

充气式跳伞专用护具设计与分析

赵西友¹, 刘胜祥², 王仁杰³, 武斌¹

(1. 空降兵训练基地, 广西 桂林 541003; 2. 湖南华望科技股份有限公司, 长沙 410000;
3. 空装驻南京地区第四军事代表室, 南京 210022)

摘要: **目的** 对充气式跳伞专用护具进行深入研究和探索, 弥补伞兵靴对踝关节防护的不足, 改变对臀部(尾椎、腰椎)无防护措施的情况, 从而降低伞兵的踝关节和臀部(尾椎、腰椎)损伤概率。**方法** 研制了一种可穿戴的跳伞专用护具, 根据实际应用需求, 提出了合理的设计方案, 包括结构、外形、材料以及成型工艺的设计, 通过理论分析和穿戴试验, 验证了设计方案的可行性和合理性。**结果** 充气式跳伞专用护具的结构、材料、工艺、性能均能满足液体类无伞空投的要求, 伞兵穿戴后取得了优良的防护效果。**结论** 充气式跳伞专用护具是一种实用、方便、经济的新型跳伞防护装备, 具有推广应用价值。

关键词: 充气式; 跳伞; 护具; 设计

中图分类号: E239 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2020)01-0211-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.01.034

Design and Analysis of Special Inflatable Protective Gear for Skydiving

ZHAO Xi-you¹, LIU Sheng-xiang², WANG Ren-jie³, WU Bin¹

(1. Air Force Airborne Academy, Guilin 541003, China; 2. Hunan Huawang Technology Co., Ltd., Changsha 410000, China; 3. Military Delegate Office of Air Force in Nanjing, Nanjing 210022, China)

ABSTRACT: The paper aims to have in-depth research and exploration on the special inflatable protective equipment for parachute jumping to compensate inadequate ankle protection of paratroop boots and change the situation that there is no protective measures for hips (caudal vertebra and lumbar vertebra), and thus reduce the probability of ankle and hip (caudal vertebra and lumbar vertebra) injuries of paratroopers. A kind of wearable special protective equipment for parachute jumping was developed. According to the actual application requirements, a reasonable design scheme was proposed, including the design of structure, shape, material and molding process. Through theoretical analysis and wearing test, the feasibility and rationality of the design scheme were verified. The structure, material, technology and performance of the special inflatable protective equipment for parachute jumping can meet the requirements of liquid airdrop without parachute, and excellent protective effect was realized after the paratroopers wear it. The special inflatable protective equipment for parachute jumping is a kind of practical, convenient and economical new parachute protective equipment, which is worth popularizing.

KEY WORDS: inflatable; skydiving; protective gear; design

充气式跳伞专用护具, 是以降低伞兵在作战训练中踝关节和尾椎、腰椎扭伤和骨折概率为目的的伞兵单兵局部防护用具, 可适用于基础跳伞训练、应用跳

伞训练甚至作战。充气式跳伞专用护具采用充气式外包结构, 具有质量轻、穿脱快捷、防护能力强等特点, 可有效降低空降兵在跳伞训练和作战中非战斗因素

受伤的比例,并可降低受伤的程度,减少恢复时间,提高参训率,为跳伞人员的健康提供保障,推动空降兵部队训练水平和战斗力的整体提升^[1-2]。

1 总体设计思路

充气式跳伞专用护具由充气式护踝和充气式护臀组成。其中充气式护踝采取充气气柱环形贴合式坚固脚踝,以进行保护,主要是利用气柱充气填充伞兵靴,以气体在有限情况下的固性和弹性进行防护,减少踝骨骨折;充气式护臀使用充气气柱充气形成气囊,采用外包形式进行缓冲,以保护臀部,主要是保护尾骨和腰椎,减少尾骨和腰椎的骨折^[3-5]。

2 系统总体设计

2.1 护踝、护臀结构设计

充气式跳伞专用护具包括充气式护踝和充气式护臀 2 个部分,使用附件有充气装置。充气式护踝包括外保护套和可更换的充气式气柱,其中外保护套包括保护套、固定连接带、松紧连接带和粘合布等。充气式护臀包括外保护套和可更换充气式气柱,其中外保护套包括保护套、腰带、腿带和粘合布等。

2.2 材料的选择

2.2.1 气柱的选择

气柱:采用气囊排列式贴身防护设计,能利用气垫来分散各个气袋所承受的压力;产品体积由 99% 的空气和 1% 的胶膜组成,材料未充气前完全平整,轻薄短小,不占空间。气柱物理性能参数见表 1—3^[6]。

2.2.2 外保护套的选择

外保护套采用皮绒斜纹记忆丝和桃皮绒平纹记

忆丝。皮绒斜纹记忆丝主要成分为聚酯纤维 100% C,优点为环保、防水,主要特点为耐磨强度高,不低于 800D~900D。桃皮绒平纹记忆丝为全纬磨毛桃皮绒,其经纱采用涤纶 DTY 丝 75D/72F,绒纱采用涤纶 DTY1500D/288F 丝,在喷水织机上交织生产,一般以平纹、斜纹、缎纹为基础组织,经过染整处理深加

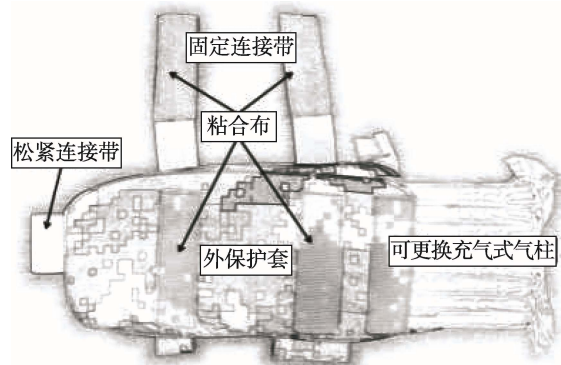


图 1 充气式跳伞专用护踝结构
Fig.1 Schematic diagram of inflatable skydiving ankle protector

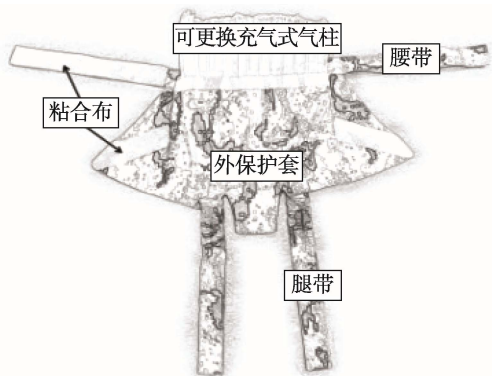


图 2 充气式跳伞专用护臀结构
Fig.2 Schematic diagram of inflatable skydiving butt protector

表 1 气柱原材料物理性能
Tab.1 Physical properties of gas column raw materials

项目	检验范围	数值
宽度/mm	GB/T 6673—2001	1150
厚度/mm	GB 6672—86	62
透气性	透气量/(cm ³ ·m ⁻² ·d ⁻¹ ·Pa ⁻¹)	553.856×10 ⁻⁶
	透气系数/(cm ³ ·cm·cm ⁻² ·s ⁻¹ ·Pa ⁻¹)	4.0434×10 ⁻¹¹
透湿性能	透湿量/(g·m ⁻² ·d ⁻¹)	7.20
	透湿系数/(g·cm·cm ⁻² ·s ⁻¹ ·Pa ⁻¹)	259.806×10 ⁻⁹
飘落冲击性能	冲击能量/J	3.1
	冲击质量/g	510.7
断裂拉伸强度	TD	37.28
/(N·(15 mm) ⁻¹)	MD	37.97
断裂伸长率/%	TD	606.21
	MD	550.00
热封面	ZBY 28004	单面热封强度高

表 2 应用气柱规格
Tab.2 Specification of applied column

气室直径/cm	材料厚度/ μm	适用包装物质量/kg	最大充气压力/MPa	实际充气压力/MPa	最大承载
2, 3	60~120	0.03~5	0.15	0.06~0.08	100~110 kg\0.6~0.7 MPa
4	60~120	4~10	0.15	0.06~0.08	80~90 kg\0.8~0.9 MPa
6	60~120	8~20	0.15	0.04~0.06	50~60 kg\1 MPa

表 3 实际测得气柱数据
Tab.3 Actually measured gas column data

序号	气室直径/cm	材料厚度/ μm	测量尺寸/mm	气压/MPa	最大承载/kg			取值
1	2	7.5	100×100	0.05	352	384	482	384
2	4	7.5	100×100	0.05	256	289	327	289
3	6	7.5	100×100	0.05	284	170	213	213
4	2	7.5	单根	0.05	87	61	70	70
5	4	7.5	单根	0.05	104	79	79	79
6	6	7.5	单根	0.05	152	188		152

工艺后便得到布料，手感柔软、色泽纯正且不易起皱折，具有吸湿、透气、防水的功能以及蚕丝般的外观和风格。

2.3 气柱的封口及充气方法

采用防漏气自锁单向阀技术的气囊，包括气囊本体、单向阀，为一种结构简单合理、密封效果好、使用寿命长的气囊，见图 3。充气方法为采用电动或手动充气泵进行气囊简易充气。

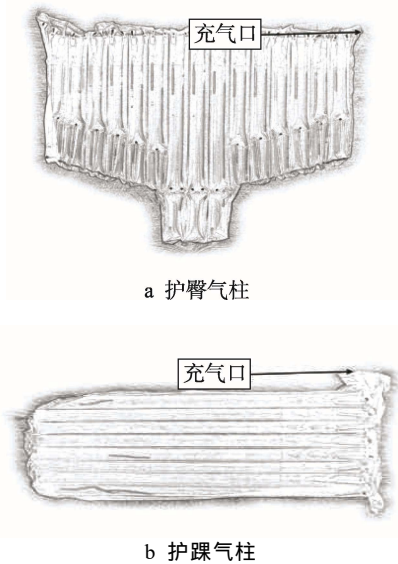


图 3 充气式跳伞专用防护气柱
Fig.3 Inflatable skydiving protection air column

2.4 人体工学研究

护踝、护臀的设计一方面应方便跳伞员的穿戴和解脱，重要的是不能引起人体的异样感和不适感，

跳伞员能够活动自如，而且对披挂和装具的操作要做到灵活准确，这就需要对护踝、护臀的结构进行科学设计。

3 跳伞造成脚踝、臀（尾、腰椎）部受伤原因及防护机理

3.1 受伤原因分析

根据跳伞训练统计数据，跳伞着陆不当造成的伤害占总训练伤害的 80%，其中扭伤腿或脚的占 80%，尾（腰）椎骨、踝骨骨折的占 20%^[7]。分析其原因主要有以下几个方面。

1) 对保证跳伞着陆安全的认识不到位。跳伞次数少、经验不足的跳伞员总是认为，只要降落伞能够正常张开，就能确保跳伞安全，忽视了跳伞着陆冲击力对身体的伤害。只把主要精力放在离开飞机机门的一瞬间，忽视了高空选择着陆范围、低空选择着陆点的要求，导致在复杂地形上着陆，造成着陆伤害。

2) 低空操纵动作要领不正确。其一是跳伞员低空错误操作降落伞，不正确地使用操纵带或操纵棒，加大了降落伞的下降速度，或操纵动作过猛，降落伞在着陆瞬间处于动荡状态，导致着陆伤害；其二是跳伞员对地面风向判定不准或者操作不当，侧风着陆造成着陆伤害；其三是当地面风速较大时，跳伞员虽正确选择了着陆方向，但由于不能正确排除拖拉，造成着陆伤害。

3) 着陆姿势不正确。一方面是跳伞员不能正确判定自身与地面的距离，而有意识伸腿进行试探性着陆。由于跳伞员试探性着陆后，在真正着陆瞬间放松了腿部的力量，使着陆呈自由落体状态造成着陆伤害；另一方面是跳伞员着陆时的动作要领不正确，跳

伞员不能根据当时的气候、地形特点,选择正确的着陆姿势,造成着陆瞬间两脚掌不平、身体晃动、开腿、腿部姿势变形、臀部着地等现象,导致着陆伤害。正是错误的着陆动作,引起着陆瞬间冲击力骤然增大,造成跳伞员的身体伤害。

3.2 防护机理分析

3.2.1 减少着陆速度和着陆冲击力

着陆冲击力是跳伞员落地时,由于运动速度骤然消失,失掉动能做功而产生的冲击身体的力量^[8-11]。为了便于分析跳伞员着陆时的冲击力,把人体简化如图4所示的力学模型,其中 O 点表示人的重心,折线表示下肢体(起缓冲装置的作用), h_1 和 h_2 分别表示缓冲前后重心距离地面的高度,设 m 为跳伞员质量, v 为着陆速度, F 为着陆冲击力。由动能定理可得:

$$-\frac{mv^2}{2g} = \int_{h_2}^{h_1} (G - F) dH \quad (1)$$

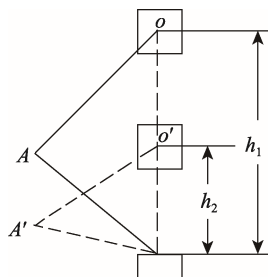


图4 人体简化受力模型示意力

Fig.4 A simplified mechanical model of human body

实际上,跳伞着陆冲击力是非常复杂的合成力量,它是通过人的下肢作用到人体其他部位的,而且随重心下降高度而变化。为得到 F 与 v , G , h_1 , h_2 之间的关系,以便对 F 作定性分析,假设 F 不随高度 H 变化,即 F 为常数,那么积分可得:

$$F = \frac{mv^2}{2(h_1 - h_2)} + mg \quad (2)$$

从式(2)可以看出,由于跳伞员重量恒定,着陆冲击力 F 与着陆速度 v 的平方成正比,与着陆缓冲距离($h_1 \sim h_2$)成反比。要减小着陆冲击力,必须设法减小着陆速度或增大缓冲距离。

着陆速度 v ,指的是垂直下降速度 v_y 与水平运动速度 v_x 的合成速度,对于某跳伞员使用圆形伞跳伞(翼型伞除外),垂直下降速度 v_y 基本上不变,所以必须通过正确操纵降落伞来减小水平速度,从而达到减小着陆速度的目的。以某型伞兵伞为例,当地面风速为 $1 \sim 2$ m/s,跳伞员在着陆前将伞调整到逆风方向,伞向前产生的运动速度为 $4 \sim 5$ m/s,由于地面风速和伞的运动速度方向相反,这样伞相对地面的向前的运动速度为 $2 \sim 3$ m/s;着陆时,拉下后2个操纵棒,

即关闭后2个排气口,增大了后面伞衣的受力面积,产生向后的反作用力,减小伞向前的运动速度;这时,降落伞相对地面的水平运动速度就减小,从而达到减小着陆冲击力的目的。

3.2.2 增大着陆缓冲距离

缓冲距离的变化对着陆冲击力有着直接的影响。在西方国家的伞兵跳伞中应用广泛的跳伞“软着陆”,就是利用增大缓冲距离得以实现。“软着陆”不受气象条件(尤其风)、地理环境、身体素质的影响,能够更大程度上保证跳伞安全。比如,女兵跳伞由于女性着陆瞬间腿部力量都比较小,通常都是双脚着陆后顺势倒地着陆,这就相当于增大了着陆缓冲的距离。多年来的跳伞实践表明,男兵着陆受伤害的比例远远高于女兵,健壮型的高于柔弱型的。假设跳伞员体质量 m 为 80 kg,伞的垂直下降速度 v_y 为 5 m/s,水平运动速度 v_x 为 4 m/s,着陆前后重心高度 h_1 和 h_2 分别为 1.5 , 1.3 m,重力加速度 g 取 10 m/s²,代入公式:

$$F = \frac{mv^2}{2(h_1 - h_2)} + mg = 9 \text{ kN}$$

若其他条件不变,跳伞员顺势倒下后重心的高度 h_2 为 0.1 m,这时着陆冲击力 F 为:

$$F = \frac{mv^2}{2(h_1 - h_2)} + mg = 1.97 \text{ kN}$$

由此可见,增大缓冲距离会大大减小着陆冲击力,即跳伞员着陆瞬间要尽可能缓冲,缓冲的距离越大,冲击力越小^[12]。

3.2.3 加强踝关节抗扭伤能力

即是加强踝关节力量。充气式护踝是通过气柱所产生的弹性对踝关节产生压力,起到保护作用,是一种轻便的足踝保护性矫正器,适用于预防足踝扭伤、足踝韧带受伤、足踝不稳定等。可起到限制足踝左右活动、防止因足踝内翻所引发的扭伤,减轻踝关节压力,加固踝关节的作用,从而加强踝关节抗扭伤能力。

3.3 防护模式对跳伞脚踝、臀部可能的影响

对脚踝和臀部的防护主要目的是防脚踝和尾、腰椎骨的骨折。对此,可以通过减小着陆冲击力的模式,也可以通过局部的紧固、限制骨头错位的模式来实现。如果一味通过减小着陆冲击力的模式,则存在着护具体积过大,影响伞具或武器装备的披挂、操作,也可能造成人体的不适。如果采用局部紧固的模式,则可能造成人体行动的不便或动作的迟钝,并因此形成新的安全隐患,且同样也会造成人体的不适。

根据以上分析,对防护模式的选用一定要综合考虑,根据不同的部位、可能的伤害方式,在不影响动作和操作的前提下,采用相应的模式或2种模式的综合运用,这也是需研究的关键问题。

3.4 护踝、护臀的防护原理

采用气囊排列式贴身防护设计,能利用气囊来分散各个气袋所承受的压力;护臀主要利用气体压力来减缓冲击,护踝利用气体压力对脚踝产生紧固作用帮助承受着陆冲击。机器将防护膜制成气柱一次充气,全排充满,自动锁气,形成潜水舱,即使遇到破损,也只有破损的气柱部分失效,其余气柱完全不受影响,仍然维持保护效果。气囊体积由 99% 的空气和 1% 的胶膜组成,材料未充气前完全平整,轻薄短小,不占空间。护踝、护臀的防护原理见图 5。

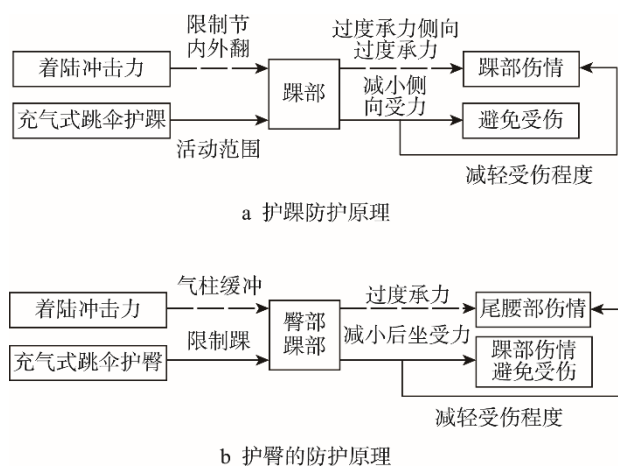


图 5 护踝、护臀的防护原理

Fig.5 Protective principle of hip protection and ankle protection

4 结语

充气式跳伞专用护具用于防护跳伞着落中脚踝和尾、腰椎受伤的问题,可广泛应用于基础跳伞训练、应用跳伞训练,甚至是作战中。充气式跳伞专用护具结构简单、设计合理、防护性能好,能够弥补伞兵靴对踝关节防护的不足和对臀部(尾椎、腰椎)无防护的情况,从而降低伞兵,尤其是新跳伞员和年龄偏大的跳伞员在跳伞中的踝关节和臀部(尾椎、腰椎)的受伤概率,特别是在完成复杂条件下跳伞任务时更为突出,如高原跳伞、森林跳伞、夜间跳伞等。充气式跳伞专用护具对于伞兵在完成跳伞基础训练、应用训练,乃至作战任务中都能起到很好的防护作用,有效避免类似受伤现象的发生。可在空军航空兵学院,空降兵部队,陆军特种作战学院、特种作战部队,海军航空兵学院、海军陆战部队等担负跳伞训练、作战的单位推广应用,以及运动跳伞,特别是双人跳伞的应用,是很好的军民融合产品。应用该护踝、护臀后,可为科学施训和跳伞人员着陆安全提供保障,可推动担负空降任务的部队战斗力水平的整体提升,军事效益十分明显。

参考文献:

- [1] 许月杰, 曾攀, 雷丽萍, 等. 充气柱结构压缩过程的非线性流固耦合分析[J]. 应用基础与工程科学学报, 2013(5): 119—127.
XU Yue-jie, ZENG Pan, LEI Li-ping, et al. Nonlinear Fluid-structure Interaction Analysis of the Compression Process of Inflatable Tube Structures[J]. Journal of Basic Science and Engineering, 2013(5): 119—127.
- [2] 赵西友, 沈隆保. 高原空降跳伞需要把握的几个问题[J]. 空军空降兵学院学报, 2017(2): 8—9.
ZHAO Xi-you, SHEN Long-bao. Several Problems to be Grasped in Highland Skydiving[J]. Journal of Air Force Airborne Academy, 2017(2): 8—9.
- [3] 林华宝. 着落缓冲技术综述[J]. 航天返回与遥感, 1996(3): 1—16.
LIN Hua-bao. Progresses and Perspectives of Forestry Remote Sensing in China[J]. Spacecraft Recovery & Remote Sensing, 1996(3): 1—16.
- [4] 王伯运. 跳伞理论与训练[M]. 北京: 蓝天出版社, 2010.
WANG Bo-yun. Parach Theory and Training[M]. Beijing: Lantian Press, 2010.
- [5] 王天胜, 郭利, 丁海蛟, 等. 跳伞致腰椎爆裂骨折一例[J]. 中华航空航天医学杂志, 2003(3): 146.
WANG Tian-sheng, GUO Li, DING Hai-jiao. A Pilot Case of Comminuted Fracture of Lumbar Vertebra Caused by Parachuting[J]. Chinese Journal of Aerospace Medicine, 2003(3): 146.
- [6] 朱礼平, 王安成, 王希勇, 等. 静气柱压力数值计算方法及其应用[J]. 天然气技术与经济, 2008(5): 39—41.
ZHU Li-ping, WANG An-cheng, WANG Xi-yong. Numerical Calculating for Static Gas Pressure and Its Applying[J]. Natural Gas Technology and Economy, 2008(5): 39—41.
- [7] 明平静, 李健, 刘涛, 等. 新型踝关节保护支具对预防空降兵踝关节着陆损伤的实验研究[J]. 解放军预防医学杂志, 2017(11): 1361—1365.
MING Ping-jing, LI Jian, LIU Tao. Prevention of Landing Injuries to Ankle Joints of Airborne Troops with New Ankle Protection Devices[J]. Journal of Preventive Medicine of Chinese People's Liberation Army, 2017(11): 1361—1365.
- [8] 李宁, 姜亚明, 吴宇珂. 膝盖防护用材料动态缓冲性能研究[J]. 针织工业, 2016(5): 9—13.
LI Ning, JIANG Ya-ming, WU Yu-ke. Study of the Dynamic Buffering of Knee Protective Material for the Elderly[J]. Knitting Industries, 2016(5): 9—13.
- [9] 李慧奇, 宁运琨. 穿戴式跌倒防护安全气囊研究[J]. 集成技术, 2018, 7(2): 69—77.
LI Hui-qi, NING Yun-kun. The Research of Wearable Fall Protective Airbag[J]. Journal of Integration Technology, 2018, 7(2): 69—77.
- [10] 张俊, 徐元铭, 安瑞卿. 跳伞着陆冲击的多系统仿

- 真分析方法[J]. 航空计算技术, 2006(6): 54—57.
- ZHANG Jun, XU Yuan-ming, AN Rui-qing. Two-dimension Human Body Dynamics Model of Parachuting Landing Impact Based on Kane Method[J]. Aeronautical Computing Technique, 2006(6): 54—57.
- [11] 刘铁汉, 冯文树, 何杨举, 等. 一个估算跳伞着陆冲击力的数学模型[J]. 中国生物医学工程学报, 1988(1): 1—7.
- LIU Tie-han, FENG Wen-shu, HE Yang-ju. A Mathematic Model to Evaluat the Landing Impact Force In Parachute Jumping[J]. Chinese Journal of Biomedical Engineering, 1988(1): 1—7.
- [12] 冯文树, 刘铁汉, 何杨举, 等. 模拟跳伞着陆冲击力与冲击时间的关系[J]. 第四军医大学学报, 1986(3): 196—200.
- FENG Wen-shu, LIU Tie-han, HE Yang-ju. Relationship between landing Impact Force and Landing Impact Time in Simulated Parachuting[J]. Journal of the Fourth Military Medical College, 1986(3): 196—200.