

长江重庆地段河陆风的模拟及三峡水利工程后河陆风变化的预测研究

严邦良 黄荣辉

(中国科学院大气物理研究所)

提 要

本文利用所设计的包括水平及垂直扩散、牛顿冷却的二维46层非弹性运动方程模式来模拟冬夏长江重庆地段的河陆风。计算的结果表明,在白天长江重庆地段两岸坡面盛行河风,而在夜间盛行陆风;并且白天的河风比夜间的陆风大,夏季的河陆风要大于冬季的河陆风。

本文还利用上述模式来预测长江三峡水利工程之后(180m坝高的情况下)冬、夏长江重庆地段的河陆风的变化。计算结果表明长江三峡水利工程之后,其长江重庆地段两岸夜间的陆风变大,大约比未建坝时大25—30%,江面附近风约大30—40%;建坝后白天的河风约增大10%左右,江面附近的风约大10—30%。

一、引 言

我们已设计了一个包括水平、垂直扩散、牛顿冷却的二维46层非弹性运动方程模式来研究河陆风的变化^[1],经过数值试验,证明此模式计算稳定,对于河陆风有较好的描写能力。

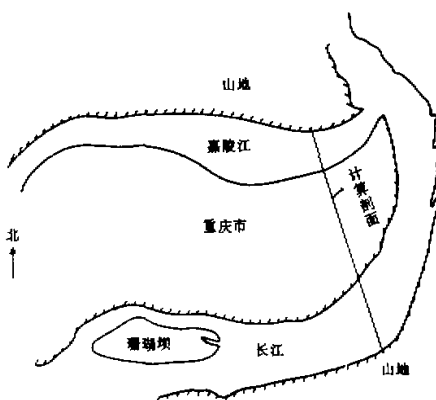


图1 计算所取剖面附近地形图(长江重庆段)。

世界上已有少量关于湖陆风的研究。Moroz (1967) 研究密执安湖东沿的湖陆风^[2]; 而 Estoque et al. (1976) 也研究了安大略湖的湖陆风^[3]。他们的研究结果都表明了,在湖的沿岸坡面上,白天盛行湖风,即风从湖面沿湖边坡面向山顶上吹;而夜间盛行陆风,即风从山顶沿湖边坡面往湖面上吹。然而河陆风的尺度比湖陆风小,河面比湖面小得多,所以河陆风——尤其是复杂地形下的河陆风的研究要比湖陆风艰巨一些。

重庆是西南工业中心。如图1所示,长江、嘉陵江相汇于此,因此,必须计算长江与嘉陵江两岸的河陆风,即双河道的河陆风,其计算要比单河道的河陆风困难。此外,由于

1987年8月22日收到,12月18日收到修改稿。

重庆不仅是西南工业中心, 而且是西南最大的港口, 四川及西南许多物资要在这里运到华中、华东一带, 河道的风系及由此而产生的污染及雾的变化都大大影响重庆的工业生产与交通。因此, 正确预测长江三峡水利工程之后, 重庆地区河陆风的变化是很重要的。本文的目的就在于此。

二、模式与参数

在本文中我们应用所设计的二维 46 层非弹性运动模式, 关于模式的方程组、差分方案与物理过程都在文献 [1] 中详细描述了, 本文不再重复。

关于基本态位温, 我们根据从重庆到三峡地段观测资料, 在模式中的取法如表 1。

表 1 模式中的位温

层	季 节	冬 季 (K)	夏 季 (K)
	结		
	稳定层结	282	297
	不稳定层结	287	305

长江重庆地段的江面宽度及三峡水利工程之后江面高度变化由水文资料给出, 如表 2。

表 2 建坝前后江面的宽度及建坝后水面升高的高度 (单位: m)

	未 建 坝	建 坝 后 (坝高 180)	建坝后江面升高的高度
长 江	800	1600	15
嘉 陵 江	400	600	15

长江由于河水终年流动, 水温在短时间内变化不大, 它随季节变化却不小。根据实测, 长江重庆地段在冬季水温是 10.1°C ; 而在夏季江面水温是 24.62°C 。

江的剖面取法如图 1 所示。在这个剖面上, 我们利用文献 [1] 中所述的模式方程可以计算出冬夏长江重庆地段河陆风的情况。

代表模式深度的参数 D 在不同的层结条件下有不同的数值。数值实验表明, 在不同大气层结条件下, 河陆风所达到的高度是不同的。在大气处于稳定层结条件下, 为了更详细地刻画近地面层特别是 300 m 以下的河陆风环流, 我们令 $D = 700\text{ m}$ 。而在大气处于不稳定层结条件下, 我们令 $D = 2160\text{ m}$ 。

三、冬、夏季长江重庆地段河陆风的计算

1. 冬季

1) 稳定层结情况

一般在夜间, 特别是下半夜 2—4 时, 大气层结处于稳定状态。图 2 是冬季稳定层结

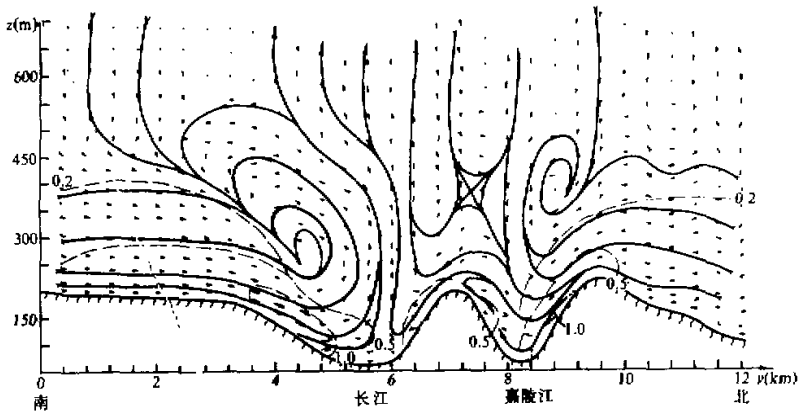


图2 冬季长江重庆地段夜间稳定层结条件下河陆风环流图

虚线表示合成河陆风大小(单位: m/s)

状态下的河陆风环流。从图2可以看到,冬季长江重庆地段的陆风沿两坡面向中心吹,在长江江面上空辐合上升,上升后沿边界层上层向南岸吹,在南岸的坡面上空形成一反时针方向垂直——径向环流,环流中心位于长江南岸山坡上空200m高度处。这个环流的合成风速在近地面约 1.0 m/s ,最大陆风可达 1.3 m/s 。而在长江北岸陆风也从北岸向河中心吹,在河中心辐合上升形成一径向尺度较小的不闭合的顺时针方向环流。与南岸相比,北岸的陆风比南岸小,江面附近风速为 0.5 m/s 。

将嘉陵江两岸的河陆风与长江两岸的相比,其环流型有相似之处,但风力大小却相反。在嘉陵江北岸陆风顺着山坡向嘉陵江中吹,在江中上升,形成一顺时针方向的垂直——径向环流。其陆风一般为 1.0 m/s ,最大陆风可达 1.5 m/s ,这是由于嘉陵江北岸较陡而地形较高的缘故。

从上面结果可以看到夜间长江重庆地段的河陆风是较小的,在长江南岸坡面上空形成一反时针方向的陆风环流;在嘉陵江北岸的坡面上空形成一顺时针方向的陆风环流。这是由于夜间坡面辐射冷却,温度降低,从而水面温度高于坡面温度,以及坡面对大气加热的不同效应所致。这种环流与Kimura所观测的日本西南部博多岛夜间小范围的陆风环流相一致^[4]。

2) 不稳定层结情况

一般来说,午后3时大气层结为不稳定。我们同样利用模式方程计算了重庆地区午后不稳定情况下的河陆风。图3是冬季重庆地段不稳定层结情况下河陆风环流。从图3可以看到,在不稳定层结情况下的河陆风与稳定层结下河陆风相反。河风从江面沿着河的两岸坡面向山顶上吹,为了补充江面上空的空气,坡面两边约1000m以上的空气向江面上空吹,后再下降到江面。在南岸坡面上空形成一顺时针方向的河风环流,这个环流中心位于长江南岸1200m上空,其合成河风在高层可达到 4.0 m/s ,最大可达到 4.6 m/s ,在江面附近的风速为 0.9 m/s ,最大可达到 1.4 m/s 。在长江北岸河风沿坡面向北吹,可吹到嘉陵江江面上空,而嘉陵江江面的空气沿嘉陵江北岸的坡面往山顶上吹。其风速一般为 2.8 m/s ,最大

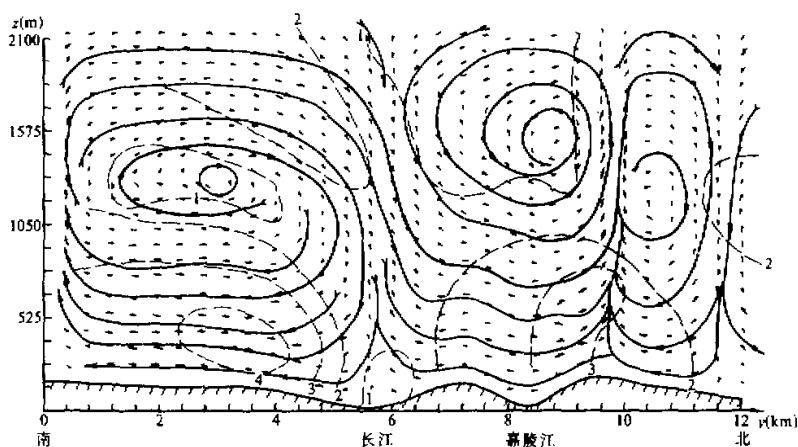


图3 与图2一样, 但为白天不稳定层结情况
为 3.6 m/s , 在北岸上空 1300 m 处形成一顺时针方向的河风环流。

从以上的计算结果可以看到, 白天由于坡面受太阳直接辐射, 温度升高, 它的温度高于水温, 并且由于坡面对大气加热的不同效应, 从而在坡面形成河风环流。

从上面的分析可以看到, 冬季长江重庆地段的河陆风与大气层结有很大关系, 不稳定层结下的河陆风与稳定层结下的河陆风有很大差别, 白天的河风要比夜间的陆风大 2 倍, 两者环流正相反, 且无论是稳定层结或不稳定层结情况下, 长江南岸的河陆风都要比北岸的大。

2. 夏季

1) 稳定层结情况

和冬季稳定层结一样, 我们计算了夜间长江重庆地段的河陆风, 图 4 是夏季夜间重庆地段的河陆风环流。与冬季夜间河陆风环流相比, 在环流方面有相同的地方, 长江两

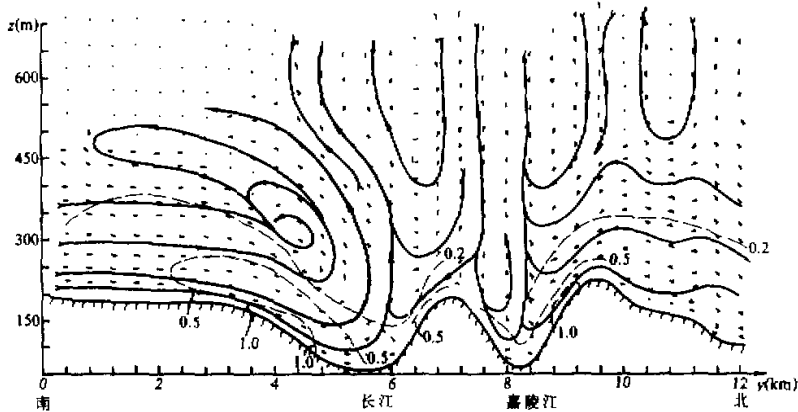


图4 与图2一样, 但为夏季

岸的陆风向长江江中吹,在江面附近辐合上升到边界层上层,然后在长江南岸边界层上层往南流形成一个反时针方向的陆风环流,其合成风速一般为 0.8 m/s ,最大为 1.0 m/s 。江面附近合成风速平均为 0.4 m/s 。并且,在长江北岸也形成一个尺度很小的不闭合顺时针陆风环流。此外,在嘉陵江北岸也形成一个陆风环流,平均为 0.8 m/s ,最大陆风可达 1.2 m/s ,气流从嘉陵江北岸往江中吹,再从江中辐合上升,形成一顺时针方向的环流,环流中心位于北岸 300 m 高的上空。

从上面所得到的结果可以看到,夏季稳定层结下长江重庆地段的陆风与冬季稳定层结情况下的陆风差不多。观测事实也表明稳定层结情况下冬、夏河陆风的大小相当。

2) 不稳定层结情况

一般说来,夏季下午4时半左右,大气的层结是不稳的,图5是夏季长江重庆地段下

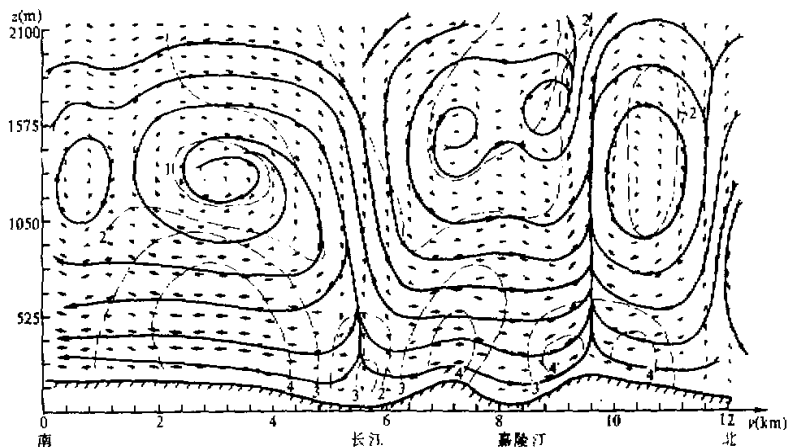


图5 与图3一样,但为夏季

午4时半左右的河陆风环流图。从图5可以看到,夏季白天长江重庆地段的河陆风环流型与冬季白天的环流型有相似的地方。在白天,由于坡面受到太阳直接辐射而迅速增温,河风从河中心顺河岸的坡面向山顶上吹,一般合成风速达到 3.9 m/s ,比冬季不稳定层结情况下的河风要大,江面附近的平均风速约为 1.2 m/s 。为了补偿江面附近的空气,边界层上层的空气下沉到江面,在长江南岸坡面上空 1200 m 附近形成一顺时针方向的河风环流。并且,江面附近的空气还向长江北岸的坡面上吹,它可以吹到嘉陵江的江面上。此外,嘉陵江江面的空气继续沿北岸的坡面向北岸山顶上吹,在嘉陵江北岸坡面上空 1500 m 处形成一反时针方向的河风环流。

从以上可见,长江重庆地段的夏季,白天盛行的河陆风要比夜间的陆风大得多;并且它比冬季白天盛行的河风也大一些。

四、三峡水利工程之后重庆地段河陆风变化的预测

三峡水利工程之后长江重庆地段水面不仅增高约 15 m ,而且江面比原来宽一倍,由于

河面变宽, 这将会引起河陆风的变化. 我们利用模式方程预测三峡水利工程之后冬、夏长江重庆地段河陆风的变化.

1. 冬季

1) 稳定层结

图 6 是冬季稳定层结情况下三峡水利工程 (坝高 180 m) 重庆地区河陆风的分布. 与

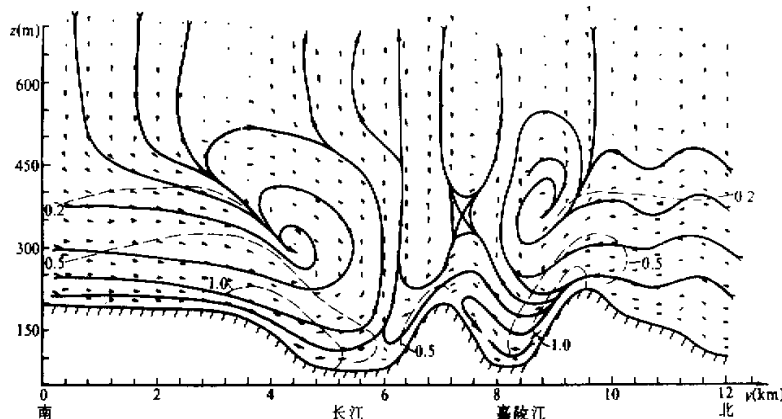


图 6 长江三峡水利工程之后 (坝高 180m) 重庆地区冬季夜间稳定层结下河陆风环流

虚线表示合成河陆风大小 (单位: m/s)

未建坝的河陆风 (图 2) 相比, 其河陆风环流型相类似. 陆风从长江两岸向江中吹, 在长江江面上空辐合上升, 上升到边界层上层向南吹, 形成一反时针方向的陆风环流, 环流中心位于南岸坡面上空 300 m 处, 这个环流中坡面附近的陆风达到 1.3 m/s , 最大达到 1.7 m/s , 在江面附近一般为 0.7 m/s . 而在长江北岸, 陆风沿山坡向河中心吹, 在河中心辐合上升, 形成一尺度较小的不闭合的顺时针陆风环流, 这个环流的陆风风速比南岸小. 同样, 嘉陵江北岸的陆风顺北岸的坡面向嘉陵江江中吹, 合成陆风为 1.3 m/s , 最大陆风可达 1.8 m/s .

从上面的计算结果可以看到, 在冬季夜间稳定层结情况下, 长江三峡水利工程之后, 重庆地段长江两岸的河陆风大小比原来增大约 25% 左右, 而江面上风增加 34%, 其河陆风的环流型与原来大体相同.

2) 不稳定层结情况

我们计算了冬季不稳定层结情况下长江三峡水利工程后, 重庆地段河陆风分布. 与未建坝的河陆风环流 (图 5) 相比, 两者河陆风环流型相类似. 河风从长江江面沿两岸的坡面往坡顶上吹, 在长江南岸上空形成一顺时针方向的河风环流, 这个环流中心位于长江南岸 1200 m 上空. 在南岸合成河风风速为 4.0 m/s , 最大可达 4.6 m/s , 在江面附近为 1.14 m/s . 此外, 河风从长江江面吹向长江北岸, 并吹到嘉陵江江面. 并且, 在嘉陵江江面上的河风沿嘉陵江北岸坡面往坡顶上吹, 一般合成河风风速为 3.1 m/s , 最大为 3.6 m/s .

从上面的计算结果可以看到, 冬季在白天, 三峡水利工程后, 长江重庆地段的河风比建坝以前约大 10% 左右, 而江面附近约增大 30%.

2. 夏季

1) 稳定层结情况

图7是夏季稳定层结情况下三峡水利工程后长江重庆地区河陆风的分布,与未建坝的

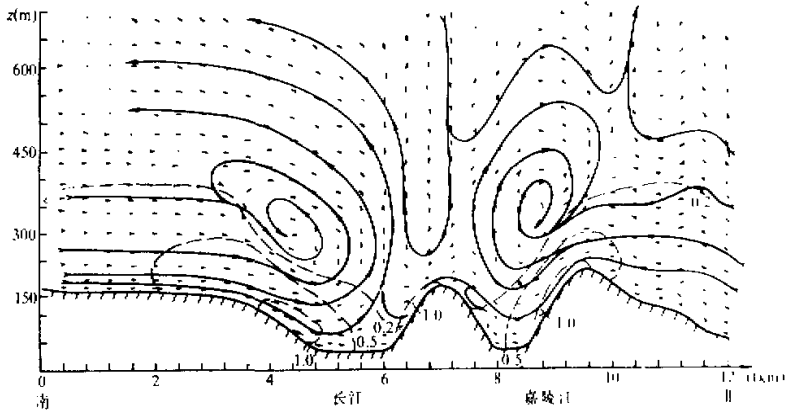


图7 与图6相同,但为夏季情况

河陆风环流(图4)相比,两者的环流类型相似,即陆风沿长江两岸的坡面向长江江中吹,后辐合上升到边界层,然后在边界层上层往南流,在长江南岸的坡面上空形成一个反时针陆风环流,一般合成陆风为 1.1 m/s , 最大为 1.4 m/s , 在江面附近的合成风速为 0.5 m/s , 同时在长江的北岸坡面上空形成一尺度很小的不闭合的顺时针陆风环流。此外,在嘉陵江北岸也形成一顺时针的陆风环流,一般为 0.9 m/s , 最大陆风可达 1.2 m/s 。

从上面的计算结果中可以看到,夏季在稳定层结条件下(一般在夜间),三峡水利工程后重庆地段的陆风约变大 35% 左右,其江面上风约增大 30% 左右。

2) 不稳定层结

我们同样计算了夏季不稳定层结情况下三峡水利工程后重庆地区河陆风的分布图,与未建坝的相比,两者的河陆风环流型相类似,即一顺时针方向的环流中心位于长江南岸坡面上空,河风沿着南岸的坡面往坡顶上吹,其合成风速一般为 4.3 m/s , 最大可达 5.1 m/s , 在江面附近一般可达 1.3 m/s 。同样,在嘉陵江江面与北岸坡面上空有一个反时针方向的河风环流,一般合成河风是 2.8 m/s , 最大是 4.1 m/s 。

从上面计算结果可以看到,夏季白天长江三峡水利工程后,重庆地段的河陆风要比未建坝以前的河陆风略大一些,约为 10% , 其江面上的风约增大 10% 。

五、结论与讨论

本文利用所设计的包括水平及垂直扩散的二维46层非弹性运动方程组模拟了冬、夏长江重庆地区典型情况下的河陆风。计算结果表明:无论冬、夏,在白天,长江重庆地段长江南北两岸及嘉陵江的北岸盛行河风环流,即风从河面沿两岸的坡面向坡顶吹,而边

界层上层的空气先向江面上空流；后在江面上空下沉到江面附近。夜间，则盛行陆风环流，即风从河的两岸坡顶沿波面向江面上吹，从两岸吹来的空气在河面上空辐合上升，后再流向坡顶。计算结果还表明：白天的河风比夜间的陆风大；夏季的河风要比冬季的河风大些。

本文还利用所设计的模式来预测长江三峡水利工程之后冬、夏长江重庆地段的河陆风变化。计算结果表明：长江三峡水利工程后，其长江重庆地段两岸夜间的陆风变大，约比未建坝前大 25—30%，而江面附近的约大 30—40%；在建坝后白天不稳定层结条件下河风增大约 10% 左右，江面附近的风约大 10—30%。

为了清楚起见，我们把长江南岸及江面附近河陆风的描写及预测列表如下：

表 3 合成河陆风在江面和坡面附近情况 (单位: m/s)

	冬季稳定情况		冬季不稳定情况		夏季稳定情况		夏季不稳定情况	
	坡面附近	江面附近	坡面附近	江面附近	坡面附近	江面附近	坡面附近	江面附近
建 坝 前	1.00	0.52	3.82	0.87	0.81	0.39	3.92	1.19
建 坝 后	1.26	0.74	3.99	1.14	1.10	0.51	4.30	1.32

从上表可以清楚地看到，长江三峡水利工程后无论冬季或夏季，长江重庆地段夜间的河陆风均增大 10—30% 左右，河陆风的增大不利于江雾的形成，这有利于航行并且有利于污染物质的扩散。

在稳定层结条件下，本文用模式方程所模拟长江重庆地段河陆风的结果与实测结果有较好的一致性，但目前由于缺乏其它时段的观测资料，尤其是缺乏整个剖面的观测资料，因此，计算结果和实测结果无法进行详细比较。

在不稳定层结情况下，不管是模拟还是预测河陆风的情况，长江南岸环流都是跨越重庆市及嘉陵江的。这可能是由于重庆市的地形不宽和嘉陵江太窄的共同效应，而实际环流是否如此，由于没有实际资料无法验证。

参 考 文 献

- [1] 黄荣辉、严邦良，1989，一个描写河陆风变化的数值模式及其数值实验，大气科学，第 13 卷，第 1 期，p. 11—21.
- [2] Moroz, W. J. 1967, A lake breeze on the eastern shore of lake Michigan: Observation and model, *J. Atmos. Sci.*, Vol. 24, 337—355.
- [3] Estoque, M. A. J. Gross and W. H. Lai 1976, A lake breeze over southern lake Ontario, *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 104, 386—396.
- [4] Kumura, H., 1961, A micrometeorological study on small island, Micrometeorological surveys at Hakatajima and Oshima, *met. Notes, Met. Res. Inst., Kyoto Univ.*, Ser. 2, 1—60.