

石油产品应用知识丛书

电器用油

李新森 编



626.3

烃加工出版社

内 容 提 要

《电器用油》属“石油产品应用知识丛书”类，它重点介绍了变压器用油、电力电容器用油、电缆用油、电开关用油、电器的基本类型、用油部位、油品分类、性能以及电场对油品老化的影响等，并简单介绍了各电业系统在贮存、管理、使用、再生方面的措施方法、可供电业系统、石化系统、供销部门有关科技人员、工人参阅。

石油产品应用知识丛书

电 器 用 油

李 新 森 编

★

烃加工出版社出版

北京京辉印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

★

787×1092 毫米 32 开本 2.5 印张 52 千字 印1—8,000

1988年8月北京第1版 1988年8月北京第1次印刷

ISBN 7-80043-044-8/TE·002 定价：0.75元

前 言

电器用油也称绝缘油，它包括变压器油、油开关油、电容器油和电缆油。它们主要用于变压器、油开关、电容器和电缆等电器产品，起绝缘、冷却、浸渍填充等作用。

电器设备用油最多的是变压器，其次是油开关。尚有消弧线圈、补偿器（大型电机启动用）、电抗器、电压和电流互感器等。由于变压器用油最多，所以在对绝缘油的要求上，往往以满足变压器的运行要求为主。但是一些专用的电器设备如电力电容器、电缆有其特殊的要求，油开关也有某些特殊要求。本书将对有关电器的分类、用途、结构、对绝缘油的要求、使用影响以及绝缘油的发展近况，生产过程分别加以叙述。

目 录

前 言

第一章	变压器及油开关的基本知识	(1)
第一节	变压器的分类	(2)
第二节	变压器的基本原理	(3)
第三节	电力变压器的构造	(5)
第四节	高压油开关简介	(10)
第二章	变压器油及开关油的性质及其对运行 的影响.....	(14)
第一节	主要物理性质的影响	(14)
第二节	主要化学性质的影响	(19)
第三节	主要的电气性能及其影响	(23)
第四节	变压器油运行中再生	(27)
第三章	电容器及其用油.....	(31)
第一节	电容器简介	(31)
第二节	纸质电容器及其浸渍处理	(33)
第三节	电容器对石油浸渍剂的要求及浸渍剂的发展 ...	(36)
第四章	电缆及其用油	(40)
第一节	电线电缆简介	(40)
第二节	电线电缆的分类及品种	(41)
第三节	油浸纸及纸包高压电缆的生产过程	(43)
第四节	电缆对电缆油浸渍剂的要求及电缆油的发展 ...	(45)
第五章	绝缘油的生产工艺.....	(58)
第一节	绝缘油的生产流程	(58)
第二节	绝缘油的精制	(62)

第三节 绝缘油的再生	(70)
附表: 1. 变压器油标准	(72)
2. 电容器油标准	(73)
3. 高压充油电缆油标准	(75)

第一章 变压器及油开关的基本知识

发电、变电、输电、配电和用电，组成了一个完整的电力生产系统。在这个系统中，能量的变换首先依靠发电机把机械能变为电能，其次通过升压变压器变为高压电能，然后通过输电线路把电送到远方去，再经过降压变压器变为低压电能，把电流送入用户的电动机或其他电器设备，使电能转为机械能、光能或热能，用于到工农业生产、交通运输业。

为什么现代远距离、大电流量的输电均采用高压输电呢？这是因为如果电压升高，输送的电流就可以减少，电压降低电流就必然增大。例如：某一电路具有5000W的功率，电压是100V，那末它的电流将是 $5000 \div 100 = 50\text{A}$ 。如果把这路电的电压由100V提高到1000V，而输出的功率不变，电流应为 $5000 \div 1000 = 5\text{A}$ 。承受5A 电流所用的导体要比承受50A 电流的导体细得多，因此，利用高压电来输送电流，可以减少输电线路铜线用量，同时还可以减少线路损耗和增加输电效率，既方便又经济。在电力系统中，这种把交流电压升高或降低的设备就叫变压器。

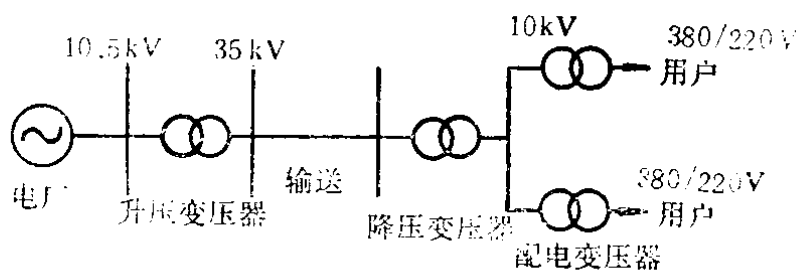


图 1-1 变压器在电力系统中的作用示意图

我国输电电压有10、35、60、110、220、330、500kV等级。变压器在配电系统中的作用见图1-1。

第一节 变压器的分类

变压器的应用范围十分广泛，它与我们的生产、生活有十分密切的关系，也可以说“没有变压器就用不上电”。由于变压器有这么广泛的用途，所以它的种类、结构也是多种多样的。变压器的分类方法大致如下：

(1) 按线圈的数目分：有双线圈变压器、三线圈变压器和多线圈变压器等。双线圈变压器是目前应用最多的一种。

(2) 按相数分：有单相变压器、三相变压器和多相变压器（如整流用六相变压器）等。

(3) 按电压变换的高低分：有升压变压器和降压变压器。

(4) 按冷却方式分：变压器运行时，由于能量损耗所产生的热量会使变压器温度升高，为防止变压器的绝缘老化而受损坏，对不同容量和结构的变压器应有不同的冷却方式，具体分为：

a. 干式变压器。这种变压器没有油箱、铁芯和线圈，用空气直接冷却。

b. 油浸式变压器。变压器的铁芯和线圈完全浸在变压器油里。根据变压器容量的大小，它又可分为：

自然油冷式——依靠油箱及油管散热，无其它措施。

油浸风冷式——油箱上或油管间装有风扇帮助散热。

强制油循环冷却——变压器油箱接有油泵及油冷却器，不断将热油吸出，经过油冷却器冷却后再把冷油送回变压器

油箱，如此不断循环提高散热能力。

(5) 按用途分：有下列几种变压器。

a. 电力变压器。这是工农业生产上广泛使用的大容量变压器，它是专为输电和配电用的。

b. 自耦变压器。这种变压器主要在较小范围内改变电压，既可作升压用，也可作降压用。降压自耦变压器主要作为感应电动机起动和同步电动机的起动补偿器使用。感应电动机起动时，巨大的起动电流可以由自耦变压器次级供给，而不直接从供电线路上取得，这样可以避免供电线路上的电压过多地降低。

c. 感应电压调整器。主要用于调整配电网中的电压。在照明和电力设备的混合供电线路上，当负载变化时，线路上的电压降也跟着变化，电压波动太大将影响电动机转矩、效率、照明灯光的稳定。如果在配电线路上设置感应电压调整器，就可以补偿由于负载变化而引起的电压波动影响。

d. 仪表用的互感器。它是一种高压电路内测量仪表用的变压器。高压电路上的电压或电流，不能直接测量，要通过电压互感器（又叫表用变压器）或电流互感器（又叫表用变流器）来进行。这类变压器的用途虽和电力变压器不同，但作用原理，结构是一样的。

e. 专用变压器。电焊、电炉、水银整流器用的变压器，以及进行各种电气试验和医疗设备用的变压器都属于这一类。

变压器的类型虽多，但基本原理都是一样的。

第二节 变压器的基本原理

变压器的工作原理是基于电磁感应定律。当导线处在变

动的磁场中时，导线的两端就会感应出电动势，这种现象就是电磁感应。图1-2所示是变压器的原理图。

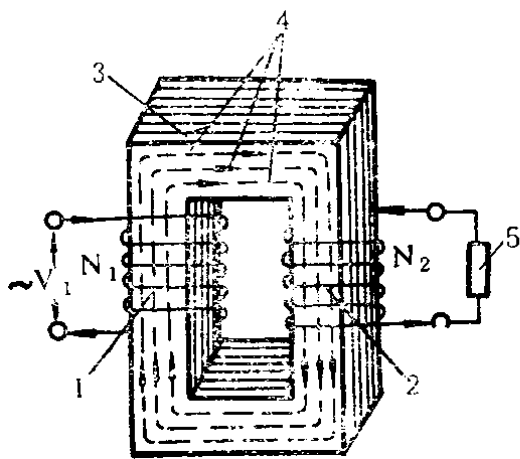


图 1-2 变压器原理图
1—原绕组；2—副绕组；3—铁
芯；4—交变磁通 Φ ；5—负载

在一个闭合回路的铁芯 3 上，绕有原线圈1和副线圈2，这两个线圈匝数通常是不相等的。如果副线圈不接上负载，而将原线圈接到电压为 U_1 的交流电上，那么就有交流电流过原线圈，交流电流过线圈后就产生了磁通量，在铁芯中就会产生交变的磁通量 Φ ，交变磁通量 Φ 与原、副线圈都同时相磁链。由于交变磁通量 Φ 是随时间而变化的，所以在

二个线圈中就分别感应出瞬时电动势 e_1 和 e_2 。感应电动势数值的大小与线圈的匝数 N 和磁通量随时间变化的速率成正比。假设在 t_1 时间的磁通量为 Φ_1 ，到时间 t_2 时的磁通量为 Φ_2 ，那末在时间差 $t_2 - t_1 = \Delta t$ 这一短时间内磁通量的变化为 $\Phi_2 - \Phi_1 = \Delta\Phi$ ，因此磁通量变化的平均速率可以表达为 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ ，于是在该时间内感应电动势的平均值 E 可用下式求得：

$$E_p = N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

所以原线圈感应电动势的平均值为：

$$E_{1p} = N_1 \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

副线圈感应电动势的平均值：

$$E_{2p} = N_2 \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

由于 $N_1 \neq N_2$ ，所以 $E_{1p} \neq E_{2p}$

如果将副线圈接上负载，则在感应电动势 E_{2p} 的作用下，沿着副线圈和负载所组成的回路内就有电流通过，这时原线圈便从电源中吸取电能，并通过电磁感应将能量传递给副线圈，再由副线圈供给负载，这就是变压器的工作原理。

第三节 电力变压器的构造

电力变压器是输电配电用的变压器，与变压器油密切相关。电力变压器的主要构件是：铁芯、线圈、油箱、油枕、呼吸器、绝缘套管、散热管等。三相电力变压器的结构示意图及剖视图见图1-3、1-4。

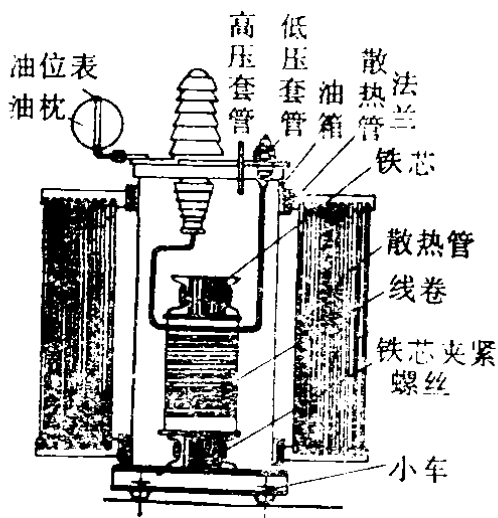


图 1-3 三相电力变压器的结构示意图

注：一般小配电变压器没有散热管、油枕、小车等部件

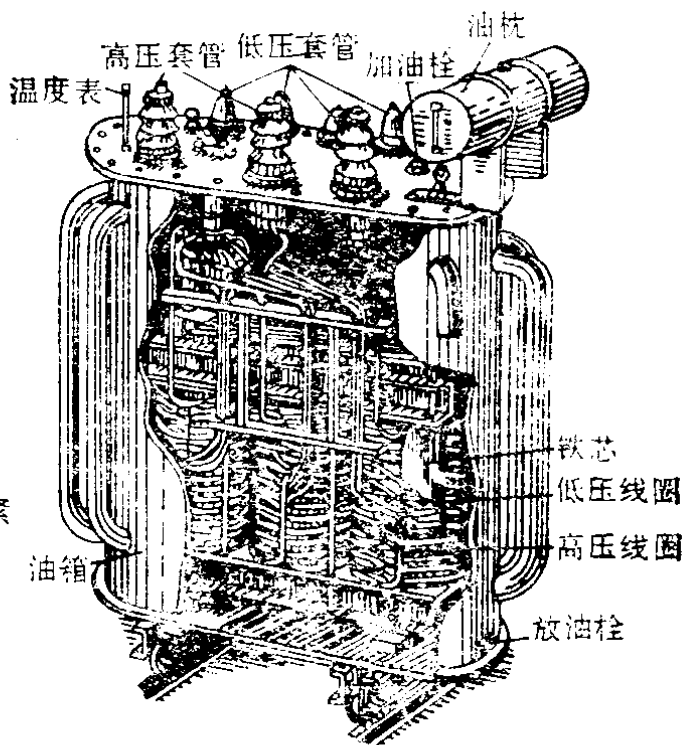


图 1-4 三相电力变压器的内部剖视图

(1) 铁芯。铁芯是变压器最基本的构成部分之一，变压器的原线圈和副线圈都绕在铁芯上，二个线圈不相接触，但原边和副边任何一边接上电源以后，通过电磁感应的关系使另一线圈也有了电，变压器就是根据这种基本原理制造出来的。硅钢是一种很好的导磁材料，由硅钢制成的铁芯是变压器磁通的最好通路，我们把它叫磁路。但是用大块硅钢做铁芯，它能在铁芯内部感应出一种涡流电流，促使铁芯发热，温度升高，还可能因温度过高把变压器烧坏，因此，变压器的铁芯都是用很薄的硅钢片迭成的。每层硅钢片的厚度只有 $0.35\sim 0.5\text{mm}$ ，每一硅钢片都涂上一层绝缘漆。绝缘漆可以挡住涡流，把涡流限制在硅钢片内。所以这种结构的铁芯既有很高的导磁能力，又限制了涡流，使涡流损失大大降低。

硅钢片迭放起来，使铁芯形成闭合的磁路，铁芯装配好后外形很象门框，其水平部分叫轭，装着线圈的垂直部分叫铁芯柱。

铁芯的各层硅钢片用双头螺栓夹紧，并用绝缘纸或薄片纤维板包裹起来，以避免硅钢片与螺栓接触。

(2) 线圈（即绕组）。在一个变压器内有原线圈及副线圈。联接电源吸取能量的线圈叫原线圈，也叫原边。输出能量给负载的线圈叫副线圈，也叫副边。变压器原、副两边的电压是不相等的。副边电压大于原边的叫升压变压器，副边电压低于原边电压的就叫降压变压器。有时把电压高的一边称为高压线圈，电压低的一边称为低压线圈。

线圈用扁铜和铝线或圆铜和铝线绕组而成。铜铝线的外面一般用电缆纸绝缘，小型变压器也用纱包铜线。线圈分为筒形和盘形两类，一般小型电力变压器基本上都是筒形线圈。

筒形线圈有单层、双层、多层三种。多层之间用衬条把每层隔开，形成间隙。变压器在运行时线圈由于电能损失而产生的热量，可以被变压器油从这些间隙中带走。

（3）油箱。油箱就是变压器的外壳，用钢板制成。里面除了装置铁芯、线圈等部件外，还有变压器油。铁芯、线圈都浸在变压器油里。为什么铁芯和线圈都要浸没在变压器油里呢？前面已大致讲过，因为变压器工作时，电流通过线圈由于电阻的缘故要消耗一部分能量，这部分消耗叫铜耗。另外变压器铁芯虽然选用了硅钢片作铁芯材料，涡流因而减少，但它还是存在，因而也要消耗一部分能量，这部分消耗叫做铁耗。铜耗和铁耗都要产生一定的热量，这些热量都需散发出去，否则铁芯和线圈温度就会上升，要烧坏线圈绝缘。此外，线圈导体的电阻随温度升高而增大，温度愈高铜耗也愈大，因此为了使变压器运行效率高，应尽可能降低它的温度。

小型变压器的热量是靠铁芯和线圈四周空气的自然对流把热量带走，而较大型的电力变压器（电压110kV以上）均需要用油来冷却。变压器油具有良好的绝缘性能，它不仅可以冷却线圈和铁芯，同时还有增强各层线圈之间，线圈与铁芯之间绝缘性能的作用。

（4）油枕、呼吸器及防爆管。油枕也叫储油柜，它位于变压器的顶盖上，是一个圆桶形的东西，用连接管与变压器的顶盖相连接。见图1-5。

变压器在运行中负载变化时，温度也随之变化，油的体积就会发生热胀冷缩的变化。当体积膨胀时油箱里的空气向外排出，而体积收缩时又吸入外面的空气，这种现象叫做变压器的呼吸。

吸入的空气中含有氧及水分，因而会使油氧化变质加快，在较大型的变压器中，这种氧化和受潮特别严重，因此

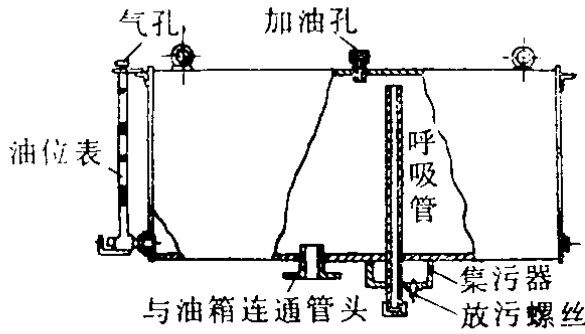


图 1-5 油枕的构造图

普遍采用在油箱上装上油枕的方法，以减少变压器油与空气的接触面。油面下降时油枕里的油就流入油箱，使油箱里的油始终是满满的。油温上升体积膨胀时，过多的油进入油枕，因此，油枕里的油不能灌满，要为油面上升时留有余地。

为了进一步防止油枕里变压器油与空气接触，近年来在油枕的上部空间采用充氮的方法，使变压器油与化学性能比较稳定的氮气相接触，改善了油被氧化的条件，如下图 1-6所示。

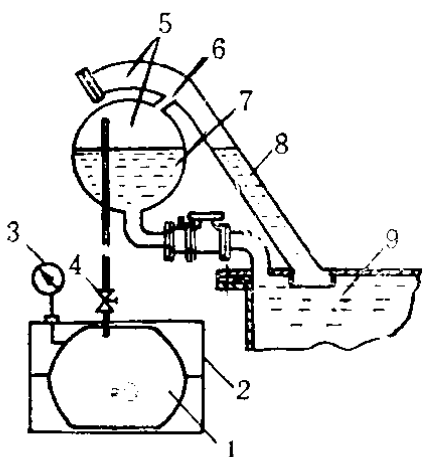


图 1-6 变压器充氮示意图

- 1—氮气袋；2—气袋保护柜；
- 3—气压表；4—截止阀；5—充氮空间；6—连通管；7—油枕；
- 8—防爆管；9—变压器

在变压器近旁放置一只气袋保护柜—2，气柜内氮气袋—1与油枕的上部空间相连通，使油枕上部空间充满氮气，气袋内具有 0.05~0.1kg 的压力。根据充氮变压器长期运行经验证实，它的

油质保护效果比较好。

目前在油枕中还广泛采用丁氰、氯醇胶与尼龙布复合制

成的胶囊气袋密封方法，使变压器油与空气隔绝，延长油的使用寿命并且取得了很好的效果。这种方法是在油枕中放置一只与油枕尺寸相仿的胶囊气袋，囊内通大气，囊外与变压器油相接触，囊的下部浮在油枕的油面上。当油面升高时囊内受压将空气排出，当油面下降时囊内便自行吸气使压力保持平衡，胶囊便起了油与大气的隔膜作用。

防爆管是变压器顶盖上一根喇叭形的管子，管口用膜片封住，它的作用是保护变压器。见图1-7。

当变压器内部发生故障，温度升高时，变压器油会剧烈分解产生大量裂解气体，致使箱内压力增加，油箱可能爆破。防爆管就是当油箱内压力增大时，（一般 $0.5\text{kg}/\text{cm}^2$ ）防爆管口薄质玻璃或铝箔膜片首先破碎，油及气体可由防爆管喷出，这样就保护了整个变压器。

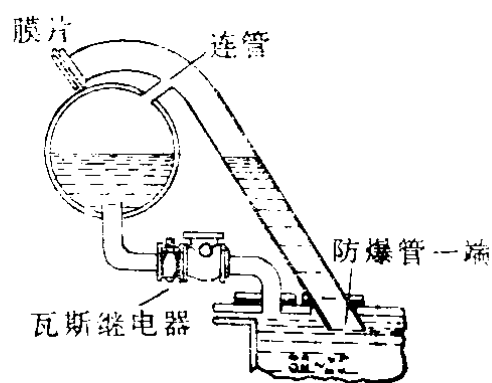


图 1-7 防爆管

小型变压器一般都没有油枕、防爆管，我国生产的变压器100kVA以上才装有油枕，1000kVA以上才装有防爆管。

（5）绝缘瓷套管。因为变压器的油箱是接地的，所以变压器的线圈与电网负载的联接在穿过油箱的箱盖或箱壁时，必须采用绝缘的瓷套管进行绝缘。套管的大小和形状根据电压高低而定。通常分为瓷质实芯式、瓷质充气式、瓷质充油式和电容式充油瓷套管等类型。一般500V~10kV等级的变压器，由于电压较低，常采用构造简单的、绝缘强度较低的瓷质实芯式套管。35kV等级变压器，采用瓷质充气式或瓷质充油式套管。110kV~220kV等级变压器则采用内部附有串

联电容器的充油套管，因为串联电容后使管内电场趋于均匀分布，从而提高了套管的绝缘强度。

(6) 其它。在油箱与油枕之间的连接管道中设有瓦斯继电器，当变压器发生故障产生气体时，瓦斯继电器可把电源切断，以保护变压器。在电力变压器中另外还设有测量变压器油层温度的温度计以及击穿保险器等附设部件。

第四节 高压油开关简介

高压油开关又称高压断路器，是配电装置中重要的电器设备。它可以在正常送电时带负荷切断或接通电路，并在发生短路时能自动切断短路电流。

高压油开关在切断有电流的电路时，当开关内的触头分离瞬间，在静触头和动触头的空隙之间产生电弧。电压愈高，电流愈大，产生的电弧也愈强。

电弧的温度极高，可达 3000°C 以上，因此造成严重烧损导电部件和烧毁绝缘子的后果，威胁全部电气设备的安全。

为了熄灭电弧，在高压开关中装有灭弧物质，使电流容易切断。这种灭弧物质叫开关油，即高压开关油。充油的高压开关，通常就叫高压油开关。

开关油是从石油中提炼出来的，为什么选用石油产品作为灭弧物质呢？因为石油在电弧高温作用下很容易分解气化，在灭弧区形成充气的空间，这个空间也可以叫做“气泡”。“气泡”内含有70%以上来自石油中的氢气，氢气的导热性和绝缘强度都比空气大好几倍，对熄灭电弧是极有利的。再之，石油来源丰富，因此世界各国选用石油产品作为灭弧物质的较多。

高压油开关分多油式及少油式二种。多油式开关中的油

不仅作为灭弧用，还用来使载流部分互相绝缘，并与接地箱绝缘。少油式开关中的油只用来灭弧，而载流部分的绝缘则利用空气和陶质绝缘子完成。因此多油式开关与少油式开关自身重量及需用油量相差是十分悬殊的。可以从下表 1-1 二种典型的开关技术规范中看出，少油式开关将逐步替代多油式开关。

表 1-1 多油式和少油式开关比较

油开关主要技术规范	多油式 DW ₁ -35型	少油式 SN ₁ -10型
额定电压,kV	35	10
额定电流,A	600	400
油开关净重,kg	965	150
需油重量,kg	300	5

下面通过SN₁-10型少油式开关结构介绍，进一步了解油在开关中的作用。

图1-8所示，SN₁-10 型开关通过插座式固定触头—12，可动触头—13，经过绝缘胶木导管—15，上下移动使开关断开和接通。母线接到油箱底部接线头—20上，因此整个油箱带电。

开关主油箱—1 焊接着方形的后备油箱—6，并通过小球形阀门—5 与主油箱连通，两边油箱油面相同。油箱另设有放油塞—4 及加油塞—10。油箱—1 里面用绝缘胶木筒—2、3来绝缘，并用来固定灭弧室—11。灭弧室由一排绝缘片和一排纤维片错迭而成。灭弧室下面部分的各片之间有三条横沟，分为上、中、下，经过纵沟—16通入主油箱—1 的上部分。当开关通路时，可动触头—13正好塞住横沟的孔。主油箱—1 还焊着小钢箱—7 放置在后备油箱—6 里面，并与

油箱—1 连通。当油箱中充满油时，小钢箱—7 内还有一个空气缓冲空间。

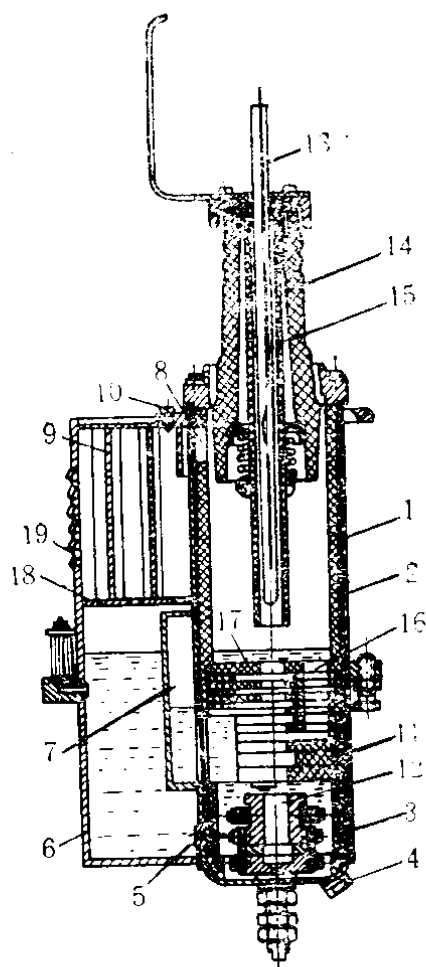


图 1-8 SN₁-10少油式户内开关图

1—主油箱；2、3—绝缘胶木筒；4—放油塞；5—球形阀门；6—后备油箱；7—小钢筒；8—孔；9—迷路式油气分离器；10—注油塞；11—灭弧室；12—插座式固定触头；13—可动触头；14—套管瓷瓶；15—绝缘管；16—纵沟；17—灭弧室上部袋口；18—小孔；19—出气孔；20—接线螺丝

灭弧过程如下：在开关断开过程中，可动触头—13向上移动，在触头断开瞬间电弧产生，开关油受电弧作用分解大量气体，因此油箱内压力升高，迫使一部分油进入小油箱—7，并使其中空气压缩。触头—13继续移动时，灭弧室内横沟依次开放，使油沟中的气体和油蒸气横向吹动上面的电弧使之