

秘 密

航空军医进修班讲稿汇编

上 册

空军后勤部卫生部

航空医学中呼吸纯氧的有害作用

王 相 林

关于呼吸高浓度氧气的有害作用，早在十八世纪许多研究者就已经注意到了。此后，研究证明，在高压条件下呼吸氧气可以引起氧中毒。而在一个大气压下，短时间呼吸纯氧对人体无重大影响，长时间呼吸纯氧就会使人产生胸骨后疼痛、咳嗽、耳堵塞感、体温上升、肺活量减少、全身无力、白血球增多等症状。而在航空医学中所迁到的，是低压下呼吸纯氧气和机动飞行时呼吸纯氧气对人体的影响问题。

一般认为，吸入气中氧分压低于425毫米汞柱时，对人体是无害的。

Becker—Freyseng和Clamann二氏1942年在低压舱9000米高度（压力为230毫米汞柱）呼吸82%的氧气（分压为189毫米汞柱）停留70小时，除腹胀以及由此引起的轻度换气过度和肺泡二氧化碳分压减少外，未发生任何症状。他们的结论是，在3700米以上高度长期呼吸纯氧不会引起任何症状，因此在飞行时呼吸氧气是安全的。他们还提出了高度（压力）和氧浓度的关系（见图1）。

Michce等人1963年将6名被试者在总压为513毫米汞柱，氧分压为418毫米汞柱的条件下试验了7天，进一步证实了425毫米汞柱这一中毒界限的正确性。

但是也有许多作者指出，即便氧分压低于425毫米汞柱，也要考虑到暴露的时间问题。

+G_z 过载和呼吸纯氧复合作用对人体的影响，也是多年来航空医学中论述较多的一个课题。

1958年Keefe报导了一些英国皇家空军的飞行员在飞行时出现了无力性的深呼吸和胸痛，X线多次证明有肺萎缩现象。

J·Ernsting 1960年对107名飞行员进行了调查，结果证明，咳嗽是最普通的症状，发病率为38%，咳嗽合并呼吸困难的有25%，咳嗽、呼吸困难再合并胸痛的有20%。

继这之后，E·Langdon 1961年报导美国空军两个基地战斗机飞行员中，发现有综合症状的34例，其中有31人有深呼吸性的呼吸困难，19人有咳嗽合并胸痛或呼吸困难。

他们认为，飞行人员一般发生的症状是相似的。通常是在解脱安全带和伞带站起来时，

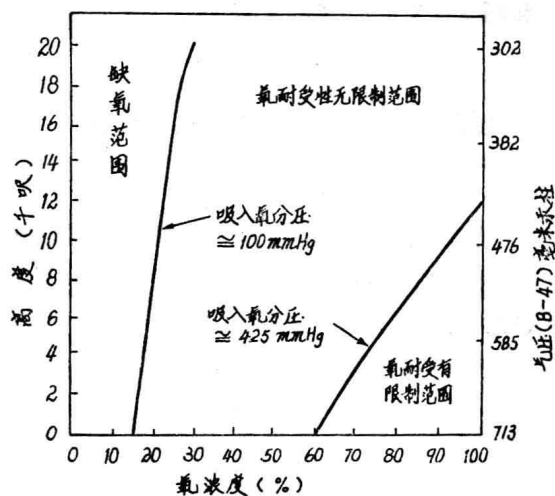


图1. 氧耐受曲线

发生咳嗽，并往往伴有呼吸困难，有时持续片刻，有时持续到飞行后10~15分钟，个别人持续到30~120分钟。这些症状很少在同一人每次飞行后都发生，但不少人在大部分飞行后都发生。

症状的发生率随着机种的类型以及飞行科目不同而改变，也就是与呼吸的氧气和加速度有关。

J•Ernsting 1960年报导，“猎人式”飞机的飞行员大约有80%发生症状；而“坎伯拉”飞机的飞行员则几乎无任何症状；“标枪式”和“快速式”飞机的飞行员有20~40%飞行后出现症状；“流星式”飞机的飞行员很少有飞行后呼吸困难。这些飞机的差别是“猎人式”飞机的飞行员暴露在高G值的加速度时是呼吸100%的纯氧。而“坎伯拉”飞机的飞行员虽然亦是呼吸100%的纯氧，但并不暴露在高G值的加速度下；发生率很低的飞机的飞行员虽然暴露在中等G值的加速度下，但呼吸的是空气和氧的混合气。

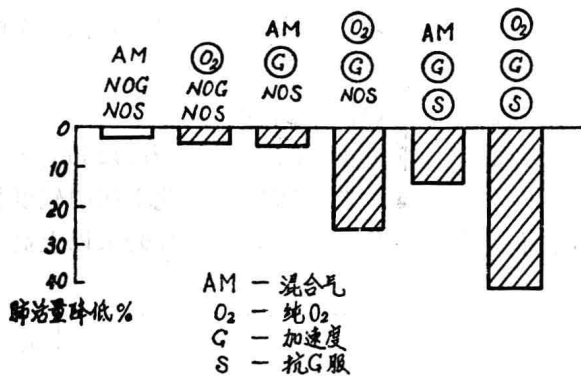


图2. 六种飞行后肺活量的变化情况

Green和Burgess 1962年在13名飞行员中进行了飞行试验，每次飞行前都预先确定了飞行内容，研究在各种联合作用中的加速度、氧气和抗G服的影响。结果表明，在高G值飞行时呼吸纯氧的飞行员，肺的总容量有较大的变化，在6名飞行员中平均降低2.15升。呼吸混合气的飞行员平均降低0.95升。穿抗G服的降低2.15升比不穿抗G服的（1.3升）下降明显。图2表示6种飞行后肺活量的变化情况。

当呼吸纯氧、加速度、穿抗G服三种因素同时存在时，肺活量减少最大。

上述呼吸系统症状和肺功能改变同样在离心机试验中得到了证实。Hyde及其同事（1963年）利用离心机在17名受试者身上进行了研究，试验结果如下表。

试验条件 (每次3分钟)	肺活量百分比变化	
	$\frac{\text{对照} - \text{转后}}{\text{对照}} \times 100$	
	空气	氧气
+ G _z 穿抗G服	—	Nc
不穿抗G服	—	Nc
+ 3G _z 穿抗G服	Nc	-20%
不穿抗G服	Nc	Nc
+ 6G × 常压下	-6%	-40%
每G呼吸2mmHg正压	—	-40%

Nc表示没有意义性的变化

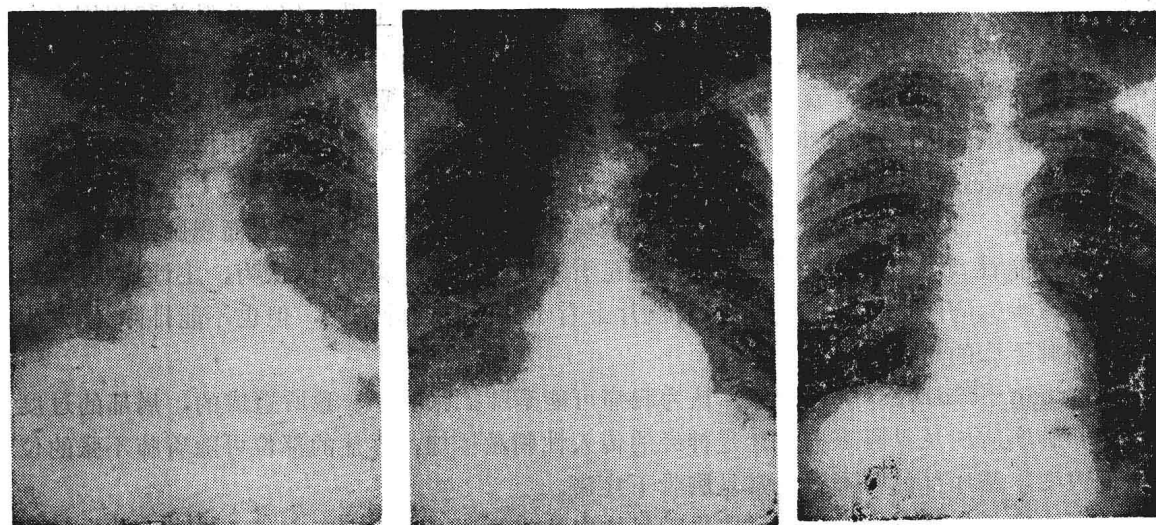
М.А.Тухонов等(1978年)用6名受试者在离心机上进行了试验,受试者穿抗G服,分别呼吸空气和氧气,受到8~9个 $+G_z$ 的作用20~30秒。结果认为,呼吸空气组在加速度作用下,受试者没有发生任何呼吸系统紊乱和不良感觉。但呼吸氧气组大多数受试者出现呼吸紊乱综合症,感到胸痛、咳嗽、严重的有明显的肺不张,肺活量下降20~40%;症状持续15~30分钟,个别胸痛持续数小时。

目前我军使用的供氧装备,可以根据实际需要自动的供给混合氧或纯氧,亦可由人工来控制。在平时飞行训练中,绝大多数人是使用混合氧,但也有少数人喜欢用纯氧。我们对5个歼六机飞行团221名飞行员进行过调查,发现有14人在飞行训练中喜欢用纯氧,其原因不一,有的“怕缺氧长白发”,有的“怕拉负荷面罩漏气”等等。这14人中有6人主诉飞行后有咳嗽、胸闷、胸发紧等症状。

同时,我们对116名年龄为20~44岁的歼六、歼七机健康飞行员进行了飞行实验,其中80人穿抗荷裤、呼吸纯氧,飞行了95次。飞行科目为战乙、战丙、29、24练习等,最大 $+G_z$ 值为4.0~7.8G,飞行时间为17~55分钟。39人穿抗荷裤、呼吸混合氧飞行了78次,飞行科目为战乙、战丙、307、130练习等,最大 $+G_z$ 为4.2~7.5G,飞行时间为16~50分钟。

实验结果是,呼吸纯氧组飞行后主诉咳嗽的有38人次(40%);胸闷、胸部不适的25人次(26.32%)咳嗽合并胸闷不适的19人次(20%),其它16人次(16.84%)。咳嗽是主诉最多的症状,为阵发性干咳、无分泌物、深吸气时加重、多发生在飞行员下飞机后,个别人在空中飞行时也时有发生。一般在15~30分钟后消失,个别人在2天后才消失。主诉胸闷和胸部不适的人都感到“气不够用”、“胸部发紧”“深吸几口气才舒服”。主诉咳嗽的人半数伴有胸闷。有2人主诉胸痛。

呼吸纯氧者最大肺活量减少0.5升以上的有14人,减少最多的为2升。胸部X线拍片发现3人有明显的肺基底部肺不张。例如:谈××胸片上可见两肺下部和横膈上部有横行条状致密阴影,两侧横膈略抬高,肺纹理变粗,为节段性肺不张,5小时后两肺膈上方横行条状阴影消失,29小时后完全恢复正常(图3)。占××胸片上可见两肺理增多、两肋



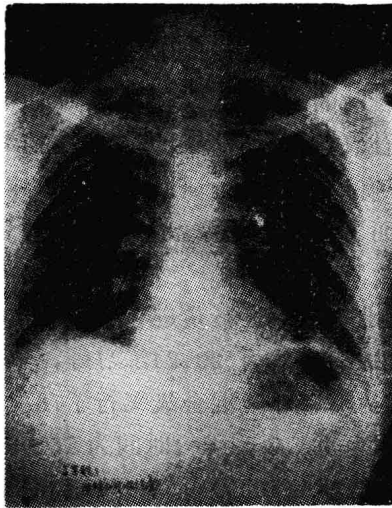
30分钟

5小时

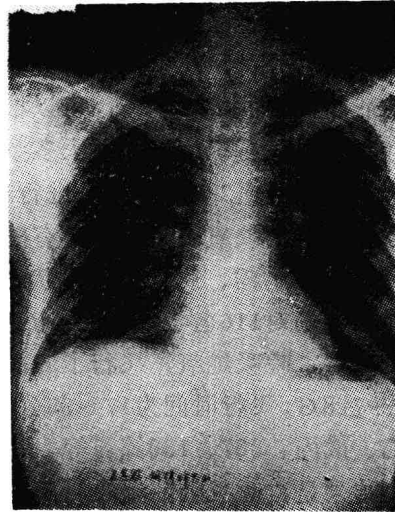
29小时

图 3

膈角变钝，右侧横膈呈胸膜牵拉样向上膨突，为圆形肺不张，72小时后，两肋膈角变锐、右侧横膈变平滑、胸膜牵拉样膨突消失（图4）



飞行30分钟



飞行72小时

图 4

所有呼吸混合氧的被试者均无主诉症状，最大肺活量只有1人减少0.5升以上。

上述实验结果与文献报告是一致的，证明飞行过载、呼吸纯氧和穿抗荷裤的复合作用对飞行员的肺功能是有一定不良影响的，使飞行员在飞行后发生咳嗽、胸闷、胸部不适等呼吸系统症状和肺不张。

呼吸综合症的发生原因是复杂的。M·A·Тухонов认为直接的原因是由于吸入气中缺少惰性气体而产生所谓闭塞性和压缩性肺不张所致。当呼吸道被分泌物阻塞或在过载作用下肺组织变形压缩，代偿服和抗G服的腹囊压迫胸廓或膈肌上升，使部分肺泡和周围大气隔绝，在这些肺泡中的氧气被血红蛋白吸收，其速度比吸收空气快63倍，二氧化碳也被血中碱性物质吸收，使肺泡容积变小，乃至塌陷，即引起肺不张。另外有人认为是由于肺脏受累部分的水肿造成的，加速度使毛细血管压力升高以及纯氧的毒性作用使毛细血管的通透性增加，引起肺水肿，甚至梗塞。

胸部X线拍片上所看到的肺不张与肺泡受损的多少有关，只有当大面积肺泡萎陷后，胸片上才能看到，个别、少数的肺泡萎陷是看不出来的，所以，可以认为，主诉症状明显，肺活量减少0.5升以上的被试者，尽管胸片上看不到明显的肺不张，但也不能排除有发生小面积肺不张的可能性。

Green和Burgess（1962年）认为胸痛可能是肺扩张的不一致所造成的，局部的过度膨胀和肺实质内及纵膈末梢的迷走神经的传入性刺激增加，疼痛的部位可随着肺不张的位置而改变，基底部的肺不张通常是胸骨下疼痛。

高浓度氧气的有害作用不仅取决于气体中的氧分压，也决定于它的含量。在相同的氧分压下有氮气和它其它惰性气体存在，它的有害作用就降低。

Ф.Б.БуБунчу (1966年) 报导, 人在含50%氧和50%氮的大气中长时间停留, 不会引起任何病理现象。

Corglles和Birufawn (1963年) 指出, 在加速度作用前吸入含20%氮的混合气, 肺不张的产生明显降低。

我们的上述实验结果和部队调查亦表明, 使用目前部队的供氧装备, 呼吸混合氧, 一般是不会引起肺不张的。

英国J.Enrsting认为呼吸含40%和60%氧的混合气就能预防加速度性肺不张。

关于机动飞行时合理的用氧问题, 首先是应满足航空供氧的生理学要求, 保证飞行员不发生缺氧症, 在此前提下亦应充分考虑发生高空减压障碍和加速度肺不张的问题, 在平时训练飞行中, 从预防加速度性肺不张和节约用氧角度讲, 机动飞行时正常供氧不宜呼吸纯氧。

航空供氧系统的发展及趋势

季 杨

航空供氧系统的作用，是防止飞行人员在飞行过程中发生缺氧，保证飞行人员在正常和应急飞行状态的飞行能力。

近些年来世界主要军事大国在发展军事航空方面，按照自己的战术技术思想，不断改进和完善现代飞机的战术技术性能。对飞行人员的供氧系统也相应地提出新的技术要求。

五十年代到六十年代中期，歼击机发展的主要特点，是突出高升限和大速度性能，在设计供氧系统方面的主导思想，是提高加压呼吸余压值，扩大人体体表代偿面积。系统配套密闭头盔、分压服、全压服（美国海军用），并大量装备一线作战飞机。

近年来，英、美和苏联在发展第二代作战飞机后期机种，突出低空大速度，高机动性为主的战术技术性能。飞行空域和空战大都在18~12公里以下高度。因此，在供氧防护的研究中重视研究相应的供氧生理标准、飞行人员个体供氧防护装具配套技术方案，保证飞行人员在新的飞行环境中能有较良好的飞行能力，较充分地发挥飞机的战术技术性能。

英、美对空军飞行人员供氧系统的设计思想，侧重装备简化，保证短时间的应急救生。苏联空军飞行人员供氧系统，侧重综合防护，保证较长的安全应急救生时间。

由于英、美和苏联在飞行人员供氧系统设计技术指导思想不同，在同一类战术技术性能的飞机上，所使用的供氧系统供氧生理标准，飞行人员个体供氧装具配套选择上各有侧重。目前都研究了适应新型作战机种飞行人员生理特点，系统配套较完善的标准序列供氧系统。本文将简要介绍英国空军飞行人员供氧系统和苏联空军飞行人员供氧系统的发展现状及趋势。

一、英国皇家空军囊式代偿加压供氧系统：

（一）囊式代偿加压供氧系统的发展：

根据高空生理研究，飞机座舱高度超过12公里，对飞行人员需要加压供氧。呼吸余压值超过25~30mmHg，在人体表面应实施对抗压（代偿压），其压力值应与呼吸余压值相一致。作用于人体表面的压力，由气体充入高空供氧防护特制服装形成。这类服装目前有三种结构形式：一种是气囊式结构，气体充入囊式背心或整体囊式服，对人体表面直接加压，其加压原理见（图一），此种服装称为囊式体表代偿服；第二种是管式结构，管道通常置于服装的二侧，所以称之为侧管代偿服装。管内充入气体，由“8”字带型绞盘装置

(张紧装置)，收紧人体表面服装，对体表实施机械压力。侧管代偿服的加压原理见(图二)；第三种是气囊和侧管相结合的供氧防护服装，称为联合代偿服。

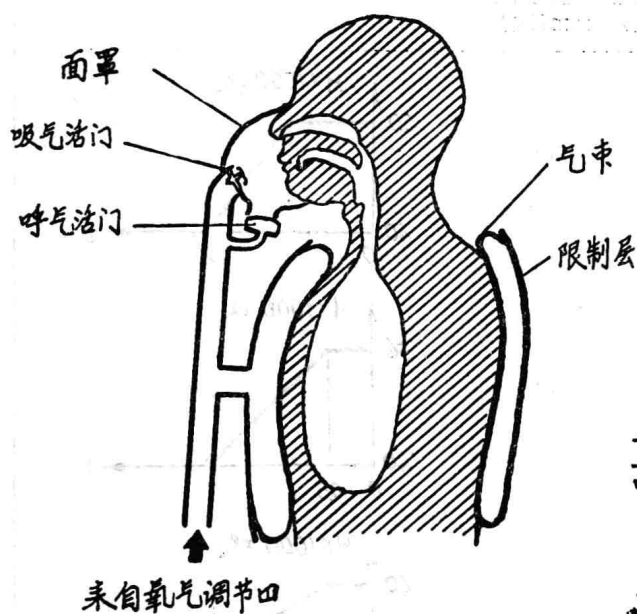


图1. 束式服加压原理示意图

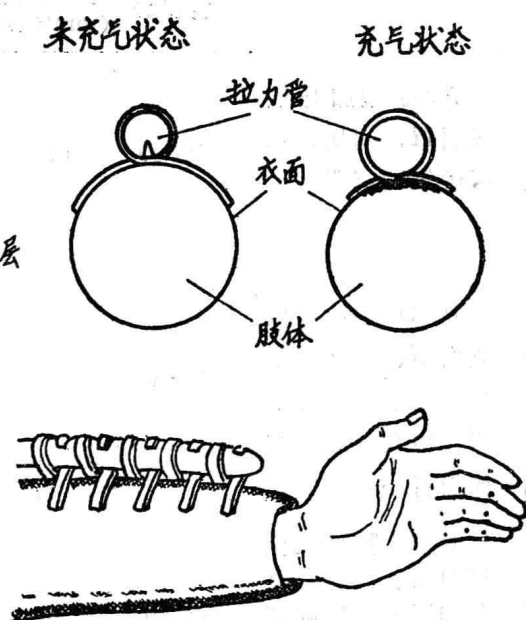


图2. 侧管式分压服的工作原理

英国皇家空军航空医学研究所，从五十年代开始研究囊式代偿加压供氧系统，现已形成根据不同高度生理标准要求的系统序列配套方案。飞行高度60000呎(18300米)，配P/Q型加压供氧面罩、MK—4A保护头盔、MK—5型囊式代偿背心、MK—7型抗荷裤(具有代偿效能)、1853W000椅装复合式加压供氧调节器的囊式代偿加压供氧系统，是目前在西方各国空军具有代表性的缺氧防护装备，广泛地应用于北约集团空军。瑞典和加拿大空军航空医学研究部门，用英国空军飞行员个体供氧防护装具，做了大量新的配套方案试验研究，探索用腹部和下肢与躯干不同代偿压力值的双压制的体表代偿方法，在不增加呼吸余压条件下，提高飞行高度，延长加压呼吸飞行时间。美国航空与宇宙医学研究机构，对英国的航空供氧系统也极为重视，曾与英国航空医学研究所合作，用英国的P/Q型加压供氧面罩与美国保护头盔配套，做供氧性能及系统配套试验。用英国P/Q型加压供氧面罩与美国MBU—5/P型加压供氧面罩做供氧性能的对比试验。据报导美国空军的F—15、F—16飞机飞行员将采用英国P/Q型加压供氧面罩和囊式代偿背心的个人供氧装具。

英国研究的囊式加压供氧系统，按人体高空供氧生理标准和不同缺氧防护的救生时间(加压呼吸飞行时间)，已形成不同呼吸余压值及相应的飞行高度应急救生时间的六种配套序列方案(表一)。其中较为成熟并大量装机配套使用的序列方案有56000呎和60000呎高度两种配套方案。下面将重点介绍60000呎和100000呎序列方案的组件特点。

表一 英国囊式代偿加压氧系统配套序列方案

供氧系统配套	最大使用高度 (英尺)	最大使用高度呼吸总压 (mmHg)	最大使用高度呼吸余压 (mmHg)	加 压 呼 吸 飞行时间 (分)
P/Q 型加压供氧面罩、间接式加压供氧调节器。	50000	117	30	
P/Q 型加压供氧面罩、间接式复合加压供氧调节器、MK-5 囊式代偿背心。	56000	126	60	
P/Q 型加压供氧面罩、间接式复合加压供氧调节器、MK-5 囊式代偿背心, MK-7 代偿抗荷裤。	60000	124	70	
分压头盔、间接式复合加压供氧调节器、MK-5 囊式代偿背心、MK-7 代偿抗荷裤。	60000	134	80	
密闭头盔、间接式复合加压供氧调节器、MK-5 囊式代偿背心, MK-7 代偿抗荷裤。	70000	144	110	
密闭头盔、间接式复合加压供氧调节器、MK-2 整体囊式代偿联合服。	100000~ 140000	143~146	141	

(二) 升限60000呎高度囊式代偿加压供氧系统:

全套囊式代偿加压供氧系统分机上供氧装备和飞行员个人供氧装具两大部分。(图三)为机上供氧装备配套组装件,其中主要成件是间接式复合加压供氧调节器,该调节器具有供氧生理安全性高,吸气阻力小,瞬时流量和全流量大的特点。可根据不同飞行高度的机种和飞行员个人供氧装具配套,改变升限高度的呼吸余压值(即适合不同供氧总压制的系统配套)。调节器在飞机上或飞行员应急跳伞离机均可按飞行员生理需要调节供氧。结构紧凑,适合在弹射座椅上安装(亦称为椅装式供氧系统),供混合氧和供纯氧为两个独立系统的一体化结构,通用性好,序列系统配套简化。机上供氧装备附件为配套序列标准件,有体积小、重量轻、便于操纵,指示部分判读清晰的优点。

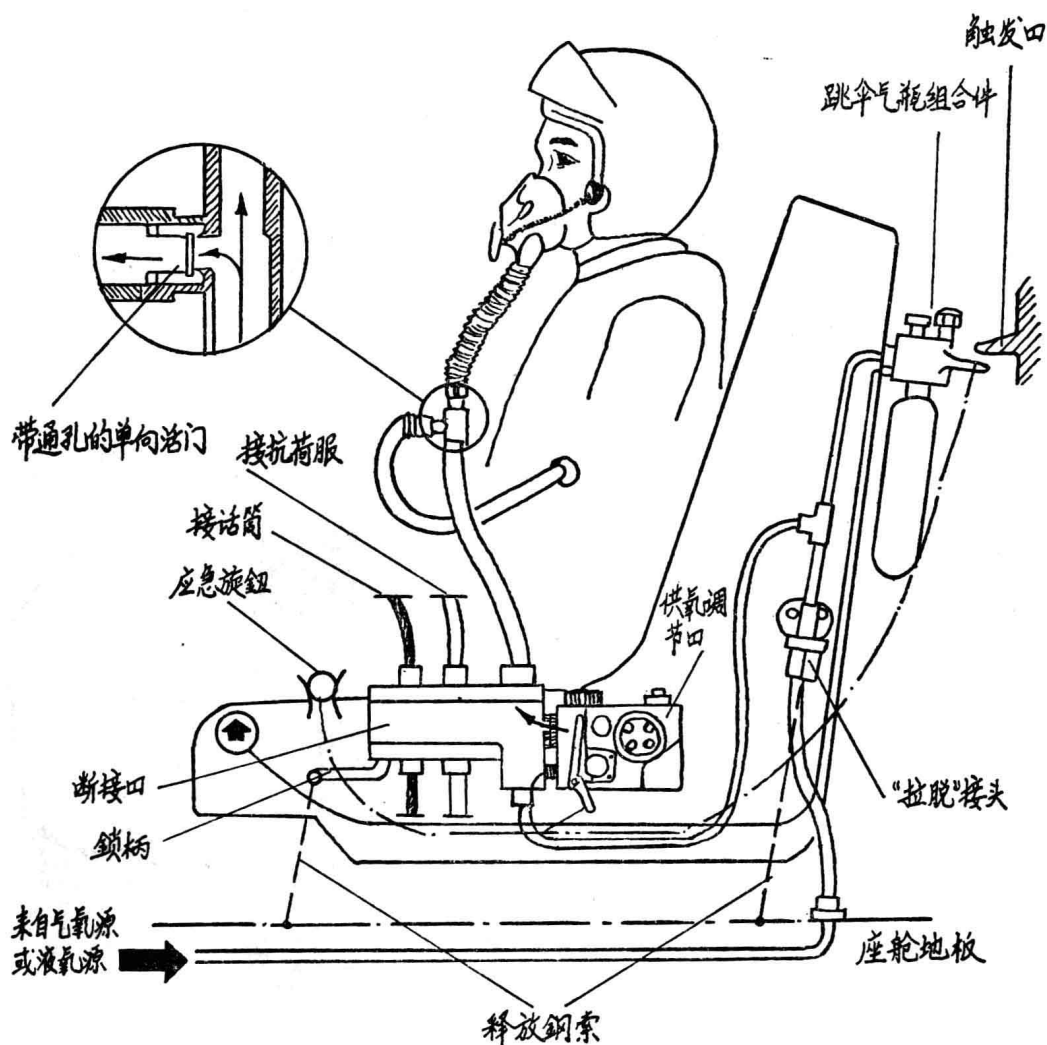


图3. 升限60000呎机上供氧装备配套

囊式代偿加压供氧系统飞行员个人供氧装具（图四）：

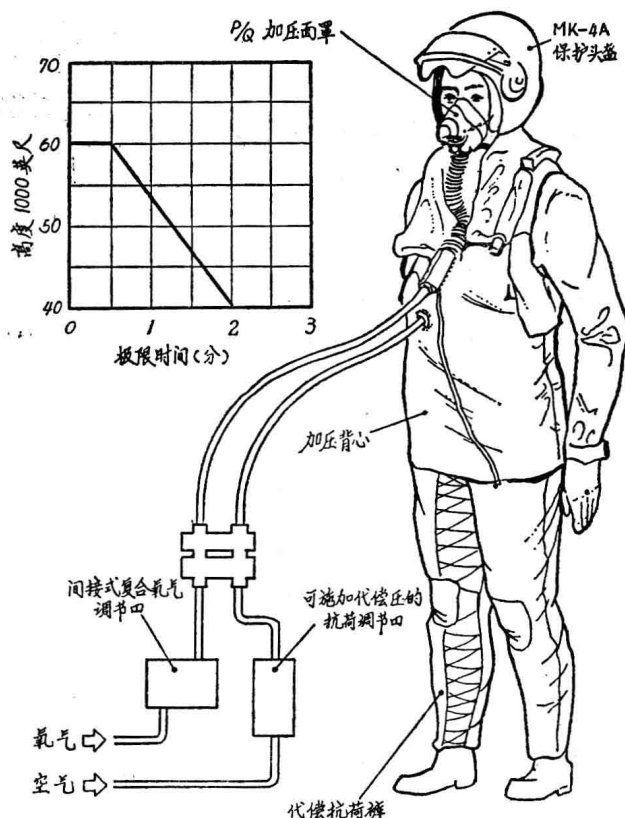


图4. 升限60000呎式代偿飞行员个人装具配套

1. MK—4（A）保护头盔（飞行头盔），（见图五）：英国空军自五十年代初开始研制保护头盔，由最初的MK—1型发展到现在的8型。4（A）型为通用型飞行保护头盔，取代了1、2、3型。5型是专为高速飞机飞行员设计的保护头盔；7型是通讯帽与保护外壳分离结构的保护头盔，只在需要时配戴保护外壳；8型是4（A）的改型，具有快速脱戴的特点。

MK—4（A）保护头盔有防眩光和抗吹拂的双层滤光镜。头盔重量为1.5公斤，抗吹拂能力为650哩/小时，抗冲击性较好。分为三个尺寸号，头型符合率可达99%。

2. P/Q型加压供氧面罩(图六)：
P/Q型面罩在当前各国空军使用的同

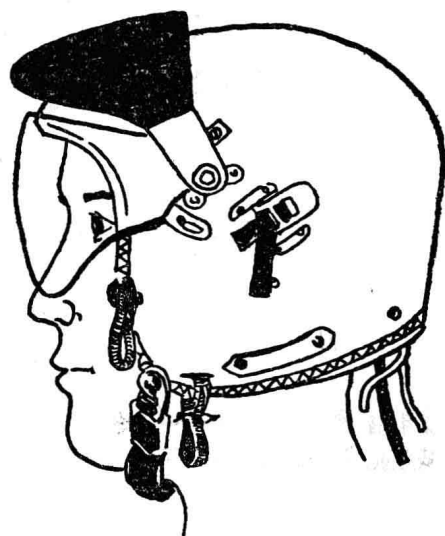


图5. MK—4A 保护头盔

类型面罩里属于性能比较好的一种，和MK—4（A）保护头盔配戴的系带系统为链条肘节式结构，正常供氧时面罩和飞行员面部的气密性可用系带微调机构调节，保证座舱空气不进入面罩稀释吸入气。加压供氧时手动操纵肘节机构，加大系带拉面罩贴合面部的拉力，保证面罩在加压呼吸时的气密性。面罩里的呼吸余压每增加10mmHg，面罩系带的拉力增加1.5公斤，如呼吸余压为70mmHg，系带拉力需要10.5公斤。供氧面罩的气密性（即飞行员使用面罩的面型符合率）是防止飞行员缺氧的重要因素，也是供氧面罩的主要技术性能指标之一。P/Q面罩和飞行员面部贴合边沿为反折面结构，是保证面罩气密性的重要因素。P/Q面罩的吸气活门和供氧软管在面罩体的左侧，飞行员配戴时对下视野影响较小。面罩的吸气死腔小于同类型面罩。



图6. P/Q型面罩和保护盔

3. 囊式代偿背心（见图四）：

英国空军研制的囊式代偿背心序列型号有MK—3、MK—4、MK—5，每种型号背心的主体结构基本一致，其型号区别在于对体表复盖面的大小、携带救生物品的形式和种类。目前较为普遍采用的是MK—5型，对体表复盖面积包括整个躯干和大腿根部，加压呼吸时对所复盖的体表面施加对抗压。MK—5型囊式背心分为三层结构（内外限制层、中间充气囊），最外层设有存放各类救生物品贮存袋（囊），不同型号背心设计的位置和数量有区别。MK—5囊式背心全重为2.7公斤（8号）。英国空军使用的MK—5将海上救生囊和囊式背心组合一体。囊式代偿背心的主要特点是在加压呼吸时可起呼吸代偿作用，体表压比较均匀，穿着适体性较好。背心胸前为拉练式全开口结构，因此穿脱较方便，比囊式整体分压服热负荷小，但比侧管代偿服热负荷大，笨重，气囊面积大破损的机率高，安全性差。

4. 抗荷代偿裤：英国空军飞行员使用的抗荷裤有两种，一种是穿在飞行服里面，称为内用抗荷裤。有MK—6C和MK—7B、C、D四个型号；另一种是为解决飞行员穿着内用抗荷裤热负荷问题而设计，可穿在飞行服外面的外用抗荷裤，抗荷效果与内用抗荷裤一致。有MK—1、MK—2两个型号，两个型号的区别在于充气管口位置。

两种抗荷裤均属五囊式结构，抗荷效果为2G。该服装与供氧系统配套，座舱高度超过12公里，可对飞行员腹部和下肢起体表加压代偿作用。

上述系统配套，飞行员呼吸余压可达65~70mmHg，升限高度为60000呎，将MK—4A保护头盔和P/Q型加压供氧面罩改为LM型密闭头盔，对飞行员头颈实施对抗压保护，呼吸余压可提高到80~110mmHg，飞行高度为60000呎和70000呎。

(三) 升限100000呎~140000呎囊式代偿加压供氧系统:

英国囊式代偿加压供氧系统使用高度100000呎~140000呎时,呼吸最大余压值141mm Hg。配套飞行员个人供氧装具为密闭头盔和整体囊式代偿服。密闭头盔对飞行员头颈部施加对抗压保护,整体囊式代偿服,对人体表面(除部分关节部位)实施对抗压保护。

1. LM型密闭头盔(图七):

LM型盔是英国五十年代的研究成果,在六十年代高空歼击机上得到应用,后来在高空飞行的飞机试飞时也曾采用。面板属于活动窗口结构,在盔内设有小面罩,非加压供氧时由小面罩向飞行员供氧,加压供氧时活动面板自动扣合,在小面罩和头盔内同时加压,对飞行员进行加压供氧。该盔的特点在非加压供氧时活动面板不扣合,飞行员的视野不受影响,头颈部热负荷小。

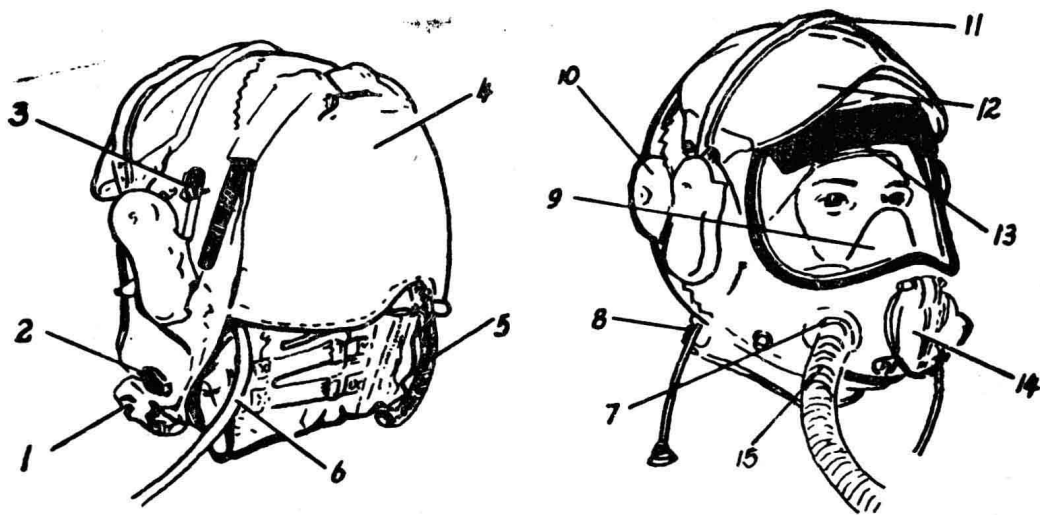


图7. 英国LM型带活动面窗的分压头盔

1. 呼气活门, 2. 无线电接头, 3. 太阳镜控制口, 4. 保护外壳, 5. 拉链绳索, 6. 导线, 7. 吸气活门, 8. 应急挂绳, 9. 氧气面罩, 10. 自动释放机构, 11. 手柄, 12. 压力面板, 13. 太阳镜调节口, 14. 饮食活门。

2. MK—2型囊式代偿联合服:

MK—2型囊式代偿联合服(图七a、b),由整体囊式代偿服、囊式抗荷裤、内通风服三部分组成的一体联合服,代偿部分在躯干、腹部到腹股沟是整体气囊,上下肢是瓦



图7a. MK-2半式局部代接、坑筒、通风联合服

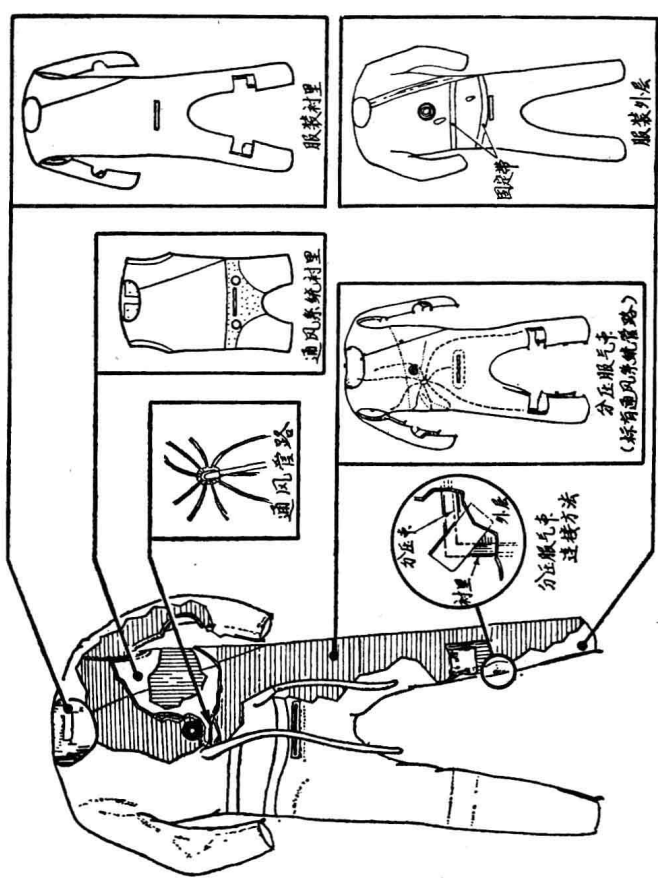


图7b. MK-2半式代接整体联合服内层结构

块式气囊，在飞行员手、足、肘关节及膝关节部位加压呼吸时没有呼吸对抗压，其他部位均直接受呼吸对抗压作用。关节部位不实施呼吸对抗压，是为了在加压呼吸时飞行员四肢弯曲活动不受阻。抗荷部分为五囊抗荷裤，和代偿气囊分开结构。通风服在联合服的最里层，称为内通风系统。下肢和躯干、腹部有通风分管支路，气源由胸前主管路输入。由通风服颈部引出一支管路给密闭盔内部通风。联合服上部是拉链式斜开口，因此该服装穿脱较方便，但穿着后热负荷大、笨重、破损机率高、安全性差，结构复杂，不受飞行员欢迎，因此没有被广泛采用。

二、侧管式代偿服加压供氧系统

（一）侧管式代偿服加压供氧系统发展：

侧管式代偿服在第二次世界大战末期，首先由美国人研制。五十年代应用的美国侧管式代偿服有MC—3、MC—3A型（带囊式气背心、不带抗荷系统），MC—4、MC—4A（带囊式气背心和抗荷系统）。主要用于美国空军高空飞行机种，美国海军使用全压服（省去抗浸服）。六十年代以后因美国空军战术技术性能改变，主要机种飞行高度大都在15~18公里以下，因此对加压供氧系统不注重飞行员体表防护装备的发展。所以近15~20年期间美国空军在12公里以上高度飞行员缺氧防护装备研究进展不明显，系统配套较杂乱，没有系统完整的配套序列。

苏联在五十年代初研制成功侧管式代偿服加压供氧系统，同时研究了升限16公里高度的囊式代偿背心加压供氧系统。三十年来苏联空军重点发展侧管式代偿服加压供氧系统，其供氧和防护性能不断改进和完善。根据高空人体供氧生理标准和缺氧防护原则，形成不同呼吸余压值和使用升限高度的标准配套序列（见表二）。这些配套序列已成为苏联和华约集团及苏援各国空军12公里以上高度缺氧防护救生装备的标准配套序列。因此，苏联侧管式代偿服加压供氧系统在当前具有代表性。苏联人对12公里以上高度缺氧防护救生装备的设计思想，是考虑综合性防护，加压供氧生理安全性高，加压呼吸飞行时间长，能较充分地发挥飞机的战术技术性能，不失有利战机。系统发展和组合配套继承性好。

配套序列除表二所列，另有供高空侦察机飞行员使用的呼吸总压145mmHg，配套密闭头盔和BKК—ЕД型囊管联合代偿服（即囊式气背心和侧管式代偿服组合），不受飞机升限限制，加压呼吸飞行时间可达3—4小时的供氧系统。另外苏联还研制配套呼吸总压160~180mmHg，不受飞机飞行升限限制，长时间加压呼吸飞行全压服系统。

（二）苏联侧管式代偿服加压供氧系统配套原则：

1. 高度12公里以下：配非加压肺式供氧调节器（КП—18、КП—18К），非加压供氧面罩（KM—16、KM—16H），高度4.5~5公里在呼吸系统建立安全余压（即小余压），8~10公里高度安全余压值为30~40mmH₂O，8~10公里高度供纯氧，氧调器带有

苏联侧管代偿服加压供氧系统配套序列方案

表二

配套序列	供 氧 系 统 配 套	最大使用 高度 (公里)	呼吸总压 (mmHg)	最大高度 呼吸余压 (mmHg)	加压呼吸 飞行时间 (分)
KП—28	KП—28肺式加压供氧调节器, KM—18 (H) 加压供氧面罩。	15	115	25~30	3 ~ 5
KП—24	KП—24肺式加压供氧调节器, KM—24 (H) 加压供氧面罩, 囊式 代偿背心。	16	120	40~45	3 ~ 5
KП—24M	KП—24M肺式加压供氧调节器、 KM—24 (H) 加压供氧面罩。	14	115	10~15	3 ~ 5
KKO—1(M)	KП—30或KП—30Д肺式加压供 氧调节器, KM—30加压供氧面罩, BKK—2或BKK—3高空代偿服。	18	130	70~75	5 ~ 10
KKO—2	KП—26或KП—34—2肺式加压 供氧调节器, KM—30M或KM—32 加压供氧面罩, ГЩ—4 M 密闭头盔, BKK—3M或BKK—4高空代偿服。	25	145	85~90	5 ~ 10
KKO—3	KП—34 肺式加压供氧调节器, KM—32加压供氧面罩, ГЩ—4MC 密闭头盔, 3Щ—3 保护头盔, BKK —4或BKK—4П高空代偿服。	38	145	142~145	5 ~ 10
KKO—5	РПК—52供氧调节器, KП— 52M氧气调节器, KM—32加压供氧 面罩, ГЩ—6M密闭头盔, 3Щ—3 或3Щ—5 保护头盔, BKK—6或BKK —6M高空代偿服。	40	145	~145	5 ~ 10

混合氧机构；

2. 高度超过12公里（不超过15公里）；配肺式加压供氧调节器（КП—28），加压供氧面罩（КМ—18、КМ—18H），呼吸总压 115mmHg，加压呼吸飞行时间 3～5 分钟；

3. 高度14公里：配肺式加压供氧调节器（КП—24M），加压供氧面罩（КМ—24H），呼吸总压115mmHg，加压呼吸飞行时间 3～5 分钟；

4. 高度16公里，配肺式加压供氧调节器（КП—24），加压供氧面罩（КМ—24、КМ—24H），囊式气代偿背心，呼吸总压 120mmHg，加压呼吸飞行时间 3～5 分钟；

5. 高度18公里；配肺式加压供氧调节器（КП—30、КП—30Д），加压供氧面罩（КМ—30、КМ—30M），侧管式代偿服（ВКК—2、ВКК—3），呼吸总压 130 mmHg，加压呼吸飞行时间 5～10分钟，配套序列为ККО—1、ККО—1M；

6. 高度超过18公里，呼吸总压145mmHg，根据不同机种升限，选配相适应的肺式加压供氧调节器（КП—26、КП—34—2、КП—34、КП—52M），高度16公里以下选配加压供氧面罩（КМ—30M、КМ—32），高度超过16公里选配密闭头盔（ГШ—4、ГШ—4МС、ГШ—4МСП、ГШ—6、ГШ—6М），侧管式代偿服（ВКК—4、ВКК—4П、ВКК—6、ВКК—6М）。高度低于16公里，使用供氧面罩时配戴皮飞行帽或3Ш—3及3Ш—5保护头盔。

升限高度超过18公里，呼吸总压制145mmHg，适用不同升限高度系统配套，主要取决于飞行员个人供氧装具。如用ГШ—4МС型密闭头盔和ВКК—4П高空代偿服，飞行极限高度为38公里；用ГШ—6М密闭头盔和ВКК—6М高空代偿服，飞行极限高度为40公里；若用ГШ—4密闭头盔和ВКК—4、ВКК—3М高空代偿服，飞行高度只能保证25公里。上述极限高度配套的加压供氧系统，加压呼吸飞行时间均为 5～10分钟。呼吸总压 145—150mmHg，用ВКК—ЕД囊管联合代偿服，加新型密闭盔，在30公里以上高度加压呼吸飞行时间可达 3～4 小时，全压服系统加压呼吸飞行时间更长些。因此在供氧生理标准方面应考虑两方面问题：首先要保证满足人体在各种飞行状态的供氧标准，即保持一定的氧气浓度和呼吸余压值，另一方面是在有呼吸余压条件下的供氧防护，克服人体在加压呼吸时出现的生理障碍。这是当前供氧系统要研究解决的主要课题。

加压呼吸飞行时间较长，呼吸总压比较高的加压供氧系统，使用升限超过18公里时（不含18公里），飞行员手、足应实施呼吸对抗压代偿。

（三）ККО—5 加压供氧系统：

苏联空军从六十年代中期，装备新型侧管式代偿服加压供氧系统，序列配套为ККО—5型。取代以前大量使用的ККО—1、ККО—1М、ККО—2、ККО—3加压供氧系统，成为通用型标准序列加压供氧系统，装备在米格—21改型的各型机种和米格—23МС、米格—25、苏—7等飞机上。ККО—5加压供氧系统按使用升限配套飞行员个人供氧装具。（图八）是升限38～40公里的ККО—5系统配套，供氧装备主要成件