



电影机的输片齿轮

梅里克—斯捷潘尼扬 著

中国电影出版社

电影机的输片齿轮

〔苏联〕梅里克—斯捷巴尼扬 著

包学诚 姜玉山 译

中国电影出版社

1959•北京

А.М. МЕЛИК-СТЕПАНЯН
ЛЕНТОПРОТЯЖНЫЕ ЗУБЧАТЫЕ
БАРАБАНЫ КИНОАППАРАТУРЫ

ГОСКИНОИЗДАТ 1947 МОСКВА

內 容 說 明

这是一本关于各种电影机的輸片齒輪的理論性小册子。書中敘述了各种輸片齒輪和影片的理想嚙合情况与实际嚙合情况。关于齒輪的分类、齒輪同时与两条胶片的嚙合以及齒輪和影片嚙合时影片齿孔变形的問題，都有詳細闡述。此外，还詳細敘述了齒輪的制造方法、齒輪的計算、印片机的齒輪和各种輸片齒輪的齿廓形状，并附有許多計算公式。本書可供电影各部門的技术工作者、特别是各种电影机輸片齒輪的使用者和設計工作者学习和參考。

电 影 机 的 輸 片 齒 輪

[苏联] 梅里克-斯捷巴尼揚 著
包学誠 姜山玉 譯

中国电影出版社出版
(北京西单舍飯寺12号)

北京市書刊出版业营业許可証出字第089号

財經出版社印刷厂印刷 新华書店发行

大32开本 787×1092公厘 1/32 • 印张3 • 插頁1 • 字数85,000

1959年6月第1版

1959年6月北京第1次印刷

印数1—3,300册 定价: 0.40元

統一書号: 15061·67

作 者 的 話

輪片齒輪是電影機械主要零件之一。在設計新的電影機械時，更須特別注意齒輪的計算和合理的結構，因為它們既決定機器的工作質量，又決定電影膠片的磨損。

著者在实际工作中体会到，必須分析齒輪与電影膠片的嚙合情况，拟定一个計算方法，来确定齒輪主要尺寸的大小和公差的相互关系，而且必須涉及有关形成齒廓的加工工艺問題。

因為這些問題，不論在國內或國外的文獻中，都沒有系統的和充分的闡述，所以作者認為本書的出版是適當的，希望能夠彌補這個缺陷。但是，這個目的是否達到了，作者衷心歡迎讀者提出批評和意見，來信請寄：Ленинград, Космодромский пр. 21。

目 录

作者的話

1. 基本概念.....	(1)
2. 理想輸片齒輪与理想胶片的嚙合.....	(6)
3. 胶片与齒輪嚙合的实际条件; 齒輪的分类...	(7)
供片齒輪	(10)
收片齒輪	(19)
綜合輸片齒輪.....	(24)
4. 橫距和棋盘形位移.....	(27)
5. 影片与齒輪的嚙合的分析.....	(29)
6. 齒輪同时与两条影片的嚙合.....	(59)
7. 估計到影片齒孔变形的齒輪嚙合.....	(62)
8. 齒輪的制造方法.....	(71)
9. 齒輪的計算.....	(75)
10. 一个特殊的問題.....	(84)
11. 限定滑輪与片档.....	(91)

1. 基本概念

为了能使电影胶片連續地运动（或者象一般所說的，为了輸片），看来最简单的方法是用某种机械使光滑鼓輪旋轉，而影片則用特殊的滑輪压在光滑鼓輪上（图 1）。

光滑鼓輪 1 轉动时，在压片滑輪 2 的作用下，鼓輪和影片之間产生摩擦力，当包角 3 达到一定大小以后，电影胶片*就移动起来。但是，采用这种輸片方法是有困难的，所以人們沒有广泛采用它。只是在特殊的情况下，才在电影机械中采用光滑鼓輪作为輸片机构的元件。

困难在于輸片的速度，因为輸片速度不是以直綫度量单位来計算的，而是以单位時間內輸送影片的画幅数来計算的。既然如此，那么，根据胶片收縮量的不同，它的綫速度就必然改变。因此，如果光滑鼓輪与传动机构是刚性联接的，而且具有固定的角速度和圓周速度的話，那末胶片就会在光滑鼓輪上滑动。当然，这个滑动是不能允許的，应当用某种附加装置进行控制和調节。

当不允許存在滑动的时候，必須調节光滑鼓輪的角速度，这就更加繁复。所以，爱迪生在自己发明的活动观影机上，不得不采用两边有齿的鼓輪（齿輪），輪齿插入齿孔中，与电影片嚙合，从而拉动影片（图 2）。从那时起，輸片齿輪就被广泛地应用于电影机械中了。現在，它們几乎是任何电影机械所不可缺少的元件。当然，輸片齿輪輸送电影片的数量，可由齿孔数（或画幅数）来計算，而且不管胶片收縮的大小如何，它总是与輸片齿輪的速度准确相符的。輸片齿輪上的齿，同时也是控制胶片在齿輪上滑动的元件，关于这一点，上面已

* 关于电影片这个名詞，我們有两种解释：未經感光处理的原材料——电影胶片和已經感光处理的材料——影片（底片和正片）。

經提到。

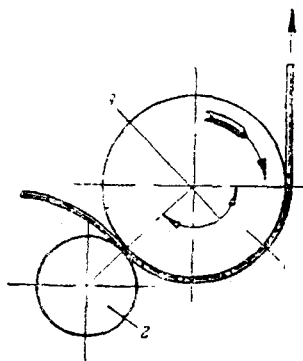


图 1

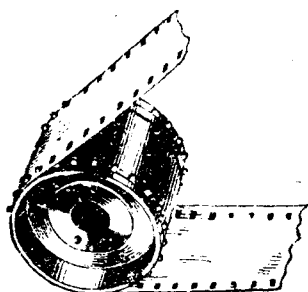


图 2

此外，必須指出，輸片齒輪和齒孔一樣，非常便于同步。借助于輸片齒輪和齒孔，可以使電影機上一系列元件相互配合地運轉。甚至當不可能運用齒孔時，也必須利用齒孔的形象，奧薩芬(озофановая)膠片，就是一個很好的例子，因為這種膠片的機械性能的關係，不能夠用普通的方法打出齒孔。

為了使膠片不脫離齒輪，並在工作時經常保持嚙合，應當用一種特殊的滑輪或片檔來壓住膠片。關於這個問題，下面我們將詳細講述。

輸片齒輪輪齒的形狀、尺寸和位置應當設計成這樣：它能夠平穩而沒有跳動地退出齒孔，同時又能同樣平穩地進入下一個齒孔。

圖3是35毫米標準影片用的輸片齒輪的兩個視圖，這種齒輪是由兩個齒圈1和它們之間的輪體2（光滑圓柱）組成的。輪體的直徑小於齒輪的直徑，以免影片在這裡與齒輪接觸，從而擦傷畫面或聲帶。

數字3表示輸片齒輪的輪緣；數字4表示凹肩。

兩齒圈的軸綫之間的距離，即齒輪的橫向間距，用 τ_6 來表示。

電影片繞過齒輪，緊貼在齒與輪緣間的圓柱表面上。圓柱的直徑 D_a 也就是齒谷圓周的直徑。

齒和凹肩4之間的圓柱表面的直徑 D_r ，稍小於 D_a ，以免影片在

这里与齿輪接触，而致擦伤声帶。

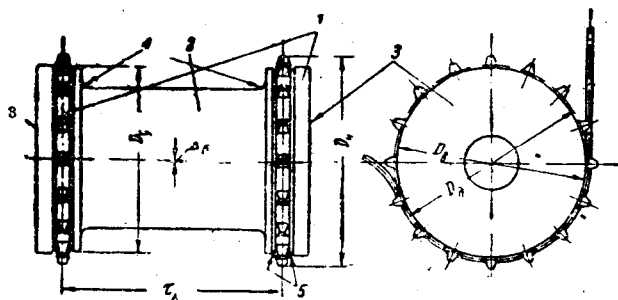


图 3

和电影片中性綫相符的一个想象的圓^{*}，称为基圓或节圓。节圓的直径用 D_0 表示。

由于节圓与电影片的中性綫相符，而且胶片弯曲时，其中性綫的长度并不发生变化，但是电影片的其余纖維，則伸长或縮短，因此，在計算齿輪时，节圓直径是一个主要的因素和原始数据。

电影片的纖維变形的大小，决定于影片弯曲部分的曲率。但是，因为齿輪直径大小不一，所以纖維的长度变化显然也有所不同，但中性綫則是固定不变的。根据这种情况，我們可以把任何齿数的——也就是任何直径的——影片齿輪的計算方法加以总结。

由于片基材料是均匀一致的，所以电影片的中性綫貫通在它的厚度的中間。因此，如果用字母 S 表示胶片的厚度，就可以写出：

$$D_0 = D_a + \delta \quad (1)$$

图 3 中 D_H 是外圓的直径。

图 4 所示，是輪齿的两个視图，箭头表示齿輪的轉动方向。圓柱曲面 1 称为齿前面；曲面 2 称为齿后面。与軸綫对称的曲綫 1 和 2 是齿廓，平台 3 为齿頂。当曲綫 1 和 2 相交于齿頂时，則平台变成直綫。平面 4 是齿側面。

^{*} 更确切地講，这里应该是中性层，而不是中性綫。不过，用“中性綫”这个名詞，也是正确的，因为我們常常把中性层投影到平面上，呈直綫形状。

两个相邻齿的两面或中心线之间的节圆的弧长，称为齿轮的直线齿距或齿距，并用字母 t_6 来表示。显然，两个相邻齿后面之间的弧长，也等于 t_6 。

这个弧的中心角，即齿轮的角齿距，用 α_6 来表示。齿轮的齿数一般用字母 Z 来表示。

尺寸 H 称为总高或齿高；尺寸 G 称为齿厚；尺寸 N 称为齿宽；尺寸 K 称为齿顶的宽度。

齿高被节圆分成两个部分（参阅图4）：齿足 n 和齿头 m 。

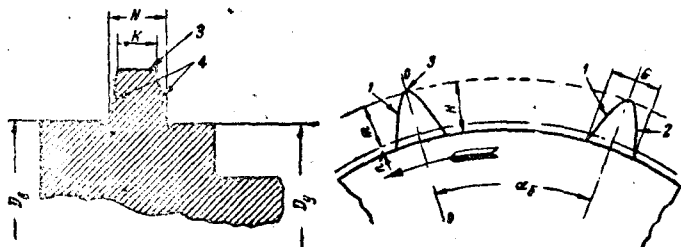


图 4

不同尺寸的电影片，使用不同的齿轮。例如，35毫米影片所用的齿轮与16毫米影片所用的齿轮，在尺寸和外形上就不相同。

齿轮根据用途的不同，可以分为双排齿轮（供35毫米和16毫米双排齿孔的胶片用）和单排齿轮（供16毫米单排齿孔的有声影片用）两种。

图5所示，是16毫米有声影片用的单排齿轮。从图中可以看出，这里没有第二排齿圈，代替它的是带槽的圆柱支承表面，其圆柱面的直径等于齿谷的直径 D_g 。这种表面之所以带槽，是为了防止电影片在齿轮上产生不可避免的滑动时，擦伤声道。各种齿轮的齿数 Z 也各不相同**。

* 与工作齿高不同，后面还要讲到。

** 讲到齿轮的齿数时，通常只是指一个齿圈的齿数而言，而不是指两个齿圈的齿数。例如，16齿的双排齿轮虽然称为16齿，但实际上它有32齿，而不是16齿（每个齿圈有16齿）。以后，谈到齿轮的齿数或齿孔数时，如果不需要特殊的说明，通常都是指一个齿圈和一排齿孔而言。

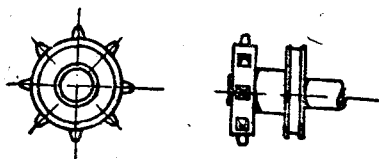


图 5

实际工作中应用最广泛的，是35毫米影片用的16齿和32齿的输片齿轮以及16毫米影片用的8齿和16齿的齿轮。此外，也使用24齿、48齿和64齿的齿轮（后者在连续印片机中

用作印片齿轮，这是因为它们的直径适合于补偿通常约为0.3%的底片收缩量之故）。

还有6齿和12齿的齿轮，适用于16毫米影片；至于5齿和4齿的齿轮，则很少使用。

35毫米电影片的输片齿轮旋转一周，所输送的影片画幅格数，最好是整数，因为用整数比用小数方便。一格画幅有4个齿孔，也就是说，相应于4个齿，所以齿轮的齿数通常应为4的倍数。

16齿的齿轮之所以获得广泛的应用，是由于它使用了四叶马尔蒂十字单，因为这种十字单比其他叶数的十字单要好得多。32齿的齿轮之所以获得广泛的应用，则是由于无声电影摄影每秒16格的速度，符合于32齿的齿轮每秒2转的角速度。这个旋转速度对于手摇摄影机来说很方便，因此，在无声电影时期，为了避免构造复杂，将32齿的齿轮与摄影机的摇把装在同一轴上，这样，摇把与输片齿轮轴之间，就不需要任何传动机构。

16齿和32齿的齿轮之所以适用，还有一个原因，就是传动机构的传动速比非常简单。不过，24齿、48齿和64齿的齿轮也是如此。

至于16毫米影片用的齿轮，它的传动速比的情况也大致相同。另一方面，8齿和16齿的齿轮的优先推广，是为了减小紧贴于齿轮上的影片弯曲的曲率，以减小影片的内应力。

关于齿轮各元件之间的数学关系，就是 D_s 、 D_g 和 δ 值之间的关系。我们已经列出公式（1）。其次，可以写出：

$$Zt_6 = \pi D_g,$$

即：

$$D_g = \frac{t_6}{\pi} \cdot Z. \quad (2)$$

D_H , D_B , H 和 m 值之間的关系可以这样表示(參閱图4):

$$D_H = D_B + 2H. \quad (3)$$

$$D_H = D_d + 2m. \quad (4)$$

2. 理想輪片齒輪與理想膠片的嚙合

在研究輪片齒輪的实际工作条件之前, 首先必須研究一下輪片齒輪與胶片理想嚙合的情况。

所謂“理想的輪片齒輪”和“理想的胶片”, 就是指全部尺寸絕對精确、相互協調而且不随時間而变化的輪片齒輪和胶片。首先, 齒輪和胶片的下述尺寸应当相互協調: 齿距和齿孔距; 齒輪和胶片的橫向距离; 牙齒和齿孔的尺寸(胶片本身不得有任何变形現象)。

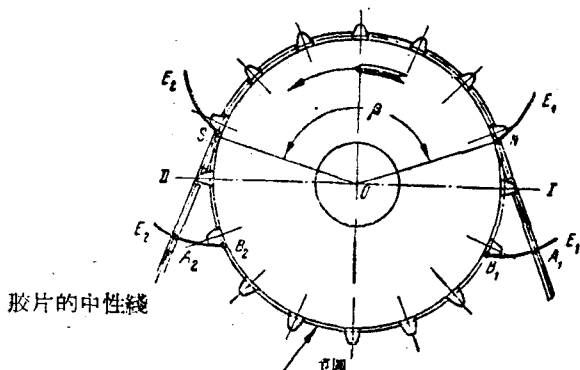


图 6

設計理想輪片齒輪时, 原始条件应当是: 胶片在齒輪上沒有滑动現象。換句話說, 节圓的圓周速度(綫速度)应当与胶片中性綫的綫速度准确相等。

显然, 为了达到这个条件, 一方面, 齿孔距应当等于齿距; 另一方面, 齒輪牙齒須填满齿孔。由于这个情况, 所以齒輪和胶片的橫向

距离必須精確相等，而且齒根和齒孔的尺寸必須完全相同。齒輪牙齒填滿齒孔，還可以使膠片不致於在齒輪上橫向滑動。此外，理想輪片齒輪的節圓不應當有任何徑向擺動。

現在，我們來研究一下在主要條件下，即齒輪上的膠片沒有滑動的條件下，膠片在齒輪上移動的過程（見圖6）。

箭頭所示，是齒輪旋轉的方向。I是膠片的導引端，II是隨行端。在膠片導引端的中性綫上作一個記號，然後我們觀察這個記號從位置 A_1 起始的運動情況。齒輪的節圓上有一個點 B_1 ，當點 A_1 移動到節圓的N處時，點 B_1 和點 A_1 便會合在一起。這說明：弧長 NB_1 和中性綫上的直綫段 NA_1 相等。點 A_1 環繞齒輪運動的時候，將形成軌迹 E_1 。從點N起（我們叫它導引點）到點S為止，點 A_1 和 B_1 是在一起運動的，分開之後，點 A_1 到達位置 A_2 時，點 B_1 便處於位置 B_2 ，此時弧長 SB_2 與直綫 SA_2 相等。同時，點 A_1 環繞齒輪而形成軌迹 E_2 。

我們把點S叫做分枝點。不難想象，軌迹 E_1 和 E_2 是齒輪節圓的漸開綫。

由於中性綫上和齒孔邊緣上的點與膠片中性綫上的所有點一樣，在運動的過程中形成漸開綫，因而可以得出結論：理想的輪片齒輪的齒廓（齒形）也應當是節圓的漸開綫。

無論哪一邊膠片上有張力時，理想輪片齒輪所承受的負載都是平均分布在每一個嚙合的牙齒上。假如理想輪片齒輪的角速度絕對恒定的話，那麼，膠片的綫速度也是恒定值，而且這個速度的曲綫，即輪片齒輪的運動特性曲綫，是一條平行於橫坐標軸的直綫。

半徑OS和ON所夾的 β 角，是齒輪的包角。

3. 膠片與齒輪嚙合的實際條件； 齒輪的分類

上面我們已經討論了理想輪片齒輪與膠片嚙合的條件，現在來研究一下實踐中之所以不得不違反這些條件的原因以及如何加以適當修正。

例如，可以这样說，由于輸片齒輪和胶片在制造上的誤差，不可能完全符合理想的嚙合条件。但这并不是主要原因，因为严格規定制造上的公差，可以把不合理条件的程度減到最小限度。齒輪与胶片嚙合不可能符合理想条件的唯一重要原因，是由于胶片具有随時間而改变几何尺寸的性能，而且更严重的是：胶片的收縮过程是长時間連續进行的。

誠然，如果各种胶片的收縮过程很短（有一定的時間），收縮量固定而且相同的話，那么，設計尺寸相应減小的輸片齒輪是可能的。但是，事实并不如此，所以我們不得不寻求一种方法，使胶片和齒輪在胶片尺寸的一定变化范围內，能够有比較合理的工作条件，尽管不是理想的工作条件。評定各种嚙合方法的标准，是胶片在齒輪上的滑动必須最小，同时，胶片和齒輪嚙合时，磨損也必須最小。

从上述情况可以看出，理想的嚙合条件是不可能完全达到的，所以必須根据工作条件，使用各种不同形式的齒輪，例如：一种齒輪起一种作用，另一种齒輪起另一种作用；一种齒輪使用于新胶片，另一种齒輪使用于旧胶片；等等。

輸片齒輪可以根据电影机的类别（如摄影机、放映机、印片机和录音机等等）来分类；也可以根据齒輪的作用来分类。分类工作需要全面考虑，分出来的类别越少越好。輸片齒輪根据电影机的类别来分类是不合理的，因为电影机的类别很多，而且也不能說明齒輪的作用。机器本身不能說明齒輪的特点（譬如說，在放映机和印片机的齒輪之間，我們就找不出显著的区别），所以根据电影机的类别来編排分类表的时候，同一个齒輪就可能編在“放映机”、“印片机”或“米数計”的分类栏里。

如果先根据胶片的寬度来把齒輪分类，然后再根据齒輪的作用来分类，情况就完全不同了。目前使用的胶片只有两种：35毫米标准胶片和16毫米窄胶片。将来发展8毫米业余电影时，在分类上可以增加第三种胶片。

齒輪根据作用的不同，可以分成两类：供片齒輪和收片齒輪。

輸片齒輪工作时，如果胶片导引段被拉紧，而随行段則是悬挂的，那么，这种齒輪就叫做供片齒輪。在放映机或其他电影机中，从

供片盒向外拉片子的齒輪，就是供片齒輪。齒輪工作時，如果膠片隨行段被拉緊，而導引段是懸掛的，那麼，這種齒輪就叫做收片齒輪。在放映機、攝影機、錄音機及其他電影機中，位於收片裝置前面的齒輪，就是收片齒輪。

圖 7 所示，是供片齒輪，圖 8 是收片齒輪。

後面我們將會知道，這兩種輪片齒輪的區別很大，而且每種齒輪只能在各自的特定條件下正常工作。

通常，輪片齒輪工作時，膠片兩段均被拉緊着。在這種情況下，齒輪上導引段的拉力大於隨行段時，這個齒輪便是供片齒輪；反過來說，齒輪上隨行段的拉力大於導引段時，則這個齒輪便是收片齒輪。

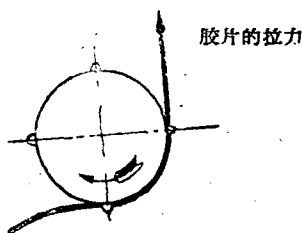


圖 7

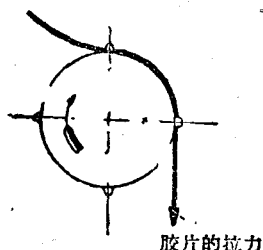


圖 8

除了這兩種齒輪之外，還須劃分出第三種齒輪，即所謂綜合齒輪。顧名思義，綜合齒輪既能起供片齒輪的作用，又能起收片齒輪作用。綜合齒輪的工作原理圖，如圖 9 所示。

選擇綜合齒輪的元件時，必須採取折衷辦法，因為對膠片來說，綜合齒輪起正常供片齒輪的作用時，膠片的拉力就不能起正常收片齒輪的作用；相反地，綜合齒輪起正常收片齒輪的作用時，就不能起正常供片齒輪的作用。由此可見，綜合齒輪原則上不能夠充分保證正常的工作，因此它的使用範圍就受到限制。只有同一條膠片通過齒輪一次(或幾次)的

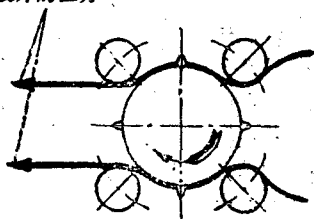


圖 9

机器，如摄影机、录音机等机器，才适宜于使用綜合齿輪。

还可能有这样的情况，就是輸片齿輪工作时，胶片两段（导引段和随行段）以同样的程度被拉紧，或同样是悬挂的，在这种情况下，使用哪一种齿輪都行。詳細研究一下各种輸片齿輪，首先是头两种齿輪（供片齿輪和輸片齿輪）的工作条件，我們就会了解这一点。下面我们就开始研究这个问题，并且对輸片齿輪分类的问题，再作一些补充叙述。

供 片 齿 輪

在实际的工作条件下，齿距和齿孔距相等的可能性是非常小的，因此我們对于 $t_6 = t_n$ 的情况不作单独研究，而把它和下列两种情况配合起来研究： $t_6 \geq t_n$ 和 $t_6 \leq t_n$ 。

现在，我們来分析一下，在这两种情况下，各种輸片齿輪的工作。

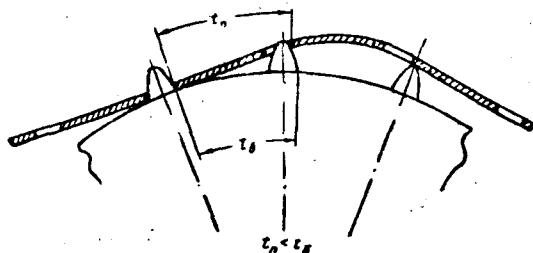


图 10

我們先就 $t_6 > t_n$ 的情况来研究供片齿輪，同时也研究除理想以外的最佳嚙合方法。在这种情况下，首先必須减小牙齿的厚度，因为不然的话，就只有一个齿孔与齿輪嚙合，图10說明了这种情况。

如果把牙齿的厚度减小一定的数值，那么，就得到图11所示的情况，图中，箭头指示齿輪旋轉的方向。

从图11可以看出，当牙齿1的前面与齿孔前緣相接触的时候，齿后面与齿孔后緣之間便形成游隙 f ；而在牙齿2与齿孔之間形成前游

隙 a 和后游隙 $f-a$ 。接着，牙齿3形成前游隙 $2a$ 和后游隙 $f-2a$ ，其余均依此类推。

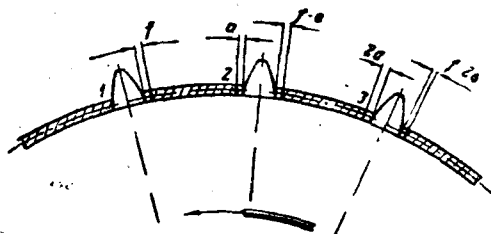


图 11

假设牙齿孔啮合在一起的有 Z_k 个牙齿，则最后一个齿的前游隙等于 $(Z_k-1)a$ ，而后游隙等于 $f-(Z_k-1)a$ 。显然， $f-(Z_k-1)a$ 不可能是负值，因为否则的话，齿孔就会只套在牙齿的顶部上（如图10所示），而不能完全与牙齿啮合*。这个数值的极限值最小可以等于零：即 $f-(Z_k-1)a=0$ ，

$$Z_k = \frac{f}{a} + 1. \quad (5)$$

所以计算输片齿轮的时候，必须用到这个公式。

必须指出， f 越大， a 越小，则能够完全与胶片啮合（正常啮合）的次数越多。如果用 b 表示齿孔的高度，则 $f=b-G$ ； $a=t_0-t_n$ （见图3和图11）。因此，又可以作出结论：齿牙厚度与胶片的收缩量越小，则 Z_k 越大。

前面所举的例子中，啮合齿的序数是按照和齿轮旋转相反的方向计算的。后面也是采用这样的顺序。

在全部啮合齿中，只有第一个齿与齿孔相接触，因此这个齿称为主动齿**。当输片齿轮旋转的时候，和齿1相啮合的齿孔开始在齿面上滑动，而稍微退出啮合，经过一定的时间，齿1完全退出齿孔，这

* 所谓完全与牙齿啮合，是指胶片紧贴在齿谷圆周上而言。

** 主动齿和啮合齿是两个不同的概念，啮合齿也可能不是主动齿。

时齿 2 便成为主动齿。在以上的分析中，我們假定齿面是节圆的渐开线。因此，齿孔边缘在齿前面上滑动的情况下，胶片退出啮合时，不会在齿轮上滑动，也就是說，牙齿完全退出啮合以前，胶片的的速度等于齿轮节圆的周速度。当牙齿退出啮合的时候，胶片速度突然下降，而停止运动*，这是因为牙齿 2 与齿孔边之間有游隙 a ，以致牙齿暂时失去了对胶片的作用。假如在游隙 a 消失的一刹那时间 ST_1 内，胶片是停止不动的，則輸片齿轮的运动特性曲线如图 12 所示。画有线条的部分是 $V \cdot ST_1$ 的乘积，它确定齿轮无负载的转动，換句話說，就是确定 $a = t_6 - t_n$ 值（收縮量的尺度）。

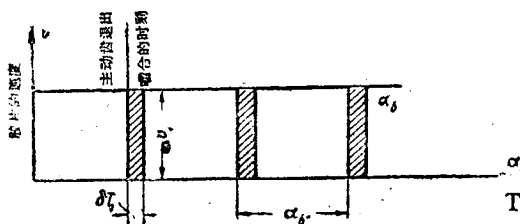


图 12

以上我們沒有考虑到胶片的张力，因此必須研究如下两种可能的情况：

(1) 在 ST_1 時間內，胶片的张力等于零，例如，胶片从放映机的供片盒出来的时候；

(2) 在这个時間內，胶片的张力保持不变，例如，装有專門的拉片滑輪或其他装置的时候。

图 12 适合于第一种情况，但是不适合第二种情况。既然胶片张力（此张力的方向与胶片移动方向相反）在齿轮对胶片失去作用的时候还保存着，那么，这个张力便朝相反的方向带动胶片，也就是說，它传给胶片以减速度。这个情况的运动特征曲线，如图 13 所示，画有线条的部分同样确定 a 值，因此 ST_2 显然小于 ST_1 。

由于每一次更换主动齿的时候，速度都发生变化，換句話說，更

* 这里我們沒有考虑胶片的惯性。