



自动变速器液压系统 安全性研究

近期，一些自动变速器开始采用一种简单直接控制液压换挡系统，用每一个电磁阀控制一个换挡离合器。有的是通过先导阀间接控制换挡离合器，有的是采用大流量直控电磁阀直接控制换挡离合器。挡位之间没有互锁、自锁等安全功能，结构简单，零部件数量减少，成本较低，设计方法和原理也变得简单明了。其最大优点是控制精度和响应速度得到提高，换挡品质提升，但是其安全性如何，值得研究和商榷。

传统的液压换挡模块均采用互锁逻辑控制液压换挡系统，也就是离合器选择阀与离合器压力调节阀组成互锁和自锁安全逻辑换挡系统，利用阀之间的互锁、自锁等逻辑关系，达到液压系统的安全保障能力，构筑一道严格的安全网。

下面列举三个国际上最典型的6AT液压挡位互锁和自锁系统，说明其互锁和自锁的原理和关系，以及主要模式和发展趋势；同时列举国内最典型的一款自动变速器液压换挡无互锁系统，说明其安全性存在的问题，以引起业内专家重视和研究探讨。

典型挡位互锁逻辑控制系统案例分析

以三个具有代表性的国外某6AT为例，介绍互锁和自锁逻辑控制换挡模块工作原理。

1. 北美型6AT

北美型6AT的换挡逻辑图见附表。其中，黄色为离合器接合；S为PWM离合器压力调节电磁阀，下标是

电磁阀控制的离合器挡位，SS为开关电磁阀，SS壹为有压力，SS零为无压力。

北美型6AT换挡逻辑

挡位	C ₄₅₆	C _{35R}	C ₂₆	C _{1R}	C ₁₂₃₄
P				S _{1R456} 和SS壹	
R		S _{35R} 和SS壹		S _{1R456} 和SS壹	
N				S _{1R456} 和SS壹	
1挡				S _{1R456} 和SS壹	S ₁₂₃₄
2挡			S ₂₆		S ₁₂₃₄
3挡		S _{35R} 和SS零			S ₁₂₃₄
4挡	S _{1R456} 和SS零				S ₁₂₃₄
5挡	S _{1R456} 和SS零	S _{35R} 和SS零			
6挡	S _{1R456} 和SS零		S ₂₆		

该系统安全互锁功能重点设计了4、5、6前进挡与1挡、R挡的互锁逻辑油路。这种互锁油路对于车辆行驶的安全性特别重要，它是在液压换挡系统中设置了高速前进挡与1挡、倒挡之间的互锁功能，保证车辆在高速行驶时，即便液压系统出现问题，也不会产生突然减速或倒挡的可能性，同时也保证1挡、倒挡操作的正确性。

如图1所示，系统同时采取了四种互锁关系，是最典型的安全互锁系统。图中，为了专门研究换挡安全互锁逻辑关系，删除了其他无关的油路。

第一，PRND手动阀将D和R油路区分开，保证两

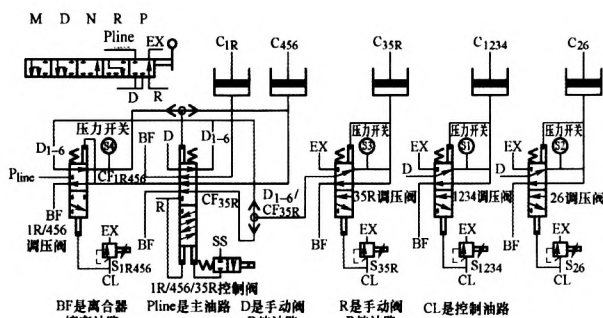


图1 北美型6AT换挡和互锁系统

个油路不能同时与系统压力Pline连接。手动阀在R挡时，D油路是泄压，R油路是高压，C₁₂₃₄和C₂₆与泄压油路接通，不可能接合；手动阀在D挡时，D油路是高压，R油路是泄压，C₁₂₃₄和C₂₆与泄压油路接通，不可能接合。

第二，该系统在调压阀与离合器油路之间设置了换向控制阀产生互锁关系，也就是采用1R/456/3R控制阀切换1R/456调压阀至C_{1R}、C₄₅₆或C_{35R}离合器的油路。SS电磁阀在0位时，只能是4、5、6前进挡；SS电磁阀在1位时，只能是R挡或1挡。保证在4、5、6挡位高速行驶时，不会产生1挡或R挡。

第三，该系统在1R/456/3R控制阀上端和下端设置自锁先导控制油路，就是在R挡时，R油路引至1R/456/3R阀下端自锁，辅助电磁阀SS压紧控制阀芯；在4、5、6挡时，离合器接合压力通过梭阀，引至1R/456/3R阀上端自锁，辅助弹簧压紧1R/456/3R阀芯在4、5、6挡位置上。

第四，该系统采用四个压力开关，①、②、③和④，与调压阀和控制阀逻辑组合，构成液压阀工作状态反馈系统，能够将阀和离合器工作响应状态信号反馈给TCU，保证液压系统出现问题时会及时报警和采取安全措施。同时，能够及时的将液压系统问题反馈到故障诊断系统中去。但是，由于比其他系统多采用了四个压力开关，成本会略有提高，另外，系统电子传感器的增多会使可靠性降低。

北美型安全互锁系统采用四道安全保护系统，系统简单、完善，是世界上最好的自动变速器液压换挡安全系统。

2. 欧洲型6AT

欧洲型6AT的换挡逻辑图与北美型类似，只是SS控制逻辑相反，将附表中SS壹更换成SS零，SS零更换成SS壹。

图2是欧洲型6AT换挡和安全互锁系统，其中，为了专门研究换挡安全互锁逻辑关系，删除了其他无关的油路。系统同时采取了两种互锁关系，是较为简单的安全互锁系统。

第一种互锁采用同样的、通用的PRND手动阀隔断R油路与D油路的任何联系，实现互锁。

第二种是系统在电磁阀与调压阀油路之间采用了换向控制阀产生互锁关系，也就是采用S₁和S₂两个控制阀切换S_{1R456}电磁阀至1R调压阀或456调压阀的油路。SS电磁阀在0位时，只能是1挡、R挡；SS电磁阀是1位时，只能是4、5、6挡。该互锁方案类似于上述北美型第二项，只不过互锁部位不同。

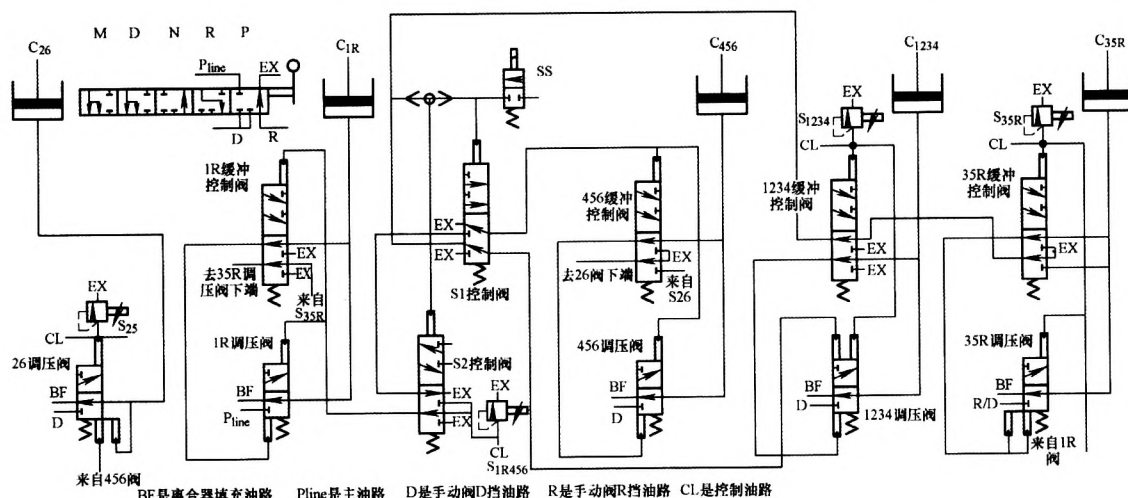
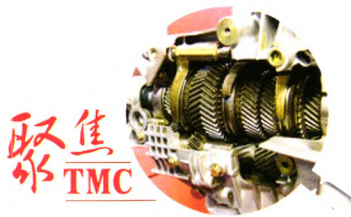


图2 欧洲型6AT换挡和互锁系统



3.亚洲型6AT

亚洲型6AT的换挡逻辑图与北美型类似，只是SS控制逻辑不同。

图3是亚洲型6AT换挡和安全互锁系统图，为了专门研究换挡安全互锁逻辑关系，删除了其他无关的油路。亚洲型6AT采用了复杂的混合式互锁系统，是一种非常复杂的互锁系统。

第一种互锁采用同样的、通用的PRND手动阀隔断R油路与D油路的任何联系，实现互锁。

每个离合器的互锁和自锁逻辑关系如下所述：

(1) C₁₂₃₄离合器互锁系统 C₁₂₃₄离合器设置了一个互锁模块17，与5挡、6挡离合器互锁。C₁₂₃₄离合器依靠互锁阀17接通和切断D供油路，达到互锁功能。在阀17上端设置两个锁止先导控制油路，控制D油路为换向阀4及C₁₂₃₄离合器供油或断路，其阀17上端先导控制油路的逻辑关系为：

V₁₇=(C₂₆∪C_{35R})∩C₄₅₆ (1)

5挡时，C_{35R}=1，C₄₅₆=1，按照 (1) 计算得V₁₇=1。其含义为17阀芯克服系统压力Pline，在弹簧辅助下，向下移动，D油路与阀4和C₁₂₃₄离合器油路之间的联系被隔断。

6挡时，C₂₆=1，C₄₅₆=1，按照 (1) 计算得V₁₇=1，其含义相同，阀17将D油路与阀4和C₁₂₃₄离合器油路之间的联系被隔断。

其他挡位，总是V₁₇=0，其含义为17阀芯在系统压力Pline作用下，克服弹簧力，向上移动，D油路与阀4和C₁₂₃₄离合器油路之间的连接被接通。

(2) C_{35R}离合器互锁系统 C_{35R}离合器设置了两个互锁模块16和19，与C₂₆离合器互锁。第一个互锁模块是在电磁阀S_{35R}与调压阀1之间设置了互锁阀16。在阀16下端设置了两个锁止先导控制油路，控制电磁阀S_{35R}与阀1、阀23、阀21上端先导油路接通或断路，其阀16上端先导控制油路的逻辑关系为：

V₁₆=C₄₅₆∩C₂₆ (2)

挡位在6挡时，C₄₅₆=1，C₂₆=1，按照 (2) 计算得V₁₆=1。其含义为16阀芯克服系统压力Pline，在弹簧辅助下，向上移动，S_{35R}油路与阀1、阀23、阀21上端先导油路断开。

其他挡位按照 (2) 计算得V₁₆=0。其含义为系统压力Pline克服作用在16阀芯上的C₄₅₆或C₂₆压力和弹簧力，向下移动，S_{35R}油路与阀1、阀23、阀21上端先导油路接通。

第二个互锁模块是互锁阀19将系统油路Pline与C_{35R}油路接通或隔断。当2挡或6挡时，S₂₆为1，电磁阀S₂₆压力通过阀21至互锁阀19上端先导控制油路加压，19阀芯克服阀下端的控制压力CL，向下移动，系统油路Pline关闭，通过阀1、阀23至C_{35R}离合器的油路被隔离。

(3) C₂₆离合器互锁系统 C₂₆离合器设置了两个互锁模块，与C_{35R}离合器之间互锁。

第一个互锁模块是互锁阀21，设置在电磁阀S₂₆与阀2、阀21之间，在S_{35R}控制下将S₂₆油路接通或隔断。在3、5、R挡时，S_{35R}在阀21下端先导控制油路上加压，S₂₆与C₂₆离合器之间被隔断；其次是S_{35R}控制阀23，将系统压力Pline与调压阀2之间隔离。就是说，3、5、R挡时，C₂₆离合器供油路被锁住。

第二个互锁模块是互锁阀23将系统油路Pline与C₂₆油路接通或隔断。当3、5、R挡时，S_{35R}为1，电磁阀S_{35R}压力通过阀16至互锁阀23上端先导控制油路加压，23阀芯克服阀下端的控制压力CL，向下移动，系统油路Pline关闭，通过阀2、阀19至C₂₆离合器的油路被隔离。

(4) C_{1R}与C₄₅₆离合器之间互锁系统 因为高速挡

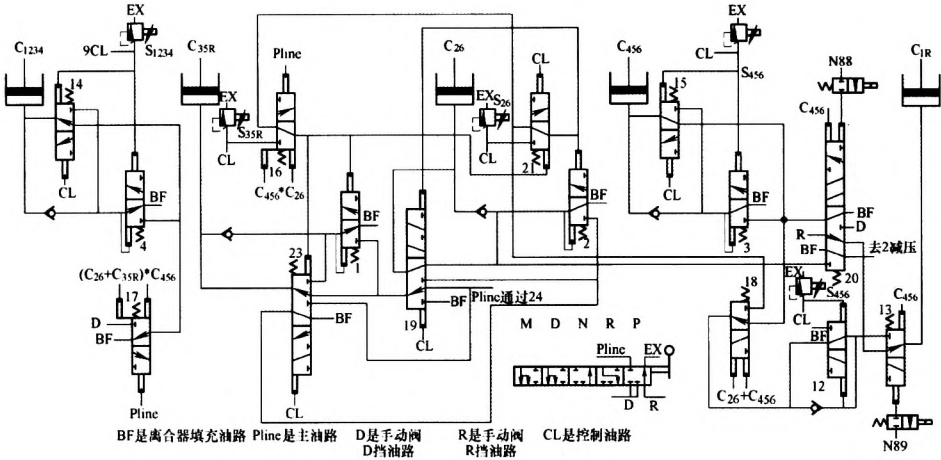


图3 亚洲型6AT换挡和互锁系统

与低挡和倒挡是最重要的安全互锁关系，所以，在C_{1R}与C₄₅₆离合器之间设置了三个互锁模块，将4、5、6挡与1挡、R挡之间完全互锁和自锁。

第一个互锁模块是互锁阀20，设置在离合器C_{1R}与C₄₅₆之间，在开关电磁阀N88控制下分别将R、D油路互锁，同时，C₄₅₆先导控制压力作用在互锁阀20上端，以保证互锁阀20被锁住，在4、5、6挡时不会产生R油路接通现象。

第二个互锁模块是互锁阀13，在开关电磁阀N89控制下，将1挡、R挡油路互锁，同时，C₄₅₆先导控制压力作用在互锁阀13上端，以保证互锁阀13被锁住，在1、R挡时互相切断。

第三个互锁模块是互锁阀18，设置在阀20的D油路至阀12的1挡供油路之间。在阀18下端有两个先导控制油路，其逻辑关系为：

$$V_{18}=C_{456}\cup C_{26} \tag{3}$$

2、4、5或6挡时，C₄₅₆=1或C₂₆=1，按照（3）计算得V₁₈=1。其含义为18阀芯克服弹簧压力，向上移动，来自阀20的D油路在此被切断，1挡供油路被锁住。

无互锁直接控制换挡系统案例分析

一些国内企业采用直接控制换挡液压系统。在液压系统中没有设置任何互锁或者自锁功能，安全性能全部依赖软件控制系统中的互锁和自锁功能。这样的设计可以大大简化液压系统和阀的数量，控制路径也简单明了，降低了阀板零部件数量和成本。但是，其安全性是否能够达到满意的效果，还需要论证和市场考验。现以某AT案例说明直接控制换挡系统原理。

如图4所示是某8AT无互锁直接控制换挡系统图，其中，为了专门研究换挡安全互锁逻辑关系，删除了其他无关的油路。该自动变速器属于四个自由度机构，每接合三个离合器构成一个挡位。

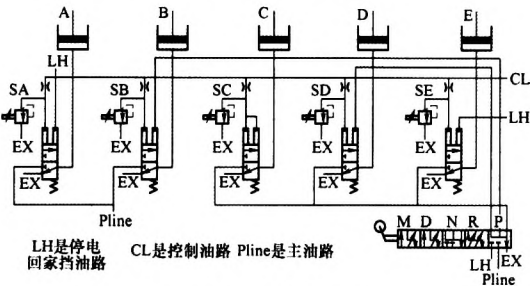


图4 某8AT换挡模块系统图

首先，在PRND手动阀中，没有设置D油路和R油

路。无论手动阀在D位置还是在R位置，系统压力Pline都与阀右侧的油路接通，Pline供给C、D和E调压阀系统压力油，PRND手动阀没有采用普遍使用的P、R互锁功能。

其次，任何三个电磁阀通电，接合三个离合器，形成一个挡位。其最大的风险是，在高速挡位行驶时，如果某一阀出现问题，可能会导致车辆突然进入倒挡或低挡，出现重大事故；或者，驾驶员挂前进挡时，如果某一个阀出现问题，车辆倒驶，也会产生重大事故。TCU电控互锁系统仅仅能够实现电磁阀线圈之前电控信号的互锁功能，无法解决液压系统各个阀出现问题之后的互锁和自锁。也就是说，电控系统互锁和液压系统互锁不能互相替代，两者都有才能够构成完整的安全系统。

结语

根据以上分析，得出如下结论。

1. 液压系统主要互锁和自锁模式

第一，利用PRND手动阀互锁R供油路与D供油路，是最基本的互锁关系。

第二，在电磁阀与调压阀之间设置互锁阀，控制电磁阀油路方向实现互锁；在离合器与调压阀之间设置互锁阀，控制调压阀出口油路方向实现互锁；在P、R或Pline供油路与调压阀之间设置互锁阀，控制供油路方向实现互锁。

第三，利用离合器油压或各种控制油压，在换挡阀或调压阀上施加先导控制压力，通过一个或多个控制油压逻辑关系控制换挡阀或调压阀互锁或自锁。

2. 液压系统互锁和自锁发展趋势

液压系统安全互锁在向简单化发展，主要是电控系统承担了一部分安全互锁功能。但是，R、D挡之间互锁，高、低挡之间互锁是涉及人身生命安全性的功能，在最新的案例中仍然保留着。液压系统互锁简单化发展的主要内容是将那些邻近挡位之间的互锁功能取消了，这对于安全性影响比较小。

液压系统安全互锁功能尚未完全被取消，主要互锁功能仍然还保留。

关键词：

自动变速器 液压系统 安全性 互锁

(收稿日期20130302)