
4.2	直流电源	372
4.3	高频发生器	376
4.4	供气和冷却水系统	377
4.5	割炬	380
4.6	控制系统	402
4.7	各种等离子弧切割机的主要技术数据	403
4.8	NC 等离子弧切割机	417
5	等离子弧切割工艺与操作技术	419
5.1	影响等离子弧切割的工艺参数	419
5.2	各种等离子弧切割法的工艺参数	426
5.3	等离子弧切割操作技术与易损件的耐久性	435
5.4	等离子弧气刨工艺	449
6	等离子焰流(非转移型弧)切割	450
6.1	等离子焰流切割设备	451

6.2 切割工艺与质量	453
7 等离子弧切割面的质量特性和评定标准	455
7.1 等离子弧切割面的形状	455
7.2 等离子弧切割面的粗糙度	458
7.3 等离子弧切割面质量评定标准	459
7.4 等离子弧切割面的焊接特性	460
8 等离子弧切割对金属热影响区材质的影响	462
8.1 热影响区及其组织	462
8.2 切割面及热影响区的硬度	464
8.3 切割面的冷弯性能和疲劳强度	467
8.4 等离子弧切割对不锈钢耐蚀性的影响	468
9 等离子弧切割安全技术	470
9.1 等离子弧切割所产生的有害因素及对人体的危害	470
9.2 有害气体和金属烟尘的发生量	471
9.3 噪声	476
9.4 紫外线辐射	477
9.5 等离子弧切割的安全防护措施	477
9.6 等离子弧切割的安全注意事项	482
参考文献	483
第4章 激光切割	485
1 激光及激光切割的基本原理	485
1.1 激光及其特点	485
1.2 激光切割的原理、类型和特点	485
1.3 材料的激光切割性	488
2 激光切割的机理	490
2.1 CO ₂ 连续激光切割钢材的机理	490
2.2 脉冲激光切割钢材的机理	502
3 影响激光切割的主要因素	503
3.1 激光功率对切割能力、速度和质量的影响	503
3.2 激光束质量的影响	507
3.3 辅助气体的影响	513
4 激光切割设备和装置	520
4.1 激光切割装置的基本组成	520

4.2 切割加工用激光器	522
4.3 割炬	535
4.4 现用激光切割装置	539
5 激光切割工艺与参数	552
5.1 铁系金属的切割工艺与参数	552
5.2 非金属材料的切割参数	566
5.3 激光切割操作上注意点	568
6 激光切割的质量	572
6.1 激光切割零件的尺寸精度	572
6.2 激光切割的切口质量	572
6.3 热影响区宽度及硬度	577
7 激光切割安全技术	579
7.1 激光对人体的危害	579
7.2 激光的安全防护	580
参考文献	581
第5章 水射流切割法	584
1 水射流切割的原理、类型、用途和特点	584
1.1 水射流切割的基本原理	584
1.2 水射流切割的类型	584
1.3 水射流切割的适用范围	587
1.4 水射流切割的特点	590
2 水射流切割的机理	595
2.1 纯水射流切割	595
2.2 加磨料水射流切割	597
3 水射流加工技术的发展历程	598
4 水射流切割设备和装置	599
4.1 水射流切割设备的组成	599
4.2 高压水发生装置	602
4.3 割枪和喷嘴	604
4.4 割枪驱动装置	606
4.5 水处理装置	607
4.6 集水槽	608
4.7 水射流切割设备举例	608

5 水射流切割的基本特性及主要影响因素	610
5.1 影响水射流切割能力和质量的主要因素	610
5.2 高压水压力的影响	610
5.3 切割速度的影响	612
5.4 喷嘴孔径的影响	615
5.5 喷嘴高度和割枪倾斜度的影响	615
5.6 磨料种类、粒度和供给量的影响	617
5.7 被切割材料材质的影响	625
6 水射流切割参数示例	625
6.1 纯水型切割参数示例	626
6.2 加磨料型切割参数示例	626
7 水射流切割与加工的应用	632
7.1 水射流切割应用及实例	632
7.2 水射流的其他加工工艺与应用	634
8 水射流切割操作要点、切割缺陷及故障排除	636
8.1 切割操作要点与注意事项	636
8.2 切割作业中常见故障及排除措施	639
8.3 切割质量不良的原因及措施	639
9 水射流切割设备的维护保养和检修	641
9.1 维护保养和检修的类别与项目	641
9.2 检修中常见的设备异常情况及排除措施	643
10 水射流切割的安全技术	644
10.1 高压水射流对人体的危害及防止	644
10.2 噪音及其防止	644
10.3 触电的防止	645
参考文献	645
第 6 章 其他热切割方法	646
1 水解氢氧火焰气割法	646
1.1 水解氢氧发生装置	646
1.2 水解氢氧火焰切割的供气方式	648
1.3 水解氢氧火焰气割工艺与参数	649
2 氧-熔剂切割法	650
2.1 原理、方法和适用范围	650

2.2	切割用熔剂	652
2.3	氧-熔剂切割方式和装置	654
2.4	氧-熔剂切割工艺与参数	661
3	氧矛穿孔和切割	665
3.1	原理和用途	665
3.2	氧矛的种类	666
3.3	操作工艺和实例	667
4	火焰气刨	669
4.1	原理和用途	669
4.2	工具	670
4.3	工艺与参数	670
5	火焰表面清理	673
5.1	原理和用途	673
5.2	工具和装置	674
5.3	火焰表面清理工艺	676
6	碳弧气刨和切割	678
6.1	碳弧气刨和切割的原理、特点和用途	678
6.2	碳弧气刨用工具及电源设备	680
6.3	碳棒	690
6.4	碳弧气刨工艺	692
6.5	碳刨对工件材质的影响	696
7	金属极电弧切割和刨槽法	700
7.1	电弧-氧切割法	701
7.2	金属刨割条电弧刨槽和切割法	702
7.3	熔化极电弧切割和刨槽法	704
8	电弧锯切割法	711
8.1	原理	711
8.2	特点和用途	712
8.3	电弧锯切割参数与应用实例	712
9	水下切割法	712
9.1	水下切割法的种类	712
9.2	水下氧气切割法	714
9.3	水下电弧-氧切割法	716

9.4 水下喷水式熔化极电弧切割法	726
9.5 水下等离子弧切割法	730
9.6 水下电弧锯切割法	734
9.7 水下电弧刨槽-气割组合切割法	737
9.8 水下成形药包爆炸切割法	741
参考文献	742
第7章 各种材料的切割	745
1 不锈钢的切割	745
1.1 不锈钢的热切割方法及其适用性	745
1.2 振动气割法	748
1.3 断氧气割法	749
1.4 氧-熔剂切割法	750
1.5 碳弧-空气切割法	750
1.6 熔化极电弧切割法	751
1.7 等离子弧切割法	752
1.8 电弧锯切割法	753
1.9 激光切割法	753
1.10 超高压水射流切割法	756
2 不锈钢复合板的气割	758
3 铸铁的切割	759
3.1 振动气割法	759
3.2 碳弧-空气切割法	762
3.3 氧-熔剂切割法	762
3.4 电弧-氧切割法	763
4 铝及其合金的切割	763
4.1 等离子弧切割法	764
4.2 激光切割法	770
4.3 氧-熔剂切割法	779
4.4 电弧-氧切割法	779
4.5 熔化极电弧切割法	779
4.6 超高压水射流切割法	780
5 钛及其合金的切割	781
5.1 概述	781

5.2	氧气切割法	781
5.3	等离子弧切割法	783
5.4	高压水射流切割法	784
5.5	激光切割法	784
6	镁合金的切割	787
6.1	概述	787
6.2	镁合金的激光切割	788
7	陶瓷的切割	789
7.1	概述	789
7.2	激光切割法	791
7.3	超高压水射流切割法	796
8	混凝土的切割	797
8.1	混凝土的热切割特性	797
8.2	氧-熔剂切割法	797
8.3	氧矛穿孔和切割	798
8.4	各种热切割方法切割混凝土的效率和材料消耗量比较	798
9	岩石的穿孔	799
	参考文献	800
附录 A 热切割术语和定义(ZB J59 002.2—88)		802
附录 B 热切割相关标准		807

第 1 章 综 述

1 切割方法的分类

现在适用于各种材料的切割加工方法很多，按切割过程所使用的能源分类，如图 1-1^[1]所示。其中有些切割方法兼用两种能源，如电弧-氧切割法，既利用电弧热，又利用氧化反应热；又如用氧作辅助气体激光切割金属时，既利用光能，也利用氧化反应热。

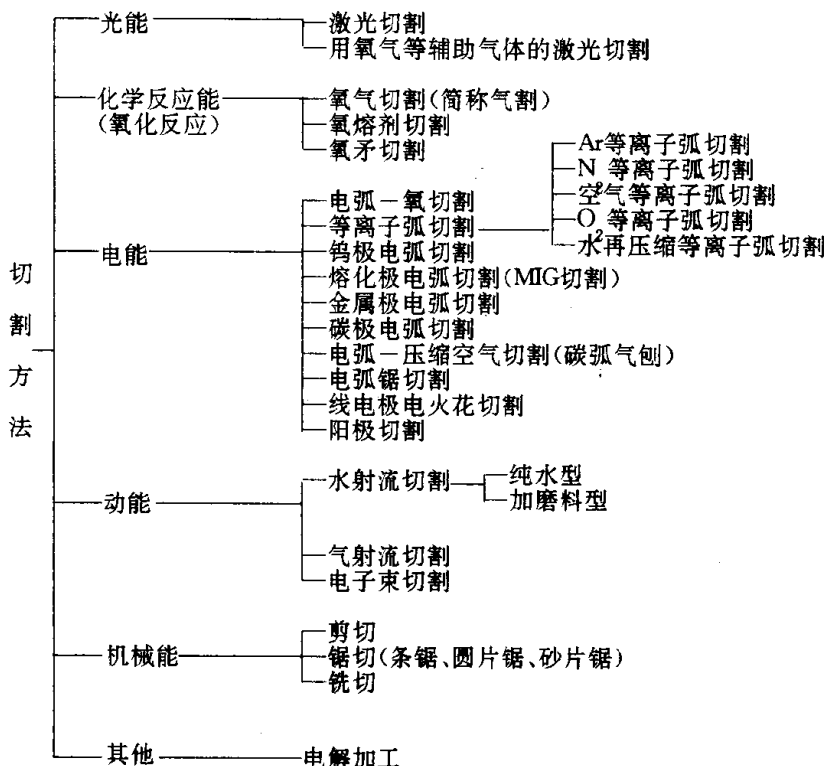


图 1-1 切割方法按能源分类

表 1-1 示出各种切割方法的简要原理、特点、主要用途及适用材料[⊖]。

表 1-1 各种切割方法的原理、特点及主要用途

切割方法	原理、特点与主要用途	适 用 材 料		
		金属	纸、塑料	陶瓷
氧气切割	利用铁在氧中的燃烧反应及反应热进行切割的方法。设备简单, 操作灵便性好, 长期以来一直是切割碳素钢的最常用的方法, 切割质量好, 但切割速度低(通常在 1m/min 以下)、切割变形较大、尺寸精度不高, 薄板难以实行机械化切割。最大切割厚度可达 4m 左右	用于碳素钢和低合金钢最适合	不适用	不适用
氧熔剂切割	在切割氧流中添加铁粉等熔剂, 借铁粉的燃烧热补充切割所需的热量, 或在切割氧流中加入磨料, 借以除去高熔点氧化物以实现气割的一种特殊方法。主要用于不锈钢、铸铁等金属以及浇冒口和钢渣等的切割。随着等离子弧切割法的发展和运用, 其使用范围已缩小	可以使用	不适用	不适用
氧矛切割	先借预热火焰将切割区预热至燃点后, 用直径 3~12mm 厚壁碳钢管在管内供送切割氧, 使钢材在氧中燃烧进行切割或穿孔的一种特殊气割法(开始正常切割后不需预热火焰)。适用于极厚钢材上打起割孔或割断 在钢管内添加各种熔剂, 也可用来切割不锈钢等金属以及岩石、混凝土等材料	可以使用	不适用	不适用
电弧-氧切割	利用中空管状割条与工件间产生的电弧热和从割条内喷出的氧与金属反应热进行切割的方法。切割速度比气割快, 但切割面质量差。现在作为水下切割金属的一种主要方法	可以使用	不适用	不适用
等离子弧切割	利用小孔径喷嘴压缩电弧所形成的高温、高速等离子流作热源进行熔割的方法。切割速度快(在 1~5m/min 范围)、切割热变形小、切割面光洁, 缺点是切口宽度较大, 切割面倾斜(最近已部分得到改善) 这种方法有等离子弧和等离子焰流两种切割方式。切割金属材料通常采用前一种方式。对厚 25~30mm 以下的碳钢经济性好。最大切割能力为 180~200mm(对不锈钢切割)	最合适	等离子焰流可以切割塑料等	较难使用

⊖ 本表主要根据文献 [1], 但编者参照其他资料作了一些补充和修改, 在顺序上也有变动。