



孙良田 等 编

高等学校教学用书

油层物理实验

北京)

石油工业出版社

TE 311

069619



高等学校教学用书

油层物理实验

孙良田 等编



石油工业出版社

(京)新登字082号

内 容 提 要

本书主要叙述油层物理的一些基本实验内容。考虑到学科的发展,编写了部分新的实验方法,特别是针对天然气藏的开发和开采,增加了气层物理方面的内容,但都侧重于油气层条件下的物理性质研究,如气、水(油)两相渗透率曲线测定、凝析油气体系相态研究等。

本书主要是作为油气田开发开采专业本科生油层物理教学实验用,也可供石油地质、钻井、应用化学专业学生使用,对石油矿场从事油层物理实验的工程技术人员亦可作为参考。

高等学校教学用书

油层物理实验

孙良田 等编

•
中国石油天然气总公司教材编审室编辑

(北京902信箱)

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里二区一号楼)

昊海印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

•
787×1092毫米 16开本 $8\frac{3}{4}$ 印张 216千字 印1—3,000

1992年10月北京第1版 1992年10月北京第1次印刷

ISBN 7-5021-0700-2/TE·665(课)

定价: 2.30元

序 言

为了适应油藏工程专业学科建设的需要,编写了这本“油层物理实验”,作为本科生教学实验教材。

考虑到以往“油层物理”实验教学中的经验和教训,本书的编写目的是使学生通过这部分内容的学习,掌握油层物理实验研究的基本方法。因此原打算安排两部分内容:油层物理基本实验和实验设计方法。第一部分主要介绍渗流物理参数的基本概念,影响因素和测定方法。通过这部分内容的学习,要求学生能进行前人已经建立的各种实验,掌握基本的实验技能,并为后一部分学习打下基础。第二部分主要介绍实验设计的基本理论和基本方法。通过这部分内容的学习,要求学生能根据自己的实际需要设计实验,培养实验研究的能力。显然,第一部分是第二部分的感性认识和基础,第二部分是第一部分的理性认识和提高。

本书主要是第一部分的内容,即油层物理基本实验。为了同现用教材《油藏物理基础》相配合,在内容安排上也分为三章:油(气)藏流体物理性质的测定、储油(气)岩石物理性质的测定和含多相流体岩石的渗流特性测定。在内容选取上,除了叙述基本的实验方法以外,还增加了一些新的测定方法,并且突出了气层物理方面的一些内容,如气、水(油)两相渗透率曲线测定、凝析油气体系相态研究等。

考虑到这本书主要是写实验的,实践性很强,因此组织了长期从事油层物理实验的教师、工程技术人员编写,以反映他们在这方面的实践经验。本书第一章由孙良田、青华忠、况衍涛编写;第二章和第三章由易敏、李荣韩、林琪、王天顺编写。全书由孙良田修改统编成册,由石油勘探开发研究院秦同洛教授主审。在本书编写过程中得到石油大学葛家理教授、石油勘探开发研究院裘亦楠高级工程师、西南石油学院李士伦、杨继盛教授等的大力支持和指导,一并表示感谢。

全书插图由西南石油学院开发系黄继芬同志描绘。

由于编者水平有限,不足之处请读者指正。

目 录

序言

第一章 油(气)藏流体物理性质的测定	1
第一节 研究油(气)藏流体物理性质的仪器和设备.....	1
第二节 石油和天然气实验样品的准备.....	14
第三节 基本实验.....	20
实验一 天然气高压物性的测定.....	20
实验二 地下石油高压物性测定.....	31
实验三 油气体系相态特性测定.....	40
第二章 储油(气)岩石的物理性质测定	50
第一节 岩石样品的准备.....	50
第二节 基本实验.....	53
实验四 岩石含流体饱和度的测定.....	53
实验五 岩石孔隙度的测定.....	57
实验六 岩石粒度组成的测定.....	65
实验七 岩石含碳酸盐量的测定.....	73
实验八 岩石压缩性测定.....	79
第三章 含多相流体岩石的渗流特性测定	89
实验九 岩石渗透率的测定.....	89
实验十 岩石比表面的测定.....	94
实验十一 岩石润湿性的测定.....	96
实验十二 毛细管压力曲线的测定.....	99
实验十三 相对渗透率曲线的测定.....	108
参考文献	134

第一章 油（气）藏流体物理性质的测定

油（气）藏流体主要是指油（气）藏中的油、水和天然气。本章重点是研究油和气在地层条件下的物理性质，即油（气）藏流体高压物理性质的研究。研究油（气）藏流体高压物理性质的基本程序是：采用在油（气）井中下入深井取样器的方法，在一定条件下，将能代表地层流体性质的单相（液相或气相）井筒流体取到地面；或让油（气）井在一定的工作制度下稳定生产，由一级分离器取得具有代表性的分离器油样和气样，按油（气）井稳定的生产油气比配制成地层流体。然后将保持在地层温度、压力条件下的样品转移到高压物性仪中对流体进行逐项测定和研究，从而获得油气层条件下流体的有关物理性质，为石油和天然气的勘探、开发提供重要依据。

第一节 研究油（气）藏流体物理性质的仪器和设备

研究油（气）藏流体物理性质的仪器和设备必须具备耐高温、高压和防腐的特性，分为取样装置、分析装置和实验装置。分析装置主要是用来进行流体的化学成份和组成分析，如气相色谱仪、液相色谱仪等，这些仪器已有专门的书籍介绍，因此本书不再重复。

一、取样装置

取样装置主要是指取样器。获取油气层流体的方法一般分为两类，即井下取样和地面取样。取样装置也相应地分为井下取样器和地面取样器。

1. 井下取样器

井下取样器有各种不同的结构。目前国内应用最广泛的是国产CY612—A型锤击式取样器（图1—1）。

CY612—A型井下取样器技术规格：

- （1）取样器容量：400ml和800ml两种；
- （2）最高耐压：30MPa；
- （3）最高工作温度：100℃；
- （4）仪器尺寸： $\phi 36 \times 1420\text{mm}$ ；
 $\phi 36 \times 2085\text{mm}$ ；
- （5）仪器重量：约5kg或7.8kg。

除此之外，还有其它类型的井下取样器，如钟表式取样器、刮壁式取样器等。生产中，一般是根据井深、流体粘度、井斜以及油井生产过程中是否严重结蜡等来选择井下取样器类型。如锤击式取样器一般适用于井深在1500m以内的直井，而不适用于斜井、油太稀、结蜡严重、有顶钻现象以及关井取样的油井。钟表式取样器对一般井都适用，只要能准确估计出取样器下到井底的时间，就能取到取样点样品。上述取样器均不适用时，可考虑采用刮壁式取样器。

2. 地面取样器

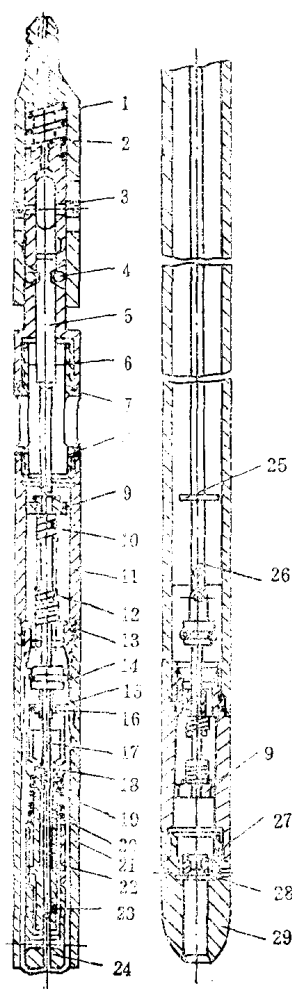


图1-1 CY612—A型井下取样器

- 1—控制帽；2—弹簧；3—定位螺钉；4—钢球；
5—导杆；6—启闭器主架；7—出液接头；8—垫圈；
9—导座；10—凡尔弹簧；11—凡尔座；12—凡尔；
13—452橡胶圈；14—凡尔座圈；15—开口销；16—
销子；17—插销；18—支座；19—卡子弹簧；20—套管；
21—液样管；22—外套；23—钢球；24—卡套；25—
搅拌器；26—连杆；27—滤网螺母；28—滤网；
29—尾端

地面取样器也称地面采样瓶，是用不锈钢加工而成的高压油、气样采集瓶。瓶的两端各装有一个直通阀。为了便于运输和储存，采样瓶都装有提把和两个保护端盖。如图1—2所示。

主要技术指标：

工作压力：4~20MPa；

容积：100、250、500、1000、2000、4000ml。

二、地层流体高压物性分析仪

地层流体高压物性分析仪是研究油（气）藏流体物理性质的主要实验装置。若以使用的工作介质来分，高压物性仪可以分为水银式与非水银式两类。水银式的优点是它不与油（气）藏流体发生物理化学作用，传压性能好。其缺点是水银蒸气对操作人员健康不利。我国自行设计和制造的非水银地层原油高压物性分析仪，克服了水银蒸气有毒的缺点，是一种比较理想的仪器。但是这类仪器在操作上还有某些缺点，其精度还不如水银式的高，因此在很多地方仍使用水银式的仪器。若以高压物性仪的PVT筒的结构来分，可以分为可观察式与不可观察式两类。可观察式的高压物性分析仪带有不同结构和不同材料的观察窗（如一个或三个圆型的玻璃观察窗，或一个长方型的玻璃观察窗，或一个或多个兰宝石的圆型或圆筒型的观察窗等）。这类仪器的优点是可以直接观察地层流体在不同状态时的相态行为和测量各相的体积，因此用于进行凝析油气体体系或易挥发性油的相平衡实验比较理想。而不可观察式的高压物性分析仪在应用上就受到限制。

我国自行设计的GF731型地层原油分析仪属于非水银、不可观察式的高压物性分析仪，是目前常用的高压物性教学仪器。

1. GF731型地层原油分析仪的组成

它主要由以下几部分组成：

（1）可供在高温高压下流体样品达到相平衡的高压容器。由于样品在这个容器中进行压力（ p ）、容积（ V ）、温度（ T ）的分析测定，故称PVT筒。基于同样原因，高压物性分析仪又简称PVT仪；

（2）进行加压和计量高压下流体样品体积的计量泵；

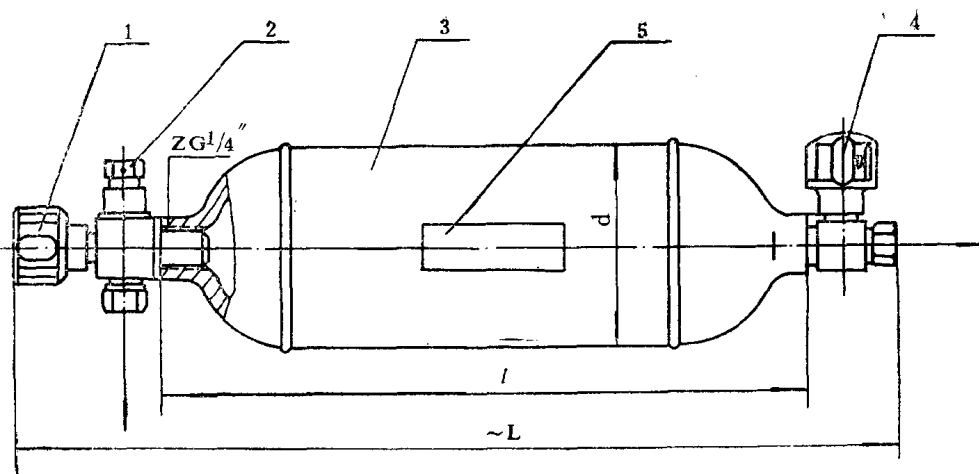


图1—2 采样瓶

1—截止阀；2—防爆膜；3—筒体；4—阀；5—标牌

(3) 恒温控制系统。其中包括超级恒温水浴和PVT筒、取样器、高压粘度计中的保温水套；

(4) 示压量气系统。包括压力表、油气分离瓶中的量气瓶；

(5) 专供测定流体粘度的高压粘度计。

国产的GF731型地层原油物性分析仪的流程如图1—3。

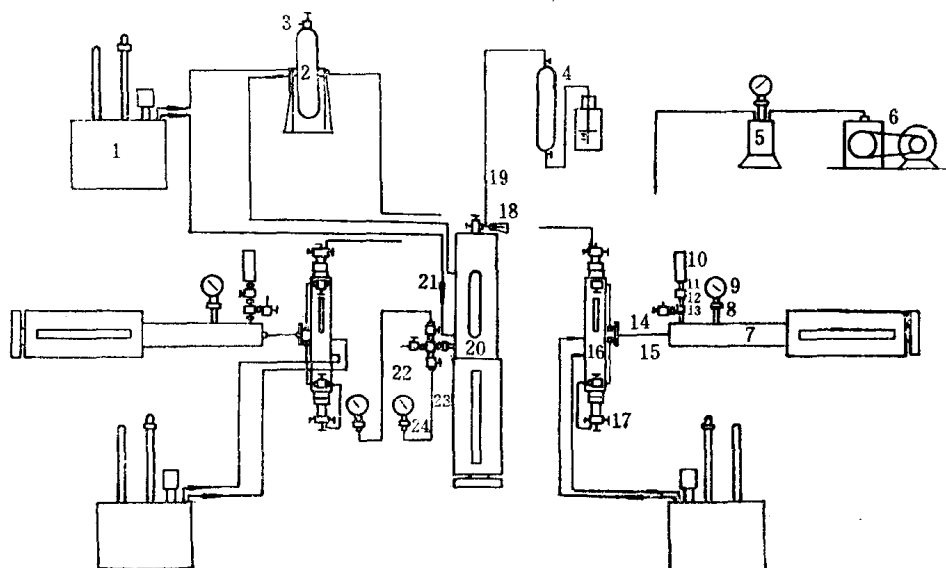


图1—3 GF731型地层原油分析仪流程图

1—恒温器；2—高压滚球粘度计；3—嘴子；4—气量瓶；5—真空捕集器；6—真空泵；
7—计量泵；8—压力表接头；9—标准压力表；10—介质容器；11—嘴子；12—水平三通阀；13—三通；14—垂直三通阀；15—压帽；16—取样器恒温水套；17—转样接头；
18—脱气瓶；19—气管线；20—分析器；21—恒温管线；22—四通；23—高压管线；
24—压力表接头

2. GF731型地层原油物性分析仪的主要技术指标

(1) 压力测量范围：0~50MPa；

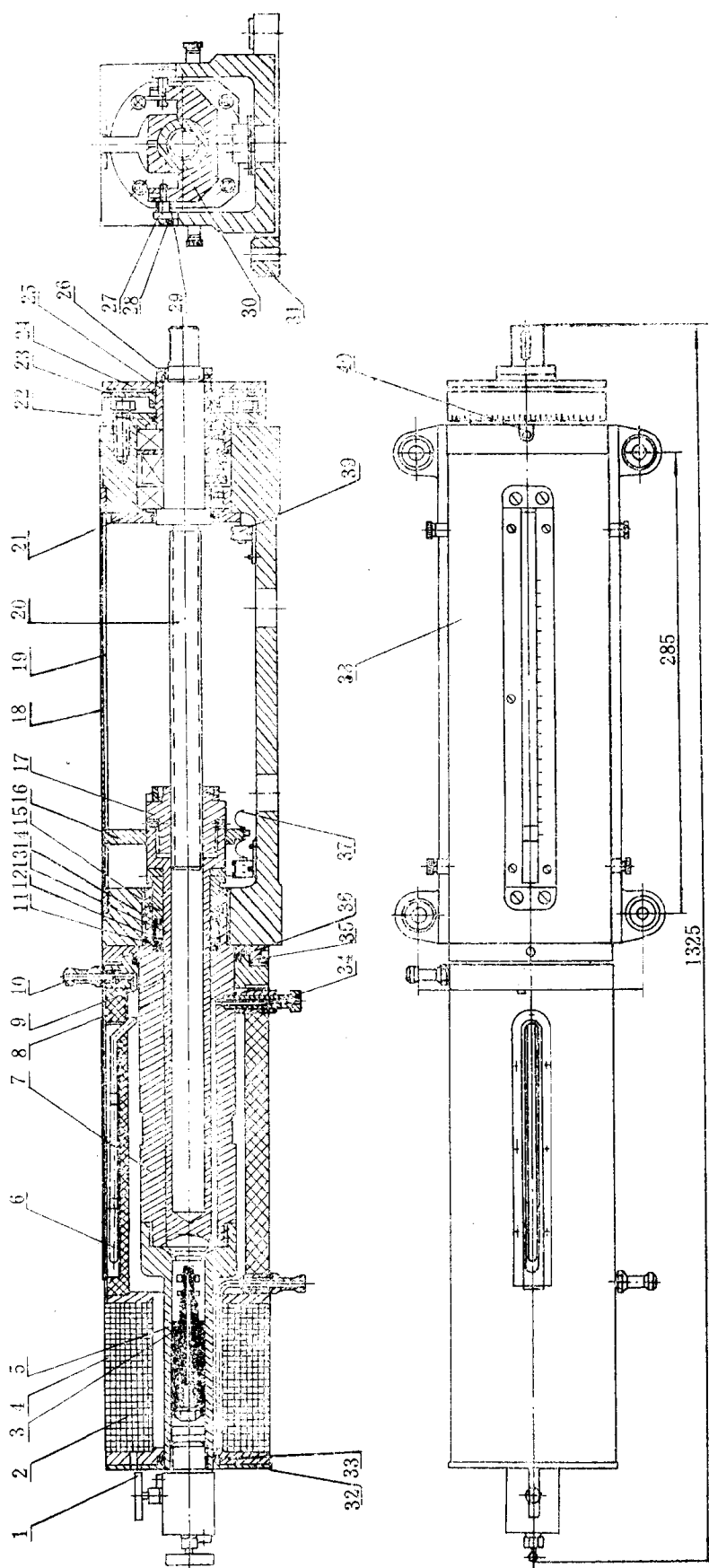


图1-4 分析器的结构图

- 1—阀门；2—线圈；3—搅拌器；4—外壳；5—泵头；6—温度计；7—泵体；8—石棉绳；9—柱塞；10—水嘴；11—密封圈；12—压环；13—内密封圈；14—外密封圈；15—密封压帽；16—滑块；17—传动螺母；18—刻度护片；19—刻度盘；20—传动丝杠；21、22—轴承盖；23—微调刻度盘；24—压紧螺母；25—轴套；26—压帽；27—滚动轴承；28—偏心螺钉；29—套；30—平衡块；31—底座；32—上压盖；33—密封圈；34—高压接头；35—大螺母；36—密封圈；37—簧片；38—外罩；39—行程开关；40—指示标牌

- (2) 温度测量范围: $0\sim 125^{\circ}\text{C}$;
- (3) 粘度测量范围 $0.5\sim 500\text{cP}$;
- (4) 无级调速范围: $0\sim 20\text{r/min}$ (最后输出级);
- (5) 计量泵最小读数: 0.01ml 。

3. GF731地层原油物性分析仪各主要组成部分的结构、工作原理和校正方法

1) 分析器—PVT筒分析器是仪器的主体, 其结构如图1—4所示。

分析器主要由高压容器、搅拌器线圈和循环水套组成。高压容器由防磁不锈钢 1Gr18Ni9Ti制成的缸体和表面镀铬的45号钢制成的活塞组成。缸体和活塞之间的密封是双层的, 并采用聚四氟乙烯和“O”型橡胶盘根密封。缸体容积为 270ml 。活塞由丝杠传动。

缸体与底座靠左旋螺纹连接, 装拆和清洗都比较方便, 只要将缸体旋下即可。

分析器外部有一恒温水套, 供循环保温液用。上部有一电磁线圈, 用 1.2mm 直径的高强度漆包线绕2000匝, 工作时电磁线圈吸动分析器内的搅拌环作上下往复运动 ($8\sim 30\text{次/min}$), 进行搅拌。

分析器计量泵有两种读数: 机械刻度和电子数码显示。机械刻度的平面刻度盘为 1ml/格 , 圆盘刻度为 0.01ml/格 。数码读数为五位数字, 最小一位为 0.01ml 。

计量泵底盘两端有行程终端保护开关, 以便防止因活塞运动到泵体尽头造成的机械损坏。在一般情况下, 不允许顶碰行程保护开关。

变速箱为涡轮蜗杆传动, 传动比为 $1:80$ 。分析器的一对锥形齿轮传动比为 $1:2$, 因此总传动比为 $1:160$ 。

所用直流电机, 功率为 1.1kW , 电压 220V , 转速为 3000r/min , 采用可控硅无级调速。无级调速的范围为 $0\sim 20\text{r/min}$ (指最后一级丝杆转速)。需要手动操作时, 将离合器向外沿轴向拔出, 依靠手柄操作杆即可手动操作运转。

操作台底部有活轮, 便于移动。

分析器校正的任务是确定分析系统的死体积及仪器受温度和压力影响后体积的变化即温变系数和压变系数。

当PVT筒活塞到达上止点 (平面刻度指针指到零的位置) 时, 筒内所剩余的空间容积称死体积。死体积的测定按下述步骤进行:

- (1) 将分析器清洗干净, 用压缩空气吹干。用 $\phi 3\text{mm}$ 管线同计量泵连接。
- (2) 将校正好的计量泵灌满蒸馏水。
- (3) 将分析器泵赶到零刻度, 关闭分析器上连通压力表的阀门和分析器顶部的阀门。打开分析器顶端三通上侧面的阀门, 使分析器同计量泵连通, 抽空20分钟后关闭。记录室温。
- (4) 打开计量泵和分析器连接管线的阀门, 用计量泵内的蒸馏水排除管线内气体。
- (5) 在不同压力下读计量泵刻度数 N_1 。
- (6) 打开分析器顶端的阀门, 用计量泵的蒸馏水充满分析器死体积。充满水后, 用计量泵测定与上述第(5)条相同压力下之泵读数 N_2 。

各种压力下计量泵的读数差值乘以计量泵常数 K_H , 就是分析器的死体积 V_M , 如表1—1所示。

表1—1 分析器死体积校正数据表

序号	压 力 MPa	计量泵读数		$V_M = (N_2 - N_1)K_H$ $K_H = 0.9972$	死体积随压力之 变化量 $(V_M)_P - (V_M)_0$	死体积压变系数 K_p
		充填死体积前 N_1	充填死体积后 N_2			
1	0	0.00	42.25	42.13	0.00	--
2	2.5	2.69	45.05	42.24	0.11	0.0438
3	5.0	4.07	46.54	42.35	0.22	0.0438
4	10.0	6.81	49.50	42.57	0.44	0.0438
5	15.0	9.47	52.40	42.81	0.68	0.0451
6	20.0	12.08	55.23	43.03	0.90	0.0448

在试验温度下,分析器因单位压力变化所引起筒体容积的变化称分析器压变系数,用 K_p 表示。

根据表1—1的数据可按式(1—1)进行计算:

$$K_p = \frac{[(V_M)_P - (V_M)_0] K_H \gamma_1 / \gamma_2}{p} \quad (1-1)$$

式中 K_H ——计量泵常数;

γ_1 ——室温下蒸馏水的比重;

γ_2 ——校正温度20°C时蒸馏水的比重;

p ——压力。

以表1—1的数据为例(仪器校正时室温为25°C):

当压力为2.5MPa时,

$$K_p = \frac{(45.05 - 2.69 - 42.25) \times 0.9972 \times \frac{0.99707}{0.99823}}{2.5} = \frac{0.11 \times 0.9972 \times 0.99884}{2.5} = 0.0438 \text{ cm}^3/\text{MPa}$$

当压力为5.0MPa时,

$$K_p = \frac{(46.54 - 4.07 - 42.25) \times 0.9972 \times 0.9988}{5} = 0.0438 \text{ cm}^3/\text{MPa}$$

当压力为10MPa时,

$$K_p = \frac{(49.50 - 6.81 - 42.25) \times 0.9972 \times 0.9988}{10} = 0.0438 \text{ cm}^3/\text{MPa}$$

当压力为15MPa时,

$$K_p = \frac{(52.40 - 9.47 - 42.25) \times 0.9972 \times 0.9988}{15} = 0.0451 \text{ cm}^3/\text{MPa}$$

当压力为20MPa时,

$$K_p = \frac{(55.23 - 12.08 - 42.25) \times 0.9972 \times 0.9988}{20} = 0.0448 \text{ cm}^3/\text{MPa}$$

分析器的压变系数在0~20MPa工作压力间隔内平均值为0.0443。

分析器因单位温度变化引起筒体容积的变化叫分析器温变系数,用 K_T 表示。它的测定步骤是:将分析器恒温在第一校正温度 T_1 ,把分析器计量泵退到180ml左右,灌满蒸馏水关分析器上端阀门,打开通压力表的阀门。然后在不同压力下读取泵读数 N_1 并记录室温 T_0 。

再将分析器提高温度到第二校正温度 T_2 (注意升高温度过程中压力应在低压)。待温度稳定后,按第一校正温度的各试验压力点读取泵的读数 N_2 。

用同样的方法测第三校正温度 T_3 下各试验压力时的泵读数 N_3 (注意:在测定过程中分析器搅拌一直是进行着的)。

温变系数 K_T 可按下式计算:

$$K_T = (V_M + N_1 K_H) \left(\frac{\gamma_1}{\gamma_2} - 1 \right) + (200 - N_2) K_H (T_2 - T_1) 34.95 \times 10^{-6} - (N_2 - N_1) K_H [1 + (T_1 - T_0) 34.95 \times 10^{-6}] / (T_2 - T_1) \quad (1-2)$$

式中 V_M ——分析器死体积;

K_H ——计量泵常数;

N_1 ——第一校正温度零压力时泵读数;

N_2 ——第二校正温度零压力时泵读数;

γ_1 ——第一校正温度下蒸馏水比重;

γ_2 ——第二校正温度下蒸馏水比重;

ΔV ——两个校正温度零压力时之体积差。

例如:温度由 $T_1 = 26^\circ\text{C}$ 升高到 $T_2 = 57.5^\circ\text{C}$ (室温 18°C),分析器的死体积 $V_M = 55.985 \text{ cm}^3$,计量泵常数 $K_H = 0.9972$,温度 26°C 、0MPa时的泵读数 $N_1 = 151.09 \text{ cm}^3$,温度 57.5°C 、0MPa时的泵读数 $N_2 = 153.12 \text{ cm}^3$,蒸馏水比重比 $\gamma_1/\gamma_2 = 0.99681/0.98449 = 1.0125$ 时,

$$\begin{aligned} K_T &= (55.985 + 151.09 \times 0.9972)(0.0125) + (200 - 153.12) \times 0.9972 \times \\ &\quad (57.5 - 26) \times 34.95 \times 10^{-6} - (153.12 - 151.09) \times 0.9972 \times [1 + (26 - 18) \\ &\quad \times 34.95 \times 10^{-6}] / (57.5 - 26) \\ &= 19.36 \times 10^{-3} \text{ cm}^3 / ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

又如: $T_2 \nearrow T_3 = 57.5^\circ\text{C} \nearrow 87.5^\circ\text{C}$,室温 20°C , $V_M = 55.985 \text{ cm}^3$, $K_H = 0.9972$, $N_2 = 153.12 \text{ cm}^3$, $N_3 = 156.54 \text{ cm}^3$,蒸馏水比重比 $= 0.98449/0.96710 = 1.01797$ 时,

$$\begin{aligned} K_T &= (55.985 + 153.12 \times 0.9972)(0.01797) + (200 - 156.54) \times 0.9972 \times (87.5 - 57.5) \\ &\quad \times 34.95 \times 10^{-6} - (156.54 - 153.12) \times 0.9972 \times [1 + (57.5 - 20) \times 34.95 \times 10^{-6}] \\ &\quad / (87.5 - 57.5) \\ &= 12.68 \times 10^{-3} \text{ cm}^3 / ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

再如: $T_1 \nearrow T_3 = 26^\circ\text{C} \nearrow 87.5^\circ\text{C}$,室温 17°C , V_M 、 K_H 同上, $N_1 = 151.09$, $N_3 = 156.54$,蒸馏水比重比 $= 0.99681/0.96710 = 1.0307$ 时,

$$\begin{aligned} K_T &= (55.985 + 151.09 \times 0.9972)(0.0307) + (200 - 156.54) \times 0.9972 \times (87.5 - 26) \\ &\quad \times 34.95 \times 10^{-6} - (156.54 - 151.09) \times 0.9972 \times [1 + (26 - 17) \times 34.95 \times 10^{-6}] \\ &\quad / (87.5 - 26) \end{aligned}$$

$$=16.23 \times 10^{-3} \text{ cm}^3/^{\circ}\text{C}$$

取三次的平均值, 此仪器的温度系数为: $16.09 \times 10^{-3} \text{ cm}^3/^{\circ}\text{C}$ 。

2) 电动高压计量泵 计量泵是在高压下计量体积的设备。

电动高压计量泵主要由计量泵主体和电动减速器两部分组成, 如图1—5所示。计量泵主体由活塞套、活塞、转动轴、转动螺母、刻度盘、游标、泵体、泵头、轴承和外壳等组成。泵头活塞套和活塞均用不锈钢制成, 耐腐蚀, 可直接灌进饱和盐水。减速部分由电机、联轴节、涡轮蜗杆减速器、轴承、伞齿轮等组成, 和计量泵相联接。电动机通过减速器、伞齿轮, 带动转动轴旋转。活塞端部固定有传动螺母, 两边用扶正轮作导向, 使传动轴的旋转运动转化为活塞的往复运动, 达到加压或减压的目的。计量泵的总容积为 200ml, 体积由游标和刻度盘读出, 刻度盘最小刻度为 0.01ml。

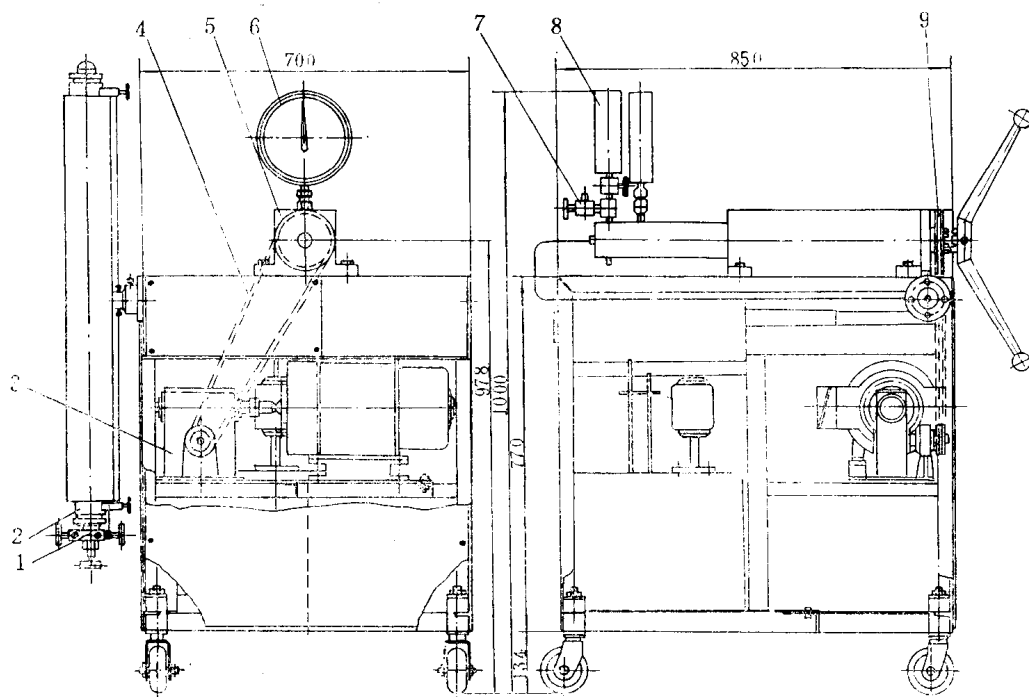


图1—5 电动高压计量泵装配图

1—取样器; 2—取样器保温套; 3—计量泵传动系统; 4—双排链条;

5—计量泵主体; 6—压力表; 7—垂直二通阀; 8—介质容器; 9—链轮罩

计量泵采用1.1kW, 电压220V, 转速3000r/min的直流电动机带动, 采用可控硅无级调速线路, 在0~3000r/min范围内进行无级调速。经传动机构, 最后一级即丝杠转速为0~20r/min。

高压计量泵的校正 校正前, 用汽油或石油醚清洗泵体, 用压缩空气吹干; 在泵出口处接一根弯管, 出口斜面要求平整; 准备好干净的水银, 天平和称量瓶。

校正是按下述程序进行的: 除水银缸的阀门以外, 其他阀门全部打开抽空, 当真空压力计达到0.5mmHg时, 关闭抽空阀门。打开水银缸阀门, 让水银进入泵内 (泵内应装190ml左右的水银), 关阀门。将压力提高到试验压力以上20MPa, 保持10分钟不降为合格。

校对游标 分度盘刻度要求在试验压力下对零, 同时将游标调到10ml读数处, 并将水银排出短管, 使水银充满到斜面。

将已编号称重的称量瓶放在弯管下, 记录试验压力下泵读数, 降至常压, 用阀门控制排

出约10ml水银，关闭阀门并将压力升到试验压力，读取泵读数。称量装有水银的称量瓶，记录室温。按此法重复操作，直到泵内水银排到最小读数为止。

计量泵常数 K_H 可按式计算

$$K_H = \frac{V_1}{V_2} \quad (1-3)$$

$$V_1 = \frac{W_{Hg}}{D_1} \quad (1-4)$$

$$V_2 = V' (1 + \beta p) \quad (1-5)$$

式中 V_1 —— 实际排出水银体积，ml；
 V_2 —— 计量泵排出水银的体积，ml；
 W_{Hg} —— 排出水银的质量，g；
 D_1 —— 在室温下水银的密度，g/cm³；
 V' —— 计量泵排出水银的读数，cm³；
 β —— 水银的压缩系数，1/MPa；
 p —— 泵读数时的试验压力，MPa。

3) 取样器恒温套 用井下取样器从井底取出的地层样品，需要装在取样器恒温套中，恒温到地层温度条件下，才能进行质量检查、测定原始饱和压力和往分析容器转样。

取样器恒温套如图1—6所示。水套用 $\phi 50$ mm无缝钢管制成，内壁涂以防锈涂料。恒温

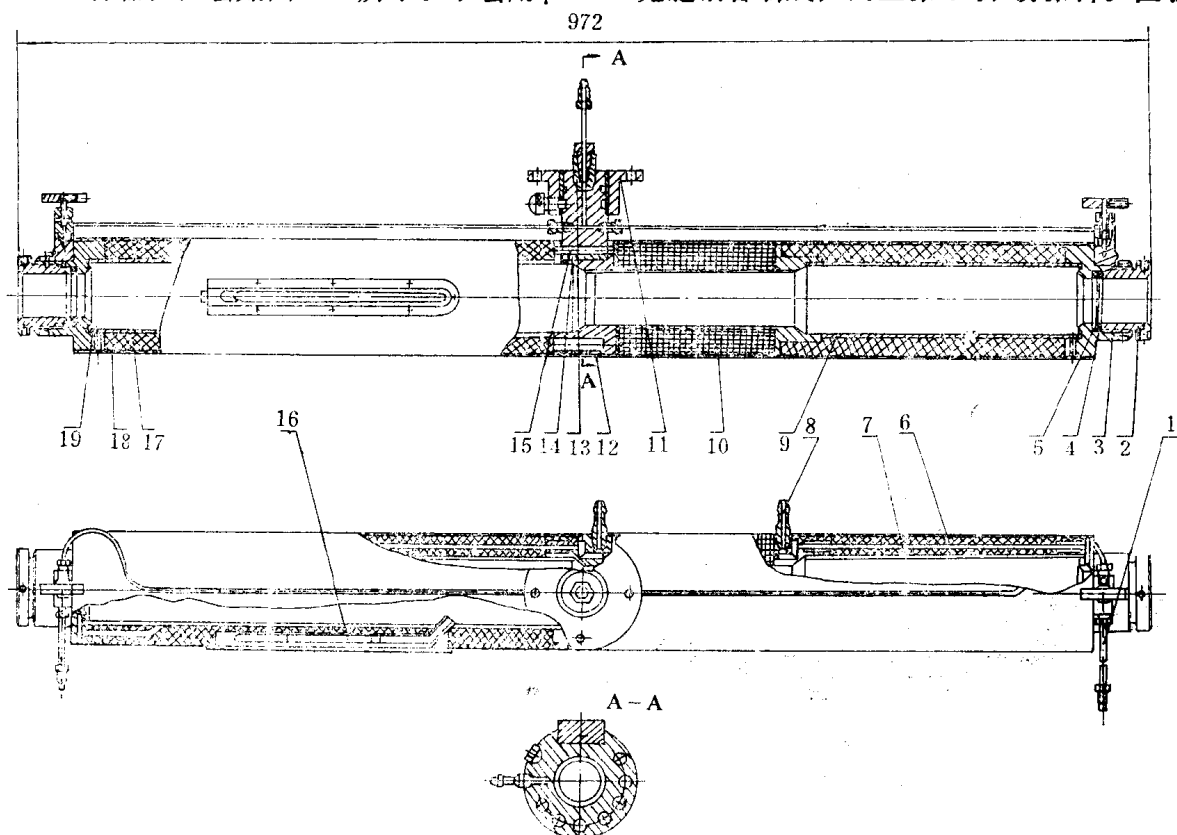


图1—6 取样器恒温套

1—连接管线；2—压帽；3—接头；4—压垫；5—密封盘根；6—外套；7—保温层；
8—水嘴；9—水套；10—电磁线圈；11—连接法兰；12—接头；13—管线接头；
14—短轴；15—水孔；16—温度计；17—保温层；18—外套；19—水套

套中间装两个水嘴，是恒温水的进、出口；侧边伸出一短轴，可以把它固定在计量泵支架上使其翻转摇动。为了加速取样器中样品的热平衡和相平衡，采用电磁搅拌。

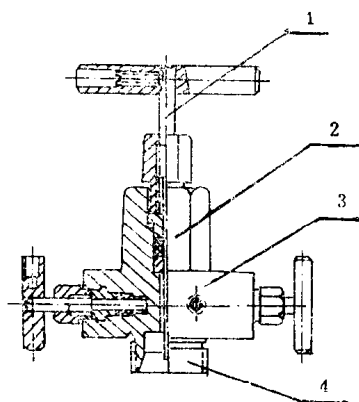


图1—7 转样器

1—顶杆；2—阀体；3—针形阀门；
4—公扣接头

4) 转样器 转样器是个带顶杆的三通阀，如图1—7所示。转样器一端是公扣接头，用于同井下取样器连接。带手柄的顶杆用于顶开取样器的上下凡尔，以便检查取样质量、初测饱和压力和转移样品。转样器两侧的两个针形阀分别同计量泵、分析容器连接。

5) 高压滚球粘度计 高压滚球粘度计主要用来测定地层原油粘度，也可测定地层水或其它液体的粘度。

粘度计的结构如图1—8所示。

粘度计中间是用防磁不锈钢制成的加工精度较高的标准管，标准管装在承压管中。在标准管的上部，承压管内装有用软铁制成的衔铁，用弹簧压紧，再在承压管的端部装上阀门；而在承压管的另一端装上接头和高压

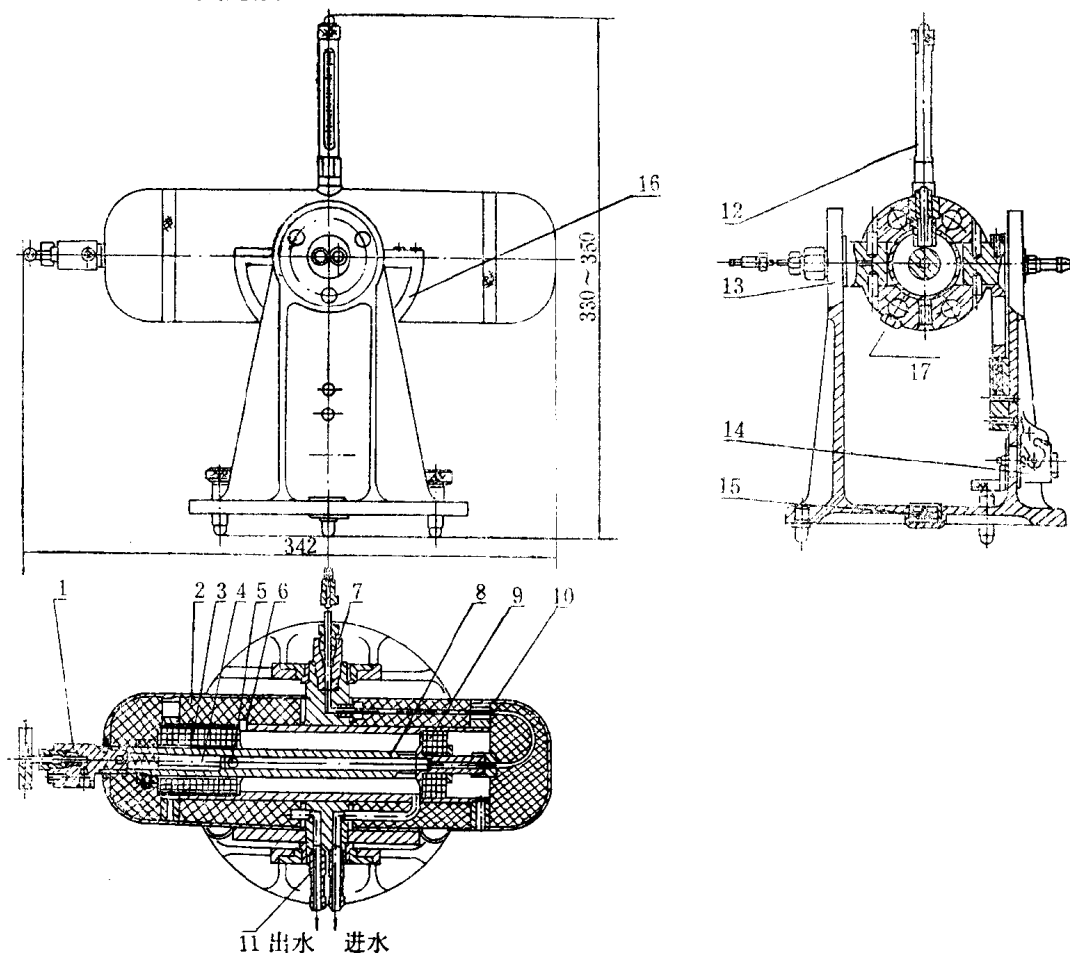


图1—8 高压滚球粘度计结构图

1—阀门；2—石棉绳；3—电磁线圈；4—衔铁；5—钢球；6—恒温套；7—高压活动嘴子；
8—标准管及承压管；9—电感线圈；10—外罩；11—水嘴；12—温度计罩；13—支架；
14—压线卡；15—水准器；16—角度固定块；17—电感、电磁线圈出口

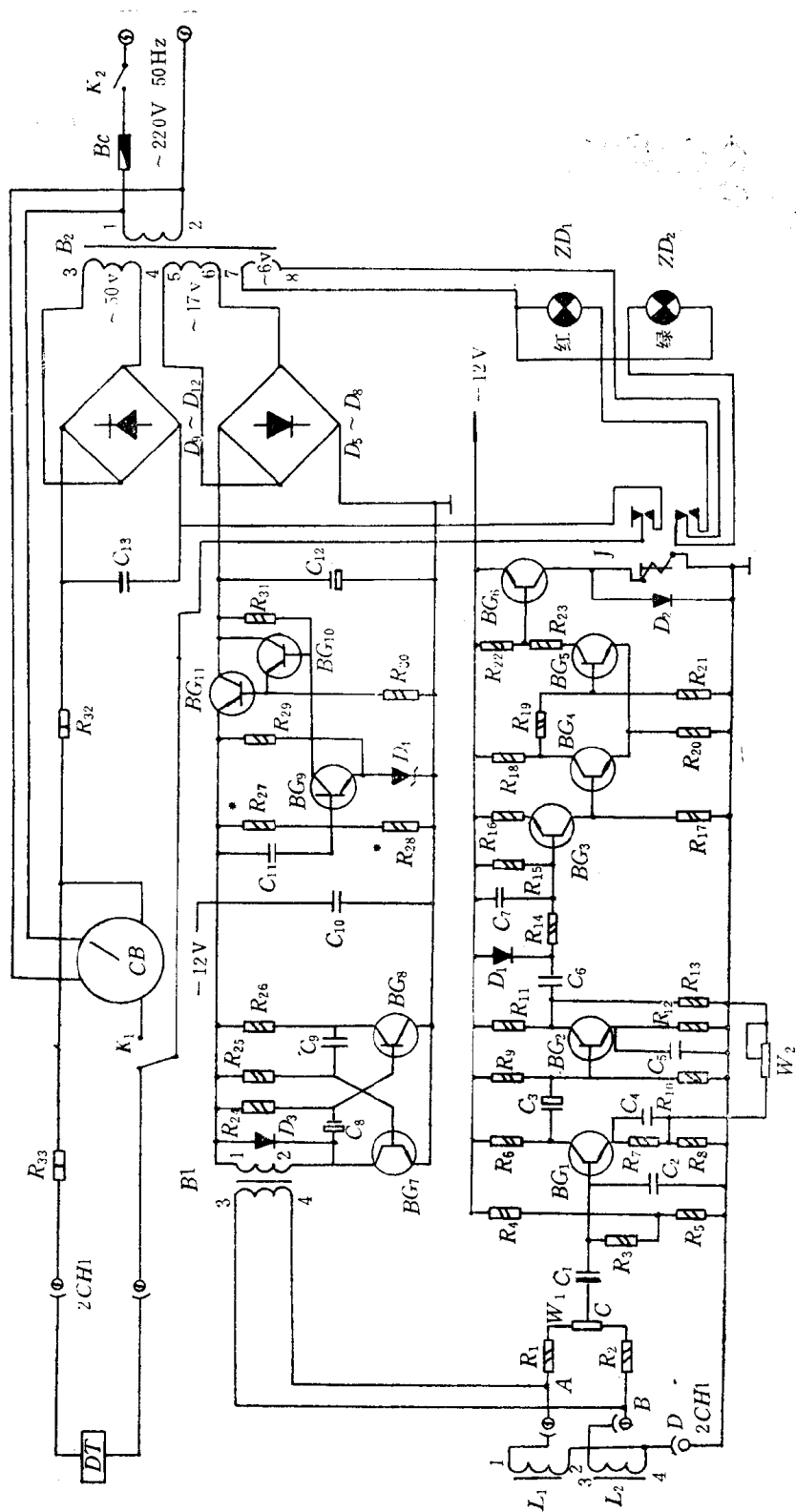


图1—9 粘度计电路原理图

管线。承压管的外部是恒温套和保温层，外套为表面镀铬的薄壁套管。在粘度计中部的两侧各伸出一短轴，安装在底座支架的轴套上。一侧的短轴上安有角度固定块和进出水嘴；另一侧的短轴上接承压管一端引出的高压管线和高压活动嘴子；在与短轴垂直的方向上装温度计。底座上装有调平水准器。在承压管的上端装衔铁处的外部装有电磁线圈，是用0.12mm的高强度漆包线绕15 000匝制成。线圈通50V直流电，使衔铁产生磁力吸住钢球；在承压管的下端装有两个用0.07mm漆包线各绕5 500匝的电感线圈。粘度计的电路原理图如图1—9所示。由装在承压管下端外面的两个感应线圈 L_1 、 L_2 和电阻 R_1 、 R_2 及平衡调节电位器 W_1 组成一个平衡电桥，由电桥的 AB 端加一交流信号，当电桥处于平衡时， CD 端输出为零。钢球在标准管上端被衔铁吸引住。扳下落球开关，即电磁线圈断电，钢球开始下落，同时接通电秒表电磁离合器线圈电源，电秒表开始计时。当钢球在标准管内落入电感线圈 L_1 中时， L_1 电感量增大，电桥平衡被破坏，此时在 CD 端有交流信号输出，经 BG_1 、 BG_2 二级交流放大，二极管 D_1 整流、滤波，再经 BG_3 直流放大，在 R_1 、 R_2 两端形成一被放大的直流电位，去触发由 BG_4 、 BG_5 组的射极耦合触发器，使它偏转，从而功放级 BG_6 由饱和导通变为截止，继电器触点将电秒表离合器断电，电秒表停止。电秒表记录的时间就是所测的钢球滚动下落时间。

钢球在光滑盛液标准管中自由下落和液体粘度有如下关系：

$$\mu = \tau (\rho_1 - \rho_2) C \quad (1-6)$$

式中 μ ——被测介质的绝对粘度，cP；

τ ——钢球下落时间，s；

ρ_1 ——钢球密度，g/cm³；

ρ_2 ——液体密度，g/cm³；

C ——粘度计常数。

C 值大小与标准管管径、管子倾斜角度、钢球直径有关。可由已知粘度值的液体测出。具体方法是：

(1) 用纯烃类液体或标准油料作为已知粘度的标准液体。表1—2中所列纯液体可作为标准液体。如没有纯液体时，可用不同比例的煤油和变压器来配制标准液，也常用不同浓度的甘油作标准液，但这些配制的标准液应先用毛细管粘度计或恩氏粘度计测出粘度值；

(2) 先确定一个标准管直径 D_1 和钢球直径 d_1 ，将已知粘度的标准液放入标准管中；

(3) 粘度计有四个固定测定角度(即标准管倾角或粘度计倾角 ϕ)，分别为75°、45°、30°和15°。先将粘度计固定在75°的测定角度；

(4) 启动粘度计测出钢球下落时间 τ_1 ，应用式(1—6)即可算出 C_{75} ，即在 D_1 、 d_1 和 $\phi = 75^\circ$ 时的粘度计常数；

(5) 分别使粘度计倾角 $\phi = 45^\circ$ 、 30° 、和 15° ，重复测定钢球下落时间，分别求得 D_1 、 d_1 时的粘度计常数 C_{45} 、 C_{30} 和 C_{15} ；

(6) 保持 D_1 不变，使钢球直径分别为 d_2 、 d_3 …… d_n ，重复(3)、(4)、(5)步骤，即求得 D_1 、 d_2 、 d_3 …… d_n 时的 C_{75} 、 C_{45} 、 C_{30} 、 C_{15} ；

(7) 改变标准管直径 D_1 为 D_2 ，重复(3)、(4)、(5)、(6)步骤，求得 D_2 、 d_1 、 d_2 …… d_n 时的 C_{75} 、 C_{45} 、 C_{30} 和 C_{15} ；

(8) 将以上数据整理成 $C = f(D, d, \phi)$ 标准图版，即可供测定流体粘度时使用。