



目录

CONTENTS

项目一 汽车零件材料	1
任务一 铁基金属材料	2
任务二 非铁基金属材料	22
任务三 高分子材料	29
任务四 复合材料及其他材料	39
项目二 汽车运行材料	52
任务一 汽车用燃料	53
任务二 汽车用润滑材料	61
任务三 汽车工作液	74
任务四 制冷剂	82
项目三 汽车构件静力学分析	88
任务一 静力学分析基础	89
任务二 平面力系	104
任务三 旋转件的运动分析和动力分析	111
项目四 材料力学基础	120
任务一 承载能力分析的基础知识	121
任务二 轴向拉伸和压缩	128
任务三 剪切和挤压	139
任务四 圆轴的扭转	144
任务五 直梁的弯曲	152



项目五 汽车常用机构	165
任务一 平面机构的结构分析	166
任务二 汽车常见四杆机构	178
任务三 汽车凸轮机构与棘轮机构	187
项目六 汽车常用机械零部件	198
任务一 轴	199
任务二 轴承	206
任务三 联轴器、离合器、制动器与弹簧	217
任务四 连接与连接件	229
项目七 汽车常用传动	246
任务一 带传动	247
任务二 链传动	254
任务三 齿轮传动	262
任务四 蜗杆传动	272
任务五 轮系传动	281
项目八 液压与气压传动	292
任务一 液压传动	293
任务二 气压传动	298
参考文献	310





项目一 汽车零件材料

情境再现

小张是一名刚入职某市吉利 4S 店的汽车销售顾问，准备主销帝豪系列车型。主管要求小张在熟知车辆性能、配置及结构的基础上，要知晓不同汽车零部件的材料。构成汽车零件的材料既有金属材料，又有非金属材料，如何快速地鉴别和掌握呢？

分析：1. 汽车金属零件既有钢铁材质的，又有铜铝等合金材质的，它们各有什么特点？在汽车上哪些地方有应用？

2. 汽车非金属零件既有高分子材料的，又有复合材料或其他材料的，它们各有什么特点？在汽车上哪些地方有应用？

3. 作为 4S 店汽车销售顾问，想要为客户快速且准确地讲述某汽车零件，那么针对汽车零件材料，需要学习和掌握哪些相关知识？

目标导航

1. 知识目标

- ◇ 了解汽车常用金属材料的分类。
- ◇ 熟悉各种汽车常用金属材料的牌号表示方法及特点。
- ◇ 掌握汽车常用金属材料的用途。
- ◇ 了解汽车常用非金属的分类。
- ◇ 熟悉各种汽车常用非金属材料的牌号表示方法及特点。
- ◇ 掌握汽车常用非金属材料的用途。

2. 实践目标

- ◇ 能正确地阐述汽车常用金属材料的特点、分类、牌号表示方法及用途。
- ◇ 能正确地阐述汽车常用非金属材料的特点、分类、牌号表示方法及用途。
- ◇ 能正确地描述汽车上不同零件的材质及特点。
- ◇ 能正确地把握汽车零件材料未来的发展趋势。

3. 素养目标

- ◇ 培养学生实事求是的工作态度、勇于追求真理的工作作风。



任务知识

一、铁基金属材料概述

铁基金属材料包括钢和铸铁。钢是以铁为主要元素，碳的质量分数在 2.11% 以下并含有其他元素的材料。由于钢材的品种多、规格全、性能好、价格低，并且可用热处理的方法改善性能，因此其是工业中应用最广的材料。根据国家相关标准，钢可按化学成分、质量、性能和用途、成形方法等进行分类。

按化学成分不同，钢可分为碳素钢（碳钢）和合金钢。碳素钢按含碳量多少分为低碳钢、中碳钢、高碳钢；合金钢按合金元素的含量分为低合金钢、中合金钢和高合金钢。

按钢的质量不同，钢可分为普通钢、优质钢和高级优质钢。

按钢的性能和用途不同，钢可分为结构钢、工具钢和特殊性能钢。

按钢的成形方法，钢可分为锻钢、铸钢、热轧钢和冷拉钢。

二、碳素钢

碳素钢（碳钢）又称为非合金钢，是碳的质量分数小于 2.11%，并含有少量硅、锰、磷、硫等杂质元素的铁碳合金。碳钢具有一定的力学性能和良好的工艺性能，且价格低廉，在工业中应用广泛。碳钢按用途分为结构钢和工具钢；按钢中元素的不同可以分为普通碳素结构钢、优质碳素结构钢和特殊碳素结构钢（主要按钢中磷、硫的质量分数划分）。

1. 普通碳素结构钢

普通碳素结构钢又称为普通碳素钢，属于低碳钢，是生产过程中对控制质量无特殊规定的一般用途的（非合金钢）碳钢。普通碳素结构钢中碳的质量分数一般小于 0.30%，以小于 0.25% 最为常用，其金属牌号表示该钢种在厚度小于 16 mm 时的最低屈服强度。与优质碳素结构钢相比，普通碳素钢对碳的质量分数、性能范围以及磷、硫和其他残余元素含量的限制较宽。我国和某些国家根据交货的保证条件，把普通碳素钢分为三类：甲类钢（A 类钢），只保证力学性能，不保证化学成分；乙类钢（B 类钢），只保证化学成分，不保证力学性能；特类钢（C 类钢），既保证化学成分，又保证力学性能，特类钢常用于制造较重要的结构件。

普通碳素钢通常不进行热处理而直接使用，因此只考虑其力学性能和有害杂质的含量，不考虑碳的质量分数。按《碳素结构钢》（GB/T 700—2006）的规定，此类钢按屈服强度数值分为 5 个牌号，并按质量分为 4 个等级，其牌号由代表屈服强度的字母 Q（屈服强度的“屈”字汉语拼音首字母）、屈服强度数值、质量等级和脱氧方法 4 个部分按顺序组成。质量等级有 A 级（ $w(S) \leq 0.50\%$ ， $w(P) \leq 0.045\%$ ）；B 级（ $w(S) \leq 0.045\%$ ， $w(P) < 0.045\%$ ）；C 级（ $w(S) < 0.040\%$ ， $w(P) \leq 0.040\%$ ）；



D级 ($w(S) < 0.035\%$, $w(P) \leq 0.035\%$) 4种。脱氧方法用汉语拼音首字母表示:“F”代表沸腾钢,“b”代表半镇静钢,“Z”代表镇静钢,“TZ”代表特殊镇静钢。通常“Z”和“TZ”可省略,例如 Q235-A 表示 $\sigma_s \geq 235$ MPa、质量等级为 A 级的碳素结构钢。

此类钢的应用范围非常广泛,其中大部分用作焊接、铆接或栓接的钢构件,少数用于制作各种机器部件。例如 Q195、Q215 钢具有一定强度,塑性好,主要用于制作薄板、镀锌薄钢板、钢筋、冲压件、地脚螺栓、烟囱、低碳钢丝、钢丝网、屋面板、焊接钢管、地脚螺栓和铆钉等;Q235 钢强度较高,具有良好的塑性和韧性,且易于成形和焊接,常用于制作钢筋、钢板、农业机械用型钢和重要的机械零件,如拉杆、连杆、转轴等;Q235-C、Q235-D 钢质量较好,可制作重要的焊接结构件;Q255、Q275 钢强度高、质量好,用于制作建筑、桥梁等工程质量要求较高的焊接结构件,以及摩擦离合器、主轴、刹车钢带、吊钩等。普通碳素结构钢的部分应用如图 1-1~图 1-3 所示。



图 1-1 钢筋



图 1-2 焊接钢管



图 1-3 连杆

根据一些工业用钢的特殊性能要求,对普通碳素结构钢的成分稍加调整可形成一系列专业用钢,如铆螺钢、桥梁钢、压力容器钢、船体钢、锅炉钢等。专业用钢除了严格控制化学成分、保证常规性能外,还规定某些特殊检验项目,如低温冲击韧性、时效敏感性、钢中气体、夹杂和断口等。此类钢可由氧气转炉、平炉或电炉冶炼,一般热轧成钢板、钢带、型材和棒材,钢板一般以热轧(包括控制轧制)或正火处理状态交货,钢材的化学成分、拉伸性能、冲击功和冷弯性能须符合有关规定。

2. 优质碳素结构钢

优质碳素结构钢是碳的质量分数小于 0.8% 的碳素钢,钢中所含的硫、磷及非金属夹杂物比普通碳素结构钢少,机械性能较为优良,主要用于制作较重要的机械零件,一般均需进行热处理,以保证力学性能和化学成分。该类钢按冶金质量分为优质钢、高级优质钢(A)和特级优质钢(E)。

优质碳素结构钢的牌号用两位数字表示,即钢中平均碳的质量分数的万分数。例如 40 钢表示平均碳的质量分数为 0.40% 的优质碳素结构钢,钢中锰的质量分数较高时 ($w(Mn) = 0.7\% \sim 1.2\%$),在数字后面附以符号“Mn”,如 65Mn 钢,表示平均碳的质量分数为 0.65%,并含有较多锰 ($w(Mn) = 0.9\% \sim 1.2\%$) 的优质碳素结构钢;高级优质钢在数字后面加“A”,特级优质钢在数字后面加“E”,对于沸腾钢则在



尾部加上 F，如 10F、15F 等。

优质碳素结构钢依靠调整碳的质量分数来改善钢的力学性能，按碳的质量分数可分为低碳钢、中碳钢和高碳钢。

①低碳钢（碳的质量分数在 0.25% 以下）。强度低，塑性和韧性较好，易于冲压加工，主要用于制造受力不大、韧性要求高的汽车车身、驾驶室、车门、散热器罩等冲压件和焊接件，如 10 钢、20 钢等。

②中碳钢（碳的质量分数为 0.25%~0.60%）。强度较高，塑性和韧性也较好，一般需经正火或调质处理后使用，应用广泛，主要用于制作齿轮、连杆、轴类、套筒、丝杠等零件。

③高碳钢（碳的质量分数为 0.60%~0.85%）。经热处理后，可获得较高的弹性极限、足够的韧性和一定的强度，常用来制作弹性零件和易磨损的零件，如转向系接头弹簧、弹簧垫圈和各种卡环、锁片等。

优质碳素结构钢中的硫、磷质量分数均低于 0.035%，产量较大，用途较广，一般多轧（锻）制成圆、方、扁等形状的型材、板材和无缝钢管。主要用于制造一般结构、机械结构零部件以及建筑构件和输送流体用管道。根据使用要求，有时需热处理（正火或调质）后使用。

优质碳素结构钢中 08、10、15、20、25 等牌号属于低碳钢，塑性好，易于拉拔、冲压、挤压、锻造和焊接，其中 20 钢用途最广，常用来制造螺钉、螺母、垫圈、小轴以及冲压件、焊接件，有时也用于制造渗碳件；30、35、40、45、50、55 等牌号属于中碳钢，因钢中珠光体含量增多，其强度和硬度有所提高，淬火后的硬度可显著增加，其中以 45 钢最为典型，它不仅强度、硬度较高，且兼有较好的塑性和韧性，即综合性能优良，45 钢在机械结构中用途最广，常用来制造轴、丝杠、齿轮、连杆、套筒、键、重要螺钉和螺母等；60、65、70、75 等牌号属于高碳钢，它们经过淬火、回火后不仅强度和硬度提高，而且弹性优良，常用来制造小弹簧、发条、钢丝绳、轧辊等。优质碳素结构钢的部分应用如图 1-4~图 1-7 所示。



图 1-4 螺母



图 1-5 齿轮



图 1-6 套筒



图 1-7 钢丝绳



3. 特殊碳素结构钢

(1) 碳素工具钢

碳素工具钢中碳的质量分数为 0.65%~1.35%，一般需热处理后使用。这类钢经热处理后具有较高的硬度和耐磨性，主要用于制作低速切削刀具以及对热处理变形要求低的一般模具。其按质量分为优质碳素工具钢和高级优质碳素工具钢两种。

碳素工具钢的牌号由“T”（“碳”字汉语拼音首字母）和数字组成，数字表示钢中平均碳的质量分数的千分数。例如 T8 钢，表示平均碳的质量分数为 0.8% 的碳素工具钢。若牌号末尾加“A”，则表示高级优质钢，如 T10A。

与合金工具钢相比，碳素工具钢具有良好的加工性能，价格低廉，使用范围广泛，它在工具生产中用量较大。碳素工具钢分为碳素刀具钢、碳素模具钢和碳素量具钢。碳素刀具钢指用于制作切削工具的碳素工具钢，碳素模具钢指用于制作冷、热加工模具的碳素工具钢，碳素量具钢指用于制作测量工具的碳素工具钢。

碳素工具钢生产成本较低，原材料来源方便，易于冷、热加工，在热处理后可获得相当高的硬度，在工件受热不高的情况下，耐磨性也较好，因而应用广泛。其中，高级优质碳素工具钢韧度较高，磨削时可获得较高的光洁度，适宜制造形状复杂、精度较高的工具。但碳素工具钢红硬性较差，当工作温度超过 250℃ 以后，钢的硬度和耐磨性迅速下降，从而使钢的切削能力显著降低，且淬透性低，当工具断面尺寸大于 15 mm 时，水淬后只有表面层得到高的硬度，故不能制作尺寸大的工具，只适于制作尺寸小、形状简单、切削速度低、进刀量小、工作温度不高的工具。碳素工具钢还存在淬火温度范围窄、易过热、淬火时畸变、开裂倾向性大的缺点，且易产生软点。

《工模具钢》(GB/T 1299—2014) 中共有 8 个牌号的碳素工具钢，其中碳的质量分数较低的 T7 钢具有良好的韧性，但耐磨性不高，适于制作切削软材料的刀具和承受冲击负荷的工具，如木工工具、镰刀、凿子、锤子等；T8 钢具有较好的韧性和较高的硬度，适于制作冲头、剪刀，也可制作木工工具；锰含量较高的 T8Mn 钢淬透性较好，适于制作断口较大的木工工具、煤矿用凿、石工凿和要求变形小的手锯条、横纹锉刀等；T10 钢是最常见的一种碳素工具钢，韧度适中、耐磨性较好、应用范围较广、生产成本低，经热处理后硬度能达到 60 HRC 以上，但是 T10 钢淬透性低，耐热性差 (250℃)，多用于制作切削条件较差、耐磨性要求较高的金属切削工具以及冷冲模具和测量工具，如车刀、刨刀、铣刀、搓丝板、拉丝模具、刻纹凿子、卡尺和塞规等；T12 钢硬度高、耐磨性好，但韧性低，可用于制作不受冲击、硬度高、耐磨性好的切削工具和测量工具，如刮刀、钻头、铰刀、扩孔钻、丝锥、板牙和千分尺等；T13 钢是碳素工具钢中碳的质量分数最高的钢种，硬度极高但韧性低，不能承受冲击载荷，只适于制作切削高硬度材料的刀具和加工坚硬岩石的工具，如锉刀、刻刀、拉丝模具、雕刻工具等。碳素工具钢的部分应用如图 1-8~图 1-11 所示。



图 1-8 车刀



图 1-9 锤子



图 1-10 钻头



图 1-11 锉刀

需要指出的是，碳素工具钢适于做冷镦模。根据冷镦模的工作条件，模具材料除了应有足够的强度以及模具工作表面和型腔要有足够的硬度和硬化层外，还需要有足够的韧度，如果淬硬层过深，会因工作中承受较大的冲击而迅速开裂，但对尺寸较大、负荷较重的冷镦模，也会因淬硬层薄和基体太软产生压陷。

用作冷作模具的碳素工具钢主要有 T7A、T10A、T11A 等，又以 T10A 钢应用最为普遍。冷作模具较少采用 T8 钢，主要是 T8 钢淬火加热时过热敏感性大，甚至在加热温度比较低（780~790℃）的条件下 T8 钢的韧度也较差，同时 T8 钢淬火后耐磨性差。过共析钢 T10A、T11A 淬火过热敏感性小，经适当热处理后可获得较高的强度和一定的韧度，而且 T10A、T11A 钢在淬火后可提高模具的耐磨性，这是 T10A 钢应用比较普遍的原因。

碳的质量分数超过 1.1% 的过共析钢 T12A 可用于韧度要求不高，只要求高硬度和耐磨性的切边模和剪刀；亚共析钢 T7、T7A 的耐磨性不及 T10A，但 T7、T7A 钢有较好的韧度，所以在制作韧度要求较高的模具时，可采用 T7 或 T7A 钢。

碳素工具钢如用水（或盐水、碱水）淬火会引起较大的畸变。碱浴分级淬火是解决其冷作模具淬火畸变的有效措施，可基本消除开裂现象，采用 160~180℃ 碱浴分级淬火适合于不需要磨刃的成形模具或只需要表面硬度，中心有一定强度和高韧度的塑料压模、冷镦模等以及小型的刃口模具（如冲头、落料模等）。

（2）铸钢

铸钢中碳的质量分数为 0.15%~0.60%，碳的质量分数过高则塑性差，易产生裂纹。铸钢主要用来制作形状复杂、难以进行锻造或切削加工成形，且要求较高强度和韧性的零件，如机油管法兰、化油器操纵杆接头等。

铸钢的牌号首位以“ZG”（“铸钢”两字汉语拼音首字母）开头，国标规定铸钢牌号有两种表示方法，用力学性能表示时，在“ZG”后面有两组数字，第一组数字表示该牌号钢屈服强度的最低值，第二组数字表示其抗拉强度的最低值，如 ZG340-640 钢，表示 $\sigma_s \geq 340$ MPa、 $\sigma_b \geq 640$ MPa 的工程用铸钢；用化学成分表示时，在“ZG”后面的一组数字表示铸钢中平均碳的质量分数的万分数（平均碳的质量分数大于 1% 时不标出，平均碳的质量分数小于 0.1% 时第一位数字为“0”），在碳的质量分数后面排列各主要合金元素符号，每个元素符号后面用整数标出其质量分数的百分数，如



ZG15Cr1Mo1V 钢, 表示平均 $w(C) = 0.15\%$ 、 $w(Cr) = 1\%$ 、 $w(Mo) = 1\%$ 、 $0.2\% < w(V) < 0.3\%$ 的铸钢。

铸钢又分为铸造碳钢、铸造低合金钢和铸造特种钢三类。

①铸造碳钢是以碳为主要合金元素并含有少量其他元素的铸钢, 碳的质量分数小于 0.2% 的称为铸造低碳钢, 碳的质量分数为 $0.2\% \sim 0.5\%$ 的称为铸造中碳钢, 碳的质量分数大于 0.5% 的称为铸造高碳钢。随着碳的质量分数的增加, 铸造碳钢的强度增大、硬度提高。铸造碳钢具有较高的强度、塑性和韧性, 成本较低, 在重型机械中常用于制造承受大负荷的零件, 如轧钢机机架、水压机底座等, 在铁路车辆上用于制造受力大又承受冲击的零件, 如摇枕、侧架、车轮和车钩等。

②铸造低合金钢是含有锰、铬、铜等合金元素的铸钢, 合金元素总量一般小于 5% , 具有较大的冲击韧性, 并能通过热处理方法获得更好的机械性能。铸造低合金钢比碳钢具有更优的使用性能, 能减小零件质量并提高使用寿命。

③铸造特种钢是为适应特殊需要而炼制的合金铸钢, 通常含有一种或多种高量合金元素, 以获得某种特殊性能。铸造特种钢品种繁多, 如含锰 $11\% \sim 14\%$ 的高锰钢能耐冲击磨损, 一般用于制造矿山机械、工程机械的耐磨零件; 以铬或铬镍为主要合金元素的各种不锈钢, 用于制造在有腐蚀或 $650\text{ }^\circ\text{C}$ 以上高温条件下工作的零件, 如化工用阀体、泵、容器或大容量电站的汽轮机壳体等。

钢铸件的力学性能在各个方向相差不大, 比锻钢零件具有更多的优点。与铁铸件和其他合金铸件相比, 钢铸件可用于各种各样的工作条件, 且力学性能优于其他合金铸件, 当制造高拉伸强度或动态载荷部件、重要的压力容器铸件和在低温或高温下承担重负荷的核心部件时, 一般优先使用钢铸件, 但是钢铸件的吸振性、耐磨性等不如铁铸件, 且成本也比铁铸件高。

(3) 易切削结构钢

易切削结构钢简称易切钢, 是在钢中加入一些易切削元素, 使钢切削时切屑易脆断成碎屑, 具有良好的被切削加工性能, 有利于提高切削速度和延长刀具寿命, 可适应切削加工自动化、高速化和精密化的需要。易切削结构钢主要用于制造采用高效专用自动机床加工的零件, 如汽车中大量应用的螺栓、螺母、小型销轴等标准件, 也可用于轻型汽车的轴、齿轮、曲轴等的加工制造。

使钢变脆的元素主要是硫, 目前常加入的合金元素是硫、磷、铅、钙、硒、碲等。这种钢中硫的质量分数为 $0.08\% \sim 0.3\%$, 锰的质量分数为 $0.60\% \sim 1.55\%$, 钢中的硫和锰以硫化锰形态存在, 硫化锰很脆并有润滑效能, 从而使切屑容易碎断并有利于提高加工表面的质量。

易切削结构钢的牌号是在同类结构钢牌号前冠以“Y”, 以区别其他结构钢, 其后用两位数字表示碳的质量分数的万分数。例如, Y20 表示平均 $w(C) = 0.20\%$ 的易切削结构钢, 具体牌号有 Y12、Y12Pb、Y15、Y15Pb、Y20、Y30、Y35、Y40Mn 和 Y45Ca 共 9 个牌号。易切削结构钢分为加硫易切削钢、加硫磷易切削钢、加铅易切削



钢、加钙易切削钢和加硫碳锰易切削钢等。

Y12 硫磷复合低碳易切削钢是现有易切削钢中磷含量最多的一个钢种，常用于制造对力学性能要求不高的各种机器、仪器和仪表零件，如螺栓、螺母、销钉、轴、管接头等；Y12Pb 含铅易切削钢具有良好的被切削加工性，并有较高的力学性能，常用于制造较重要的机械零件、精密仪表零件等；Y15 复合高硫低硅易切削钢的被切削性高于 Y12 钢，常用于制造不重要的标准件，如螺栓、螺母、管接头、弹簧座等；Y15Pb 性能接近 Y12Pb，具有更好的被切削加工性；Y20 低硫磷复合易切削钢的被切削加工性优于 20 钢而低于 12 钢，可进行渗碳处理，常用于制造表面硬而心部韧性高的仪器、仪表和轴类耐磨零件；Y30 低硫磷复合易切削钢的力学性能较高，被切削加工性也有适当改善，可制造强度要求较高的标准件；Y35 性能接近 Y30 钢，可进行调质处理；Y40Mn 高硫中碳易切削钢有较高的强度、硬度和良好的被切削加工性，适于加工要求刚性高的机床零部件，如机床丝杠、光杠、花键轴和齿条等；Y45Ca 钙硫复合易切削钢的被切削性好，而且热处理后具有良好的力学性能，适于制造较重要的机器结构件，如机床齿轮轴、花键轴、拖拉机传动轴等。

三、合金钢

碳钢虽然用途广泛，但由于其淬透性低、绝对强度低、回火抗力差，不能用于大尺寸、重载荷、耐腐蚀、耐高温的零件，且热处理工艺性能不佳。为改善碳钢的组织性能，在碳钢基础上有目的地加入一种或几种合金元素形成铁基合金，可形成低合金钢或合金钢。通常加入的合金元素有硅、锰、铬、镍、钼、钨、钒、钛等，低合金钢中加入合金元素的种类和数量较合金钢少。

加入合金元素可提高合金钢的淬透性和综合力学性能，但使用合金钢时要进行热处理，以便充分发挥合金元素的作用，另外合金钢的冲压、切削性能一般较差，成本较高，价格较贵，因此在使用金属材料时，在满足零件性能要求的前提下应尽量使用碳钢。合金钢按合金元素的质量分数分为低合金钢和合金钢；按用途又分为结构钢、工具钢和特殊性能钢。

1. 低合金结构钢

低合金结构钢是碳的质量分数一般为 0.15%~0.50%，并含有一种或数种合金元素（含量不大于 5%）的钢材，这类钢比低碳钢的强度要高 10%~30%，冶炼比较简单，生产成本与碳钢相近，广泛用于建筑、石油、化工、桥梁、造船等行业，此类钢在热轧或正火状态下使用，一般不再进行热处理。其牌号表示方法与普通碳素结构钢相同，如 Q235 表示 $\sigma_s \geq 235$ MPa 的低合金结构钢。

低合金结构钢主要用于制造工程结构的型钢和钢筋，可取代普通碳素结构钢，可以节约钢材，应用于汽车时可减轻汽车质量，提高耐腐蚀性，在汽车中主要用于制作车身，还可用于制造高强度连接件，如螺栓、弹簧钢板吊环等。Q345 是我国产量最大、使用最多的低合金结构钢，它的综合力学性能、焊接性能、加工性能良好，国产



载重汽车的大梁几乎都采用 Q345 钢。

2. 合金结构钢

在碳素结构钢的基础上加入合金元素而得到的钢称为合金结构钢，牌号表示依次为两位数字、元素符号和数字。前两位数字表示钢中平均碳的质量分数的万分数，元素符号表示钢中所含的合金元素，元素符号后的数字表示该合金元素平均质量分数的百分数，若平均质量分数小于 1.5%，则元素符号后不标出数字（若平均质量分数为 1.5%~2.4%，2.5%~3.4% 等，则在相应的合金元素符号后标注 2, 3 等），如 20CrMnTi 钢，表示钢中平均 $w(C) = 0.20\%$ 、 $w(Cr)$ 、 $w(Mn)$ 、 $w(Ti)$ 均小于 1.5%。

合金结构钢根据性能和用途，又可分为合金渗碳钢、合金调质钢、合金弹簧钢和滚动轴承钢等。

(1) 合金渗碳钢

适用于渗碳、淬火和低温回火的热处理方式的合金结构钢称为合金渗碳钢。其主要用于制造表面耐磨而心部韧性好的零件。此类钢的成分特点为低碳（0.12%~0.25%），主要的合金元素为铬，还可加入镍、锰、钨、钼、钒、钛等合金元素。20CrMnTi 是应用最广泛的合金渗碳钢，用于制造汽车的变速齿轮、轴、活塞销等零件。

(2) 合金调质钢

合金调质钢是在中碳钢的基础上加入一些合金元素，经调质处理后使用，用于制造重载、受力复杂且要求综合力学性能较好的重要零件。这类钢中碳的质量分数为 0.25%~0.50%，主要的合金元素是锰、硅、铬、镍、硼等。

在合金调质钢中，40Cr、40MnB 适用于制造中等截面的结构件，如汽车连杆螺栓、后桥半轴等，40CrNiTi、37CrNi3 适用于制造大截面、承受大载荷的重要结构件，如中间轴、曲轴等。

(3) 合金弹簧钢

适合于制作弹簧的合金结构钢称为合金弹簧钢。弹簧是汽车中应用比较多的零件，常在振动、冲击载荷及交变载荷状态下工作，因此要求弹簧钢应具有高弹性极限、疲劳强度以及足够的韧性。为了获得所需要的性能，合金弹簧钢中的碳质量分数为 0.45%~0.75%，主要的合金元素为硅、锰、钨、钒、铬等。此类钢的热处理一般为淬火加中温回火。常用的 65Mn、60Si2Mn 等用于制造截面不大于 25 mm 的各种螺旋弹簧和钢板弹簧，55CrMnA、60CrMnA 用于制造截面小于 50 mm 的各种螺旋弹簧和钢板弹簧。

(4) 滚动轴承钢

滚动轴承钢是制造滚动轴承内圈、外圈及滚动体的专用钢。滚动轴承工作时要求



材料必须具有高而均匀的硬度、耐磨性高的接触疲劳强度和弹性极限，且塑性、韧性和耐蚀性都必须达到要求。根据此性能要求，滚动轴承钢中碳的质量分数为 0.95%~1.15%，加入 0.4%~1.65%的铬。此类钢的预备热处理为球化退火，最终热处理为淬火加低温回火，因而具有较高的抗拉强度和屈强比，较高的韧性和疲劳强度，以及低的韧性—脆性转变温度，可用于制造截面尺寸较大的机器零件。

滚动轴承钢的牌号由“滚”字汉语拼音字首“G”、合金元素符号“Cr”和数字组成，数字表示铬的平均质量分数的千分数，碳的质量分数不标出。例如，GCr15 表示平均铬的质量分数为 1.5%的轴承钢。GCr15 是轴承钢中应用最多的钢，主要用于制造壁厚小于 12 mm、外径小于 50 mm 的套圈以及直径为 25.50 mm 的钢球。

3. 合金工具钢

合金工具钢是在碳素工具钢基础上加入铬、钨、钼、钒等合金元素，以提高淬透性、韧性、耐磨性和耐热性，主要用于制造量具、刀具、耐冲击工具和冷、热模具及一些特殊用途的工具，也可用于制造柴油机燃料泵的活塞、阀门、阀座以及燃料阀喷嘴等。

合金工具钢的牌号表示方法与合金结构钢基本相似，不同的是平均碳的质量分数大于 1%时，牌号中不标出碳的质量分数；平均碳的质量分数小于 1%时，则以一位数字表示平均碳的质量分数的千分数。例如，CrWMn 钢表示碳的质量分数大于 1%，Cr、W、Mn 的质量分数小于 1.5%的合金工具钢。又如，9Mn2V 表示平均碳的质量分数为 0.9%， $\omega(\text{Mn}) = 2.0\%$ ， $\omega(\text{V}) < 1.5\%$ 的合金工具钢。

合金工具钢的淬硬性、淬透性、耐磨性和韧性均比碳素工具钢高，按用途大致可分为刀具钢、模具钢和量具钢三类。其中，碳的质量分数高的钢（碳质量分数大于 0.80%）多用于制造刀具、量具和冷作模具，这类钢淬火后的硬度在 60 HRC 以上，且具有足够的耐磨性；碳的质量分数中等的钢（碳的质量分数为 0.35%~0.70%）多用于制造热作模具，这类钢淬火后的硬度稍低，为 50~55 HRC，但韧性良好。

(1) 刀具钢

刀具在工作条件下产生强烈的磨损并发热，还要承受震动和一定的冲击负荷，因此刀具钢要有高的硬度、耐磨性、红硬性和良好的韧性。为了保证其具有高的硬度，满足形成合金碳化物的需要，钢中碳的质量分数一般为 0.80%~1.45%，铬也是这类钢的主要合金元素，质量分数一般为 0.50%~1.70%，有的钢还含有钨，以提高切削金属的性能。这类工具钢因为含有合金元素，所以淬透性比碳素工具钢好，热处理产生的变形小，具有高的硬度和耐磨性，常用的有铬钢、硅铬钢和铬钨锰钢等。

刀具钢又分为低合金刀具钢和高速钢。低合金刀具钢主要是含铬的钢，而高速钢是一种含钨、铬、钒等合金元素较多的钢。高速钢有很高的热硬性，当切削温度高达 600℃时，其硬度仍无明显下降。此外，高速钢还具有足够的强度、韧性和刃磨性，所以它是重要的切削刀具材料。常用的高速钢有 W18Cr4V、W6Mo5Cr4V2



及 9W18Cr4V。

刀具钢主要用于制造低速切削刀具（如木工工具、钳工工具、钻头、铣刀、拉刀等）及测量工具（如卡尺、千分尺、块规、样板等）。量具刀具钢要求具有高硬度（62~65 HRC）、高耐磨性、足够的强韧性和较高的热硬性（即刀具在高温时仍能保持高的硬度），为保证测量的准确性，要求量具刀具钢具有良好的尺寸稳定性。9SiCr 是应用广泛的刀具钢，用于制作要求变形小的各种薄刃低速切削刀具，如板牙、丝锥、铰刀等。图 1-12 所示的板牙就是用刀具钢加工得到的。



图 1-12 板牙

（2）模具钢

模具大致可分为冷作模具、热作模具和塑料模具三类，用于锻造、冲压、切型、压铸等。由于各种模具用途不同，工作条件复杂，因此模具钢应具有高的硬度、强度、耐磨性、足够的韧性以及高的淬透性、淬硬性和其他工艺性能。

①冷作模具包括冷冲模、拉丝模、拉延模、压印模、搓丝模、滚丝板、冷镦模和冷挤压模等，因此它按其所制造模具的工作条件，应具有高硬度、高强度、耐磨性、足够的韧性以及高的淬透性、淬硬性和其他工艺性能。用于这类用途的合金工具用钢一般属于高碳合金钢，碳的质量分数在 0.80% 以上，铬是这类钢的重要合金元素，其质量分数通常不大于 5%。但对于一些耐磨性要求很高，淬火后变形很小的模具用钢，铬的最高质量分数可达 13%，并且为了形成大量碳化物，钢中碳的质量分数也很高，最高可达 2.0%~2.3%。冷作模具钢中碳的质量分数较高，其组织大部分属于过共析钢或莱氏体钢。常用的钢类有高碳低合金钢、高碳高铬钢、铬钼钢、中碳铬钼钨钢等。

冷作模具用于冷态下（工作温度低于 200~300℃）金属的成型加工，如冷冲模、冷挤压模、剪切模等。这类模具承受很大的压力、强烈的摩擦和一定的冲击，因此要求具有高硬度、耐磨性和足够的韧性。此外，形状复杂、精密、大型的模具还要求具有较高的淬透性和较小的热处理变形。

常用的冷作模具钢包括 Cr12、Cr12MoV 等，这类钢的淬透性及耐磨性好，热处理变形小，常用于大型冷作模具，其中 Cr12MoV 钢除耐磨性不及 Cr12 钢之外，强度、韧性都较好，应用最广。尺寸较小的冷作模具可选用低合金冷作模具钢 CrWMn 等，也可采用刀具钢 9SiCr 或轴承钢 GCr15。

②热作模具分为锤锻、模锻、挤压和压铸几种主要类型，包括热锻模、压力机锻模、冲压模、热挤压模和金属压铸模等。热变形模具在工作中除了承受较大的机械应力外，还要承受反复受热和冷却作用而引起的很大的热应力，因此热作模具钢除了应具有高的硬度、强度、热硬性、耐磨性和韧性外，还应具有良好的高温强度、热疲劳稳定性、导热性、耐蚀性以及较高的淬透性，以保证整个截面具有一致的力学性能。对于压铸模用钢，还应具有表面层经反复受热和冷却不产生裂纹以及能经受液态金属



流的冲击和侵蚀的性能。这类钢一般属于中碳合金钢，碳的质量分数为 0.30%~0.60%，属于亚共析钢，也有一部分钢由于加入较多的合金元素（如钨、钼、钒等）而成为共析或过共析钢。常用的钢类有铬锰钢、铬镍钢、铬钨钢等。

热作模具用于热态金属的成型加工，如热锻模、压铸模、热挤压模等。热作模具工作时受到较高的冲击载荷，同时模腔表面要与炽热金属接触并发生摩擦，局部温度可达 500℃ 以上，还要不断地反复受热与冷却，常因热疲劳而使模腔表面龟裂，故要求热作模具钢在高温下具有较高的综合力学性能及良好的耐热疲劳性，还须具有足够的淬透性。图 1-13 所示为热作模具。

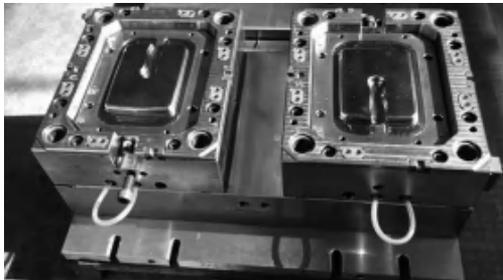


图 1-13 热作模具

常用热锻模具钢有 5CrMnMo 和 5CrNiMo，其中 5CrMnMo 常用于制造中小型热锻模，5CrNiMo 常用于制造大中型热锻模。对于受静压力作用的模具（如压铸模、挤压模等），应选用 3Cr2W8V 或 4Cr5W2VSi 钢。

③塑料模具包括热塑性塑料模具和热固性塑料模具。塑料模具用钢要求具有一定的强度、硬度、耐磨性、热稳定性和耐蚀性等性能，还要求具有良好的工艺性，如热处理变形小、加工性能好、耐蚀性好、研磨和抛光性能好、补焊性能好、粗糙度高、导热性好以及工作条件尺寸和形状稳定等。一般情况下，塑料注射成型或挤压成型模具可选用热作模具钢；热固性塑料成形模具和要求高耐磨、高强度的模具可选用冷作模具钢。

塑料模具所受的应力和磨损较小，主要失效形式为模具表面质量下降，因此应具备以下性能：良好的加工性能，在较高预硬硬度（28~35 HRC）下，便于进行切削加工或电火花加工，易于蚀刻各种图案、文字和符号；良好的抛光性，模具抛光后表面达到高镜面度（一般 Ra 值为 0.1~0.012 μm ）；较高的硬度（热处理后硬度应超过 45~55 HRC），良好的耐磨性，足够的强度和韧性；热处理变形小（保证精度）、良好的焊接性（便于进行模具焊补）等。由于塑料模具对力学性能的要求不高，所以材料选择有较大的机动性。图 1-14 所示为注塑模。

（3）量具钢

量具应具有良好的尺寸稳定性、高耐磨性、高硬度和一定的韧性，因此量具钢应具有硬度高、组织稳定、耐磨性好、研磨和加工性能良好、热处理变形小、膨胀系数小和耐蚀性好的特性。这类钢一般属于过共析钢，加入的合金元素有铬、锰、钨、钼等。常用的钢类有铬钢、铬钨锰钢、锰钒钢等。图 1-15 所示为量具。

高精度量具（如块规）可采用 Cr2、CrWMn 等量具刀具钢制造，也可用轴承钢（如 GCr15）制造；简单量具（如卡尺、样板、直尺、量规等）多用碳素工具钢制造



(如 T10A); 要求精密并须防止腐蚀的量具, 采用不锈钢 3Cr13、9Cr18 制造。

量具刃具钢的预先热处理为球化退火, 最终热处理为淬火加低温回火, 热处理后硬度达 60~65 HRC。高精度量具在淬火后可进行冷处理, 以减少残余奥氏体量, 从而增加其尺寸稳定性。为了进一步提高尺寸稳定性, 淬火回火后还可进行时效处理。



图 1-14 注塑模



图 1-15 量具

4. 特殊性能钢

特殊性能钢是指具有某些特殊的物理、化学和力学性能, 能在特殊的环境和工作条件下使用的钢。其牌号表示方法与合金工具钢基本相同, 但当钢中碳的质量分数小于 0.03% 或小于 0.08% 时, 牌号分别以“00”或“0”为首, 如 00Cr17Ni14Mo2、0Cr18Ni11Ti 钢等。

常用的特殊性能钢有不锈钢、耐热钢及耐磨钢。

(1) 不锈钢

在腐蚀介质中具有耐腐蚀性能的钢称为不锈钢。不锈钢的主要合金元素是铬和镍, 不锈钢的性能要求中最重要的是耐蚀性能, 除此之外还要有合适的力学性能, 良好的冷、热加工和焊接工艺性能。铬是不锈钢获得耐蚀性的基本合金元素, 当 $w(\text{Cr}) \geq 11.7\%$ 时, 会使钢的表面形成致密的 Cr_2O_3 保护膜, 避免形成电化学原电池。加入 Cr、Ni 等合金元素, 还可提高被保护金属的电极电位, 减少原电池极间的电位差, 从而减小电流, 使腐蚀速度降低, 或使钢在室温下获得单相组织 (奥氏体、铁素体或马氏体), 以免在不同的相之间形成微电池, 从而通过提高对化学腐蚀和电化学腐蚀的抑制能力来提高钢的耐蚀性。

常用马氏体不锈钢中碳的质量分数为 0.1%~0.45%, 铬的质量分数为 12%~14%, 属于铬不锈钢。随着钢中碳的质量分数的增加, 钢的强度、硬度和耐磨性提高, 但耐蚀性则下降。为了提高耐蚀性及机械性能, 这类钢最后热处理采用淬火和回火。它在空气中可淬硬, 但一般用油冷的方式。这类钢多用于机械性能要求较高而耐蚀性要求较低的零件, 如汽轮机叶片、各种泵的零件、弹簧、滚动轴承及一些医疗器械。

常用铁素体不锈钢中碳的质量分数低于 0.15%, 铬的质量分数为 12%~30%, 也属于铬不锈钢。其塑性、焊接性均较马氏体不锈钢好。这类钢广泛用于制造硝酸、氮



肥、磷酸等化学工业中。

奥氏体不锈钢是应用最广泛的不锈钢，属于镍铬钢。

常用的不锈钢有 1Cr13、2Cr13、3Cr13、1Cr17、1Cr18Ni9Ti 和 0Cr19Ni9Ti 等，适用于制造化工设备、医疗和食品器械等。

(2) 耐热钢

耐热钢是指在高温下不发生氧化并具有较高强度的钢。为提高耐蚀性和高温强度，常加入较多的铬、硅、铝、镍等合金元素。耐热钢用于制造在高温条件下工作的零件，如内燃机气阀、加热炉管道、汽轮机叶片等。常用的耐热钢有 1Cr13Si13、4Cr14Ni14W2Mo、0Cr13Al 等。在汽车上常用的耐热钢是 4Cr9Si2、4Cr10Si2Mo 等，用于制造发动机排气门等。

一般钢铁在较高温度下（560℃以上）表面容易氧化，主要是由于在高温下生成疏松多孔的 FeO，它较易剥落，最终导致零件破坏。实际应用的抗氧化钢大多数是在铬钢、铬镍钢、铬锰氮钢基础上添加硅、铝而成的，和不锈钢一样，碳的质量分数增大，会降低钢的抗氧化性，故一般抗氧化钢为低碳钢。

金属在高温下的强度有两个特点：一是温度升高，金属原子间结合力减弱、强度下降；二是在再结晶温度以上，即使金属受的应力不超过该温度下的弹性极限，它也会缓慢地发生塑性变形，且变形量随时间的增长而增大，最后导致金属破坏，这种现象称为蠕变。产生蠕变的原因是在高温下金属原子扩散能力增大，使那些在低温下起强化作用的因素逐渐减弱或消失。热强钢采用的合金元素有铬、镍、钼、钨、硅等，除了具有提高高温强度的作用外，还可提高高温抗氧化性。

(3) 耐磨钢

耐磨钢常用的是高锰钢，适用于制造在强烈冲击下工作且要求耐磨的零件。这类零件要求必须具有表面硬度高、耐磨，心部韧性好和强度高特点。耐磨钢的牌号是 ZGMn13，成分特点是高碳、高锰，碳的质量分数为 0.9%~1.3%，锰的质量分数为 11.5%~14.5%。

耐磨钢只有在强烈冲击与摩擦的作用下才具有耐磨性，在一般机器工作条件下它并不耐磨。耐磨钢主要用于制造坦克、拖拉机的履带，挖掘机铲斗的斗齿以及防弹钢板、保险箱钢板、铁路道岔等。由于高锰钢极易加工硬化，使切削加工困难，故大多数高锰钢零件采用铸造成型。

四、铸铁

碳的质量分数高于 2.11% 的铁碳合金称为铸铁，工业上常用的铸铁中碳的质量分数为 2%~4%。它是比碳钢含有更多的锰、硫、磷等杂质的铁、碳、硅多元合金。由于铸铁具有良好的铸造性能、切削性能及一定的力学性能，所以在机械制造中应用很广。按质量计算，汽车、拖拉机中铸铁零件占 50%~70%。根据碳在铸铁中存在形态



的不同, 铸铁可分为白口铸铁、灰铸铁、可锻铸铁、球墨铸铁和合金铸铁等。

1. 白口铸铁

碳在铁中以渗碳体形式存在, 断口呈灰白色, 称为白口铸铁。白口铸铁硬度高、脆性大, 凝固时收缩大, 易产生缩孔、裂纹, 一般不用来制造机械零件。除用来制造表面有高硬度和耐磨并受冲击不大的铸件, 如轧辐、犁等铸件之外, 主要用作炼钢原料。白口铸铁是一种良好的抗磨材料, 常在磨损条件下工作。

白口铸铁包括普通白口铸铁、低合金白口铸铁、中合金白口铸铁和高合金白口铸铁。

普通白口铸铁具有高碳低硅的特点, 有较高的硬度, 但很脆, 适用于制造冲击载荷小的零件, 一般用在犁铧、磨片、导板等方面。生产中常采用热处理的方法来改善其性能, 扩大它的应用范围。碳对于普通白口铸铁的耐磨性能起最重要的作用, 碳的质量分数越大, 硬度越高, 耐磨性也就越好, 但碳的质量分数大会引起韧性下降。

低合金白口铸铁是在普通白口铸铁中添加少量合金元素, 以提高碳化物显微硬度, 强化金属基体, 从而提高耐磨性。含铬、钼、铜等元素的白口铸铁通常用冲天炉熔炼, 大多在铸态下使用, 因此成本较低, 但这种白口铸铁脆性较大, 适用于对耐磨性和韧性要求不太高的场合; 中合金白口铸铁以铬为主要合金元素, 加入铬的质量分数达 9% 时, 硬度可达 1 300~1 800 HV, 且韧性好、强度高; 高合金白口铸铁用得最广泛的是含铬量为 12%~20% 的高铬白口铸铁, 高铬白口铸铁在干磨中有广泛应用, 如炼铁高炉料盅和溜槽衬板等。

白口铸铁的耐磨性和其他抗磨材料一样, 既受本身材质性能的影响, 也受磨料性质、工作介质、工作条件等的影响, 要获得良好的耐磨性, 必须通过分析进行恰当的选用才能取得较好的效果。

2. 灰铸铁

灰铸铁中碳的质量分数较大 (为 2.7%~4.0%), 碳主要以片状石墨形态存在, 断口呈灰色, 简称灰铁。熔点低 (为 1 145~1 250 °C), 凝固时收缩量小, 抗压强度和硬度接近碳素钢, 减震性好, 由于片状石墨存在, 故耐磨性好。铸造性能和切削加工性能较好, 用于制造机床床身、气缸、箱体等结构件。灰铸铁的牌号由“HT”和一组数字表示, 其中“HT”是“灰铁”两字的汉语拼音首字母, 其后一组数字表示最小抗拉强度。例如, HT250 表示最小抗拉强度为 250 MPa 的灰铸铁。灰铸铁产量占铸铁总产量的 80% 以上。

常用的 HT200 适用于承受大载荷的重要零件, 如汽车的气缸体、气缸盖、刹车轮等; HT300、HT350 适用于承受高载荷、要求耐磨和高气密性的重要零件, 如大型发动机的气缸体、气缸盖、气缸套、油缸、泵体、阀体等。

灰铸铁具有良好的铸造性、减震性、耐磨性、切削加工性能和较低的缺口敏感性。灰铸铁的热处理包括消除内应力退火、改善切削加工性退火和表面淬火。



3. 可锻铸铁

可锻铸铁是由一定成分白口铸铁经过较长时间的高温退火而得到的铸铁，由于碳在铸铁组织中以团絮状石墨形式存在，团絮状石墨对金属基体的割裂作用较片状石墨小得多，所以其组织性能均匀、耐磨损、有良好的塑性和韧性，用于制造形状复杂、能承受较强动载荷的零件。与灰铸铁相比，可锻铸铁有较好的强度和塑性，特别是低温冲击性能较好，但可锻铸铁并不能进行锻压加工，耐磨性和减震性优于普通碳素钢，这种铸铁因具有一定的塑性和韧性，所以俗称玛钢、马铁，又称展性铸铁或韧性铸铁。黑心可锻铸铁用于受冲击、震动和扭转载荷的零件，常用于制造汽车后桥、弹簧支架、低压阀门、管接头、工具扳手等；珠光体可锻铸铁常用来制造动力机械和农业机械的耐磨零件；白心可锻铸铁由于可锻化退火时间长而较少应用。

白心可锻铸铁是将碳、硅含量较低的白口铸铁密封在氧化介质中，在 $950 \sim 1050 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度下保持几十个小时进行脱碳退火处理，得到外层为铁素体、中心残留少量珠光体和团絮状石墨的显微组织，其心部断口呈白色，故称为白心可锻铸铁。

黑心可锻铸铁是将碳、硅含量较低的白口铸铁放在中性介质中进行石墨化处理，在 $850 \sim 950 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度下保持几十小时，炉内冷却至 $720 \sim 740 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 再保温十几小时，最后得到铁素体基体和团絮状石墨的铁素体黑心可锻铸铁；或在 $850 \sim 950 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 下保温十几小时后出炉，在空气中冷却，得到珠光体基体和团絮状石墨的珠光体黑心可锻铸铁。

可锻铸铁的牌号由“KTH”（“可铁黑”三字汉语拼音首字母）或“KTZ”（“可铁珠”三字汉语拼音首字母）后附最低抗拉强度值（MPa）和最低断后伸长率的百分数表示。例如，牌号 KTH350-10 表示最低抗拉强度为 350 MPa、最低断后伸长率为 10% 的黑心可锻铸铁，即铁素体可锻铸铁；KTZ650-02 表示最低抗拉强度为 650 MPa、最低断后伸长率为 2% 的珠光体可锻铸铁。

常见的可锻铸铁有 KTH300-06、KTH330-08、KTH350-10、KTH370-12，常用于制造管道配件、低压阀门、汽车拖拉机的后桥外壳、转向机构、机床零件等；KTZ450-06、KTZ550-04、KTZ650-02、KTZ700-02 等用于制造强度要求较高、耐磨性较好的铸件，如齿轮箱、凸轮轴、曲轴、连杆、活塞环等；KTB380-04、KTB380-12、KTB400-05、KTB450-07 为白心可锻铸铁，仅限于制造薄壁铸件和焊接后不需进行热处理的铸件，由于工艺较复杂，故在机械制造上较少应用。

4. 球墨铸铁

将灰口铸铁铁水经球化处理获得，析出的石墨呈球状，简称球铁。其中的碳全部或大部分以自由状态的球状石墨存在，断口呈银灰色，球墨铸铁比普通灰口铸铁有较高的强度、较好的韧性和塑性。

球墨铸铁是通过球化和孕育处理得到球状石墨，有效地提高了铸铁的机械性能，特别是提高了塑性和韧性，从而得到比碳钢还高的强度。球墨铸铁是 20 世纪 50 年代发展起来的一种高强度铸铁材料，其综合性能接近于钢，正是基于其优异的性能，已成功地用



于铸造一些受力复杂,强度、韧性、耐磨性要求较高的零件,已迅速发展为仅次于灰铸铁且应用十分广泛的铸铁材料。所谓“以铁代钢”,就主要指球墨铸铁。

球状石墨对金属基体的割裂作用比其他形状石墨小,能使铸铁的强度达到基体组织强度的70%~90%,抗拉强度可达1200 N/mm²,并且具有良好的韧性。球墨铸铁除铁之外,通常碳的质量分数为3.0%~4.0%,硅的质量分数为1.8%~3.2%,锰、磷、硫质量分数的总和不超过3.0%以及适量的稀土、镁等球化元素。

球铁铸件已在一些主要工业部门中得到应用,这些部门要求铸件具有高的强度、塑性、韧性、耐磨性、耐严重的热和机械冲击、耐高温或低温、耐腐蚀以及尺寸稳定性等。为了满足使用条件的这些变化,球墨铸铁有许多牌号,提供了机械性能和物理性能很宽的一个范围。

ISO 1083中规定的大多数球墨铸铁铸件,主要是以非合金态生产的。显然,这个范围包括抗拉强度大于800 N/mm²,延伸率为2%的高强度牌号。另一个极端是高塑性牌号,其延伸率大于17%,而相应的强度较低(最低为370 N/mm²)。强度和延伸率并不是设计者选择材料的唯一根据,而其他决定性的重要性能还包括屈服强度、弹性模数、耐磨性和疲劳强度、硬度和冲击性能等。另外,耐蚀性和抗氧化以及电磁性能对于设计者也是关键的。为了满足这些特殊用途,研制了一组奥氏体球铁,通常称Ni-Resis球铁,这些奥氏体球铁主要用镍、铬和锰合金化,并且列入了国际标准。

球墨铸铁的牌号由“QT”和两组数字表示。例如,QT45-5的第一组数字表示最低抗拉强度,第二组数字表示最低延伸率,用于制造内燃机、汽车零部件及农机具等。

QT400-18适用于制造汽车、拖拉机的牵引框、轮毂、离合器及减速器的壳体;QT700-2适用于制造柴油机和汽油机的曲轴、连杆、凸轮轴等零件。

5. 合金铸铁

合金铸铁是指在普通铸铁中加入合金元素而具有特殊性能的铸铁,通常加入的合金元素有硅、锰、磷、镍、铬、钼、铜、铝、硼、钒、钛、铈、锡等。合金铸铁根据合金元素的加入量分为低合金铸铁(合金元素的质量分数小于3%)、中合金铸铁(合金元素的质量分数为3%~10%)和高合金铸铁(合金元素的质量分数大于10%)。合金元素能使铸铁基体组织发生变化,从而使铸铁获得特殊的耐热、耐磨、耐腐蚀、无磁和耐低温等物理、化学性能,因此这种铸铁也称“特殊性能铸铁”。合金铸铁广泛用于机器制造、冶金矿山、化工、仪表工业以及冷冻技术等部门。

常用的合金铸铁分为耐磨铸铁、耐热铸铁、耐蚀铸铁等。

(1) 耐磨铸铁

耐磨铸铁分为减摩铸铁和抗磨铸铁两类。减摩铸铁应有较低的摩擦系数和能够很好地保持连续油膜的能力,最适宜的组织形式应是在软基体上分布有坚硬的强化相。细层状珠光体灰铸铁就能满足这一要求,其中铁素体为软基体,渗碳体为强化相,同时石墨也起着储油和润滑的作用。常用的减摩铸铁如高磷铸铁,通过提高磷的质量分



数,可形成高硬度的磷化物共晶,呈网状分布在珠光体基体上,形成坚硬的骨架,使铸铁的耐磨损能力比普通灰铸铁提高一倍以上。在含磷较高的铸铁中,再加入适量的铬、钼、铜或微量的钒、钛和硼等元素,则耐磨性能更好。减摩铸铁常用于润滑条件下工作的零件,如机床导轨、汽缸套及轴承等。

常用的减摩铸铁如普通白口铸铁,它是一种抗磨性高的铸铁,但其脆性大,不宜制造承受冲击的零件,在有冲击的场合可使用冷硬铸铁;含有少量的铬、钼、钨、锰、镍、硼等合金元素的低合金白口铸铁具有一定的韧性,用于低冲击载荷条件下的抗磨零件,如抛丸机叶片、砂浆泵件、农产品加工设备中的易磨损件等;在中、低冲击载荷的高应力碾压磨损条件下,高铬白口铸铁代替高锰钢已显示出了优越的抗磨性能;中锰球墨铸铁具有很好的耐磨性、较高的强度和韧性,适用于犁铧、饲料粉碎机锤片、中小球磨机磨球、衬板、粉碎机锤头等。抗磨铸铁的组织应具有均匀的高硬度,主要用于无润滑、干摩擦的零件,如轧辊、犁铧、抛丸机叶片、球磨机衬板和磨球等。

(2) 耐热铸铁

耐热铸铁是指在高温下具有一定的抗氧化和抗生长能力,并能承受一定载荷。在高温下铸铁会发生氧化和生长现象。氧化是指铸铁在高温下受氧化侵蚀,在铸铁表面产生氧化皮;生长是指铸铁在高温下产生不可逆的体积长大的现象,其原因是氧气通过石墨片的边界及裂纹间隙渗入铸铁内部,生成密度较小的氧化物,加上高温下渗碳体分解形成比容较大的石墨,使铸铁的体积不断胀大。

为防止热生长,耐热铸铁采用球墨铸铁较好。目前,耐热铸铁中主要加入硅、铝、铬等合金元素,它们在铸铁表面形成一层致密的稳定性好的氧化膜(SiO_2 、 Al_2O_3 、 Cr_2O_3),保护内部金属不被继续氧化。同时,这些元素能提高固态相变临界点,使铸铁在使用范围内不致发生相变,以减少由此而造成的体积胀大和显微裂纹等。

常用的耐热铸铁有中硅铸铁、高铬铸铁、镍铬硅铸铁、镍铬球墨铸铁等,可用来代替耐热钢制造耐热零件,如加热炉底板、热交换器、坩埚等。

(3) 耐蚀铸铁

耐蚀铸铁具有较高的耐蚀性能。其耐蚀措施与不锈钢相似,一般加入硅、铝、铬、镍、铜等合金元素,在铸件表面形成牢固的、致密而又完整的保护膜,阻止腐蚀继续进行,提高铸铁基体的电极电位,从而提高铸铁的耐蚀性。

应用最广泛的是高硅耐蚀铸铁,这种铸铁在含氧酸类和盐类介质中有良好的耐蚀性,但在碱性介质和盐酸、氢氟酸中,因表面 SiO_2 保护膜被破坏,耐蚀性有所下降。耐蚀铸铁广泛用于化工部门,用来制造管道、阀门、泵类、反应锅及盛储器等。



任务实施

一、任务场景

理实一体化教室。



二、任务要求

1. 演练任务：熟悉不同类型铁基金属材料的特点、牌号及应用。
2. 演练目的：掌握合金钢、碳素钢和铸铁的物理和化学特点、牌号表示方法与应用，为后续学习汽车技术专业知识做好铺垫。
3. 演练内容：制作 PPT 进行汇报，汇报内容包括铁基金属材料的特点、分类，以及汽车上常见的合金钢、碳素钢及铸铁的物理及化学特点、牌号表示方法和具体应用范围。

三、任务分组

本任务采用分组实施方式进行，4~8 人为一组，通过学生自荐或者推荐的方式选出组长，由组长负责团队的组织协调工作，带头示范、督促，帮助其他组员完成相应的工作。

四、任务步骤

1. 学生以小组为单位分析讨论，并填写工单。
 - (1) 如何定义铁基金属材料？铁基金属材料有哪些类型？
 - (2) 简述普通碳素钢的牌号表示方法。
 - (3) 特殊碳素结构钢的类型有哪些？各有什么用途？
 - (4) 合金钢有哪些类型？各种类型的牌号表示方法是什么？各有什么用途？
 - (5) 请解释下列 4 种铁基金属牌号 Q235-A、T10A、Y40Mn、QT45-5 的含义。
2. 制作 PPT，小组选出代表，展示和讲解 PPT 内容。



五、任务反思

1. 学生在完成任务过程中的收获和启示。
2. 学生在完成任务过程中的不足。

任务评价

铁基金属材料学习任务表现评分表，如表 1-1 所示。

表 1-1 学习任务表现评分表

序号	评价项目	分值	评价指标	自评 (30%)	互评 (30%)	师评 (40%)
1	职业素养 30分	5	小组分工明确，能够对学习任务内容及实施步骤进行精心准备			
		5	有团队意识、合作能力			
		5	PPT 展示仪表着装得体，能较好地激发学习兴趣，营造良好的学习氛围			
		5	成果展示内容充实、语言表达规范、声音洪亮、吐字清晰			
		5	开始和结束有吸引力			
		5	体现专业性和真实性			
2	专业能力 60分	15	学习积极主动，态度认真，遵守教学秩序			
		15	PPT 制作美观、新颖，布局合理			
		15	PPT 内容层次清晰，重点突出			
		15	PPT 中有关铁基金属材料的分类、牌号表示及应用内容表述正确			
3	创新意识 10分	10	有创新思维和行动			
总配分		100	总得分			
综合评价						



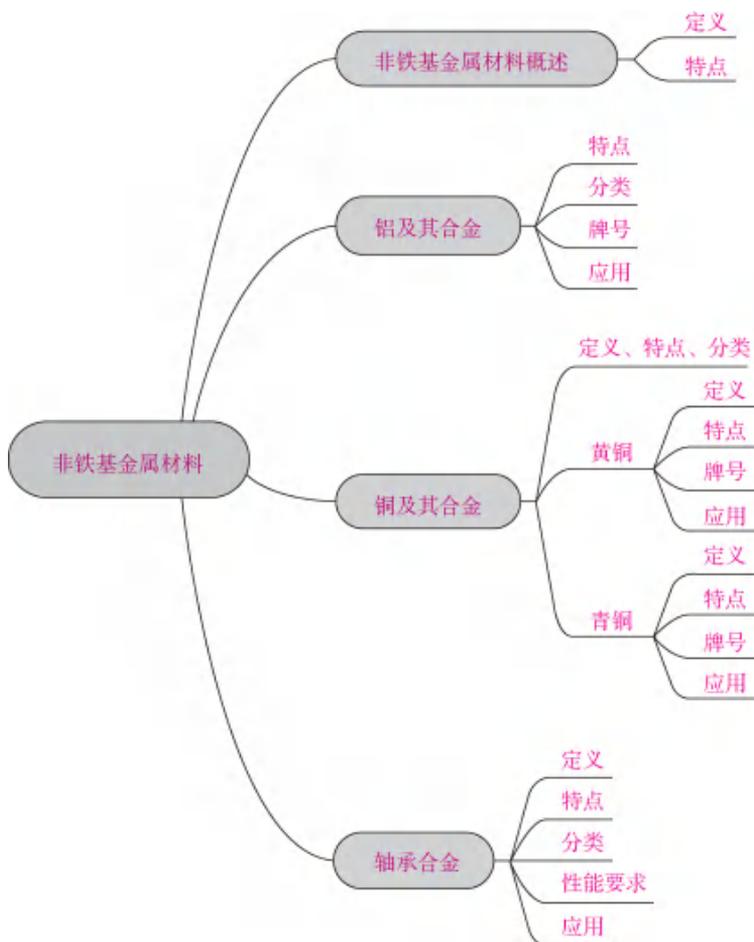
任务二 非铁基金属材料

任务描述

汽车维修工在对一辆工程车的液压系统进行维修时，需更换一个铜制的配件，由于没有现成的配件和合适的材料，就用其他型号的材料自己加工了一个零件临时安装在车上，但没过多久该车所使用的自制零件就出现了漏液等问题，为什么会出现这种情况呢？

检查发现漏液的零件的主要问题在于零件材料的选择不当，由于不同材料的性能不一样，不同的零部件需采用不同的材料进行加工。铜制配件由于具有和钢不同的特性，所以常用于制造耐蚀和耐磨零件，如阀门和管件等。因此，不同材料制造的相同尺寸的零件，不能随意替换。

思维导图





任务知识

一、非铁基金属材料概述

工业生产中把钢铁材料以外的所有金属材料统称为非铁基金属材料，也称有色金属材料。与钢铁材料相比，非铁基金属价格高、产量低，但由于其具有许多优良特性，容易满足汽车上某些零件的特殊要求，因此具有重要的地位，成为不可缺少的工程材料，如铝及其合金的密度小，铜、铝及其合金具有较好的导电性及耐蚀性等。

二、铝及其合金

铝是一种银白色轻金属，具有良好的延展性，常制成棒状、片状、箔状、粉状、带状和丝状，在潮湿空气中能形成一层防止金属腐蚀的氧化膜。铝粉和铝箔在空气中加热能猛烈燃烧，并发出炫目的白色火焰。铝易溶于稀硫酸、硝酸、盐酸、氢氧化钠和氢氧化钾溶液，不溶于水，相对密度为 2.7 g/cm^3 ，熔点为 $660 \text{ }^\circ\text{C}$ ，沸点为 $2\ 327 \text{ }^\circ\text{C}$ 。铝元素在地壳中的含量仅次于氧和硅，居第三位，是地壳中含量丰富的金属元素。航空、建筑、汽车三大重要工业的发展，要求材料特性具有铝及其合金的独特性质，这有利于金属铝的生产和应用。

纯铝的特点是密度小，导电导热性优良，强度较高（ σ_b 为 80 MPa 左右）、硬度低，塑性好，有良好的耐蚀性，故纯铝主要用作导电、导热材料或制造耐蚀零件。现在汽车加热器、散热器、蒸发器、油冷却器多用铝制作，另外纯铝还可制作装饰件、铭牌等。纯铝的导电能力约为铜的 $2/3$ ，但由于其密度仅为铜的 $1/3$ ，因此将等质量与等长度的铝线和铜线相比，铝的导电能力约为铜的两倍。另外，铝的价格较铜低，所以野外高压线多用铝线来代替铜线，节约了大量成本，缓解了铜材的紧张。

铝的导热能力比铁大 3 倍，工业上常用铝制造各种热交换器和散热材料等，家庭中使用的许多炊具也由铝制成，与铁相比，它还不锈，延长了使用寿命。铝粉具有银白色的光泽，常和其他物质混合用作涂料，刷在铁制品的表面，保护铁制品免遭腐蚀，而且美观。由于铝在氧气中燃烧时能发出耀眼的白光并放出大量的热，因此常被用来制造一些爆炸混合物，如铵铝炸药等。

在冶金工业中，常用铝热剂来熔炼难熔金属。例如，铝粉和氧化铁粉混合引燃后即发生剧烈反应，常用此来焊接钢轨；炼钢工业中铝常用作脱氧剂。光洁的铝板具有良好的光反射性能，可用来制造高质量的反射镜、聚光碗等。铝还具有良好的吸声性能，根据这一特点，一些广播室、现代化大型建筑内的天花板等就采用铝来进行消声。

1. 纯铝

纯铝按其纯度分为高纯铝、工业高纯铝和工业纯铝 3 类。焊接用主要是工业纯铝，工业纯铝的纯度为 $98.8\% \sim 99.7\%$ ，其牌号有 L1、L2、L3、L4、L5、L6，共 6 种。

2. 铝合金

往纯铝中加入合金元素就得到了铝合金。



铝合金依其成分和工艺性能，可分为变形铝合金和铸造铝合金。

(1) 变形铝合金

变形铝合金具有较高的强度和良好的塑性，可通过压力加工制成各种半成品，也可以焊接，主要用作各种类型的型材和制造结构件，如发动机机架、飞机大梁等。变形铝合金又可分为防锈铝合金（代号 LF+顺序号）、硬铝合金（代号 LY+顺序号）、超硬铝合金（代号 LC+顺序号）、锻铝合金（代号 LD+顺序号），牌号表示方法见《变形铝及铝合金牌号表示方法》（GB/T 16474-2011）。此类铝合金在汽车中应用不太多。

(2) 铸造铝合金

铸造铝合金可分为 Al-Si 系、Al-Cu 系、Al-Mg 系和 Al-Zn 系 4 类，它们有良好的铸造性能，可以铸成各种形状复杂的零件，但塑性低，不宜进行压力加工。应用最广的是 Al-Si 系合金，该系俗称铝硅明。各类铸造铝合金的牌号为：ZAl+合金元素符号+合金元素的平均质量分数的百分数，如 ZALSi12。代号由 ZL（“铸铝”汉语拼音首字母）及三位数字表示。第一位数字表示主要合金类别：“1”表示 Al-Si 系，“2”表示 Al-Cu 系，“3”表示 Al-Mg 系，“4”表示 Al-Zn 系。第二、第三位数字表示顺序号，如 ZL102、ZL401 等。

铝合金主要牌号有 1024、2011、6060、6063、6061、6082、7075。

铝的合金质量较轻而强度较高，因而在制造飞机、汽车、火箭中被广泛应用。轿车上应用的铝合金以铸铝为主，发动机部分气缸体是大尺寸的铝铸件。采用铝铸件的还有曲轴箱、气缸盖、活塞、滤清器、发动机架等，尤其是活塞几乎都用铝合金制造，我国应用铝硅合金 ZL108、ZL109、ZL111 比较多。另外，底盘上采用铝铸件的零件也不少，如离合器壳、变速器壳等，车轮毂也有用铝合金铸造的。

三、铜及其合金

纯铜是指铜的质量分数最高的铜，因为颜色紫红又称为紫铜，主要成分为铜和银，铜的质量分数为 99.7%~99.95%，主要杂质元素有磷、铋、锑、砷、铁、镍、铅、锡、硫、锌、氧等。纯铜是用电解法获得的，故又名电解铜。纯铜的导电性、导热性优良，耐蚀性和塑性很好，但强度低，常用于制作导体材料、高级铜合金和铜基合金。

国内的紫铜按成分可分为普通紫铜（T1、T2、T3、T4）、无氧铜（TU1、TU2 和高纯、真空无氧铜）、脱氧铜（TUP、TUMn）、添加少量合金元素的特种铜（砷铜、碲铜、银铜）4 类。紫铜的电导率和热导率仅次于银，广泛用于制作导电、导热器材。紫铜在大气、海水和某些非氧化性酸（盐酸、稀硫酸）、碱、盐溶液及多种有机酸（醋酸、柠檬酸）中具有良好的耐蚀性，常用于化学工业。另外，紫铜具有良好的焊接性，可经冷、热塑性加工制成各种半成品和成品。

对于纯铜电阻率理论值，如果把各种材料制成长 1 m、横截面积为 1 mm² 的导线，