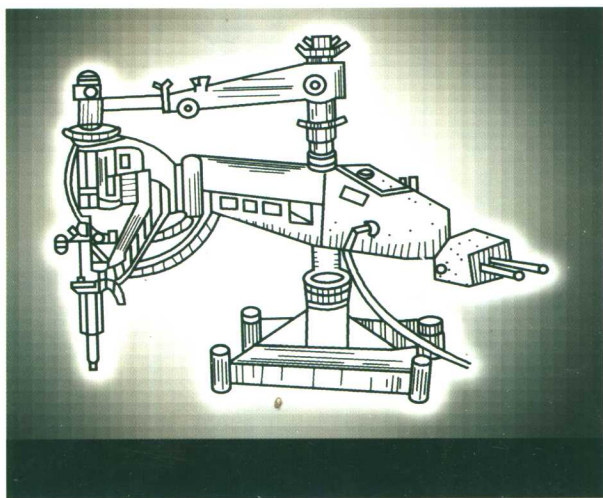


张应立 罗建祥 张梅 等编著

# 金属切割实用技术



Chemical Industry Press



化学工业出版社  
工业装备与信息工程出版中心

# 金属切割实用技术

张应立 罗建祥 张 梅 等编著



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

金属切割实用技术/张应立, 罗建祥, 张梅等编著.  
北京: 化学工业出版社, 2005. 5  
ISBN 7-5025-7143-4

I. 金… II. ①张…②罗…③张… III. 金属-切割  
IV. TG48

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 051528 号

---

金属切割实用技术

张应立 罗建祥 张梅 等编著

责任编辑: 周国庆 李玉晖

文字编辑: 韩庆利

责任校对: 李军

封面设计: 于兵

\*

化学工业出版社 出版发行  
工业装备与信息工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

\*

新华书店北京发行所经销

北京市兴顺印刷厂印装

开本 850mm×1168mm 1/32 印张 9 字数 238 千字

2005 年 7 月第 1 版 2005 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7143-4

定 价: 20.00 元

---

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

## 前 言

金属切割同焊接一样，是现代工业生产中的重要加工工艺，在桥梁、造船、化工、水电、建筑、机械制造和国防工业等许多重要部门都有广泛应用。金属切割工人的操作技能水平对保证产品质量，降低物资消耗，提高经济效益，增加市场竞争力，是一个重要的影响因素。

随着我国国民经济的迅速发展，企业对人才的需求越来越迫切。特别是我国加入世界贸易组织后，企业之间的竞争将在很大程度上表现为对技能人才的竞争，由此将极大地激发我国广大技术工人学习技术、掌握技术、提高技术的热情。目前，出版了不少焊接专业技术书籍，但专门介绍金属切割的书籍却很难找到。因此，为适应金属切割技术工人的学习需求，满足企业、职业学校及各培训机构培训技能人才的需要，我们在焊割专家的指导帮助下，广泛收集资料，并结合实践经验，编著了《金属切割实用技术》一书。该书的特点是：内容新颖，文字简练，重点突出，深入浅出，通俗易懂，实用性强，并配有大量的插图，具有较强的可读性。我们相信，本书将会受到广大读者欢迎。

本书由张应立、罗建祥、张梅等编著，参加编写的还有周玉华、张峥、张莉、周玉良、王成基、周琳、耿敏、周月、梁润琴、杨再书等。在编写过程中曾得到贵州路桥工程有限责任公司的领导、焊割专家的帮助与支持。值此本书出版之际，特向关心和支持本书的各级领导、专家和参考文献的编著者表示衷心感谢。

由于作者水平有限，经验不足，书中错误缺点在所难免，诚望  
使用本书的读者和专家批评指正，谢谢！

作 者  
2005 年 3 月

## 内 容 提 要

本书在介绍金属切割一般知识的基础上，较全面系统地阐述了气割、等离子弧切割、激光切割、碳弧气刨及碳弧空气切割、电弧刨割条、水下切割、水射流切割等切割技术知识，同时对金属切割质量标准与检验和金属切割劳动安全与卫生技术知识等亦进行了较详细的介绍。本书文字流畅，深入浅出，图文并茂，通俗易懂，资料新颖翔实，立足实用。

本书可供从事金属切割的技术工人及技校学生使用，亦可供相关技术人员，管理人员，工程监理人员，以及相关专业院校师生和科研人员参考。

# 目 录

第一章 金属切割的一般知识	1
第二章 气割	4
第一节 气割火焰	4
一、对气割火焰的要求	4
二、气割火焰的种类和性质	4
三、气割火焰的获得及其火焰适用情况	7
四、气割火焰异常现象及清除方法	7
第二节 气割原理、应用条件及特点	8
一、气割原理	8
二、气割应用条件	9
三、气割特点	10
第三节 气割设备及辅助工具	11
一、手工气割设备	11
二、机械气割设备	36
三、气割辅助工具	57
四、气割设备的使用方法	59
第四节 气割用气体	63
一、乙炔	64
二、液化石油气	65
三、氢气	67
四、氧气	67
五、切割新气源	68
第五节 气割工艺	71

一、氧-乙炔切割 .....	71
二、氧-液化石油气切割 .....	83
三、氧-丙烷切割 .....	85
四、快速优质气割与精密气割 .....	87
五、仿形气割 .....	92
六、光电跟踪自动气割 .....	94
七、数控自动气割 .....	96
八、振动及其他气割 .....	97
九、气割中常见故障及排除方法 .....	102
第六节 常用金属材料的气割 .....	105
一、一般厚度低碳钢的气割工艺 .....	105
二、薄低碳钢板的气割 .....	105
三、低碳钢叠板的气割 .....	106
四、大厚度钢板的气割 .....	106
五、不锈钢的振动气割 .....	109
六、铸铁的振动气割 .....	110
七、复合钢板的气割 .....	111
八、其他类型的金属材料切割操作要点 .....	111
第七节 气割常见缺陷及防止方法 .....	112
一、影响气割质量的因素 .....	112
二、气割缺陷的防止 .....	112
第八节 气割工程实例 .....	115
一、固定管子的气割 .....	115
二、铆钉的气割 .....	115
三、法兰的气割 .....	116
四、坡口的气割 .....	117
五、圆弧板的数控气割 .....	117
六、气割清焊根 .....	119
第三章 等离子弧切割 .....	121
第一节 等离子弧的特点、产生及类型 .....	121



一、等离子弧及其特点	121
二、等离子弧的形成原理	121
三、等离子弧的类型	123
第二节 等离子弧切割原理、特点及其用途	124
一、等离子弧切割原理	124
二、等离子弧切割的特点	126
三、等离子弧切割方法及用途	126
第三节 等离子弧切割设备	127
一、等离子弧切割设备的组成	127
二、等离子弧切割机	133
第四节 等离子弧切割工艺	135
一、切割工艺参数的选择	135
二、常用几种材料的等离子弧切割工艺参数	140
三、等离子弧切割操作技术	142
四、等离子弧用于大厚度工件的切割	142
五、等离子弧切割常见的故障及改善措施	144
六、等离子弧切割缺陷及防止措施	147
第五节 空气等离子弧切割	148
一、切割原理、特点及应用范围	149
二、切割工艺参数	150
三、切割操作要点	151
四、切割故障产生原因及预防措施	152
第六节 其他等离子弧切割	154
一、氧气等离子弧切割	154
二、双气流等离子弧切割	155
三、水压缩等离子弧切割	155
第七节 等离子弧切割工程实例	158
<b>第四章 激光切割</b>	<b>160</b>
第一节 激光的产生及特点	160
一、激光的产生	160

二、激光的特点	161
第二节 激光切割的原理与特点	161
一、激光切割的原理	161
二、激光切割的特点	161
第三节 激光切割设备	163
一、切割设备的组成	163
二、常用激光器及其激光测量器	163
三、常用激光切割机	172
第四节 激光切割程序编制实例	177
第五章 碳弧气刨及碳弧空气切割	182
第一节 碳弧气刨原理及其特点	182
一、碳弧气刨的原理	182
二、碳弧气刨的特点	182
三、碳弧刨割条的原理	183
四、碳弧气刨及切割应用范围	183
第二节 碳弧气刨设备	184
一、电源	185
二、碳弧气刨枪	185
三、气路系统	185
四、碳棒	185
第三节 碳弧气刨工艺	186
一、碳弧气刨工艺参数的选择	186
二、常用碳弧气刨操作技术	188
三、常用材料的碳弧气刨操作要点	190
四、碳弧气刨常见缺陷及排除方法	191
第四节 碳弧空气切割	191
一、铸铁件的碳弧空气切割	191
二、不锈钢的碳弧空气切割	192
第六章 金属材料的其他切割方法	194
第一节 电弧刨割条	194

一、电弧刨割条的使用性能·····	194
二、电弧刨割条的操作要点·····	194
第二节 水下切割·····	195
一、水下氧弧切割·····	195
二、水下碳棒水喷射切割·····	196
三、水下氧-可燃气体切割·····	197
四、水下等离子弧切割·····	198
五、水下热割缆切割·····	199
六、水下热割矛切割·····	199
第三节 水射流切割·····	200
第四节 钢板下料最优化技术·····	200
<b>第七章 金属切割质量标准与检验</b> ·····	202
第一节 气割质量的检验标准(JB/T 10045.3—1999)·····	202
一、气割质量标准·····	202
二、切割面质量的测定·····	203
三、切割面质量的标注方法·····	204
第二节 等离子弧切割质量检验标准 (JB/T 10045.4—1999)·····	205
一、切割面质量等级·····	206
二、工件尺寸偏差·····	207
三、切割面质量的测定和标注·····	207
<b>第八章 金属切割劳动安全与卫生</b> ·····	208
第一节 切割作业的危险因素和有害因素·····	208
一、切割作业中的危险因素·····	208
二、切割作业中的有害因素·····	208
第二节 切割作业的安全规程与标准·····	211
一、有关切割作业的主要安全规程与标准·····	211
二、评价切割作业环境的卫生标准·····	213
第三节 切割安全技术·····	218
一、电气设备使用安全技术·····	218

二、气割安全技术·····	220
三、等离子弧切割安全技术·····	227
四、激光切割安全技术·····	228
五、碳弧气刨安全技术·····	228
六、切割防火防爆安全技术·····	229
七、触电急救·····	236
<b>第四节 切割劳动保护·····</b>	<b>240</b>
一、改善安全卫生条件的切割技术·····	240
二、切割室内温度的规定·····	241
三、焊接作业场所通风除尘·····	241
四、切割物理危害因素的防护·····	246
五、焊工个人劳动保护·····	248
六、切割作业推荐的防护措施·····	251
<b>第五节 常用切割方法的安全与卫生防护要点·····</b>	<b>252</b>
一、切割安全与卫生的一般要求·····	252
二、气割安全与卫生防护要点·····	253
三、等离子弧切割安全与卫生防护要点·····	253
四、激光切割安全与卫生防护要点·····	254
五、碳弧气刨卫生防护要点·····	255
<b>第六节 特殊环境切割安全技术·····</b>	<b>255</b>
一、燃料容器和管道切割安全技术·····	255
二、水下切割安全技术·····	257
三、高处切割作业安全技术·····	259
四、野外（或露天）切割作业的安全措施·····	261
<b>附录·····</b>	<b>262</b>
附录一 热切割方法和分类(摘自 JB/T 10045.1—1999) ···	262
附录二 热切割术语和定义(摘自 JB/T 10045.2—1999) ···	269
<b>主要参考文献·····</b>	<b>273</b>

# 第一章 金属切割的一般知识

切割是焊接生产备料工序的重要加工方法，包括冷、热两类切割，而热切割又有气割、等离子弧切割、空气碳弧切割和激光切割等方法。

金属热切割是利用热能使材料分离的方法。热切割可按物理现象、加工方法、能源进行分类，具体可参见附录一。热切割是焊接生产中最常用的热加工方法，常用热切割方法的定义及适用范围见表 1-1。

表 1-1 热切割方法的定义及适用范围

切割方法		定义及主要适用范围
利用氧化反应热的切割法	气割	利用预热火焰加热切割区并送进高纯度切割氧流，借助氧与铁(或金属)的反应使金属迅速氧化，同时用高速切割氧流的动量将熔渣排除，从而形成割缝的切割方法 主要适用于切割碳钢、低合金钢和钛
	氧-熔剂气割	在气割的过程中，通过氧流向切割反应区供送熔剂(铁粉等)，利用熔剂的燃烧热将高熔点金属氧化物熔化，同时借高速切割氧流排除熔渣和熔融金属，从而形成割缝的切割方法 主要适用于切割高铬钢和铬镍不锈钢、铸铁的浇冒口以及钢渣等
利用电弧热的切割法	空气碳弧切割	利用碳极电弧的热量使金属局部熔化，借助于压缩空气流将熔化金属吹除，从而形成槽道或割缝的切割方法 主要适用于各种金属焊接接头的开坡口、封底焊缝的清根和开槽以及清除焊缝中的焊接缺陷，也可用于割断有色金属及其合金
	熔化极气体保护电弧切割	利用熔化极气体保护电弧的热量使金属局部熔化，并借保护气体的气流吹除熔化金属，从而形成割缝的切割方法 主要适用于水下切割金属，也用于接缝开槽

续表

切割方法		定义及主要适用范围
利用电弧热的切割法	等离子弧切割	<p>利用等离子弧高温使金属局部熔化,并借高速等离子焰流的动量将熔化金属排除,从而形成割缝的切割方法</p> <p>适用于切割所有金属材料及部分非金属材料,是切割不锈钢、铝及铝合金、铜及铜合金等有色金属的有效方法。最大切割厚度可达到180~200mm。现已推广用于碳钢的切割,目前已用来切割厚度35mm以下的低碳钢和低合金结构钢</p>
同时利用电弧热和氧化反应热的切割法	电弧-氧切割	<p>利用电弧热加热切割区,借助于氧流使金属燃烧,并将熔渣和熔化金属排除,从而形成割缝的切割方法。与气割相比,其特点是切割速度快,但切断面的质量较差</p> <p>主要适用于金属的穿孔和水下切割</p>
利用光能的切割法	激光切割	<p>利用聚集成直径很小的激光束照射切割区,使被切割材料迅速地升华和熔化,从而形成割缝的切割方法</p> <p>主要适用于切割薄金属以及陶瓷、塑料和布等非金属,是一种高速、高质量、高精度切割法,正在不断发展之中</p>

常用热切割方法的性能特点见表1-2,主要热切割方法的切割速度见表1-3。

表1-2 常用热切割方法的性能特点

项 目	气 割	等离子弧切割	激光切割
切割热源	氧化反应	电	光
适宜切割的材料及能切割的厚度范围/mm	低碳钢、低合金钢,3~360	低碳钢、低合金钢 0.1~50; 不锈钢等高合金钢 0.1~200; 铝及铝合金 0.1~150; 铜及铜合金 0.1~150; 铸铁≤170	低碳钢、低合金钢 ≤12.5; 不锈钢、钨钢等 ≤6.3; 铝≤2; 钛≤3; 铜 ≤2; 纤维板≤15.6; 聚碳酸酯塑料层压板、合成木材 ≤18; 橡胶、皮革 ≤5; 陶瓷 ≤0.8; 其他金属材料

续表

项 目	气 割	等离子弧切割	激光切割
割缝宽度	中	大	小
切割厚 6mm 低碳钢时的割缝宽度值/mm	1.5	4.0	0.3
切割的尺寸精度/mm	差, 1~2	一般, 0.5~1	非常好, $\leq 0.1$
切割面的垂直度	良	差	良
切割面的割纹深度	一般	小	小
切割面上缘熔化程度	良	差	良
切割热影响区	大	中	小

注：激光切割的厚度范围将随激光技术的发展和激光器功率的提高而增大。

表 1-3 主要热切割方法的切割速度/(mm/min)

板厚/mm	气割(氧-丙烷割嘴)	等离子弧切割 (氧等离子弧, 230A)	激光切割 (CO <sub>2</sub> 激光器, 1kW)
<1	—	—	>5000
2	—	—	3500
4	650	—	1800
6	600	3700	1000
12	500	2700	300
25	450	1200	—
50	300	250	—
>100	<150	—	—

注：材料为低碳钢。

## 第二章 气 割

气割是利用气体火焰的热能将工件切割处预热到一定温度后，喷出高速切割氧流，使金属燃烧并放出热量而实现切割的方法。气割又叫气体火焰切割。

### 第一节 气割火焰

气割火焰是由可燃气体与氧气混合而形成的。可燃气体主要是指乙炔气、液化石油气，也有采用氢气的。

#### 一、对气割火焰的要求

气割的火焰是预热的热源；火焰的气流又是熔化金属的保护介质。气割时要求火焰应有足够的温度，体积要小，焰心要直，热量要集中；还应要求火焰具有保护性，以防止空气中的氧、氮对熔化金属的氧化及污染。

#### 二、气割火焰的种类和性质

##### 1. 气割火焰的种类

气割火焰包括氧-乙炔焰、氢氧焰及液化石油气〔丙烷( $C_3H_8$ )含量占50%~80%，此外还有丁烷( $C_4H_{10}$ )、丁烯( $C_4H_8$ )等〕燃烧的火焰。乙炔与氧混合燃烧形成的火焰，称为氧-乙炔焰，简称氧炔焰。氧-乙炔焰具有很高的温度(约 $3200^{\circ}C$ )，加热集中，因此，是气割中主要采用的火焰。

氢与氧混合燃烧形成的火焰，称为氢氧焰。氢氧焰由于其燃烧温度低(温度可达 $2770^{\circ}C$ )，且容易发生爆炸事故，未被广泛应用于工业生产，目前主要用于水下火焰切割等。

液化石油气燃烧的温度比氧-乙炔火焰要低(丙烷在氧气中燃烧温度为 $2000\sim 2850^{\circ}C$ )。液化石油气燃烧的火焰主要用于金属切割，用于气割时，金属预热时间稍长，但可以减少切口边缘的过烧



现象，切割质量较好，在切割多层叠板时，切割速度比使用乙炔快20%~30%。液化石油气燃烧的火焰除越来越广泛应用于钢材的切割外，还用于焊接有色金属。

## 2. 气割火焰的性质

前面已经谈到，氧-乙炔火焰是目前气割中主要采用的火焰，由于氧与乙炔的混合比不同，可分为中性焰、碳化焰（也称还原焰）和氧化焰三种，如图2-1所示。

(1) 中性焰 中性焰是氧与乙炔体积的比值 ( $O_2/C_2H_2$ ) 为1.1~1.2的混合气燃烧形成的气体火焰，中性焰的第一燃烧阶段既无过剩的氧又无游离的碳。当氧与丙烷容积的比值 ( $O_2/C_3H_8$ ) 为3.5时，也可得到中性焰。中性焰有三个显著区别的区域，分别为焰心、内焰和外焰，如图2-1(a)所示。

① 焰心 中性焰的焰心呈尖锥形，色白而明亮，轮廓清楚。焰心由氧气和乙炔组成，焰心外表分布有一层由乙炔分解所生成的碳素微粒，由于炽热的碳粒发出明亮的白光，因而有明亮而清楚的轮廓。焰心亮度虽高，但温度并不很高，约950℃。

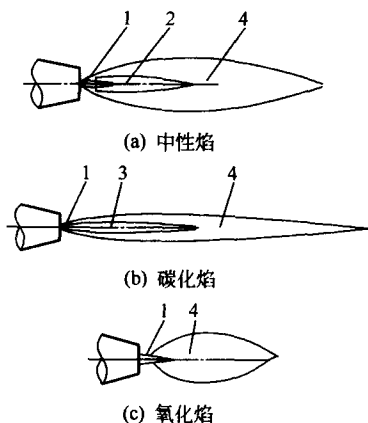


图 2-1 氧-乙炔焰

1—焰心；2—内焰（暗红色）；  
3—内焰（淡白色）；4—外焰

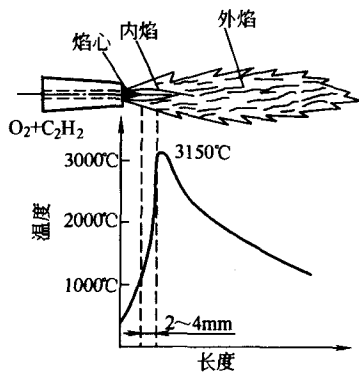


图 2-2 中性焰的温度分布情况