

航空机輪剎車裝置的 摩擦过程和摩擦偶的選擇

И. В. 克拉盖里斯基、Г. Е. 楚比尔柯

А. В. 齐契納节著

古 世 權 譯

國防工業出版社

1962

航空机輪刹車裝置的 摩擦过程和摩擦偶的选择

И. В. 克拉盖里斯基, Т. Е. 楚比尔柯

А. В. 齐契納节著

國防工業出版社

內容簡介

本书闡述高速噴气式飞机机輪剎車裝置的結構与工作特点；对剎車时摩擦过程、溫度与压力等因素对摩擦性能的影响作了相当詳細的論述；书中对摩擦溫度及摩擦試驗机的溫度状况进行了数学理論方面的探討；并且用相当篇幅介紹了在摩擦試驗机与慣性試驗台上所进行的实验工作。

本书可供从事航空机輪設計与制造的工程技术人员、科学工作者参考，对高等航空院校的学生亦有助处。

苏联 Н. В. Крагельский, Г. Е. Чупилко, А. В. Чичинадзе
著 Процессы трения в тормозах авиаколес Подбор
Фрикционных пар (Изд. Ательство Академии Наук
СССР 1955 年第一版)。

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可出字第 071 号

国防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

*

787×1092¹/₃₂ 印張 5³/₄ 118 千字

1962 年 10 月第一版

1962 年 10 月第一次印刷

印数：0,001—1,000 册 定价：(11-8)0.91 元

統一书号：15034·488

目 录

主要符号.....	5
噴气式飞机机輪剎車裝置的結構和工作条件.....	7
軟管式剎車裝置.....	8
盘式剎車裝置.....	12
剎車裝置摩擦偶的工作条件.....	18
摩擦和磨損过程及各种因素对它們的影响.....	26
摩擦的种类.....	26
表面的接触.....	29
摩擦的物理性質.....	33
摩擦中的跳跃.....	36
摩擦系数与滑动速度的关系.....	41
摩擦表面接触单元的数量对摩擦系数的影响.....	42
磨損現象的物理性質.....	45
压力的影响.....	56
速度的影响.....	56
溫度的影响.....	57
有关摩擦溫度計算的探討和研究工作的概述.....	63
热傳导問題.....	63
摩擦时热源的确定和摩擦表面溫度的計算.....	66
摩擦热問題按謝德羅夫的解法.....	69
摩擦試驗机溫度状况的計算.....	75
小栓式摩擦試驗机.....	76
完全相互重迭接触的环形摩擦試驗机.....	91
論用小試样試驗时某些条件的遵守.....	108

在 II-47 型环形摩擦試驗机上进行的材料摩擦性能的研究.....	112
II-47 型环形摩擦試驗机說明.....	114
几种摩擦材料在 II-47 型摩擦試驗机上鉴定的結果.....	118
在 II-47 型环形摩擦試驗机上鉴定摩擦材料耐热性的方法.....	124
試驗技术.....	126
在慣性試驗台上以刹車机輪实物进行的摩擦偶的試驗	
性試驗.....	129
慣性試驗台的簡要說明.....	129
在慣性試驗台上进行試驗的条件.....	136
刹車时材料表面的变化.....	143
机輪的刹車特性.....	148
摩擦材料的要求.....	173
参考文献.....	178

主要符号

- A_c —飞机着陆瞬间的动能。
 A_T —作用到刹车装置上的动能。
 A_{CT} —惯性试验台的动能。
 $a_{сбл}$ —表面的相互压入量。
 $a_{кр}$ —导致一定破坏形式的变形深度。
 a —导热系数。
 $C_{сам}$ —考虑到飞机气动特性和滚动阻力的系数。
 c —热容量。
 E —弹性系数。
 F_{CT} —静止摩擦力。
 F_K —滚动摩擦力。
 f —摩擦系数。
 $\psi_{K, макс}$ —机轮轮胎与地面的最大摩擦系数。
 $G_{пос}$ —飞机的着陆重量。
 H_B —布氏硬度。
 J_v —数量磨损密度。
 J_B —重量磨损密度。
 J_L —线性磨损密度。
 $K_{сам}$ —飞机着陆时的空气动力效率。
 $K_{пер}$ —滚动阻力系数。
 $K_{ж}$ —刚性系数。
 μ —波桑系数。
 M_T —机轮刹车力矩。
 $M_{T, макс}$ —最大刹车力矩。
 $M_{T, cp}$ —平均刹车力矩。
 $N_{макс}$ —最大刹车功率。
 N_T —刹车装置吸收的功率。
 $N_{T, yд}$ —单位刹车功率。
 P_{CT} —机轮承受的径向停机载荷。
 P_K —作用到机轮上的地面反作用力。
 P —载荷。
 p_T —刹车压力(刹车系统内的压力)。
 $p_{\phi, cp}$ —接触处上的平均实际单位压力。
 $p_{yд}$ —单位压力。
 p_0 —轮胎内的压力。
 S_{ϕ} —实际接触面积。
 S_p —计算接触面积。
 S_H —名义接触面积。
 S_K —轮廓接触面积。
 S_T —摩擦面积。
 τ —单位摩擦力。
 t —时间。
 V —体积。

v_{CK}^0 —刹車盤滑动速度。

v_{CK}^K —刹車鋼圈与刹車块的相对滑动速度。

v_{noc} —着陆速度。

$v_{окр}$ —机輪綫速度。

L —长度。

$n_{ок}$ —单位輪廓接触面积內的接触点数量。

n_0 —单位名义接触面积內的接触点数量。

n —一个机輪的刹車裝置的数量。

α, β —单元摩擦規律中的系数。

$\alpha_{ст}$ —摩擦的穩定系数。

$\alpha_{тп}$ —热流分布系数。

$\beta_{эф}$ —效率系数。

Δ —綫性磨損量(毫米)。

Δh —高度。

Δg_M —摩擦时材料的重量損耗。

γ —比重。

η_{yn} —摩擦疲劳强度系数。

$\delta_{гп}$ —深挖量。

$\delta_{ст}$ —輪胎的停机压缩量。

θ_S —摩擦表面的平均溫度。

θ_V —体容溫度(材料体积內各个不同点的溫度)。

λ —导热系数。

$q_{тп}$ —单位热流。

σ —散热系数。

σ' —外部散热系数。

$\varphi_{кол}$ —刹車时机輪旋轉总角或机輪刹車滑行距离。

r_{π} —摩擦的平均半径。

g —重力加速度。

$\gamma_{гп}$ —光滑度的正切。

噴气式飞机机輪刹車裝置的 結構和工作条件

飞机的着陆速度和它的重量随着航空科学技术的发展而增大。因此,飞机着陆时的动能和滑跑距离也就急剧增加。据国外刊物[1]的記載,目前某些噴气式飞机已具有250~300公里/小时的着陆速度,并且可以預料,在不久的将来将出现着陆速度达320~350公里/小时的飞机。

近代噴气式飞机着陆时所受到的气动阻力比活塞式发动机飞机小得多。装有滾柱軸承和高压輪胎的机輪,在硬地面机場上的滾动摩擦阻力也很小。因此,着陆时具有巨大动能的噴气式飞机,在沒有刹車裝置的情况下,其着陆滑跑距离将达3500米或更大。使用这种不带刹車裝置的飞机,需要很大的机場,而采用带刹車裝置的机輪,則可縮短着陆滑跑距离 $2/3 \sim 3/4$,也就是說縮短至800~1000米。因而机場面积就可大大地减小。

具有300~350公里/小时着陆速度的近代噴气式飞机,其着陆后的刹車是一个困难的技术問題。

在着陆滑跑的15~25秒鐘內,需要依靠机輪的刹車裝置把巨大的动能变为热能并使其消散。在机輪的极狹小的空間內,布置在載重大的情况下刹車性能稳定且具有足够功率的刹車裝置,并保証其通风散热良好,这对机輪刹車裝置的設計人員來說是一个最困难的任务。为了保証刹車裝置稳定地工作并达到要求的使用期,摩擦偶必須选择这样的材料:在刹車

过程中达到的很大的单位压力与很高的摩擦温度情况下,能保持应有的机械和摩擦性能。

目前航空机輪采用的刹車装置 [2、3、37] 可以分为弯块式、軟管式和盘式三种。在高速飞机上,弯块式刹車装置几乎已不采用,因为它对摩擦系数的变化和由于大量的摩擦热而引起的刹車鋼圈的变形非常敏感,此外,甚至当机輪和刹車装置安装在起落架軸上时,由于有微小的偏心也使带有助力弯块的弯块式刹車装置的工作受到破坏。但指出这点来是很有趣的,尽管弯块式刹車装置缺点不少,而在第二次世界大战期間,几乎在德国空軍中所有的战斗机上仍被广泛地采用。

軟管式刹車装置

軟管式刹車装置受刹車鋼圈的热变形和刹車片摩擦系数变化的影响較小。自 1936~1937 年起,在苏联的航空事业中,这种刹車装置(图 1)与弯块式刹車装置同时得到发展。后来,由于高速噴气式飞机的出現显著地提高了刹車装置的工作温度,因此,受温度影响較小的軟管式刹車装置便代替了弯块式刹車装置。

在最近十七年內,按結構型式來說,軟管式刹車装置几乎没有什么改变,仅是在采用材料方面有些改进,例如采用了带有保护层的軟管;刹車装置壳体采用鎂鋁合金鑄件;摩擦塑料和回力彈簧片等都有所改进。

軟管式刹車装置的发展是与刹車鋼圈的发展紧密联系着的:除了改进刹車装置外,刹車鋼圈的构造也有了改进。由于工作温度的提高,刹車鋼圈改进的首要方向是在不另外增加

結構重量的条件下防止刹車鋼圈因受熱而變形并保證熱能消散。

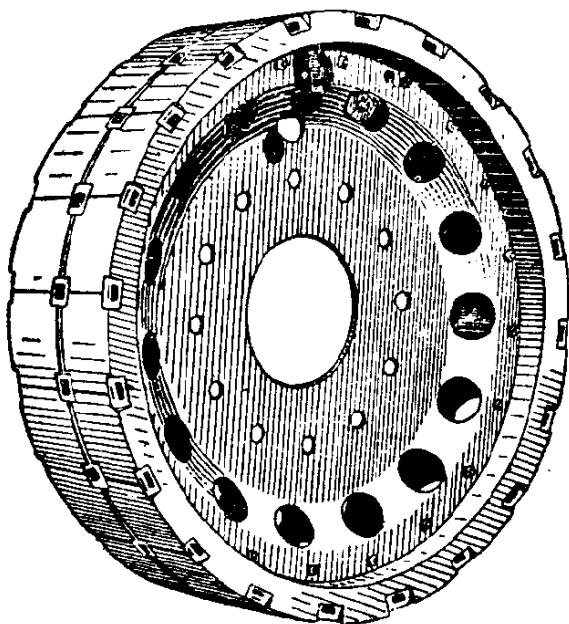


图 1 軟管式刹車裝置的外形。

刹車鋼圈的改進主要在下列方面：刹車鋼圈與輪緣絕緣（預防輪胎因過熱而損壞），增加肋形散熱片和採用雙金屬刹車鋼圈。雙金屬刹車鋼圈的內面是能在高溫條件下工作比較穩定的合金鑄鐵摩擦面，其外面是一個鋼圈，用以加強內面鑄鐵層[4]并起散熱作用。

目前製造的刹車鋼圈的直徑比輪緣小（圖 2），使在刹車鋼圈的散熱表面與輪緣之間得到空氣隔熱。

這種結構原理的缺點是全部刹車動能基本上只由刹車鋼圈來吸收和散熱，而機輪殼體和輪胎的參與作用很小。因此，為了要吸收飛機著陸時作用在刹車裝置上的全部動能，不得不選用重量大的刹車鋼圈。在早期的小型飛機機輪結構中，刹車鋼圈是壓入機輪殼體的（圖 3）。

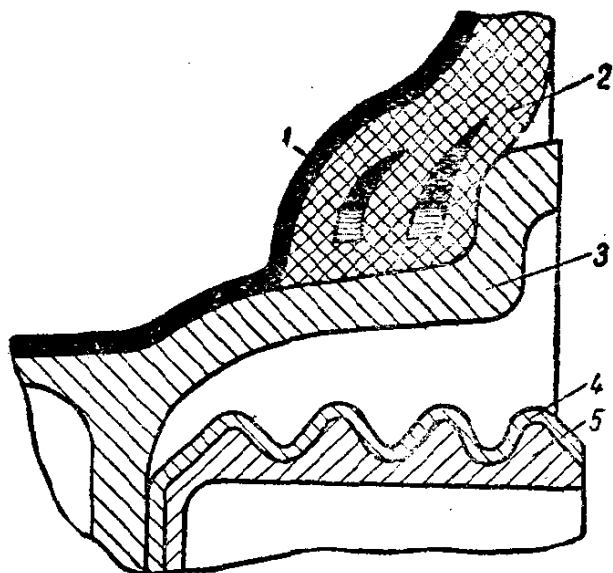


图 2 双金属刹车钢圈散热表面与轮缘之间有空
气隔热层的近代机轮的结构：

1—内胎；2—外胎；3—轮缘；4—钢圈；5—合金铸铁。

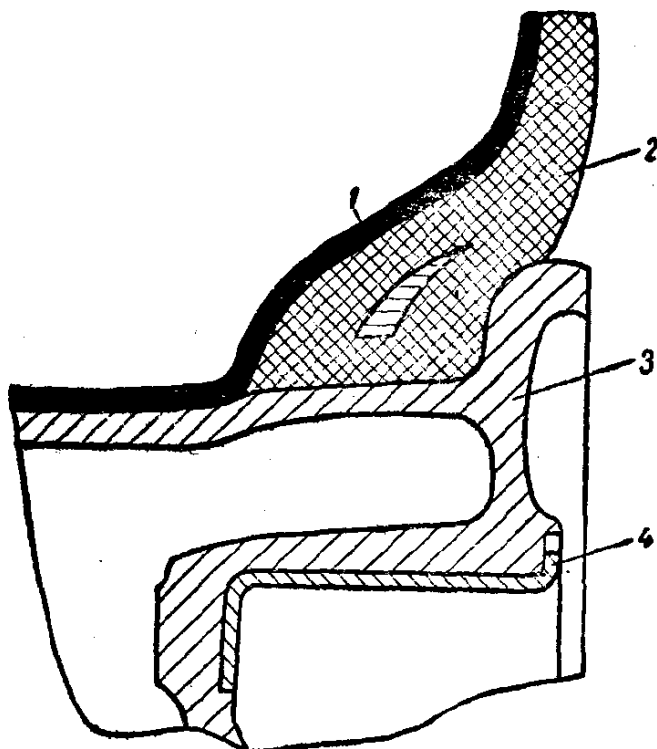


图 3 刹车钢圈压入机轮壳体的小型飞机机轮的旧式结构：

1—内胎；2—外胎；3—机轮壳体；4—薄壁的刹车钢圈。

要提高刹車裝置摩擦偶的耐磨性和摩擦系数的恒定性,不仅要寻找更加耐用的新材料,而且要改善摩擦偶的工作条件,亦即降低摩擦偶工作表面的温度,从而避免刹車块的磨损过大和刹車效率的降低。

近来在实验中已采用另一种结构的双金属刹車鋼圈,其摩擦表面是一薄层鑄鉄或鋼,其余吸收和散热的部分是由具有良好导热性和热容量大的輕鋁合金制成 [5]。刹車鋼圈基体的鋁合金和作为刹車鋼圈摩擦表面的鑄鉄层或鋼层以特殊方法熔合:保証它們完全接触,使热可以从摩擦表面自由地傳导至刹車鋼圈的基体。根据我們試驗得知,这种刹車鋼圈的冷却性能极好。因此,摩擦表面的最高温度的保持時間就較短。这一改进不仅能使結構重量減輕,而且能改善刹車裝置的受热状况,保証刹車片和刹車鋼圈的摩擦表面获得較好的工作条件。

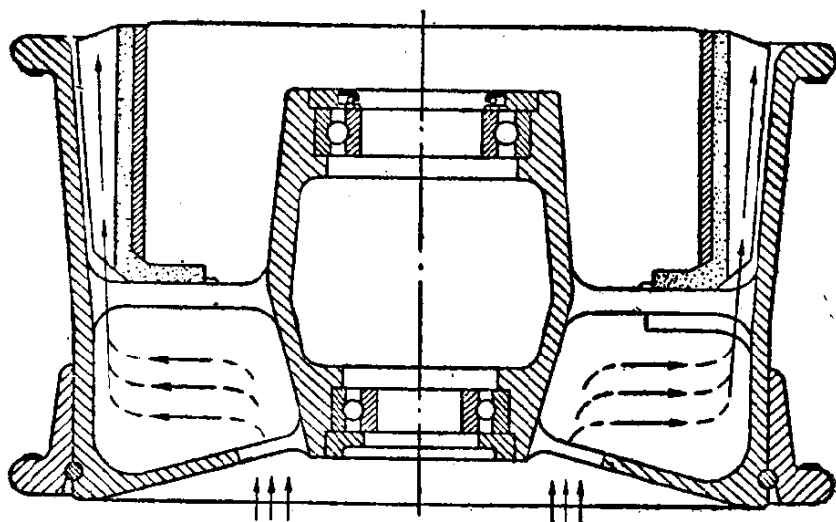


图 4 机輪壳体和刹車鋼圈散热表面自动通风的机輪結構。

为了降低摩擦表面和刹車片的工作温度,刹車鋼圈在刹車后采取强制冷却。刹車鋼圈的散热表面做成肋形的。我們尝试过采用液体冷却或盐冷却的空心的刹車鋼圈,并且也采用机輪壳体通风的结构型式(图4),让气流通过刹車鋼圈的散热表面和机輪的壳体。

但是,实际上这些措施中多数都是效果低或者完全无效。最近已設計出通风的刹車装置。这样不但能冷却刹車鋼圈的散热表面,而且能冷却摩擦偶的摩擦表面。这种通风的结构显著地改善刹車装置摩擦偶的受热状况。关于这种结构将在下面叙述。

盘式刹車装置

在近代的飞机上,为使机輪易于收起,必須采用最小外廓尺寸的机輪,所以采用了几乎不超过輪緣寬度的狹窄断面的高压輪胎。这种机輪的壳体的寬度很小,因此,在輪壳內需要安装必要寬度的刹車鋼圈是一件困难的事情。这样就必須設計效率高且外廓尺寸最小的刹車装置。盘式刹車装置却滿足了这个要求。

盘式刹車装置(图5)比軟管式刹車装置有更多的优点,它不需要刹車鋼圈,因此,沒有由于刹車鋼圈摩擦表面徑向热收縮、膨脹、翹曲和变形而使刹車工作受到破坏的缺点[6]。

刹車盘是两面受热的,所以比刹車鋼圈的效果較大,寿命也較长。刹車时,由于在两个摩擦表面上产生热能,因此,刹車盘受热較快而均匀,冷却也迅速。这样就减小了翹曲的危險。

盘式制車裝置摩擦表面的冷却比有制車鋼圈的制車裝置摩擦表面的冷却容易[7]。

制車盘以具有很小接触面积的窄槽与机輪壳体連接。所以，由制車盘至机輪壳体的接触傳热比由制車鋼圈至机輪壳体的傳热低得多。

除了沒有有害的热变形之外，制車盘与机輪壳体之間有良好的絕緣，这是盘式制車裝置最重要的特点，它减小了輪胎由于制車裝置过热产生高温而损坏的可能性。

盘式制車裝置有单盘式(图 5 之 a) 和多盘式(图 5 之 b) 两种。

单盘式制車裝置的特点是大部分摩擦表面是露在外面的。因此，虽然摩擦表面在摩擦过程中发热至灼热程度，但因有空气从它表面流过，所以能迅速地将热傳給周圍介質。

摩擦表面外露的单盘式制車裝置有很大的优点，同时也有以下的缺点：

1) 由于沒有采用任何方法来保护，制車盘就会因受到砂子的有害作用而加速磨損。此外，在外露制車盘的制車裝置內，必須采用剛性大的(亦即沉重的)外伸支架。

2) 在单位压力高的情况下，虽然采用較小的摩擦表面能使制車盘的摩擦表面大部分露在外面，这是极有利于冷却的。但是，作用到摩擦片上的单位压力增加过高会使摩擦片工作不稳定：摩擦系数不恒定，产生起毛等缺陷，这也将加速磨損。

3) 制車盘質量愈大，它所能貯蓄的热能就愈大。但是制車盘愈厚，温度的梯度就愈大(容許平均温度約 500°C ，相当于制車时制車盘表面的温度 1000°C 或 1000°C 以上)。因

此,除了摩擦偶的摩擦性能恶化之外,还将引起摩擦表面氧化[8]。为了提高抵抗氧化和磨损的能力,刹車盘可以鍍鉻。但是;在此情况下,表面的高温会引起形成机械强度低的氧化鉻,刹車裝置工作时将会破裂。

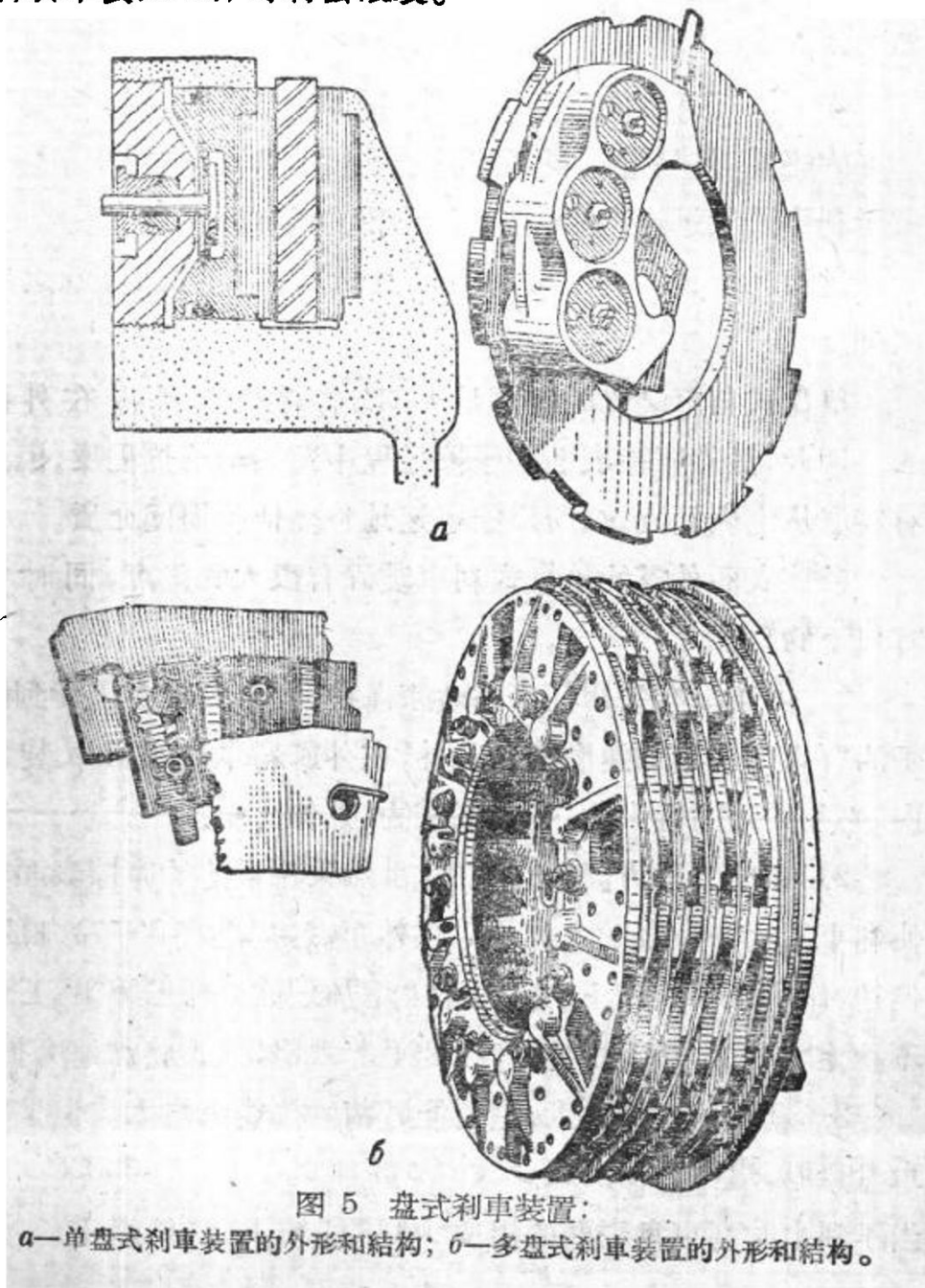


图 5 盘式刹車裝置:

a—单盘式刹車裝置的外形和結構; b—多盘式刹車裝置的外形和結構。

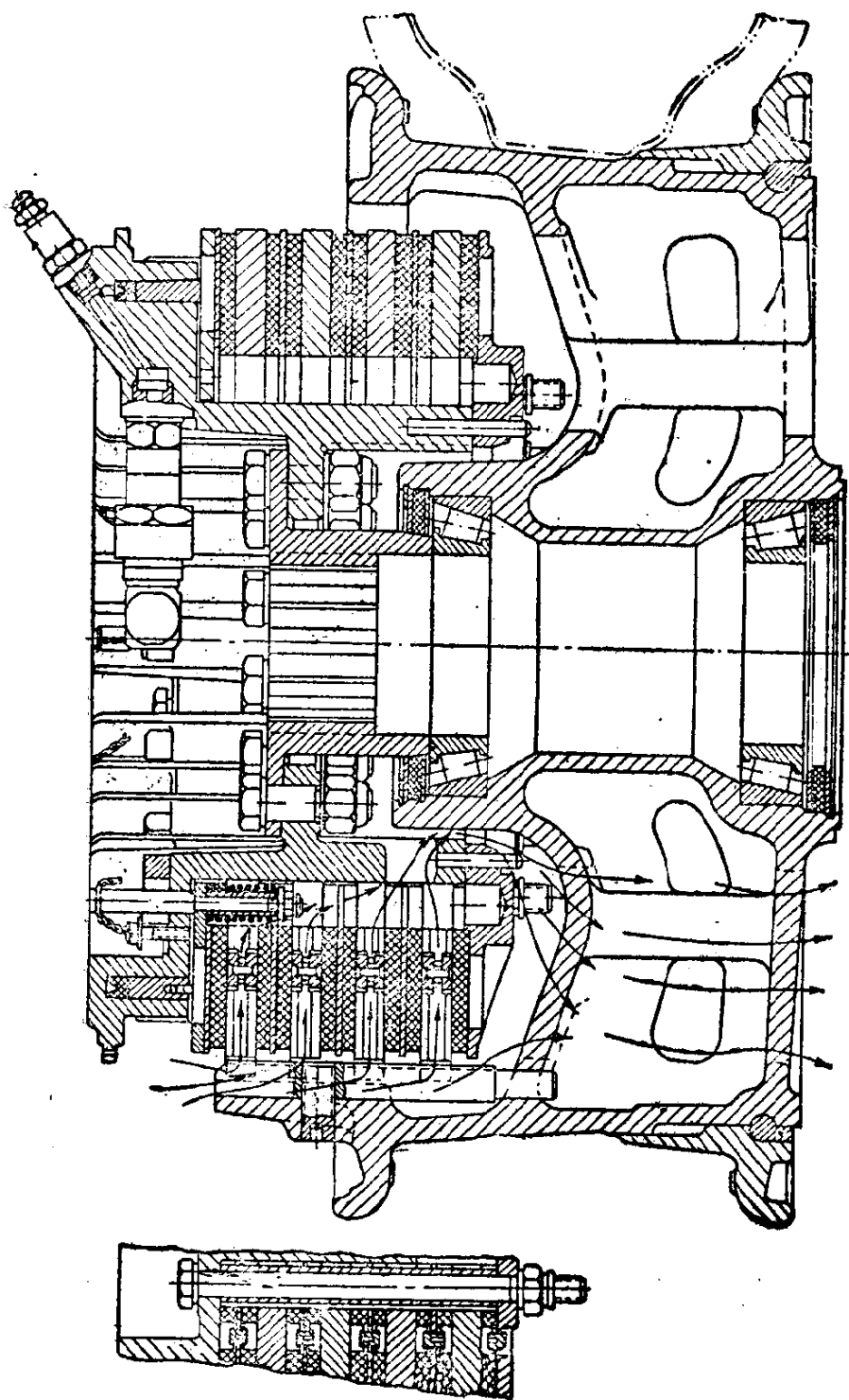


图 6 带有厚盘通风的多盘式刹车装置的航空机轮结构。

多盘式刹車装置(各单独的刹車盘的重量可减少至允許值)可以保証吸收大量的动能。

多盘式刹車装置由一組固定的和一組旋轉的刹車盘构成。固定的刹車盘与刹車装置的壳体連接,旋轉的刹車盘則与机輪的壳体連接。

刹車时,液压装置推动环形活塞,整組旋轉的和固定的刹車盘便被压紧。多盘式刹車装置的結構已經发展到采用通风的厚的刹車盘(图5之6和图6),它的摩擦表面利用通过它的空气来冷却。

固定的刹車盘除了采用陶制金属作为摩擦层外,塑料类的摩擦材料也已开始被采用。为了提高耐磨和防氧化的能力,金属磨制的旋轉的刹車盘也采取了鍍鉻的方法。

可通风的多盘式厚盘刹車装置,按其各部分的結構和工作來說,与从前的多盘式刹車装置区别頗大。旋轉的金属的刹車盘是一些厚重的板,它們能貯蓄大量的热能。这种刹車装置的每一个旋轉的刹車盘均由用特种接头鉸接的几块扇形块組成(图5之a)。因此,即使极高的温度,也不会象整块的刹車盘那样由于热膨脹而使刹車盘翹曲和龟裂。带扇形块状刹車盘的刹車装置刹車时,自动保証扇形块与刹車片完全貼合。

扇形块状的刹車盘在外周边沿上用鍵与机輪連接:它可与机輪一同旋轉,当压紧和松开刹車装置时,还可作必要的軸向运动。这些扇形块状的刹車盘被压貼在固定的表面复以摩擦片的薄的刹車盘上。固定的刹車盘則以鍵固定在刹車装置的壳体上。与旋轉的刹車盘一样,它們可沿机輪的軸向作有