

曹梅,王斌,任丹阳,等.地基微波辐射计低空大气逆温探测能力分析[J].陕西气象,2022(6):70-75.

文章编号:1006-4354(2022)06-0070-06

地基微波辐射计低空大气逆温探测能力分析

曹梅^{1,2},王斌³,任丹阳^{1,2},杨亚利⁴,白水成^{1,2}

(1. 西安市气象局,西安 710016;

2. 陕西省气象局秦岭和黄土高原生态环境气象重点实验室,西安 710016;

3. 陕西省气象局,西安 710014;4. 铜川市气象局,铜川 727000)

摘要:利用西安泾河站 MWP967KV 型地基微波辐射 2019 年 6 月—2021 年 5 月温度数据,与同期探空观测数据进行对比,检验地基微波辐射计反演温度的准确性;将两种观测方式所探测的逆温参量进行对比,从而分析地基微波辐射计逆温探测能力。结果表明:MWP967KV 型地基微波辐射计反演温度廓线在 2 km 以下精度较高。地基微波辐射计观测逆温出现频率与探空观测类似,并能很好地探测低层 200 m 以下的逆温,对于高空 500 m 以上的逆温无法监测到。地基微波辐射计观测的逆温强度、逆温厚度均小于探空观测。地基微波辐射计对逆温日变化有较好的监测能力,填补了常规探空观测的空白。

关键词:微波辐射计;低空;逆温探测

中图分类号:P407.7

文献标识码:A

近地层大气逆温的变化,对大气污染有着直接的影响,它对人体健康、生态变化、大气质量、大气要素有着很大的作用^[1]。逆温是影响大气污染物扩散、传输的重要因素,污染物的散布形式和运行扩散规律取决于污染区域内气象条件的水平和垂直分布规律,逆温的分布规律对大气污染物的扩散有着直接的作用^[2]。国内外已有大量关于边界层逆温的相关研究^[3-10]。国内对边界层逆温的研究大多是基于高空气象观测站 07 时和 19 时综合探空资料,研究表明传统探空观测计算逆温参量准确可靠,在气象预报、预警中广泛应用,但常规的探空观测资料每日仅有两次,存在时间分辨率不高的问题,无法准确判断逆温层动态变化。近几年地基微波辐射计探测技术崭露头角,并逐渐趋于成熟,地基微波辐射计具有高精度、连续性等优点。国内外学者对地基微波辐射计资料评估

开展了大量研究^[11-15],但基于微波辐射计资料研究逆温仅有少量文献^[16-18]。李力等^[18]利用微波辐射计数据分析南京逆温层结构与雾霾天气的关系。有研究表明地基微波辐射计在逆温条件下的精度明显减弱^[11],也有文献指出地基微波辐射计对逆温探测能力不足^[12]。本文利用 L 波段探空雷达温度数据检验 MWP967KV 型地基微波辐射计反演温度廓线的准确性,并进一步计算两类资料的逆温参量,进而比较两种观测方式对于逆温观测的差异,以便评估地基微波辐射计对逆温的探测能力。

1 资料和方法

1.1 资料

资料分别选取西安市泾河国家高空气象观测站(以下简称泾河站)2019 年 6 月—2021 年 5 月 MWP967KV 型地基微波辐射计和探空观测温度数据。地基微波辐射计的采样频率为每 2 min—

收稿日期:2022-01-06

作者简介:曹梅(1979—),女,陕西米脂人,硕士,高工,从事综合气象探测工作。

基金项目:陕西省气象局秦岭和黄土高原生态环境气象重点实验室开放研究基金课题(2021G-18,2020G-18);西安市科技计划项目(20SFSF0015)

次,垂直分辨率如下:0~500 m 之间为 50 m、500 m~2 km 之间为 100 m、2 km~10 km 之间为 250 m。

1.2 样本分类质控

对研究中所用地基微波辐射计长序列资料进行严格的缺测率和一致性检查,如有缺测时间过长或数据明显不连续的样本,直接剔除。探空数据因当班发报前进行质控,不再重复进行。2019 年 6 月—2021 年 5 月共获得有效数据 1 385 组(1 组有效数据包括 1 次探空数据和对应时次的微波辐射计数据),其中春季 360 组,夏季 316 组,秋季 364 组,冬季 345 组。为了减小地基微波辐射计和探空资料在观测时间上的差异,本文在资料选取过程中考虑探空资料空间和时间尺度的变化,选取与探空资料某一高度层最为接近的微波辐射计观测数据,根据探空气球观测时间和高度的变化选取与之对应的微波辐射计探测值^[17]。

1.3 计算方法

从地基微波辐射计与探空观测温度资料中读取、计算逆温参量变化特征,其中包括逆温层底高、顶高和温差,进而对逆温厚度、温差、强度进行统计整理。逆温层厚度 $\Delta H = H_2 - H_1$,其中 H_1 为逆温层底高, H_2 为逆温层的顶高,单位为 m;逆温层温差为 $\Delta T = T_2 - T_1$,其中 T_1 为逆温层底部的温度, T_2 为逆温层顶部的温度,单位为℃;逆温强度 I 定义为逆温层内每升高 100 m 温度的逆

增值(单位℃/100 m),

$$I = \frac{\Delta T}{\Delta H} \times 100 = \frac{T_2 - T_1}{H_2 - H_1} \times 100. \quad (1)$$

2 微波辐射计与常规探空数据温度廓线对比分析

图 1 是不同季节(春季 3—5 月、夏季 6—8 月、秋季 9—11 月、冬季 12—2 月)地基微波辐射计与探空观测温度的绝对平均偏差和均方差。从图中可以看出,不同季节两类资料温度的绝对平均偏差和均方差随高度变化趋势基本一致,均随着高度的增加呈递增趋势。绝对平均偏差在 1.5 km 以下均小于 1.00℃;在 2.5 km 以下,绝对平均偏差冬季最大,春季、秋季次之,夏季最小,除冬季外,其它季节均小于 1.00℃;在 6 km 处,绝对平均偏差都在 1.00℃ 以上,最大是冬季,达到 1.32℃;到 10 km 处,绝对平均偏差进一步增大,夏季最小为 1.39℃,春季最大为 1.75℃。均方差在 1.8 km 以下均小于 1.50℃;在 2.5 km 处,均方差冬季最大为 1.64℃,春季、秋季次之,夏季最小为 1.03℃;在 6 km 处,均方差都在 1.40℃ 以上,最大是冬季,达到 1.87℃;到 10 km 处,均方差逐渐增大,夏季最小为 1.99℃,春季最大为 2.47℃。从以上的分析可以看出,在四个季节中,地基微波辐射计在高温时的反演精度明显好于低温时;夏季精度最高,冬季精度最低。地基微波辐射计温度廓线在 2 km 以下更接近于实际值,随着高度的增加,反演结果逐渐变差。

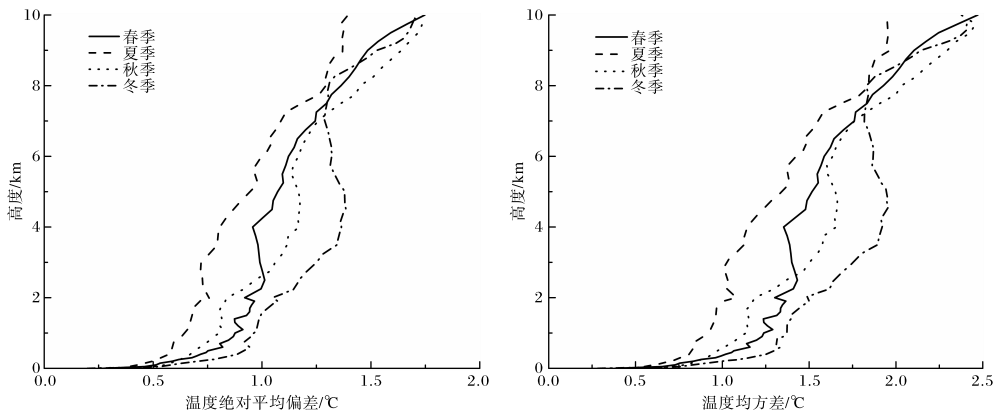


图1 西安泾河站 2019 年 6 月—2021 年 5 月微波辐射计与探空观测温度绝对平均偏差和均方差

进一步对 2 km 以下微波辐射计反演温度廓线与探空观测温度加以分析,得出两类资料的相关系数为 0.99,绝对平均偏差 0.73℃,均方差

1.04℃,相关性较高,绝对平均偏差和均方差较小,说明在 2 km 以下,微波辐射计反演温度廓线与探空观测温度离散程度较小,可靠性高。

3 微波辐射计与探空数据逆温参量分析

考虑到两种观测资料的可比性,本文仅研究贴地逆温和底部高度在 2 km 以下的脱地逆温,利用两类资料的温度数据进一步计算逆温参量进行对比分析,得出地基微波辐射计与探空数据逆温差异,从而分析地基微波辐射计逆温数据的准确性。

3.1 逆温频率

表 1 列出 07 时和 19 时地基微波辐射计与探空观测的逆温出现频率月分布情况。如某次观测出现贴地逆温或低于 2 km 的脱地逆温,均记为一次逆温。由表 1 可知,07 时微波辐射计逆温出现频率在 1—5 月、11—12 月均高于探空观测;从全年平均逆温出现频率来看,微波辐射计全年平均逆温频率为 63.4%,探空观测全年平均逆温频率为 64.4%,两者逆温频率基本相同。19 时除 6 月和 8 月外,其余月份微波辐射计观测逆温出现频率均高于探空观测。从微波辐射计在 07 时和 19 时逆温出现频率来看,07 时逆温次数多于 19 时,这与探空观测的规律是一致的。说明微波辐射计对于逆温的捕获能力与探空观测相似。

表 1 西安泾河站 2019 年 6 月—2021 年 5 月
微波辐射计与探空资料逆温频率对比 %

月份	07 时		19 时	
	微波辐射计	探空	微波辐射计	探空
1	95.0	75.6	95.0	55.9
2	91.1	87.7	94.7	66.9
3	88.7	69.4	83.9	45.2
4	66.7	61.7	41.7	30.0
5	72.6	64.5	46.8	29.0
6	23.3	36.7	1.7	11.7
7	25.8	48.4	16.1	11.3
8	22.6	45.2	9.7	22.6
9	43.3	50.0	40.0	38.3
10	54.8	69.4	62.9	51.6
11	91.7	78.3	95.0	61.7
12	85.5	85.5	87.1	75.8
平均	63.4	64.4	56.4	41.7

图 2 为地基微波辐射计与探空观测逆温出现频率随高度的变化趋势。从图 2 中可以看出,微波辐射计低层出现逆温频率较高,随着高度的增加,逆温出现频率迅速下降,在 275 m 以上逆温出现频率已不足 10%,且微波辐射计观测的逆温以贴地逆温为主。到高空 500 m 以上,观测逆温出现的频率非常少,甚至不足 1%,说明微波辐射计对于低空的逆温观测能力较强,而对于高空 500 m 以上的逆温几乎无法监测到。探空观测逆温出现频率与微波辐射计趋势类似,在低空逆温出现频率较高,随着高度的增加,在 550 m 以上逆温出现频率逐渐减少到不足 10%,但在 550 m 以上,3 km 以下,探空观测逆温出现频率一直存在,在 2.6 km 以上甚至还有增加的趋势。

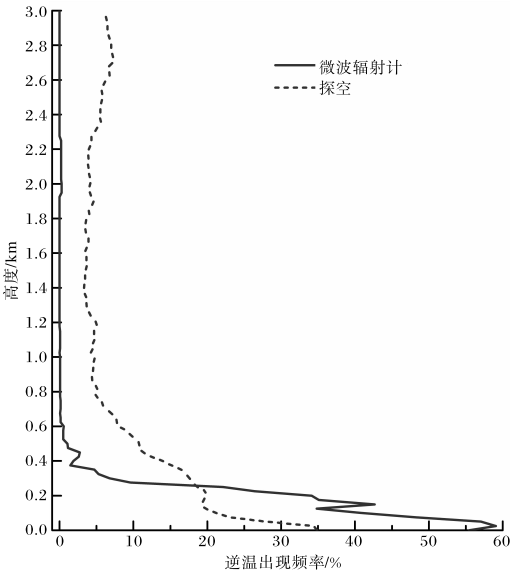


图 2 西安泾河站 2019 年 6 月—2021 年 5 月微波辐射计与探空观测逆温频率垂直变化

在 200 m 以下,微波辐射计观测逆温出现频率远高于探空观测,说明微波辐射计对于贴地逆温的探测能力要高于探空观测。分析其原因,探空观测中电子探空仪在低空的升速一般为 6~7 m/s,大概 30 s 左右就可升到 200 m 高度,电子探空仪的温度传感器直接接触空气获取数据,在升空过程中实时返回电子探测信号,低空温度递减率较大,其温度传感器的感应需要时间,因此会造成温度传感器感应不充分的现象,如某一秒钟电子探空仪未充分感应外界温度就迅速升空,这应该是

造成 200 m 以下低空微波辐射计观测逆温频率远高于探空观测逆温频率的主要原因。而对于高空 500 m 以上微波辐射计观测逆温与探空观测逆温的差异,主要是因为探空观测是秒级观测数据,分辨率大概为 6~7 m;而微波辐射计在低空 500 m 以下的分辨率为 50 m,500 m 以上的分辨率降低,如出现较薄的逆温层,微波辐射计很难探测到,因此造成微波辐射计在 500 m 以上观测的逆温次数较少。

3.2 逆温强度

表 2 为地基微波辐射计与探空观测各月的逆温强度对比,将 07 时和 19 时分别统计,如某一时次出现了两层及两层以上的逆温时,只统计高度最低的一层逆温强度。从表 2 中可知,地基微波辐射计观测的逆温强度整体小于探空观测逆温强度,07 时小 2~9 倍;19 时微波辐射计观测逆温强度远小于探空逆温强度,6 月两者差距最大,达到 33 倍。

表 2 西安泾河站 2019 年 6 月—2021 年 5 月微波辐射计与探空观测逆温强度对比 单位:℃/100 m

月份	07 时		19 时	
	微波辐射计	探空	微波辐射计	探空
1	0.50	1.45	0.78	2.42
2	0.62	1.20	0.78	4.67
3	0.51	1.18	0.37	3.04
4	0.41	1.10	0.27	2.99
5	0.27	1.04	0.21	3.08
6	0.19	1.10	0.15	5.06
7	0.16	0.97	0.11	2.51
8	0.14	1.35	0.10	3.11
9	0.21	1.00	0.25	4.97
10	0.38	1.23	0.44	3.59
11	0.50	1.50	0.58	4.05
12	0.60	1.19	0.61	2.51

图 3 为微波辐射计与探空观测在 07 时和 19 时逆温强度对比,从图 3a 可以看出,微波辐射计

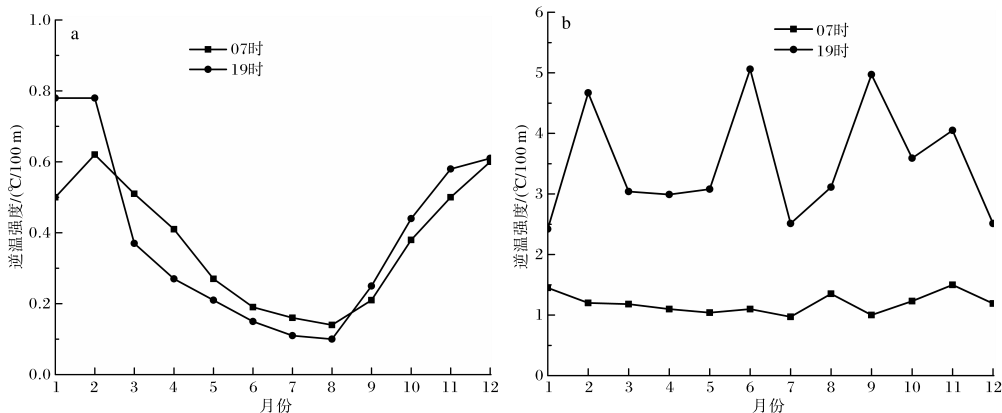


图 3 西安泾河站 2019 年 6 月—2021 年 5 月微波辐射计(a)与探空观测(b) 07 时和 19 时逆温强度对比

观测逆温强度 07 时和 19 时较为接近,3—8 月 07 时逆温强度大于 19 时,其余月份 19 时逆温强度大于 07 时。从图 3b 的探空观测中,19 时逆温强度远大于 07 时逆温强度。

3.3 逆温厚度

表 3 为微波辐射计与探空观测逆温厚度对比,如果某一时次出现了两层及两层以上的逆温时,逆温厚度也仅统计高度最低的一层逆温厚度。从表 3 中可以看出,07 时的微波辐射计逆温厚度

小于探空观测逆温厚度,在 19 时观测中,3—9 月的微波辐射计逆温厚度小于探空观测逆温厚度,1—2 月、10—12 月微波辐射计逆温厚度反而大于探空观测逆温厚度。从全年平均逆温厚度来看,07 时和 19 时微波辐射计平均逆温厚度分别为 200.8 m、90.5 m,探空观测平均逆温厚度分别为 320.5 m、111.3 m,微波辐射计逆温厚度整体略小于探空观测逆温厚度。

表3 西安泾河站 2019 年 6 月—2021 年 5 月微波
辐射计与探空观测逆温厚度对比 单位:m

月份	07 时		19 时	
	微波辐射计	探空	微波辐射计	探空
1	325.3	373.3	149.2	147.3
2	291.0	473.6	134.4	84.7
3	283.9	347.4	106.1	129.8
4	214.1	310.3	69.7	108.6
5	151.2	344.5	52.2	113.5
6	67.8	242.6	10.0	59.0
7	35.3	255.5	10.0	130.9
8	105.5	175.3	10.0	113.8
9	182.0	303.6	26.5	85.6
10	192.7	333.8	167.2	102.0
11	253.7	316.7	178.9	103.5
12	306.6	369.4	171.6	156.7
平均	200.8	320.5	90.5	111.3

3.4 微波辐射计探测逆温的连续性变化

传统的探空观测因时间分辨率太小无法得出逆温层的日变化,应用地基微波辐射计的连续观测资料,可得出全天逐小时的平均逆温情况,从而准确分析逆温层的日变化。如图 4 所示,利用 2019 年 6 月—2021 年 5 月地基微波辐射计逐小时资料进行统计分析,得出不同季节逆温频率、逆温厚度和逆温强度日变化曲线。从图 4a 的逆温频率日变化可以看出,冬季逆温出现频率明显大于其他三个季节。春季逆温出现频率日变化幅度较大,00—08 时逆温出现频率均大于 70%,11—18 时逆温出现频率不足 50%,19 时后逆温出现频率迅速上升。夏天逆温出现频率整体偏低,0—7 时逆温出现频率较高,其它时次逆温出现频率不足 10%。秋季 23—05 时逆温出现频率在 70% 以上,13—17 时逆温出现频率较低。冬季 19—23 时逆温出现频率最高,10—16 时逆温出现频率较低。从不同季节的逆温出现频率时次变化来看,夜间 19—07 时逆温出现频率较高,白天 10—16 时逆温出现频率较低。

从图 4b 可以看出,逆温层四季平均厚度日变化趋势一致,冬季的逆温层平均厚度大于其他三

个季节。一般来说,从 19 时起逆温层厚度开始增加,到 06 时达到顶峰值,之后逐渐开始下降,通常在 13—17 时逆温层厚度最小,特别是夏季,13—19 时几乎没有逆温层存在。在春季 00—07 时逆温层厚度大于秋季,秋季 08—23 时逆温层厚度大于春季。

图 4c 为逆温层平均强度随时间的变化情况,从图中可以看出,逆温强度日变化较为平缓,冬季的逆温强度大于其他三个季节,春季逆温强度最大值 $0.43^{\circ}\text{C}/100\text{m}$,出现在 05—06 时;夏季最大值为 $0.26^{\circ}\text{C}/100\text{m}$,出现在 12 时;秋季逆温强度最大值为 $0.68^{\circ}\text{C}/100\text{m}$,出现在 16 时;冬季逆温强度最大值为 $0.84^{\circ}\text{C}/100\text{m}$,出现在 15 时。

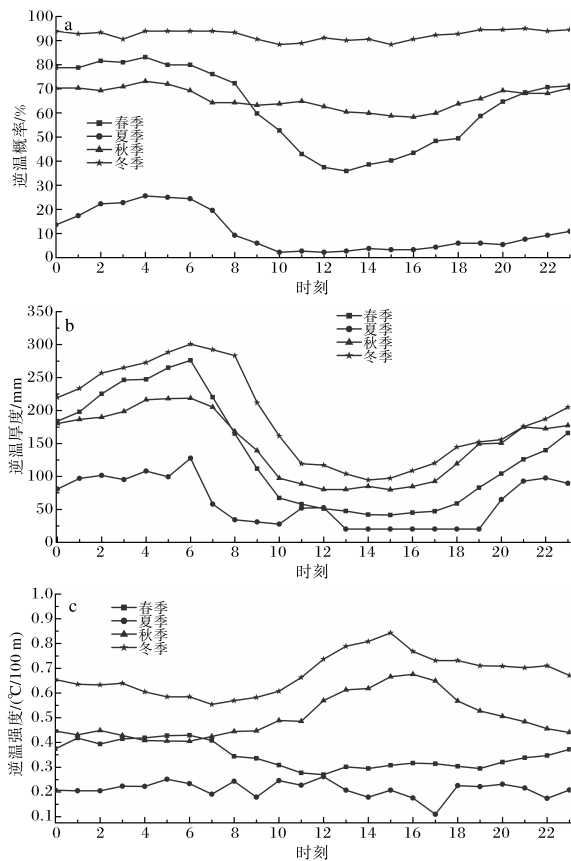


图4 西安泾河站 2019 年 6 月—2021 年 5 月微波辐射计
观测逆温频率(a)、逆温厚度(b)、逆温强度(c)
随时间变化曲线

4 结论与讨论

(1)在不同季节,地基微波辐射计反演的温度廓线与探空观测温度值的绝对平均偏差和均方差均随着高度的增加呈递增趋势,地基微波辐射计

在高温时反演精度好于低温时。2 km 以下地基微波辐射计反演温度廓线与探空观测温度值的相关系数为 0.990,绝对平均偏差 0.73 °C,均方差 1.04 °C。

(2)07 时地基微波辐射计逆温出现频率全年平均与探空观测总体趋势一致。19 时微波辐射计逆温出现频率全年平均略高于探空观测。微波辐射计低层出现逆温频率较高,在 200 m 以下,微波辐射计逆温出现频率远高于探空观测;随着高度的增加,逆温出现频率迅速下降,微波辐射计对于高空 500 m 以上的逆温几乎无法监测到。

(3)地基微波辐射计观测的逆温强度小于探空逆温强度,整体来说 07 时差异小,19 时差异较大。微波辐射计观测逆温强度 07 时和 19 时较为接近,探空观测逆温强度 07 时和 19 时相差较大。

(4)地基微波辐射计逆温厚度在 07 时每月都小于探空观测,19 时微波辐射计逆温厚度 3—9 月小于探空观测,1—2 月、10—12 月大于探空观测。从全年平均来看,微波辐射计观测逆温厚度略小于探空观测逆温厚度。

(5)地基微波辐射计对于大气逆温的探测能力并不弱于探空观测,逆温频率和逆温厚度与探空观测较为接近,但是由于微波辐射计垂直分辨率较探空观测大,使得其在逆温强度的探测准确性有待进一步考证。

(6)基于地基微波辐射计的逆温连续变化分析可知,冬季逆温频率、逆温厚度和逆温强度日变化均强于其他三个季节。整体来看,19—07 时逆温出现频率较高,10—16 时逆温出现频率较低。13—17 时逆温层厚度最小,夏季 13—19 时几乎没有逆温层存在。逆温强度全天变化较为平缓。地基微波辐射计对逆温日变化有较好的监测能力,填补了常规探空观测的空白。

参考文献:

- [1] 刘东生. 人与自然和谐发展[J]. 干旱区地理, 2005,28(2):143-144.
- [2] 曹红丽,陈奇. 西安边界层逆温特征及其与空气污染的关系[J]. 陕西气象,2014(2):13-16.
- [3] 杨寅山,倪长健,张智察,等. 成都地区大气边界层逆温的气候特征研究[C]//2019 中国环境科学学会科学技术年会论文集. 北京:中国环境科学学会,2019:796-803.
- [4] 周书华,倪长健,刘培川. 成都地区大气边界层逆温特征分析[J]. 气象与环境学报,2015,31(2):108-111.
- [5] 邓敏君,王建英. 大气边界层逆温与银川市雾、霾天气之间的关系[J]. 江西农业,2018(6):58.
- [6] 周文利,向亚飞,祝海扬,等. 格尔木市低空逆温特征及其对空气污染物浓度的影响[J]. 沙漠与绿洲气象,2020,14(3):88-94.
- [7] 韦肖林,周慧僚,唐新. 河池边界层逆温现象变化特征及影响[J]. 气象研究与应用,2012,33(1):30-34.
- [8] 黄萍,李刚,王泉. 蒙自地区冬季边界层逆温特征[J]. 贵州气象,2012,36(4):13-15.
- [9] 张佃国,王洪,崔雅琴,等. 山东济南地区 2015 年大气边界层逆温特征[J]. 干旱气象,2017,35(1):43-50.
- [10] 任桂萍,柯伟,王婷婷,等. 酒泉市大气边界层逆温特征及其与沙尘天气的关系[J]. 沙漠与绿洲气象,2021,15(5):101-108.
- [11] 侯叶叶. 地基微波辐射计的精度分析和资料同化试验[D]. 南京:南京信息工程大学,2016.
- [12] 曹梅,王斌,杨珍,等. 地基微波辐射与探空数据对比分析[J]. 陕西气象,2021(5):47-54.
- [13] 李成伟,李伟,夏江峰,等. 不同天气条件下微波辐射计温度探测效果评估[J]. 陕西气象,2021(6):43-46.
- [14] 梁谷,李燕,纪爱琴,等. 用微波辐射计作云降水潜力的估算[J]. 陕西气象,2003(5):28-31.
- [15] 梁谷,李燕,岳治国,等. 地基微波辐射计探测空中水个例分析[J]. 陕西气象,2005(1):23-25.
- [16] 党张利. 半干旱区微波辐射计反演方法的研究与应用[D]. 兰州:兰州大学,2015.
- [17] 邓佩云. 成都地区多层逆温及其环境效应研究[D]. 成都:成都信息工程大学,2019.
- [18] 李力,张蓬勃,戴竹君,等. 利用微波辐射计对南京 2013 年 12 月霾天大气温湿结构的探测分析[J]. 气候与环境研究,2016,21(1):8-16.