

# 亚高原地区弹射救生控制技术研究

苏炳君<sup>1,3</sup>, 戴述银<sup>2</sup>, 周方<sup>1</sup>, 林贵平<sup>3</sup>

(1. 航宇救生装备有限公司, 湖北襄樊 441003; 2. 中国人民解放军驻航宇救生装备有限公司军事代表室, 湖北襄樊 441003; 3. 北京航空航天大学航空科学与工程学院, 北京 100083)

[摘要] 分析了目前弹射救生装备在亚高原地区使用存在的不足之处, 提出了机械式和电子式双态控制器的弹射座椅在目前装备配套关系不变的情况下, 既能保证亚高原地区的安全救生, 又能保证平原地区低空不利姿态下救生性能不降低的解决方案, 并提出了下一步发展的建议。

[关键词] 亚高原地区; 弹射救生; 双态控制器

[中图分类号] V244.2 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2007)06-0038-05

火箭弹射救生座椅是战斗飞机的重要装备, 正常飞行时为飞行员提供舒适的乘坐环境, 有效约束与抵御飞行过载的负面效应; 飞机遇险时, 能够可靠地弹射离机, 挽救飞行员的生命, 被誉为飞行员的“蓝天生命之舟”。弹射救生系统由弹射座椅和降落伞系统组成。弹射座椅是利用弹射动力把飞行员连同座椅弹离飞机的一种装置, 飞行员脱离飞机后, 稳定伞使人椅系统稳定、减速, 当人椅系统减速到一定程度, 人椅分离, 救生伞张开, 飞行员乘救生伞稳降着陆或着水。

从第二次世界大战末期出现弹射座椅以来, 已经过了第一代、第二代和第三代弹射座椅的发展阶段: 第一代弹射座椅为弹道式弹射座椅, 主要解决乘员在中低速情况下的迅速离机问题; 第二代弹射座椅为火箭弹射座椅, 为了解决低空低速安全救生的问题, 在第一代弹射座椅上增加了火箭助推装置, 从而实现了零-零弹射救生; 第三代弹射座椅为速度-高度-时间双态控制的火箭弹射座椅, 可根据弹射离机时的速度、高度选择不同的延迟时间控制射救生伞及人椅分离的时机, 在一定程度上提高了低空、中低速不利姿态下的救生性能。

近十多年来, 我国弹射救生技术发展很快, 先后研制成功多个型号的第三代弹射座椅, 接近发达

国家现役主战机种普遍装备的水平<sup>[1]</sup>。第三代弹射座椅的标志性特征之一是配备了双态程序控制器, 通过感受弹射瞬间的高度和速度, 实现对人椅分离/射救生伞时间的控制。它与高度-时间单态控制器、手动应急分离装置并联配置, 双态程序控制器的应用显著提高了低空复杂姿态的救生性能。目前使用的双态程序控制器有机械式和电子式两种, 其工作原理都是根据采集到的高度和速度值, 输出一个可变的时间量值; 其区别在于内部结构和输出时间的变化规律, 机械式为固定的线性, 电子式为可根据不同的要求调整的非线性。

目前使用的弹射座椅一般是为平原地区研制的。针对我国幅员辽阔、地形复杂的特点, 研制了具有高原救生性能的弹射救生装备。它是在平原座椅的基础上(平原状态), 通过换装座椅救生伞等部件, 并调整开伞高度等参数实现的(高原状态)。目前弹射座椅在平原状态时开伞高度为3 000 m, 高原状态开伞高度为7 000 m; 当飞行区域的平均海拔在2 500 m以上时, 换装为高原状态。

## 1 亚高原地区救生问题的提出

我国除了西北部平均海拔3 000 m以上的青藏高原(高原状态)和东部大部分海拔500 m以下的

丘陵和平原分布区（平原状态）外，还有相当大一部分地区平均海拔在1 000~2 500 m的亚高原地区，如内蒙古高原、黄土高原、云贵高原等。对于高原、平原和绝大多数亚高原地区（如内蒙古高原和黄土高原，平均海拔均在1 000 m左右，且地势坦荡），座椅的平原状态或高原状态能保证这些区域的安全救生，但对于特殊的飞行区域，其平均海拔未超过2 500 m，而飞行区域内又有一定范围海拔超过3 000 m甚至4 000 m，如果按照目前的方式简单地划分为平原或高原两种高度显得不尽合理，需要重新审视和认真研究。

比如，某机场海拔1 500 m左右，坐落在某山脉脚下，附近部分山脉海拔3 500~4 000 m，局部山脉则超过4 000 m，属于典型的亚高原地区。弹射救生装备保持平原状态（即3 000 m人椅分离），一旦海拔超过3 000 m区域弹射，如果不启动应急分离系统，到着陆时救生伞也未射出，将导致弹射救生失败。直接换装高原装备虽解决了海拔3 000 m以上地区的弹射救生问题，其代价是牺牲了作为第三代弹射座椅的重要性能标志——良好的低空不利姿态下的弹射救生性能。在3 000 m以下弹射，将增加约0.8 s的时间延迟。对于低空状态，从高下沉率或大俯冲角快速下降的飞机上弹射，0.8 s的延迟将会导致救生失败。从中外统计数据来看，发生在起飞、着陆低空阶段的弹射概率较大。为解决海拔3 000 m以上亚高原地区救生问题而直接换装高原装备，牺牲低空不利姿态下的救生性能来换取亚高原地区小概率弹射成功，显然是不可取的，必须研究相应的措施，既保证3 000 m以下弹射时低空不利姿态下的救生性能，又解决局部区域海拔超过3 000 m的安全救生问题。

## 2 国外装备现状

### 2.1 俄罗斯 K36 座椅<sup>[1]</sup>

俄罗斯 K36 座椅配备了 ППК-1М-T424 和 ППК-У-T424 两块半自动开伞器和 1 块 КПА-4М 自动开伞器。КПА-4М 和 ППК-1М-T424 组合起来构成一套速度-高度-时间双态控制器，КПА-4М 从飞机引入动静压信号来感受飞机飞行速度，弹射启动后根据弹射时的不同速度延迟不同的时间（0~1.75 s）启动 ППК-1М-T424，而 ППК-1М-T424 则根据高度来控制射伞分离的时机；ППК-У-T424 为高度-时间单态控制器。

ППК-1М-T424 和 ППК-У-T424 延迟时间和高度的设定见表 1。

表 1 半自动开伞器的设定高度及延迟时间  
Table 1 Altitude and delay time of semiautomatic open parachute

地形海拔/m	ППК-1М-T424		ППК-У-T424	
	设定高度/m	延迟时间/s	设定高度/m	延迟时间/s
<550	2 000	0.7		
>550	3 000	1.0		
<4 000			5 000	4.0
>4 000			6 000	4.0

由表 1 可知，КПА-4М 和 ППК-1М-T424 组合起来构成的双态控制器保证了海拔2 000 m或3 000 m以下的低空弹射救生性能；ППК-У-T424 解决了海拔3 000~6 000 m范围的救生问题。在海拔小于2 000 m或3 000 m的情况下，ППК-У-T424 是双态控制系统的备份；在海拔超过2 000 m或3 000 m情况下，只有一套 ППК-У-T424 起作用，且 K36 座椅无应急手动分离系统。

### 2.2 美国 NACES 和 ACES II 座椅<sup>[2,3]</sup>

美国 NACES 和 ACES II 座椅均采用电子式程序控制器，按高度、速度 6 种弹射状态对人椅分离/射救生伞时间进行控制（见表 2），解决 0~18 000 英尺（5 486 m）各高度区域的安全救生。

表 2 开伞延迟时间

Table 2 Open parachute delay time

状态	高度/m	空速/n mile·h <sup>-1</sup>	延迟时间/s
状态 1		0~350	0.35
状态 2	<2 438	350~500	1
状态 3		500~600	1.2
状态 4	2 438~5 486	所有速度	3
状态 5	>5 486	所有速度	2.8+t*

\* t 为人椅系统下降到 5 486 m 的时间

## 3 我国亚高原地区救生方案

目前我国自行研制的第三代弹射座椅均有两套自动分离系统，分别由速度-高度-时间双态控制器（有机械式和电子式两种形式）和高度-时间单态控制器控制；其中单态控制器只是高度-时间控制机构，是双态控制器的一个备份开伞器。

在平原状态下，两套控制器的高度均设定在 3 000 m。双态控制器根据弹射时的速度和高度，选

择不同的延迟时间控制人椅分离；单态控制器的时间则设定为一定值  $t_1$ ，如图 1 所示。

单态控制器工作程序：

- 1) 高度小于 3 000 m 时，延时  $t_1$  启动分离系统工作；
- 2) 高度大于 3 000 m 时，待人一椅系统乘稳定伞下降至 3 000 m，再延时  $t_1$ ，启动分离系统工作。

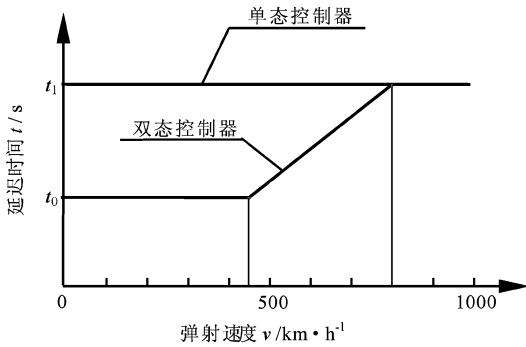


图 1 平原状态控制率  
Fig.1 Control law for plain area

双态控制器工作程序：

- 1) 高度小于 3 000 m 时，按预先设定的速度—时间控制曲线延时，启动分离系统工作；
- 2) 高度大于 3 000 m 时，先按预先设定的速度—时间控制曲线延时，若此时高度已经降到 3 000 m，则立即启动分离系统工作；若高度仍大于 3 000 m，则待人一椅系统乘稳定伞下降至 3 000 m 后，启动分离系统工作。

在高原状态下，救生伞换装为高原型，两套控制器的高度均设定在 7 000 m，单态控制器的人椅分离时间设定在  $t_2$  ( $t_2 = t_1 + \Delta t$ )；双态控制器的人椅分离时间在平原状态控制时间的基础上增加  $\Delta t$ 。

对特殊的亚高原区域提出两套方案：

1) 配装机械式双态控制器的弹射座椅方案。目前我国平原型救生伞在开伞速度指标下，开伞高度指标一般为海拔 3 000 m 和 4 000 m。随着高度的增加，救生伞的开伞动载增大，人椅系统减速到救生伞允许开伞速度的时间也增长。因此，提高开伞高度的同时必须增加开伞延迟时间。为了既解决高海拔地区的救生问题，又不降低低空不利姿态下的救生性能，提出了双态控制器保持平原状态，在提高单态控制器开伞高度的同时，调整开伞延迟时间（见图 2）：**a.** 将单态控制器工作高度由 3 000 m 调到 4 000 m 或 5 000 m，延迟时间由  $t_1$  调整为  $t'_1$  ( $t'_1 =$

$t_1 + \Delta t$ )；**b.** 机械式双态控制器工作高度以及延迟时间不变，与平原状态一样。将单态控制器高度由 3 000 m 调到 4 000 m 或 5 000 m，根据确定的开伞高度 4 000/5 000 m，计算出人椅系统在该高度以最大速度弹射时减速到救生伞允许的开伞速度所需要的时间为  $t'_1$ ，将延迟时间由  $t_1$  调到  $t'_1$ 。这套单态控制系统有效地解决了海拔 3 000~4 000/5 000 m 区域的救生问题。而双态控制器与平原状态一样，在 3 000 m 以下弹射时首先是双态控制器起作用，从而保留了第三代弹射座椅原有的低空不利姿态下的弹射救生性能。

亚高原地区既不同于高原，又有别于平原，救生方案的制定既不能影响平原救生性能，又要兼顾海拔较高区域的救生性能。这套方案是目前在不改变弹射座椅结构和救生伞配套关系的情况下，解决亚高原地区弹射救生的有效方法。

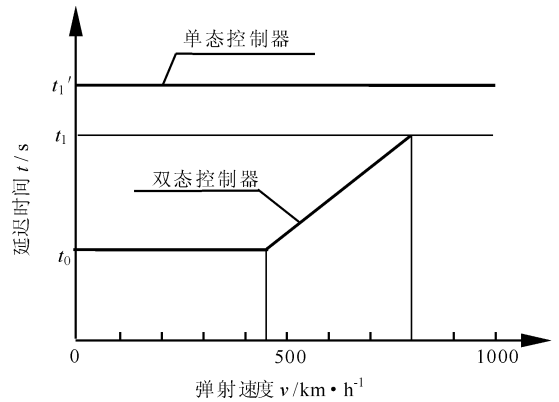


图 2 高原状态控制率  
Fig.2 Control law for plateau

2) 配装电子式双态控制器的方案。

方案 1：**a.** 单态控制器工作高度由 3 000 m 调到 4 000 或 5 000 m，延迟时间由  $t_1$  调到  $t'_1$  ( $t'_1 = t_1 + \Delta t$ )；**b.** 调整电子式双态控制器的控制逻辑：启动弹射，先按照平原状态的延迟时间延迟，延迟结束时，当高度不大于 3 000 m，立即输出信号启动人椅分离；当高度在 3 000~4 000 m，再延迟  $\Delta t_1$  后启动人椅分离；当高度在 4 000~5 000 m，再延迟  $\Delta t_2$  后启动人椅分离；当高度大于 5 000 m，则待人椅系统下降到 5 000 m 后再延迟  $\Delta t_3$  启动人椅分离。

$\Delta t_1$ ， $\Delta t_2$  分别根据 4 000 m 和 5 000 m 高度时人椅系统减速到允许的开伞速度（随高度的增加而减小）所需要的时间曲线和 3 000 m 高度时人椅系统减速到允许的开伞速度的延迟时间曲线来确定，取

各速度点最大差值； $\Delta t_1$ ， $\Delta t_2$ ， $\Delta t_3$  由理论计算确定。

方案 2：a. 单态控制器工作高度由 3 000 m 调到 4 000 或 5 000 m，延迟时间由  $t_1$  调到  $t'_1$  ( $t'_1 = t_1 + \Delta t$ )；b. 调整电子式双态控制器的控制软件：根据 3 000 m，4 000 m，5 000 m 高度时人椅系统减速到各自高度允许开伞速度的延迟时间曲线来控制人椅分离，如图 3 所示。

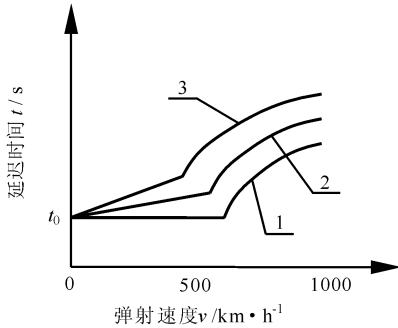


图 3 亚高原地区控制率

Fig.3 Control law for sub-plateau

弹射后人椅系统的高度不大于 3 000 m 时，电子式程序控制器按照曲线 1 延迟时间控制人椅分离；当高度在 3 000~4 000 m 时，按照曲线 2 控制人椅分离；当高度在 4 000~5 000 m 时，按照曲线 3 控制人椅分离；如果弹射后高度大于 5 000 m，则按照曲线 3 延迟  $t_0 \sim t$  的前部分时间，待下降到 5 000 m 再延迟  $t_0 \sim t$  剩余的时间。

根据需要，可以将高度细分，设置更多的控制时间曲线，以提高控制精度。

方案 1 和方案 2 均能保证在解决亚高原救生问题的同时不降低平原地区低空不利姿态下的救生性能，方案 2 在保证海拔 3 000 m 以上区域的中低速救生性能上更好。

## 4 电子式和机械式双态控制器之优劣

1) 系统可靠性。装配机械式双态控制器弹射座椅的亚高原救生方案是将原有的单态控制器作为双态控制器的一个备份开伞器，在 3 000 m 以下弹射时，单态控制器是双态控制器的一个备份开伞器，只是人椅分离时间比原来要长一点；在 3 000 m 以上弹射时，单态控制器控制的分离系统作为主系统，双态控制器将不起作用，可靠性稍有降低。

装配电子式双态控制器弹射座椅的亚高原救生

方案始终把电子式双态控制器作为主控制系统，单态控制器则是备份系统，因此在 3 000 m 以上亚高原区域的可靠性比机械式双态控制器弹射座椅要高。

2) 低空不利姿态下的救生性能。电子式双态控制器不论在什么高度都是根据速度、高度延迟不同的时间控制人椅分离，保证不利姿态下的救生性能；机械式双态控制器弹射座椅为了保证 3 000 m 以下区域不利姿态下的救生性能，只在 3 000 m 以下起作用，3 000 m 以上区域完全依靠单态控制器延迟一固定时间启动人椅分离，延迟时间根据最大弹射速度确定。在中低速情况下该固定延迟时间降低了救生性能。

3) 控制精度。电子式双态控制器采用的电子控制技术具有功能扩展的潜力，能够根据不同高度设定若干不同的延迟时间曲线，保证不同地形高度下的救生性能，控制精度高；机械式双态控制器只能设定一种时间—高度控制状态，不能随地形高度的变化自行调节。

显然，电子式双态控制器解决不同区域救生问题比机械式控制器有优势，且能够进一步细化控制程序，提高各个高度段的救生性能；经过拓展可满足更高高度地区的救生需求。

## 5 进一步的思考

笔者提出了在现有座椅与救生伞配套关系不变的情况下解决亚高原救生的思路。进一步分析救生伞系统，提高救生伞性能，对解决亚高原救生问题将起到很大作用。

1) 提高救生伞的开伞高度和速度。由于受到救生伞现有技术指标的限制，在提高开伞高度的情况下，救生伞开伞动载将增大，允许的开伞速度必须降低，从启动弹射到射救生伞的延迟时间必然延长，导致救生性能的降低。为此提出研制一种新型救生伞，其开伞高度在 5 000 m 时，允许的开伞速度在目前平原型救生伞的水平上要有所提高。在飞行区标高小于 5 000 m 时，装配该救生伞，覆盖平原和亚高原地区，不仅解决了亚高原地区救生问题，而且提高了救生性能；当飞行区标高大于 5 000 m 时，换装高原型救生伞。

2) 研制满足不同区域救生需求的通用型救生伞。笔者的改进建议虽然通过换装平原/高原状态的救生伞、调整双态控制器和单态控制器的工作高

度和延迟时间,能够解决不同区域的救生,但是从平原状态到高原状态的调整给保障工作带来了一定的难度。对于飞行时间长、飞行区域广的机种,如果飞行区域跨越平原、亚高原、高原等地域,那么在起飞前只有换装高原状态,在平原区域发生应急弹射时,配装机械式双态控制器的座椅在低空不利姿态下的救生性能会降低。因此,建议研制一种满足平原、亚高原、高原等不同区域救生需求的通用型救生伞。

#### 参考文献

- [ 1 ] 韩梦珍. 国外航空救生技术现状及展望 [J]. 航空科学技术, 2003, (2): 22~25
- [ 2 ] Robert B. The light occupant weight ejection seat test (lowest) program and light weight escape issues from the ACESII ejection seat [A]. Mark I D. SAFE 34th Annual Symposium [C]. Nevada, 1996. 81~85
- [ 3 ] Cynthia L T. Mechanical analysis of the movements used during ejection in the NACES and LS' ejection seats [A]. Thomasson F T. SAFE 33rd Annual Symposium [C]. Nevada, 1995. 261~273

## Study on Ejection Escape Technology in Sub-plateau Regions

Su Bingjun<sup>1,3</sup>, Dai Shuyin<sup>2</sup>, Zhou Fang<sup>1</sup>, Lin Guiping<sup>3</sup>

(1. *Aerospace Life-support Industries, Ltd., Xiangfan, Hubei 441003, China;*

2. *Military Representative Office, Aerospace Life-support Industries, Ltd., CPLA, Xiangfan, Hubei 441003, China;*

3. *School of Aeronautic Science and Engineering, Beihang University, Beijing 100083, China)*

[**Abstract**] This paper has analyzed deficiencies with the current aircrew escape system for sub-plateau regions and a proposal has been put forward that the ejection seat is to be equipped with a dual mode sequencer including mechanical and electrical sequencers, so as to ensure safe escape, under the condition that the current equipment configuration is kept unchanged, in sub-plateau regions and without reducing escape performance at low altitude under adverse attitude conditions in plain regions.

[**Key words**] sub-plateau; ejection survival; dual mode sequencer

(cont. from p.37)

is 105 million, the aviation is 16.12 million and water carriage is 19.43 million. As a short breaking event, it starts from March in 2003 for the crisis formation, breaks out in whole from May to June, and enters the decay and comeback from July to August, and has a compensating from November to December after the crisis. Due to the difference in transport location and epidemic situation, the loss of passenger transport impacted by SARS in 28 provinces in China can be classified into 4 types. Guangdong, Sichuan and Hebei suffer the most and the loss is over 100 million person-times. The relativity analysis is carried out based on the loss of transportation, cardinal number in 2003 and the number of infect person of SARS, and a new spatial forecast model is put forward for space forecast in transport crisis. The model shows that the marginal coefficient of transportation cardinal number is 0.788 46, the marginal coefficient of SARS patients is 0.075 868.

[**Key words**] SARS crisis; background trend line; loss of transportation; terrain distribution; spatial model