

俄罗斯月球探测任务航天员的 选拔与训练特点

一、月球任务的要求

载人月球探测任务的目的是为月球的科技工业开发奠定基础。无论是与低地球轨道飞行相比，还是与之前已完成的短时的载人登月任务相比，这一任务的难度都要更高。这是月球表面长时间驻留及探测任务的条件和特点决定的。

这些新任务衍生出了一系列新问题，为此类探测任务的组织原则及航天员的培训工作带来了新挑战，其中包括乘组与地面飞行指挥中心及地面探测任务保障基地的协作。

与此相关的医学问题首先就是对月球环境的适应、在月球表面长期驻留期间作息制度的组织、疾病的治疗及月球长期驻留后返回地球的康复等问题。月球探测任务所有阶段中最关键的是月面驻留初期——必须要尽快地进入到积极的活动状态，而留给航天员适应月球环境的休整时间却非常有限。

月球探测任务中最关键的任务之一是建立辐射安全保障系统，还需要建立(或研制)月球探测任务生命保障系统。

另外一个突出的新问题是执行月球探测任务的乘组在远离地球时的心理问题。必须建立新的医学心理学保障系统，以适应月球探测任务的条件和需求。

以上问题的解决最终将使选拔和培训月球任务航天员的要求变得更多，也更加严格。

(一) 载人探月方案及实施

保障航天员培训的主要技术设施位于加加林航天员中心：综合性及专项训练用的模拟器、航天飞行环境模拟器、失重飞机、飞行训练手段、低压舱、各种功能模拟平台，用于生物学培训、心理学培训及体力培训的全套设备和设施，各种地面保障设施。在进行必要的改进和完善的前提下，这些技术设施在某种程度上可以用于月球任务航天员的训练。

专家的讨论分析表明，月球计划可能的实施方案有以下几种：

(1) 完全复制苏联 20 世纪 60 年代的月球计划，当然，前提是利用已有的技术储备；

(2) 为实施月球任务研制新型运输飞船；

(3) 建立月球轨道空间站；

(4) 在月球表面建立长期固定的月球基地站；

(5) 月球的工业开发。

月球任务的实施有以下几个特点：

(1) 太空飞行的任务和条件呈现出了新的特点；

(2) 飞行作业和机动模式的多样性明显增加，这是因为任务涉及到飞船的对接与脱离、月面着陆及从月面起飞等环节；

(3) 必须在低地球轨道进行月球轨道综合体的组装；

(4) 与地球的通信联系可能是不稳定的；

(5) 无线电通信的传输和接收有延迟；

(6) 有可能发生各种之前从未被考虑、研究过的非正常情况；

(7) 非正常情况下及时获得来自地球的帮助变得非常复杂，有时甚至是不可能的；

(8) 在月球轨道综合体运行的近地空间轨道上有太空垃圾；

(9) 高水平的太空辐射(银河宇宙射线，质子和二次中子，太阳耀斑)；

(10) 星际空间及月球的磁场强度较弱；

- (11) 飞行过程中重力环境发生变化；
- (12) 必须在月球表面选择着陆点；
- (13) 在没有大气的条件下驾驶飞船在月面着陆；
- (14) 登陆月球后必须尽快投入到积极的作业状态；
- (15) 月球表面曲度大；
- (16) 月球表面的月尘干扰；
- (17) 月球表面缺乏明显的标志物；
- (18) 月球表面作业过程中有较高的患外伤和减压病的几率；
- (19) 以第二宇宙速度进入地球大气层；
- (20) 以第二宇宙速度及未经规划和计算着陆的风险增大；
- (21) 航天员无法中止飞行任务并紧急返回地球。

(二) 月球任务航天员的选拔要求

在选拔参加月球探测任务的航天员候选人时，要优先考虑那些有过远离家人和熟悉环境进行长期自主活动经历和经验的人。这类人包括战略航空兵机组、核潜艇艇员、北极和南极极地考察组成员、位于俄罗斯最北部和东北部的科考站工作人员、参加过长途巡逻的潜艇部队水手。同时要考察候选人的职业活动鉴定，特别是其中关于心理稳定性的评价。

对参加月球任务航天员健康状况的要求之一是对过载的承受力。因此，在选拔活动中必须要进行胸背方向过载 10 g 的考察。

对航天员健康状况的其他要求还有“不患有飞行过程中可能恶化的疾病”。这一要求与无法紧急中止考察任务紧密相关。

为登月任务制定的新教学大纲中还可能包括：

- (1) 太空辐射及防护措施的培训大纲；
- (2) 载人飞行器舱内、月球基地居住舱和作业环境的生态环保培训大纲；
- (3) 月球表面运输系统的结构及驾驶培训大纲；
- (4) 在月球上使用工具及生产过程工艺的培训大纲；

(5) 在月球上长期驻留期间航天员作息制度组织的培训大纲。

由于需要在低地球轨道进行月球组合体的组装，因此对航天员提出了掌握飞船机动和对接的特殊要求。

为确保航天员及月球基地工作人员职业活动的可靠性及高效，需要在理论及实践层面解决月球任务成员间职责的最佳分配问题。这还涉及到考察任务参加者可互相替换性和专业化程度的选择问题。

由于必须使用航天导航设备，要监控月球综合体在“地球—月球—地球”航线上的飞行，需要进行足够的行星导航研究的培训和导航设备的使用培训。鉴于从月球到地球的飞行十分关键且非常复杂，有必要考虑将专业领航员纳入到月球任务乘组中，他们是受过专业培训的，能监控自动导航设备的工作情况，在非正常情况下还可以实施自主导航。专业领航员的理论培训大纲应包括空间导航教程。航天员—领航员的职责可以和驾驶员的职责相结合。

为了确定着陆点，必须在月球轨道上以 15 ~ 100 千米的高度飞行，并且需要具备在完全不同的另一种陆地表面上、另一个轨道速度上驾驶飞船的技能。

月球表面上有月尘，这就要求选定着陆点，并在其上空完成飞船在某高度上的悬停且不形成尘云。

对于驾驶飞船在没有大气的空间实施登月的基本技能，可以在直升机—模拟器(最好是喷气垂直起降飞机)或静态的模拟器上进行训练。然而，技能最终只能在宇宙空间中(近地轨道或近月轨道上)才能获得。应该看到，月球飞船的控制系统中同时包含自动和手动控制回路是必要的。

穿着笨重的舱外服在低重力的月球表面上移动需要进行专门的训练。舱外服应该能够保障航天员连续工作 10 小时。并且应当考虑到，航天员的热排放为 300 ~ 400 千卡/小时。航天员着舱外

服在月球表面活动时应该能够在摔倒时独自站起来。

需要特别关注的一个问题是在月球表面的方向识别和定位，因为那里没有磁场，只是在直接可视范围内才有无线电通信(由于月球表面曲度较大，直接可视距离只有几千米)。也可以通过中继来实现(通过月球轨道综合体或者地球)，但是这种通信不稳定，不能保障实时通信。

虽然在月球飞船从月球起飞、搜索月球轨道综合体并与之接近和对接等阶段上将主要依靠自动化系统，但是乘组应该具备在上述任何一个阶段上进行手动控制的能力，特别是在与月球轨道综合体交会对接的关键时刻。

飞船从月球轨道出发向地球轨道起飞时，关键要选择启动脉冲的时间点和速度脉冲值的大小。通常这些值都是飞行指挥控制中心负责计算，并以指令的形式传送给乘组。然而，在事故情况下，乘组应该有能力在舱内进行同样的计算。

以第二宇宙速度(11 千米/小时)进入地球大气层时，对进入大气层的角度有特殊要求。小于计算角度时，飞船有可能再次跳出大气层(类似于做一次潜水)，之后以高地球轨道返回。大于计算角度时，飞船直接会“潜入”大气层，过载水平(达到 20 g 或以上)可能会威胁到乘员安全。应当考虑(做为备份方案)在飞船进入大气层时实施手动来控制飞船的下降。苏联 L1 登月计划时在离心机上进行过模拟过载情况下的操作训练。

按照这一计划在离心机上现实的过载条件下进行飞船控制系统的操作训练。当时，设计了两种以第二宇宙速度进入大气层的方案：第一种方案是先后两次进入大气层，第二种方案是一次进入大气层。

第一种方案是通过以小角度“潜入”大气层，随后跳出大气层，来确保飞船能从第二宇宙速度(11 千米/小时)降低至约等于第一宇宙速度(7 千米/小时)。大致在绕地球飞行 1/4 圈后，最终

进入大气层，完成在预定地点的受控着陆。这种方案能够使返回地球时的过载不超过 $5g$ 。

第二种方案是一次进入大气层，随后降落在指定地点。飞船的控制系统能使速度从第二宇宙速度降至零。这种情况下，乘组将长时间承受约 $8.5g$ 的过载。这对于驾驶飞船势必会产生影响，自然也会影响到着陆的精准程度。

在月球飞船返回控制系统中有一个过载控制原则，这与“联盟”号飞船上所应用的是一致的。为了提高返回地球的可靠性，在月球飞船的降落控制系统中加入了手动控制单元。是否应设置该系统，以及对该系统的功能和结构特点进行评价，都有待于在现实过载的条件下进行验证。

手动控制的精度根据实际着陆点与理论着陆点间的偏差来评价。试验表明，乘组在手动控制情况下的着陆偏差大致在 $70 \sim 80$ 千米范围内，对于地面搜寻保障部门来说这完全是可以接受的。有时着陆的精确度可达到 $4 \sim 5$ 千米范围内。

当时按照月球计划曾开展过一系列试验，其中之一是对航天员在月球车内所处位置的选择进行评价。月球车在这些试验中只被看作是交通工具。试验是在一个专用场地上进行的，有 $180 \sim 200$ 米长的环形路，上面有土、人造的小坑洼和环形山。试验的任务是在月球车内为航天员座椅选择一个最佳的放置点。

共有 3 种方案供考虑：分别在月球车的前面、中部和后部。试验目的是在月球车沿月球表面移动过程中保障航天员的安全，同时评价手动操纵月球车的便捷性、航天员在月球车内的视野，以及月球车本身的性能。月球车前部安装有 2 个控制手柄，手柄上有各种控制机构：“前进—后退”、速度的转变和转弯。

第一批试验是关于“航天员在月球车后部”的评价，这个位置对于人来说是最习惯的：能够看见位于自己前面的交通工具“发动机”机箱、道路。

试验表明，直线行驶(两种速度，分别是1千米/小时和2千米/小时)，制动，不同角度的转弯，原地转弯，在途经大大小小的坑洼时虽然有一定角度的左右倾斜，且俯仰角达到 20° ，但驾驶的操控上没有任何困难，也没有引起不愉快的感受。而在 180° 转弯时，当月球车的车身位于航天员的身后，他的脚下就是“道路”，这时航天员观察月球表面道路是从月球车的高度再加上他自身的高度上进行的，除了一种操作以外，其他的操作都完成得和以前一样轻松，那就是驶入一个深坑。他感到特别突然、不舒适，好像要向前翻车，月球车就要压到他身上一样，几乎产生了要跳到车外去的感觉。而从深坑中驶出，没有引起这种感受。试验的所有参与者都有同样感受。

试验结果证明，航天员座椅位于月球车前部也是不能接受的，与座椅处于月球车后部的情况相类似，只不过刚好相反，当月球车驶出深坑时，人会产生向后翻车的感觉，所以只有一种经典的方案是被大家接受的——座椅位于月球车中部。

与国际空间站飞行计划的培训大纲相比，月球计划航天员的培训特点是：需要使航天员形成大负荷情况下的行为能力及需要在所有气候地理区域开展野外生存训练。

还有一个因素也不容忽视，那就是当乘组的一位乘员受伤或出现减压病时，另一名乘员必须马上对其实施医学急救。为此，需要在地球上开展培训，内容和目前乘组中医学专家所接受的培训一致。培训的一部分在临床条件下进行，航天员要学习开展复杂的医学程序并要学习设备的操控。总之，培训的目的是乘组医学专家应能够独立进行医学救治。

在任命月球任务考察乘组时，应选拔经验最为丰富和资质最优秀的航天员，并至少应参加过1次以上的航天任务。

经过培训的乘组应该具备相应的职业素质，使该乘组无论是在和地球有稳定通信的条件下，还是在自主飞行条件下，都能完

成飞行任务。这就要求乘员深入、牢固地掌握知识，具备稳定的技能，具备在航天器舱内组织独立(及有创造性的)活动的的能力。

载人月球考察任务的特点在于需要对地面支持工作进行清晰和明确的组织：支持工作由飞控中心及相关机构和专家共同实施，同时还有乘组在舱内通过使用各种信息化设备，包括人工智能系统(专家系统)，来实现对乘组的高水平信息保障和支持。

二、月球计划乘组培训的基本方法

在培训前及培训过程中，月球任务航天员候选人应该通过以下选拔及生物医学、心理学和职业考核：

(1) 临床医学检查，功能选拔和心理选拔；

(2) 职业选拔，确定是否具备完成飞行任务的能力，例如在航天飞行因素(包括在大气层中)影响条件下操控飞船；

(3) 考察在封闭空间内生活和活动的心理稳定性；

(4) 评价小组内的心理相容性等。

为胜任航空-航天器的驾驶任务，航天员候选人应该具备飞行员-试飞员资质。

在任命月球任务考察乘组时，应选拔经验最为丰富和资质最优秀的航天员，并至少应参加过1次以上的航天任务。

经过培训的乘组应该具备相应的职业素质，使该乘组无论是在和地球有稳定通信的条件下，还是在自主飞行条件下，都能完成飞行任务。这就要求乘员深入、牢固地掌握知识，具备稳定的技能，具备在航天器舱内组织独立(及有创造性的)活动的的能力。至于其他方面，月球考察任务乘组培训的要求和方法不应有别于“和平”号、国际空间站计划的培训；至于登陆月球的环节，还应与“暴风雪”号培训计划相吻合。

月球任务乘组的主要培训任务有：

(1) 使乘员形成驾驶航天器完成月球计划的整体概念和认识；

(2) 具备与载人航天飞行器舱载服务系统和科研设备的操控和应用相关的综合性知识、技能和能力，包括正常工作模式、备份工作模式及应急情况下的操控及应用；

(3) 具备与月球任务载人航天器舱载系统和有效载荷的技术维护、维修相关的综合性知识、技能和能力；

(4) 具备在飞船发生事故、故障情况下乘组安全和救生的综合性知识、技能和能力；

(5) 使乘组成员具备相互协作的综合能力，以及和地面飞行控制中心人员相互协作的综合能力。

乘组的活动要求航天员对月球计划的飞行有全面的及动态变化的了解，并需要进行大量的常规飞行作业及非正常情况下作业的演练。

月球任务乘组的培训应该含以下 4 个阶段：

(1) 针对预备航天员的基础航天培训；

(2) 航天员按专业分组开展培训；

(3) 确定乘组后按具体飞行任务开展培训；

(4) 航天飞行期间在载人航天飞行器舱内对乘组开展培训。

在某一项具体的航天任务结束后，在飞后阶段组织各项活动，包括飞后再适应、康复、参加飞行结果的分析讨论等。

基础航天培训的主要目的在于使预备航天员掌握航天及与其相关的学科基础，获得航天员 - 试飞员或者航天员 - 研究员的资格。

对航天员按专业分组培训的主要目的在于完善航天员的职业技能，根据月球计划载人航天器的类型或者不同的活动方向对航天员分专业进行培训，研究具体某一类型的载人航天器，研究科研设备并掌握其使用技能，反复练习健康的监督及保持方法，维持较高的工作绩效。

培训中特别重要的一个方向是锻炼机体以对抗航天飞行因素

的影响，并进行月球表面出舱作业的培训。具体包括失重、过载环境下工作时前庭器官的锻炼、各种药物的筛选和极限条件下行动的心理训练。

航天员进入乘组后培训的主要目的是确保整个乘组做好搭乘载人航天器完成具体的月球考察计划的准备。

如果载人月球飞行中出现使用航空-航天飞行器的情况，在航天员的培训大纲中应该设立手动模式驾驶航空-航天飞行器在大气层飞行的训练计划，应利用专门的起飞和着陆动态模拟器进行训练。

在载人航天器舱内开展培训的主要目的是使乘组在长期飞行过程中恢复并保持必要的职业训练水准，并有针对性地在飞行过程中对乘组独立活动的组织能力和技能开展训练。在载人航天器舱内开展的培训任务有：

(1) 定期恢复乘组关于应急飞行程序的知识和技能，目的是使乘组保持随时可以开展应急故障情况下操作的能力；

(2) 在开展重大、关键性飞行任务前对乘组开展训练和练习；

(3) 对那些无法在地面训练过程中进行模拟的飞行程序，在该飞行程序开展之前进行训练和练习；

(4) 针对飞行过程中出现的新任务对乘组进行培训；

(5) 组织并开展对乘组的心理支持。

载人月球考察任务的特点在于需要对地面支持工作进行清晰和明确的组织：支持工作由飞控中心及相关机构和专家共同实施，同时还在舱内通过使用各种信息化设备，包括人工智能系统，来实现对乘组的高水平信息保障。

乘组在完成月球考察飞行后，进入康复阶段，期间开展以下主要措施：

(1) 乘组从返回舱中撤离；

(2) 乘组从着陆地撤离；

- (3) 对乘员实施康复措施及医学检查；
- (4) 抗病毒措施；
- (5) 治疗及预防措施；
- (6) 按照医学研究和试验研究大纲采集飞后基础数据；
- (7) 组织相关机构专家与乘组见面；
- (8) 对飞行结果进行分析处理，为《乘组完成月球计划飞行大纲的快速总结报告》准备材料；
- (9) 起草关于乘组准备及完成飞行大纲结果的分析报告；
- (10) 起草关于飞行指挥中核心指挥组人员工作情况的快速分析报告；
- (11) 对乘组在飞行中的活动进行细致分析；
- (12) 起草关于乘组就月球飞行计划准备大纲完成情况的总结报告。

月球计划航天员培训系统中重要的一个因素是保障培训的流程，其中包括：

- (1) 组织保障(管理)：建立乘组，技术文件保障(舱内及飞行文件)，建立初始培训数据，制定培训过程的大纲、计划、监控和评价方法；
- (2) 软件程序、教学 - 方法保障：研制软件程序、教材及其他教学资料和教学设备；
- (3) 模拟器及教学 - 实验室设备方面的保障。

三、航天员培训综合体系的改进与完善

月球开发过程中出现了一个新任务是近 30 ~ 35 年从未讨论和演练过的——那就是在月球表面低重力条件下航天员的培训任务。20 世纪 60 年代苏联月球计划时曾对该任务进行过研究。然而，在低重力条件下训练用的模拟器和方法设备没有保留下来。相关专家对该问题进行了预分析，认为，可以利用加加林航天员训练

中心的失重实验室作为解决该方法。和零重力训练的主要区别是需要使航天员保持垂直状态和负浮力。

然而，由于存在较大的阻力，水下环境移动中的运动学和动力学参数与真实的条件相差较大。利用水槽作为开展航天员低重力下活动训练方法的合理性，需要在后续工作中进行进一步的讨论。

目前，应该就建造月球表面环境模拟器开展研究和论证工作。研制低重力模拟器并将之应用于航天员的训练，是一项新任务。

同时，在月球开发中还有另一项新任务，也是此前从未解决过的，这就是驾驶月球车在月球表面上移动、操控设备进行月球基地的建造、采集月球矿藏、将工作成果进行运回地球的处理和准备等。

该任务的解决需要以下条件：

- (1) 可以进行月球表面典型条件模拟的试验场；
- (2) 几种可用来模拟在月球表面移动的设备；
- (3) 月球表面环境模拟器。

有必要就该课题开展探索性研究，既需要研制正常模式的模拟器，还要研制非正常模式的模拟器。

有必要针对载人登月飞行过程中在航天器舱内及在月球表面上可能发生的各种情境开展补充分析，以查明哪些影响对航天员来说是极限的。这项工作有助于提前建造航天员培训的技术基础和培训的实施，有助于提高航天飞行的安全性及解决专项飞行任务的效率。

四、航天员培训的技术设备

(一) 月球计划航天员的培训过程中将利用的技术设备

- (1) 培训教室；

(2)功能模拟平台：导航，交会对接，科学实验，舱载无线电系统，虚拟现实系统，舱载服务系统(包括机械臂)；

(3)专业化模拟器：与空间站的交会对接，月面起飞器与月球轨道组合体交会对接，在月面降落并着陆，在月球条件下各项操作的演练；与货运飞船的交会对接；动态驾驶模拟平台。

(4)综合模拟器：空间站、飞船、月球起飞着陆器；

(5)综合训练平台；

(6)真实飞行产品：空间站、飞船、月球起飞着陆器；

(7)航天飞行条件模拟设备：失重水槽，低压舱，离心机(型号为ЦФ-7，ЦФ-18)，极限条件下活动的演练设施(返回舱模拟器和专用设施)，飞行实验室(型号为伊尔-76)；

(8)飞行实验室：МЛК1——用于起飞和上升阶段的专项训练，МЛК2——在大气层中下降及着陆技能的演练。

(二)需要新增的模拟器

对于组织实施月球任务的航天员培训，需要增加加加林中心的模拟器设施：

(1)专项化及综合训练模拟器，用于月球任务飞行器所有舱及舱内设备操作的模拟训练；

(2)综合模拟器(静态)，用于飞行各阶段乘员间(及乘员与飞控中心)配合的训练；

(3)月球轨道对接训练模拟器；

(4)演练登月技能和时间计划的专项模拟器(可利用直升机)；

(5)航天导航专项训练模拟器；

(6)航天员在月面低重力条件下行走技能演练的专项模拟器；

(7)月球车驾驶技能演练的专项模拟器；

(8)将在月球上应用的建设和生产设备的使用及时间计划演练的专项模拟器；

(9)月球表面模拟器，以训练在仅有六分之一重力的月表上

开展作业的技能；

(10) 含有近似于月球土壤的训练基地，以开展在月球土壤上相关作业的模拟训练；

(11) 用于以第二宇宙速度进入大气层并在地球着陆大纲演练的专项模拟器(以离心机为基础)。

目前，在训练过程中对航天飞行极限因素进行模拟：离心机模拟过载，失重飞机(飞行实验室)模拟短时失重，失重水槽模拟水中失重，跳伞模拟自由落体，各种气候地理区域内极限因素最大值时的现实条件。

航天员训练和完成航天飞行的经验证明，加加林中心的训练种类和范围，对于培养航天员掌握航天飞行期间必要的能力和技能来说是足够用的。但是航天飞行实践表明，飞行过程中有可能出现一些对乘组产生极端作用的情境。必须针对国际空间站上、未来的载人航天器舱内及在未来将要探索的行星表面上可能发生各种情境开展补充分析，以查明哪些影响对航天员来说是极限的。这项工作有助于提前建造航天员培训的技术基础和培训的实施，有助于提高航天飞行的安全性及解决专项飞行任务的效率。

为此，探月航天员训练任务的解决需要现在就开展一系列综合工作：对训练任务、目的和方法进行论证，针对航天员训练用模拟器的研制、登月飞行过程中及月球表面上的各种因素的模拟提出建议。

只有当未来登月任务飞船的结构和布局、各种系统的结构、飞行大纲的主要信息明确之后，才有可能制定更加详细的航天员选拔和培训的要求，以及模拟器研制的要求。

当需要在其他国际伙伴的训练基地开展航天员培训时，必须解决月球计划航天员培训完整性的保障问题，并对航天员实施统一的资格认证。

(三) 新技术设备的研制原则

建造模拟器的出发点——是大家都熟悉的原则，也是建立开放的模型系统的原则——统一性和模块性，保障模拟器及其子系统被有效利用及持续发展。这对于地面模拟器系统来说具有特别的现实意义。设计时必须应考虑到近地及星际探索载人飞行系统需要很长一段时间分阶段展开的特点。并且，载人飞行系统各单元的组成和功能也要不断变化。相应地，模拟器应该具备在不影响正常使用的情况下进行多次升级改进和扩展所能解决任务范围的能力。那么，这样的模拟器应被设计为开放的模型系统。

但是，有能力确保不断的设计改进并不是按照开放的模型系统原则建立起来的模拟器的唯一优点。这种构造允许将几个重要的具有保障性的模拟器分系统独立出来，即无论哪一种功能类型和结构的模拟器均包含的分系统，例如通信分系统、视频分系统、供电分系统和网络设备等。这些分系统具有集体保障使用的特点，所以上述分系统的研制可以与专用模型的研制同步进行。

根据加加林中心多年的经验，一个独立专用模拟器的研制及投入使用需要3年以上的时间，而一个独立的综合模拟器的研制则需要4年以上的时间。按照开放的模型系统原则来建造模拟器，可以使模拟器研制及投入使用的周期缩短一年，同时可降低平均30%的成本。

开放的模型系统的思想并不是最新的，但是，在建造复杂的培训系统过程中将其长期持续地贯彻实施是一项重要的学术和技术问题。开放的模型系统在研制、应用及升级改进过程中体现出众多优点，但是要求在系统的设计阶段付出相当大的时间和资源成本，这并不是任何时候都能够做到的。相应地，最高效的设计结果是可以多次使用。因此，建造新的模拟器的重要原则是——重复利用原则，也就是把以前完成论证及经过测试的设计方案和技术产品进行重复利用。根据多种评估，在模拟器上对功能模拟

软件和算法的重复利用可降低 20% ~ 40% 的成本及再研制的时间。图 1 为月球计划中航天员训练模拟器系统方案。

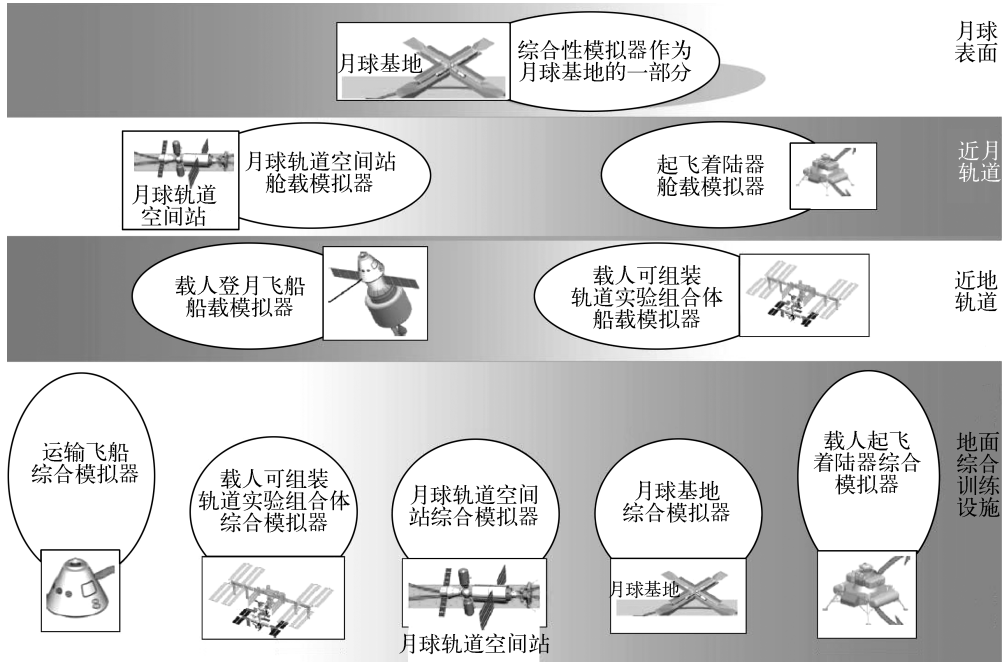


图 1 月球计划中航天员训练模拟器系统方案

月球任务操作员培训任务的多功能性及相互关联的特点，要求建立一个全功能的综合模拟系统，同时也可开展个别更加复杂的关键作业的模拟训练。另一方面，具有相同功能的一些模拟器不仅可以应用在基本培训(例如乘组培训)中，也可以应用在初步学习、飞前培训、独立自我训练阶段以及在轨的训练。同时，航天员不应在熟悉模拟器的使用上耗费过多的时间。以上问题通过模拟器的同等相似原则得到保障。

模拟系统的同等相似原则，要求使用统一的程序单元(如果可能的话则使用统一的设备单元)，这些单元用在各种功能模拟器的分系统中。例如，在国际空间站俄罗斯舱段“星辰”和“曙光”轨道舱模拟器内，以及在使用加加林中心航天员培训用计算机模拟系统时，航天员操作和接触的是同等模拟深度和复杂程度的舱

载系统模型，而教学过程的监控和指挥使用的是统一和习惯的操作方式。这是因为，无论是在全尺寸的模拟器上还是在计算机模拟系统中，应用的是同样的专用数学软件。

根据某机构的评估，目前全世界航天员的数量是近 300 人，到 2020 年时人数将增加一倍，至 2030 年将增加两倍，而到 2040 年将增加至现在的 8 倍。这一数字使我们可以预见，俄罗斯未来的航天员培训工作的规模和强度将有显著增加。因此，确保航天员训练中心培训能力的有效提高是非常现实的一个任务，而这一任务的解决将依靠模拟器的开放性原则、重复使用单元及同等相似原则来实现。可以预见，每台模拟器在单位时间内有保障的通过能力将具有重要意义。对“联盟”号载人飞船综合模拟器负载的多年分析表明，单台模拟器通过能力的最高储备水平仅为 18%，而正常的水平应是年工作时间的 50%（计算时考虑到了模拟器的维护、测试及完善所占用的时间）。

具备一定的储备是在规定时间内同时执行多项航天计划，甚至是在模拟器进行改进的条件下，乘组培训质量和培训连续性得以保障的必要条件。

（中国航天员科研训练中心）