

基于 L 波段雷达探空资料的重庆市区 低空逆温特征分析

唐家萍^{1,2} 谭桂容¹ 谭畅^{1,2}

(1 南京信息工程大学, 南京 210044; 2 重庆市气象局, 重庆 401147)

摘要 利用重庆市沙坪坝气象站 2005—2009 年 L 波段雷达探空观测资料, 研究重庆市区接地逆温和悬浮逆温的出现频率、逆温厚度、垂直分布特征和强度状况, 对本地低空大气的逆温分布特征进行了详细分析。分析结果表明: 重庆市区低空大气全年均不同程度存在逆温层, 低空逆温出现频率为 93%, 夏季发生的频率最高, 冬季最低; 逆温强度总体不大, 07:00 和 19:00 接地逆温多年平均强度分别为 $0.53\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{hm}$ 和 $0.6\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{hm}$, 为同时段悬浮逆温强度的 2 倍; 从垂直分布特征来看, 低空逆温呈现厚度薄且层次多的特点, 层次最多时达 6 层。

关键词 逆温 分布特征 L 波段雷达 探空资料

引言

重庆市位于青藏高原东部的东亚季风区, 属中亚热带湿润季风气候, 四季分明, 无霜期长。重庆市区位于华蓥山与铜锣山平行岭谷西南端, 城西的中梁山和城东南的真武山将城区围在低凹的谷地内, 常年风速小、静风频率高, 强降水日数也少。特殊的气候背景、地理条件和天气类型, 使得重庆市区低空逆温结构呈现出与其他地区不同的分布特征。至今国内的很多城市都开展了利用高空气象观测资料分析研究逆温层特征, 胡非等^[1]介绍了在大气边界层探测、结构特征和城市区域大气污染预测模式研究等方面的重要进展。姜大膀等^[2]、刘焕彬^[3]、刘增强^[4]等利用常规气象探空观测资料统计分析了当地低空大气温度层结变化特征。戴安国等^[5]采用传统的探空汽艇及气球资料研究过重庆冬、夏季节城市边界层逆温特征; 马力等^[6]研究过 L 波段雷达资料在重庆大气边界层特征分析中的应用, 二者资料长度都为 1 年, 分析重点侧重于对城市污染的影响。胡春梅^[7]等用 L 波段雷达资料研究了重庆市空气污染扩散气象条件指标, 但未对本地的逆温状况有分析。本文利用 2005—2009 年的 L 波段雷达探空观测资料(共计 3625 份, 缺测 25 份), 系统地研究了低空大气温度层结的时空分布特征, 较全面地反映

出重庆市区低层逆温的状况, 并对其结构特征和变化规律进行了详细的分析。

1 资料与分析方法

L 波段探空雷达具有高分辨率和实时采集能力, 其垂直分层最密可以达每升高 7 m 获取一套数据, 具有从地面开始就可以获取资料的特点, 高度资料精确性好, 探测仪在 850 hPa 时与实际大气的位势高度差约为 12 gpm ^[8]。本文选取的资料为重庆市沙坪坝国家基本气象站每日早晚(07:00、19:00)两次探空观测资料, 时段为 2005 年 1 月 1 日至 2009 年 12 月 31 日, 数据间隔 50 m, 从地面到 1000 m 之间观测资料进行分析。

受地面辐射、地形气候和天气形势的影响, 在距地面 1000 m 以下的低空大气中, 长年存在着两类逆温层, 接触地面的为接地逆温层, 离开地面的为非接地逆温层, 也称为悬浮逆温层。在逆温层中, 气温垂直分布随高度递增, 温度增量越大表明逆温强度越强。在本文中, 将温度随高度增加保持不变的等温情况也视作逆温的一种。逆温特征统计用以下方法进行: 逆温层底高 H_1 、顶高 H_2 : 分别用逆温层起始点高度和终止点高度减去本站海拔高度而得, 接地逆温底高即为 0 m; 逆温层厚度: $\Delta H = H_2 - H_1$, 单位为 m, 接地逆温顶高即为逆温层厚度; 逆温层温

差: $\Delta T = T_2 - T_1$, 单位为 $^{\circ}\text{C}$, 其中 T_1 为逆温层底部的温度, T_2 为逆温层顶部的温度; 逆温强度定义为在逆温层内每升高 100 m 温度的逆增值 ($^{\circ}\text{C}/\text{hm}$), 用 I 表示: $I = \frac{\Delta T}{\Delta H} \times 100\% = \frac{T_2 - T_1}{H_2 - H_1} \times 100\%$ 。逆温日数统计算法为: 一天中, 如果出现接

地逆温层, 可计为一个接地逆温日; 如果出现非接地逆温层, 可计为一个悬浮逆温日; 只要出现逆温层, 不论出现时间、接地的还是悬浮的, 或是两层兼有, 可计为一个低空逆温日。为了便于分析研究将逆温强度划分为 6 个等级, 见表 1。

表 1 逆温强度分级

	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级	6 级
逆温强度/ $(^{\circ}\text{C} \cdot \text{hm}^{-1})$	<0.3	$0.3 \sim 0.6$	$0.7 \sim 1.0$	$1.1 \sim 1.5$	$1.6 \sim 2.0$	>2.0

2 重庆市区低空逆温时空分布特征

2.1 低空逆温出现频率

在重庆市区 2005—2009 年共 1813 天内(缺测 12 天), 出现接地逆温的日数为 1283 日, 出现频率 71%, 悬浮逆温 1510 日, 出现频率 83%, 低空逆温 1688 日, 出现频率 93%。低空逆温出现频率和悬浮逆温出现频率大致都呈倒 V 形, 盛夏季节出现最多, 秋冬季最少; 接地逆温出现频率则和二者相反, 春秋季节多, 盛夏少(图 1a)。

5 年中, 07:00 接地逆温年平均值为 165 次/年; 19:00 接地逆温为 148 次/年。从图 1b 中可以看出, 07:00 和 19:00 接地逆温在春季和秋季发生频率大, 冬、夏季节小, 频率曲线都呈 M 形分布。

07:00 悬浮逆温频次年平均值为 214 次/年; 19:00 悬浮逆温年平均值要少得多, 只有 92 次/年。从季节上看, 07:00 出现频次春夏季节较多, 秋冬季节较少; 19:00 则是秋、冬季的 11、12 月出现频次比其他月份显著增多, 其他月份变化幅度比较小(图 1c)。

2.2 逆温厚度分布特征

2.2.1 接地逆温厚度分布特征

逆温层厚度反映逆温层的时空分布状况及其强度。分析表明, 重庆市区接地逆温厚度 07:00 大于 19:00, 早上接地逆温厚度约为晚间的 2 倍, 总体来看, 逆温厚度都不大, 07:00 多年月平均厚度最大值也只有 134 m。

07:00 接地逆温年平均厚度为 105 m, 春季逆温厚度偏大, 初冬季节厚度偏小, 5 年中厚度最大值为

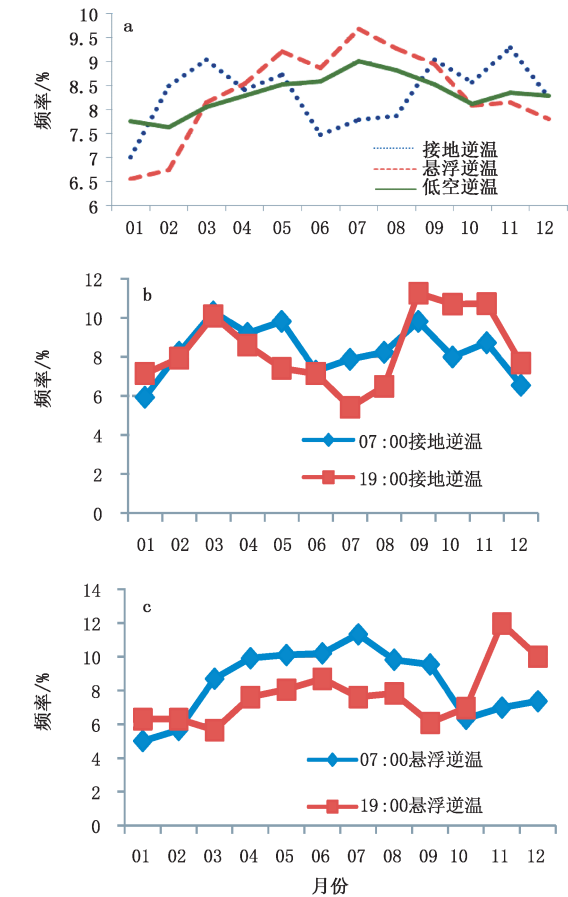


图 1 2005—2009 年逆温发生频率年变化

为 550 m, 最小值为 50 m; 19:00 接地逆温年平均厚度为 57 m, 全年变化幅度不大, 春季到初夏(3—6 月)是接地逆温厚度偏小时段, 秋冬季节接地逆温平均厚度较大, 5 年中厚度最大值为 250 m, 最小值为 50 m。

2.2.2 悬浮逆温厚度分布特征

5 年间,重庆市 07:00 悬浮逆温年平均厚度 186 m,春季到初夏(4—7 月)为逆温厚度偏大时段;冬季 12 月、1 月为偏小时段。逆温厚度极大值为 600 m,最小值为 50 m。19:00 悬浮逆温年平均厚度 115 m,夏季 8 月逆温厚度最大;秋末 11 月最小,全年变化幅度不大。逆温厚度极大值为 600 m,最小值为 50 m(图 2)。

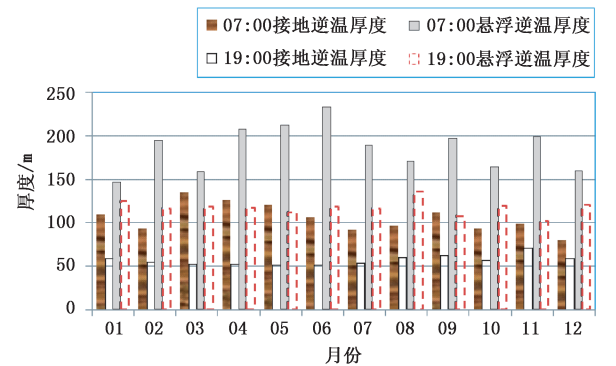


图 2 2005—2009 年逆温厚度年变化

表 2 2005—2009 年悬浮逆温分布特征

	年平均底/顶高	底/顶高最大值	底/顶高最小值	季节分布特征
07:00	386 m/744 m	950 m/1000 m	50 m/100 m	底高秋冬季偏大,春夏季节变小;顶高秋季偏大,春季和初夏变小
19:00	602 m/785 m	950 m/1000 m	50 m/100 m	底高、顶高均为 7—9 月明显偏小,其余时段偏大

总的来看,07:00 悬浮逆温顶高夏季最高,底高夏初最低,6—9 月间逆温厚度最大;19:00 悬浮逆温顶高和底高季节变化趋势大致相同,都呈 V 形,在盛夏季节达到最低值,冬春季最高,逆温厚度则是 7、8 月最厚(图 3)。

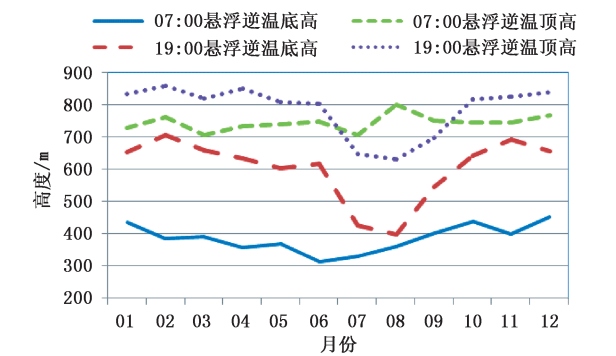


图 3 2005—2009 年悬浮逆温层底高和顶高的年变化

2.3.2 悬浮逆温的垂直分布特征分析

将地面至 1000 m 的高度每百米划分一个层次,统计单个层次悬浮逆温出现次数,分析悬浮逆温

总的来看,重庆市春季和初夏季节低空逆温厚度增大,冬季变薄;早间的逆温厚度要明显大于晚间的逆温厚度,悬浮逆温厚度大于接地逆温厚度。

2.3 悬浮逆温分布特征

2.3.1 悬浮逆温层的底高和顶高

悬浮逆温是悬浮在离地面一定高度上的逆温层,即从地面开始气温随高度递减,到达某一高度后气温开始随高度递增,该高度即为悬浮逆温层的底高;当气温递增达到一定高度后,温度又随高度开始递减,这一高度即为悬浮逆温层的顶高,悬浮逆温层的厚度即为顶高减底高的差值(表 2)。

分析表明,重庆市 07:00 悬浮逆温顶高夏季最高,底高夏初最低,6—9 月间逆温厚度最大;19:00 悬浮逆温顶高和底高季节变化趋势大致相同,都呈 V 形,在盛夏季节达到最低值,冬春季最高,逆温厚度则是 7、8 月最厚。

层的垂直分布状况:从图中可以看到 07:00 悬浮逆温层分布为倒 V 形,在 500~600 m 的区域出现最多,逐渐向两端呈减少趋势,随高度变化明显;19:00 的悬浮逆温层分布大体是从下到上逐渐增多的趋势,在 600 m 以下区域出现较多(图 4)。

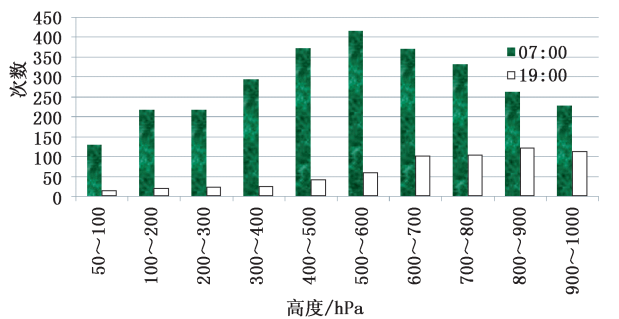


图 4 2005—2009 年悬浮逆温高度分布

2.4 逆温强度特征分析

逆温强度是大气层结稳定度重要指标,一般分为 6 级,用逆温层内温度垂直递增率来表示(表 3)。从表中可以看出 07:00 和 19:00 逆温强度为 1 级的

出现频率最高,6 级的最少,两个时次都呈由多到少趋势。总的来看,重庆市区的逆温强度不大,07:00 接地逆温平均强度 0.53℃/hm,悬浮逆温平均强度 0.26℃/hm;19:00 接地逆温平均强度 0.6℃/hm,悬浮逆温平均强度 0.3℃/hm。从早晚间两个时次来看,07:00 逆温强度较 19:00 明显偏弱,几乎 4 成的 07:00 逆温强度在 0.3℃/hm 以内,其中包含了大量逆温强度为 0℃/hm 的等温层(表 3,其中各频率和为 100)。

表 3 逆温强度的次数和频率

		1 级	2 级	3 级	4 级	5 级	6 级
07:00	次数	1609	871	272	96	25	6
	频率/%	38.0	20.6	6.4	2.3	0.6	0.1
19:00	次数	641	384	199	77	46	8
	频率/%	15.1	9.1	4.7	1.8	1.1	0.2

将 5 年间各月份逆温强度做多年平均,分析逆温强度受季节变化的影响(图 5)。从图 5 中可以看到:不论 07:00 还是 19:00,悬浮逆温强度随季节变化都很小;但接地逆温却有明显的季节变化。两个时次的接地逆温强度季节变化都大致呈 M 状分布:07:00 接地逆温强度在春季最强,初夏和初冬季节较弱,其中以初冬季节强度最弱;19:00 接地逆温强

度在初春和盛夏季节最强,初夏和初冬最弱。5 年中,07:00 接地逆温最大强度 2.7℃/hm,悬浮逆温最大强度 3.2℃/hm,均出现在 1 月;19:00 接地逆温最大强度 2.4℃/hm,多月出现,悬浮逆温最大强度 3.4℃/hm,出现在 8 月。

2.5 逆温垂直结构特征分析

市区低空逆温垂直结构特征表现为:逆温厚度薄并具有多层逆温结构,早上逆温出现频率和层次明显大于夜间。07:00 逆温多为 1~4 层的垂直结构分布,最多时达到 6 层(表 4),19:00 逆温多为 1~2 层,最多时达 5 层(表 5)。逆温厚度薄、具有多层逆温结构。季节分布来看春夏季节是 07:00 逆温层数较多的时间,而 19:00 的却是在秋季和初冬季节出现层数最多。

3 结论与讨论

(1)市区低空大气层结中一年四季都存在逆温层,低空逆温出现频率为 93%,夏季多,冬季少。接地逆温出现频率 71%,春、秋季多,冬、夏少;悬浮逆温出现频率 83%;季节变化不大。

(2)低空逆温的厚度在春季和初夏季节最大,冬季最薄;07:00 的逆温层厚度明显大于 19:00,为其厚度的 2 倍。

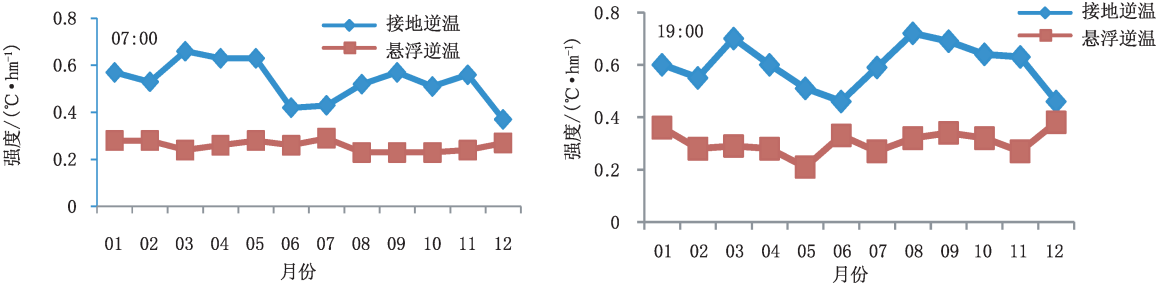


图 5 2005—2009 年逆温强度年变化

表 4 07:00 多层逆温次数分布

	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
1 层逆温	14	12	13	7	11	14	23	27	22	21	17	28
2 层逆温	22	20	45	41	40	34	41	34	41	26	27	30
3 层逆温	9	21	23	35	30	33	34	29	31	20	29	20
4 层逆温	8	14	14	15	20	21	14	13	14	10	14	4
5 层逆温	1	4	5	4	7	5	8	7	2	1	1	3
6 层逆温	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0

表 5 19:00 多层逆温次数分布

	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
1 层逆温	17	9	12	14	19	18	18	15	42	25	36	33
2 层逆温	14	18	11	17	15	16	13	15	17	25	36	29
3 层逆温	5	3	5	6	1	6	3	7	0	4	9	15
4 层逆温	0	1	0	0	1	1	2	2	2	1	1	0
5 层逆温	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0

(3)重庆市区低空逆温强度不大,约 84%的逆温强度都在 0.6℃/hm 以下。接地逆温强度明显大于悬浮逆温,为其 2 倍左右,其强度有明显的季节变化,春季最强,初冬最弱。悬浮逆温强度则比较稳定,没有大的季节变化。

(4)重庆市区低空逆温厚度薄且层次多。07:00 逆温多为 1~4 层的垂直结构分布,最多时达到 6 层,19:00 逆温多为 1~2 层,最多时达 5 层。从季节来看春夏季节 07:00 逆温层数多,秋季和初冬季节 19:00 层数多。城市上空的多层逆对温度和大气污染物扩散有很大影响,有待今后开展更深入的分析。

参考文献

[1] 胡非,洪钟祥,雷孝恩.大气边界层和大气环境研究进展[J].大

气科学,2003,27(4):712-728.
[2] 姜大膀,王式功,郎咸梅,等.兰州市区低空大气温度层结特征及其与空气污染的关系[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2001,37(4):133-139.
[3] 刘焕彬,冯俊杰,王恒明.济南低空逆温层特征分析[J]. 山东气象,2005,25(1):27-28.
[4] 刘增强,郑玉萍,李景林,等.乌鲁木齐市低空大气逆温特征分析[J]. 干旱区地理,2007,30(3):351-356.
[5] 戴安国,安礼才.重庆城市边界层逆温特征[J]. 重庆环境科学, 14(3):58-62.
[6] 马力,张银廷.L 波段探空 GFE(L)1 型二次测风雷达资料在重庆大气边界层特征分析中的应用[J]. 气象科技,2008,36(1): 105-107.
[7] 胡春梅,刘德,陈道劲.重庆市空气污染扩散气象条件指标研究[J]. 气象科技,2009,37(6):665-669.
[8] 王荣基,李君.L 波段高空气象探测系统气压、高度观测数据分析[J]. 气象科技,2009,37(1):106-109.

Characteristic Analysis of Temperature Inversion in Lower-Level Atmosphere over Chongqing Based on L-Band Radar Data

Tang Jiaping^{1,2} Tan Guirong¹ Tan Chang^{1,2}

(1 Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044;
2 Chongqing Meteorological Service, Chongqing 401147)

Abstract: In order to analyze the variation of the temperature inversion layer in the lower atmosphere over Chongqing, the daily L-band radar data set in the period of 2005 to 2009 in Shapingba Weather Station is used. The frequency, intensity, thickness, and distribution of temperature inversion are analyzed in detail. The results reveal that there existed temperature inversion in the lower atmosphere over Chongqing in most days of a year, up to 93%, most frequent in summer and rarely in winter; the overall intensity of is modest, with the average intensity of touchdown inversion at 07:00 and 19:00 being 0.53℃/hm and 0.6℃/hm, respectively, which are two times as much as those of suspension inversion at the same time. In respect of the characteristics in the vertical distribution, the lower-level temperature inversion layers are relatively thin and divided into many layers, sometimes up to 6 layers.

Key words: temperature inversion, distribution characteristic, L-band radar, radiosonde data