2007 年 08 月 1 日兰州孙伟中旅途中修改于山东威海网吧

兰州中川机场低空风切变的初步分析

孙伟中

（ 民航兰州空管中心气象台　兰州 730087 ）

提要　本文介绍了 2004 年以来出现在西北 4 个机场的 16 次低空风切变过程。分析了兰州中川机场低空风切变的气候特征；就 2007 年 5 月 2 日弱对流下的强低空风切变过程, 与 2007 年 6 月 23 日有雨幡，但无风切变过程的多普勒雷达度探测图象及风切变数值进行了对比分析。结果表明：西北机场的低空风切变主要出现在飞行降落阶段。中川机场的低空风切变有增多趋势。风沙和弱对流云下的降水中也会出现强低空风切变。可以用多普勒雷达度图象空洞区、速度模糊区,定性判断低空风切变区域。用 VAD 水平风的垂直切变数值，向低空有增加趋势，峰值反复出现，距地面 60 米以下的最大值，在 70（米秒/100 米）左右，距地面 133 米左右，有 40（米秒/100 米）以上的水平风垂直变化时，可以判定有低空风切变存在，并建议并应建议起降客机应采取躲避措施。

关键词 ： 中川机场　　低空风切变分析

1. 引言

低空风切变通常指发生在 500 米高度以下，在上下或左右的很短距离内，风向或风速发生较大变化，以及升降气流突然变化的现象。根据飞行原理，飞机的升力，是与飞行速度的平方成正比的。环境风变化对飞行的影响，在高空高速状态飞行时，是小量级对大量级，引起的客机速度变化不明显，对应的升力变化相对较小；但客机在起降过程中，处于低速飞行阶段，环境风场的变化，对飞行速度是小量级对相对大量；必然引起客机速度的明显变化；导致客机升力的剧烈变化，造成升力的剧烈变化，使客机姿态升降起伏，偏离下正常的飞行航道；出现客机剧烈颠簸，掉高度甚至难以操纵；由于起降过程属于超低空飞行，遭遇强风切变时，采取措施的裕度非常有限，将危及起飞或着陆安全。因低空风切变影响，已多次造成飞行事故。因此，有人曾将低空风切变称之为“大气中的妖魔”，或“天空中的新杀手”。

兰州中川机场地处黄土高原与青藏高原的交汇处，高海拔对客机性能爬升梯度有一定的影响，同时机场四周有山，飞行安全高度较高，当客机起降遭遇低空风切变时，为避免与障碍物相撞，只能拉升高度后，重新建立降落程序或飞往周边机场备降严重影响飞行正常；同时当地处于欧亚航路，北极航线等多条航路的交汇处，飞行流量接近饱和，突发的低空风切变，增加空中交通管理的难度，并且因流量控制的需要对飞越客机的正常性也有一定影响。目前，当地的飞行机组、空中交通管理、地面保障部门对低空风切变的探测预报，已有较高的需求。因此，本文对发生在当地的 9 次低空风切变进行初步分析，并就利用多普勒雷达探

测低空风切变进行初步探讨。

2.西北部分机场的低空风切简介

表 1 统计了西北机场的 16 次低空风切变报告。如表 1 所示，西北机场的低空风切变,季节上出现在 3 月至 12 月，主要出现在冷暖空气交绥频繁的 5 月份，冬季 11 月和 12 月，也会有风切变出现；日变化上，主要出现在 11 时至 21 时,尤其以 17 时至 21 时最多。风切变对应的天气现象，以雷雨、阵雨、风沙为主，有的无天气现象，只是侧风较大。对飞行的影响,有的紧急复飞,绝大多数安全降落或重新加入进近程序后安全降落，个别的备降其他机场，取消当日飞行，严重影响了航班正常。从飞行阶段看，多在降落过程中遭遇风切变，这可能是因为，客机在降落过程中速度不断减小，环境风向风速的突然变化对飞行姿态的影响越来越明显；而客机在起飞过程中，跑道头腾空加速的过程中，速度越来越大，环境风的变化，对飞行的影响会越来越小的原因。另外，从承运人角度而言，到场降落的客机，在有弱对流时，会绕飞对流云争取降落，以减少返航备降带来的损失；而在起飞前，机载雷达发现起飞航道有对流云时，无法绕飞，为飞安全会等对流云移出起飞航道后，再起飞。这也客观上导致了，降落时遭遇的低空风切变较多。

表 1　西北部分机场的低空风切初步统计（2004 年—2007 年）

时间(北京时)	机场	过程
2007 年 06 月 07 日 17 时 12 分	兰州中川机场	B737_300 型客机,安全降落后报告遭遇低空风切变,100 度风,3 米/秒，2CU700,7SC1200
2007 年 05 月 08 日 13 时 17 分	兰州中川机场	空客 320,跑道北头 1000-1500 英尺高度,距离机场 8 公里有风切变,50 度风,3 米/秒,4CU800,1SC1800，安全落地
2007 年 05 月 02 日 19 时 56 分	兰州中川机场	19 时 56 分,350 度风 10 米/秒,阵雨 A320_214 型客机在短五边,修正海压高 2100 米,真高 600 英尺因风切变告警拉升,重新进近,20 时 07 分安全落地
2007 年 05 月 02 日 19 时 40 分	兰州中川机场	19 时 40 分,350 度风 10 米/秒,ERJ_145LR 型客机在短五边,修正海压高 2100 米,真高 600 英尺因风切变告警拉升,重新进近,19 时 52 分安全落地.
2007 年 04 月 09 日 13 时 26 分	兰州中川机场	少云天气,B737_300 型, 13 时 15 分降落时,因风切变复飞,13 时 26 分重新进近后安全落地.

2006 年 08 月 24 日 18 时 10 分	兰州中川机场	360º 9MPS,2/8Cb1200,D328 型, 18 时 10 分在五边,因剧烈颠簸,修正海压高度 2310 米拉升,随后备降银川河东机场。
2006 年 06 月 24 日 17 时 30 分	兰州中川机场	270º 13MPS,2/8Cb1200,B737 型, 17 时 30 分在 36 号跑道降落时,因风切变,在修正海压 500 米拉升.
2004 年 5 月 17 日 17 时 51 分	兰州中川机场	280º 6MPS,1/8Cb1200,2/8Fc700 米,扬沙天气来临前，安全降落后机组通知有风切变
2004 年 7 月 14 日 13 时 50 分	兰州中川机场	MU5955（南京—兰州—乌鲁木齐），中午降落中川时阵雨，240º 5MPS，报告风切变复飞，安全降落。
2002 年 3 月 21 日 15 时 20 分	榆林西沙机场，	风沙天气，平均风速 13 MPS，阵风 20 MPS，进近下降到场压 400M 飞机报告风切变，返航。
2003 年 4 月 12 日 19 时	西宁曹家堡机场	降落时报告风切变，两架班机备降兰州中川机场，当夜返回西宁。
2005 年 12 月 13 日 18 时 30 左右	西宁曹家堡机场	EMB145 客机,在西宁曹家堡机场降落时,因西宁上空颠簸,18 时 58 分备降落地兰州中川机场,并取消当日飞行。18 时西宁曹家堡机场，130 度风，9 米/秒，CAVOK 天气。
2002 年 9 月 30 日 11 时 10 分	银川河东机场	MD—90 型班机，270 度 4 MPS，21 号跑道进近，下降到 QNH 高度 1440 米，飞机报告风切变，紧急复飞后沿 03 号跑道降落成功。
2002 年 9 月 30 日 14 时 00 分	银川河东机场	21 号跑道机组反映，QNH 高度 1450 米，遭遇风切变复飞，塔台指挥右转 1900 米后，由 03 号跑道降落成功。
2002 年 11 月 20 日 20 时 50 分	银川河东机场	110 度风 3MPS，03 号跑道降落，机组报告，五边下降 1350 米 QNH 高度，遭遇较大顺风和风切变。安全降落。
2002 年 11 月 21 日 20 时	银川河东机场	机组报告五边遭遇风切变。安全降落。

注：兰州中川机场及西宁曹家堡机场低空风切变报告，来自兰州民航管制部门的记录；银川河东机场、榆林西沙机场的低空风

切变报告，来自参考文献 4

3. 兰州中川机场低空风切变的气候特征

表 1 所示，在兰州中川机场遭遇低空风切变的客机，既有载客数十人的小客机；也有载客百余人的中型客机；以中川机场为基地的 A320—214 型客机，也遭遇到低空风切变。由此可见，目前参与当地运营的所有客机都有可能遭遇风切变。

从兰州中川机场出现低空风切变前后 1 小时气象要素变化分析（表略），,出现低空风切变前的风向多为稳定的西南风或西北风或风向不定或变化幅度在 180 度以上,而机场的盛行风为偏北或东北风，及偏南风，因此，出现低空风切变的风向，主要是与跑道成一定角度的侧风,这主要由于机场的地形造成的。在小地形上中川机场处于秦王川盆地东南端、马家山脚下，机场四周为群山环抱，地势北高南低，机场北、东方向 10-15 公里内地势较为平坦、开阔，西南和西北方向山势较高，呈阶梯状沟梁地形，相对高度在 50-100 米之间。主跑道磁方向为 180-360°,跑道北高南低，磁差 2°W，坡度 0.51%。跑道方向与西部山脉走向一致。在这种特属地形下，当气流从开阔的东部流向机场时，处于缓慢爬坡阶段,而西南方向距山较近,从西向机场的气流,属于沿山坡下冲的气流,风速在增大,出现风切变的可能性也在增大。这种跑道南北走向,地形北高南低,西边及南边距山较近的地形特点,便是机组反映,降落过程中出现的颠簸以西边和南边最多,在五边上频繁报告风速变化时将出现低空风切变的原因之一。

兰州中川出现低空风切变前后的气压变化，有些气压升高，有些气压降低；温度变化有些升温，有些降温，规律性较差；中川机场出现低空风切变的天气现象，在有弱对流阵雨天气，风沙天气，或无天气现象时都会出现。另外，在进近区域有对流云，而本场为底高 6000 米左右的卷云时，西南风下也会出现风切变，这是因为，在对流云的成熟阶段，云中产生的下沉气流冲到地面附近时，向四周散开，造成阵风；这会使降落前在低空飞行的客机，在高云区或无云区遭遇下沉气流，报告低空风切变。

表 1 所示，近年兰州中川机场的低空风切变有增加趋势。这种增加从定性方面分析大致有四方面的原因。第一、跑道东移的影响，使大风日数增多，山地背风坡的影响更为显著。第二，航班量增多的影响。中川机场 1994 年夏季航班时刻表上，周一进出 14 班次；2002 年 11 月 18 日，进出 23 班次；2007 年 5 月 1 日，日进出航班达 72 班次。这种航班的成倍增加，将直接导致遭遇风切变的报告增多。第三，相对复杂天气下飞行的次数增多。国内在八十年代末以前采取的是接受放行制，只要天气原因预报或实况不适航，如能见度低于最低运行标准或机场预计有 4/8 的积雨云就会关闭机场，班机不起降，自然不会遭遇风切变。1990

年 3 月 30 日发布《关于取消因天气条件关闭机场、航路制度的决定》后，采取只要有可以飞行的条件，在保证安全的条件下都会争取飞行，即由主动避免恶劣天气，转变为保证飞行安全的前提下在复杂天气时争取飞行;如在机场有雷暴时,只要起降航道上无对流云回波,就会正常起降;但雷暴云的气流是不对称的，强雷暴中有斜升气流，外流气流有时可以超越雷暴前方 20—30km,而班机决定绕飞雷暴的机载气象雷达是强度雷达对于干下降气流、冰雹区域等探测不到，这就存在起降航道无强回波时，仍会有低空风切变的可能，如每次都坚持飞行自然会遭遇的风切变较多。第四、客机设施增加后报告增多。九十年代后,在有的客机上配置了低空风切变告警仪,当感应到的风速变化达到标准时,就会确定为低空风切变,向机组告警,根据规定，飞机拉升,以保证飞行安全。这种探测仪器的增加，也相应增加了低空风切变的报告。如在九十年代初期，从中川机场北九十公里外的景泰导航点，飞向中川机场程序降落的过程中，跑道北头较远处有山，在过山降落时曾报告有颠簸，但未明确报告是低空风切变，也许这正是由低空风切变引起的颠簸。

4. 2007 年 05 月 02 日兰州中川机场的低空风切变分析

4.1 2007 年 05 月 02 日兰州中川机场的低空风切变过程

表 2 2007 年 05 月 02 日兰州中川机场报告的风切变

机型	时间	报告风切变情况
3970 号机	19 时 12 分降落	未报告风切变
ERJ_145LR	19 时 40 分	报告风切变
2813 号机：	19 时 46 分降落	未报告风切变
A320_214 型客机	19 时 56 分	报告风切变
5185 号飞机	20 时 03 分降落	未报告风切变

如表 2 所示,2007 年 05 月 02 日傍晚在不到 1 小时内,有 5 架客机进场,其中有两架报告遭遇了低空风切变。第一次, 发生在 19 时 40 分,ERJ_145LR 型客机在短五边,修正海压高 2100 米,真高 600 英尺因风切变告警拉升,重新加入进近程序,19 时 52 分安全落地。第二次在 19 时 56 分，A320_214 型客机在短五边,修正海压高 2100 米,真高 600 英尺因风切变告警拉升,重新加入进近程序,20 时 07 分安全落地。结合两次低空风切变之间隔，及未其他客机正常降落过程的情况，第一次低空风切变从报告至消失持续在 4 分钟左右，在第二次低空风切变的持续时间少于 11 分钟。

这次低空风切变是近年中川机场唯一的一次天气过程中，报告了两次低空风切变；尤其

是第一次，50 多座的 ERJ_145LR 型小型客机在拉升后，重新降落时，目击者看到将近跑道的客机在左右飘荡，有关工作人员称，是很危险的着陆。

4.2　低空风切变发生时的天气过程及气象要素变化

这次低空风切变出现在来自河西走廊的地面锋后，空中有高空槽配合，槽后有强冷平流；在当日的重要天气预告图上（图略），中川机场处于加强的高空急流南部，05020000utc 高空急流轴 290 度走向，风速 90 海里/小时；在 05020600utc 高空急流轴 280 度走向，风速 100 海里/小时；在 05021200utc 高空急流轴 260 度走向，风速 130 海里/小时；急流轴的高度也由 11400 米，降低为 10800 米，并出现了两段断裂；这种机场北侧急流的加强，高度降低、出现断裂，表明有较大的动量下传，也有利于大风及下沉气流的出现。

从当日中川机场的天气演变看，午后冷锋过境后，风速增大，出现最低能见度 1800 米的扬沙天气，之后出现大风，最大风速达 19 米/秒约两小时后，出现小雨转阵雨，持续 85 分钟，傍晚又出现持续 2 小时 30 分钟的阵雨，并伴有大风，最大为 320 度风，22 米/秒。随后又出现了最低能见度 2800 米的扬沙天气；虽然降水时间两次持续 3 小时 56 分钟，但累计降水量仅 0.0 毫米；当日共有 9 次大风记录。在 19 时至 20 时，降着阵雨，按日变化处于降温的时段，但这次气温不降反升，升高 0.6℃，相对湿度降低 5%，气压升高 1.0HPA，这只能表明是有强的干下沉气流绝热膨胀使气温升高，湿度降低。这也表明，傍晚降雨时风速增大，并伴有气温象要素的反常变化，即湿度降低,气温升高,气压增加是出现低空风切变的征兆之一。

4.3 多普勒天气雷达资料分析

4.3.1 中川机场用多普勒雷达的 PPI 速度和强度图象定性分析低空风切变

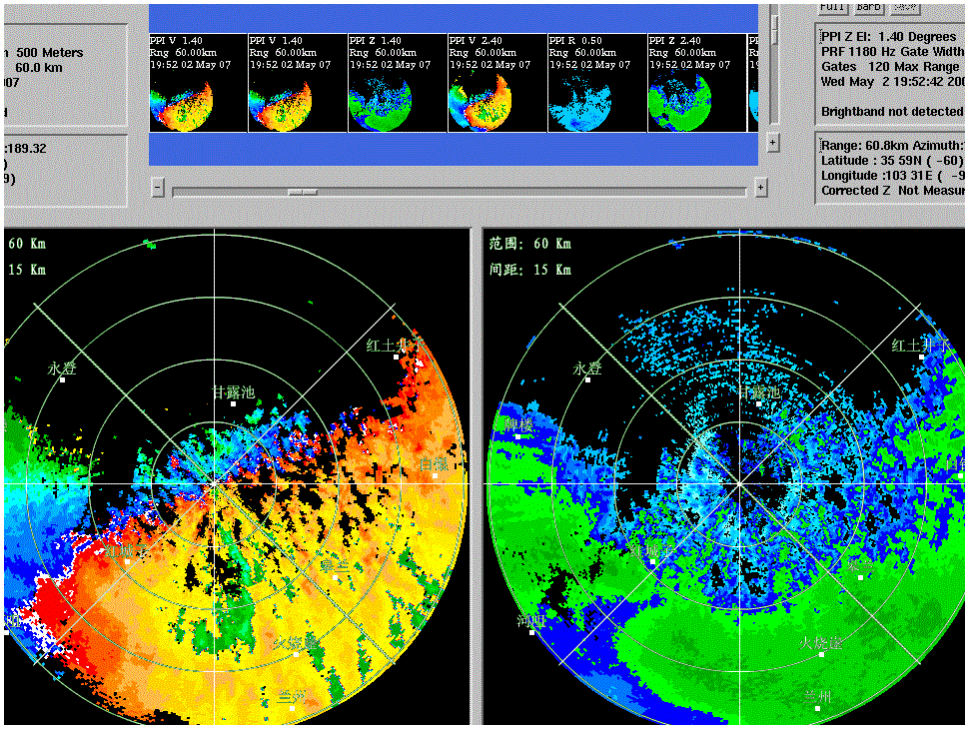

图 1　2007 年 05 月 02 日 19 时 52 分兰州中川机场多普勒雷达探测的 1.4°仰角的 PPI 速度图象（左）和未修正的强度图象（右）

注：机场主跑道方向 180——360°。图中方位与按普通地图标识。范围 60KM，距离圈 15KM，雷达于图正中心。探测时的重复频率为 1128MHZ,频率为 0.8ｕｍ,探测距离为 60KM。图的色标见图 2、图 3。

图 1 右图所示，2007 年 05 月 02 日 19 时 52 分兰州中川机场的对流云，主要在跑道南部，由于当时风向为 340 度 10 米/秒，阵风 16 米/秒；根据飞机必须逆风起降的飞行规则，在这次遭遇低空风切变的降落中，是由南向北落地。报告客机因低空风切变拉升的地点距雷达 14KM，正好位于弱回波区。因此，本文将 2007 年 05 月 02 日傍晚兰州中川机场的低空风切变，定性为弱对流下的强低空风切变。

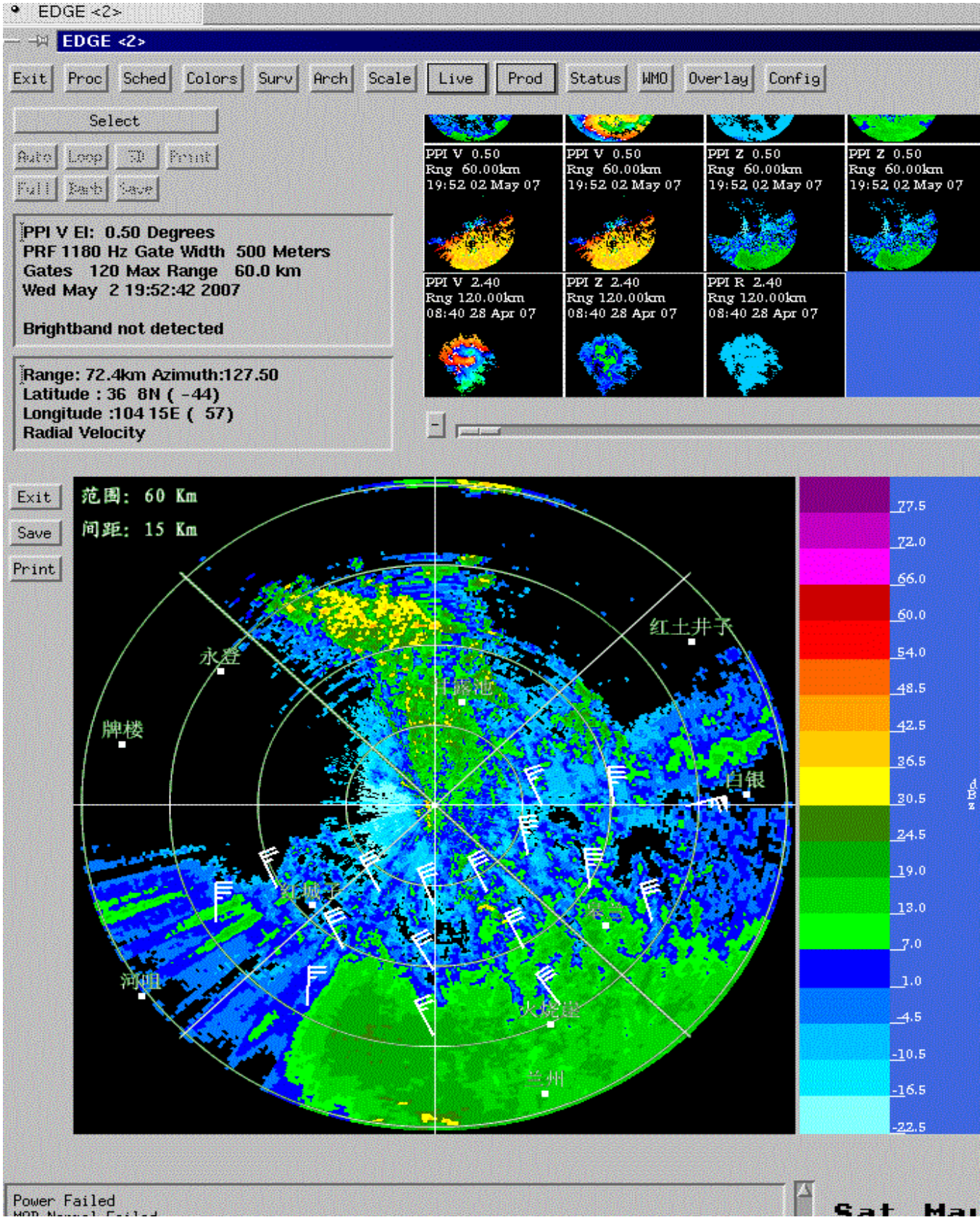

图 2 2007 年 05 月 02 日 19 时 52 分兰州中川机场多普勒雷达 0.5°仰角探测的 PPI 雷达图象

注：范围 60KM，距离圈 15KM，雷达于图正中心。探测时的重复频率为 1128MHZ,频率为 0.8ｕｍ,探测距离为 60KM。风场为 TVAD 技术处理显示的风场

图 2 所示，造成这次低空风切变的跑道南部对流云，是由东北西南走向的风向风速辐合造成的，对流云所处的位置正好位于风速辐合线的前沿，机场以南的回波，在 30KM 以外较强度，最大强度 22.5dBZ;在 30KM 以内较弱,个别较弱处为无回波,15KM 附近的回波强度为负值；在 5KM 以内又为较强回波区。垂直剖面图(图略)显示，回波顶高在 6000 米以内，30KM 以外较强回波区的高度在 5000 米以下；25KM 以内的回波顶高在 4000 米以内，因回波高度较低，对流发展较弱，因此，天气现象表现为降阵雨;20 时机场地面气象观测实况有 6/8 个量的 Cb 云，在跑道南头飞机降落航道上有雨幡。值得的注意的是客机在由 35KM 以外较强的回波区，飞向较弱的回波区时，遭遇了强风切变。这主要是由风向风速的剧烈变化引起的。

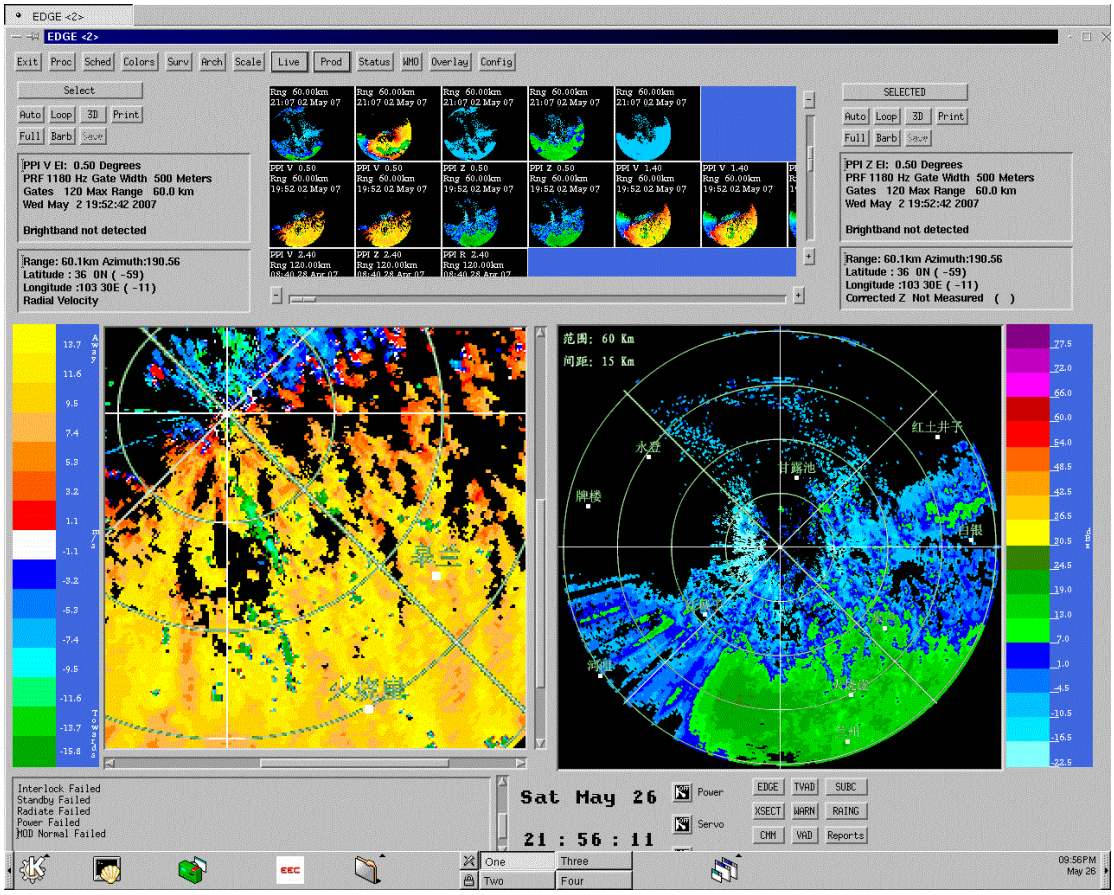

图 3　2007 年 05 月 02 日 19 时 52 分兰州中川机场多普勒雷达探测的 0.5°仰角的 PPI 速度图象（左）和未修正的强度图象（右）。

注：探测范围 60KM，距离圈 15KM，雷达于图正中心。探测时的重复频率为 1128MHZ,频率为 0.8ｕｍ。

图 3 左图为 0.5°低仰角的 PPI 多普勒雷达速度场图像，黄色为正速度，表示径向风吹离雷达，绿色为负速度，表示径向风吹向雷达；而无速度区（以下简称空洞区）表示确实无云，或为与雨幡相伴的下沉气流区；根据多普勒雷达原理，当降水粒子相对于雷达发射波束有相对运动时，可以测定接收信号与发射信号高频频率之间存在的差异（即频移）得出所需的信息，在一定条件下反演出大气风场、气流的垂直速度的分布以及湍流情况等；如果云中

为干空气粒子，或很小的云滴，就无速度图象显示；即在强度图上，有回波，而速度图上，无回波，就可以看作是由来自高层的干下沉气流区。如图 3 所示，在机场以南 35KM 内，180 度方向，由南向北客机降落的航迹上 ，由远向近，速度图表现为，正速度区，无速度区、有两个速度模糊中心的正速度区，趋近机场又为无速度区至负速度区。值得注意的是，在两个速度模糊中心的正速度区，左右两侧为对称的无速度区，这实际上是对流云两侧的干下沉气流区，而速度模糊区是上升气流区。因此，客机在飞向机场短短 35KM 距离内，所遇的风场，依次为逆风区、下沉气流区，上升气流中的大速度逆风区、顺风区。这种环境风场的反复变化，必然引起客机速度的剧烈变化，导致升力的剧烈变化，造成客机升降起伏，偏离下正常的滑道；只能拉升高度后，重新选择降落程序降落。

图 1 左图所示，上述分析的 0.5°仰角的 PPI 多普勒雷达速度场图像分布，在 1.4 仰角的 PPI 多普勒雷达速度图像上，有相近的反映，表明这次低空风切变有一定的垂直厚度。

图 4 为 2007 年 05 月 02 日 19 时 52 分兰州中川机场低空风切变时多普勒雷达 0.5°仰角探测的的 PPI 速度图象（左）和未修正的强度图象（右）的局部放大图，从图中可以更明显的看到，速度场图象场上存在的两个空洞，在距离雷达 10KM 和 18KM 的空洞区，在强度场上有回波是云区，表明这两个空洞区即为干下沉气流区；客机在降落时会遭遇两次下沉气流的冲击，而中间是顺风的上升气流，航班会有两次遭遇低空风切变的可能。

这种跑道南头有雨幡，在多普勒雷达速度图象上，有空洞时将出现低空风切变，而无空洞时低空风切变可能弱或无低空风切变的初步结论，可以用 2007 年 6 月 23 日傍晚情况佐证。在 2007 年 6 月 23 日 19 时 25 分，兰州中川机场有远电雷暴，300 度风，4 米/秒，4/8 个量

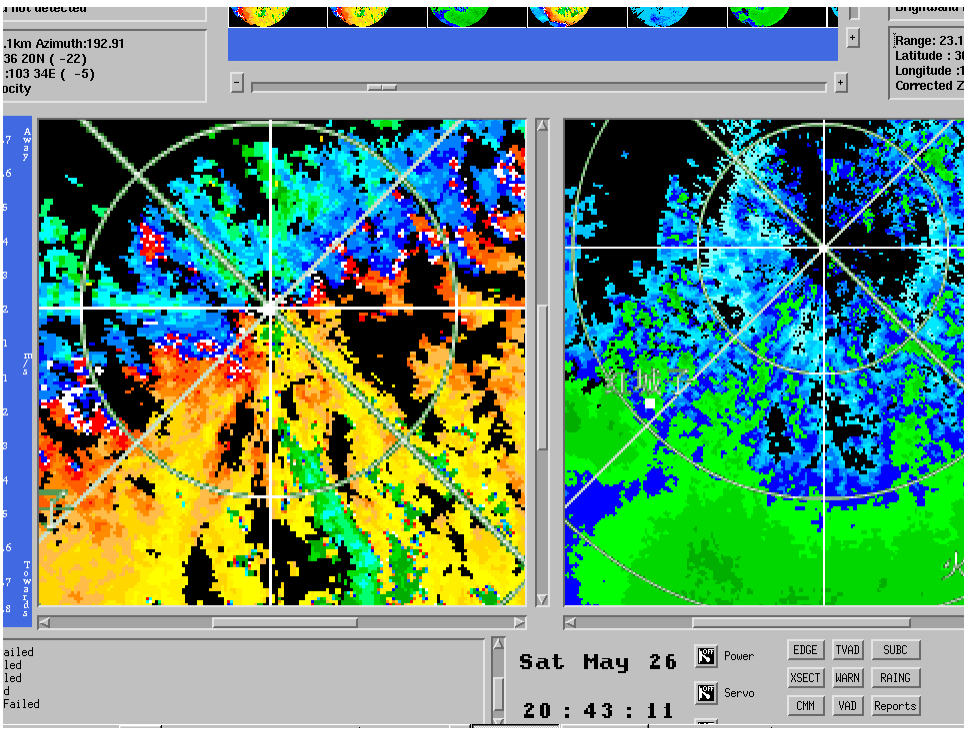

图 3　2007 年 05 月 02 日 19 时 52 分兰州中川机场多普勒雷达探测的 0.5°仰角的 PPI 速度图象（左）和未修正的强度图象（右）的局部放大图

注：图标见附录图 a、附录图 b，机场主跑道方向 180——360°。图中方位与按普通地图标识。范围 60KM，距离圈 15KM，雷达于图正中心。探测时的重复频率为 1128MHZ,频率为 0.8ｕｍ,探测距离为 60KM。

的 CB，云底高度 990 米，跑道南头有对流云，有雨幡，开机探测的多普勒雷达速度和强度图象（图略）上，速度图象和强度图像均结构密实，没有空洞出现，强度中心在 189°方位，26KM 处，达 37.0 dBz ，强于 5 月 2 日 19 时 52 分的 22.5dBz;同时在机场南部以 14.0KM 为界，远离机场是正速度区，径向速度最大在 30.0KM 处，达 13.1 米/秒，；趋向机场为负速度区，径向速度最大最大在 6.6KM 处，达 4.1 米/秒，在机场南头 14KM 左右，为明显的辐散下沉区域。此处位于航班降落的航道上，而当时降落的客机未向塔台报告低空风切变。因此，跑道头有雨幡，在多普勒雷达速度图象上，有空洞可看作是出现低空风切变的定性判判之一。

4.3.2 用多普勒雷达探测图象的 VAD 资料定量分析低空风切变

表 3 中的数值是 2007 年 5 月 2 日 19 时 52 分兰州中川机场多普勒雷达开始探测的水平风的垂直分布，及雷达数值处理系统计算出的垂直风切变数值。由表 3 所见，从距地面 7 米至 188 米，风向随高度逆转后又顺转，在较高层次又逆转，变化较大，对从南向北降落的客机为逆风，因风向的频繁变化，侧风的分量也在发生频繁的变化。不同高度上的水平风速也有明显的变化，幅度在 8.282 米/秒，到 11.187 米/秒之间。水平风的垂直切变数值，变化剧烈，在 7 米高度最大，达 76.548（米秒/100 米），最高与最低间相差 35 倍；在客机因风切变拉升的高度 180 米左右，水平风的垂直切变数值为 6.334（米秒/100 米）。根据参考

文献 2,低空风切变的强度标准，在 30 米厚度气层的风速变化值，在 0——2 米/秒，为轻度；

表 2 兰州中川机场多普勒雷达探测的垂直风及低空风切变（2007.05.02）

高度	风向	风速	风速变量	垂直风切变数值
Aititude（m）	Direction（deg）	Velocity（s/m）	rms error（ s/m）	vertical shear（s/m/100）
7	339.977	10.684	0.997	76.548
16	336.525	10.300	1.207	16.757
25	323.809	9.533	1.251	8.365
34	331.454	9.058	1.084	2.068
38	342.422	10.653	1.088	3.612
43	325.909	9.625	1.108	15.970
53	316.140	10.586	0.987	2.863
63	328.507	9.989	1.164	28.708
69	326.466	10.767	1.036	8.241
72	347.168	10.158	1.115	23.131
82	355.312	9.041	1.209	19.294
88	326.466	10.767	1.036	8.241
92	9.164	8.978	1.064	5.554
102	0.450	8.282	0.967	8.768
.112	357.840	8.923	1.082	11.196
113	320.705	8.842	1.036	8.241
.113	325.916	9.788	1.058	40.264
138	336.379	9.455	1.179	4.383
163	323.550	11.187	1.233	4.781
188	333.894	10.424	1.222	6.334
214	339.882	10.735	1.228	2.142

在 2.1—4.0 米/秒，为中度；在 4.1——6.0 米/秒，为强度，在 60 米/秒以上严重。按此标准，平均换算后，在拉升处的水平风的垂直切变达到中度风切变标准。在距地面 113 米、82 米、72 米、63 米、43 米、16 米、7 米水平高度达到强风切变的标准，且强弱区相间出现。

这样，客机在由高到低的降落过程中，会经过 6 个风切变高峰区，且越飞近地面越严重，这就象在降落的过程中，会经过 6 个一浪高过一浪的风切变浪潮，客机不得不拉升后，重新寻找降落机会。第一次风切变后，再次降落时飞机摆动，说明低空风切变仍然较强，第二次风切变后，再次安全降落，说明风切变有阵性，持续时间较短，已移出降落航道。

表 3 兰州中川机场多普勒雷达探测的垂直风及低空风切变（2007.06.23）

高度	风向	风速	风速变量	垂直风切变数值
Aititude（m）	Direction（deg）	Velocity（s/m）	rms error（ s/m）	vertical shear（s/m/100）
7	260.004	8.880	1.034	18.149
16	258.832	9.547	1.028	8.056
25	256.212	10.202	0.970	7.926
34	256.716	10.954	0.949	5.973
43	253.457	11.187	0.903	5.687
53	251.148	10.765	0.842	4.296
63	251.003	10.517	0.975	1.520
72	250.867	10.479	0.967	9.990
82	256.957	8.810	1.065	18.448
92	256.142	7.571	0.995	16.031
102	276.993	7.181	1.005	7.145
112	275.778	7.154	0.925	8.627
123	286.824	8.384	0.904	11.941
133	295.978	6.896	1.183	22.734
144	321.609	6.881	0.955	25.707
154	339.741	7.611	1.048	11.344
165	328.566	9.112	1.186	14.238
187	322.031	8.654	1.005	2.430
209	318.021	9.646	0.992	24.422

表 4 中的数值是前面提到的 2007 年 6 月 23 日 19 时 25 分，兰州中川机场跑道南头有对

流云、有雨幡、有远电，但客机在降落过程中无低空风切变情况下，兰州中川机场多普勒雷达开始探测的水平风的垂直分布，及雷达数值处理系统计算出的垂直风切变数值。由表 4 所见，从距地面 7 米至 209 米，风向随高度顺转，变化较小；不同高度上的水平风速变化，幅度在 6.881 米/秒，到 11.187 米/秒之间，各层风速值较小。水平风的垂直切变数值，在高 154 米高度最大，为 25.707（米秒/100 米），为 5 月 2 日最大值的三分之一；最高与最低间相差 17 倍，远小于 5 月 2 日的 35 倍；水平风的垂直切变数值随高度变化趋势，5 月 2 日低层大高层小，而 6 月 23 日，高层大低层小，正好相反。风速的变化偏差数值,也是 5 月 2 日高于 6 月 23 日。根据参考文献 2,低空风切变的强度标准，从表 4 资料判断，6 月 23 日 19 时左右，在距地面高度 209 米、165 米、154 米、144 米、133 米、92 米、82 米、7 米为强低空风切变区，也应有低空风切变报告，但实际上没有，当时客机正常从南向北降落。因此，对比两次情况，在使用兰州中川机场多普勒雷达数值处理系统计算出的垂直风切变数值判断是否有低空风切变时，如果低空风切变数值随高度降低在增加，并且距地面 60 米以下，出现 70（米秒/100 米），距地面 133 米左右，有 40（米秒/100 米）以上的，水平风垂直切变作为，判定有低空风切变出现的依据。

5.小节

综上所述，从有限的资料分析兰州中川及西北个别机场的低空风切变，得出以下结论：

a. 西北大多数机场都有低空风切变出现的可能，已有的低空风切变多出现在降落过程中。季节上,主要出现在冷暖空气交绥频繁的 5 月份，冬季 11 月和 12 月，也会有风切变出现；日变化上，主要出现在 11 时至 21 时,尤其以 17 时至 21 时最多。西北机场在风沙和弱对流云下，以及无天气现象的较大阵风、或阵雨中也会出现低空风切变。

b.兰州中川机场低空风切变有增加趋势,当地起降的各种机型都可能遭遇低空风切变，低空风切变已成为影响飞行正常及安全的重要气象因素。

c.可以用多普勒雷达度图象空洞区、速度模糊区定性判断低空风切变区域,用 VAD 垂直风切变资料，定量判断低空风切变强度。使用兰州中川机场的多普勒勒雷达 VAD 资料判断低空风切变时，当 VAD 水平风的垂直切变数值，变化频繁，有向低空增加趋势，距地面 60 米以下的最大值，在 70（米秒/100 米）左右，距地面 133 米左右，有 40（米秒/100 米）以上的水平风垂直变化时，可以判定有低空风切变存在，并建议并应建议起降客机应采取躲避措施。

d. 在飞性保障中，当进近区域有对流云，而本场为稳定高云时，也应关注低空风切变对飞行的影响。

参考文献:

1. 王学永、金维明编。低空风切变与飞行，空军第七研究所，1986 年 9 月

2. 黄仪方，朱志愚，航空气象，西南交通大学出版社，第一版，2002 年 10 月， 133pp

3. 张培昌，杜秉玉，戴铁丕，雷达气象学，气象学出版社，2001 年 1 月，第一版， 218pp

4. 西北空管气象处。民航西北地区航空气象论文集，s2003 年 12 月

初稿时间：2007 年 6 月 25 日 02：30——09；47 分孙伟中于兰州。

作者姓名: 孙伟中

身份证号码 620102196501206818

工作单位 民航兰州空管中心气象台

通信地址 甘肃兰州市中川机场兰州空中交通管理中心气象台

邮政编码 730087

职务 气象预报员

职称 气象预报高级工程师

电话 13519312545

0931——8168322（办 预报室）

E-MAIN lzkgswz@163.com

初稿于 2007 年 6 月 25 日 09 时 55 分

修改时间，2007 年 06 月 25 日 16 时 10 分，2007 年 06 月 26 日 04 时 30 分

2007 年 06 月 26 日 9 时 27 分完成，第二次修改

2007 年 08 月 01 日 20 时 14 分—8 月 2 日 0 时 58 分修改于威海网吧,按总局气象处要求格式完成给海峡两岸论文交流会的修改