

第三章 主机遥控系统的逻辑与控制回路

主机遥控是指离开机旁在驾驶室（BR）或集中控制室（ECR）对主机进行远距离操纵的一种控制方式。我们把用于完成主机的这种遥控操作的控制系统称为主机遥控系统。它是由组合逻辑回路、时序逻辑回路、反馈控制回路和各种安全保护回路组成的复杂系统。

主机遥控系统不仅大大地减轻了机舱工作人员的劳动强度，而且可以减少误操作，改善船舶的操纵性能，提高主机运转的可靠性和经济性，乃至船舶航行的安全性。主机遥控系统是机舱自动化的重要组成部分，也是实现无人机舱的必备条件之一。

在设有主机遥控系统的船上，操纵主机的位置通常有三个，即机旁、集控室和驾驶室。其中，机旁操纵是最基本的操纵方式，它确保当遥控系统出现故障时仍可以在机旁进行临时的应急操作，以保证航行的安全。因此，在机旁总是设有“机旁（手动，应急）——遥控（自动）”转换阀。在正常情况下，该阀应处于“遥控（自动）”位置，这时就可在集控室或驾驶室对主机进行遥控操作了。主机的遥控操作分为集控室遥控和驾驶室遥控，其操作部位的切换由设在集控室操纵台上的“集控——驾控”转换装置实现。

船舶柴油主机的基本操纵，例如起动，换向，停油和制动等都是借助空气动力来进行的。要实现主机的这些基本操纵，就必须为主机均配备各种气动伺服机构和相应的逻辑阀件及气路系统，称为气动操纵系统。对于目前常见的主机遥控系统，其机旁操纵和集控室遥控均是通过气动操纵系统实现的。此时，驾驶员通过传令车钟将车令发到机舱，轮机员根据车令对主机进行手动操纵，逐渐使主机达到车令所要求的状态。因此，集控室遥控实际上只是手动遥控。驾驶室遥控一般是在气动操纵系统的基础上增加必要的组合逻辑和时序逻辑模块，使这些逻辑模块能直接接收驾驶室发出的车令，并按照主机的正确操纵规程发出各种控制命令，通过接口电磁阀与气路接口，进而对主机进行自动遥控。而这些逻辑模块的实现可以是气动的，也可以是电动的，而电动的又可以有触电式，无触电式和微机控制的。因此主机遥控系统常分为气动遥控系统和气——电结合式遥控系统，而气——电结合式又分为有触电式，无触电式和微机控制的主机遥控系统。

本章介绍气动操纵系统所涉及的常用气动阀件和实现自动遥控所必须具备的基本逻辑回路及其实现的逻辑方法，为学习主机遥控系统实例奠定必要的基础知识和基本理论。

第一节 主机遥控系统常用的气动阀件

在遥控系统中，常用的气动阀件有逻辑元件、时序元件和比例元件三大类。它们的工作气源是由主机遥控系统的气源装置提供的，一般为 0.7MPa 或 0.8MPa。

一、逻辑元件

逻辑元件实际上就是开关元件，根据某些逻辑条件，其输出端或者通气源压力信号（简称输出为 1），或者输出端与大气（简称输出 0）。逻辑元件包括两位三通阀、三位四通阀、多路阀、双座止回阀和联动阀等。

1. 两位三通阀

图 3-1-1 (a) 示出了该阀的结构原理，图 (b) 是该阀的逻辑符号。它有两个位置、三个通路。若控制端 A 无信号作用，即 A 为 0，则阀芯 7 和动阀座

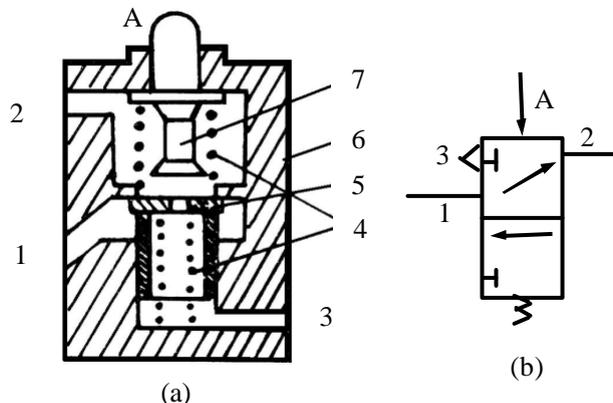


图 3-1-1 两位三通阀结构原理及逻辑符号图

5 在复位弹簧 4 的作用下复位，气源 1 截止，输出端 2 通大气 3，该阀输出位 0，在逻辑符号图上相当于阀工作在下位。若控制端有作用信号 A 为 1，则阀芯连同动阀座一起被压下。通大气端 3 截止，输出端 2 与气源 1 相通，该阀输出为 1，在逻辑符号图上相当于阀工作在上位。总之，阀工作在哪个位置取决于 A 端有没有控制信号，若 A 为 1 则工作在靠近控制端 A 的那一位；反之，则工作在另一位置。

根据动作阀芯力的性质不同，也就是控制信号 A 的种类不同，两位三通阀又可分为机械动作的、手动的、气动的、双气路控制的及电动的等。图 3-1-2 中 (a) (b) (c) (d) (e) 分别画出了它们的逻辑符号图。

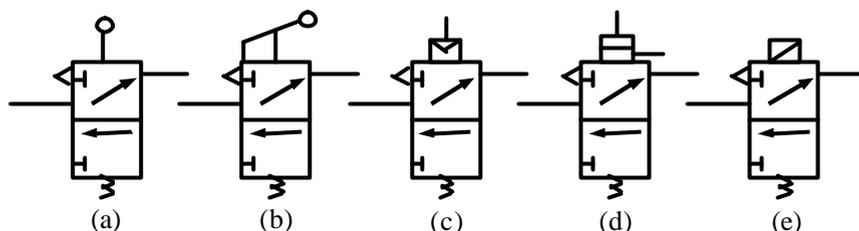


图 3-1-2 各种两位三通阀逻辑符号图

2. 三位四通阀

在主机遥控系统中，三位四通阀通常作为双凸轮主机的换向阀，图 3-1-3 (a) (b) 分别示出了该阀的结构原理及逻辑符号。它由阀体、左右滑阀及弹簧组成。A 口和 B 口分别为正车换向和倒车换向输出口，7 口接连锁信号，只要有连锁信号，该阀被锁在中位通。此时，气源口 P 截止，A 口和 B 口均通大气，该位置是不允许进行换向操作的。连锁信号撤消 (7 口通大气) 后，若 5 端有控制信号，6 端通大气，该阀右位通，B 口输出 1，A 口输出 0，气源经 B 口进入倒车换向油缸进行倒车换向；若 6 端通控制信号，5 端通大气，该阀左路通，A 口输出 1，B 口输出 0，气源经 A 口进入正车换向油缸进行正车换向。换向完成后，7 口通连锁信号，三位四通阀立即被锁在中间位置。

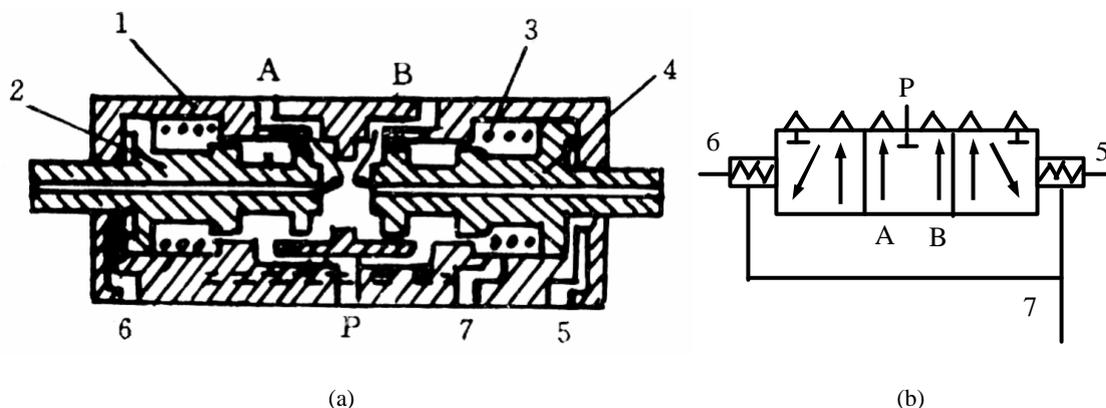


图 3-1-3 三位四通阀结构原理及逻辑符号图

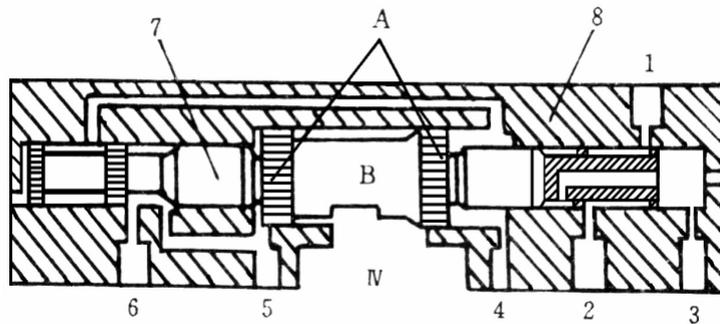
1-阀体；2-左滑阀；3-弹簧；4-右滑阀；5-倒车信号；6-正车信号；7-连锁信号；A-正车换向口；B-倒车换向口；P-气源口

3. 多路阀

在遥控系统中，多路阀通常作为双凸轮换向的控制阀，其结构原理及逻辑符号如图 3-1-4 所示。它主要由阀体 8、阀芯 7、活塞 A 及一些气口组成。共有四个位置，从左至右分别为、、、位。4 口和 5 口分别接车令发出的倒车和正车指令；2 口和 3 口分别接三位四通阀的 5 端和 6 端；1 口接气源；6 口接起动回路，还有两个口通大气。

若车钟发出倒车指令，4 口通气源，5 口通大气。4 口的倒车信号通过作用于活塞 A 的右面把阀芯推到最左端的位 (图示位置)。此时，2 口通气源 1，3 口通大气，6 口经接正

车信号的 5 口通大气。2 口的输出接到换向阀（即三位四通阀）的控制端 5，若三位四通阀的连锁信号被撤消，则其右位通，进行倒车换向，在凸轮轴从正车位置向倒车位置移动的过程中，由机械机构通过多路阀阀芯的缺口 B 向右拨动阀芯。当倒车换向完成时，阀芯正好被反馈到



位。这时气源 1 截止，2 口和 3 口均通大气，5 口截止，而 6 口与接倒车信号的 4 口相通，即换向完成后，由 6 口自动输出一个允许起动信号。反之，若车钟发出正车指令，则阀芯被推到最右端的位，3 口通气源 1，接到换向阀的控制端 6，进行正车换向。

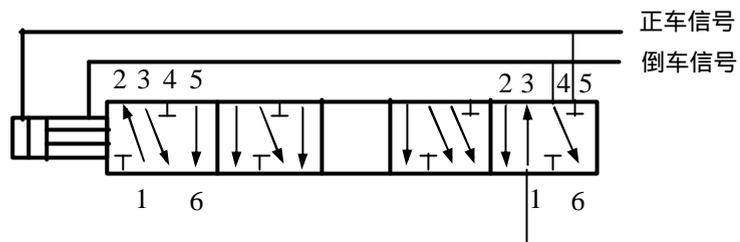


图 3-1-4 多路阀结构原理图及逻辑符号图

当倒车换向完成时，阀芯正好被反馈到 位。这时气源 1 截止，2 口和 3 口均通大气，4 口截止，而 6 口与接正车信号的 5 口相通，自动输出一个允许起动信号。

由上面的分析可知，一方面，当车令与凸轮轴位置不一致时，6 口输出 0 信号，不允许起动主机，只能先进行换向。当换向完成时，即车令与凸轮轴位置一致后，6 口才输出 1 信号，允许主机起动。另一方面，只有当车令与凸轮轴位置不一致时，才需要进行换向，若车令与凸轮轴一致，则无须换向，直接送出允许起动信号，直接进行起动。

4. 双座止回阀

双座止回阀是或门阀，俗称梭阀，其逻辑符号如图 3-1-5 所示。它有两个输入端 A 和 B，一个输出端 C，其逻辑功能是 $C=A \vee B$ 。

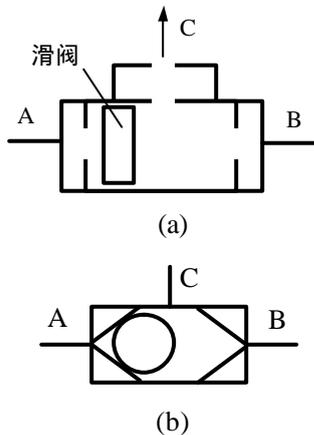


图 3-1-5 双座止回阀逻辑符号图

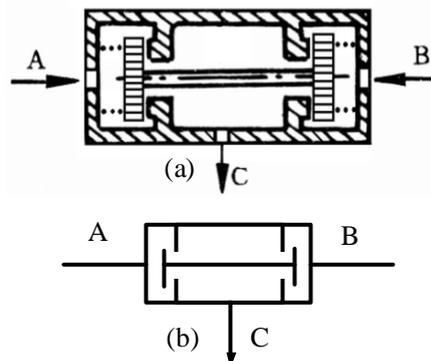


图 3-1-6 联动阀逻辑符号图

5. 联动阀

联动阀是与门阀，俗称双压阀，其逻辑符号如图 3-1-6 所示。它有两个输入端 A 和 B，一个输出端 C，其逻辑功能是 $C=A \wedge B$ 。

二、时序元件

时序元件在气路中一般对气压信号的变化起延时作用，它包括单向节流阀、分级延时阀及速放阀。

1. 单向节流阀

单向节流阀的结构原理与逻辑符号如图 3-1-7 所示。

B 端是输入端，A 端是输出端。当 B 端气压信号高于 A 端时，单向阀 3 紧压在阀座上，气压信号只能经节流孔 1 到达 A 端，使气室 C 和 A 端压力逐渐升高，起到延时作用。当 B 端气压信号降低或撤消时，A 端压力高于 B 端，顶开单向阀使 A 端气压信号不经节流流直接到达 B 端而不延时。转动可调螺钉 2 可改变节流孔的开度，从而调整延时时间。

2. 分级延时阀

分级延时阀的结构原理及逻辑符号如图 3-1-8 所示。当输入口 1 的气压信号较低时，在弹簧的作用下活塞下移，阀盘 2 离开阀座，由 1 口输入的气压信号经 4 口直接达到输出端 6，不进行节流延时。当 1 口输入信号增大到一定值，活塞克服弹簧张力上移到使阀盘 2 压在阀座上时，输入的气压信号必须经 7 口，再经节流孔 5 到达输出端 6，进行节流延时。转动调节螺钉 A 可改变弹簧的预紧力，即可调整开始节流延时的输入信号压力值；转动调整螺钉 B，可改变节流孔的开度，即可调整延时时间。当输入的气压信号降低或撤消时，在弹簧的作用下，活塞连同阀盘一起下移，输出端 6 经 4 口直接与输入端相通，而不能进行延时。

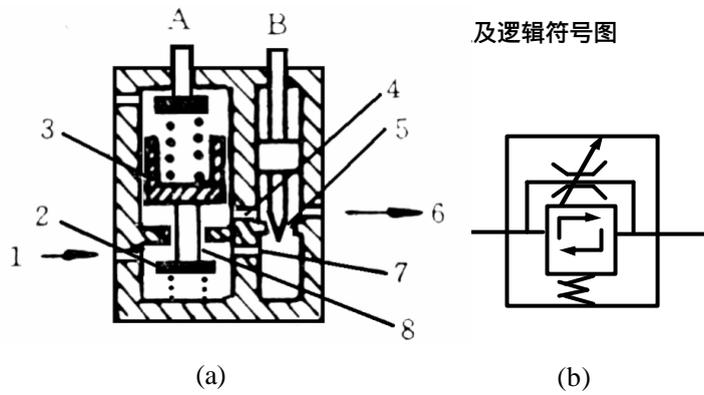
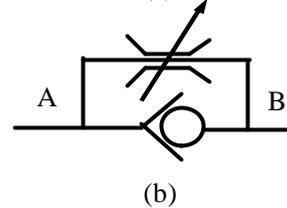
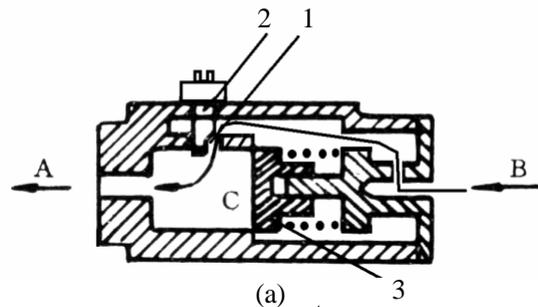


图 3-1-8 分级延时阀结构原理及逻辑符号图

3. 速放阀

速放阀的结构原理及逻辑符号如图 3-1-9 所示。A 为输入端，B 为输出端。当输入端 A 有气压信号时，橡胶膜片 2 被顶起封住通大气口 4，使输出端 B 的气压信号立即等于 A 端，同时打开通大气口 4，使输出端 B 的气压信号就地泄放，而不必经输入端，再经较长的管路泄放，这就避免了信号泄放延时。

三、比例元件

比例元件的功能是，使输出的气压信号与输入信号成比例变化。它包括比例阀和转速设定精密调压阀。

1. 比例阀

比例阀的结构原理及逻辑符号如图 3-1-10 所示。当输出端 2 的气压信号与输入端 5 相等时，膜片 6 上下受力相等，处于平衡状态，动阀座 8 截止气源 1，阀芯 7 压在动阀座上封住通大气口 4，输出信号不变。当输入信号增大时，膜片 6 向下弯曲，动阀座 8 下移，气源 1 与输出端 2 相通，输出压力信号增大，该增大的信号经反馈口 3 进入膜片 6 下部空间。当输出的气压信号增加到与输入相等时，膜片 6 又处于平衡状态，气源被截止，输出稳定在比原来高的压力值上。若输入信号降低时，膜片 6 向上弯，阀芯上移，输出端 2 与大气口 4 相通，输出压力降低，经反馈口 3 使膜片 6 下面空间压力降低，直到输入信号与输出相等时，膜片 6 又恢复到平衡状态，这时输出压力就稳定在比原来低的值上。可见，比例阀在稳态时，其输入与输出是相等的。

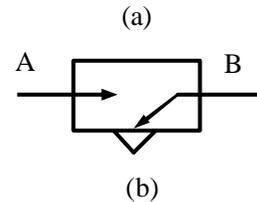
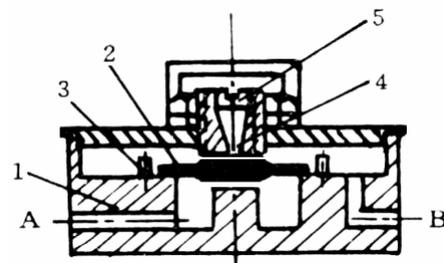


图 3-1-9 速放阀结构原理及逻辑符号图

2. 转速设定精密调压阀

在气动遥控系统中，转速设定精密调压阀用于设定主机的转速，其输入信号是车钟手柄的位置，输出是车钟手柄设定的转速所对应的气压信号。该阀的结构原理如图 3-1-11 (a) 所示。滚轮 1 与车钟手柄下面所带动的凸轮相接触，当车钟手柄向加速方向扳动时，经滚轮使顶锥 2 下移，克服弹簧张力使滑阀下移，进排气阀 4 中的下球阀仍压在下滑阀 5 的阀座上，封住通大气口，上球阀会离开上滑阀 3 的阀座，气源 P 经上球阀与阀座之间的间隙与输出端 B 相通，输出气压信号增大。该增大的压力信号一方面作为转速设定信号输出，另一方面经反馈孔（图中虚线所示）进入膜片 6 的上部空间，压缩弹簧 7 使下滑阀连同下球阀一起下移。当下滑阀的下移量（弹簧 7 的被压缩量）与顶锥 2 的下移量相等时，上球阀又被压在上滑阀的阀座上，截止气源 P，使输出端 B 压力不再增加。可见，输出压力是与弹簧的压缩量，亦即顶锥 2 的下移量成比例的。当车钟手柄向减速的方向扳动时，在弹簧 8 的作用下，顶锥、上滑阀连同进排气阀一起上移，下球阀会离开下滑阀阀座，使输出端 B 与大气口 C 相通，输出压力降低，经反馈孔使膜片 6 上部空间的压力降低，靠弹簧 7 的张力使滑阀上移。直到下滑阀的上移量与上滑阀的上移量相等时，下滑阀又封住通大气口，使输出压力稳定在比原来低的压力值上。图 (b) 为该阀的逻辑符号图。

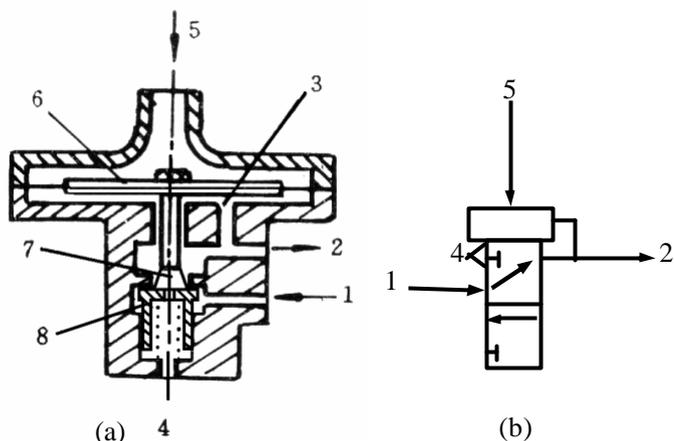


图 3-1-10 比例阀结构原理及逻辑符号图

气源 P 经上球阀与阀座之间的间隙与输出端 B 相通，输出气压信号增大。该增大的压力信号一方面作为转速设定信号输出，另一方面经反馈孔（图中虚线所示）进入膜片 6 的上部空间，压缩弹簧 7 使下滑阀连同下球阀一起下移。当下滑阀的下移量（弹簧 7 的被压缩量）与顶锥 2 的下移量相等时，上球阀又被压在上滑阀的阀座上，截止气源 P，使输出端 B 压力不再增加。可见，输出压力是与弹簧的压缩量，亦即顶锥 2 的下移量成比例的。当车钟手柄向减速的方向扳动时，在弹簧 8 的作用下，顶锥、上滑阀连同进排气阀一起上移，下球阀会离开下滑阀阀座，使输出端 B 与大气口 C 相通，输出压力降低，经反馈孔使膜片 6 上部空间的压力降低，靠弹簧 7 的张力使滑阀上移。直到下滑阀的上移量与上滑阀的上移量相等时，下滑阀又封住通大气口，使输出压力稳定在比原来低的压力值上。图 (b) 为该阀的逻辑符号图。

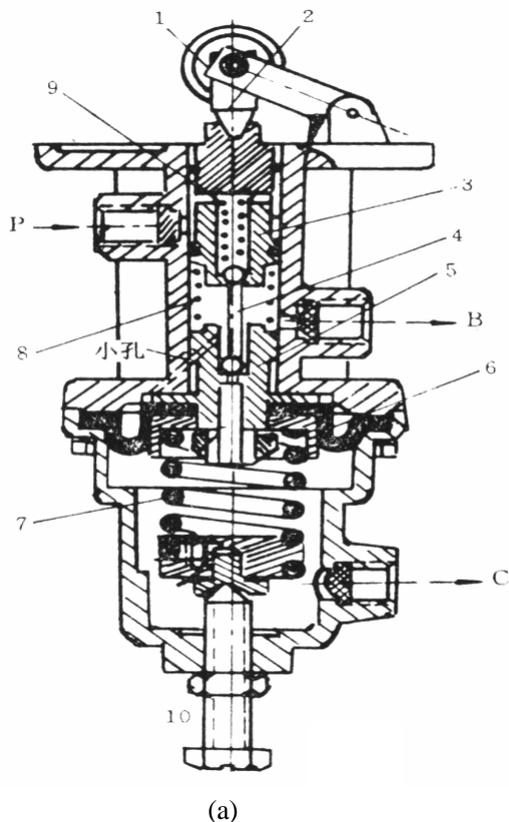


图 3-1-11 转速设定精密调压阀结构原理及输出特性图

图 (c) 示出了该阀的输出特性曲线。由于车钟手柄下面所带动的凸轮其正、倒车边是对称的，所以正、倒车转速设定的特性是一样的。转动调整螺钉 10 可改变弹簧 7 的预紧力，

即可上下平移输出特性曲线，拧紧螺钉 10 可向上平移，即当车钟手柄设定在相同的速度档时，其输出的压力信号，也即主机设定转速增加，反之亦然。调换不同刚度的弹簧 7，或改变它的有效工作圈数，可改变输出特性曲线的斜率。

在主机遥控系统中，利用上面介绍的气动阀件，可组成起动、换向、制动以及速度和负荷限制等各种逻辑回路和控制回路。因此，掌握这些阀件的工作原理，特别是掌握其逻辑符号图，对分析和理解一个复杂的遥控系统是很重要的。

第二节 起动逻辑回路

在自动遥控系统中，起动逻辑回路是基本的逻辑与控制回路之一。其基本功能是，当有开车指令时，能自动检查是否满足起动的逻辑条件；当所有的起动逻辑条件均得到满足时，能自动输出一个起动信号去开启主起动阀，对主机进行起动；当主机达到发火转速时，能自动撤消起动信号，关闭主起动阀，结束起动，使主机在供油状态下运行。用于完成这一基本功能的逻辑回路称为主起动逻辑回路。根据遥控系统类型和功能的不同，通常还在主起动逻辑回路的基础上增加重复起动、重起动及慢转起动等功能，分别称为重复起动逻辑回路，重起动逻辑回路和慢转起动逻辑回路。

在手动遥控时，起动逻辑条件的判别和起动过程的控制都是由轮机员人工进行的，因此以下内容仅适用于自动遥控时的情况。当然，多数气动操纵系统也提供了诸如盘车机连锁和起动连锁等功能，在盘车机未脱开或换向未完时不允许对主机进行起动。

一、主起动逻辑回路

主起动逻辑回路是遥控系统完成起动的最基本的控制回路。它能检查起动条件是否得到满足，并对起动过程进行自动控制。而起动条件包括起动鉴别逻辑条件和起动准备逻辑条件。

1. 起动鉴别逻辑条件

起动鉴别逻辑条件包含两个内容：一是有没有开车指令；二是如果有开车指令，那么车令与凸轮轴位置是否一致，或者说换向是否完成。若用 I_H 和 I_S 分别表示正车车令和倒车车令；用 C_H 和 C_S 分别表示凸轮轴在正车位置和倒车位置；用 Y_{SL} 表示起动的鉴别逻辑，则其逻辑表达式为：

$$Y_{SL} = I_H \cdot C_H + I_S \cdot C_S$$

$Y_{SL}=1$ 表示有开车车令，且车令与凸轮轴位置一致，满足起动鉴别逻辑；否则，表示不满足起动鉴别逻辑。

2. 准备逻辑条件

满足了起动鉴别逻辑并不意味着可以打开主起动阀进行起动，要进行还必须满足起动准备逻辑条件。起动准备逻辑条件多数是在备车时完成的。不同机型的起动准备逻辑条件不尽相同，有的多些，有的少些。一般而言，这些条件可用符号表示如下：

TG ——盘车机脱开信号，脱开为 1，否则为 0；

MV ——主起动阀位置信号，在自动位为 1，否则为 0；

P_A ——起动空气压力信号，压力正常为 1，太低为 0；

P_O ——操作空气压力信号，压力正常为 1，否则为 0；

P_L ——滑油压力信号，压力正常为 1，否则为 0；

ES ——遥控系统电源信号，正常为 1，否则为 0；

PS ——操纵部位转换信号，转换完成为 1，否则为 0；

TS ——模拟实验开关位置信号，在工作位置为 1，在实验位置为 0；

\overline{ST} ——故障停车复位信号，已复位为 1，否则为 0；

$\overline{F_3}$ ——三次起动失败信号，无三次起动失败信号为 1，在重复起动过程中，经三次起动均未成功为 0；

$\overline{T_M}$ ——起动限时信号，未到限时时间为 1，达到起动限时时间为 0；

n_S ——起动转速信号， $n_S < n_I$ （发火转速）为 1， $n_S \geq n_I$ 为 0。

主机起动时，上述准备条件必须全部满足，因此它们之间应是“与”的关系，其逻辑表

达式为 (“ · ”表示与, “ + ”表示或):

$$Y_{SC} = TG \cdot MV \cdot P_A \cdot P_O \cdot P_L \cdot ES \cdot PS \cdot \overline{ST} \cdot \overline{F_3} \cdot \overline{T_M} \cdot n_S$$

显然, $Y_{SC}=1$ 表示所有准备条件均满足, 而 $Y_{SC}=0$ 则说明至少有一个条件不满足。

3. 主机起动逻辑回路逻辑图

起动逻辑回路要最终发出起动信号, 必须同时满足起动鉴别逻辑和起动准备条件, 因此这两者是“与”的关系, 其逻辑表达式为:

$$Y_{SO} = Y_{SC} \cdot Y_{SL} = TG \cdot MV \cdot P_A \cdot P_O \cdot P_L \cdot ES \cdot PS \cdot \overline{ST} \cdot \overline{F_3} \cdot \overline{T_M} \cdot n_S \cdot (I_H \cdot C_H + I_S \cdot C_S)$$

根据该逻辑表达式可画出主起动逻辑回路的逻辑图, 如图 3-2-1 所示。

注意, 逻辑图是逻辑表达式的一种等价描述, 它并不代表某一具体遥控系统的实际电路。但它可以是某一具体系统的逻辑分析结果, 也可以是某一具体系统的逻辑设计方案。至于其实现, 可以采用气动元件, 有触点或无触点电路, 甚至是计算机程序。

下面以该逻辑图为例说明主起动逻辑回路的工作过程, 以求对主起动逻辑回路的进一步理解。若所有的起动逻辑条件均已满足, 即 $Y_{SO}=1$, 则主起动阀开启, 对主机进行起动。当主机转速达到发火转速时, n_S 为 0, $Y_{SC}=0$, Y_{SO} 立即由 1 变 0, 关闭主起动阀停止起动。如果从发出起动信号 ($Y_{SO}=1$) 开始, 在规定的时间内, 主机仍未达到发火转速, 则 $\overline{T_M}=0$, 终止起动, 并发出起动失败的声光报警信号。起动失败的另一种情况是, 在起动时, 主机能达到发火转速, 即 n_S 为 0, 但撤消起动信号后, 主机转速立即下降, 以至下降到零。如果起动逻辑回路设有自动重复起动功能, 那么第一次起动失败后, 将会在间隔一段时间之后自动进行再起

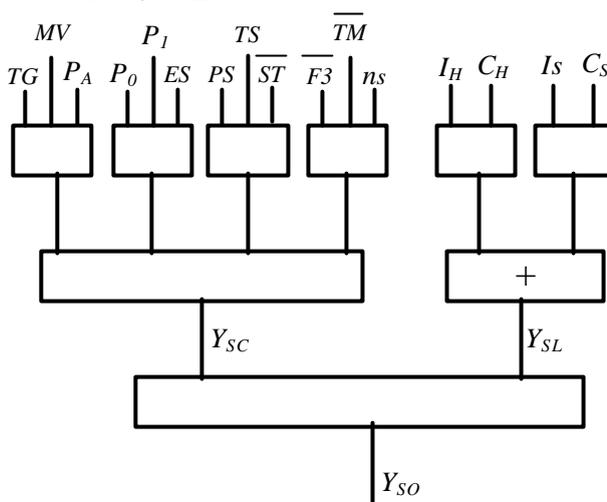


图 3-2-1 主起动逻辑回路逻辑图

但是, 当第三次起动仍然失败时, $\overline{F_3}$ 将变为 0, 终止整个起动过程, 并发出起动失败的声光报警信号。 \overline{ST} 是故障停车的复位信号。如果主机由于某些故障而自动停车, 或者三次起动均失败, \overline{ST} 为 0, 不允许起动主机, 待故障排除后, 必须把车钟手柄扳回到停车位置, 使之由 0 变为 1, 这个过程叫故障停车复位, 只有复位后才允许动车, 这就避免了在排除故障期间, 主机突然动车而造成危险。其余的逻辑信号前面均已说明, 这里不再赘述。

二、重复起动逻辑回路

重复起动是指对主机起动失败后所进行的再次起动, 重复起动逻辑回路是附加在主起动逻辑回路上进行工作的。在重复起动过程中, 总的起动次数一般为 3 次。起动失败有两种情况: 一是在起动过程中, 主机一直达不到发火转速; 二是主机能达到发火转速, 但停止起动后, 主机转速又降为 0。重复起动的逻辑功能是, 当满足起动逻辑条件时, 发出起动信号。若起动成功则撤消起动信号, 终止起动, 主机由起动状态转为在供油下的正常运行状态; 若起动不成功, 需记录起动失败次数, 同时中断几秒钟后进行再次起动, 如此进行三次起动。如果三次起动均未成功, 要终止起动, 发出起动失败的声光报警信号, 说明起动回路有故障。故障修复后, 要把车钟手柄扳回到停车位置, 即故障停车复位后, 方可再次起动主机。在重复起动过程中, 起动功能实际上都是由主起动逻辑回路完成的, 重复起动逻辑回路只是周期性地修改主起动逻辑回路的起动条件而已。

重复起动逻辑回路大致有两种实现方式, 即时序逻辑控制方式和时序——转速控制方式。

1. 时序逻辑控制方式

按时序逻辑控制方式实现重复起动的思想是设立三个计时器, 例如 T1, T2 和 T3,

分别对一次起动持续时间、两次起动间隔时间和三次起动总时间进行计时。当满足起动条件而打开主起动阀进行第一次起动时，T1 和 T3 同时开始计时，当 T1 计时结束时，使主起动逻辑回路停止起动，同时 T2 开始计时，当 T2 计时结束时，重新使主起动逻辑回路发出起动信号进行第二次起动，同时 T1 开始计时，如此重复循环。当 T1 第三次计时结束时，T3 也正好计时结束，循环终止。此时，只有进行停车复位后才可能进行起动操作。由此可见，在这种控制方式下，重复起动的进程完全是由 T1、T2 和 T3 三个计时器的计时长短决定的。如果 T1 设为 3 秒，T2 设为 3~5 秒，则 T3 就应设为 15~19 秒。

应指出的是，这种控制方式由于采用纯时序的方法，没有考虑转速因素，因此，不论起动成功与否，该时序回路总是重复工作三次为止。只不过在第一次或第二次起动成功的情况下，由于转速超过发火转速，起动条件已消失，主起动逻辑回路已将主起动阀关闭，重复起动逻辑回路的输出不起作用罢了。

2. 时序——转速逻辑控制方式

采用时序——转速逻辑控制方式的重复起动逻辑回路需要两个计时器 T_d 和 T_M 以及计数器 F_3 。其中， T_d 控制两次起动间隔， T_M 控制一次起动最长时间， F_3 记录起动失败次数。其工作过程为：当满足起动条件进行起动时，如果转速达到发火转速，那么由于起动条件消失，主起动逻辑回路自然会停止起动；如果达到发火转速后，转速又下降到低于发火转速，即起动失败，那么 F_3 加 1，同时 T_d 开始计时， T_d 计满（如 5 秒，即起动间隔结束）后进行第二次起动，如此最多可进行三次，直到 F_3 计满 3 次，终止整个起动过程。另外，在每次起动时 T_M 总被启动，如果某次起动持续时间超过其规定时间（8~10 秒）后仍无法达到发火转速，则说明主机或系统存在无法起动故障，也将终止整个起动过程。

总之，采用这种控制方式的重复起动过程中，其起动持续时间由转速决定，起动间隔和一次起动最长时间由计时器控制，而重复起动次数则由计数器控制。因此，随着起动的成功，重复起动逻辑回路也将停止工作。

三、重起动逻辑回路

所谓重起动是指，在一些特殊条件下的起动过程，目的在于保证起动的成功。重起动逻辑回路必须能区分正常起动和重起动的逻辑条件，在正常起动条件下，起动逻辑回路应送出正常起动油量或正常转速信号。在重起动条件下，起动逻辑回路要送出或者是增大起动油量的信号，或者是提高发火转速信号。

1. 重起动的逻辑条件

1) 必须满足起动的逻辑条件， Y_{SO} 为 1，因为重起动也是起动，因此， Y_{SC} 、 Y_{SL} 必须均为 1；

2) 必须有应急起动指令 I_E （在发开车指令的同时，按应急操纵按钮），或者有重复起动信号 F （第一次起动为正常起动，第二、三次起动为重起动），或者有倒车车令 I_S （倒车起动性能不如正车）；

3) 起动转速未达到重起动发火转速， $n_H = 1$ 。

重起动 Y_{SH} 的逻辑表达式为：

$$Y_{SH} = Y_{SO} \cdot n_H (I_E + I_S + F)$$

2. 重起动逻辑回路功能

遥控系统发出起动指令后，重起动逻辑回路要能判别是否满足重起动逻辑条件，如果不满足，起动逻辑回路发正常起动信号；若满足重起动逻辑条件，则发重起动信号 Y_{SH} ；如果起动成功，要撤消重起动信号，以备下次起动时重新判别是否满足重起动逻辑条件。因此，在重起动逻辑回路中必须设有记忆单元，具体的实现方式可参见后续章节的遥控系统实例。

不同机型其重起动逻辑条件不完全相同，如有的遥控系统不是有倒车指令 I_S 就形成重起动信号，而是在运行中换向后进行倒车起动时才进行重起动。

实现重起动有两种方案：一是，发火转速不变，增加起动供油量。在常规的主机遥控系统中，多数是采用这种方案。在这种方案中，由于起动供油量较多，有可能在起动过程中生发发生爆燃。二是，起动供油量不变，提高起动的发火转速。在这种方案中，主机起动是平稳的，但要消耗较多的起动空气。

四、慢转起动逻辑回路

慢转起动是指，主机长时间停车后，再次起动时要求主机慢慢转动一转至两转，然后再

转入正常启动。这样能保证主机在启动过程中的安全，同时对相对摩擦部件起到“布油”作用。

1. 慢转启动的逻辑条件

- 1) 启动前主机停车时间超过规定的时间（30min ~ 60min），用 S_{Td} 表示；
- 2) 没有应急取消慢转指令，用 \bar{I}_{SC} 表示；
- 3) 主机没有达到规定的转数（1 转 ~ 2 转）或规定的慢转时间，用 \bar{R}_1 表示；
- 4) 没有重启动信号， \bar{Y}_{SH} 为 1；
- 5) 满足启动的逻辑条件， $Y_{SO} = 1$ ，即 Y_{SC} 、 Y_{SL} 均为 1。

以上逻辑条件是与的关系，因此慢转启动逻辑表达式为

$$Y_{SLO} = S_{Td} \cdot \bar{I}_{SC} \cdot \bar{R}_1 \cdot \bar{Y}_{SH} \cdot Y_{SO}$$

2. 慢转启动逻辑回路的功能

慢转启动逻辑回路应该能够检测慢转逻辑条件，若满足条件则形成慢转指令。遥控系统送出启动指令后，慢转启动逻辑回路要能判别是否已形成慢转指令，若已形成慢转指令，则要进行慢转启动，慢转启动成功后，自动转入正常启动，否则直接进行正常启动。在慢转过程结束，自动转入正常启动后，同时要撤消慢转信号。因此在慢转启动逻辑回路中，也需要有记忆单元，其具体实现方法参见遥控系统实例。

3. 实现慢转启动的控制方案

慢转启动的实现包括两个内容：一是慢转条件的检测和慢转指令的形成，二是慢转动作的实现。前者已经介绍，这里讨论的是慢转动作的实现。在实际应用中，慢转动作的控制方案基本上有两种：控制主启动阀开度的方案和采用主、辅启动阀的方案。

(1) 控制主启动阀开度的方案

图 3-2-2 示出控制主启动阀开度实现慢转启动的工作原理图。当形成慢转指令时， Y_{SLO} 为 1，电磁阀 V_{SL} 通电右位通，当有启动指令 Y_{SO} 为 1 时，阀 V_A 下位通，主启动阀上面的控制活塞被启动空气压下，限制主启动阀的开度，进入启动系统的启动空气压力较低，流量较少，主机只能慢慢转动，主机转过 1 转或 2 转后，撤消慢转信号 Y_{SLO} 为 0，电磁阀 V_{SL} 断电左位通，控制活塞上面的气压信号经阀 V_A 下位放大气，主启动阀全开进行正常启动。主机达到发火转速时， Y_{SO} 为 0，阀 V_A 上位通，关闭主启动阀停止启动。

(2) 采用主、辅启动阀的方案

图 3-2-3 示出采用主、辅启动阀控制慢转启动原理图。当形成慢转指令时， Y_{SLO} 为 1，电磁阀 V_{SL} 通电

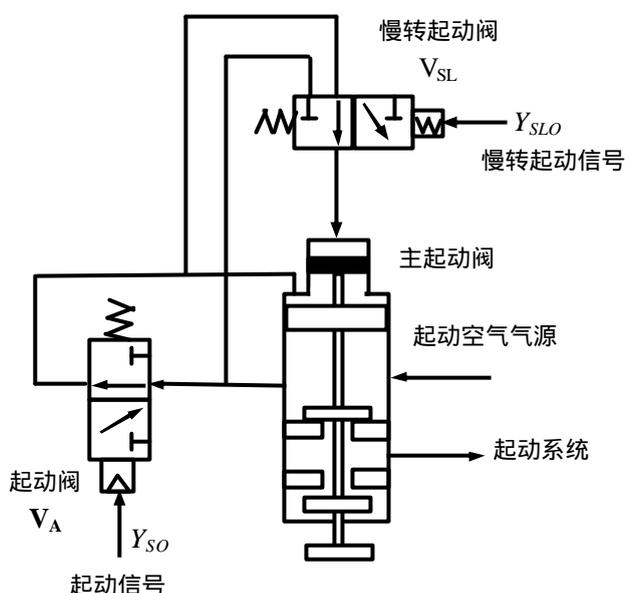


图 3-2-2 控制主启动阀开度的慢转启动方案图

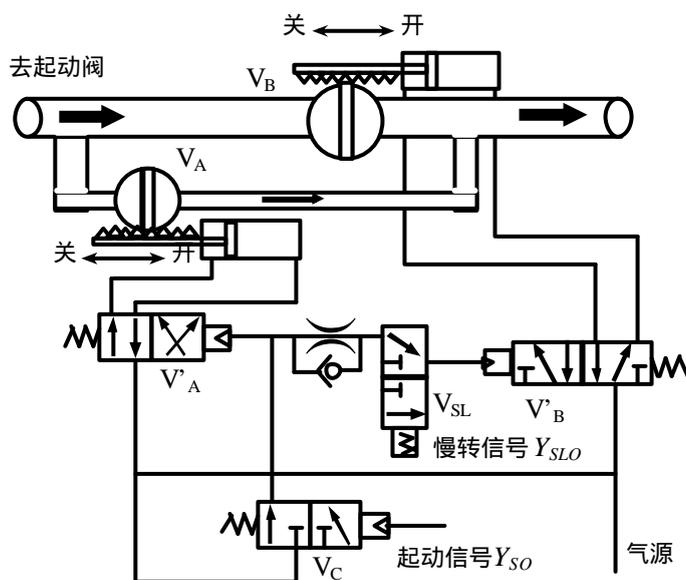


图 3-2-3 采用主、辅启动阀控制的慢转实现方案图

下位通，当有起动指令时 Y_{SO} 为 1，阀 V_C 右位通输出气源压力信号 P 。该信号使阀 V_A 右位通，打开辅起动阀 V_A 。气源信号 P 被截止在阀 V_{SL} 的下位，阀 V_B 控制端经阀 V_{SL} 下位放大气右位通，关闭主起动阀 V_B 。因流过辅起动阀 V_A 的起动空气量较少，主机只能慢慢转动进行慢转起动。在主机转过 1 转或 2 转后，撤消慢转指令， Y_{SLO} 为 0，电磁阀 V_{SL} ，断电上位通。阀 V_B 左位通，主阀 V_B 打开，主、辅起动阀均打开进行正常起动。当主机达到发火转速时， Y_{SO} 为 0，阀 V_C 左位通，阀 V_A 和 V_B 的控制端信号均从阀 V_C 左位放大气，阀 V_A 左位通，阀 V_B 右位通，主、辅起动阀全关闭，停止起动。

注意，慢转是许多大型船用低速柴油机气动操纵系统的一个重要功能，即使未安装自动遥控系统，也能进行慢转操作。此时慢转条件要么由轮机员人工判断，要么由其它独立设备，如主机监控单元（ECU），进行检测（当满足慢转条件时指示灯亮）。需要慢转时，轮机员按下集控台上的慢转按钮，主机进行慢转，松开按钮时慢转结束。另一方面，根据实际需要的不同，并不是所有自动遥控系统都具备自动慢转的功能，此时，主机的慢转操作也是手动进行的。

第三节 换向与制动逻辑回路

一、换向逻辑回路

在主机自动遥控系统中，换向逻辑回路用于判断是否需要换向，并在需要换向时发出换向指令。当有开车指令时，换向逻辑回路应根据车令和凸轮轴实际位置，判断出是否需要换向操作，若需要，则自动输出一个换向信号，对主机进行换向。换向完成后，应自动取消换向信号，并为后续逻辑动作提供换向完成信号。

1. 换向的逻辑条件

在可逆转柴油机中，有单凸轮和双凸轮换向之分，这两种换向方式的逻辑条件基本相同，但略有区别。

1) 换向的鉴别逻辑 对于可逆转柴油主机，凸轮轴位置决定着主机的运转方向。当有开车指令时，换向逻辑回路首先要鉴别车令与凸轮轴位置是否一致，只有车令与凸轮轴位置不一致，才需要换向，也即满足换向的鉴别逻辑，进而输出换向信号。若用 I_H 、 I_S 分别表示正车、倒车车令，用 C_H 、 C_S 分别表示凸轮轴在正车、倒车位置， Y_{RL} 表示换向鉴别逻辑，并注意： $C_H = \bar{C}_S$ ， $C_S = \bar{C}_H$ ，则换向鉴别逻辑表达式为

$$Y_{RL} = I_H C_S + I_S C_H = I_H \bar{C}_H + I_S \bar{C}_S$$

$Y_{RL} = 1$ ，说明车令与凸轮轴位置不一致，满足换向鉴别逻辑，允许换向； $Y_{RL} = 0$ ，说明车令与凸轮轴位置一致，不能进行换向操作。

2) 停油条件 主机在换向过程中，即车令与凸轮轴位置不一致时必须停油。另外，主机在运转中换向完成后，但车令与主机转向不一致，也必须停油。尽管这两种停油情况分别属于两个逻辑回路，即换向停油和制动停油，但在实际遥控系统中，它们往往通过同一逻辑元件输出停油信号到停油伺服器，把油门推向零位。因此，这两种停油情况是密不可分的。如果用 Y_{RT} 表示停油信号，用 R_H 、 R_S 分别表示主机在正车方向、倒车方向运转，则停油条件的逻辑表达式为

$$Y_{RT} = (I_H \bar{C}_H + I_S \bar{C}_S) + (I_H \bar{R}_H + I_S \bar{R}_S) = I_H (\bar{C}_H + \bar{R}_H) + I_S (\bar{C}_S + \bar{R}_S)$$

$Y_{RT} = 1$ ，说明已满足停油条件，油门已被推向零位； $Y_{RT} = 0$ ，说明已解除油门零位连锁，允许对主机供油。另外，把车钟手柄扳到停车位，或安全保护系统发出停车信号时，也必须停油，在上式中并没有反映这些停油条件，出现这些停车指令的停油过程将在后面叙述。

3) 转速条件 主机在运行中需要换向时，为保证安全和换向的成功，必须待主机转速下降到允许换向的换向转速 n_R ，或下降到应急换向转速 n_{ER} 时，方可进行换向操作。比如主机在全速正车运行，突然把车钟手柄从正车方向扳到倒车某速度档，这时，遥控系统首先对主机进行停油操作，主机转速下降，待转速下降到正常换向转速 n_R 可进行换向操作。若在改变车钟手柄方向的同时，又按了应急操纵按钮，则主机转速下降到比 n_R 稍高的应急换向转速 n_{ER} 时即可进行换向操作。

4) 顶升机构抬起条件 在双凸轮换向的主机中，特别是四冲程中速机，为便于移动凸

轮轴，需要把进排气阀的顶杆抬起，使顶杆下面的滚轮离开凸轮轴，换向完成后，顶杆下落，使其滚轮落在另一组凸轮片上。用 D_{UP} 为 1 表示顶升机构已把顶杆抬起，而 D_{UP} 为 0 则相反。对于单凸轮换向来说，不需要这一逻辑条件。

以上换向逻辑条件应是“与”的关系，其逻辑表达式为

$$Y_R = Y_{RL} \cdot Y_{RT} \cdot (n_R + n_{ER}) \cdot D_{UP} = (I_H \bar{C}_H + I_S \bar{C}_S) \cdot Y_{RT} \cdot (n_R + n_{ER}) \cdot D_{UP}$$

$Y_R=1$ ，表示满足换向逻辑条件，可对主机进行换向操作； $Y_R=0$ ，表示不满足换向逻辑条件，不能对主机进行换向。应注意的是，不同机型其换向逻辑条件不尽相同。比如，有些采用单凸轮液压差动换向装置的大型低速柴油机，在运行中换向时对其转速要求并不严格， D_{UP} 也不是必备条件，但换向的鉴别逻辑和停油条件则是所有机型主机进行换向的必备条件。

2. 双凸轮换向的逻辑图

根据换向的逻辑表达式可画出如图 3-3-1 所示的逻辑图。图中 DO 是停油装置，当满足停油条件且经停油装置已把油门推向零位时，停油装置自动向换向回路送出一个停油信号。 G_H 和 G_S 分别是控制正车换向和倒车换向的与门。当要求正车换向时，与门 G_H 输出 1 信号，打开换向控制阀 V_H ，把凸轮轴从倒车位置推向正车位置；当需要倒车换向时，与门 G_S 输出 1 信号，打开换向控制阀 V_S ，把凸轮轴从正车位置推向倒车位置。在换向过程中， Y_R 必定为 1 信号，若在规定的时间内（10~15 秒）换向控制阀 V_H 或 V_S 没有关闭，即凸轮轴换向没有到位（若凸轮轴到位，则由于车令与凸轮轴位置一致，将导致 $Y_R=0$ ，使 V_H 或 V_S 关闭），延时单元 T_d 输出 1 信号，发出换向失败报警。若在规定的时间内换向完成，或门输出换向完成信号 R_F ，该信号送给起动回路作为允许起动信号。

二、制动逻辑回路

制动是指主机在运行中换向完成后，为使主机更快地停下来，以便进行反向起动所采取的“刹车”措施。实践证明主机停油后，能从高转速较快地下降到较低的转速。但是，由于船舶的惯性造成螺旋桨的水涡轮作用，使转速的下降越来越慢，需要很长时间主机才能停下来，要进行反向起动就要等待更长的时间。以下是对一艘实船的操作实验数据：主机在 75r/min 上运转，船舶航速为 15 kn 左右，若不采用制动措施，从主机停油到主机停下来需 12.5min，船舶滑行时间 17min，滑行距离 1.4 海里。若采用制动操作，则仅需 0.7min 主机就能停下来，船舶滑行时间为 3.1min，滑行距离仅为 0.4 海里。从这一组数据可以看出，主机采用制动操作，对提高船舶操纵的机动性和实时性都具有重要意义，因此，在遥控系统中一般都设有制动逻辑回路。主机的制动方式有两种：即能耗制动和强制制动。

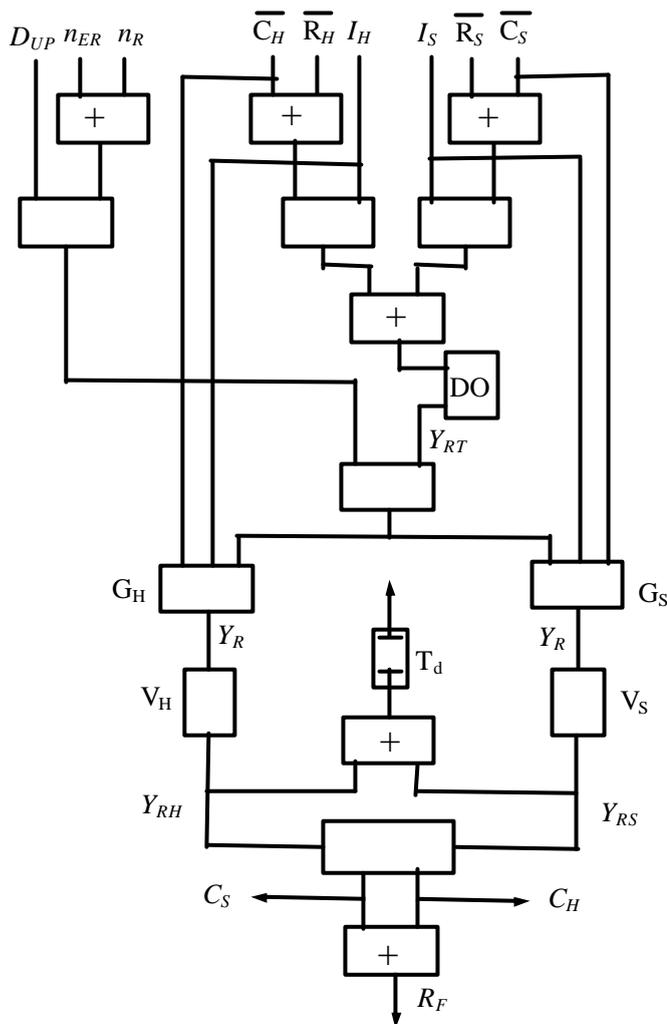


图 3-3-1 双凸轮换向逻辑图

1. 能耗制动

能耗制动是指，主机在运行中完成应急换向后，在主机高于发火转速情况下所进行的一种制动。因此，能耗制动常常是在应急操纵的情况下进行。能耗制动的原理是，保持主起动阀处于关闭状态，让空气分配器投入工作，此时由于换向已经完成，空气分配器是按与主机运转方向相反的顺序打开各个气缸起动阀，当某个气缸的气缸起动阀打开时正好处在压缩冲程。这样，柴油机相当于一台压气机，快速消耗柴油机运动部件的惯性能，使主机转速能以较快的速度下降。耗制动的逻辑条件是：

1) 满足制动的鉴别逻辑。显然，只有当车令与主机的转向不一致时才需要制动，因此，制动的鉴别逻辑是车令与主机转向不一致。用 Y_{BL} 表示制动的鉴别逻辑，其逻辑表达式为

$$Y_{BL} = I_H R_S + I_S R_H \quad \text{或} \quad Y_{BL} = I_H \bar{R}_H + I_S \bar{R}_S$$

2) 换向已完成，即 Y_{RF} 为 1。

3) 已经停油，即 Y_{RT} 为 1。

4) 转速高于发火转速，即 \bar{n}_S 为 1。

5) 有应急操纵指令，即 I_E 为 1。

这些条件应该是“与”的关系，其逻辑表达式为

$$\begin{aligned} Y_{BRO} &= Y_{RF} \cdot Y_{RT} \cdot Y_{BL} \cdot \bar{n}_S \cdot I_E \\ &= (I_H C_H + I_S C_S) \cdot (I_H \bar{R}_H + I_S \bar{R}_S) \cdot Y_{RT} \cdot \bar{n}_S \cdot I_E \end{aligned}$$

$Y_{BRO} = 1$ ，表示满足能耗制动逻辑条件，可对主机进行能耗制动。

2. 强制制动

强制制动的原理是：在主机运行中将车令手柄扳至反方向，当换向完成，且转速低于发火转速时，打开空气分配器和主起动阀，使高压空气按照与主机运转方向相反的顺序，即气缸处于压缩冲程时进入各个气缸，起到强行阻止活塞向上运动的作用，进而迫使主机减速。

强制制动有三点不同于能耗制动：一是，对于所有主机，只要在运行中换向完成后，都能进行强制制动，而不必有应急操纵指令；二是，只有主机低于发火转速时才能进行强制制动；三是，空气分配器与主起动阀均投入工作，气缸在压缩冲程进起动空气，强迫主机停止运行。这样，强制制动的逻辑条件应为：

1) 制动的鉴别逻辑。即车令与主机转向不一致， Y_{BL} 为 1。

2) 换向已经完成， Y_{RF} 为 1。

3) 满足停油条件， Y_{RT} 为 1。

4) 主机转速低于发火转速， n_S 为 1。

这些逻辑条件应该是与的关系，其逻辑表达式为

$$Y_{BRF} = Y_{BL} \cdot Y_{RF} \cdot Y_{RT} \cdot n_S$$

$Y_{BRF} = 1$ ，表示满足强制制动逻辑条件，可对主机进行强制制动。

从强制制动的逻辑表示式可以看出，它与起动逻辑回路的表达式相似，其中换向完成信号 Y_{RF} 就是起动鉴别逻辑 Y_{SL} ， $Y_{RF} = Y_{SL}$ 。在强制制动逻辑条件中，我们强调了转速条件 n_S ，实际上它是应该满足起动准备逻辑条件的，即 Y_{SC} 为 1。这样，强制制动逻辑表达式可改写为

$$Y_{BRF} = Y_{BL} \cdot Y_{RT} \cdot Y_{SL} \cdot Y_{SC}$$

3. 制动逻辑回路

制动逻辑回路是由能耗制动和强制制动两部分组成的，故制动逻辑回路的表达式为

$$Y_{BR} = Y_{BRD} + Y_{BRF} = Y_{BL} \cdot Y_{RT} \cdot Y_{SL} \cdot \bar{n} \cdot I_E + Y_{BL} \cdot Y_{RT} \cdot Y_{SL} \cdot Y_{SC}$$

从强制制动的逻辑表达式可以看出，强制制动是在车令与转向不一致且已停油的情况下进行的起动；而能耗制动则只是在满足能耗制动条件时使空气分配器投入工作而已。因此，制动逻辑回路在遥控系统中不是独立存在的，而是附加在起动回路上，并且借用起动逻辑回路的功能来达到能耗或强制制动的目的。

从制动角度看，当主机转速下降到零（认为车令与转向已经一致）时，因 Y_{BL} 为 0， Y_{BR} 为 0，即制动过程结束，但为了能使主机在制动结束后继续在反方向起动，在遥控系统设计

时还必须想办法使系统不会因强制制动的结束而封锁起动回路。其实现方法因遥控系统类型的不同而异，如在不触点电路中可采用记忆单元的办法，而在计算机控制的系统中则可方便地利用计算机程序实现，至于气动系统，请参见气动遥控系统实例。

应当指出的是，能耗制动是在较高转速上的一种制动方式，效果较为明显，此时如采用强制制动，不仅要消耗过多的起动空气，而且不易制动成功。而在较低的转速范围内采用强制制动，对克服螺旋桨水涡轮作用，使主机更快地停下来是很有效的。在中速机中，往往是采用能耗制动和强制制动相结合的制动方案；在大型低速柴油机中，主机从停油到换向完成，其转速已降到比较低的范围，可只设强制制动而不必设能耗制动逻辑回路。

另外，对于一个实际的遥控系统，理论上都是可以实现强制制动的，而能否实现能耗制动则要看其空气分配器能否单独控制。如果主起动阀和空气分配器均由一个起动控制阀控制，则无法实现能耗制动。

第四节 转速与负荷的控制和限制回路

一、概述

主机遥控系统不仅要主机进行起动、换向、停车和制动等逻辑操作，还要对主机的转速和负荷进行有效控制，这个功能由转速与负荷的控制和限制回路实现。转速与负荷控制的宗旨是以最佳的方式使主机实际转速达到车令所设定的转速值，或者使主机在所设定的负荷上运行。转速与负荷控制实际上是反馈控制。绝大多数柴油机均以主机转速为被控量，车令设定的转速值经过各种转速限制环节后作为转速给定值与实际转速值相比较，所得到的转速偏差值作为调速器的输入信号，经调速器的比例积分（PI）控制作用，输出一个油门开度控制信号，使主机转速达到给定值。在转速设定值确定后，尽管外界负荷会变化，控制系统也能把实际转速维持在给定值上，这是转速的定值控制。当改变转速设定值，如把车钟手柄从低速档迅速扳到高速档时，其转速给定值将按人们预先安排好的规律（时间函数）变化，实际转速也会逐渐稳定在新的给定值上，这是转速的程序控制。在船舶机动操作情况下，如离靠码头时，转速给定值是任意变化的，实际转速将跟踪给定值变化，这是转速的随动控制。定值控制、程序控制及随动控制都属于主机转速的反馈控制。在这个控制过程中，实际转速的变化本应满足动态过程品质的指标，即动态和稳态精度应尽量高、稳定性要尽量好、过渡过程时间 t_s 应尽量短，但是，柴油机这个控制对象的工作条件是比较恶劣的，在加速过程中，它既要承受较高的热负荷，又要承受较大的机械负荷，特别是现代高压柴油机承受的热负荷和机械负荷就更大。如果转速控制一味追求动态品质指标，如使 t_s 尽量小，则主机在加速时，可能导致超负荷，尤其是在大幅度改变转速的操作中，或在主机变工况较大的情况下，主机超负荷现象更为严重。因此，在转速控制系统中，必须增设一些转速限制和负荷限制环节，以保证主机工作的安全和可靠。但在应急操纵情况下，首先考虑的是船舶的安全，而主机是次要的，这时一些限制环节应自动撤消。

为了保证主机在外界负荷变化较大，特别是海况恶劣的情况下不致超负荷，有些船舶采用了限制最高转速的方案，也有些船舶采用了转速与负荷联合控制的方案。图 3-4-1 所示的就是转速与负荷联合控制方案的逻辑框图。这类控制系统既可进行转速控制，又可实现负

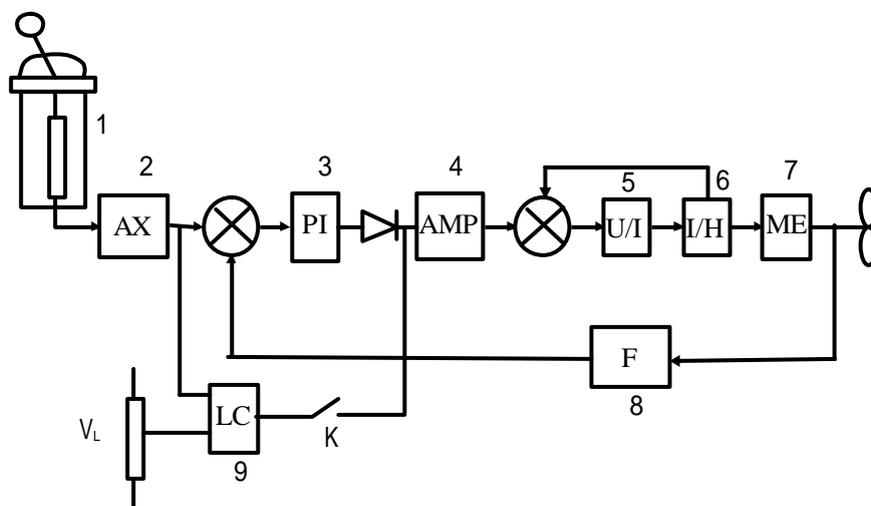


图 3-4-1 转速—负荷联合控制方案图

荷控制，两种控制方案可选择其一。图中 K 是选择开关，在正常情况下，开关 K 断开，车钟手柄设定的转速值经辅助环节处理后作为转速给定值与实际转速值（经反馈环节 8）相比较，所得到的偏差信号作为调速器 3 的输入信号，经 PI 控制作用后输出一个控制主机转速的电压信号。该信号经放大器放大，再经电压 / 电流 (U/I) 转换器 5 和电液伺服器 6，把控制信号转变成相应的液压信号去驱动油门，这就是转速的反馈控制。在变工况情况下，可将开关 K 闭合，使负荷控制环节 9 投入工作。该环节设定值可通过 V_L 来调整，预先给定。当车令设定转速值，或调速器输出值大于负荷控制环节 9 的输出值时，都将被负荷控制环节 9 的输出所钳位，保持油门开度（主机负荷）不变，这就避免了在变工况下，主机超负荷的现象，但随着外界负荷的变化，主机转速是变化的。

转速与负荷控制和限制回路是一个比较复杂的、综合的控制和逻辑回路，大体包括转速指令发讯、转速限制、负荷限制和信号转换等。下面分别加以介绍。

二、转速指令发讯回路

1. 转速指令发讯器

在主机遥控系统中，转速指令发讯器大致有三种：气动转速指令发讯器，电位器式转速指令发讯器及继电器式转速指令发讯器。此外还有电动无触点转速指令发讯器，如自整角机、线性同步机等，但在海船中应用极少，这里不加介绍。

(1) 气动转速指令发讯器

在气动遥控系统中，车钟手柄下面带有一个联动凸轮，扳动手柄时，凸轮随之转动，凸轮控制一个转速设定精密调压阀，手柄扳到不同的速度档，通过凸轮使顶锥产生不同的位移，调压阀就会输出一个与之成比例的气压信号，作为转速设定值。气动转速指令发讯器的逻辑符号及输出特性如图 3-4-2 所示。从图中可见，控制调压阀凸轮的正车边和倒车边是对称的，调压阀正、倒车输出特性是一样的。调压阀输出的特性线可上下平移，其斜率也可调整，具体工作原理详见图 3-1-11。

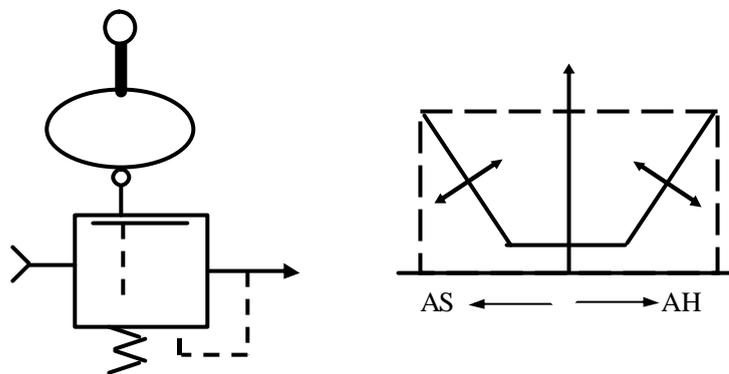


图 3-4-2 气动转速指令发讯器原理图

(2) 电位器式转速指令发讯器

在用电子器件或用微型计算机组成的遥控系统中，常用电位器作为转速指令发讯器，其工作原理及输出特性如图 3-4-3 所示。

环形电位器两端接正电源，中间抽头接地，车钟手柄带动一个滑动触点，与环形电位器接触。把车钟手柄扳到中间，即停车位时，其输出电压信号 $U_0=0$ 。随着手柄设定在不速度档

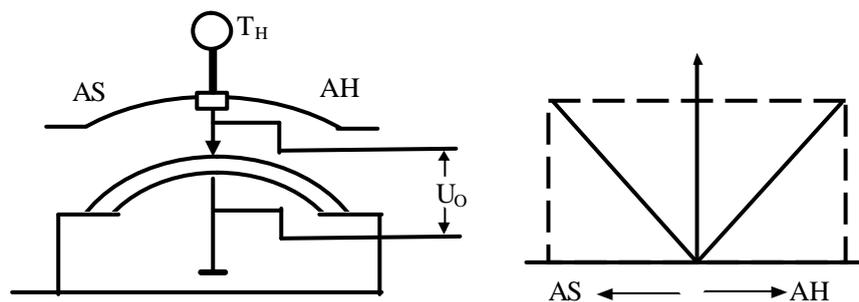


图 3-4-3 电位器式转速指令发讯器原理及输出特性图

上，就会输出一个相应的电压信号 U_0 。

(3) 继电器式转速指令发讯器

在电动有触点的遥控系统中，常用继电器式转速指令发讯器，其工作原理及输出特性如图 3-4-4 所示。图中 T_H 是车钟手柄；AH、AS 分别为正、倒车指令；N、F、H、S、D 分别为海上定速、港内全速、半速、慢速、微速档继电器及触头； C_H 、 C_S 分别为正、倒车凸轮轴位置检测开关；AD 为应急降速触头；M 是执行电机；COMP 是比较器 IN、DE 分别为比

较器输出的增速、减速信号；SA 为解除油门 0 位连锁触点，解除时 SA 触头闭合；C 为应急操纵继电器及触点。

当把车钟手柄扳到某一速度档时，相应车速继电器通电，送出该速度档电位器预先设定好的电压信号，该信号送到比较器 COMP 与执行电机 M 所带动的反馈电位器输出的电压值相比较，输出一个增速 IN 或减速 DE 信号。例如，把车钟手柄从微速档扳到半速档，此时继电器 D 断电，继电器 H 通电，继电器 H 的触头均从水平位置断开合于垂直位置。其他继电器均断电，其相应触头均合于水平位置不变。电源正极经 N、F 水平触头，H 垂直触头，半速档电位器，H 垂直触头及 F、N 水平触头送至比较器。这时 V_C 就是半速档电位器所设定的电压值，它大于反馈电位器设定的电压值，于是比较器 COMP 输出一个增速信号，即 IN 为 1，执行电机朝增速方向转动。当执行电机 M 转动到半速档时，反馈电压与 V_C 相等，比较器 COMP 的输出端 IN、DE 均为 0 信号。电机停转，主机在半速档运行。减速时，反馈电压大于 V_C ，比较器输出端 DE 为 1，电机朝减速方向转动，当转到新设定的速度档时，反馈电压又等于 V_C ，IN、DE 均为 0 信号，电机停在新设定的速度档上不再转动。

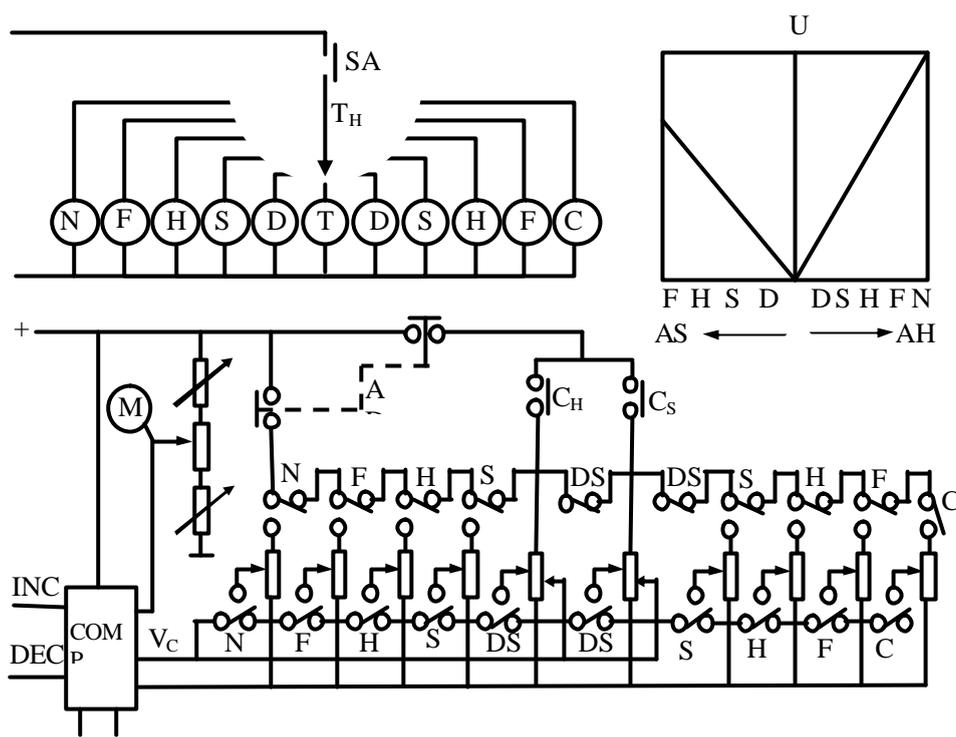


图 3-4-4 继电器式转速指令发讯器原理及输出特性图

在运行过程中，如果有应急降速信号，应急降速继电器 AD 通电，其常闭触头（垂直）断开，常开触头（水平）闭合，这时 V_C 立即等于微速档电位器 D 所设定的电压值，主机降速到微速档运行。N 为海上全速档，一般只有在正车运行时才能设定。倒车运行一般只能设走到港内全速 F 上，在应急情况下，可把车钟手柄扳到应急速度档 C，可进一步提高倒车转速。

2. 转速指令发送

根据操作者的要求，车钟手柄是可以任意扳动的，也就是转速是可以任意设定的。但是要把这个信号发送出去，以改变对主机的供油量，需要满足一些逻辑条件，如：

- 1) 必须有正车或倒车车令，即 $I_H = 1$ 或 $I_S = 1$ ；
- 2) 车令与主机转向必须一致，即 $Y_R = I_H R_H + I_S R_S = 1$ ；
- 3) 无自动停车信号，即 \overline{ST} 为 1。

这些条件是“与”的关系，只有满足了这些逻辑条件，才能将转速指令发送到系统中。至于怎样保证上述条件得到满足，则因具体系统而异。实际上，在许多遥控系统中，并不专门设置这样的逻辑回路，只是将上述逻辑概念融合到系统的设计之中，使上述条件在系统中得到分散落实而已。

在讨论转速指令的发送时，还有一个起动油量问题。所谓起动油量是指在主机起动时，为保证起动成功而供给主机的初始油量。起动油量一般比微速，甚至比慢速的供油量还要多一些，但也不能过多，否则爆燃现象严重。显然在起动过程中，靠车钟手柄任意设定转速所

对应的供油量是不行的，而应该是预先调好的一个定值。因此，在供油回路中要设有启动供油逻辑回路。

根据供油时刻的不同，主机的启动有两种类型：“油一气并进”和“油一气分进”。“油一气并进”是指，在启动的同时就解除油门零位连锁，提供启动油量，启动成功后，再转换为车令所设定的油量。而“油一气分进”则指，启动过程中停油伺服器仍把油门推向零位，在达到发火转速，切断启动空气的同时提供启动油量，并维持启动油量数秒钟后，再切换为车令设定的转速值。

图 3-4-5 示出的是“油一气并进”的一种实现方案。图中 B 是调压阀，调整它使其输出一个对应启动油量的气压信号。在有停车指令或车令与主机转向不一致的情况下 S 为 0，阀 A 左位通，启动油量信号经阀 A 左位、转速限制环节 PL，向气容 C 充气。所以在满足启动逻辑条件前，就把启动油量稳定地送至调速器转速设定波纹管，因停油伺服器动作，强行把油门推向零位，启动油量是不能供到主机的。在启动过程中，油门零位连锁被解除，在调速器作用下，立即对主机供启动油量。虽然此时 S 为 1，阀 A 右位通进行启动油量和转速设定信号的切换，但因气容在充、放气过程中其压力变化有延时，故可基本保证在启动过程中供启动油量不变，以后随着气容内压力的逐渐变化，主机转速才会逐渐达到车令设定的转速值。

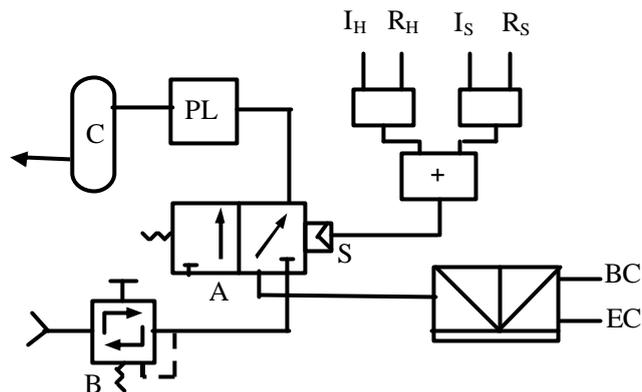


图 3-4-5 “油一气并进”启动油量发讯逻辑原理图

图 3-4-6 所示则为“油一气分进”的典型实现。当有启动信号时，一方面去开启主启动阀对主机进行启动，同时不经单向节流阀的节流直接向气容 C 充气，S 为 1，阀 A 上位通。由调压阀 B 预先设定的启动油量所对应的气压信号，经阀 A 上位送至调速器转速设定波纹管，因在启动过程中停油伺服器仍把油门推向零位，该油量供不到主机，当达到发火转速时，在撤消启动信号的同时，解除油门零位连锁，对主机供启动油量。由于气容在放气时要经单向节流阀 R 的节流，阀 A 延时复位，保证主机在启动成功后，能在启动供油量下稳定运行数秒钟，在阀 A 复位后，才进行启动油量和车令设定转速值的切换。

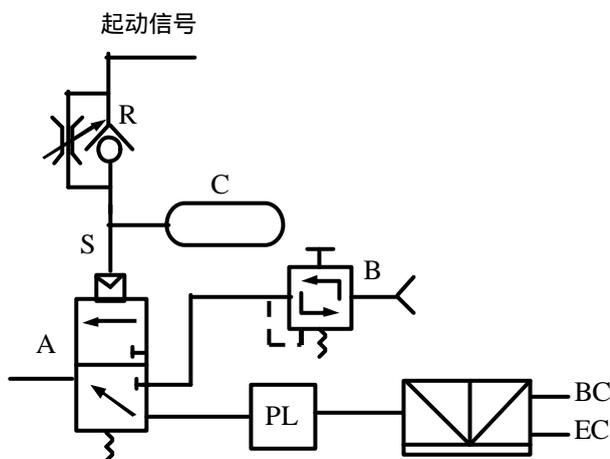


图 3-4-6 “油一气分进”启动油量发讯逻辑原理图

在重启动情况下，如果是采用提高发火转速的方案，其启动油量设定回路与上述没有大的区别；如果是采用增加启动供油量的方案，可设置两个调压阀，一个设定正常启动油量，一个设定重启动油量，经电磁阀转换即可。

三、转速限制回路

转速限制回路是为防止主机在加速过程中因加速过快导致超负荷而设置的。在加速时，车钟手柄可能从低速档立即扳到高速档，其转速设定值近似阶跃增大。如果把该信号直接送至调速器的输入端，则在调速器 PI 作用下必有一个阶跃的输出，主机转速会很快增加，这在正常操作情况下是不允许的。为此，在转速发讯回路的输出端与调速器输入端之间，要设置各种转速限制回路，其输出信号才是转速的给定值。转速给定值的变化规律是预先设定的时间函数。在低负荷区加速时，转速给定值，或者说主机实际转速可快一些增大，我们常把低负荷区加速时的转速限制称为“加速速率限制”。而在高负荷区，通常是在 70% 额定转速以上再加速时，转速的给定值要慢慢增加，我们常把这个加速过程称为“程序负荷”。在减

速时，可取消某些限制实现“快减速”。

1. 加速速率限制

加速速率限制是指，在低负荷区加速时，对主机转速增加速率所进行的限制。

在气动遥控系统中，加速速率限制一般是用分级延时间实现的，如图 3-4-7 所示。当车令与转向一致时，S 为 1，阀 A 右位通，实现了起动力油和手柄设定油量的切换。车令设定的转速信号经阀 A 右位、分级延时间 B 向气容 C 充气。当设定转速低于额定转速 30% 左右时，该信号不经阀 B 的节流直接向气容 C 充气，主机转速可迅速升高。当设定转速高于额定转速 30% 以上时，该信号要经阀 B 的节流再向气容 C 充气，这时，主机转速的增加要稍慢一些。减速时气容内气压信号不经阀 B 中节流孔的节流，而直接通减小了的设定信号，实现快减速。

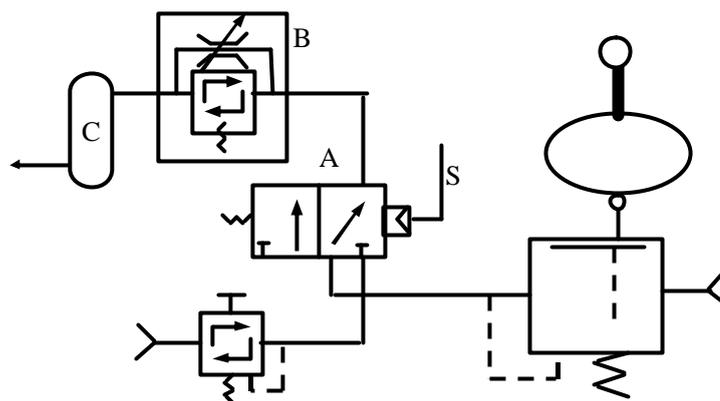


图 3-4-7 气动加速速率限制环节原理图

在电动遥控系统中，加速

速率限制环节的形式是多种多样的，图 3-4-8 示出电动无触点遥控系统的一种加速速率限制方式。图中运算放大器 A_1 接成电压比较器，其同相端和反相端分别接转速设定值 U_{11} 和该环节的输出值 U_{O1} 。 A_2 是接成负反馈的运算放大器，反相端电压总是高于同相端 U_{O1} 值，故运算放大器 A_2 始终输出 0 信号。在加速时，由于 $U_{11} > U_{O1}$ ， A_1 输出 1 信号，电子开关 SW 闭合于左边，标准电压 V_R 经电阻 R_5 向电容 C 充电，电容上的电压 U_{O1} 按指数曲线增加。由于 A_1 是接成正反馈的电压比较器， A_1 在输出 1 和 0 时其 B 点电压是不同的，故使 A_1 输出状态发生变化的输入值就存在一个回差，其上下限值分别用 U_{TH} 和 U_{TL} 表示。所以，当输出增加到 $U_{O1} > U_{TH}$ 时， A_1 输出 0 信号，电子开关 SW 由左边断开合于右边，切断了电容 C 的充电回路，接通其放电回路。随着放电的进行， U_{O1} 不断减小，当 $U_{O1} < U_{TL}$ 时， A_1 再翻转输出 1 信号， V_R 再经 R_5 向电容 C 充电。由于 U_{TH} 和 U_{TL} 之间回差不大，故 U_{O1} 可在 U_{RL} 附近达到一个动态平衡。此时， A_1 周期性地输出 0 和 1 信号，发光二极管闪烁。减速过程与加速过程相似。调整电容 C 的充放电时间常数 T 可调整加、减速的速率，调整电阻 R_5 的值使之大于 R_6 和 R_7 可实现慢加速、快减速。

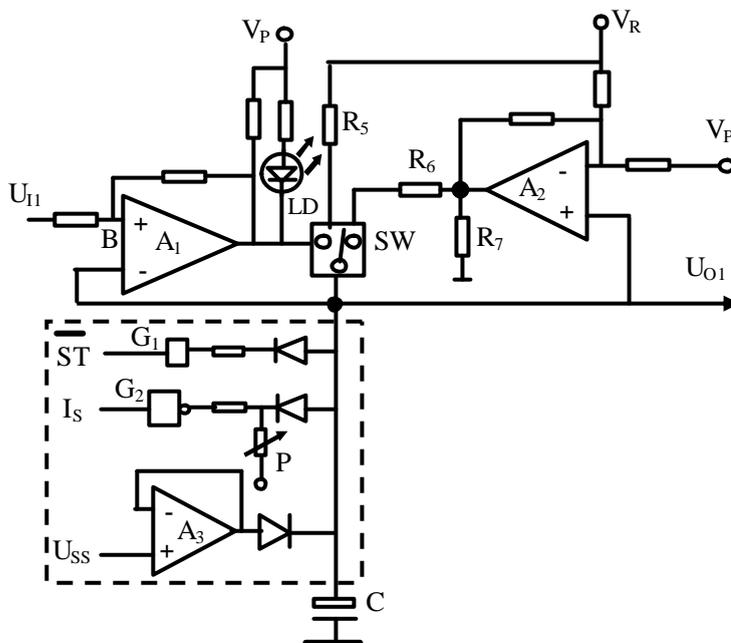


图 3-4-8 电动加速速率限制环节原理图

图 3-4-8 中虚框所示部分实现停车限制、倒车限制和起动力设定功能，将在主机遥控系统实例中介绍。

2. 程序负荷

当主机转速达到额定转速的 70% 以上时，它已进入高负荷区，主机已经承受很高的机械负荷和热负荷，此后的加速过程必须严格加以限制，防止超负荷。在该区内保持加速速率

限制的加速速率尚嫌过快，故必须设置一个特殊的时间程序，使之慢慢加速，即为程序负荷。

在气动遥控系统中，一般是通过节流元件和气容组成的惯性环节实现的，如图 3-4-9 所示。图中调压阀 2 设定程序负荷的起始转速，即它的最大输出为程序负荷开始转速值所对应的气压信号。当输入信号小于这个调整值时，输出与输入相等。 P_i 是车令设定转速值。当该信号小于程序负荷开始转速（如额定转速的 70%）时，只经分级延时阀 1 的节流，通过阀 2 向气容 6 充气。气容内的压力升高较快，再经比例阀 7 送至调速器转速设定波纹管，这就是加速速率限制，如图中 b 线所示。当车令设定转速大于程序负荷开始转速时，该信号不仅要经分级延时阀 1 的节流，还要经单向节流阀 3 的节流，再经节流选择阀 4 的上位向气容 6 充气。气容内压力升高较慢，如图中 c 线所示，从港内全速到海上全速大约需 25 min，称为快程序。如果把节流选择阀转至下位通，则单向节流阀 3 的输出还要经节流阀 9 的节流，这时气容内压力升高很慢，如图中 c' 线所示，其程序负荷时间大约需 55 min，称为慢程序。选择何种程序取决于操作者的要求和主机的承受能力。在应急操纵情况下，电磁阀 8 通电右位通，分级延时阀输出信号直接向气容充气，取消程序负荷，按加速速率的限制可一直加速到海上全速。其加速过程如图中的斜线 e 所示。在减速时，气容内的气压信号经速放阀 5 就地泄放，因不经阀 3 和阀 1 节流，可实现快减速，如图中斜线 d 所示。

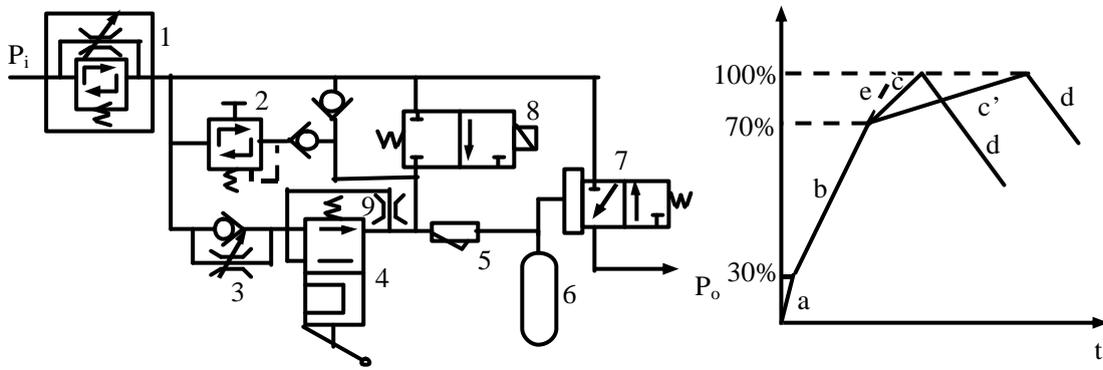


图 3-4-9 气动程序负荷回路原理图

在电动有触点的遥控系统中，常采用伺服电机来设定转速。伺服电机的带动一个凸轮，再由凸轮控制转速设定精密调压阀。伺服电机由电路控制，加速时，伺服电机向加速方向转动，使精密调压阀输出的转速设定信号以预定速率增加，这就是加速速率限制；在到达程序负荷区加速时，伺服电机变为断续转动，每转一次可增加额定转速的 3% 左右。减速时，伺服电机向减速方向快速转动，实现快减速。

在电动无触点遥控系统中，有的程序负荷是用程序计数器实现的，当主机转速增加到程序负荷开始转速时，起动程序计数器使之按预先调定的工作频率开始计数，每计一个数就增加一份油量，直到主机转速达到车令设定的转速为止；也有一些电动无触点遥控系统采用积分器来实现程序负荷，其原理从略。

对于微机控制的主机遥控系统，不论是加速速率限制还是程序负荷都是由软件编程实现的。

3. 临界转速的回避

柴油机轴系都有其固有的自振频率，当外界强制干扰频率（直接与主机转速有关）与其自振频率相同时，将引起共振。在柴油机全部工作转速内可能有两个或两个以上共振区，其中最大的共振区称为临界共振区，对应的主机转速叫临界转速。柴油机在临界转速区工作时，产生的扭转振动应力将超过材料的允许应力，造成曲轴的扭伤或折断，或者造成组合式曲柄组合件的相对滑移。因此，柴油机在运行期间必须避开临界转速区，其原则是，不在临界转速区内运行，快速通过临界转速区。回避临界转速的方式有三种：一是避上限，转速设定值落在临界转速区时，自动使主机在临界转速的下限值运行；二是避下限，转速设定值落在临界转速区时，自动使主机在临界转速的上限值运行；三是避上、下限，加速时避下限，减速时避上限。在实际应用中，为使该环节结构简单，多采用避上限。

在气动遥控系统中，临界转速的回避是用气动阀件组成的逻辑回路实现的，其工作原理如图 3-4-10 所示。图中 1、3 是调压阀，输入信号小于调定值时，输出等于输入；输入信号

大于调定值时，输出保持调定值不变。阀 1 调定值是临界转速的下限值 P_a ；阀 3 调定值是临界转速的上限值 P_b 。2 是双气路控制的两位三通阀， P_s 是转速设定值。

该回路是按避上限方式工作的。转速设定值小于临界转速下限值时， $P_a = P_s$ ，阀 2 上位通， P_s 经阀 1、阀 2 上位和速放阀 4 输出， $P_o = P_s$ 。转速设定在临界转速区时， $P_s > P_a$ ，阀 1 输出 P_a 不变，阀 2 上位通不变， $P_o = P_a$ ，主机在临界转速下限值运行。设定转速 P_s 大于临界转速上限值时，阀 2 下位通，其输出 P_o 由临界转速的下限值立即跳变到大于临界转速上限值的 P_b ，从而快速通过临界转速区。

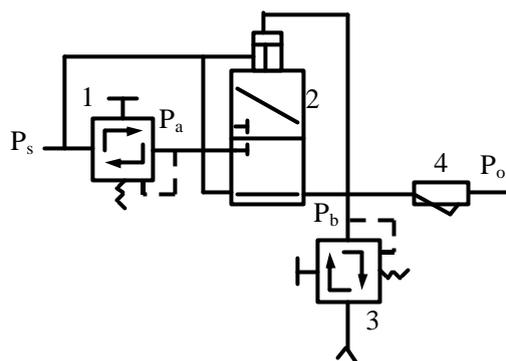


图 3-4-10 气动临界转速回避原理图

同理，在减速过程中，当 $P_s > P_b$ 时，阀 2 下位通， $P_o = P_s$ ，而当 $P_a < P_s < P_b$ 时，即转速设定在临界转速区时，阀 2 上位通， P_s 截止， $P_o = P_a$ 。 $P_s < P_a$ 时， $P_o = P_s$ 。所以在减速时也是避上限，且可快速通过临界转速区。

在电动遥控系统中，常采用电气元件组成自动回避临界转速逻辑回路，其工作原理如图 3-4-11 所示。图中 U_s 是转速设定值， U_T 是排烟温度热限值。电位器 P_1 设定的电压值相当于临界转速的上限值，当电压比较器 CP_1 和 CP_2 有一个输出低电平时，由电位器 P_2 所设定的电压值 U_2 相当于临界转速的下限值； CP_1 和 CP_2 均输出高电平时， U_2 等于电源电压 5V。

设定转速值 U_s 小于临界转速上限值 U_1 时， CP_1 输出低电平， U_2 为临界转速下限值。此时若 $U_s < U_2$ ，则二极管 D 截止，电压跟随器 A 的输出 $U_o = U_s$ ；若转速设定在临界转速区时， CP_1 仍输出低电平，则 $U_2 < U_s < U_1$ ，二极管 D 导通，电压跟随器 A 的同相端被钳位在 U_2 上， A 的输出是临界转速的下限值 $U_o = U_2$ 。当 $U_s > U_1$ 时， CP_1 输出高电平。这时要看 CP_2

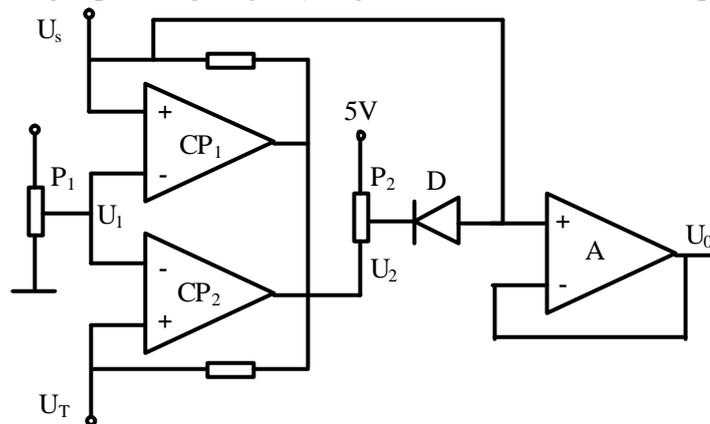


图 3-4-11 电动临界转速回避原理图

同相端 U_T 是否大于 U_1 。 U_T 是由检测排烟温度得到的，如果排烟温度太低， U_T 太小，尽管 $U_s > U_1$ ，但因 CP_2 输出低电平，使 A 的输出仍为临界转速的下限值 U_2 ，以免负荷增加过快引起超负荷。只有排烟温度升高到 $U_T > U_1$ 且 $U_s > U_1$ 时， CP_1 和 CP_2 均输出高电平，这时 $U_2 = 5V$ ，二极管截止， A 的输出 U_o 才等于转速设定值 U_s 。同理，在减速时，当转速设定值落在临界转速区时，由于 $U_s < U_1$ ， CP_1 输出低电平， A 的同相端立即被钳位在临界转速下限值，从而能避开临界转速区，且能快速通过临界转速区，可见该回路也是采用避上限的工作方式。

四、转速控制与负荷限制回路

车令设定的转速信号经各种转速限制环节后，作为转速给定值送至转速控制回路。转速控制回路一般是采用比例积分调节器 称作调速器。它把转速的给定值与主机实际转速值（反馈值）相比较，得到转速的偏差值，经调速器的 PI 作用，输出一个控制油门开度的信号。调速器一般有两种类型：全制式液压调速器和电子调速器。全制式液压调速器较为通用的是 PG 型和 PGA 型调速器，它们的工作原理基本相同，只是 PGA 型比 PG 型的功能更完善一些。

关于 PGA 型调速器的结构和工作原理，在有关课程中有详细论述，这里不再重复。值得注意的是，PGA 型调速器调速器除了具有调速功能外，内部还设有各种转速限制和负荷限制环节，如最低稳定转速限制，最高转速限制，增压空气压力限制，转矩限制等。因此，在采用 PGA 型调速器的主机遥控系统中，转速控制和负荷限制都是由调速器完成的。其工作原理请参见有关技术资料。

1. 电子调速器

电子调速器较多地用在电动无触点电路或微机控制的遥控系统中，其种类很多，功能各异，这里介绍一种较为典型的实例，其组成和工作原理如图 3-4-12 所示。图中， A_1 、 A_2 组成比例积分运算器； A_4 、 A_5 是电压比较器，调速器的输出 U_0 接在它们的反相端； $R_1 \sim R_8$ 是反馈电阻； $S_3 \sim S_8$ 为电子开关，输入高电平闭合，输入低电平断开。电子开关的开、关状态不同， A_1 和 A_2 的反馈电阻也不同，即改变了 A_1 和 A_2 的放大倍数。

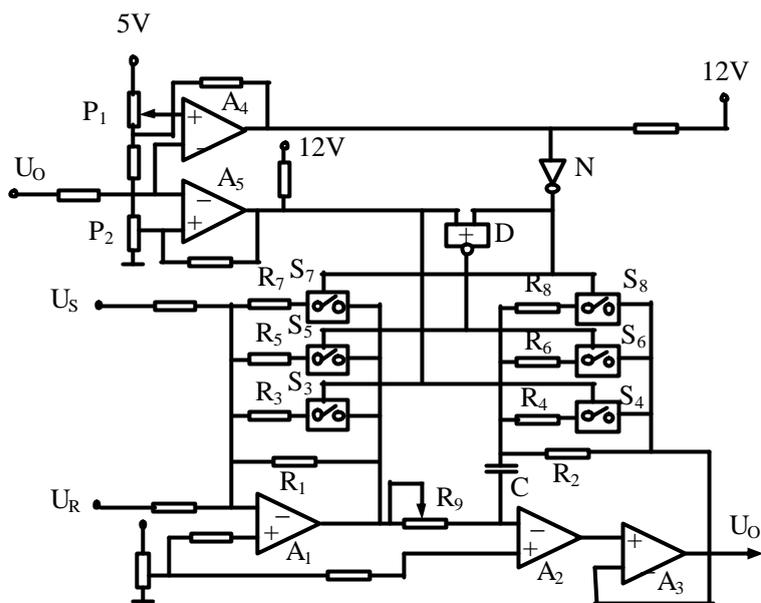


图 3-4-12 电子调速器的组成和工作原理图

比例积分控制可简化成如图 3-4-13 所示电路。转速给定值 U_S 和实际转速值 U_R 均加在 A_1 的反相端，实际上 A_1 反相端输入的信号就是转速的偏差值。若令 $r_3 = r_4$ ，则 A_1 的放大倍数 $K_1 = r_1/r_3$ ， $U_1 = -K_1(U_S - U_R)$ ； A_2 是比例积分运算放大器，其放大倍数 $K_2 = r_2/W_1$ ，积分时

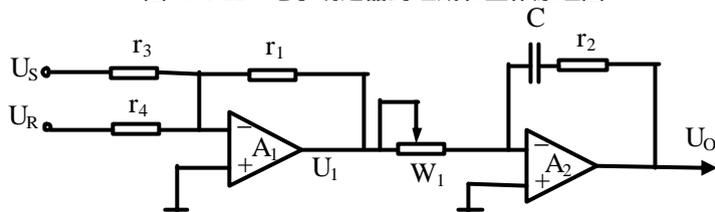


图 3-4-13 电子调速器 PI 控制工作原理图

间 $T_i = C \cdot r_2$ ，所以 $U_0 = -K_2(U_1 + \frac{1}{T_i} \int U_1 dt)$ 。把 U_1 代入 U_0 得

$$U_0 = K[(U_S - U_R) + \frac{1}{T_i} \int (U_S - U_R) dt]$$

式中， $K=K_1 \cdot K_2$ 。可见，改变反馈电阻值 r_1 和 r_2 可改变 PI 控制电路的输出特性。

当转速给定值 U_S 较小时，PI 控制器输出的 U_0 也较小。这个值比 A_4 、 A_5 同相端由电位器 P_1 和 P_2 调定的参考电压均小时， A_4 、 A_5 均输出高电平，电子开关 S_3 、 S_4 闭合， $R_3 \sim R_8$ 中只有电阻值最小的 R_3 和 R_4 分别与 R_1 和 R_2 并联在反馈回路中，其反馈电阻值最小，放大倍数 K 也最小。调速器输出特性如图 3-4-14 中斜线 1 所示。随着转速给定值的增大， U_0 也增大。当该值增大到大于 A_5 同相端，小于 A_4 同相端参考电压时，或非门 D 输出高电平，电子开关只有 S_5 和 S_6 闭合，电阻值居中的 R_5 和 R_6 分别与 R_1 和 R_2 并联在反馈回路中，由于反馈电阻的增大，其放大倍数 K 也相应增大，调速器输出 U_0 特性线的斜率增大，如图 3-4-14 中斜线段 2 所示。当 U_S 增大到使 U_0 比 A_4 、 A_5 同相端的参考电压都高时， A_4 、 A_5 均输出低电平，非门 N 输出高电平，电子开关只有 S_7 和 S_8 闭合，电阻值最大的 R_7 和 R_8 分别与 R_1 和 R_2 并联在反馈回路中，此时放大倍数 K 最大，调速器输出 U_0 的特性如图 3-4-14 中斜线段 3 所示。可见，该调速器输出特性是用三根折线逼近螺旋桨

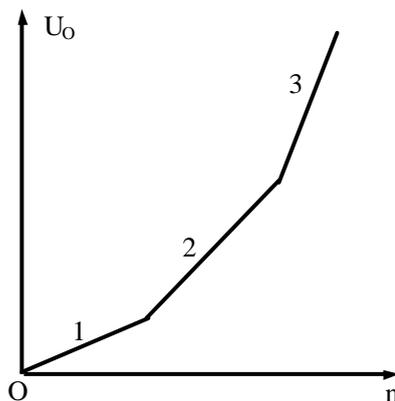


图 3-4-14 电子调速器输出特性图

推进特性。调整 P_1 和 P_2 可调整折线转折点的位置。常把电子开关 $S_3 \sim S_8$ ，电阻器 $R_3 \sim R_8$ 及电压比较器 A_4 和 A_5 组成的电路称为校正电路，用来校正调速器的输出特性。因此，该调速器是由起 PI 控制作用的基本电路和校正电路两部分组成的。

A_3 是电压跟随器，对输出电压进行阻抗变换。电位器 P_3 设定的电压值分别加在 A_1 和 A_2 的同相端，其作用是可上、下平移调速器输出的特性。

2. 负荷限制回路

在采用电子调速器控制转速的遥控系统中，由于电子调速器不具备增压空气压力限制、最大转矩限制等负荷限制功能，遥控系统必须另设这两个限制环节。根据需要还可设置其他负荷限制。这些限制环节输出的电压信号与调速器输出的转速控制电压信号相比较，最终输出其中最小值，并经伺服器和执行器去动作主机的油门。

1) 增压空气压力限制 设置增压空气压力限制环节的目的在于为了保证在扫气压力不足时限制主机的喷油量，以防主机的燃烧恶化。该环节的工作原理如图 3-4-15 所示。图中 U_K 是与扫气箱中空气压力按比例转换成的电压值，并经二极管 D_2 接在运算放大器 A_1 的同相端， A_1 的反相端接由电位器 P_1 调定的电压值 U_N ，起动时 $U_K = 0$ ， A_1 的反相端大于同相端。只要 $U_K < U_N$ ， A_1 就相当于电压比较器，输出 0 信号，电压跟随器 A_2 的输出是由电位器 P_2 调定的电压值 U_{km} 。它就是对应该起动的供油量的电压值。起动成功后 U_K 会增大，但只要 $U_K < U_N$ ， A_2 仍输出 U_{km} 不变。当 $U_K > U_N$ 时， A_1 就是同相输入的比例运算放大器，随着 U_K 的增大，a 点电位升高， U_{km} 升高， A_2 的输出随之增大。但对应一个 U_K ，就对应一个 U_{km} 值。调速回路输出的控制信号是 U_C ，若 $U_C > U_{km}$ ，将被 U_{km} 所钳位，因而也就确定了在该增压空气压力下允许的最大供油量。调整 P_2 可调整起动供油量。调整 P_1 可调整 A_1 作为比例运算放大器时的放大倍数。下移抽头，比例系数增大，在同一增压空气压力下，允许的最大供油量会增加。

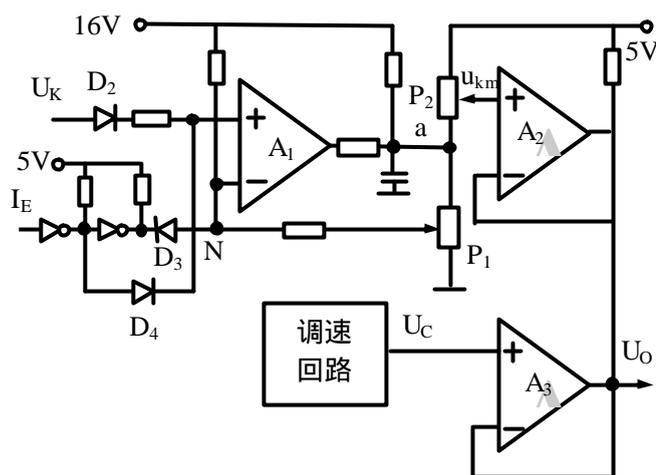


图 3-4-15 增压空气压力限制环节

在应急情况下，为加快主机的加速速度，常取消增压空气压力的限制作用。按下应急操纵按钮， I_E 为 0，二极管 D_4 导通， D_2 截止， A_1 同相端电压接近 5V。同时 D_3 导通， A_1 反相端电压接近 0V。于是 A_1 又成为电压比较器输出高电平， A_2 输出的 U_{km} 接近 5V，从而取消了增压空气压力的限制。

2) 转矩限制 在相同输出功率的情况下，主机的转速越低，承受的转矩就越大，而输出功率又与喷油量有关，因此，在转速较低时，也应限制其喷油量。该环节的工作原理如图 3-4-16 所示，它是按设定转速来限制最大转矩的（也有按实际转速进行限制的）。由电位器 P_1 调定的电压值 U_a 是转矩限制开始的转速值，一般为额定转速的 50% ~ 60%。设定转速 U_s 低于这个范围时，曲轴承受的扭矩不大，对转速的变化不限制。即 $U_s < U_a$ 时， A_1 是电压比较器输出 0 信号，二极管 D_1 截止，电压跟随器 A_2 输出 U_a 不变。当 $U_s > U_a$ 时， A_1 成为同相输入的比例运算放大器，随着 U_s 的增大， A_1 输出按比例增大， U_a 电位升高， A_2 输出也

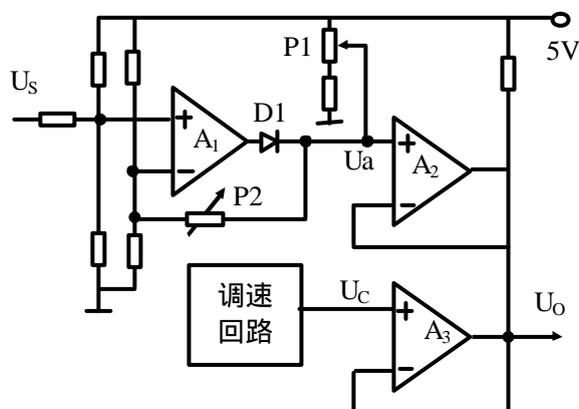


图 3-4-16 转矩限制环节

随之升高。对应一个转速设定值，就对应一个 U_a 值。当 $U_a < U_c$ 时，调速器输出的控制信号 U_c 将被 U_a 所钳位，因而也就限制了该设定转速下的最大允许供油量。调整 P_1 可调整转矩限制开始的转速值；调整 P_2 可调整 A_1 作为比例运算放大器的比例系数。

五、控制信号转换器和伺服器

在电动遥控和用微型计算机进行遥控的系统中，驾驶台发送的转速设定信号是电压信号。这个电压信号经转速限制回路（加速速率限制、程序负荷等）的处理后，作为转速给定值送至调速器。对于采用 PGA 型调速器的遥控系统，必须把转速给定值的电压信号转变成气压信号，才能送至调速器的转速设定波纹管以控制主机转速，这就要有一个电/气 (E/P) 转换器。对于采用电子调速器的遥控系统，调速器输出的控制信号是电压信号。该信号是不能直接控制主机燃油量的，必须把它转换成液压信号才能动作主机油门杆，这就要有一个电/液 (E/H) 伺服器。

1. 电/气 (E/P) 转换器

电/气转换器的类型很多，下面介绍其中较为常用的一种，其组成和工作原理如图 3-4-17 所示。图中， U_s 是转速给定值接在差动输入运算放大器 A_1 的反相端； P_0 是该电/气转换器输出的气压信号，接在调速器转速设定波纹管，同时该信号经压力传感器成比例地转变成电压信号 U_R 接在 A_1 的同相端； G 是脉冲信号发生器，它输出一系列幅值不大的正、负脉冲信号； A_2 是加法器，其输出 U_2 是 U_1 和 U_1' 两个电压值相加， U_2 接在触发器 T_1 和 T_2 的时钟脉冲端 CP 及复位端 R， T_1 和 T_2 是 D 触发器，它们的输入端 D 均接高电平，它们的输出经功率放大器 A_3 和 A_4 驱动电磁阀 M_1 和 M_2 。

当输出的气压信号 P_0 相当于转速给定值时， $U_s = U_R$ ， $U_1 = 0$ ， U_2 随 U_1' 而变，输出脉冲信

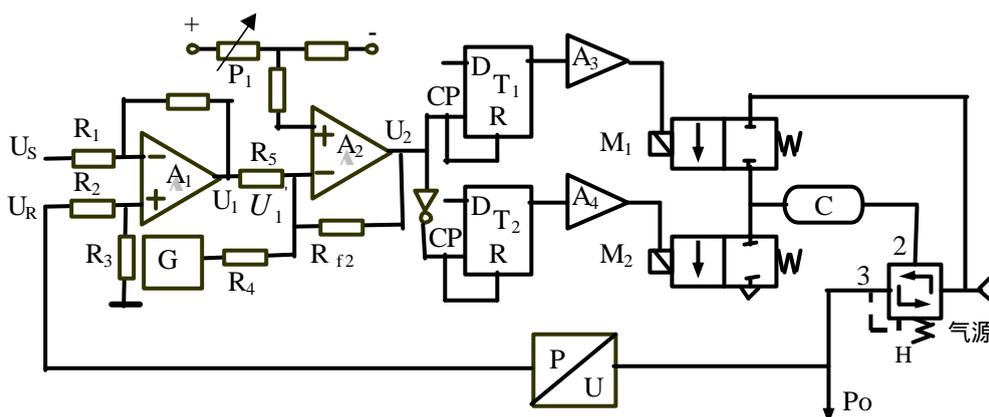


图 3-4-17 电/气转换器的组成和工作原理图

号，但幅值很小，达不到触发器动作电压，触发器 T_1 和 T_2 均复位输出低电平，电磁阀 M_1 和 M_2 均断电右位通，气源和通大气口都截止，气容 C 内的气压信号不变。 H 是调压阀，其功能是输入端 2 始终与输出端 3 相等，故 P_0 保持不变。在快加速过程中， U_s 比 U_R 大得多， U_1 是幅值很大的负极性电压值，不论 U_1' 为正或负脉冲信号， U_2 均为幅值较大的正极性电压值， T_2 保持复位状态。触发器 T_1 的 CP 端由 0 跳变为 1，解除复位信号使 T_1 输出高电平，电磁阀 M_1 一直通电左位通，气源向气容充气， P_0 值不断增加， U_R 也不断增大，当 U_s 与 U_R 差值不大时， U_1 负极性电压幅值较小，它与 U_1' 的负脉冲信号叠加后， T_1 的 CP 端保持 1 信号， T_1 继续输出高电平，而与 U_1' 的正脉冲信号叠加后， T_1 的 CP 端由 1 跳变到 0 并复位，输出低电平，电磁阀 M_1 断电。可见电磁阀 M_1 随 U_1 的变化而断续通电，气源断续向气容充气，直到 $U_s = U_R$ 为止。减速时 $U_R > U_s$ ，若其差值较大，则脉冲信号发生器 G 将不起作用。 U_2 是幅值较大的负极性电压。 T_1 复位并输出低电平，电磁阀 M_1 断电右位通，气源被截止，不再向气容充气。负极性电压 U_2 经反相器 N 输出 1 信号，触发器 T_2 输出高电平，电磁阀 M_2 通电左位通。气容 C 经大气口放气，压力不断降低， P_0 也不断减小。当 P_0 减小到 U_R 与 U_s 差值不大时， U_1 与 U_1' 的叠加开始起作用，使电磁阀 M_2 断续通电，气容 C 断续放气，一直到 $U_R = U_s$ 为止。

2. 电/液伺服器

采用电子调速器的遥控系统中，有少数的遥控系统采用气动执行机构，它需把调速器输出的电信号转变成气压信号，再送至气动伺服器，进而驱动油门拉杆，这种工作方式这里不予介绍。绝大多数遥控系统是采用液压执行机构，它需要把调速器输出的电信号转换成液压信号，经放大后去执行拉动油门拉杆，这就是电/液伺服器。其中较为常用的是 Hagenuk 电/液伺服器，其组成和工作原理如图 3-4-18 所示。

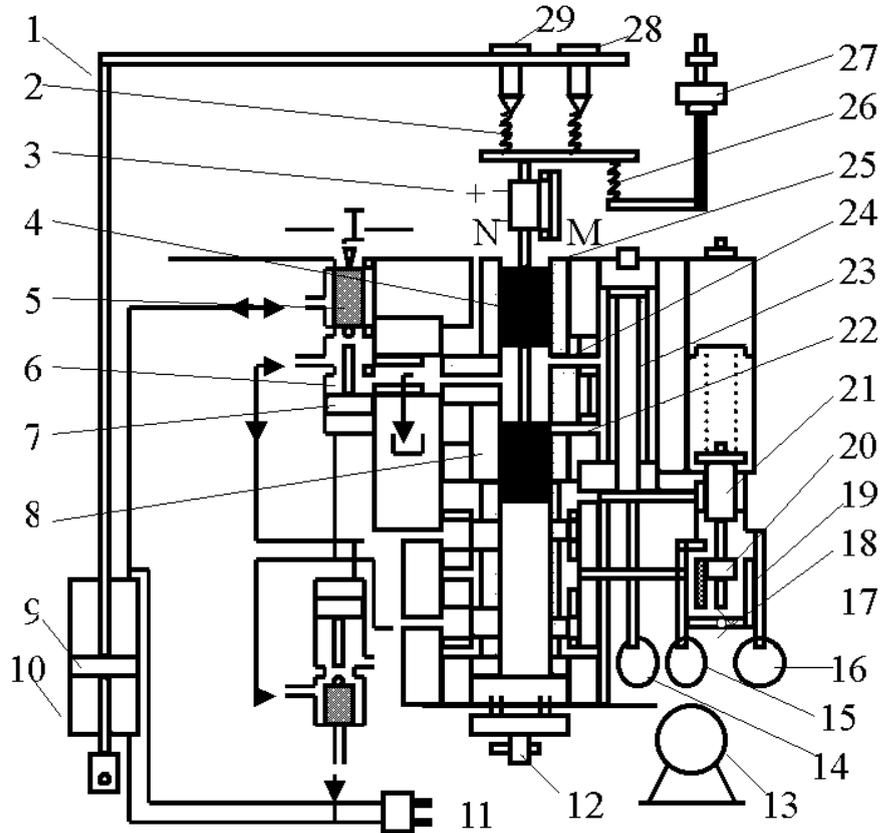


图 3-4-18 电/液伺服器的结构组成及工作原理图

在铸铁油箱盖上面装一台电机 13，它带动主阀 8 高速旋转，同时带动先导泵 14、主泵 15 和平衡泵 16 三个油泵工作。先导泵 14 排出的压力油经滤器 23 进入由先导阀 4 控制的主阀的上、下路油口 24 和 22。当先导阀 4 处于中间平衡位置时，先导阀上、下控制边缘刚好把油口 24 和 22 打开少许使压力油流回低压油柜。这时，主阀 8 处于中间位置，主阀上的凸面封住 A 口和 B 口，主泵打出的高压油被封在主阀的两个凸面之间。使得主阀始终跟踪先导阀而上下移动，电/液伺服器的工作过程就是依据这一动作特点进行的。

电子调速器输出的电压信号，要经电压/电流 (U/I) 转换器把电压信号转换成 0~10mA，或 4~20mA 的电流信号再送至与先导阀连在一起的力线圈 N，在永久磁场 M 中的载流线圈会产生一个向下的电磁力，这个力与流过力线圈电流大小成比例。加速时，电流增大，力线圈和先导阀克服反馈弹簧的拉力下移，关闭油口 24，开大油口 22。主阀腔室 24 的油压大于腔室 22 的油压，主阀在这一油压差作用下，跟踪先导阀下移，直到油口 24 和 22 的开度相等为止。由于主阀下移，A 口与低压油箱相通，B 口通主泵 15 打出的高压油，该压力油顶开连锁阀 T₁ 中的单向阀进入动力油缸中活塞 9 的下部空间。同时，B 口输出的高压油顶开连锁阀 T₂ 中的单向阀，活塞 9 上部空间的压力油经 A 口流回油箱，动力活塞 9 和活塞杆一起上移，即向加油方向移动。随着活塞上移，将增大反馈弹簧的拉力使先导阀逐渐上移，封住油口 22，开大油口 24，于是主阀又跟踪先导阀上移。当力线圈受到的向下的电磁力与反馈弹簧向上的拉力相等时，力线圈和先导阀又回到中间平衡位置，主阀也跟踪到中间位置。这时，主阀上的两个凸面又把 A 口和 B 口封住，活塞不再移动，油门就稳定在新开度上。减速时，流过力线圈的电流减小，其动作过程相反。

平衡泵的作用是补充主泵供给的压力油，起稳定压力作用。当力线圈接受一个较大的电流变化信号时，A 口和 B 口会有较大的开度，压力油会大量进入活塞的上部或下部空间，油压会降低。这时，平衡泵打出的压力油顶开单向阀予以补充。在 A 口和 B 口开度很小或全被凸面封住的情况下，主泵打出的油压升高，这时高压油会顶开活塞阀，使一部分油流回低压油箱。

Hagenuk 伺服器在出厂时已经调好，运行时不要輕易拧动有关螺钉，经较长时间的使用，确实发现零点和量程不准时，方可进行调整。电 / 液伺服器的零点是指，当输入电流为 0mA（或 4mA）时，动力活塞所在位置应保证供给最低稳定转速的油量。若零点不准，可通过螺钉 27 加以调整；若量程不准，可通过螺钉 28 和 29 加以调整。增大预紧力，负反馈增强。当电流为 10 mA（或 20 mA）时，其供油量达不到最大转速值，即增大了量程。反之，量程减小。

Hagenuk 电 / 液伺服器的工作是可靠的，但要经常检查油质的变化情况。如果油中含有过量的水、杂质、氧化物等，或油温太高，都会引起运动部件的磨损，造成控制失常或转速波动等现象。最好每年对电 / 液伺服器清洗一次，并更换新油。换油时要注意油种是否正确，且把陈油除净，绝对不允许混用两种不同的油。