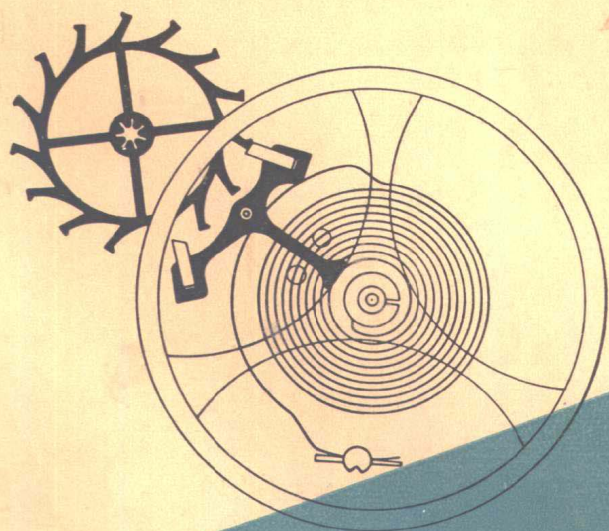


鐘表的摩擦与潤滑

(译文集)



上海科学技术情报研究所

钟表的摩擦与润滑

(译文集)

*

上海科学技术情报研究所出版

新华书店上海发行所发行

上海市印刷三厂印刷

*

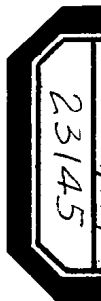
开本: 787×1092 1/16 印张: 4 字数: 96000

印数: 1—9300

1973年4月出版

代号: 1634-103 定价: 0.50元

(只限国内发行)



前 言

钟表机械内部存在着各种复杂的摩擦形态，采取有效的润滑技术是保证钟表走时长期稳定的重要措施之一。通常采用的钟表润滑，往往在一段时间后会因钟表油发生扩散流失现象而致润滑状况恶化，使运动件处于少油或无油状态下运转，加速零部件的磨损、增加运动阻力，导致传递能量与摆幅下降，显著降低钟表的走时精度。实践证明：钟表油的流失与钟表的走时长期稳定性有着密切的关系，是钟表质量下降的主要原因之一。长期来，国外对钟表运动件的润滑、自润滑与保油技术进行了大量的理论研究和探讨工作，取得了较大的效果。

目前，国内机械手表趋向于高频方向发展，除了对表机设计、加工工艺和原材料的选择等方面作相应改进外，手表的润滑处理更提到了重要的地位。遵照伟大领袖毛主席“洋为中用”、“知彼知己，百战不殆”的教导，我们在上海市钟表工业公司支持下，组织了上海手表厂、上海手表二厂、上海有机化学研究所、上海轻工业研究所等单位编译出版了这本《钟表的摩擦与润滑》专辑，以供有关部门的广大工农兵读者和科技人员参考。由于我们水平有限，文中难免有错误与不当之处，望批评、指正。

编 者

1973年4月

毛主席语录

备战、备荒、为人民。

独立自主、自力更生。

坚持政治挂帅，加强党的领导，大搞群众运动，实行两参一改三结合，大搞技术革命。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

我们不能走世界各国技术发展的老路，跟在别人后面一步一步地爬行。我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

目 录

钟表机构内部的摩擦形态	(1)
钟表的润滑	(3)
钟表的防油扩散概念	(12)
钟表宝石轴承和元件的防油扩散处理	(22)
擒纵机构的润滑及其改进	(33)
发条的自润滑处理	(42)
钟表常用塑料的性能和应用概况	(46)
国外合成钟表油概况	(54)

钟表机构内部的摩擦形态

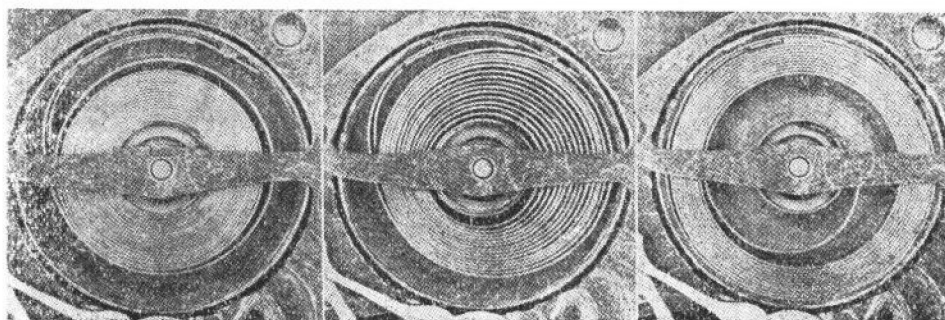
当两个物体表面存在着相对运动时，就会发生摩擦现象。摩擦不只发生在相互运动的两个固体之间，同时也发生在流体（气体或液体）之间。摩擦的种类很多，而且也是很复杂的问题。摩擦可分为动摩擦和静摩擦，动摩擦又分为滑动摩擦和滚动摩擦。从润滑角度来分，又可分为干摩擦、半液体摩擦和液体摩擦等。

两个接触表面相对运动时的阻力大小与它受到的负荷成正比，一般与滑动速度无关，它直接取决于接触材料的摩擦系数；在负荷不变的条件下，摩擦力与接触表面积无关。这种阻力被外力克服时，物体表面的物质由于磨蚀、腐蚀等发生累积的损失，这种现象称为磨损。

关于摩擦的起因是相当复杂的问题，一般认为是构成物体中，特别是表面分子之间相互吸引和排斥的结果。例如两粗糙表面的滑动与两光滑表面在互相紧靠下的滑动，其摩擦的起因是不完全相同的，后者是由表面分子间的吸引和粘附而引起的。

条盒发条内部的摩擦

手表的发条放置在条盒轮内，当发条卷紧后，它可以在一定时间内边放松、边通过齿轮传动对擒纵调速机构提供能量。发条在松开过程中，各圈并非同心扩张，发条相邻各圈之间存在着相互摩擦力（如图1所示），因此，减少了发条的有效输出力矩，降低了发条的效率，给表机带来不利的因素。



(a) 上紧时

(b) 放松中

(c) 放松后

图1 发条的工作过程

轴类零件的摩擦

轴类零件的摩擦阻力是人们一向关心的问题，从条盒轮顺着二轮、三轮、四轮到擒纵调速系，每个轮轴所受到的力有很大的差别。虽然给予各齿轮的转矩是小的，但是由于各齿轮的轴榫很小，所以单位面积上的负

荷很大，甚至受压达到 170 公斤/毫米²。因此，表机中轴类零件所用的材料是淬过火的高碳钢，轴承采用红色人造宝石，并且必须加以润滑以免磨损。根据日本资料^[1]，手表各轮轴的压力情况如下表所示：

表 作用于轴承压力的计算值

特性值	二 轮		三 轮		四 轮		擒 纵 轮	
	上 轴	下 轴	上 轴	下 轴	上 轴	下 轴	上 轴	下 轴
轴 径(毫米)	0.25	0.25	0.16	0.16	0.16	0.16	0.12	0.12
轴的扭矩(克毫米)	22.8	22.8	22.8	22.8	2.53	2.53	0.25	0.25
轴承承受的力(克)	96	236	43	14	2.8	4.5	0.46	0.16
轴承承受的压力(公斤/毫米 ²)	126	170	146	100	58	68	45	32
平均滑动速度(毫米/分)	0.013	0.013	0.067	0.067	0.614	0.614	4.147	4.147

擒纵机构的运动特征及其摩擦

在表机中,擒纵机构是联结传动轮列与摆轮的组合件,它的作用是:一方面将发条的能量传递给摆轮,维持其振荡;另一方面,在游丝摆轮的作用下,成为周期地锁接与释放机构。每当摆轮周期地振荡一次时,就使擒纵轮放过一个角节距(一牙),从而维持表机的等时性。

假如摆轮的振荡频率每小时为 18,000 次振动(即 2.5 赫),那么,仅只需要五分之一秒的时间即可完成一次振荡(一次振荡等于二次振动)。在擒纵调速机构的工作运动中,擒纵轮冲锁面和叉瓦之间产生了相当大的冲击压力,存在着相当复杂的摩擦形态。如果手表按每年清洗加油一次计算,那么,润滑油就要承受上亿次的冲击摩擦。在这种情况下,润滑油在工作表面完全有可能被刮掉,或者被抛到摩擦面以外的部位,或者形成润滑油被擒纵轮齿在叉瓦上送来送去的状态,引起润滑油的扩散流失,最后形成无油摩

擦。在这种情况下,无规则的磨损相应增加,使表机能量传递效率降低、摆幅减小、走时精度下降,甚至出现停表等情况。实验证实:如果不能妥善解决上述运动中的润滑问题,则钟表走时质量就要下降。从图 2 可以看出:由于没有添加润滑油,或加了以后流失,则摆幅要降低 20~30°^[2]。

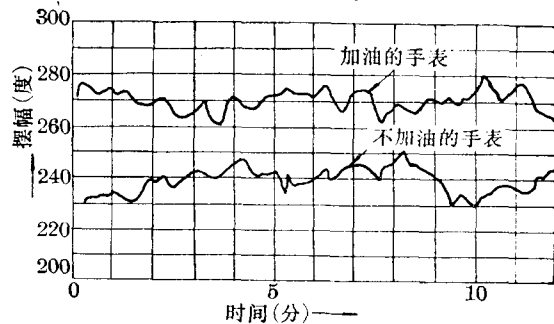


图 2 擒纵部件的润滑对摆幅的影响

参 考 资 料

- [1] 《润滑》1971年第16卷第7期396页。
- [2] 日本专利(特許) 昭47-6554。

钟 表 的 润 滑

摩擦是发生在两个相对运动物体表面的现象,是物体运动时所带来的不可避免的固有特征。润滑是人为地改善运动表面状态的措施。当两个物体受力后,无论在静止状态或是运动状态,都存在着摩擦现象。在实践中,良好的设计、合理的布排元件的空间结构、适当选择使用的原材料和对摩擦零件进行精抛磨等,都可以减小摩擦力和摩擦损耗。实践证明,如果不采取润滑措施或润滑不良,则还是不能达到预期的目的。长期以来,人们在解决润滑方面做了大量的工作。

润滑剂的作用在于它能使两个相互接触的运动物体摩擦面之间的摩擦力降低、磨损减少,从而可以达到如下目的:

(1)减小摩擦阻力和摩擦损耗、维持运动件的原有精度、延长使用寿命;

(2)提高能量传递效率。

目前,在钟表工业中一般采用钟表油作润滑剂,固体润滑剂和自润滑材料在某些方面已取代了一部分钟表油的润滑^[1-10]。近年来,还有资料报道了气体润滑剂的应用,为钟表润滑开辟了一个新领域。

钟 表 油 润 滑

钟表的基本润滑方式是注油,这是钟表工业开创以来一直延用至今的方法。这种润滑方式的实质是把钟表元件的干摩擦变成液体摩擦。根据实际测量表明:摩擦力要降低 $7/8 \sim 9/10$ (即液体摩擦力为干摩擦力的 $1/10 \sim 1/8$)。

要达到润滑的目的,条件是钟表油应能很好地附着在固体表面,并在固体表面形成

坚固的界面薄膜,这种油膜夹在两个摩擦面中间,使摩擦面不直接发生接触,这样就能减少摩擦和磨损。

应该指出,各种机械所采用的油脂润滑形式是各不相同的。例如大型机械轴承或运动部件的润滑,可以把整个轴承浸没在粘性的润滑油中,使用一定时间后,油可以方便地调换更新。对于精密的机械钟表和其它指示仪表,其润滑要求却大不相同。当一次注油后,至少要在二、三年内保持良好的润滑性能,不能因润滑不良而影响整个钟表或仪表的工作性能。要满足上述要求,除了在结构设计上考虑保油装置外,人们一方面研究和选用品质优异的合成钟表油,另一方面还专门研究钟表油在固体表面的防油扩散处理技术。这样,使钟表能够在相当长的时间内保持良好的润滑性能,为钟表的走时长期稳定创造了有利条件。

钟表油的性能和要求

钟表在装配过程中,除叉轴和部分杂件外,几乎所有运转件的轴榫都注上钟表油以降低摩擦阻力、提高能量的传递效率、减小磨损^[11-15]。但所使用的钟表油还应具有如下性能:

- (1)润滑界面的摩擦系数要小;
- (2)不腐蚀机芯内的钢质、铜质等零件;
- (3)不易引起扩散流失;
- (4)化学稳定性好,不易氧化和皂化;
- (5)油的挥发性小;
- (6)油的凝固点低;
- (7)油的粘度/温度特性好,即粘度受温度的变化小;

(8)油中不含有灰尘和其它污染物。

目前钟表生产中一般采用人工合成的优质钟表油。在钟表工业发展史上,钟表油经历了漫长的演变过程:早期使用过植物油,如橄榄油等;动物油,如抹香鲸油、牛蹄油等,以后又使用过矿物油。在使用上述润滑油时,都存在着各种缺点:如容易挥发、胶化、氧化变质、容易扩散流失等。直至第二次世界大战后,合成油得到迅速发展,钟表油质量有了显著提高,基本上满足了精密机械、钟表和仪器仪表等方面的各种需要。现将具有代表性的瑞士莫比斯(Moebius)表油及其应用范围在表1中介绍:

表1 瑞士莫比斯表油粘度及其应用范围

(1)普通表油(Classical watch oils)

商品号	名称	应用范围	粘度(20°C)	最低润滑温度	备注
8010	秒表	擒钻、秒表的部件	1.0	-20°C	扩散性轻微、凝固点低
8020	手表	摆轴、擒纵轮、小型表机齿轮的轴棒	0.8	-20°C	流动性大于8010,适用于小型机械和摆轴
8021	怀表	擒纵轮与机齿轮传动系	1.0	-20°C	同8010
8030	钟	大型钟的齿轮传动系	1.2	-5°C	粘度比上面几种高,适用于大型钟
8031	低温钟	同上,在低温工作	1.2	-20°C	同8030,但适用于低温
8040	大型钟	大型钟、塔钟和小型机械	1.5	-20°C	粘度高,适用于大型钟和精密机械

(2)合成油(Synthetic oils for watch and fine mechanisms)

商品号	名称	应用范围	粘度(20°C)	最低润滑温度	备注
9010	Synt-A-Lube	各种类型的手表表钻	1.2	-30°C	较稳定、挥发性低,与金属无接触反应
9020	Synta-Visco-Lube	大型物件的重载荷部位	2.7	-20°C	同9010
9030	Synta-Frigo-Lube	轻载荷部位	0.6	-40°C	同9010
9040	Synta-Lube "Arctic"	极低温	0.24	-60°C	零件表面用硬脂酸处理
921	专用油	擒钻	0.99	-20°C	擒钻、铜轴承

(3)莫比斯专用油(Moebius special oils)

商品号	名称	应用范围	粘度(20°C)	备注
8100	W.B型	精密机械	1.0	低粘度
8101	J型	精密机械	1.9	中等粘度
8120	N型	精密机械	1.94	中等粘度
8122	P.L.5型	精密机械	1.17	用于较大的温度范围

(4)专用润滑油(介于油和脂之间)

(Special lubricants)

商品号	名称	应用范围	备注
8200	专用润滑油	9%~19令条盒、警钟、摆钟、壁钟等	能改善发条性能
8201	含有二硫化钼的专用润滑油	自动手表付发条	能改善打滑性能

(5)专用脂(Special greases)

商品号	名称	应用范围	备注
8300	上条机构润滑脂(Grease Remontoir)	上条机构、无条盒的发条	可与8200一起使用
8301	含有石墨的上条机构润滑脂	付发条	能改善打滑性能
8302	含有二硫化钼的上条机构润滑脂	付发条	同8301
8513	硅脂	用于防水表壳和自来柄的密封	耐热
8514	CH型专用脂	用于精密机械、仪表	耐热、耐冷

从对钟表油的性能要求来看,一般指标是能满足的,但其中要求它具有非扩散性和良好的粘度/温度特性,这是钟表要求较高的特性指标。因为如果油易流散或粘度随温度变化较大,将会给钟表走时精度带来不利。

齿轮轴承和摆轮轴承的润滑

对于钟表来说,在较长时期内有效地保持润滑的作用是很重要的。往往会出现这种情况:油从润滑面流散,污染了其它部件而引起故障。游丝和摆轮是最怕沾油的代表性零件,即使沾到极微量的油,对于钟表的走时精度都会有极大的影响,因为钟表擒纵调速系的工作力矩极小,如果在非润滑部位沾

到油污反而会因油的粘结而形成阻力。

在结构上,采用了各种轴承的保油装置^[16],图1为具有储油槽的球面宝石轴承截面图,油可以保存起来。图2为摆轴轴承(防震器结构)的结构形式,利用通孔钻与托钻之间的表面张力,使油保留在孔的中央部分。但当轴插入轴承孔后,油会顺着通孔钻、托钻、轴等表面流散,所以还必须采取防油扩散处理,使在加油部件周边形成难润湿的薄膜,不使所加的油流散。



图1 球形宝石轴承

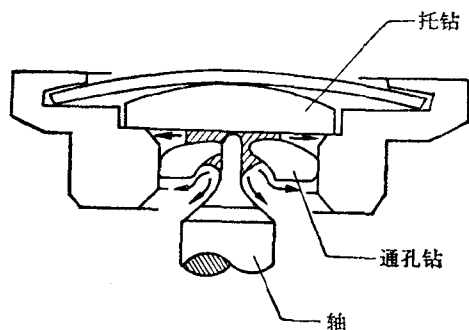


图2 防震器中油的流散途径

最近,日本介绍一种既简便又能储藏润滑油的保油装置^[17],这种结构特别适用于高频手表和小型手表(图3)。

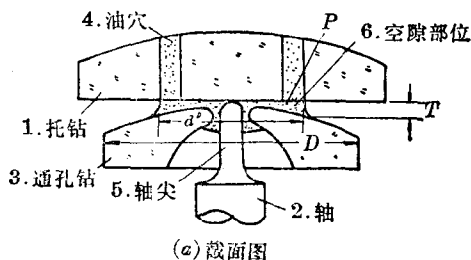
图3a中1为托钻,2为回转轴,轴尖5在通孔钻3中接触回转。四个油穴分布在直径为 d 的托钻上($d \approx \frac{D}{2}$)。在小型手表中,托

钻与通孔钻之间的空隙为百分之几毫米(一般为0.03毫米)。如果空隙部位6处的润滑油表面张力与油穴4处的润滑油表面张力相互平衡,则空隙部位是保油的(即油不会从通孔钻外围流散),从而保证轴尖5长时期处于良好的润滑状态下。

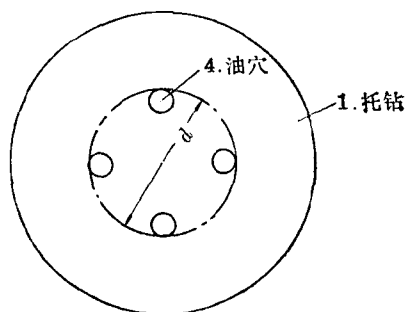
擒纵机构的润滑

在手表的润滑中,最困难的是擒纵部件

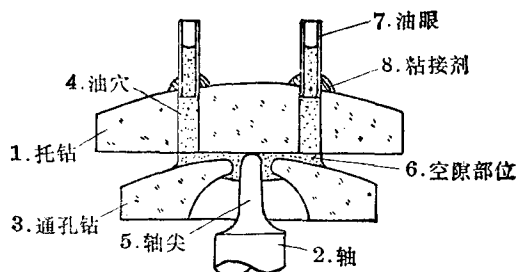
的润滑。它不同于其它轴类的润滑形式,因为擒纵机构运动时的冲击作用,会把油推向一个方向,油即移向叉瓦钻和擒纵轮齿的背面(图4、5)。因此,如何使润滑面上的油不离开工作点,将是进一步研究的问题。



(a) 截面图



(b) 平面图



(c) 其它例子的截面图

图3 轴的保油装置

为防止表油流散,目前所采用的方法是在叉瓦和擒纵轮上进行薄膜处理,然后设法去除工作面上的薄膜,使之能长期保持油量。这种方法已获得较为满意的效果。

条盒发条的润滑

一般采用的润滑剂是粘度较高的油或脂。十余年前已对发条表面进行塑料涂层处理,在发条表面形成具有自润滑特征的薄膜,

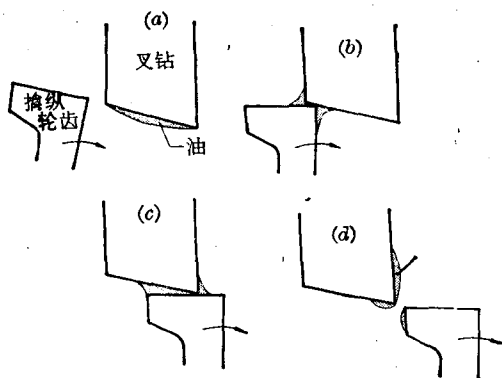


图 4 擒纵机构

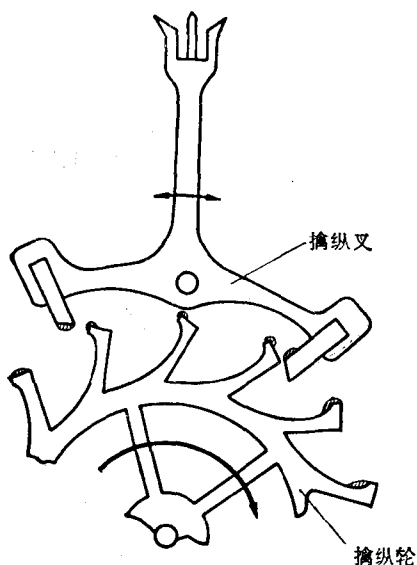


图 5 擒纵机构的润滑

这就免除了添加油脂而实现钟表无油润滑的第一步。

最近，借助手腕运动上条的自动手表逐渐增加，即使手腕运动量较少的人也可以使发条上紧。对于手腕运动激烈的人，往往发条上足以后它仍然要继续上条，所以自动手表在主发条外端都装有作为滑动件的副发条，由于主发条上紧时的弹性使副发条和条盒轮内壁的动摩擦与静摩擦差异变大而打滑，打滑一次发条就有一定的回退量。在此情况下，可以使发条力矩稳定，并且减少静摩擦与动摩擦的差异。为了尽可能使打滑时力矩稳定，采用添加二硫化钼润滑脂而得到

良好的效果。

含有二硫化钼的润滑脂已有商品出售。一般在油脂中二硫化钼的含量约为3~8%。如瑞士克劳纳克斯 (Chronax) 和莫比斯 (Moebius) 润滑剂中加入8%的二硫化钼以后，商品名称为“Molygles”，使用于发条与上条机构。

固体润滑

现代科学的发展对钟表等计时仪器提出了更高的要求，不但要求进一步提高手表的精度，而且还要求它能适应各种特殊使用条件。例如宇航技术的迅速发展，宇航飞行员所携带的手表和一些计时仪器，几乎都是处在真空的外层空间工作，温度变化幅度较大（在 $-60\sim+50^{\circ}\text{C}$ 范围内），而目前一般使用的油脂，由于它有可挥发性的缺点，因此在高、低温环境中，某些液体润滑剂显然无能为力了。另一方面，对于高频手表来说，它的走时精度可以调整到日差2秒以内，由于油脂固有的内摩擦和它的流动性，也给高频手表的发展以及走时精度的提高带来了障碍。为此，人们不得不寻找新型的润滑剂。钟表的固体润滑剂就是在这种情况下被人们研究和采用的。摩擦与润滑的关系、润滑剂与金属表面的关系日益被人们所理解，这对固体润滑剂润滑机理的认识具有重要意义。目前固体润滑剂已日益广泛地应用于仪器仪表、高空航行和空间探索等方面。

固体润滑剂是指在没有液体效应的情况下，使它以固体薄膜状形式保持在两个相对运动表面之间，以减少滚动或滑动表面间的直接接触，从而达到减少摩擦与磨损的目的。用来作为固体润滑剂的材料，本身应该具有抗磨损性、润滑性、经得起负荷、在较高和较低的工作温度下性质不受影响、在固体表面能构成坚韧的薄膜等特性。目前，固体润滑剂大致可以分成三种类型：

(1) 无机化合物：如二硫化钼、石墨、

氧化铅、钼酸钠、氮化硼、单氟化碳等；

(2)有机高分子聚合物：如合成树脂中的聚酰胺、聚四氟乙烯以及聚六甲撑己二酰二胺等；

(3)金属：如金、银、铅、铟等。

固体润滑剂可以以薄膜形式直接制成轴承的结构材料，或者以添加在其它材料中的方式加以应用。薄膜可由含该微粒的气体或液体对被处理件表面进行喷射制得。对于某些特殊材料可以真空涂复，或者用化学反应、电化学方法等途径制取^[18]。

据国外资料报道，应用于钟表工业的固体润滑剂有：二硫化钼、氮化硼、有机高分子树脂等。近十余年来，特别是氟代树脂的应用引起了人们的很大重视。这些固体润滑剂应用于表机内部的一些零部件，如：条盒发条、自动换日机构和减速机构等。从固体润滑剂在表机的应用情况看来，显示出它比液体润滑来得优越，并且在一定程度上还克服了应用液体润滑剂时所带来的很多麻烦。关于固体润滑剂的应用情况，将在有关篇幅中叙述，这里不再重复。下面介绍一下二硫化钼的性能和单氟化碳的应用概况，以供参考。

二硫化钼是斜方六面晶体结构，润滑性能取决于它的层状结构^[19]。每一晶体层（即分子层）的厚度为 6.25 埃，由二层硫原子和一层中间钼原子组成。因为钼与硫原子间的结合力较强，硫与硫原子间结合较弱，使硫与硫原子间产生一个低剪切力的平面。据推算，一层厚为 0.025 微米的二硫化膜层，就具有四十余个分子层和三十九个滑移面。这些众多的滑移面粘附于金属表面，可使原来金属面之间的摩擦转化为二硫化钼层状结构间的滑移，从而降低摩擦和磨损。二硫化钼具有高抗压强度，可以在极端温度和高真空条件下应用。

二硫化钼有天然和人工合成两种。一般认为，天然的润滑性能优于人工合成产品，

但是人工合成产品纯度较高。

随着尖端科学的发展，二硫化钼将得到越来越广泛的应用。它能克服油脂润滑的各种缺点，是一种在特殊场合下较为理想的固体润滑剂。现代科学的发展，将使固体润滑的机理和晶体结构被人们彻底揭示。

有资料报道^[21]：单氟化碳 (Carbon Monofluoride 或 Graphite Monofluoride) 亦是一种良好的固体润滑剂。它是石墨经过元素氟 (F_2) 氟化后得到的一种物质。单氟化碳作为润滑材料较之聚四氟乙烯、二硫化钼、石墨等具有更优良的性能，而它的生产过程却比多氟碳化物及二硫化钼等更为简单、成本亦低。更重要的是它还具有一种独特的性能，即对各种不同的固体（如金属等）有良好的结合力。

单氟化碳以粘附薄膜形式加以应用。通过各种不同途径（如机械摩擦等），可获得一层有效而持久的润滑膜。若把单氟化碳悬浮于惰性液体（如水或有机液体）中通过浸渍，当液体挥发后，其表面便留下一层润滑膜。特别有趣的是，它与其它坯件（如金属、合成树脂）紧压烧结后，亦可获得低摩擦系数的润滑面。在使用单氟化碳时，厚度可小于 1 微米，最好是 0.5 微米。

单氟化碳可应用于精密和半精密机械零件的摩擦元件上，例如：仪器仪表和钟表等。在钟表中可用于发条、擒纵机构、柄轴、合成宝石轴承等部件。尤其是钟表发条，可赋以自润滑特性、提供永久薄膜，这就避免了因采用油脂润滑而带来的种种不利，并使发条输出力矩增大、平稳、落差减小、效率增加。

所有测试和实验证实：单氟化碳薄膜显示出对金属类有异常坚固的粘结力，能满足不同形式的滑动接触件之间的润滑需要。

气 体 润 滑

近年来，国外已出现注有润滑性气体的高级手表。表机内注入气体对机芯的运转具

有一定的影响，已引起钟表界的很大关心。

最近几年，日本陆续公布了一些有关在手表中注入不同气体，如惰性气体、还原性气体、润滑性气体等的研究报告^[21-23]。表 2 为他们采用的一部分实验性气体。

表 2 各种实验性气体

气 体	纯 度	露 点
氢气(H ₂)	99.996%以上	-50°C
氮气(N ₂)	99.99%以上	-55°C
二氧化碳(CO ₂)	99.59%以上	-45°C
甲烷(CH ₄)	99.3%	
乙烷(C ₂ H ₆)	99.3%	
氦气(He)	99.99%	-60°C
氩气(Ar)	99.994%	-50°C
氧气(O ₂)	99.99%	-55°C

按阿蒂格(Attinger)理论，空气对摆幅、擒纵调速等走时因素存在着一定的关系：

摆轮转动惯量的增量：

$$\Delta I = \frac{R}{4} \sqrt{\pi \rho \eta T}$$

周期的增加率：

$$\frac{\Delta T}{T} = \frac{R^4}{4I} \sqrt{\pi \rho \eta T}$$

式中： η ——气体的粘度系数；
 ρ ——气体的密度；
 T ——摆轮在真空中的周期；
 R ——摆轮的半径。

式中，如果 $\sqrt{\rho \eta}$ 值减小，则 $\frac{\Delta T}{T}$ 也相应减小，即走时偏快。日本《精工舍》手表厂曾对空气、氢气、氮气、氦气、甲烷、二氧化碳、氩气等进行试验，结果如图 6 和表 3 所示。

表 3 各种气体对摆幅和走时的影响

气体种类	$\sqrt{\rho\eta}$ (20°C) (空气以 $\sqrt{\rho\eta}$ 为100)	摆幅	摆幅的 增 量 (与空 气相比)	快慢	快 慢 增 量 (与空 气相比)
空 气	100	220°	—	— 6 秒	—
乙烷(C ₂ H ₆)	73	235°	15°	— 1 秒	5 秒
甲烷(CH ₄)	58	255°	35°	+10秒	16秒
氢气(H ₂)	19	285°	65°	+18秒	24秒

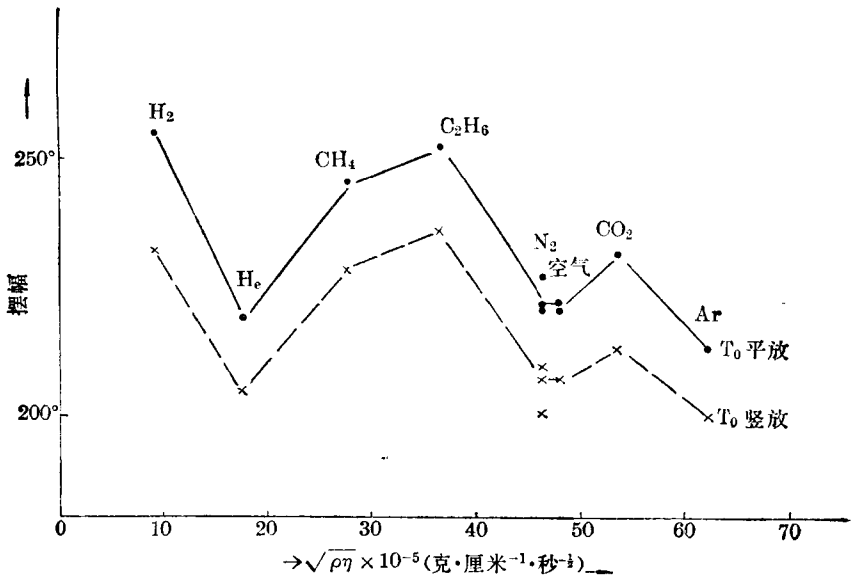


图 6 摆幅与气体密度、粘度系数乘积的平方根之间的关系

上述数据说明：气体的粘度系数或密度降低，则表的走时加快、摆幅显著提高。由此可见，表机内的气体阻力是一个不可忽视的摩擦因素。同样，他们还把不同气体注入表机内部，对表机走时长期稳定性影响进行试验，得到的结果如表 4 所示。从表中可以

看出，封入空气和二氧化碳后，表的走时随时间的变化较大，而封入氮气和甲烷的情况较好。从摆幅对时间的变化来看，则空气和二氧化碳会使摆幅降低 $20\sim 30^\circ$ ，而氮气较为理想。

表 4 各种气体对走时长期稳定性影响的试验结果*

气 体 特 性	空 气	氮 气 (N ₂)	甲 烷 (CH ₄)	二氧化碳 (CO ₂)	氢 气 (H ₂)	氖 气 (Ne)	氩 气 (Ar)
气体的密封性	良	良	良	良	否	否	良
封入后快慢变化	—		+ 8 秒	- 6 秒	+10秒	+10秒	- 6 秒
封入后摆幅变化	—	+5°	+35°	+25°	+50°	-10°	-15°
快慢对时间变化	14秒	5 秒	6 秒	12秒①	—	—	—
摆幅对时间变化	-20~-30°	-5~-10°	-5~-10°	-20~30°	—	—	—

* 6 个月运转(空气内含30%水气)

① 原文为 1.2 秒，可能有误——译者注

选择适当的惰性气体注入表机后，不仅改善了运转环境，而且也有效地减缓了润滑油在空气中的氧化变质，同时也减缓了机芯零件的锈蚀(图 7)。

综上所述，选择适当的气体注入表机作为气体润滑剂，具有如下好处：

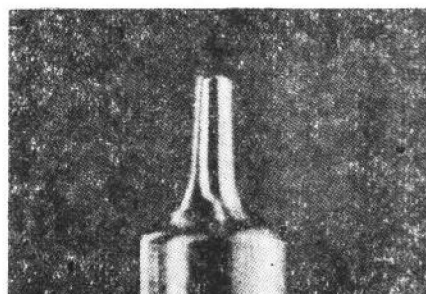
(1) 手表的摆幅、走时快慢和温度系数随时间的变化小，可以提高表机走时长期稳定性；

(2) 减小了表油的蒸发、凝固和氧化变质；

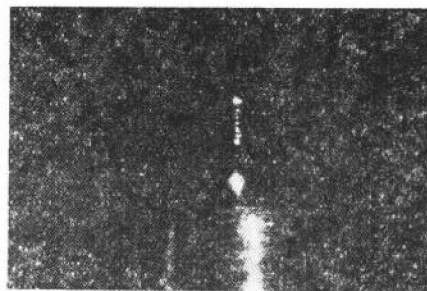
(3) 气体内不含有水份，故可减少零件的锈蚀现象。

另外一篇资料^[24]是报道整体封闭机械的润滑，目的是改善润滑系统，即储存器里的润滑剂以气相形式提供，在零件表面形成单分子润滑薄膜。

这种方法的润滑剂储存器材料，能有效地把储存器内部的蒸汽压降低。在此情况下，汽化后生成的小滴能够重新凝聚在储存器里。储存器内部的蒸汽压的降低，可以适当



(a) 经封入气体、长期运转后的放大图



(b) 未经封入气体的放大图

图 7 封入气体和未封入气体对轴锈蚀的影响

选择某种材料来获得, 该材料通过吸附、吸收和膨胀引起润滑剂蒸汽压的降低。然而, 也可用其它方法来使蒸汽压降低, 如把某些物质溶解在润滑剂里, 由此产生的溶液具有低于该润滑剂蒸汽的蒸汽压。

储存器可由多种材料组成: 如硅胶、单元或多元长链烃脂肪酸盐(硬脂酸铝)、轻度交链和中等可膨胀的聚合物, 如纤维素酯或醚(硝化或乙酰基纤维、丙酸纤维、醋酸纤维、丁酸纤维、乙基纤维、苯基纤维)、橡胶(轻度硫化、天然或合成橡胶)、丙烯酸或甲基丙烯酸树脂、香豆酮树脂、环氧树脂、呋喃树脂、聚间苯二酚树脂、多硫化物、硅酮和聚乙烯树脂等等。储存器中润滑物质的饱和度应小于 100%, 这一点是重要的。

储存器中的润滑剂可采用庚烷、辛烷或其它物质。

这种润滑方式可应用于怀表、手表或其它仪器仪表, 即在封闭的外壳内有相对运动的摩擦表面零件。至于手表, 建议采用由部分硫化橡胶和含有 50% 饱和庚烷组成润滑剂储存器^①。当表壳封闭后, 庚烷的蒸汽充满壳内, 所有零件表面生成庚烷薄膜。由于储存器内橡胶的庚烷溶液蒸汽压降低, 在外界温度变化时使庚烷的凝聚主要发生在储存器里。因此, 表内其它地方不会发生液体聚集, 或者至少这种聚集是不能持久的。

这方法可用图 8 加以说明。图 8 是取去后盖的潜水表。图中, 1 是表壳, 2 是表机芯(运动件), 3 是储存器。储存器可由上述任何一种材料组成, 如轻度硫化天然橡胶或轻度交链可膨胀聚合物, 把该材料浸到润滑性液体中(如烃类辛烷)但不需完全饱和。

当进行储存器润滑前应把表机运动件的所有零件加以严格清洗, 使之不含任何油脂。当表壳 1 封闭后, 在表壳中即充满辛烷蒸汽,



图 8

使辛烷分子沉积在每一个零件表面, 形成辛烷的单分子薄膜。实验发现, 表机的这种润滑方法胜过通常方法, 因为所有零件都得到了润滑, 所以表机因摩擦引起的能量损失比一般方法(表油润滑)要小。

进一步测试表明: 镍基合金轴与宝石之间的摩擦系数在 0.06~0.02 之间, 这指标是表机中足够满意的。实验又表明: 快速冷却时在表机内形成的小液滴, 它们不需要升温就会很快地消失, 这是由于在储存器中润滑剂的蒸汽压低于储存器外该物质的液滴状蒸汽压的缘故。

该方法适用于钟表, 亦适用于其它类似的仪器和装置。

自 润 滑

在表机内部要保持各运动件在良好的润滑条件下工作, 习惯上是采用对润滑点分别注油润滑的方法。这种方法给零部件的结构设计和加工工艺带来很多麻烦, 而且, 在钟表装配过程中加油操作也是一项繁琐而费时的的工作。目前, 国外手表装配中除部分采用机械手加油外, 大部分还得靠手工操作。1966 年瑞士《天梭》手表公司提出轮列、擒纵机构和调速组件的轴承可以不加油, 即所谓“无油手表”。要解决这个问题, 首先要寻找一种能满足下列条件的钟表材料: 要象金属一样

^① 庚烷: Heptane $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{CH}_3$ 系挥发性能易燃液体, 不溶于水。比重 0.68368 (20°/4°C)、熔点 -90.7°C、沸点 98.4°C、闪点 -31.2°F——译者注

易于加工制造、具有足够的表面硬度和韧性、耐磨性好、具有一定的弹性模量、尺寸稳定性好、在没有润滑油条件下对钢的摩擦系数尽可能小（如在 0.1~0.3 之间）、在通常使用温度范围内零部件外形尺寸不起变化、抗一般的清洗剂等。经过长期研究，接近于上述要求的材料有醋酸树脂（学名为聚氧甲叉 polyoxymethylene）和同类型产品“Delrin”、“Nylatron”等。

聚四氟乙烯树脂（PTFE）具有优良的润滑性能，静态摩擦系数只有多数聚合物的 1/5~1/10，在较低速度和负荷条件下，PTFE 是摩擦系数最小的材料。在实际使用时 PTFE 树脂中可加入少许固着剂（bonding）和固体润滑剂，以改善其性能。

采用自润滑塑料制造的钟表轴承如图 9 所示。瑞士《钟表测试站》对用这种轴承装配成的手表经过十年观察和测试后指出，塑料轴承在手表处于垂直位置或水平位置时摆幅的稳定性都很好。这是手表在不同位置时反

映到摆轴上的力比较均匀的缘故，这将给手表装配和调整带来好处。

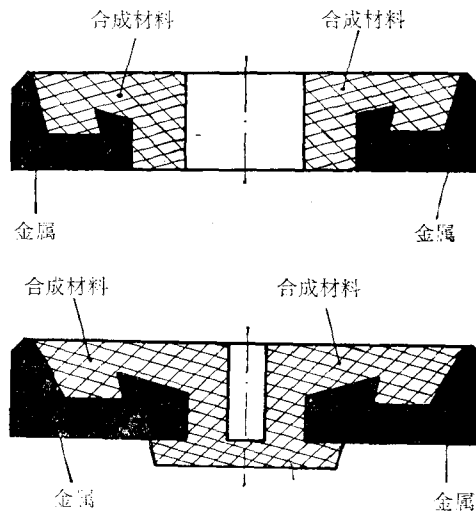


图 9 自润滑塑料轴承

最近，《汉密尔顿》钟表公司报道了手表中采用无油防震器^[25]的资料，它是在结构上采用自润滑材料制成的铸塑轴承，以在防震器内取代现有的通孔占、托占和支承。

参 考 资 料

- [1] Swiss Watch and Jewelry Journal 1959年第1期 89页；第6期748页。
- [2] Swiss Watch and Jewelry Journal 1961年第2期 228页。
- [3] Swiss Watch and Jewelry Journal 1967年第1期 65页。
- [4] Swiss Watch and Jewelry Journal 1970年第2期 222页。
- [5] Swiss Watch and Jewelry Journal 1972年第2期 235页。
- [6] La Suisse Horlogere et Revue Internationale de l'Horlogere 1967年第2期48页。
- [7] La Suisse Horlogere et Revue Internationale de l'Horlogere 1971年第2期。
- [8] Horological Journal 1971年第114卷第3期19页。
- [9] 日本時計学会誌 1959年第11期50页。
- [10] Uhr 1963年第17卷第19期32页。
- [11] Horological Journal 1963年第105卷第1260期 292页。
- [12] Horological Journal 1963年第105卷第1261期 323页。
- [13] Uhren Schmuck 1964年第1卷第6期162页。
- [14] Schweiz Uhren u Schmuck 1966年第5期680页。
- [15] Horological Journal 1970年第113卷第7期10页。
- [16] 润滑 1971年第16卷第6期399页。
- [17] 日本专利(特許) 昭45—17015。
- [18] Lubrication Engineering (American Society of the Lubrication Engineers) 1966年第22卷第7期270页。
- [19] 日本時計学会誌 1958年第5期18页。
- [20] 英国专利 877122。
- [21] 日本专利(特許) 昭45—26831；昭45—26832；昭45—26833。
- [22] 日本专利(特許) 昭45—10015。
- [23] 日本時計学会誌 第58期。
- [24] 英国专利 884701。
- [25] 美国专利 3590575。

钟表的防油扩散概念

精密机械、各种仪器仪表和钟表等在装配过程中都要对运动部件加注微量的润滑油，并要求所注的油在较长时间甚至数年内不扩散、不流失，这是维持这些运动部件正常工作的重要条件。然而注油后不久油往往即在宝石、金属等表面蔓延扩散，不仅降低了润滑质量、影响外观，而且还降低了使用精度。长期来人们进行了不少研究工作，提出了多种防油扩散处理方法，但是始终得不到令人满意的解决方法。

近年来，随着固体表面化学(界面化学)的发展和对含氟材料表面性质的研究，使固体表面化学在理论上取得了很大进展。这些研究成果在工业上亦得到了越来越广泛的应用。本文将探讨固相与液相界面的一般性质；液相在固相表面的行为以及它们之间的内在联系；低能表面的物质结构与性质等。所有这些不仅解释了润湿与扩展的现象，更重要的是为钟表的防油扩散处理技术提供了理论基础。近几年来，国外在钟表元件的防油扩散工艺方面取得了较为满意的效果。

接触角(Contact Angle)概念

在自然界中，可以看到雨后芙蓉叶上的水珠的滚动，或者鸭子从水中起来时身上水滴的抖落。人们称这种现象为非润湿现象。如果在一块洁净的玻璃板上滴上一滴水，它会很快地向四周扩展，形成水的薄膜，这种现象称为润湿现象。另外，如果在干净的玻璃板上涂上一层均匀的石蜡并滴上一滴水，可以看到水是收缩成半球形的，甚至变成水珠滚动。如果用油做实验，可以观察到同样的现象(图1)^[1]。

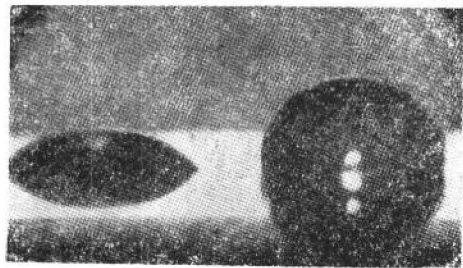


图1 硬脂酸吸附膜上的油点(左)和水滴(右)

在钟表生产和装配过程中，钟表油在金属和宝石轴承上也常常会碰到这些物理-化学现象，即钟表油在其表面上表现为扩散、散逸、蠕动(一般通称为油的扩散)。通过固体和液体表面能态的研究，可以揭示这些物理-化学现象的实质。

早在1950年以前，汤麦斯(Thomas)和杨(Young)^[2]提出了当液相和固相接触时，固液两相的接触角是液滴在平坦固体表面最终趋向静态的机械平衡。由力学定律可得：

$$\gamma_{SV} = \gamma_{SL} + \gamma_{LV} \cdot \cos \theta \dots\dots\dots (1)$$

$$\cos \theta = \frac{\gamma_{SV} - \gamma_{SL}}{\gamma_{LV}} \dots\dots\dots (2)$$

式中： θ ——液相在固相界面上的接触角〔度〕；

γ_{LV} ——液相与气相界面之间的表面张力〔达因/厘米〕；

γ_{SL} ——固相与液相界面之间的表面张力〔达因/厘米〕；