

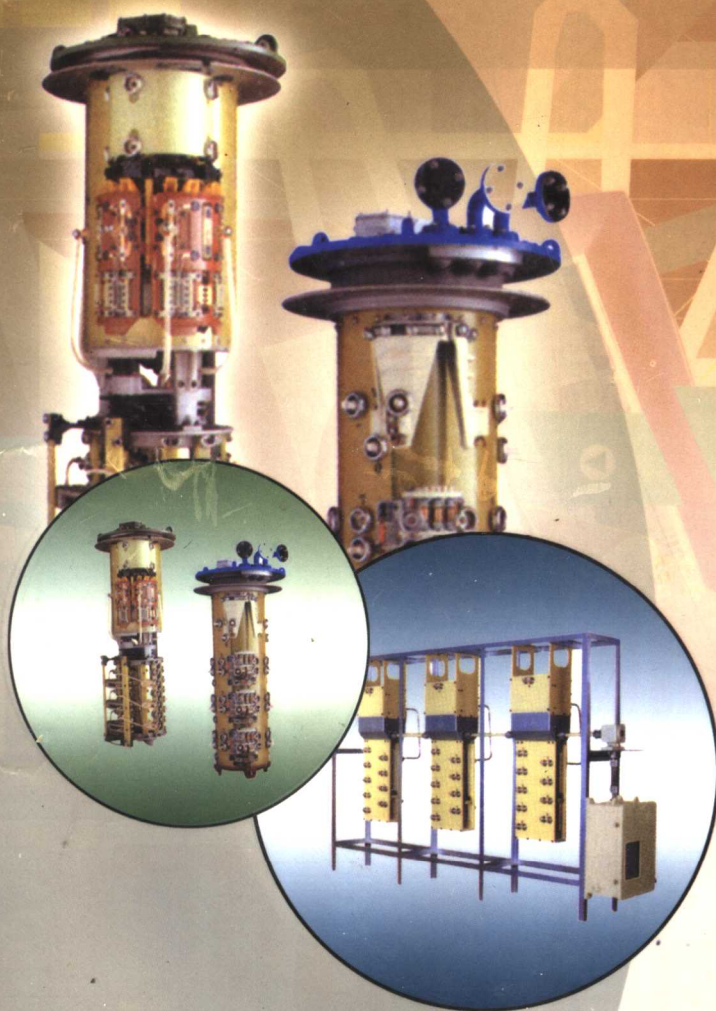
29241

YOUZAIFENJIEKAIGUAN DE YINGYONG

冯仲民 编著

有载分接开关 的应用

选型、安装、运行、维护检修、常见故障分析



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

4.2

41

有载分接开关 的应用

选型、安装、运行、维护检修、常见故障分析

冯仲民 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书通过有载分接开关在变压器上使用的实践中提出的问题，着重于讲述如何正确地应用分接开关，涉及在电力、工业变压器上所配分接开关的选型、安装、维护与检修、运行以及常见故障的诊断与事故应急处理的方法，阐述了从应用的角度如何提高分接开关的长期使用可靠性。

本书可以作为变压器的设计、工艺人员的参考书，也可以作为变压器运行、试验、维护与检修人员的培训教材，同时可以供分接开关的设计、销售以及服务人员参考。书中的每一部分独立成章，可以按需要选读，各章之间又相呼应，通读全书对分接开关的应用可以有一个全面的了解。

图书在版编目 (CIP) 数据

有载分接开关的应用选型、安装、运行、维护检修、常见故障分析/冯仲民编著. —北京: 中国电力出版社, 2003

ISBN 7-5083-1785-8

I. 有... II. 冯... III. 负荷开关: 分接开关-基本知识 IV. TM564.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 088231 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京密云红光印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2004 年 2 月第一版 2004 年 2 月北京第一次印刷

787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 13.5 印张 303 千字

印数 0001—4000 册 定价 22.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

前言

一台变压器的使用寿命少则 20 年，多则 30~35 年，在这么长的时间内如何保证运行的可靠性？涉及的因素很多。有载分接开关是变压器在运行中唯一的带电操作的组件，通过它在不中断变压器负载的条件下，进行分接变换的操作，来改变变压器的匝数比。因此，分接开关能否满足变压器长时期的运行可靠性，直接影响到变压器的使用可靠性。这始终是使用部门关心的问题，也是分接开关制造厂追求的目标。

分接开关用于负载下改变变压器的匝数比已有 70 多年的历史，我国制造、使用有载分接开关的起步早在 20 世纪 50 年代末，但始终没形成规模，一直到 70 年代末 80 年代初，才开始广泛地使用分接开关，发展到今天也不过 20 来年的时间。随着电力工业的发展，现在的电网系统容量更大、电压更高，同时对用电的质量要求也更高，需要对输变电设备作出最佳的控制。因此在所有的电压等级下，不论是配电变压器，还是中型大型容量变压器上，采用有载调压变压器的数量不断增加，尤其是近几年以城网及农网改造为标志的电力工业进入了一个更快的发展阶段，分接开关的应用更为广泛，有载调压变压器（见图 0-1）已成了电网上的主要设备。

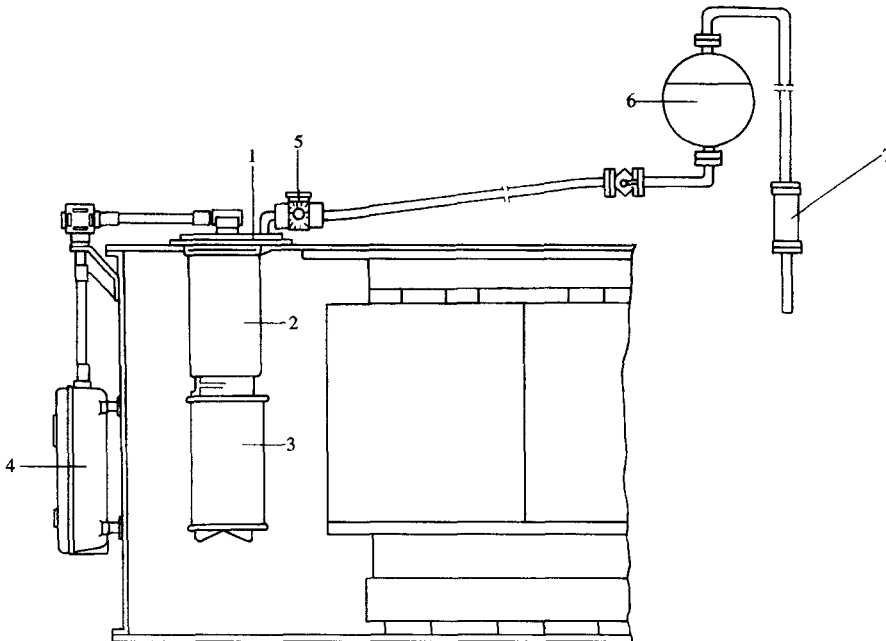


图 0-1 有载调压变压器结构示意图

- 1—分接开关头部；2—组合式分接开关的切换开关；3—组合式分接开关的选择器；
4—电动操动机构；5—油流继电器（保护）；6—油枕；7—去湿呼吸器

在工业国家 10MVA 及以上的变压器 90% 以上都配有有载分接开关，长期运行的经验证明，在电力变压器上使用的分接开关不仅有与变压器相同的使用寿命，而且具有长期使用的很高的可靠性，当然这一结论只适用于那些设计精良的以及在制造中质量能得到严格的控制，同时在运行中得到合适的维护、检修的分接开关。

我国分接开关的制造业与电力工业同步发展，应用的需求促进了制造业的发展。以我国第一家分接开关专业生产厂的出现——遵义长征电器一厂为标志，进入了快速发展的时期，从 70 年代初开始生产 10kV、35kV 用于配电变压器的简易型的分接开关起步，到 80 年代初按仿制生产的 M 及 V 型分接开关出厂投入运行。经过不断的实践、认识，仿制的产品可以做到“形似”，但要在短短的时间做到“神似”达到国外先进水平，仅是一个美好的愿望。在实践的基础上再引进国外的先进技术，当时好多人看来是一种浪费，现在回过头来想一想，这笔学费交得值得。引进的不仅仅是先进的制造技术，而同时引进了先进的制造理念。高的技术参数固然重要，但如何使得制造出来的分接开关能够长期可靠地运行更为重要。没有后面的这一条，前面所说的只是空中楼阁。而要做到这一点就必须改变已成习惯的思维方式和制造工艺。在引进技术的图纸、文件的消化上没花多少时间，但在“习惯”的改变上至今还需要一定的时间，这也正是我们与国外先进水平还有一定的差距的主要原因。在这个认识的基础上再实践，在已大大缩短了与国外先进水平的基础上，达到国外的先进水平应该为期不远了。长征电器一厂是我国唯一一家引进德国 MR 公司制造的 M、MS、V、T 型分接开关的技术的厂家。至今按引进技术生产的 ZY1 (A) (同 M 型)、FY30 (同 V 型) 已达 7000 多台，运行在 35kV 至 500kV 电压等级的变压器上。如果算上原来仿制的产品，产品在系统运行至今最长时间已有 20 年了。

笔者从 1978 年开始从事分接开关的试验与对外的技术服务工作至今，近 20 多年来，可以说见证了我国分接开关的制造、使用的高速发展时期。在与分接开关用户的接触过程中，同样也碰到了许多使用中的问题，例如在变压器的设计中如何确定所配的分接开关？在变压器上如何正确地安装分接开关？运行中应该注意那些问题？如何做好维护检修工作？以及在运行中的一些常见故障的判断与处理方法等等。本人在处理这些问题的过程中有成功的经验也有失败的教训，同时，也了解到使用者缺乏分接开关那方面的知识及迫切需要解决的问题，制造厂与用户应该是相辅相成的。所以用文字进行总结，应该说是一件很有意义的事情，但没想到会以写书的形式出版。承蒙中国电力出版社张运东先生一再促成，接下了这一任务。虽然平时在工作中也零零碎碎地写了点东西，但大部分属于一些简单的思考，要变成可以供人阅读的书，距离还是比较远的。在完成拙作的过程中，每每苦于文字表达能力的缺乏，好几次想搁笔，不知怎么又拿了起来，自然按计划的完成时间是一拖再拖了。不知能否不辱使命，心中无数。如果该书的出版能引起业内人士对分接开关使用问题的关注，也就是我写这本书的目的达到了。有些观点属一家之言，本人不想争论是否，但欢迎讨论。

编著者

2003.9.15

目 录

前言

第一章 有载分接开关的选型	1
第一节 国内使用分接开关的概况	2
第二节 两种不同结构型式的分接开关	8
第三节 分接开关的主要性能参数的确定	15
第四节 工业变压器上用的分接开关的选择	43
第五节 分接开关的安装结构选择	53
第六节 在选用分接开关中的几个特殊问题	64
第二章 有载分接开关的安装及检查	69
第一节 分接开关在变压器上的安装与检查	69
第二节 现场保管以及变压器就位后的检查	87
第三节 交接与投运前的检查	92
第三章 有载分接开关的维护检修	95
第一节 分接开关的维护	96
第二节 分接开关的检修	99
第三节 工业变压器上使用的分接开关的维护检修对策	119
第四节 检修实例	121
第四章 有载分接开关常见故障的判断及处理	169
第一节 分接开关本体的常见故障与判断及处理	169
第二节 电动操动机构的故障及处理	181
第三节 与制造厂的联系和专业培训	186
第五章 DL/T 574—1995《有载分接开关运行维修导则》	
执行中的几个问题	188
附表 1 有载分接开关的试验项目周期和标准	204
附表 2 有载分接开关常见故障及其排除方法	205
参考文献	208

第一章 有载分接开关的选型

有载分接开关（以下简称分接开关）早已按标准化生产了，现有的各种分接开关基本上可以满足各种各样的变压器的需要，因此变压器的设计人员只需要根据所配变压器的要求去选用合适的分接开关。选用的分接开关，必须满足所配变压器的性能参数、规范以及使用场合的要求。因此《有载分接开关应用导则》GB/T 10584—1989 指出，“装配好的分接开关与变压器配套是否符合要求，应由变压器制造者负责。”显然选用分接开关，应该是变压器设计者的工作，并对选择负责。现在流行由用户自己指定所使用的分接开关带来了不少弊病，不利于变压器设计水平的提高。对一个产品来说，总体水平的提高有待于各个部分的合理的配置，突出任何一部分都是无济于事的。从近几年的变压器事故统计来看，变压器本体出现的问题远远地超出由于分接开关造成的变压器事故。这就提出了这样一个问题：如何合理使用有限的资金，在这个前提下最大限度地提高变压器整体的水平。现在变压器的价格按业内人士说基本上利润空间很小，有的甚至要赔本生产，但又要盲目地采用进口组件，同类型的分接开关进口产品与国产产品价格比为 2~3 倍，有的高达 4 倍。如变压器的价格不变，进口的分接开关将在 110kV 变压器上占其他总的材料成本的 40%~50%，在这种情况下如何保证变压器的总体水平的提高？保证质量是很难想像的。我们不是说不要用进口开关，这在当今的形势下是毫无意义的，问题是要用有限的钱发挥最大的效益。

变压器从它的负载的特点来分，可以分为两大类：一类是供电力系统作输变电、配电用的，称为电力变压器；另外一类是作为冶金、化工等行业加工工艺上用的，如炼钢用的电弧炉变压器、化工用整流变压器等，被称为工业变压器。这二类变压器都需配用分接开关，在变压器不中断负载电流的情况下改变变压器的匝数比。负载对这二类的变压器的要求不一样，所以在选用所配的分接开关时也不同。作为电力变压器上所用的分接开关，在选择时只需本着恰好满足变压器运行和试验的要求，就可达到最佳的技术和经济效果，通常不必要对所选用的分接开关在技术性能参数上加保险系数，增加裕度。作为工业变压器上所用的分接开关，大多数的情况下，在选择时应选择高一等级的切换容量的分接开关，增加一定的裕度，才能达到最佳的技术和经济效果。

在选择分接开关时，必须知道所配变压器的下述的主要参数：

变压器种类，如用于电网还是发电机侧输电；对于工业变压器，是用于电弧炉还是其他的电炉；变压器是否是作为整流变压器使用。

变压器的额定容量，包括是恒容量运行，还是从某一分接至某一分接是降容量运行。

过负载的情况，尤其是在超过标准的情况下尤其要注明，过负载的倍数以及持续时间。

变压器的额定电压以及调压范围，调压范围用额定电压的 $\pm\%$ 表示。

变压器的设备最高电压，包括绕组的线端以及调压绕组对地（相间）电压，在运行中的最高电压以及高压试验时可能出现的最高电压强度。

选用粗细调压时说明粗调绕组与细调绕组之间的漏抗值。

高压试验时调压绕组各部位的电压强度包括：工作分接与预选分接之间、细调绕组的始末端、不同相的细调绕组之间、不同相的粗细调压绕组之间、粗调绕组始末端之间冲击电压 $1.2/50\mu\text{s}$ 的耐受值以及工频电压 $1\text{min}50\text{Hz}$ 的耐受值。

提供调压绕组的接线方式的草图，以明确是用于三相 D 接绕组上还是 Y 连接绕组上（或者是单相）的中部还是线端或中性点。

以上这些数据有助于分接开关制造厂对用户所选用的分接开关是否符合所配变压器的需要进行校对，以便向用户提供最佳的选择方案的建议。

在某些特殊的使用场合还需核算分接开关的下列参数：切换开关的切换容量、瞬时过载的要求、允许承受的短路电流以及触头的使用寿命。

根据以上的变压器的参数基本上就可以确定所需分接开关的主要参数：分接开关的设备最高电压以及内部绝缘水平（选择器的绝缘尺寸）；分接开关的最大额定通过电流级电压；分接开关所采用的基本连接图；确定分接开关的相数接法，另外根据变压器的结构设计要求，选择合适的分接开关的安装结构。

下面我们按电力变压器与工业变压器二大类型，具体讨论如何正确地选择分接开关。

第一节 国内使用分接开关的概况

有载分接开关能够在不中断负载的情况下，进行分接变换的操作有二种基本的形式，可以它变换采用的过渡方式来命名，即电抗式的分接开关与电阻式的分接开关。这二种类型的分接开关经长期的发展，一直沿用至今，经实践证明都有很高的长期运行可靠性，从性能上来讲各有特色。电抗式的分接开关按结构型式来分有如下三种类型：

——由切换开关与分接选择器二部分组合而成一体的组合式有载分接开关，如图 1-1 (b) 所示。

——选择、切换由同一触头组来完成的复合式有载分接开关，如图 1-1 (a) 所示。

——由真空触点承担切换任务的真空组合式有载分接开关，如图 1-1 (c) 所示。

对图 1-1 所示的电抗式分接开关，它的电抗器是按长期通电设计的，所以在相同的变压器分接位置数下，它在调压绕组上的抽头数只需一半。这是由于当分接开关同时接通二个相邻的分接时，也可以作为一个工作位置。同时不用担心由于分接变换失败，造成过渡电抗器长期接通而烧毁的情况出现，因此具有很高的可靠性，相对来讲，对机械运转的可靠性依赖的程度却不是很高。与电阻式的分接开关相比，它是一个慢速的切换过程，机械上的可靠性较容易满足。由于采用电抗器作为过渡部件，因此分接开关的体积比较大，另外触头的烧损与油的碳化也比较严重。随着真空触点的制造技术的发展，真空触点被用于切换开关上作为电弧触头，触头烧损问题也相应地解决了。在大容量高电压的变压器上，受到运输条件的限制，使得体积比较大的电抗式的分接开关的使用也受到了制约。随着电

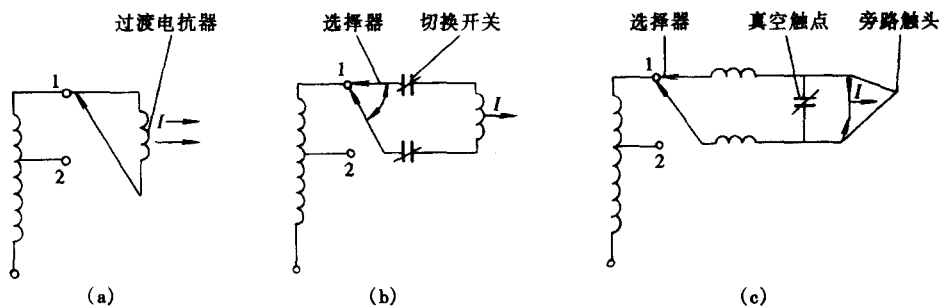


图 1-1 电抗式分接开关原理图

阻式分接开关的长期使用可靠性的不断提高，使得使用电抗式分接开关仅限于少数几个国家，主要在美国、前苏联的部分地区，加拿大的少部分地区，日本以前也曾使用过。除了以上这些国家之外，世界上绝大部分的国家都采用电阻过渡、高速转换的分接开关。我国的情况也是这样，所以本文所涉及的有载分接开关，如不作特殊的说明均指的是用于油浸式变压器的电阻式的分接开关。近些年，由于干式变压器被大量地用作配电变压器，随之而产生的一种用真空触点的空气绝缘的分接开关发展也比较快，主要用于 35kV 及以下的干式配电变压器上。

我国使用的分接开关，一部分是国内生产的。我国分接开关的制造起步很早，早在 20 世纪的 50 年代就开始制造分接开关。但真正地形成规模批量的生产，是从 20 世纪 70 年代始，以我国第一家分接开关的专业生产厂——遵义长征电器一厂的出现为标志，至今已形成了一个行业。该厂从开始生产我国自行研制的简易型的 10kV、35kV 分接开关起步，然后仿制生产 MR 公司的 M、V 型分接开关，1983 年与德国 MR 公司签订了引进 M、V、T 分接开关的制造技术，开始按引进技术制造 M、V 型分接开关，相应的型号为 ZY1A 与 FY30。至今这二个系列的分接开关在系统上运行的有近 7000 台，分接开关运行的最长时间近 20 年。年产量从开始的 10~20 台，到至今已具有每年生产 1000 台的生产能力。引进技术的结果，使得我国生产的分接开关的技术性能，尤其在产品质量上与国外先进水平相比，差距大大地缩短了。我国早期生产的 SYXZ 型以及 C、D 型分接开关从前些年开始已逐步地退出了市场。

另外这些年还出现了其他的一些分接开关的制造厂，它们生产同类型的产品，其中以上海华明开关厂为代表，“华明”的出现使得我国分接开关的制造形成了竞争的格局。有竞争才会有发展，今天毋庸置疑的事实是无论从分接开关的品种，还是产量（销量）上，“华明”都跃居行业的第一，除了生产 CV、CM 型分接开关之外，该厂还根据实际的需要，自行研制生产了 SHZ、SHF 型分接开关。

这些型号的分接开关的设备最高电压为 12.5~245kV，单台的三相分接开关最大额定通过电流为 100~600A，切换容量为 30~1500kVA，最大级电压为 300~3300V，有三角形接线也有星形接线的；单相的最大额定通过电流高达 1800A，切换容量最高达 4200kVA，可用于任意接法；最大的分接位置数线性调为 18 个，粗/细、正反调为 35 个，包括复合式与组合式的分接开关。安装型式都为埋入式的，有箱顶式与钟罩式两种安装方式。二个

系列的分接开关分别配 DCJ10、DCJ30 电动操动机构，基本上可以满足配电变压器、中型及部分大型变压器的需要，还有一部分用在中、小型的工业变压器上。我国第一条 500kV 全国产设备的输电线路用的就是 ZY1 型的分接开关，从 1984 年一直运行至今。

以遵义长征电器一厂为例，国产的分接开关生产分二个阶段，第一阶段为 1990 年以前，生产仿制的 M、V 型开关，总体的评价是问题比较多，在运行中出现故障的比例也比较高。主要的问题有以下几方面：

电动操作机构上的故障占分接开关的故障的 80%，主要问题：操动机构的密封失效，齿轮机构渗油以至锈蚀；连动即逐级控制失效；两端点位置的限位失灵等等。分接开关本体存在的故障占分接开关故障的 20%。主要问题：油室的密封失效；紧固件松动以至引起触头的跌落；绝缘筒分层起泡甚至产生变形造成接触恶化；选择器的动触头合不到位，选择器变形等等。这些问题从制造上来讲，一是元器件及材料的选择上出现了问题，二是加工（包括热处理）的精度从工艺手段上不能满足设计的要求。从产品的外形上来看，虽然仿造得很像，某些方面甚至比样机还要漂亮，实际上只解决了形似的问题，对如何保证分接开关的长期使用可靠性，却缺乏足够的认识。同时作为分接开关的使用部门，从分接开关少量地在变压器上使用到大量地在变压器上使用，在安装工艺上得不到保证，缺乏成熟的安装工艺，维护检修的水平也跟不上等，使用上也出现了不少的问题。这就在一定的程度上影响了用户使用分接开关的积极性，尤其是对使用国产的分接开关。

分接开关制造的第二阶段为 1990 年开始至今，在仿制产品的经验教训的基础上，吸收消化引进技术后生产的分接开关。虽然从外形结构上看变化不大，但选用的材料及元器件、加工的工艺手段、装配检测上都有了质的飞跃。尤其在对分接开关的长期运行可靠性，有了深刻的感性的认识，有了如何提高长期运行可靠性的理性认识，跨过了产品从形似走向神似的关键一步，跨过了从仿造到制造的门槛，使得产品的质量有了质的飞跃，可靠性提高，事故率下降。可以这么讲，经过 20 年的发展和 20 年使用的检验，按引进技术生产的有载分接开关完全可以满足大部分的电力变压器的需要和运行的要求。

除了国内制造的分接开关之外，还有很大一部分是进口产品，其中包括国内能够生产的产品，进口产品仍占很大一部分。进口开关有以下几个公司的产品：

德国 MR 公司生产的分接开关。该公司是世界上最早的专业有载分接开关制造厂，有 70 多年的分接开关的制造历史。它生产的产品 80% 供出口，是世界上主要的分接开关供应商。MR 公司有自己的试验和研发机构，使得该公司的产品，无论从规格型号以及数量上来讲，还是从质量上来讲，都处于世界的领先地位。生产的分接开关以长期可靠性高、使用方便与维护检修工作量少为特点。当然在价格上也是最贵的，是国内同类产品的 3~4 倍。MR 公司的产品主要有复合式的 A、V、H 型分接开关、组合式的 MS、M、R（早期的 T 型）RM 与 G 型分接开关。在我国使用的最多的是 M、V 型有载分接开关。

该公司近几年向市场推出了复合式的、用真空泡代替电弧触头、油绝缘的 VV 型真空有载分接开关。用真空泡来代替电弧触头，使得在分接变换的过程中触头在油中没有电弧的产生，也没油的污染。显著地减少了维护检修的工作量，也不用更换触头与油，据称在电力变压器的寿命内只需 2 次检修，动作原理如图 1-2 所示。在静止状态下电流从机械触

头 MTS 到真空泡 MSV，经输出触头 STS 输出。在从分接 1 到 2 的过程中，TTS 先从分接位置 1 脱开，接着过渡支路上的真空泡 TTV 断开，TTS 接通分接 2，接着真空泡 TTV 闭合。这时“1”“2”分接同时接通，有一循环电流经过过渡电阻 R 流通，真空泡 MSV 分断电流后，MTS 触头离开分接“1”，MTS 在分接 2 接通后真空泡 MSV 闭合，完成一个分接变换操作。从以上的描述上可见，机械触头的分合借助于主回路上的真空泡 MSV 与过渡支路上的真空泡 TTV，在无电流下进行，电流分断闭合由真空触点来完成。

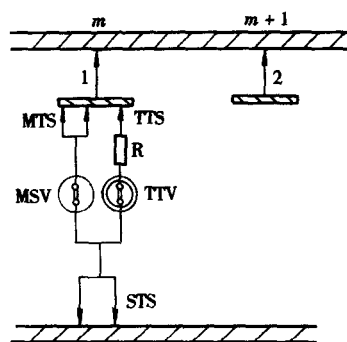


图 1-2 VV 型真空分接
开关动作原理图

在分接开关上运用真空开断技术的想法由来已久。一开始是为了解决大容量高电压的变压器上使用的分接开关如何提高切换容量，同时解决在额定通过电流增大的情况下，如何减少操作造成的油的污染及气体，而引起分接开关制造业的注意。作为一个研究的方向与问题，很长时间内都没有解决，主要的原因是：在变压器的寿命内，怎样才能获得长期使用的可靠性，在二、三十年的时间内能否保证真空元件的真空度；另外真空元件能否经受频繁操作即达到分接开关预期的操作次数。随着真空元件的制造技术的发展，在适应频繁操作上，操作次数达到了相当高的水平，在分接开关预期的操作次数下，仍然能保持必须的真空度。这为真空开断的技术应用于分接开关，创造了必要的条件，但是对一个长时间效应下的可靠性还缺乏实际运行的经验。虽然采用一定的试验方法可以模拟使用条件，但实际使用的情况要复杂的多，所以还有待于实际运行经验的积累。从分接开关的发展趋势来讲，运用真空开断技术是一个发展的方向，可以满足变压器制造技术的发展。VV 型真空有载分接开关的切换容量不高，最大额定通过电流三相、单相均为 600A，先从中小容量做起，还是比较稳妥的，为真空开断技术用于油浸式绝缘的分接开关上迈出了第一步。MR 公司生产的分接开关主要的技术参数如下：

设备最高电压为 52 ~ 245kV，相应的最高冲击耐受电压 $1.2/50\mu s$ 为 1050kV，工频耐受电压 1min 为 460kV；

单台三相的分接开关最大额定通过电流为 100 ~ 2000A，切换容量为 28 ~ 5000kVA；单台的单相开关为 100 ~ 4500A，切换容量为 28 ~ 6500kVA；

额定级电压为 500 ~ 5000V，允许使用的额定级电压的值受切换容量的限制；

最大的分接位置数，不带转换选择器为 18，带转换选择器为 35。

单台三相的分接开关有 D 接的与 Y 接的，可用于绕组的中部、线端与中性点，单相分接开关可以用于任意接法与部位；

安装方式均为埋入型，有钟罩式与箱顶式二种安装结构。所配的电动操动机构有二种基本的型式，即 MA7 及 MA9。近几年又生产出 ED 型电动操动机构，在基本的功能上都差不多，主要的优点是所有规格的电动机构采用统一结构，运用模块化的设计概念，增加了动作监视回路，但有些部分的变化，如指针式的位置指示及分接变换动作指示，使它对安装要求以及使用环境的依赖性更大。

最近几年 ABB 组件公司生产的分接开关以较快的速度占有了一部分国内市场，成为进口开关的第二大供应商。该公司原来是 ABB 变压器厂下属的一个生产组件的车间，生产供自己的变压器配套使用的组件，如套管、无励磁分接开关与有载分接开关等。前几年独立为 ABB 组件公司，开始向其他变压器厂和国家供应组件，在分接开关制造上历史比较长，但进入我国使用的时间不长，缺少实际运行的经验。主要产品有复合式的分接开关 UZ 与 UB 型、组合式的分接开关 UC 型。在这三个系列的分接开关中，复合式的 UZ 型分接开关还是比较有特色，与其他型号的分接开关不同，不是采用埋入式的安装结构，而是采用挂壁式的结构。分接开关的芯子安装在单独的金属油箱内，油箱连同分接开关以整体的方式可以用焊接或螺栓固定在变压器主油箱的侧壁上。二者之间有一带接线端子的绝缘板密封，把分接开关油箱与变压器油箱在油与气体上隔开，接线时只需打开油箱上的接线盖就可进行。电动操作机构在分接开关油箱的侧面与此连成一体。安装比较简单，也缩小了变压器油箱的尺寸。维护检修只需打开油箱正面的盖板，就可对分接开关进行清洁和检修，相对较大的空间可以容易地接触分接开关上的所有的零部件。在检修时，不需要用吊车吊出分接开关芯子。但挂壁式的分接开关在我国使用的很少。在国内使用的比较多的还是埋入型的 UZ、UC 型分接开关，这二种分接开关在结构性能参数以及在使用方便程度上，与其他同规格的分接开关相比就没有任何的优势可言。ABB 生产的分接开关的主要参数如下：

在它的技术参数上没给出分接开关的设备最高电压 U_m ，而直接给出了与之相关的额定对地耐受电压值：最高的对地冲击电压耐受值为 1050kV，工频对地电压耐受值 1min 为 460kV。

单台的三相开关最大额定通过电流为 300 ~ 1600A；切换容量在技术参数上也没给出，只是给出了额定级电压随额定通过电流的变化曲线，从而得出切换容量；最大单台的单相分接开关最大额定通过电流为 4500A。

最高级电压为 5000V，另外它给出了每种型号分接开关的调压绕组两端之间的最高工作电压的限值，因此允许使用的级电压不仅受到切换容量的限制，也受到调压绕组两端之间的最高工作电压的限制。

最大分接位置数：不带转换选择器时为 18，带转换选择器时为 35。

三相分接开关有 D 接与 Y 接，可用于绕组的中部、线端与中性点；单相分接开关可用于任意接法。

埋入型的分接开关有箱顶式、钟罩式二种安装方式。所配的电动操动机构为 BUL 型或 BUE 型。

奥地利伊林有载分接开关公司生产的分接开关进入中国市场比较早，但数量一直不太大，主要产品有组合式的分接开关 J、S、T 与 Q 型、复合式的分接开关 Z 型。所有型号的分接开关配置 MLG51 型电动操作机构。在它所有的产品中比较有特点的是：一种 TADS 型的切换开关与选择器一起组成的组合式分接开关。这种切换开关上用晶闸管作为开关元件来承担电弧触头的功能，在切换过程中开断电流，且与机械触头一起组成切换开关的触头系统，工作原理见图 1-3。每一相只用一个晶闸管，M2 与 M1 为机械触点，相当于主通触

头，在静止状态下电流从 M2 或 M1 流通。当切换开关动作时，与 M2 和 SR 触头并联的晶闸管先触发导通，然后 M2 在不带电流的情况下分开，电流从 CT1、TH、SR 流通；辅助的机械触头 CR1 同样在不带电流的情况下从 1 到 2，触发晶闸管在电流过零点时断开。这时电流从“CR1”、“2”过渡电阻“R”及“SR”通过；同样“CT1”从“1”到“2”也是在没有电流通过的情况下完成的；M1 闭合，电流从 M1 通过，完成把电流从原来的工作位置转换到预选分接位置的操作。在整个切换过程中，所有机械触头的分开都是在不带电流的情况下进行的，所以不存在触头的烧损与油的污染问题，可以大大地减少维护检修的工作量，也不存在触头的更换问题。

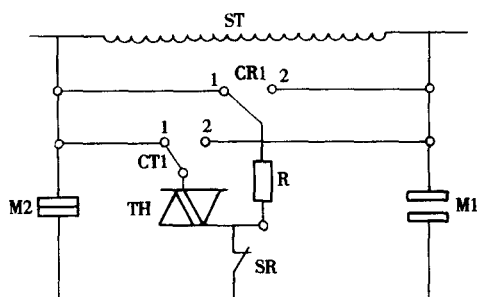


图 1-3 TADS 切换开关原理图

晶闸管用于分接开关作为开关元件，这一想法也由来已久，但在实际的实施过程上存在许多技术方面与经济上的困难。就拿晶闸管的触发电路来说，要解决它的高电压及强磁场下的抗干扰问题就会使得造价非常高。所以这种设想一直没有成为批量生产的产品，TADS 避开了电子触发线路，用一小发电机作为触发源，它被装在切换开关的芯子内。在我国还没有使用过，也没实际运行的经验，但作为产品的发展是值得研究的，以满足变压器少维护检修向免维护检修的方向发展。伊林公司生产的分接开关的主要参数如下：

同样也没给出设备的最高电压 U_m 的值，只是给出了与之相关的额定的对地耐受电压值：最高的对地冲击耐受电压 $1.2/50\mu s$ 为 1050kV，最高的对地工频耐受电压 1min 为 460kV。

单台三相开关最大额定通过电流为 200 ~ 1000A，在技术参数上同样没给出切换容量，单台的单相开关为 200 ~ 3000A；

最高允许的级电压为 4000V；

最大的分接位置数：不带转换选择器为 18，带转换选择器为 35；

三相分接开关有 D 接与 Y 接，可用于绕组的中部、端部与中心点，单相分接开关可以用于任意接法部位。

安装方式均为埋入型的，有箱顶式与钟罩式二种安装结构。

早期进入国内市场的分接开关还有德国 TU 变压器制造公司的产品（BW 等型号的分接开关）以及保加利亚索非亚电气公司生产的分接开关，这些开关都已经运行了近 20 年了，最近几年国内用得很少。可以这么说，几乎世界上主要的电阻型的分接开关制造厂的产品在国内都可以找到。有的一个电力局内就有几个国家生产的分接开关，这在其他国家是很少见的现象，给维护检修带来很大的困难，使得使用成本增加。

这些产品基本上可以满足配电变压器、中型与大型变压器的需要，也可满足各种容量的工业变压器的需要。

第二节 两种不同结构型的分接开关

在变压器不中断负载的情况下，改变变压器的匝数比的有载分接开关有二种结构型式被采用。一种是由一个带电流转换的切换开关（美国人形象地称为电弧开关）和一个在不带电流的情况下进行预选择抽头位置的选择器，两个不同功能的部分组合成一体，被称作组合式的分接开关；另一种装置兼有切换开关与选择器二种功能，连选择兼切换由同一动触头组来完成的，标准上称为选择开关。为了不至于与选择器混淆，以便在概念上更清楚，因此以结构特点来命名，称为复合式的分接开关。这二种型式的分接开关都可以带或不带转换选择器。转换选择器也分为两种结构：粗调转换选择器与极性转换选择器。前者使分接绕组与粗调绕组或主绕组相接，后者使分接绕组这一端或另一端与主线圈相接。它们同样被称作“器”与“开关”不同的是，都是在不带负载电流的情况下动作的。在组合式分接开关上，转换选择器与选择器做成一体；复合式分接开关、转换选择器与细分接触头分开，在油室内的上部，三相触头在同一圆周平面上布置（也有三相触头在油室外上、下布置的）。通过使用转换选择器，可以使得在相同的分接绕组的抽头情况下，分接位置数增加一倍；或者说在相同的分接位置数下，可以使抽头数减少一半。

一、组合式的分接开关

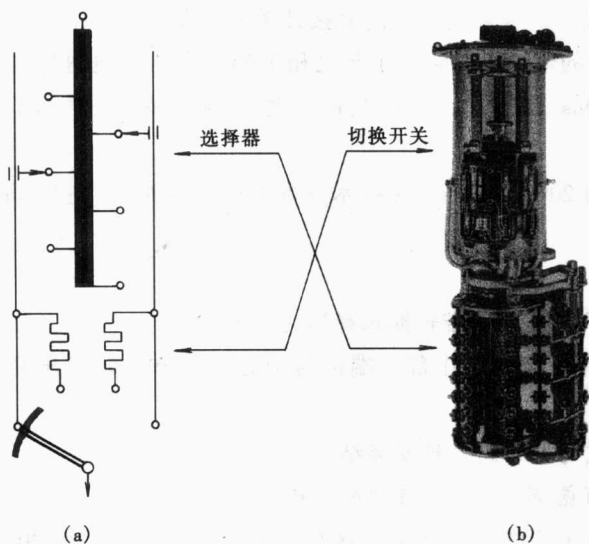


图 1-4 组合式分接开关

(a) 原理图；(b) 实物

组合式的分接开关（见图 1-4）每次分接变换操作分二步来完成。动作程序始终遵循先选择后切换的原则，首先由一组不带电流的选择器的动触头动作，预选择到与工作分接相邻的抽头位置上，然后由切换开关把负载电流从原来的工作分接位置上转换到预选择好的分接位置上来，完成一级分接变换操作。整个动作过程是由电动操动机构来驱动的。电动操动机构包括一个三相的交流电动机、减速齿轮以及电的控制元件、机械或电的保护装置，遵循逐级控制的原理，每次分接变换操作完成后会自动地停止工作，每次动作时间视结构型式不

同约为 2 ~ 15s。

图 1-5 (b) 所示上部为切换开关，切换芯子安装在一个耐压力型的油室内，采用插入式结构，实现与油室的电的与机械的连接，切换开关的触头系统与头部法兰之间承受输出端对地的电压。

切换开关与选择器的电的连接：切换开关有三级（作三相使用只能用于中性点调压）、

有一极或二极。二极和三极并联后或一极都可以作单相开关使用。每极有单、双数二个位置，在静止状态下始终有一个位置闭合，而另一位置是打开的，即双合单分开或单合双分开。每极的动触头联在一起作为输出端，都是从油室的外壁上引出。每极的单、双输出端通过两根连接导线（按安装的要求及通过电流的大小成型的并有相应截面，除二固定端部之外其余包有外绝缘层的硬导线），分别与同极的选择器相应的单、双数动触头滑动接触环相连接。选择器的动触头及相应的静触头每一极有二层，即单数触头层与双数触头层，极与极之间的触头按上、下布置。静触头与分接绕组的抽头引线的接线端子是连成一体的。二组动触头在静止状态时分别闭合在二个相邻位置的静触头上。在这种情况下，选择器上那一个闭合的抽头位置是与输出端接通的，取决于切换开关的闭合位置，如闭合在单数侧，则选择器单数动触头闭合的分接位置是接通的，反之亦然。选择器与切换开关的连接导线的连接方法有两种：一种如图 1-4 所示，引线从油室底部由选择器的中央插入与相应的动触头环连接；另外一种方式是从油室的引出端，在选择器的外部与相应的动触头滑动接触环的引出端子相连，采用那种方式取决于选择器动触头的传动杆的布置。

切换开关由油室与切换芯子组成。油室包括头部法兰、头盖、联接弯管、头部传动齿轮盒等。切换芯子由弹簧储能机构与触头系统以及过渡电阻等组成。

选择器由槽轮机构（通常采用双槽轮）以及动、静触头组成，有桶式与笼式二种结构，但大多数为笼型结构。

切换开关与选择器的机械连接与传动：选择器通过固定螺栓安装在油室的底部。电动操动机构的驱动力通过垂直轴经伞齿轮盒变为水平转动动力，伞齿轮盒的输出端与头部齿轮盒用水平轴连接，经头部齿轮减速后以垂直转动的力带动切换开关的传动轴转动（传动轴的布置方式有二种，图 1-5 是从油室内传动的，另外一种传动轴从油室的外部传动）。由于油室上部输出端与法兰间承受对地电压，所以由绝缘材料制成，油室底部是金属材料制成。传动轴一方面带动油室筒底输出齿轮来拨动选择器的拨槽件，拨槽件带动双数或单数槽轮转动一个角度，而二槽轮分别与相应的动触头转动杆连接，带动双数或单数动触头从原来的位置走到预选择的下一个位置。在每一级分接选择器动触头动作时，始终是单动双不动或双动单不动，机械结构上保证是没有接通电流的分接位置上的动触头动作。拨槽件两端各有一个滚子，一个在上边用于拨动上槽轮，一个在下边用于拨动下槽轮，而每次分接变换操作只能转 180° ，所以上下布置的两个槽轮只能交替工作。当传动轴转动过程中除了带动选择器动作之外，同时带动储能机构的偏心轮转动，偏心轮使储能机构压簧压缩储能（也有采用拉簧的，也是传动轴带动拉簧拉长过死点后释放）。当选择器的拨槽件伸出槽轮时，储能机构储能也结束，储能机构释放，利用释放的弹簧力，高速地带动切换开关的动触头组完成从单到双的位置或从双到单的位置。选择器与切换开关先后的动作时间是机械结构保证的，始终遵循先选择后切换的分接变换的原理，显然无论是用电动操作来完成一次分接变换操作，还是用手摇电动操动机构来完成一次分接变换操作，除了所用的时间不同外，切换开关的切换时间是不变的，切换开关一次的切换时间近似 $40 \sim 80\text{ms}$ （这取决分接开关的型式）。在这极短的时间内，在不中断负载电流的情况下，把负载电流从工作的分接位置转换到预选择好的分接位置上，通过过渡电阻作为二个分接跨接的临时桥

梁。过渡电阻有采用双电阻的也有采用四电阻的，具体的接法也各异，有采用上、下触头串联或并联的接法，通常由切换容量来决定。每一侧的过渡电阻的负载时间约 20 ~ 30ms，这取决于分接开关的型式。当电流转换完成时，过渡电阻的作用也就结束了。按照它的负载特点，所以可以设计的体积比较小，过渡电阻的阻值及材料的截面由实际使用的切换容量来决定。

综上所述，在变压器负载的情况下，也可以通过手摇电动操动机构操作分接开关来完成分接变换操作。一般来讲电动操动机构出现操作故障，不会危及分接开关的正常运行，只是不能正常操作而已。

图 1-5 上从 (a) 到 (c) 是选择器在电动机构的驱动下完成预选择，这是一个相对缓慢的动作过程，电动操作时间约为 2 ~ 6s (取决于结构型式)。从 (d) 到 (g) 是切换开关的动作过程，它是按一定的程序完成的，切换时间如前所述，是一个高速转换电阻过渡的动作过程。

组合式的分接开关的设备最高电压 U_m 最高可以达到 245kV，并且对于设备最高电压

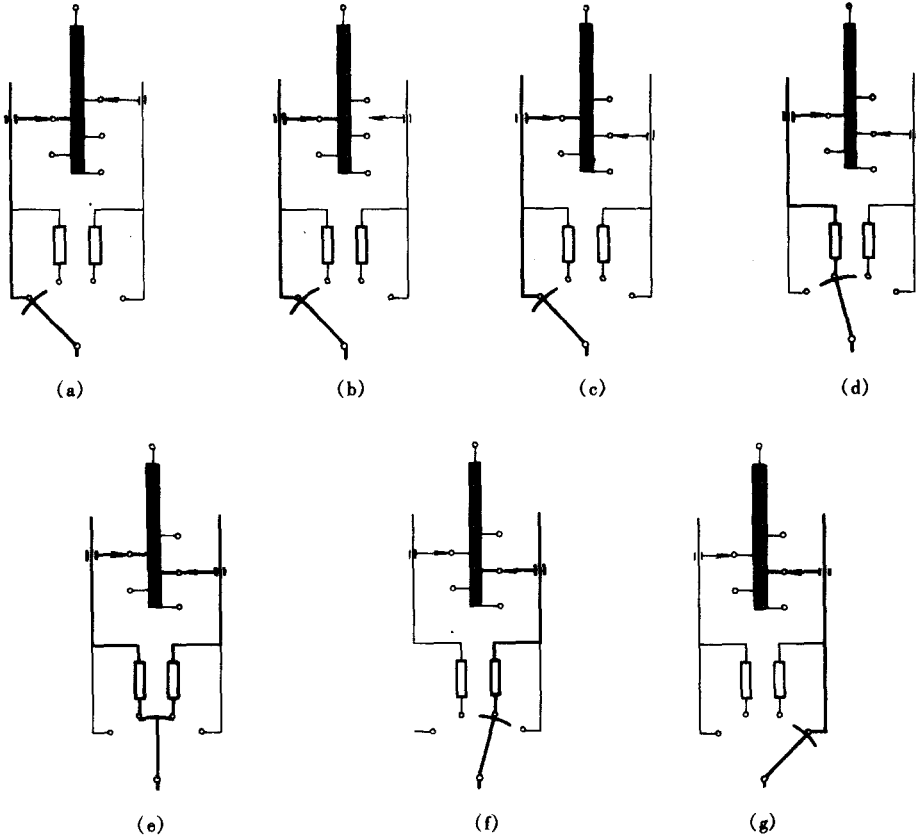


图 1-5 组合式分接开关的动作程序

(a) 原来的工作位置；(b) 选择器不带电流的动触头脱开；(c) 选择器动触头闭合在相邻工作分接的位子上；(d) 切换开关动作，分开侧过渡电阻接通；(e) 闭合侧过渡电阻也接通，跨接在两分接之间；(f) 分开侧过渡电阻断开；(g) 完成一个分接变换操作

U_m 为 362kV 的设备，用于线端调压的分接开关早已实际使用至今。单台三相最大额定通过电流（只能用于中性点调压）最高达到 2000A，切换容量最高可以达到 5000kVA；单台单相的最大额定通过电流最高达到 4500A，切换容量最大可达 6500kVA。最大额定级电压最高可达到 5000V。最大的分接位置：不带转换选择器最多为 18；带转换选择器最多为 35。在主要的技术参数上都比复合式分接开关高。在维护检修上仅限于切换开关与电动机机构，选择器通常不用检修而且比切换开关有高的机械寿命，因此在适用的范围上要比复合式的分接开关广得多，在大容量超高电压的电力变压器上以及在化工、冶金上用的大容量的工业变压器上，它都能满足使用的要求，并且是唯一的选择。

二、复合式的分接开关

如图 1-6 所示，复合式分接开关有三个主要的组成部分，即一个耐压力型的油室、齿轮传动机构以及动触头转轴。

(1) 油室。油室有上部的头部法兰，由带传动齿轮盒的头盖以及引出弯管组成；中间是玻璃丝缠绕的绝缘筒，安装有静触头以及与主静触头连成一体分接绕组抽头接线用的接线端子，每极的输出环也以接线端子的形式引出，极与极之间的接线端子上、下布置，而每一极的接线端子以圆周分布，转换选择器的触头在最上面，因此它们与头部法兰之间承受对地电压；最下面是底部法兰，它中间是动触头转轴的定位件以及煤油释放阀。

(2) 齿轮传动机构。它集中组合安装在一块安装板上，安装板用螺栓固定在头部法兰内，它由拉簧贮能机构、位置指示机构、摇臂联轴器、拨槽件以及带动动触头转轴动作的槽轮组成，它上部的传动齿轮与头部齿轮的输出轴连接，下部的槽轮与动触头转轴连接。

(3) 动触头转轴。转轴可以全部是绝缘空心轴（在相间要求全绝缘的情况下），也可以上部一段为绝缘空心轴，下部是金属管（中性点调压时），在上安装有上、下两端的联轴节、转换选择器动触头的绝缘弧形板（每相一块），三极的动触头组（带或不带主通触头、电弧触头与输出触头）按上、下布置，包括每极的二个过渡电阻。抽油管从转轴的中间插入安装固定在油室底部法兰的定位件上动触头转轴安装在油室内，它与静触头的连接形式是挤压式的，中间的转轴要承受三相触头的接触压力，尤其是在“D”接分接开关上对中间的绝缘转轴既有电的强度要求，还必须具有在高温下的机械稳定性，对油室也同样如此。另外还有一种夹持式的接触形式，动触头被做成夹片式的（或夹轮式的），相应的静触头是水平安装的片状结构，这种结构型式对绝缘转轴与绝缘筒热状态下的机械稳定性

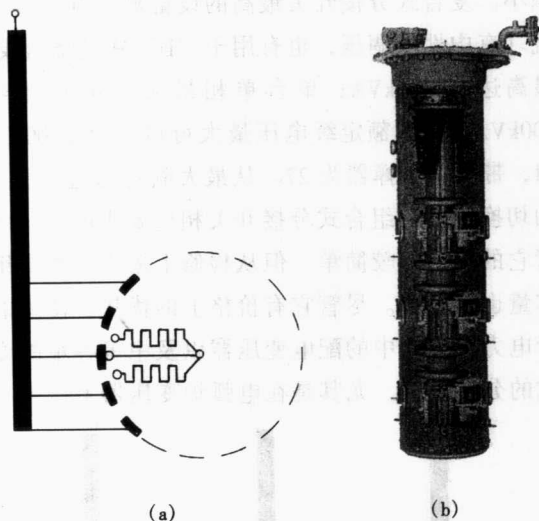


图 1-6 复合式分接开关

(a) 动作原理；(b) 实物