

汽车 机器人焊接工程

卢本 卢立楷 编著

汽车机器人焊接工程

卢 本 卢立楷 编著



机械工业出版社

本书以图文并茂的形式，详尽阐述了焊接机器人的结构类型、控制系统构成以及在汽车车身焊装与汽车零部件制造中的应用。全书共分 8 章，各章内容如下：

第 1 章汽车制造工程焊接机器人应用概述。第 2 章焊接机器人的类型。第 3 章焊接机器人的运动控制系统。第 4 章机器人焊接工程中的焊接电源系统。第 5 章汽车制造焊装夹具。第 6 章车身焊装线的构成和应用技术。第 7 章汽车车身与典型零部件的焊接工艺。第 8 章激光热加工在汽车工程中的应用。

本书可作为高等院校、高等职业院校的汽车制造、机械制造与自动控制、材料热加工与自动化（特别是焊接加工及自动化）等专业的教学参考书，也可作为汽车整车与零部件制造企业的相关技师培训教材。

图书在版编目（CIP）数据

汽车机器人焊接工程/卢本，卢立楷编著. —北京：机械工业出版社，2005.11

ISBN 7-111-17834-3

I. 汽... II. ①卢... ②卢... III. 焊接机器人—应用—汽车—车辆制造 IV. U466

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2005）第 129209 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：吕德齐 责任印制：洪汉军

北京瑞德印刷有限公司印刷

2006 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16 · 13.25 印张 · 315 千字

0 001—4 000 册

定价：26.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

本社购书热线电话（010）68326294

封面无防伪标均为盗版

作者简介

卢本男（1942.1），辽宁沈阳人。1965年毕业于沈阳工业大学焊接工艺与设备专业（大本5年）。现任华中科技大学副教授。

长期从事电弧焊、电阻焊、激光焊接与切割、焊接机器人等自动化设备方向的教学与科研工作。

主要成果有：“二汽东风载重汽车百叶窗多点焊生产线计算机控制系统”（1987年获湖北省计算机应用优秀成果三等奖）。

“济南轻骑幅板式摩托车轮生产线点焊、TIG自动焊计算机控制系统”（1995年）。

“海南新大洲幅板式摩托车轮自动TIG焊计算机控制系统”（1998年）。

“高频激励激光电源”（1999年）。

“宽板连轧线大型电阻闪光对焊机关键技术研究”（2003年）（2004年由武汉凯奇特种焊公司制成商品化设备）。

有专著四本：主编《焊接自动化基础》（1986年原华中工学院出版社）。

合编《电焊机设计基础》（1987年原华中工学院出版社）。

主编《检测与控制工程基础》（2001年机械工业出版社）。

主编 国家“十五”规划教材《材料成形过程的测量与控制》（2005年机械工业出版社）。

发表科研论文20余篇。

前 言

汽车制造业是一个国家工业化程度的重要标志，汽车制造业的发展对中国经济有着重大影响。它不仅直接拉动上下相关产业的发展，而其产生的周边效应更是非常可观。

中国汽车制造业走过了 50 年的历程，已经初步形成了产品开发、工业制造、商贸流通、综合服务相结合的经济支柱产业。国内汽车市场已经上升为世界第三位，而近十年来，中国的汽车制造业则一直保持高速增长。

从我国汽车工业和汽车市场发展的态势上看，货车、客车、轿车等都是众多品牌并存。节能和环保也是可持续发展必须要面对的重大问题。因此，无论从中国还是世界范围内的汽车产业发展战略来看，新型燃料汽车、新型动力汽车、节能汽车和低排放汽车是促进汽车工业发展的重点。

在汽车零部件方面，国内汽车零部件制造已经形成一定规模，国产乘用车平均 70% 的零部件是由国内零部件企业提供的。一些零部件生产企业已进入跨国公司零部件全球采购体系。现在国内比较有名的汽车零部件制造厂商就有 300 多家。

专家认为，与西方国家比较，中国的汽车保有量远远没有达到像美国、英国、德国那样的饱和状态。中国汽车制造业至少还有 20 年的高速增长期。

随着汽车制造业的发展，国内汽车车身焊装生产线也在逐渐向全自动化方向发展。众所周知，实现自动化的前提是车身部件的制造精度高，希望焊接变形最小，焊接部位外观要工整美观，故对焊接技术的要求越来越高。其中，最重要的就是对汽车车身与部件的机器人焊接工程提出必须采用高、新技术的要求。焊接机器人技术给汽车制造业大批量、高效率、高质量流水线生产提供了有力保障。

面临加入 WTO 的机遇和挑战，汽车制造业中的焊接新技术的推广应用也对汽车品牌提升起着极其重要的作用，其中激光焊接技术在汽车车身焊装与汽车零部件焊装生产线上将会普遍推广应用。

纵观整个汽车制造业的焊接现状，不难看出汽车制造业中的焊接技术发展趋势为：发展焊接机器人自动化柔性生产系统。系统中，一般多采用 6 自由度的焊接机器人，且焊接机器人具有焊钳储存库，还可根据焊装部位的不同要求或焊装产品的变更，自动从储存库抓换所需焊钳。类似的适应我国民族汽车工业迅速发展的需要，坚持自主技术创新，大力发展高效节能的焊接新材料、新工艺和新设备，发展轻便灵巧的智能设备，建立高效经济的焊接自动化系统，并用计算机及信息技术改造传统汽车制造业都是今后的开发课题。

基于上述国内汽车制造业的状况，本书以图文并茂的形式，详尽阐述了汽车机器人焊接工程中，以下几个重要应用技术问题：

- 1) 国内外汽车车身机器人焊装线的应用概况。
- 2) 汽车车身焊装柔性线的构成与车身焊装柔性线的设计、使用与维护问题。
- 3) 焊接机器人的结构类型，重点阐述点焊与弧焊机器人结构与控制系统构成、离线与

在线编程方式、3D 动画模拟技术及其在汽车车身焊装与汽车零部件制造中的应用。

4) 机器人焊装系统中的焊装夹具。

5) 汽车车身焊装与典型汽车零部件制造中的焊接工艺。

6) 激光焊接与切割新技术在汽车车身焊装与汽车零部件制造中的应用。

本书的第 1~6 章由华中科技大学卢本编写, 第 7、8 章由武汉凯奇(特种焊接设备)公司卢立楷编写; 全书 3D 作图与英文资料的翻译工作由华工科技电力公司卢璋完成。

本书可作为普通高等院校与高等职业院校的汽车制造、机械制造与自动控制、材料热加工与自动化, 特别是焊接加工及自动化等专业的教学参考书, 也可供汽车整车与零部件制造企业广大工程技术人员的培训教材。

由于国内可借鉴的文献资料不多, 编者水平有限, 书中错误之处还望读者不吝指正。

编 者

2005 年 10 月 武汉

目 录

前言

第 1 章 汽车制造工程焊接

机器人应用概述1

- 1.1 汽车车身焊装工程1
- 1.2 汽车车身焊装线的构成类型6
- 1.3 国内汽车车身制造
焊接机器人应用概况10
 - 1.3.1 “东风”集团10
 - 1.3.2 上海大众11
 - 1.3.3 上海通用汽车有限公司11
 - 1.3.4 上海奇瑞股份有限公司12
 - 1.3.5 长安汽车股份公司12
 - 1.3.6 广州本田汽车股份公司13
 - 1.3.7 中国一汽集团13
 - 1.3.8 南京金城机械有限公司14
 - 1.3.9 海南新大洲摩托车有限公司14
 - 1.3.10 “哈飞”有限公司14
- 1.4 国外汽车车身制造焊接
机器人的应用概况15
- 1.5 焊接机器人在汽车零部件
制造业中的应用21

第 2 章 焊接机器人的类型29

- 2.1 工业机器人29
 - 2.1.1 工业机器人的定义29
 - 2.1.2 工业机器人的类型30
 - 2.1.3 工业机器人的结构31
- 2.2 焊接机器人的类型33
- 2.3 点焊机器人的焊钳类型和应用35
 - 2.3.1 一体式焊钳及其应用36
 - 2.3.2 伺服型焊钳41
 - 2.3.3 点焊机器人的换钳
技术及应用43

2.4 弧焊机器人的焊枪与送丝系统44

第 3 章 焊接机器人的运动控制系统47

- 3.1 焊接机器人运动轴的构成48
- 3.2 焊接机器人运动控制系统的组成50
- 3.3 焊接机器人的轴伺服控制系统52
 - 3.3.1 轴伺服控制系统的结构52
 - 3.3.2 对机器人电动机伺服
系统的要求53
 - 3.3.3 机器人伺服电动机的类型54
 - 3.3.4 机器人伺服电机驱动
电路概述57
- 3.4 机器人运动控制系统软件61
 - 3.4.1 机器人运动控制系统
软件的特点61
 - 3.4.2 工业机器人运动控制
程序的编制方式61
 - 3.4.3 示教盒63
- 3.5 机器人运动的 3D (三维)
动画模拟及应用64
- 3.6 机器人外部滑动轴的控制64

第 4 章 机器人焊接工程中的 焊接电源系统66

- 4.1 电阻焊电源主电路的
类型与应用特点67
 - 4.1.1 工频 (50Hz) 晶闸管相
控调压电源68
 - 4.1.2 二次整流电源主电路75
 - 4.1.3 电阻焊用逆变电源76
 - 4.1.4 电容储能电阻焊用电源79
- 4.2 电阻焊的控制系统82
 - 4.2.1 电阻焊控制系统概述82

4.2.2 电阻焊设备的电极加压 系统与控制.....	83	7.1.3 焊点失效分析.....	151
4.2.3 焊接电流控制系统.....	85	7.2 车身部件的多点焊设备 结构焊接工艺要点.....	153
4.3 机器人焊接工程的弧焊电源.....	92	7.3 铝合金车身部件的激光焊接.....	156
4.3.1 焊接机器人工程对弧焊 电源工艺性能要求.....	93	7.4 汽车铝合金类工件的 电弧焊接工艺要点.....	158
4.3.2 焊接机器人工程的逆变 弧焊电源.....	96	7.5 等离子 (PLASMA) 弧焊接 与切割设备选用要点.....	163
第 5 章 汽车制造焊装夹具.....	98	7.6 CO ₂ 弧焊设备选用要点.....	164
5.1 翻转支架型焊装夹具.....	99	7.7 典型汽车零部件焊接 设备、工艺要点.....	165
5.2 旋转“车床”型焊装夹具.....	101	7.7.1 钢制车轮 (图 7-56) 轮圈 焊接设备选用要点.....	165
5.3 多立柱支撑装夹型焊装夹具.....	102	7.7.2 铝合金车轮轮圈焊接 设备选用要点.....	167
5.4 立体框架多点装夹型焊装夹具.....	106	7.7.3 汽车燃油箱缝焊设备与 工艺要点.....	168
5.5 焊接变位机.....	110	7.7.4 冲压件组装汽车车桥缝 焊设备与工艺要点.....	170
第 6 章 车身焊装线的构成和 应用技术.....	113	7.7.5 汽车传动轴旋转电 弧焊专用设备.....	171
6.1 汽车白车身的结构与焊装线.....	113	第 8 章 激光热加工在汽车 工程中的应用.....	173
6.1.1 汽车白车身的结构.....	113	8.1 激光原理.....	173
6.1.2 汽车车身结构钢板料 冲压件生产线.....	115	8.1.1 光的激励辐射.....	173
6.1.3 白车身机器人焊装 生产线的构成.....	116	8.1.2 光的吸收.....	174
6.2 车身焊装线计算机控制 系统的结构.....	127	8.1.3 激光器与激光.....	175
6.2.1 工位控制系统的结构.....	127	8.2 激光热加工常用激光器的类型.....	182
6.2.2 工位主机——可编程序 控制器 (PLC).....	130	8.2.1 CO ₂ 激光器.....	182
6.2.3 车身车间管理级计算机 系统的结构与功能.....	133	8.2.2 YAG 激光器.....	185
6.3 车身焊装线几个应用技术问题.....	136	8.3 激光热加工在汽车工业中的应用.....	187
第 7 章 汽车车身与典型零部件的 焊接工艺.....	147	8.3.1 激光切割.....	187
7.1 汽车车身钢板点焊工艺要点.....	147	8.3.2 激光焊接.....	190
7.1.1 普通碳钢板点焊的 主要工艺参数.....	147	8.3.3 激光表面处理.....	198
7.1.2 点焊的电极.....	148	8.3.4 激光打标.....	200
		参考文献.....	202

第 1 章 汽车制造工程焊接机器人应用概述

1.1 汽车车身焊装工程

汽车车身焊装 (automobile body welding assembly) 工程是汽车整车制造中的重要工程之一。汽车车身, 特别是轿车车身制造一直是高新技术应用相对集中的场合。其主要特征是: 由大量焊接机器人 (welding robots) 和计算机控制的自动化焊装设备构成汽车车身焊装生产线 (welding assembly lines)。

虽然国内汽车车身焊接机器人焊装线的建立晚于国外 15 年左右, 但开发速度快、技术起点高。近年来, 国内的大型轿车车身制造厂几乎都采用了焊接机器人车身焊装线, 而且其中几家体现了世界先进水平。

1. 汽车车身结构

包括底板 (platform)、侧围、车门 (doors) 等部装件 (body Parts) 及白车身 (body in white) 总成 (assembly)、车架 (frame) 等, 如图 1-1、图 1-2、图 1-3、图 1-4 所示。

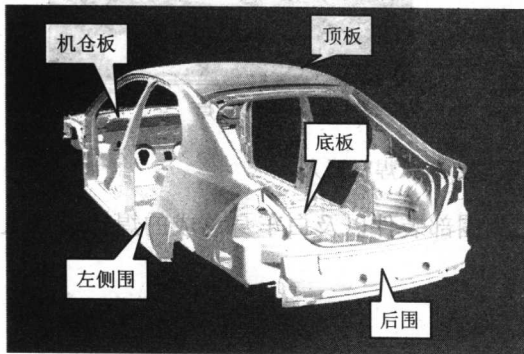


图 1-1 MONDEO 轿车的白车身总成

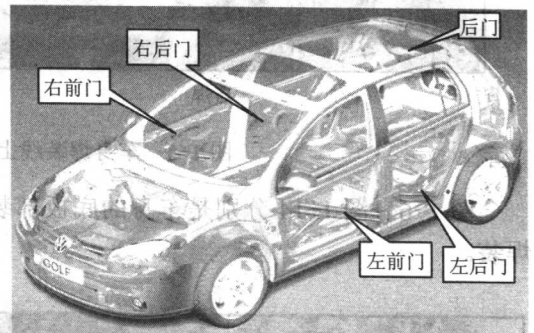


图 1-2 GOLF 轿车的白车身总成

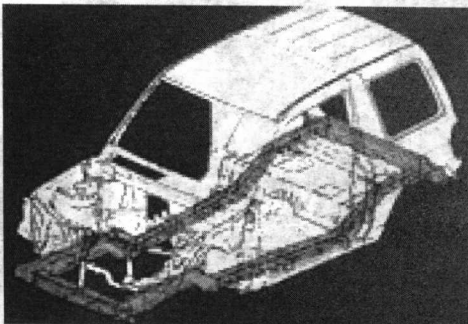


图 1-3 车身的副车架

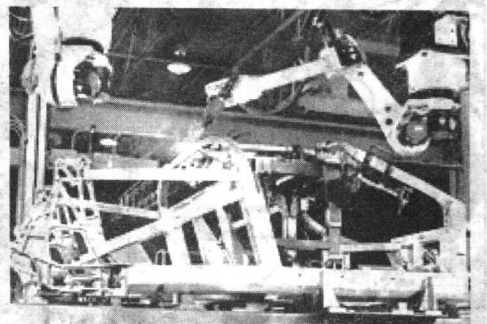


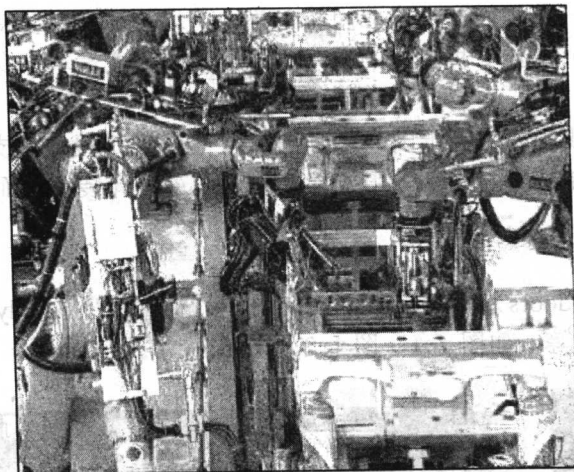
图 1-4 FORD 跑车车身的铝合金车架

注: 图中显示采用了 MIG 弧焊机器人

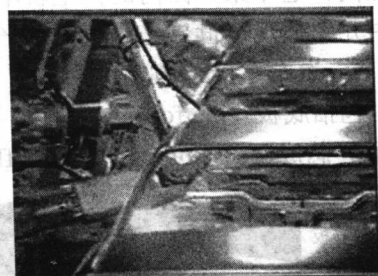
2. 汽车车身焊装

汽车车身焊装是指对各个部零件及白车身总成进行以焊接工艺为主，并采用现代自动化焊接装备进行焊接、拼装。其中，电阻点焊工艺、CO₂气体保护电弧焊是主要工艺方法；还辅以 TIG 焊、MIG 焊、MAGW 焊等电弧焊工艺以及包括现代开发的激光焊接与切割工艺等。

而采用的现代自动化焊接装备，主要是指完成电阻点焊、CO₂气体保护电弧焊的工业机器人，即点焊机器人 (spot welding robots) 与 CO₂气体保护弧焊机器人 (CO₂ gas shielded arc welding robots) (图 1-5)。



点焊



CO₂弧焊

图 1-5 车身焊装线上的点焊与 CO₂ 弧焊机器人

图 1-6~图 1-14 分别是车身的底板部零件、侧围部零件以及白车身总成的焊接机器人焊装。

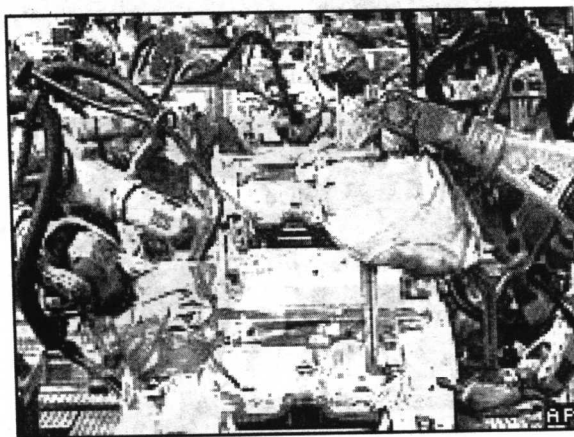


图 1-6 车身地板的点焊机器人拼装 (“东风”集团)

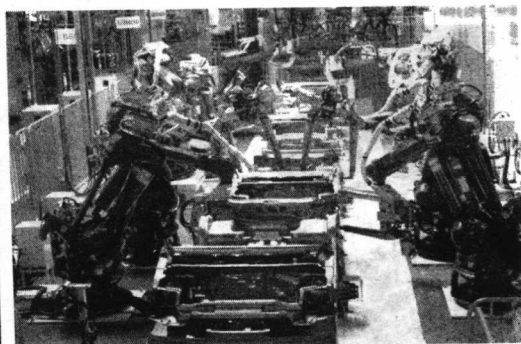


图 1-7 地板(盘)的点焊机器人拼装 (“哈航”)

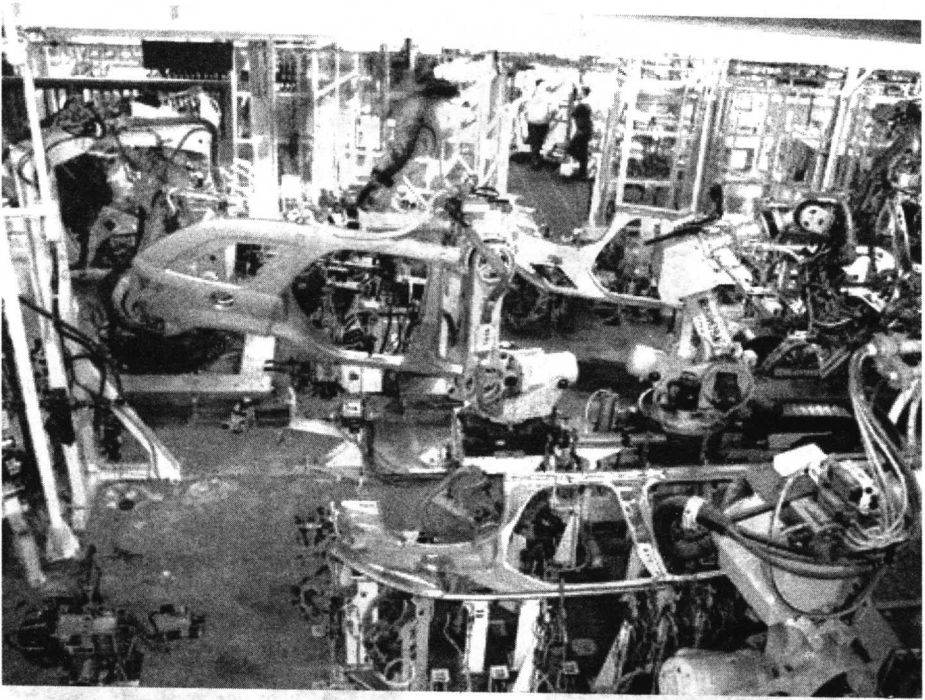


图 1-8 侧围的焊接机器人工位（美国 GM）

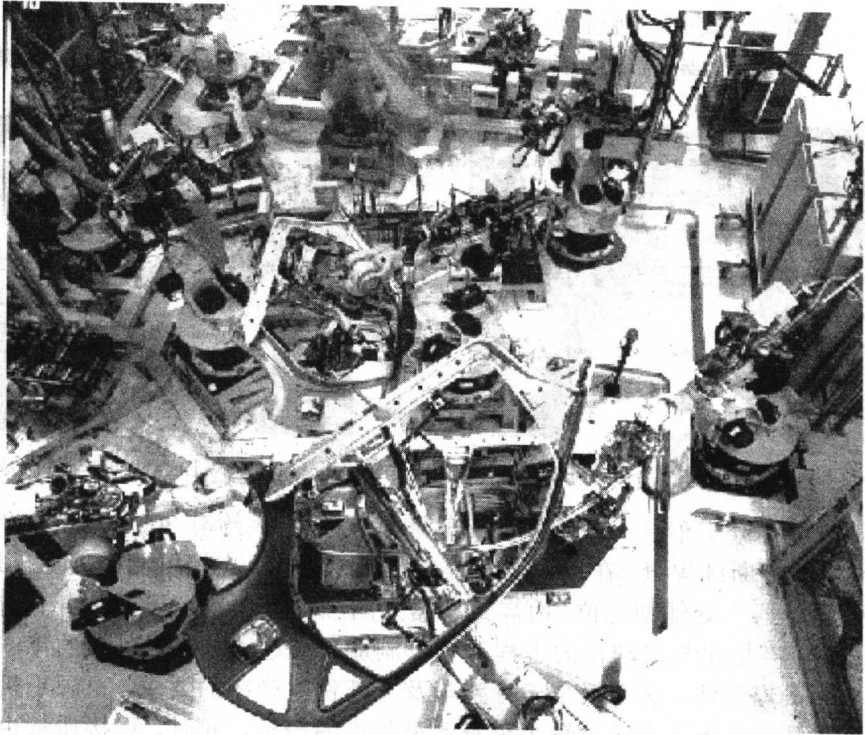


图 1-9 侧围的焊接机器人工位（德国 BMW）

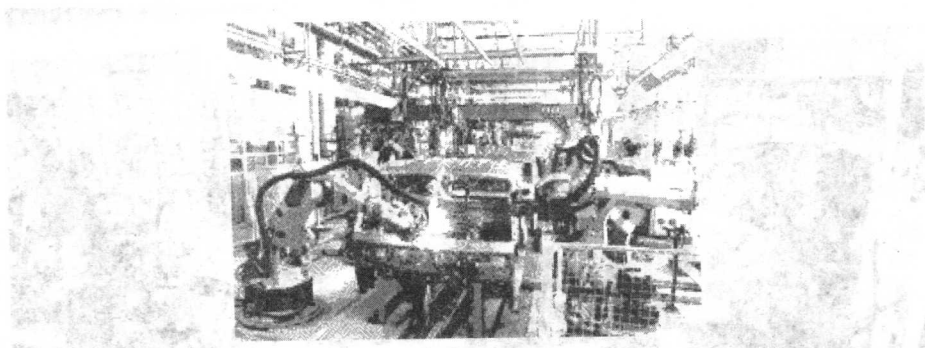


图 1-10 “东风”平头 5t 驾驶室总成的 KUKA 弧焊机器人焊装线 (“东风”十堰车身厂)

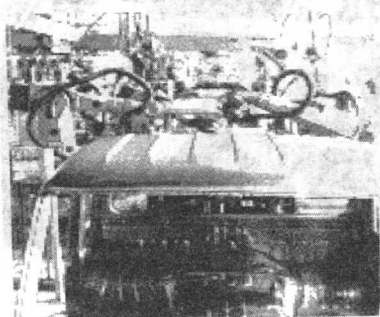


图 1-11 载重车驾驶室的
机器人焊接

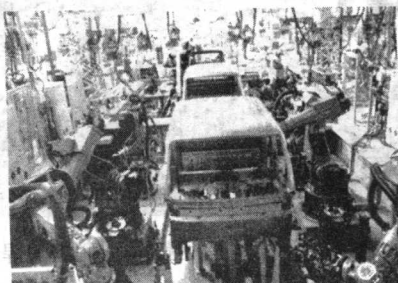


图 1-12 “东风”1.5t 轻型货车驾驶室
总成的机器人焊装 (“东风”襄樊厂)

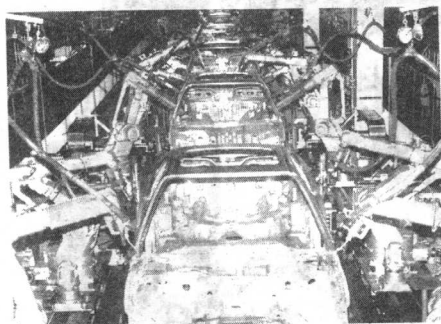


图 1-13 日本 HONDA 轿车车身总成焊装线

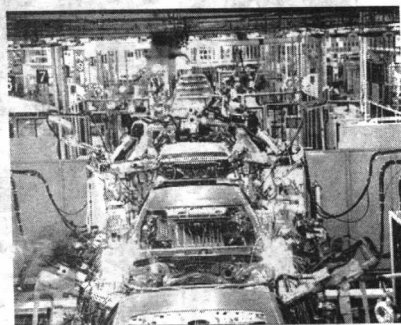


图 1-14 日本 LEXUS 的车身总成焊装线

据统计, 每辆汽车车身(车身总成及车身部装件), 大约有 3000~4000 个电阻点焊点和 3m 以上的断续焊缝。在汽车车身焊装工艺中, 电阻点焊机器人处主导地位, CO₂ 气体保护弧焊机器人处辅助地位, 而焊接机器人的应用则加速实现了车身制造的柔性化 (Flexibility)、产量化与自动化的进程。车身制造厂要达 20 万辆以上的年产量, 几乎都须采用机器人焊装线。这不仅是车身整车及零部件生产率的要求, 更源于机器人焊装生产线具有柔性, 适应了市场对轿车车身改型生产的需求, 同时, 焊接质量也得到了保证。

图 1-15 和图 1-16 为车身总成焊装线。

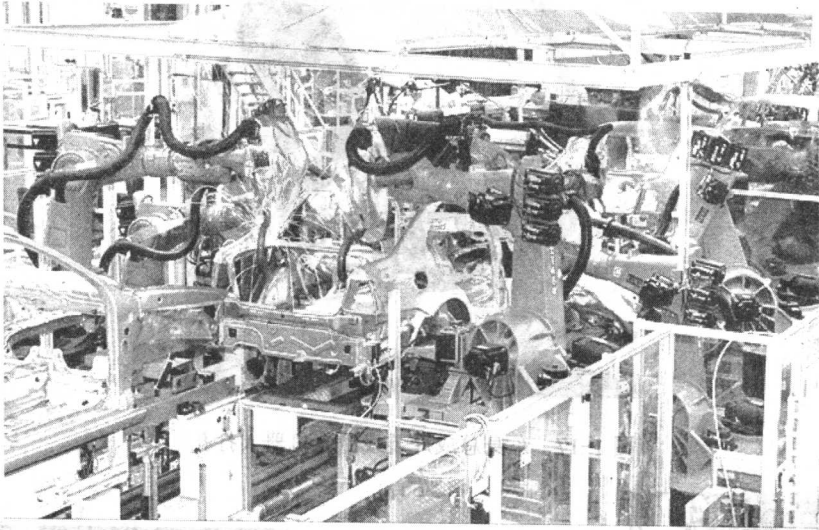


图 1-15 德国 VW (大众) 的 BORA 车身总成焊装线

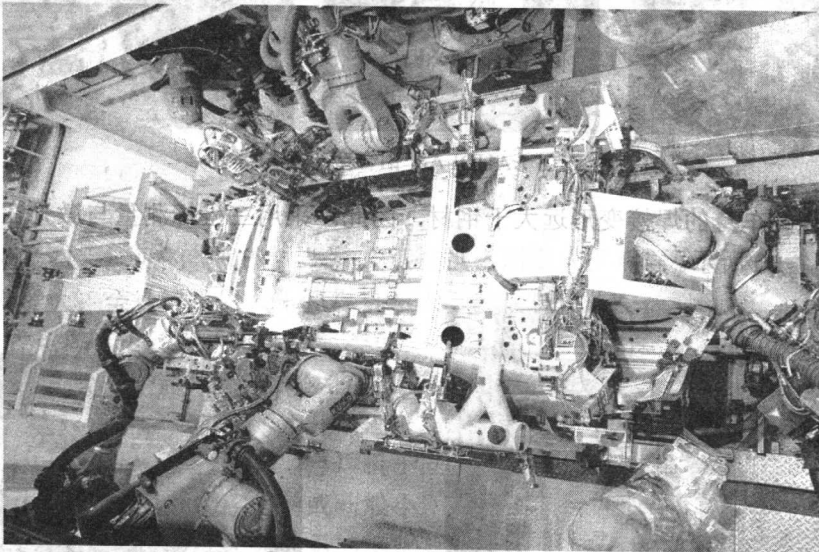


图 1-16 德国 BMW (英国牛津) 的车身总成焊装线

高新科技成果中的新工艺、新材料，都是首先在汽车制造业中被积极试用，一旦见成效便迅速推广，例如：激光熔焊、激光钎焊、激光切割、激光表面改性等激光热加工工艺已在汽车车身焊装和汽车零部件制造中成功应用，相应的机器人化的自动化装备亦随之大量跟进开发应用；而铝合金材料、敷层钢板（主要为镀锌、镀铅板）及细晶粒高强度钢板已经进入技术成熟的推广应用阶段。图 1-17 为车身总成焊装线激光机器人打孔。

图 1-18 中的 AUDI A8 是铝合金车身。AUDI、BMW 公司都已将 TIG、MAGW、YAG 激光等机器人焊接技术成功应用于铝合金车身焊装。

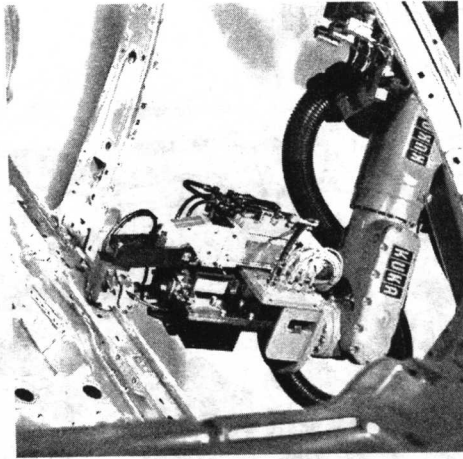


图 1-17 车身总成焊装线激光机器人打孔

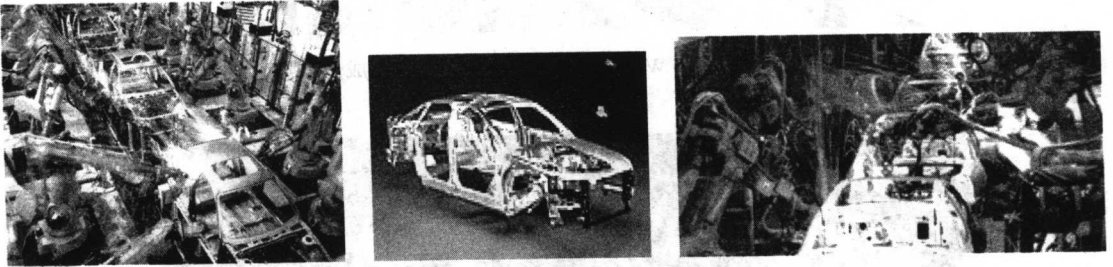


图 1-18 AUDI A8 铝合金车身与焊装

由于铝合金车身的焊接变形远大于钢材，因此，采用三坐标测量与激光在线测量，如图 1-19、图 1-20 所示。

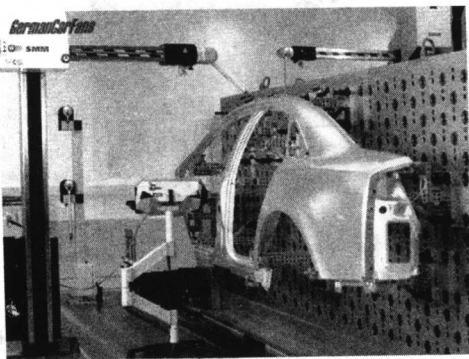


图 1-19 AUDI A8 铝合金车身变形测量

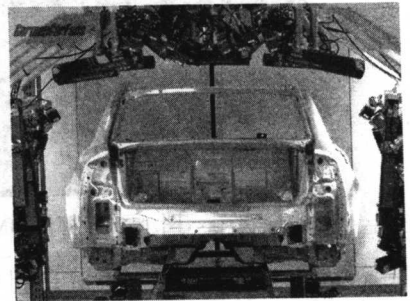


图 1-20 铝车身焊后变形量的激光三维测量

1.2 汽车车身焊装线的构成类型

一个汽车车身厂焊装线的技术水平、生产率的高低主要是看其焊装线上使用的主要点

焊设备的构成类型。常见的类型有：悬挂式点焊机+固定式多点焊机；悬挂式点焊机+局部工位点焊机器人；全点焊机器人+弧焊机器人三种类型。

1. 悬挂式点焊机+固定式多点焊机类型

在这种类型的车身焊装线上，80%的点焊机为悬挂式点焊机（见图 1-21、图 1-22），其次，有几台（套）固定式多点焊机（见图 1-23、图 1-24）并辅以若干台固定座式单点焊机（图 1-25）。采用传统的悬挂式单点焊机+固定式多点焊机的车身焊装线的主要优点是成线投资少，因此多为大厂建厂初期或一般小厂采用。其最大缺点是：车身焊装基本是人工作业，劳动强度大，质量受人为因素的干扰。

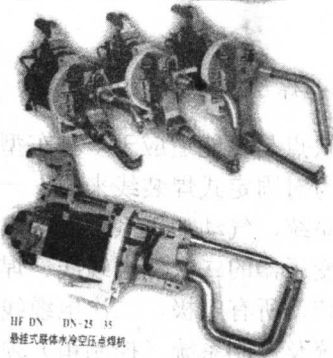


图 1-21 悬挂式（一体结构）点焊机

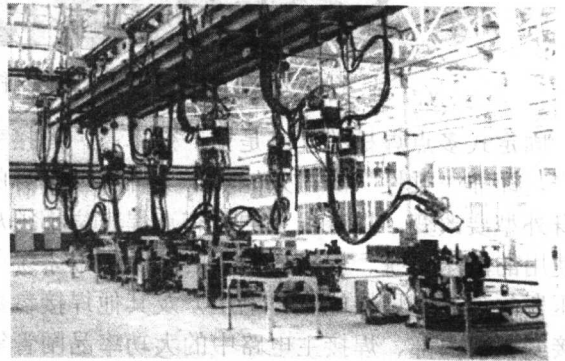


图 1-22 悬挂式（分体结构）点焊机

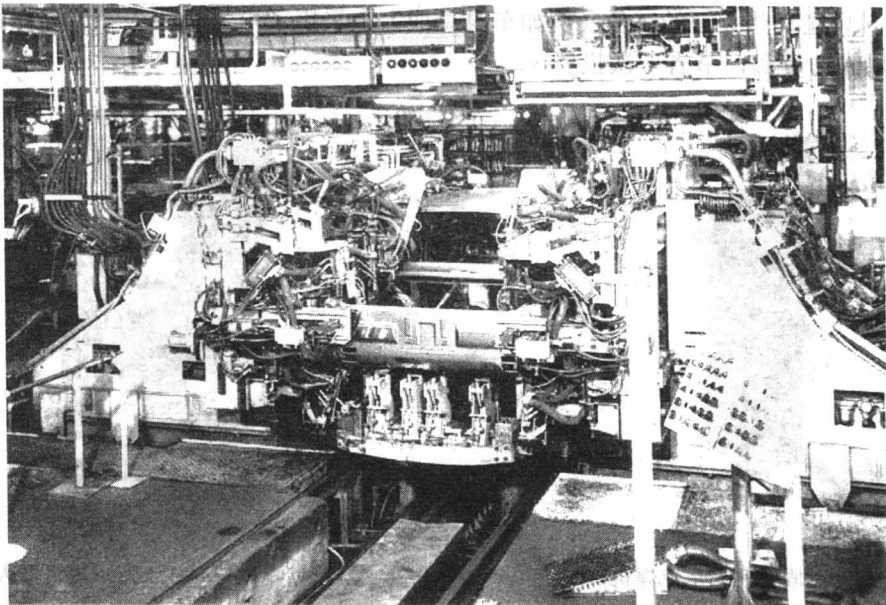


图 1-23 HONDA 曾使用的一种用于车身总成合并焊的固定式多点焊专机



图 1-24 一种用于车身右侧围拼焊的固定式多点焊机

固定式多点焊机的优点是生产效率高，焊接变形小。其缺点是不能适应于多种车型的生产，即非“柔性”的，只能用于一种车型车身的制造；因为对固定式焊装线来说，一旦车身外型要改变，焊装线上的所有点焊工位都须从电极加压系统、气动加压系统、多点焊机使用的液压系统、焊接变压器的二次供电系统（包括焊接变压器的二次侧电缆线、焊接变压器的二次侧焊接电流与电压）及其他焊接参数的测量系统、所有电极、二次电缆线、焊接变压器内部、焊接主电路中的大功率晶闸管等的冷却系统及控制系统（控制箱）须全盘变动，这实际上是很困难的。

2. 悬挂式点焊机+局部工位点焊机器人类型

如图 1-26 所示，在这种类型的车身焊装线上，大部分的点焊机仍为悬挂式点焊机（见图 1-22），只在某些关键的工位（例如车身总成）上采用了点焊机器人。这样做的目的是想充分利用人力资源，节省一次投资。

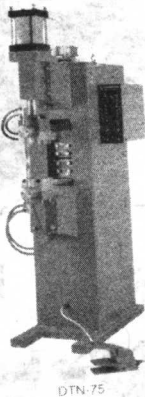


图 1-25 固定座式单点焊机

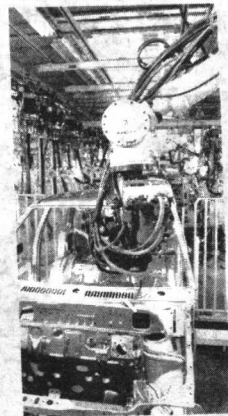


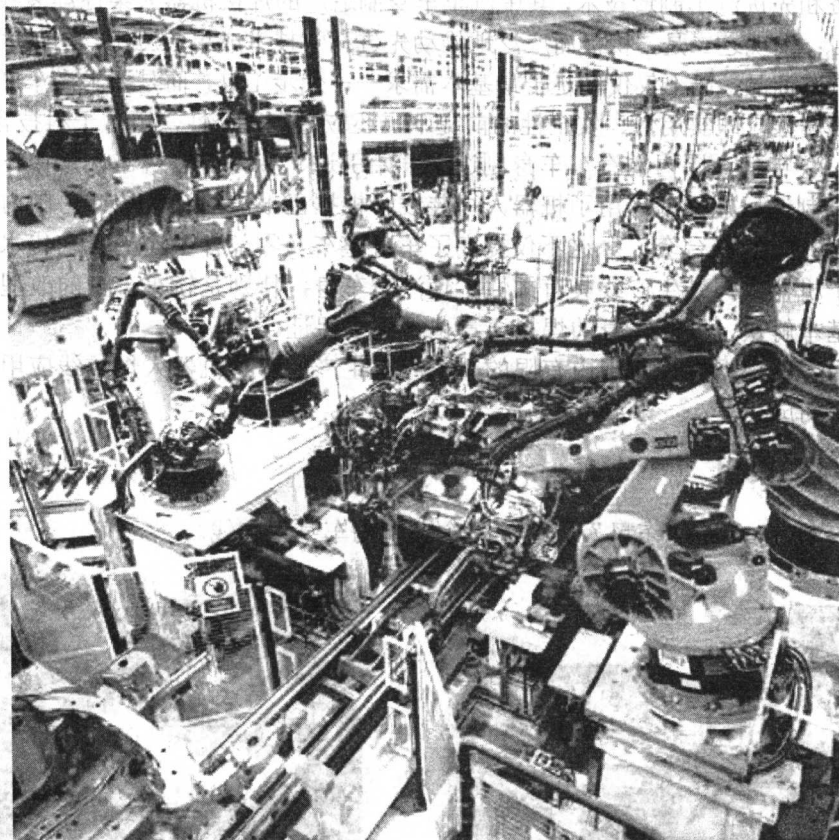
图 1-26 悬挂点焊机与局部工位点焊机器人混合线

3. 全点焊机器人+弧焊机器人类型

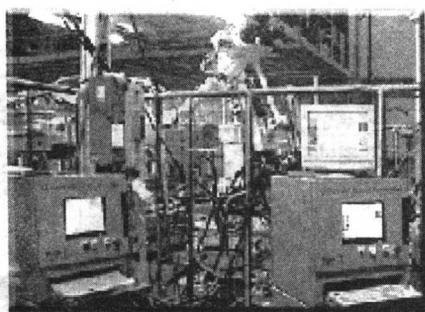
整个车间全部由点焊机器人、弧焊机器人还有专门负责上下物料的搬运机器人以及各

种传送链、自动焊装夹具组合成无人、全自动车身车间，实现了车身装焊的全线“柔性化”，如图 1-27 所示。

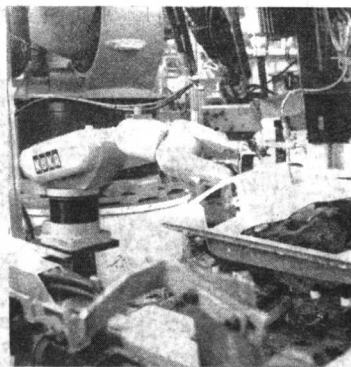
生产方式则为多品种、大批量混流生产方式。完全适应了现代大规模、多品种、大批量的生产要求，降低了成本，可有力地支撑本公司生产的汽车参与市场竞争。国外年产 30 万辆以上的车身制造厂都采用这种模式。



a)



b)



c)

图 1-27 全点焊机器人车身柔性生产线