第5章　辅助设备的自动控制

1. 自动控制的信号元件
2. 自动控制的执行元件
3. 辅助设备的自动控制
4. 蝴蝶阀和进水口闸门的自动控制

辅助设备是水电站整体的组成部分，是为了水电站和主机的运行服务而设置的。水电站的辅助设备主要是指提供主设备正常运行条件的油、气、水系统。其中包括：

- 水轮机进水阀及其操作系统
- 油系统
- 压缩空气系统
- 技术供水系统
- 排水系统等。



进水阀



油系统



气系统

在水电站辅助设备的自动控制中，包含了各种类型的信号器、变送器和自动化仪表。其中：

- 信号器是对物理量进行的测量与指示的元件；
- 变送器是将测量的物理量线性的转换为标准电信号的器件；
- 自动化仪表是信号检测、变送、控制及指示为一体的装置。



信号器



变送器



自动化仪表

另一方面，机组自动控制系统是由各种不同结构和不同功能的元件所组成，可以对主机和辅机进行自动检测、自动控制和自动调节。自动化元件由于它所担负的任务不同，可分为如下三种：

- **信号元件**
- **中间元件**
- **执行元件**

现主要介绍常用的信号元件和执行元件。

5.1　自动控制的信号元件

信号元件是水电站自动化系统的基本部件，是水电生产过程实现自动化的基础。

信号元件包括：转速信号器、温度信号器、压力信号器、位移信号器和液压信号器等，用于水电站运行中各种运行参数（物理量）的测量与指示。

1、转速测量与转速信号

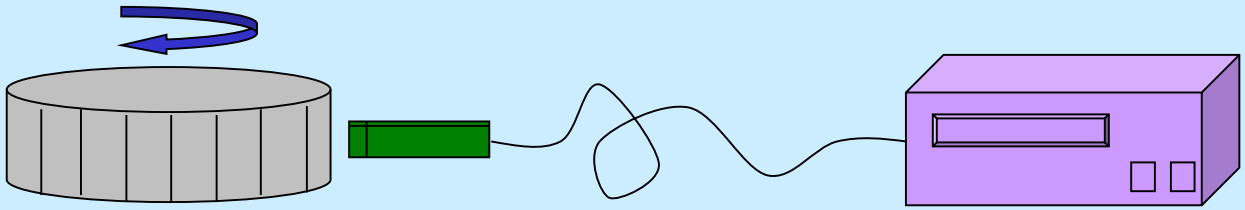
水电机组的转速测量对于水电机组状态检测和控制是十分重要的，其测量精度及其可靠性直接关系到水轮机调节的性能和水电机组运行的安全性。

转速信号器是用于测量反映机组运行状态的一个重要参数—转速***n***，并能够在机组转速到达所设置的转速值发出相应的信号，用于对机组进行自动操作和保护。如：

- 当 $n \geq 140\% n_r$ 时，发出飞逸信号，命令机组事故紧急停机；
- 当 $n \geq 115\% n_r$ 时，发出过速信号，命令机组事故停机；
- 当 $n \geq 80\% n_r$ 时，发出同期信号，命令同期投入；
- 当 $n \leq 30\% n_r$ 时，发出制动信号，对机组进行刹车。

水电机组的转速测量方法主要有齿盘测速和残压测速两种。

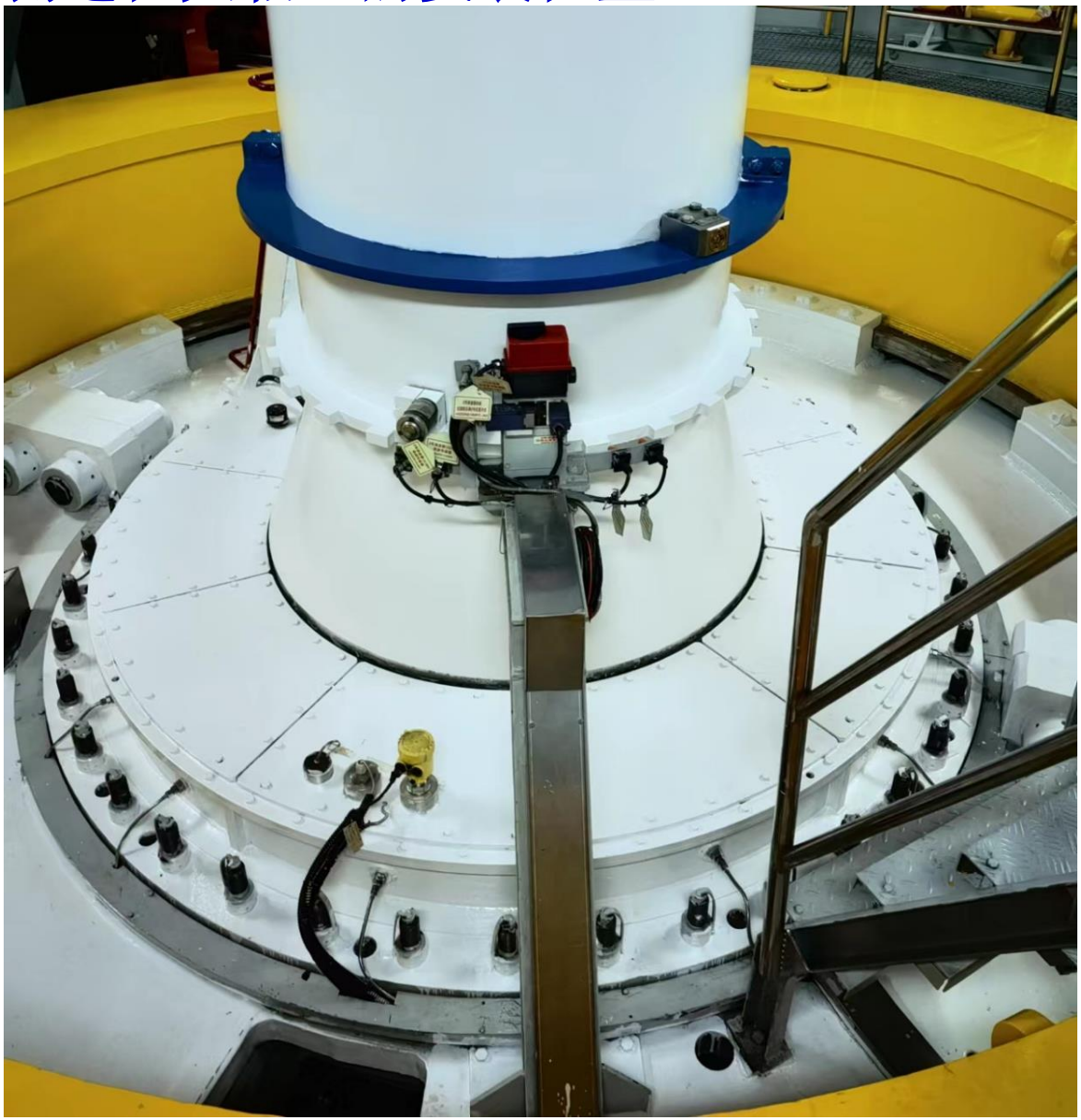
齿盘测速是一种常用的水电机组测速方法，齿盘测速装置由齿盘测速传感器和相应的转速信号处理器回路构成，其原理是在水电机组的转轴上安装环形齿状设备（齿盘），当机组旋转时通过接近式或光电式传感器感应产生反映机组转速的脉冲信号（系列的方波），由计算机测量脉冲个数（或宽度）并计算获取机组转速。齿盘测速的示意图如下：



齿盘测速在大轴上的安装位置



齿盘测速在大轴上的安装位置



残压测速是利用机端电压互感器感应出来的残压信号经放大后来测频，他是把电压正弦波转换成方波，通过计算机计算方波的个数来实现。残压是指发电机转起来以后，在未励磁之前利用发电机转子残存的磁场，在发电机机端产生的交流电压。由于齿盘测速是一种转速的直接测量方式，其可靠性和安全性明显高于残压测速。

齿盘测速中通常采用的测速原理有频率法和周期法。

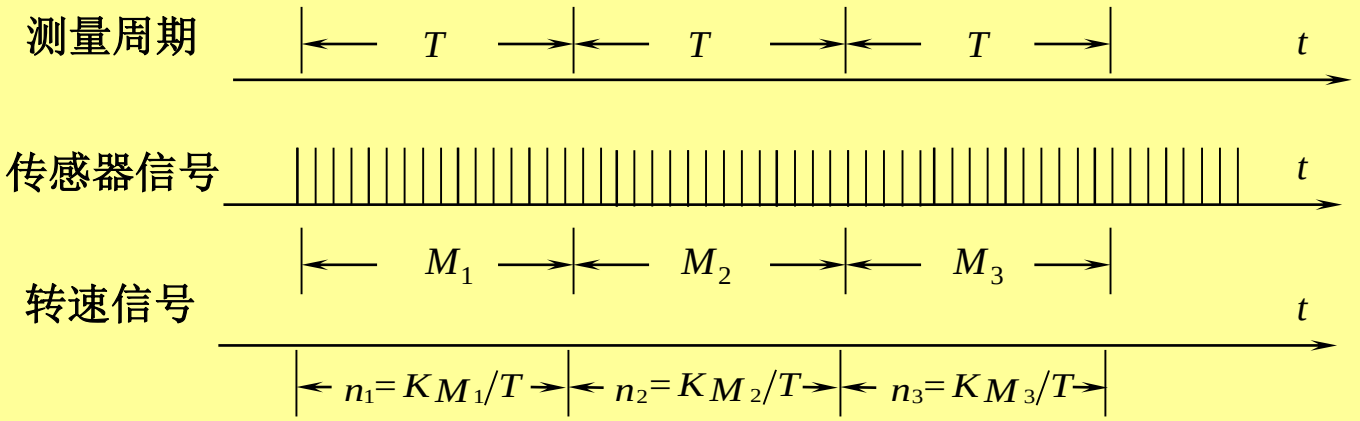
• 转速测量的频率法（*M*法）

基本原理：当机组转速变化时，由传感器测量的脉冲频率也会之而变化。因此可以通过对单位时间内的脉冲个数计数来测量转速。

设：齿盘的齿数为*N*；在单位时间*T*内测量通过传感器的脉冲个数为*M*，则：机组转速

$$n = \frac{KM}{T}$$

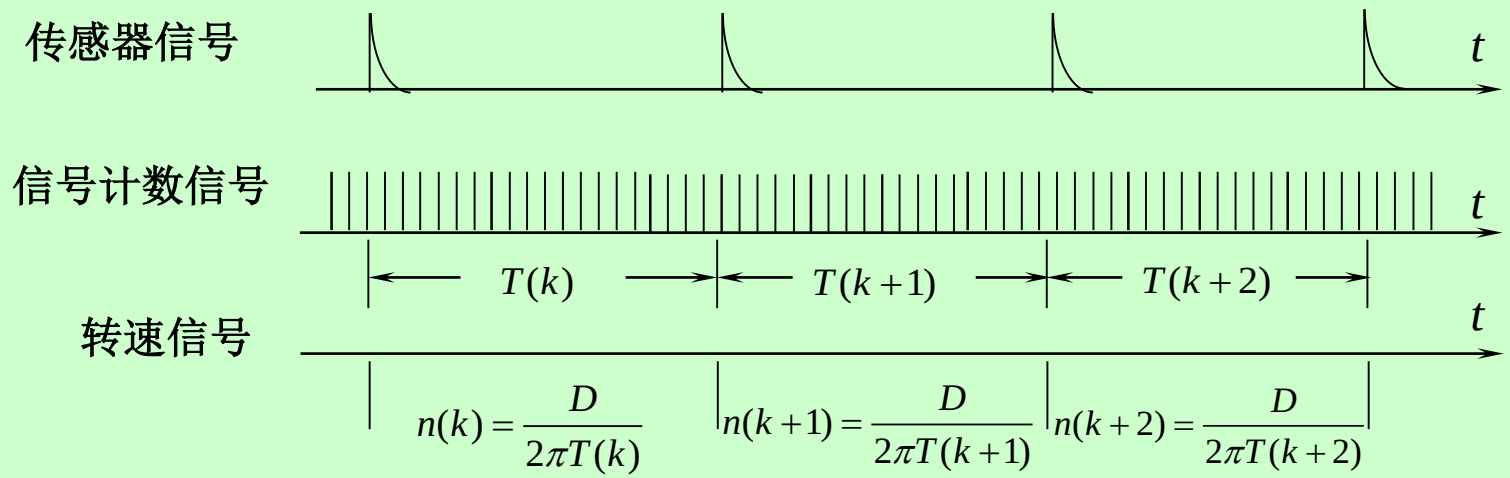
其中：*K*为折算系数，*K*=1/*N*；齿数*N*取决于对转速测量精度要求和加工工艺的限制；测量周期*T*则取决于对测量精度要求和测量速度要求的协调，*T* 越大，精度越高，但测量的反应速度则越慢。



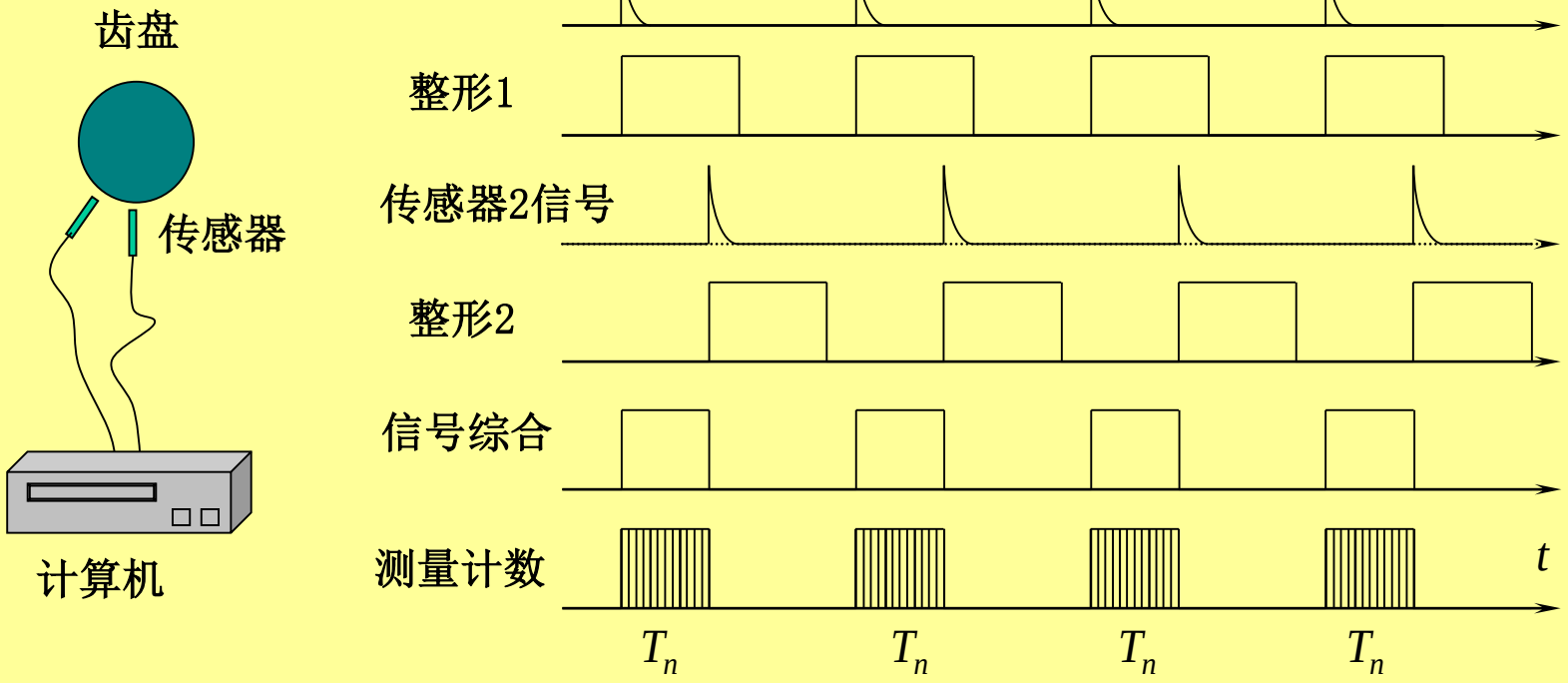
这种方法简单、可靠，对齿盘加工的精度要求不高。但存在测量精度不高和反应速度慢的缺点。

• 转速测量的周期法（*T*法）

基本原理：在给定的角位移内，通过测量这一角位移的时间来测量转速。将外径为*d*水电机组的齿盘加工成*N*个齿，其标准齿加工间距（角位移）为$D=2\pi/N$ 。当机组旋转时，各齿边沿通过传感器感应产生其周期依据转速变化的脉冲信号，信号周期将受机组转速和齿距D的影响。当通过计算机记录到脉冲信号的周期$T(k)$ ，则此时机组转速为$n(k)=D/2\pi T(k)$ 。



由于存在着齿盘的加工精度很难保证水电机组转速测量的精度要求。为了解决这一困难，通常采用齿盘测速的双传感器策略，即沿齿盘圆周不同位置设置两个传感器，在已知两个传感器之间距离Y的前提下，测量齿盘中各齿通过两个传感器的时间T_n，并由此计算机组转速$n=KY/T_n$。这种方法是通过两个传感器来消除齿盘加工精度等引起的测量误差，以满足水电机组控制对测速精度和实时性方面的要求。$K=1/\pi d$



2、温度信号器与温度传感器

在水电机组及其辅助设备中，各发热部件和摩擦表面的工作温度均有一定的限制。若温度超过这个限度，则可能引起这些部件和摩擦表面烧毁。因此，必须对发热部件和摩擦表面的工作温度进行检测。

被检测的部件和摩擦表面包括：

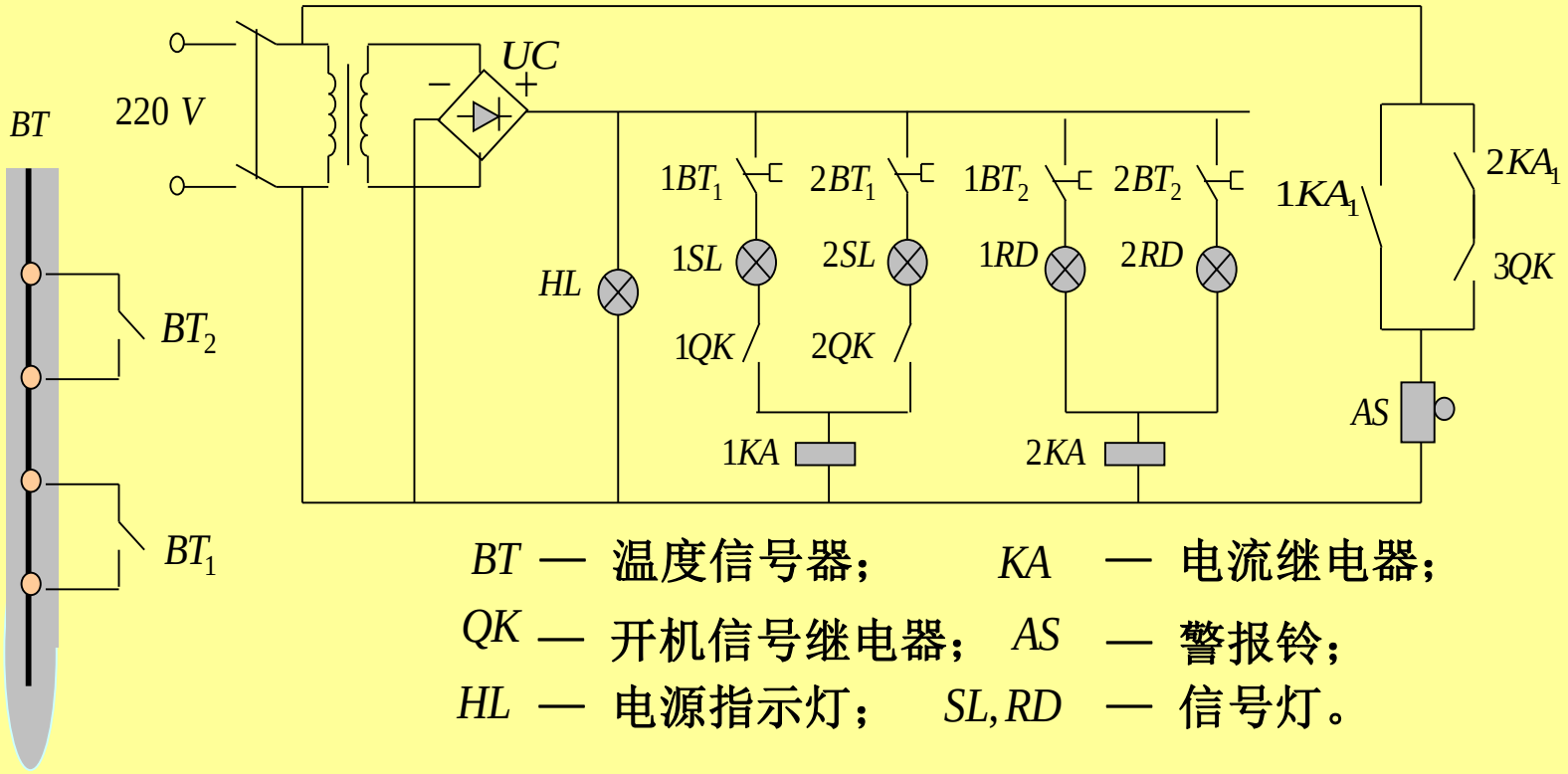
- 水轮机导轴承、发电机推力轴承和上下导轴承的轴瓦温度；
- 发电机线圈和铁芯的温度；
- 集油槽内的油温和空气冷却器前后的空气温度等。

当工作温度达到越限值时，温度信号器应自动发出信号。以下将介绍几种常用的温度信号器和传感器，以及它们的工作原理。

（1）电接点水银温度信号器 P132

工作原理：一定质量的水银的体积随温度的变化而变化，且水银具有导电性。

下图为采用两只水银温度信号器的温度报警和保护原理图：



BT — 温度信号器；　KA — 电流继电器；

QK — 开机信号继电器；　AS — 警报铃；

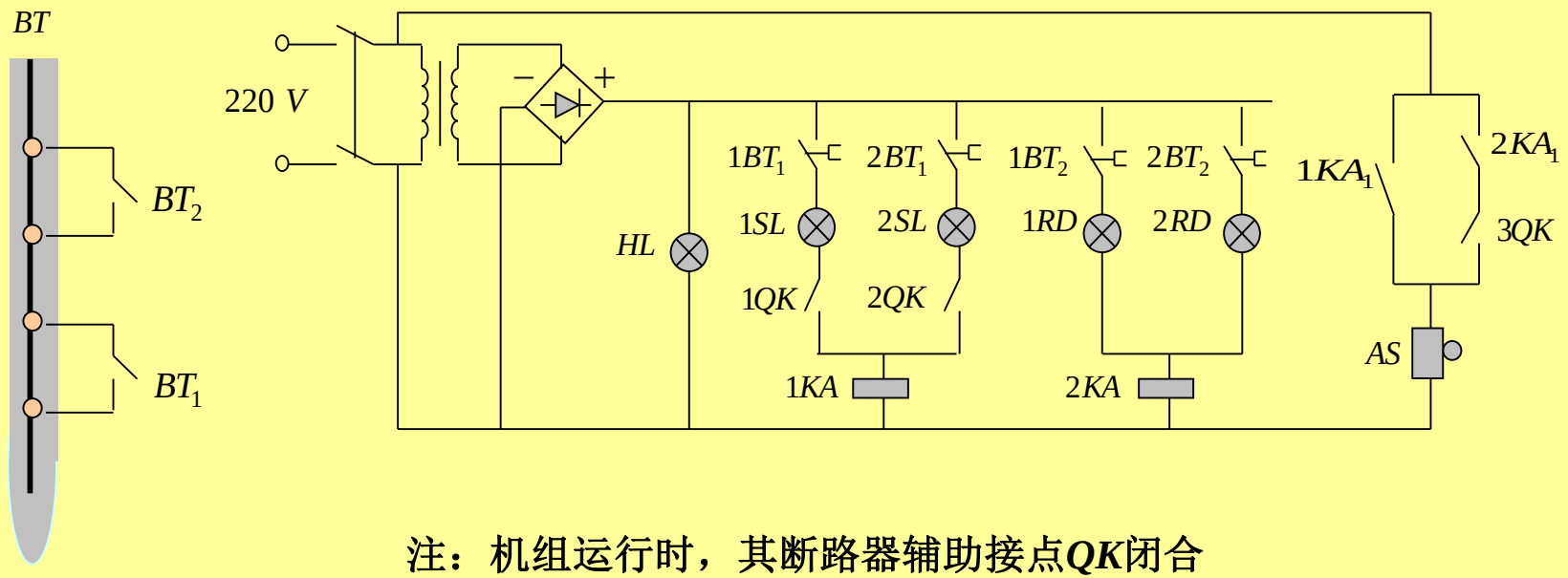
HL — 电源指示灯；　SL, RD — 信号灯。

➢ **温度报警：**

当两只信号器中任一只的温度超过报警值（60° C）时，其接点BT_1被水银柱接通，相应的信号灯SL亮，同时继电器1KA动作，其常开接点$1KA_1$闭合，AS电铃发出音响信号；

➢ **温度保护：**

当温度达到事故值时，温度信号器的接点BT_2被水银柱接通，相应的信号灯RD亮，同时继电器2KA动作，其常开接点$2KA_1$闭合，AS电铃发出音响信号。



注：机组运行时，其断路器辅助接点***QK***闭合

（2）热电阻传感器

工作原理：热电阻是利用电阻与温度成一定函数关系的金属导体或半导体材料制成的感温元件。当温度变化时，电阻相应也发生变化。通常，大多数金属当温度升高1度时，其阻值要增加0.4~0.6%；而半导体的阻值要减少3~6% ，即某些导体或半导体的阻值是温度的函数$R=f(T)$ 。只要事先知道这种关系，而且能够把阻值测量出来，由此就可以测量导体或半导体周围介质的温度。

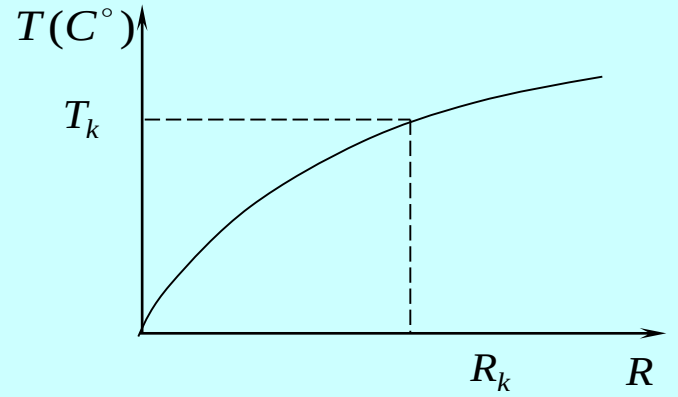
在水电站自动化中常用的有由铂、铜、镍等金属材料制成的热电阻。其中：

- 铂金属在高温下的物理和化学性质稳定、精度高，使用范围为：

$$-200 \sim +500^{\circ}C$$

- 铜金属的电阻值与温度的关系基本是线性的，使用范围为：

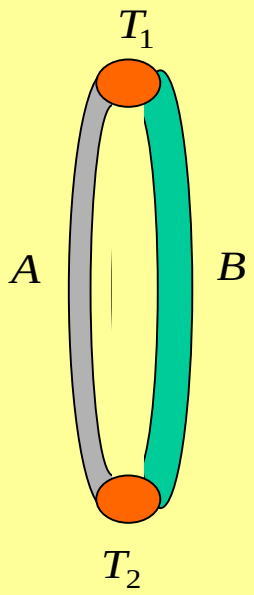
$$-50 \sim +150^{\circ}C$$



（3）热电偶传感器

热电偶是目前测量温度领域中最广泛的敏感元件。其特点是：体积小、热容量和热惯性小，可用于快速测温。

热电偶是由两种成分不同的导体A和B连接在一起构成的感温元件（如图）。当导体A和B的两个接点1和2存在温差时，回路中将产生感应电势，这种效应称为热电效应。

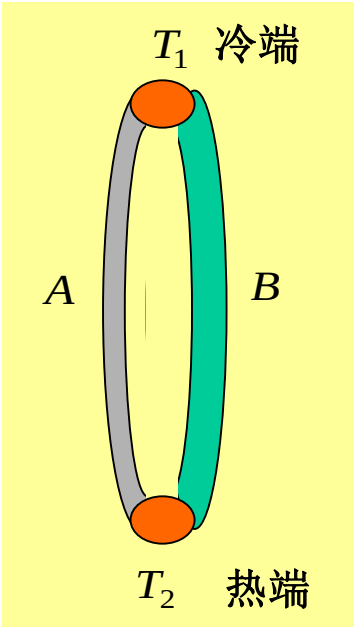


热电势由接触电势和温差电势组成，其中：

- 接触电势是由于A与B的金属材料不同，使其内部的电子浓度不同，发生自由电子的迁移而产生的电位差。当温度不变时，接触电势为常数；
- 温差电势是由于金属两端的温度不同而产生的电动势。如图，当$T_2 > T_1$ 时，处于较高温度区（T_2）的电子能量就大，因此也就会向较低温度的低能量区（T_1）运动。当温度差一定时，而产生一定值的电位差，即温差电势。

综上所述，热电偶回路中热电势的大小只与组成热电偶的材料和两端的温度有关，与热电偶的尺寸无关。当构成热电偶的材料确定后，热电势的大小仅与热电偶两端的温度有关。这就是热电偶的热电特性。

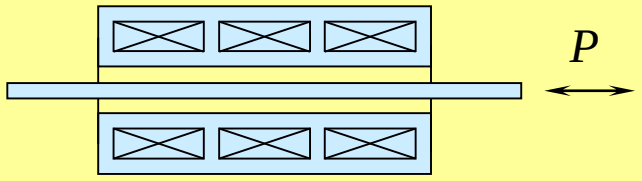
在热电偶回路中，A和B两种导体称为热电极。T_2端称为热端（或工作端）；T_1 端成为冷端（或自由端）。当自由端的温度为常数时，则热电势就与工作端的温度T_2 建立起相互对应的关系。有了这种关系，只要测得两端的电势，就可得被测介质的温度了。这就是热电偶测温的基本原理。



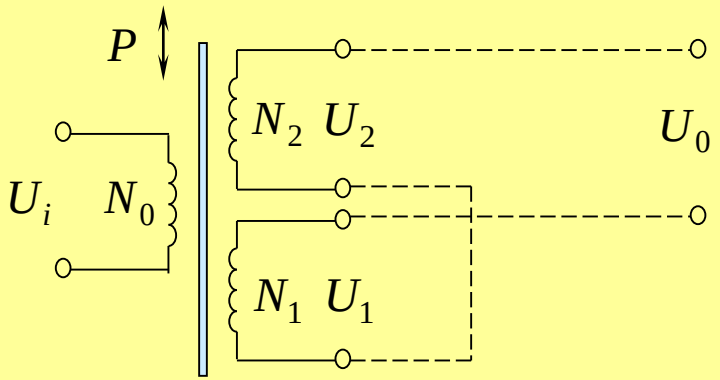
4. 线性位移传感器

在水电机组的自动检测与控制中，经常需要测量机械位移（如主接力器行程等）。所谓线性位移量是指被测部件的相对位置与参考点之间距离所产生的相对变化量。

差压变压器式位移传感器是一种利用互感原理制成的位移传感器，即是一种利用线圈的互感作用将位移转换成感应电势的装置，主要由线圈和铁芯构成（如下图）。



楞次定律：$e=-\dfrac{d\Psi}{dt}=-\dfrac{dN\Phi}{dt}$

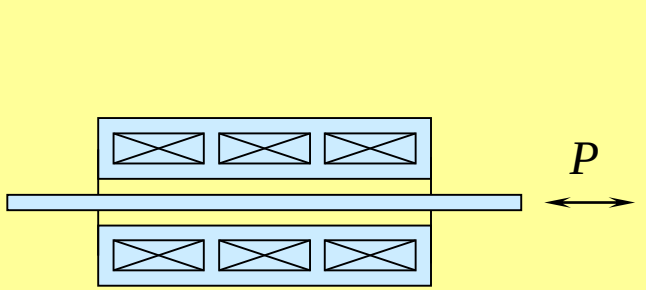


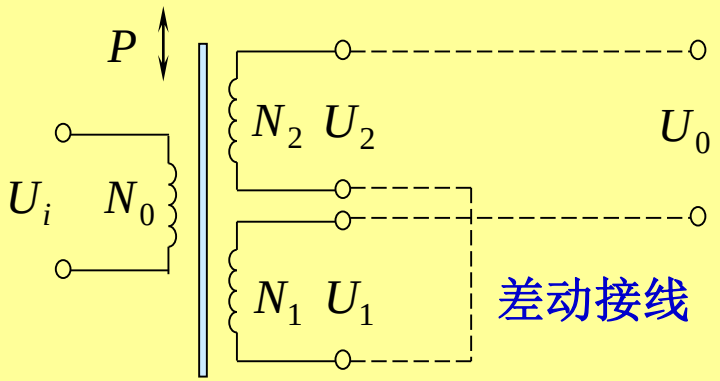
差压变压器有三个绕组（原边N_0，副边N_1,N_2）。当铁芯P在线圈内左右移动时，由于磁通的变化，从而改变了原边、副边线圈之间的互感量（楞次定律），原边线圈受到激磁后，副边线圈所产生的感应电动势U_0也随铁芯的位置的不同而相应改变，有一一对应关系。

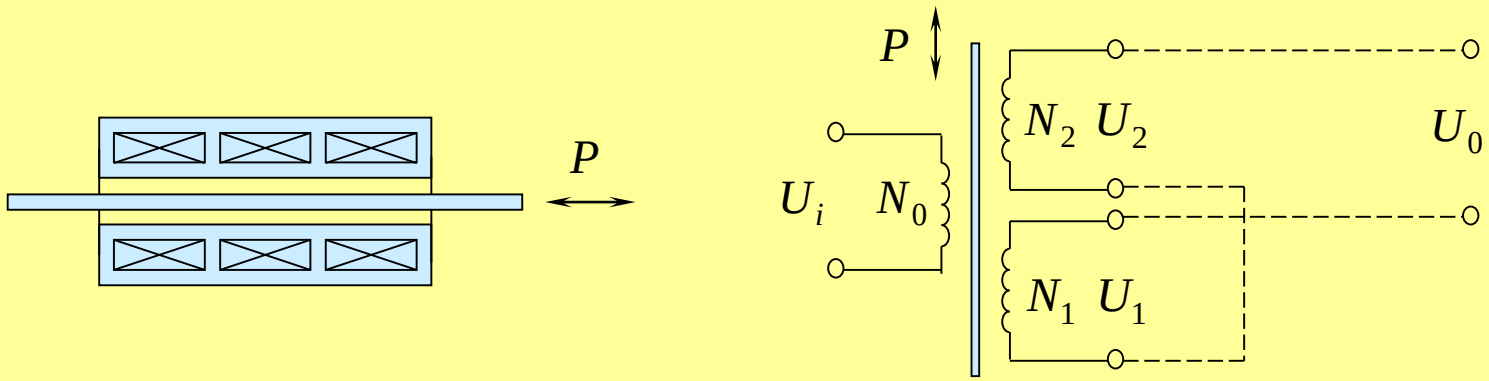
设： 原边受到激磁电压 U_i（交流 $1\sim3kHz$ 等幅）的作用；

两个完全相同的副边线圈 N_1和 N_2（ $N_1=N_2$）感应出电压U_1，U_2；则：差动接线的传感器输出电压 $U_0=U_2-U_1$。

当铁芯处于中间位置时，副边线圈N_1 和N_2 通过的磁力线相等，故$U_{10}=U_{20}$，有 $U_0=U_{20}-U_{10}=0$。







当铁芯 P 向上运动时，N_1和N_2的磁通均发生变化。此时，两个副边绕组所产生的感应电势不再相等：

- 偏离铁芯ΔX位移的N_1线圈降低ΔU，即 $U_1 = U_{10} - \Delta U;$
- 靠近铁芯ΔX位移的N_2线圈增加ΔU，即 $U_2 = U_{20} + \Delta U;$

则输出电压为：

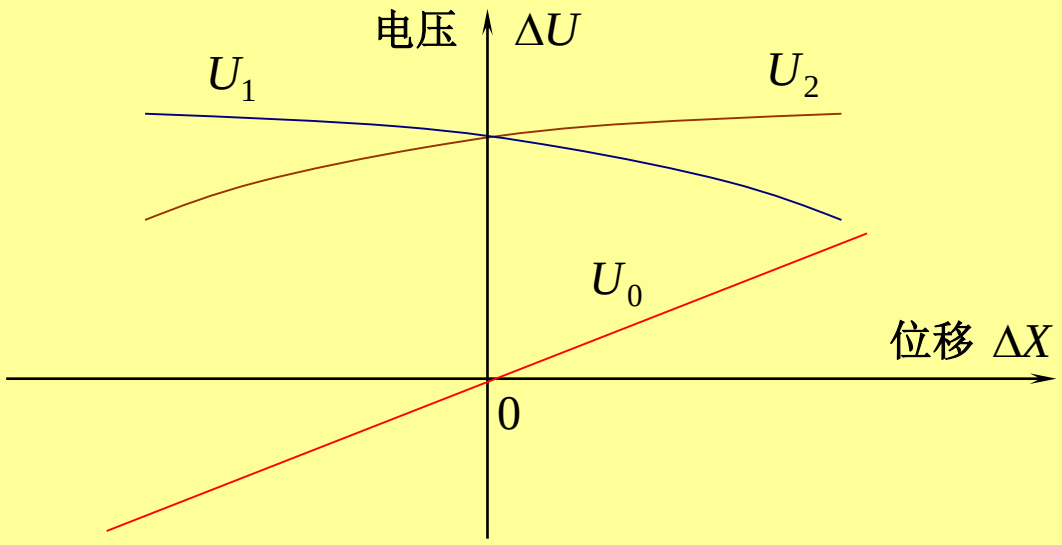
$$U_0 = U_2 - U_1 = (U_{20} + \Delta U) - (U_{10} - \Delta U) = 2\Delta U$$

当铁芯 P 相反运动时有：$U_0 = -2\Delta U$

通过上述分析可知（如图）：差动变压器输出电压U_0的大小和方向反映了铁芯 P位移的大小和方向。

虽然单个线圈的感应电势（ U_1 ，U_2 ）与铁芯 P 的位移 ΔX 不具有线性关系，但将两个线圈差动连接后，其感应电势的差值与铁芯位移就成为线性关系：

$$\Delta X = KU_0$$

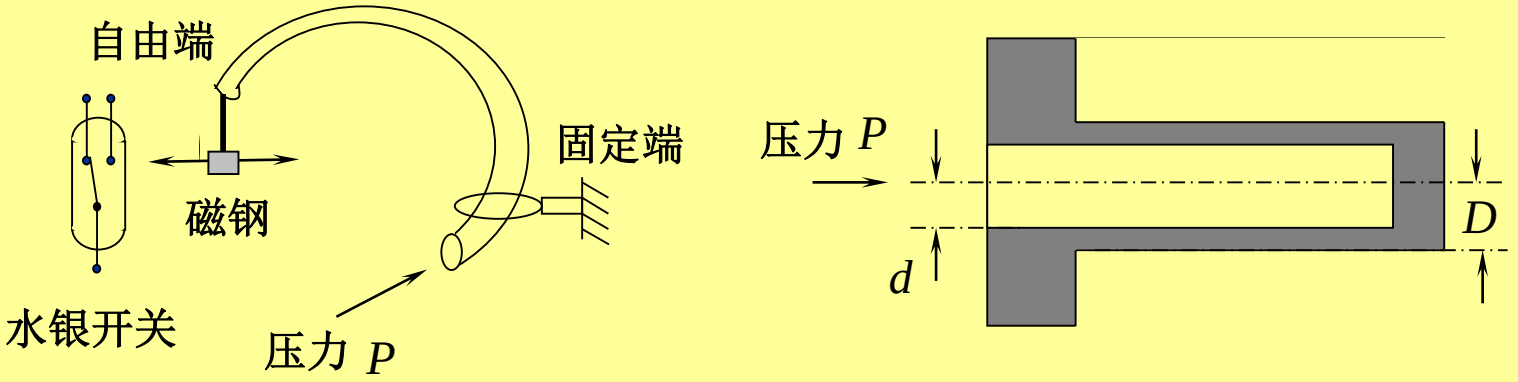


5. 压力传感器与压力信号器

压力信号器用于监视油、气、水系统的压力。在机组制动系统压力油槽、技术供水及气系统上均装有压力信号器，以实现对压力值的监视和自动控制。

- 筒式压力传感器

这种压力传感器主要由一个薄壁金属圆筒（又称弹簧管）和两对水银开关接点组成。其中弹簧管是一根中空的椭圆截面，并弯成圆形的金属管，且管的一端开口，一端不通。



动作原理：被监测的气体经管开口引入管内，在压力P 的作用下，由于管内、外侧的面积不相等，管外表面的圆周方向和轴向均产生应力，使管子的自由端移动。

两个方向的应力为：

圆周方向的应力：$$\sigma_1 = \frac{2P}{(\frac{D}{d})^2 - 1} \quad (Pa)$$

d 弹簧管内径

轴向的应力：$$\sigma_2 = \frac{P}{(\frac{D}{d})^2 - 1} \quad (Pa)$$

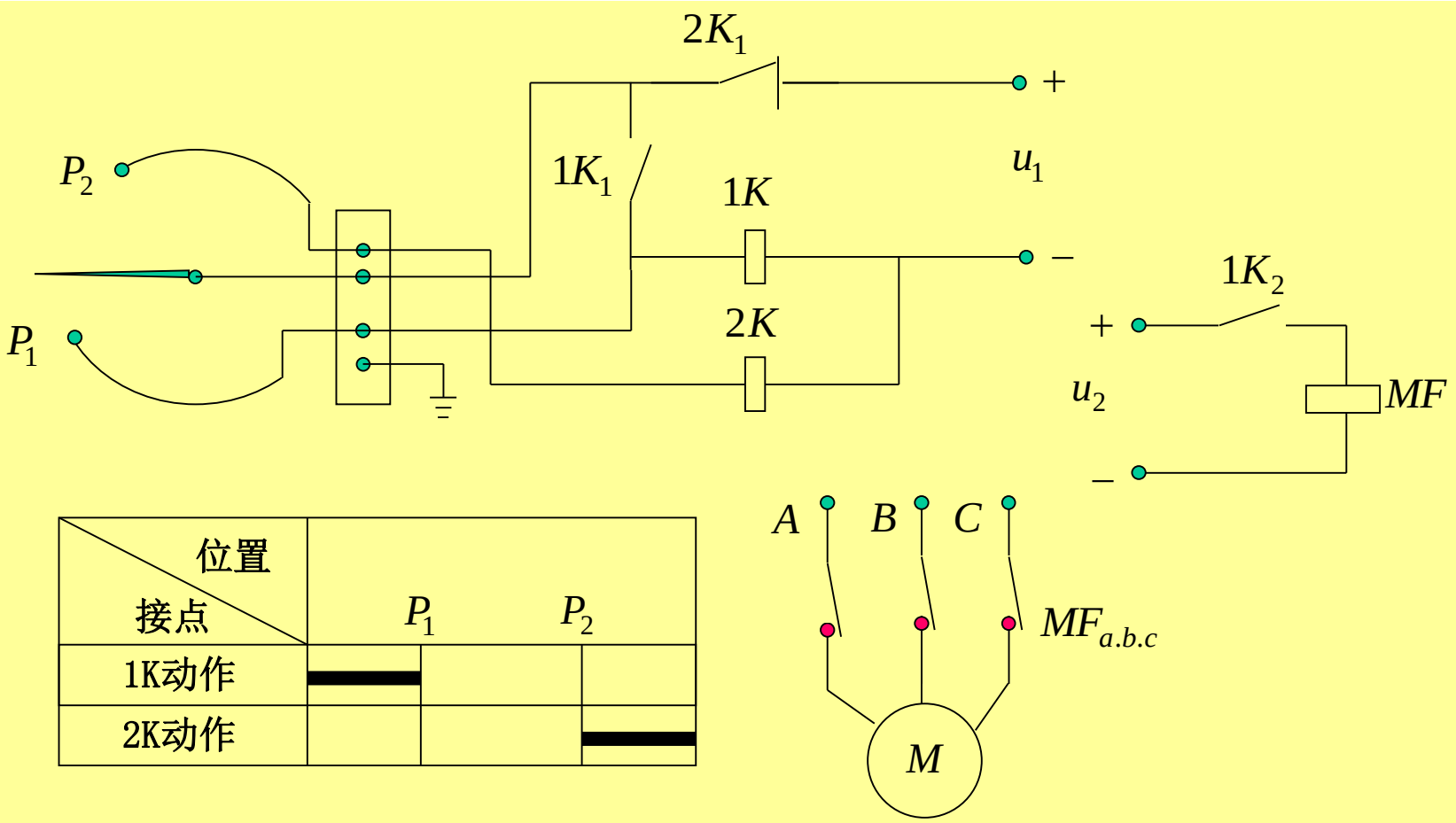
D 弹簧管外径

在压力P 的作用下，沿弹簧管长度方向，内径d 与外径D 相应变化，则两个方向上的应力产生变化，使管子的自由端移动，并通过连杆传动机构带动水银开关，当被测压力P 达到上、下限值时，水银开关断开或闭合。

- 电接点压力信号器

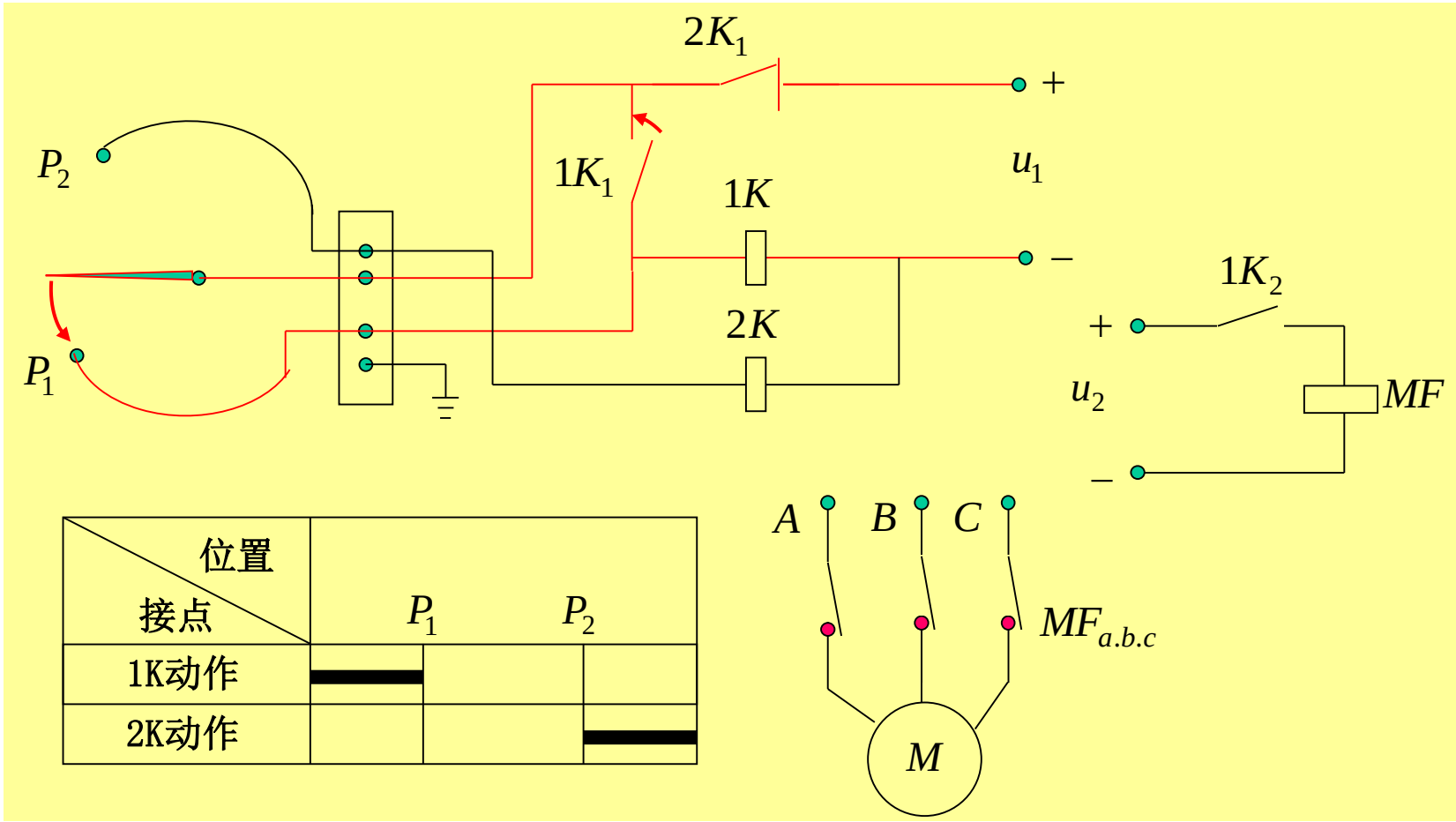
这种信号器由弹簧管和相应电路组成，用于指示被测气体压力，并在压力达到上、下限值时，发出信号。

双位置控制的接线原理图为：



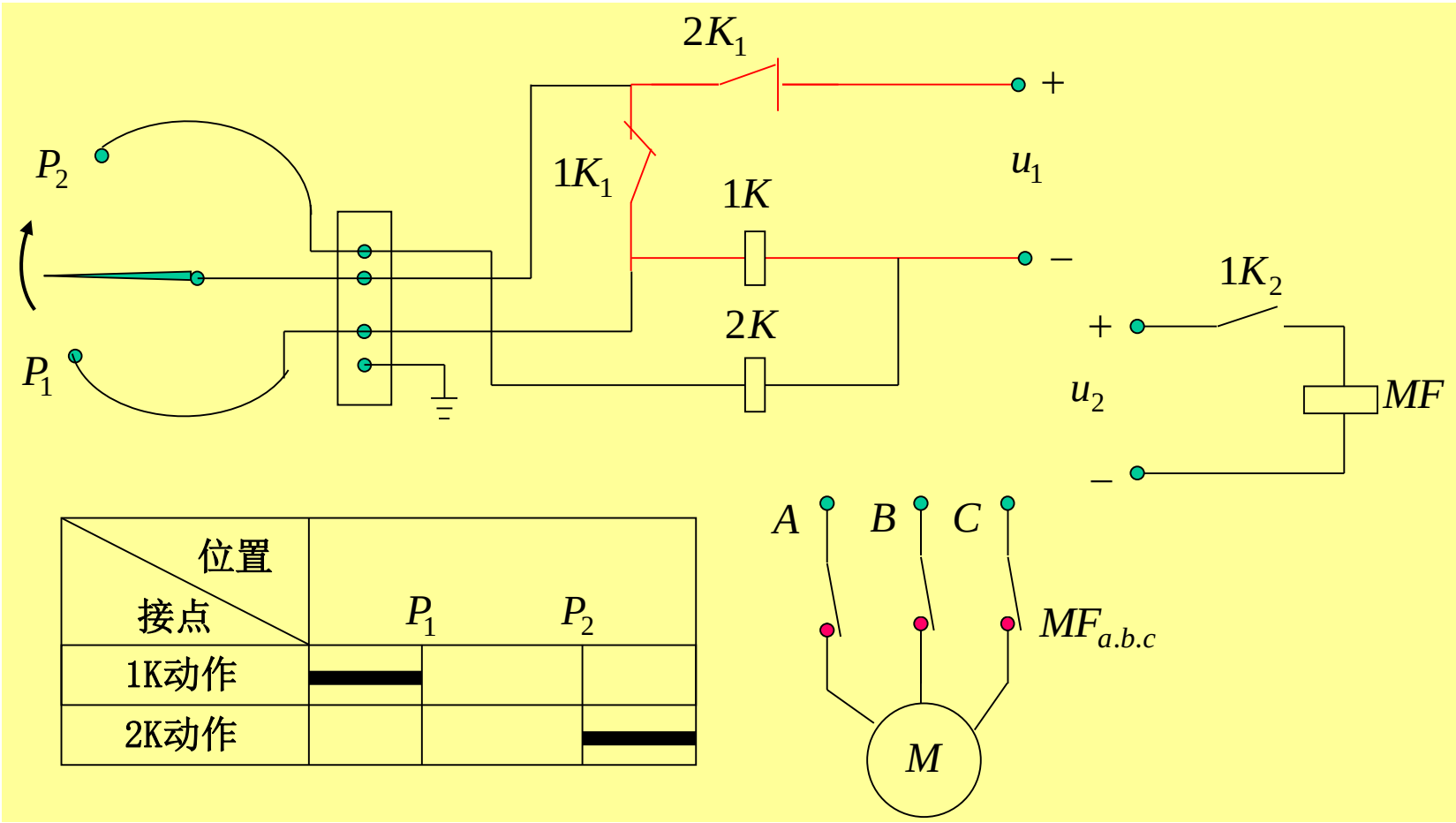
位置 / 接点	P_1	P_2
1K动作	▬	
2K动作		▬

压力降到P1时，继电器1K通电，其接点$1K_1$闭合自保持，同时$1K_2$闭合，起动器MF通电，电动机M起动。



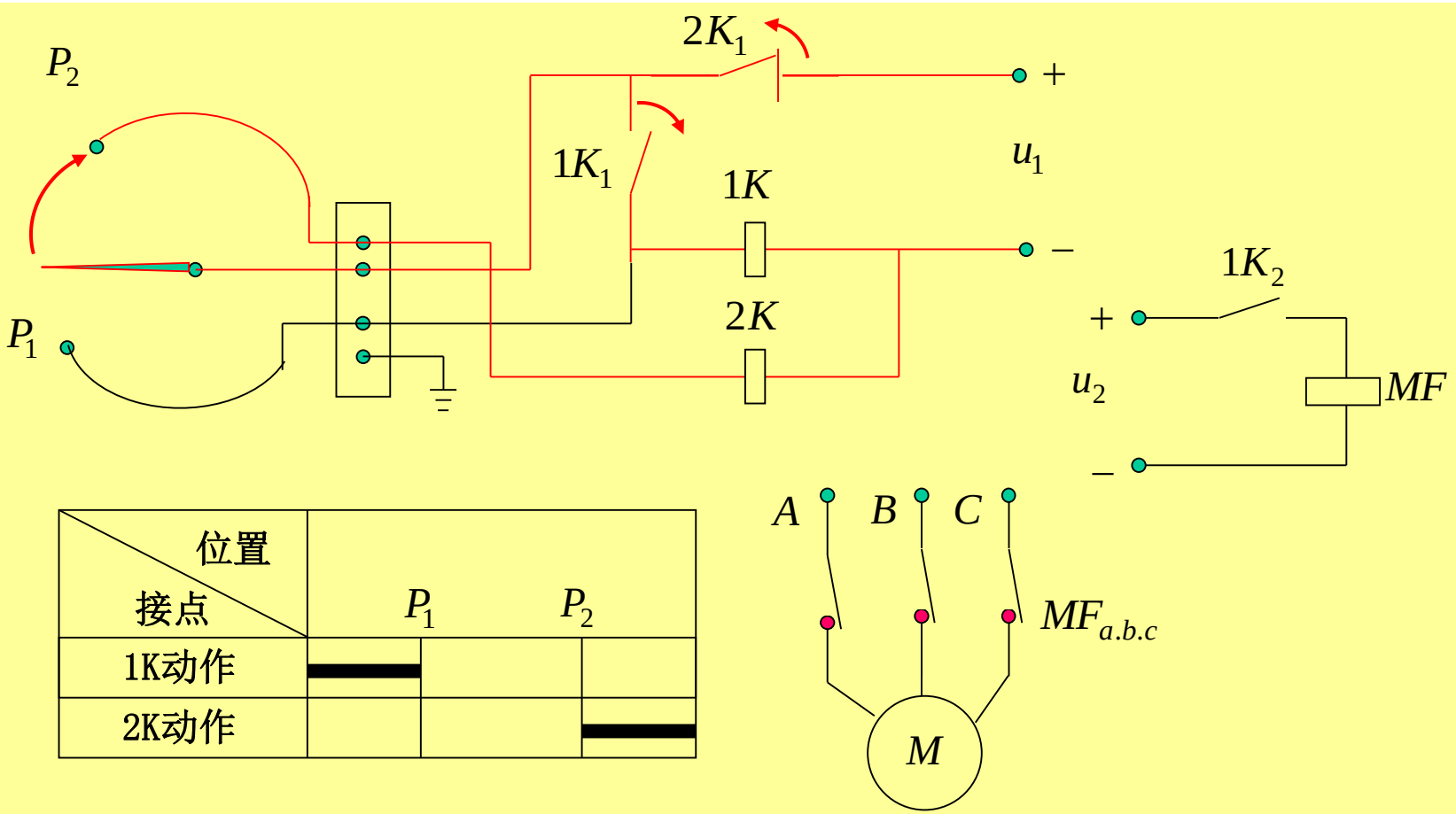
位置 / 接点	P_1	P_2
1K动作	■	
2K动作		■

压力上升，大于**P1**、小于**P2**时的电路图：



位置 / 接点	P_1	P_2
1K动作	▬	
2K动作		▬

压力升到P2时，继电器2K通电，其对应接点$2K_1$（动断接点）断开，使得继电器1K断电，导致对应接点$1K_1$、$1K_2$断开，使起动器MF断电复归，电动机M断电。当压力降低到P1时重复前面的动作。

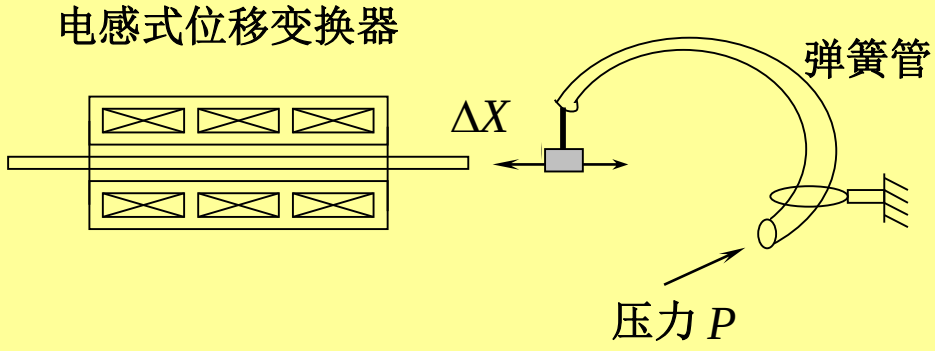


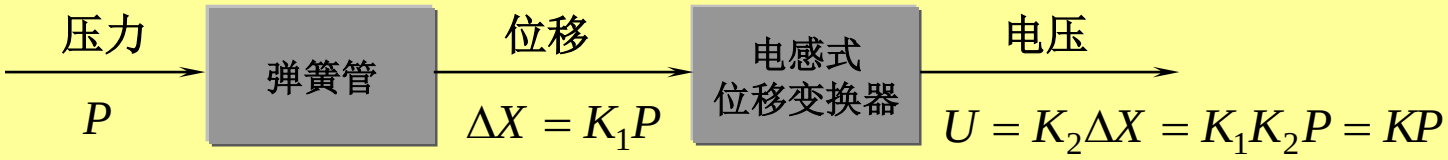
位置 / 接点	P_1	P_2
1K动作	■	
2K动作		■

- 电感式压力变送器

压力变送器是一种将被测介质的压力值转换成为电气信号的装置，用于进行压力的远距离测量、集中检测和自动记录。

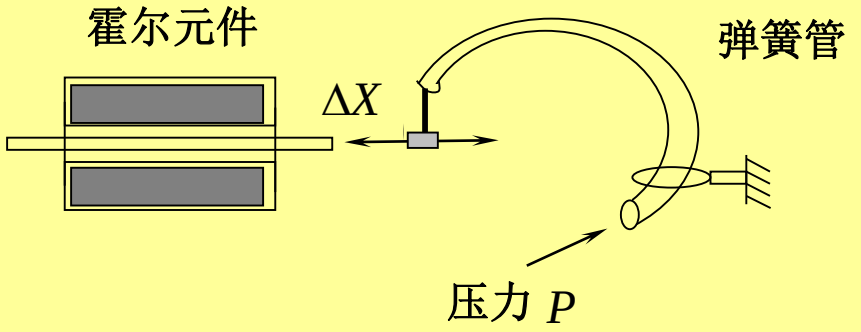
电感式压力变送器主要由弹簧管和电感式位移变换器组成，其工作原理为：被测压力作用于弹性元件产生位移，然后由电感式位移变换器将位移线性地转换成为电气信号。

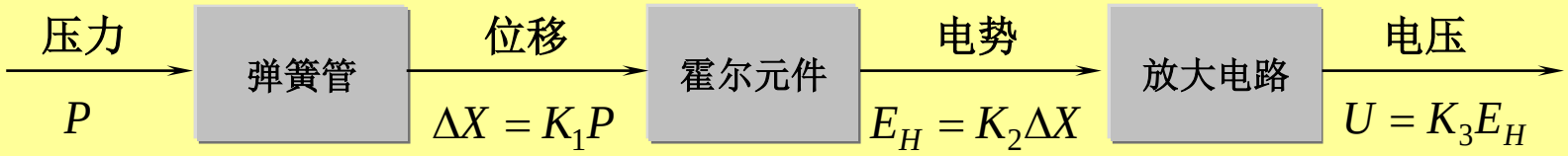




- 霍尔元件式压力变送器

霍尔元件式压力变送器主要由弹簧管、霍尔元件和放大电路组成，其工作原理为：被测压力作用于弹性元件产生位移，然后由霍尔元件式位移变换器将位移线性地转换成为电气信号。





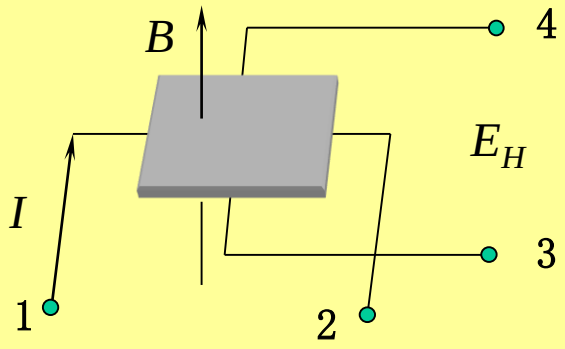
霍尔元件是利用霍尔效应将位移线性地转换成为霍尔电势。

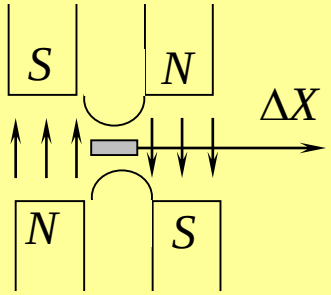
霍尔效应是电磁效应的一种，这一现象是美国物理学家霍尔（E.H.Hall，1855—1938）于1879年在研究金属的导电机制时发现的。霍尔效应：如果把制成薄片的半导体材料（霍尔元件）放在磁场中，并使磁场与霍尔元件的平面垂直，当1，2端通过电流I时，在既和电流方向垂直，又和磁场方向垂直的方向上，即在3，4端产生电势E_H（称为霍尔电势），其值与磁场强度B和电流强度I之积成正比：

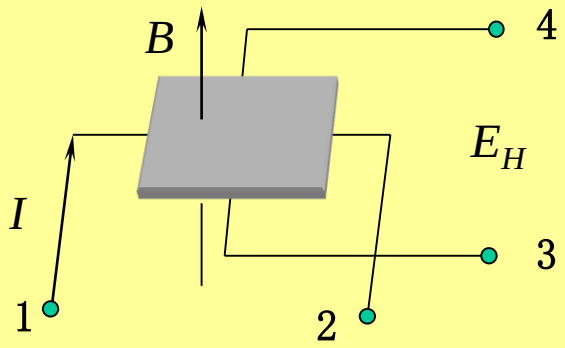
$$E_H = KBI$$

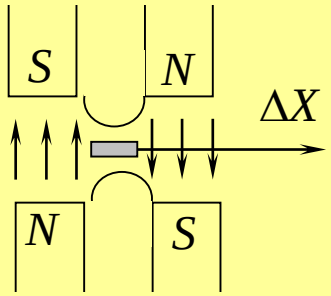












应用霍尔元件在磁场中的不同位移时，对应不同的霍尔电势这一原理，构成了位移—电势变换。此元件的电势极按磁场内磁感应强度的大小，感应出不同的电势。为了在空隙中构成梯形磁场，通常由四个磁极构成，分别形成向下和向上的两个磁场。霍尔电势E_H是由这两个磁场的差所形成。因此有：

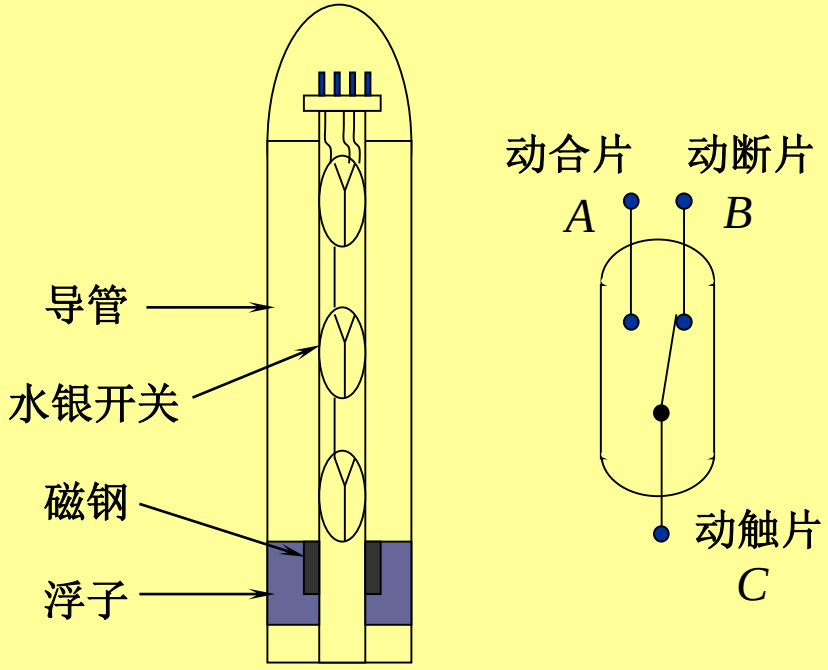
$$E_H = K\Delta X$$

6. 液位信号器

用于监视机组推力轴承油槽、上下导轴承油槽和漏油槽的油位，并可用于对机组顶盖漏水、集水井排水及机组调相运行时转轮室等处的液位进行监视和自动控制。

- 浮子式液位信号器

这种液位信号器主要由浮子、磁钢、导管和水银开关组成。当液位到达设定值时发出信号。



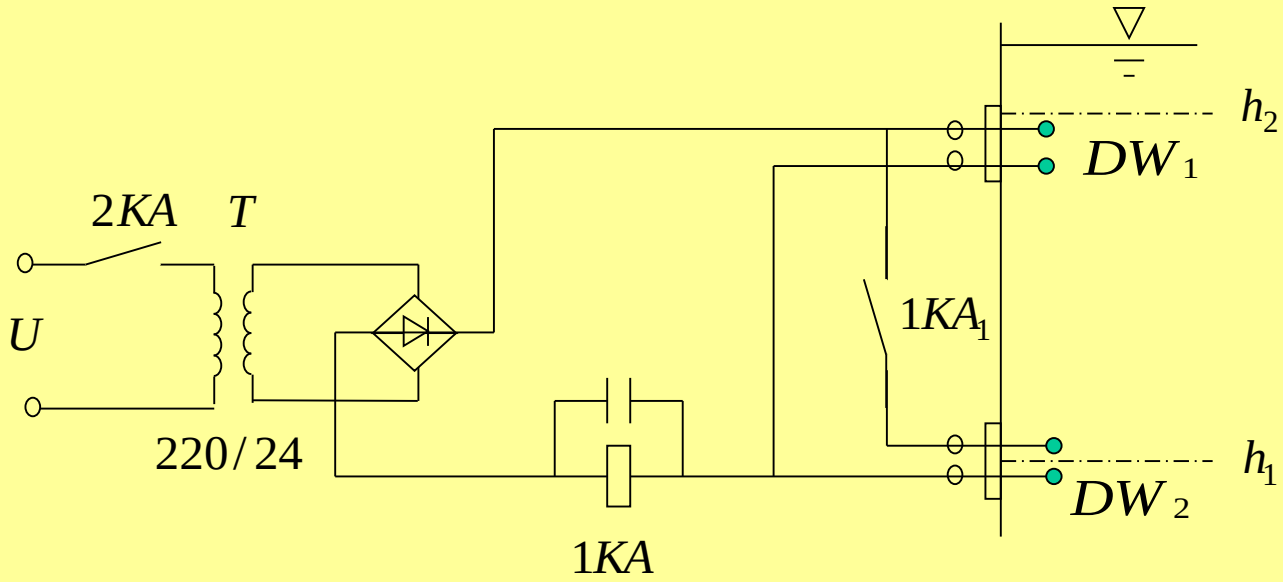
当磁钢接近水银开关时，在磁场的作用下，动触片和静触片产生极性相反的N极和S极，结果A被吸引与C接通，与B断开；当磁钢移开时，动触片复归。

水银开关:装水银是为了增大节点容量，减少回弹（汞是液态，接触面大更稳定）。

- 电极式水位信号器

利用水的导电性原理工作，并靠电极监视水位的高低。下图是以电极式水位信号器构成的调相压水控制接线图。

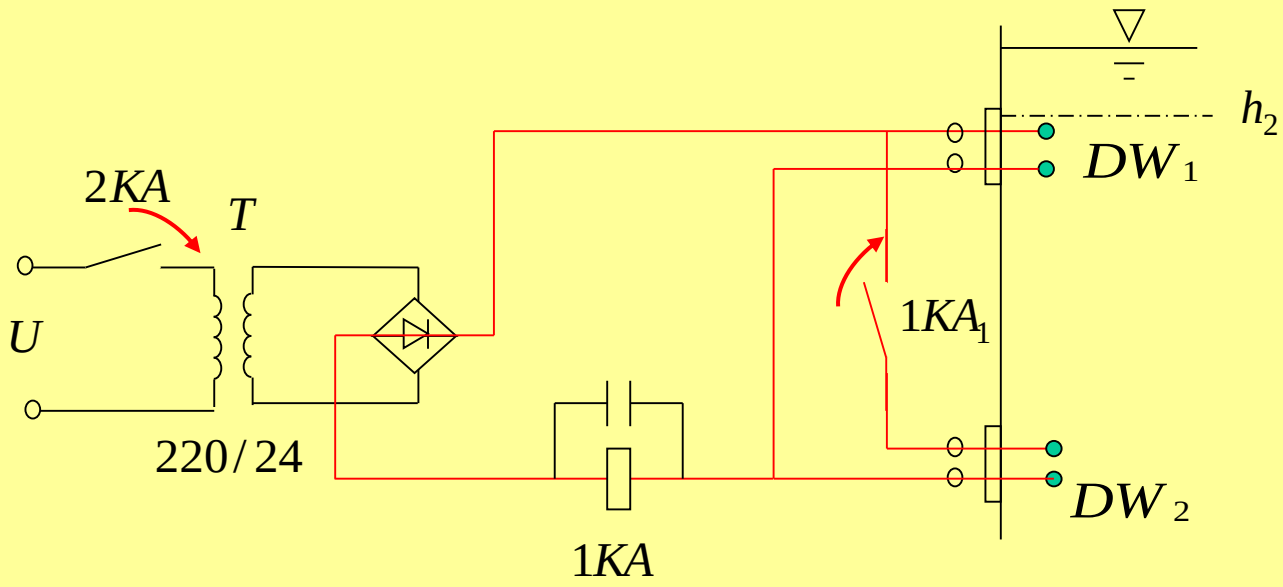
该电路任务是控制压缩空气排水，使转轮室的水位保持在 $h_1 < h < h_2$。



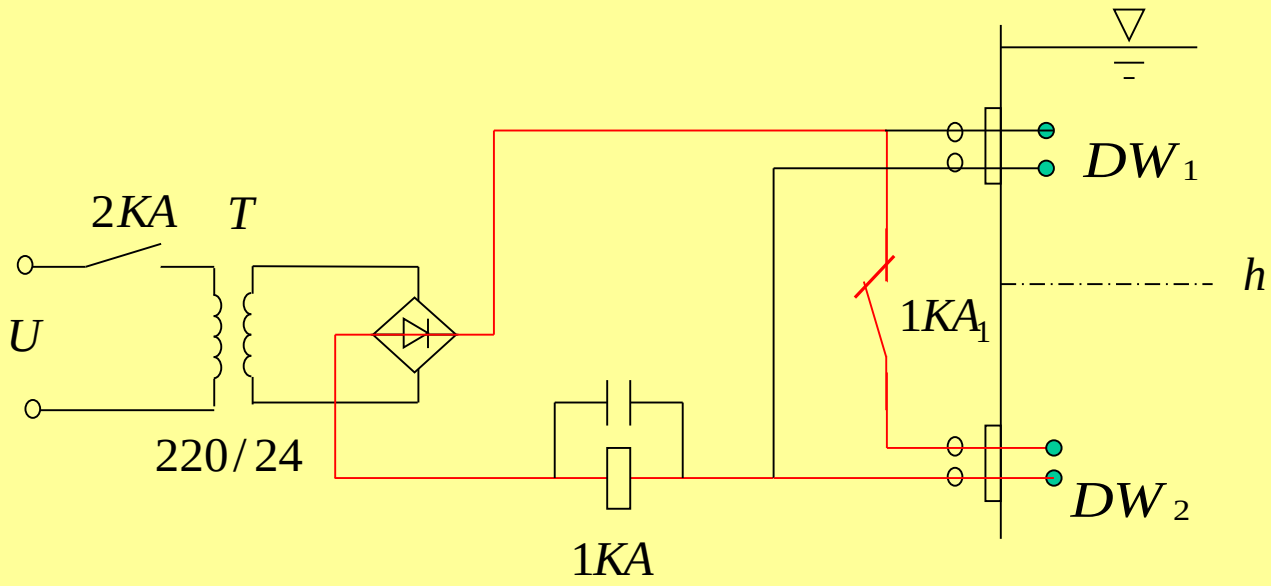
其中：1KA —电流继电器，其接点闭合时，使调相供气管路上的电磁阀开启，并使 $1KA_1$保持，电容C起抗干扰和保护1KA的作用；

2KA —调相运行接点。

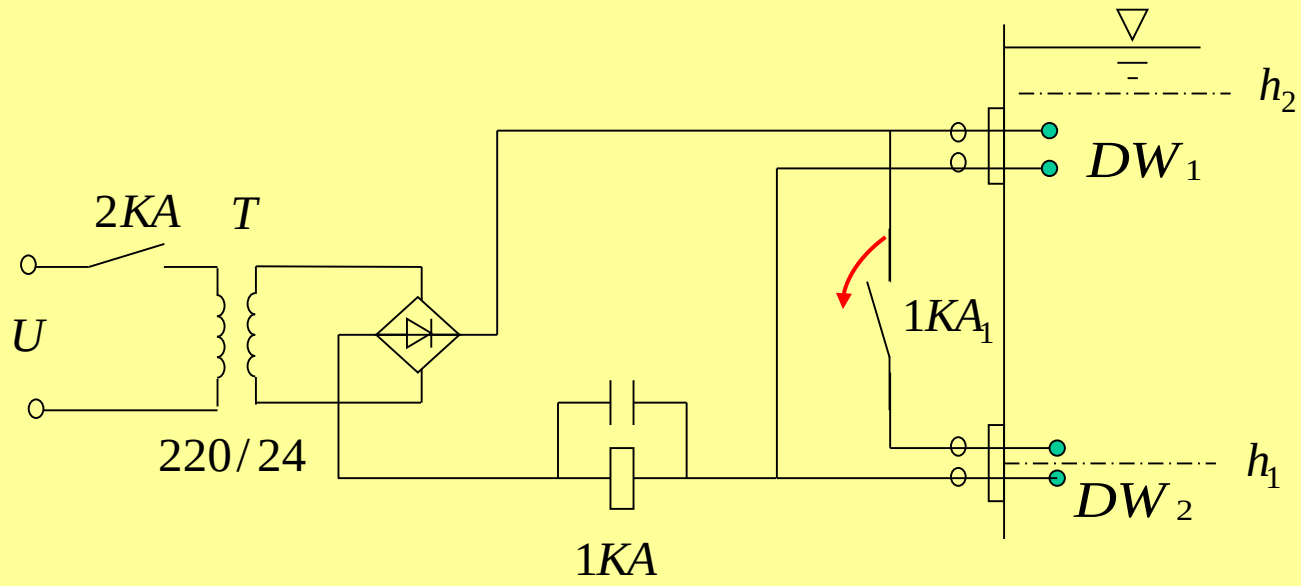
当机组由发电转调相运行时，信号器的电源由2KA接点的闭合而自动投入，如果此时电极DW_1，DW_2都浸入水中（水位大于等于h_2时），那么电流继电器1KA动作，其接点闭合使调相供气管路上的电磁配压阀开启，并使$1KA_1$闭合而保持，在压缩空气作用下，水位下降。



当水位下降，DW_1不浸入水中后，DW_1电极断电，电路发生改变（如下图），但由于$1KA_1$闭合保持，IKA仍通电，水位继续下降。



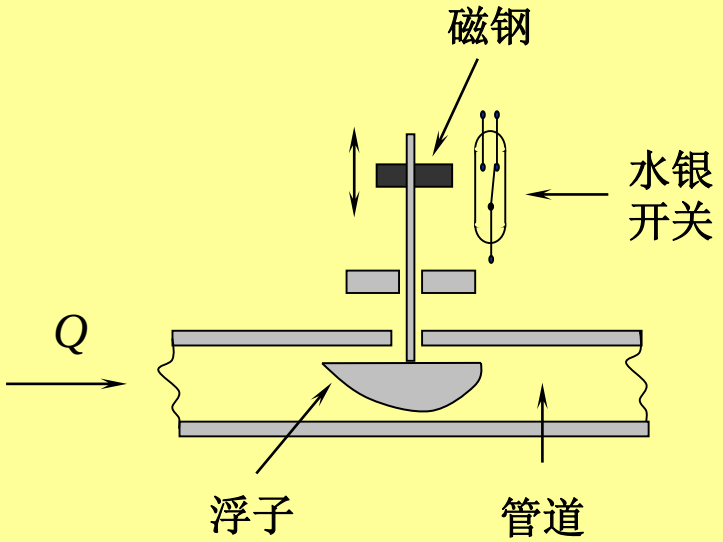
在压缩空气作用下，当水位下降到h_1以下时，电极DW_2断电，1KA断电复归，$1KA_1$断开，电磁配压阀关闭，压缩空气停止通入，当水位又上升到h_2时，则重复上述动作。

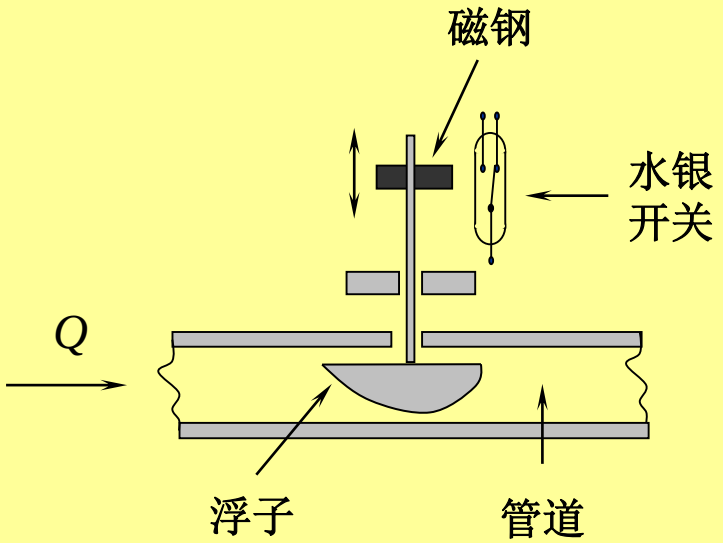


7. 液流信号器

用于对管道内的流体流通情况进行自动监视，当管道内流量很小或中断时，可自动发出信号，投入备用水源或作用于停机。主要用于发电机冷却水、水轮机导轴承润滑水及其它冷却水的监视。

冲击式示流信号器的结构如图所示：



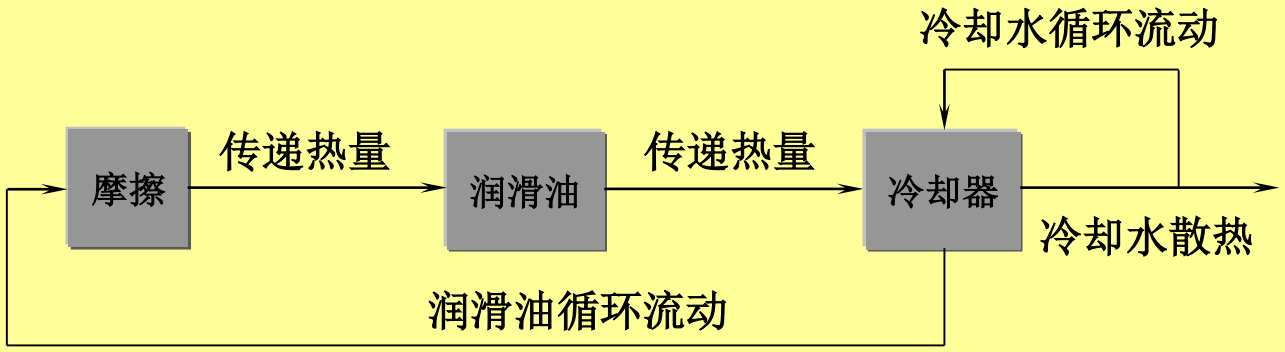


动作原理：有水流时，借助水流的冲击，将浮子及磁钢推动上升到一定位置。使水银开关的常闭接点断开；如果水流减少到一定程度或中断，则浮子及磁钢下降，使水银开关接点闭合，从而发出断流信号。

8. 油的作用与油混水信号器

油在水电设备运行中的作用为：

- 润滑作用：在轴承或滑动部分间造成油膜，以润滑油内部摩擦代替干摩擦，从而减少部件的发热和磨损。
- 散热作用：设备转动部件因摩擦所消耗的能量转变为热量，使温度升高，对设备的功能和安全造成影响。油可起到散热作用。



- 液压操作：透平油可以作为传递能量的工作介质。在水电站有许多设备，如调速器、进水阀、液压阀等都是通过高压油进行操作。

液压操作为什么用油不用水？都是液体

1.泄漏:液压元件中大部分的运动副采用间隙配合的方式，其缝隙量的大小对泄漏量的多少影响很大，而**水的粘度比液压油的粘度低**，同等条件下，水比油的泄漏量要大，使系统的容积效率更低。



2.防腐和润滑:由于水的油膜强度较低，使水比油的润滑性差的多,并且水能腐蚀许多金属，导致金属表面剥落。



3.气蚀:由于水的饱和蒸汽压比油高，因此水液压系统更容易产生气蚀现象。

4.水在0°C以下会结冰:如果环境的温度降到0°C以下，就必须在水中加防冻液。传统的防冻液含有对环境和人体有害的物质，不能用于环保型的液压系统。

在油的使用过程中必须防止油的劣化，避免使油丧失其应有的效能。水分是造成油劣化的主要原因。油在运行或储存过程中。会因潮气或漏水侵入而产生水分，使油乳化而丧失其应有的效能，并增加腐蚀性。



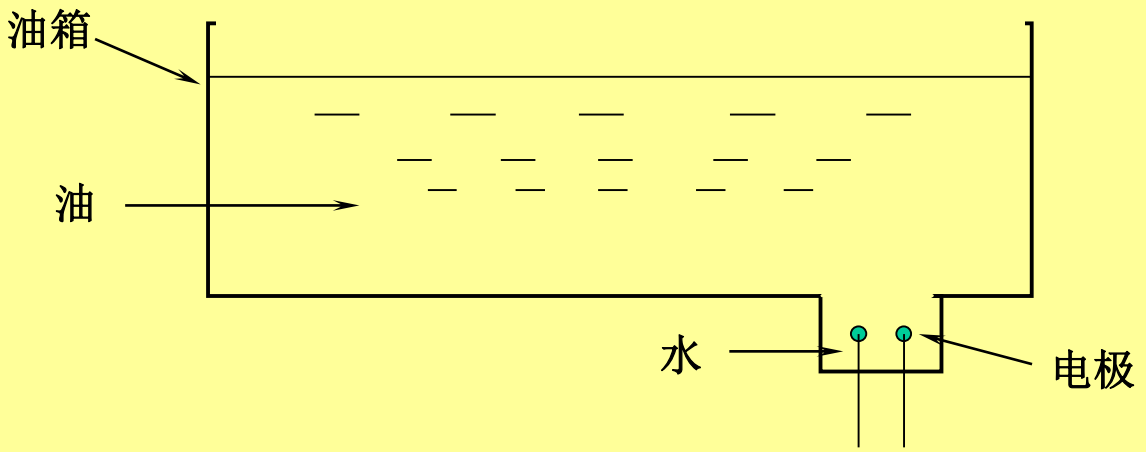
正常液压油产品



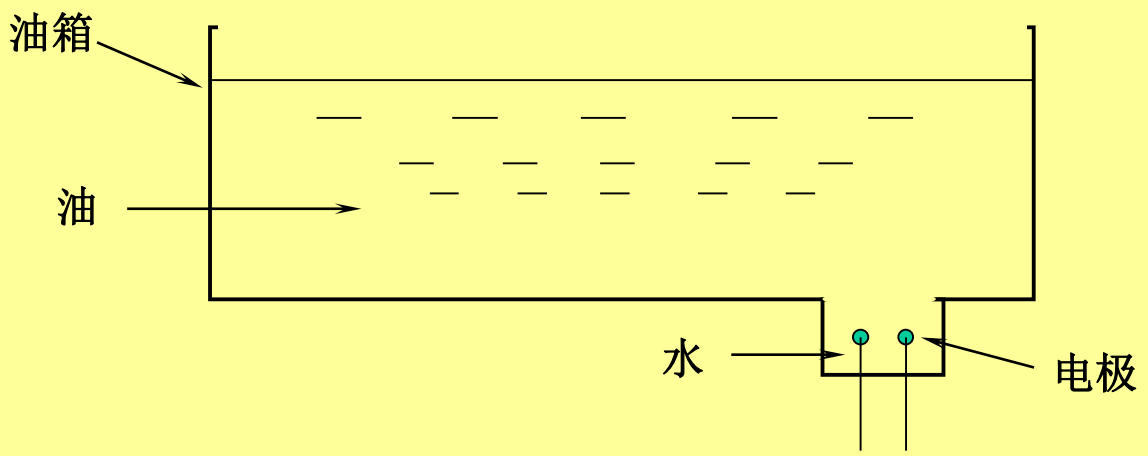
乳化液压油产品

油混水信号器用于检测水轮发电机油系统中，混入回油箱或漏油箱内水的含量，当油箱内混入的水分超过一定限量时发出信号。

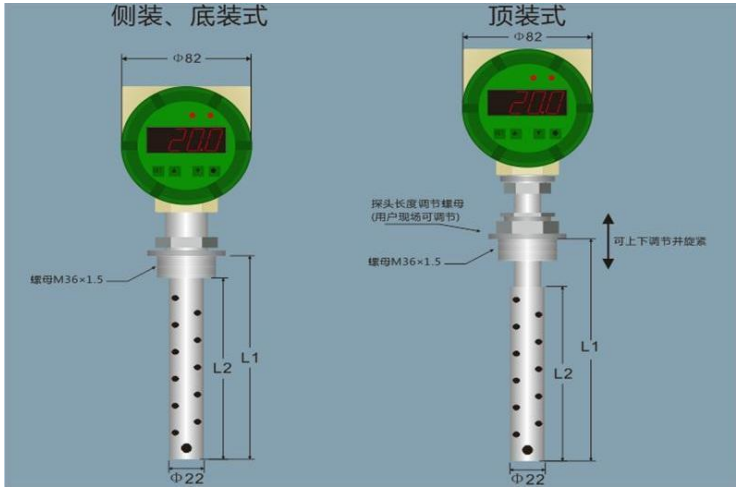
油混水信号器的工作原理：在回（漏油）箱的底部装有一对电极，利用油和水的导电率、比重不同，通过电极发出信号，如图。



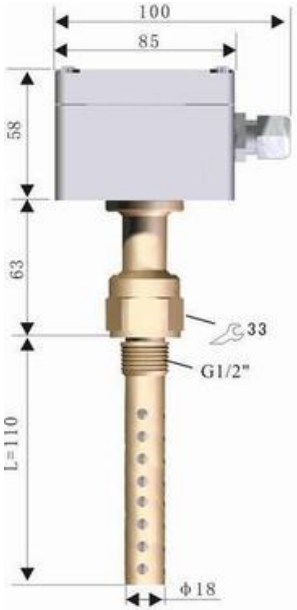
在油箱没有浸入水的情况下，电极间因为油的导电率小，而不足以导通；混入水后，水因比重大而下沉，随着水量的增加，水将逐渐淹没电极，从而导致两个电极导通，形成电流回路。



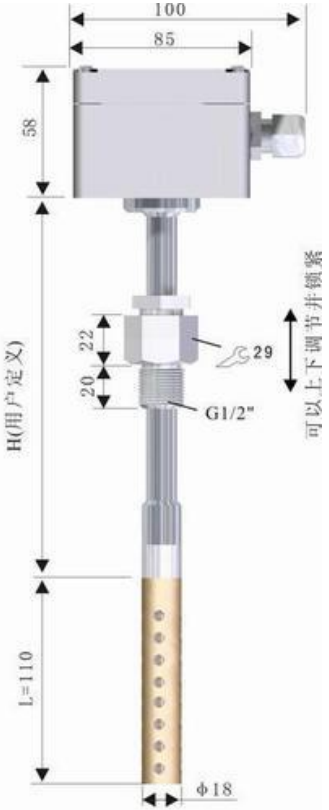
油混水信号器







侧装结构图



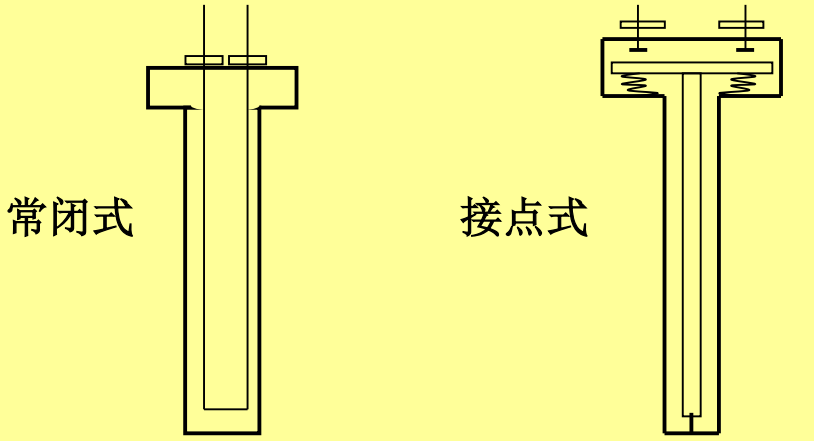
顶装结构图

9. 剪断销信号器

水轮机调速器通过主接力器及传动机构来操作导叶，当其中某（几）扇导叶被卡时，用于该导叶传动的剪断销被剪断，从而不至影响处于联动情况的其它导叶的关闭。

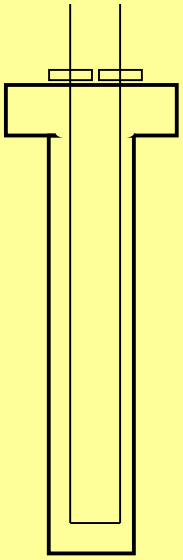
剪断销信号器一般装在剪断销的轴向中心孔内，用于反映水轮机导叶的剪断销事故：

- 在正常停机过程中，如果有导叶被卡，剪断销被剪断则发出报警信号；
- 在事故停机过程中，如果发生剪断销被剪断，则除发出报警信号外，还应作用紧急停机。

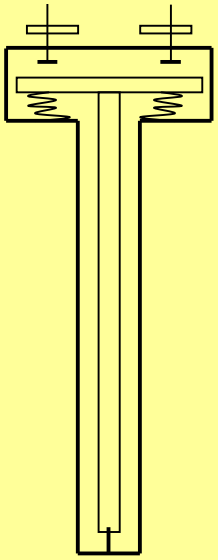


剪断销信号器通常采用脆性材料为壳体，壳内采用印刷电路，然后用环氧树脂封装（如图）。

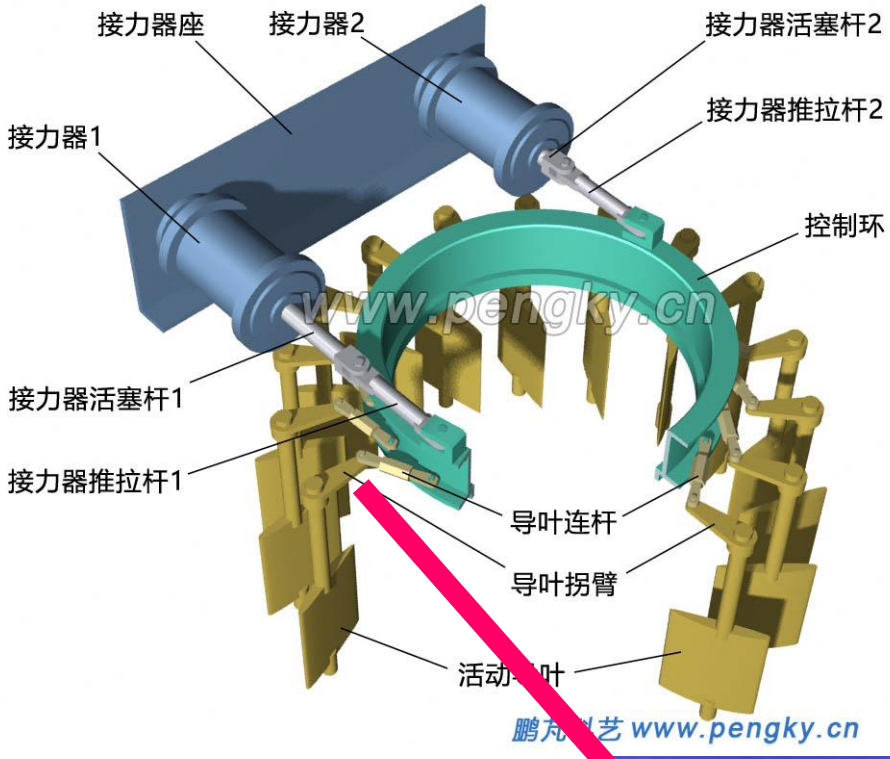
常闭式

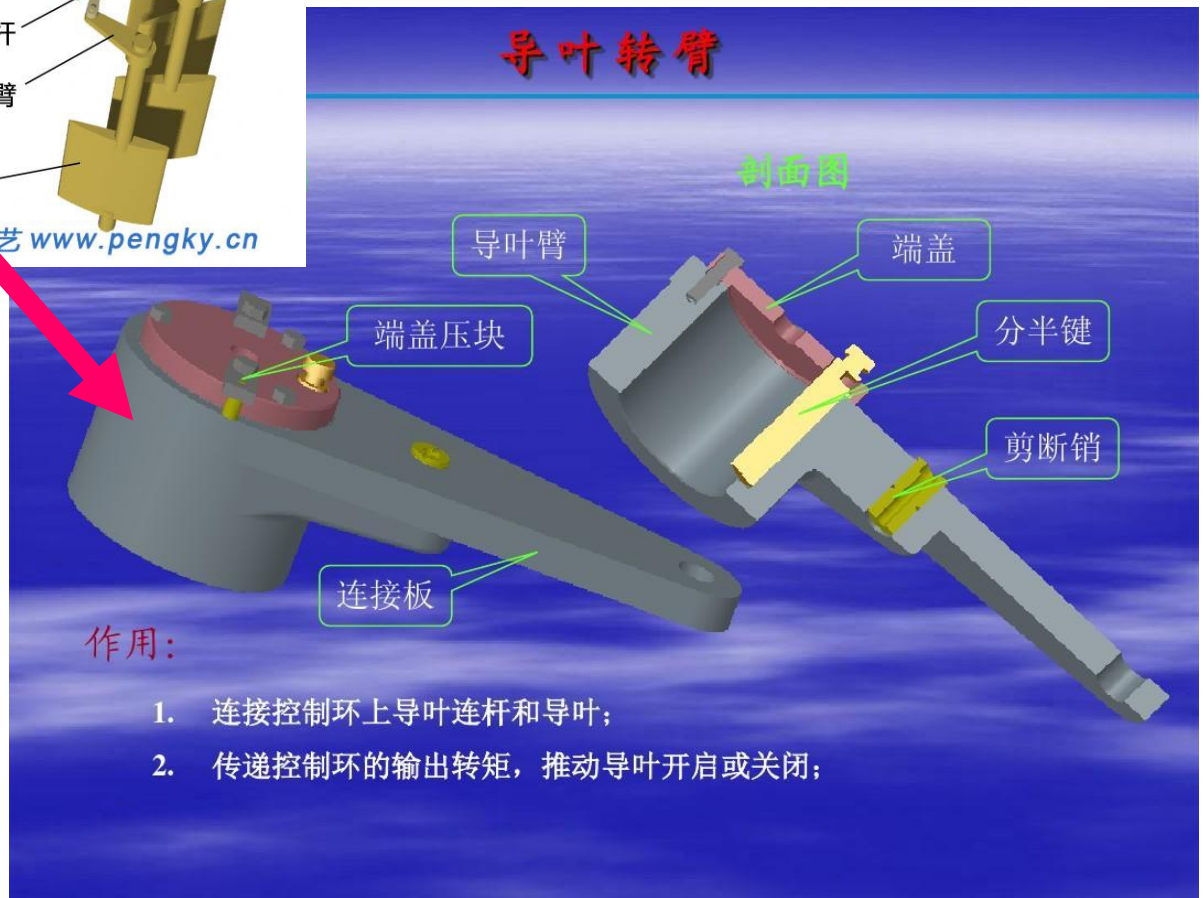


接点式



- 常闭式剪断销信号器：主要由销体及串入销内的一条导线及接线螺钉等组成，在正常情况下，里面构成一个平衡的电桥，当剪断销被剪断，电桥失去平衡，就会有电流产生，发出信号。
- 接点式剪断销信号器：当剪断销被剪断时，此信号器的销体及螺杆同时被剪断，信号器的接点在弹簧作用下，将接点盖上的两个电极接通，从而发出信号。


接力器座
接力器2
接力器活塞杆2
接力器推拉杆2
接力器1
控制环
www.pengky.cn
接力器活塞杆1
接力器推拉杆1
导叶连杆
导叶拐臂
活动导叶
鹏龙科艺 www.pengky.cn


导叶转臂
剖面图
导叶臂
端盖
端盖压块
分半键
剪断销
连接板
作用：
1. 连接控制环上导叶连杆和导叶；
2. 传递控制环的输出转矩，推动导叶开启或关闭；




福建南平通达机电自动化有限公司
nptoda.cn.china.cn



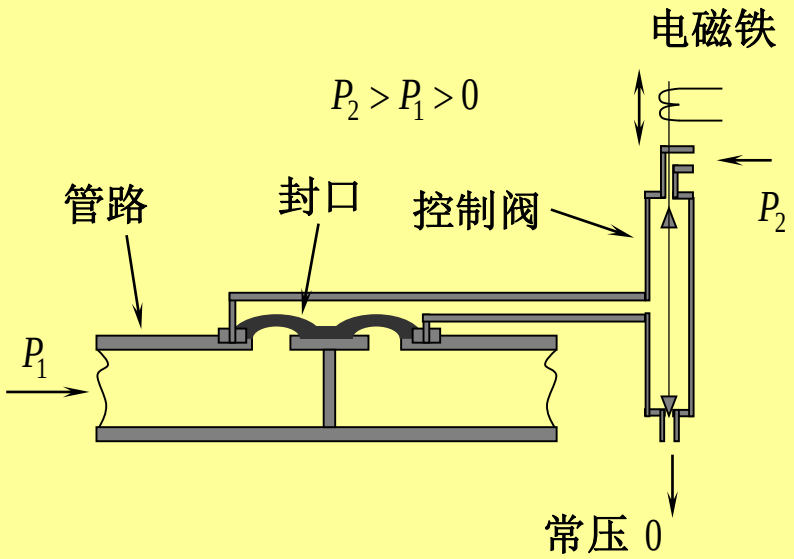


5.2 自动控制的执行元件

为了实现水电生产过程的自动控制，在水电站的油、气、水管路上必须装设电磁操作或液压操作的自动阀门。其中包括：电磁阀、电磁空气阀、电磁配压阀和液压操作阀等，统称它们为执行元件。

1、电磁阀

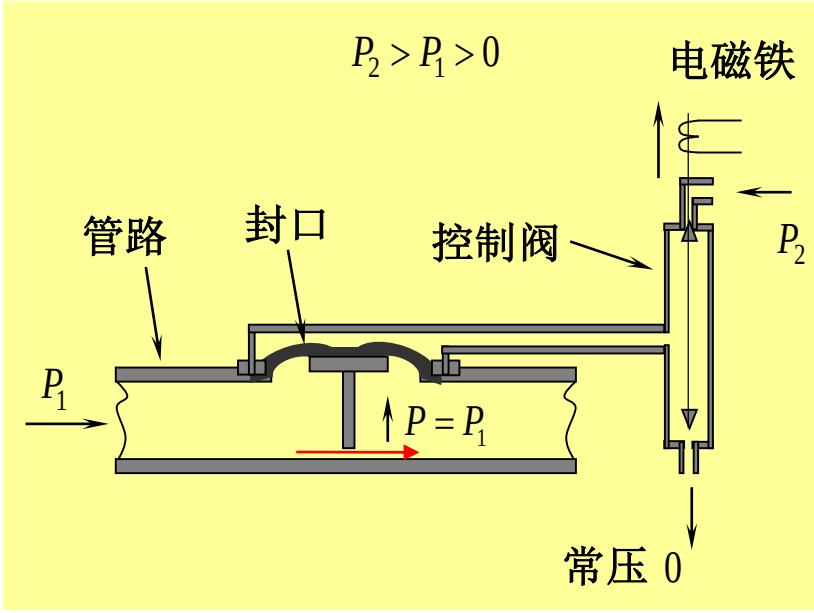
电磁阀将电气信号转换为机械动作，用以自动控制油、气、水管路阀门的开启和关闭，是自动化系统中的重要执行元件之一，常用于机组的制动、调相和冷却等操作系统的管路中。电磁阀的原理示意图如下：



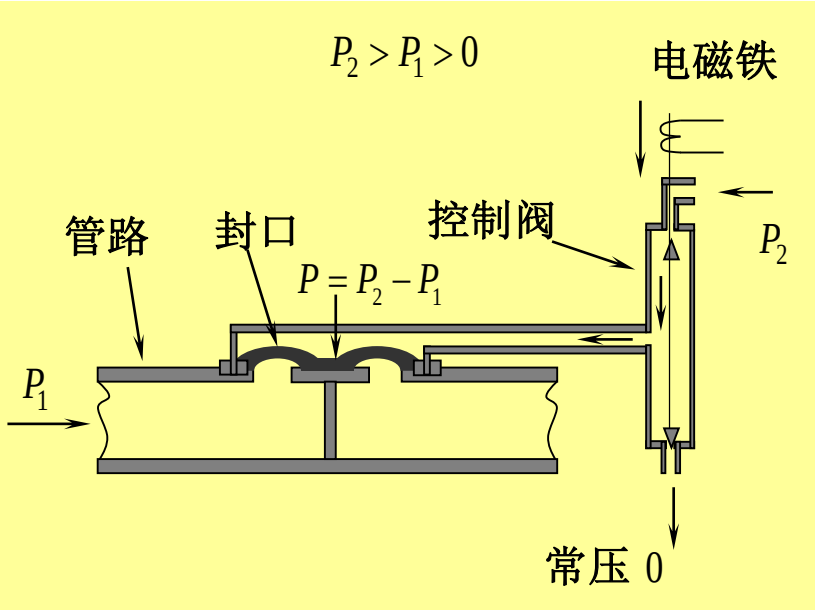
- 当电磁阀通电时，动铁芯受电磁力的作用向上运动，控制阀的上孔封闭，下孔打开，电磁阀封口在压力$P=P_1$的作用下开启，管路通流；

- 当电磁阀断电时，动铁芯失去电磁力的作用向下运动，控制阀的下孔封闭，上孔打开，电磁阀的封口在压力$P=P_2-P_1$的作用下关闭，管路断流。

当电磁阀通电时：

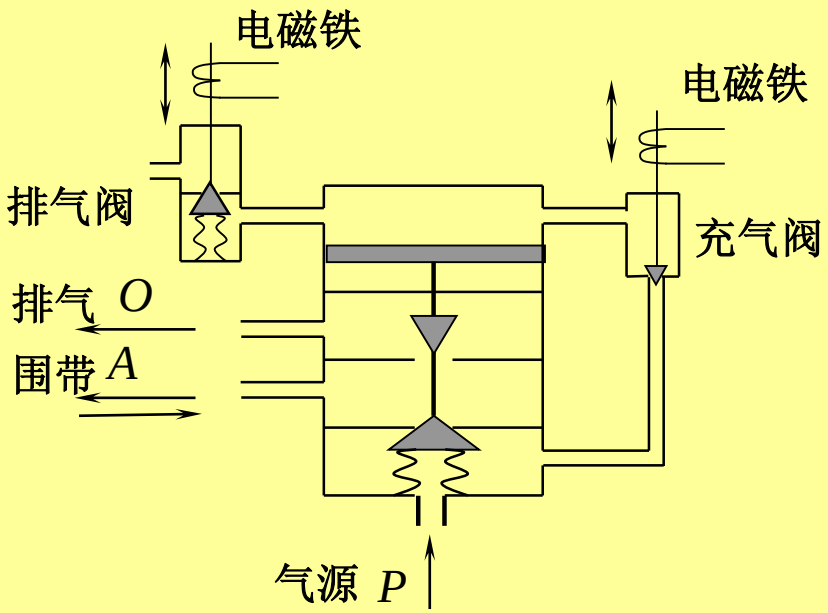


当电磁阀断电时：



2、电磁空气阀

电磁空气阀是一种由电磁铁操作启闭的空气阀门，电磁空气阀将电气信号转换为机械动作，主要用于水电站内发电机制动系统，蝴蝶阀密封围带或油压设备自动补气等低压控制系统的压缩空气管路上，借以对制动气缸或密封围带的自动供气及自动排气远距离控制。以下是电磁空气阀(碟阀密封围带充气)的原理示意图：



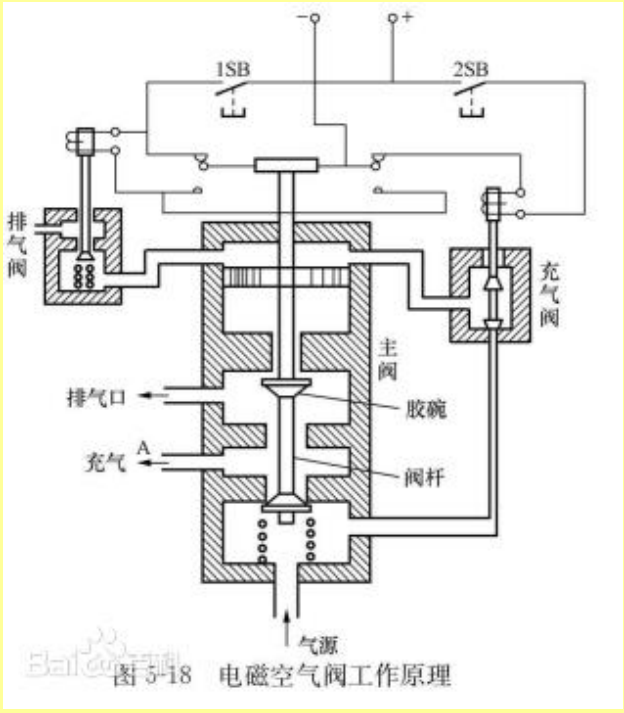
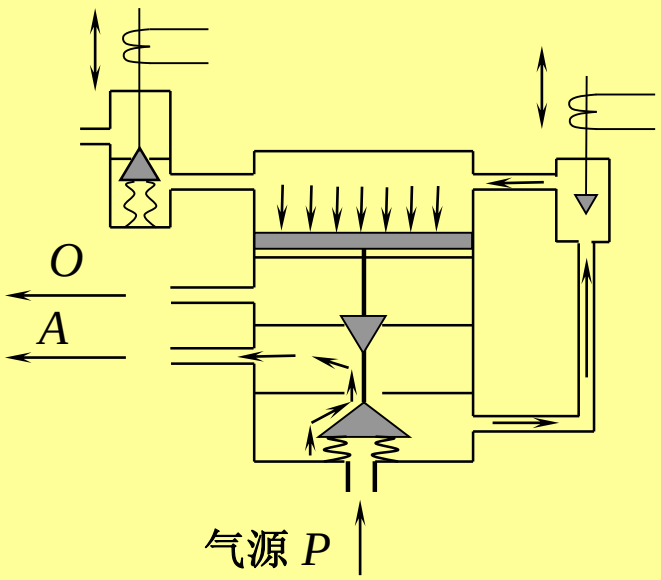
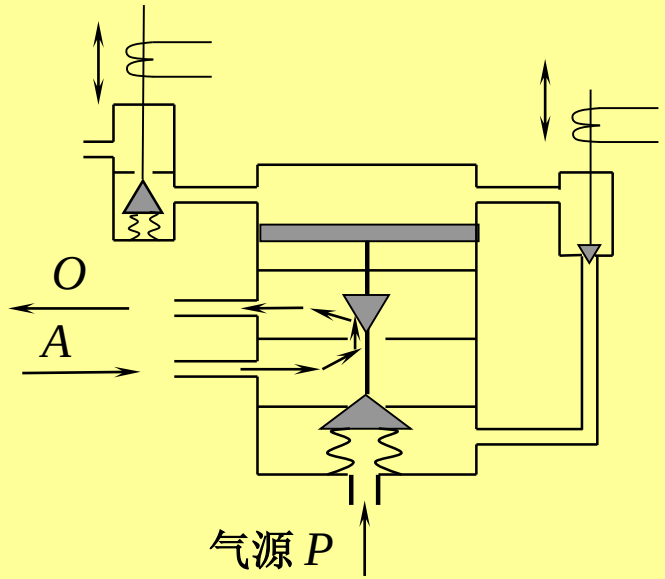


图 5-18 电磁空气阀工作原理



供气时

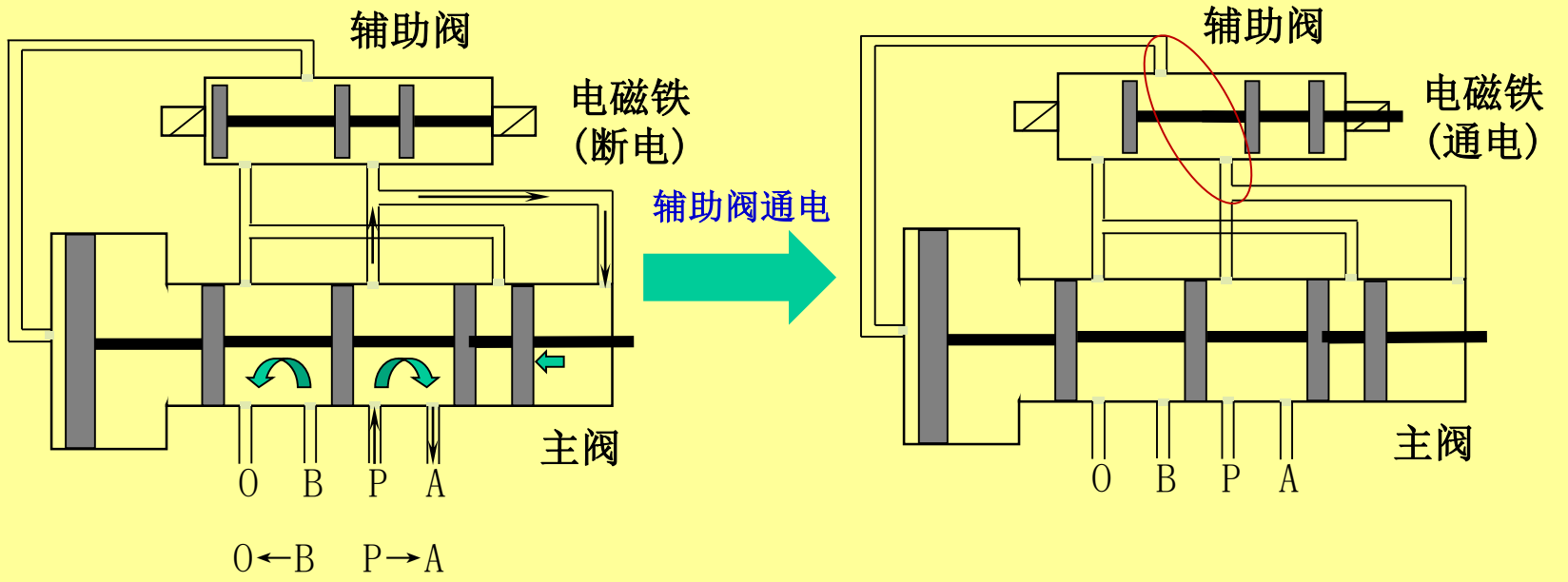


排气时

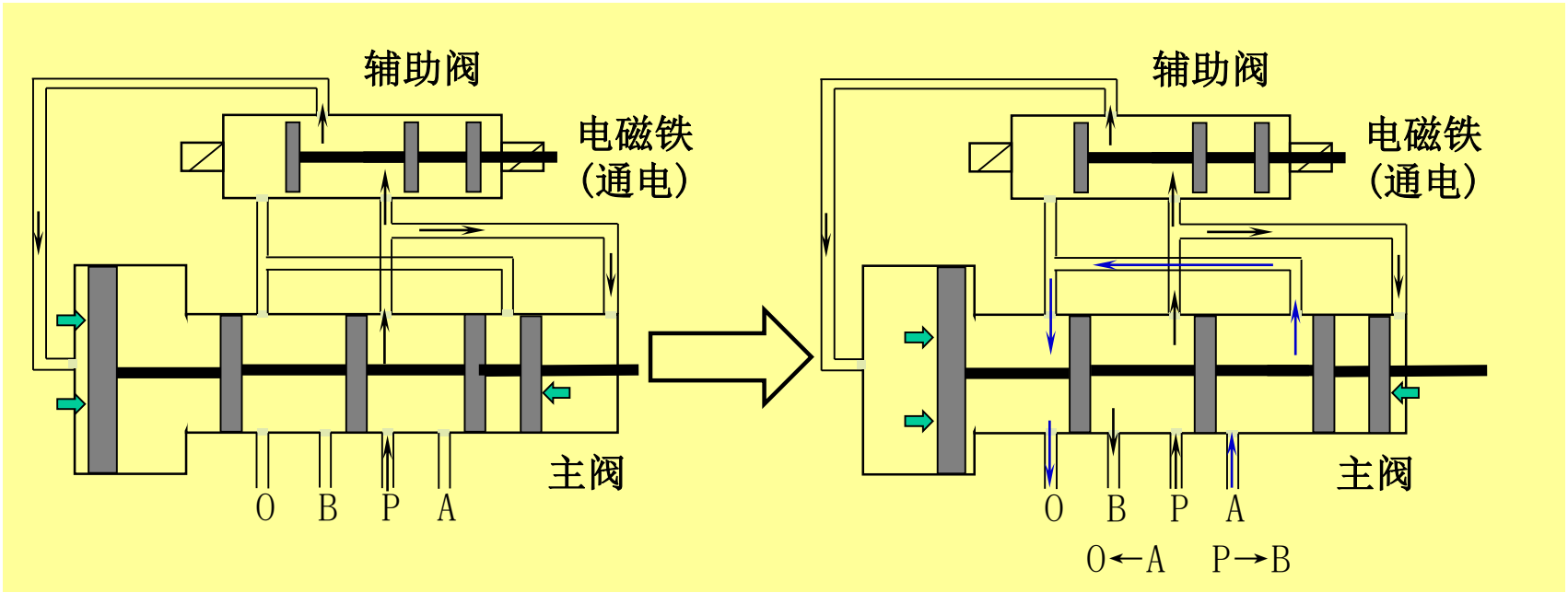
充气阀的电磁铁通电时，衔铁向上吸起，将充气阀下部进气口打开，使压缩空气进入充气阀壳体，并沿孔道进入主阀活塞上腔，使主活塞客服弹簧力向下运动，促使空气围带与气源P相通，而与排气口隔绝，此时即为“开阀”。若排气阀的电磁铁通电，则衔铁落下，排气阀打开，结果使活塞上腔与大气相通，这样，主活塞在弹簧力作用下将向上恢复，造成空气围带与排气口连通，而气源P则被封闭，此即为“关阀”

3、电磁配压阀

电磁配压阀是一种液压中间放大的变换元件，主要用在自动化系统中的油、气、水管路上，借以变换通至被控液压元件管路内的油流方向，以实现对被控元件的远距离控制。一般与液压操作阀、油阀等组合使用。以下是电磁配压阀的原理示意图：



通过对电磁铁的控制，压力油P可与A或B接通，O为回油，左图为P与A接通，B与O接通。右图中，辅助阀右边电磁铁通电，辅助阀活塞右移。



此时，在压力作用下主阀右移，P→B，A→O。由此可见，通过电磁铁的远程控制，可以实现油向P→A或P→B的相互转换。

电磁配压阀特点：

① 采用全密封接线盒，电磁铁与外界相通的接合面处均用特种密封胶密封，提高了电器绝缘性能及防护等级。

② 阀芯为水平卧设，驱动功率小，有多种等级直流工作电压可供选择。

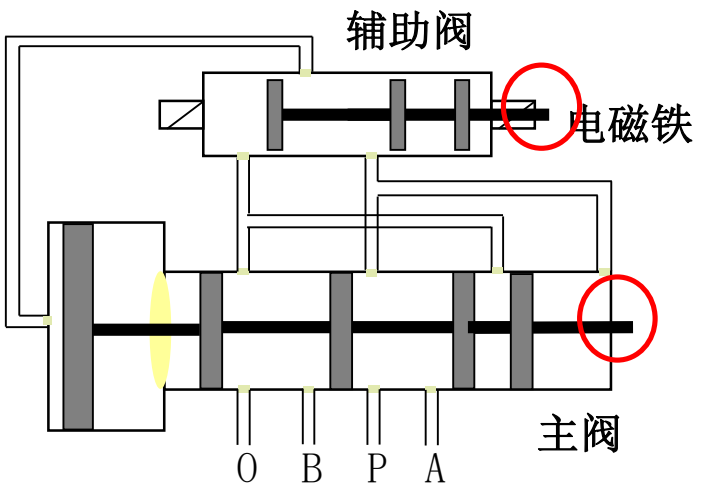
③ 阀芯无需加设无压排油管，回油直接进入集油槽。

④ 设有滚珠型机械自保持机构，可调整弹簧压缩量改变自保持力的大小。

⑤ 行程开关动作可靠，接点容量大。

⑥ 电磁铁的结构形式为湿式，外壳兼作导磁路且有较好的防护结构，动铁芯连接杆引出端盖外，可手动切换





5.3 辅助设备的自动控制

主要包括油压装置、技术供水装置、集水井排水装置和空气压缩装置的自动控制原理。

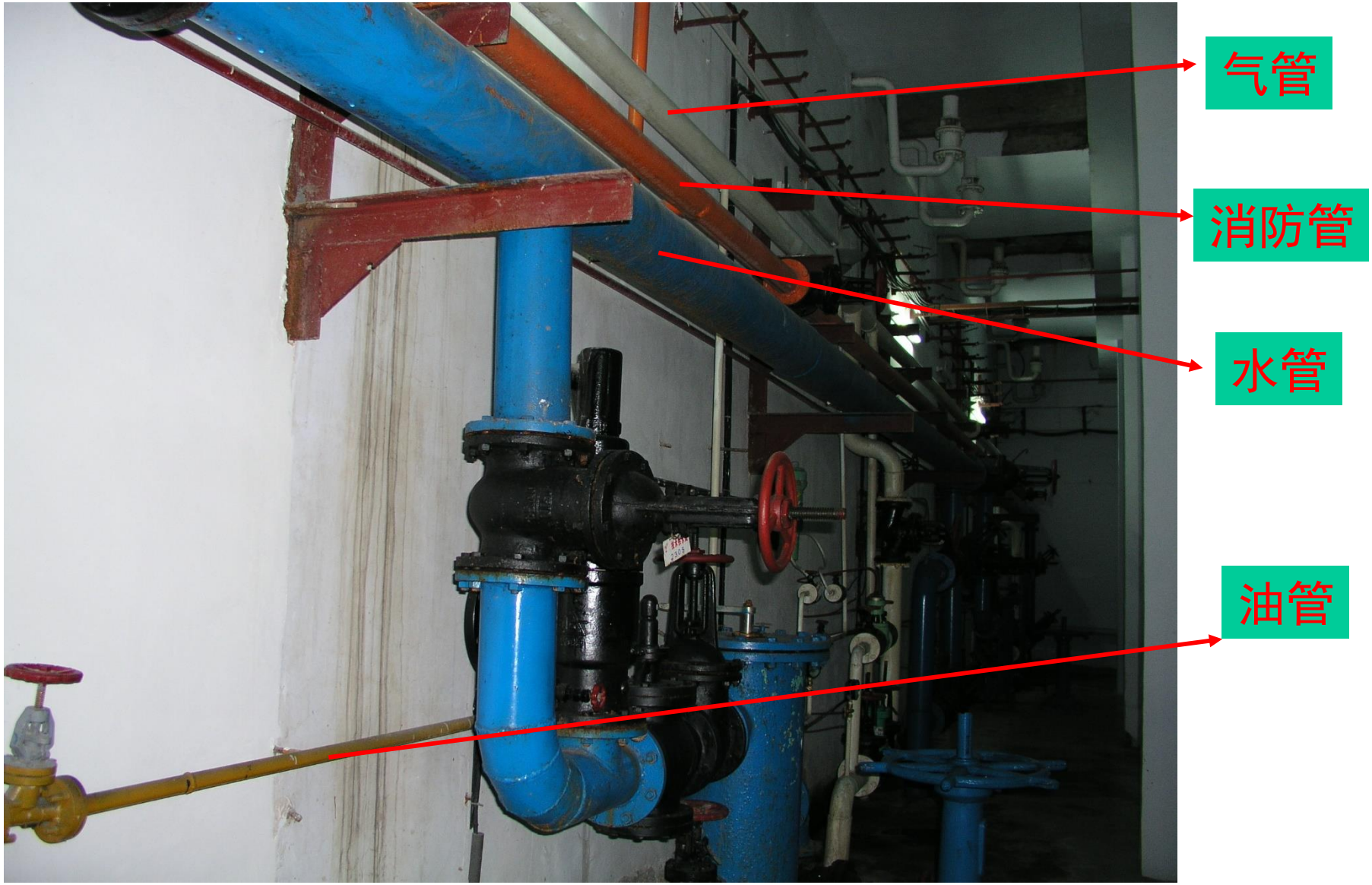
为了区分各个系统的管道阀门，一般在管道上喷涂不同的颜色，在阀门上编不同的序号加以区别，阀门上的编号原则上用4位数表示，首位表示机组编号（公用的为0），第二位表示系统编号（1、2、3分别对应油、水、气），三、四位表示阀门编号。

颜色	表示的管道	颜色	表示的管道
红色	压力油管	黑色	污水管
黄色	排油管、漏油管	橘红色	消防水管
蓝色	供水管	白色	气管
绿色	排水管		

电站技术供水系统（发电机）阀门编号

标牌名称	编号	数量
1-3#机技术供水检修阀	1201　1203 （第一位数从1-3，以下同）	各一块，共6块
1-3#机技术供水总阀	1202　2202　3202	3
1-3#机技术供水旁通阀	1204　2204　3204	3
1-3#技术供水表计阀	1205　2205　3205	3
1-3#机主轴密封检修阀	1206　1209（三台机）	各一块，共6块
1-3#机主轴密封电动阀	1207　2207　3207	3
1-3#机主轴密封逆止阀	1208　2208　3208	3
1-3#机备用主轴密封总阀	1210　2210　3210	3
1-3#机备用主轴密封逆止阀	1211　2211　3211	3
1-3#机备用主轴密封供水阀	1212　2212　3212	3
1-3#机示流器检修阀	1213　1215（三台机）	各一块，共6块

油、气、水管路系统



1、油压装置的自动控制

油压装置是为水电设备运行操作提供动力的重要辅助设备，它产生并储存高压油，为机组启动、停机和调整负荷提供操作的动力。



油压装置的自动控制应满足下列要求：

- 机组在正常运行或事故情况下，均应**保证有足够的压力油**来操作机组和主阀，特别是在厂用电消失的情况下应有一定的能源储备；
- 无论机组是处于运行状态还是处于停机状态，油压装置都应**经常处于准备工作状态**，即油压装置的自动控制是独立的，并按本身规定的条件（油压和油位）自动进行的；
- 在机组的操作过程中，油压装置的投入或切除应**自动地进行**；



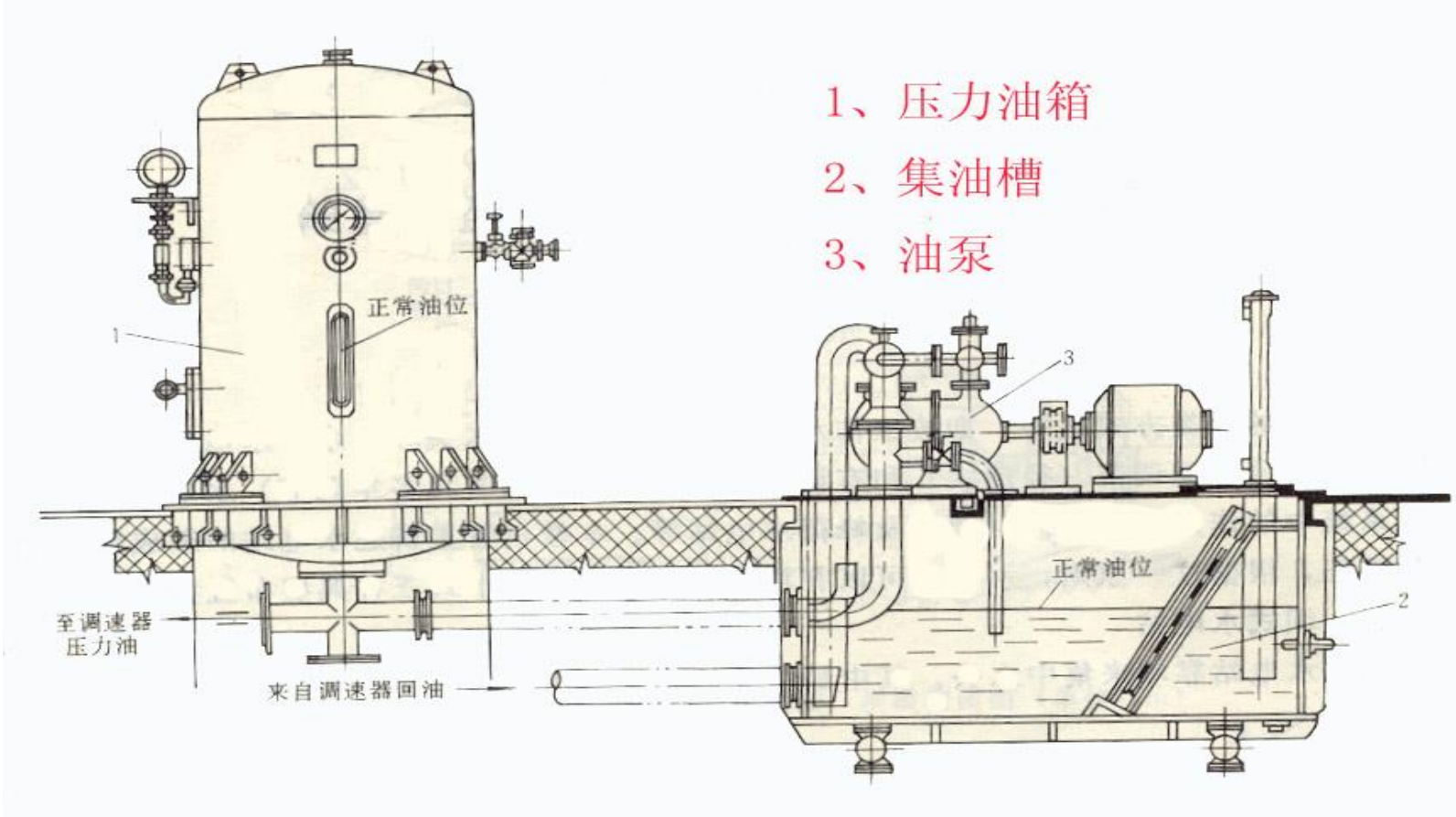


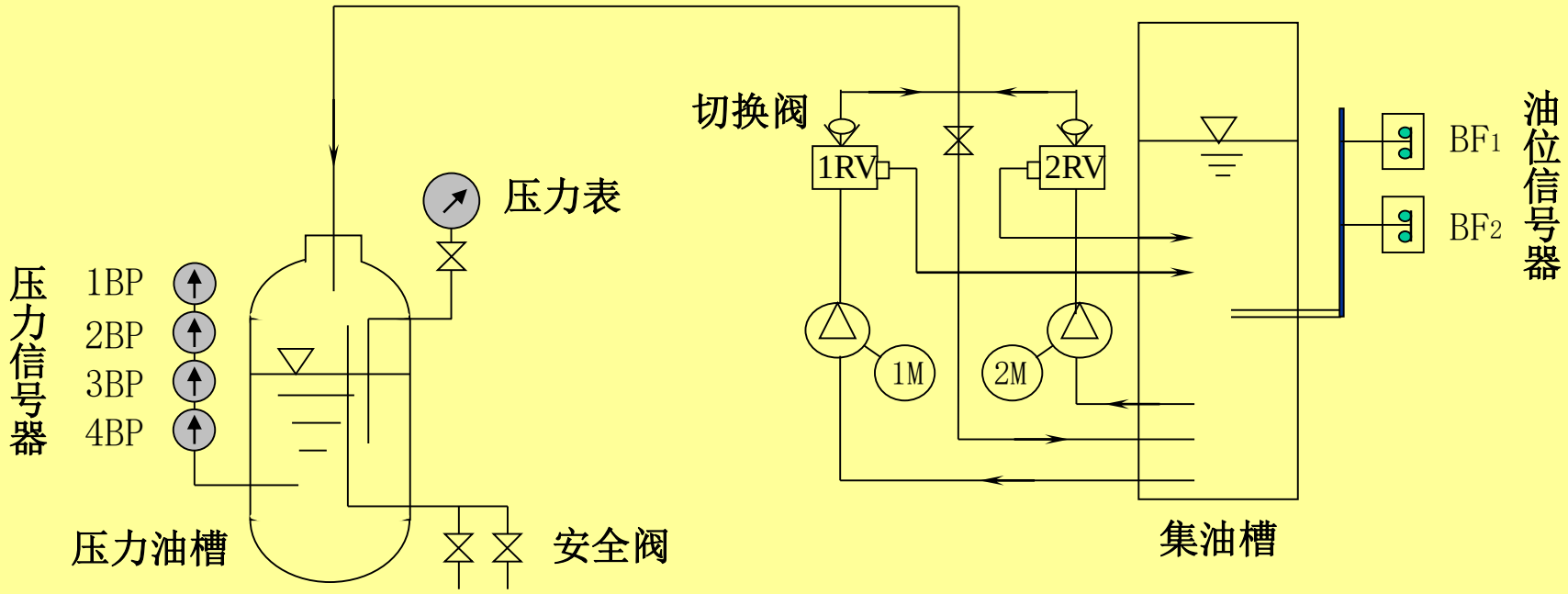
- 油压装置应**设置备用油泵电动机组**，当工作油泵故障或油压过低时，自动投入备用泵，并报警；





- 油压装置发生故障，油压下降至事故低油压时，应**能迫使机组事故停机**；
- 油压装置应采用**自动和手动补气**。当油位上升至上限值（对应于35%V_r的油位），且油压低于额定值P_r时补气；当油压上升至额定值以上或油位下降至下限值（对应于30%V_r的油位）时停止补气。



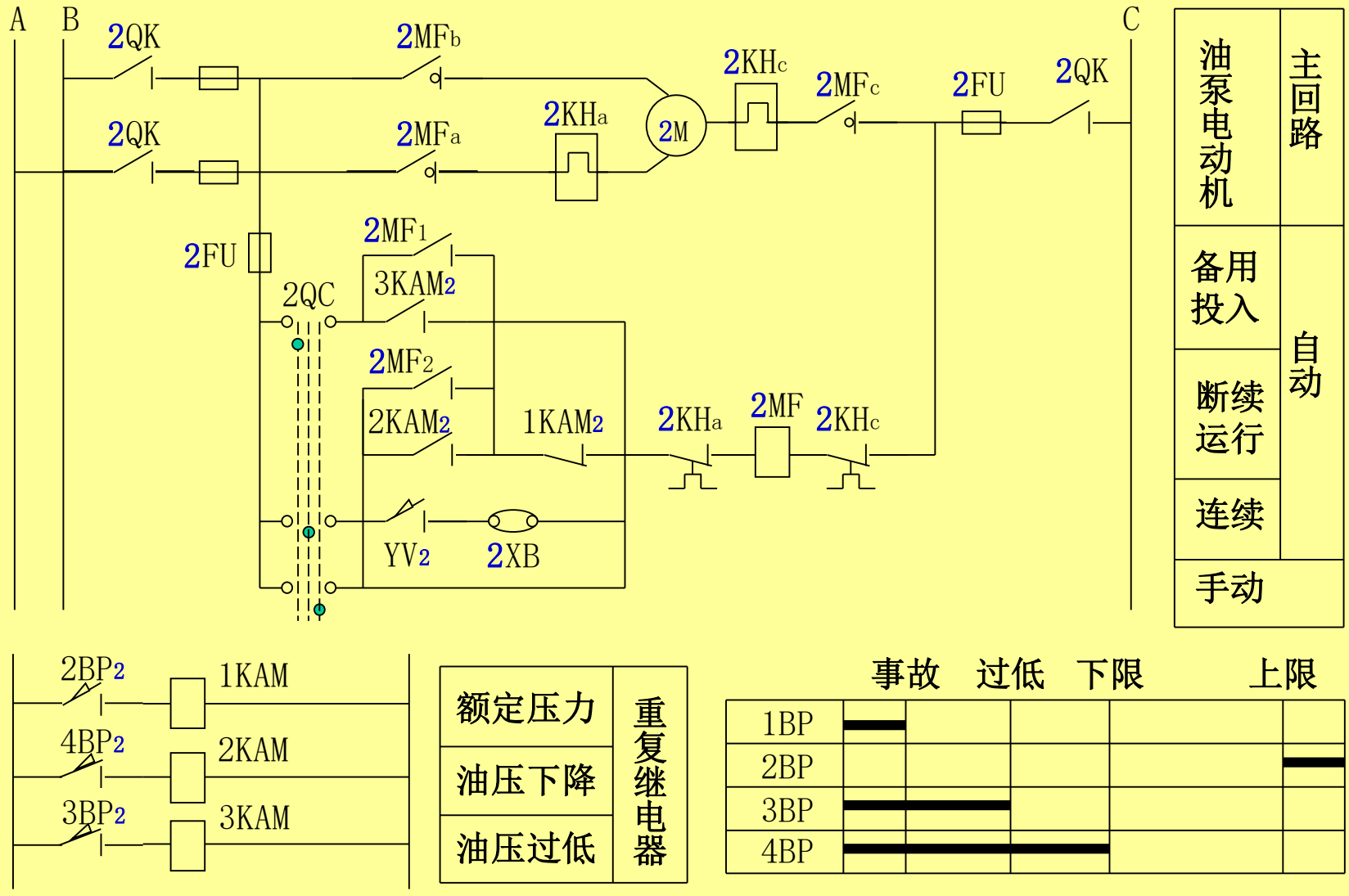


油压装置的构成图和接线原理图

两台油泵电动机组1M和2M，正常时一台工作、一台备用，采取定期交替互为备用运行方式，以利于电机绕组干燥；

浮子信号器BF用于监视集油槽的油位；

压力信号器1—4BP用于监视油压。

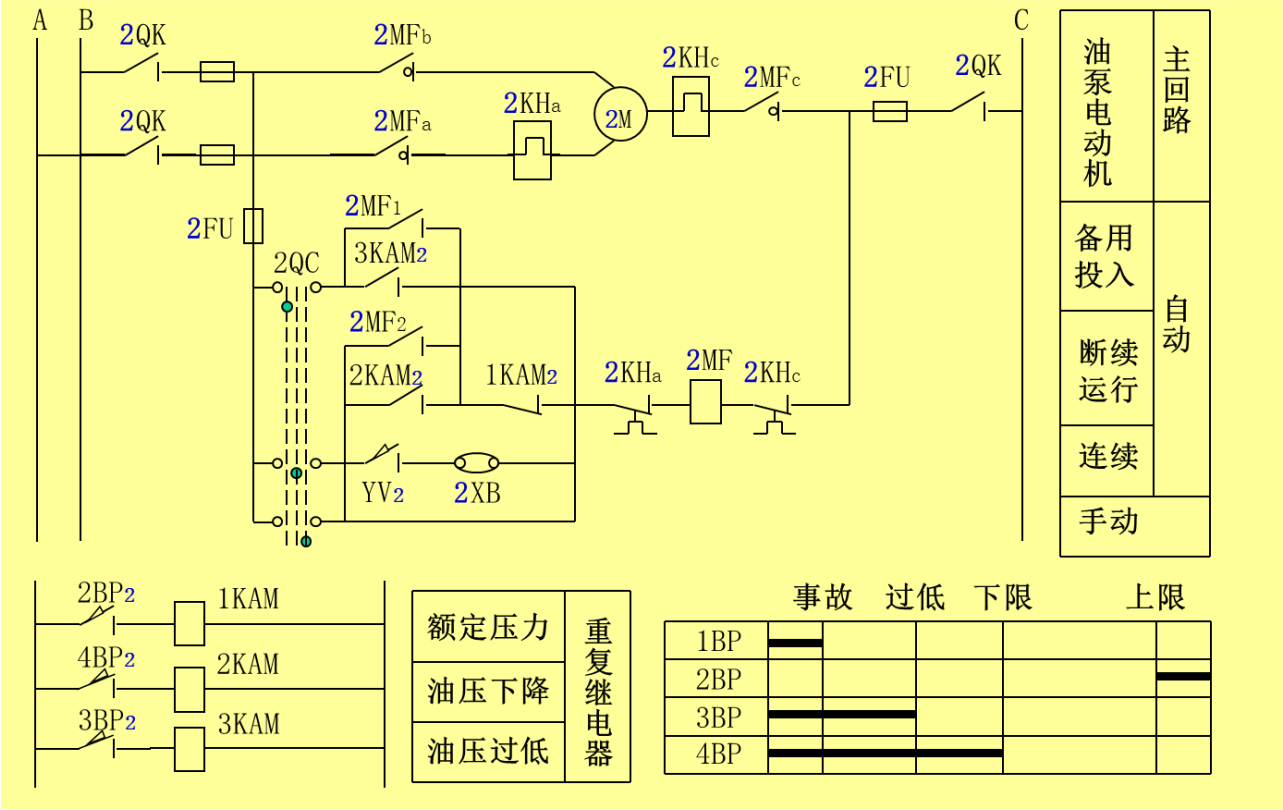


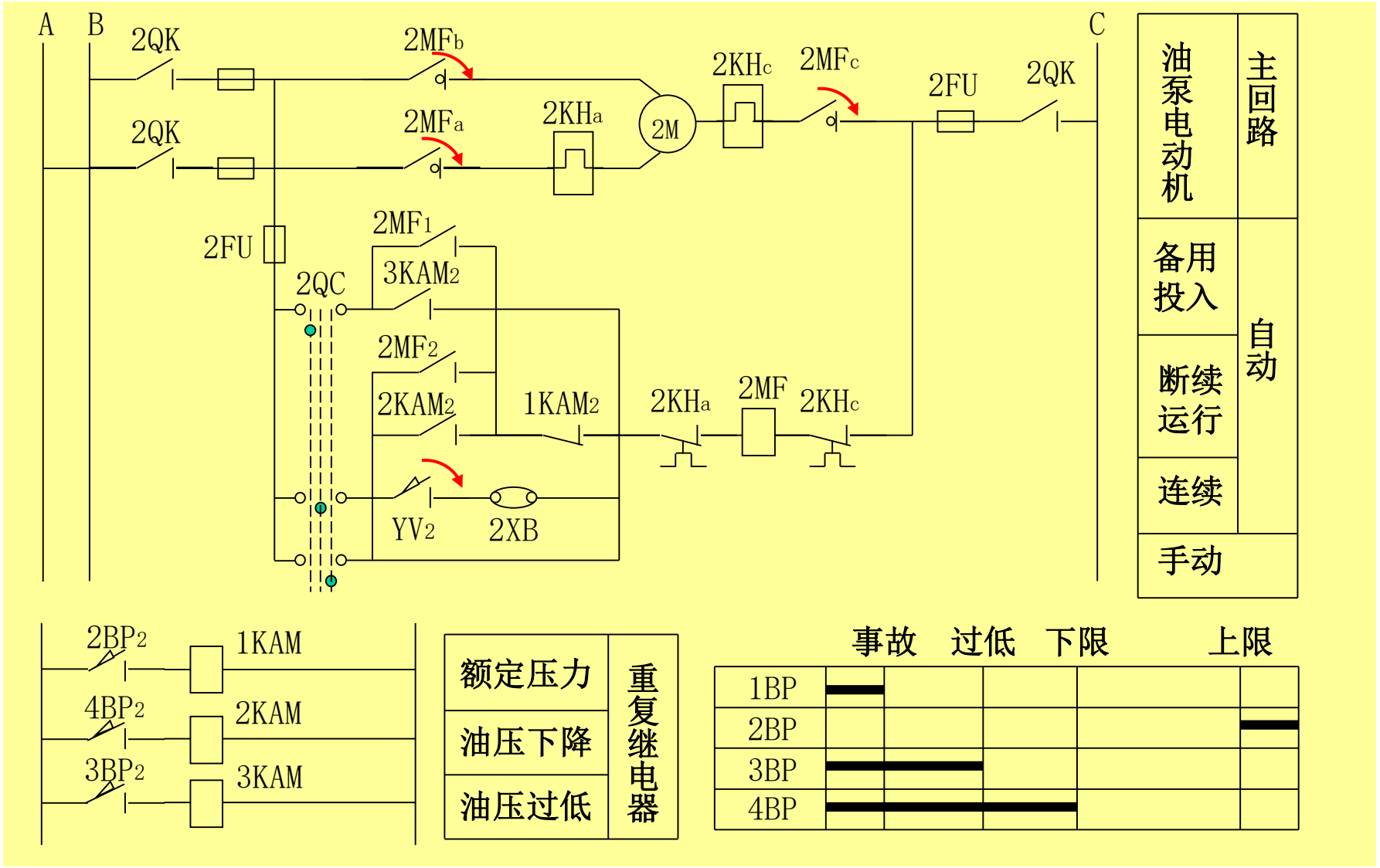
上图为2号油泵电动机的控制接线图（1号电动机与之相同）。图中：QC为转换开关；MF空气开关；YV为与调速器的接力器联动的位置接点，当接力器打开时动作；XB为连接片。（图中蓝色数字“2” 表示2号电动机）

（1）油压的自动控制

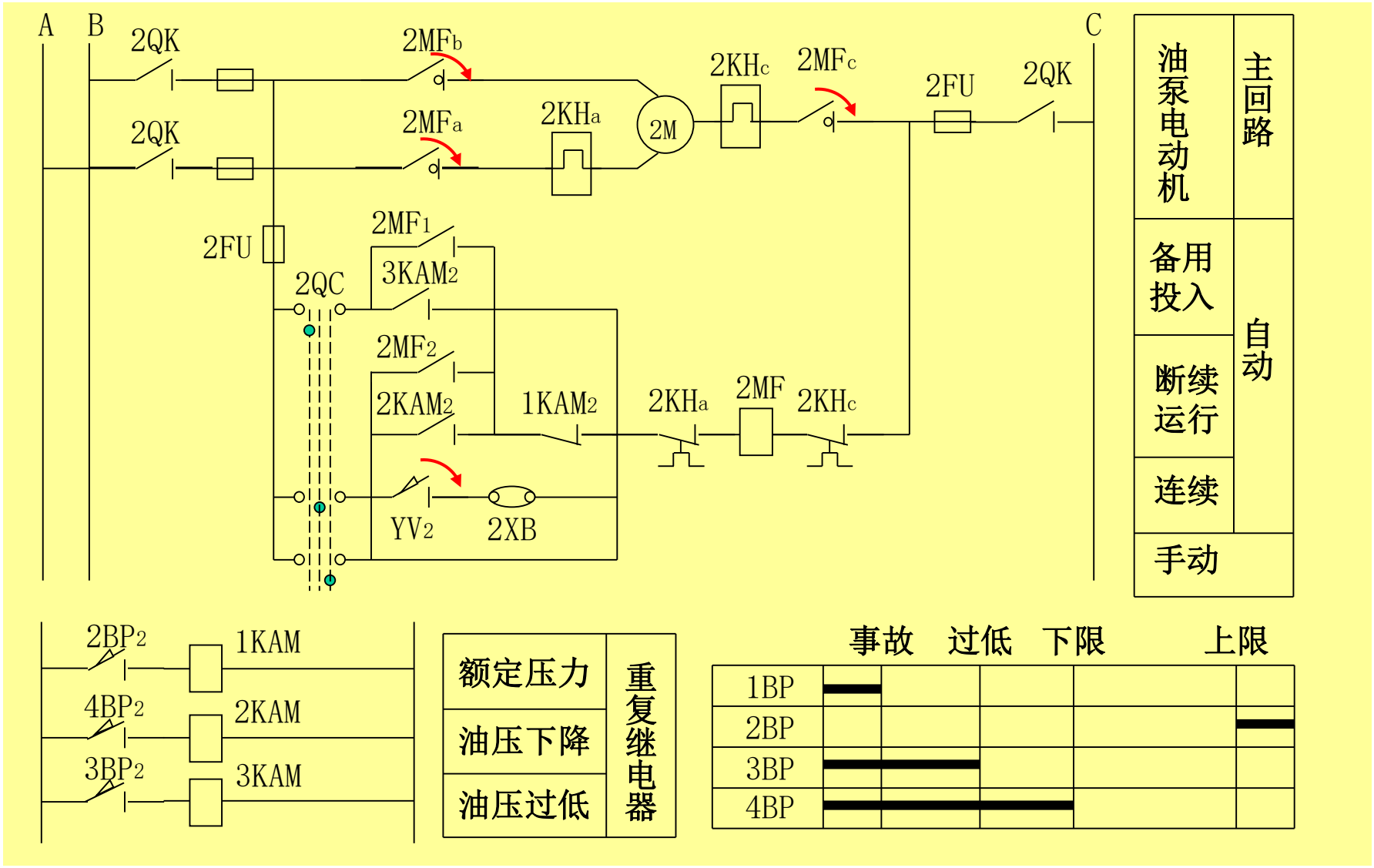
油压装置可以自动操作，还可以手动操作。自动操作又分为连续运行、断续运行和备用运行三种方式。

- 在连续运行时：

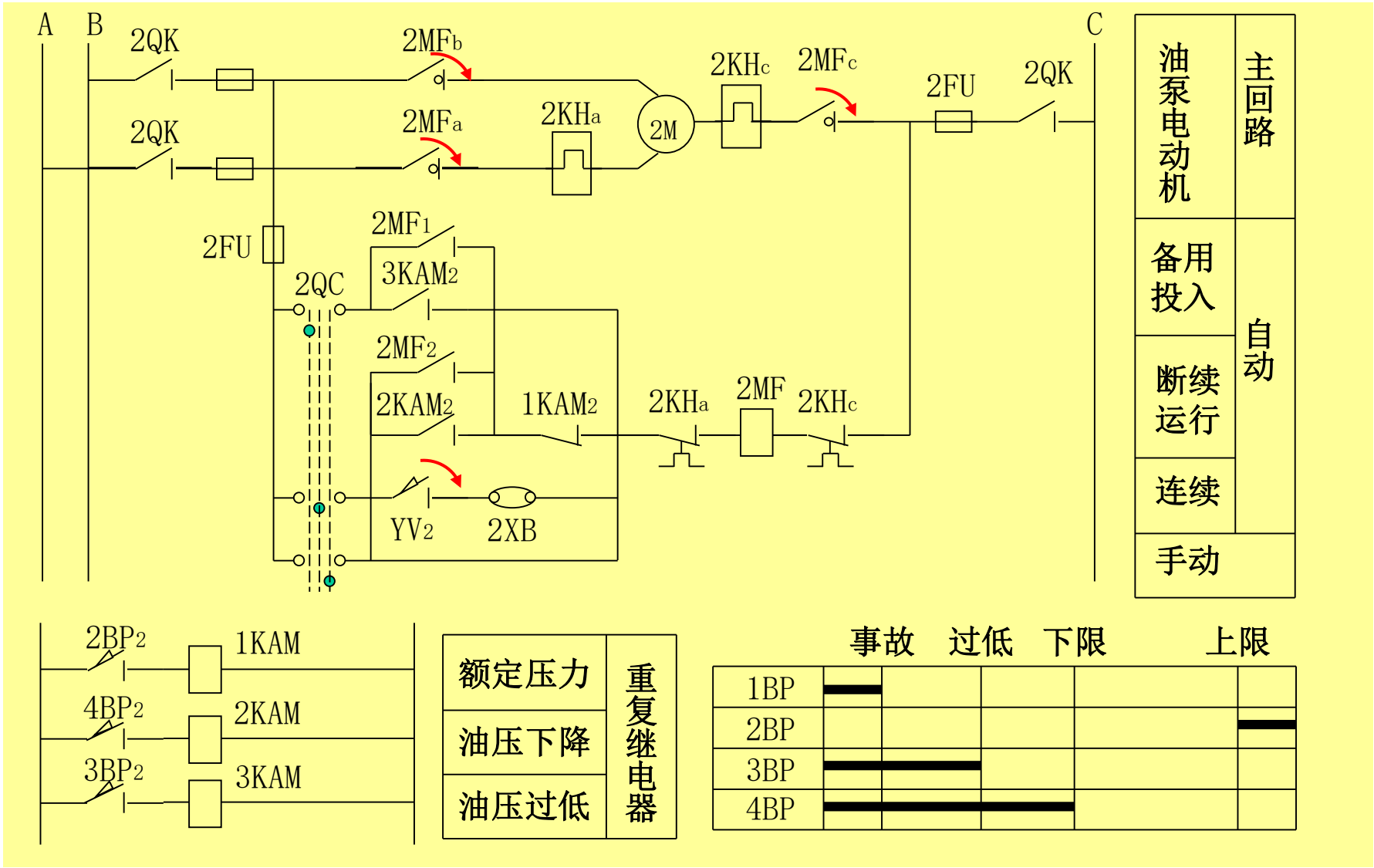




将2QC切换到自动位置，2XB连接。当机组启动时，YV_2动作，接触器线圈2MF励磁，其接点2MFa,b,c闭合，油泵电动机2M启动，向压力油槽打油。

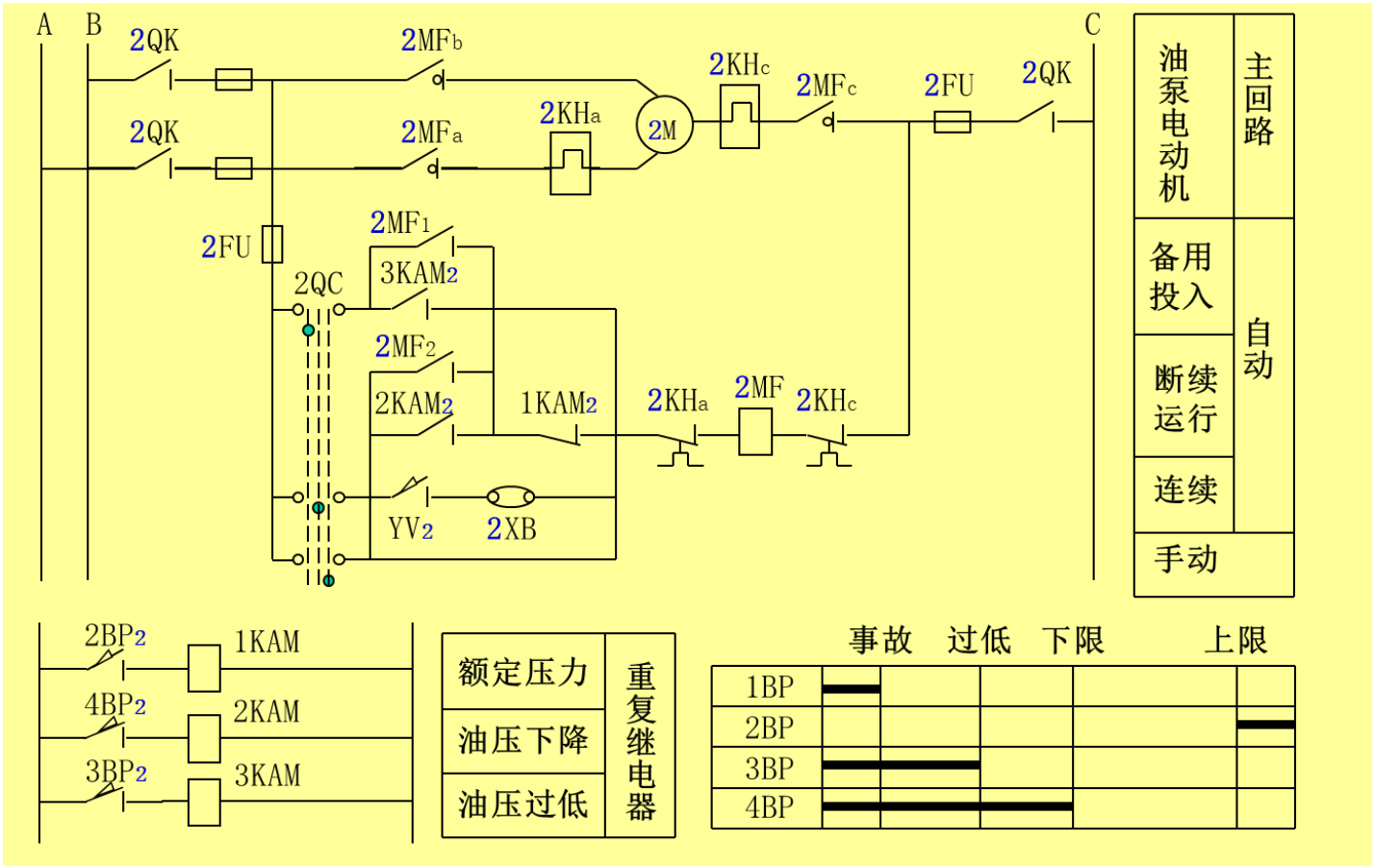


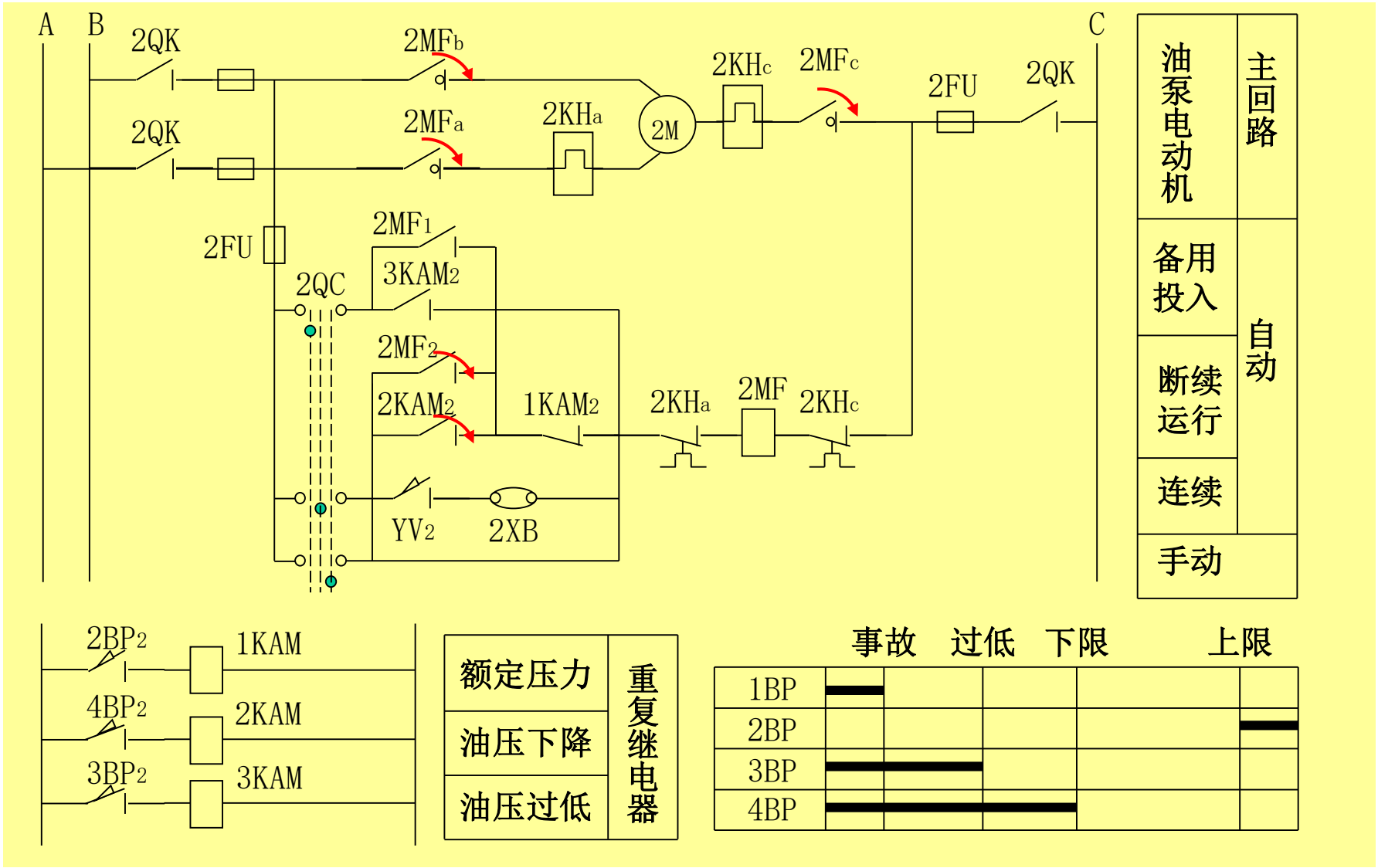
当油压达到上限值时，切换阀**2RV**抬起，压力油经切换阀排回集油槽油泵转为空载运行。如果由于机组操作或漏油使油压降低到**2RV**的额定压力以下时，则**2RV**落下，以后的动作同前。



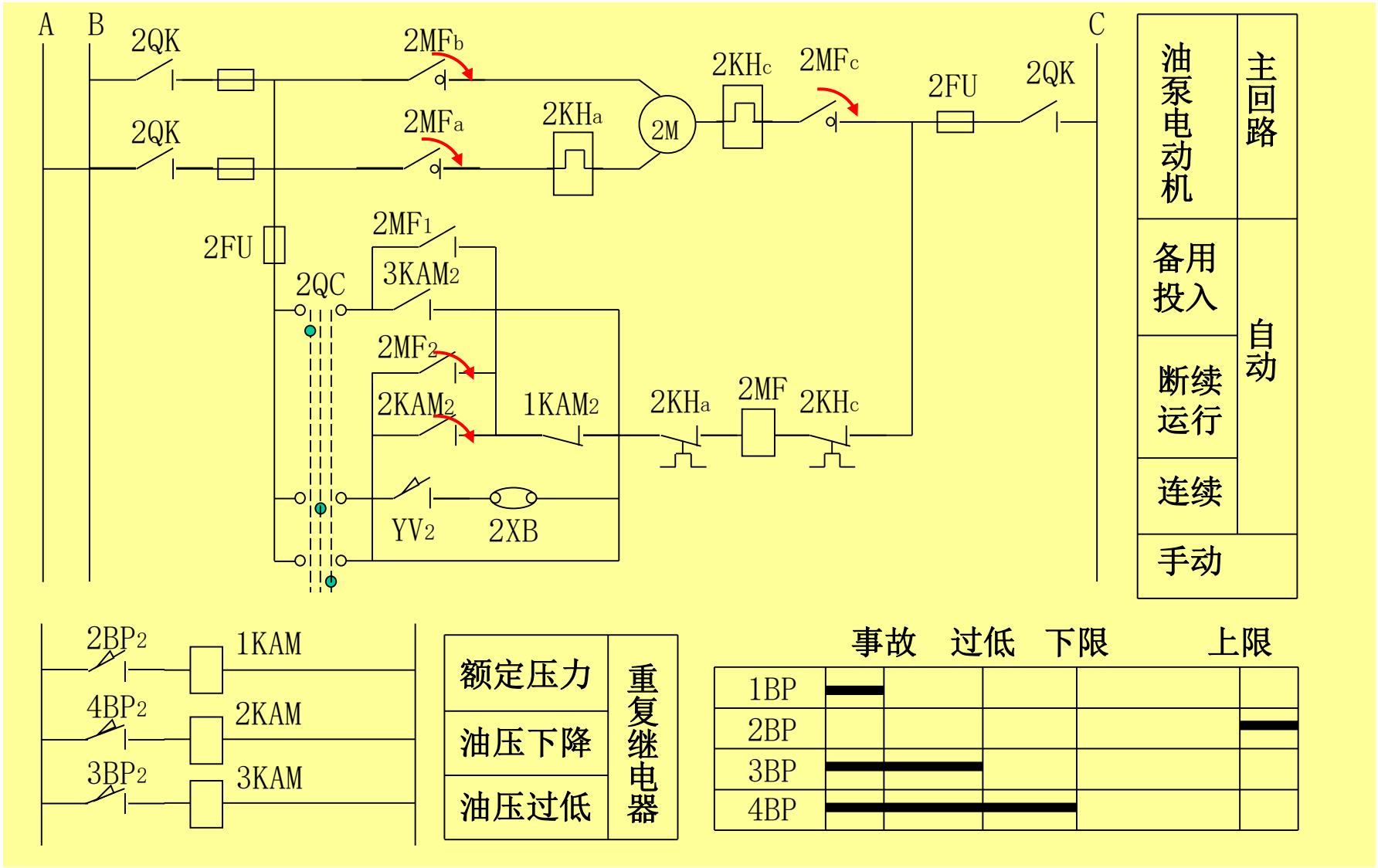
机组停机后，由于YV_2断开，油泵电动机退出连续运行方式。

➢ 在断续运行时：


A
B
C
2QK
2MFb
2KHc
2MFc
2FU
2QK
2QK
2MFa
2KHa
2M
2FU
2MF1
3KAM2
2QC
2MF2
2KAM2
1KAM2
2KHa
2MF
2KHc
YV2
2XB
油泵电动机
主回路
备用投入
自动
断续运行
连续
手动
2BP2
1KAM
4BP2
2KAM
3BP2
3KAM
额定压力
油压下降
油压过低
重复继电器
事故
过低
下限
上限
1BP
2BP
3BP
4BP



将2QC切换到自动位置，2XB断开。压力油槽的油压下降到下限值时，4BP动作，其接点4BP_2闭合使重复继电器2KAM动作，2KAM_2接通，又使2MF动作，并通过其辅助接点2MF_2自保持，接触器线圈2MF励磁，其接点2MFa,b,c闭合油泵电动机2M启动，向压力油槽打油。

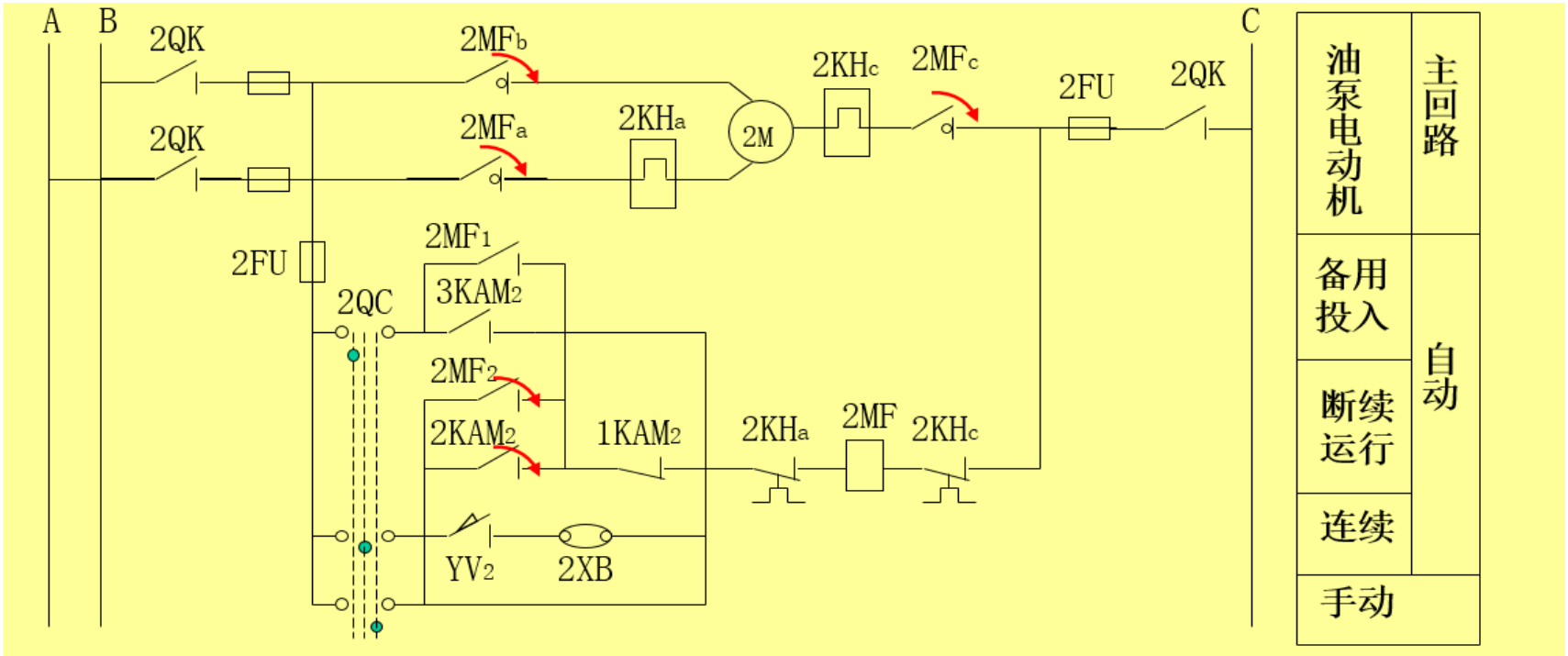


当油压恢复到上限值时，$2BP_2$闭合，使$1KAM_2$断开，1MF失磁，油泵电动机停止工作。

若油压再次下降到下限值时，4BP再次动作，以下的动作同前。

此处通过其辅助接点$2MF_2$自保持原因如下：

因为4BP动作，其接点$4BP_2$闭合使重复继电器2KAM动作，此时$2KAM_2$接通。一接通$2KAM_2$，2MF就马上励磁，油泵电动机2M启动，使得油压上升，即油压马上会大于给定的下限值（这个过程很快），此时重复继电器2KAM作用消失，使$2KAM_2$断开，若此时没有接点$2MF_2$自保持，2MF就会失磁，则油泵就会立即停止工作，油压下降4BP又动作，从而在这点往复操作。

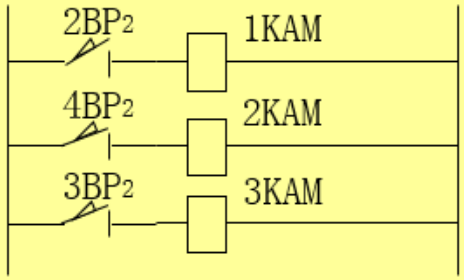


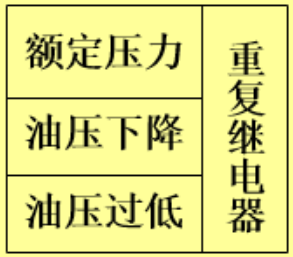
- 在备用状态时：

  将2QC切换到备用位置。备用泵在下列情况下自动投入运行：

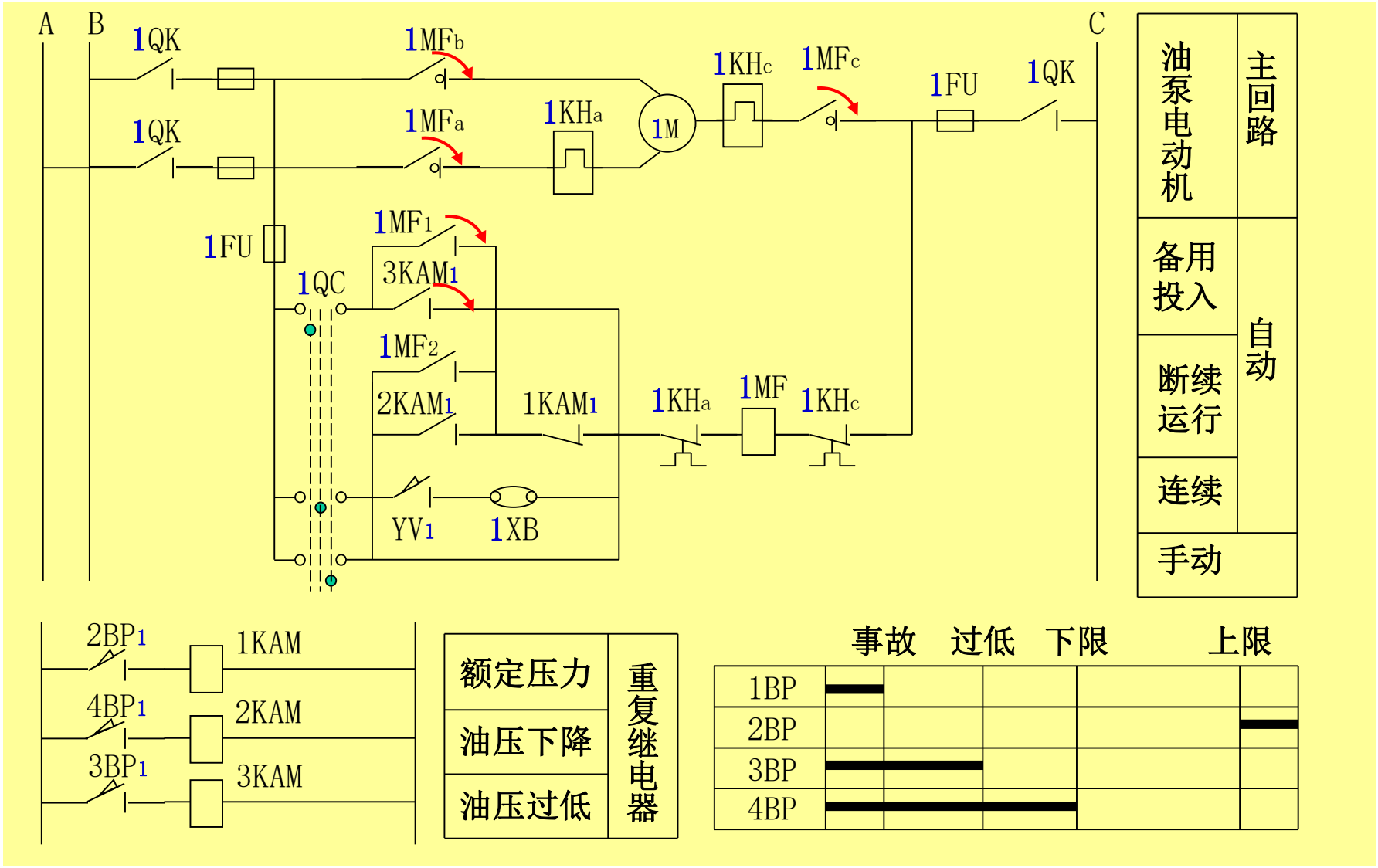
  ①工作油泵电动机操作回路或工作油泵电动机以及工作泵本身发生故障时；

  ②当机组甩负荷或油路严重漏油，使压油槽油压下降到过低油压时。





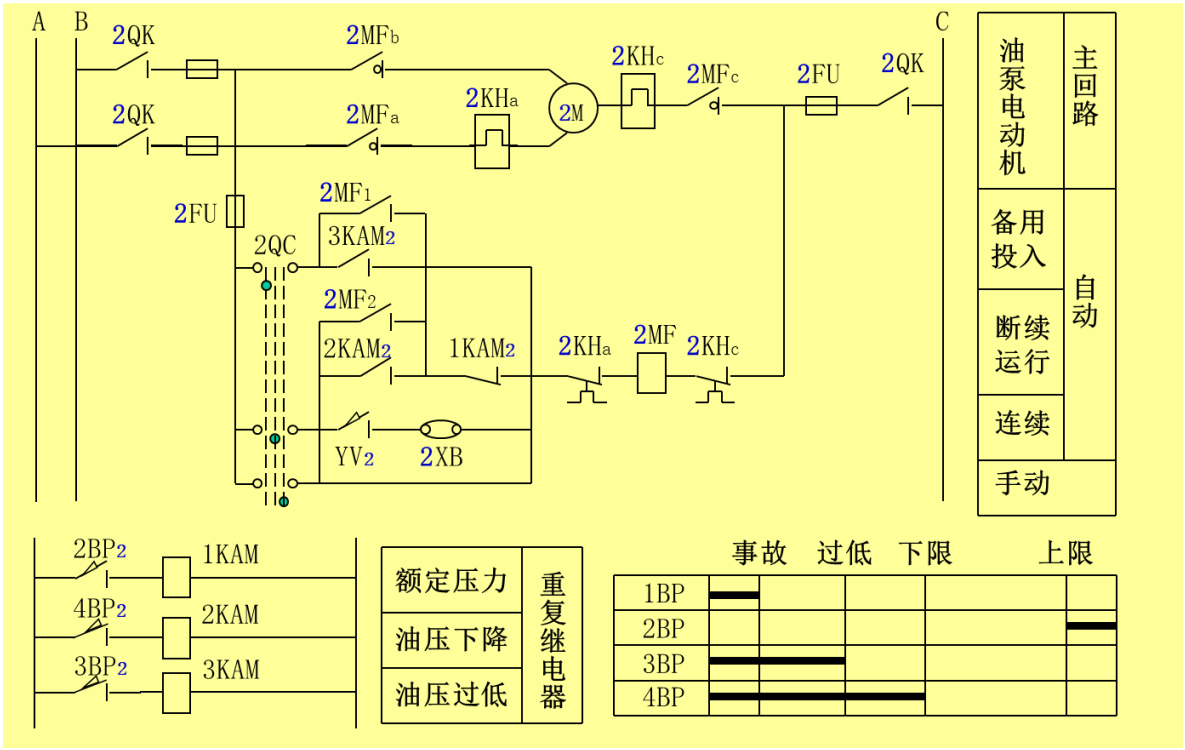


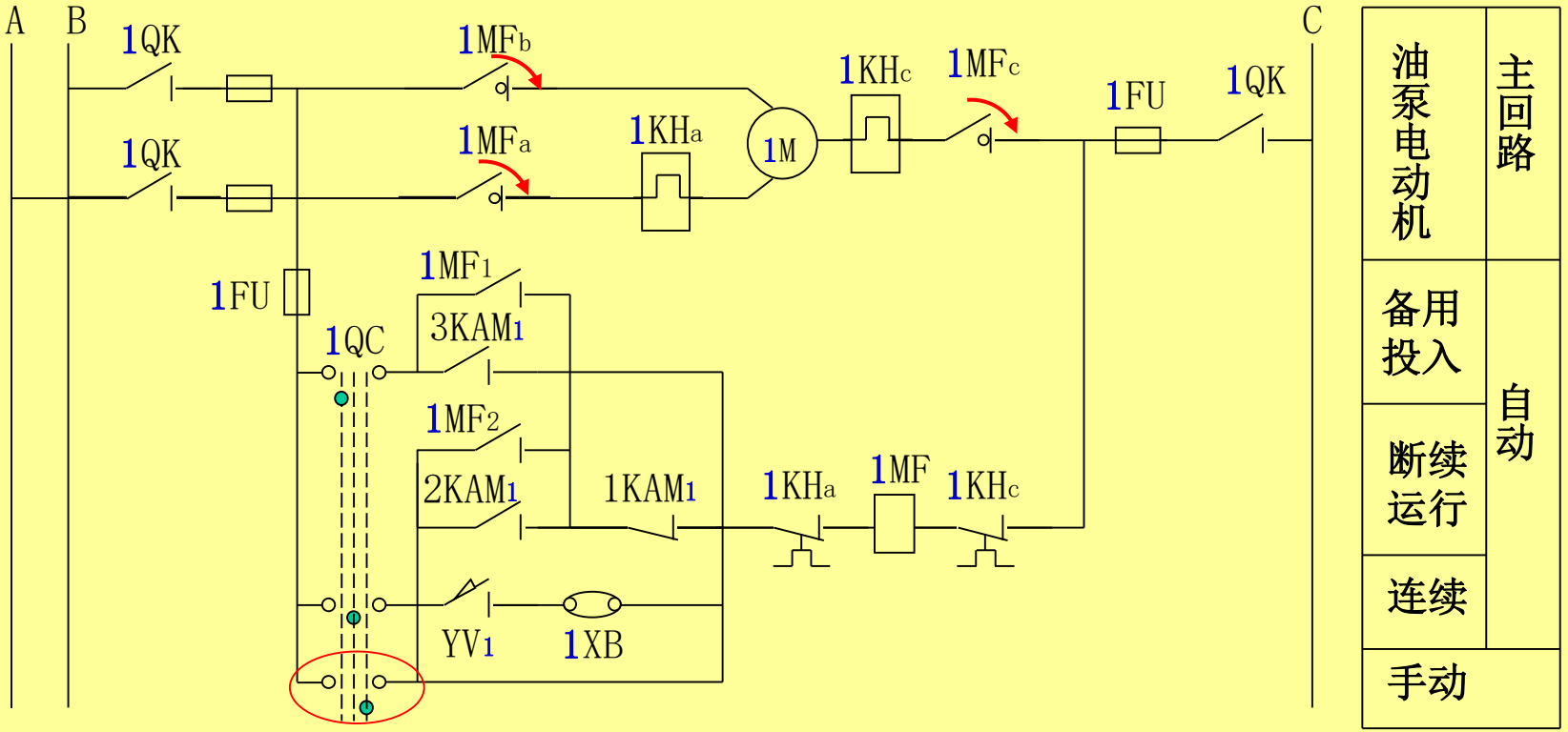


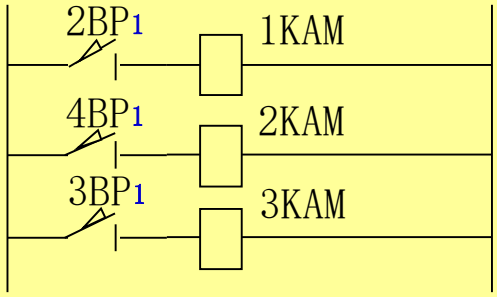
此时，**3BP**动作，使**3KAM**励磁，其接点$3KAM_1$闭合（辅助接点$1MF_1$自保持）使**1MF**励磁，结果使**1M**启动，与工作泵并列运行（假设**2**号为工作泵，**1**号为备用泵）。图中蓝色数字“1” 表示1号电动机

➢ 手动操作时

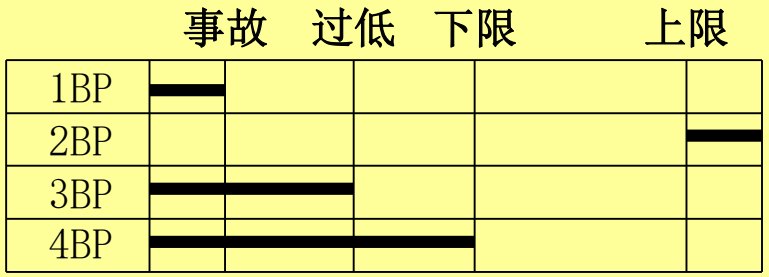
在手动操作时，压力油槽的油压由值班人员监视：当发现油压降低到工作压力下限值时，操作人员可将切换开关1QC或2QC切换到手动位置，使1MF或2MF励磁，从而使1M或2M油泵电动机启动，向压力油槽打油；当油压上升到工作压力上限值时，将切换开关切换到停止位置，油泵电动机停止工作。







重复继电器
额定压力
油压下降
油压过低

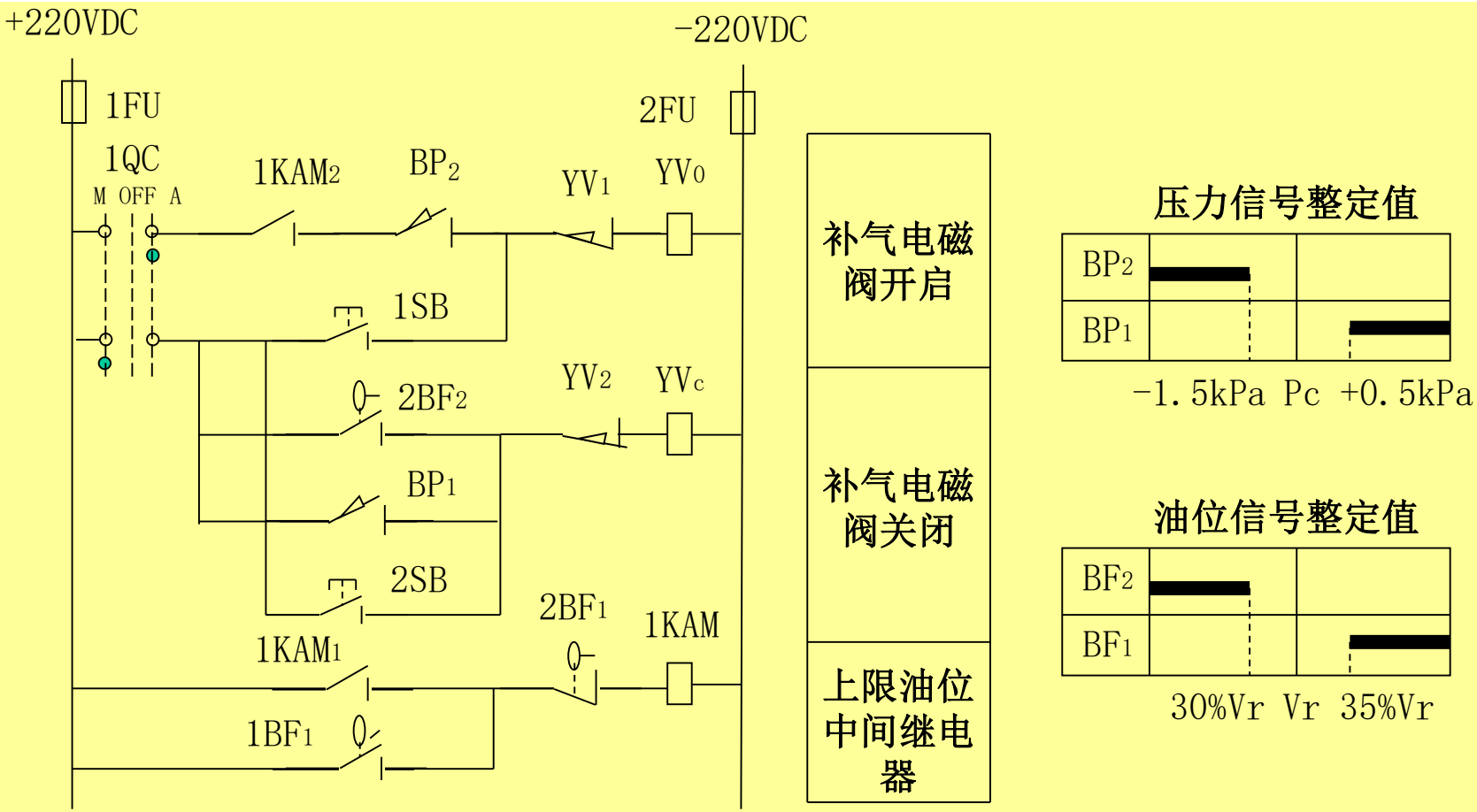


（2）油压装置的自动补气

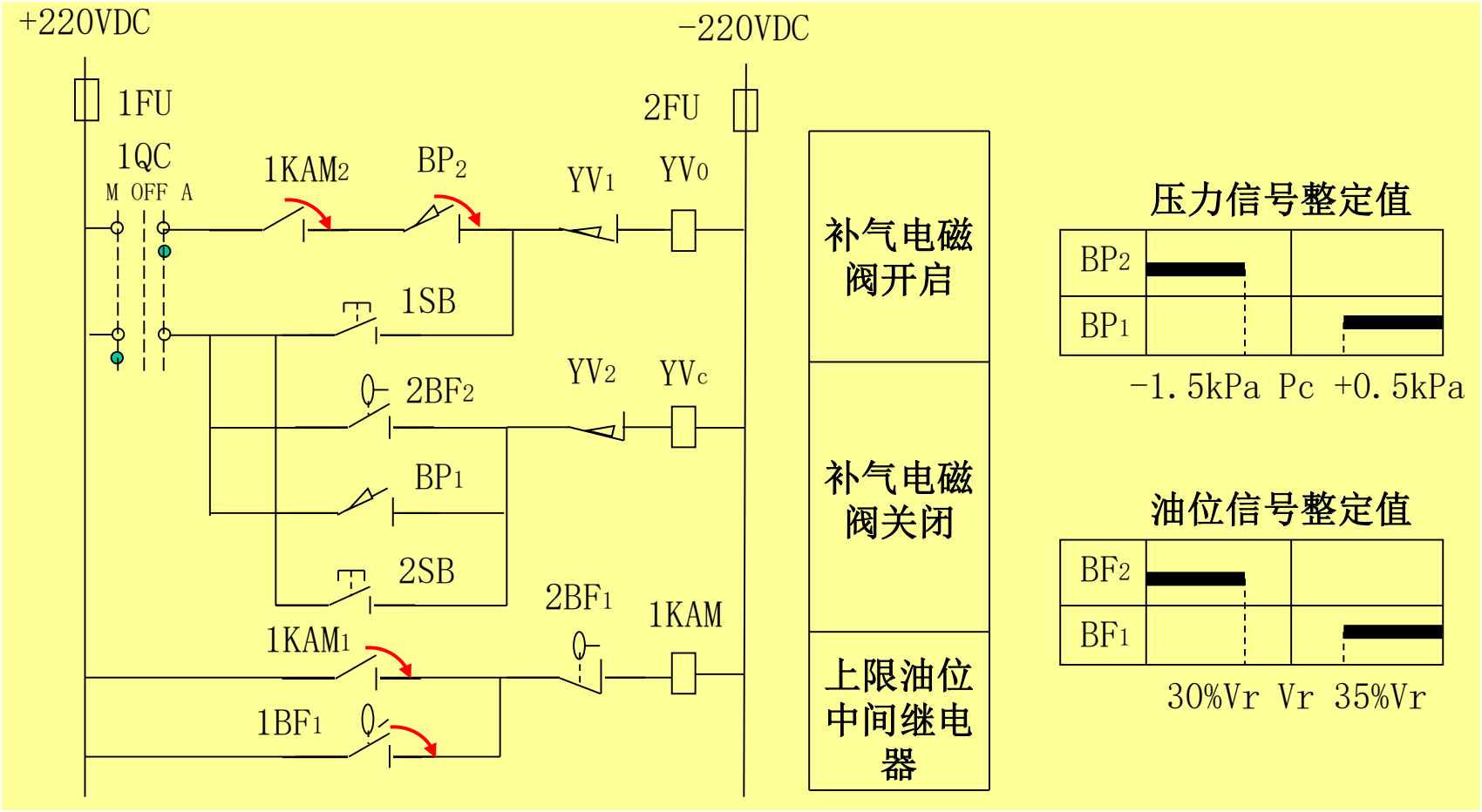
油压装置的自动补气是指自动控制压油槽的油位在其容积的 30～35%。

油压装置的自动补气控制应满足下列要求：

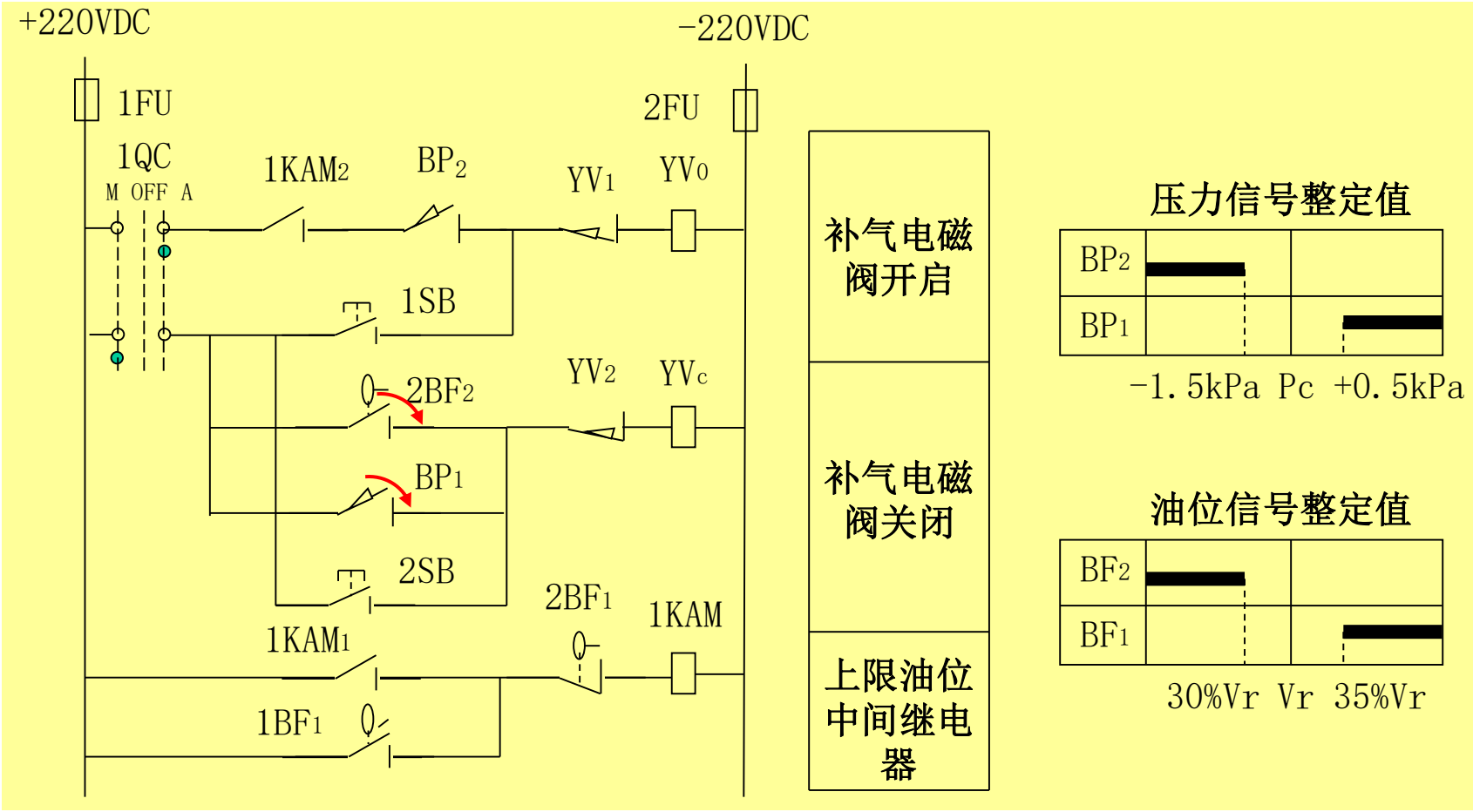
①油位高且油压低时补气；　　②油压高或油位低时停止补气。



当压力油槽油位上升到上限值时，油位信号器接点$1BF_1$接通中间继电器1KAM，使$1KAM_2$闭合、$1KAM_1$闭合（自保持作用）；若此时油压低于额定值，压力信号器接点BP_2闭合，使补气电磁阀开启线圈YV_0励磁，从而打开补气阀向压油槽补气；



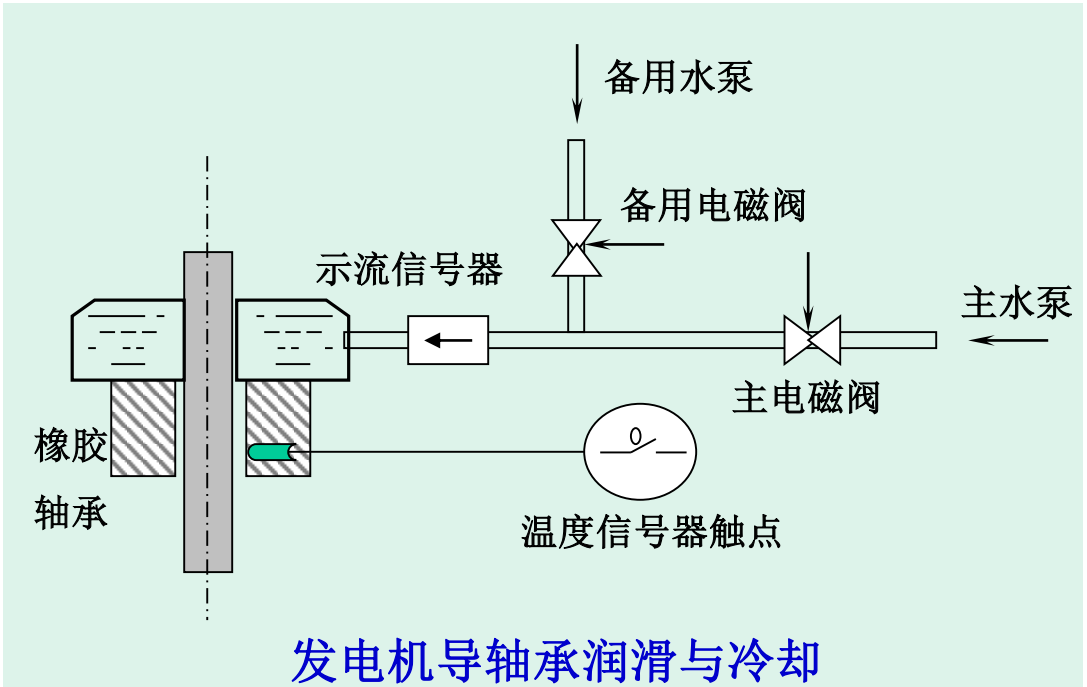
当压力油槽油压上升到上限值时，**BP_1**将闭合（或因油位将至下限，**$2BF_2$**闭合），使补气电磁阀关闭线圈**YV_C**励磁，关闭补气阀。



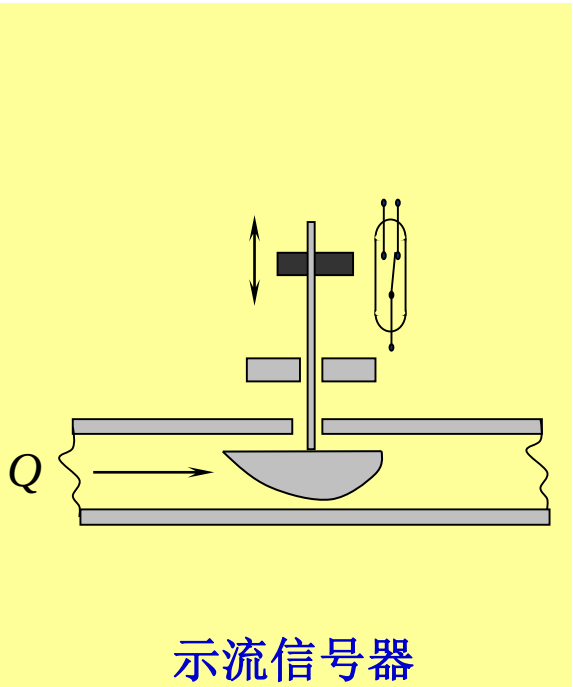
2、技术供水装置的自动控制

（1）技术供水装置的用途

对水电站运行设备进行冷却和润滑。供水对象包括：用于将发电机内的热空气冷却后，再重新进入发电机内的发电机空气冷却器；用于对发电机推力轴承及导轴承润滑油进行冷却的油冷却器；空气压缩机冷却；油压装置集油槽冷却器；水轮机导轴承的润滑和冷却。



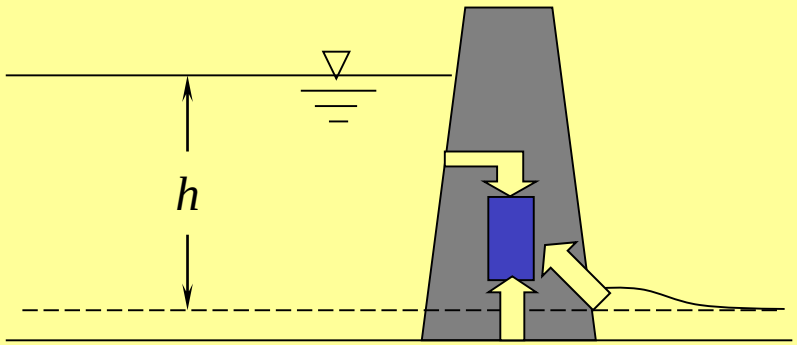
发电机导轴承润滑与冷却



示流信号器

（2）技术供水系统的水源

水源的选择须考虑用水设备的水量、水压、水温和水质的要求以保证用水设备的安全运行。一般作为技术供水的水源可有：上游水库、下游尾水和地下水源。



（3）技术供水系统的方式

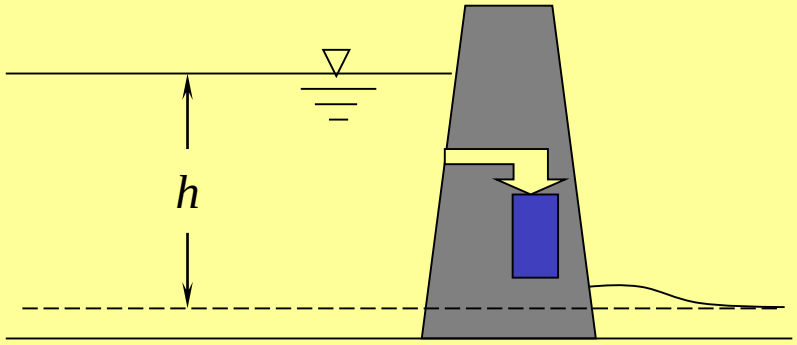
技术供水方式因水电站水头范围不同而不同。常用的供水方式有自流供水、水泵供水和混合供水三种。

- 自流供水：

自流供水系统的水压是由水电站的自然水头保证的。这种方式设备简单、供水可靠。当水电站的平均水头（h）在 $20\sim80m$ 范围内，且水温和水质符合要求时，一般采用自流供水。

当 $h<20m$ 时，水压将不能满足自流供水的要求；

当 $h>80m$ 时，浪费水能且减压困难。



- 水泵供水：

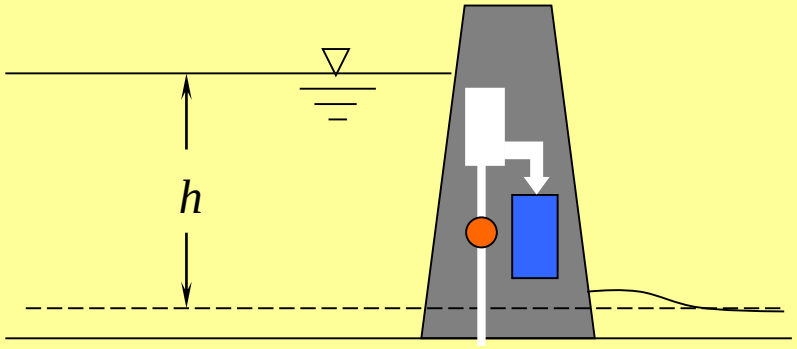
当水电站的水头不满足要求时，可采用水泵供水。

对于低水头电站，水源可取至上下游；

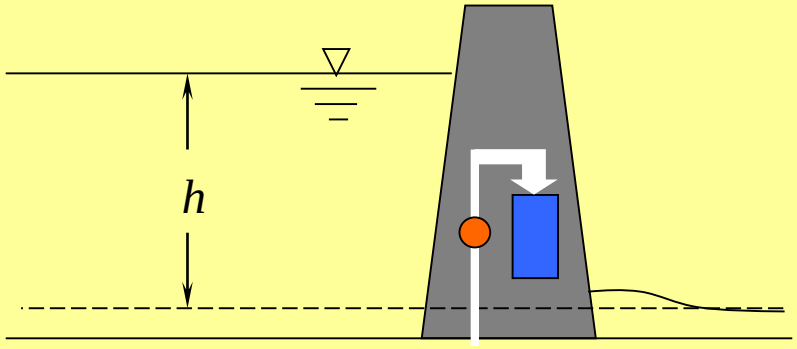
对于高水头电站，水源可取至下游或地下水。

水泵供水又分为有蓄水池和无蓄水池两种：

有蓄水池的水泵供水

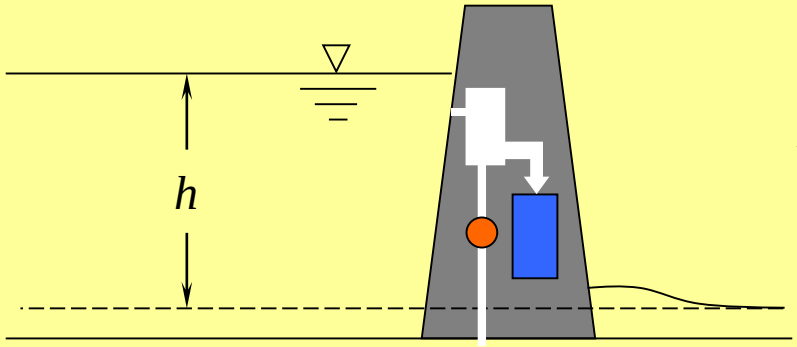


无蓄水池的水泵供水



- 混合供水：

当水电站的水头为12～20*m*时，一般采用自流和水泵供水的混合供水方式。



混合供水

（4）技术供水系统的控制方式

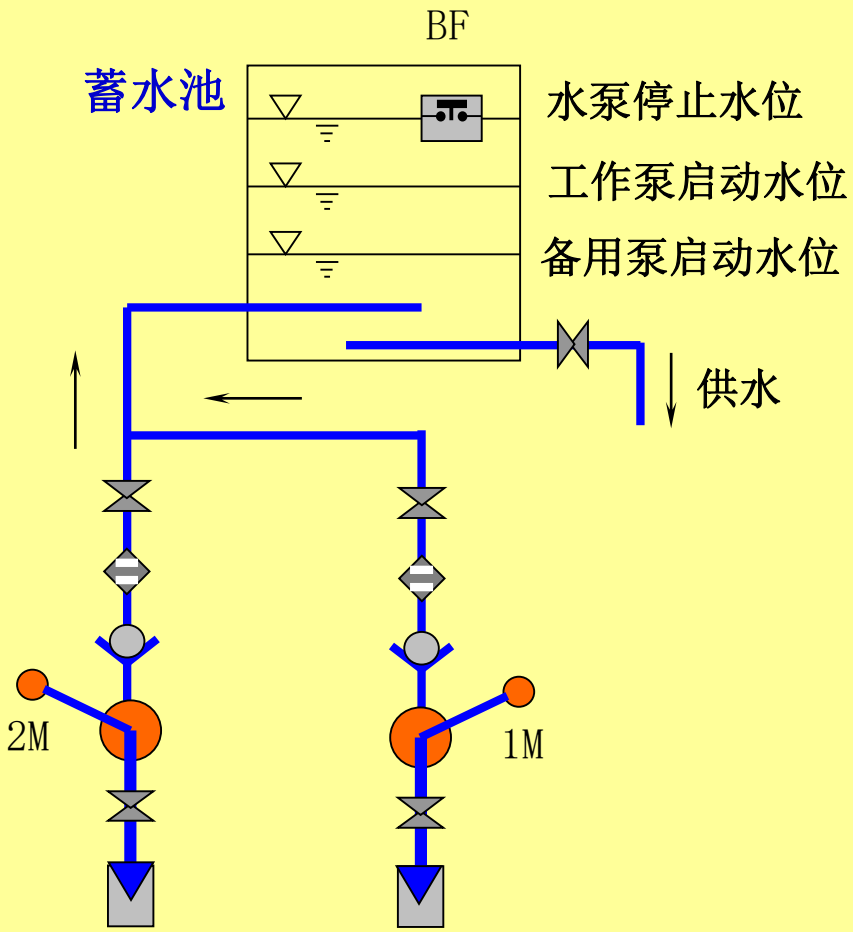
- 技术供水系统采用水泵供水并设置蓄水池时，水泵电动机的控制方式为：

自动启动和停止工作水泵，维持蓄水池水位在规定的范围内；当工作水泵故障或用水量大增而使蓄水池水位下降到备用泵启动水位时，自动启动备用泵并报警。

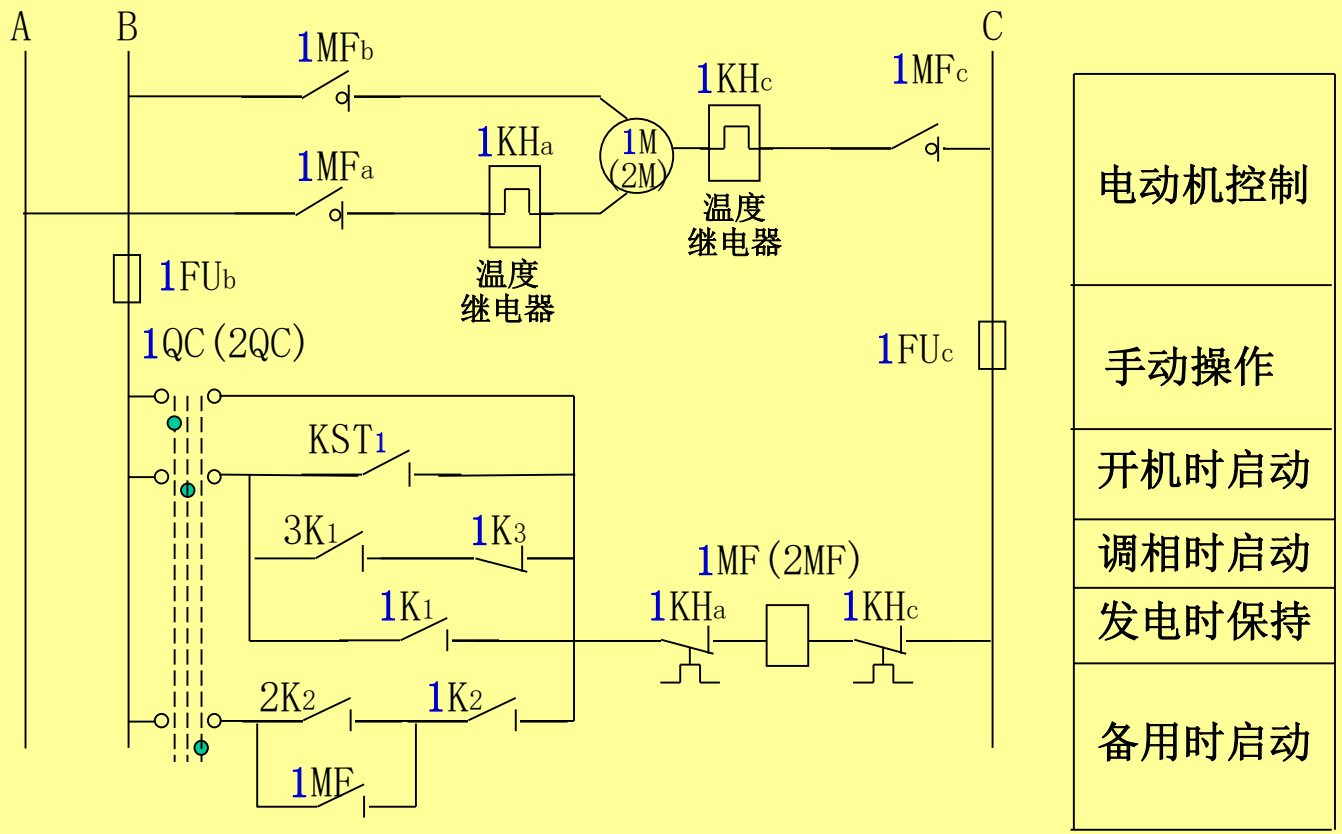
- 技术供水系统采用水泵供水并不设置蓄水池时，水泵电动机的控制方式为：

工作水泵随着机组的启动而自动启动，并在机组运行期间保持运行；当供水总管的水压下降到备用泵启动水压时，自动启动备用泵并报警；机组停机过程结束后，自动停止水泵；供水管路上的阀门应随机组的启动和停止而自动启动和停止。

水泵供水方式的自动控制机械系统图：

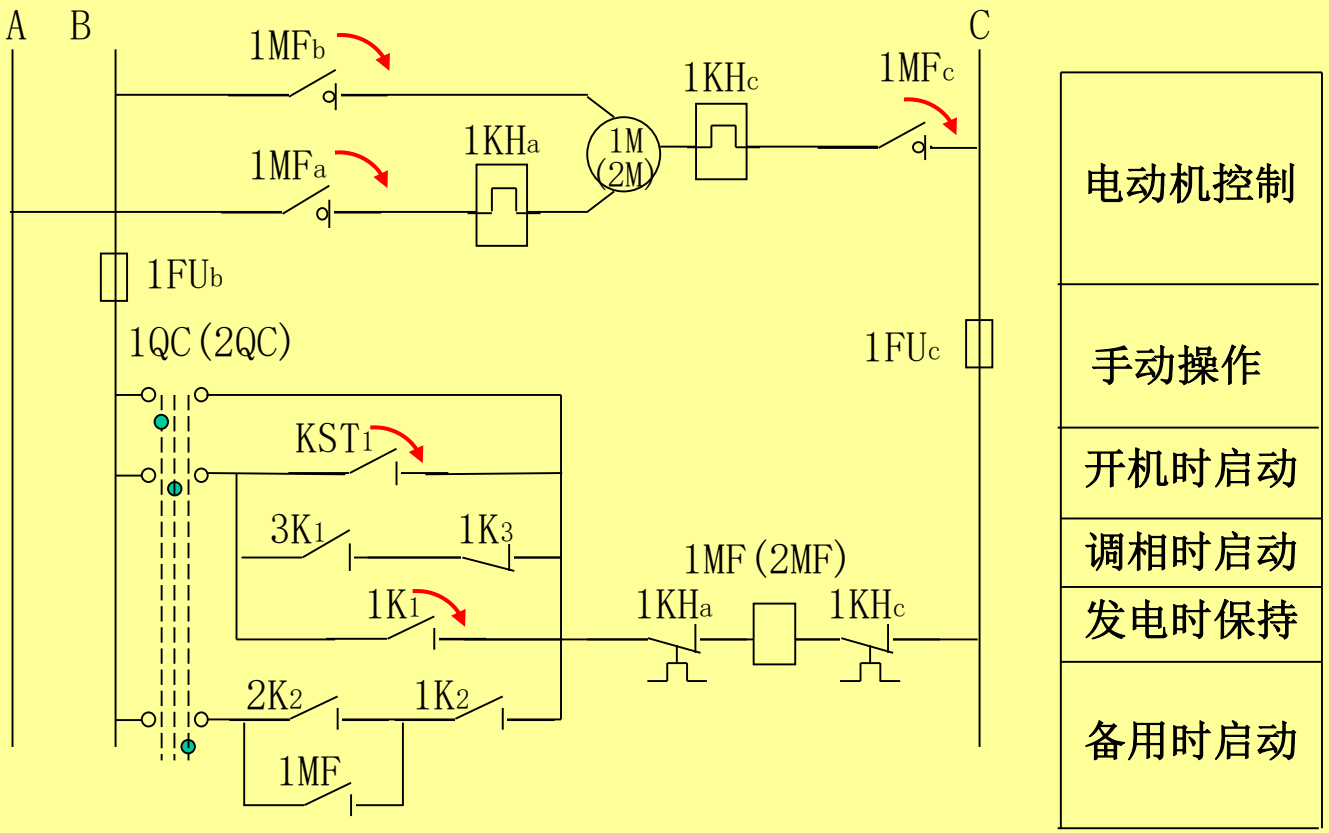


技术供水系统采用水泵供水，并且不设置蓄水池时，水泵电动机的自动控制：



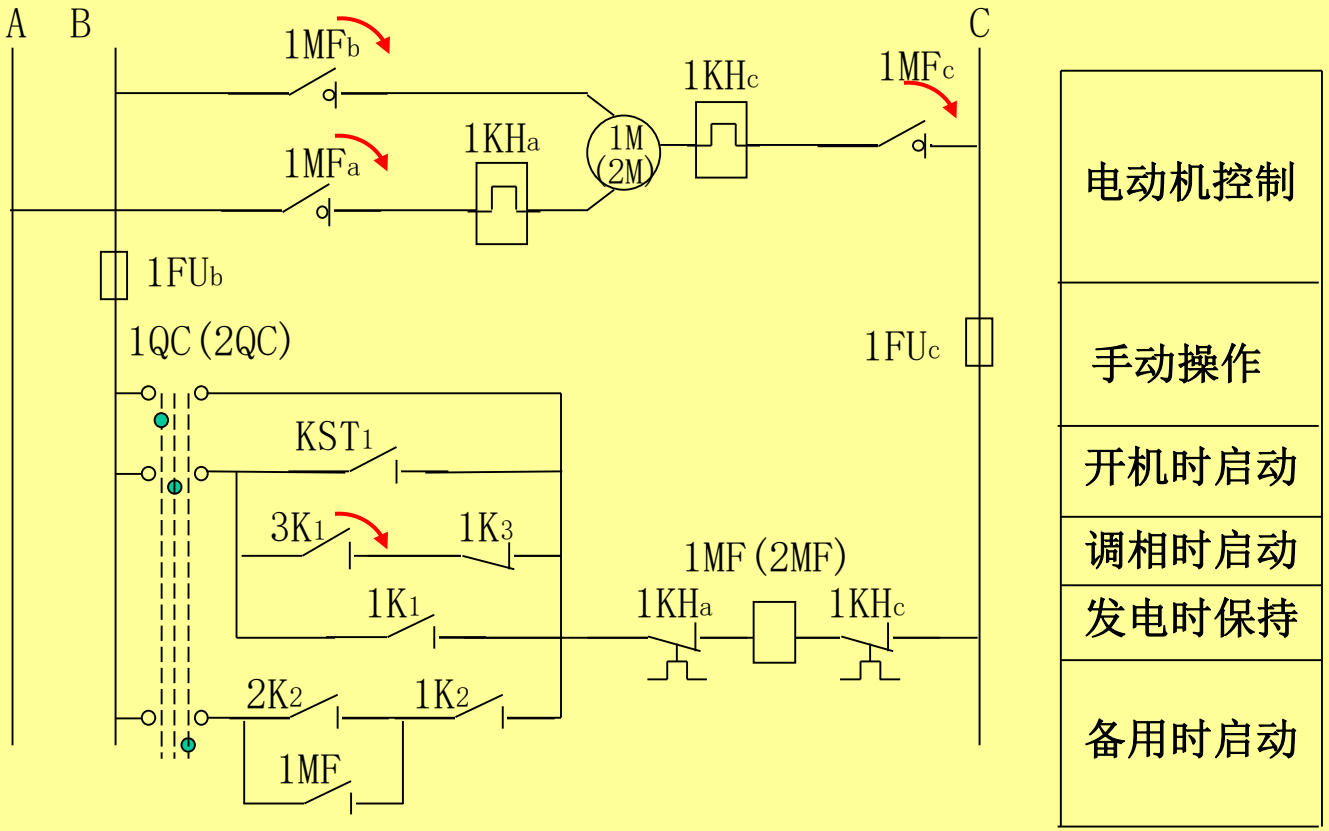
KST — 开机继电器，开机时动作，停机时复归；
1K — 导叶开位置继电器重复接点，导叶打开时动作，关闭时复归；
2K — 示流信号器重复接点，当冷却水中断时动作；
3K — 导叶关位置继电器重复接点，导叶关闭（调相运行）时动作；
1MF、1QC — 空气开关和选择开关。

开机时，开机继电器KST励磁，其接点KST_1闭合，使1MF励磁，水泵电动机1M启动，从而开始供水。开机过程完成后，KST复归，但机组运行时导叶打开，重复继电器1K励磁，$1K_1$闭合使水泵继续运行。机组停机后，由于导叶关闭，1K失励，$1K_1$打开，使水泵电动机停止工作。



KST — 开机继电器，开机时动作，停机时复归；
1K — 导叶开位置继电器重复接点，导叶打开时动作，关闭时复归；

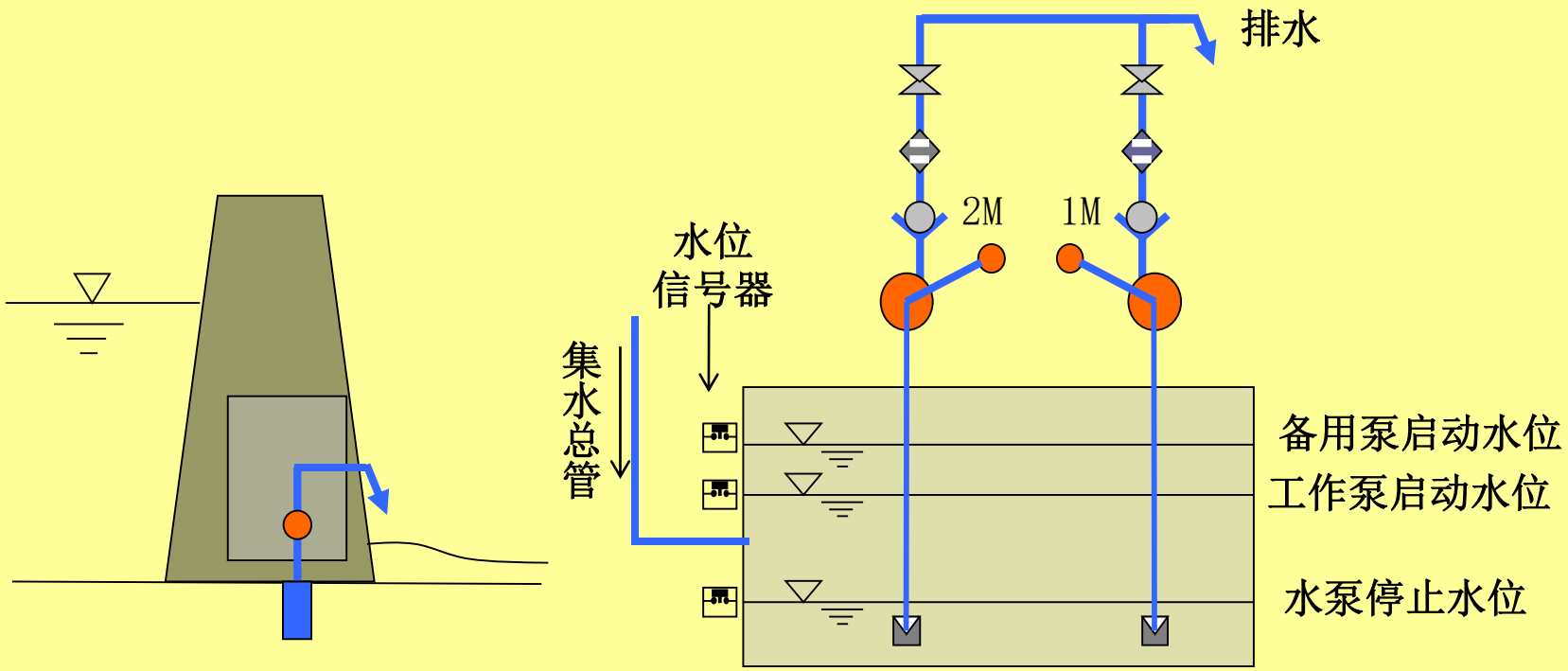
当机组切换为调相运行时，通过导叶关闭位置继电器3K励磁，使$3K_1$闭合来实现。



3K — 导叶关位置继电器重复接点，导叶关闭（调相运行）时动作；

3、集水井排水装置的自动控制

为了保证水电站的生产安全，使厂房不至潮湿和被淹，采用集水井排水装置来自动排除厂房渗漏水和生产污水。



集水井排水装置根据水位信号器发出的信号，自动启动和停止工作水泵，维持集水井水位在规定的范围内；当工作水泵故障或排水量大增而使集水井水位上升到备用泵启动水位时，自动启动备用泵并报警。

4、空气压缩装置的自动控制

空气压缩装置为机组调相运行和制动等提供压缩空气。空气压缩装置的自动控制应实现如下操作：

①根据压力信号器发出的信号，自动向储气罐充气，维持储气罐气压在规定的范围内；

②在空气压缩机启动过程中，自动关闭空压机的无负荷启动阀，对水冷式空压机还须自动供给冷却水；

③在空气压缩机停止过程中，自动打开空压机的无负荷启动阀，对水冷式空压机还须自动停止冷却水；

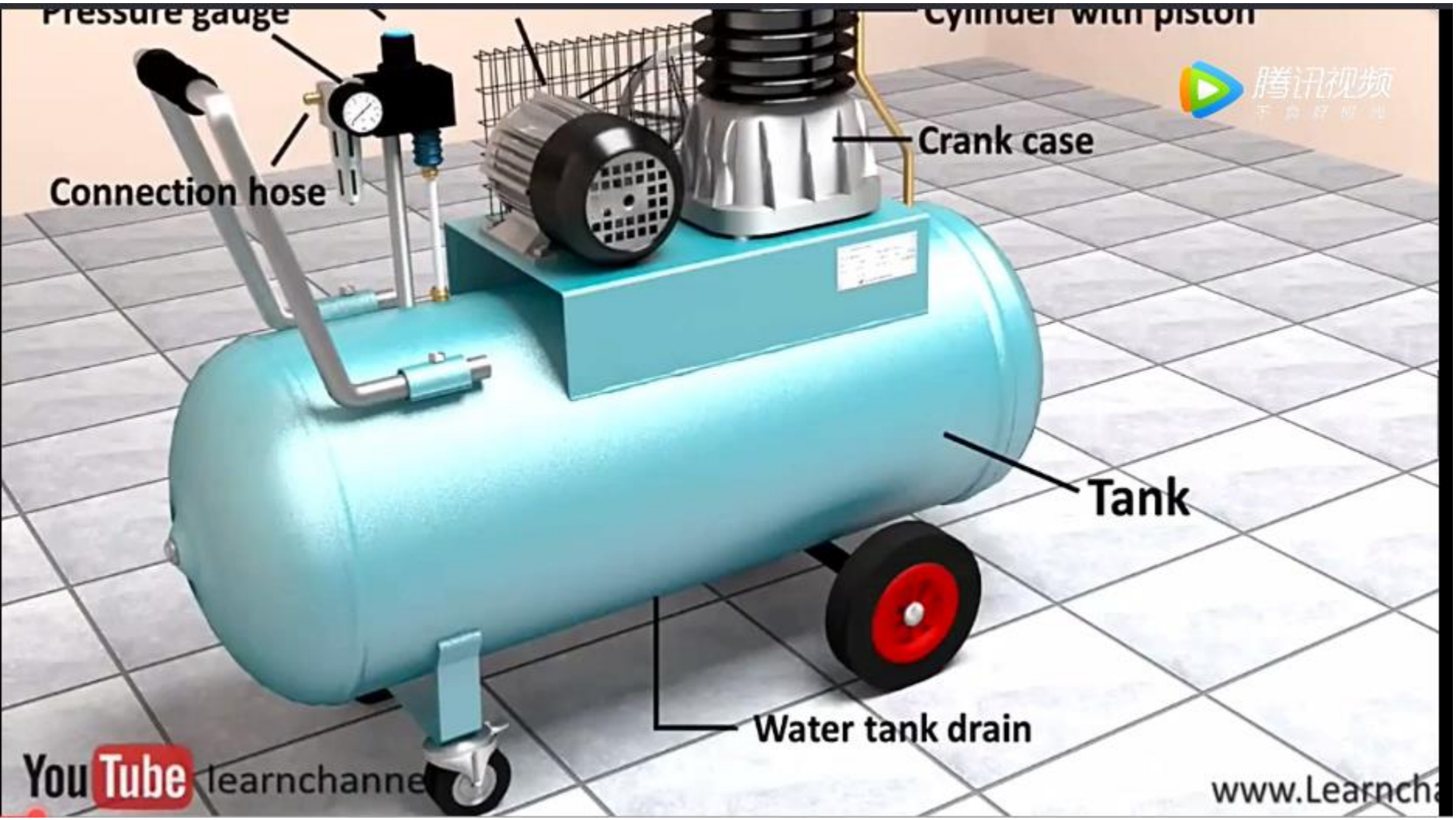
④当储气罐的气压降低到工作压力下限时，自动启动备用空压机并报警；

⑤当压力过高或空压机出口温度过高时发出报警信号。



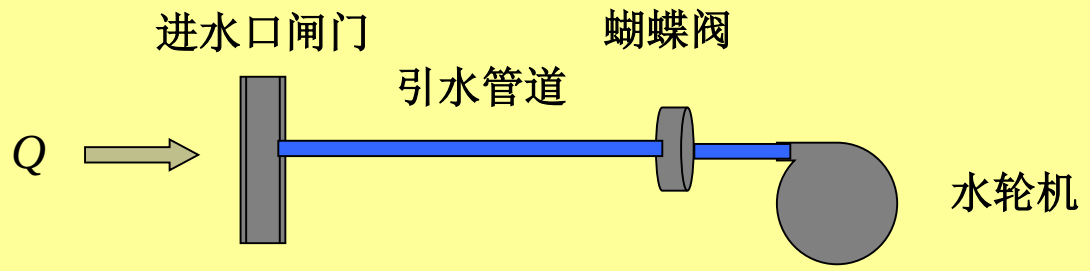


空气压缩机工作原理


Pressure gauge
Cylinder with piston
Crank case
Connection hose
Tank
Water tank drain
YouTube learnchanne
www.Learncha

5.4　蝴蝶阀和进水口闸门的自动控制

在水轮机的过水系统中，装设在水轮机蜗壳前的阀门为蝴蝶阀，装设在进水口处的闸门为进水口闸门，都是用于打开或关闭进入水轮机的水流。









1、蝴蝶阀的自动控制

（1）蝴蝶阀的作用

- **减少停机时的漏水量**

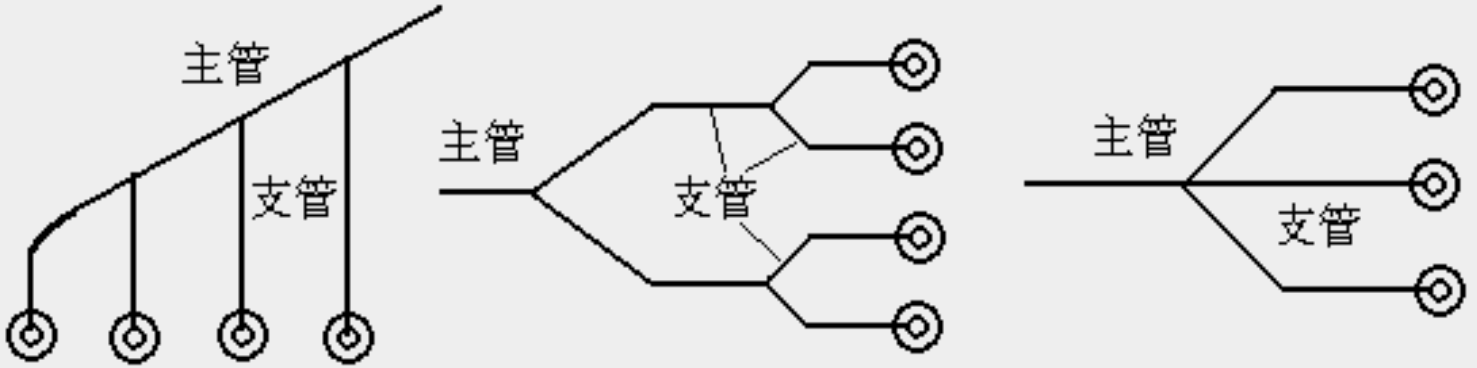
当机组较长时间停机时，导叶漏水几乎不可避免，漏水流量可达机组最大流量的2～3% 。由于蝴蝶阀关闭较严，可大大减少漏水。

- **缩短机组启动时间**

机组停机时，一般不希望关闭进水口闸门，因为这样放掉引水管的水以后，机组启动时又要重新充水，延长了启动时间。

- **构成机组检修的安全工作条件**

在岔管引水的水电站，当其中一台机组检修时，为了不影响其它机组的运行，可关闭蝴蝶阀。



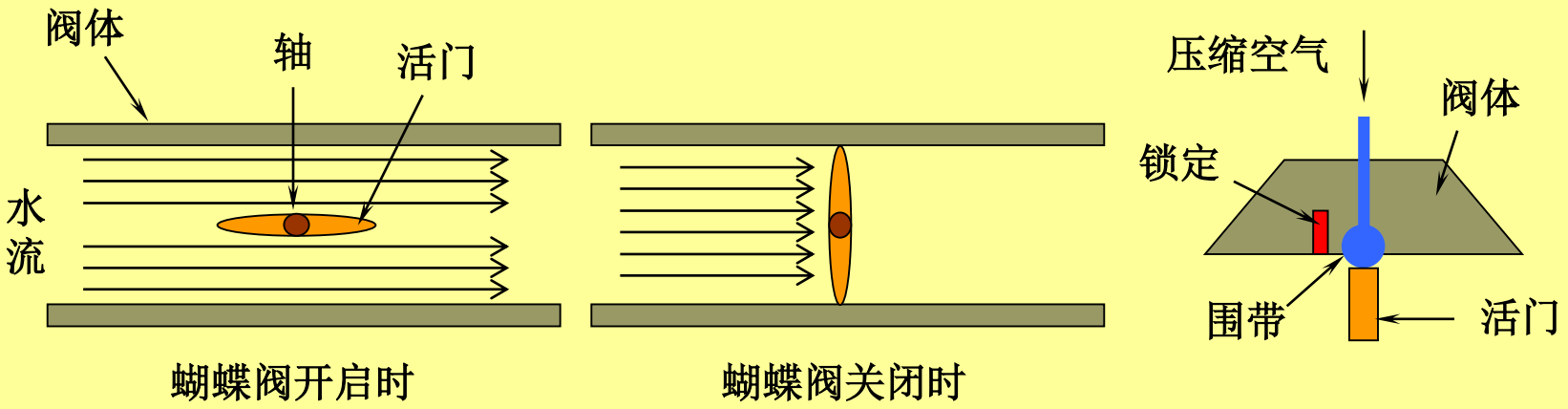






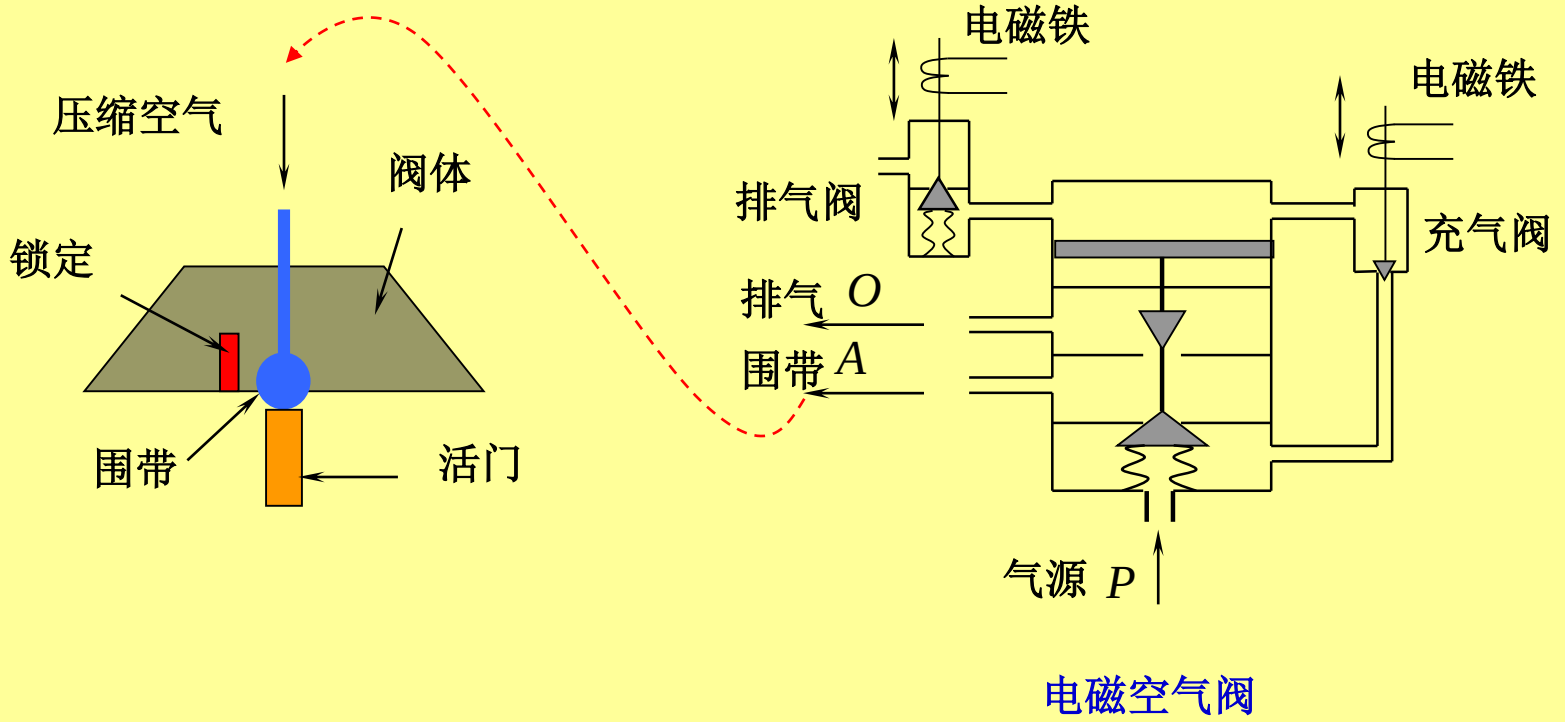
（2）蝴蝶阀的构成

蝴蝶阀由阀体、活门、密封装置、锁定装置和附属部件构成。蝴蝶阀工作的示意图如下：



由于蝴蝶阀只有全开和全关两种状态，故只能用于切断水源，而不能用于流量的调节。

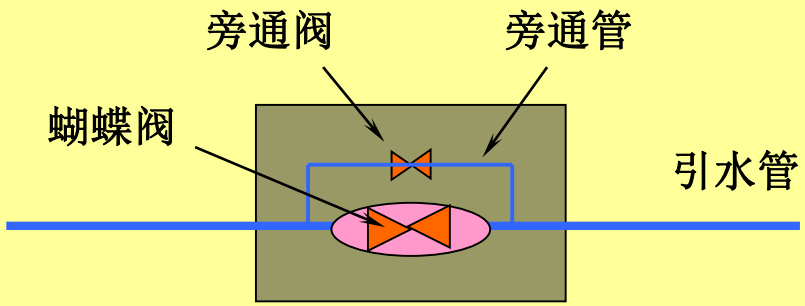
密封装置的作用是止漏。为了防止活门与阀体之间的漏水，常采用橡胶围带止漏，如下图。橡胶围带安装在阀体上。当活门关闭后，围带内充入压缩空气，围带膨胀，封住周围间隙，活门开启前应先排气，围带缩回方可进行活门开启。



电磁空气阀

由于活门在稍偏离全开位置时即有自关闭的水力力矩，因此在全开位置必须设有锁定装置。同时，为了防止因漏油或液压事故以及水的冲击作用而引起的误开或误关，一般在全开和全关位置都应投入锁定装置。

蝴蝶阀可以在动水下关闭。但在开启时为了减少作用在活门上的水力矩，以及消除在动水开启时所发生的振动，要求在活门两侧的压力相等后才能开启，故在阀体上装设旁通管和旁通阀。开启蝴蝶阀前，先开启旁通阀，对阀充水，然后在静水中开启蝴蝶阀。



（3）蝴蝶阀开启控制

- 蝴蝶阀开启条件：

导叶处于全关位置；蝴蝶阀处于全关位置；机组无事故；无蝴蝶阀关闭命令。

- 蝴蝶阀开启控制过程：

打开旁通阀，对蜗壳充水；当蝴蝶阀前后的水压基本平衡后，空气围带排气；排气完成后，将蝴蝶阀打开到全开位置；投入锁定并关闭旁通阀。

（4）蝴蝶阀关闭控制

拔出锁定；打开旁通阀；将蝴蝶阀关闭至全关位置；对空气围带充气；投入锁定并关闭旁通阀。

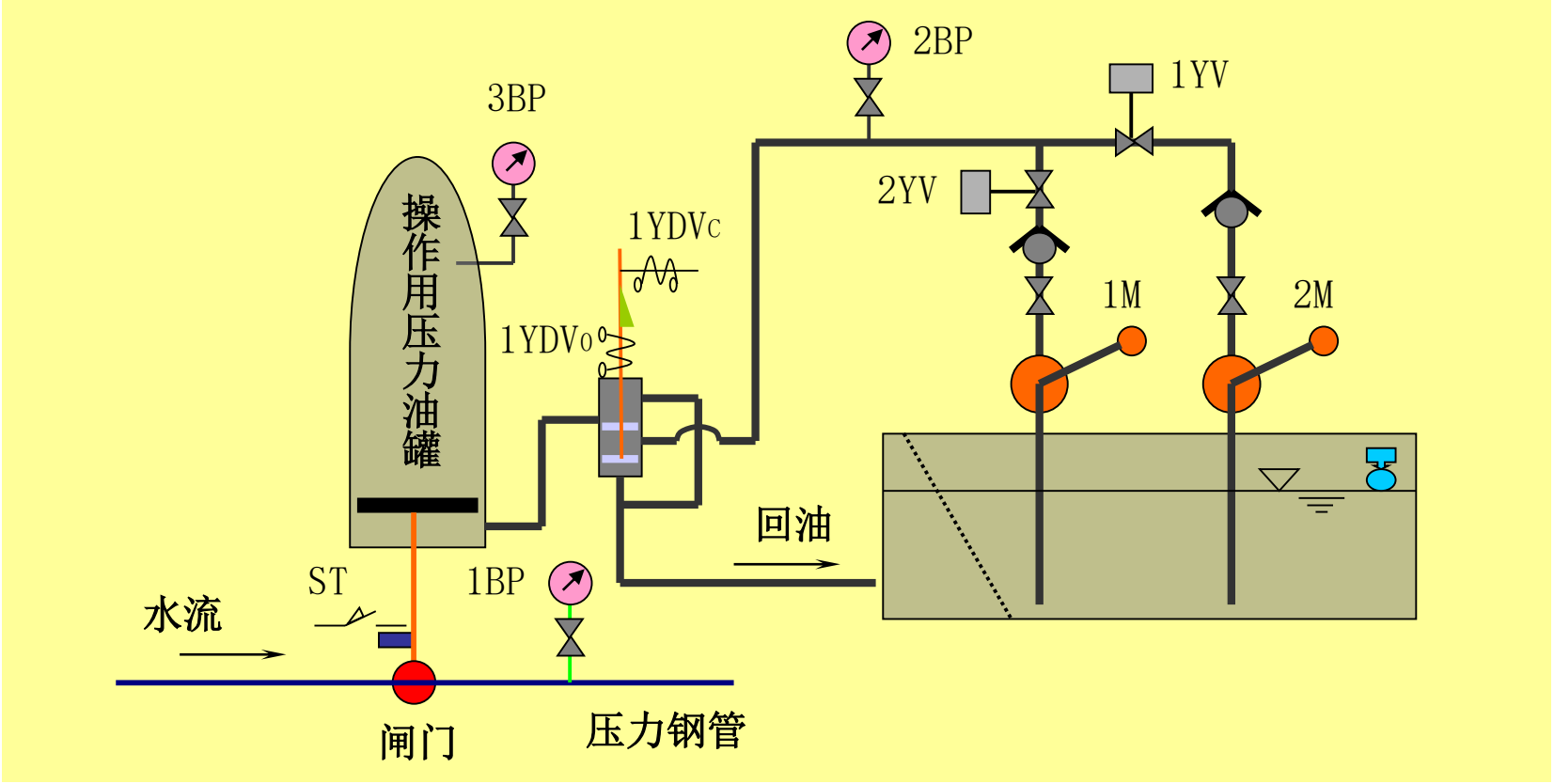


2、进水闸门的自动控制

以油压式启闭机的自动操作为例，说明进水口闸门（一般兼作快速闸门）自动控制的一般原理。

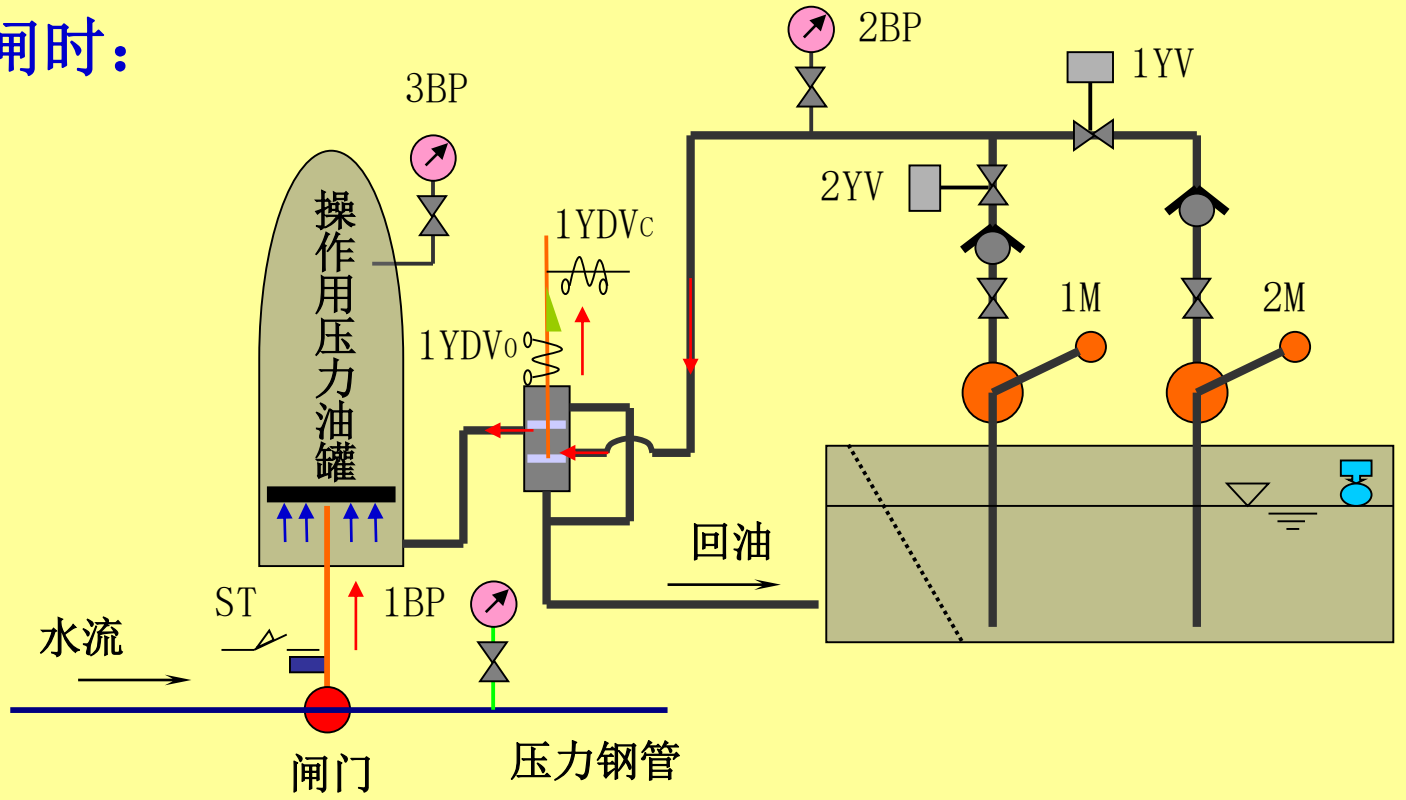
进水闸门的操作必须满足下列条件：

- 正常提升和关闭，且提升时应满足充水开度的要求（闸门开启时，先将闸门开至充水开度，当压力钢管充满水后，再将闸门升至全开位置）；
- 机组事故时，应在两分钟内自动紧急关闭闸门；
- 闸门全开后，若由于某种原因使闸门下降到一定的位置，则应自动将闸门重新提升到全开位置。



1YV，2YV — 启动阀，打开时油泵向启闭机提供提升闸门的压力油；
1YDVo — 电磁配压阀开启线圈；1YDVc —电磁配压阀关闭线圈；

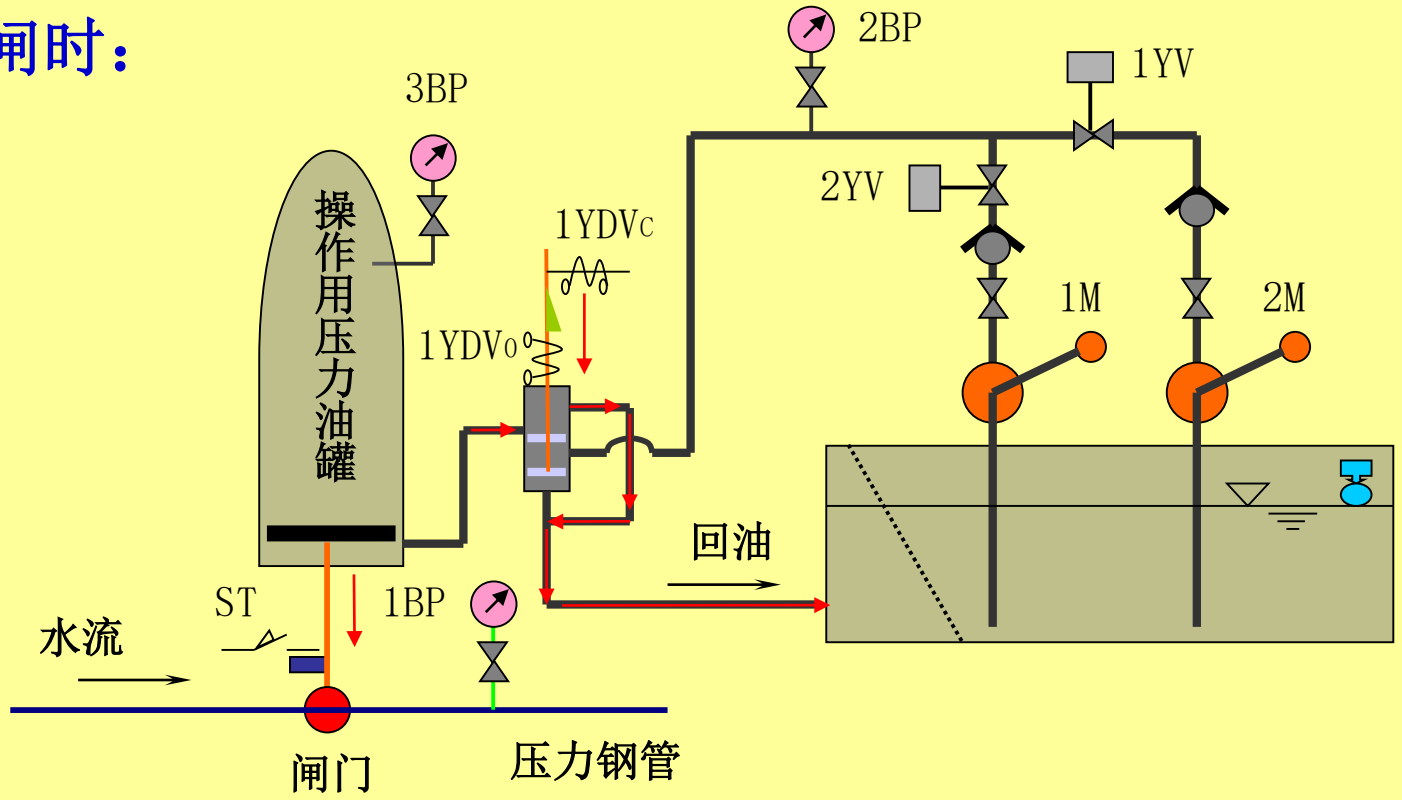
开闸时：



打开启动阀（ 1YV或2YV ），电磁配压阀开启线圈1YDVo 通电，活塞上移，油泵向操作用压力油罐打油，闸门向上提升；

闸门全开后，由于某种原因使闸门下滑200mm时，工作泵执行开闸；若下滑超过300mm时，备用泵执行开闸。

关闸时：



关闭启动阀（ 1YV或2YV ），油压消失，同时电磁配压阀关闭线圈1YDVc 通电，活塞下移，操作用压力油罐中的油在闸门重力作用下回流到油槽，闸门关闭。

作业：

（1）简述水电机组转速测量的目的以及基于双传感器测量的齿盘测速原理。

（2）简述热电偶传感器的工作原理。

（3）采用霍尔元件式压力变送器测量某管道流体的压力。已知：

霍尔电势E_H(其中：$E_H=K_1*\Delta X$)；

弹簧管内径为d，外径为D；

弹簧管自由端位移ΔX与其圆周方向应力σ_1和轴向应力σ_2之间为线性关系 $\Delta X=K_X(\sigma_1-\sigma_2)$。

试求被测流体的压力P。

例：采用霍尔元件式压力变送器测量管道流体的压力，已知：

（1）弹簧管外缘半径与内缘半径比 $\frac{D}{d}=2$ ；

（2）霍尔电势 $E_H=0.2V$ (其中：$E_H=K_H\bullet\Delta X=30\Delta X$)；

（3）弹簧管自由端位移 ΔX 与其圆周方向应力 σ_1 和轴向应力 σ_2 之间为线性关系

$$\Delta X=K_X(\sigma_1-\sigma_2)=0.2(\sigma_1-\sigma_2)$$

试求被测流体的压力P。

解：

$$\because \quad E_H = K_H \bullet \Delta X = K_H \bullet K_X(\sigma_1 - \sigma_2)$$

$$= K_H \bullet K_X\left[\frac{2P}{(\frac{D}{d})^2 - 1} - \frac{P}{(\frac{D}{d})^2 - 1}\right]$$

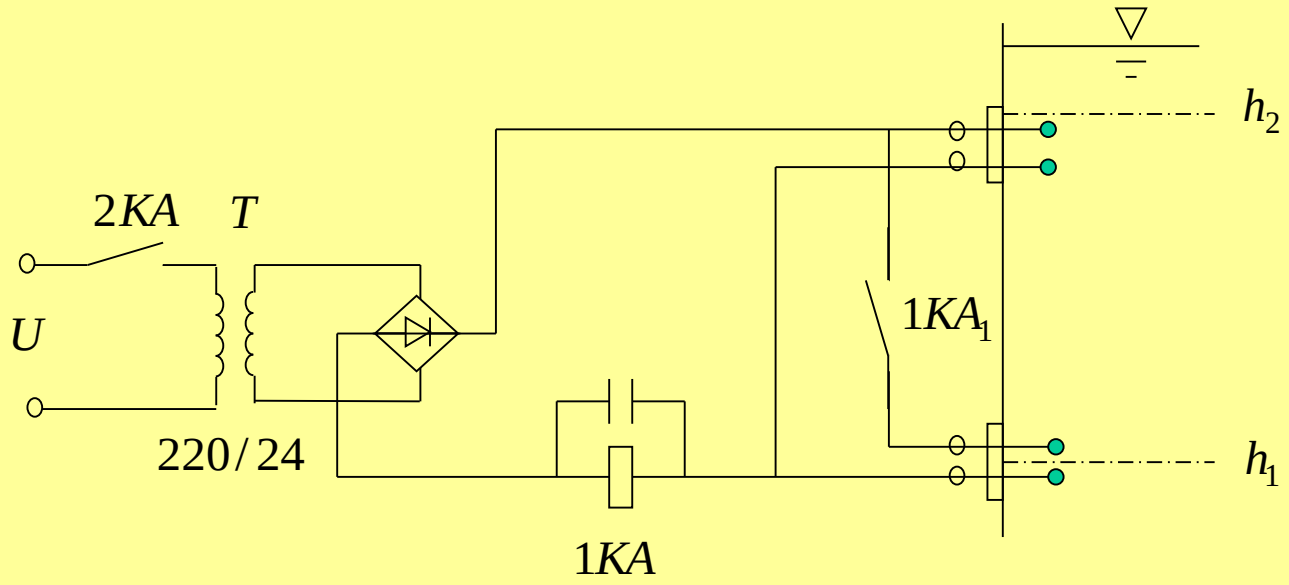
$$= \frac{K_H K_X P}{(\frac{D}{d})^2 - 1}$$

故被测流体的压力 $P = \dfrac{E_H[(\frac{D}{d})^2 - 1]}{K_H K_X} \quad (MP_a)$

即被测流体的压力 $P = \dfrac{0.2 \times [2^2 - 1]}{30 \times 0.2} = 0.1(MP_a)$

（4）简述差压变压器式位移传感器的工作原理。

（5）下图是以电极式水位信号器构成的调相压水控制接线图，试说明其工作过程。



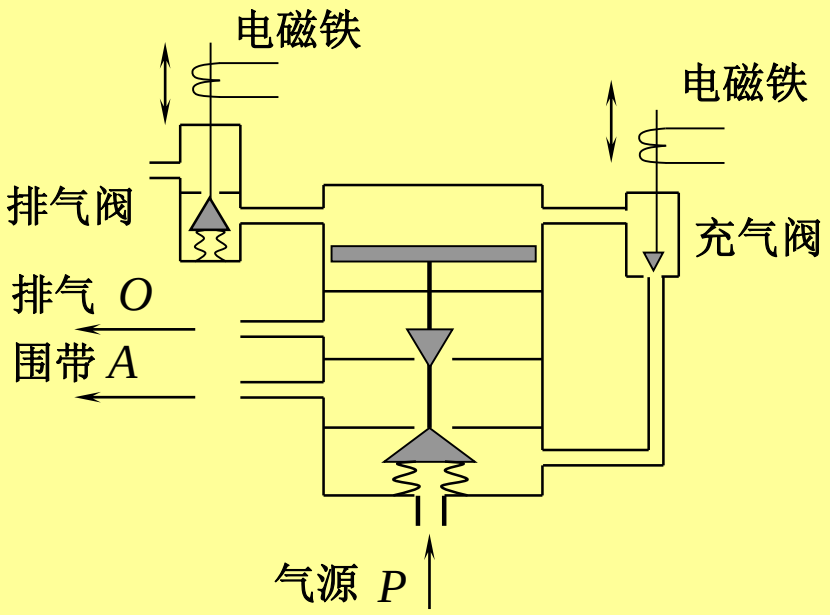
（6）简述油混水信号器的作用及其工作原理。

（7）简述剪断销信号器的作用。

（8）简述电磁阀、电磁空气阀和电磁配压阀在水电站自动化中的作用。

（9）简述蝴蝶阀的作用。

（10）以下是电磁空气阀的原理示意图。试说明其工作过程。



The End