地效翼船水襟翼设计方案研究

周秀红 纪肖

（中国船舶科学研究中心，江苏 无锡116信箱 214082）

摘 要：为了避免地效翼船在起降过程中波浪对襟翼的损伤，提升地效翼气动升力，文中提出了针对地效翼船使用的水襟翼设计方案。方案通过对可收放撑杆系统的布置位置以及杆长短匹配设计，解决了可收放撑杆系统的转动方向、地效翼形状的复原、油气缓冲器的油气混合和二力杆承力等技术难题。并采用缓冲器压力控制系统来保证油气缓冲器的安全使用和实现缓冲柔软程度的调节。水襟翼的设计方案可以有效解决地效翼船起降过程中的实用性难题。

关键词：地效翼船；水襟翼；设计方案

1 引言

地效翼船是利用地面效应贴近水面飞行的带翼水上运载工具，是世界上跑得最快的船型。而地效翼船的耐波性主要由在波浪中的起飞降落性能来衡量，为此一般采用动力增升技术或加装襟翼装置这两种方法来提高地效翼船的耐波性能，目的就是在起降过程中增加地效翼的升力，从而降低地效翼船起飞或降落速度，减小波浪的冲击。第一种方法就是将发动机喷出的气流引入地效翼下来增大翼的升力。但在此状态下发动机必须安装在接近水面较低的位置，海浪或盐雾必然会对发动机系统产生损害；第二种方法就是借鉴飞机的襟翼装置来改变地效翼截面形状，增大中弧曲度，提高地效翼的升力系数。如水上飞机就采用如此的襟翼来提升机翼的气动升力，但水上飞机为了避免起降过程中波浪打到襟翼或发动机，造成它们的损坏，往往将机翼高高布置在机身上方，这样安装在机翼上的襟翼或发动机就可以远离水面，这时飞机襟翼仅仅承受空气载荷。如果在地效翼船上加装飞机式襟翼，由于襟翼安装在离水很近的地效翼上，将不可避免地受到水载荷的冲击。考虑到水的密度是空气密度的八百倍，在地效翼船高速起降过程中波浪对襟翼本身以及与之相连的地效翼结构将产生致命的损害，也就是说简单地将飞机机翼安装在地效翼上无法实现提升地效翼气动升力的目的，必须有适合地效翼船的区别于空气襟翼的水襟翼。

2 地效翼船水襟翼设计方案

2.1带襟翼的地效翼船

地效翼船一般由侧翼、地效翼、平尾、船体、发动机、垂尾和浮舟组成，但为了提高地效翼船起降耐波性能，有些地效翼船会设置襟翼（见图1）。襟翼一般布置在船体和浮舟之间的地效翼后缘处，并作为地效翼的一部分，通过转动襟翼来改变地效翼截面形状，提升地效翼船升力，达到提高地效翼船起降耐波性的目的。

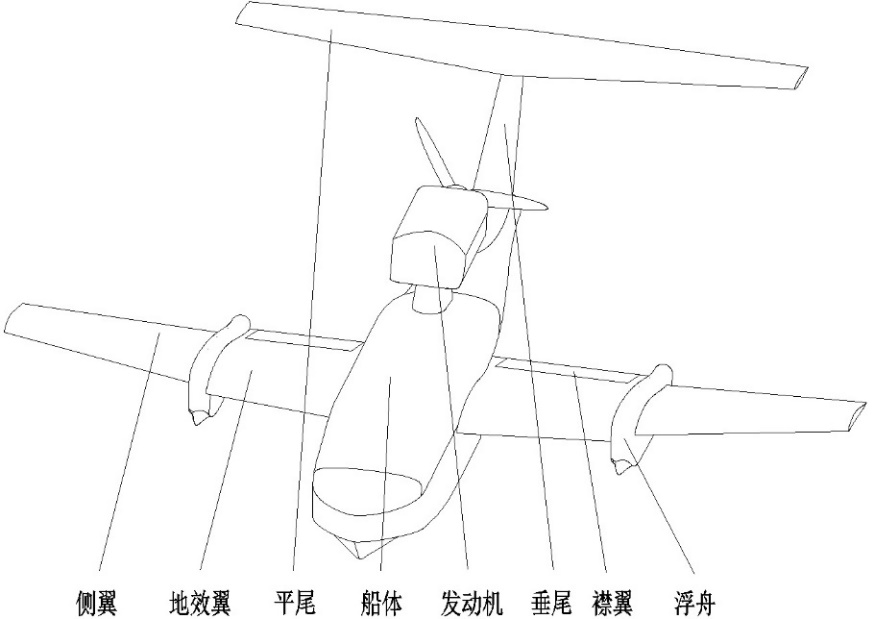


图1带襟翼的地效翼船

2.2地效翼船水襟翼设计方案

地效翼船水襟翼设计方案（见图2）包括油缸、油气缓冲器、可收放撑杆系统、限位块、摇臂、水襟翼和缓冲器压力控制系统等。在设计方案中水襟翼的外形仍与飞机用空气襟翼的外形一样，但两者的承载形式和能力完全不同。陆上起降的飞机用空气襟翼仅承受单一的气动载荷，而对水上起降的地效翼船来说，水襟翼除了承受气动载荷外，还将承受巨大的水动载荷和波浪的冲击载荷。正是由于水的密度是空气密度的800倍，如果在设计襟翼时，仅仅考虑气动载荷作用的襟翼将无法满足承受水动载荷及波浪冲击载荷的使用要求。为此，水襟翼的设计将有别于空气襟翼的设计，核心要点是在加强水襟翼结构及操纵系统强度和刚度的同时，必须采取有效地缓冲减震设计措施来缓解水动载荷和波浪的冲击载荷对水襟翼的不利影响。

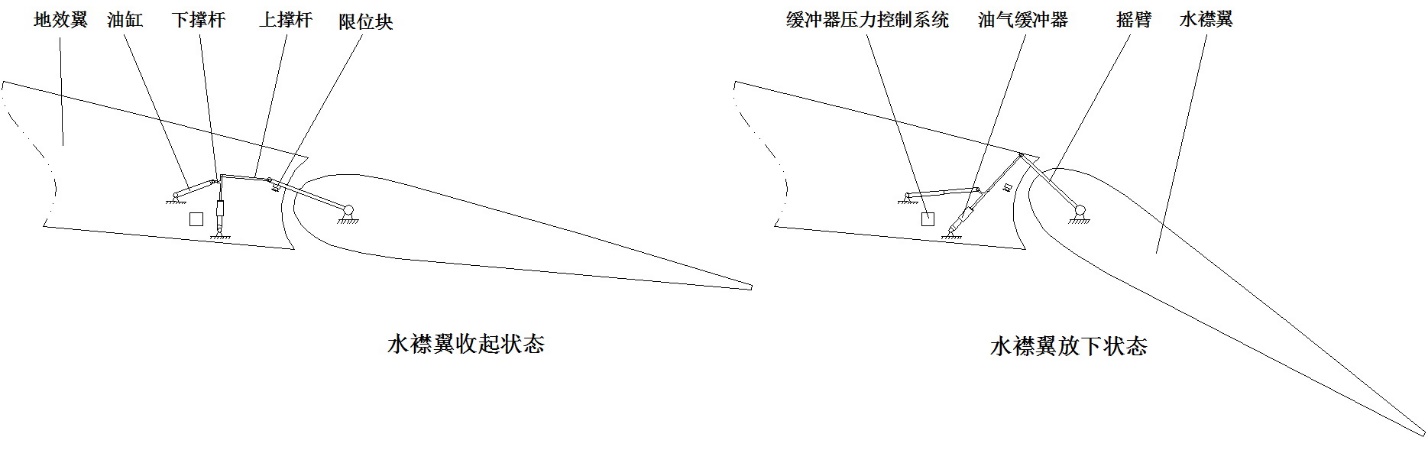


图2 地效翼船水襟翼设计方案

3 水襟翼缓冲设计与控制

3.1水襟翼缓冲设计

水襟翼缓冲设计（见图3）包括两部分内容：

一是可收放撑杆系统设计。由下撑杆和上撑杆组成的可收放撑杆系统在地效翼上的布置位置以及杆的长短匹配有一定的设计要求，首先在可收放撑杆系统动作过程中转动的油气缓冲器与水平面的夹角必须大于45°，以确保油气缓冲器内压缩气体始终处油液上方，避免出现油气混合的问题；其次在油缸处于水襟翼收起状态时，油缸的伸出力轴线必须在上撑杆与摇臂连接转轴的上方（见图2），以保证可收放撑杆系统带动摇臂顺时针转动，否则水襟翼不是向下转动而是向上转动。且此时水襟翼能复原地效翼的形状，确保地效翼船飞行的稳定性；最后当水襟翼到达放下状态时，下撑杆和上撑杆呈轴线重合的二力杆状态，其受力特点是在垂直于杆轴线方向上的力分量等于零或者非常小，也就是说此时油缸受力很小，在这种缓冲状态下波浪冲击力通过下撑杆和上撑杆构成的二力杆传递给油气缓冲器，实现水襟翼的缓冲。

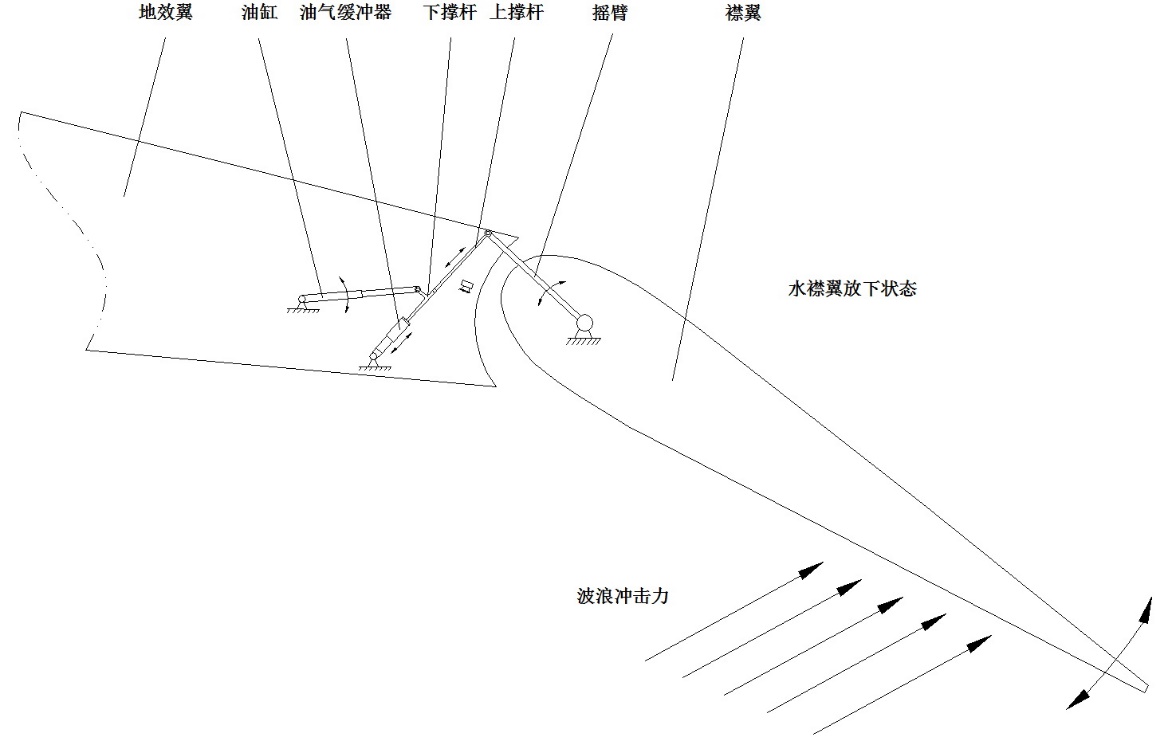


图3 水襟翼缓冲设计

二是油气缓冲器设计。油气缓冲器（见图4）由压力控制接口、安全阀接口、外筒、心管、内筒活塞、心管活塞、心管密封固定帽、外筒密封帽和内筒等组成。其中内筒直径比外筒直径小，内筒可以在外筒内上下移动；在心管壁上开有多个小孔，使得心管内腔与外筒内腔相通；内筒活塞随内筒上下移动，且内筒活塞上开有多个小孔，使得由外筒、内筒活塞、内筒和密封固定帽构成的反冲腔与外筒内腔相通；心管活塞相对心管是不动的，但不影响内筒上下移动。在心管活塞上开有多个小孔，使得内筒内腔与外筒内腔相通；心管密封固定帽上开有一个小孔，使得内筒内腔与心管内腔相通；外筒密封帽用于密封由外筒、内筒活塞、内筒和密封固定帽构成的反冲腔。油气缓冲器就是利用油液高速流过小孔的摩擦消耗能量，使得水襟翼在波浪的冲击下的摇摆能迅速平稳下来。当波浪撞击水襟翼时，水襟翼向上转动，同时带动摇臂逆时针转动，并推动可收放撑杆系统的下撑杆和上撑杆的二力杆向左下方移动，这样就使得油气缓冲器进入压缩行程，外筒向下移动，内筒及内筒活塞相对外筒就向上移动，内筒活塞上面的油液被推向上，由于油液不可压缩，结果就减小了气体的体积，气体压力升高，气压力通过油液作用在内筒活塞上，成为阻止内筒活塞向上移动的力，或阻止外筒向下移动的力。与此同时，内筒活塞上的油液也在气压力的作用下，被迫通过内筒活塞上的小孔，高速流向内筒活塞下面，进入反冲腔内。另外，心管也同时在内筒内腔相对地向下移动，因此，内筒内腔的油液通过心管活塞上的小孔和心管密封固定帽及心管上的小孔急速向上流入外筒内腔。综合上述，油气缓冲器在压缩行程中，波浪的撞击动能的大部分由气体压缩变形吸收，其余则由油液急速流过各小孔时的摩擦以及密封装置等的摩擦，转变为热能消耗掉。当油气缓冲器压缩量达到一定值时，压缩气体的膨胀力会大于波浪的撞击力，油气缓冲器将会伸张。此时，外筒会向上移动，而内筒及内筒活塞则相对外筒会向下移动，而心管和心管活塞相对内筒内腔向上移动，由此伸张行程时油液的流动方向正好与压缩行程时油液的流动方向相反。由于通过第一次油气缓冲器的压缩和伸张行程，将有一部分能量转变为热能消耗掉，所以油气缓冲器再进行第二次压缩行程所吸收的能量要比第一次小许多。经过若干次压缩和伸张，油气缓冲器就能将全部撞击动能逐步转变成热能消散掉，使水襟翼在波浪的冲击下很快恢复到较平稳的状态。最终达到吸收波浪对水襟翼的撞击动能，减少水襟翼结构和操纵系统以及与之相连的地效翼结构的受力的目的。

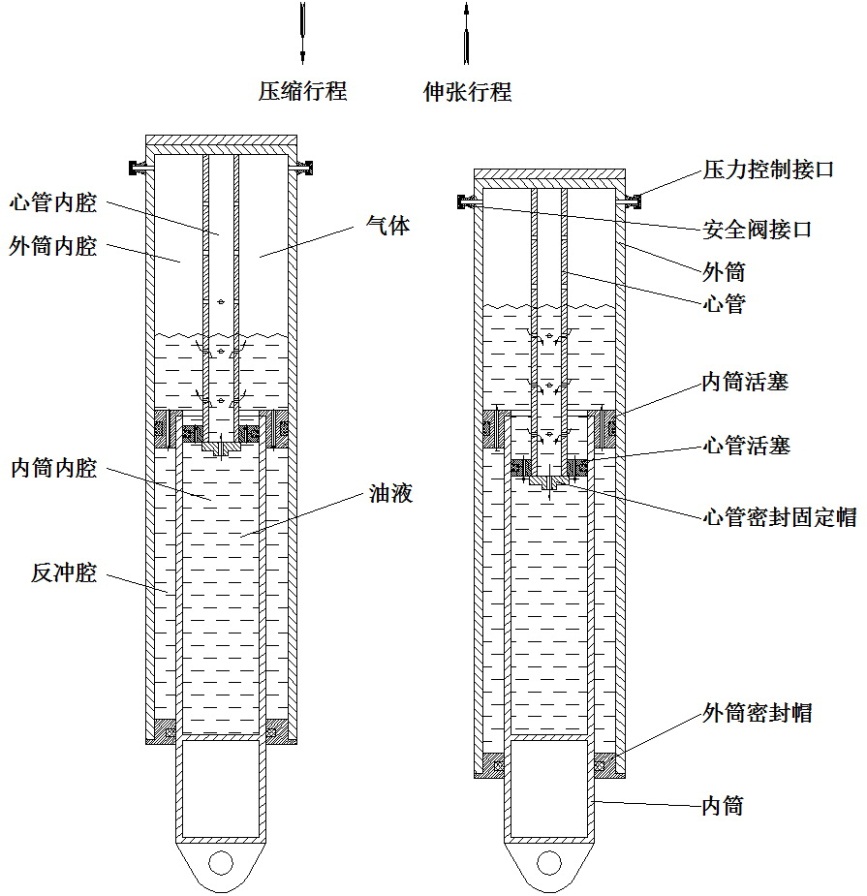


图4油气缓冲器

3.2缓冲器压力控制系统

缓冲器压力控制系统（见图5）由安全控制、压力控制和充气控制三部分回路组成。其中安全控制回路包括压力表和安全阀，它们连接在安全阀接口上。压力表用于观察和监控油气缓冲器内的压力状况，安全阀则是为了防止压力过高造成油气缓冲器损坏的最高压力控制阀。当油气缓冲器工作时，如果压力超过设计规定的最高压力，则安全阀就会自动放气；压力控制回路由电动机、空气压缩机、单向阀、储气罐、电接点式压力表和溢流阀组成，用于控制储气罐的压力，保证储气罐的压力在一定的范围之内。电动机启动后，空气压缩机产生的压缩空气经单向阀进入储气罐，储气罐内的压力上升，电接点式压力表显示压力值。当储气罐内的压力值上升到最大限定值时，电接点式压力表内的指针碰到上触点，随即控制其内的中间继电器断电，使电动机停止转动，空气压缩机也停止运转，储气罐内的压力不再上升。当储气罐内的压力值下降到最小限定值时，电接点式压力表内的指针碰到下触点，同样中间继电器闭合通电，使电动机重新开始转动，空气压缩机也重新开始运转.并向储气罐提供压缩空气，电接点式压力表内的指针上下触点范围可调整。当电接点式压力表发生故障而失灵时，溢流阀开启溢流，使储气罐的压力稳定在调定范围内；充气控制回路由空气过滤器、减压阀和手动阀门组成，用于控制油气缓冲器内的最低压力，保证其内空气压力不低于规定的压力值，满足缓冲减振要求。当油气缓冲器在使用一段时间后，其内的气体一般都有些泄漏，或者在水襟翼的使用过程中根据经验需要调整油气缓冲器内的气压值以满足不同的缓冲减振要求时，就需要对油气缓冲器进行充、放气处理。当然如果仅仅需要降低油气缓冲器内的气压值，只需要调节安全阀放气即可。但如果需要提升油气缓冲器内的气压值，就需要对油气缓冲器充气。同样，油气缓冲器内的压力状况也是用压力表进行观察和监控。充气控制回路的核心是减压阀，它的作用是将来自储气罐较高的入口压力调节并降到符合油气缓冲器使用要求的出口压力，并保证调节后出口压力的稳定。当油气缓冲器内的压力降低到设计规定值之下或者降低到根据使用经验确定的某一值之下，首先将减压阀的出口压力调解到需要值，然后打开手动阀门，减压阀也同时开启，向油气缓冲器充气，最终使油气缓冲器内的气压稳定达到需要值之后，关闭手动阀门，停止充气。安装在进口侧的空气过滤器是为了防止灰尘堵塞减压阀的节流孔等，造成阀动作不灵。

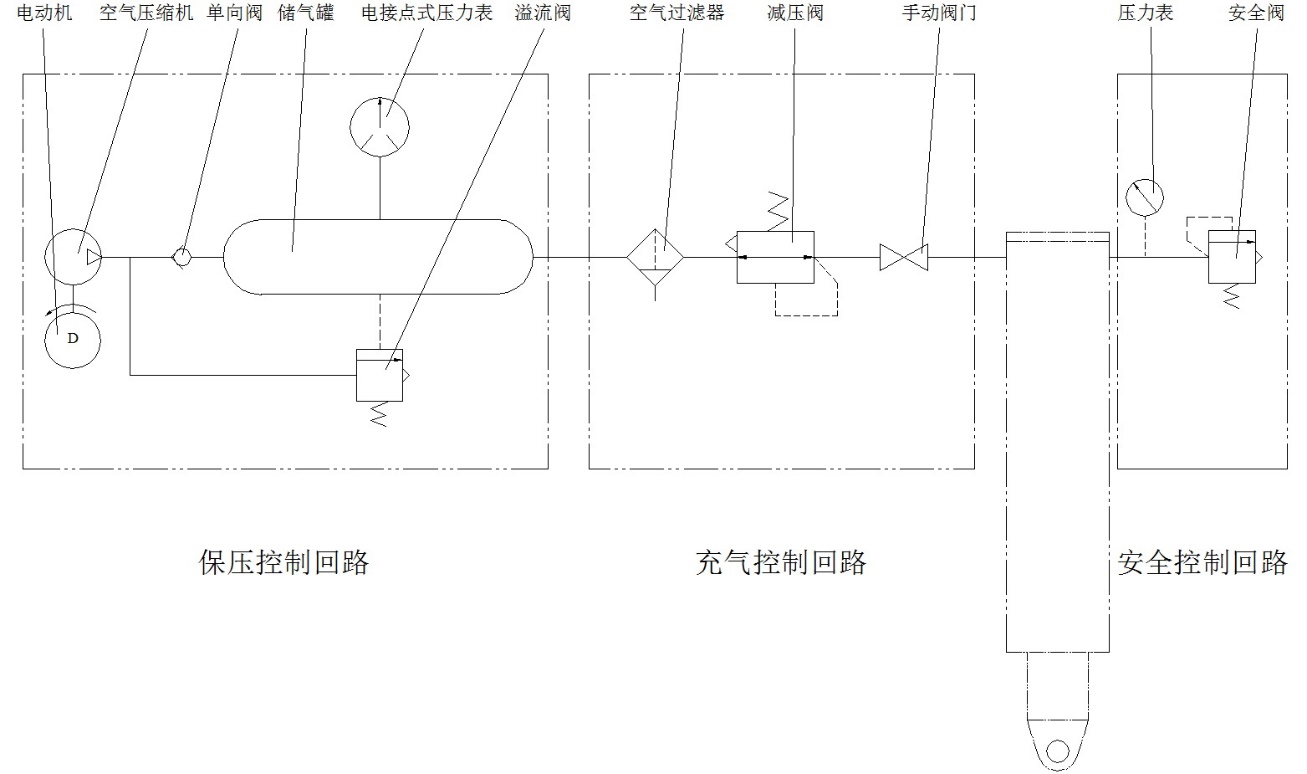


图5 缓冲器压力控制系统

4 结论

文中提出了针对地效翼船使用的水襟翼设计方案，通过对可收放撑杆系统的布置位置以及杆长短匹配设计，解决了可收放撑杆系统的转动方向、地效翼形状的复原、油气缓冲器的油气混合和二力杆承力等技术难题，提升了地效翼船在波浪中的起飞性能。并采用缓冲器压力控制系统来保证油气缓冲器的安全使用和实现缓冲柔软程度的调节。水襟翼的设计方案可以有效解决地效翼船起降过程中的实用性难题。

**参考文献**

1张庆云等. 大型水陆两栖飞机增升装置特殊设计综述[J].空气动力学学报，2019 .37(1)：19－32.

2 孟宪源，姜琪.机构构型与应用[M].北京：机械工业出版社.2003年

3诺曼·斯·柯里. 飞机起落架设计原理和实践［M］.北京：航空工业出版社，1990年