

论波状上升气流的产生与利用

傅廷方

摘要：波状气流的产生主要基于山的走向、长度、风向风速和大气层结结构。而大风天有赖于秋冬季节由西北入境的冷空气，相适应的山脉也以太行山和贺兰山脉为最佳。至于波状气流的利用，要特别注重飞前滑翔机、氧气设备、天气预报以及地点和飞行路线的选择。在爬高和下降过程中更要注意位置的变化。

关键词：波状气流的产生；利用；特情处置

1. 前言

我国富源辽阔，润藏着各种丰富的资源有待我们开发，特别是滑翔在我国已有 50 多年历史，但涉足波状气流，我们仅能算为刚刚起步。

为开拓我国这一滑翔领域，根据我滑翔小分队 84 年底飞抵贺兰山探索波状气流之经验。下面就以波状气流的产生和波状气流的利用两方面进行探讨。

1.1 波状上升气流的产生

大家知道波状上升气流是我们滑翔员实现高空飞行的唯一途径，但是波状上升气流的产生条件较热力上升气流和动力上升气流的产生条件要苛刻的多。

它需要长度约为 50km 以上的山脉，适宜的大气层结结构和风向风速方可产生。

1.1.1 对大气层结的要求

从山脚到山顶，这一高度内影响不是很大，但最好为不稳定层或气温直减率小些也行，就是气温的垂直变化要有。但由山顶再往上 1000m 到 2000m 这一高度层应为稳定层，即气温为等温层或逆温层有利产生波状上升气流。若 2000m 以上为不稳定层将更加有利于波状气流的产生。相反山顶上的气温直减率是沿干绝热线上升。也就是说气温随高度每升高 100m 降低 1 的话，将不会产生波状上升气流。

1.1.2 对风向风速的要求

当风迎着山坡吹来，风向最好与山坡即山的走向垂直。若不垂直，其角度不能大于 30°，就是说两侧总的角度不能大于 60°。风速大于 10m/s 方可产生波状上升气流。

风与山坡不垂直，成 30°角时，风速小于 10m/s 就不会出现波状上升气流。这时风速必须有相应的增加，比如 14m/s 到 16m/s 才会出现波状上升气流。总之风速大时对波状上升气流有利，而风向变化偏离垂直山坡的

角度越大对波状上升气流就越不利。这里强调一点，若其它条件具备，能选择迎风的山凹将是最理想的。例如贺兰山脉的 N38°45'E105°54' 就是我们创造 11117 米亚洲滑翔机绝对高度记录的圣地。

1.1.3 波状上升气流的特征

在风和气温的垂直变化相适宜的情况下，风吹向山坡时，由于山顶的气温为等温层或逆温层，这时流动的空气在山顶的上空受阻产生震动，由于空气的粘性连动就形成明显的波状运动，且与山相对应，稳定在山顶上，随着高度的增高波峰向迎风向略有前倾，所以通常把它叫做静止波。那么波峰处就是我们要求的波状上升气流，而波谷处为下降气流。振波强时滑翔员就可利用波峰处的波状上升气流迎着风像直升机一样几乎是垂直向上且不用盘旋飞到对流层顶的高度。

2. 波状上升气流的利用

2.1 飞行前的准备工作

2.1.1 对滑翔员的要求

首先要做气压舱的检测，以确定其高空耐氧的能力（根据个人体质的不同而有区别）。因为在地面氧占空气的 20%，上升到 1000m，氧仍占 20%，但由于空气随高度变化变的稀薄，氧的实际含量较地面就减少的多，（这里高原人要比平原人的肺功能强的多）特别是供应脑的氧气不足。那么通过检查便可了解在缺氧情况下，人体所能维持的时间（因人而异），以便在有限的时间内采取所相应的措施。一般常人的耐氧能力为：

高度 (m)	人体反映 / 时间
3500-5000	血液循环、脉搏、心脏跳动及呼吸均加快
4000	精力不集中，反应迟钝，功能下降
6000	工作能力完全丧失
7000	5
7500	3.5-4
8000	3
10000	1
11000	40
15000	10

作者简介：傅廷方 国家体育总局安阳航空运动学校

这里需要特别强调的是，患有血液循环系统疾病，尤其是患有感冒，即便是小感冒也不能进行高空飞行。因感冒时耳咽管肿胀，在突然上升或下降中会出现无法忍受的头疼，甚至会导致血管破裂。

2.1.2 对滑翔机的要求

必须携带氧气设备，滑翔机座舱狭窄，不可能采用民航机的密闭座舱，提高压力来保证供氧。只有选择适当的氧气瓶，即专业用氧。因为一般氧气分为工业与医用：工业用于焊接，氧气不干净；医用的潮湿，易结冰不安全。建议在我国目前现有条件下，可采用登山用氧气设备（体积小，滑翔机易配装），或灌充氧气时与空军结合以下，因歼击机用氧纯度高、水分少、不易结冰。

除携带氧气外，滑翔机还应进行防冰处理。经验证明，虽不在云中飞行，高空飞行温度低于 $-30\sim-40$ 是很常见的。滑翔机的前檐和翼箱梁对应的翼上表面以及襟翼和扰流器的传动系统都易冻结，特别是座舱。由于呼吸排出的废气在座舱内形成的冰霜，一旦形成，均不易化解。所以飞前必须采取防冰措施。可用酒精稀释过的润滑油取代原有的滑油。而座舱结冰，可在座舱的前风档钻几排小通风口或打开座舱前通风口，以避免哈气的积累形成舱盖玻璃内部冰霜。同时也可携带酒精喷壶，随时清除霜冻，这一方法简单有效。

再有就是滑翔机的各连杆、传动钢索按冬天飞行的特点调至规定的适用范围，因低温热胀冷缩反应还是比较明显的。

2.1.3 对滑翔员着装的要求

飞波状上升气流对滑翔员的着装要求很特别。无论是夏季还是冬季，高空飞行总是很寒冷的，尤其是我国的冬季波状气流出现率较高，飞行前选好御寒的衣、裤、帽和手套很重要。外观太臃肿座舱装不下，贴身太紧又影响血液循环，更易冻伤。

2.1.4 对牵引设备的要求

在无云条件下飞波状上升气流，往往要牵引通过旋流区即扰流区，以确定波状上升气流的位置。通过扰流区除了给跟机带来很大困难外还会给牵引机、滑翔机双双带来很大的负荷，所以必须对二者的牵引钩及牵引绳进行认真检查并处于良好状态。

漩涡区的大小与强度与波状上升气流的强弱有直接关系，其形状为气泡状多股分立。颠簸强度上下 5m/s 很常见，但位置相对固定，半径却很小。为使牵引机和滑翔机能同时受同样的颠簸影响（同时上升或同时下降）牵引绳要选用与扰流区半径相适宜的长度，即短于正常绳长（40米），依我们的经验绳长20米为最佳，再短距牵引机太近，正常跟机都很困难，一刻也不敢分散注意力。长了吧不能与牵引机同时进入漩涡区，这样牵引机与滑翔机将会产生很大的落差，以至于修复不过来，被迫脱钩中止牵引飞行。

2.1.5 分析天气预报

在渴望形成波状上升气流的同时，适应提防与之而来的层云复盖。前面讲过形成波状上升气流的等温层，它也是形成层云的温床，所以起飞前必须密切注意大气湿度。因为滑翔员利用波状上升气流爬高，主要活动在等温层以上，一旦层云迅速覆盖大地，滑翔机来不及下到云下，那就相当危险了。

2.1.6 核实当地日落时间

高空飞行往往容易忽略太阳下山情况。因为身处高空还能看到太阳，高度降低后才发现太阳已经落山，天黑下来，滑翔机降落就比较困难了。所以飞行前要核实当地的日落时间，以确定开始下降的时间。当然也要考虑当时的飞行高度下降所需要的时间。

2.2 跟机的特点

由于飞波状气流的牵引绳是特制的，仅有20米长。所以在牵引起飞时，要特别注意防止拉戥，因滑翔机距牵引机太近。那么在牵引滑跑时，就要利用轮刹来保持牵引绳不松弛，从而避免拉戥。在整个牵引上升过程中，应全神贯注，尤其是通过扰流区的跟机，其颠簸的强度往往使滑翔员丧失跟机的信心，而中断飞行（这里需要强调的是起飞前一定要系好保险带，否则会顶破舱盖或使头部受伤）。而在我国的华北和西北，由于大气的干燥，常出现无云波状上升气流，要确定波状上升气流的位置，就必须通过扰流区。一旦通过扰流区，你就会马上置身于难于致信的、死一般寂静的、平稳的就像直升机一样的垂直上升。

2.3 在波状气流中的上升

进入波状上升气流区以后，首先要定位。全神贯注升降表的指示，用左右不超过45度航向角的转弯来调整滑翔机的左右位置。同时掌握好速度以控制滑翔机前后位置，千万不能用盘旋的方法来调整上升气流的中心。记得我们1984年2月8日的一次飞行，就是由于用盘旋的方法调整波状上升气流中心而被吹移了50多公里，再也没能回到原有的波状上升气流区。

2.4 波状气流的下降飞行

2.4.1 首先要根据起飞前预测好的下降时机，这里包含已上升的高度和当地日落的时间准时下降。以避免夜晚落地。

2.4.2 根据预报当天大气的湿度，考虑当日层云形成的时机，在其形成之前，下降之其下。

2.4.3 适度控制下降率，因高空飞行，如下降率过大，温度骤变，滑翔机机身表皮漆层会产生大面积崩裂，造成不必要的损失。一般控制在 3m/s 的下降率为佳。

2.4.4 下降时可采用左右45度航向角的转弯，脱离上升区域下降，千万不可采用盘旋下降的方法。因波状

（下转第3页）

83.78°和56.09°。提膝独立还原姿势，左侧髋、膝、肩、肘关节角都小于右侧，还原时重心高度为1.04M。

表6 吴雅楠腾空摆莲360°落地阶段的主要关节角参数（单位：度）

时相	髋角		膝角		肩角		肘角	
	L	R	L	R	L	R	L	R
落地时刻	86.84	155.60	44.03	170.57	54.92	103.40	162.31	176.68
重心最低时刻	83.78	65.28	56.09	48.97	110.86	106.22	158.55	172.81
还原（提膝平衡）	78.95	162.66	64.36	158.90	92.23	103.67	158.47	167.58

表7 吴雅楠腾空摆莲360°落地阶段的重心运动学参数

时相	重心高度(m)	重心速度(m/s)			
		X	Y	Z	合速度
落地时刻	1.12	-0.84	0.34	-3.00	3.13
重心最低时刻	0.53	-0.06	-0.14	0	0.15
还原（提膝平衡）	1.04	-0.047	-0.059	0.09	0.118

4. 研究结论

4.1 吴雅楠完成腾空摆莲360°动作起跳阶段采用了深蹲技术。起跳离地时刻重心速度达到了3.17M/S，蹬伸用时0.33S。腾空过程中，腾空时间为0.63S，身体重心最高高度达到1.64M，击响动作在腾空最高点之前完成，击响时重心高度为1.62M。

4.2 从蹬伸到击响阶段，肩扭转幅度和角速度大于髋扭转幅度和角速度；而从击响到落地阶段，肩的扭转幅度和角速度小于髋扭转幅度和角速度。

4.3 单脚落地缓冲阶段，落地缓冲时间0.43S，落地瞬间重心垂直速度为3M/S，对地面冲击力较大，对膝关节和踝关节肌肉韧带性能要求比较高，建议加强膝、踝关节的锻炼和保护，防止关节和韧带损伤。

参考文献：

- [1] 蒋艳杰，等，武术“腾空摆莲”360°动作技术运动学特征分析[J]. 哈尔滨体育学院学报，2006.24（5）：108-110.
- [2] 杨乃静，等，竞技武术套路中腾空摆莲B和C级跳跃落地稳定性的研究[J]. 2008.23(3):259-262.
- [3] 李玉刚，等，我国优秀武术运动员旋风脚720°三维图像特征分析[J]. 武汉体育学院学报，2006.40（2）：39-42.
- [4] 全国体育学院通用教材编写组. 运动生物力学[M]. 北京人民体育出版社，1997.
- [5] 樊艺杰，全国武术套路男子冠军运动员腾空摆莲720°接马步动作运动生物力学分析[J]. 搏击·武术科学，2010.7(7):45-48.
- [6] 曾世华，运动生物力学在武术运动中的研究现状[J]. 西安体育学院学报，2002（3）：55-56.

（上接第5页）

气流的天气，高空风都很大。记得在1984年12月29日的创记录飞行中，我的一个下降盘旋竟损失了6000米的高度，由贺兰山被吹到了河套上空。好在高度高，提心吊胆的顶回到了机场。

2.4.5 在高空飞行，尤其是冬天，下降时还要考虑滑翔机结冰，尽可能的保持滑翔机向阳下降。因为在高空座舱内滑翔员呼出的费气湿度很大，背阳飞行很容易造成座舱结冰。零下50至60度，一旦座舱盖全部冰封，就很难化解。加之如果扰流器和襟翼也全部冻死，高性能滑翔机落地的难度是可想而知的。所以仅仅是向阳和背阳似乎成了座舱盖结冰与否的界定。当然一旦舱盖被冰封，……也不必惊恐，可利用舱盖的小窗口来观查地面，用侧滑的方法调整高度，做好目测着陆。

3. 在波状上升气流中飞行可能遇到的特殊情况及其处置方法

3.1 防止冻伤

长时间高空飞行难免局部冻伤，可活动局部能动的部位，以促进血液循环，防止冻伤。例如头部、手、脚等。

在选择波状上升气流的产生地点时，尽可能采用长时间向阳飞行的部位。

3.2 高空缺氧

前面我们谈到了耐氧的问题，一旦高空出现头疼、

手脚麻木、反应迟钝、时而犯困、氧气供应不足等缺氧征兆时，应立即下降高度。若滑翔机允许，可采用马拉松螺旋的方法，迅速降低高度（上世纪六十年代波兰曾有人做过40多圈螺旋）。

3.3 滑翔机失去操纵

由于结冻等原因，滑翔机失去操纵的可能性还是有的。这里需要强调的是，飞波状气流前，在选择滑翔机时应选择那些传动各操纵舵面的联动为钢索的滑翔机。当然遇有操纵失灵也不必惊慌，可随滑翔机自然飘落至3000米以下，若还恢复不了操纵，便可下决心跳伞。千万不可在高空就急于跳伞，那样你将会被吹向很远很远，甚至会出现危险。

综上所述，波状气流的产生主要基于山的走向、长度、风向风速和大气层结构。而大风天有赖于秋冬季节由西北入境的冷空气，相适应的山脉以太行山脉和贺兰山脉为最佳。至于波状气流的利用，要特别重视飞前滑翔机、氧气设备、天气 预报以及地点和飞行路线的选择。在爬升和下降过程中更要注意位置变化。当然还要做好缺氧、结冻等特殊情况处置的各项准备，以确保飞行安全。

参考文献：

- [1] 成都气象学院气象系（滑翔气象学）.1983，9.