

中等专业学校教材

化工机械

龔 斌 霍洪举 赵 进 合編



中国工业出版社

中等专业学校教材



化 工 机 械

龔 斌 霍洪举 赵 进 合編

郝永祿 审

中国工业出版社

本书是根据1964年化学工业部教育司召开的中专化工机械专业教材编审小组扩大会议上所制订的四年制中专化工机械教学大纲(草案)编写的。

根据大纲的要求,本书主要讲述化工机械的结构、性能、运转及一定的设计计算和选型方法。

本书共分三篇:

第一篇是容器及设备壳体,共四章,即受内压的薄壁容器、受外压的薄壁容器、容器及设备的附件与支架、厚壁容器。

第二篇是化工设备,共三章,即列管式换热器、泡罩塔、迴转圆筒设备。

第三篇是化工机器,共三章,即离心机、粉碎机械、运输机械。

本书可作为中等专业学校化工机械专业的试用教科书,也可供有关工程技术人员参考。

化 工 机 械

龔 斌 霍洪举 赵 进 合編
郝永祿 审

*

化学工业部图书编辑室編輯(北京安定門外和平里七区八号楼)

中国工业出版社出版(北京佟麟閣路丙10号)

北京市书刊出版业营业許可証出字第 110 号

中国工业出版社第四印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $787 \times 1092\frac{1}{16}$ ·印张 $10\frac{5}{8}$ ·字数227,000

1965年8月北京第一版·1965年8月北京第一次印刷

印数0001—7,090·定价(科四)1.00元

*

統一书号: K15165·3453(化工-397)

序

本书是按照1964年修訂的全日制四年制中等专业学校化工机械教学大纲(草案)編写的,对于个别內容則根据最近的教学实践作了适当的处理。如考虑到过滤机部分和化工原理重复較多,故未予編入。

在編写过程中,根据“少而精”的原则,尽可能使內容的安排重点突出,繁簡适当,力求通过典型机械的叙述,使学生能够举一反三,对1961年教材中的次要部分和煩瑣部分的内容,作了必要的删减,并且增加了例题。

从学生的实际水平与专业需要出发,結合我国当前生产的实际情况,并注意了与其它課程的联系和分工。

本书定稿前虽曾先后由化学工业部中专化工机械教材編审小組扩大会议上集体討論,郝永祿同志詳細作过审閱,使本书质量有了很大提高,但限于編者教学經驗、科学水平和生产实际知識,书中仍然会存在不少缺点,我們衷心地希望同志們提出批評和指正。

在本书最后修訂整理中,北京化工学校姚定书等同志还帮助做了不少工作,在此一併致謝。

編 者

1965年1月

目 录

序	
緒論	1
第一节 导言	1
一、化工机械的发展简况	1
二、本课程的任务和内容	1
第二节 对化工机械的基本要求	2
一、对生产工艺的要求应能满足	2
二、运转时要安全可靠	2
三、机械的耐久性要长	2
四、操作、安装、维修要方便	2
五、机械要经济合算	3
第三节 化工机械常用的材料	3
一、选择材料时应考虑的因素	3
二、黑色金属及其合金	4
三、有色金属及其合金	7
四、非金属材料	8
第四节 材料的性质及制造方法对 结构形式的影响	9
一、铸造设备的结构特点	9
二、焊接设备的结构特点	11

第一篇 容器与设备壳体

概述	14
第一章 受内压的薄壁容器	15
第一节 壳体的受力分析	15
第二节 壳体无力矩理论的基本方 程式	15
一、微体平衡方程式	15
二、区域平衡方程式	17
三、基本方程式在典型壳体中的应用	18
第三节 边缘应力的概念	21
第四节 圆柱形壳体的强度计算	21
一、强度计算的基本公式	21
二、许用应力的确定	23
三、焊缝强度系数	24
四、腐蚀裕度	25
五、水压试验压力与弯曲应力的校核	25
第五节 容器的顶、底盖	26
一、半球形盖	26
二、碟形盖	27
三、椭圆形盖	29
四、锥形盖	30
五、平板盖	32
六、顶、底盖与器身的联接	33
第二章 受外压的薄壁容器	35
第一节 概述	35
第二节 受外压薄壁圆柱形壳体的 计算	36
一、计算法	36
二、图解法	38
第三节 刚性圈	39
一、刚性圈的作用	39
二、刚性圈的结构	39
三、刚性圈的计算	40
第四节 受外压的顶、底盖	41
第三章 容器及设备的附件与支架	41
第一节 容器及设备上的联接管子用 的部件	41
第二节 手孔、人孔及视孔	43
第三节 器壁开孔的补强	45
一、允许不需要补强的最大开孔直径	45
二、补强的结构	46
三、开孔补强计算	47
第四节 容器及设备的法兰联接	47
一、法兰的结构类型与应用场合	48
二、法兰的压紧面	49

三、垫片的选择	50
四、法兰的联接螺栓	52
五、保证法兰联接紧密性的条件	52
六、法兰联接的标准与选择	55
第五节 容器及设备的支架	56
一、卧式设备支架	56
二、直立设备支架	57
三、风载荷的计算	59
第四章 厚壁容器	64
第一节 概述	64
第二节 高压容器的制造方法	65
一、整体锻造的高压容器	65

二、铸钢高压容器	66
三、多层卷板焊接的高压容器	66
四、缠绕式高压容器	67
第三节 高压容器圆柱形壳体的应力分析	68
一、单层圆筒的应力	68
二、具有预紧力圆筒的应力特点	70
三、圆筒的温度差应力	70
第四节 高压容器的密封	70
一、高压强制式密封	71
二、高压自紧式密封	72
三、高压密封中的螺栓	73

第二篇 化工设备

第五章 列管式换热器	75
第一节 列管式换热器的结构	75
一、固定管板的列管式换热器	75
二、具有补偿器的列管式换热器	76
三、构件能自由伸长的换热器	77
第二节 温度应力的计算	78
第三节 列管式换热器的设计与计算	80
一、管子	80
二、管子的排列、固定及拉脱力计算	80
三、管板	84
四、管板与壳体的联接	86
五、隔板与挡板	86
第四节 列管式换热器的标准化	88
第六章 泡罩塔	89
第一节 泡罩塔的结构和特点	89
第二节 塔板上的流体流动情况	89
一、蒸汽速度	90
二、齿缝的液封	90
三、液体流动情况	91
第三节 塔板的结构	93
一、塔板	93
二、泡罩	94
三、溢流装置	96
第四节 塔的机械计算	98

一、塔板的强度与刚度计算	98
二、塔体的稳定性校核	98
第七章 迴轉圓筒設備	99
第一节 概述	99
第二节 物料在轉筒內的运动情况 及停留時間	101
第三节 轉筒工艺尺寸及主要参数 的决定	103
一、計算轉筒的直径 D 和长度 L	103
二、根据气体速度 v 来校核轉筒直径 D	103
三、决定参数轉速 n 和水平傾角 α	104
第四节 筒体的结构及强度计算	104
一、筒体	104
二、抄板结构	105
第五节 轉筒的支承装置	105
一、滾圈和托輪的结构	106
二、挡輪结构	108
三、滾圈、托輪和挡輪的计算	110
第六节 传动装置及功率计算	112
一、传动装置	112
二、功率计算	113
第七节 端头密封结构	113
一、迷宮式密封	114
二、端面式密封	114

第三篇 化工机器

第八章 离心机	115	二、颚式破碎机的构造	135
第一节 概述	115	三、颚式破碎机的主要参数	138
第二节 轴的临界转速	116	四、颚式破碎机的最大作用力	141
一、轴的临界转速	116	第三节 双滚式破碎机	141
二、大于临界转速时轴的迴轉情况	118	一、双滚式破碎机的构造	141
三、刚性轴和挠性轴	119	二、双滚式破碎机的主要参数	143
第三节 人工操作离心机	119	第四节 球磨机	144
一、三足式离心机	119	一、球磨机的构造及应用	144
二、上悬式离心机	120	二、球磨机的主要参数	146
第四节 自动操作离心机	123	第五节 粉碎机械的选择	148
一、刮刀卸料离心机	123	第十章 固体运输机械	149
二、活塞卸料离心机	125	第一节 概述	149
三、螺旋卸料离心机	127	第二节 带式运输机	149
第五节 轉鼓和軸的強度計算	128	一、带式运输机的应用和特点	149
一、轉鼓的結構	128	二、带式运输机的结构	150
二、圓筒式轉鼓的強度計算	129	三、带式运输机的选型計算	152
三、軸的強度計算	131	第三节 斗式提升机	156
第九章 粉碎机械	132	一、斗式提升机的构造及其应用	156
第一节 概述	132	二、斗式提升机的选型計算	158
一、几种粉碎方法	132	第四节 螺旋运输机	159
二、粉碎度	133	一、螺旋运输机的构造及其应用	159
三、粉碎机械的分类	133	二、螺旋运输机的选型計算	161
第二节 顎式破碎机	134	主要参考书	164
一、顎式破碎机的类型及应用	134		

緒 論

第一节 导 言

一、化工机械的发展簡况

化学工业在国民經济中占有重要的地位。它与农业、重工业、輕工业、国防工业以及人民生活和人民健康等各方面都有密切的关系。

在 18 世紀末及 19 世紀初，化学工业得到很大的发展，需要更完善的化工机械来满足已有产品生产工艺上的要求，就出现了真空蒸发器，精馏塔，压滤机等化工机械。随着化工产品的发展，相应地出现了不少新的化工机械。如随着加压合成氨的出现，相应地制造出高压压缩机和高压合成塔等。

化学工业的不断发展，对化工机械的要求也日益提高。現代化工生产中的生产条件如温度，压力等的范围都很广，压力可以从 10^{-5} [毫米汞柱] 到 1000 [大气压] 以上；温度可以从 -210°C 到 $+300^{\circ}\text{C}$ 以上。处理的物料种类也较多，有些物料还具有易燃、易爆、有毒、有腐蚀作用等性质。此外，化工生产又多具有連續性及大量生产的特点。为了满足这些要求和特点，現代化工机械也日益发展。近年来为了强化生产过程，还创造出一些高效率的机器与设备，如泡沫塔，沸騰床反应器等，都較旧有的同性质设备在传质、传热速度等方面有很大的提高。

由上所述，可知化工机械的发展与化学工业的发展有直接关系；然而，化工机械的发展，却又和机械制造业与冶金工业的发展息息相关。它們对于化工机械的制造与材料供应提供了条件。例如：由于高压设备的制造工艺与结构材料問題得到了解决，高压压缩机与高压合成塔才得以制造成功。

解放后，我国的化学工业和化工机械制造业获得了迅速的发展。尤其是在 1958 年大跃进以来，在党的自力更生方針指导下，依靠自己的力量陸續制成 4300 馬力的高压压缩机、多层卷板的高压容器、大型的空气分离设备、真空迴轉过滤机及自动离心机等为迅速发展我国化学工业所必需的关键设备。目前我国已能成套設計和制造各种化工机械，掌握了多种耐蚀材料的制造和使用，許多化工厂中已經使用着我国自己設計和制造出的各种先进技术装备。目前，我国不仅有了若干大型的化工机械制造厂，而且已建立了化工机械設計和研究中心以及强大的化工机械安装，維修队伍。总之，我国的化工机械事业在党的领导下，已經获得了巨大的发展。

二、本课程的任务和内容

“化工机械”课程的任务是使学生在研究化工厂的主要机器和设备的结构、性能和特点

等的基础上，掌握选择和使用它們的基本方法与知識；对設備具有設計与計算的初步能力并做到能合理地确定它們的尺寸、正确地分析其中存在的問題；对机器中主要零部件能进行强度校核工作。

本书将对下列机器和設備进行討論：容器，列管式换热器，泡罩塔，迴轉圓筒設備，离心机，粉碎机械及运输机械。学生通过对这些化工机械的学习，对其它类型的化工机械也能举一反三。

第二节 对化工机械的基本要求

化工机械是为化学工艺过程服务的。每一台化工机械都必须滿足以下各項基本要求：

一、对生产工艺的要求应能滿足

化工机械是化工厂用来加工，处理物料和制取产品的装备。产品的质量和数量以及产品成本与机械能否滿足生产上所提出的各項要求有关。例如一台加热器，就应当能滿足在一定的時間內把一定量的介质加热到所規定的温度的要求。

二、运转时要安全可靠

在化工生产过程中，化工机械万一发生事故，往往带来严重的损失，所以，一切机器和設備必須在結構上絕對保証安全。化工机械不但应有足够的强度（抵抗外力的能力），还应当有足够的刚度（抵抗变形的能力）、稳定性（維持原来形状的能力）以及有足够的严密性（不洩漏）。所有零部件都必须有足够的强度，但是有时零件的破坏不是因强度不足，而是由于刚度不够或丧失稳定性而造成的。如装有齒輪的軸，若刚度不足，就会使齒輪合不好，甚至毀坏。承受外压的壳体，往往是由于丧失稳定性而破坏的。設備密封不好，运转时会出現洩漏現象，从物料的損失及安全观点来看，都是不允許的。在压力下操作及处理易燃，易爆，有毒物质的机械，密封性要求很高，不能有一点洩漏。

三、机械的耐久性要长

机械必須保証所要求的使用年限。化工厂主要机械的使用年限一般規定为 10~12 年。在一般工业中机器的耐久性决定于金属的磨損与疲劳。化工厂所处理的物料多具有腐蝕性，故化工厂中的机器和設備的耐久性多数决定于它們的耐腐蝕能力。如处理腐蝕性很强的介质（各种酸、碱等）則应采取适当的防腐蝕措施，以免机器或設備的迅速損坏。化工机械多采用耐腐蝕的材料来制造或在使用前采取过防腐蝕处理的。

四、操作、安装、維修要方便

在机器及設備的結構上还应考虑操作的方便，为工人操作創造良好的劳动条件。尽可能采用机械化和自动化以簡化操作。控制調节的部件应尽量集中，便于工人管理。同时也要考虑到机械的安装、維護和检修的方便。

五、机械要經濟合算

机械的經濟性是指机械的价格，所生产产品的消耗定額（单位重量或体积的产品所消耗的原料、燃料、水、蒸汽和电能等），机械的效率及日常运转費用等。机械的經濟性最終反映在所生产的产品成本上。要使产品成本低，就要求使用：能满足生产要求，价格便宜，生产效率高，消耗定額低，以及操作、維護和检修費用低的机械。所有这些都要求化工机械在結構方面具有最大的完善性。机械的价格是构成机械經濟性的重要因素，但价廉的机械不一定就是好的机械，有时使用价格虽較貴但生产能力更高更完善的机械反而更为經濟合算。

由此可見，对机械的要求是多方面的，而且这些要求是互相联系而又互相矛盾的。例如：为了满足耐久性和減輕重量，有时不得不采用貴重的材料，而設備的价格便增高了；要减少操作工的人数，就要增加自动化設施的費用。因此，要同时滿足所有的要求是不可能的。應該根据生产的需要和客观可能的条件来全面衡量各种要求，从中找出最基本的要求予以滿足，而对次要的要求只能作适当地考虑。

第三节 化工机械常用的材料

一、选择材料时应考虑的因素

化工机械所采用的結構材料种类和規格很多。在各种不同的場合下，对材料的要求也不一样。因此，必須熟悉材料的各种性能，以及我国材料的生产情况，才能够选择合适的材料。选择材料时应考虑以下几个主要因素：

1. **机械性能** 材料机械性能是指：强度极限 σ_b 、屈服极限 σ_s 、相对伸长率 δ 、断面收缩率 ψ 、冲击韌性 α_k 、硬度 H_b 或 R_c 以及弹性系数 E 等。

承受靜載荷的零件，衡量材料的机械性能主要是 σ_b 、 σ_s 、 δ 和 ψ 。

σ_b 和 σ_s 表示材料的机械强度，是构件强度計算时的依据。若构件在动載荷作用下工作，还要考虑耐久限 σ_{-1} 。在高温工作的零件，必須考虑材料的蠕变。

δ 和 ψ 表示材料塑性变形的性能。 δ 和 ψ 值小的材料不宜用于承受拉力的零件。对焊接容器的壳体 $\delta \geq 18\%$ 。

对承受冲击載荷的零件以及在低温操作的設備必須考虑 α_k 。因为載荷由靜載荷变为冲击載荷时，受載荷处材料的机械性能完全改变，这时材料因脆性而破坏。有些材料在低温（ 0°C 以下）情况下会出现冷脆現象，故低碳鋼制成的零件只能用于 -30°C 以上。

δ 、 ψ 或 α_k 虽然不在計算上直接使用，但是它們却有助于更好地衡量材料的性能。

硬度 H_b 或 R_c 。是表示材料的耐磨性并指出材料切削加工的可能性。

弹性系数 E 是表示材料抵抗弹性变形的能力。在确定零件的刚度，解决設備的稳定性和計算溫度应力时都会用到它。

2. **耐蝕性能** 材料的耐蝕性不强則会影响机械的寿命，有时还会影响产品的质量。因此，耐蝕性对化工机械的材料选择起着决定性作用。腐蝕速度在 1 〔毫米/年〕以下的材

料，可認為适用于化工机械。

3. **物理性能** 材料的物理性能是指：重度 γ [公斤/米³]、导热系数 λ [仟卡/米·°C·小时]、比热 c [仟卡/公斤·°C]、熔点 t_m [°C]、线膨胀系数 α [1/°C]等。在不同的场合下，对材料的物理性能要求也不同。如制造换热器的传热面最好是用导热系数大的材料，而用以保温时则用导热系数小的材料。设计由不同材料接合的结构时，必须考虑线膨胀系数。因为当加热或冷却时，若两者的线膨胀系数相差很大，则在联接处可能产生裂缝或断裂。所以选择材料时也应很好地考虑其物理性能。

4. **加工性能** 材料的加工性能是指：切削加工性、焊接性、铸造性、压力加工性、淬火性等。决定材料时必须考虑这些因素。例如材料的硬度和韧性很高，则切削加工性不好；钢的淬火性与含碳量有关，中碳钢可以淬火，而低碳钢则淬火性能差。

除了考虑以上一些因素外，还要考虑材料的价格与来源。应当采用价格低廉并能有充分供应的材料，必须因时因地根据我国各地区实际情况来考虑。还须指出，材料的各种性能是互相联系而又互相矛盾的。没有一种材料是绝对完美无缺的，各有优缺点。因此，在选择材料时，必须根据具体情况，找出主要的因素，首先满足这些因素所提出的要求，而适当地照顾其余的要求。

二、黑色金属及其合金

1. **铸铁** 铸铁中含碳量为 3.0~3.6%。常用的铸铁有：灰铸铁、可锻铸铁、优质铸铁、球墨铸铁及合金铸铁等。

灰铸铁在化工机械中应用极为广泛，主要由于它有良好的可铸性，能铸造形状复杂的零件，切削加工性能良好，价格也较便宜。灰铸铁的抗压强度较大，抗拉强度很低（约为抗压强度的1/4），且冲击韧性很小，故不适于制造承受弯曲、拉伸、剪切和冲击载荷的零件。同时由于灰铸铁的组成的非均一性，所以不耐化学腐蚀。

常用的可锻铸铁为黑心可锻铸铁。它是将白口铁加热使其中化合的碳游离成自由状态而获得。这种铸铁的塑性比灰铸铁好。当然可锻铸铁并不是真的“可以锻造”。

在液态的灰铸铁中加入少量的石墨化剂（硅铁合金、硅钙、硅铝等）便成优质铸铁。由于石墨化剂的作用，使石墨成细粒析出，提高了铸铁的机械强度、耐磨性、冲击韧性及抗腐蚀性。可用于制造较重要的零件。

在液态的灰铸铁中加入少量的镁和铈或其合金作球化剂，并以硅铁作石墨化剂便成球墨铸铁。它有较高的抗拉强度和韧性及其它机械性能。目前已开始用它来代替锻钢和铸铁以制造一些重要零件。

在铸铁中加入镍、铬、钼、硅等合金元素则成合金铸铁。如 18-8 型铸铁（Cr18%、Ni9%）、镍铸铁（含 Ni12~15%）、铬铸铁（Cr28 及 Cr34 等）及高硅铁（含 Si14~17%）等。它们都有较高的耐蚀性、耐热性及高强度等。

常用铸铁的机械性能及应用见表 1。

2. **钢** 钢是化工机械制造中的主要材料。按照化学成份可以分为碳素钢及合金钢两大类。碳素钢又分普通碳素钢及优质碳素钢两种。

鑄鐵的機械性質及應用範圍

表 1

強度等級	鑄 鐵 牌 號		強度極限[公斤/毫米 ²] 不 小 于			應 用 范 圍	備 注
	國 內	蘇 聯	拉 伸	彎 曲	壓 縮		
低強度 鑄 件	HT00	CЧ00	不 試	不 試	不 試	簡單的和強度不大的鑄件：機架、機罩、泡罩等	灰鑄鐵 鑄 件
	HT12-28	CЧ12-28	12	28	50	爐子配件：閘門、擋板等 塔板、低速齒輪、人孔蓋板等	
中強度 鑄 件	HT15-32	CЧ15-32	15	32	65	較複雜的機器零件：蒸汽泵的泵體、缸套和活塞、皮帶輪等	
	HT18-36	CЧ18-36	18	36	70	低壓的管綫和管件等	灰鑄鐵 鑄 件
高強度 鑄 件	HT21-40	CЧ21-40	21	40	75	強度較高較重要的零件：汽缸、齒輪、离心泵葉輪、壓力閘門壳体等	
	HT28-48	CЧ28-48	28	48	100	$t \leq 200^{\circ}\text{C}$ 的管件、管綫等	
	HT32-52	MCЧ32-52	32	52	100	壓縮機及泵的重要鑄件、聯軸器、齒輪、离心泵的葉輪	優質鑄鐵
	HT38-60	MCЧ38-60	38	60	120	$P_g = 40$ [公斤/厘米 ²]； $t = 200^{\circ}\text{C}$ 高強度的重要鑄件	鑄 件
	KT30-6	KЧ30-6 ^①	30	—	—	小尺寸(1 $\frac{1}{2}$ "以下)的閘和鑄件， 彎頭管件以及稍受振動、受力較大的零件	黑心可鍛 鑄鐵鑄件
	KT33-8	KЧ33-8	33	—	—		鑄鐵鑄件
	QT45-5	BЧ45-5 ^②	45	—	—	重要的鑄件：齒輪及動力機械的曲軸等	球墨鑄鐵
	QT40-10	BЧ40-10	40	—	—		鑄 件

①② 第一個數字表示強度極限，第二個數字表示伸長率。

普通碳素鋼分成甲類和乙類。甲類鋼按機械性能供應，不保證化學成分。這類鋼應用於在製造過程中不需進行熱加工或熱處理的零件。乙類鋼是按標準化學成分供應的鋼，應用於製造過程中需進行熱加工或熱處理的零件。

優質碳素鋼的硫磷含量較普通碳素鋼低，它的供應既保證機械性能，又保證化學成分。用作壓縮機的曲軸、离心機的軸、壓縮機零件等。

化工機械常用的碳素鋼為 G2、G3 及 15、20、25 等幾種。普通碳素鋼可用於 50[大氣壓]以下和溫度不高于 350°C 的場合，而優質碳素鋼可用於溫度 475°C 及壓力達 64[表壓]的地方。

當零件的形狀較複雜而強度的要求又較高時，如閘體、齒輪等，可採用碳素鋼鑄件。鑄鋼的流動性較差，因此零件的壁要造得較厚。

合金鋼是指在碳素鋼中加入一定量合金元素的鋼。加入合金元素可以改善鋼的機械性能及化學耐蝕性。合金的成分主要有鎳、鉻、鉬、鈮、鎢及錳等。合金元素含量在 2.5% 以下的稱為低合金鋼，如 15Mo、15CrMo、20Mo 等。加入少量的合金元素能使鋼的強度及耐熱性增高，但化學耐蝕性並不提高。對於要求具有高的化學耐蝕能力及耐熱性的，則需採用高合金鋼，如鉻鎳 (Cr13、Cr17、Cr28)、18-8 型不銹鋼等。18-8 型不銹鋼應用得最廣，常用的牌號為 1Cr18Ni9 及 1Cr18Ni9Ti 兩種，而以後者應用得較為廣泛。此外，

某几种鋼的机械性能簡表

应力单位: [公斤/毫米²]

类 别	鋼 的 牌 号		机 械 性 能 (常溫下)				在下列溫度[°C]下的屈服極限 (計算用值)												
	国	內 容	联	σ_B	σ_T	δ_5 ① %	ψ %	α_K (公斤·米/厘米 ²)	200	250	300	350	400	450	500	530	550	600	650
普 通 碳 鋼	G0		Cr0	32~47	19	22													
	G1		Cr1	32~40	—	33													
	G2		Cr2	34~42	22	31													
	G3		Cr3	38~47	24	27~25		10.62	18	17	15	13							
G4		Cr4	42~52	26	25~23		8.47	19.5	18	16	14								
优 质 碳 鋼	10		10	34	21	31	55	—	16	14.5	13.5	11.5	10	8	6				
	15		15	37	22	27	55	<6.5	17.5	16	14.5	12.5	11	9	7				
	20		20	41	25	25	55	<5.5	19	17.5	15.5	13.5	12	10	8				
	25		25	44	26	28	50	<5.0	20.5	18.5	16.5	14.5	13	11	9				
低 合 金 鋼	30		30	48	29	21	45	<4.0	22	20	17.5	15.5	13.5	11.5	9.5				
	35		35	52	31	20	45	<3.5	24	21.5	19	17	14.5	12.5	10.5				
	15Mn		15Mn	38	24	20			24	22.5	21	19	17	15	13	11			
	20Mn		20Mn	45	27	19			26	24.5	23	21	19	17	15	13			
碳 鋼 鑄 件	15CrMn		15CrMn	45	28	19			26	24.5	23	21.5	20	19	18	16			
	—		12Mn	42	26	19			25	24	22.5	21	19	17	15	13			
	15H		15H	40	20	24	35	5.0											
	20H		20H	42	22	23	35	5.0											
合 金 鋼	25H		25H	45	24	19	30	4.0											
	30H		30H	48	26	17	30	3.5											
	35H		35H	50	28	15	25	3.5											
	40H		40H	53	30	14	25	3.0											
合 金 鋼	45H		45H	55	32	12	20	3.0											
	50H		50H	58	34	11	20	2.5											
	55H		55H	60	35	10	18	2.5											
	1Cr13		1X13	60	42	20	60	9	27	26									
合 金 鋼	Cr17		X17	49	35	32	70												
	Cr28		X28	58	39	26	61												
	1Cr18Ni9Ti		1X18H9Ti	50~60	20	② δ_{10} 管子35, 板40													
	Cr18Ni12Mo2Ti		1X18H12M2Ti	50~60	22	② δ_{10} 管子35, 板40													
合 金 鋼	—		12X5MA	45~55	29	② δ_{10} 管子18	45~55	6											
	Cr20Ni14Si2		X20H14C2	60~70	30	δ_{10} , 45	60	>12											
	600°C		700°C																
	800°C		900°C																

①② δ_5 , δ_{10} 是指試件的 $l/d=5$ 和10而言, 二者的值不相同。

还有用于合成尿素装置的铬镍钼钢 (1Cr18Ni12Mo3Ti) 及耐高温 (达1100°C) 高压的铬镍硅钢 (Cr20Ni14Si2) 等。

为了节省较贵的合金钢材, 最近开始应用复合钢材。复合钢材是在一般钢材上复合上一层合金钢、有色金属或有机塑料。

普通碳素钢、优质碳素钢、铸钢及几种合金钢的牌号、机械性能和应用范围见表2和表3。

应用最广泛的几种钢的大致应用范围

表 3

钢 的 牌 号	应 用 范 围
优质碳素钢, 08, 10 普通碳素钢, G2(Cr2), G3, (Cr3)	搪瓷设备, 冲压零件, 铆钉, 垫片, 电焊条 钢结构, 在常温下操作的设备, 型钢, 有缝管, 无缝管, 在 $P \leq 8$ 表压, $t \leq 120^\circ\text{C}$ 下操作的容器
优质碳素钢, 15g(15K), 20g(20K), 25g(25K) 低合金钢, 15Mo(15M), 20Mo(20M), 15CrMo(15XM), 12MX	在 $P \leq 64$ 表压, $t \leq 475^\circ\text{C}$ 下操作的容器与蒸汽锅炉 在 $P > 64$ 表压, $t > 475^\circ\text{C}$ 下操作的容器与蒸汽锅炉, 高压管路
优质碳素钢, 10, 20 普通碳素钢, G4(Cr4), G5(Cr5) 优质碳素钢, 30, 35, 40	制造蒸汽管路、锅炉与热交换器用的管子 在 $P \leq 30$ 表压, $t \leq 400^\circ\text{C}$ 下操作的设备的联接件 在 $P \leq 30$ 表压下操作的设备的联接件, t (双头螺栓) $\leq 425^\circ\text{C}$, t (螺母) $\leq 450^\circ\text{C}$
优质合金钢, 30XMA, 38XMIOA等 优质碳素钢, 35, 40, 45, 50	高压设备的联接件, t (双头螺栓) $\geq 450^\circ\text{C}$ 压热钢, 要求高强度与韧性的锻件, 压榨机的缸, 重要的齿轮, 锻制轴等
高合金耐热钢, 如 Cr17(X17)等 高合金钢, 如 1Cr18Ni9Ti(1X18H9T), Cr18Ni12Mo2Ti(X18H12M2T)等	高于 600°C 温度下操作的设备及部件 在腐蚀性介质中工作的机械及其零件

三、有色金属及其合金

化工机械制造中常用的有色金属是铜、铝、铅及其合金。

1. 铜及铜合金 铜又称紫铜或红铜, 它有五种牌号。化工设备常用的为二号铜 (含Cu99.7%) 与三号铜 (含Cu99.5%)。用来制造化工设备的 600°C 退火二号热轧铜的机械性能见表4。

600°C退火的二号铜的机械性能

表 4

机 械 性 能	温 度 $^\circ\text{C}$								
	-180	-120	-80	-40	+20	+100	+200	+300	+500
强度极限[公斤/厘米 ²]	4100	2900	2730	2370	2300	2200	1800	1500	840
屈服极限[公斤/厘米 ²]	800	750	700	650	600	—	—	—	—
延伸率 δ %	38	45	47	47	49	48	46	32	18
冲击韧性 a_K [公斤·厘米/厘米 ²]	$1.25a_K^{20^\circ\text{C}}$	—	—	—	>5.0	—	—	—	4.8

从表中可看出，铜有一特别有价值的特点是在低温下强度增高，并有较高的塑性和冲击韧性。这一特点使铜成为制造深度冷冻设备不可缺少的材料。铜的另一些特点是导热性能好，且有很高的化学稳定性。

铜的合金主要有黄铜与青铜两类。黄铜是铜与锌的合金。根据工艺性分有压力加工黄铜与铸造黄铜。常用的压力加工黄铜为 62 铜、68 铜与 70-1 锡黄铜。这些黄铜的塑性很高，耐蚀性能也很好，用于制造冲压零件、换热器管子、垫片和轴套等。铸造用黄铜应用得很广泛，如 58-2-2 铸锰铅黄铜、66-6-3-2 铸铝铁锰黄铜等，用于制造轴承衬及各种坚实零件。

青铜是铜与锡、铝、硅、锰等元素的合金。按化学成分有锡青铜与无锡青铜两类。锡青铜有 10-2 锡锌青铜、10-1 铸锡青铜；无锡青铜有铸铝铁青铜。由于锡很贵，应尽量用无锡青铜。青铜的机械性能、抗磨能力和对某些溶液的耐蚀能力都很好，常用以制造高载荷、高速的耐磨零件及阀门的配件等。

2. 铝 铝也是化工机械常用的有色金属之一。由于铝能形成坚固的氧化保护膜，因此有较强的耐蚀能力。在硝酸、有机合成工业中应用得较广。由于铝的机械强度差，在制造受压容器时，多用铝作衬里，而压力则主要由钢质外筒来承受。当温度增加时，铝的强度降低很大，故铝只能用于温度低于 200°C 的设备。

3. 铅及铅合金 化工设备中常用的纯铅又称软铅，其牌号为三号铅（含 Pb99.95%），及四号铅（含 Pb 99.90%）。铅的耐蚀性很好，特别对浓度小于 80% 的硫酸及硫酸盐非常耐蚀。铅的强度低，其 $\sigma_B = 1.5$ [公斤/毫米²]；重量大， $\gamma = 11350$ [公斤/米³]；且价贵。很少单独用来制造设备，多半用作铁制或木制设备的衬里或敷涂设备的内表面上。为了提高铅的强度及硬度，在铅中加入 10% 以下的锑，便成铅锑合金，称为硬铅。它的耐蚀性与软铅差不多，但强度极限可达 15 [公斤/毫米²]，常用于硫酸厂中制造泵、旋塞、阀、管子等。

四、非金属材料

非金属材料在化工机械制造中获得日益广泛的应用。这是由于应用非金属材料可以大量节省金属消耗，特别是由于非金属材料具有较高的耐蚀性，因此它能大量节约昂贵而稀少的合金钢与有色金属。此外非金属材料尚具有价格便宜，来源丰富，可就地取材等优点。

非金属材料的一般缺点是：（1）导热性小；（2）很多非金属材料不能耐 150~200°C 以上的温度；（3）不易制出合理的结构；（4）质脆而且机械强度比金属材料的低得多。

非金属材料的种类很多，主要有木材，岩石（如花岗岩、中性长石），熔凝辉绿岩板，陶瓷制品，玻璃，搪瓷，石棉制品，橡胶制品以及各种有机合成材料，如石棉酚醛塑料、聚氯乙烯塑料、聚四氟乙烯塑料及有机硅塑料等。有机合成材料具有其它许多材料所没有的优良性能，如耐高温、低温、耐酸、耐碱及抗磨等性能，所以它是化工机械制造材料今后发展的一个重要方向。

有关非金属材料的性能及应用在“化工机械的腐蚀及防护”课程中专门讨论，在此不再介绍了。

第四节 材料的性质及制造方法对结构形式的影响

一、鑄造设备的结构特点

鑄造设备的结构如果設計得不好,将使加工制造困难,增加成本,或使成品产生裂纹、翘曲、縮孔、夹渣等缺陷。因此,在設計鑄造设备时必须注意鑄件结构的一些特点。

1. 鑄件的厚度不宜过大或过小 鑄件的厚度除保証足够的强度外,尚需滿足鑄造工艺的要求。如厚度太大,壁中会产生縮孔或气孔。一般鑄铁设备的壁厚都不希望超过50~60毫米。若鑄件厚度太薄,則金属不能充滿整个模型。鑄件的最小厚度与金属的流动性、模型性质和鑄件的大小有关。当用砂型时,鑄件的最小厚度 S [毫米] 可根据鑄件的“名义尺寸” N [米] 由图1来决定。“名义尺寸”也可以用公式計算,即: $N = \frac{1}{3} (2l + b + h)$ [米]; 式中: l ——鑄件长度, b ——鑄件宽度, h ——鑄件高度, 单位均为[米]。

2. 形状要尽量简单 鑄件形状简单則制造木模及造型时均方便。尽量用平面和迴轉面的形状,并尽量避免用泥芯,因为制造单位体积泥芯的劳动量几乎比制造单位体积砂型的劳动量大五倍。

3. 鑄件各部冷却速度均匀一致 若鑄件各部冷却速度不相等,則在冷却时会使鑄件翘曲变形,见图2,以及产生縮孔和金属疏松现象,见图3a。冷却速度不均一的原因往往是由于各部厚度相差过大、局部加厚或金属堆积所致。为了保証鑄件各部分以同样的速度冷却和消除残余应力的影响,在設計鑄件结构时,必須遵守以下几点:

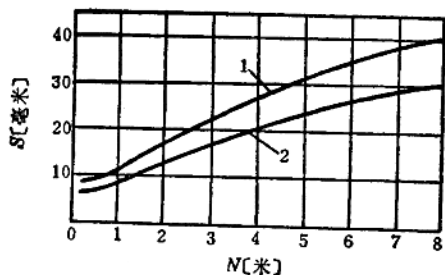


图1 鑄件最小厚度 S 与名义尺寸 N 的关系

1—鑄鋼; 2—鑄铁

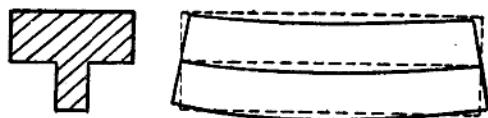


图2 冷却速度不均而产生的翘曲

(1) 各部分壁厚尽量相等。

(2) 在联接处应平滑均匀地过渡, 见图4a, 以消除联接处产生縮孔及有害应力。

(3) 在联接处两截面厚度之比不宜超过2, 即 $S_1/S \leq 2$ 。在此情况下, 把联接处做成楔形, 见图5, 其斜度为 $\frac{S_1 - S}{l} = \frac{1}{4} \sim \frac{1}{5}$ 。

(4) 加强肋尽量不要相交, 因为相交处有金属堆积现象, 会产生縮孔。无法避免相交时, 应满足 $D/d \leq 1.5$, 见图6。

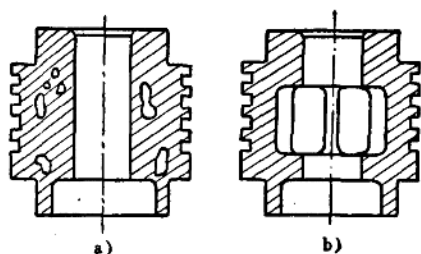


图 3 活塞
a—不正确；b—正确

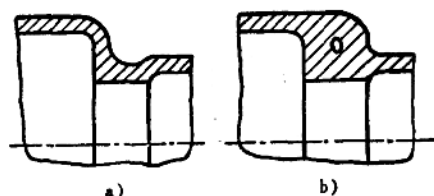


图 4 两截面交接处的过渡
a—正确；b—不正确

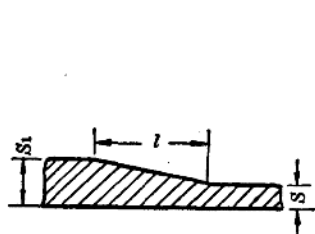


图 5 不等厚度的过渡联接

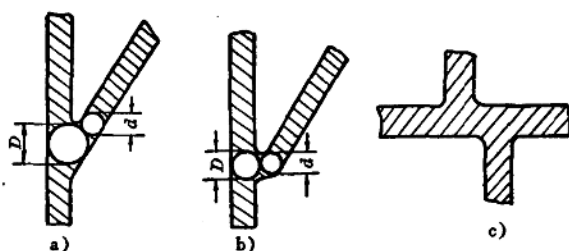


图 6 肋的斜交与十字交
a—不正确；b—正确；c—正确

4. 相交截面的交角处必须做出圆角见图 7。若不做出圆角，则在收缩时，由于应力集中会使交角处产生裂纹，见图 8。圆角半径 $r = \left(\frac{1}{3} \sim \frac{1}{6} \right) \cdot \frac{S + S_1}{2}$ 。圆角半径太大时在交角处会产生缩孔。

5. 尽量使部件承受压应力而不受拉应力，见图 9。

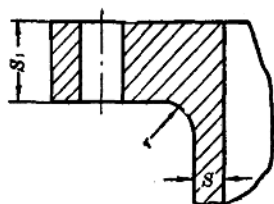


图 7 交角处有过渡圆角

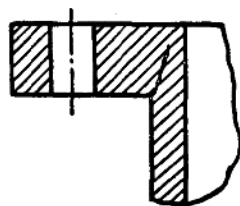


图 8 交角处产生裂纹

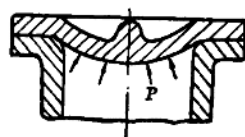


图 9 部件承受压应力

6. 应考虑出模的方便 为使拔模容易，垂直于拆卸面的表面应有一定的斜度和没有凸出部分。如图 10a 出模方便，图 10b 出模较困难，图 10c 则无法出模，图 10d 出模也方便。

7. 考虑切削加工的方便 为使切削加工方便，加工面应尽量设计成垂直或水平，同一侧的加工面尽可能使其在同一平面上。此外还应尽量减少加工面，以降低成本。图 11 就是一例。