

长水机场大雾天气环流分型及诊断分析

Changshui airport fog weather situation circulation

classification and diagnostic analysis

王良发¹ 田子彦¹ 王睿¹ 年艾冰¹

(1. 民航云南空管分局气象台, 云南昆明, 650200)

摘要: 利用模糊聚类及合成分析方法, 对 2006.1–2009.2 昆明长水机场观测点共 150 个大雾日 08 北京时 NCEP 再分析资料进行环流场分型及诊断分析, 结论如下: 共分为四型, 前三型为干季型, 第四型为雨季型。水汽条件方面, 四种分型 700hPa 上本场相对湿度在 60%~90%之间不等; 850hPa 上四种分型本场相对湿度均在 90%以上, 水汽近饱和。另外, 采用统计分析方法, 对 850hPa 本站参考点分析风场及地面观测资料进行分析, 结论如下: 长水机场大雾时, 850hPa 上本场参考点以东南风为主, 风速在 1~5 m/s 之间, 大部分情况受地面冷空气影响, 有利于地面降温及形成锋面逆温; 在雨季, 降水是大雾主要水汽源, 而干季的降水则不再是大雾主要水汽源; 大雾日主要为阴天, 与地面冷空气影响相吻合。

关键词: 大雾 客观分型 聚类分析 合成分析

引言

大雾是一种对飞行安全影响较大的危航天气, 如何作好大雾的预报一直是广大航空气象工作者十分关心的问题。大雾使能见度下降, 从而影响航空器起降, 给飞行员操作带来困难, 当能见度低于飞行器起降标准时使得航空器无法起降, 造成航班延误, 影响航班计划的顺利正常运行。尤其当大雾持续时间较长时, 往往造成航班大面积延误, 对响航班计划的正常实施影响较大, 造成备降及旅客长时间滞留, 严重时甚至引起动乱等不安全事件^{[1] [2]}。有研究表明昆明地区东部、曲靖地区至昭通地区的彝良一带为少雾区^[3]; 另有研究表明昆明市东部及北部和曲靖北部等地为少雾区^[4], 与前一研究结论基本一致。云南的锋面雾主要分布在滇东和滇东北地区^[3], 昆明长水机场位于滇中偏东地区, 昆明的东北部, 靠近滇东北, 机场选址山腰, 位于云南冷空气的入口^[2], 易受云贵准静止锋影响而形成锋面雾。就 2006.1–2009.2 统计资料来看, 长水机场观测点大雾日数年均 50 次, 与前人研究的少雾区出入较大, 这与其特殊的地理位置及当时下垫面水汽条件有很大关系。长水机场观测点大雾过程较老机场多 (由于老巫家坝机场离城区较近、下垫面较干, 近几年基本没出现大雾), 预报员普遍对长水机场大雾天气预报经验不足。为了提高预报质量和改善服务品质, 本文对昆明长水机场观测点 2006.1–2009.2 三年共 150 次大雾样本, 利用 NCEP 的再分析资料及地面观测资料进行分析, 以期对昆明长水机场大雾预报业务提供有用预报参考指标。

1. 资料及方法

1.1 资料

对 2006 年 2 月–2009 年 1 月昆明长水机场观测点共 3 年 150 次大雾过程, 选取大雾过程当天 08 时 (北京时), 70°–120° E, 10°–50° N 范围, 700hPa 和 850hPa 高度层 (考虑到大雾的形成与中低层环流关系更密切及模式预报场为标准层资料, 选取 700hPa 和 850hPa 高度层分析场资料, 虽然 850hPa 高度层在本场海拔高度 (本站气压在 800hPa 附近) 之下,

但仍有较好参考意义), $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ NCEP 的再分析风场格点资料, 采用以模糊聚类结果为凝聚核心再用绝对值距离进行迭代的方法^[5]进行客观分型, 再利用合成分析方法对 500hPa 风场、海平面气压场及有关水汽的诊断量 (包括 700hPa 及 850hPa 相对湿度、水汽通量、水汽通量散度) 进行分析。此外, 采用统计分析的方法, 对 08 北京时 850hPa 本站参考点分析风场、长水机场观测点降水、云量与大雾的关系进行分析。

1.2 方法

将风场资料以矩阵形式给出:

$$X = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1j} & \cdots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \cdots & X_{2j} & \cdots & X_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ X_{i1} & X_{i2} & \cdots & X_{ij} & \cdots & X_{in} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ X_{m1} & X_{m2} & \cdots & X_{mj} & \cdots & X_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中 m 为空间点, n 为时间点, x_{ij} 表示在第 i 个观测点的第 j 次观测值。

结合相关系数公式

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{357*2*2} (X_{ik} - \overline{X_i})(X_{jk} - \overline{X_j})}{\left[\sum_{k=1}^{357*2*2} (X_{ik} - \overline{X_i})^2 \sum_{k=1}^{357*2*2} (X_{jk} - \overline{X_j})^2 \right]^{1/2}} \quad (2)$$

计算出每两个样本间的相关程度, 式中, k 为观测站点数, i 、 j 为样本序号, X_{ik} 表示第 i 个样本中第 k 个测站的观测值, 357 为选择范围内的站 (格) 点数, 第一个乘 2 表示风场是二维, 第二个乘 2 表示 700hPa 加 850hPa。

$$\overline{X_i} = \frac{1}{357*2*2} \sum_{k=1}^{357*2*2} X_{ik} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

由此得到相关矩阵 $R' = (r'_{ij})_{n \times n}$, 我们将其构造为模糊矩阵, 并进行连续平方幂改造,

得到具有自反性、对称性和传递性的模糊等价关系矩阵 $R^* = (r^*_{ij})_{n \times n}$ 。对此模糊等价关系

按 λ 水平进行分类。规定:

$$R^\lambda = (r^\lambda_{ij})_{n \times n}, \text{ 当 } r^*_{ij} \geq \lambda \text{ 时, } r^\lambda_{ij} = 1, \text{ 当 } r^*_{ij} < \lambda \text{ 时, } r^\lambda_{ij} = 0 \quad (4)$$

则集合 R^λ 就表示了 λ 水平下的分类结果。

λ 的取值大小对分类有很大关系。当 λ 取值太大时, 每个样本自成一类; 当 λ 取值太小

时，很多样本被归为一类，根据昆明机场大雾特点，我们认为将分类结果控制在 4 类较为合理（对全部 150 个样本分型），因此需要将每种类型所含的样本数控制在 4 个左右，通过分层剔除逐步归类，每个时次 700hPa 加 850hPa 综合风场我们可以分别得出 4 个分类结果，见下表：

表 1. 700hPa 加 850hPa 综合风场在昆明大雾前一天 20 时风场逐步剔除聚类过程

样本总数 311 个	λ 值	典型样本数	剩余样本数
第一次剔除	0.8915	36	114
第二次剔除	0.8688	36	78
第三次剔除	0.7864	37	41
第四次剔除	0.7570	37	4

然后对所得每个场 4 类样本包含的个例分别求风速分量平均值, 得到每个场的 4 类平均场。以这 4 种类型的平均场为核心，将 150 个样本与之比较，计算它们间的绝对值距离：

$$L_j = \sum_{k=1}^{357 \times 2 \times 2} |X_k - X_{k,j}| \quad (j = 1, 2, \dots, 4) \tag{5}$$

其中 j 代表第 j 类， X_k 代表某个样本第 k 个测站的风速分量值。

取 L_j 最小的归并 j 类，然后对所有属于这类的样本再次平均，得到新的平均场。再将 150 个样本与新平均场进行比较归类，如此反复，直到新平均场稳定不变为止，得到 700hPa 加 850hPa 综合场的最终分型结果（见下文表 2）。

2. 环流场分型结果

由表 2 知，前三型主要集中在昆明的干季发生，而第四型则集中在湿季发生。第一型主要集中于 10-1 月（36 个样本），占总样本数的 24%；第二型集中在 12-4 月（46 个样本），占总样本数的 30.7%；第三型相对分散，集中于 9-10 月、12-5 月（34 个样本），占总样本数的 22.7%；第四型集中在 7-9 月（34 个样本），占总样本数的 22.7%。

表 2 2006. 1-2009. 2 发生大雾的 700hPa 加 850hPa 当天 08 时风场四类环流型样本分布

频 数 分 型	月 份												累 计	百分比 (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
第一分型	4	1	0	1	0	0	0	0	1	5	13	11	36	24.0
第二分型	17	8	5	4	0	0	0	0	0	0	0	12	46	30.7
第三分型	4	7	4	5	6	1	0	0	3	2	0	2	34	22.7
第四分型	0	0	0	0	1	0	7	12	13	1	0	0	34	22.7
累计	25	16	9	10	7	1	7	12	17	8	13	25	150	100

通过对 500hPa、700hPa、850hPa 的风场和海平面气压场用客观分类结果（见表 2）进行合成分析，得出昆明长水机场发生大雾的四种环流场分型。

第一分型：

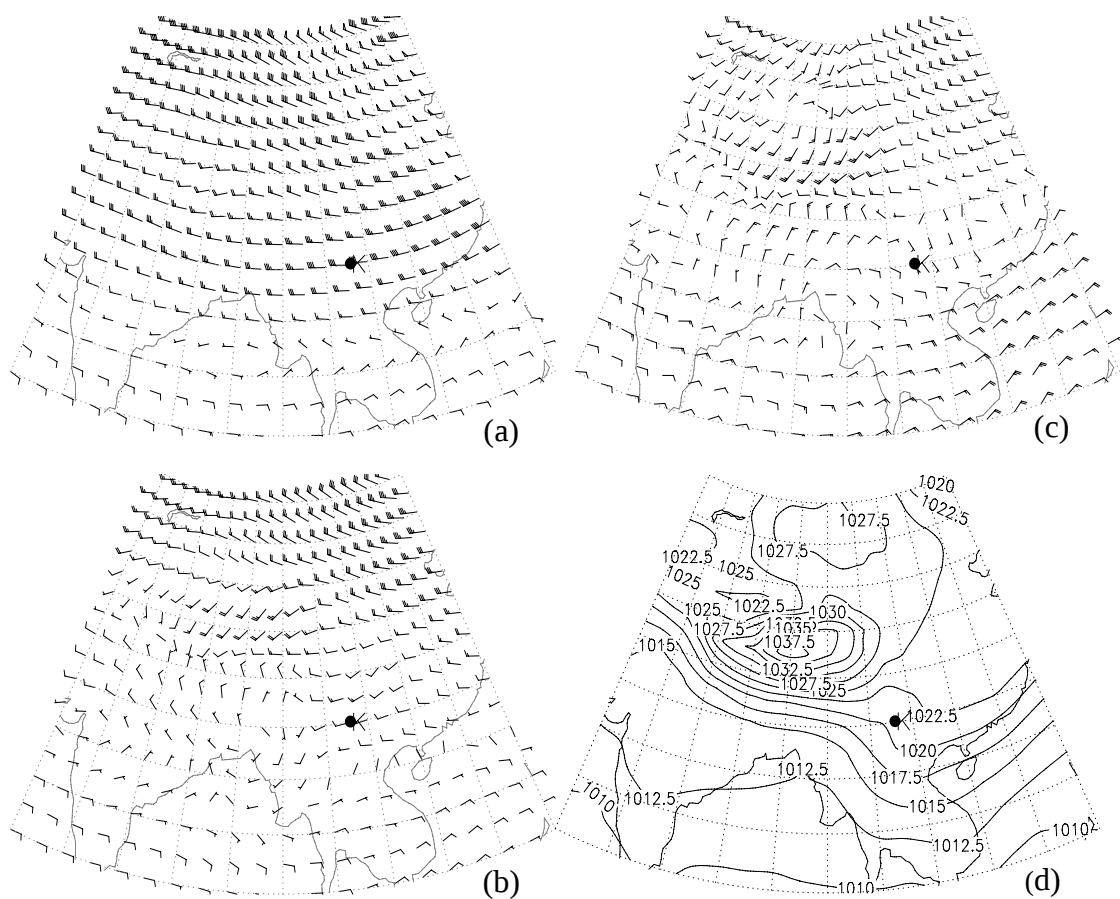
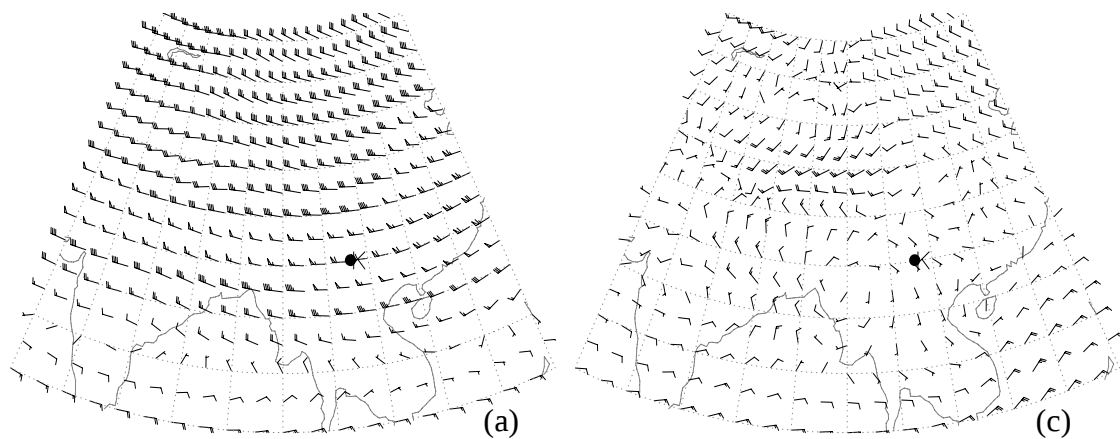


图 1. 第一分型 (a、b、c 分别为昆明长水机场大雾当天 08 时 500hPa、700hPa、850hPa 环流场，d 为昆明长水机场大雾当天 08 时海平面气压场。)

由图 1 可见，500hPa 上，南海至孟湾一带为高压控制，从高原南侧至整个云南受到偏西气流控制，高原上存在一弱脊。700hPa 上高原南侧至孟湾北侧处有一低涡，从南海至孟湾东海岸为一广阔的高压带，云南处于高压带的正北侧的偏西气流带内。850hPa 上华中至华南地区受到高压控制，而云南及本场则受到高压西侧东南气流控制。从地面图看来，高原上存在一明显高压中心，华中至华南一带的地面冷高压伸至本场及滇中以东地区，本场受地面高压控制。

第二分型：



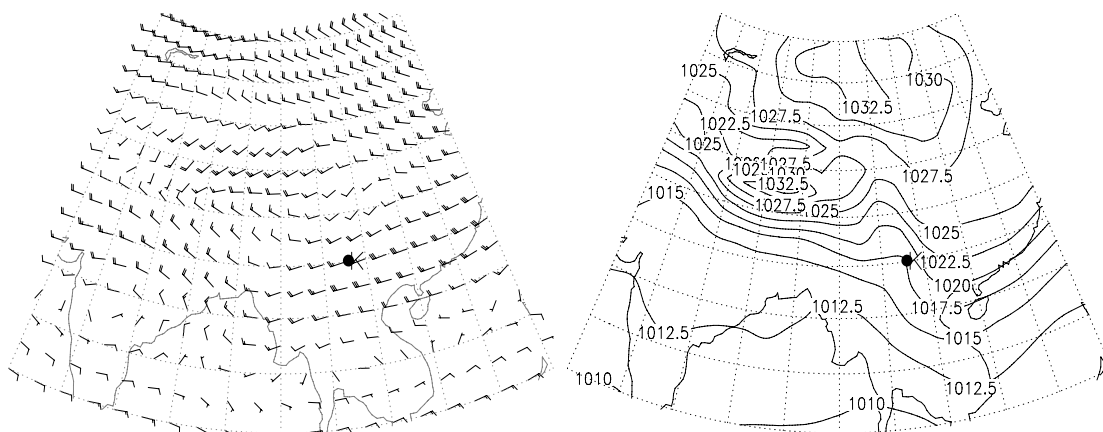


图 2. 第二分型 (a、 b、 c 分别为昆明长水机场大雾当天 08 时 500hPa、700hPa、850hPa 环流场， d 为昆明长水机场大雾当天 08 时海平面气压场。)

由图 2 可见，500hPa 上，南海至孟湾一带受高压控制，高压中心较第一分型偏南，从高原至云南受到偏西气流控制。700hPa 上高原东南侧至孟湾有浅槽存在，中南半岛存在南海高压，云南区域基本是偏西气流。850hPa 上华中至华南地区受高压控制，云南及本场则受到高压西侧东南气流控制，滇缅一带有低压存在。地面图上，高原上有一高压中心，华中至华南一带的地面冷高压伸至滇东地区，本场位于地面高压前沿的低压倒槽内，高压外围等压线较之第一分型更为密集，表明冷空气也更强。

第三分型：

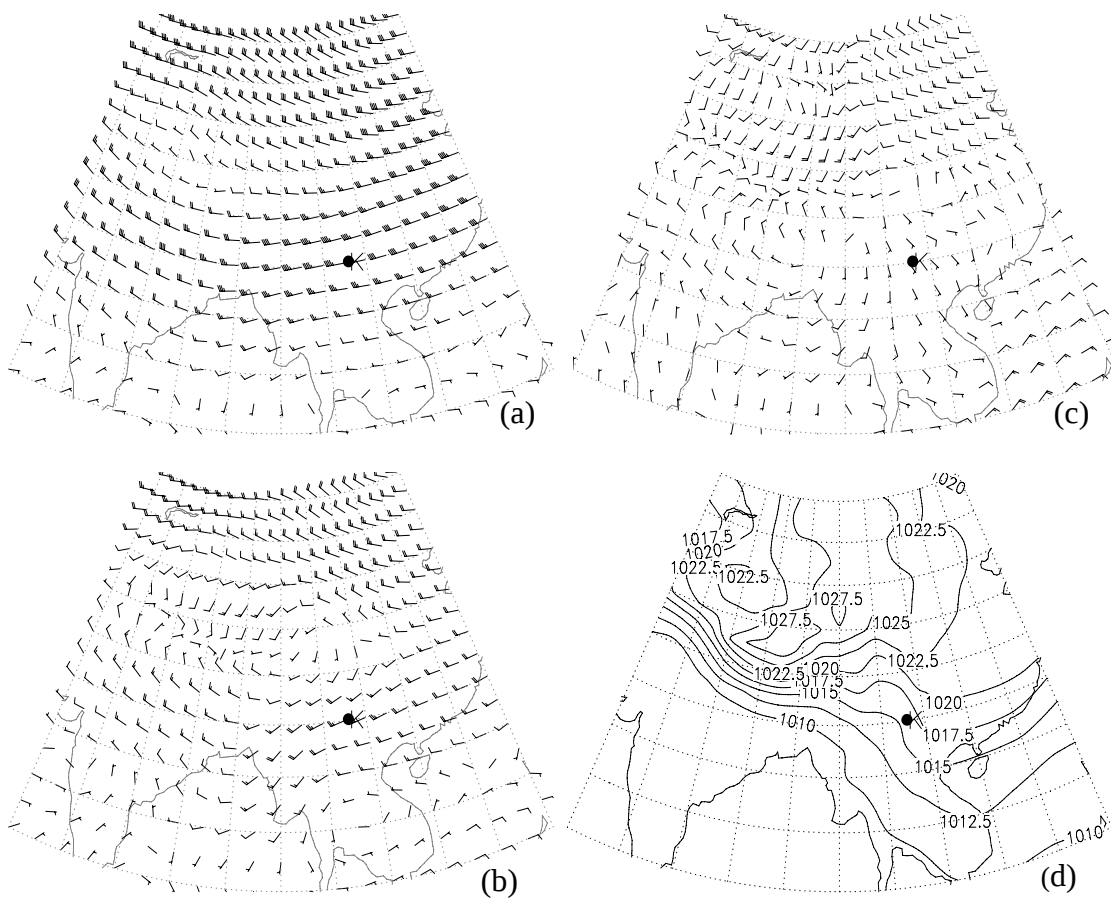


图 3. 第三分型 (a、 b、 c 分别为昆明长水机场大雾当天 08 时 500hPa、700hPa、850hPa 环流场， d 为昆

明长水机场大雾当天 08 时海平面气压场。)

由图 3 可见, 500hPa 上, 从高原南侧至孟湾中部存在一明显南支槽, 由于槽位离云南较远, 故整个云南受到偏西流控制。700hPa 上, 从高原南侧至孟湾中部南支槽发展很深, 云南西部及北部受到槽前西南气流影响, 但本场至滇东南区域仍以偏西风为主。850hPa 上滇中以东地区受到高压西侧的东南气流影响, 滇西地区受到印缅低压东南侧的西南气流影响, 本场位于东南风和西南风汇合地带, 水汽充足。从地面图看来, 本场位于冷高压前沿低压倒槽内。

第四分型:

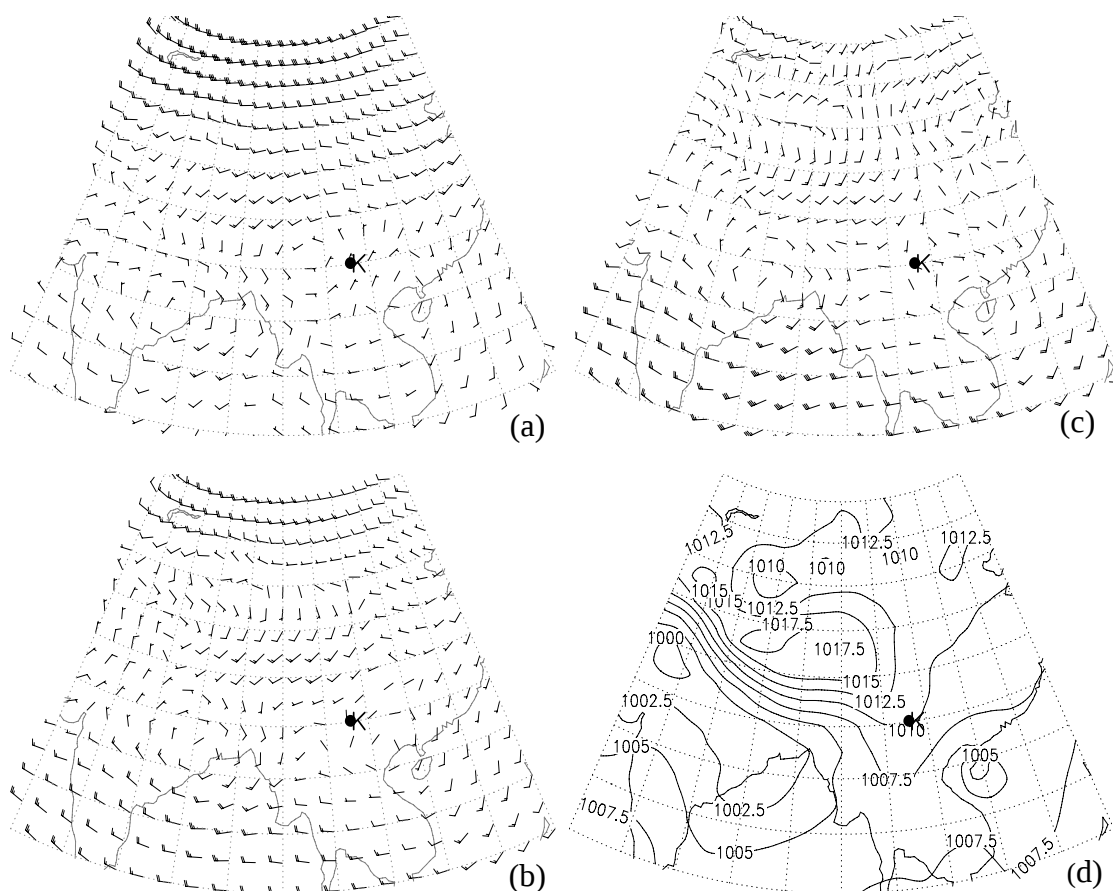


图 4. 第四分型 (a、 b、 c 分别为昆明长水机场大雾当天 08 时 500hPa、700hPa、850hPa 环流场, d 为昆明长水机场大雾当天 08 时海平面气压场。)

由图 4 可见, 500hPa 上为“一高两低”形势。孟湾西侧为一低压气旋, 高原东南侧受一高压控制, 南海上有一低压气旋存在, 本场受到南海低压西侧东北气流影响。700hPa 上与 500hPa 配合较好, 也呈现出“一高两低”的形势, 不同之处只在于高原东南侧存在一弱脊。850hPa 上与高空相对应, 本场处于“一低一高”之间, 受偏东气流控制。从地面图看来, 与以上三种分型明显不同, 本场位于高原地面高压的东南侧, 高压较弱, 表明冷空气主体不再是来自东部的冷空气回灌。

3. 水汽条件分析

通过对 700hPa、850hPa 的相对湿度、水汽通量及水汽通量散度场用客观分类结果 (见上表 2) 进行合成分析, 得出昆明长水机场发生大雾的四种环流分型对应的水汽相关物理量场。

第一分型:

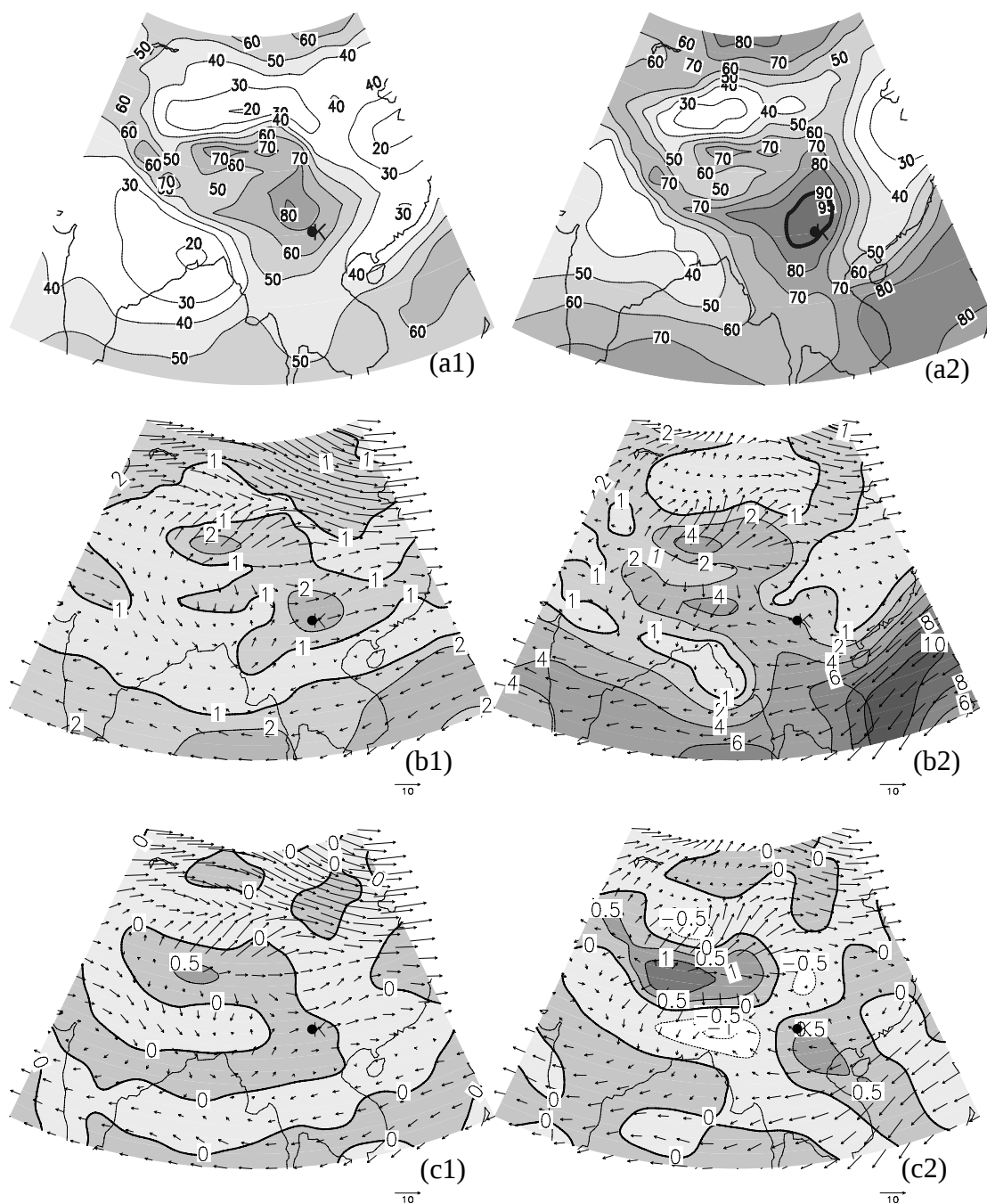


图 5. 第一分型 (a1、b1、c1 分别为昆明长水机场大雾当天 08 时 700hPa 相对湿度、水汽通量及水汽通量散度场; a2、b2、c2 分别为昆明长水机场大雾当天 08 时 850hPa 相对湿度、水汽通量及水汽通量散度场。)

由图 5 可见, 700hPa 上本场相对湿度在 60%-70%之间, 附近区域存在一个水汽通量中心, 由西南向东北输送水汽, 本场在通量散度的零线附近, 有弱的水汽辐散。850hPa 上本场相对湿度在 90%以上, 水汽接近饱和, 水汽通量由东南方向输送至本场, 本场在通量散度的零线附近, 有弱的水汽辐散。虽然对应本场上空 700hPa 及地下 850hPa 上均为水汽辐散, 但从图 5c1 及 c2 中可以看出, 700hPa 上水汽源在西面的孟加拉湾, 而 850hPa 上水汽源在北部湾, 一个在西一个在东, 本场近地面 (800hPa 左右) 虽无资料, 就风场及水汽通量散度场在空间的连续性来看, 本场近地面应该处在一个弱的水汽辐合区。

第二分型：

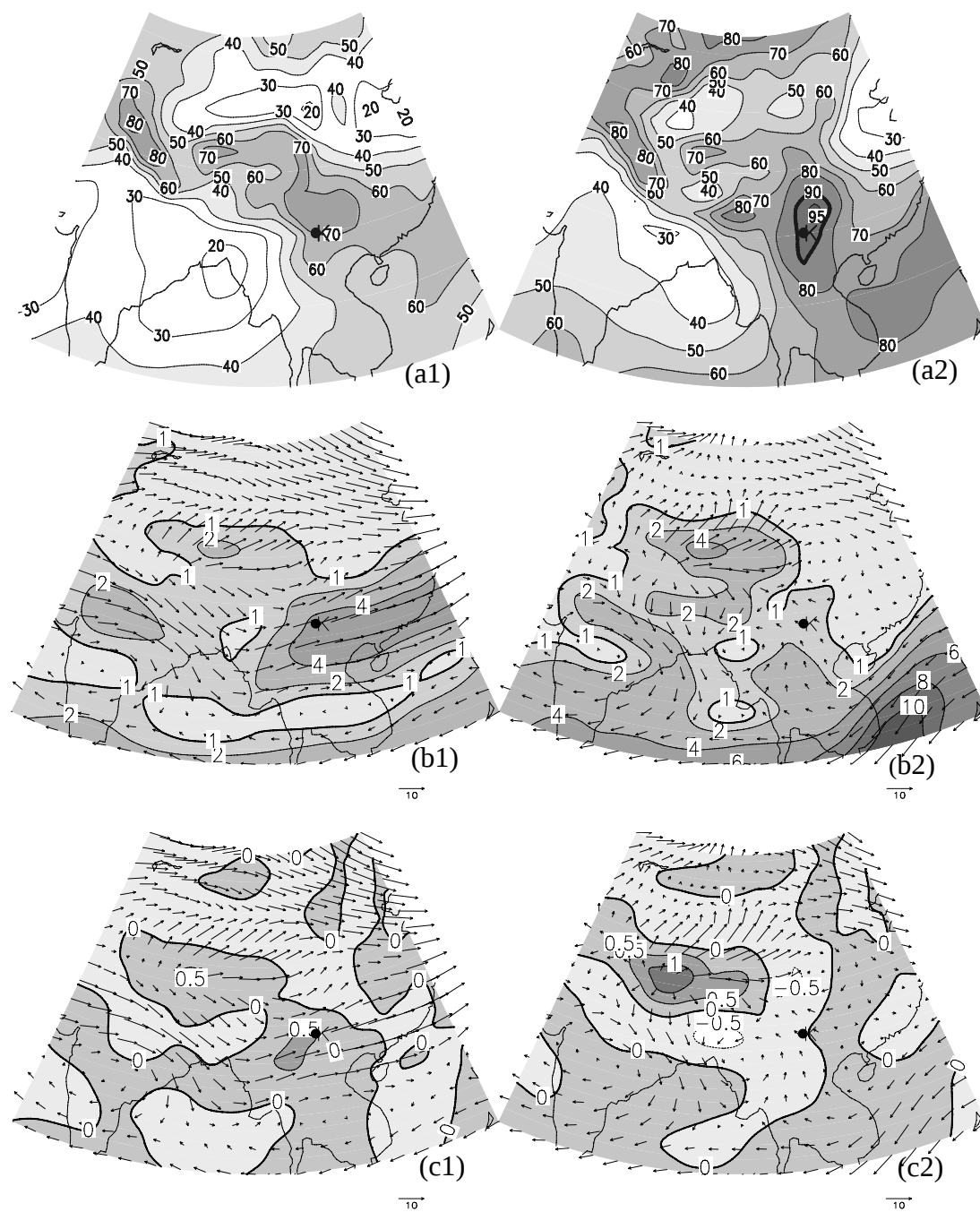


图 6. 第二分型 (a1、b1、c1 分别为昆明长水机场大雾当天 08 时 700hPa 相对湿度、水汽通量及水汽通量散度场；a2、b2、c2 分别为昆明长水机场大雾当天 08 时 850hPa 相对湿度、水汽通量及水汽通量散度场。)

由图 6 可见，700hPa 上本场相对湿度在 70%以上，处于水汽通量中心带附近，水汽通量由西南向东北输送，本场在水汽辐散区。850hPa 上本场相对湿度在 90%以上，水汽接近饱和，水汽通量主要由东南方向输送至本场，本场在通量散度的零线附近，有弱的水汽辐合。

第三分型：

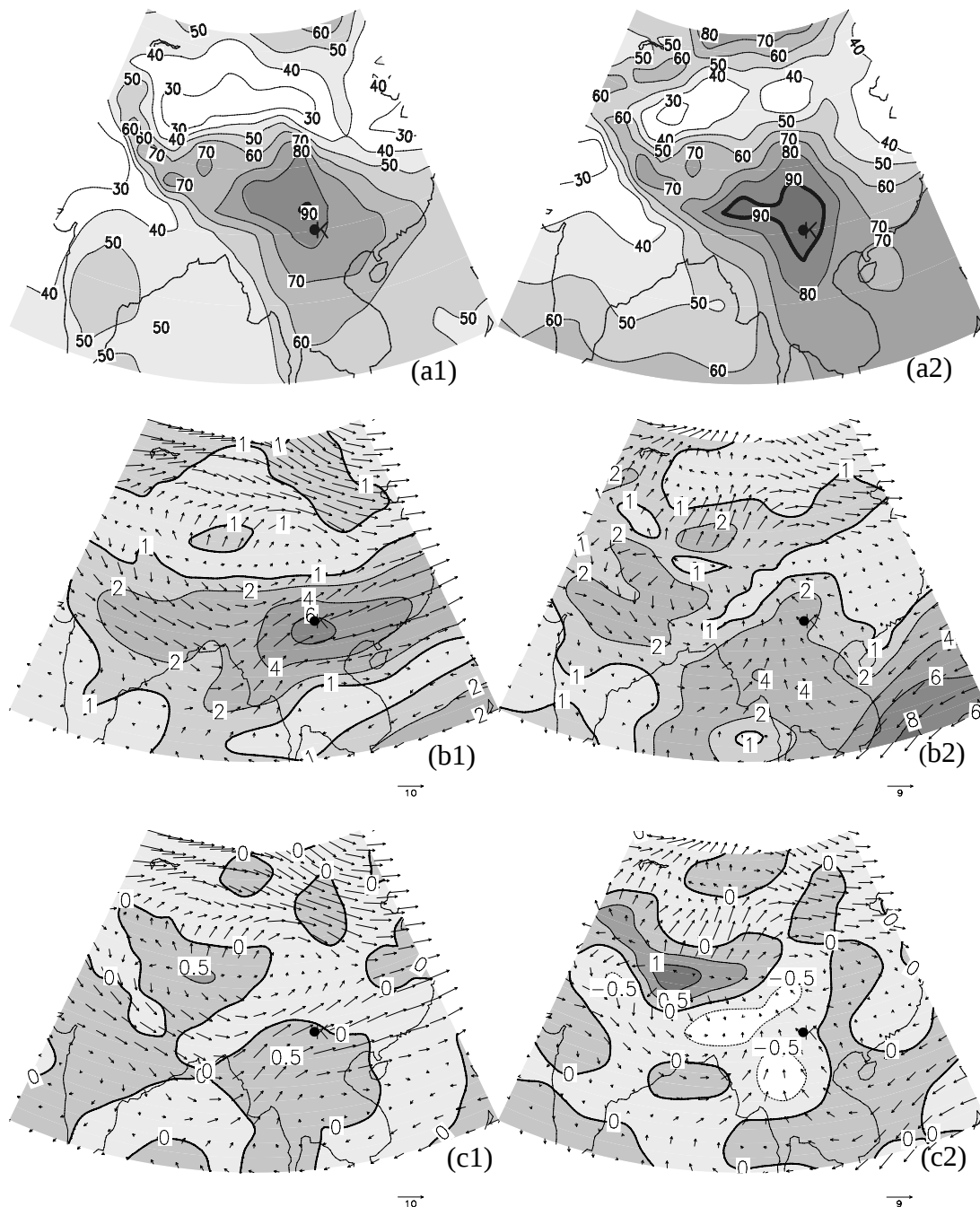


图 7. 第三分型 (a1、b1、c1 分别为昆明长水机场大雾当天 08 时 700hPa 相对湿度、水汽通量及水汽通量散度场; a2、b2、c2 分别为昆明长水机场大雾当天 08 时 850hPa 相对湿度、水汽通量及水汽通量散度场。)

由图 7 可见, 700hPa 上本场相对湿度在 80%-90%之间, 处于水汽通量中心区, 水汽通量中心值较之以上两型最大, 水汽通量由西南向东北输送, 本场在通量散度的零线附近, 有弱的水汽辐散。850hPa 上本场相对湿度在 90%以上, 水汽接近饱和, 有来自东南方向加西南方向水汽通量, 为水汽辐合区。

第四分型:

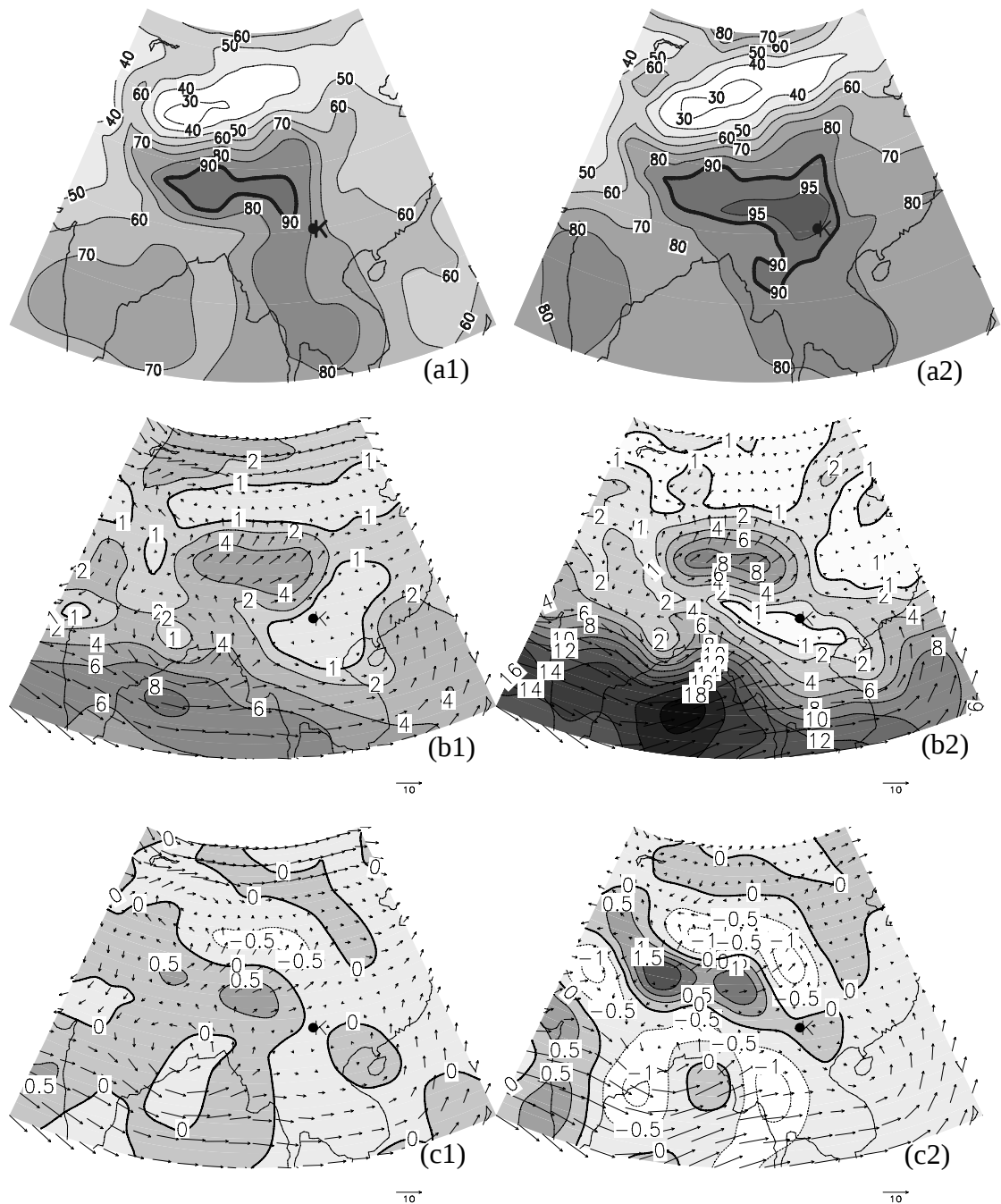


图 8. 第四分型 (a1、b1、c1 分别为昆明长水机场大雾当天 08 时 700hPa 相对湿度、水汽通量及水汽通量散度场; a2、b2、c2 分别为昆明长水机场大雾当天 08 时 850hPa 相对湿度、水汽通量及水汽通量散度场。)

由图 8 可见, 700hPa 上本场相对湿度在 70%-80%之间, 水汽通量较前三型小, 本场在水汽辐合区。850hPa 上本场相对湿度达到了 95%, 水汽接近饱和, 有来自东南方向加西南方向水汽通量, 水汽通量较小, 本场在水汽通量散度的零线附近, 有弱的水汽辐散。

4. 大雾与 850hPa 本站参考风场、云量及降水关系

4.1 大雾日 850hPa 本站参考风场特征分析

统计发现, 长水机场发生大雾时, 低层的风向风速具有明显的特征。从 08 时 850hPa 的风 (本站参考点对应坐标为(102.5° E, 25° N)) 来看, 出现东北风、东南风、西北风和西南风时, 本场均会发生大雾。其中, 东南风占据主导, 达到 66.0%, 东北风和西南风相差

无几，分别为 11.3%和 14.0%，而西北风所占比例最少，只有 8.7%。在这四类风向中，只有在吹东南风的情况下风速能达到 5 m/s，其余三种风向的风速基本上都在 5 m/s 以下，这表明，在长水机场发生大雾时，低层基本上维持在一个风速较小的流场中。

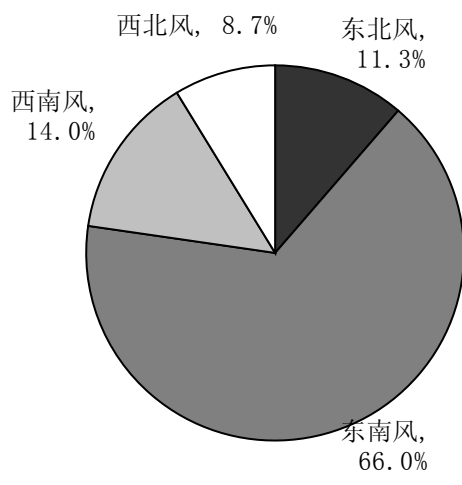


图 9. 850hPa 分析场本站参考点 (102. 5° E, 25° N) 出现东北风、东南风、西北风和西南风比例。

表 2. 大雾日 08 北京时本场 850hPa 分析风场对应风向的次数及风速范围统计表

850hPa 风	次数(次)	风速 (m/s)	百分比(%)
东北风	17	2~4	11.3
东南风	99	1~5	66.0
西北风	13	1~4	8.7
西南风	21	1~4	14.0
累计	150	—	100

表 3. 本场 2008-2010 年 08 北京时 850hPa 分析风场东南风对应地面风向统计表

风 向 频 率 月 份	地 面 风 向					850hPa 东南风总 数
	东北风	西北风	西南风	东南风	风向不定 及静风	
10-5	41.8%	13.4%	36.4%	3.1%	5.4%	100%
6-9	46.2%	17.9%	25.6%	2.6%	7.7%	100%

由分型结果可见，四类分型对应本场 850hPa 风场均为东南风，前三型对应 10~5 月，第四型对应 6~9 月；由表 2 可见，本场大雾时 850hPa 上东南风为主导，占了 66%。由表 3 可见，在 10~5 月，本场 850hPa 分析场为东南风时，地面主要为东北风和西南风，所占比例分别为 41.8%和 36.4%；6~9 月，本场 850hPa 分析场为东南风时，地面主要为东北风和西南风，所占比例分别为 46.2%和 25.6%，东北风所占比例较 10~5 月明显增大。

根据实际工作经验，当本场地面为东北风时，本场已经受冷空气控制；当本场为西北风或风向不定及静风时，本场开始受到冷空气影响；在 10~5 月，当本场为东南风时，冷空气开始影响本场，在 6~9 月，本场为东南风时，可能为冷空气影响，也可能受其他因素影响。这表明，本场出现大雾时多数情况下受地面冷空气影响，从而形成锋面逆温，为大雾形成提供了近地面逆温的稳定层结条件。

4.2 大雾与降水的关系

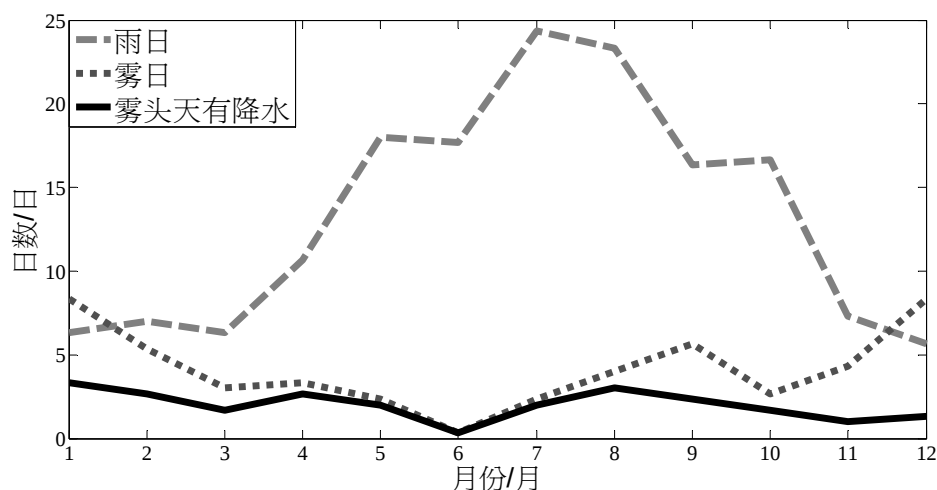


图 10. 大雾日、降水日及大雾头天有降水日数年变化。

如图 10 所示，昆明雨季的 4-8 月，大雾的发生与前一天降水有密切关系，从 9 月以后至来年的 3 月，昆明大致为干季，大雾的发生则与降水的关系不是很密切，这与干季降水较少有很大关系。可见，昆明雨季的降水给近地面带来充足的水汽，是雨季大雾的主要水汽来源，而到了干季，大雾的发生不再由降水所主导。

4.3 大雾与云的关系

表 4 大雾日云况

云况	阴天 (10 个量)	多云 (10>云量≥6)	晴到少云 (云量≤3)	累计
大雾日数	122	17	11	150
频率	81.33%	11.33%	7.33%	100%

由表 4 所示，发生大雾的时候阴天占 81.33%，多云占 11.33%，晴到少云只有 7.33%，由此可见，大雾日主要为阴天，晴到少云的情况较少。

5. 结 论

(1) 通过客观分型和合成分析，得出昆明长水机场大雾的四种分型，其中，前三种主要集中在昆明的干季发生，而第四种则集中在湿季发生。第一型主要集中于 10-1 月，第二型集中在 12-4 月，第三型相对分散，集中于 9-10 月、12-5 月，第四型则比较明显，基本上集中在 7-9 月发生；

(2) 昆明长水机场发生大雾时，低层的风向风速具有明显的特征。从本场参考点 850hPa 的风来看，在本场发生大雾期间，有东北风、东南风、西北风和西南风四类。其中，东南风占据主导，东北风和西南风相差无几，而西北风最少。在这四类风向中，风速基本上都在 1~5 m/s 之间，这表明，在长水机场发生大雾时，低层基本上维持在一个风速较小的流场中，为大雾提供微风条件。本场出现大雾时，大部分情况下受地面冷空气影响，有利于地面降温及形成锋面逆温，使水汽接近饱和及为大雾提供近地面逆温的层结条件；

(3) 从水汽条件看来，四种分型 700hPa 上本场相对湿度在 60%~90%之间，其中，前三种

分型中本场处于水汽通量高值中心附近,水汽通量由西南向东北输送,均为水汽辐散区,只有第四分型水汽通量相对较小且为水汽辐合区;850hPa上四种分型本场相对湿度均为90%以上,第四分型更是达到了95%,低层水汽接近饱和,为大雾提供了水汽条件,第一、第二分型为东南方向的水汽通量,第三、第四分型为西南加东南两路水汽通量,但第四分型水汽通量较前三种分型小,第一、第四分型为水汽辐散区,第二、第三分型为水汽辐合区;

(4) 昆明雨季的降水给近地面带来充足的水汽,是雨季大雾的主要水汽来源,而到了干季,大雾的发生不再由降水所主导。

(5) 大雾日主要为阴天,晴到少云的情况较少,与冷空气影响相吻合。

参考文献

- [1] 曹婕,大雾导致440个航班取消7500名旅客滞留长水机场,春城晚报,2011年1月4日(A04)
- [2] 慈亚圣,雷沛,常红浩等,今晨1时345个航班出港熬到3时千余旅客航班取消,云南信息报,2013年1月5日(A02-A03)
- [3] 李长吉;沈鹰,雾的变化及其对大气环境的影响[J];云南环境科学;1993年01期,19-22.
- [4] 陶云,段旭,段长春等,云南近50a雾的变化特征[J]. 云南大学学报(自然科学版),2011,33(3): 308-316 .
- [5] 年艾冰.昆明机场雷暴天气形势的客观分型[J].高原山地气象研究,2009年增刊:23-28.

Changshui airport fog weather situation circulation classification and diagnostic analysis

Wang LiangFa¹ Tian ZiYan¹ WangRui¹ Nian AiBing¹

(1. Civil Aviation Yunnan Atc Bureau Observatory, 650200)

Abstract: Using the fuzzy clustering analysis and synthetic analysis method, the 2006.1-2009.2 three years Kunming Changshui airport observation point 150 fog days 700hPa add 850hPa wind field, is divided into four type, the first three type for dry season type, type four for the rainy season type. The 850 hPa relative humidity of points Changshui on four type is over 90%, nearly saturated vapor (water vapor near the ground is sufficient). In addition, using statistical analysis method, the 850 hPa wind field of Changshui reference points and ground observation data were analyzed, and the conclusion is as follows: on Changshui airport fog day, the 850 hPa Changshui reference point wind is main southeast, wind speed between 1 ~ 5 m/s (near ground soft wind), mostly influenced by cold air on the ground, formation of frontal inversion (near ground stable inversion stratification); In rainy season, rainfall is the main water vapor sources of fog, and the dry season rainfall is no longer the main source of fog; On fog days, usually cloudy, cold air impact with the ground.

Key words: the fog objective divided clustering analysis synthetic analysis