

圓珠筆芯結構原理與製造

舒蘊華編著

上海市輕工業局科技情報研究所

一九八七年十二月

前 言

圆珠笔自诞生以来,已近半个世纪,由于它具有结构精巧,使用简便,花色品种繁多,价廉等特点,已成为目前人们应用最普遍的书写工具。大略统计,现在全世界圆珠笔的产量已达100亿支以上,是自来水笔的十倍。我国是当今世界上圆珠笔生产的大国,圆珠笔笔芯的产量每年近17亿支。

尽管我国圆珠笔生产已遍及全国许多大中城市,生产规模日益扩大,使用圆珠笔更是深入千家万户,男女老少,然而对于圆珠笔的结构原理及有关知识,却远没有有在从事圆珠笔生产的技术人员及操作工人中达到普及,对于一般的使用者来说,更是无视它的奥妙所在,这无疑是件憾事。

为了探索并传播圆珠笔的结构原理与制造技术。许多科技人员及制笔行业中的前辈行家都曾作出了不懈的努力,发表了不少论作,为开展对圆珠笔的深入研究提供了可贵的资料。

但是,时至今日,还未见到一本较系统,较全面的关于圆珠笔结构原理及制造知识方面的论著。编者有幸参予圆珠笔的技术科研工作多年。这里抱着填漏补缺,抛砖引玉和竭诚探索的想法,试笔成一册拙作。希望这样一本较为粗浅的习作能对从事圆珠笔生产的技术人员有所帮助,并为培训技术工人提供必要的教学资料。

本书的成稿,基本是根据编者几年来所积累的部分资料及1982年轻工部举办的全国圆珠笔结构原理培训班上本人的部份讲稿为基础的。考虑到本书的读者对象尽可能广泛一些,因此,它的内容有着重论述圆珠笔结构原理外还讲述了一些球座体,球珠的选材以及工艺方面的知识。由于编者知识水平和所能获得资料的局限,同时也因当前技术的专利因素,许多资料不便公开等原因。所以某些章节的内容显然是不尽人意的。至于书中的疏漏或不妥之处更是难以避免,诚望读者能进行批评指正。

本书在编写过程中得到上海市制笔工业公司上海制笔研究所及上海丰华圆珠笔厂,上海圆珠笔厂,上海圆珠笔芯厂等的有关领导及同行友好的支持,帮助和指导,谨此深表感谢。

目 录

第一章 圆珠笔发展史概述	1
第二章 圆珠笔芯的结构与原理	4
第一节 圆珠笔芯的结构	4
第二节 圆珠笔书写原理	5
第三节 圆珠笔的润滑	6
第四节 润湿作用	9
第五节 圆珠笔出墨系统主要参数的计算	11
第六节 收口工序	19
第七节 露珠量与书写角度的计算	22
第三章 供墨与贮墨的稳定性	27
第一节 供墨系统	27
第二节 贮墨稳定性的有关物理基础	27
第四章 球 珠	31
第一节 球珠的材料	31
第二节 不锈钢球珠材料性能	32
第三节 不锈钢球珠的加工技术	34
第四节 氧化铝球珠	40
第五节 硬质合金球珠材料性能	41
第六节 硬质合金球珠加工技术	43
第七节 球珠研磨原理	46
附件：一、不锈钢球珠标准	51
二、硬质合金球珠标准	53
第五章 球座体	57
第一节 球座体材料	57
第二节 球座体制造技术	67

第三节 球座体结构.....	75
第四节 油墨性能对选择球座结构的关系.....	83
第六章 油 墨	85
第一节 油墨发展简史.....	85
第二节 油墨性能要求及配方.....	86
第三节 423*兰油墨制造技术.....	89
第四节 油墨添加剂.....	93
附件: QB937—84圆珠笔用油墨标准.....	95
第七章 液体浮塞.....	100
第一节 液体浮塞的作用与要求	100
第二节 液体浮塞制造技术	102
第三节 液体浮塞质量要求与检验方法	104
第八章 塑料油管.....	106
第一节 塑料油管的性能及技术要求	106
第二节 塑料拉管制造技术	110
第九章 圆珠笔芯生产.....	114
第一节 笔芯组装	114
第二节 笔芯成品	116
第十章 国外圆珠笔芯测试分析.....	118
第一节 球座体出墨系统的结构分析.....	118
第二节 国内外球座体用材对比分析.....	119
第三节 国内外球珠选材分析.....	125
第四节 油墨测试分析.....	132
第五节 圆珠笔芯质量测定.....	137
第六节 国内外圆珠笔测试方法对比.....	143
第七节 圆珠笔书写润滑性能测试.....	144
附件: 一、GB4306—84圆珠笔标准	148
二、圆珠笔名词术语标准(草案).....	160

第一章 圆珠笔发展史概述

圆珠笔发明于本世纪四十年代,当时曾被誉为书写工具上划时代的变革。近半个世纪来,它从诞生时只能在粗糙的表面用作标记,发展到目前达到花色品种繁多,外观漂亮精致,结构性能完善而倍受人们欢迎的程度,是经历了一段曲折的发展过程的。

根据现有的文献资料考证,1876年就有人设想装有圆珠的笔头写字,由于当时科学技术的限制,这种设想在工业生产上未能实现。据美国大百科全书记载,圆珠笔最早是由美国人约翰·洛特在1888年制成。他在笔的尖端装上一个球珠,采用和自来水笔一样的原理——空气交换法,让油墨从小孔中漏出来,进行书写。这样的圆珠笔只能在包装纸和木板、皮革等表面粗糙的材料上书写。1933年日本人田中忠三郎发明了推压式弹簧球圆珠笔,重新取得了专利,但都不能实用。

对今日圆珠笔的成就有着直接贡献的功臣,要算是匈牙利人莱兹·比洛(BIRO)。他在第一次世界大战结束后,复员从事出版校正工作,也曾当过新闻记者,由于工作上的需要,他与他的兄弟——一个化学家一起对圆珠笔进行了研究,并从1939年他移居巴黎以后开始了较正规的实验,企图在原有的基础上进行改良,可是屡遭失败。1940年,比洛为了避免战争的灾祸,又移居到了南美洲的阿根廷,在布宜诺斯艾利斯,他在美国人和阿根廷人的帮助下,于1943年放弃了重力流动原理而采用了毛细管作用原理对圆珠笔的供油装置进行了新的研究。当极细的管子里注入高粘度、高浓度的油墨时,由于毛细管的作用,油墨不会向油管外流出,从而发现可以利用这一原理。这样,比洛在使圆珠笔走向实用化方面迈出了突破性的重要一步,并取得了专利。

1944年,美国的爱弗拜公司(现在是派克公司的分公司),看到了此笔的新颖和它的发展前景,以50万美金的高价买下了比洛的发明专利,并得到进一步的改进后,在市场上大加宣传,这样比洛发明的圆珠笔很快家喻户晓,评论纷起,圆珠笔很快就成为时代的宠儿。

但是好景不长,两年以后,由于油墨的质量问题,企图圆珠笔能畅销于世的美梦成为泡影。相反,其商品在市场上反而受到了抵制,因此,解决油墨的质量问题就成为圆珠笔发展的一大课题。事有巧合,又是比洛的祖国匈牙利,一个叫法郎·西兹的化学家,在1949年有了新的发明——对油墨制造法进行了改进。旧金山的年轻事业家弗洛里引进了这个新油墨的制造技术,并以“比百美”的商标制造出新的圆珠笔。

由于油墨的改进,“比百美”的商品使曾经信誉涂地的圆珠笔获得了绝处逢生,又在市场上显露它的头角。五年以后,“比百美”的圆珠笔销售量竟占美国文具笔类商品总销售量的80%。

圆珠笔,这种新颖而实用的书写工具的兴起,很快就吸引了一些资本家,他们尽力抓住这个牟取利润的好时机,到1951年全世界大约有250家公司争夺圆珠笔市场,纷纷对圆珠笔的研究、生产投以新的资本。美国的“弗白”、“爱弗拜”、“比百美”和“派克”等制笔业的大公司互相竞争生产圆珠笔,这不仅加剧了争夺圆珠笔专利的激烈程度,同时也推进了圆珠笔的生产技术,不断提高质量,或美化其外观,或完善其性能,如此几经反复,到1952年

才开始逐渐地确保了圆珠笔作为替代自来水笔的新商品而立足于市场，而且作为一种新颖的高级商品，它的售价远较自来水笔高。

随着圆珠笔的一个又一个的缺点的暴露，如字迹渗化，退色，漏油污染衣服及写不出等等不良后果，甚至在报上也作为新闻刊登出来，紧接着官方办公机构又规定在公用文书上禁用圆珠笔。这样，使这种畅销的产品又一落而到了路尽途穷的地步。圆珠笔面临着被从市场上赶走的厄运。

面临着如此严峻的情势，许多专业制造公司在当时的困难处境下，并没有因此而振旗息鼓，下马停产，而是坚信着这种产品的未来性。因此，各自为提高圆珠笔的质量进行了不屈不挠的努力。其中，日本的中田机械工业株(奥托圆珠笔工业株式会社的前身)的社长中田藤三郎是具有这种卓越想法的代表之一。他以“不会断，不要削，书写流利的自动铅笔”为座右铭，研制出了廉价的普及型圆珠笔产品，并克服了许多困难，逐渐把圆珠笔渗透到日本的文具市场，使圆珠笔显现了新的活力。

同时，从海外旅行者中了解到欧美市场的圆珠笔的活动情况，到1958年随着日本国内需求急速扩大的形势，至1961年出现了圆珠笔在日本市场畅销的高潮。

由于汉字的书写是具有断续加力，书写不连续的特点，与线条连续的欧美文字相比，对圆珠笔的特性要求有一定差异；另外日本消费者又有喜欢纤细书写字体的习惯，所以要求圆珠笔的球珠直径更小。这些，使对圆珠笔的质量特性与欧美相比有更高的要求。由于这些促使圆珠笔科技开发的动力，加上当时国际、社会的种种条件，使日本科技界，工业界在自己原有技术基础上对圆珠笔科研进行了新的推进。

一支小小的圆珠笔，更确切地说，还只是圆珠笔芯。普通人是无法理介它竟然是凝聚了物理学、化学、金属学、机械工艺等综合技术的结晶。没有精密机械加工技术和高度的染料化工及金属冶炼技术，要想生产出完善的圆珠笔，那是无法想象的事。瑞士一家钟表公司的一位资历颇深技术人员在谈到圆珠笔的性能时，作过如下评述：钟表是由许多另件组成的，圆珠笔是由球珠和包有球珠的球座的简单零件和油管组成的。前者尽管结构复杂，但其原理是简单的，现已全都明白了，但是对于决定圆珠笔的性能好坏的因素，要分析清楚，现在还不是一件那么简单的事情。

我国圆珠笔工业的发展始于1948年，当时国内第一家圆珠笔生产厂——上海丰华精品制造厂(即丰华圆珠笔厂前身)成立，有职工80人，规模甚小，年产量仅5万支，设备简陋，品种单一，产品质量也差，原材料大部份靠进口。

解放以后，圆珠笔工业如同其他民族工业一样获得了迅速的发展。生产圆珠笔的工厂由上海很快发展到天津、广州、厦门、苏州、宁波等地。目前圆珠笔生产已经普及到14个省、市三十多家工厂。1959年，我国设计制造了国际上首创的上海牌弯头笔芯和结构新颖的丰华92型双色圆珠笔。六十年代初，圆珠笔行业生产技术不断进步，特别是1963年，我国研制成功了耐晒，不易渗化的醇溶性“423”蓝油墨，同时用不锈钢球珠取代了琴钢珠，基本解决了球座体腐蚀问题。随着圆珠笔生产量的增长，对圆珠笔工业的技术装备，进行了有计划的改造和更新。例如：自动光头打眼车、冲眼、冲槽、冲圆的三冲、四冲机、笔芯八道、九道自动装配机、挤塑拉管机、超声波自动洗芯机、球珠开口研磨机、球座体冷墩机等陆续上马，创造了一条我国独特的圆珠笔工艺生产线。八十年代，我们又重新试制成功了在国际上比较先进的以钨钴材料为主成份的硬质合金球珠。圆珠笔用的油墨、球珠，也在有关工厂建立了专业

生产线。从1979~1982年在轻工业部的组织和领导下，圆珠笔行业成立技术攻关小组，经过几年的技术攻关活动，解决了圆珠笔的写不出、写不完及改善了打滑、冒油等质量问题。1984年1月24日经国家档案局批准，“424”纯兰及“322”黑油墨的圆珠笔芯可供长期保存的档案文件书写使用。其中“322”黑油墨还适用于一般复印和缩微复印。经过科技人员和全行业职工的努力，逐渐形成了我国圆珠笔工业比较完整的生产体系。目前，圆珠笔产品已远销90多个国家和地区。全世界圆珠笔产量已达100亿支，约为自来水笔的十倍，我国圆珠笔和商品笔芯年产量约10亿支，是世界上生产圆珠笔的大国之一。

圆珠笔之所以受到人们的欢迎，几乎已成为老少皆备的生活学习的必需品，主要是由于圆珠笔的结构多样，笔芯价格低廉，书写润滑，不受方向限制。一支普通的自来水笔每吸一次墨水，约能写1.5万字。而一支普通的圆珠笔芯通常可写4~5万字，大笔芯(铜管笔芯)可写7~8万字。一部洋洋上百万字的巨著，只要换芯十几支即可告其大成，而且换芯简便。另外，一支圆珠笔还可同时装入红、兰、黑、绿等多种色芯，供使用者随意选用。

圆珠笔用来复写其效果尤其突出。目前，圆珠笔的功能还在不断扩展，如电子表笔，计算器笔，仪表记录笔，墨水圆珠笔和供宇航员使用的压力圆珠笔等。凡此种种，使人展望圆珠笔生产的发展远景，其前途是非常广阔的。

第二章 圆珠笔芯的结构与原理

第一节 圆珠笔芯的结构

圆珠笔一般由笔杆、笔套、笔芯和有关传动装置的零部件等所组成，其中笔芯是决定圆珠笔书写质量的关键部件。这里主要叙述笔芯的结构及部件的作用。

笔芯是由球珠、球座体、油管、油墨和浮塞等五部分所组成。

目前，我国生产的笔芯规格品种共有10余种，其中六种已列入国家标准。其基本结构如图(2-1)所示。

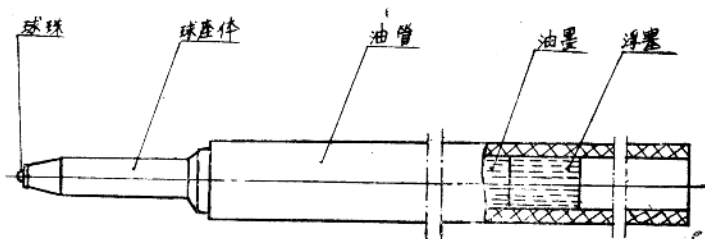


图2-1 圆珠笔芯结构图

1. 球珠

球珠位于圆珠笔芯的顶端。书写时，它与书写面接触时所产生的摩擦力，而使它在球座体内自由滚动带出油墨形成字迹。

目前，球珠有用不锈钢，氧化铝和硬质合金等材料制成。球珠的直径大小分为 $\phi 0.60$ ， $\phi 0.70$ ， $\phi 1.00\text{mm}$ 三种规格，以适应不同的书写要求。

2. 球座体

球座体就是位于圆珠笔芯头部，用来安装球珠和油墨通道的部件。一般由铜或不锈钢制成。在球座体内部，除有通油墨的中孔和小孔外，还加工有球座和直槽，环槽。

3. 油管

油管是圆珠笔芯中用以贮藏油墨的零件，目前圆珠笔油管所采用的材料有铜管和塑料管两种。

4. 油墨

油墨是具有一定色泽的粘弹性与粘度的液体。它是在圆珠笔芯生产单位(或部门)将它注入油管，作为圆珠笔芯的组成部分。

一支笔芯待油墨用完即行废弃，一般不再加入油墨继续使用。

5. 浮塞

浮塞装在油管的末端，随油墨液面降低而下移，其作用是防止油墨从油管中倒流，及防止油墨吸潮，氧化，挥发等。

我国生产圆珠笔浮塞主要采用锂基脂和钙基脂等油脂状液体。

第二节 圆珠笔书写原理

圆珠笔的出墨系统是由球珠、球座内的直槽、环槽以及球珠与球座之间的间隙所组成。圆珠笔书写时，球珠在球座里“转动”，通过输油孔润湿在球珠上的油墨传递到书写面（纸张）上，在书写面上留下运动轨迹，由于油墨对纸张润湿性大于油墨对球珠的润湿性，就将球珠上的油墨固着在纸张上而形成字迹。

由于圆珠笔书写时，球珠必须作旋转运动，而要使球珠转动，必须施加作用力。为了度量力对球珠转动的效果，需要运用“力矩”的概念。又因球珠在球座内，两者相互接触，在外力作用下，发生相对运动，这时，在接触面间就发生摩擦。由于摩擦引起的阻碍物体运动的力为摩擦力。它为本节运用力学基础理论。

球珠运动的受力分析

圆珠笔书写时，球珠必须在书写面上“滚动”。要使球珠“滚动”，必须施加外力。作用于球珠上的力不止一个，而是由若干个力组成的力系。

圆珠笔书写时，球珠的运动状态是很复杂的，即有滚动，又有滑动和平行移动的复合运动。其转动轴心线的方向不断改变，角速度 ε ，角加速度 ω ，均为变量，再加上油墨的粘度、流变性、触变性、温度等因素，这些均影响其运动状态。为了把问题简单化，现就圆珠笔书写时的受力情况及球珠的运动情况作如下讨论。

设球珠半径为 R_b 。这时球珠受到以下几个力的作用，为使问题简化，建立直角坐标系如图2—2所示。

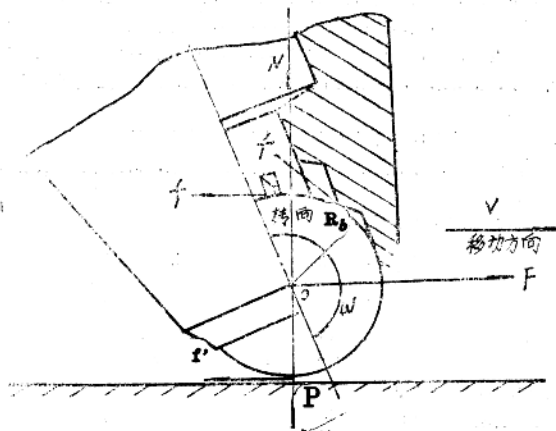


图2—2 球珠滚动的受力情况

(一)手通过圆珠笔对球珠施加一个向下的力,可分解为压力 P (包括重力)和水平方向的推力 F 。

(二)桌面和纸对球珠有一个弹力 N ,与 P 等值反向。

(三)球珠与球座之间摩擦力 f ,它是分布在球珠与球座接触部分的切向力。此力产生阻力矩 $M=f \cdot R_b$,阻碍球珠转动。

(四)球珠与纸面之间的合摩擦力矩 $M' = f' \cdot R_b$ 。

圆珠笔要能正常书写,使 $M' > M$,即 $f' \cdot R_b > f \cdot R_b$, $\therefore f' > f$ 。如果球珠和纸面都十分光滑,它们之间的最大静摩擦力 $f'_{\max}$ 就小,当 $f'_{\max}$ 小到一定程度时,即当 $f'_{\max} R_b < f R_b$ 时,则球珠就不可能在纸面上滚动,而是在纸面上滑动,这就是通常所见的圆珠笔“打滑”现象,而这种现象应尽可能避免。

由上述分析可知,为了避免“打滑”,可用增加 f' 来解决,具体方法如下:

1.增大球珠与纸面间的摩擦系数,可使用毛面纸张书写,这在实际上是不可能的。所以,设法使球珠表面形成许多凹凸不平的无棱角的微孔可得到同样的目的。而碳化钨球珠就具有这种优点。

2.适当增大书写时的压力 P 。由力学可知, f' 随 P 的增大而增大。

为了避免“打滑”实际上更有效的途径是从减小内摩擦系数着手。一般方法有以下几点:

(1)降低球珠和球座的粗糙度,以减小它们之间的摩擦系数。

降低球座的粗糙度的一个较简单易行的办法,是选用粗糙度低的硬质合金球珠作圆冲。其次,降低球珠粗糙度,还可以通过下列方法解决:

- a.提高球珠硬度;
- b.使球珠表面具有无棱角的均匀细小微孔;
- c.使球珠粗糙度在 $R_a = 0.08 \sim 0.16(\mu m)$ 。

若球珠硬度不高,即使粗糙度达到要求,如不锈钢球珠可以把粗糙度做到 $R_a = 0.08 \sim 0.16$ 以下,但当书写100~200米后在显微镜下观察,其表面已被擦毛,硬度高的球珠,如碳化钨球珠更要求粗糙度低,且表面有无棱角的均匀细小的微孔。否则就会磨损球座。但是,当外摩擦系数增大了,相对来说,内摩擦系数也会相应增大,就易磨损球座,从而对球座材质要求高了。

(2)出墨系统要有足够的油墨润湿球珠,使球珠和球座之间具有充足的油墨进行润滑,以减小它们之间的摩擦力,这就要求出墨系统结构设计合理,精密计算,并在油墨配方中添加适量的润滑剂。

(3)减小球珠与球座的相贴面。

第三节 圆珠笔芯的润滑

我们之所以要研究“润滑”,目的是提高圆珠笔的书写性能。

正确地认识圆珠笔的“润滑原理”,认真地解决“润滑作用”,它将是解决圆珠笔质量的主要途径。它的重要性与自来水笔中的“毛细作用”具有可以相提并论的地位,然而它牵涉的面广,解决它并非是容易的事情。

润滑是伴随着摩擦而提出的,按物体表面的润滑情况来分类,摩擦主要可分为下列三种

形式:

一、干摩擦

物体表面无任何润滑剂存在时的摩擦,叫干摩擦。金属摩擦副在干摩擦状态滑动时,摩擦系数通常为0.5~1.0左右,所以摩擦阻力很大。

圆珠笔在书写时由于油墨不断通过输墨系统输送到球座内。所以在不断墨的情况下,纯粹的干摩擦现象,实际上是不致发生。

二、流体摩擦(即流体润滑)

两物体表面被润滑剂膜完全隔开时的摩擦,叫流体摩擦。流体摩擦发生在界面间的润滑剂内,其阻力表现为润滑剂的内摩擦阻力。因此,摩擦系数很小,一般在0.001~0.01之间。机械中的滑动轴承、滚珠轴承就属于这一种摩擦。

一个运动副要形成流体摩擦(即流体润滑),它必须具备下列条件:

1. 润滑剂有一定的粘度及厚度,且供应充分;
2. 运动副形成一定的楔角;
3. 具有足够的相对运动速度;
4. 压力要低于润滑剂膜的承受能力。

根据上述要求,圆珠笔的球珠与球座要形成完全的流体摩擦显然是难于实现的。为什么说,圆珠笔的球珠与球座间难于实现流体摩擦呢,这是因为,首先圆珠笔在书写时球珠与球座经常在较高负荷下作低速间歇旋转运动,速度和方向在不断地改变。一般书写时的压力虽然只有200~300克,但球珠直径仅0.7毫米,单位面积的压力很大,润滑剂膜的承受能力不能保证完整的流体润滑膜;其次,油墨是否能产生一个足够的拉力把球珠升起形成油膜(其厚度约为 10^{-4} 毫米),取决于油墨的粘度。因为,圆珠笔油墨的粘度在不同温度下的变化很大。以“423”兰油墨而言,温度升高5℃,其粘度值下降将近一倍,也就是说随着温度的变化,油膜极易破坏。因此,圆珠笔的摩擦一般不属于完全的流体摩擦。

三、边界摩擦(即边界润滑)

两物体表面被一种具有分层结构润滑性能的边界膜分开的摩擦,它处于干摩擦与流体摩擦的边界状态,所以叫边界摩擦(边界润滑)。

(一)边界润滑的特点:

1. 润滑介质中由于含有少量极性分子或添加剂吸附在摩擦表面上,形成很薄的边界吸附膜(其厚度为 10^{-8} 毫米上下),具有良好的润滑性能。在边界摩擦条件下,这层吸附膜以一个个单分子膜相互之间的摩擦呈现出来,界面润滑性能决定于这层分子膜的性质。

2. 边界膜的润滑性质和破裂强度由油性润滑剂的吸附能力决定。在负载较大,速度很低时($V < 0.1 \text{ cm/s}$),也可以形成边界膜(薄膜),圆珠笔球珠在球座体中的转动符合这一条件。

(二)边界膜润滑的机理:

当界面存在吸附膜时,吸附在金属表面的极性分子形成定向排列分子栅,可以为单分子层吸附膜的定向结构,也可以为多分子层吸附膜。

当单分子吸附膜达到了饱和,极性分子紧密排列,分子间的内聚力使吸附膜具有一定的承载能力,有效地防止两摩擦表面的直接接触。当摩擦副滑动时,表面的吸附膜如图(2—3),图(2—4),形成两个毛刷子相互滑动的状态,降低了摩擦系数,起到了润滑作用。

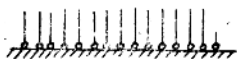


图2—3单分子吸附膜的定向结构

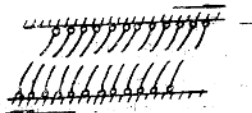


图2—4单分子吸附膜的润滑作用

根据圆珠笔在书写时所具有的运动特点，其润滑性质基本上是属于边界润滑。

虽然，我们已肯定了圆珠笔的润滑性质是属于边界润滑，但是还必须注意到可能出现的下列情况。由于球珠与球座在加工中出现微观的几何形状误差，圆珠笔在书写过程中，当凸峰接触时，常使油膜破坏而可能出现干摩擦。因此，对球珠与球座的粗糙度提出了较高的要求。可是过低的粗糙度不仅在工艺上较难达到，而且对油墨的润湿性也会有所下降。为了解决这个问题，目前采用了硬质合金球珠(碳化钨珠)。它的特点是：表面具有均匀细小无棱角的微孔，能在微孔内储存一定量的油墨。提高球珠对油墨的润湿性，也提高圆珠笔的润滑性能。

圆珠笔球珠与球座的润滑情况虽然基本属于边界润滑，但在一定的条件下也会部分地出现半干摩擦或半流体摩擦，即处于所谓混合摩擦状态。如果是处于混合摩擦的状态，圆珠笔的书写性能就大大变劣。

(三)提高圆珠笔润滑性能的几点途径：

根据圆珠笔边界润滑的性质，油膜的粘度不再是主要物理量，而油墨的“油性”是决定圆珠笔润滑的主要因素。因此，我们认为要提高圆珠笔润滑性能，必须采取如下途径：

1. 出墨系统结构几何尺寸要精确计算(临界槽径、相贴面、内锥角、槽冲角等)，作合理改进，以保证充分供应作为润滑剂介质的油墨。并提高球珠的圆度以及球珠与球座体的同心度，改善球珠在球座内的运动状态，保证良好的边界润滑。

2. 采用硬质合金(碳化钨)球珠，利用其表面有均匀细小微孔的特性，提高球珠对油墨的润湿性，达到书写润滑。

3. 合理选择球座材料，如在铜合金中加入适量其它金属元素如：Sn等，提高其润滑性能，使之易于形成吸附薄膜。或者也可选择一些既耐磨又具有自润滑性能的材料如：聚四氟乙烯、聚甲醛等，也可选用聚碳酸脂、聚砒等作球座体的新材料，这些材料，目前虽还没有实际应用，但根据它们的性能，不妨可以进行探索一下。

讲到圆珠笔的润滑，人们自然会想到油墨这个因素。因为，油墨是圆珠笔的唯一润滑剂。虽然我国圆珠笔油墨基本上采用醇酸树脂为增稠剂，其润滑剂性能较为理想，但由于六十年代以来，我国油墨溶剂均采用苯甲醇、乙二醇等。醇溶性油墨的特点是快干，所以有易封口的缺点，从而影响润滑性能。因此，改善油墨的油性就成为决定圆珠笔润滑性能的主要因素。我认为目前应用的油墨中可以通过试验加入适量的(约0.1%左右的“油性”添加剂，亦称“边界”添加剂)，如油酸、蓖麻油、硬脂酸、硅酸衍生物……等长链化合物添加剂。“油酸”是不饱和脂肪酸，它在金属表面上氧化后能形成化学吸附皂膜。这种吸附膜中的极性分子能明显地提高边界润滑效果。目前国外已有先例。同样，采用某些植物油、脂肪油等作边界润滑“添加剂”，使其极性分子通过物理方法吸附在金属表面上形成单分子膜。在一般情况下，摩擦系数是随极性分子链长的增加而下降，如图(2—5)。而极性分子中碳原子数增加时能使球

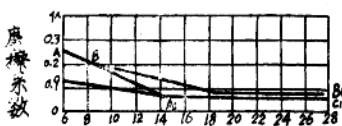


图2—5 碳原子数

极性分子的碳原子数对摩擦系数的影响

注：AA, 脂肪醇 BB, 脂肪酸

CC, 脂肪胺

珠、球座表面形成一层能自行取向的分子，就好象地毯上的绒毛一样，提供了良好的润滑条件，使摩擦系数下降，如图2—4所示。

此外，目前为了提高油膜的内聚力（即俗称拉丝性好），而添加的PVP_x—90树脂（聚乙烯吡咯烷酮），它具有吸水性，而水份会阻止边界润滑膜良好的吸附。因此，在添加PVP_x—90树脂的同时，油墨中最好同时考虑添加适量的“边界润滑”添加剂。

第四节 润湿作用

圆珠笔在书写过程中，油墨对球座、球珠和纸张的润湿作用必须符合一定的规律。

为了更好地说明“润湿”在圆珠笔书写原理中的作用，简单地介绍一下与此有关的一些物理基础原理。

一、液体的内聚力和附着力

假若你把筷子浸入蜜糖，再将它拉出来，你会发觉，从筷子上拉出蜜糖是需要力的。这说明，蜜糖与蜜糖之间及蜜糖与筷子之间都存在着相互作用力，前者我们称为液体的内聚力，后者称为液体与固体的附着力。

内聚力——液体分子之间相互作用力，同种类分子之间的吸引力，一般称为内聚力。（固体也有这种内聚力）。

附着力——固体分子与液体分子之间引力，异类分子间的吸引力。

这两种力的相对强度将决定了液体和固体的界面上发生什么现象，即所谓浸润和不浸润的问题。

二、浸润与不浸润

如果把一根玻璃棒浸入水中然后取出来，就有一些水粘附在棒上，我们就说水能润湿玻璃。由此可知，玻璃和水之间的附着力大于水分子间的内聚力。某液体和固体之间的附着力如果大于该液体本身的内聚力，那么此液体就叫做该固体的浸润液体。例如：水是玻璃浸润液体。

如果把玻璃棒浸入水银里然后取出来，水银就不会沾污在玻璃棒上。我们说水银不润湿玻璃。由此可知，玻璃和水银之间的附着力小于水银分子间的内聚力，则此液体就叫做该固体的不浸润液体。例如：水银是玻璃的不浸润液体。

同一种液体，对不同的固体来说，它可能是浸润的，也可能不浸润的。同时还存在程度上的区别。水能浸润无油脂的玻璃，但不能浸润石蜡。水银不能浸润玻璃，但能浸润干净的铜锌等金属物体。

三、润湿作用和接触角

放在固体表面上的一滴液体，在固体表面上波漫开来的现象就是润湿现象。散漫开的液

体的表面与固体的表面所形成的角 θ 叫做接触角。一般用接触角 θ 的余弦值 $\cos\theta$ 来表示润湿的程度。见图(2-6)。

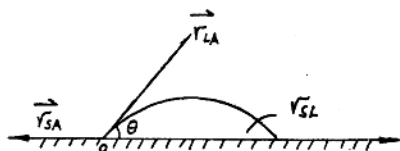


图 2-6

接触角 θ 的大小与润湿程度之间的关系，可见图(2-7)。

(a) 当 $0^\circ < \theta < 90^\circ$ 时，称为部分润湿，液滴形成棱镜状。

(b) 当 $90^\circ < \theta < 180^\circ$ 时，称为不润湿，液滴形成平底球状。

(c) $\theta = 0^\circ$ 时，则表示完全润湿，液滴倾向于展成平面。

(d) $\theta = 180^\circ$ 时，则表示完全不润湿，液滴倾向于形成完整的球体。

下图2-7表示液滴在固体平面上，由于 θ 角不同，而处于各种不同状态。 θ 角越小，润湿程度越大，反之则小。

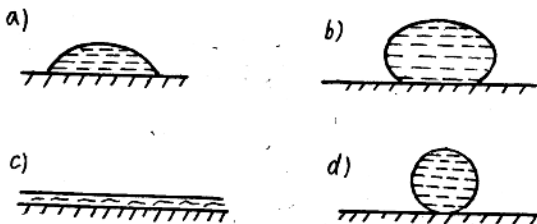


图 2-7

油墨对纸张及印刷版的润湿程度，对印刷质量具有重要的作用一样。在研究圆珠笔的书写过程中，油墨对纸张、球珠、球座的润湿作用将关系到书写性能的优劣。若润湿性不好，它可能会引起打滑、冒油、断线以及倒流等不正常现象。因此，我们必须对此进行必要的讨论。

圆珠笔在书写过程中，油墨对球座、球珠和纸张的润湿作用须符合下列规律：

油墨对纸的润湿性 > 油墨对球珠的润湿性 > 油墨对球座的润湿性。但无论是油墨对纸、球珠，油墨对球珠与球座的润湿差有一个最佳值，否则，前者润湿差过大，易“断线”。后者润湿差过大，易“冒油”。油墨对座、珠、纸的润湿之程度可用接触角 θ 的余弦值 $\cos\theta$ 表示。($0^\circ < \theta < 90^\circ$)

墨与纸 $\cos\theta_1 >$ 墨与珠 $\cos\theta_2 >$ 墨与座 $\cos\theta_3$ 。

θ 角小，润湿性好，余弦值大，润湿性好。

影响润湿性的因素很多，如不同的材料，其润湿性则不同。

不同的表面状态，即粗糙度的变化，其接触角的余弦值也随之变化。当纸张上含有不同

“介质”时，其润湿性会发生很大的变化，所以对纸来说，润湿不仅取决于纸张的性质，有时也会取决于“介质”（粘着剂的极性）。如：纸张上含有“油类介质”时，会使纸张失去毛细管作用（摩擦系数减小），就产生“打滑”，反之，若纸张含有“水”“醇”类介质，使纤维润湿，则书写时对润湿性会更好。所以粘着剂的极性在纸张润湿以后的毛细管渗透过程中具有特殊的意义。据上述分析可知，油墨对纸、珠座的润湿作用，对圆珠笔出墨有着密切关系。

第五节 圆珠笔出墨系统主要参数的计算

圆珠笔的出墨系统主要是球珠与球座所组成。书写时球珠在球座内转动，通过输油孔把润湿在球珠上的油墨连续传递到纸上，从而形成字迹。书写时出墨是否均匀通畅，书写是否润滑流利，除与油墨的性质有关外，主要取决于出墨系统的结构形状及尺寸大小。

这里拟就出墨系统中球座体结构提出：（一）临界槽径；（二）球珠与球座相贴面；（三）环槽角体积；（四）环槽角最大间隙；（五）槽冲角等五个计算公式，附图及有关对比数据，以供圆珠笔、水性圆珠笔、压力圆珠笔等设计制造时参考。

（一）临界槽径计标

直槽槽径的长短对出墨量的关系极大。根据圆珠笔标准，圆珠笔书写千米出墨量，室温在25℃，湿度在50~70%时，为90mg~240mg。幅差为150mg。这是因为球座的敲深量，在实际生产中，由于单机生产中产生一定误差。根据工艺要求，当内锥角 $\theta_2=90^\circ$ 时，直槽槽径的大小在 $\phi 0.65 \sim \phi 0.67\text{mm}$ 之间时，才能使直槽与储量的环槽相通。

由于以往工厂生产中直槽槽径的尺寸太小，当球座敲深量大于0.04mm时，直槽与储墨环槽不相通，而当敲深量小于0.04mm时直槽与环槽就相通，所以，出现随敲深量的变化而时通，时不通的情况。这是导致出墨量大小悬殊的主要原因。因此，要保证出墨量的变化较稳定，直槽槽径尺寸一定要按表2—1所列数据进行选取。

根据实际生产情况，球座敲深量通常在0.03~0.05mm，由表2—1可知内锥角在 $90^\circ \sim 120^\circ$ 之间时临界槽径 $d_M \geq 0.67\text{mm}$ 时，直槽均与环槽相通。从而使出墨通畅，书写流利。

（根据对美国、日本、瑞士、法国等国家生产的圆珠笔剖析，发现它们的直槽均与环槽相通。）

临界槽径计算数据列表如下：

表2—1

光头后座底深度 (mm)	敲 深 (mm)	敲槽后座底深度 (mm)	$\theta_2 = 90^\circ$ d_M (mm)	$\theta_2 = 100^\circ$ d_M (mm)	$\theta_2 = 120^\circ$ d_M (mm)
0.41	0.03	0.44	0.6429	0.6193	0.5599
0.41	0.04	0.45	0.6583	0.6379	0.5822
0.41	0.05	0.46	0.6703	0.6529	0.6059
0.41	0.06	0.47	0.6799	0.6649	0.6233

临界槽径的计算公式：

如图2—7所示：根据三角函数的关系或几何相交弦定理，均能导出临界槽径公式如下，

$$d_M = 2R_s \cos \alpha + 2 \sin \alpha \cdot \sqrt{X \sin \alpha (2R_s - X \sin \alpha) - X \sin^2 \alpha}$$

式中: d_M ——直槽的临界槽径;

R_s ——球座半径;

α ——内锥角半角, 即 $\frac{\theta_2}{2}$

X ——圆冲冲深量。

公式推导:

解: 如图2-8所示

$$O_1 O_2 = X$$

在 $Rt\triangle O_1 B E$ 中,

$$O_1 B = \frac{R_s}{\sin \alpha}$$

$$O_2 B = O_1 B - X = \frac{R_s}{\sin \alpha} - X$$

在 $Rt\triangle O_2 B C$ 中,

$$BC = O_2 B \cos \alpha = \left(\frac{R_s}{\sin \alpha} - X \right) \cos \alpha$$

$$O_2 C = O_2 B \sin \alpha = \left(\frac{R_s}{\sin \alpha} - X \right) \sin \alpha$$

$$\therefore O_2 D = R_s$$

在 $Rt\triangle O_2 D C$ 中:

$$\therefore DC = \sqrt{O_2 D^2 - O_2 C^2} = \sqrt{R_s^2 - \left[\sin \alpha \left(\frac{R_s}{\sin \alpha} - X \right) \right]^2}$$

$$BD = DC + BC = \sqrt{R_s^2 - \left[\sin \alpha \left(\frac{R_s}{\sin \alpha} - X \right) \right]^2} + \cos \alpha \left(\frac{R_s}{\sin \alpha} - X \right)$$

在 $Rt\triangle B F D$ 中,

$$\therefore r_M = BD \cdot \sin \alpha$$

$$\therefore d_M = 2 \sin \alpha \left\{ \sqrt{R_s^2 - \left[\sin \alpha \left(\frac{R_s}{\sin \alpha} - X \right) \right]^2} + \cos \alpha \left(\frac{R_s}{\sin \alpha} - X \right) \right\}$$

$$= 2 R_s \cos \alpha + 2 \sin \alpha \sqrt{X \sin \alpha (2 R_s - X \sin \alpha) - X \sin^2 \alpha}$$

实例: 已知: $\theta_2 = 90^\circ$

$$\alpha = \frac{\theta_2}{2} = 45^\circ \quad D_s = 0.71(\text{mm})$$

$$X = 0.04(\text{mm}) \quad R_s = 0.355(\text{mm})$$

求 d_M

解: 将已知值代入公式:

$$d_M = 2 R_s \cos \alpha + 2 \sin \alpha \sqrt{X \sin \alpha (2 R_s - X \sin \alpha) - X \sin^2 \alpha}$$

$$= 2 \times 0.355 \times 0.707 + 2 \times 0.707 \sqrt{0.04 \times 0.707 (2 \times 0.355 - 0.04 \times 0.707) - 0.04 \times 1}$$

$$= 0.502 + 0.196 - 0.04$$

$$= 0.658(\text{mm})$$

∴ 当内锥角为 90° 敲深值为 0.04 时

临界槽径 $d_M = 0.658(\text{mm})$

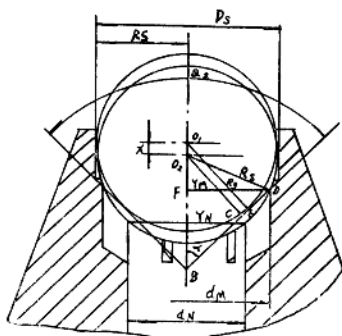


图 2—8

内锥角度取何值可根据各种油墨的性能而定。如使用 418* 兰油墨 (添加 PVPK-11 树脂, 提高了油墨的粘弹性), 内锥角 θ_1 宜取 100° 其出墨量较为理想。

(二) 球珠与球座相贴面的计算

球珠与球座相贴面积的大小, 直接影响书写润滑的程度, 因为书写时球珠在球座体内产生的滑动摩擦, 作用在球珠上的摩擦阻力矩应是球珠球面上各点的摩擦力对球珠转轴所产生的力矩的总和。即:

$$M = \sum_{i=1}^n m_i$$

其计算必须应用二重积分才能得出, 且数值还受油墨及球珠材料、工艺、质量等因素的影响, 因此, 很难得出具体数值, 而事实上也不必要进行数值计算, 只需作定性分析。

由定性分析可知, 摩擦阻力矩的大小与球珠和球座的相贴面积有关。因此, 要使书写时球珠所受的阻力矩最小, 就应减小球珠与球座体的相贴面积。为此, 必须对它们的相贴面积进行严格的演算, 从而找出影响相贴面积大小的主要参数。

相贴面面积的计算可直接应用球台侧面积公式:

$$S = 2 \pi R_s h_M$$

因为球座体内尚有直槽, 所以实际相贴面面积应扣除直槽所占的面积, 然而直槽面积的计算反映到数学上来, 实际是计算部分球带面积。

根据古鲁金定理: 平面上占有曲线弧位置的——均匀物体, 以这平面上一条不穿过这弧的直线为轴旋转而形成的旋转体的侧面积, 等于这弧的长度与这弧形物体的重心的旋转时所

在实际生产中, 我们可以根据不同性质的油墨选取适当的内锥角 θ_1 , 根据上述公式计算出临界槽径 d_M 的大小。当槽径取大于 d_M 时, 则直槽与环槽相通, 从而提高书写润滑性能, 并缩小出墨量的幅差。在直槽通环槽, 内锥角 θ_2 适当放大以后, 使球珠与球座间隙相应增大。这样是否会引起圆珠笔书写时“冒油”。我个人认为引起“冒油”, 涉及的因素很多, 它与油墨的性能、球珠的圆度、表面状态、球珠与球座的间隙、球珠与球座的同心度 (影响书写时的偏心距) 收口模具形式、收口压力……等等有关。我们知道采用醇溶性油墨, 球座体的直槽必须通环槽, 至于内