

白白

1+1=? 这是个数学问题,也可能成为哲学或文学问题。不同的语境下,它的答案是不一样的。

正在太空中组装建造的中国空间站,给出了自己的答案:1+1=1。

系统的各部分各自独立,组成系统时又相互联系、相互作用,有机地形成一个整体。来自系统科学的这一思想,在中国空间站的设计中再次得到宏观表达:组成空间站的各舱段(包括来访飞船)原为独立飞行器,对接后形成一个由空间站统一控制和管理的组合体;其组合过程实际上是控制权的交接或接管,新舱段将控制权交与空间站,将舱体与舱内资源融入空间站并形成扩展后新的空间站的一部分。

枝叶新发,仍是树木一棵;溪流蔓生,成就大河汤汤。

中国空间技术的重要开创者、两弹一星元勋王希季先生将此复杂精密的过程言简意赅地概括为“1+1=1”,并将其明确为突破、掌握载人航天器交会对接技术的标志之一。

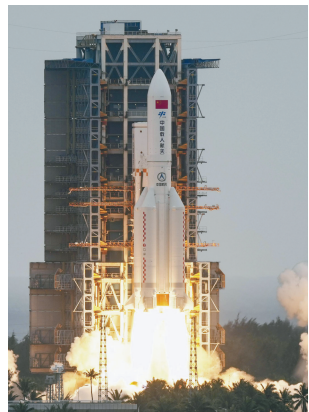
1+1=? 中国空间站告诉你

人类航天器：对接融合的多维度观察

一览人类航天史上的多舱段航天器飞行任务可以发现,“1+1=1”有着不同层次和程度上的实现,而这个看似简单的加法并不容易。

结构及其运动控制的“1+1”。美国采用双子座飞船与改装后的二级火箭进行对接,对接后由飞船进行组合体控制;苏联用两艘飞船相互对接,对接后由模拟空间站的被动飞船进行组合体控制;1975年的阿波罗-联盟测试计划(ASTP),美苏两个飞行器互换角色进行了两次对接,分别担任主控方。这些任务中,对接前的目标飞行器与追踪飞行器独立进行各自的运动控制,对接后的两飞行器通过刚性连接装置在结构上成为一体,形成了具有新的几何构型和质量、惯量特性的组合体,随后由两飞行器中的一方统一对此组合体进行运动控制。两个飞行器的结构及其运动控制必须实现“1+1=1”,这是形成组合体最基本的要求,也是早期交会对接飞行试验首先解决的基础技术。

信息系统的“1+1”。人类太空探索活动进入空间站时代后,空间站的计算机对接上来的新舱段进行统一管理,是为常态。实现信息系统融合的基础是通过对接机构实现两飞行器的电路连接,也可以在对接后由航天员手动拉线连接——国际空间站不少出舱活动,都包含了手动连接空间站与舱段电缆的任务。来自不同航天器的信息怎么融合?从最基础的相互采集遥测信息、代传指令、到信息网络并网,并在此基础上进一步实现信息系统重构。控制系统的重构为其中一种典型应用:空间站的控制器通过信息网络的并网连通统一使用各个舱段的传感器和执行机构(发动机),



搭载中国空间站天和核心舱的长征五号B遥二运载火箭发射升空。(资料图片)

新华社发

从而实现控制优化。

能源系统的“1+1”。俄罗斯电影《太空救援》讲了苏联礼炮计划中最后一个空间站礼炮7号在轨失控后的救援行动,这段真实历史就涉及到能源系统的维修和恢复。两个飞行器供电网络的并网有多种模式:(1)单向由空间站向新舱段输电并完全供其所需。比如,被航天飞机送上天连接至国际空间站后,欧洲和日本舱段完全由站上提供能源。(2)单向补充新舱段的供电短缺。比如,飞船对接至空间站后,因帆板受遮挡等原因导致自身发电能力受限,由空间站提供部分能源弥补不足。(3)双向供电实现能源跨舱段调配。空间站自身的可发电舱段通常以此模式工作,以灵活满足不同负载的使用需求。(4)在空间站出现故障或短时功耗过大情况下,通过飞船向站供电满足应急需求。上述的礼炮7号电源失效后,曾考虑让航天员从联盟T13飞船拉电源线至空间站进行供电,后因担心短路故障影响飞船电源,改为直接维修礼炮号设备。

热控流体回路的“1+1”。能源调配总是伴随着设备发热及散热的调配。高效率的热调配措施是将舱段间的热控流体回路连通,直接将热量跨舱传输。此方法也可以用于均衡热控辐射器的散热能力,或在辐射器局部受损时进行散热区域调配。

载人环境的“1+1”。中国航天员在飞船对接上核心舱后不久即开舱门进入空间站,这是因为核心舱与飞船采用了相同的压力体制,大气总压和氧分压设计状态一致,只需进行压力平衡消除微小压差即可。这就是密封舱连通后整个飞行器形成统一载人环境的结果。而在美苏ASTP计划中,联盟飞船采用760mmHg、20%含氧量的标准大气状态设计,阿波罗飞船为260mmHg和100%纯氧环境。为了实现真正的“太空握手”,联盟飞船将大气环境设置为520mmHg、40%含氧量,并在对接后进一步将压力降至500mmHg,阿波罗飞船则在对接后充入氮气调整空气成分并增压,这才打开了舱门。

推进系统的“1+1”。媒体报道说,5月30日与中国空间站核心舱对接的天舟二号货运飞船除运送物资外,“还需要实现与核心舱交会对接后的推进剂补给”。这里被称为“太空加油”的推进剂补给,可以视作一种特殊的、短时间的推进剂贮箱连通融合。



天和全景摄像机d

在北京航天飞行控制中心大屏拍摄的航天员刘伯明在舱外工作场面。(资料图片) 新华社发

天宫空间站：我们怎样在天上搭积木？

我国“天宫”空间站的三舱T字基本构型,大家应该很熟悉了。把它转化为公式,天宫空间站的系统设计为:1(天和)+1(问天)+1(梦天)=1(天宫)。等式右侧的“1”是一个完整系统,具备完整的功能、性能及系统冗余配置,所有的系统设计被分配至左侧的三个“1”实现,而这三个“1”又分别是独立的飞行器。这四个“1”,是同步设计出来的。

左侧的三个“1”中,核心舱为组合体的管理中心。但与和平号及国际空间站不同的是,天宫并非直接以核心舱为基础扩展若干舱段,而是在核心舱上组装两个实验舱后构成一个更加完整和可靠的T字形“核心组合体”。在官方发布的空间站任务规划中,此三舱的组装任务被称为“空间站建造阶段”,正是说明了三舱作为空间站基本部分为后续扩展舱段奠定基础的地位。

和平号空间站和国际空间站,都是以核心舱的单舱为基础进行拓展。其中,作为第一个以搭积木方式组建的多舱段空间站,和平号的整体功能随着舱段的增加而不断拼接完整;国际空间站则是在航天飞机支持下采用桁架结构,因而具有规模扩展性好的优势。

而中国空间站在采用新技术多维度实现“1+1=1”的基础上加强系统集成,独创性地一体化设计出整站三舱,尔后再开枝散叶地继续生长。三舱以“1+1+1=1”的方式构建了一个“组合体核心”、或者说强化版核心,作为“最强大脑”对整个

空间站进行统一管理,保证各舱段、飞行器动作协调,并且在通过信息和能源网络并网实现系统重构后,正常情况下能够实现资源的统一优化使用,故障情况下则有了更多的系统冗余。

这样的总体设计,是对历史上航天器系统的创新发展,更充分体现了我国空间站建设“在规模适度条件下追求高效率”的目标,具有极高的资源利用效率和较强的系统冗余度。

从天宫构型来看,三舱强耦合组成对称的一体结构,实验舱横置,端部分别配置了双自由度大帆板。两实验舱对向连接,形成近40米的结构跨度,实际上起到了类似国际空间站桁架结构的作用,较好地解决了帆板相互遮挡的问题,明显优于和平号各舱段的辐射状连接形式。

从信息系统能力来看,核心舱发射后大家看到的高清天地图像以及舱内WiFi应用、蓝牙耳机等等表现,证明了高速信息网络的性能,说明基于此实现三舱并网融合及系统重构有非常好的技术基础。这么好的网络不进行动态并网、能力共享的话,简直就是暴殄天物。

此外,从天舟货运飞船的任务规划来看,货运飞船不仅要配合进行推进剂补给,而且必须在对接期间以自身发动机提供组合体的变轨动力——这又能给核心舱或“核心组合体”加上一个“1”。

俄罗斯的进步号与欧洲的ATV这类典型的货运飞船,同样能够在交会对接

后配合空间站对全站进行姿态控制和轨道维持。但由于种种技术和非技术障碍,国际空间站还有更多“1+1”不等于“1”的时候。例如,由于推进剂补给统一使用俄罗斯的推进系统,欧洲ATV飞船不得不单独配置不同于自身推进系统的补加贮箱装载俄方使用的燃料,才能实现推进剂补给;国际空间站上俄罗斯舱段的热控系统采用乙二醇作为回路工质,美国舱段则采用水,两者间的流体回路无法连通。

与之相比,“1+1=1”的思想贯穿于我国空间站设计的方方面面,从技术到管理都绝不会允许出现国际空间站上述系统不兼容的问题。

“1+1=1”、或者说“1+1+1=1”是我国建设空间站的核心理念之一,也是难点所在。比如,三舱并非同步研制且核心舱先于实验舱一年发射,这样的安排能够使空间站的建造更加稳妥,但也带来了三舱系统设计与集成验证的难度;作为第一个“1”,核心舱既要能独立以单舱空间站模式运行,又要作为枢纽将两个实验舱多维度融合,要求其功能必须最完整,系统能力最强;两个实验舱必须以完好的功能性构成完整的T形“核心组合体”,无形中又对实验舱发射、交会对接、以及转位任务实施的可靠性提高了要求。

系统工程实践,科学思想先于工程。纵是千难万险,轻舟正过万重山峦。

据新华社