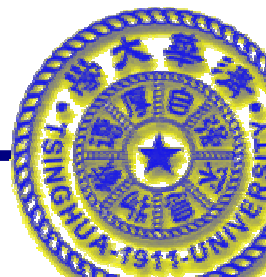


第四章 金属连接成形

任课教师：都东教授

本课程“金属连接成形”部分 (限于课时要求) 在概要阐述焊接技术特点和范畴的基础上，主要介绍工业中应用最为广泛的金属连接方法——电弧焊接。

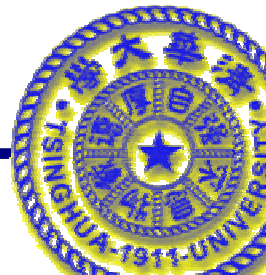


教材之外的参考书

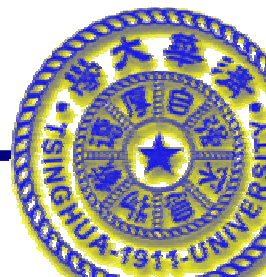
 潘际銮主编. 焊接手册, 第一卷. 北京: 机械工业出版社, 1992

 姜焕中主编. 焊接方法及设备, 第一分册. 北京: 机械工业出版社, 1981

 *Houldcraft P T. Welding Process Technology. London: Combridgy University Press, 1977*



问题：金属连接方法有哪几类？



金属连接方法

- 借助于螺栓或铆钉的机械连接法

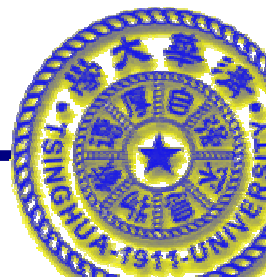
Mechanical joining

- 粘接法

Adhesive bonding

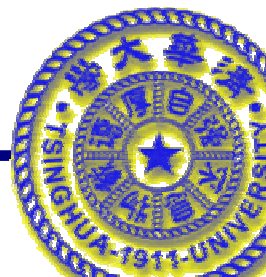
- 焊接法

Welding , brazing and soldering

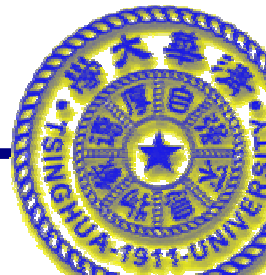




何谓“焊接”？



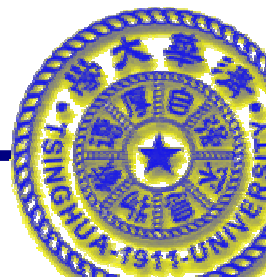
- 焊接——指通过适当的物理化学过程使两个分离的固态物体产生原子（分子）间结合而连接成一体的加工方法。
- 金属的焊接在现代工业中具有重要的意义。



桥梁建造

📖 大型桥梁建设的发展方向是大跨度、高强度和轻量型。而钢材性能的不断改善和焊接加工工艺水平的提高成为桥梁事业发展的基本技术保证。钢桥结构从全部铆接，到以栓为主的栓焊结构，再到以焊为主的栓焊结构，进而向全焊结构发展。

📖 铁路桥梁由于动荷载大，应用高强度钢材和复杂焊接结构的主要制约因素是疲劳和脆断。



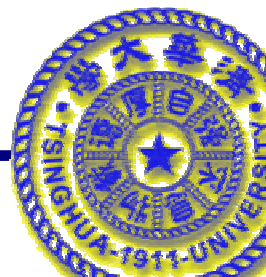
我国现代桥梁发展历程

 武汉长江大桥，主跨为 3联 $3 \times 128\text{m}$ 平行弦铆接菱形连续钢桁梁，采用A3q钢，1957年通车。

 南京长江大桥，主跨为 3联 $3 \times 160\text{m}$ 平行弦铆接菱形连续钢桁梁，采用16Mnq钢，1968年通车。

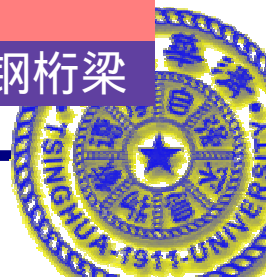
 九江长江大桥，主跨为 $180 + 216 + 180\text{m}$ 刚性梁柔性拱桥，采用16MnVNq钢，栓焊连接，1993年通车。

 芜湖长江大桥，主跨为 $180 + 312 + 180\text{m}$ 低塔斜拉桥，采用14MnNbq钢，栓焊连接，2000年通车。



以主跨长排序的世界大跨度悬索桥

序号	建设年	国家	桥名	主跨	主梁型式
1	设计中	意大利	Messina 海峡桥	3300.	
2	1998	日本	明石海峡桥	1991.	三跨连续钢桁梁
3	设计中	土耳其	Izmit 海湾桥	1688.	
4	1998	丹麦	Great belt 桥	1624.	三跨连续钢桁梁
5	1981	英国	Humber 桥	1410.	三跨连续钢桁梁
6	1999	中国	江阴长江大桥	1385.	
7*	1997	中国香港	青马大桥	1377.	三跨连续钢桁梁
8	1964	美国	Verrazano Narrows 桥	1298.	三跨连续钢桁梁
9	1937	美国	Golden Gate 桥	1280.	三跨连续钢桁梁
10	1997	瑞典	Hoga Kusten 桥	1210.	三跨连续钢桁梁
11	1957	美国	Mackinac 桥	1158.	三跨连续钢桁梁
12*	1988	日本	南备赞濑户大桥	1100.	三跨连续钢桁梁
13	1988	土耳其	Fatih Sultan Mehmet	1090.	单跨钢箱梁
14	1973	土耳其	Ataturk 桥	1074.	
15	1931,19	美国	George Washington 桥	1066.	三跨连续钢桁梁

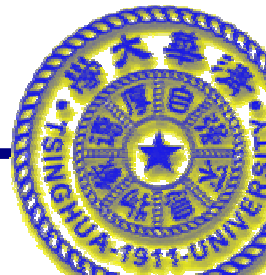


以主跨长排序的世界大跨度钢斜拉桥

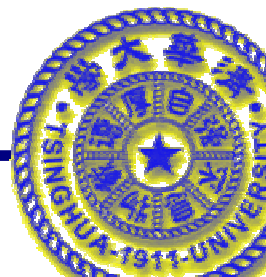
序号	建设年代	国家	桥名	主跨	主梁型式
1	1999	日本	多多罗大桥	890	混合加劲梁
2	1995	法国	Normandie 桥	856	混合加劲梁
3	2000	中国	南京长江二桥	628	三跨连续钢箱梁
4	2000	中国	武汉长江三桥	618	三跨连续混合加劲梁
5	1996	中国	青州闽江大桥	605	
6	1993	中国	上海洋浦大桥	602	三跨连续工字组合钢梁
7	1996	中国	上海徐浦大桥	590	三跨连续组合钢箱梁
8	1997	日本	名港中央大桥	590	三跨连续钢箱梁、钢塔
9	建设中	希腊	Corinth 桥	560	四塔五跨连续工字钢组合梁
10	1991	挪威	Skarnsendet 桥	530	钢箱梁
11	1998	中国	汕头岩石大桥	518	混合加劲梁
12	1994	日本	鹤见航道桥	510	单面索钢箱梁
13	1992	日本	生口桥	490	混合加劲梁
14*	2000	丹麦-瑞典	Oresund 桥	490	钢桁梁
15	1993	日本	东神户大桥	485	三跨连续全焊钢箱梁



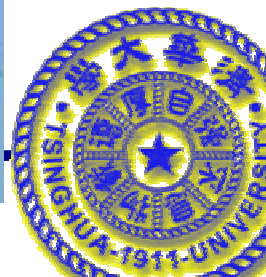
桥梁建造



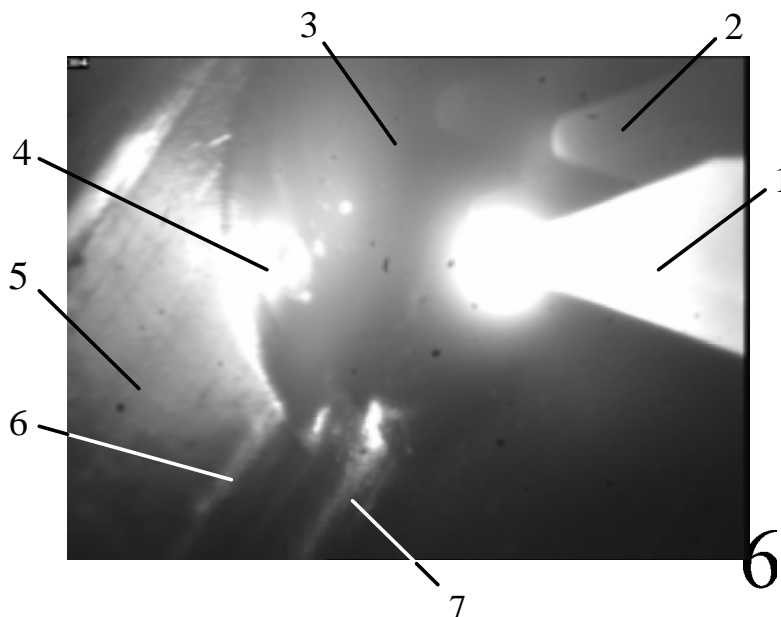
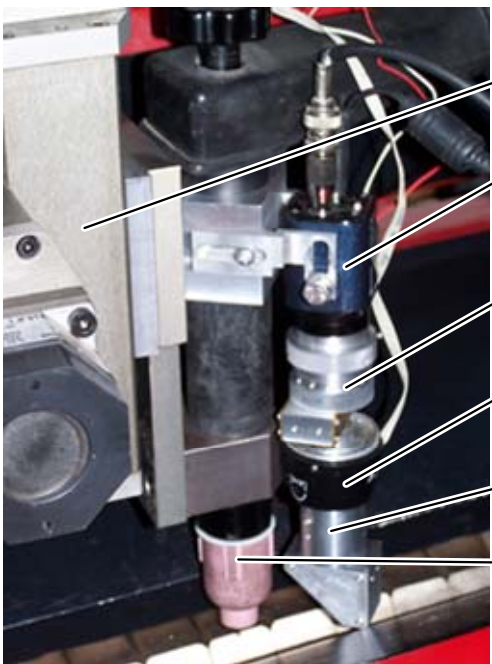
桥梁建造



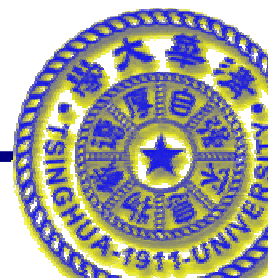
飞机制造



视觉跟踪传感器可用于运载火箭喷管的自动焊接



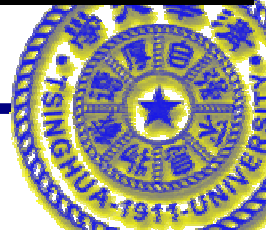
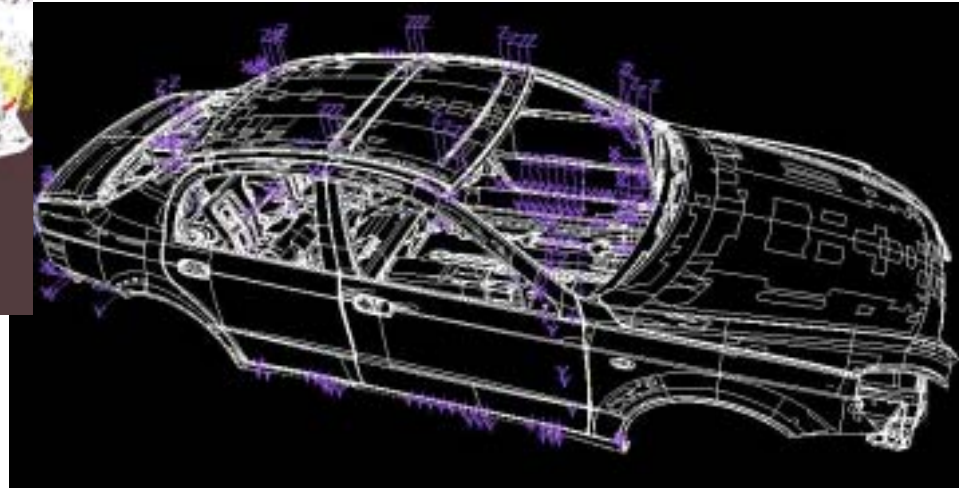
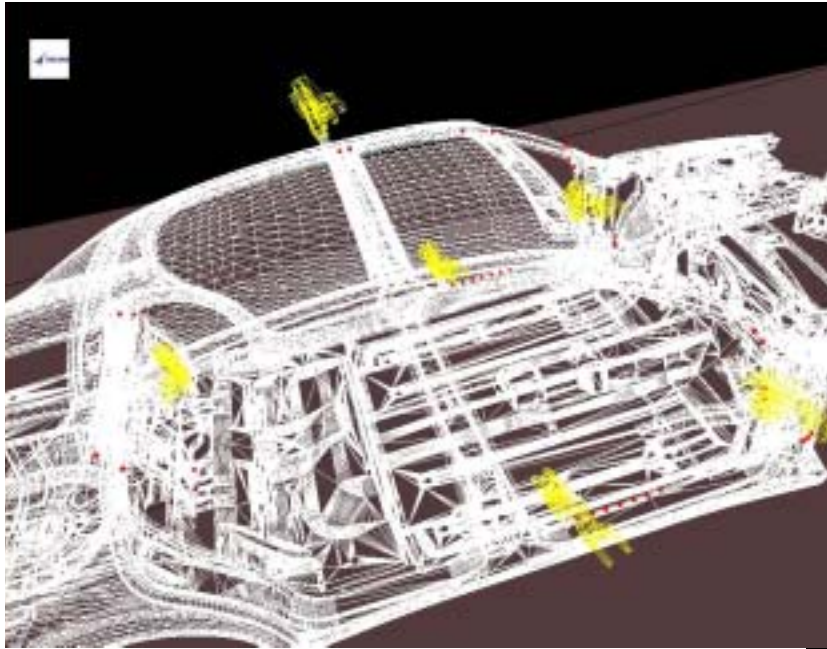
5



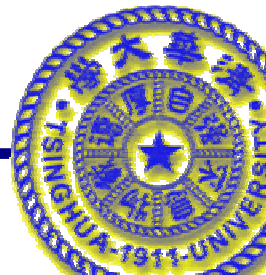
汽车制造



轿车白车身装焊



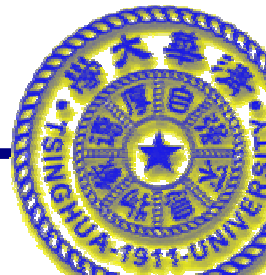
舰船制造



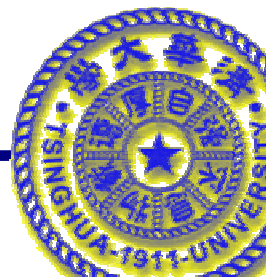
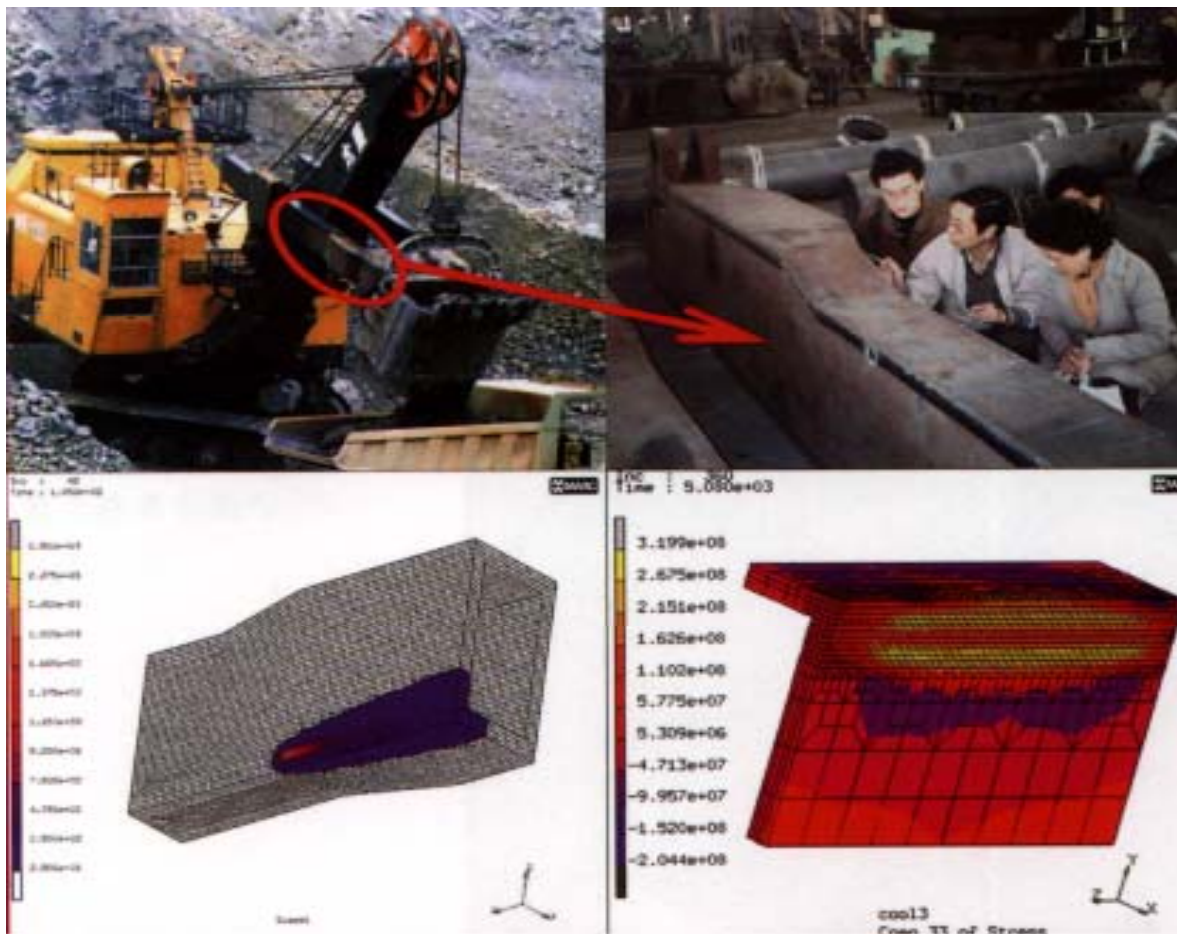
石化建设



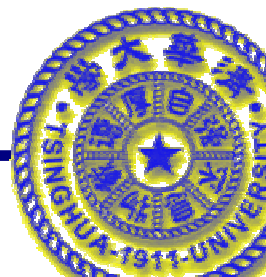
无轨爬行式全位置焊接机器人系统



挖掘机斗杆变截面部分焊接过程的模拟

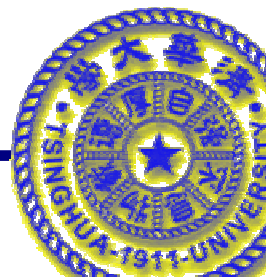


摩天大厦的建造离不开焊接技术





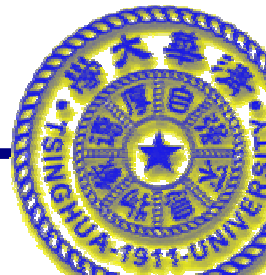
问题： 金属焊接的本质？



金属焊接的本质

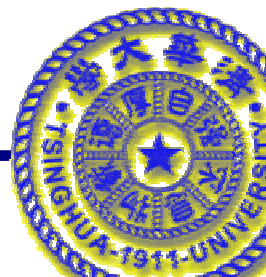
固态金属之所以能够保持固定的形状，是因为其内部原子之间距离（晶格）非常小，原子之间形成了牢固的结合力。除非施加足够的外力破坏这些原子间结合，否则一块金属固体是不会变形或分离成两块。

要把两个分离的金属构件连接在一起，从物理本质上来看，就是要使这两个构件连接表面的原子彼此接近到金属晶格距离（即0.3-0.5nm）。



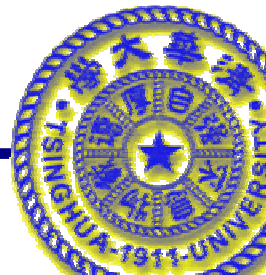


问题： 金属焊接的障碍？



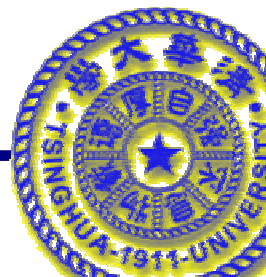
金属焊接的障碍

一般情况下，当我们把两个金属构件放在一起时，由于其表面粗糙度（即使经精密磨削加工的金属表面粗糙度仍达几到几十微米）和表面存在的氧化膜及其它污染物，实际阻碍着不同构件表面金属原子之间接近到晶格距离并形成结合力。焊接过程的本质就是通过适当的物理化学过程克服上述困难。



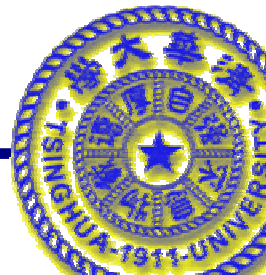


问题： 如何实现金属焊接？



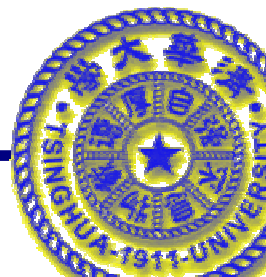
熔化焊接——

使被连接的构件表面局部加热熔化成液体，然后冷却结晶成一体的方法。



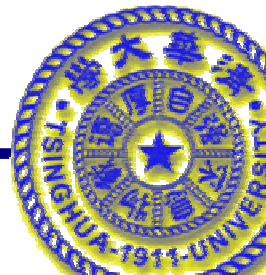
固相焊接——

利用摩擦、扩散和加压等物理作用，克服表面不平度，除去氧化膜及其它污染物，使两个连接表面的原子相互接近到晶格距离，从而在固态条件下实现连接。



钎焊连接——

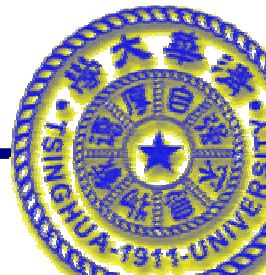
利用某些熔点低于被连接构件材料熔点的钎料金属在连接界面上的熔化流散浸润，然后结晶形成结合。





问题： 主要的焊接方法？

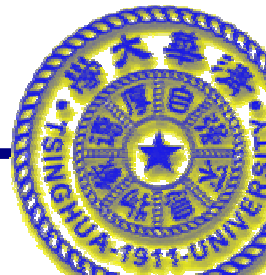
(另外播放教学录像片)



手工焊条电弧焊

Flux-shielded Metal Arc Welding

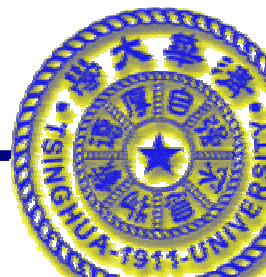
以外部包覆涂料的焊条作为电极和填充金属，电弧是在焊条的端部和被焊工件表面之间燃烧。涂料在电弧热作用下一方面可以产生气体以保护电弧，另一方面可以产生熔渣覆盖在熔池表面，防止熔化金属与周围气体的相互作用。熔渣的更重要作用是与熔化金属产生物理化学反应或向熔池添加合金元素，改善焊缝金属性能。



埋弧焊

Submerged Arc Welding

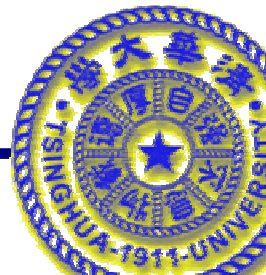
以连续送进的焊丝作为电极和填充金属，在工件焊接区的上面覆盖一层颗粒状焊剂，电弧在焊剂层下燃烧，将焊丝端部和工件局部母材熔化，形成焊缝。在电弧热的作用下，部分焊剂熔化成熔渣并与液态金属发生冶金反应。熔渣浮在金属熔池的表面，一方面可以保护焊缝金属，防止空气的污染，并与熔化金属产生物理化学反应，改善焊缝金属的成分及性能；另一方面还可以使焊缝金属缓慢冷却。



钨极惰性气体保护电弧焊

Tungsten Inert-gas Arc Welding

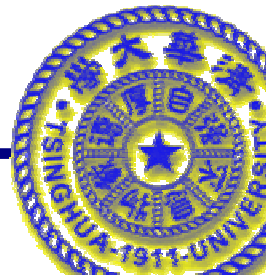
简称为 TIG 焊。利用钨极和工件之间产生的电弧使工件金属熔化而形成焊缝。焊接过程中，钨极不熔化而只起电极的作用，同时由焊炬的喷嘴送进氩气或氦气作保护。也可根据需要另外添加填充金属。



等离子弧焊

Plasma Arc Welding

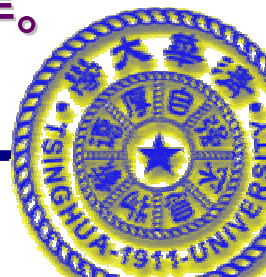
利用电极和工件之间的压缩电弧（称为转移电弧）实现焊接的。所用的电极通常是钨极。产生等离子弧的等离子气可用氩气、氮气、氦气或其中二者之混合气。同时还通过喷嘴用惰性气体保护。焊接时，可以外加填充金属，也可以不加填充金属。



熔化极气体保护电弧焊

Metal Gas Arc Welding

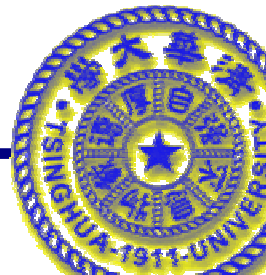
利用连续送进的焊丝与工件之间燃烧的电弧作热源，焊炬喷嘴喷出气体保护电弧进行焊接。熔化极气体保护电弧焊通常用的保护气体有：氩气、氦气、 CO_2 气或这些气体的混合气。以氩气或氦气为保护气时称为熔化极惰性气体保护电弧焊，简称 MIG 焊。以惰性气体与氧化性气体（ O_2 ， CO_2 ）混合气为保护气时，或以 CO_2 气体或 $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ 混合气为保护气时，统称为熔化极活性气体保护电弧焊，简称 MAG 焊。



激光焊

Laser Beam Welding

利用大功率相干单色光子流聚焦而成的激光束为热源进行的焊接。其功率密度高，对工件加热集中，焊接速度快，焊件变形小，可以实现精密微型器件的焊接，还能解决一些难焊金属及异种金属的连接问题。激光焊接可分为热导焊（光斑功率密度小于 $10^5\text{W}/\text{cm}^2$ ）和深熔焊（光斑功率密度大于 $10^6\text{W}/\text{cm}^2$ ）两种。激光焊不需要在真空中进行。



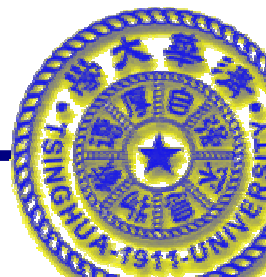
激光精密焊接



电子束焊

Electron Beam Welding

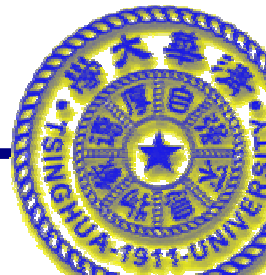
利用汇聚的高速电子流轰击金属工件结合部位所产生的热能而进行焊接。电子束加速电压30~150kV，电流20~1000mA，焦点直径0.1~1mm，功率密度可达 $10^7\text{W}/\text{cm}^2$ 以上。可得到大深宽比（50:1）之焊缝，不开坡口能够实现厚度300mm构件的单道焊接。一般在真空室内进行，不仅可防止熔化金属受到有害气体的污染，而且还有利于焊缝金属的除气和净化，适用于异种金属、活泼金属及难熔金属的高质量焊接。



气焊

Gas Welding

利用气体火焰为热源的一种焊接方法。以往最为普遍的是以乙炔气作燃料的氧——乙炔火焰，另外以氢气、液化石油气（丙烷）作为燃料的气割和气焊也有应用。乙炔在纯氧中燃烧，火焰温度达 3150°C 。由于不需要电源，气焊设备简单，操作方便。但与电弧相比，气体火焰温度较低，热量分散，对工件加热速度慢，生产率较低，热影响区较大，且容易引起大的变形。

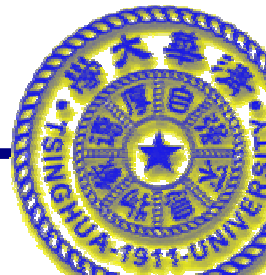


钎焊

Brazing , Soldering

利用比被焊材料熔点低的金属作钎料，经过热源加热使钎料熔化，靠毛细管作用将钎料吸入到接头接触面的间隙内，润湿被焊金属表面，使液相与固相之间相互扩散而形成钎焊接头。钎焊加热温度较低，母材不熔化，而且也不需施加压力。

钎料的液相线温度高于450 而低于母材金属的熔点时，称为硬钎焊，低于450 时，称为软钎焊。

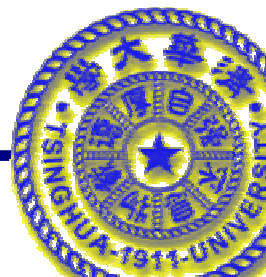


电阻焊

Resistance Welding

使工件处在一定电极压力作用下并利用电流通过工件时所产生的电阻热将两工件之间的接触表面熔化而实现连接的工艺方法。通常使用较大的电流。为了防止在接触面上发生电弧并且为了锻压焊缝金属，焊接过程中始终要施加压力。

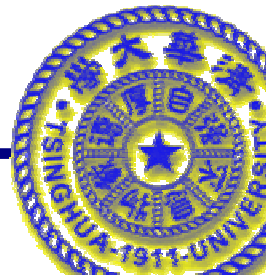
包括电阻点焊、缝焊、凸焊及对焊。



电渣焊

Electroslag Welding

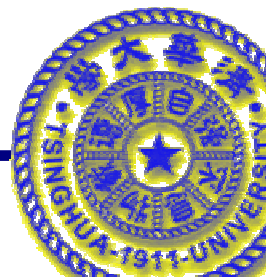
利用电流通过液体熔渣产生的电阻热作为热源，将工件和填充金属熔合成焊缝的立焊（焊缝与地面垂直线夹角小于 30° ）工艺方法。焊接过程中，渣池保护金属熔池不被空气污染，由两被焊工件端面与两侧水冷铜滑块构成空腔挡住熔池和渣池，保证熔池金属凝固成形。根据焊接时所用的电极形状，电渣焊分为丝极电渣焊、板极电渣焊和熔嘴电渣焊。



高频焊

High Frequency Resistance Welding

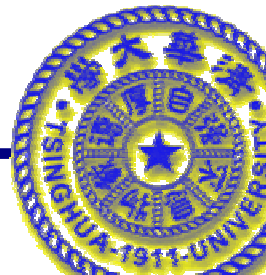
利用高频电流在金属工件内产生的电阻热使工件焊接区表层加热到熔化或接近熔化的塑性状态，随即施加（或不施加）顶锻力而实现金属的结合。高频焊通常采用的电流频率范围300~450kHz，藉助高频电流的“趋肤效应”可将能量集中于工件表层，而利用“邻近效应”又可控制高频电流流动路线和范围，使工件待连接部位表层金属得以快速加热从而实现相互连接。根据电流导入工件的方式，可分为接触高频焊和感应高频焊。



爆炸焊

Explosive Welding

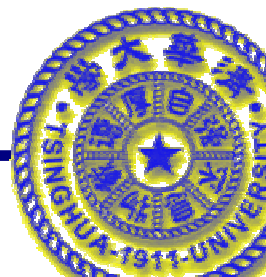
以化学反应热为能源的一种固相焊接方法。它是利用炸药爆炸使被焊金属面发生高速碰撞，在接触面上造成一薄层金属的塑性变形，在十分短暂的时间内形成冶金结合。



摩擦焊

Friction Welding

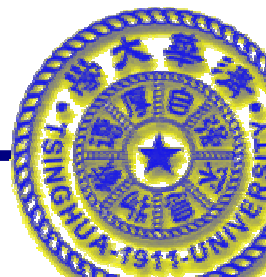
以机械能为能源的固相焊接。它是利用被焊工件两表面间的相互运动摩擦所产生的热，使结合端面金属达到热塑性状态，然后迅速顶锻完成连接。



超声波焊

Ultrasonic Welding

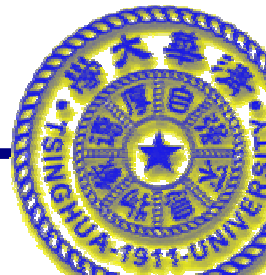
焊接工件在一定的静压力下，由声极发出的超声高频（大于16kHz）振动能量转换为工件结合面的摩擦功、形变能以及随后有限的温升，接头间的冶金结合是在母材不发生熔化情况下实现的。



扩散焊

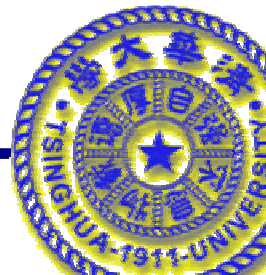
Diffusion Welding

通常是在真空或保护气氛下进行，焊接时使两被焊工件的表面在高温和较大压力下相互接触，通过待焊面微观塑性变形或微量液相扩大物理接触，然后经过较长时间（一般几十分钟）原子相互扩散而实现冶金结合。



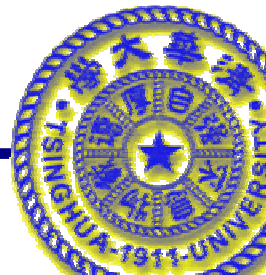


问题： 如何选用焊接方法？



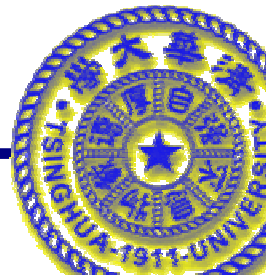
焊接方法的选用

- 考虑产品结构类型
- 考虑被焊工件厚度
- 考虑接头形式和焊接位置
- 考虑母材性能
- 考虑所具备的工艺技术水平
- 考虑焊接设备
- 考虑焊接材料





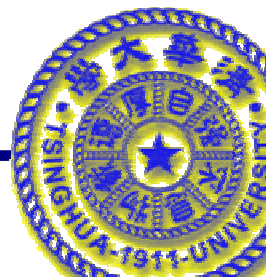
问题： 焊接技术的范畴？



焊接技术涵盖范围

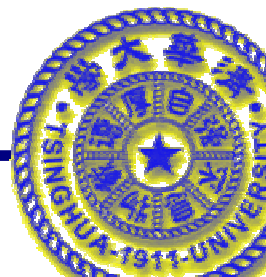
- 焊接过程控制和焊接设备自动化
- 材料焊接和焊接材料
- 焊接结构和焊接力学

- 焊接工艺是上述三方面的源头和归宿



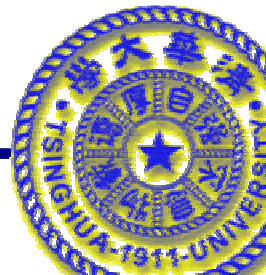
焊接技术范畴（一）

焊接电弧理论基础和弧焊电源、电弧焊接和切割工艺方法及设备、电阻焊工艺方法及设备、钎焊工艺方法及设备、水下电弧焊接与切割、气焊气割及高压水流切割、激光焊接与切割、电子束焊、电渣焊、高频焊、气压焊、热剂焊、爆炸焊、摩擦焊、变形焊、超声波焊、扩散焊、堆焊、热喷涂、SMT焊接、焊接电弧控制技术、焊接传感器、焊接机器人、专用焊接装备、计算机技术在焊接中的应用等。



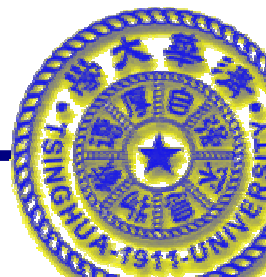
焊接技术范畴（二）

焊接热过程、焊接冶金、焊接热影响区组织转变及性能变化、焊接缺欠、金属焊接性及其试验方法、钢铁材料焊接、稀贵及有色金属的焊接、异种金属的焊接、金属材料堆焊、塑料的焊接、陶瓷的焊接、陶瓷与金属的焊接、复合材料的焊接等。



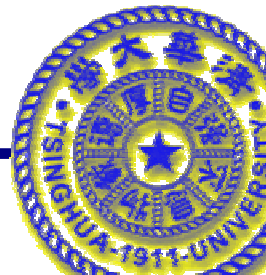
焊接技术范畴（三）

常用焊接结构材料、焊接接头及设计、焊接接头的力学性能、焊接应力与变形、焊接结构疲劳、焊接结构断裂及安全评定、焊接结构的环境效应、焊接结构设计原则与方法、基本构件的设计计算、焊接结构制造工艺和设备、典型焊接结构（机械零部件、压力容器与管道、建筑钢结构、机车车辆、船舶与海洋工程结构、起重机和工程机械、动力机械、焊接钢桥等）的设计制造、焊接结构生产的机械化和自动化、质量管理与无损检测、焊接生产组织与经济、焊接车间设计、焊接安全与卫生防护。



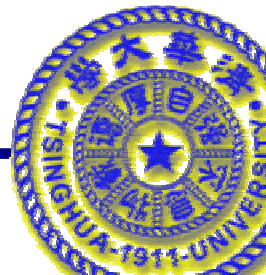


问题： 焊接技术发展历史？



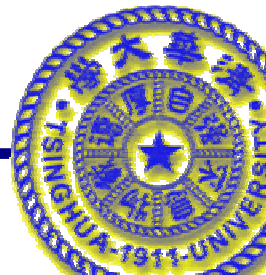
焊接史上的里程碑

- 1856年：英格兰物理学家Joule发现电阻焊原理。
- 1876年：美国人 John A.Tobin 获得了被称为 Tobin 的高强钎料。
- 1881年：法国人De Meritens发明了最早的碳弧焊机。
- 1885年：美国人Thompson获得了电阻焊机的专利权。
- 1885年：俄罗斯人Olszewski极大发展了碳弧焊技术。
- 1889年：美国人Coffin首次使用光焊丝作电极进行了电弧焊接。



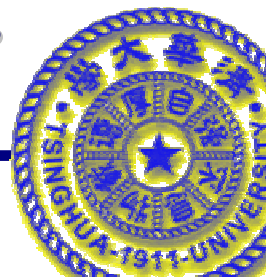
焊接史上的里程碑

- 1890年：美国人Coffin提出了焊接加工中将发生“氧化”的概念。
- 1890年：英国人Brown第一次使用氧加燃气切割进行了抢劫银行的尝试。
- 1900年：法国人Fouch和Picard造出第一个氧乙炔割炬。
- 1900年：美国人Goldschmidt发明了铝热焊。
- 1901年：德国人Menne发明了氧矛切割。
- 1904年：美国人Avery发明了便携式钢瓶。
- 1907年：瑞典人Kjellberg完善了焊条。



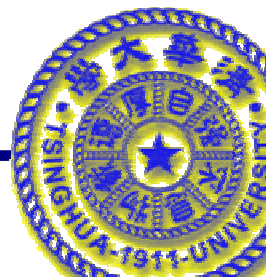
焊接史上的里程碑

- 1907年：在美国纽约拆除旧的 中心火车站时，因使用氧乙炔切割节省工程成本20%以上。
- 1912年：第一根氧乙炔气焊钢管投入市场。
- 1912年：位于美国费城的公司生产出第一个使用电阻点焊方法焊接的全钢汽车车身。
- 1912年：美国福特公司为了生产著名的 T 型汽车，在自己工厂的实验室里完成了现代焊接工艺。
- 1917年：第一次世界大战期间，用电弧焊修理了109艘缴获德制船用发动机，用这些船把50万美国士兵运抵法国。



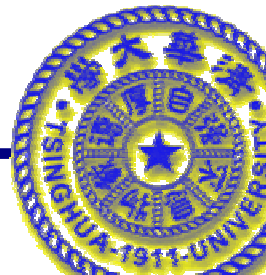
焊接史上的里程碑

- 1917年：美国W&S公司使用电弧焊设备焊接了长11英里、直径3英寸的管线。
- 1919年：Comfort A.Adams 组建了美国焊接学会 AWS。
- 1920年：第一艘焊接船体的汽船 Fulagar 号在英国下水。
- 1920年：第一艘使用焊接方法建造的油轮 Poughkeepsy 号在美国下水。
- 1920年：使用电阻焊制造钢管的方法获得专利。
- 1920年：药芯焊丝被用于耐磨堆焊。



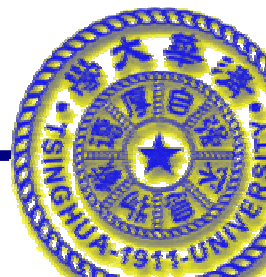
焊接史上的里程碑

- 1922年：Prairie 管道公司使用氧乙炔焊接技术成功完成了从墨西哥到德克撒斯的直径8英寸长达140英里的原油输送管线的铺设工作。
- 1923年：世界上第一个浮顶式储罐建成。
- 1924年：使用氧乙炔焊接建成14哩全焊结构天然气管线。
- 1926年：美国公司率先介绍了在电弧焊接用金属电极外使用挤压方式涂上起保护作用的固体药皮的制作方法。
- 1926年：美国人获得了使用氦气作为电弧保护气的专利。



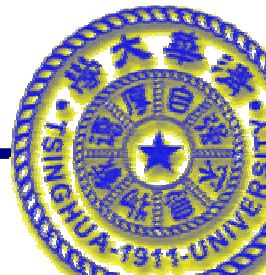
焊接史上的里程碑

- 1927年：Lindberg 单独驾驶单翼飞机成功飞过大西洋，该飞机机身由全焊合金钢管结构组成。
- 1928年：第一部结构钢焊接法规《建筑结构中熔化焊和气割规则》由美国焊接学会出版发行。
- 1930年：Georgia铁路中心在隧道中铺设铁路采用了连续焊接方法。焊接轨道在两年后铁路贯通时投入使用。
- 1930年：原子氢焊接方法在除了碳钢及低合金钢之外的金属焊接中得到很大发展。



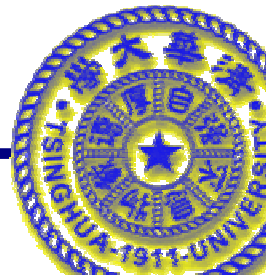
焊接史上的里程碑

- 1931年：焊接工艺制造全钢结构的帝国大厦落成。
- 1933年：当时世界上最高的悬索桥旧金山金门大桥建成通车，她是由87750吨钢材焊接拼成的。
- 1934年：非加热压力容器规范由API——ASME合作出版发行。
- 1935年：美国的 LAP 公司完善了埋弧焊技术。
- 1940年：第一艘全焊接船 Exchequer 号在美国 Ingalls 船坞建成下水。



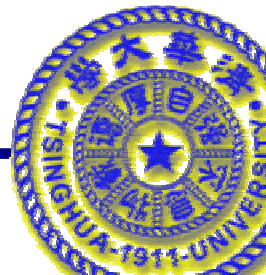
焊接史上的里程碑

- 1941年：Meredith发明钨极惰性气体（氩）保护电弧焊。
- 1941年：二次世界大战爆发，焊接技术受命于危难之中，为批量制造舰艇飞机坦克及各种重武器作出了巨大贡献。
- 1943年：飞机制造者们首次使用原子氢焊、埋弧焊、熔化极气体保护焊焊接飞机钢制螺旋桨的空心叶片。
- 1949年：第一辆使用电弧焊和电阻焊工艺制造的全焊结构的 FORD 牌汽车下线。



焊接史上的里程碑

- 1950年：第一个熔化极气体保护焊喷射过渡的专利被美国 Muller、Gibson、Anderson 三人获得。1950年：在俄罗斯，电渣焊首次应用于生产。
- 1953年：发明压缩等离子电弧焊炬的专利授予了美国人 R.M.Gage。
- 1954年：自保护药芯焊丝在美国 Lincoln 电气公司投入生产。
- 1954年：第一艘核潜艇 The Nautilus 号开始为美国海军服役。
- 1956年：俄罗斯发明了摩擦焊技术。



焊接史上的里程碑

- 1957年：美、英、俄都在熔化极气体保护焊短路过渡工艺中使用了CO₂作为保护气体。
- 1960年：美国的 Airco 推出熔化极脉冲气体保护焊工艺。
- 1961年：法国原子能委员会首次披露电子束焊接方法。
- 1962年：气电立焊的专利权授予了比利时人 Arcos 。

