

# 三峡坛子岭单点地面矢量风分析<sup>①</sup>

沈铁元<sup>1,5</sup> 陈少平<sup>2,5</sup> 陈正洪<sup>3</sup> 杨维军<sup>4</sup> 毛以伟<sup>2</sup>

(1. 中国气象局武汉暴雨研究所, 武汉 430074; 2. 宜昌市气象局;  
3. 武汉城市环境工程技术中心; 4. 湖北省气象局; 5. 南京大学大气科学系)

## 提 要

利用 UVW 三轴风速仪三峡坛子岭单点地面风观测资料分析了三峡坝区地面风速量值、风向风速出现频率分布、风的日变化规律等, 并根据这些观测资料、结合一些地形风理论知识和观测现象推测了三峡坛子岭附近地面风平面流场特征, 从而揭示了河道地形回流风这一特殊小地形下的局地风现象。三峡坛子岭附近地面的这种回流风尺度在百米到千米量级, 与由于地形热力因子引起的山地风不同, 是由于小地形的动力作用引起的, 其风向与长江河道引导的山地风相反。

**关键词:** 三峡坛子岭 地面矢量风 日变化 河道 地形回流风

## 引 言

对地面风的观测与分析在研究大气扩散规律、风能利用以及为工程服务等方面有着重要的意义, 同时在研究强对流天气过程的发生、发展中也很有意义, 许多地方许多科技工作者一直不懈地进行着地面风的观测与分析, 从不同的侧面来逐步了解地形风的一些特征, 有许多学者得出了一些很有价值的地形风结论<sup>[1~3]</sup>, 但由于地面风场的复杂性和湍流特性, 对特殊地形下的风场特征进行物理描述和理论解释是很难的。作者在三峡坛子岭地面风分析中发现风变化规律不能用山地风等地形风理论得到很好的解释, 在试图对这一特殊地形下的风场特征进行合理的解释过程中, 提出了一种河道地形回流风的假设。

## 1 观测与资料

使用南京大学 UVW 三轴风速仪, 通过电缆与微机连接, 自动记录存档每次观测的矢量风(东西风  $u$ 、南北风  $v$ 、垂直风  $w$ )。仪器安装在三峡坛子岭气象观测站观测场内, 位于三峡大坝北边的坛子岭山顶上,  $35.0^\circ$

$N, 111.1^\circ E$ , 海拔 206.6m。考虑到此处地形较周围高, 且附近无建筑物和植物的遮挡, 适当降低了仪器安装高度的要求, 架设在 4.5m 高处。从收到的资料来看, 这一要求的降低并没有因此而降低资料对大气扩散规律的反映程度, 是可信的。试验时间自 2000 年 12 月 27 日开始, 2001 年 6 月 30 日结束, 每小时观测一次, 每次观测整点开始, 540 秒后结束, 每秒采集  $u, v, w$  三个数据, 数据精确到  $0.01m \cdot s^{-1}$ , 试验期内共获得 3593 次观测数据, 近六百万个数据。

## 2 地面风速量值分析

下面是根据 2001 年 1~6 月半年的观测资料计算整理后统计出的一组平均数据, 用以反映坛子岭附近地面大气运动的风速量值情况。其中  $\bar{u}_h$  代表 9 分钟水平主导风向上的平均风速, 与  $(u^2 + v^2)^{1/2}$  有差别,  $\bar{u}_9, \bar{v}_9, \bar{w}_9$  分别表示东西、南北和垂直三个方向的 9 分钟平均风速,  $U = (u^2 + v^2 + w^2)^{1/2}$  表示三维矢量风的风速平均,  $\max U, \max |w|$  表示 9 分钟最大瞬时风速和 9 分钟最大瞬时垂直风速, 以下是这些量半年的平均值

① 该研究工作得到中国长江三峡工程开发总公司“长江三峡工程坝区大气扩散规律分析”项目的资助。

$(\overline{\max U}, \overline{\max w})$  虽然没有物理意义,但对风速量值分析有一定的意义):

$$\overline{u_h} = 1.07, \quad |\overline{u_9}| = 0.95, \quad |\overline{v_9}| = 0.40, \quad |\overline{w_9}| = 0.08, \quad \overline{\max U} = 2.5, \quad \overline{\max |w|} = 0.8.$$

从这些数据看三峡坛子岭地面风速偏小。文献[4]研究表明三峡附近由于受丘陵地形的影响,在长江中下游属于小风区。

坛子岭观测点位于长江北岸,处于长江由NW-SE改向SW-NE的“v”型转向点,就上下游河段地势来说此处相对开阔,此处的地形等高线走向基本沿东西向(可参考图8),略呈NW-EW向倾斜,与水平风的 $u$ 分量坐标轴交角不大。南北向风速平均 $|\overline{v_9}|$ 为 $0.40\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,东西向风速平均 $|\overline{u_9}|$ 为 $0.95\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。东西向风速是南北向风速的2.4倍,就是说观测点风向与渠道走向交角小。这反映出地面风受地形影响的一个重要方面:地面风的渠道效应——由于气流受到河流两岸山体的阻挡作用,在江面上和江边风主要是沿地势相对低的河道吹,与河道垂直的风分量则较小。

从垂直风和水平风的量值看:水平风为 $1.07\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,垂直风为 $0.08\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。垂直风比水平风要小一个数量级或者更多。说明地面大气运动虽然湍流旺盛,但其平均运动与自由大气一样是准水平的运动。

图1给出了平均风速、最大瞬时风速、最大瞬时垂直风速(为9分钟平均或最大,下同)出现频率分布。出现频率最高的风速区间可以反映风速量值情况,出现频率最高的风速比风速平均值要略小。水平风速在 $0.4\sim 0.7\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的水平风速出现的频率最高;最大瞬时风速在 $1.3\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 左右出现的频率最高(最大瞬时风速平均为 $2.5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ),在 $0.3\sim 0.6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的最大瞬时垂直风速出现的频率最高(最大瞬时垂直风速的平均为 $0.8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )。

观测期间风速最大的一次过程中平均风速为 $10.66\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,平均上升速度为 $2.12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,

平均水平风速、最大瞬时水平风速、最大瞬时垂直风速均为观测期最大,分别为 $9.20、16.1、4.37\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

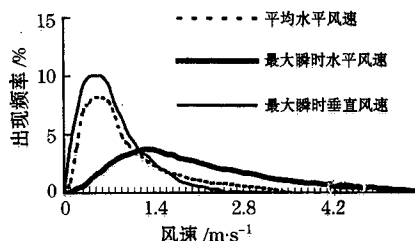


图1 风速概率分布图

### 3 坛子岭地面风特征

#### 3.1 风向风速出现频率分布

我们统计了水平风向的各方位出现频率分布(平均水平风速小于 $0.03\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,不参加统计分析)。由于受长江河谷地形影响,南北风发生频率非常小,高频风向主要集中在偏东风(文中特指E、ENE和ESE风,风向方位角在 $56.25\sim 123.75^\circ$ )和偏西风(文中特指W、WEW和ESE风,风向方位角在 $236.25\sim 303.75^\circ$ ),偏东和偏西风方位角度仅占所有方位的37.5%,但其发生频率则占到78%,这一点从风向频率分布玫瑰图(图略)上可更直观地看出来。

我们还统计了水平平均风速、最大瞬时风速、最大瞬时垂直风速在不同风速值区间的出现次数。图1给出了水平平均风速、最大瞬时水平风速、最大瞬时垂直风速的出现概率分布情况,无风(指平均水平风速在 $0.0\sim 0.3\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 范围内的观测)记录381次,约占总数的10%,平均风为一级风(风速 $0.3\sim 1.6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )的出现次数最多,占总数的61%,其中又以风速在 $0.4\sim 0.7\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 区间出现的概率为最高。

#### 3.2 日变化规律分析

根据半年观测记录分时次统计制成偏西、偏东风出现频率日变化图(见图2)。从图中可以看出:白天偏西风(顺江风)出现频率更高,晚间偏东风(逆江风)出现频率更高。白天太阳出山后顺江风出现频率开始增加,最大频率出现在11时,为57%;午后开始减

小,太阳落山后下降幅度开始平缓,夜间变化不大。偏东风夜间出现频率高,最高23时达79%,白天当偏西风出现频率升高时,其出现频率开始降低,11时最低为17%。

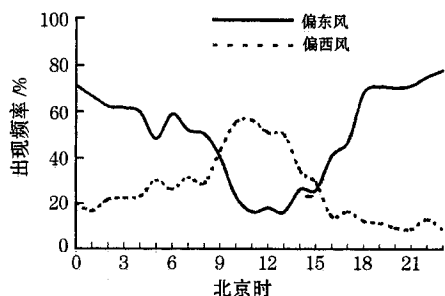


图2 偏东、偏西风出现频率

从平均水平风速日变化图(图3)可以看出:白天风速逐渐增大,夜间风速逐渐减小,傍晚前风偏大,16~18时为最大,约 $1.6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ;08时最小,为 $0.54\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,18时比08时大2倍多。这种日变化规律是很特别的。一般认为<sup>[5]</sup>:由于正午时分热力湍流旺盛,湍流的发展使边界层内动量下传,地面风速增大,因此一些观测发现<sup>[6]</sup>:高度在10m以下水平

风速在午间达最大,10m以上午间为最小。当然在特殊地形作用下出现特殊的平均水平风速日变化规律也是很正常的<sup>[7]</sup>。

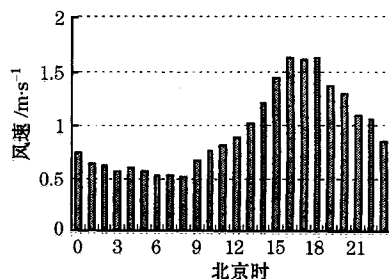


图3 平均风速日变化

把观测期中三个坐标轴方向平均风 $\bar{u}_9$ 、 $\bar{v}_9$ 、 $\bar{w}_9$ 按次时进行多日平均,绘制出矢量风三分量日变化图(见图4),图中11时 $u$ 最大为 $0.44\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,19时最小为 $-1.22\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。 $v$ 最大为16时达 $0.46\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,19时最小为 $-0.35\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,15时 $w$ 最大为 $0.11\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,01和19时最小为 $-0.02\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。在三峡坛子岭地面偏东风影响比偏西风出现频率要高,而且一天中出现的时间更长些、风速更大,只在中午前后的9~15时有西风分量。

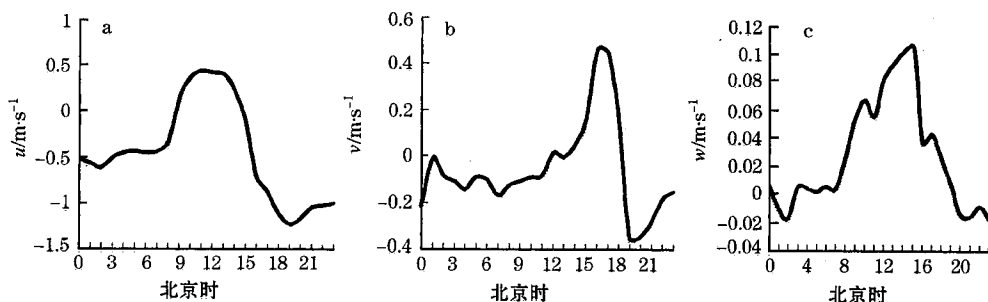


图4 坛子岭风速日变化

a.  $u$ 分量 b.  $v$ 分量 c.  $w$ 分量

在南北方向上地面受偏北风影响的时间要长一些,12~19时共7个小时中的 $v$ 大于零,其余时间均小于零,吹北风。南北风与东西风情况不同,其最大值与最小值出现的时间间隔很短,16时最大,19时最小,相差仅3个小时,也就是说南北风在17~18时之间存在一个南北风的转换期,从风向分布频率上来看,这一时段前后风向频率与其他时段相比并不是很集中,在偏东和偏西方位周围几

个方位也有相对较高的分布频率,也说明了这一南北风向的转换期的存在。配合平均风速图(图3)来看,此段时间正好是一天中风速最大的时间。

在垂直方向上观测点主要是受上升气流影响,从图4C上可以看出8~19时均有上升气流,1~8时有很弱的上升气流,中午前后有较大的上升气流,14时最大,平均为 $0.106\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,上半夜有下沉气流,但下沉气

流的量值比上升气流小得多。

#### 4 坛子岭附近水平流场初探

坛子岭三维风观测记录的统计特征与地面气象站整点常规 10m 测风资料的统计特征是非常吻合的,平均风速日变化很一致,风向日变化特征结论相同:白天吹偏西风、夜间吹偏东风。坛子岭的这一特殊地面风特征与坝区其他几个站差别很大,两者之间的风向日变化基本上是反位相的。杨荆安对坝区地面站 10m 高度整点常规测风资料进行了详细的分析,结论可归纳为:由于宜昌以东的山地到江汉平原之间存在向西的地形梯度,白天和夜晚将产生不同的热力下垫面,在山地和平原之间产生地形风并存在明显的日变化:白天吹上山风(东风),夜晚吹下山风(西风)。三峡坝区几个气象站及宜昌站位于长江边,又受到长江河道引导作用,风向日变化将由各站所处的长江河道走势和两岸地形决定。乐天溪和宜昌气象站地面风向就是按这一规律变化的,几乎每个月的风向统计都可以看出这一规律性特征;秭归和枫箱沟气象站风变化较复杂,但也可用这一原理配合局地小地形来加以解释。唯独坛子岭观测站难以得到很好的解释,这里白天吹西风,夜晚吹东风,与前面提到的上山风和下山风基本上是反位相的,而且这一现象还带有一定程度局地风场小气候意义,因此对这一独特现象进行深入的分析 and 初步的理论探讨是必需的。

坛子岭这一独特现象是由于它所处的独特地理位置和其周围的地形所决定的,我们认为是一种河道岸边的空气回流现象所引起的。我们先来看看两种常见的渠道岸边的回流现象。其一是水流通过闸门口后岸边产生回流带的现象(如图 5),渠道中水流在通过某一闸门口时流线将变得密集并产生向水渠中央的弯曲,流速加大,闸门下流水渠中央也由于惯性作用流速加大,同时在闸门下流靠近岸边产生一段距离较长的与中央水流方向相反的回流带。其二是渠道改向处在背水坡产生漩涡、靠岸边有回流的现象(图略)。渠

道改向处水流由于迎水坡堤岸的阻挡,在迎水坡岸边产生水体的堆积和水面升高,水体力的平衡受到破坏后水体流场将进行一系列复杂的调整过程,使水流主体在迎水坡岸边改向,同时自渠道中央到靠近背水坡处产生漩涡运动,旋转方向由河道与水流方向决定,在靠近背水坡的水流方向总是与渠道中央的水流方向相反。上述两种现象在水渠中可以经常见到。

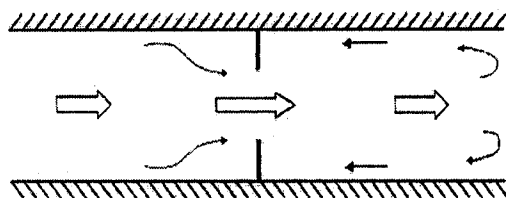


图 5 河道闸门附近水流简要示意图

其中:空心箭头代表渠道主流、细直箭头代表岸边回流

空气与水同样属于流体,地面大气的流动有时也会出现与水流相同的现象。从坝区地形图(见图 6)或者现场观察都不难看出三峡坝区的地形同时兼备引起上述两种流动的地形边界条件:①坛子岭附近地势开阔,地形梯度小,而坛子岭上下游河道相对较窄,对长江河道引导气流有类似与水渠中的闸门效应;②长江河道正好在坛子岭偏南处改向,由 NW-SE 走向改为 SW-NE 走向,两岸山体对

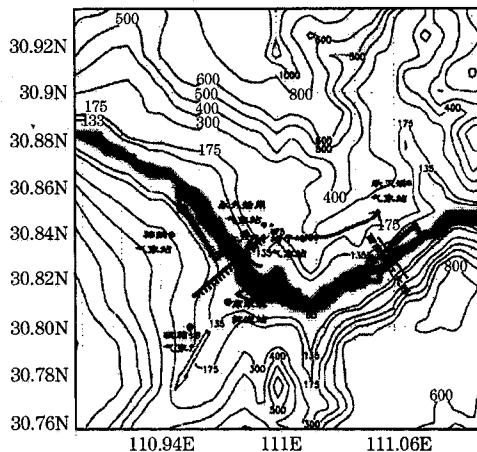


图 6 午间三峡坝区地形风流场简要示意图

其中:实线代表地形等高线、空心箭头代表渠道引导风、细箭头代表地形回流风

长江河道引导气流的作用与渠道改向处堤岸对水流的作用相同。正是这一特殊地形造就了坛子岭观测点独特的风场特征。

图6还给出了坝区地形风流场简要示意图。白天山地风为东风,沿长江逆流上溯,在坛子岭以东的河道吹NE风,受高家溪站东南方向的山体阻挡转为东风,然后受到风箱沟站附近山体阻挡,气流主体继续逆江而上,吹SE风,一部分沿高家溪河道向SW流动,一小部分沿山体爬坡,其中长江河道引导气流右侧的空气将向坛子岭方向产生偏转,形成一股回流分支,越过坛子岭然后沿长江的北岸向NE方向流动。这一回流带与长江河道引导风方向正好相反,两者共同形成一个完整的水平环流。这一环流在早晨上山风还较弱时就开始建立,到正午上山风强盛时发展成熟。午后在上山风开始减弱时,由于动力作用的减弱,风场开始调整,回流带迅速减弱,环流向风箱沟附近的迎风坡西南方向撤退,而在环流的北边另外建立起一支长江河道引导气流的分支,因此15时左右坛子岭站已转为西风。随着回流区减弱和环流范围的减小,此分支逐渐从长江河道引导气流中获得能量,风速逐渐增大,从而产生坛子岭地面平均风速在傍晚时最大的特殊气候特征。

午夜时情况与正午时情况正好相反(图

略),地形风沿江而下,在坛子岭以西的河道吹NW风,气流受长江南岸山体阻挡,在坛子岭附近的地势开阔地段到西陵长江大桥附近便形成一个向东的回流带,与长江河道引导风方向正好相反,形成与白天反位相的流场,导致坛子岭夜间多吹偏东风。

## 5 结语

三峡坛子岭附近地面的回流风尺度在百米到千米量级,风向与河道引导的地形风相反,与由于地形热力因子引起的山地风不同是由于局地小地形的动力作用引起的。我们对这种局地风场的分析是非常粗浅的,是分析单点风资料后的一种推测,有待更进一步的理论探索和更多的观测与试验来验证。

## 参考文献

- 1 Roger G. Barry[英]. 山地天气和气候. 北京:气象出版社,1988:96~161.
- 2 翁笃鸣. 山区风况分布. 气象,1985,11(7):39~43.
- 3 陈万隆. 峡谷中风况分析. 南京气象学院学报,1979,(1)副刊:28~33.
- 4 蒋德隆. 长江中下游气候. 北京:气象出版社,1991:122~135.
- 5 林国民. 气象要素日变化的分析应用,气象,1980,6(1):16~17.
- 6 丁国安等. 武汉地区低空风的特征. 大气湍流扩散及污染气象论文集. 北京:气象出版社,1982:50~62.
- 7 赵玉成等. 青藏高原瓦里关山边界层风的若干特征. 青海气象,2001,(4):23~24.

## Analysis of Wind Vector above Tanziling Mountain of Three Gorges

Shen Tiejuan<sup>1,5</sup> Chen Shaoping<sup>2,5</sup> Chen Zhenghong<sup>3</sup> Yang Weijun<sup>4</sup> Mao Yiwei<sup>2</sup>

(1. Wuhan Institute of Heavy Rain, CMA, Wuhan 430074; 2. Yichang Meteorological Office, Hubei Province;

3. Wuhan Urban Meteorology Engineering Center; 4. Hubei Meteorological Bureau;

5. Department of Atmospheric Sciences, Nanjing University)

### Abstract

Based on observations of wind vector above Tanziling mountain of Three Gorges with a three dimensions anemocinemograph, the wind velocity, frequencies of velocity and direction and the daily variation in the areas are analyzed. Combining with the theories of orographic wind and some natural phenomenon, the horizontal characteristics of air flowing filed are given, so the riverway returning breeze is found. It emerged in a river channel around the basic flow if there is a special topographic form. This returning breeze in the areas has a hundred-to-thousand-meter scale. It is different from mountain-valley wind directed by Changjiang riverway that it is caused by orographic dynamical factor not by thermodynamical factor and has opposite direction.

**Key Words:** Tanziling of Three Gorges surface wind vector riverway(river channel) returning breeze(backflow)