

高等学校交流讲义

金属切削机床的气压和 气液压联合传动

潘宪锦编著

只限学校内部使用



中国工业出版社

高等学校交流讲义



金属切削机床的气压和 气液压联合传动

潘宪锦编著

中国工业出版社

本书較系統地介紹了气压和气液压联合傳动在金屬切削机床上的应用和設計問題。

全书共分八章：第一章緒論；第二章基本概念；第三章空气压缩机与迴轉式風动机；第四章动力气缸；第五章控制与調节装置；第六章导气管及輔助装置；第七章气路的分析及計算；第八章气液联动装置和气压随动装置。

本书可作为高等工业学校机械制造专业用的教材，也可作为机械制造工程技术人员或研究工作人員从事設計与研究的参考书。

金屬切削机床的气压和气液压联合傳动

潘 宪 錦 編 著

*

第一机械工业部教材編审委员会編輯（北京复兴門外三里河第一机械工业部）

中国工业出版社出版（北京修羅路 10号）

（北京市书刊出版事业許可証出字第110号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行：各地新华书店經售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印張 $6 \frac{1}{8}$ · 字数114,000

1962年3月北京第一版 · 1963年5月北京第三次印刷

印数 02,654—03,406 · 定价(10-5)0.73 元

*

統一书号:K15165 · 1331(一机-238)

前 言

本书是我院在 1960 年教学改革后建立的“金属切削机床的液压和气压传动”课程之后一部分。增设这部分内容是由于自 1958 年大跃进以来，随着全民性的技术革新和技术革命运动不断蓬勃地向前发展，日益出现并要求不断扩大气压及气液压联合传动在金属切削加工中的应用。

内容主要是收集和整理国内外现有资料、文献和有关技术经验总结而成，同时也包含一部分我院师生参加这方面工作的体会；较系统地介绍了气压和气液压联合传动在金属切削机床上的应用和设计问题。

最初（1960年7月），由在武汉市参加这方面技术革新工作的师生在总结工作体会的基础上，共同讨论和研究制订了这部分内容的教学大纲，大纲体系与“金属切削机床的液压传动”部分大体相同。接着，大家分工进行了资料的收集和整理工作。最后，由潘宪锦同志编写出了这部分的讲义，并于1960年下学期向机制专业四年级学生进行了讲授。安排了10学时，效果尚好。

这次出版时，又由潘宪锦同志根据半年来的教学实践和资料的进一步积累，将内容及系统又作了进一步的充实和调整，并经钱祥生同志作了仔细的校阅。同时也特别注意了基础理论和设计主要问题的论述。

由于气压和气液压联合传动的应用方面非常之广，而各种应用的原理大多相同，因此本书除对典型线路作些介绍外，为避免与“夹具设计原理”等课程重复，有关气动和气液联动夹具的传动部分设计便未作介绍。

根据这次编写的内容，讲授时间约需16~18学时。由于这

部分內容与“金屬切削机床的液压傳动”同时讲授，因此在讲这部分时可对比液压傳动来讲，着重讲清楚气压傳动的特点。而与液压傳动具有共性的有关章节，如第三、四、五、六章以及§7-3等节，只需在課堂上简单地提一提，与液压傳动作适当的比較說明，勿需整章整节的細讲。在讲第八章时，只着重讲清楚气压与液压这两种傳动介质联合构成一个傳动系統而产生的特殊問題即可。

鉴于目前有关气压和气液压联合傳动的設計和計算資料不多，因此在本书中尽可能地收集了一些实用公式和計算图表，以便学以致用。

关于这部分內容在教学計劃中的地位，我們认为是“金屬切削机床”課程的一个新的內容，即是将原来“金屬切削机床的液压傳动部分”扩大成为“金屬切削机床的液压及气压傳动”，在讲授时本书可与哈尔滨工业大学編“金屬切削机床的液压傳动”一书合用。

最后必須指出：由于这是我院在教学改革后新增加的一部分課程內容，这部分內容的現有資料不多，我院教学实践也仅仅只有一遍，此次出版又很仓促，故無論是內容的深度和广度或对問題的分析均有不尽恰当之处，也不够成熟；同时在編写本书时，由于沒有統一的教学大綱作依据，是否符合培养本专业学生的要求，尙待进一步实践。因此，热忱希望各兄弟学校在繼續不断进行教学改革的基础上，不吝指教和提供意見及經驗，以期本书日趋完整与成熟。

又在这次出版时，經第一机械工业部教育局組織机床研究所郑广魁同志对本书进行了校审，并指正了若干編写上的疏忽和錯誤，特在此致謝。

华中工学院机械制造教研室

1961年5月1日

目 次

前言	(1)
第一章 緒論	(5)
§ 1-1 气压和气液压联合传动的特点及其在机械制造业 中发展应用情况	(5)
§ 1-2 学习的目的和要求	(8)
§ 1-3 今后发展和提高方向	(9)
第二章 基本概念	(10)
§ 2-1 空气的物理性质与热力学性质	(10)
§ 2-2 低声速气流与液流传动相似原理	(26)
§ 2-3 气压网路系统的組成	(29)
§ 2-4 对气压传动装置的主要要求	(31)
第三章 空气压缩机与迴轉式風动机	(32)
§ 3-1 概述	(32)
§ 3-2 活塞式空气压缩机及其附屬設備	(33)
§ 3-3 活塞式風动机	(50)
§ 3-4 叶片式空气压缩机	(54)
§ 3-5 叶片式風动机	(64)
第四章 动力气缸	(75)
§ 4-1 动力气缸的分类	(75)
§ 4-2 气缸的工作速度和动力平衡方程式	(77)
§ 4-3 活塞式动力气缸設計中的几个主要問題	(83)
第五章 控制与調节装置	(91)
§ 5-1 配气閥	(92)
§ 5-2 稳压閥	(108)

§ 5-3	調速閥	(116)
§ 5-4	單向閥	(117)
§ 5-5	氣動操縱箱	(120)
第六章	導氣管及輔助裝置	(123)
§ 6-1	導氣管	(123)
§ 6-2	氣路保養與維護裝置	(127)
§ 6-3	聯鎖裝置	(130)
第七章	氣路的分析及計算	(135)
§ 7-1	氣路的一般分析	(135)
§ 7-2	氣路系統供氣需要量的計算	(139)
§ 7-3	壓縮空氣在管道內流動時之阻力損失和管道直徑的計算	(142)
§ 7-4	動力氣缸的工作循環時間	(146)
§ 7-5	實例介紹	(164)
第八章	氣液聯合傳動裝置和氣壓隨動裝置	(172)
§ 8-1	氣液壓聯合傳動工作原理	(172)
§ 8-2	氣液聯動機床	(175)
§ 8-3	氣液聯動裝置設計中的幾個主要問題	(185)
§ 8-4	氣壓隨動裝置	(188)
	參考文獻	(192)

第一章 緒論

§ 1-1 气压和气液压联合傳动的特点 及其在机械制造业中发展应用情况

气体介质和液体介质的最大区别是前者为可压缩流体——充滿容器之气体，在外載之作用（压缩或膨胀）下，其容积之变化非常显著，而后者为几乎不可压缩的流体——液体簡直不因外載作用而改变其容积。

气压傳动的一切特点就是由气体介质的这个基本性质所决定的。

在“金屬切削机床的液压傳动”課程中，我們已系統地介紹了液压傳动的基本知識，闡明了液压傳动所具有的一系列优点及其广泛的应用方面。

值得注意的是近几年来，以压缩空气为能源的气压和气液压联合傳动，在机械制造工业中，特别是在机床制造业中的应用也不断地在向前发展。虽然目前气压和气液压联合傳动在金屬切削机床上的应用还远不及液压傳动成熟，但从国内外已有經驗来看，它与液压傳动比較，却具有許多优点，預計其发展前途也是很大的。主要是：

1. 空气可以从大气中无限量供应，沒有介质費用的損失和供应上的困难；同时，可以直接将用过的空气任意放到外界空气中，处理方便，一旦空气有泄漏，除引起部分功率損失外，不致产生不利于工作的严重影响。

2. 空气的粘度很小，在管道中的压力损失较小，一般其阻力损失不到油路损失的千分之一，便于压缩空气集中在一个地点制造，作为一种现成的能源来供应到各个机床上，因而在机床上不需添置价格较贵的油泵；同时空气的粘度受温度变化的影响也很小，在压力一定的条件下，温度的变化对空气流动性影响甚微，即使受冷热影响变更了空气流量关系，所差有限，并很容易利用控制装置重行调整恢复正常，因此对于热带和亚热带地区气候特点有较好的适应性。

3. 压缩空气的传动工作压力较低（一般6~8大气压），空气的泄漏问题较易克服，可降低对气缸和控制阀塞等的材料性能和制造精度的要求，因而结构简单、制造方便和成本较低；但是，传动压力低也有缺点，使整个结构尺寸增大，所占空间位置较大，同时传动功率也不够大。

4. 清洁、安全、维护简单、管道不易阻塞，亦不存在介质用久后变质、补充、更换等问题；在安全方面不仅能过载自动保护，而且通过薄膜式单向阀的控制，当气路上断压时，气缸腔内的工作压力也不会突然下降。

此外，还具备液压传动的一些优点。如操作控制方便、元件可以标准化，工作无冲击，容易集中控制、程序控制和实现工序自动化等。

影响气压传动未能在机床上广泛应用的主要原因是：

1. 由于空气的可压缩性，使工作速度不易稳定，外载变化对速度的变化影响很大；同时也难于准确地控制与调节工作速度，一般是采用气液压联合系统来实现速度的稳定与调节，这样一来，空气的传动压力约有20%由于油路循环之节流而损失。

2. 傳动效率低。一是由于空气在压缩机内压缩和膨胀时均有大量功能转变为热能（目前世界上最好的空气压缩机的效率只为55%）；另外压缩空气在使用地点实际上只能有效利用其一部分压力，因为为了克服外载，保持动力平衡和工作稳定，压缩空气一般在气缸内并不作膨胀，至工作行程終了后，就白白将这具有近全部輸入时压力之压缩空气放出去，因而只是有效地利用了其全部能量的一部分。

由于以上原因，在較长时间内，气压傳动只用来作些机床的輔助运动（如气动夹压装置、机械手等）和用来減輕工人笨重体力劳动（如作些清理、搬运、敲打、装配等工作）。而用在机床上作傳动介质，与液压傳动媲美，則是在近几年来才有所发展，主要是有了气液压联合傳动的方法，这样即綜合应用了气压和液压两者之优点，而避免了两者的某些缺点。目前，在苏联和其他一些工业先进国家中，气液联动的小型动力头和小型专用机床，已广泛用在汽車、軸承，以及农业机械制造业中。虽然当前由于驅动力还不够大（700~1,000公斤），应用范围还只限于对中小型零件和輕金屬的加工，但是，由于这是一种新趋向，有显著的国民經济意义，在国内外一些生产企业和研究部門中，已在注意研究进一步扩大其应用范围和发展提高工作。

我国在解放前，由于工业落后，在气压傳动上可說是完全空白；解放后，在党的领导下，由于全国职工創造性的劳动，已逐步形成我国自己的工业体系，在气压傳动方面已有了現代水平的空气压缩机厂和風动工具厂，同时随着汽車、軸承，以及农业和紡織机械制造业的建立和发展，气动夹具和各种气压傳动装置在机械制造厂中也得到了广泛地使用。

自1958年以来,全国人民在总路綫、大跃进、人民公社三面紅旗的光輝照耀下和1960年以“四化”为中心的技术革新和技术革命运动,使我国的工农业生产获得了飞跃地发展。特别是机械制造工业的迅速发展,使气压和气液压联合傳动得到了更广泛地应用和发展。

例如:有些机械工厂,在1960年大跃进中实现了全厂“气动化”,扩大了气压傳动的应用范围,由原来只在生产上采用少量的气动夹具发展到采用了各种气动設備和工具,并改进了一些气动工艺装备。如参照苏联的先进經驗設計了无缸气动卡盘和气动操纵箱;出现了气动自动机床,使机床的机械移动(横向、上下、換向、定位、分度、夹紧、卸活等动作)都是用气压傳动的。并且有些自动綫全部是用气动操纵的;同时在自动綫上采用了結構簡單的气液联动組合机床。

另外某汽車制造厂,还实现了气压程序控制汽缸体六軸鏜床的工作。将原来加工完一个汽缸体后,要依次地:1. 关闭配气閥,松开已加工好的汽缸体;2. 拔出定位銷;3. 送出此汽缸体;4. 送进下一个待加工的汽缸体;5. 插入定位銷;6. 开动配气閥夹紧汽缸体;7. 按电鈕开动机床等七个分散动作連貫为一。操作过程大为簡化,工效显著提高。

总之,随着我国社会主义建設事业的日益发展,气压和气液压联合傳动必将在机械制造业中,特别是在金屬切削加工中,逐渐扩大应用范围,并将占有重要的地位。

§1-2 学习的目的和要求

1960年教学改革以后,为适应国家生产建設发展的需要,我們试图将气压和气液压联合傳动列入了机制专业教学計划,目的是希望本专业学生通过这部分内容的学习能够达

到如下的目的:

1. 較系統地掌握气压和气液压联合傳动的基本知識 和工作原理,以能进行一般气路或气液联动綫路的分析和計算;
2. 透彻了解并掌握气路中各种典型元件及能換裝置 的結構、性能、控制調节方法和选用原則;
3. 可从事气压傳动方面的科学研究,并通过科学 研究能按工作要求設計气压網路或气液联动机床,以及創造性地設計新的元件和能換裝置。

§ 1-3 今后发展和提高方向

1. 扩大气压和气液压傳动的应用范围。其途徑是 扩大驅动功率、改进控制与調节裝置的設計,提高其工作性能,特别是調速性能。

2. 在定型提高現有各种迴轉式風动机和風动——液 仿型裝置的基础上,进行高速風动磨头和高速風动——液 仿型刀架的試驗研究工作,以便較普遍地应用于金屬切削机 床上加工各种小型精密零件。

3. 在定型提高現有小型气液压联动的金屬切削机 床的基础上,扩大机床类型并发展各种傳动方式的进一步联合 应用。如:研究气压、液压、机械和电气等四种傳动方式的联 合应用,可以是气压作驅动力,电气作神經樞紐,发送訊号, 机械和液压作执行元件,互相取长补短,建立新型的高效率 的金屬切削机床。

4. 加强气压傳动基本理論的研究。如:压縮空气 作为傳动介质之物理性能、机械性能、經濟性和实用性的分析, 各傳动要素(压力、流量、阻力等)的相互作用关系及其規 律的研究。

第二章 基本概念

§2-1 空气的物理性质与热力学性质

一、空气的物理性质:

运用作为气压传动工作介质的压缩空气,与一般空气有着完全相同的化学成分,它们的物理性质也遵循着同样不变的规律。对用在气动装置中的空气的要求,主要是应清除由灰尘所带来的机械混合物。此外,最好是使空气中所含的水分比较少,这些水分,当空气显著稀薄时便凝固起来,并形成水珠,有时甚至结冰而附在气动装置的零件上。若在感应接触装置中采用空气时,还应清除掉空气中混杂的油分。

对于气压传动工程计算上最重要的物理量是它的压力、密度、温度、热容量和粘度。

空气的粘度与油的粘度一样,常用绝对粘度系数表示

$$\mu = \tau \frac{dy}{dv} \text{公斤} \cdot \text{秒} / \text{米}^2 \quad (2.1) \textcircled{1}$$

或用运动粘度系数 $\nu = \frac{\mu}{\rho} \text{米}^2 / \text{秒} \quad (2.2) \textcircled{2}$ 来表示。

气体的粘度,包括空气,与液体一样随温度而变化。但是,液体,特别是矿物油的粘度将随着温度的升高而减小,而气体正相反,将随着温度的升高而增大。

图 2.1 为空气与机油的运动粘度与温度的变化关系曲

①② (2.1) (2.2) 中各符号的物理意义可参看哈工大编的金属切削机床液压传动第二章 §2.1。

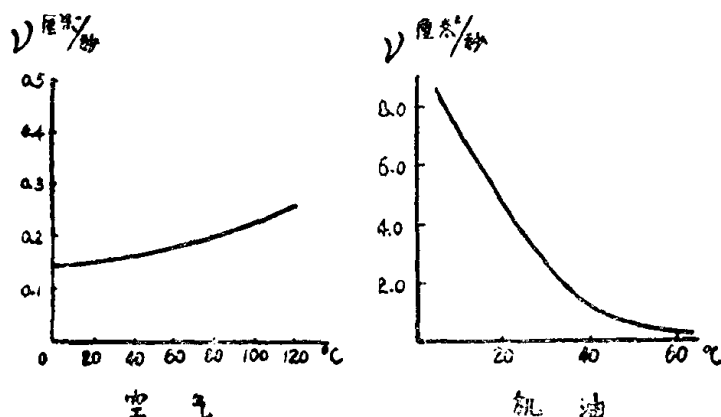


图2.1 空气与机油的运动粘度和温度变化关系曲线。

线。由图 2.1 还可看出温度的变化对空气粘度的变化影响很小，也就是对空气的流动性影响很小。这样我们在工程计算上便常将空气当作理想气体，即认为其具有绝对的流动性，同时其分子本身的容积可以忽略。因此，其比容、压力和温度之间的关系可用理想气体状态方程来表示：

$$pV = RT \quad \text{或} \quad \frac{p}{\gamma} = RT \quad (2.3)$$

式中 $V = \frac{1}{\gamma} = \frac{1}{\rho g}$ 米³/公斤，空气的比容；

p —— 空气的压力，公斤/米²；

ρ —— 密度，公斤·秒²/米⁴；

g —— 重力加速度；

γ —— 重度，公斤/米³；

T —— 绝对温度 = 273 + t °C；

R —— 气体常数，公斤·米/公斤·度。

气体常数是在压力恒定的条件下，加热 1 公斤气体使温度升高 1°C 时，气体膨胀所作的功。对于干燥的空气 $R = 29.27$ 公斤·米/公斤·度。

在机械制造工厂中所用的压缩空气一般不超过6大气压。这种空气中常含有着未饱和的水蒸汽。空气中所含的水蒸汽量由空气的绝对湿度，通常是用相对湿度来决定。在生产车间里空气的相对湿度一般为 $\varphi = 0.60 \sim 0.80$ 。若相对湿度大于1，这就是说空气中存在着超饱和水蒸汽了；这样的空气便失去了安定性，一部分的水分将从空气中分离出来形成小水珠。

当湿空气的状态变化时，其相对湿度也跟随着改变。比如随着压缩空气的温度升高，其相对湿度便减小，而当压缩空气膨胀伴随温度下降时，其相对湿度便增加并可能引起空气中水分的析出。

湿空气的气体常数，当 $\varphi = 0.8$ 时，计算时可取 $R = 29.50$ 公斤·米/公斤·度。若在计算时不考虑空气湿度的影响，只将带来小于1%的误差。因此在大多数情况下可以忽略空气湿度的影响。

空气的热容量是使1公斤的空气加热或冷却 1°C 时所消耗的热量。当定压时 (C_p) 和定容时 (C_v) 其热容量各不相同。随着空气状态的变化其热容量也改变。对于空气，当压力1大气压和温度 0°C 时

$$C_p = 0.241 \text{ 仟卡/公斤·度};$$

$$C_v = 0.172 \text{ 仟卡/公斤·度}。$$

在一般情况下，热容量是由热量的增量 dQ 与温度的增量 dT 的比率来决定

$$C = \frac{dQ}{dT}。$$

定压热容量与定容热容量的关系可由热力学第一定律微分方程来推导。这个定律可简述如下：一物体与外界物体发生

任何过程的热交换时，若不計及过程中物体間摩擦影响，其交换的热量等于該物体的內能变化和对外載作功的代数和。

$$dQ = du + Adl. \quad (2.4)$$

式中 dQ ——相应于 1 公斤气体的热量的增量；

du ——內能的增量；

A ——热功当量($A = \frac{1}{427}$ 仟卡/公斤·米)；

dl ——对外載作功的增量。

当压力一定时，由分子物理学知：

$$dQ = C_p dT; \quad du = C_v dT \text{ 和 } dl = p dV。$$

代入 (2.4)，則由热力学第一定律微分方程得到下列关系式：

$$C_p = C_v + AR \quad (2.5)$$

空气的作功过程，和气体的任何热力过程一样，具体表现为其状态的参数发生变化。其状态的改变随着外界条件和过程的延續時間的不同可以按照不同的規律进行。而对于每一实际过程，其变化不仅是其状态的参数并且其热容量也在过程中发生变化。但是对于大多数的工程問題允許认为在过程中热容量不变。这样热容量不变的过程称为多变过程。多变过程的热容量一般是用 C 来表示。它的大小亦可用热力学第一定律来得到

$$CdT = C_v dT + Ap dV. \quad (2.6)$$

由状态方程知

$$p = RT \gamma$$

代入上式后移項并积分（溫度由 T_0 到 T 而相应的重度变化由 γ_0 到 γ ）得：

$$\frac{C - C_v}{AR} \ln \frac{T}{T_0} = \ln \frac{\gamma_0}{\gamma}$$

$$n = 1 - \frac{AR}{C - C_v} = \text{常数} \quad (2.7)$$

代入上式再经过简单的换算便得到多变过程的状态方程为:

$$\frac{p}{\gamma^n} = \frac{p_0}{\gamma_0^n} = N \quad (\text{常数}) \quad (2.8)$$

式中 n —— 多变过程指数; 下角指数 “0” 表示大气压状态。

在工程应用上, 多变过程指数 n 常处于一定范围。这个范围的临界值由以下两种特殊情况决定:

1. 气体与外界物体间的热交换情况是理想的良好, 当气体状态变化时, 温度保持不变 ($T = \text{常数}$, 即等温过程)。这时 $n = 1$ 。气体膨胀时施于外界物体上的力所作的功是由外界输入的热量而得来。这过程的状态方程为:

$$\frac{p}{\gamma} = N \quad (\text{常数}) \quad (2.9)$$

2. 热绝缘是理想的良好, 当气体状态变化时, 没有外热量渗入 ($Q = \text{常数}$)。这时气体所作的功是消耗它的内能; 膨胀时, 气体冷却, 压缩时, 气体变热。这过程称为绝热过程。过此 $n = k$, k —— 绝热指数。对空气

$$k = \frac{C_p}{C_v} = 1.4 \quad (2.10)$$

绝热过程的状态方程为:

$$\frac{p}{\gamma^k} = N \quad (\text{常数}) \quad (2.11)$$

由以上所述, 从 (2.5), (2.7) 和 (2.10) 可将多变过程热容量用多变过程指数和绝热过程指数来表示为:

$$C = \frac{n-k}{n-1} C_v \quad (2.12)$$