

换流变压器的原理与维修技术



曹诗玉

500kV换流变(ABB)



500kV换流变主要参数(ABB)

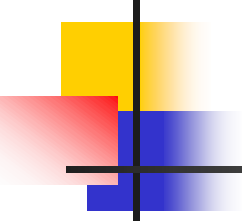
- 型号 TCH 146DR
- 3相连接方式为: YNy0 YNd11
- 调压方式 网侧带负荷自动调压
- 调压档数 (档) 31
- 额定功率(MVA) 297.5
- 额定电压(kV) 网侧 525/√3 最高电压 550/√3
- 阀侧 Y 220/√3, △ 220
- 额定电流(A) A, B 982
- a, b Y 2449, △ 2449√3
- 冷却方式 强迫油循环风冷
- 接地方式 网侧直接接地
- 本体油箱油量 106800 L 冷却器油量 1450L
- 本体总油量 114200L 总重 378500kg
- 制造商 ABB

主要内容



- 1) 换流变的功能与特点
- 2) 换流变的结构原理及型式
- 3) 换流变套管
- 4) 换流变有载调压开关
- 5) 换流变的运行
- 6) 换流变的状态检修
- 7) 换流变的更换
- 8) 换流变的排油与注油
- 9) 换流变的技术管理

1 换流变的功能与特点



直流输电系统中换流器所包含的变压器称为换流变压器，换流变压器是直流输电系统中的关键设备之一。在整流换流器中换流变压器为换流设备提供交流电能，换流器将交流电能转换为直流电能并通过直流输电线路传输；在逆变换流器中换流变压器接受逆变换流器将直流电能转换为交流的电能，并将其输送到其它交流供电网路中。



1.1 换流变作用

- 提供相位角差为 30° 的AC电压以降低网路的低次谐波，特别是5次和7次谐波。
- 作为直流输电系统两端换流站AC系统电压、电流的交换设备。
- 换流变压器的阻抗可以增加AC系统的阻抗，有限制系统的短路电流和抑制换相过程中阀的峰值电流升高的作用。
- 与换流器和其它设备共同实现AC网路与DC网路的联络。
- 通过换流变压器可以实现对AC和DC系统电压较大范围的分档调节。



1.2 换流变的特点

- 换流变在漏抗、绝缘、谐波、直流偏磁、有载调压和试验等方面与普通电力变压器有着不同的特点。
- 换流变由于直流偏磁电流和谐波电流使得换流变压器的噪声增大。
- 换流变与普通换流变最大的不同是阀侧绕组除承受交流电压外，还承受直流电压的作用。绝缘设计上要考虑直流耐压和极性反转作用。



1.2.1 短路阻抗

- 为了限制阀臂及直流母线短路时的故障电流以免损坏换流阀的晶闸元件，换流变应有足够大的短路阻抗。
- 短路阻抗不能过大，否则会使运行中的无功损耗增加，需要相应增加无功补偿设备，并导致换相压降过大。
- 大容量换流变的短路阻抗通常为**12-18%**。

1.2.2 绝 缘



- 换流变阀侧绕组同时承受交流电压和直流电压。
- 阀侧绕组除承受交流电压产生的应力外，还要承受直流电压产生的应力。
- 直流全压启动及极性反转所产生的冲击。
- 由于上述原因，换流变的绝缘结构比普通的交流变压器复杂得多。
- 直流电压和交流电压作用下绝缘特性是不同的。

1.2.3 谐 波



- 换流变运行中有特征谐波电流和非特征谐波电流流过。
- 其漏磁的谐波分量会使变压器的杂散损耗增大。
- 对于有较强漏磁通过的部件要采用磁屏蔽措施。
- 数值较大的谐波磁通所引起的磁致伸缩噪音，一般处于听觉较为灵敏的频带。

1.2.4 有载调压



- 为了补偿换流变交流侧电压的变化以及将触发角运行在适当的范围内以保证运行的安全性和经济性，要求有载调压开关的调压范围较大。
- 直流输电系统在降压模式时，要求的调压范围高达**20-30%**。

1.2.5 直流偏磁

- 通过变压器绕组的电流中的直流分量会影响铁心的磁化曲线，并产生偏离坐标轴零点的偏移量，这种现象称为直流偏磁。
- 运行中由于交直线路的耦合、换流阀触发角的不平衡、接地极的电位升高以及换流变交流网侧存在2次谐波等原因将导致换流变阀侧及交流网侧绕组的电流中产生直流分量，使换流变产生直流偏磁现象。
- 直流偏磁电流使铁心饱和，导致换流变损耗、温升及噪音都有所增加。

1.2.6 换流变噪声大

- 换流变压器的噪声主要由铁心、线圈、油箱（包括磁屏蔽等）及冷却装置的振动产生的。
- 直流偏磁电流和高次谐波电流引起换流变压器本体噪音增加。直流偏磁电流引起铁心周期性饱和，硅钢片的磁致伸缩引起铁心振动加剧，发出强烈的低频噪声，它的频率只有正常激磁情况下的电力变压器噪声频率的一半，可以把这种低频的噪声作为判断换流变压器发生直流偏磁的征兆。
- 负载电流产生的漏磁引起绕组和油箱（包括磁屏蔽等）的振动。换流变压器绕组中流过的高频谐波电流，会引起换流变压器绕组在高频下振动，使换流变压器的噪声显著增加。

1.2.6 试 验（出厂试验）

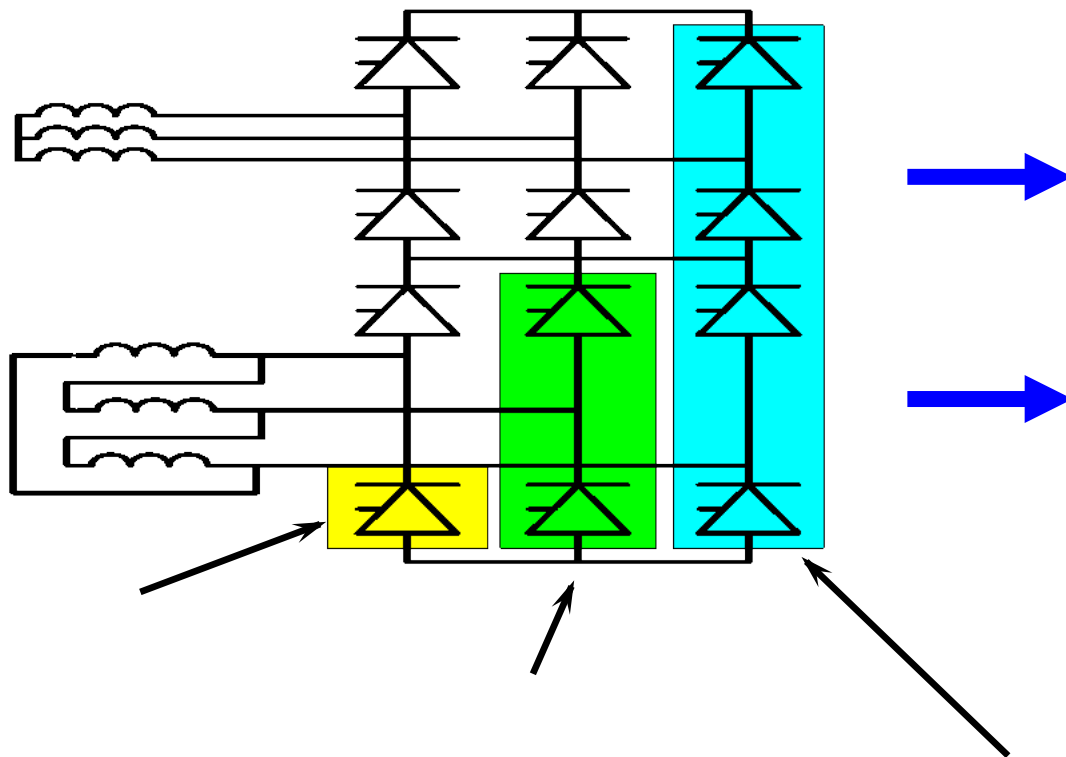
换流变除了要进行与普通交流变一样的型式试验与例行试验之外，还要进行直流方面的试验。

- 直流试验主要有：直流耐压试验、直流电压局部放电试验、直流电压极性反转试验等。
- 例行试验：必须在每台变压器上进行，它包括联结组标号检定、电压比测量、绕组电阻测量、空载损耗和空载电流测量、负载损耗和短路阻抗测量（几个主要的分接）、绝缘油试验、操作冲击试验、雷电全波冲击试验、包括局部放电测量和声波探测测量的外施直流电压耐受试验、包括局部放电测量的极性反转试验、外施交流电压耐受试验和局部放电测量、长时感应电压试验和局部放电测量、绝缘电阻测量。
- 型式试验：每种型号的变压器进行一台，它包括雷电截波冲击、温升试验、声级测量。
- 特殊试验：短路能力、零序阻抗、负载电流测量等。

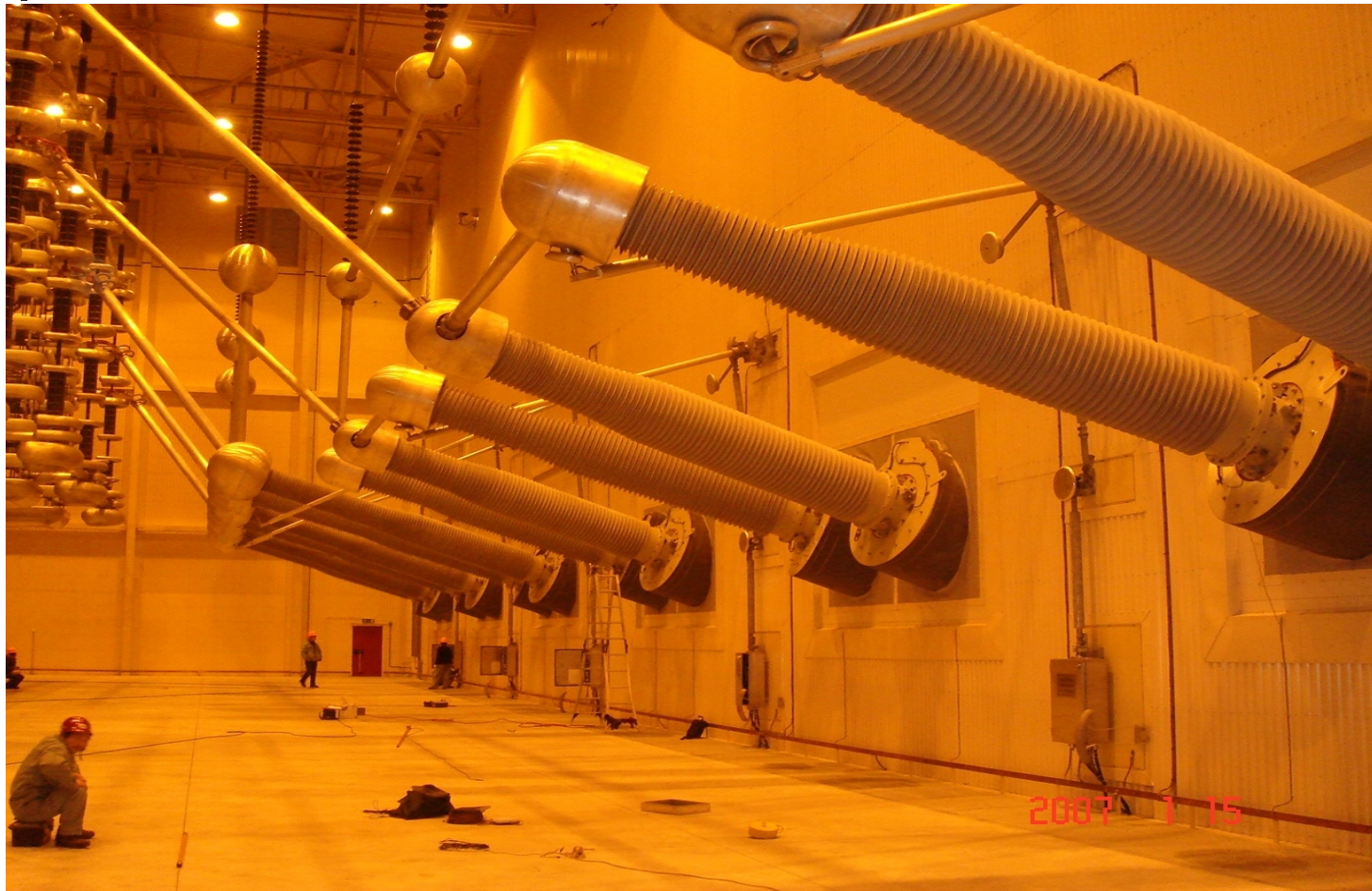
2 换流变的接线与结构

2.1 换流变压器与系统的连接

星形接线 和三角形接线



2.2 江陵换流站阀侧套管接线



2.3 换流变的结构型式



- 1) 单相双绕组接线或
- 2) 单相三绕组接线
- 3) 三相三绕组接线
- 4) 三相双绕组接线

对于大容量的直流输电系统，一般采用单相双绕组接线，以控制制造、运输或运行中的风险



2.4 电气主回路特点

电气绝缘水平：除考虑正常的交流电压作用外，还要考虑直流耐压和极性反转的作用。

主回路采用双支路

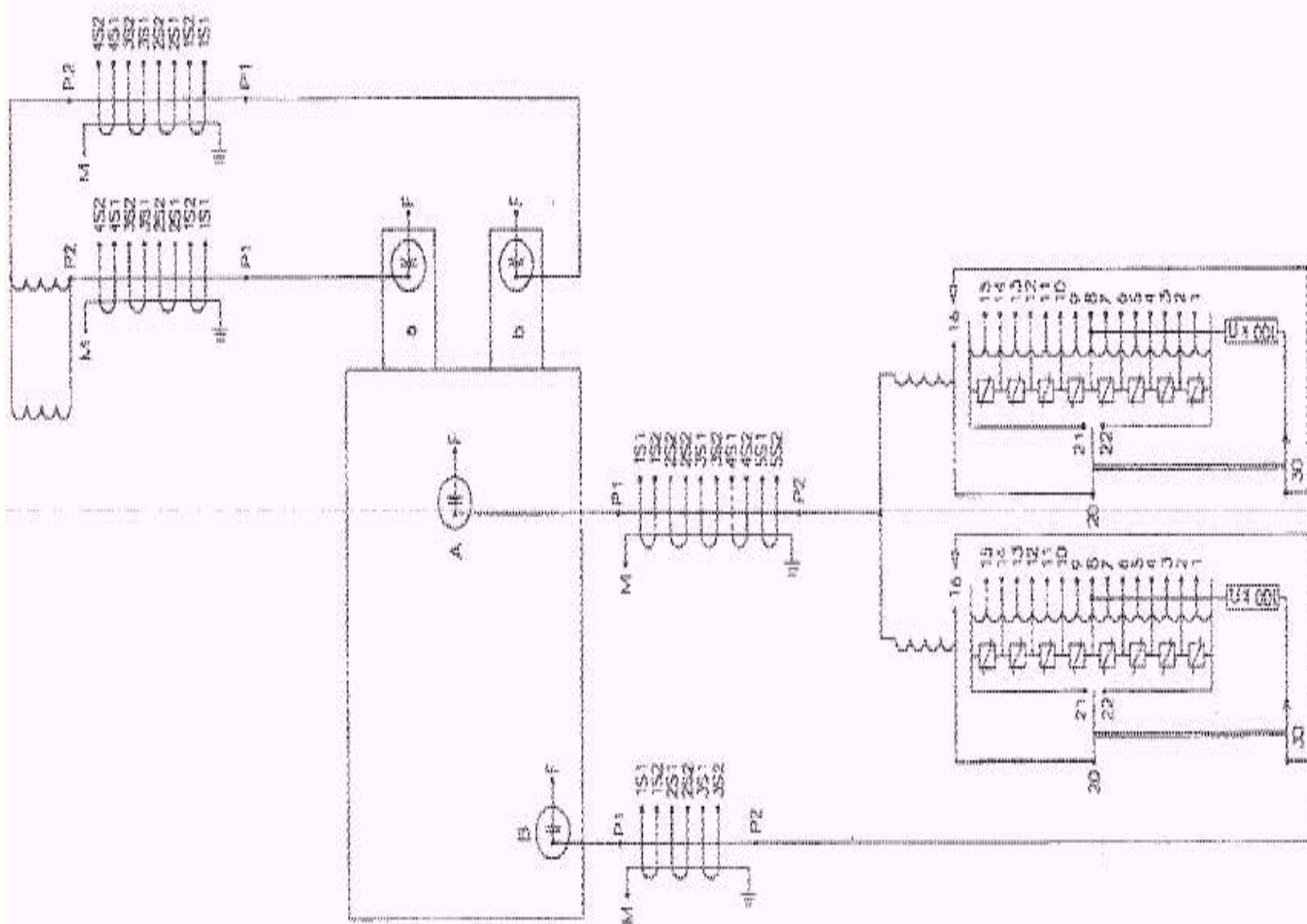
分接开关：

- 双支路配置

- 分接开关档位数量多

- 分接开关的同步要求高

2.5 ABB换流变电气原理图



2.7 换流变压器的构成

- 绕组:换流变压器线圈包括网侧线圈、阀侧线圈和调压线圈三部分
- 铁芯:换流变压器铁心通常为心式结构
- 器身:考虑合理的线圈布置方式
- 引线:阀侧套管与引线的连接要特殊设计
- 油箱:采用桶式结构
- 绝缘油:ABB用Lans
- 有载分接开关
- 其他附件

2.7.1 换流变网侧线圈

- 网侧线圈通过交流套管与交流系统联接根据直流系统两端联接的交流网络的电压等级分别决定换流变压器网侧线圈的电压等级和绝缘水平。
- 换流变压器网侧线圈与相同电压等级的电力变压器的线圈结构基本相同，主要有纠结式、纠结连续式、内屏蔽式等几种。
- 因为调压级数多，调压线圈导线并绕根数比较多，通常设计成一个独立的线圈，与网侧线圈末端相联。
- 当网侧线圈首端施加冲击电压时，调压线圈内冲击电压梯度较大，调压线圈匝间绝缘厚度及对相邻线圈或接地部件的距离均要加大。为限制调压线圈内匝间电压梯度，防止调压线圈的匝绝缘损坏，必要时采用非线性电阻，用以限制调压线圈的级间过电压。

2.7.1 换流变阀侧线圈

- 换流变压器阀侧线圈通过阀侧套管与换流阀桥联接，其设计与普通电力变压器线圈相比有很大的特殊性
- 一方面是特殊的绝缘要求。换流变压器阀侧线圈两端的交流额定电压不是很高，比如对于 $\pm 500\text{kV}$ 直流输电系统来说，其两组阀侧线圈的交流额定电压一般为 200kV 左右，但其绝缘水平因其联接阀桥的位置不同而不同。包括交流外施耐受电压水平，雷电冲击电压水平和操作冲击电压水平，都高于相同电压等级交流线圈的绝缘水平。比如对于与 500kV 高电压端阀桥相联的阀侧线圈来说，其绝缘水平比交流 500kV 线圈的要高。由于阀侧线圈为全绝缘设计，首末端的绝缘水平相同，在实施雷电冲击试验时，首末两端均要分别进行冲击试验；而当实施操作冲击试验时，首末端出头要同时进行试验。因此，阀侧线圈的结构型式的选择和绝缘设计比较复杂，要特别注意绝缘方面的分析计算和采取相应的措施。
- 另一方面是谐波电流的影响。由于换流变压器在实际运行时，线圈中流通大量谐波电流，会产生较大的附加损耗。因此在选择线圈的导线时，要注意选择适当规格的导线，以降低线圈导线中的涡流损耗，合理控制导线的电流密度，以便防止线圈产生局部过热。

2.7.2 换流变的铁芯

换流变压器铁心通常为心式结构。它有多种结构型式，如三相三柱式、三相五柱式、单相三柱式及单相四柱式等，500KV换流变通常采用单相四柱式。

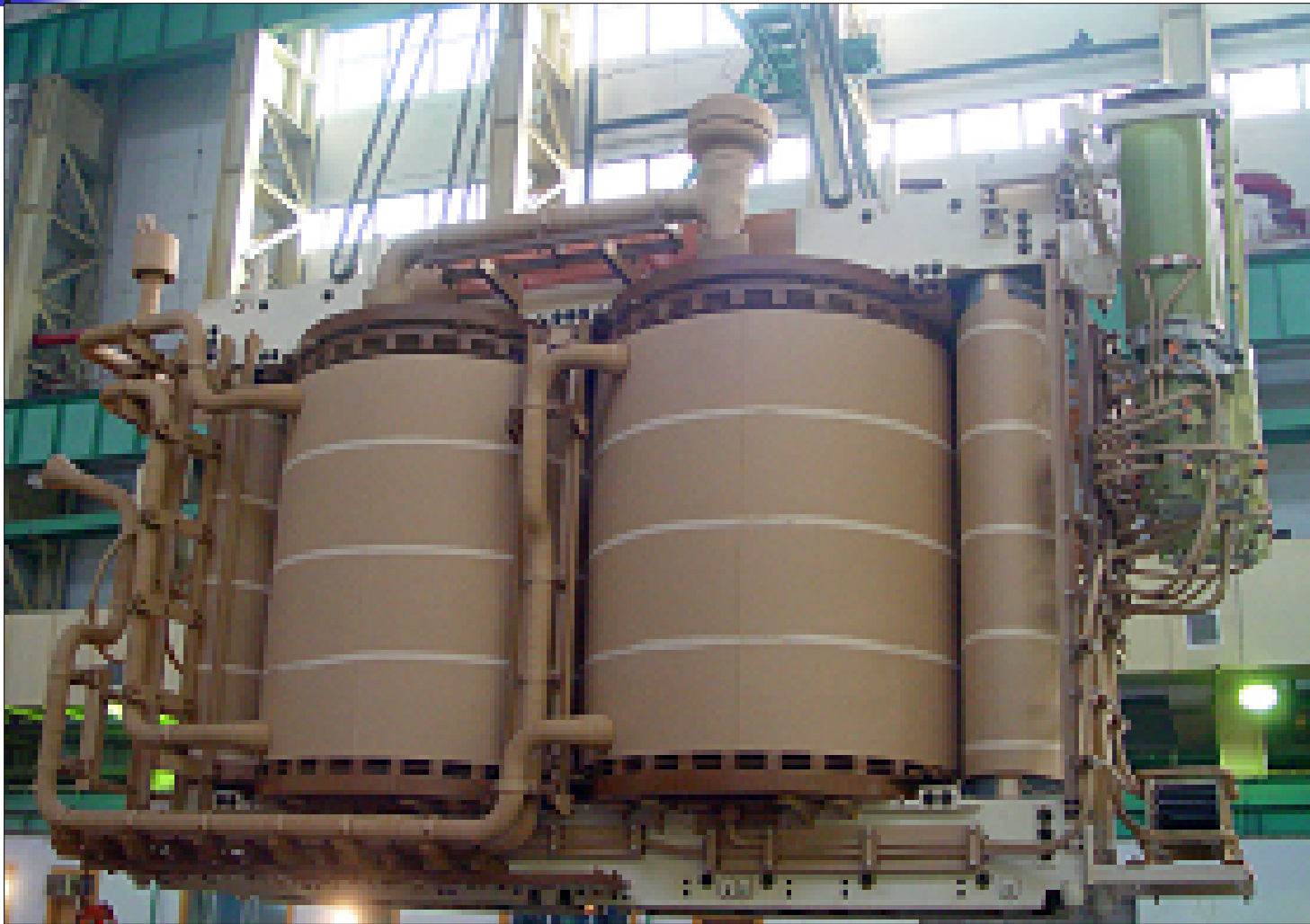
- 单相四柱式铁心有两个主柱和两个旁柱。主柱套装有线圈，旁柱构成磁路的一部分。大型换流变压器通常采用单相四柱式或单相五柱式铁心结构，带有旁柱的铁心可以有效降低产品运输高度，解决高电压大容量产品的运输问题。考虑到降低损耗、降低空载电流以及空载噪声的要求，铁心材料一般选用冷轧有取向高导磁硅钢片。在一些大型和超大型换流变压器中，还可采用激光照排和等离子蚀刻的超低损耗硅钢片。铁心片的叠片与普通电力变压器相同，有时也采用复杂的多级接缝铁心叠片。
- 换流变压器在运行时绕组中存在直流偏磁电流，铁心会出现饱和现象，很小的直流偏磁电流（通常只有几个安培）也会导致铁心中损耗和噪声的大幅度升高。因此在设计大容量换流变压器铁心时，除考虑铁心的冷却外，还需采取措施提高铁心的整体刚性，以降低铁心的噪声水平。

2.7.3 换流变压器身

换流变压器的内绝缘需承受交、直流绝缘试验电压，在实际运行时要长期承受交、直流电压的共同作用，因此其器身的绝缘设计与普通电力变压器有所区别。网侧线圈的主、纵绝缘设计与普通电力变压器基本相同。阀侧线圈的主、纵绝缘设计除了考虑交流耐受电压的作用外，还必须考虑试验及运行中的直流电压和极性反转电压作用的影响，正是这些影响决定了阀侧线圈的主绝缘设计与电力变压器有较大的区别。

“铁心—调压线圈—网侧线圈—阀侧线圈”的排列方式，适合于阀侧线圈绝缘水平高于网侧线圈绝缘水平的换流变压器的线圈排列。

2.7.4 换流变引线



2.8 其他附件

- 网侧高低端套管、阀侧套管
- 套管CT
- 本体和分接开关油枕与呼吸器
- 冷却器（风扇）
- 潜油泵
- 分接开关滤油机和操作机构
- 本体汇控柜
- 本体保护元器件：
 - a 瓦斯继电器
 - b 本体和分接开关压力释放阀
 - c 绝缘油和绕组温度计
 - d 本体和分接开关油位计
 - e SF6套管密度继电器
 - f 逆止阀

3 换流变压器套管

设计思路:

场强均匀, 轴向电压分布均匀、径向电压分布均匀

采取多层金属箔结构的措施:

防止绝缘材料局部故障继续发展
为检测绝缘指标提供了方便

套管结构包括:

导电部分

内部主绝缘

外绝缘

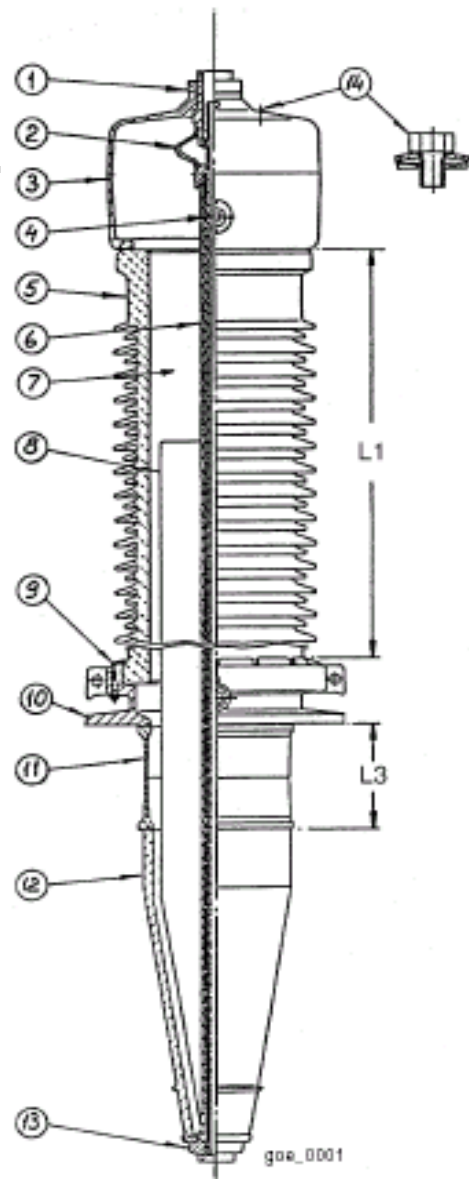
末屏

绝缘介质

3.1 ABB 换流变交流侧套管

侧

- (1) 顶端螺母
- (2) 软连接
- (3) 顶座
- (4) 油位计
- (5) 瓷绝缘子，空气
- (6) 预压管
- (7) 变压器油
- (8) 电容器身
- (9) 夹紧装置
- (10) 安装法兰
- (11) 电流互感器抽头
- (12) 瓷绝缘子，油侧
- (13) 底部末端螺母
- (14) 密封塞



3.2 交流高压套管（A套管）

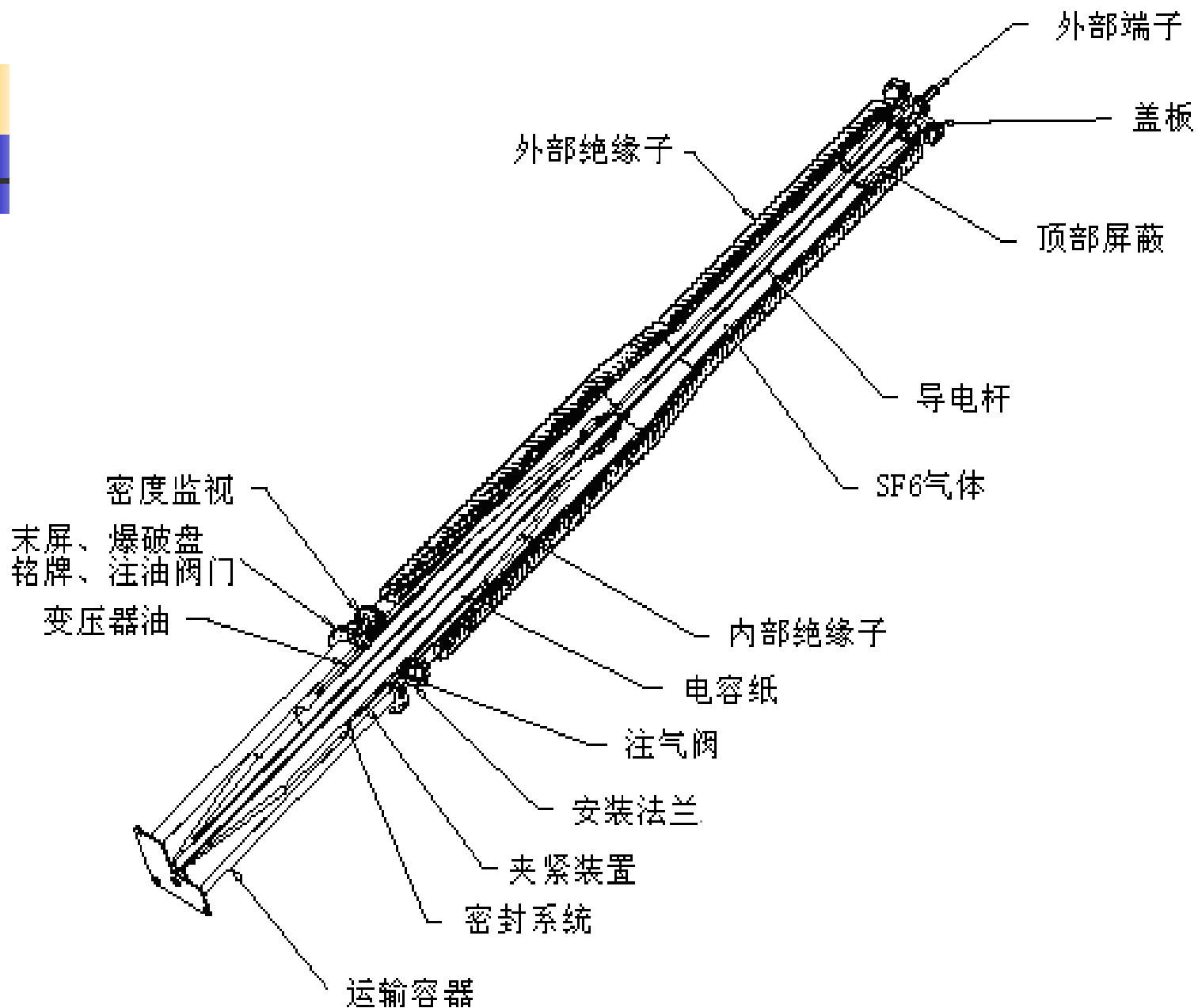
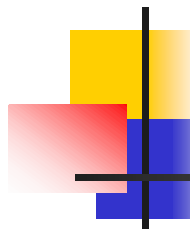
- 交流高压套管为油浸式绝缘，外绝缘为瓷套。套管有自己独立的油室，其油室与换流变油箱不相通。套管顶部有一油位玻璃视窗以监视套管油位，正常情况下，油位应高于该玻璃视窗油位。
- 套管还装有电压试验抽头（即末屏），通过测量电容值和损耗因素来检查套管的绝缘。末屏通过末屏盖接地。
- 套管的安装连接方式为：拉杆连接。
- 套管能承受与其轴向垂直的顶部终端上施加的悬臂负载。套管在其轴向能持续。
- 承受20kN的力，外部端子可承受的最大力矩为25kN。



3.3 交流低压套管（B套管）

- 交流低压套管为干式，使用浸树脂纸**RTP**作为主绝缘，外绝缘为硅橡胶裙。
- 套管装有一个电压试验抽头。该抽头直接接到电容器的外层上，该抽头最大的试验电压为**2KV**，**50~60HZ**。它可以作为试验抽头，外接一个电容器后也可以作为电压抽头，运行电压应低于**600V**。
- 套管的安装连接方式为：（固体铜导体）穿缆式。
- 管应能承受与其轴向垂直的顶部终端上施加的悬臂负载。

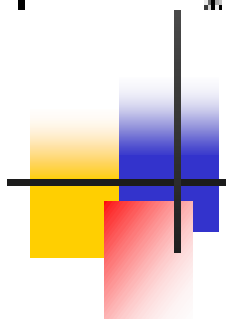
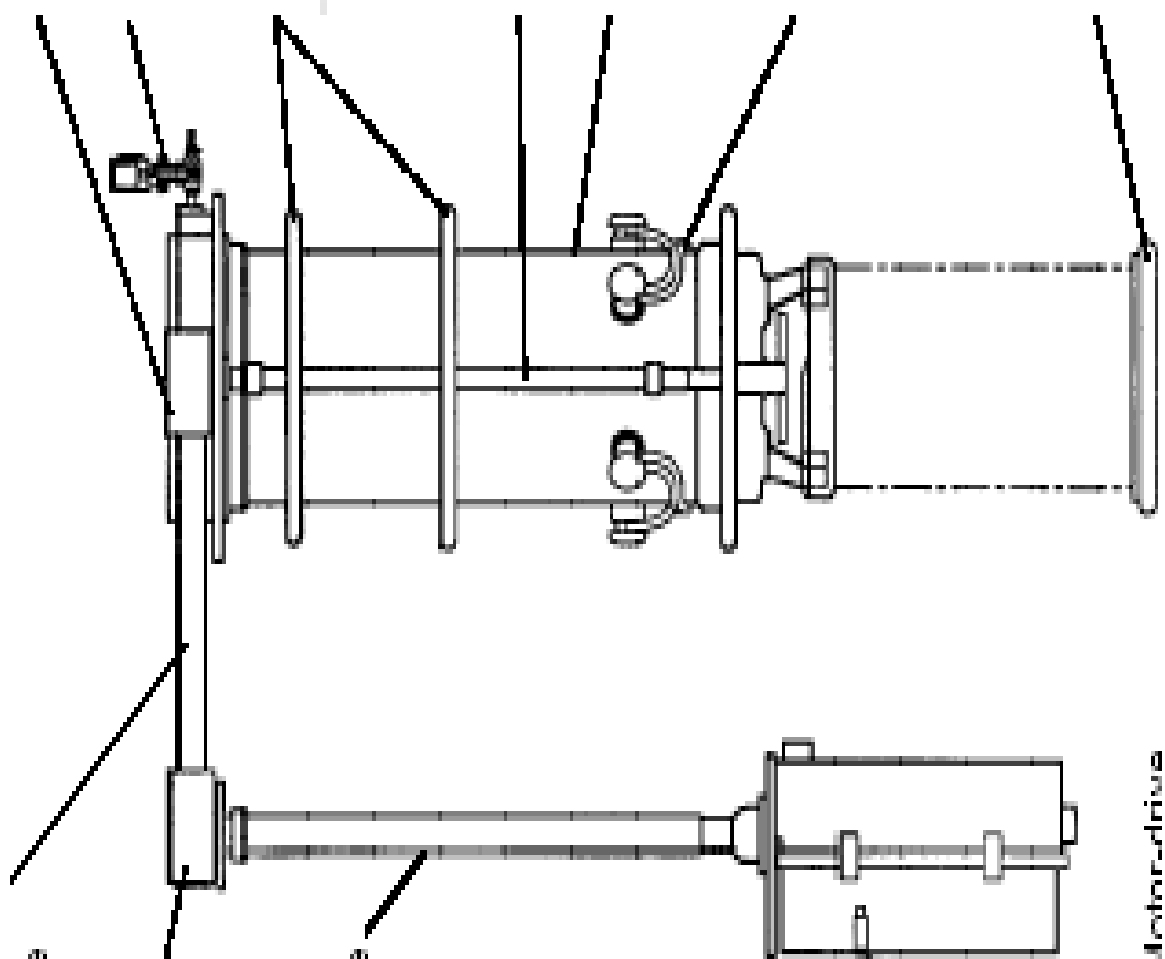
3.4 ABB阀侧套管结构



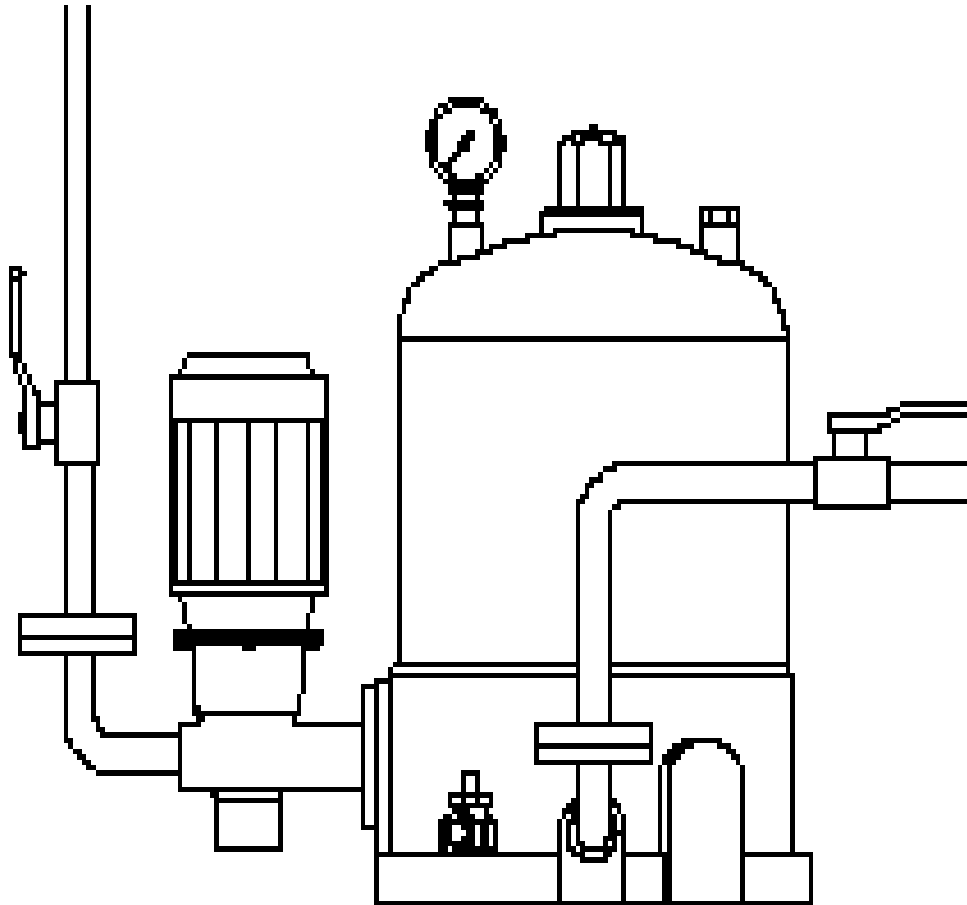
3.5 换流阀侧套管（a/b套管）

- 直流高压套管设计为两部分：内部和外部
- 内部为通常的油绝缘油冷却型，在油侧，套管没有隔离体，这意味着套管与变压器油箱相通，套管内部部分注满油。为了保证套管油室充满着油，换流变油枕应高于套管顶部。
- 该套管的安装方式与交流高压套管相同，并且有相同型号的牵引杆。
- 外部绝缘体由带硅橡胶裙的玻璃钎维环氧树脂管构成，它在充电前应充上一定压力的**SF6**气体，正常运行时，**SF6**气体的压力为**3.5mbar**。通过**SF6**气体密度继电器对其压力进行监视。
- 套管在安装法兰处装有一个电压抽头，抽头与法兰绝缘并连接到电容器身的最外层。

4 有载调压开关 (ABB)



4.1 在线滤油机（ABB）





4.2 有载调压开关的调节方式

- 保持换流变阀侧空载电压恒定。
- 保持控制角（触发角或关断角）于一定范围。换流器正常运行于较小的控制角范围内，直流电压的变化主要由换流变的分接头调节补偿。
- 好处：这种方式吸收的无功少，运行经济，阀的应力小，阀阻力回路损耗较小，交直流谐波分量较小，即直流系统的运行性能较好。
- 坏处：开关动作频繁，调节范围大。
- 目前的直流工程均采用第二种控制方式，即保持控制角于一定范围的调节方式。

4.3 有载调压开关的结构（ABB）

- 有载调压开关由操作机构和控制机构及分接开关、在线滤油装置、油枕、呼吸器和监视部件组成。
- 操作机构包括电机、传动杆、齿轮、驱动轴等。电机驱动机构的驱动力经传动杆、一系列的齿轮传递到一根驱动轴上，提供切换开关的切换和分接选择器档位选择所需的动能。
- 分接开关由两个单独的部分，即置于分接开关油室之内的切换开关和装设于油室下面的分接选择器组成。分接开关整体悬挂于换流变油箱盖上。
- 切换开关由动触头、静触头及过渡电阻组成。主触头和辅助触头构成静触头。主触头用于载流，辅助触头用于灭弧。载流的主触头由铜或铜银合金制成，而灭弧的触头则由铜或铜钨合金制成。触头的动作由四连杆机构控制，同时一套螺旋弹簧使四连杆机构具有自锁能力。切换开关上装有插入接点，此接点能使分接选择器触头与切换开关相连接。
- 分接选择器，围绕中心轴周围布置有若干个定触头，在分接选择器中心轴上装有动触头，并由中心轴带动动触头，动触头经由集流环通过绝缘纸包扎的铜导体连接到切换开关上。

4.3 有载调压开关的结构（续）

- 在线滤油装置由电机、泵、过滤器及油管、阀门组成。用于对分接开关油室里的油进行连续过滤，保证油具有较高的绝缘耐压水平，降低切换开关触头的机械磨损，提高切换开关的寿命。
- 监视部件包括压力继电器、油流继电器、气体继电器、压力释放装置、油枕油位监视等。用于对有载调压开关的监视和保护。
- 油枕装于换流变油箱顶部，略高于分接开关油室顶部。油枕用于储存一定数量的油，以保证分接开关油室里总是充满着油。
- 呼吸器与油枕相连，用于保证吸入油枕里的空气既干燥又清洁。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/228107074055006121>