

文章编号: 2096-1618(2018)04-0375-08

# 四川盆地风廓线雷达大气折射率结构常数特征分析

李雅婷<sup>1,2</sup>, 苏德斌<sup>1,2</sup>, 孙晓光<sup>1,2</sup>, 范新岗<sup>1,3</sup>, 何柱良<sup>4</sup>

(1. 成都信息工程大学电子工程学院, 四川 成都 610225; 2. 中国气象局大气探测重点开放实验室, 四川 成都 610072; 3. 西肯塔基大学地质地理系, 美国; 4. 四川省气象局, 四川 成都 610072)

**摘要:**大气折射率结构常数  $C_n^2$  是描述大气湍流特性的重要参量。利用四川省气象局在盐源、大邑、新津、新都、龙泉驿地区布网的风廓线雷达实时采样得到的 ROBS、HOBS 数据, 结合常规气象观测站提供的 1 小时温度、湿度数据进行统计分析, 研究大气折射率结构常数在四川盆地及其周边地区的日变化分布特征与地面温度、湿度的相关性以及在降水过程中的变化趋势, 对四川盆地大气湍流结构特性提供较清晰的认识。结果表明,  $C_n^2$  表现出明显的昼夜差别, 白天和夜晚相差 2 个量级; 在垂直方向 1 km 以内,  $C_n^2$  随高度增加而增大, 1 ~ 3 km 随高度增加先减小再增大, 超过 3 km 以上随高度增加而减小; 近地面  $C_n^2$  日变化与温度、湿度有相同变化趋势; 随着降水过程的发生和发展,  $C_n^2$  有明显增大趋势, 对降水具有指示意义。

**关键词:**大气科学; 大气折射结构常数; 风廓线雷达; 特征分析; 四川盆地

**中图分类号:** TN959.4

**文献标志码:** A

**doi:** 10.16836/j.cnki.jcuit.2018.04.005

## 0 引言

大气中随机起伏的湍流运动会引起大气折射率随机变化。大气折射率结构常数  $C_n^2$  是表示大气光学湍流强度的重要参数, 其大小与风廓线雷达探测湍流的后向散射能量成正比<sup>[1]</sup>。大气湍流强度时空变化与周边环境条件关系十分复杂, 在地球复杂表面和各种天气条件影响的大气边界层中,  $C_n^2$  主要受到地面热辐射引起的不稳定对流的影响。在自由大气中,  $C_n^2$  主要受到温度梯度和风速梯度的综合作用<sup>[2]</sup>。

风廓线雷达是利用大气湍流对电磁波的散射作用来对大气风场等物理量进行探测的遥感设备, 能够提供以风场为主的多种数据产品。其基本数据产品包括径向速度、谱宽、信噪比、水平风向、水平风速、垂直速度和反映大气湍流的折射率结构常数等。Muschiniski 等<sup>[3]</sup>利用边界层风廓线雷达垂直方向上返回信号的功率谱数据研究大气湍流结构, 对平均  $C_n^2$  垂直结构进行分析。Raddy 等<sup>[4]</sup>利用风廓线雷达资料, 在梅雨期间对流层高度变化以及降水云特征进行研究; 马振骅等<sup>[5]</sup>利用北京探空资料计算  $C_n^2$  和风矢量垂直分布, 用于模拟雷达回波信号, 进行 VHF 雷达参数设计。

四川盆地是中国四大盆地之一, 属中亚热带, 地形闭塞, 气温高于同纬度的其他地区。选取四川盆地及其周边布设的风廓线雷达及气象观测站数据, 研究大气折射率结构常数的变化特征。风廓线雷达分别布设

在彭州、绵竹、郫县、大邑、新都、南江、理塘、名山、龙泉驿、金堂、九龙、开江、新津、犍为、盐源 15 站点。各站点海拔高度分别为 594 m、588 m、548 m、524 m、495 m、555 m、3956 m、631 m、524 m、447 m、690 m、464 m、455 m、340 m 和 2563 m。依据地理位置及海拔高度将站点区域分为 3 类: 一是 2000 m 以上高海拔区; 二是低海拔靠近山脉与盆地交接区; 三是低海拔, 盆地中心区。具体研究第一类选取盐源、第二类选取大邑和新津、第三类选取新都 and 龙泉驿站点。通过研究分析分类站点观测获取的大气折射率结构常数特征, 对四川盆地及其周边地区大气湍流结构特性有较清晰的认识。

## 1 $C_n^2$ 的影响要素

Knomogorov 引入结构函数来研究局地均匀各项同性湍流的统计结构, 折射率结构函数为

$$D_n(r) = \overline{[n(x_1) - n(x_2)]^2} = \overline{[n_1(x_1) - n_2(x_2)]^2} \quad (1)$$

其中  $r = |x_1 - x_2|$  为  $x_1$  和  $x_2$  两点间的距离,  $n_1(x_1)$  和  $n_2(x_2)$  是折射率在  $x_1$  和  $x_2$  的脉动量, 折射率脉动表达式为

$$n_i = be_i - aT_i \quad (2)$$

其中  $T_i, e_i$  为随机变量的脉动量(雷诺方法),  $a$  和  $b$  分别为

$$a = \frac{\partial \bar{n}}{\partial T} = \frac{77.6\bar{p}}{T^2} \times 10^{-6} + \frac{0.7466}{T^3} e; \quad b = \frac{\partial \bar{n}}{\partial e} = \frac{0.3733}{T^2}$$

其中  $p$  和  $e$  分别为气压和水汽压(单位:hPa),  $T$  为气温(单位:K)。根据折射率结构函数推导折射率结构常数,在湍流惯性区内两点间的结构常数与两点间距离的  $2/3$  次方有关,与两点的位置和相对方向无关,即“ $2/3$ ”定律,即

$$D_n(r) = C_n^2 r^{2/3}$$

(3)

其中,

$$C_n^2 = b^2 C_e^2 + a^2 C_T^2 - 2ab C_{Te}^2$$

(4)

$C_n^2$  是大气折射率结构常数,  $C_e^2$  是湿度结构常数,  $C_T^2$  是温度结构常数,  $C_{Te}^2$  是温湿结构常数,即  $C_n^2$  数值与温度起伏项、湿度起伏项和温湿相关项相关。

主要对  $C_n^2$  产品在晴空与降水条件下取得的资料进行对比分析,针对  $C_n^2$  逐时变化情况、随高度变化分布、昼夜分布特点,与温度相关性、湿度相关性以及与降水过程中的分布特点开展研究工作。

2 数据来源及格式说明

数据来自于盐源、大邑、新津、新都、龙泉驿站点风廓线雷达 ROBS、HOBS 产品数据及中国气象数据网地面气象站<sup>[6]</sup>逐时气温、相对湿度资料(所有数据资料均采用世界时)。其中,龙泉驿、大邑、新津、新都站点风廓线雷达为 TWP3 边界层风廓线雷达,盐源站点风廓线雷达为 TWP8-L 中对流层风廓线雷达,雷达性能指标见表 1。盐源、大邑、新津、新都、龙泉驿雷达站地理位置海拔高度如图 1 所示。风廓线雷达 ROBS、HOBS 产品数据文件包括采样高度、水平风向、水平风速、垂直风速、水平方向可信度、垂直方向可信度、 $C_n^2$ 。低模式产品高度分辨率为 60 m,高模式产品高度分辨率为 60 m 或 120 m。ROBS 数据为每 5 min 间隔数据,HOBS 数据为每 0.5 h 间隔数据。

表 1 边界层风廓线雷达参数

类型指标	TWP3 风廓线雷达	TWP8-L 风廓线雷达
工作频率/MHz	1270 ~ 1295	1270 ~ 1295
最大探测高度/km	≥3	≥6
最小探测高度/m	≤100	≤100
风速分辨率/(m/s)	0.2	0.2
风向分辨率/(°)	0.5	0.5
高度分辨率	低模式为 60 m,高模式为 60 m 或 120 m	低模式为 60 m,高模式为 60 m 或 120 m
时间分辨率	3 波束工作时 ≤ 3 min, 5 波束工作时为 5 min	3 波束工作时 ≤ 3 min, 5 波束工作时为 5 min
测量性能	风速测量:0 ~ 60 m/s 风向测量:0° ~ 360°	风速测量:0 ~ 60 m/s 风向测量:0° ~ 360°

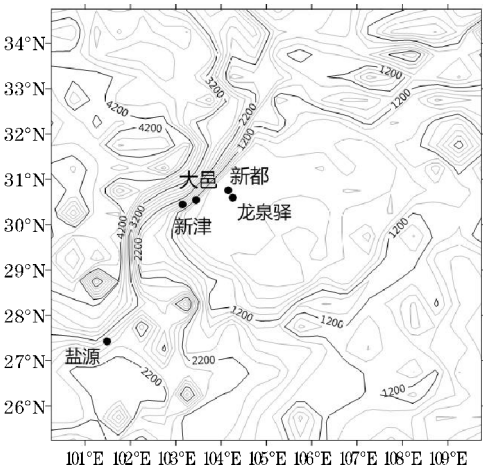


图 1 成都风廓线雷达站点海拔高度图

3 数据分析

3.1  $C_n^2$  廓线的昼夜差别

第一类地区站点盐源,海拔高度 2563 m。盐源县境内地形总体特征为四周高山峡谷,中部丘陵盆地,一般海拔在 2300 ~ 800 m,最高海拔 4393 m。属于亚热带季风气候区,年温差小,日温差大。首先选取盐源站点 2017 年 10 月 29 日无降水天气,做  $C_n^2$  日变化具体分析。图 2 为盐源从 0~20 时,每 4 h 间隔的  $C_n^2$  时刻廓线图,3 km 以下  $C_n^2$  值较 3 km 以上  $C_n^2$  值大 4~5 个数量级,3 km 以下不同高度对应的  $C_n^2$  值相差在 1 ~ 3 个数量级,3 km 以上  $C_n^2$  值在  $10^{-19}$  左右波动,不同高度对应值相差在 1 个数量级左右。根据  $C_n^2$  随高度变化趋势,选取 1 km、2 km、3 km、4 km 高度对  $C_n^2$  进一步分析。盐源风廓线雷达高度分辨率为 120 m,选取较为接近的高度,分别为 990 m、2190 m、3150 m、4110 m,得到图 3 各高度的  $C_n^2$  时序图。根据散点拟合曲线得到  $C_n^2$  值随时间的大体变化趋势:3 km 高度以下,0~12 时(北京时间 08~20 时)  $C_n^2$  值在  $10^{-15}$  左右波动并缓慢下降,

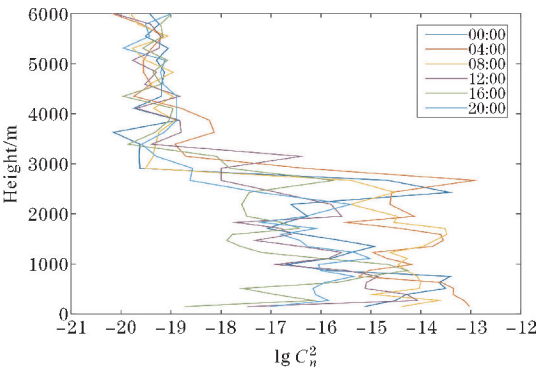


图 2 盐源  $C_n^2$  时刻廓线图

12-24 时  $C_n^2$  值在  $10^{-17}$  左右波动,较缓慢上升;3 km 高度左右,0-12 时  $C_n^2$  值在  $10^{-19}$  左右波动,较缓慢下降,12-24 时  $C_n^2$  值在  $10^{-17}$  左右波动,缓慢上升,即  $C_n^2$  值日变化存在波动现象及昼夜差异,相差两个数量级。而 4 km 高度以上,总体变化不大,且明显弱于低层大气。再选取  $C_n^2$  值变化较大量时刻做具体分析。

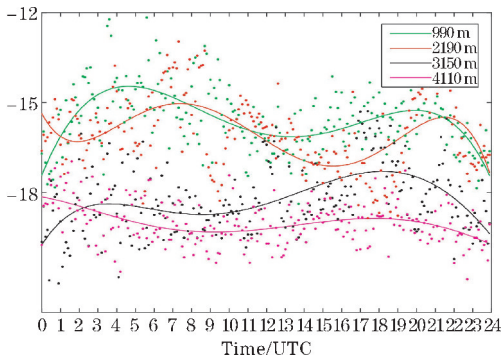


图 3 盐源不同高度  $C_n^2$  时序图

图 4(a) 是 2017 年 10 月 29 日盐源雷达站实时观测到的  $C_n^2$  在 03 时与 20 时随高度变化的分布廓线。从最低海拔 1.2 ~ 3 km  $C_n^2$  随高度增加而迅速减小,变化范围在  $10^{-19} \sim 10^{-13}$ ,由于此高度范围内存在逆温层<sup>[7]</sup>,对  $C_n^2$  的变化有一定影响,其间  $C_n^2$  仍有较小的增大过程,相同高度 03 时  $C_n^2$  值整体较 20 时高 1 ~ 3 个数量级。3 km 以上  $C_n^2$  值在  $10^{-15}$  左右波动,相同高度 20 时  $C_n^2$  值整体较 03 时高 1 个数量级。分析四川盆地其他地区非降水天气  $C_n^2$  值的昼夜变化,选取非降水日

期进行分析。第二类的大邑和新津地区构成川西平原的主体,属亚热带季风湿润性气候,多云雾,日照短。图 4(b) 是 2017 年 11 月 27 日大邑雷达站实时观测到的 02 时与 21 时  $C_n^2$  随高度变化的分布廓线。从最低海拔至 2 km,  $C_n^2$  值随高度增高而减小,范围在  $10^{-20} \sim 10^{-14}$ ; 2 ~ 3 km 高度,  $C_n^2$  值随高度增加而增大,范围在  $10^{-19} \sim 10^{-15}$ ; 3 km 以上,  $C_n^2$  值变化幅度减小,在  $10^{-20}$  左右波动。图 4(c) 是 2017 年 11 月 25 日新津雷达站实时观测到的 04 时与 20 时  $C_n^2$  随高度变化的分布廓线。从最低海拔至 2 km,  $C_n^2$  值随高度增高而减小,范围在  $10^{-22} \sim 10^{-16}$ ; 2 ~ 3 km 高度,  $C_n^2$  值随高度增加而增大,范围在  $10^{-22} \sim 10^{-16}$ ; 3 km 以上,  $C_n^2$  值变化幅度减小,在  $10^{-20}$  左右波动。第三类地区新都 and 龙泉驿,位于四川盆地西部,属于中亚热带湿润季风气候区,地貌主要以山地、丘陵、平坝为主,四季分明。图 4(d) 是 2017 年 11 月 26 日新都雷达站实时观测到的 02 时与 21 时  $C_n^2$  随高度变化的分布廓线。 $C_n^2$  值整体在 1 km 以下随高度增加而降低,变化范围为  $10^{-21} \sim 10^{-15}$ ; 1 ~ 2.3 km,  $C_n^2$  随高度增大时幅度增大,整体变化在 2 个数量级; 2.3 km 以上,  $C_n^2$  缓慢增加至  $10^{-19}$ ,波动减小。图 4(e) 是 2017 年 11 月 26 日龙泉驿雷达站实时观测到的 0 时与 21 时  $C_n^2$  随高度变化的分布廓线。 $C_n^2$  值整体在 1 km 以下随高度增加而降低,变化范围为  $10^{-20} \sim 10^{-14}$ ; 1 ~ 2.3 km,  $C_n^2$  随高度增大时范围增大,变化范围  $10^{-20} \sim 10^{-14}$ ; 2.3 km 以上, 21 时变化范围较大在  $10^{-18} \sim 10^{-13}$ , 0 时波动缓慢减小至  $10^{-20} \sim 10^{-17}$ ; 4 km 以上  $C_n^2$  值于  $10^{-19}$  左右波动。

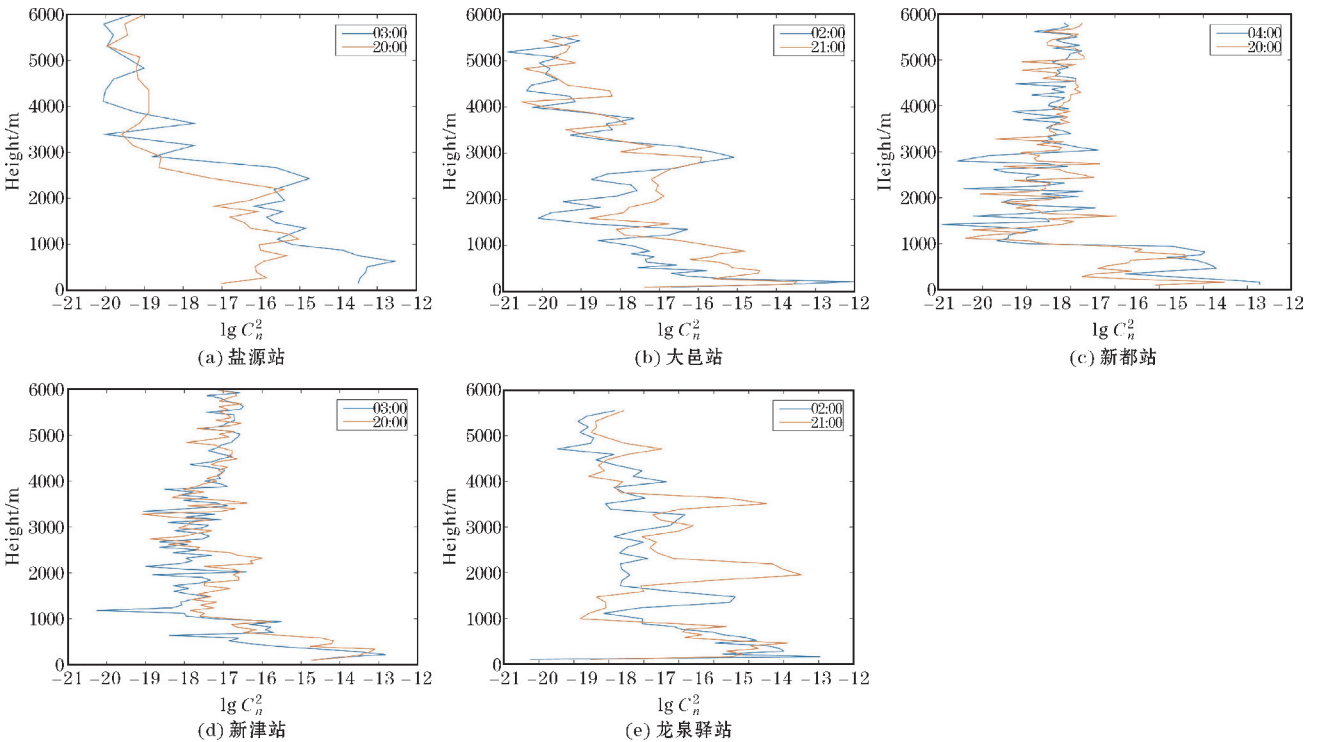


图 4  $C_n^2$  时刻廓线图



根据对三类地区昼夜  $C_n^2$  值统计分析得出,  $C_n^2$  值日变化有明显昼夜差异, 相差两个数量级。由于大气主要受到太阳辐射和地面长辐射影响, 白天太阳辐射增大大气处于不稳定层结, 湍流随着热能的向上传递而增强, 夜间温度降低大气处于稳定层结, 湍流较弱, 从而  $C_n^2$  值会有明显的昼夜差异。  $C_n^2$  值在1~3 km有先随高度升高减小再增大的过程, 且减小过程至多减小6个数量级,  $C_n^2$  值稳定于3 km以上某个高度, 之后在稳定值左右小幅度波动。说明随  $C_n^2$  高度有明显分层结构, 有湍流较大层及湍流较小层, 有明显跳跃式变化, 反应  $C_n^2$  随时间及高度变化的复杂性。

3.2  $C_n^2$  与温度、湿度的相关性

采用对应站点中国气象数据网地面气象站逐小时观测温度、水汽压资料与  $C_n^2$  做相关性特征分析。

图5(a)是盐源温度与  $C_n^2$  的廓线对比图。选取非降水天气时间为2017年10月29日, 高度为2190 m的  $C_n^2$  平滑值, 与同时同站点的温度变化趋势做比较。  $C_n^2$  值在0~6时上升, 达到峰值  $10^{-11}$ , 6~21时逐渐下降, 降到峰谷  $10^{-19}$ , 21时后有先上升再下降的波动过程。温度在0~8时有上升趋势, 9时左右出现最高值28℃, 9时后整体为下降趋势, 21时后出现小范围波动。图5(b)为大邑温度与  $C_n^2$  的廓线对比图。时间为2017年11月27日, 高度990 m(选取高度同昼夜差别分析相同)。温度与  $C_n^2$  值变化趋势一致, 先升后降, 7~8时出现最大值, 在18~22时有较明显波动。图5(c)、(d)分别为新都、龙泉驿温度与  $C_n^2$  的廓线对比图, 选取高度分别1000 m和990 m, 温度与  $C_n^2$  变化趋势更为接近。分析四幅图都显示了  $C_n^2$  的日变化与温度的日变化具有相似特征, 日变化规律与温度日变化规律吻合。

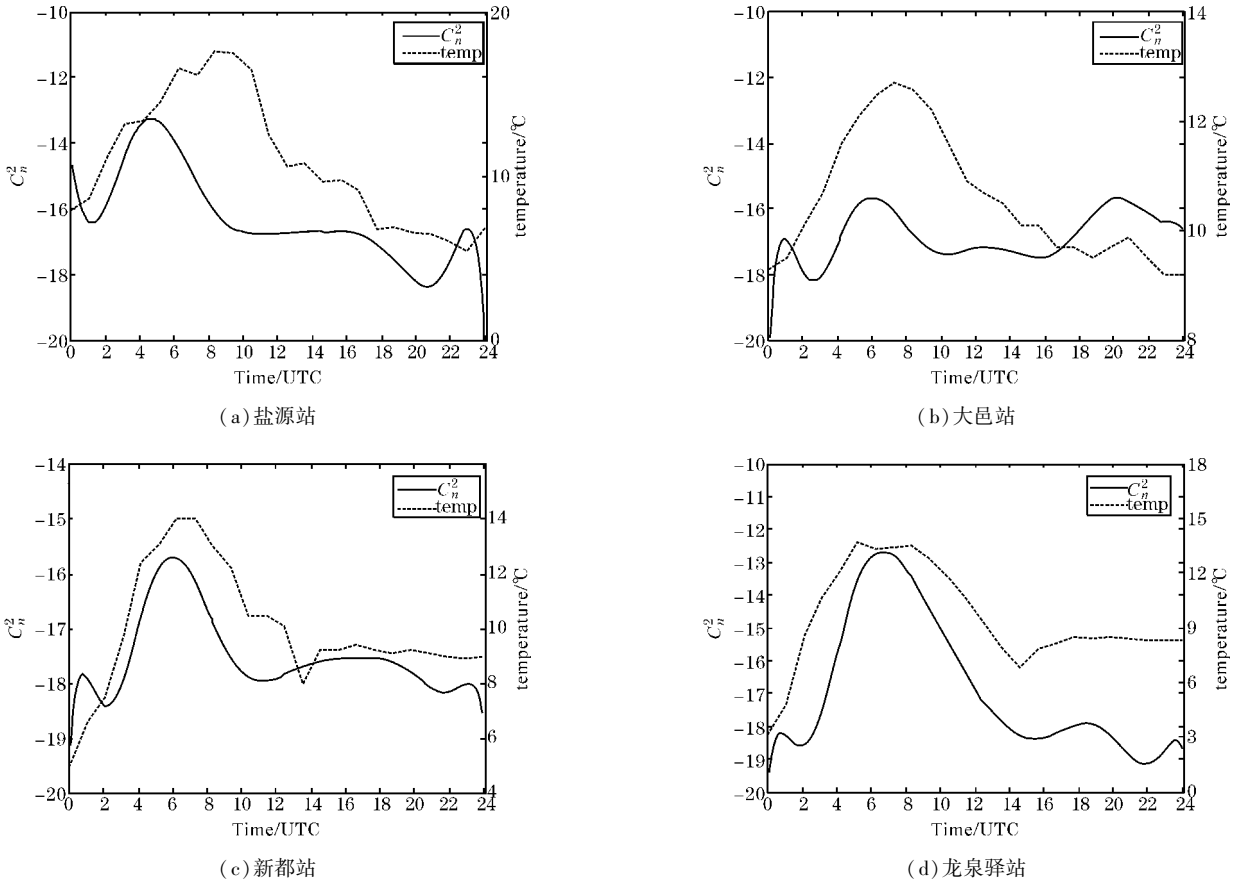


图5 温度与  $C_n^2$  时序图

对  $C_n^2$  与水汽压做相关性特征分析, 不同站点选取的时间、高度与温度相关性分析选取的日期、高度相同。水汽压是湿度的一种表现形式, 间接表示大气中水汽含量的一个量。大气中水汽含量多时, 水汽压就大; 反之, 水汽压就小。图6(a)是盐源水汽压与  $C_n^2$  的廓线对比图。选取时间为2017年10月29日, 高度为

2190 m的  $C_n^2$  平滑值, 与同时同站点的水汽压趋势做比较。  $C_n^2$  值日变化趋势: 0~6时为上升趋势, 6~11时为下降趋势, 11时后在  $10^{-15}$  左右波动。水汽压值日变化趋势: 0~4时为上升趋势, 4~8时为下降趋势, 8~11时有较缓慢上升趋势, 11时后在0.07 hPa左右波动。图6(b)是新津水汽压与  $C_n^2$  的廓线对比图。选取时间

为 2017 年 11 月 25 日,高度为 1000 m。 $C_n^2$  值日变化趋势:0-14 时在  $10^{-20}$  左右波动,缓慢上升趋势,14 时后为下降趋势。水汽压值日变化趋势:0-11 时在 0.1 hPa 左右波动,11 时后为下降趋势。对比分析显示  $C_n^2$  的日变化与水汽压的日变化具有相似特征,即与湿度的日变化具有相似特征。

综上对比分析,由于湍流与大气温度密切相关,地面观测温度数据可以根据大气温度的梯度变化推演出大气温度,从而  $C_n^2$  与温度日变化相关。得出在近地面

同一高度上  $C_n^2$  与温度、湿度的日变化量相符,与公式推导出的温度起伏项结论吻合。

3.3  $C_n^2$  在降水过程中的分布特性

降水条件下,  $C_n^2$  值会发生较大变化。选取 2017 年 10 月 21 日至 10 月 23 日覆盖盐源、大邑、新津、新都、龙泉驿地区的一次降雨过程。图 7(a)、(b)、(c) 分别是盐源地区 21 日、22 日、23 日风矢量垂直廓线时序图。

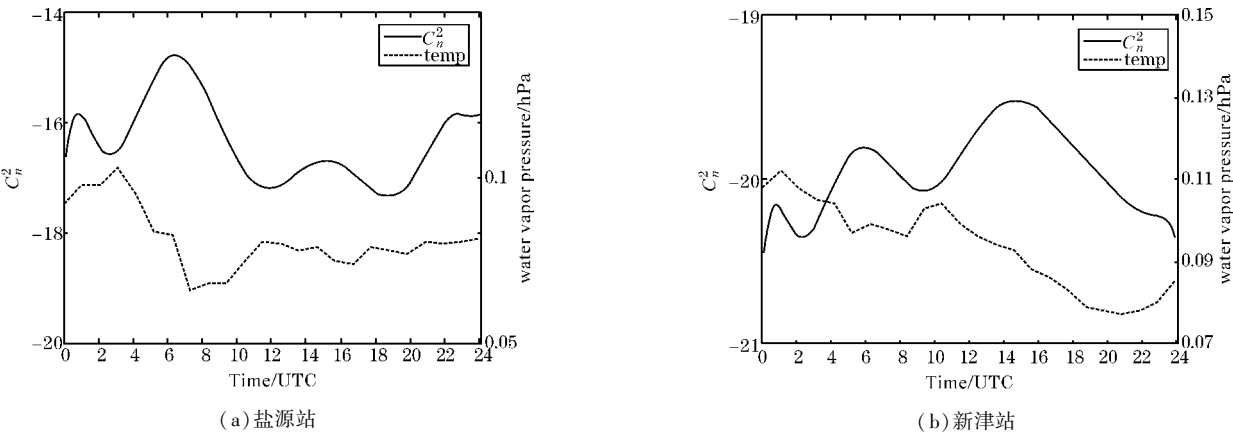


图 6 水汽压与  $C_n^2$  时序图

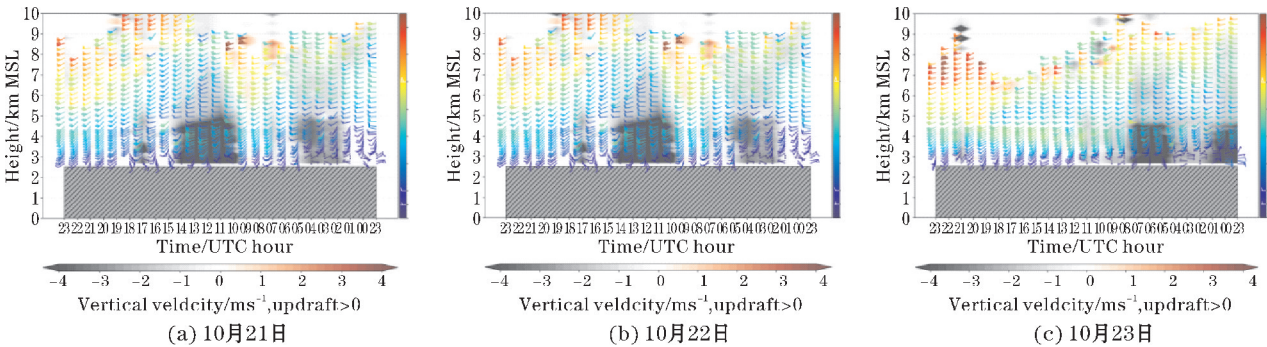


图 7 盐源风矢量垂直廓线时序图

通过垂直风速对应小时降水量分析  $C_n^2$ ,如图 8、9,分别为盐源 2190 m 高度垂直风速廓线时序图、盐源 2190 m 高度小时降水量及  $C_n^2$  时序图。从图 7(a) 中观察,垂直风速在 03:00-09:00 时振幅较大,变化范围为 -1 ~ 5 m/s,09:00-11:00 时风速迅速上升,11:00 时达至 21 日最大值 6.7 m/s,11:00-16:00 时风速迅速下降至 -1 m/s,16:00-20:00 时先升后降,变化范围 0 ~ 3 m/s,20:00-24:00 时在 0 m/s 左右波动。图 7(b) 紧接图 7(a) 过程,00:00-07:00 风速振幅逐时增大,07:00-10:00 时风速有较大波动,先降后升,10:00 达到最大值 4.9 m/s,之后迅速减小,12:00-17:00 风速在 0 m/s 左右变化,17:00 之后值缓慢上升,变化范

围 0 ~ 4 m/s。图 7(c) 风速在 0:00-07:00 风速振幅较大 -0.5 ~ 3.2 m/s,7 时之后振幅逐渐减小 -0.07 ~ 1 m/s。对应图 8、9(a)、(b)、(c) 观察,  $C_n^2$  与降水量及垂直风速变化规律基本吻合。降水量和  $C_n^2$  随着垂直风速的增大而增大,增加集中在 12:00-14:00 时,于 14:00 时增至最大值,小时降水量达到 2 mm,  $C_n^2$  达至  $10^{-8}$ 。22 日,小时降水量和  $C_n^2$  减小了 2 个量级,小时降水量保持在 0.5 mm 左右,  $C_n^2$  保持在  $10^{-12}$  左右,第二个峰值出现在 23 日 0 时左右,小时降水量增至 1.4 mm,  $C_n^2$  增至  $10^{-8}$ 。分析表明新都同一高度垂直风速和  $C_n^2$  及小时降水量的变化趋势吻合,  $C_n^2$  变化范围较大为  $10^{-18} \sim 10^{-4}$ 。

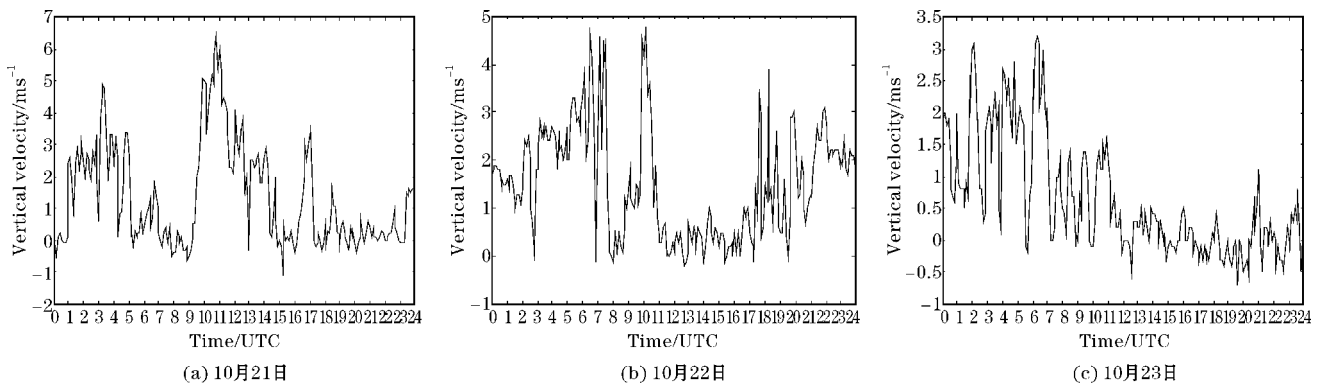


图8 盐源垂直风速廓线时序图

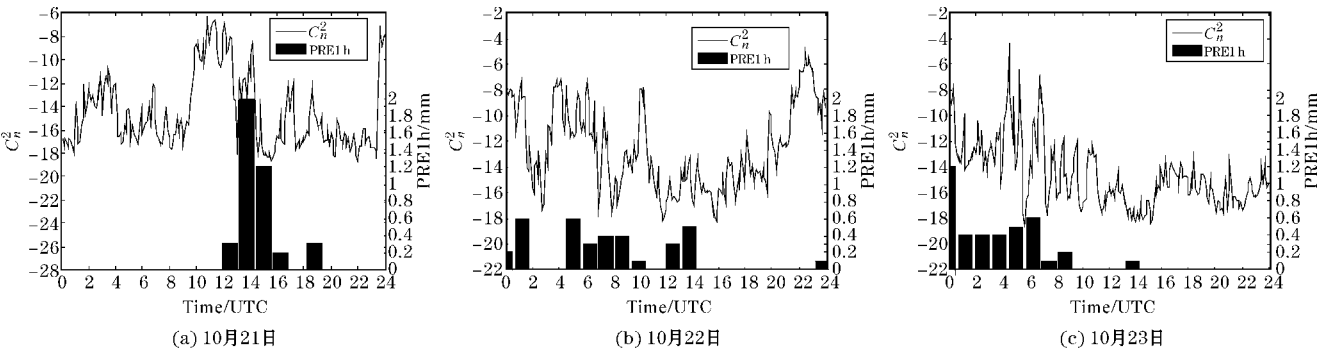


图9 盐源小时降水量及 $C_n^2$ 时序图

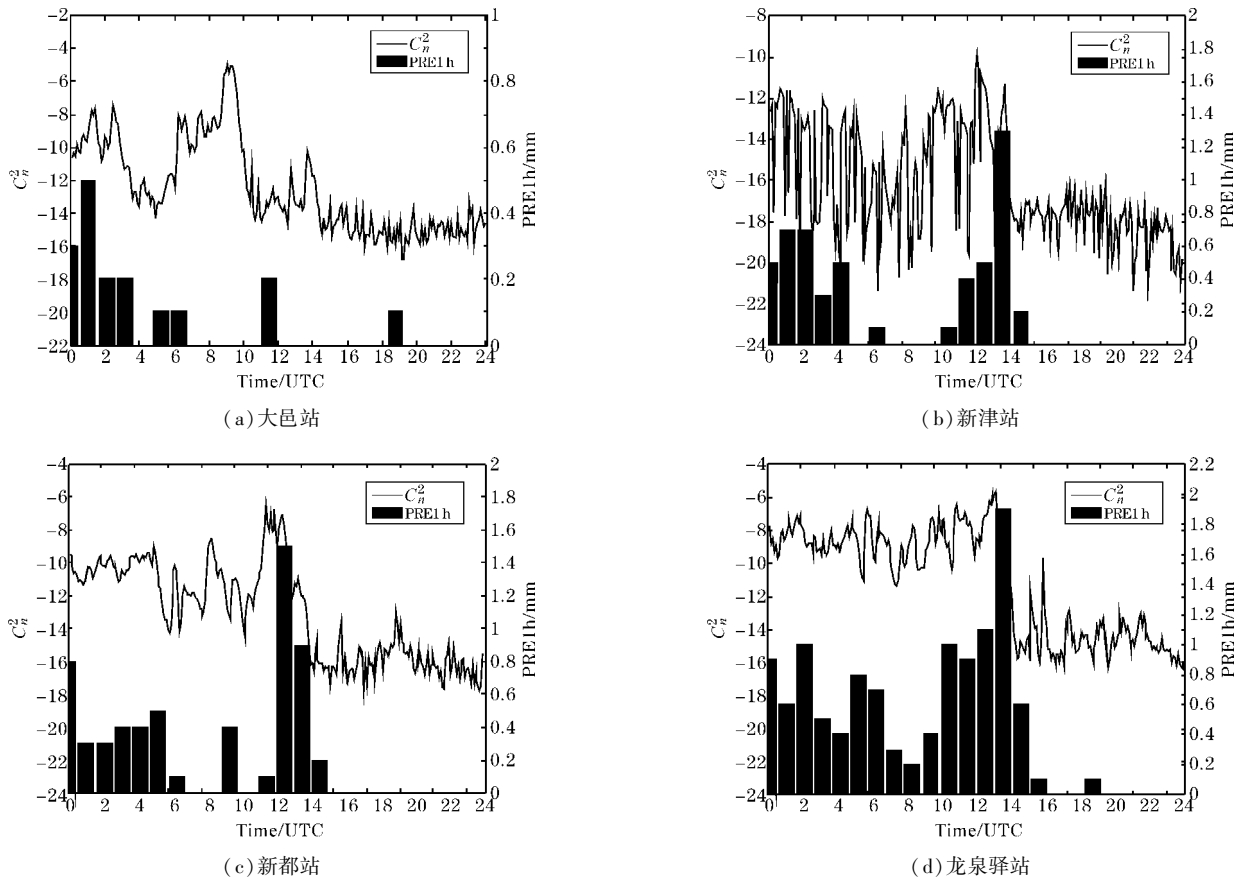


图10 小时降水量及 $C_n^2$ 时序图

按照站点分类,对二、三类作出10月22日大邑、新津、新都、龙泉驿小时降水与 $C_n^2$ 时序图。图10(a)为大邑站点时序图,0-4时小时降水量先增后减范围在0.2~0.4 mm,  $C_n^2$ 相同时间也呈先增后减趋势,变

化范围  $10^{-14} \sim 10^{-8}$ , 随着降水的降低,  $C_n^2$  值也缓慢减小, 最后在  $10^{-14}$  左右波动。图 10(b) 为新津站点时序图, 0-15 时小时降水量有较大跨度, 0-3 时先增, 3-6 时减少, 7-14 时又开始大幅度回升, 增至幅值 1.4 mm, 14-15 时大幅度下降, 降至 0.2 mm。  $C_n^2$  值波动和小时降水量变化相符, 变化范围在  $10^{-22} \sim 10^{-10}$ 。图 10(c)、(d) 为新都、龙泉驿站点时序图, 小时降水量的日变化与  $C_n^2$  值日变化趋势更加吻合。新都小时降水量 1.6 mm 最大值出现在 13 时,  $C_n^2$  最大值也出现在相同时间, 幅值为  $10^{-7}$ 。龙泉驿小时降水量 0-15 时在 0.8 mm 波动,  $C_n^2$  值在  $10^{-9}$  波动, 小时降水量最大值出现在 15 时, 幅值为  $10^{-6}$ 。15 时后小时降水量与  $C_n^2$  值大幅度减小,  $C_n^2$  值在左右波动。综上小时降水量与  $C_n^2$  整体变化规律吻合。

依据降水发展变化, 选取不同雨势时刻进行不同高度  $C_n^2$  比较分析。图 11(a) 为盐源站  $C_n^2$  时刻时序

图, 选取时刻为 21 日 06 时、13 时, 23 日 4 时、20 时, 在同一高度处随着雨势的增大,  $C_n^2$  随之增大, 同时刻不同高度  $C_n^2$  值随着雨势增大而增大, 13 时为小时降水量最大时刻,  $C_n^2$  值达到  $10^{-7}$ 。降水前期值较降水结束后, 整体大小相近, 2 km 高度最多相差 2 个量级。图 11(b) 为大邑站  $C_n^2$  时刻时序图, 选取时刻为 21 日 06 时、13 时, 22 日 11 时、18 时, 同样 13 时  $C_n^2$  值较其他时刻整体大 2~5 个量级。图 11(c) 为新都站  $C_n^2$  时刻时序图, 选取时刻为 21 日 03 时、17 时, 22 日 18 时、21 时, 同样 17 时  $C_n^2$  值较其他时刻整体大 2~5 个量级, 随高度增高有明显减小趋势。

综上 3 类站点分析, 随着降水过程的发生发展, 对流运动以及降水粒子对周围大气的拖拽作用,  $C_n^2$  有明显的增大趋势, 且分布特性符合垂直风速、小时降水量整体变化规律。

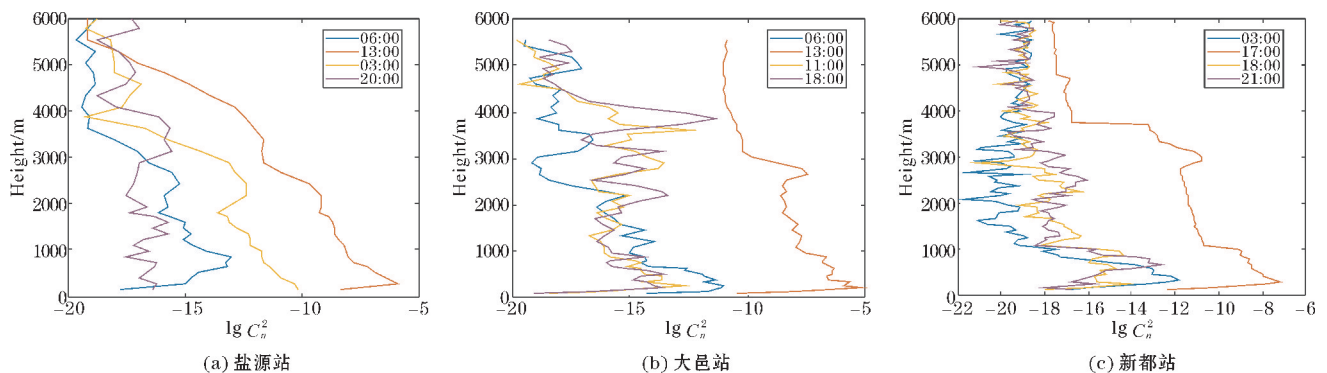


图 11  $C_n^2$  时刻时序图

大学资助项目(2015H12)对本文的资助

## 4 结论与展望

通过对盐源、大邑、新津、新都、龙泉驿地区大气折射率常数分布廓线特性的数据分析, 得出以下结论:  $C_n^2$  存在明显的昼夜差异, 从统计结果来看同地区  $C_n^2$  白天和夜间均要相差 2 个数量级; 在垂直方向小于 1 km 的高度上  $C_n^2$  随高度增加有明显的增大, 1~3 km 随高度增加先减小后增大, 大于 3 km 高度,  $C_n^2$  有减小并逐步保持稳定的趋势; 近地面  $C_n^2$  的日变化与温度的日变化有相同趋势; 受降水过程中的对流运动以及降水粒子对周围大气的拖拽作用影响, 随着降水过程的发生发展,  $C_n^2$  有明显的增大趋势。由于观测资料有限, 仅对少量个例进行研究, 得到一些初步结论。今后将围绕大气折射率结构常数特征进行更为全面、深入的统计分析工作, 提高结论的可靠性和准确性。

致谢: 感谢成都信息工程大学资助项目(KYT201529); 首都师范

## 参考文献:

- [1] Ecklund W L, Carter D A, Balsley B B, et al. Field tests of a lower tropospheric wind profiler [J]. Radio science, 1990, 25(5): 899-906.
- [2] 阮征, 何平. 风廓线雷达对大气折射率结构常数的探测研究[J]. 大气科学, 2008, 32(1): 133-140.
- [3] A Muschinski, PP Sullivan. First synthesis of wind-profiler signals on the basis of large-eddy simulation data [J]. Radio Sci., 1999, 6(12): 1437-1459.
- [4] KK Raddy, B Geng. The Meiyu precipitation cloud system studies using wind profiler in China [J]. 32nd Conference on Radar Meteorology. 2005.
- [5] 马振骅, 陈大任, 周彪. VHF 雷达探测对流层风

- 廓线的数值模拟试验研究[J]. 大气科学,1985, 9(2):113-118.
- [6] 中国气象数据网[EB/OL]. <http://data.cma.cn/site/index.html>.
- [7] 范潇,张福贵. 风廓线雷达对折射率结构常数的实测分析[J]. 成都信息工程学院学报,2013,28(6):611-616.
- [8] 袁仁民,马成胜,范爱媛. 混合层顶覆盖逆温层变化规律研究[J]. 中国科学技术大学学报,2003,33(2):247-252.

## Characteristic Analysis of Atmospheric Structure Constant of Refractive Index of Sichuan Basin based on Wind Profiler Radar

LI Ya-ting<sup>1,2</sup>, SU De-bin<sup>1,2</sup>, SUN Xiao-guang<sup>1,2</sup>, FAN Xin-gang<sup>1,3</sup>, HE Zhu-liang<sup>4</sup>

(1. College of Electronic Engineering, CUIT, Chengdu 610225, China; 2. Key Laboratory of Atmospheric Sounding, China Meteorological Administration, Chengdu 610225, China; 3. Department of Geography and Geology, Western Kentucky University, Bowling Green, KY 42101, USA; 4. Sichuan Provincial Meteorological Bureau, Chengdu 610072, China)

**Abstract:** The atmospheric structure constant of refractive index is an important parameter to describe the turbulent characteristics of the atmosphere. This paper uses the ROBS and HOBS data collected by the Sichuan Provincial Meteorological Bureau in wind source profile radars collected from Yanyuan, Dayi, Xinjin, Xindu, and Longquanyi areas in real time, and combines with the hourly temperature data provided by conventional meteorological observation stations for statistical analysis. To study the characteristics of the diurnal variation of atmospheric structure constant of refractive index in the Sichuan Basin and its surrounding areas, the correlation with surface temperature and humidity, and the trends during precipitation, and provide a clearer understanding of atmospheric turbulent structural characteristics in the Sichuan Basin. The results showed that there was a significant difference between day and night. The difference between day and night was two orders of magnitude. Within 1 km of the vertical direction, it increased with height, and 1-3 km first decreased and then increased with height, exceeding 3 km. With the increase of the height, the daily change near the ground has the same trend as the temperature and humidity. With the occurrence and development of the precipitation process, there is a clear trend of increase, indicating the significance of precipitation.

**Keywords:** atmospheric science; atmospheric structure constant of refractive index; wind profile radar; feature analysis; Sichuan basin