

# 高低空流场形势影响降水酸度的实例分析

张 铮 盛裴轩

(北京大学地球物理系)

## 提 要

1986年2月23日—3月2日在两广地区有一冷锋降水过程，通过对此期间高、低空流场的分析和72小时空气运动轨迹的计算，得知广州地区高、低空气流的来向和范围；由降水酸度等参数的分时段观测可知，随冷锋过境中低空气流由北转南的过程，降水酸度逐渐变小；因此可以认为，由湖南等北方工矿区远距离输送气流比海洋气流带有更多的致酸物质。

北京大学地球物理系和中国环境科学研究院等单位合作，组成联合观测组。于1986年2月23日至3月2日期间，在广州、韶关等地设立多个酸雨观测点，逢雨必测。设在广州的观测点除市区点外，还在广州市区东北部的白云山（作为清洁点）和东南部的番禺县（作为污染点）设立观测站，进行降水分时段取样。通过对不同时段降水样品酸度、电导率和化学组分的观测和分析，了解广州地区的酸雨特征<sup>(1)</sup>。为分析产生这些特征的原因，本文给出造成此次降水过程的天气背景和高低空流场形势，概括的剖析影响降水酸度的宏观气象因子。

### 一、天气实况和高低空流场形势

#### 1. 天气实况

若把降水时间间隔大于(约)6小时的作为一次锋面降水<sup>(2)</sup>，根据虹吸式雨量自记仪的记录，1986年2月23日—3月2日，在白云山和番禺测站各得7次降水记录，详见图1和表1，天气实况如下：

2月23日—26日：广州地区以晴为主，局部地区偶有降水；白云山和番禺测站在这4天共测到5次零星小雨，降水持续时间很短，降水量也很小，而且两测站降水时间没

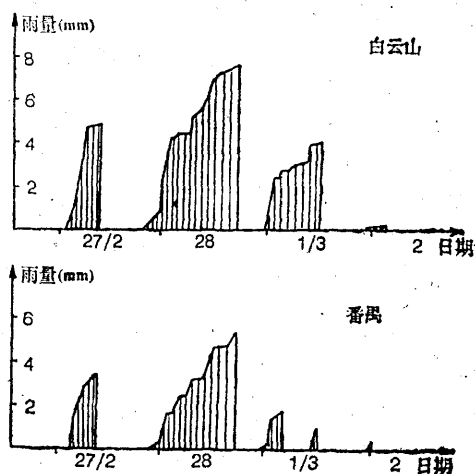


图 1 两站降水的时间分布

有什么相关，说明降水的范围不大。

2月27日—3月1日：广西西部已于26日开始降雨，雨区逐渐向东发展，27日凌晨3:00左右，白云山和番禺测站相继降雨，地面刮偏北风，风速逐渐加大，地面气温也随之降低，白云山测站气温曾降到0℃，番禺测站也降到2—3℃，说明这是北方强大冷空气入侵的结果，在这3天内，两测站降水的起止时间差不多，除3月1日白云山的一场雨，对应番禺测站是两场小雨外，两站的雨强变化趋势也是相似的，说明这是大范围的系统降水，其中以28日降水量最大，白云

山和番禺测站降水量分别为 8.00mm 和 5.34 mm，持续时间均近于 20 小时。比较 3 天两站降雨记录，白云山降水量均系统高于番禺测站，白云山 3 天降水量之和为 17.20mm，而番禺为 11.44mm，由于两站的降水时间差不多，因此白云山的平均降水强度也比番禺站大。

3月2日：凌晨左右，白云山和番禺测站又各自观测到一次零星小雨，但自3月1日中午以后，天空云量逐渐减少，天气转晴。

## 2. 高低空流场的分析

### (1) 冷锋降水的产生条件

这次系统降水属华南地区春季冷锋降水过程，产生此降水过程的条件有三个：

①由 500hPa 的天气图分析，副热带高压由太平洋西进至我国海南岛附近的海面，在两广以南的海面上起阻塞作用。

②由于青藏高原南支低槽活跃，带有暖湿空气的西南气流加强，不断将孟加拉湾的水汽输送到大陆。

③从中纬度南下的冷空气比较强，并能到达华南。冷空气楔到达华南后，暖空气在冷空气上缓缓爬升，从而产生降水。

三个条件的关系是：副热带高压起阻塞作用，使南支低槽加深，西南气流加强，因而水汽的供应很充分，暖湿气流与直下华南的冷空气相遇产生降水。

### (2) 高低空流场形势

利用 1986 年 2 月 22 日—3 月 2 日的传真天气图，并根据地面和高空气象观测资料（取高空 20—30 个站，地面 50—60 个站）自 2 月 23 日至 3 月 2 日绘制每日 8:00 的 500hPa、700hPa、850hPa 和地面的两广地区小范围天气图和流线图，分析结果如下：

① 2 月 23—25 日：500hPa 等压面为西北下沉气流，地面为静风或风速很小的偏北风，大多为晴天，在此期间出现的时间短、雨量小的降水，多为局地抬升或弱辐合生成。

由大范围天气图看，2 月 24 日贝加尔湖横槽已有冷空气南下开始影响我国，在 25 日 08 时 500hPa 流线上，昆明西南方向有一个站出现西南气流，可认为是一个天气转折信号。

② 2 月 26—28 日：由 500hPa 和 700hPa 的流线图看，西南气流逐日增强，出现西南风的台站已延伸到昆明周围很多台站，说明孟加拉湾的暖湿空气供应充分，前述锋面降水的条件已经满足。在 850hPa 等压面高度，由大陆来的东北风和海洋来的东南风形成的辐合区，逐渐由两广地区西部向东移动，相应的地面雨区，26 日首先在广西西部开始并

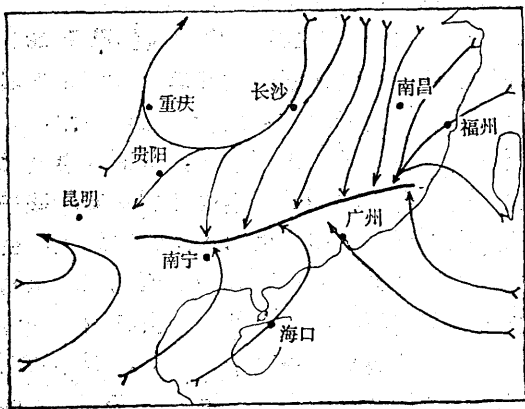


图 2 1986年2月27日08时850hPa流线图

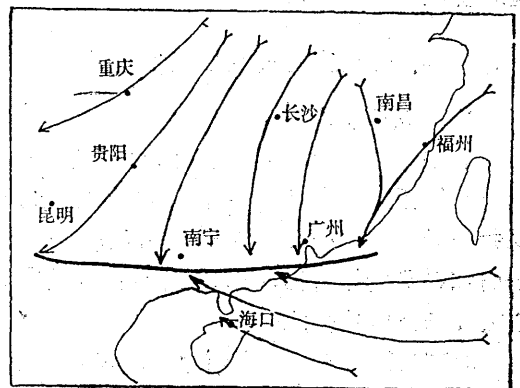


图 3 1986年3月1日08时850hPa流线图

逐渐东移。第一个锋面于27日8:00入海,第二个锋面于3月1日8:00以前入海,与第一个锋面比较,第二个锋面的移动速度较缓慢,其辐合区北面的东北风逐渐转为偏北风,由海洋来的西南风逐渐转成东南风(见图2和图3)。

③ 3月1—2日: 500hPa流线上已成平直的西风气流,地面天气图上等压线密集,地面气压明显回升,个别地区的零星小雨属系统后部,大面积雨区消失,3月2日高压完全控制本区,天气晴朗。

## 二、降水酸度和电导率的测量

表 1

白云山和番禺两测站降水情况一览表

地 点	日 期 (月. 日)	降水场次	降水 起 止 时 间	降水量 (mm)	平均雨强 (mm/h)	平均pH值	平均电导率 ( $\mu\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ )
白 云 山 测 站	2.24	(1)	2:07—2:19	0.10	*	5.66	128
	2.25	(2)	8:52**	0.08	*	4.01	54
	2.26	(3)	11:05**	0.02	*	4.43	180
	2.27	(4)	2:41—9:20	4.09	0.99	3.61	63
	2.27—28	(5)	21:30—17:20	8.00	0.93	3.73	22
	2.28—3.1	(6)	23:20—12:45	4.30	0.75	4.05	16
	3.2	(7)	23:03—03:04	0.20	*	4.38	43
番 禺 测 站	2.24	(1)	1:30—3:05	0.43	0.32	4.30	60
	2.25	(2)	2:56—3:38	0.30	0.43	4.97	74
	2.27	(3)	3:22—9:45	3.40	0.53	4.05	77
	2.27—28	(4)	21:35—17:15	5.34	0.77	4.12	63
	2.28—3.1	(5)	23:00—4:00	1.80	0.57	4.46	39
	3.1	(6)	10:40—11:50	0.90	0.67	5.90	23
	3.1—2	(7)	23:23—0:30	0.25	0.30	5.61	60

备注: \*: 因雨量太小,未测雨强。

\*\* : 在此时间雨量计记录笔尖上抬。

\*\*\* : 番禺测站3月1日的雨量、平均雨强、pH值和电导率分别取2.70mm, 0.60mm/h, 4.94和 $33.7\mu\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ 。

1. 对同一测站,在2月27日以前的非系统降水中,降水酸度和电导率的变化没有规律,但两站降水的pH值不小于4.00,电导率不小于 $50\mu\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ 。2月27日凌晨开始的锋面降水,降水酸度和电导率的变化规律明显,两站降水pH值都是在降水系统一入侵的第(1)场雨达最低值(白云山测站分段降水pH值最低曾达3.47),以后逐渐回升,至系统移出前的最后一场雨达最大值。对同一测站电导率的变化是先降后升,在系统降水

降水的收集采用了经特殊程序清洗过的塑料筒,例如在白云山测站,当接取到1.00mm左右的降水时,即作为一个样品取出,并及时进行酸度和电导率的测定,用这样的观测步骤由降水开始连续观测至降水结束。对于每场(日)降水的平均pH值和电导率,采取分段样品的pH值和电导率的雨量加权平均值,表1列出1986年2月24日至3月2日,白云山和番禺两测站全部降水及其酸度和电导率的统计,图4给出白云山和番禺两测站降水酸度和电导率的逐日变化,图5给出白云山测站系统降水主要过程中,降水酸度和电导率的分时段变化。由这些图、表可知:

快结束前电导率达最低值,白云山和番禺测站第(6)场雨的电导率分别为 $16\mu\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ 和 $23\mu\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ ,说明这时的雨水相当干净,离子杂质已经很少了,但系统降水的最后一场雨,电导率又很快回升。

比较白云山和番禺两测站,2月27日以前非系统降水的pH值和电导率彼此之间没有相关规律,而在2月27日以后的锋面降水系统,降水pH值和电导率随时间的变化趋势一致,相关很好,白云山测站降水pH值在相

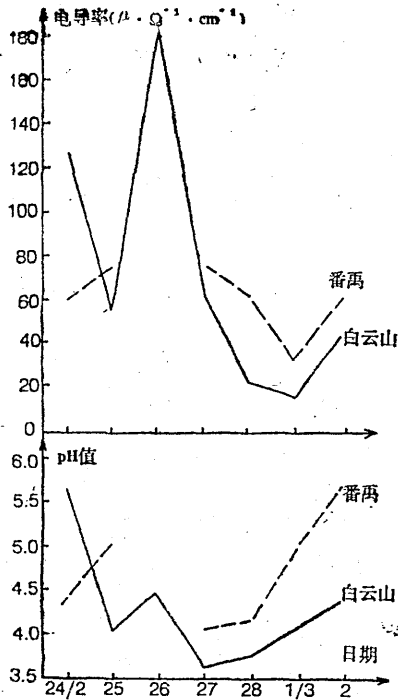


图 4 电导率(上)和降水酸度(下)的逐日变化

应的降水时段内比番禺站均系统偏酸(约4倍左右或以上),而降水的电导率无一例外的都小于番禺站的相应值,说明白云山降水中的可溶性离子杂质比番禺站明显偏少,表现出受污染少,比较清洁的特征。

2. 图5给出白云山测站2月27日—3月1日三场锋面系统降水的pH值、电导率和雨强的分时段变化。图中时间横坐标采用相应时间的降水量值,由图5a、b可知,对每一场雨来说,分段的降水酸度和电导率将随降水时间加长而逐渐降低,只在降水快结束时,有时有波动或稍有下降,但自第(5)场雨的后半期电导率的分段变化不再符合这规律,如果进一步比较降水酸度、电导率和雨强分时段观测值之间的关系,即比较图5 a、b、c可知,在系统降水的后半期,虽然彼此之间的相关不明显,但在系统降水的前半期(包括第(4)场和第(5)场雨的前半期),降水酸度

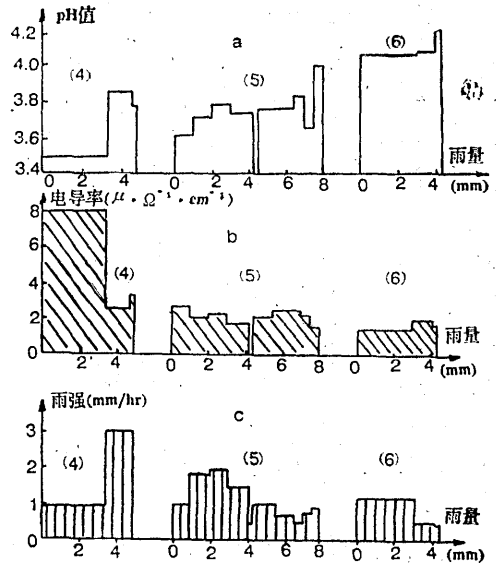


图 5 降水酸度(a)、电导率(b)、雨强(c)的分时段变化

和雨强变化的图形很相似,而和电导率的图形呈反相关。由此说明降水酸度增加,电导率下降,但两者又受雨强大小的制约,降水强度愈大,降水酸度和电导率减小得愈快。这可用降水对当地污染气体和气溶胶的淋溶冲刷作用来解释(2)、(3)、(4)。

3. 为了解造成白云山和番禺两测站降水酸度和电导率不同的原因,用离子色谱仪对降水进行 $F^-$ 、 $Cl^-$ 、 $NO_3^-$ 、 $SO_4^{2-}$ 、 $Na^+$ 、 $NH_4^+$ 、 $K^+$ 、 $Ca^{2+}$ 和 $Mg^{2+}$ 等9种阴阳离子的分析,其中 $SO_4^{2-}$ 、 $NO_3^-$ 、 $NH_4^+$ 和 $Ca^{2+}$ 4种离子成分是影响降水酸度的主要因素(1),比较两站在此观测期间9种离子浓度的平均值,结果是白云山测站的离子浓度都低于番禺测站的相应值(除 $K^+$ 略高外),尤其是番禺测站的 $SO_4^{2-}$ 和 $NH_4^+$ 浓度可高于白云山2—3倍,但 $NO_3^-$ 浓度只比白云山测站略高。

### 三、污染物的输送路径

污染物在大气中的输送,主要取决于空气的运动,由于风向风速随高度而变,用哪层高度的气块轨迹代表污染物的输送路径,

用什么方法确定该层的平均风场，本身就带有人为的因素〔5〕、〔6〕。若再考虑到实际大气是三维运动的，则问题就更复杂了。如果假设污染物在混合层内达到均匀分布，则可取混合层中部的平均风场作为参考来计算轨迹。但是目前在大范围区域内我们只能得到地面、850hPa、700hPa等规定等压面的气象资料，缺乏地面以上300m、600m以至1000m的风向风速资料。再者，两广地形复杂，利用爱克曼螺线估算边界层内的风效果不好。因此，在本文中我们只采用二维模式〔7〕，计算了各规定层上气块的轨迹，主要是地面、850hPa及700hPa的。实际上在国外相当一部分长距离模式中〔5〕，也是用850hPa或地面的地转风来计算污染物轨迹的。

由713雷达测雨资料可知，这一时期降

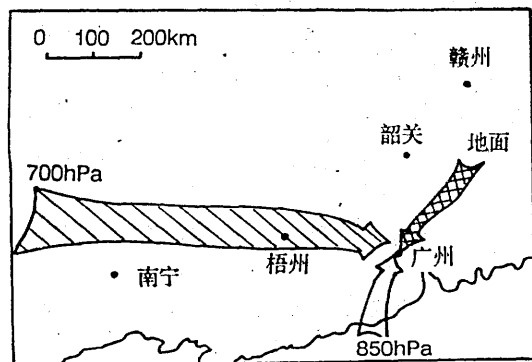


图6 1986年2月24日2:00—8:00  
气块轨迹图

水云的云底高约1000m，云厚3000—5000m，因此我们考虑，用850hPa（高约1500m）及700hPa（高约3000m）等压面上气块的轨迹代表云底和云顶高度上污染物的传输还是合适的。利用700hPa、850hPa和地面的风向风速观测资料，计算在降水出现期间影响该地区的气流，在到达该地区以前72小时内所经过的地区，详见图6、7和8，图中箭头的方向和形状，表示72小时内气流的来向和扫过的范围。网格箭头、白箭头和斜线箭头分别代表地面、850hPa和700hPa等压面高度

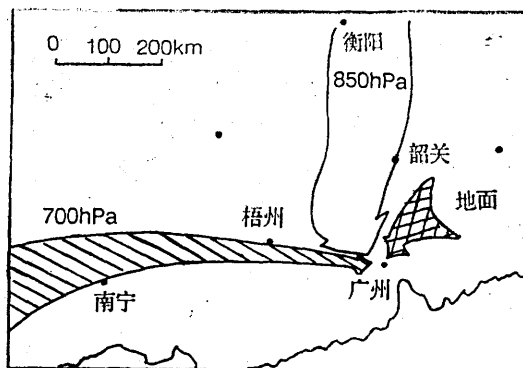


图7 1986年2月27日2:00—8:00  
气块轨迹图

的气块轨迹。地面风虽受地形影响而表现出很强的局地性，但由于能提供资料的台站多达65个，每次观测资料间隔的时间仅4小时，因此计算的轨迹仍有一定的代表性，可以认为它反映了近距离处污染源的影响。

通过各降水期间气块轨迹的计算，发现各层轨迹的特点是：由离地面10m的风速资料计算的轨迹，在整个观测期间都是从北方或东北方向而来，由于风速小，72小时仅移动150—200km；850hPa等压面上气块轨迹的变化最大，与其流场相合，特别是和辐合区的结构一致；700hPa等压面上主要是偏西方向的气流，它和雷达测到的雨区移动方向一致。根据白云山和番禺两测站的降水资

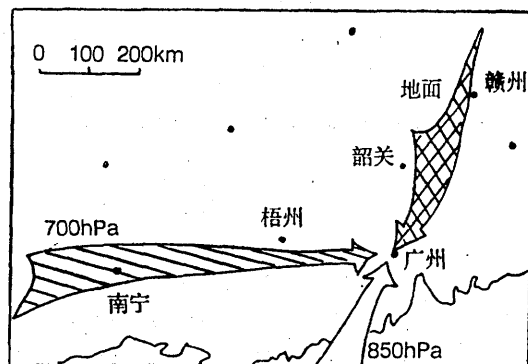


图8 1986年2月27日20:00—28日20:00  
气块轨迹图

料, 下面分析有代表性的 3 场雨的气块轨迹情况:

1. 2月24日对应番禺测站第(1)场雨出现的时间为1:30—3:05, 计算气块轨迹选取的时间是24日2:00—8:00(见图6), 地面气块轨迹由东北方向来, 风速小, 不利于污染物的扩散和稀释, 降水云由局地辐合抬升形成, 污染物随微弱的持续上升气流进入云中, 酝酿时间较长, 因此降水中的酸度和电导率, 主要取决于近距离的局地污染。

2. 2月27日凌晨开始的降水, 白云山和番禺测站的降水时间约在3:00—9:30, 计算气块轨迹的时间选在27日2:00—8:00(参见图7), 这次锋面降水的地面和850hPa上空的气块轨迹都来自北方, 它经过湖南南部工矿区 and 广东的重要工业城市韶关等地。如前所述, 这场雨的酸度和电导率达到这次锋面降水过程的最高值, 即不仅最酸, 而且离子杂质最多, 究其主要原因, 可认为是由北方远距离运输来的污染物造成。

3. 2月27日夜出现的降水, 白云山和番禺两测站的降水时间约在27日21:30—28日17:30, 计算气块轨迹选在27日20:00—28日20:00时段内(参见图8), 此时850hPa气块轨迹已转向偏南, 来自海洋上空比较洁净的空气, 与27日凌晨开始的降水比较, 降水酸度和电导率都有所减小。比较27日凌晨和夜晚出现的这两场降水的化学成份<sup>(1)</sup>, 由番

禺测站的资料可知, 在夜晚出现的降水中,  $\text{NO}_3^-$ 离子浓度减少了60%以上。若认为这期间地面的排放情况基本不变, 而近地层气流的来向也无大的变化, 那么这两场雨在降水酸度、电导率和化学成分上的变化, 可认为是受中低空偏北气流(带有北方内陆工矿区污染物)和偏南气流(带有南方海洋上空的气溶胶)不同的影响所致。

致谢: 北京大学地球物理系孟广礼、技术物理系栗欣和广州市环境监测中心站全文哲等同志帮助分析天气形势和酸雨观测工作, 特此一并致谢。

### 参考文献

- (1) 盛裴轩, 齐立文, 广州地区春季酸雨的物理和化学特征, 环境科学研究, Vol. 2, No. 1, p31—36, 1989.
- (2) 张铮, 刘宝璋, 一次积雨云降水过程的宏观物理特征和雨水酸度的综合观测, 气象, 第14卷第2期, p. 3—8, 1988.
- (3) Fisher B. E. A., The transport and removal of sulphur dioxide in a rain system, Atmos. Envir., Vol. 16, No. 4, p. 775—784, 1982.
- (4) Garland J. A., Dry and wet removal of sulphur from the atmosphere, Atmos. Envir., Vol. 12, No. 2, p. 349—362, 1978.
- (5) Rao S. T. et al., A comparative study of two trajectory models of long-range transport, JAPCA, Vol. 33, p32—41, 1983.
- (6) 鹤田治雄, 大气污染物的长距离输送、变质及除去过程, 天气, Vol. 28, p. 803—822, 1981.
- (7) 盛裴轩, 毛节秦, 我国大气污染物远距离传输的估计I: 轨迹分析, 气象学报, Vol. 45, No. 1, p. 65—71, 1987.

## An analytical sample of streamline fields of upper air and bottom layer affecting acidity of precipitation

Zhang Zheng Sheng Peixuan  
(Department of Geophysics, Peking University)

### Abstract

From February 23 to March 2 of 1986, there was a process of cold front precipitation in Guangdong and Guangxi Provinces. By means of analysing streamline fields of upper air and bottom layer during this period and of calculating air trajectory for 72 hours, we knew directions and coverages of air stream in different layers. Having measured acidity

and other parameters of precipitation at intervals of time, the results showed; precipitation's acidity became lower gradually when streams of middle and bottom layers turned to the south from the north in a passing cold front. We may consider that air streams travelling from the north industry and mining districts, such as Hunan and other remote provinces bring acidulous compounds far more than those coming from offshore areas in the south.