

第 V 章 全血粘度的特点及影响因素

体外因素

全血粘度测定的体外影响有切变率、剪切方式、剪切史和血液静放时间、测定温度、测定的仪器。

切变率

血液表观粘度依赖于切变率的变化，这一点已经在非牛顿流体中加以介绍。当切变率比较低时，血液的表观粘度相当高。随着切变率的增大，血液粘度下降。当切变率相当高时血液粘度几乎变成一个常数。因此血液粘度必需同时报导其相应的切变率。由于血液在低切变率下的所获得的非牛顿信息大，因此许多流变学家们倾向于主重于低切变率下的测定。对于血液而言，一般切变率低 $3s^{-1}$ ，称为低切变率； $3\sim 10s^{-1}$ ，称为中切变率； $10s^{-1}$ 以上称为高切变率。如此说法尚有一定的根据：如在切变率 $0\sim 3s^{-1}$ 之间，红细胞缢钱体处于聚集状态比较多；在切变率 $3\sim 10s^{-1}$ 之间，红细胞缢钱体处于聚集与分散之间；在切变率 $10s^{-1}$ 以上，红细胞缢钱体处于基本完全的分散状态比较多，故可以称为高切变率。在仪器的研制上低切变率的实现，要比高切变率的实现难度为高。因此仪器的价格上，一定是切变率越低愈低，价格愈高。剪切就是有计划地施加血液各流层间的切应力。剪切的方式有两种，一种采用毛细管层流剪切，另一种称为 Couette 流剪切（转动层流剪切）。剪切的过程有两种，为稳态剪切和动态剪切。稳态剪切即为用同样的切变率作长时间的剪切，达到平衡时血液系统内施加的切应力或所产生的切变率与时间不相关，这称为稳态剪切或平衡态剪切；动态剪切称为随着给以切应力或产生的切变率与时间而改变，也就是其切应力或切变率是时间的函数，这种函数可以是三角波，方波或三角函数波。在制造测定仪器的难度上，当然是动态剪切要比静态剪切难度高。因此具有动态剪切的仪器设备要比仅有静态剪切的仪器设备价格要高。管流剪切所计算的切变率，是一种混杂切变率的平均值，因为管流中管中心的切变率为零，而管壁的切变率为最大，因此在垂直于管流的同一个截面上的切变率需要用数学方法求出平均值，其平均值的大小与液压有关，是液体高度、密度、重力加速度的函数。

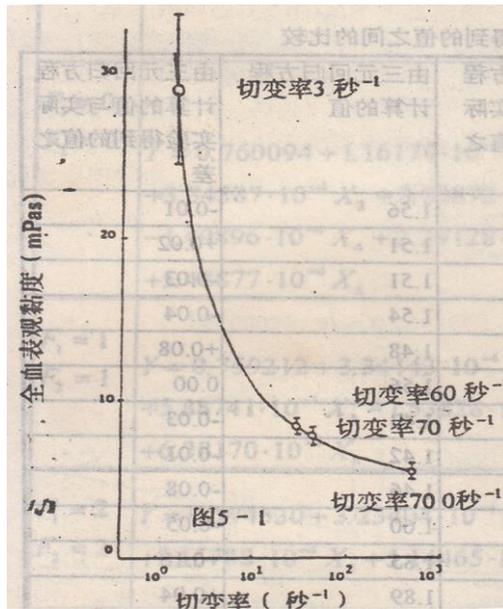


图 5-1 全血表观黏度平均值与标准差对于切变率的明显依赖性

图 5-1 展示 30 位年龄为 49 至 59 岁的正常人的全血黏度在切变率为 3、60、70 和 700s⁻¹ 时的测定的平均值和标准差。可以看出全血黏度对于切变率有非常明显的依赖性。

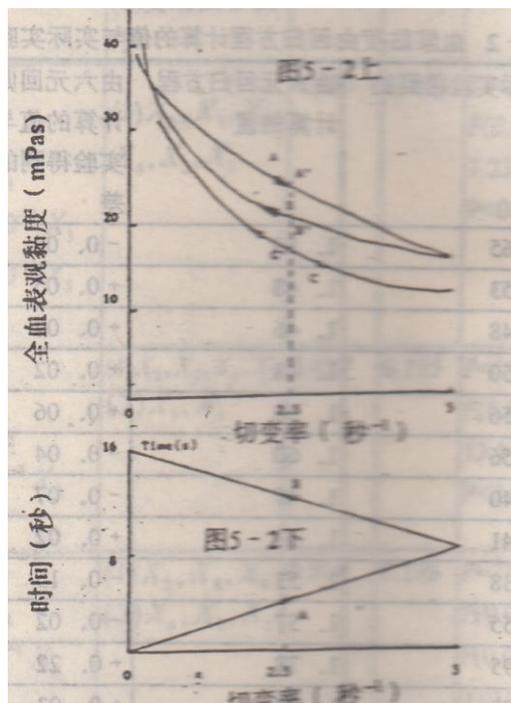


图 5-2 剪切方式不同对于全血黏度的影响。

下：A 和 B 两种剪切方式的线性图：A 为在 8 秒时间切变率由 0 升为 5s⁻¹，B 在 8 秒时间切变率由 5 降到 0s⁻¹；上：三种剪切方式测定黏度结果的比较：曲线 A：用 A 方式剪切，即在 8 秒时间切变率由 0 升为 5s⁻¹；曲线 B：用 B 方式剪切，即在 8 秒时间切变率由 5 降为 0s⁻¹；曲线 C：在 0 至 5s⁻¹ 范围内选择若干点，用稳态流由低至高，或由高至低进行稳态剪切，所得到的点而联成的曲线。A'、B'、C' 为三个由切变率 2.5s⁻¹ 时引出分别于 A、B、C 三条曲线交点,可见其值 A' > B' > C' (剪切方式上对于血液表观黏度测定值的明显影响)。

图 5-2 示，即使切变率相同，但是剪切方式不同，对于全血表观黏度有一定的影响。图 5-2（下）示 A 和 B 两种剪切方式的线性图，即 A 在 8 秒时间切变率由 0 升为 5s⁻¹，B 在 8 秒时间切变率由 5 降为 0s⁻¹；图 5-2（上）示三种剪切方式测定黏度的结果略有不同的结果，曲线 A，用 A 方式剪切，即在 8 秒时间切变率由 0 升为 5s⁻¹，其位置最高；曲线 B，用 B 方式剪切，即在 8 秒时间切变率由 5 降为 0s⁻¹，位置居中；曲线 C，在 0 至 5s⁻¹ 范围内选择若干点，用稳态和平衡态方式进行剪切，所得到的点而联成的曲线，其位置居于最下面；A'、B'、C' 为三个由切变率 2.5s⁻¹ 时引出分别于 A、B、C 三条曲线的交点，此三个交点的位置代表了在三种剪切方式在切变率为 2.5s⁻¹ 时的影响，可见剪切方式上对于血液表观黏度测定值的明显影响，其数值为 A' > B' > C'。

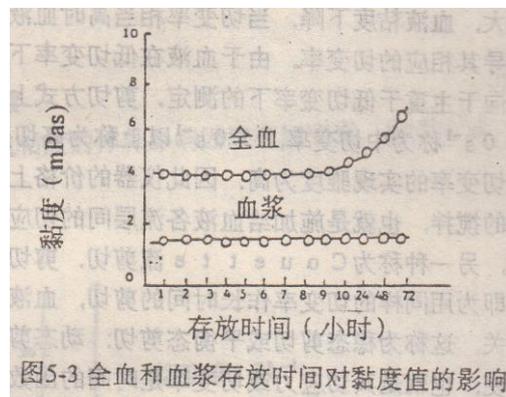
剪切史

剪切史指的是被剪切物质对于剪切过程的记忆。正如图 5-2 所示的，在较低的切变率之下，当血液作充分的、稳定的、平衡的剪切以后测定血液表观粘度的值，要比动态的、未做充分剪切的表观粘度数值要低些。而且在动态剪切的过程中，切变率由 0 至大，与由大至零的两个过程中，前者要比后者的数值为高。这结果说明血液对于自己的剪切史有短暂的记忆性、惯性和滞后性，故而影响血液表观粘度的值，其原因在于血液在剪切的过程是把形成巨大缠

钱体块的红细胞驱散为单个红细胞的过程中，需要一个记忆消退、滞后和惯性过程，而当剪切应力撤消以后，红细胞恢复成原先巨大的缙钱体也须要一个记忆消退、滞后和惯性的过程。这个过程在以上 A、B、C 三个剪切方式中，即使在相同的切变率之下，A 的剪切在过程中是最原始而又最不充分的，因此测定的表观粘度值为最高（对于红细胞形成巨大缙钱体仍有部分记忆性没有消退）；而 B 属于居中状态，因此其表观粘度值也居中；然而 C 状态属于充分、稳定与平衡的剪切，因此其表观粘度值较低（对于形成巨大缙钱体的记忆已经消退，而且增强了最近驱散为单个红细胞分状态的记忆）。因此一个血液标本经过充分摇动以后，其未恢复成巨大的缙钱体之先，加以测定的活，血液表观粘度会略低一些；相反如果血液存放时间较久（也就是剪切率为零的时间维持很久，血液红细胞已经形成巨大红细胞缙钱体）时的存放史，也对血液粘度的测定也受略微增高的影响。因此在测定血液表观粘度上，在抽血后的摇动、安放时间、安放温度、测前的摇晃标本程度都应该有一个标准化的做法与规定。

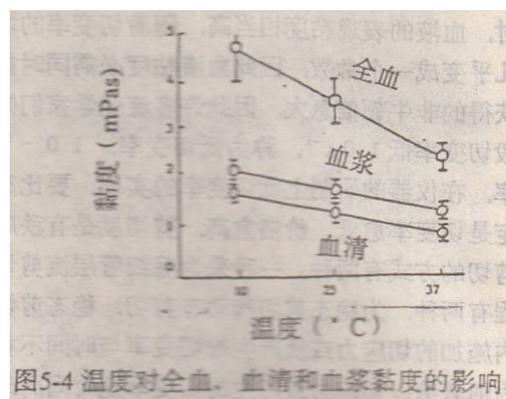
血液存放时间

图 5-3 可见血浆存放 24 小时几乎无影响，而全血则受明显的影响，而且数据建议，全血黏度的测定最好在抽血以后 4 小时以内完成为好。



测定温度。

测定的温度有强烈的影响。国外倾向于用 37°C 体温条件下测定。而国内也有在 25°C 或 20°C 条件下测定。图 5-4 温度对全血、血清和血浆黏度的影响，可以看出不论是全血、血清和血浆黏度受温度的影响是相当大的，总之测定血液粘度必需严格地控温，而且报道测定条件必需指出实验室的温控条件。



仪器条件

仪器条件上会有较大的差别，差别的原因主要来源于毛细管粘度计与回旋粘度计上有明显的区别。因为毛细管粘度计计算的切变率是一个混合切变率。其混合性来源于几个原因，一个管中心到管壁之间的切变率的平均值（管中心切变率为零，而管壁切变率为最大，平均值指

的是它们的数学上的平均值，其平均值的数学计算还是比较复杂的，在此不一一细说），另一个是切变率与液面高度相关，它由液柱本身重量（是高度、密度、重力加速度的函数）产生压力来产生不同切变率，由于每个人血液比重不同，因此切变率也不同；由于血液所处高度不同，因此产生切变率也不同，因此只好把某一区间的中数作平均血液高度来计算出切变率。这也是一个大略的数，由于切变率不够标准，为此其表观粘度值无法与其他标准的回转粘度计相比较。由于国际上推荐回旋粘度计，为此国内愈来愈多的单位采用回旋粘度计来测定。自90年代以后的很多国内几乎不再用毛细管粘度计来测定。但由于毛细管黏度计易于操作和价格便宜，因为成本低和简易型，仍受到很多医院财务部门和管理部门的使用。

体内因素

全血表观黏度的体内影响因素有血细胞压积、血浆成分及其黏度、红细胞聚集性与血沉、血液细胞表面电荷、血液细胞的刚性等。

血液细胞压积

是一个与血液表观粘度密切相关的因素，其微弱的变化会极大地影响着血液表观粘度的值。当血球压积比较少时，血液表观粘度几乎与血球压积成正比，但如果血球压积增高时，血液表观粘度如指数样的增高。图5-5和图5-6 男女性别的血细胞压积对血黏度的影响作用。图中可以看出正常人的黏度分布比较集中于一个范围，而缺血性中风，冠心病，出血性中风，高球蛋白血症，舌色发紫病人，远远地偏离正常人平均值至加减一个或两个标准差的程度。

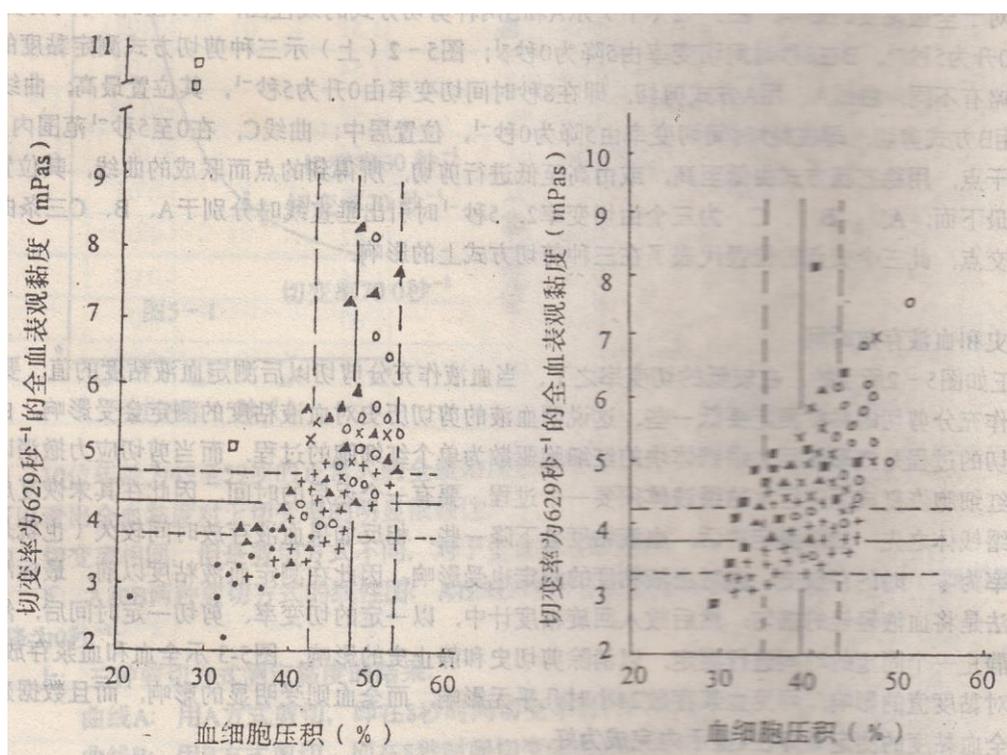


图 5-5 血细胞压积对男性全血黏度的影响 图 5-6 血细胞压积对女性全血黏度的影响
 (+正常人, O 缺血性中风, ▲ 冠心病, ● 出血性中风, □ 高球蛋白血症, × 舌色发紫病人, 实线示正常人平均值, 虚线示正常人平均值加减一个标准差)

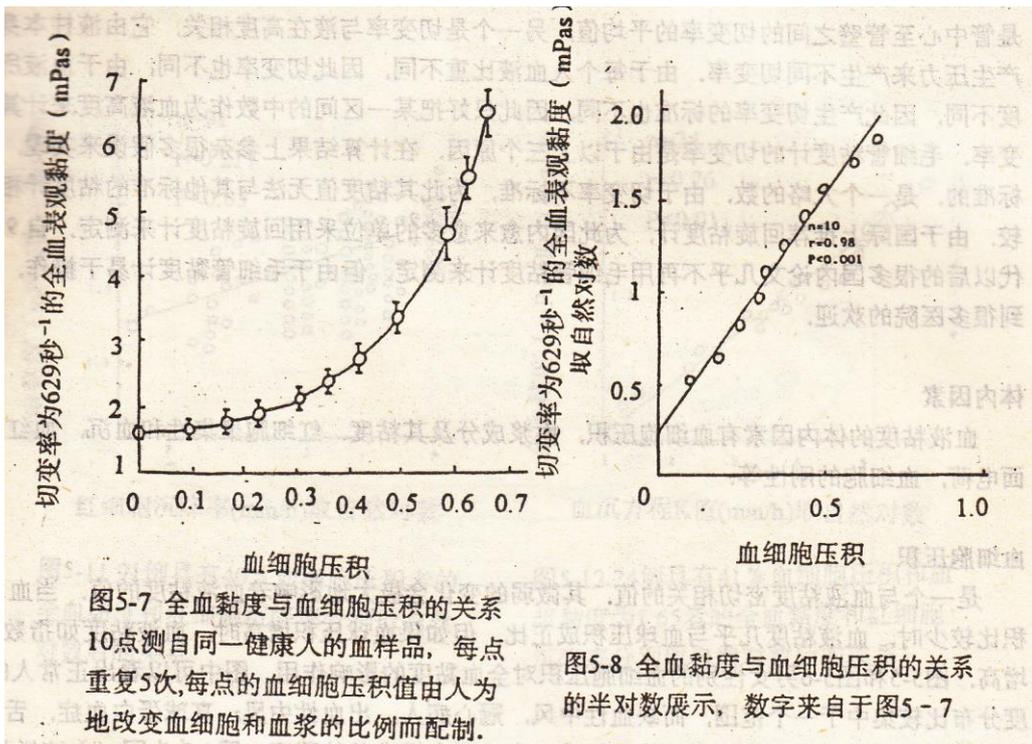
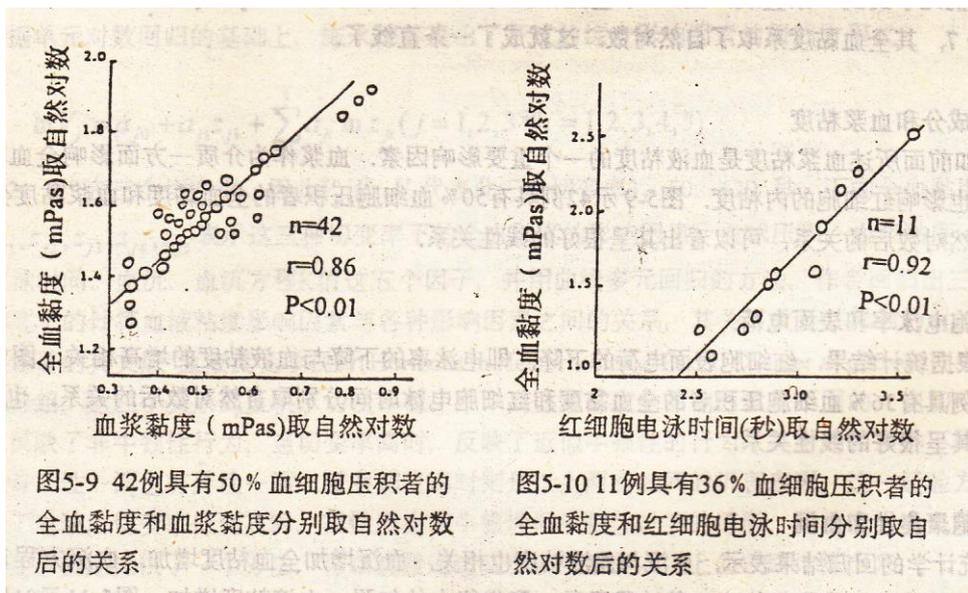


图 5-7 为同一血液样品的全血黏度与血细胞压积的关系, 图中的 10 个数据测自同一健康人的血样本, 每点重复 5 次, 每个数据的血细胞压积值由人为地改变血细胞和血浆的比例制成。如将图 5-7 中的数据纵坐标用自然对数加以处理, 就几乎成为图 5-8 的一条直线。图 5-8 示全血黏度与血细胞压积的关系的自然对数关系 (数字完全来自于图 5-7), 可见其全血黏度采取了自然对数做为纵坐标, 这就接近成了一条直线了。



血浆成分和血浆粘度

如前面所述血浆粘度是一个重要影响因素。图 5-9 示 42 例具有 50% 血细胞压积者的全血黏度和血浆黏度分别取自然对数后的关系，可以看出其呈线性关系。

红细胞电泳率和表面电荷

根据统计结果，红细胞表面电荷的下降，即电泳的下降与血液粘度的增高相关。图 5-10 示 11 例具有 36% 血细胞压积者的全血黏度和红细胞电泳时间分别取自然对数后的关系。也可以看出线性关系。

红细胞聚集性和血沉

统计学的回归结果表明，血沉与血液粘度也相关，血沉增加全血粘度增加。血沉方程 K 值相当于反映红细胞聚集能力，其结果展示，聚集能力的加强，血液粘度增加。图 5-11 示 91 例具有 40% 血细胞压积者的全血黏度和红细胞沉降率分别取自然对数后的关系，图 5-12 示 24 例具有 41% 血细胞压积和血浆黏度为 1.65 者的全血黏度和血沉方程 K 值分别取自然对数后的关系。统计学的回归结果表明均具有明显的意义，其中特别是后者的相关性更好。

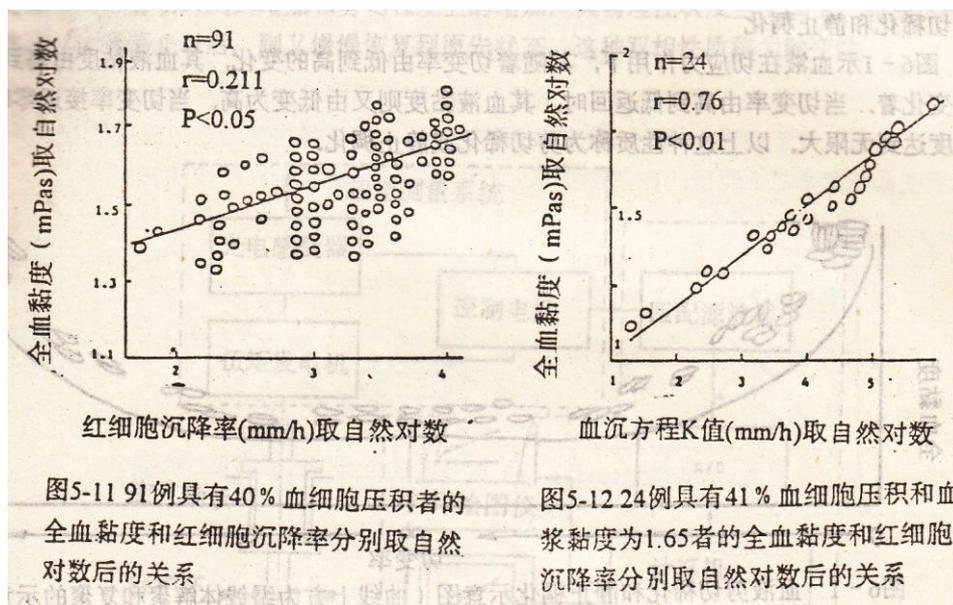


图5-11 91例具有40%血细胞压积者的全血黏度和红细胞沉降率分别取自然对数后的关系

图5-12 24例具有41%血细胞压积和血浆黏度为1.65者的全血黏度和红细胞沉降率分别取自然对数后的关系

综合影响

根据单元对数回归的基础上，施永德等提出了下式的综合影响因素的回归方程式：

$$\ln V_j = a_{j0} + a_{j1} z_{j1} + \sum_{i=2}^5 a_{ji} \ln z_{ji} \quad (j = 1, 2, 3 \text{ 和 } i = 1, 2, 3, 4, 5)$$

$j=1, 2, 3$ 代表三个切变率号码，即 V_1, V_2, V_3 代表此三个切变率值为 $3、60、629s^{-1}$ 下的全血表观黏度值， $Z_{j1}、Z_{j2}、Z_{j3}、Z_{j4}、Z_{j5}$ 这三种切变率下的全血表观黏度的影响因素：即血球压积、血浆黏度、红细胞电泳时间、血沉、血沉方程 K 值这五个因子，并用曲线多元回归的方法，作者回归出三种切变率之下的计算血液粘度影响因素与各种影响因素之间的关系，其关系式精密表达及其详细的讨论，在施永德等著的英文版“血液流变学视野 (Horizons in Hemorheology, Part I Chapter 4, p30~40)”和“上海第一医学院学报第 12 卷第六期第 444~456 页”中有详尽的介绍。这三个关系式反映了切变率低、中、高血液粘度的影响因素是不同的。

当切变率低时，反映了非牛顿性行为；当切变率高时，反映了近似牛顿性的行为。其影响因素是不同的，既有共性一面，也有异性一面，而中切变率时则是以上两者之间的折衷表现。这一经验方程式反映了血液由切变率低到高时，其性质由非牛顿向牛顿性过渡的情形。此外也为全血黏度的非黏度计测定提供了一个方法，可以直接通过其影响因素代人以上分式而计算出来的。