重庆机场辐射雾消散机制

周　旺[1]　刘　昊[2]　樊　斌[3]

（1. 民航重庆空管分局，401120；2. 北京华风气象影视信息集团有限责任公司；
3. 内蒙古自治区气象局）

提　要：通过对重庆江北国际机场1997年1月到2008年12月期间能见度≤800m的辐射雾天气观测资料、天气图资料的综合统计分析，初步揭示影响机场地区辐射雾消散过程的主要因素和消散机制：在机场地区辐射雾消散过程中宏观地形影响天气形势，天气形势影响消散过程持续时间，局部地形是消散过程中能见度波动的主要原因，山风和湍流作用通过带来雾平流影响跑道能见度。

关键词：辐射雾　地形因素　山风和湍流作用　消散机制

引　言

重庆江北国际机场的年客流吞吐量超过千万人次，随着航班架次的日益增加，机场地区辐射雾——特别是能见度小于800m时的天气条件对航班影响也越来越大。由于重庆机场地区辐射雾消散的时段集中在早晨00—05时（世界时，下同），正是进出港航班相对集中的时间，雾的消散直接影响着航班的运行恢复，所以有必要对重庆机场辐射雾消散机制进行研究。

尽管重庆地区已经进行过多次辐射雾的综合观察和科学研究，对雾的天气成因、物理化学特征、宏微观结构[1-5]有所研究，但机场地区的局部环境使得雾消散过程有一定特殊性，在辐射雾消散过程中存在能见度反复波动的过程，容易给消散预报造成误判，所以用重庆江北国际机场1997年1月到2008年12月能见度小于800m的典型辐射雾天气资料，结合个例分析，为重庆机场雾消散预报提供有效参考依据。

1　辐射雾消散的描述和统计

1.1　消散描述

重庆地区辐射雾消散的一般过程通常是从日出后开始，先由太阳辐射对地面加热，使得地面温度不断维持并上升，再通过湍流将热量传给大气，由此引起大气温度结构调整使大气长波辐射冷却减少。湍流的加热范围从雾底开始，向雾顶发展，雾的蒸发范围也随之由下往上逐步扩大，雾底抬升。而雾层的中上部由于较大的长波辐射冷却继续向上发展。当湍流加热作用达到雾顶时，雾顶处的冷却不能再产生足够的凝结以补充重力沉降引起的水分流失，因此，雾顶停止向上发展，继而进入蒸发阶段，随着蒸发范围向下发展，雾顶不断下降，随着这个过程的进一步发展，雾逐渐消散。就其本质来讲，辐

射雾消散的过程就是太阳辐射对地面加热和热量通过湍流向大气输送，致使雾滴蒸发的过程。

由于重庆机场的特殊地理环境影响，辐射雾在消散过程中会突然变浓，能见度下降，然后再继续消散，能见度上升。有时这个过程会反复出现，持续半小时到1个小时左右，这也使得辐射雾的消散时间相对延长。

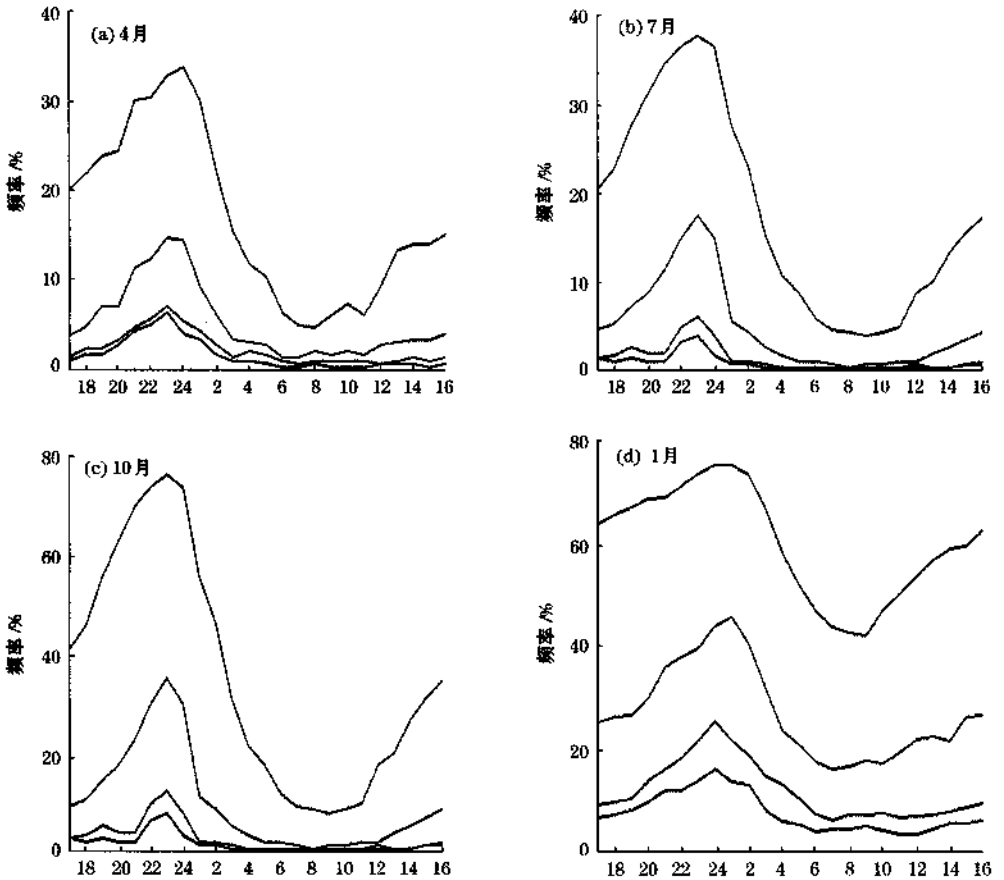


图1 机场各季逐时（UTC）能见度低于规定值频率图

图中曲线从上至下分别为<3000m、<1500m、<1000m、<800m的频率

1.2 时间统计

重庆江北国际机场全年能见度小于800m的平均日数为87.3天。其中冬季出现最多，占全年平均日数的37.2%。秋季、夏季次之，春季最少。其中60%以上是因为辐射降温形成的辐射雾造成的。

辐射雾在日出前生成，日出后1～2小时达最浓，一般容易在02—03时消散，秋、冬季维持时间长的可以到中午04—05时才消散；在春、夏季，有降水转晴的清晨，天空少云的条件下，近地面产生逆温层形成的辐射雾，其持续时间一般很短，1小时左右就消散。结合统计各季节雾出现逐时频率，重庆机场地区的能见度低于800m的辐射雾消散频率分布为：辐射雾在春季消散时间在

00—02 时，夏季在 23 时至 01 时，秋季在 00 时至 03 时，冬季在 02—05 时。

表 1　各季节辐射雾消散时间与日出时间对比表

季节	日出时间(UTC)	消散时间(UTC)	平均相距时间
春季	2200Z—2310Z	00Z—02Z	2 小时 10 分钟
夏季	2150Z—2230Z	23Z—01Z	1 小时 40 分钟
秋季	2230Z—2320Z	00Z—03Z	2 小时 50 分钟
冬季	2310Z—2350Z	02Z—05Z	3 小时 30 分钟

从表 1 可以看出，重庆机场的辐射雾消散时间比较长，各季节辐射雾消散时间与日出时间的相距是不同的。这和各季节的太阳辐射有关，同时也和各季节重庆机场地区天气形势使逆温层崩溃过程相关。

1.3　温度、湿度变化

重庆机场的相对湿度一年四季都很大，年平均相对湿度为 84%，全年除 8 月份外，各月平均相对湿度均大于 80%。在辐射雾发生过程中，相对湿度能达到 95.5%以上。通过长期观测结果表明：在大雾消散的过程中，温度的变化较快，温度上升的速度直接影响了辐射雾消散的快慢，而在辐射雾消散过程中湿度变化很小。

表 2　辐射雾温度、相对湿度变化

日期	最低能见度				能见度大于 800m			
	时间(UTC)	能见度/m	温度/℃	湿度/%	时间(UTC)	能见度/m	温度/℃	湿度/%
2007.02.01	0200Z	50	7.6	95	0332Z	800	10.7	93
2007.11.09	2300Z	100	12.4	98	0317Z	800	15.2	94
2007.11.23	2255Z	50	9.1	98	0400Z	800	11.5	94
2008.02.19	0000Z	350	5.3	93	0033Z	800	5.8	93
2008.04.25	2350Z	100	11.8	97	0137Z	800	15.9	90

从表 2 中可以看到辐射雾能见度最低的时刻、温度上升的速度与上一节消散时间统计结果相符合，并且温度上升较快。在春季 2008 年 4 月 25 日，90 分钟上升了 4.1℃；而其他几次过程都上升了 3℃左右；只有 2008 年 2 月 19 日的消散过程温度变化不大，只有 0.5℃。而相对湿度在雾消散过程中变化不大，只有在 2008 年 4 月 25 日的过程，由于升温快，相对湿度变化也相对较大。统计证明，在重庆机场，春夏季辐射雾消散过程中，能见度上升到 800m 时，相对湿度在 92%的频率最大，在秋冬季辐射雾消散过程中，能见度上升到 800m 时，相对湿度在 94%的频率最大。

2　天气形势的影响

重庆辐射雾形成当天的天气形势，大多是在亚洲经向度较大的环流条件下；500hPa 上，在东部沿海地区存在一个较强的东亚大槽，中亚及青藏高原有明显的高压脊；在对应的地面图上，重庆处于变性冷高压或者弱高压控制。在辐射雾生成前 48 小时内，重庆机场地区几乎都有一个降水过程。在垂直结构上，近地面层有明显的逆温，呈现出上干下湿的稳定层结。

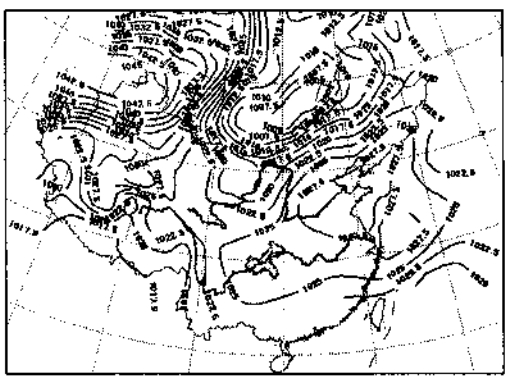


图 2　2007 年 11 月 24 日 00 时（UTC）海平面气压

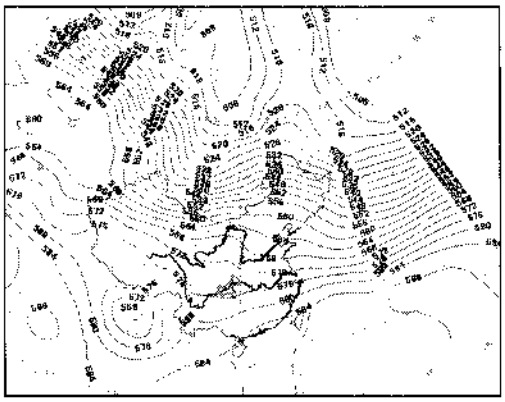


图3 2007年11月24日00时（UTC）500hPa高度场

逆温层的存在是辐射雾存在和发展至关重要的因素，而逆温层的崩溃过程影响辐射雾的消散过程。天气形势对于逆温层的崩溃作用极大。在机场地区，逆温层崩溃的最主要形势是地面气温的上升，达到逆温层顶温度以上。

在春、夏季，槽脊系统移动快，辐射雾日生成后，很快受脊前气流控制，逆温层持续时间短，地面升温较快，近地面的逆温层破坏得也快。

秋、冬季，地面主要受弱天气系统控制，由于地形因素和独特的地方性气候特点，在850hPa上长期存在一个低压辐合中心，从而在整个四川盆地覆盖有中、低层云，重庆地区在有较大的云隙时产生的辐射雾，在消散时很大程度上要受到云层的影响。云对辐射雾消散的作用有两个：一是增加向下长波辐射通量，对下方大气及地面起保暖作用；二是阻挡太阳辐射，使其下方接受的太阳能减少。

表3 不同高度的云对辐射雾消散的影响

云高	作用	比净空消散时间
1500m	加快消散	早45分钟
4500m	阻碍消散	延长30分钟

引自文献[6]

计算表明，在1500m高度上的云能使该高度上净向上长波辐射通量减少90%以上，地面温度上升比净空快，相应地，湍流加热范围扩大；但大气长波辐射冷却率比净空大大减小，雾不再发展，消散时间比净空时缩短。而在4500m高度上的云阻挡阳光，地面加热慢，相应地，湍流加热强度慢，雾消散时间延长。

另外，中、低空温度平流对逆温层的破坏有一定作用。

表4中的辐射雾消散时间均在22时之前，不在消散集中的时间段，而且消散时间持续短，3次过程在1小时内能见度跨度大。通过天气图资料分析发现，在三次过程当日00时700hPa上，四川盆地均有一条西北—东南向伸入重庆西北部的冷平流，冷区边缘就是雾区，而冷平流经过的地方冷平流降低了逆温层层顶温度，加快逆温层崩溃，地面升温加快，从而加快辐射雾的消散；而暖平流作用相反，减缓逆温层崩溃，使得辐射雾持续时间延长，消散过程变慢。

所以在预报辐射雾消散时，中低层冷暖平流是非常重要的因素。

表4 冷平流影响下能见度变化

日期	能见度/m				
	18Z (UTC)	19Z (UTC)	20Z (UTC)	21Z (UTC)	22Z (UTC)
2003.01.05	300	300	300	1000	2000
2006.12.02	800	1500	1800	2000	2500
2008.02.28	500	600	1200	1500	2000

综上，天气形势通过改变太阳辐射对大气和地面的加热过程、云层对大气和地面长波辐射的保暖作用以及冷暖平流破坏逆温层，从而影响辐射雾消散时间。

3 地形作用

3.1 宏观地形

重庆位于四川盆地东部，长江、嘉陵

江、乌江交汇贯穿全境，大巴山脉、武陵山脉、大娄山脉三面横亘。青藏高原对西风带天气系统的阻碍和绕流作用明显，使得整个盆地气流的垂直交换较弱，在低层形成冷性（秋季）或暖性（冬春季）“气垫层”，有利于逆温层的产生，而且在逆温层形成后不容易被破坏，并且崩溃过程也相对延长；而低层、地面水汽输送充足，使得重庆地区的夜间相对湿度大，并且在日出后长时间保持高湿度的状态，即使温度上升很快，湿度降低的速度也十分缓慢，使得冬季、秋末以及初春辐射雾消散时间延长。

四川盆地的地形特征是造成冬季重庆冬季逆温层稳定的因素。同时，重庆地区的地形特征使得近地面高湿度，多逆温，增加了辐射雾的消散时间。

3.2　局部地形

重庆江北国际机场位于重庆市渝北区境内，属于浅丘陵地形。机场东到东南面 7～12km 有大坡顶、铁山坪等山脉与跑道基本平行；西南面 4.7km 有高岩头山；北面到西北面 46km 处有华蓥山脉；机场地处四面环山的小盆地之中。长江和嘉陵江位于机场南面和西面 10～12km 处。跑道东、北、南面均为低于跑道面的低洼地形。南头的地形槽向南延伸到长江，北头地形槽两边多农田，植物茂盛。这些低洼区和地形槽在辐射雾生成时是雾的主要堆积区。重庆机场的局部地形是造成机场辐射雾消散过程中出现反复过程的最主要因素，因为能见度波动过程会随着温度波动反复多次出现，增加飞机起降的难度，加大飞行危险系数，所以是预报的一个重要参考因素。

机场辐射雾消散过程中能见度波动过程如图 4。当日出后，地面加热，雾的底层在湍流作用下蒸发消散，中上部不断有新的雾生成，主体抬升。当跑道近地面区域能见度开始上升，又有低洼地段的雾抬升后进入跑道，使得跑道能见度下降，随着温度继续上升，低洼地段雾底抬升到跑道面以上，能见度好转。随后因为山风带来山区冷空气下沉，造成地面降温，再加上在山谷又有暖湿空气不断上升，使得雾层不断有水汽输入，新的雾又生成。新生的雾在湍流作用下和跑道上的雾重合，而跑道本来低层开始抬升消散的雾与重新生成雾滴重合，能见度迅速下降，由于碰并作用，大雾滴下沉，在低层又受到湍流加热，蒸发，变小，低层雾滴密度增加，使得跑道上温度即使在持续缓慢上升，而能见度却进一步下降，直到温度上升，逆温层被破坏，雾最终消散。

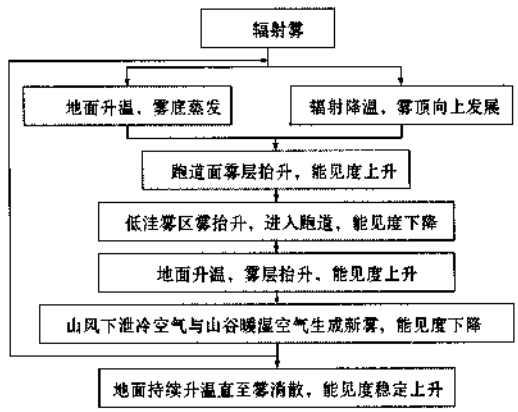


图 4　机场辐射雾消散过程中能见度波动过程图

3.3　山风及湍流作用

研究发现，重庆机场地区辐射雾的生消过程与局地环流密切相连。重庆机场在附近山脉、江河、城市因子的影响下，会出现山风环流，夜间东西两侧的山区下泻冷空气，在包含机场范围在内的山谷地区汇合，在其上空形成上升气流，辐射雾在日出后的发展阶段就是受此影响[6]，山风带来的温度波动是造成重庆机场辐射雾消散波动的重要因素。午后山风环流逐渐减弱，转为谷风环流，在低层辐散，雾顶辐合，加速雾顶消散[6]。

因为机场南北两头地形槽和低洼区是辐射雾主要的堆积区，在辐射雾消散过程中，山风的偏南风分量会带着长江江面以及地形槽中抬升的雾向机场运动，形成偏南风风向的“雾平流”，使得南头跑道能见度远远低于北头，消散时间更长。当山风和湍流风为偏北风时，北头跑道低洼地带抬升的雾将被带到北头跑道，形成北风风向的“雾平流”，使得北头跑道能见度远远低于南头，并且消散时间更长。

图5是2008年2月24日的辐射雾消散过程中，由跑道两头自动观测系统测得的光学能见度值（MOR）的变化趋势，整个过程风向都在171°～220°之间，平均风速1.7m·s^{-1}，南风分量较大，所以南头跑道的能见度一直低于北头，而且由于雾平流的影响，能见度波动也较北头跑道频繁，波动大，并比北头跑道晚20分钟达到800m。

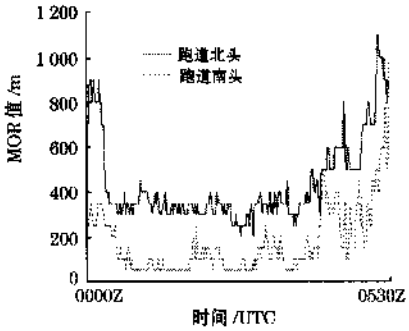


图5 2008年2月24日辐射雾消散过程南风对跑道两端的MOR值影响

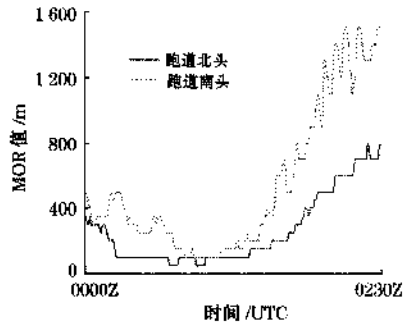


图6 2007年11月25日辐射雾消散过程北风对跑道两端的MOR值影响

图6是2007年11月25日的辐射雾消散过程中，南、北头跑道的MOR变化趋势。整个过程中风向为290°～0°，平均风速1.3m·s^{-1}，由于北风分量较大，所以北头跑道能见度一直小于南头，并比南头跑道晚40分钟达到800m。

4 城市热岛影响

长期以来，根据塔台管制员的报告和气象观测员的观测记录表明，入夜后辐射雾区基本呈西部薄东部浓的趋势，在日出后辐射雾发展和消散阶段雾从西往东开始消散，能见度也是西部大于东部。这是由于距重庆机场西北面5km左右有南北走向的两路镇与跑道基本平行，城市热岛效应明显。这造成机场地区温度西高东低，冬夏季较春秋季明显，夜间较白天明显，使得辐射雾消散由西向东发展，随着日出后温度升高，东西温度差减小，热岛效应的温度差异对辐射雾消散影响也减弱消失。但热岛效应使得城市上空的颗粒物增加，也直接影响能见度和阻碍太阳辐射，增加低云量，减缓雾滴蒸发，使辐射雾进一步消散过程减缓[6]。

总之，热岛效应在辐射雾发展时加快其消散过程，在消散过程中又阻碍消散过程的进一步蒸发，并且使得机场辐射雾消散形成由西往东消散的趋势。

5 总 结

重庆机场地区辐射雾的消散机制的本质过程，就是太阳辐射加热地面，热量经由湍流加热大气的过程。在这个过程中，会受到来自不同天气形势、独特地形环境以及山风等因素的影响，使得重庆机场地区的辐射雾消散过程具有其特点。

（1）天气形势对辐射雾消散的影响，一

是影响太阳和大气辐射的传播和吸收来影响逆温层的崩溃过程，从而决定辐射雾消散过程的快慢；二是通过中、低层冷暖平流来影响逆温层，影响辐射雾消散时间的长短。

（2）重庆机场大的地理环境形成独特的高湿度、多逆温气候特点，另外重庆的天气形势很大程度上也受地理环境影响；局地小地形是辐射雾反复波动的主要因素之一。

（3）山风和湍流作用对辐射雾消散影响：由山风带来下泄的冷空气是造成辐射雾消散波动的主要因素之一；谷风加快辐射雾消散；消散时山风和湍流的南北风向影响南北跑道头各自的能见度和消散时间。

（4）热岛效应对辐射雾消散的影响有两个：一是使辐射雾消散呈由西向东的趋势；二是辐射雾在消散时期起延缓消散的作用。

参考文献

[1] 向　波，刘　德，廖代强. 重庆雾的特点及其变化分析 [J]. 气象，2004，29 (2).

[2] 刘　德，周国兵，向　波，等. 重庆雾的天气成因 [J]. 气象科技，2004，32 (6)：461-466.

[3] 李子华，彭中贵. 重庆市冬季雾的物理化学特征 [J]. 气象学报，1994，52 (4)：477-483.

[4] 李子华，张利民，楼小凤，重庆市区冬季雾的宏微观结构极其物理成因 [J]. 南京气象学院学报，1993，16 (1)：48-54.

[5] 李子华，张利民. 论山风对重庆雾形成和发展的作用 [J]. 重庆环境科学，1992，14 (3)：7-11.

[6] 尹球，许绍祖. 辐射雾生消的数值研究（Ⅱ）——生消机制 [J]. 气象学报，1994，52 (1)：60-67.