



# 汽车车身焊接技术

## (第2版)

● 主编 张西振 高元伟



北京理工大学出版社  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

# 汽车车身焊接技术

(第2版)

张西振 高元伟 主编

书籍码 4F3RQDSLH



 **北京理工大学出版社**  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

## 内 容 提 要

本书按照项目式教学的要求组织内容，主要介绍汽车车身修复中常用的焊接方法。

本书根据汽车车身焊接修复的实际过程，总结选取了手工电弧焊、CO<sub>2</sub>气体保护焊、惰性气体保护焊、气焊与钎焊、电阻点焊等5个最常见项目。每个项目包含若干实际工作任务，每个任务按照“案例分析—相关知识—技能学习”的形式编排。本书除介绍车身修复中常用的焊接方法外，还在“知识与能力拓展”部分介绍了较深入的理论知识及相关焊接方法的其他拓展应用等。

本书可作为高等院校汽车类相关专业的教材，也可供从事焊接工作的工程技术人员参考。

版权专有 侵权必究

---

### 图书在版编目 (CIP) 数据

汽车车身焊接技术/张西振, 高元伟主编. —2 版. —北京: 北京理工大学出版社, 2019. 11 (2019. 12 重印)

ISBN 978 - 7 - 5682 - 7949 - 9

I. ①汽… II. ①张… ②高… III. ①汽车 - 车体 - 焊接 - 高等职业教育 - 教材  
IV. ①U463. 820. 6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 254212 号

---

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市天利华印刷装订有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 13.5

字 数 / 317 千字

版 次 / 2019 年 11 月第 2 版 2019 年 12 月第 2 次印刷

定 价 / 39.00 元

责任编辑 / 多海鹏

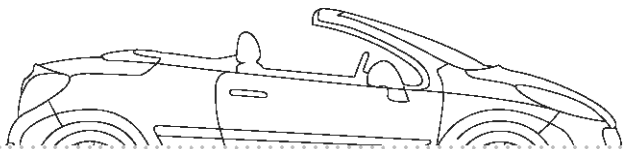
文案编辑 / 多海鹏

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

---

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换



# 前言

P R E F A C E

“汽车车身焊接技术”是高等院校汽车车身维修技术专业的一门专业基础课程。该门课程在内容上要求“精炼先进”“与实际工作紧密结合”，在形式上要求“充分体现做中学”的职业教育理念。为了适应新的高等院校教育模式的要求，使学生能够系统地学习汽车车身焊接的知识与技能，我们组织高等院校资深教师及企业专家编写了本书。

本书自 2013 年书出版以来，受到了众多高等院校的欢迎。为了更好地满足广大高等院校的学生对车身焊接知识学习的需要，作者结合近几年的教学改革实践和广大读者的反馈意见，在保留原书特色的基础上，对教材进行了全面的修订，这次修订的主要内容如下。

1. 对本书第 1 版中部分内容所存在的一些问题进行了校正、修改和更新，并淘汰或弱化了行业内已不再使用的操作。
2. 将“焊接前的准备”作为一个独立工作任务来编写，一方面奠定焊接基础知识，另一方面突出焊接劳动保护的重要性。
3. 整合气焊、钎焊和电阻点焊成一个新项目“其他焊接方法”，使得教材的结构更紧凑顺畅，更符合实际工作中这些焊接方法的定位。
4. 结合文字内容，二维码的形式插入配套的教学资源，读者可通过手机等移动终端扫码学习。

在本书的修订过程中，作者始终贯彻以来源于企业的典型工作任务为载体，采用项目教学的方式组织内容的思想。通过若干个任务，分别介绍了汽车车身修复中常用的五类焊接方法，即手工电弧焊、CO<sub>2</sub> 气体保护焊、惰性气体保护焊、气焊、钎焊与电阻点焊。每个任务均按认知习惯设计为“案例分析”“相关知识”“技能学习”3 个步骤的学习流程。修订后的教材，内容比以前更具针对性和实用性，内容的叙述更加准确、通俗易懂和简明扼要，突出解决问题能力的培养，这样更有利于教师的教学和读者的自学。为了让读者能够及时地检查自己的学习效果，巩固和加深对所学知识的理解，并拓展学习视野，每个项目后还附有“知识与能力拓展”和“自测习题”。

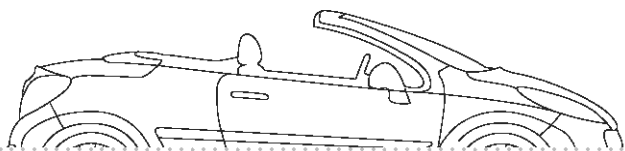
全书参考总教学时数为 80 学时，建议采用理论实践一体化教学模式，偏重实操训练。具体学时分配如下。

序号	项 目	教学时数			
		小计	讲课	实验	讨论辅导
1	项目一 手工电弧焊	18	8	8	2
2	项目二 CO <sub>2</sub> 气体保护焊	22	8	12	2
3	项目三 惰性气体保护焊	18	8	8	2
4	项目四 其他焊接方法	22	8	12	2
合 计		80	32	40	8

本书由张西振、高元伟主编，张成利、鞠峰、赵耀、卢中德、张义等参与了本书的编写工作。在本书编写和修订的过程中，多家维修企业提供了宝贵的建议和技术支持，在此就不在罗列，一并表示衷心的感谢。

限于编者水平有限，书中难免存在错误和疏漏之处，敬请广大读者批评指正。

编 者



# 目 录

C O N T E N T S

项目一 手工电弧焊	001
任务1 焊接基本知识	001
学习目标	001
案例分析	001
相关知识	002
一、焊接与焊接电弧	002
二、车身维修常用焊接方法	003
三、焊接成形	005
四、焊接工艺参数对焊缝成形的影响	008
五、焊缝成形缺陷及产生原因	011
技能学习	014
一、车身焊接安全操作规程	014
二、应急处置措施	017
三、劳动保护	018
任务2 手工平敷焊	020
学习目标	020
案例分析	020
相关知识	021
一、手工电弧焊的基本原理	021
二、手工电弧焊的特点	022
三、焊接设备与工具	023
四、焊条	026
技能学习	031
一、劳动安全与卫生	031
二、准备工作	032
三、焊接施工	034
四、焊接应力与变形的预防	039
五、焊接质量检查	041
六、焊后处理	041

知识与技能拓展	041
一、焊接电弧的物理基础	041
二、熔滴过渡	044
三、其他位置的手工电弧焊方法	046
思考与练习	049
<b>项目二 CO<sub>2</sub>气体保护焊</b>	<b>052</b>
<b>任务1 CO<sub>2</sub>气体保护常规焊</b>	<b>052</b>
学习目标	052
案例分析	052
相关知识	053
一、CO <sub>2</sub> 气体保护焊的基本原理	053
二、CO <sub>2</sub> 气体保护焊的熔滴过渡	054
三、CO <sub>2</sub> 气体保护焊的特点	055
四、焊接设备、工具及材料	056
技能学习	062
一、劳动安全与卫生	062
二、焊前准备	063
三、对焊	067
四、搭焊	069
五、焊接质量检查	071
六、焊后处理	071
<b>任务2 CO<sub>2</sub>气体保护塞焊</b>	<b>072</b>
学习目标	072
案例分析	072
相关知识	073
一、塞焊的作用	073
二、塞焊的焊珠形成	074
三、塞焊注意事项	074
四、提高塞焊质量的途径	074
技能学习	075
一、劳动安全与卫生	075
二、焊前准备	075
三、焊接施工	076
四、焊接质量检查	077
五、焊后处理	077
知识与技能拓展	077
一、药芯焊丝 CO <sub>2</sub> 气体保护焊的特点	078
二、药芯焊丝	078
三、焊接工艺参数	078

思考与练习	079
<b>项目三 惰性气体保护焊</b>	081
任务1 熔化极惰性气体保护焊	081
学习目标	081
案例分析	081
相关知识	082
一、铝合金的焊接特性	082
二、熔化极惰性气体保护焊的基本原理	086
三、熔化极惰性气体保护焊的特点	086
四、焊接设备、工具与材料	087
技能学习	090
一、劳动安全与卫生	090
二、焊前准备	090
三、焊接施工	092
四、焊接质量检查	095
五、焊后处理	095
任务2 钨极惰性气体保护焊	095
学习目标	095
案例分析	095
相关知识	097
一、不锈钢的焊接特性	097
二、钨极惰性气体保护焊的基本原理	098
三、钨极惰性气体保护焊的特点	098
四、钨极惰性气体保护焊的设备与工具	099
五、气体保护效果	106
技能学习	110
一、劳动安全与卫生	110
二、焊前准备	111
三、焊接施工	117
四、焊接质量检查	121
五、焊后处理	121
知识与技能拓展	121
一、特种钢铁材料及其焊接特点	121
二、有色金属材料及其焊接特点	126
思考与练习	129
<b>项目四 气焊与钎焊</b>	132
任务1 气焊	132
学习目标	132
案例分析	132



相关知识	133
一、气焊的基本原理	133
二、气焊的特点及应用	133
三、气焊火焰	134
四、焊接设备、工具与材料	135
技能学习	139
一、劳动安全与卫生	139
二、焊前准备	140
三、焊接施工	144
四、焊接质量检查	148
五、焊后处理	148
任务2 钎焊	148
学习目标	148
案例分析	148
相关知识	149
一、钎焊的基本原理	149
二、钎焊的特点与分类	149
三、钎焊的接头设计	150
四、焊接设备、工具与材料	151
技能学习	152
一、劳动安全与卫生	152
二、焊前准备	153
三、焊接施工	156
四、焊接质量检查	158
五、焊后处理	159
知识与技能拓展	159
一、气割	159
二、锡钎焊	164
思考与练习	168
项目五 电阻点焊	171
学习目标	171
案例分析	171
相关知识	172
一、电阻焊的分类、特点及应用	172
二、电阻点焊的基本原理	174
三、点焊接头	177
四、点焊设备与工具	179
五、挤压式点焊分类及特点	180
六、不等厚度板件的点焊方法	182



技能学习	182
一、劳动安全与卫生	182
二、焊前准备	182
三、焊接施工	186
四、焊接质量检查	190
五、电阻点焊常见质量问题及原因	192
六、焊后处理	193
知识与技能拓展	193
一、高能量密度焊在车身焊接中的应用	193
二、空气等离子弧切割	195
思考与练习	201
参考文献	203



# 项目一

## 手工电弧焊

### 任务1 焊接基本知识

#### 学习目标

1. 能够掌握焊接的定义和类型。
2. 能够了解焊接电弧的物理学原理。
3. 能够掌握车身焊接常用方法的特点及应用范围。
4. 能够了解焊接成形基本术语的含义。
5. 能够掌握车身焊接安全操作规程。
6. 能够了解焊接防护用品的作用及正确使用方法。
7. 能够培养良好的安全、卫生习惯及团队协作意识。

#### 案例分析

在车身焊接作业中，存在大量的污染和不安全因素，例如产生弧光辐射、有害粉尘、有毒气体、高频电磁场、射线和噪声等，如图 1-1 所示。操作人员需要与各种易燃易爆气体、压力容器、电气设备及各种复杂车身材料等相接触，会引起火灾、爆炸、触电、烫伤、急性中毒和高处坠落等事故，造成操作人员尘肺、慢性中毒、血液疾病、眼疾和皮肤病等职业病，严重地危害着焊接作业人员的安全与健康。因此了解焊接基础知识和安全防护知识，预防各类危害的发生以及能对意外事故进行应急处置，是每个车身焊接维修人员必须具备的能力。



图 1-1 焊接作业

相关知识

一、焊接与焊接电弧

1. 焊接

焊接是指被焊工件的材质(同种或异种),通过加热或加压或两者并用,并且用或不用填充材料,使工件的材质达到原子间的结合而形成永久性连接的工艺过程。

金属的焊接,按其工艺过程的特点分有熔焊、压焊和钎焊三大类,如图1-2所示。

熔焊是在焊接过程中将工件接口加热至熔化状态,不加压力完成焊接的方法。熔焊时,热源将待焊两工件接口处迅速加热熔化,形成熔池。熔池随热源向前移动,冷却后形成连续焊缝而将两工件连接成为一体。常用的有电弧焊和气焊。

压焊是在加压条件下,使两工件在固态下实现原子间结合的方法,又称固态焊接。常用的压焊工艺为电阻对焊,当电流通过两工件的连接端时,该处因电阻很大而温度上升,当加热至塑性状态时,在轴向压力作用下连接成为一体。

钎焊是使用比工件熔点低的金属材料作钎料,将工件和钎料加热到高于钎料熔点、低于工件熔点的温度,利用液态钎料润湿工件,填充接口间隙并与工件实现原子间的相互扩散,从而实现焊接的方法。

2. 焊接电弧

电弧是一种气体放电现象。如图1-3所示,当两电极之间达到一定的电位差时,电极间的气体便能够导电而形成电弧。电弧其实就是带电粒子通过两电极之间气体空间的一种导电过程。

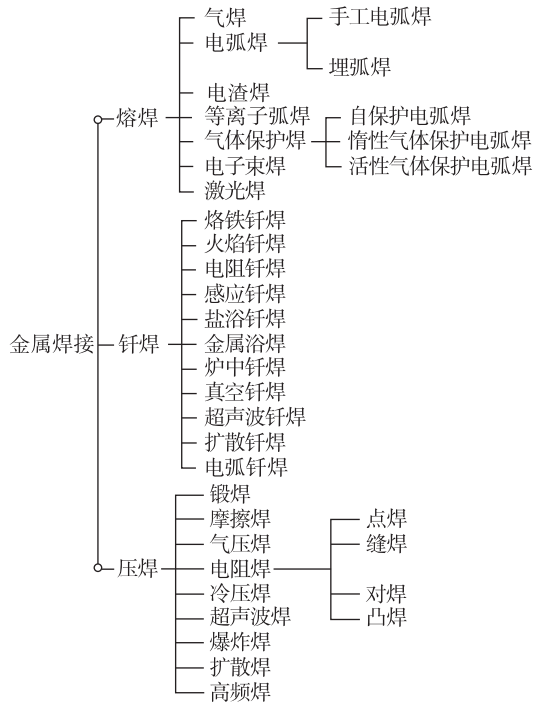


图 1-2 焊接方法的分类

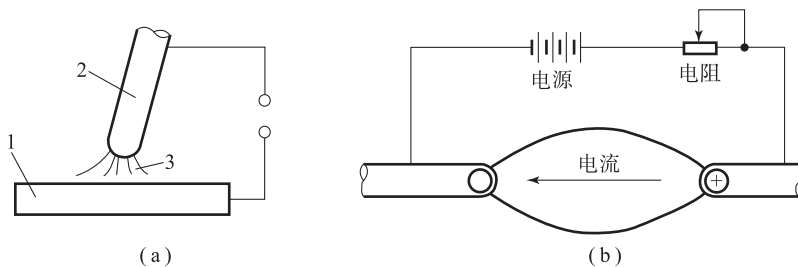


图 1-3 电弧示意图

电弧具有良好的热特性，即它能放出强烈的光，产生大量的热，并且电弧的温度高，热量集中，足以熔化所有金属，因此是一种理想的焊接热源。

焊接电弧可分为3个区域：阴极区、阳极区和弧柱区，如图1-4所示。电弧的热能由3个区域共同产生，但各区域的过程特点不同，所放出的能量及温度的分布也不同。

### 1) 阴极区

电弧中紧靠负极的区域称为阴极区，阴极区很窄，为 $10^{-6} \sim 10^{-5}$  cm。在阴极区的阴极表面有一个明显的光斑点，它是电弧放电时，负极表面上集中发射电子的区域，称为阴极斑点。阴极区的温度一般为 $2\ 130^{\circ}\text{C} \sim 3\ 230^{\circ}\text{C}$ ，放出的热量占总热量的36%左右。

### 2) 阳极区

电弧紧靠正电极的区域称为阳极区。阳极区较阴极区宽，为 $10^{-4} \sim 10^{-3}$  cm。在阳极区的阳极表面也有光亮的光斑点，它是电弧放电时，正电极表面集中接收电子的区域，称为阳极斑点。阴极发射电子时需消耗一定的能量，而阳极不发射电子，因此当两极材料相同时，阳极区温度略高于阴极区。阳极区温度一般为 $2\ 330^{\circ}\text{C} \sim 3\ 930^{\circ}\text{C}$ ，放出的热量占总热量的43%左右。对于交流电弧，因其电源的极性周期性改变，两电极区的温度基本一致。

### 3) 弧柱区

电弧阴极区与阳极区之间的部分称为弧柱区。阴极区和阳极区都很窄，因此弧柱区的长度基本上等于电弧长度。弧柱区的中心温度高达 $5\ 730^{\circ}\text{C} \sim 7\ 730^{\circ}\text{C}$ ，与电极材料无关，主要取决于弧柱区气体介质和焊接电流的大小。焊接电流越大，弧柱区温度越高。弧柱区放出的热量占总热量的21%左右。

电弧两电极之间的电压降称为电弧电压。电弧电压等于阴极区电压降、阳极区电压降和弧柱区电压降之和，而弧柱区电压降与电弧长度成正比，因此电弧越长，弧柱区电压降越大，电弧电压也就越高。

## 二、车身维修常用焊接方法

车身维修焊接方法有多种，如图1-5所示，应根据车身部件的使用要求和汽车制造厂对维修作业的要求，选择合适的焊接方法。车身维修作业中常见的焊接方法有以下几种。

### 1. 手工电弧焊

手工电弧焊（简称手弧焊）是以手工操作的焊条和被焊接工件作为两个电极，利用焊条与焊件之间的电弧热量熔化金属进行焊接的方法。手工电弧焊不仅可以焊接各种碳钢、低合金结构钢、不锈钢、铸铁以及部分高合金钢，还能焊接多种有色金属，如铝、铜、镍及其合金等。手工电弧焊方法的应用范围已涉及67%以上的可焊金属和90%以上的常用金属材料。

在汽车车身修复作业中，手工电弧焊可用于断裂零件的焊接及磨损零件的焊补等。其特点是价格低廉，操作灵活，适应性强，焊接速度快，强度高，零件变形小。但手工电弧焊的生产效率低，焊工劳动条件差；在焊接过程中，要进行清渣、更换焊条等工作，焊接过程不

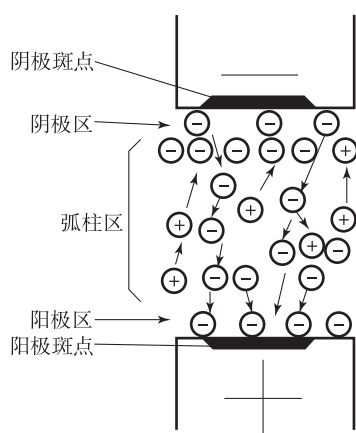


图1-4 焊接电弧的构造

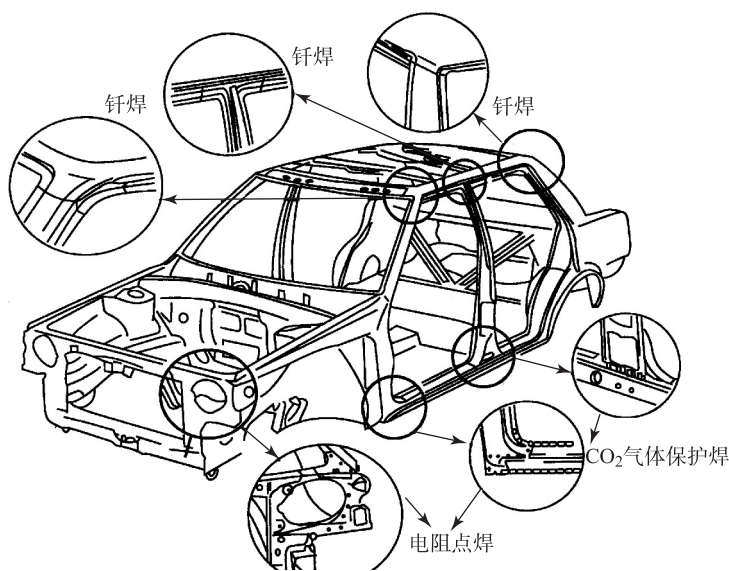


图 1-5 车身维修常用的焊接方法

能连续进行；焊工劳动强度大，受弧光辐射、焊接高温、有害烟尘等影响，劳动保护要求高；焊接质量在一定程度上取决于焊工的实际操作技术水平。

## 2. 气焊

气焊是利用可燃气体与助燃气体混合燃烧后，产生的高温火焰对金属材料进行熔化焊的一种方法。生产中，常常利用乙炔气和氧气混合燃烧产生的热能来焊接较薄的钢件、低熔点材料（有色金属及其合金）、需要预热和缓冷的工具钢及铸铁；火焰钎焊、堆焊以及构件变形的火焰矫正等。在汽车钣金作业中，气焊是最常用的方法之一。

## 3. 气体保护焊

利用气体作为电弧介质并保护电弧和焊接区的电弧焊称为气体保护电弧焊（简称气体保护焊）。气体保护焊通常按照电极是否熔化和保护气体不同，分为非熔化极（钨极）惰性气体保护焊（TIG焊）和熔化极气体保护焊（GMAW）。熔化极气体保护焊包括熔化极惰性气体保护焊（MIG焊）、氧化性混合气体保护焊（MAG焊）、CO<sub>2</sub>气体保护焊和管状焊丝气体保护焊（FCAW）。



惰性气体保护焊原理

（1）熔化极惰性气体保护焊是以连续送进的焊丝作为熔化电极，采用惰性气体作为保护气体的电弧焊方法，简称 MIG（Metal Inertia Gas）焊。在汽车钣金焊接维修作业中，熔化极惰性气体保护焊是最常用的方法之一，它主要应用于一些活性较强金属的焊接，例如不锈钢、耐热合金、铜合金及铝镁合金等。

（2）CO<sub>2</sub> 气体保护电弧焊是利用 CO<sub>2</sub> 作为保护气体的熔化极电弧焊方法，简称 CO<sub>2</sub> 焊。由于 CO<sub>2</sub> 是具有氧化性的活性气体，与惰性气体和以惰性气体为基础的活性混合气体保护电弧焊相比，CO<sub>2</sub> 焊具有成本低、抗氢气孔能力强、适合薄板焊接、易进行全位置焊接等优点，所以广泛应用于低碳钢和低合金钢等黑色金属材料的焊接。对于焊接不锈钢，因焊缝金属有增碳现象，影响抗腐蚀性能，因此使用较少。对容易氧化的有色金属如 Cu、Al、Ti

等，则不能应用 CO<sub>2</sub> 焊。

(3) 钨极惰性气体保护焊 (Tungsten Inert Gas Weiding, TIG 焊)，是以高熔点的纯钨或钨合金作电极，用惰性气体 (氩气、氦气) 或其混合气体作保护气的一种非熔化极电弧焊方法。TIG 焊几乎可以焊接所有的金属及合金。但从经济性及生产率考虑，TIG 焊主要用于焊接不锈钢、高温合金和铝、镁、铜、钛等金属及其合金，以及难熔金属 (如钼、钨、铌) 与异种金属。对于低熔点和易蒸发金属 (如铅、锡、锌等)，焊接较困难。由于受承载能力的限制，TIG 焊一般适宜于焊接薄件，钨极氩弧焊用于焊接厚度小于 6 mm 的构件，钨极氦弧焊的焊接板厚可适当大些。因此非常适合汽车车身板材的焊接，特别是一些有色金属的焊接。

#### 4. 电阻点焊

电阻点焊是在电极压力作用下，通过电阻热来加热熔化金属，断电后在压力下结晶而形成焊点的焊接方法。汽车制造时，车辆各类钢板制件大多使用点焊方式连接。在对汽车车身进行板件更换、挖补等方式修理时，也应使用点焊。



点焊

#### 5. 钎焊

钎焊只能用在车身密封结构处，在焊接过程中只熔化钎料，而不熔化金属板件。钎焊过程中，两块板件在较低温度下结合在一起，所以板件的变形和应力较小。由于板件不易熔，故能够实现异种金属的焊接。钎焊类似于将两个物体粘在一起，接头的强度较差，因此只能对强度要求不高的位置使用钎焊，不可随意使用。

车身维修中，必须采用合适的焊接方法才能维持原有车身上的强度和耐久度。为了达到此要求，我们可遵循以下基本事项：

- (1) 焊接方法优先选择点焊、CO<sub>2</sub> 气体保护焊或惰性气体保护焊 (MIG)。
- (2) 除了汽车制造厂指定要求使用钎焊的部位外，其他部位不推荐使用钎焊。
- (3) 尽量避免使用氧—乙炔焊接。

### 三、焊接成形

#### 1. 焊接坡口

根据设计或工艺需要，在焊件待焊部位加工并装配成的一定几何形状的沟槽，称为坡口。利用机械、火焰或电弧等方法加工坡口的过程称为开坡口。开坡口要根据钢板的厚度来决定，一般板厚超过 3 mm 才需要开坡口，来保证焊缝质量及牢固度。

坡口的形式有很多，其基本形式有 I 形坡口、V 形坡口、X 形坡口和 U 形坡口，如图 1-6 所示。其他类型的坡口可在基本坡口形式上发展起来。

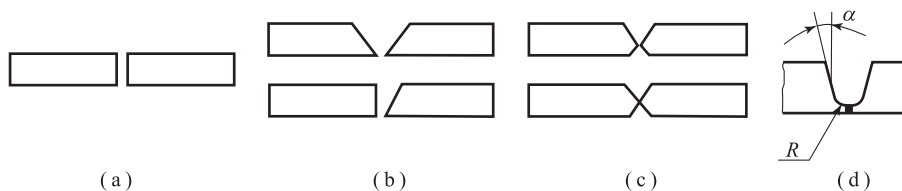


图 1-6 坡口的形式

(a) I 形坡口；(b) V 形坡口；(c) X 形坡口；(d) U 形坡口

### 2. 焊接接头

用各种焊接方法连接的接头叫焊接接头，如图 1-7 所示。焊接接头由三部分组成：焊缝、熔合区和热影响区。

焊缝是工件经焊接后形成的结合部分，通常由熔化的母材和焊材组成。

热影响区是焊接过程中未熔化，但因受焊接热量影响而发生组织和力学性能变化的区域。

熔合区介于焊缝与热影响区之间，是焊缝与母材的交接过渡，它是刚好加热到熔点与凝固温度区间，处于半熔化状的部分。

由于焊件厚度、结构形状以及使用条件和质量要求不同，其接头形式也不相同。焊接接头的形式很多，其基本形式可分为四种：对接接头、T形接头、角接头和搭接接头，如图 1-8 所示。其他类型的接头有十字接头、端接头、斜对接接头、卷边接头、套管接头和锁底对接接头等。

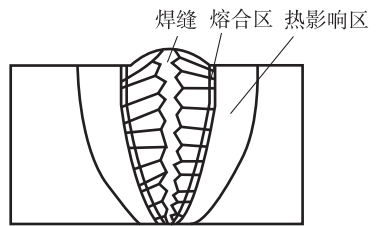


图 1-7 焊接接头示意图

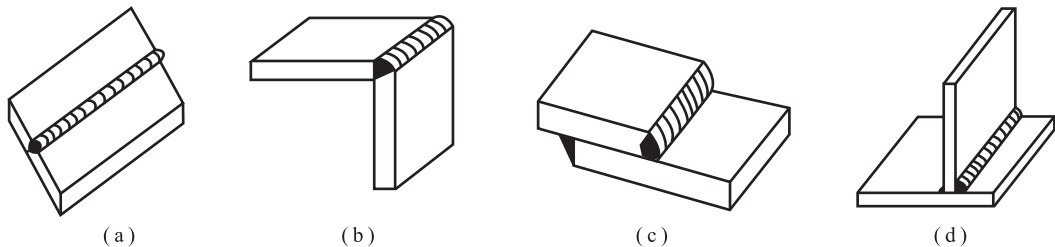


图 1-8 焊接接头的基本形式

(a) 对接接头；(b) 角接头；(c) 搭接接头；(d) T形接头

(1) 对接接头。两焊件表面构成大于或等于  $135^\circ$ ，且小于或等于  $180^\circ$  夹角的接头称为对接接头，它是各种焊接结构中采用最多的一种接头形式。对接接头的应力集中相对较小，能承受较大载荷。

(2) 角接头。两焊件表面间构成大于  $30^\circ$ ，且小于  $135^\circ$  夹角的接头称为角接头。这种接头承载能力很差，一般用于不重要的焊接结构或箱形物体上。

(3) 搭接接头。两焊件部分重叠放置构成的接头称为搭接接头。搭接接头应力分布不均匀，承载能力较低，但是由于搭接接头焊前准备和装配工作简单，焊后横向收缩量也较小，因此在焊接结构中仍得到应用。

(4) T形接头。一焊件的端面与另一焊件表面构成直角或近似直角的接头称为 T 形接头。T 形接头承载能力低，应力分布不均匀，但它能承受各种方向的力和力矩，在生产中应用也很普遍。

### 3. 焊缝

#### 1) 焊缝的形成过程

电弧焊中，母材金属和焊丝金属受电弧热作用被熔化。随着电弧的前移，处于电弧正下方的母材依次被加热、熔化，此时，焊丝端头形成的熔滴在电弧力、重力等作用下进入熔化的母材，共同形成具有一定形状和尺寸的熔池，如图 1-9 所示。



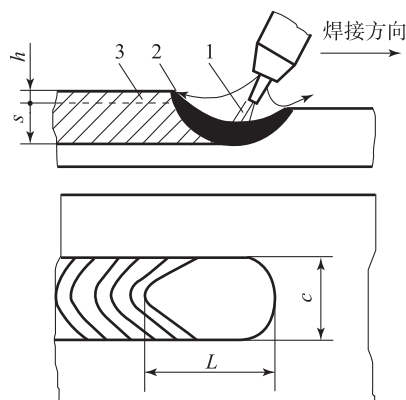


图 1-9 熔池形状示意图

1—电弧；2—熔池金属；3—已凝固的焊缝金属；s—熔池深度；c—熔池宽度；L—熔池长度；h—余高

由于熔池中各部分与电弧热源中心距离不同及周围散热条件不同等，使熔池的温度分布不均匀，如图 1-10 所示。熔池各区域温度分布不均匀决定了熔池的凝固有先后之分。处于电弧正下方（称为头部）的部位温度高，而离电弧稍远部位（称为尾部）的温度低。电弧不断移动，电弧正下方的母材不断被熔化，与填充金属共同构成熔池金属。熔池随电弧的移动不断前移，熔池尾部因远离电弧热源，输入热量少于散失热量，温度下降，先后结晶形成焊缝，直到焊接过程结束。

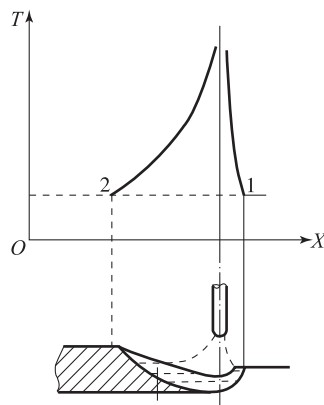


图 1-10 熔池内沿焊缝纵向轴线上的温度分布示意图

1—熔池头部；2—熔池尾部

## 2) 焊缝的类型

通常情况下，焊缝是以所在空间位置、结合形式和焊缝连续情况进行分类的。

根据焊缝所在空间位置的不同，焊缝可分为平焊缝、横焊缝、立焊缝和仰焊缝四种形式，如图 1-11 所示。对相应空间位置的焊缝的焊接分别称为平焊、横焊、立焊、仰焊。

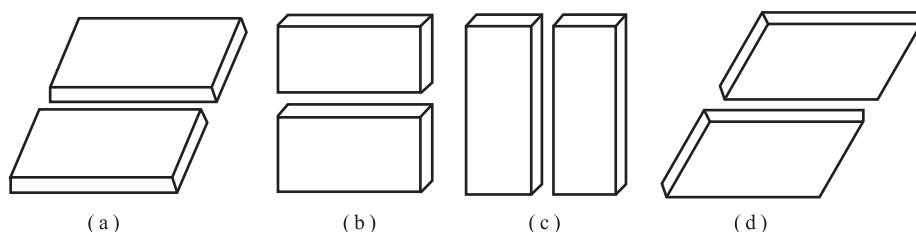


图 1-11 焊缝的空间位置

(a) 平焊缝；(b) 横焊缝；(c) 立焊缝；(d) 仰焊缝

根据结合形式的不同，焊缝主要分为对接焊缝和角接焊缝，另外还有塞焊缝和端接焊缝。对接焊缝各部分的名称如图 1-12 所示，角接焊缝各部分的名称如图 1-13 所示。



连续焊