

# 机床齿轮变速箱 最佳传动方案

[德] E. 斯推番 著 顏子平 译



上海科学技术出版社

# 机床齿轮变速箱最佳传动方案

[德] E. 斯推番 著

---

顏子平 譯

上海科学技术出版社

## 內 容 提 要

本书共分两大部分，第一部分介绍了传动机构的主要形式，级比的分配原则，传动比及其齿数的计算，总结了拟订传动系统转速图的经验法则，使读者利用计算尺及某些标准，比较方便地求出最合理的传动方案。

第二部分主要介绍了各种传动的齿轮排列方案，通过大量的方案图及具体的计算例题，使读者对各种齿轮排列方案的选择有一个比较清晰的概念。

本书可供工科高等院校机械工艺及机床设计专业师生参考，亦可供机床设计者参考。

OPTIMALE STUFENRÄDERGETRIEBE  
FÜR WERKZEUGMASCHINEN

E. Stephan  
Springer-Verlag

机床齿轮变速箱最佳传动方案

顏子平 譯

---

上海科学技术出版社出版 (上海瑞金二路 450 号)

上海市书刊出版业营业许可证出 098 号

---

中华书局上海印刷厂印刷 新华书店上海发行所发行

---

开本 850×1156 1/32 印张 3 24/32 插页 1 排版字数 97,000

1965 年 5 月第 1 版 1965 年 5 月第 1 次印刷

印数 1—11,000

统一书号 15119·1797 定价 (科六) 0.55 元

## 原 序

在一定条件下找出最合理的傳动机构方案，对于缺乏設計和計算經驗的人，如果不是最简单的机构，常常要付出巨大的劳动。

这是因为傳动机构的轉速級数愈多，則其内部結構关系和构造安排方面各种可能的方案也愈多，从而寻求最合理方案的困难也愈大。因此設計师經常重复遇到这样一些問題，例如：究竟要选取怎样的傳动机构形式？怎样合理分配总的傳动比到各个傳动組？各个傳动組的轉速級如何确定？如何安排这些傳动齒輪才能最好地交錯排列？等等。面临着一系列常常难于概括而又相互影响的结构、力学、經濟等因素，設計者往往只能单凭摸索和試驗。

对于每一个明确的課題，在它的許多可能方案中总有一个能满足所有要求的、最好的答案。

要不走任何弯路去找到这一个最合理的傳动方案，不但应理解各种傳动机构的形式、内部結構、构造安排，以及所提出的要求；同时也还应知道这些結構方案在完成課題中的效果，和实现这一个完善的、能满足各項要求的傳动机构的具体措施。

本书的任务就在于为不熟悉理論的工作者介紹这些知識，使所提出的課題即使在缺乏經驗的人，也能迅速解决。

当 Germar 氏在他的著作《标准轉速的傳动机构》一书中揭示了成几何級数的轉速系列的法則之后（在本书中也有所涉及），似乎有可能更早一点来实现上述这一个目标。二十五年以来这些法則應該是众所周知的了。本书的内容因而可以局限于这些法則的运用，当必要的时候，也只是重复地提一提这些法則，以便引起讀者的回忆，但不作推导。

在文献目录一栏内介紹了許多关于标准轉速傳动机构的著作。要从这些文献去获取帮助往往要求讀者具有較熟練的基础知

識,較深入的新的研究;至于引导讀者如何去处理一个課題,如何达到最圓滿的解决,它們是不介紹的。其他的文献又往往只討論了个別的問題。

追求的目标應該是一个最合理的方案,但是如果由于那些在所提出課題以外的特殊原因而不得已求其次,則自觉地逐步地降低要求,总要比根本不知道离这目标多远要好些。

写著本书时曾希望通过一些具体的实例来介紹一定的經驗,并給出各种比較的方案。同时用图表來說明文字的內容,使讀者不必經過事先讲解,就能够“看”到这些內在的联系。

在設計和計算中利用結構网和轉速图的帮助采用图解計算法是有很大优点的。两者用最緊凑的方式表达了成几何級数的轉速系列內在的法則和力的分布,如果同时运用 DIN 804 和它所列載的数值,还可以节省大量的計算。

本书最主要的部分是在 1947 年 1 月写成的,嗣后又經进一步补充并在实际工作中进行了驗證。

柏林, 1958 年 6 月。

E. 斯推香

## 引 言

在設計一个傳动机构时，計算常常是和空間布置同时进行的。本书的內容也正是配合这两部分工作而編写的。

在第一篇中，配合設計及計算，論及了一般常見的傳动机构的形式、它們的特点以及利用这些特点所可达到的目的、布置一个傳动机构的方法、傳动比及齿数的計算以及在各傳动組上所分配的傳动比的大小和轉速級的多少所引起的影响，从而指出一条求得理想轉速图的途徑。

第二篇涉及了各种結構措施，亦即在不同的要求下(粗級比还是細級比，混杂的还是順序的轉速轉換，长結構型还是短結構型，等等)齿輪的空間布置。

对于两軸及三軸的傳动机构結合这些条件討論了在最小軸向結構长度要求下的齿輪布置方法，以便在寻求合理的齿輪布置时，易于得到各傳动組最好的交錯排列方案。

在这两篇中实际的运用都通过例题來說明。

# 目 录

## 第一篇 設計和計算

第一章 最重要的傳动机构的形式和它們的特点 結構原件 表示 傳动机构的符号.....	1
1.1 傳动机构的形式.....	2
1.2 結構原件.....	8
1.3 代表符号.....	8
第二章 結構网、轉速图、力矩图.....	9
第三章 成几何級数的轉速系列对理想轉速图所起的某些影响.....	14
3.1 傳动比与傳动副小齒輪所产生的影响。轉速級数与級比在 各个傳动組上的分配。傳动比值的選擇。傳动副齿数的确 定。拟訂傳动系統的經驗法則.....	14
3.2 大級比的分配.....	25
第四章 几种最重要傳动形式的內部結構和它們的最佳轉速图.....	29
4.1 由許多双軸傳动順序串联而成的多軸傳动机构.....	30
4.2 采用公用齒輪的滑移齒輪傳动机构.....	37
4.3 跨輪机构.....	43
4.4 折迴机构.....	47
第五章 有着特殊要求的傳动机构.....	55
5.1 分級齒輪傳动机构改装为不同公比轉速系列的可能性.....	55
5.2 驅动轉速变化的分級齒輪傳动机构.....	56
5.3 在机床運轉时的变速操纵.....	59
第六章 有最佳轉速图的最佳傳动机构形式的設計实例.....	61

## 第二篇 結構措施

第七章 齒輪排列.....	73
7.1 滑移齒輪排列的可能性。粗級比与細級比。轉速的轉換順 序。使齒輪块无阻碍移動的措施.....	73

7.2 双轴传动机构最佳的齿轮排列方案.....	80
7.3 三轴传动机构齿轮排列的最佳方案.....	85
7.4 根据 3.2 节中有关大级比分配的各种方案的齿轮排列.....	100
第八章 第六章中诸例的最佳齿轮排列方案.....	102
8.1 6.1 节中一个十八级传动机构齿轮排列方案的确定.....	103
8.2 6.2 节中十二级传动机构齿轮排列的结构.....	106
8.3 按转速图 6.3/1 的十八级传动机构的齿轮排列结构.....	109
8.4 十二级双轴链传动机构的齿轮排列方案.....	110
参考文献.....	111



# 第一 篇

## 設 計 和 計 算

### 第一章 最重要的傳动机构的形式和 它們的特点 結構原件 表 示傳动机构的符号

机床上所有的多級傳动机构都是由許多双軸傳动机构串联而成的。

这些双軸傳动机构称为傳动組，并且在整个傳动机构中起着各种不同的功用。凡有着与末軸轉速的几何級数相同公比的傳动組不論它处在整个傳动鏈的那一位置都称为基本組。其余的傳动組則起着扩大組的作用。在整个傳动机构的範圍中单級的双軸傳动机构(簡單的傳动),也都視為一个傳动組。

在串联时双軸傳动机构保持着自己的独立性。但当采用公用齿輪时(見 4.2 节)三軸傳动机构构成一种特殊的傳动机构形式,可以視為一个封閉的单元来討論和处理。如果在这个单元中有着和末軸轉速相同的公比,它便成为整个傳动机构的核心傳动組。

也还有另一些特殊的傳动机构形式,例如在串联双軸傳动机构时,采用公用的軸綫如跨輪傳动机构(見 4.3 节)或折迴傳动机构(見 4.4 节),这些双軸傳动机构同样也失去了它們自己的独立性。

## 1.1 傳動機構的形式

为了概括地了解解决各种傳动机构設計任务时有多少可能的方法，在这里簡略地介紹几种最常用最重要的傳动机构形式。作为傳动机构的特点除了轉速图外，轉速范围(即  $n_{\text{最大}}:n_{\text{最小}}$ )与級比\* (考虑到实现的可能性，以 1:2 及 4:1 作为它的极限值)(見 3.1 节)是两项很重要的指标。以下所介紹的这些傳动机构还要在以后的章节中詳加論述。

**双軸傳动机构**(图 1/1) 可以做成兩級、三級或四級傳动。更大的級数将导致过大的軸向长度，並且常常需用較复杂的操纵机构。

在双軸傳动中当轉速范围为 8 时，采用双級傳动其級比为 8 (图 1/1a)，采用三級傳动，其級比为  $\sqrt{8} = 2.8$  (图 1/1b)，采用四級傳动其級比为  $\sqrt[3]{8} = 2$  (图 1/1c)。

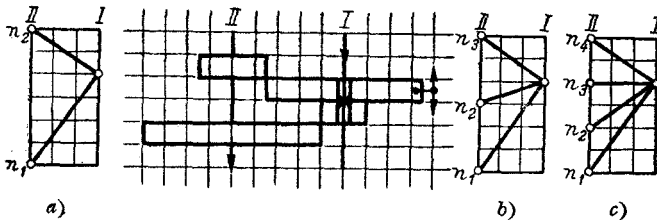


图 1/1 双軸傳动机构。(a) 双級。轉速范围为 8。級比为 8。傳动比为 1:2 及 4:1。(b) 三級。級比为 2.8。傳动比为 1:2, 1.41:1 及 4:1。(c) 四級。級比为 2。傳动比为 1:2, 1:1, 2:1 及 4:1

**三軸傳动机构** 将两个有着相应級数的双軸傳动机构順序串联可以构成四級、六級、八級与九級的三軸傳动机构。在这两个傳动組中随着轉速級数的分配(見 3.1 节)和齿輪布置(采用並列排列或是交錯排列)的不同，可以得到相差极大的軸向长度(見 7.5

\* 如所周知机床主軸的轉速系列构成一定的几何級数，每一个轉速与次低于它的一个轉速的比值称为“公比”，通常以  $\varphi$  表示之。另一方面在构成几何系列的主軸轉速的傳动机构中的任一个傳动組，每一个傳动比与其相邻的傳动比亦构成几何級数，它們的比值称为“級比”。傳动組內最大傳动与最小傳动的比值称为“总級比”。——譯者注

節)。三軸傳動機構末軸的轉速級是兩個傳動組的轉速級的乘積。這兩個傳動組由於它們的軸距互不相關，所以仍保持其獨立性。

採用四級的三軸傳動時，可以實現轉速範圍為 22.4，級比為  $\sqrt[4]{8} = 2.8$ ；採用六級傳動時其可以實現的轉速範圍為 31.5，其級比為  $\sqrt[3]{8} = 2$  (圖 1/2a)；採用八級傳動，其可以實現的轉速範圍為 37.5，級比則為  $\sqrt[4]{8} = 1.7$ ；採用 9 級傳動時其轉速範圍可以達到 16，級比為  $\sqrt[6]{8} = 1.4$  (圖 1/2b)\*。

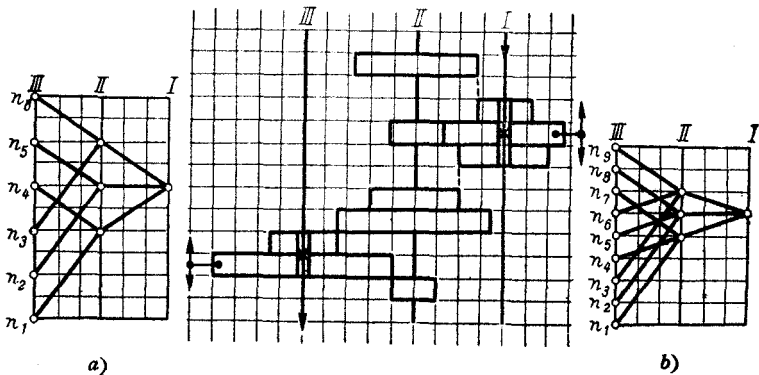


圖 1/2 三軸傳動機構。(a)六級。轉速範圍為 31.5。級比為 2。傳動比在第一傳動組中為 1:2, 1:1 及 2:1, 在第二傳動組中為 1:2 及 4:1。(b)九級。轉速範圍為 16。級比為 1.4。傳動比在第一傳動組為 1:1.4, 1:1 及 1.4:1, 在第二傳動組為 1:2, 1.4:1 及 4:1

**採用單公用或雙公用齒輪的三軸傳動機構** 所謂單公用或雙公用齒輪的三軸傳動機構係在中間軸上將其上的兩個或四個齒輪並為一個或兩個 (圖 1/3)。合併後的這一個齒輪既分別屬於自己的傳動組，又是這兩個傳動組所公用的，因此稱為公用齒輪。它起着一個中間輪的作用，也和中間輪一樣在兩邊承受着同一方向的圓周力。這兩個傳動組由於採用公用齒輪而失去了它們自己的獨立性，構成一個核心傳動組。由於節省了一個或兩個齒輪，而且在

\* 在一個傳動組中其最大極限比值為  $\frac{4}{1} = 8$ ，作者假定最後一個傳動組的傳動數為 2 或 3 (當  $n=9$  時)，因此可以根據 8 算出基本組的級比亦即末軸轉速的公比分別為  $\sqrt{8}$ ,  $\sqrt[3]{8}$ ,  $\sqrt[4]{8}$  及  $\sqrt[5]{8}$ ，從而求得其可能達到的調速範圍值。——譯者注

順序串聯兩個傳動組時不需要用特別支承的空套軸，使得這一類傳動機構，特別當採用雙公用齒輪時，需要的材料的耗費較小，但它們的齒數和却相當大。

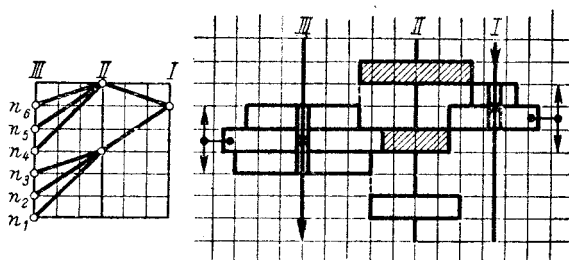


图 1/3 採用雙公用齒輪的六級三軸傳動機構

在三軸傳動機構中採用單公用齒輪的可能性總是存在的。九級的三軸傳動機構也幾乎很少不使用公用齒輪。

從調速範圍和級比的關係來看，採用單公用齒輪的和採用公用齒輪的三軸傳動機構是完全相同的。採用雙公用齒輪時則必須遵循它自己的法則。在四級的雙公用齒輪傳動機構中可以達到的調速範圍為 8，級比為 2；6 級的傳動機構可以達到調速範圍 31.5，其級比為 2；在 9 級的雙公用齒輪傳動機構中則可以達到的調速範圍為 16，級比為 1.4。

即令在一個單一傳動和一個多級的雙軸傳動機構間也可以採用單公用齒輪（圖 1/4），此時單一傳動的從動輪與圖中所示的兩

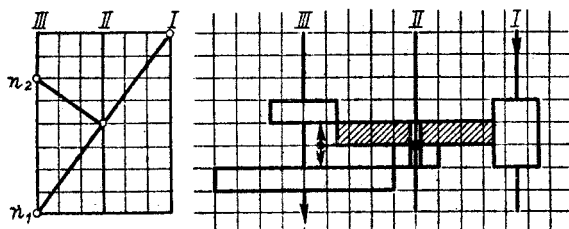


图 1/4 採用單公用齒輪的單一傳動與二級雙軸傳動機構的組合。單一傳動比為 4:1。二級雙軸傳動的傳動比為 1:2 及 4:1。級比為 8。調速範圍為 8

級双軸傳动机构中两个主动輪中較大的一个相合并。这种結構的特点在于单一傳动不作成滑移齿輪，而將双軸傳动机构的滑移齿輪放在变成中間軸的主动軸上，这时整个傳动机构的驅动輪为了能和滑移齿輪始終保持嚙合必須相应地加寬，而从动輪則是固装的，因此可以裝置在比較敏感的主軸上。

单一傳动的固定傳动比可以承担总的降速比的一部分，因此可以相应地減輕它前面的多級傳动机构的負担(見 4.2 节)。

在如图 1/1a 所示的双級傳动机构之前加上一个固定的单一傳动 4:1 可以达到調速范围为 8，級比为 8 (图 1/4)。在三級傳动机构之前加上相同的单一傳动可以实现的級比为 2.8。

采用公用齿輪的单一傳动也可放在整个傳动机构出端，此时单一傳动的原动輪与双軸傳动机构中較小的一个从动輪合并。

**多軸傳动机构** 由許多双軸傳动机构順序串联而成的多軸傳动机构有着多种多样組合的可能。例如一个十二級的傳动机构可以由两个兩級和一个三級的双軸傳动按  $2 \cdot 2 \cdot 3$  或  $2 \cdot 3 \cdot 2$  或  $3 \cdot 2 \cdot 2$  的結構式来組成，但它們在傳动比、总齿数和、軸与齿的負荷上都是不相同的(見 3.1 节)。

**跨輪机构** 两个双軸傳动机构在組成一个三軸傳动机构时不仅可以順序串联，也可以折迴串联，此时整个机构的第三根軸(即从动軸)折迴到第一根軸(即驅动軸)的軸綫上来(图 1/5)。这一种

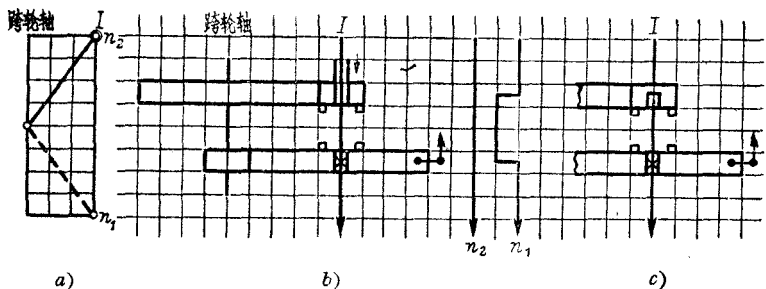


图 1/5 二級(1+1)跨輪机构。第 1 傳动組与第 2 傳动組均为 1 級。調速范围 16。級比 16。傳动比 4:1 及 4:1。(a)轉速图。(b)換纵图。(c)另一种表示方法

傳動機構只有兩根軸綫，驅動軸和從動軸是同軸綫的。原始軸  $I$  做成空套軸。輸出軸也可以支承在輸入軸之中(圖 1/5c)。

利用這種機構所提供的可能性，即輸入軸和輸出軸通過一個可操縱的離合器可以直接聯接，或者斷開這一個作為跨輪使用的三軸傳動機構，便產生了另一種傳動機構的形式——跨輪機構(圖 1/5)。它是雙軸綫的，輸入和輸出軸同一根軸綫，但又是彼此分開的，輸入軸的轉速成為最高檔的末軸轉速。末軸轉速的級數由於這種直接接通的方式而相應地增加(見 4.3 節)。

使用雙級跨輪機構可以達到調速範圍為 16，級比為 16；採用三級跨輪時其級比為  $\sqrt{16} = 4$ 。這種通過 4 個齒輪來實現大級比 16 的特性使跨輪機構適用於傳動鏈末端的擴大機構，以擴大向下的調速範圍，和採用變極數電動機(多速電動機)作為驅動的傳動機構中。

**折迴機構**(見 4.4 節) 折迴機構是由兩個並列的倒換軸綫的跨輪機構所組成的，並且將它們的驅動齒輪副合而為一，使傳動路綫形成兩個走向的折迴(見圖 1/6)。與跨輪機構相反，折迴機構的驅動與從動不再是同軸綫，因此驅動軸轉速也不可能直接變成從動軸的轉速。這兩個原始的跨輪機構都失去了自己的獨立性；它們的軸綫是共用的，第二個跨輪機構所實現的轉速系列必須是第一個跨輪機構的繼續。

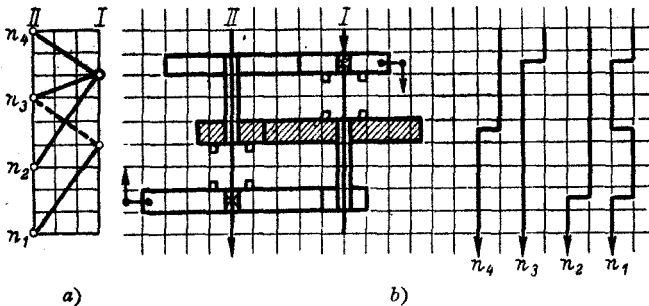


圖 1/6 四級折迴機構。第一傳動組及第二傳動組均為 2 級。調速範圍 22.4。級比 2.8。傳動比為 1:2, 1.4:1 和 4:1。(a) 轉速圖。(b) 操縱圖

折迴机构同样也可看作一种傳动机构的特殊形式。在获得同样多的轉速級条件下，它所需的齿輪数和双公用齿輪傳动机构一样，但是由于采用两根空套軸，連同它們的支承，使結構变得比較复杂，但軸的受力情况比采用双公用齿輪的机构为优。从某些方面来看，这种在纵长方向只有两根軸綫的結構形式还是非常合宜的。

采用四級折迴机构可以实现調速范围为 22.4 与級比  $\sqrt[4]{8} = 2.8$ ；六級可以实现調速范围为 31.5 和級比  $\sqrt[3]{8} = 2$ （见图 4.4/8），八級可以实现調速范围为 37.5 和級比  $\sqrt[4]{8} = 1.7$ ，九級可以实现調速范围为 16 和級比  $\sqrt[3]{8} = 1.4$ （见图 4.4/12）。

**固定傳动** 固定傳动可用为輸入傳动、輸出傳动或中間傳动。

将固定傳动放在傳动鏈驱动的一端作为輸入傳动使用时，它有可能承担整个分級变速傳动机构总降速比的一部分，从而使置于其后的变速机构的齿数和較小（見 3.1 节）；它能使整个轉速系列提高或者压低；在使用不同轉速的驱动电机时（42-50-60 赫茲），利用它仍能得到同样的轉速系列；在輸入傳动中也能插入反向离合器。它同时又是一种最簡單的，在傳动机构与电机之間易于脱开的联結方式，材料最省，工作也比較可靠。因为它一般都為降速傳动，从而使它后面的傳动机构的負荷有相应的增加。

固定傳动放在傳动鏈从动一面的末端作为輸出傳动，同样可承担整个机构总降速比的一部分，使其前的变速机构負荷大大減輕。在傳动机构的出端将重負荷的齿輪做得特別寬，或采用較大的模数，或者采用一种特殊的啮合形式一般是没有什么困难的。

这种傳动同样可以使用于下列情况，即希望将整个轉速系列向上或向下移动或者在主軸上只安置一个固定齿輪的时候。

在多軸傳动机构中固定傳动也可用来作为中間傳动，例如置于最后的一个傳动組之前（图 1/4），由于它和这一个傳动組共用一个齿輪，所以只需要一个齿輪。同样地在輸入傳动中也可以采用公用齿輪。但在这两种情况下由于采用了公用齿輪便使整个轉速系列任意地向上或向下挪动遇到障碍。

**交換齿輪傳动** 在两个傳动組之間通过交換齿輪傳动可以用

較簡單的方法配合特殊的傳動比值得到所需要的轉速系列。

## 1.2 結構原件

組成多級傳動機構所用的結構原件假定讀者是早已熟悉的，因此在本節中只是簡單地介紹一下，以供在以後章節中作為理解附圖時的幫助。

**帶离合器的滑移齒輪塊** 利用這種構件操縱比較簡便。有一個或者兩個齒輪是與齒輪塊分隔開來特別支承的。它們通過牙嵌式離合器（一般是齒形離合器）與滑移齒輪軸相聯。由於離合器的尺寸較小，因此它可以縮小在結合處圓周速度的差異。帶離合器或不帶離合器的齒輪塊在以後的附圖中總是與服務於同樣目的的原件交替使用的。三聯齒輪塊也可以液壓的方式不需特殊裝置得到準確的推移。

**電磁或液壓操縱的摩擦離合器** 這種離合器常常用於在運轉中變速的情況下，當需要轉速更換頻繁而又不使主軸有一個中間靜止狀態的時候（見 5.3 節）。這種離合器適用於串聯的雙級雙軸傳動常採用公用齒輪的傳動機構中。同樣它也使用於折迴機構中。但轉速級數卻由於離合器數量和尺寸有所限制。

**同步裝置** 使用這種裝置同樣也能在運轉時操縱齒輪的轉換，同時在接合的狀態下齒輪與軸之間得到牙嵌式的聯結。這類裝置在汽車製造中已有各種形式，此地只提一提有這種可能而已。

**空套軸的軸承** 在跨輪或折迴傳動機構中需要對空套軸加以支承，這種軸承（滾珠或滾針）可以在軸承目錄中找到。

## 1.3 代表符號

各種固裝齒輪、空套齒輪、滑移齒輪以及離合器的代表符號，由於尚未制定標準，本書中採用如圖 1/7 所示的符號。選用這些符號的原因是因為它們清晰易懂，不會混淆，更重要的是可以不費什麼勁就能隨手作出較好的草圖。對於牙嵌式離合器，不論它是否做成連著一個齒輪還是單獨作為一個牙嵌式套筒或者其他形



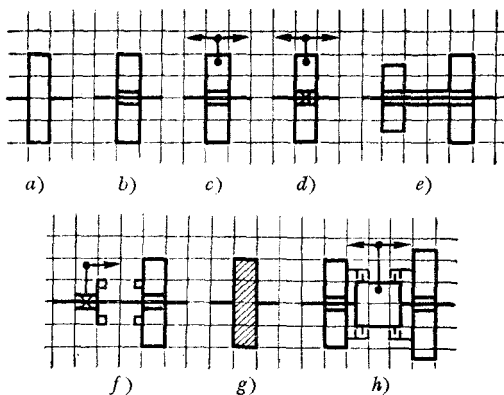


图 1.7 傳动机构构件的代表符号

- (a) 固定齒輪。 (b) 空套齒輪。 (c) 滑移的空套齒輪。 (d) 滑移齒輪。  
 (e) 雙聯齒輪(齒輪塊)。 (f) 牙嵌式齒輪。 (g) 公用齒輪。  
 (h) 摩擦式离合器

式，在表示方法上是沒有什麼區別的。同樣在表示摩擦式离合器時，也不必考慮离合器是采用外摩擦片還是內摩擦片，是與空套齒輪還是與軸相聯。

## 第二章 結構網、轉速圖、力矩圖

結構網與轉速圖是用圖解計算法解決傳动机构問題時最簡單的也是最好的輔助方法。作結構網與轉速圖時，只需要一張方格紙，一把計算尺，和一張 DIN 804 德國標準，就可以根據傳动比值計算齒數，核驗所得的轉數是否在規定的負荷轉速範圍以內。

**結構網**(圖 2/1)\* 顯示了一個傳动机构內部的結構法則，而

\* 結構網、轉速圖首先是由 Germar 氏提出的，見 Schlesinger 著工具機第一冊 126 頁 1936 年版。