

高等学校“十一五”规划教材  
钢结构焊接制造系列

# 钢结构焊接导论

主 编 王国凡

副主编 汤爱君 李守泉



哈尔滨工业大学出版社

高等学校“十一五”规划教材  
钢结构焊接制造系列

# 钢结构焊接导论

---

主 编 王国凡  
副主编 汤爱君 李守泉

哈尔滨工业大学出版社

## 内 容 简 介

本书共 10 章, 主要内容包括气焊与气割、电焊条、焊条电弧焊设备与选用、焊条电弧焊、其他焊接方法、其他切割方法、碳钢低合金结构钢的焊接、焊条电弧焊焊接缺陷与检验、钢结构焊接应力与变形、焊接安全基本知识。本书是钢结构焊接制造系列丛书之一。

本书不仅是高等学校机械制造专业和材料、建筑、造船、桥梁等工程类专业的本科生教材, 也是相关领域工程技术人员的培训教材和参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

钢结构焊接导论/王国凡主编. —哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2009. 1

(钢结构焊接制造系列)

ISBN 978-7-5603-2750-1

I. 钢… II. 王… III. 钢结构-焊接工艺

IV. TG457.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 108940 号

责任编辑 张秀华

封面设计 张孝东

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451 - 86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 哈尔滨工业大学印刷厂

开 本 787mm × 1092mm 1/16 印张 12 字数 277 千字

版 次 2009 年 1 月第 1 版 2009 年 1 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-2750-1

印 数 1 ~ 4 000 册

定 价 18.00 元

---

(如因印装质量问题影响阅读, 我社负责调换)

# 前 言

《钢结构焊接导论》是一本介绍钢结构焊接制造工艺的综合技术类图书。本书不仅是高等学校机械制造专业和材料、建筑、造船、桥梁等工程类专业的本科生教材,也是相关领域工程技术人员的培训教材和参考书。

由于钢结构件具有综合力学性能高、刚度大、焊接密封性能好、重量轻、生产周期短、无污染、便于拆卸等优点,所以在机械制造、交通运输、通信、船舶、桥梁、起重设备、建筑等领域得到广泛的应用。特别是在我国钢产量跃居世界第一位的今天,钢结构的发展进入了最好最快的时期,像已经建成或正在建设的我国国家体育场“鸟巢”、高 492 m 的上海环球金融中心楼、高 325 m 的深圳帝王大厦、高 249.9 m 的北京银泰中心工程、高 236.4 m 的北京电视中心综合业务大楼、全长 36 km 的杭州湾跨海大桥等,都是采用钢结构制造的。目前钢结构正在向轻型化、高层化、大跨度预应力三个方向发展。

随着我国综合国力的不断提高,尤其是新材料、新工艺、新方法的不断涌现,对钢结构的应用及其焊接技术有了更高的要求。本书正是基于国民经济高速发展的需要,基于对钢结构焊接制造方面人才的需求而编写的。

本书是钢结构焊接制造系列丛书之一,共由 10 章组成,主要内容包括气焊与气割、电焊条、焊条电弧焊设备与选用、焊条电弧焊、其他焊接方法、其他切割方法、碳钢低合金结构钢的焊接、焊条电弧焊焊接缺陷与检验、钢结构焊接应力与变形、焊接安全基本知识。

本书第 1~3 章由王国凡编写,第 4、7、10 章由汤爱君编写,第 5、6 章由李守泉编写,第 8 章由石光才编写,第 9 章由赵冠玲编写。全书王国凡教授统定稿,由张元彬教授主审。

由于编者学识水平有限,书中不当之处在所难免,敬请读者提出宝贵意见。

编 者

2008 年 6 月

# 目 录

第1章 气焊与气割	1
1.1 气焊、气割用材料	1
1.1.1 氧气(O <sub>2</sub> )	1
1.1.2 可燃气体的性质(C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> 、C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> 、C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> 、CH <sub>4</sub> 、H <sub>2</sub> )	3
1.1.3 气焊、气割气体的选用	6
1.1.4 气焊丝	6
1.1.5 气焊熔剂	8
1.2 气焊、气割用设备	10
1.2.1 气焊设备的组成	10
1.2.2 可燃气体瓶与阀	14
1.2.3 气焊、气割附件	17
1.2.4 焊炬	18
1.2.5 割炬	21
1.3 气焊工艺	23
1.3.1 火焰的性质	24
1.3.2 气焊工艺参数的选择	25
1.3.3 焊前清理和坡口的选择	28
1.4 氧气切割工艺	29
1.4.1 氧气切割的原理	29
1.4.2 手工氧气切割技术及气割参数	31
1.4.3 手工气割工艺	33
思考题	37
第2章 电焊条	38
2.1 电焊条的分类	38
2.1.1 按用途分类	38
2.1.2 按熔渣的酸碱性分类	38
2.1.3 按焊条药皮的主要成分分类	39
2.1.4 按焊条特殊用途分类	40
2.2 电焊条的构造	40
2.2.1 焊芯	40
2.2.2 药皮	42
2.3 电焊条型号与牌号	43
2.3.1 焊条型号	43

2.3.2	焊条牌号	48
2.4	焊条的检验	50
2.4.1	焊条外观质量检验	51
2.4.2	焊条的焊接工艺性能检验	52
2.4.3	熔敷金属化学成分检验	53
2.4.4	熔敷金属力学性能检验	53
2.4.5	焊条抗裂性能检验	53
2.5	焊条用量计算	54
2.6	焊条的保管与烘干	55
2.6.1	焊条的保管	56
2.6.2	焊条使用前的烘干	56
	思考题	58
<b>第3章</b>	<b>焊条电弧焊设备与选用</b>	<b>59</b>
3.1	焊接电弧	59
3.1.1	电弧的产生	59
3.1.2	焊接电弧的形成过程	59
3.2	电弧的静特性和电源的外特性	60
3.2.1	电弧的静特性	60
3.2.2	焊条电弧焊的电弧对电源的要求	61
3.3	焊条电弧焊用焊机	63
3.3.1	焊条电弧焊电源的分类	63
3.3.2	电焊机型号及编排	68
3.3.3	焊条电弧焊机的选用	70
3.4	直流电源焊接电弧的构造、温度分布和稳定性	72
3.4.1	焊接电弧的构造及温度分布	72
3.4.2	直流电源极性与应用及影响电弧稳定性的因素	72
3.4.3	焊接电弧的偏吹	74
3.4.4	减小电弧偏吹的方法	75
	思考题	76
<b>第4章</b>	<b>焊条电弧焊</b>	<b>77</b>
4.1	焊条电弧焊的焊接接头与焊缝	77
4.1.1	焊条电弧焊的焊接接头形式	77
4.1.2	坡口	77
4.1.3	焊缝分类	79
4.2	焊缝符号表示方法及应用	80
4.2.1	焊缝符号表示及位置	80
4.2.2	焊接方法及焊缝缺陷代号	84
4.2.3	焊缝符号的简化标注	85

4.3 焊条电弧焊工艺 .....	85
4.3.1 焊接前的准备 .....	85
4.3.2 焊接工艺参数 .....	86
4.3.3 焊接后热与热处理 .....	89
4.3.4 焊条电弧焊基本操作技术 .....	90
思考题 .....	92
<b>第5章 其他焊接方法</b> .....	<b>94</b>
5.1 埋弧焊的原理及特点 .....	94
5.1.1 埋弧焊的工作原理 .....	94
5.1.2 埋弧自动焊的特点 .....	95
5.1.3 埋弧焊的焊接材料 .....	96
5.1.4 埋弧焊焊接低碳钢和低合金钢的焊丝与焊剂 .....	98
5.2 CO <sub>2</sub> 气体保护电弧焊的原理及特点 .....	99
5.2.1 CO <sub>2</sub> 气体保护电弧焊的原理 .....	99
5.2.2 CO <sub>2</sub> 气体保护电弧焊的特点及应用 .....	99
5.2.3 CO <sub>2</sub> 气体保护电弧焊的焊接材料 .....	101
5.3 氩弧焊的原理及特点 .....	104
5.3.1 手工钨极氩弧焊的原理 .....	104
5.3.2 TIG 焊的特点 .....	105
5.3.3 TIG 焊的焊接材料 .....	106
5.3.4 熔化极氩弧焊的原理与特点 .....	108
5.3.5 熔化极氩弧焊使用的保护气体及焊丝 .....	109
5.4 钢结构的电阻焊 .....	110
5.4.1 点焊 .....	110
5.4.2 缝焊 .....	111
5.4.3 对焊 .....	112
5.4.4 凸焊 .....	113
5.5 栓钉(焊钉)焊接 .....	113
5.5.1 栓焊工艺 .....	113
5.5.2 栓焊工艺参数 .....	116
思考题 .....	117
<b>第6章 其他切割方法</b> .....	<b>119</b>
6.1 碳弧气刨 .....	119
6.1.1 碳弧气刨与切割原理 .....	119
6.1.2 碳弧气刨与切割特点 .....	119
6.1.3 碳弧气刨工艺适合的钢种及应用范围 .....	119
6.1.4 碳弧气刨电源 .....	120
6.1.5 碳弧气刨工艺 .....	121

6.2 等离子弧切割 .....	123
6.2.1 等离子弧切割原理 .....	123
6.2.2 等离子弧切割的特点 .....	124
6.2.3 等离子弧切割设备 .....	124
6.2.4 空气等离子弧切割特性 .....	126
6.2.5 等离子弧切割工艺参数 .....	126
6.3 数控切割 .....	128
6.3.1 数控切割的原理及特点 .....	128
6.3.2 数控切割设备 .....	129
6.3.3 数控切割设备的选择 .....	130
6.4 激光切割 .....	131
6.4.1 激光切割方法及原理 .....	131
6.4.2 激光切割特点 .....	132
6.4.3 激光切割设备 .....	133
6.4.4 激光切割工艺参数 .....	134
思考题 .....	136
<b>第7章 碳钢低合金结构钢的焊接</b> .....	<b>137</b>
7.1 金属材料的焊接性 .....	137
7.1.1 金属的焊接性 .....	137
7.1.2 钢的碳当量计算及预热温度的确定 .....	137
7.2 低碳钢低合金钢的焊接 .....	139
7.2.1 选择焊条的原则 .....	139
7.2.2 低碳钢低合金结构钢的焊接 .....	139
思考题 .....	143
<b>第8章 焊条电弧焊焊接缺陷与检验</b> .....	<b>144</b>
8.1 焊条电弧焊焊接缺陷 .....	144
8.1.1 焊缝形状缺陷 .....	144
8.1.2 焊接裂纹 .....	145
8.1.3 夹渣与夹杂物 .....	147
8.1.4 未熔合与未焊透 .....	147
8.1.5 气孔 .....	148
8.1.6 烧穿 .....	148
8.2 焊接缺陷对质量的影响 .....	148
8.2.1 焊接缺陷的危害 .....	148
8.2.2 焊接缺陷对质量的影响 .....	149
8.3 焊接质量检验 .....	151
8.3.1 非破坏性检验 .....	151
8.3.2 破坏性检验 .....	154



思考题 .....	157
<b>第 9 章 钢结构焊接应力与变形</b> .....	<b>158</b>
9.1 应力与变形 .....	158
9.1.1 应力的概念 .....	158
9.1.2 变形的概念 .....	158
9.2 应力与变形产生的原因 .....	159
9.2.1 自由杆件均匀加热和冷却时的应力与变形 .....	159
9.2.2 受绝对刚性约束杆件均匀加热和冷却时的应力与变形 .....	159
9.2.3 低碳钢板条一侧非对称加热时的应力与变形 .....	160
9.3 常见的焊接变形及产生原因 .....	161
9.3.1 焊接变形 .....	161
9.3.2 焊接变形的原因及影响因素 .....	163
9.4 控制焊接变形的措施 .....	164
9.4.1 选择合理的焊接线能量 .....	164
9.4.2 选择合理的装配焊接顺序 .....	164
9.4.3 刚性固定 .....	165
9.4.4 散热法 .....	166
9.4.5 反变形 .....	166
9.5 焊接变形矫正 .....	167
9.5.1 冷加工矫正 .....	167
9.5.2 火焰矫正法 .....	167
思考题 .....	168
<b>第 10 章 焊接安全基本知识</b> .....	<b>169</b>
10.1 概述 .....	169
10.2 预防触电 .....	169
10.2.1 焊接触电原因 .....	169
10.2.2 触电防护措施 .....	170
10.3 电焊工安全技术 .....	171
10.3.1 焊钳和电缆的安全要求 .....	171
10.3.2 焊接电源使用的安全措施 .....	172
10.3.3 安全操作 .....	173
10.4 防弧光辐射、焊接烟尘、有毒气体及噪声 .....	173
10.4.1 弧光辐射的危害及防护措施 .....	174
10.4.2 焊接烟尘、有害气体的危害及防护措施 .....	175
10.4.3 噪声的危害及防护措施 .....	177
10.5 气焊(气割)的安全知识 .....	178
思考题 .....	179
<b>参考文献</b> .....	<b>180</b>

# 第 1 章 气焊与气割

气焊、气割是利用氧气与可燃气体混合燃烧时,放出的大量热,形成热量集中的高温火焰(火焰中的最高温度一般可达 2 000 ~ 3 200℃),进行焊接和切割金属的一种加工方法。

气焊发展至今已有近百年的历史,是一种通用的焊接方法。早期用于焊接的焊条表面没有药皮,焊缝质量很差。随着药皮焊条焊、埋弧焊、氩弧焊、二氧化碳气体保护焊、等离子弧焊等焊接方法的应用,气焊在多种金属材料焊接中逐渐被取代。但气焊与其他焊接方法相比,火焰温度低,加热均匀,金属熔化速度慢,焊接接头冷却缓慢,所以,在焊接不重要的碳素钢和低碳低合金结构钢的薄板、铸铁、熔点较低的铜、铝时仍有应用,特别是在黑色金属材料切割中,气割仍占重要部分。此外,钢结构厚板开坡口、焊接变形的矫正、复合材料的钎焊、金属材料的焊前预热、焊后缓冷、火焰喷涂、汽车维修等也广泛采用气焊。

此外,从设备投入和使用来看,气焊、气割设备具有结构简单、投资少、容易维修、气体灌装运输方便、便于保存、操作灵活等特点,目前仍是不可缺少的加工方法。

## 1.1 气焊、气割用材料

根据气体的性质,气焊、气割所用气体可分为两类,即助燃气体( $O_2$ )和可燃气体。

### 1.1.1 氧气( $O_2$ )

#### 1. 氧气的性质

氧气是空气的组分之一,在常温常压下是一种无色、无味、无毒的气体。在标准状态下(即 0℃ 和 101.325 kPa 压力下),1 m<sup>3</sup> 氧气的质量为 1.43 kg,比空气稍重(空气为 1.293 kg),不易溶于水。氧在 -182.962℃ 时呈淡蓝色的液体,降到 -218.4℃ 时变成雪花状的淡蓝色固体。1 L 的液态氧在 0℃、101.325 kPa 时,可蒸发成 0.79 m<sup>3</sup> 的气态氧。

氧气本身不燃烧,但它是一种化学性质极为活泼的助燃气体。除了惰性气体,卤素中的氯、溴、碘以及一些不活泼的金属(如金、铂)之外,氧与绝大多数非金属和金属都能直接化合,生成氧化物。通常情况下把激烈的氧化反应称为燃烧,并且,随着温度的升高和压力的加大氧化变得越剧烈。因此,当氧压较高并与油脂等易燃物质相接触时,就会发生剧烈的氧化反应甚至产生爆炸。为此,氧气阀、氧气减压阀、焊炬、割炬等不能用油润滑,也不能沾染上油脂。

氧气的纯度对气焊焊缝的质量、气割割缝的质量、生产率以及氧气本身的消耗量有着直接的影响。氧气的纯度越高燃烧的火焰温度越高,其气焊、气割的质量越高,消耗气体量也越少。气焊与气割用氧气纯度技术要求,见表 1.1。对质量要求高的气焊可采用优等品或一等品氧气,为减少费用,气割可采用一等品或合格品氧气。

表 1.1 气焊与气割用氧气纯度要求(GB/3863—1995)

指标名称		指 标		
		优等品	一等品	合格品
氧含量(体积分数)≥/%		99.7	99.5	99.2
水分	游离水≤/mL	无游离水	100	100
	露点≤/℃	-43	—	—

### 2. 氧气的制取

制取氧气的方法很多,制取工业用氧气,都采用液化空气法。将空气压缩,并且冷却到-196℃以下,使空气变成液体,然后再升高温度,当液体空气的温度上升到-196℃时,空气中的氮蒸发变成气体,但温度继续升高到-183℃时,氧开始气化。用压缩机将气体氧压缩到压力为12.16~15.88 MPa,便可装入氧气瓶,供使用和储存。

### 3. 液态氧

液态氧是另一种供氧方式。液态氧与气态氧相比有制取液态氧所需的能量低,液态氧的纯度高(可达99.9%以上),运输效率高,使用的周期长,价格便宜等优点。目前,许多企业设置液态氧储罐和气化装置,供气焊、气割和焊接使用。

液态氧供应方式有三种,第一种在使用部门设置气态氧储罐,由装备气化装置和压缩装置的液态运输槽车向储罐充装气态氧。第二种用量比较大的企业可以设置液态储罐和气化装置,由液氧运输槽车向储罐充装液态氧。第三种是用氧量不大的企业可以直接采用小型液氧容器和相应的气化装置。

液态氧储罐有固定和移动式两种,固定和移动式液氧容器的规格和主要技术参数见表1.2和表1.3。

表 1.2 固定式液氧容器的规格和主要技术参数

型号 技术参数	CF-2000			CF-3500			CF-5000			CF-10000		
几何容积/m <sup>3</sup>	2.10			3.68			5.25			10.5		
有效容积/m <sup>3</sup>	2			3.5			5			10		
内筒内径/mm	1 200			1 400			1 400			2 000		
供气能力/(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	按用户需求选配											
(外径×长度)/mm	1 712×3 245			2 016×3 800			2 024×5 000			2 620×4 318		
公称压力/MPa	0.196	0.784	1.568	0.196	0.784	1.568	0.196	0.784	1.568	0.196	0.784	1.568
空容器质量/kg	1.9	2.0	2.3	4.4	4.6	5.0	5.3	5.6	6.0	7.8	7.8	9.0

表 1.3 移动式液氧容器的规格和主要技术参数

型号 技术参数	CD4 - 50	CD4 - 100	CD4 - 175
容器内容积/L	50	100	175
工作压力/MPa	1.372	1.372	1.372
空容器质量/kg	60	90	115
高度/mm	1 160	1 150	1 535
外径/mm	322	505	505
推车质量/kg	45	81	117

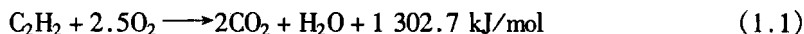
### 1.1.2 可燃气体的性质(C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>、C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>、C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>、CH<sub>4</sub>、H<sub>2</sub>)

气焊、气割使用的可燃气体有乙炔气(C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>)、液化石油气(以丙烷为主)、氢气(H<sub>2</sub>)、天然气(以甲烷为主)、煤气等。

#### 1. 乙炔(C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>)

乙炔在常温下是一种无色气体,因含有硫化氢(H<sub>2</sub>S)和磷化氢(PH<sub>3</sub>)等杂质,故带有特殊的臭味。在标准的状态下密度为 1.179 kg/m<sup>3</sup>(比空气轻),沸点为 - 82.4℃,温度在 - 83.6℃时成为液体,温度低于 - 85℃时成为固体。

乙炔在纯氧中燃烧所产生的火焰温度可达 3 000 ~ 3 300℃左右,热量比较集中,是目前在气焊和气割中应用最为广泛的一种可燃性气体。乙炔在纯氧中完全燃烧时的化学反应式如下:

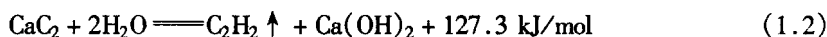


乙炔属于易燃易爆气体,当压力为 0.15 MPa、温度达 580 ~ 600℃时就会发生爆炸。特别是当乙炔与空气或氧气混合的比例达到一定范围,爆炸性会大大增加。所以,氧 - 乙炔焊设备的各管路中,乙炔的压力不得大于 0.13 MPa。

乙炔和空气混合气体的自燃温度为 305℃,乙炔与氧气混合气体的自燃温度为 300℃,所以灌装有氧气和乙炔的瓶不得在阳光下暴晒及不得放置在近火的位置;此外,乙炔与铜或银长期接触会生成爆炸性化合物乙炔铜(Cu<sub>2</sub>C<sub>2</sub>)或乙炔银(Ag<sub>2</sub>C<sub>2</sub>),当遇到剧烈震动或加热到 110 ~ 120℃时就会爆炸,因此,禁止采用紫铜或银制作储存、运输乙炔的容器,可采用含铜量小于 70%的铜合金制作。

乙炔的爆炸性与储存乙炔的容器形状和大小有关。若乙炔储存在较小直径的容器中,发生爆炸的可能性就会大大减小。如果乙炔储存在毛细管状容器中,即使压力增加到 2.65 MPa时也不会发生爆炸。

工业用乙炔主要由水与电石发生反应,生成气态乙炔和熟石灰,其化学反应式为:



气焊、气割用的电石质量应符合表 1.4 中的标准。

表 1.4 气焊、气割用电石的质量等级

名 称	指 标			
	一级品	二级品	三级品	四级品
乙炔发气量/(L·kg <sup>-1</sup> )	300	285	265	235
乙炔中 H <sub>2</sub> S(体积分数)/%	0.15			
乙炔中 PH <sub>3</sub> (体积分数)/%	0.08			

乙炔可溶解于水、丙酮中,在温度为 15℃,压力为 0.1 MPa 条件下,1 L 丙酮能溶解 23 ~ 25 L 乙炔;当压力增大到 1.42 MPa 时,1 L 丙酮能溶解约 400 L 乙炔。气焊、气割正是利用丙酮可以溶解大量乙炔的特性,将乙炔灌装在盛有丙酮溶液的乙炔瓶中储存、运输和使用。

### 2. 液化石油气

液化石油气在常温加压或常压低温下很容易从气态转变为液态,便于运输及储存,故称液化石油气。

液化石油气是从石油生产过程中得到的副产品,主要成分有:丙烷(C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>)、丙烯(C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>)、丁烷(C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>)、丁烯(C<sub>4</sub>H<sub>8</sub>)和丁二烯(C<sub>4</sub>H<sub>6</sub>),同时还含有少量的甲烷(CH<sub>4</sub>)、乙烷(C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>)、戊烷(C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>)及硫化氢(H<sub>2</sub>S)等。液化石油气的沸点都低于常温,所以,在常温常压下以气态存在。但它在低温或 0.8 ~ 1.5 MPa 压力下可以被压缩成液态,储存在耐压液化石油气瓶中,以便储存、运输和使用。

工业上使用的气态石油气是一种略带臭味的无色气体,在标准状态下,石油气的密度为 1.8 ~ 2.5 kg/m<sup>3</sup>,是空气的 1.5 ~ 2.0 倍。由于它比空气重,因而不易扩散掉,能长时间飘浮在地面或流向低洼处积聚。液化石油气的几种主要成分均能与空气或氧气构成具有爆炸性的混合气体。液体石油气与空气混合达到一定体积分数(或浓度)时,遇火源即能引起爆炸(着火点)。液化石油气的爆炸极限为 1.5% ~ 9.5%,这就是说,当液化石油气在空气中的体积分数达到 1.5% ~ 9.5%时,混合气体遇火源就能爆炸,但爆炸混合比范围较小(见表 1.6)。由于液化石油气燃点比乙炔高(液化石油气 500℃,乙炔 305℃),所以使用比乙炔安全。

液化石油气易挥发性和体积膨胀系数是水的 10 ~ 16 倍,且随温度升高而增大,其饱和蒸气压也随温度升高而急剧增加。温度升高 10℃,液化气液体体积膨胀约为 3% ~ 4%。因此,液化石油气的储存灌装必须注意温度的变化,在灌装时绝对不能充满,而要留有足够的气相空间,最大灌装质量为 0.425 kg/m<sup>3</sup>,灌装体积一般为容积的 85%。

液化石油气达到完全燃烧需要的氧气量比乙炔量大,而火焰温度和燃烧的速度低于乙炔。例如,丙烷的燃烧速度是乙炔的 1/4 左右。因此,采用液化石油气气割时,应选用喷嘴截面较大的割炬,降低混合气体在喷嘴中的流出速度,保证燃烧充分。

### 3. 天然气

天然气通常是低碳烃的混合物,一般不含 C<sub>10</sub>以上烃类,主要成分为甲烷(CH<sub>4</sub>)。根据天然气中甲烷和其他烷烃的含量不同,天然气分为干气和湿气。一般干气是指甲烷含量

大于 90% 的天然气,而湿气甲烷含量低于 90%。湿气也称多油天然气,除了甲烷以外,还含有乙烷、丙烷、丁烷等气体。天然气的组成不仅与产地有关,而且与季节等条件也有关系。除以上成分以外,有的地区天然气中还含有硫化氢(H<sub>2</sub>S)、氰化氢(HCN)等有毒气体,以及少量氮气和微量的氦、氩等惰性气体。

甲烷在常温下为无色有轻微臭味的气体,温度在 -162℃ 时为液体,与空气或氧气混合也会发生爆炸。当甲烷的体积分数为 5.4% ~ 59.2% 时,与氧的混合气体会发生爆炸。化学反应式为:



由公式可知,甲烷在纯氧中完全燃烧理论耗氧量为 1:2,空气中燃烧时形成中性焰的实际耗氧量为 1:1.5,火焰温度约为 2540℃,比乙炔低得多,因此气割时需要预热较长时间。

#### 4. 氢气

在通常状态下氢气是一种无色、无味的可燃性气体。在标准状态下,密度为 0.089 kg/m<sup>3</sup>,密度是所有气体中最小的,因此扩散速度快,热导率比空气大 7 倍,在水中的溶解度很小。压强在 1.01 × 10<sup>5</sup> Pa、温度为 -252℃ 时,能变成无色液体,在 -259℃ 时变成固体。

氢气极易泄漏,点火能量低,在空气中的自燃点为 560℃,在氧气中的自燃点为 450℃,其燃烧反应式如下:



当空气中所含氢气的体积分数占混合气体的 4% ~ 74.2% 时,会产生爆炸,所以只有确保氢气的纯洁才能保证安全。

氢气与氧气反应时放出大量的热,氢氧燃烧产生的中性焰温度可达 2660℃。水通过电解分解成氢气和氧气,再配合部分氧气可用于焊接和气割金属。氢气有还原性质,在高温下可以夺取氧化铜中的氧生成水,对铜有保护作用。有时也用于铅的氢焊,熔化极气体保护焊时,在氩气中加入适量的氢,可增大对母材的热量输入,提高焊接速度和效率。表 1.5 是气焊、气割中对氢气的技术要求。

表 1.5 气焊、气割中对氢气的技术要求

指标名称 <sup>①</sup>	指 标		
	超纯氢 <sup>②</sup>	高纯氢	纯氢
$\varphi(\text{H}_2)/\% \geq$	99.999 9	99.999	99.99
$\varphi(\text{O}_2)(\times 10^{-6}) \leq$	0.2	1	5
$\varphi(\text{N}_2)(\times 10^{-6}) \leq$	0.4	5	60
$\varphi(\text{CO})(\times 10^{-6}) \leq$	0.1	1	5
$\varphi(\text{CO}_2)(\times 10^{-6}) \leq$	0.1	1	5
$\varphi(\text{CH}_4)(\times 10^{-6}) \leq$	0.2	1	10
$w(\text{H}_2\text{O})(\times 10^{-6}) \leq$	1.0	3	30

注:①表中体积分数用  $\varphi$  表示;质量分数用  $w$  表示。超纯氢、高纯氢中氧含量指氧和氩的总量。

②表中超纯氢系指管道氢,不包括瓶装氢。

### 1.1.3 气焊、气割气体的选用

不同的可燃气体与氧气混合燃烧时,放出的热量不同,所形成的火焰温度也不相同。单位体积燃烧气体完全燃烧放出的热量越大、燃烧时形成热量集中的火焰温度越高(火焰中的最高温度),气焊、气割的质量越好。目前使用的可燃气体有乙炔、丙烷、丙烯、液化石油气、天然气等。几种常用可燃气体的物理和化学性能见表 1.6。

表 1.6 气焊、气割用气体物化性能

气 体	乙炔(C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> )	丙烷(C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )	丙烯(C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> )	天然气(CH <sub>4</sub> )	氢(H <sub>2</sub> )	
密度(标准状态下)/(kg·m <sup>-3</sup> )	1.17	1.85	1.82	0.71	0.08	
着火点/°C	335	510	455	645	510	
热值/(kJ·m <sup>-3</sup> )	52 963	85 746	81 182	37 681	10 048	
理论需氧量(氧-燃气体积比)	2.5	5	4.5	2.0	0.5	
实际耗氧量(氧-燃气体积比)	1.1	3.5	2.6	1.5	0.25	
氧气中的燃烧速度/(m·s <sup>-1</sup> )	5.8	3.9	—	5.5	11	
中性焰温度/°C	3 100	2 520	2 874	2 540	2 600	
爆炸范围(可燃气体的 体积分数/%)	氧气中	2.8~93	2.3~55	2.1~5.3	5.5~62	4.0~96
	空气中	2.5~80	2.5~10	2.4~10	5.3~14	4.1~74

选择可燃气体时应满足以下几个要求。

#### 1. 热量要大、火焰温度要高

可燃气体与氧气混合燃烧时,放出的热量越多,火焰温度越高对迅速加热和熔化金属越有利,所以希望可燃气体与氧气混合燃烧时,单位体积燃烧气体完全燃烧放出的热量要多,形成热量集中的火焰温度要高。

#### 2. 完全燃烧时需要氧气量少

可燃气体完全燃烧时需要的氧气量越少,氧气运输的次数越少,经济效益越好。

#### 3. 储运要方便

从可燃气体生产、储存到使用需要经过多个阶段,所以可燃气体应便于灌装、储存和运输,满足不同地点储存、运输和使用的需要。

#### 4. 爆炸极限范围要小

可燃气体与空气混合后,当可燃气体的体积占空气体积一定比例时,遇火就会引起爆炸。这个能引起爆炸的数值叫做可燃气体的体积分数,也被称为爆炸极限。从安全角度考虑爆炸极限范围越小越好。

### 1.1.4 气焊丝

#### 1. 对气焊丝的要求

气焊焊缝是由气焊丝与母材共同熔化后形成的,焊丝的质量及化学成分直接影响着焊缝质量与性能,所以气焊丝应满足如下要求。

##### (1) 气焊丝的熔点

气焊丝熔点的高与低直接影响着熔池的流动性,为保证焊接中焊缝不出现缺陷,气焊丝的熔点应等于或略低于被焊金属的熔点。

## (2) 焊丝的成分

为满足气焊焊缝不同的力学性能、物理和化学性能要求,一般情况下,薄板碳素结构钢不重要结构的气焊焊丝的成分不要求与被焊母材的化学成分相同,但不能选择成分差异较大的焊丝;灰铸铁的气焊丝中的碳与硅应比母材多,硫和磷要少;有色金属气焊中,为防止焊缝氧化,在焊丝中应增加脱氧元素等。

## (3) 焊缝无缺陷

为保证焊缝的力学、物理和化学性能,不得因焊丝的原因使焊缝中产生裂纹、气孔、夹渣、弧坑裂纹等缺陷。焊缝表面应均匀光滑,不得有缺陷。

## (4) 表面质量

为保证焊丝熔化均匀、飞溅少、焊接稳定和焊缝内部的质量,焊丝表面应光滑,不得有毛刺、划痕、油脂、锈蚀氧化皮和其他影响使用的缺陷。

## 2. 焊丝的型号和牌号

焊丝的型号或牌号通常可以反映其主要特征及类别。焊丝的型号是以国家标准(或相应组织制定的标准)为依据,不同特征、不同类型的焊丝表示方法也有所不同。

### (1) 碳素钢牌号及化学成分

气焊低碳钢、低合金钢可选用相同类型的二氧化碳焊。焊丝型号和牌号表示方法参见第5章。表1.7是常用碳素钢气焊焊丝的牌号及化学成分。

表 1.7 常用碳素钢气焊焊丝的牌号及化学成分

钢种	牌 号	主要化学成分(质量分数)/%							
		C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	S(≤)	P(≤)
碳 素 结 构 钢	H08A	≤0.10	0.35 ~ 0.60	≤0.03	≤0.20 H08C 为 0.10	≤0.30 H08C 为 0.10	≤0.20	0.03	0.03
	H08E							0.02	0.02
	H08C							0.015	0.015
	H08Mn		0.04	0.04					
	H08MnA		0.03	0.03					
			0.80 ~ 1.10	≤0.07					

### (2) 铸铁气焊焊丝型号

GB10044—1988《铸铁焊条及焊丝》中规定,铸铁焊丝型号中字母“R”表示焊丝,“Z”表示焊丝用于铸铁焊接,“RZ”字母后用焊丝主要化学元素符号或金属类型代号表示,“C”表示灰铸铁(RZC)、“CH”表示合金铸铁(RZCH)、“CQ”表示球墨铸铁(RZCQ),短线“-”后面的数字表示同一类铸铁元素含量不同。

焊丝型号 RZCH 举例说明:

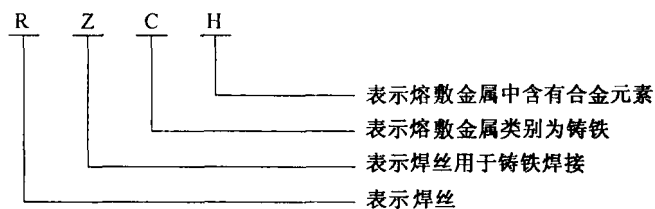




表 1.8 是各类铸铁气焊焊丝的型号、牌号及化学成分,其中铸铁焊丝的牌号(HS401)及化学成分,是根据《焊接材料产品样本》编入的。

表 1.8 铸铁气焊焊丝的型号、牌号及化学成分

焊丝型号 或牌号	化学成分(质量分数)/%								
	C	Si	Mn	S	P	Ni	Mo	Ce	球化剂
RZC-1	3.20~ 3.50	2.70~ 3.00	0.60~ 0.75	≤0.10	0.50~ 0.75	—	—	—	—
RZC-2	3.50~ 4.50	3.00~ 3.80	0.30~ 0.80	≤0.10	≤0.05	—	—	—	—
RZCH	3.20~ 3.50	2.00~ 2.50	0.50~ 0.70	≤0.10	0.20~ 0.40	1.20~ 1.60	0.25~ 0.45	—	—
RZCQ-1	3.20~ 4.00	3.20~ 3.80	0.10~ 0.40	≤0.015	≤0.05	≤0.50	—	≤0.20	0.04~ 0.10
HS401 冷焊焊丝	3.00~ 4.20	3.80~ 4.80	0.30~ 0.80	≤0.08	≤0.50	—	—	—	—
HS401 热焊焊丝	3.00~ 4.20	2.80~ 3.60	0.30~ 0.80						

### (3) 铝及铝合金焊丝

铝及铝合金焊丝主要根据母材的种类、接头的抗裂性能、力学性能、抗腐蚀性能及经阳极氧化处理后焊缝与母材的色彩协调等方面的要求综合考虑选择。表 1.9 是铝及铝合金焊丝的化学成分及应用。

表 1.9 铝及铝合金焊丝的化学成分及应用

牌号	型号	焊丝化学成分(质量分数)/%					熔点/°C	用途
		Si	Mn	Mg	Fe	Al		
HS301	SAI-3 (ER1100)	≤0.3	—	—	≤0.3	≤99.5	660	气焊纯铝或要求 不高的铝合金
HS311	SAlSi-1 (ER4043)	4.5~6.0	—	—	≤0.6	余量	580~610	气焊除 Al-Mg 合金 以外的铝合金
HS321	SAlMn	≤0.6	1.0~1.6	—	≤0.7		643~654	气焊 LF21
HS331	SAlMg-5	≤0.4	0.2~0.6	4.5~5.7	≤0.4		638~660	气焊 LF5

### 1.1.5 气焊熔剂

气焊过程中,母材中的易氧化元素不可避免地被氧化,生成熔点较高的氧化物,使焊缝产生夹杂和气孔。为了去除氧化物,改善被焊材料的润湿性,增加熔池中的流动性,消除气孔,提高焊缝的质量,在焊接铸铁、铝及铝合金、铜及铜合金等材料中,必须采用熔剂。

#### 1. 对气焊熔剂的要求

##### (1) 较强的化学反应能力

气焊中熔剂应具有较强的化学反应能力,能迅速溶解某些氧化物或与某些高熔点氧化物反应生成新的熔点低、易挥发的化合物。