

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.

doi: 10.12057/j.issn.1002-0799.2020.03.011

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



格尔木市低空逆温特征及其对空气污染物浓度的影响

周文利¹,向亚飞^{1*},祝海扬¹,巨秉中¹,王丽霞²,马 军³

(1.青海省大气探测技术保障中心,青海 西宁 810001;2.青海省人工影响天气办公室,青海 西宁 810001;
3.格尔木市气象局,青海 格尔木 816000)

摘 要:利用 2015—2017 年格尔木市 L 波段雷达探空站的探空资料,分析格尔木市低空逆温的基本特征,并与不同气候区的西宁市、玉树市做对比;结合 2016—2017 年格尔木市逐日空气污染物浓度(SO₂、NO₂、O₃、PM_{2.5})资料,研究低空逆温对空气污染物浓度的影响。结果表明:07 时、19 时格尔木市年均逆温发生频率分别为 67%、24%,以贴地逆温为主,秋、冬季发生频率高于春、夏季;逆温厚度表现为早间高于晚间,冬季最厚,夏季最薄,07 时各季节贴地逆温厚度高于悬浮逆温,19 时秋、冬季悬浮逆温厚度高于贴地逆温;逆温强度表现为贴地逆温大于悬浮逆温;07 时悬浮逆温的起始高度和终止高度(分别为 331 m、571 m)小于 19 时(分别为 662 m、851 m),均在冬季达到最大;07 时柴达木盆地逆温发生频率最高(67%)、强度最大(2.07 °C/100 m)、厚度最薄(267 m),19 时逆温发生频率少于河湟地区,但多于三江源地区(24%),强度最小(2.18 °C/100 m),厚度最厚(127 m);逆温对 SO₂、NO₂、O₃、PM_{2.5} 浓度有显著影响,但对 PM_{2.5} 的影响效果不如风速明显。

关键词:格尔木市;贴地逆温;悬浮逆温;气候区;空气污染物浓度

中图分类号:P468;X513

文献标识码:A

文章编号:1002-0799(2020)03-0088-07

在地面以上几公里的范围是空气污染物主要排放区域,在这个区域内出现逆温层^[1-2]会导致空气污染物不能顺利地排放和扩散,从而造成空气污染^[3-4]。国内很多学者对逆温层特征进行了分析研究,胡义成等^[5]、周书华等^[6]、杜荣光等^[7]分别对乌鲁木齐市(地处天山北坡乌鲁木齐河谷)、成都市(地处四川盆地)和杭州市(地处东南沿海)的低空逆温情况进行了统计分析;李兰等^[8]通过在三峡坝区设立高空站(地处长江河谷地区)进行观测试验,分析了三峡坝区 2000 m 以下的低空逆温特征;王晓明等^[9]对比分

析了吉林省 3 个探空站(地处东北平原)所在城市的冬季逆温特征。由于不同城市的地形和气候等特征各有不同,所以逆温层呈现出不同的特征。还有一些学者^[10-12]针对逆温特征对空气污染物浓度的影响做了研究,分析了逆温特征与主要空气污染物浓度的相关关系。

格尔木市地处青藏高原腹地,市区位于柴达木盆地中南部,属高原大陆性气候,常年少雨干旱,冬季持续时间长、夏季较短。由于地形和气候条件的特殊性,该地区较易出现逆温现象,并且逆温特征也与其他地区有所不同。截止目前,该地区针对逆温层的相关研究甚少。因此,本文利用该地区的探空资料统计分析逆温的变化特征,研究逆温对空气污染物浓度的影响,填补该地区逆温研究的空白,同时也为该地区的空气污染预防和治理提供理论基础和现实依据。

收稿日期:2018-12-26;修回日期:2020-03-25

基金项目:青海省自然科学基金项目(2017-ZJ-944Q)

作者简介:周文利(1961—),男,工程师,从事探空雷达保障与应用研究。E-mail:450869391@qq.com

通讯作者:向亚飞(1990—),男,工程师,从事天气雷达保障与应用研究。E-mail:xybxy@163.com

1 资料和方法

资料选用格尔木市气象局探空站 (94°54'E, 36°25'N, 海拔高度 2808 m)、西宁市气象局探空站 (101°45'E, 36°43'N, 海拔高度 2297 m) 和玉树市气象局探空站 (96°57'E, 33°00'N, 海拔高度 3717 m) L 波段雷达逐日 07 时和 19 时观测资料, 资料时段均取自 2015 年 1 月 1 日—2018 年 2 月 28 日, 选用起始高度在地面至 1500 m 高度的数据进行分析。环境空气质量数据 (包括 SO₂、NO₂、O₃、PM_{2.5}) 由青海省环境监测站提供。

文中贴地逆温^[3]是指起始高度为 0 m (地面) 的逆温, 悬浮逆温是指起始高度在离地面一定高度位置的逆温^[4]。悬浮逆温厚度的定义为: 气温从地面开始随高度的增加而递减, 到了一定高度后气温开始上升, 这个高度就是悬浮逆温的起始高度; 当气温到达某一高度后又开始递减, 这个高度即为悬浮逆温的终止高度, 悬浮逆温的厚度就是终止高度减去起始高度的差值。对逆温厚度做如下规定: 逆温厚度等于逆温终止高度与起始高度的差值, 贴地逆温厚度即终止高度; 逆温强度按公式 (1) 计算。

$$I = \frac{(T_2 - T_1)}{(H_2 - H_1)} \times 100, \quad (1)$$

式中: I 表示逆温强度, 定义为在逆温层内高度每升高 100 m 温度的递增值, 单位为 °C/100 m; H_1 、 H_2 分别为起始高度和终止高度; T_1 、 T_2 分别为起始高度和终止高度的温度值。

研究中统计每日逆温出现频次、厚度、强度及高度的年、季节和月平均值, 统计中季节划分采用春季 3—5 月、夏季 6—8 月、秋季 9—11 月、冬季 12—2 月的方式。

最后, 利用 3 站 2015—2017 年逆温数据对比分析青海省不同气候区 (河湟地区、柴达木盆地和三江源地区) 低空逆温特征差异。利用 2016—2017 年逆温特征数据和小时污染物浓度资料, 分析格尔木地区低空逆温对空气污染物浓度 (SO₂、NO₂、O₃、PM_{2.5}) 的影响。

2 格尔木市低空逆温变化特征

2.1 低空逆温发生频率

统计 2015—2017 年格尔木市 L 波段雷达探空资料发现, 07 时低空逆温年平均发生频率为 67%, 19 时为 24%。从 3 a 逆温月平均发生频率来看, 07 时冬季平均发生频率最高为 92%, 秋季次之, 夏季最低; 19 时春、夏季逆温发生频率非常低, 3 a 来春

季共发生 2 次, 夏季共发生 1 次, 秋冬季节平均发生频率分别为 43%、49%。由图 1 可知, 冬季是逆温的高发季节, 07 时 1、2、3、10、11、12 月发生频率较高, 均超过了 70%, 其中 12 月平均发生频率最高 (96%), 8 月最低 (43%)。19 时, 12 月逆温发生频率最高 (75%), 4、5、7、8 月 3 a 来均未出现逆温。

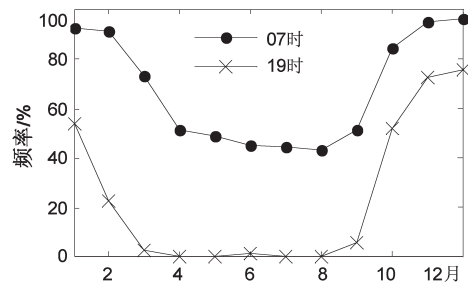


图 1 2015—2017 年逆温发生频率月变化

格尔木市低空逆温发生频率在年内呈现“U”型分布 (图 1), 秋、冬季发生频率明显高于春、夏季, 07 时明显高于 19 时, 且 3 a 来 19 时春、夏季很少发生逆温现象, 仅 3 次。格尔木市逆温现象主要是地形、气候等因素共同作用的结果。格尔木市处在柴达木盆地中南部, 环山及四周闭合的盆地地形较易形成逆温; 在晚间, 由于坡面散热降温快, 使得冷空气下沉到盆底, 将暖空气抬升, 从而形成下冷上热的逆温现象。另外, 由于冬季漫长, 昼夜温差大, 长时间的辐射、冷却作用使得冬季逆温层稳定发展。

2.1.1 贴地逆温发生频率

3 a 来, 07 时贴地逆温年平均发生频率为 57%, 每月平均发生频率明显高于 19 时 (图 2a), 其中最高发生频率出现在 11 月 (89%), 最低出现在 6 月 (29%)。19 时贴地逆温年平均发生频率为 19%, 其中最高发生频率出现在 11 月 (60%), 12 月次之 (52%), 2016 年 3 月仅出现了 1 次贴地逆温, 3 a 间 4—8 月均未出现贴地逆温。

2.1.2 悬浮逆温发生频率

3 a 来, 07 时悬浮逆温的年平均发生频率为 12%, 其中冬季发生频率最高, 春、夏、秋三季较低 (图 2b); 最高频率出现在 12 月 (18%), 最低频率出现在 7 月 (仅 5%)。19 时悬浮逆温的年平均发生频率为 6%, 其中最高出现在 12 月 (33%), 最低出现在 3 月 (仅 1%), 3 a 间 4—5 月、7—9 月均未出现悬浮逆温, 3 月和 6 月分别在 2017 年和 2016 年出现了 1 次。同时, 在 1 月、11 月和 12 月, 19 时悬浮逆温发生频率要高于 07 时。由图 2a、2b 对比可知, 无论是 07

时还是19时,贴地逆温的发生频率都要高于悬浮逆温的发生频率。

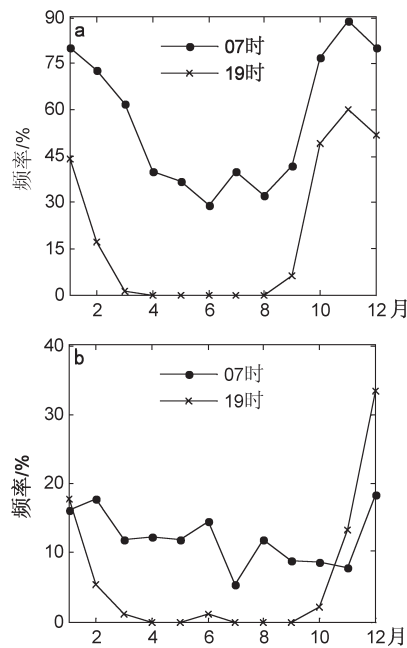


图2 2015—2017年贴地逆温、悬浮逆温发生频率月变化
(a为贴地逆温,b为悬浮逆温)

2.2 低空逆温厚度变化特征

2.2.1 贴地逆温厚度

贴地逆温厚度即贴地逆温的终止高度。表1列出两种逆温厚度的季节平均值,由于19时春、夏季逆温发生较少,所以季节平均值未做统计。分析可知,07时贴地逆温季节平均厚度最大值出现在冬季(378 m),最小值出现在春季(218 m);19时秋、冬季贴地逆温平均值分别为77、160 m。从年均值来看,07时贴地逆温厚度要明显大于19时的贴地逆温厚度。07时贴地逆温月平均最大值出现在12月(474 m),最小值出现在9月(207 m),极大值出现在2017年12月12日,为1465 m。19时的月平均最大值出现在12月,为221 m,极大值出现在2017年12月10日,为971 m。

表1 2015—2017年贴地逆温、悬浮逆温厚度/m

	春季	夏季	秋季	冬季	年平均值
07时贴地逆温厚度	218	233	253	378	271
07时悬浮逆温厚度	211	179	197	360	234
19时贴地逆温厚度	-	-	77	160	107
19时悬浮逆温厚度	-	-	169	200	182

2.2.2 悬浮逆温厚度

07时悬浮逆温厚度年平均值为234 m,冬季最厚(360 m),夏季最薄(179 m)(表1),最大值出现在12月(461 m),最小值出现在7月(136 m),3 a中极大值出现在2016年1月30日,为1014 m。19时月平均最大值出现在12月,为234 m,极大值出现在2015年1月1日,为622 m。

通过以上分析可以发现,四季07时贴地逆温厚度均要高于悬浮逆温,19时悬浮逆温厚度均要高于贴地逆温厚度,这其中又以冬季最厚。从整体来看,格尔木市低空逆温厚度不大,07时出现的逆温厚度要高于19时。

2.3 低空逆温强度变化特征

由表2可知,07时贴地逆温强度年平均值为2.23 $^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$,秋季最强,强度为2.51 $^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$,春季次之,为2.43 $^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$,夏季最弱;3 a中07时贴地逆温强度极大值出现在2017年2月3日,强度为11.2 $^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 。19时贴地逆温强度年平均值为2.51 $^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$,秋季贴地逆温平均强度要大于冬季;极大值出现在2016年10月13日,强度为8.61 $^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 。

07时悬浮逆温强度年平均值为1.37 $^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$,四季中冬季最强,平均强度为1.71 $^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$,春季次之,秋季最弱;极大值出现在2017年12月28日,强度为7.79 $^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 。19时悬浮逆温强度年平均值为1.34 $^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$,秋季悬浮逆温平均强度要大于冬季;极大值出现在2015年11月22日,强度为6.36 $^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 。

表2 贴地逆温、悬浮逆温强度/($^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$)

	春季	夏季	秋季	冬季	年平均值
07时贴地逆温强度	2.43	1.79	2.51	2.19	2.23
07时悬浮逆温强度	1.33	1.24	1.18	1.71	1.37
19时贴地逆温强度	-	-	2.85	1.9	2.51
19时悬浮逆温强度	-	-	1.74	1.2	1.34

根据以上分析结果可知,在季节变化中,除07时秋季悬浮逆温平均强度最弱以外,其它均以秋季强度最强。从年均值来看,各时次的贴地逆温强度均要大于悬浮逆温,19时贴地逆温强度大于07时,07时悬浮逆温强度大于19时。

2.4 悬浮逆温起始高度和终止高度变化特征

2.4.1 起始高度变化特征

由表3可知,07时悬浮逆温起始高度年平均值为331 m,冬季最高(412 m),夏季次之,春季最低;

从月变化情况来看,平均起始高度最高值出现在1月(478 m),最低值出现在5月(147 m)。19时悬浮逆温起始高度年平均值为662 m,秋冬季平均高度分别为632 m、675 m;平均起始高度最高值出现在2月(728 m),最低出现在1月(586 m)。

表3 悬浮逆温起始高度和终止高度/m

	春季	夏季	秋季	冬季	年平均值
07时起始高度	242	384	307	412	331
07时终止高度	453	553	504	771	571
19时起始高度	-	-	632	675	662
19时终止高度	-	-	812	881	851

2.4.2 终止高度变化特征

07时悬浮逆温终止高度年平均值为571 m,冬季最高(771 m),春季最低(453 m)。在月变化中,平均终止高度最高值出现在12月(866 m),最低值出现在5月(381 m)。19时悬浮逆温终止高度年平均值为851 m,秋、冬季平均高度分别为812、881 m(表3),月平均终止高度最高值出现在2月(948 m),最低出现在1月(748 m)。从年均值来看,悬浮逆温起始高度、终止高度07时均要小于19时。

3 青海省不同气候区低空逆温特征对比

气候条件与逆温层的形成和发展有着显著的关系。根据青海省地理状况和当地的气候概况,陈晓光等^[15]将青海省分为不同的几个气候区,结合近些年相关部门对气候区划的更新完善,青海省的气候分区情况为河湟地区、祁连山区、柴达木盆地、环青海湖地区和三江源地区。其中,河湟地区位于黄河和湟水河流域,温湿度适宜,适合农作物生长;柴达木盆地以荒漠戈壁为主,日照时数多,降水相对少;三江源地区以高寒山区(牧区)为主,气温低,降水相对较多。根据青海省的探空站分布情况,西宁、格尔木、玉树分别位于河湟地区、柴达木盆地和三江源地区之中,它们的逆温分布情况分别可以代表河湟地区、柴达木盆地和三江源地区的逆温状况。文中利用2015—2017年3站逆温资料,对3个地区的逆温特征进行对比分析。

从年均逆温发生频率(图3)可知,3个区域07时逆温发生频率均多于19时,07时年均逆温发生频率柴达木盆地最高(67%),三江源地区次之(66%),河湟地区最少(64%)。19时年均逆温发生频率河湟地区最高(36%),柴达木盆地次之(24%),三

江源地区最少(22%)。另外,根据07时贴地逆温发生频率占总逆温比例统计情况来看,三江源地区最多,河湟地区次之,柴达木盆地最少,所占比例分别为95%、87%和84%。

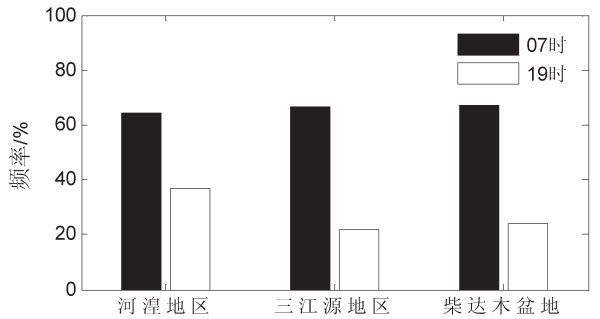


图3 不同气候区2015—2017年年均逆温发生频率

为便于统计和分析,文中将逆温强度分为4个等级,即:一级($I < 2\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$)、二级($2\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m} \leq I < 5\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$)、三级($5\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m} \leq I < 8\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$)、四级($I \geq 8\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$)。根据3个气候区各级逆温强度比例统计情况(表4)可知,无论是07时还是19时,3个区域逆温强度一级、二级所占比例和均达到85%以上。07时一级逆温强度所占比例河湟地区最多,三江源地区次之,柴达木盆地最少;二级逆温强度所占比例刚好与一级相反,即柴达木盆地最多,三江源地区次之,河湟地区最少;三级、四级逆温强度所占比例均不足5%;3个区域逆温强度所占比例随等级升高而递减,其中3个区域各自一级逆温强度所占比例远高于其他三级。19时一级逆温强度所占比例柴达木盆地最多,三江源地区次之,河湟地区最少,二级、三级逆温强度所占比例则相反,即河湟地区最多,三江源地区次之,柴达木盆地最少;柴达木盆地逆温强度随等级升高而递减,河湟地区和三江源地区二级逆温强度所占比例远高于其他三级。从时间分布上来看,河湟地区和三江源地区的一级逆温强度所占比例07时高于19时,二级、三级和四级逆温强度各自所占比例19时高于07时,而柴达木盆地两个时次各级逆温强度所占比例接近。

表4 3个区域各级逆温强度比例/%

时次	气候区	一级	二级	三级	四级
07时	河湟地区	86.0	13.2	0.7	0.1
	三江源地区	64.8	32.8	2.2	0.2
	柴达木盆地	57.1	38.2	4.2	0.5
19时	河湟地区	24.9	61.0	12.6	1.5
	三江源地区	39.3	52.6	6.1	2.0
	柴达木盆地	58.4	38.1	3.1	0.4

对 07 时 3 个区域的年平均逆温强度统计结果发现,柴达木盆地>三江源地区>河湟地区,分别为 2.07、1.87 和 1.11 °C/100 m;19 时 3 个区域的年平均逆温强度:河湟地区>三江源地区>柴达木盆地,分别为 2.83、2.25 和 2.18 °C/100 m。对逆温厚度的统计结果发现,07 时 3 个区域的年平均逆温厚度要高于 19 时。07 时 3 个区域的年平均逆温厚度:河湟地区>三江源地区>柴达木盆地,分别为 460、303 和 267 m;19 时 3 个区域的年平均逆温厚度则相反,即柴达木盆地>河湟地区>三江源地区,分别为 127、114 和 101 m。

3 个气候区在逆温发生频率、逆温强度及厚度等方面呈现出一定的差异性,这主要是由 3 个气候区在地形、气候条件以及局地环流等方面存在差异引起的。西宁市四面环山,市区呈十字型分布在河湟谷地中,玉树市区位于青南山区,格尔木市处在柴达木盆地中南部,谷地、山区及盆地地形较易发生逆温现象;另外,由于辐射冷却作用等的不同使得 3 个区域的逆温特征存在差异。

4 格尔木市低空逆温对污染物浓度的影响

污染源排放和气象条件是影响空气污染物浓度的主要原因^[6]。在污染源一定的情况下,风速、降水和逆温等气象因素占主要影响地位,其中逆温层的生消过程与污染物浓度的变化息息相关^[17-20]。由 2016 年 3 月—2017 年 2 月污染物浓度小时平均值统计结果(图 4)可以看出,SO₂、NO₂ 和 PM_{2.5} 浓度在一天内的变化过程与逆温层的生消过程基本一致,即在早间逆温层开始形成时浓度开始增加,午间逆温层消失时减小,随后在晚间逆温再次生成时增加,而 O₃ 浓度在一天中的变化过程则相反。这说明格尔木地区逆温的形成与发展对空气污染物浓度的变化

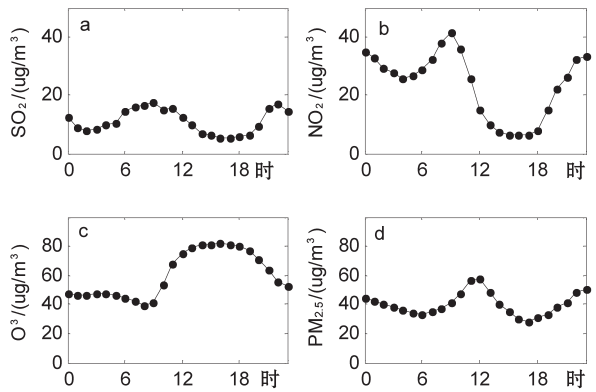


图 4 2016 年 3 月—2017 年 2 月
污染物浓度小时平均

有一定影响。

为进一步定量说明逆温特征对污染物浓度的影响,利用 2016—2017 年 07 时逆温厚度、强度数据和对应 08 时 4 种污染物浓度数据做相关性分析(表 5),共计 465 个样本。分析可知,逆温厚度与 SO₂、NO₂ 浓度呈正相关,相关系数分别为 0.203 ($\alpha=0.01$)、0.167($\alpha=0.01$);逆温厚度与 O₃、PM_{2.5} 浓度呈负相关,相关系数分别为-0.135 ($\alpha=0.01$)、-0.115 ($\alpha=0.05$)。逆温强度与 NO₂ 浓度呈正相关,与 SO₂、O₃、PM_{2.5} 浓度呈负相关,其中只有与 O₃ 浓度的相关系数通过了 0.05 的显著性水平检验。可以发现逆温厚度、强度与 O₃ 浓度均呈显著负相关关系,这说明当地逆温层的形成与发展对 O₃ 浓度的增加有显著的抑制作用。同时还发现逆温厚度与 PM_{2.5} 浓度的相关性不如其它 3 种污染物浓度显著且为负相关关系,因此对格尔木地区 PM_{2.5} 浓度的影响因素做进一步讨论。

表 5 2016—2017 年格尔木市逐日 07 时逆温厚度、强度与污染物浓度的相关系数

相关系数	SO ₂	NO ₂	O ₃	PM _{2.5}
逆温厚度	0.203**	0.167**	-0.135**	-0.115*
逆温强度	-0.007	0.076	-0.118*	-0.066

注:** 通过 0.01 显著性水平检验;* 通过 0.05 显著性水平检验

格尔木市春夏季由于降水少且地面风速大等原因,沙尘天气频发,造成城市污染严重^[21]。另外,由于当地盐化工业和石油化工等产业发展也带来了相应的环境污染问题^[22]。通过统计 2016—2017 年格尔木市 PM_{2.5} 浓度发现,格尔木地区 PM_{2.5} 季节平均浓度变化特征为:春季>夏季>冬季>秋季。造成格尔木春夏季 PM_{2.5} 浓度偏高的可能原因有:一是沙尘天气的影响。选取 2017 年 4 月 7 日的一次沙尘暴天气作为研究对象,4 月 6 日为晴天伴有浮尘,7 日出现沙尘暴,8 日为浮尘天气,这 3 d 的 PM_{2.5} 日均浓度分别为 64、384 和 120 ug/m³,在 7 日 07:00 时出现了浓度极大值为 850 ug/m³,这说明沙尘天气能使得 PM_{2.5} 浓度急剧升高。二是风速的影响。风速越小,污染物浓度越大,但当风速超过一定阈值时,污染物浓度与风速成正相关关系^[23-24]。据统计,格尔木市风速季节变化特征为春、夏季高于秋、冬季。为了研究格尔木地区风速对污染物浓度的影响,利用 2016—2017 年逐日风速资料和 PM_{2.5} 浓度资料(共计 690 个样本)

分析相关关系发现,相关系数为 0.33($\alpha=0.01$),即风速与 $PM_{2.5}$ 浓度呈显著正相关关系,该地区风速对 $PM_{2.5}$ 浓度变化的影响效果更加显著。

综上所述,在格尔木地区逆温层的存在会对空气污染物的排放和扩散产生显著影响。同时由于存在大风、沙尘天气频发等多种影响 $PM_{2.5}$ 浓度的因素,使得逆温在影响 $PM_{2.5}$ 浓度变化的因素中不占主导地位。

5 结论

利用格尔木市探空雷达资料分析低空逆温的基本特征,并与不同气候区的西宁市、玉树市做对比;同时,结合空气污染物浓度资料,研究低空逆温对空气污染物浓度的影响,得出如下结论。

(1)3 a 来,格尔木市低空逆温 07 时平均发生频率为 69%,19 时为 24%;07 时冬季平均发生频率最高,为 92%,最高月平均发生频率出现在 12 月 07 时,为 96%,19 时春夏季几乎未出现逆温(3 a 总共发生 3 次)。格尔木市总体特征为早晚逆温发生频率相差较大,秋、冬季发生频率明显高于春、夏季,逆温厚度薄、强度大,并且以贴地逆温为主。

(2)格尔木市贴地逆温特征为:秋、冬季发生频率高于春、夏季,07 时高于 19 时。厚度薄,07 时贴地逆温年平均厚度为 271 m,19 时为 107 m,其中 07 时冬季贴地逆温厚度最大,春季最小,冬季较春季厚 160 m。强度大,07 时贴地逆温强度年平均值为 $2.23\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$,19 时为 $2.51\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 。

(3)格尔木市悬浮逆温发生频率低,特别在 3 a 中的 4—5 月、7—9 月均未出现悬浮逆温。厚度薄,07 时悬浮逆温年平均厚度为 234 m,19 时为 182 m;强度相对贴地逆温较弱,07 时悬浮逆温强度年平均值为 $1.37\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$,19 时为 $1.34\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 。07 时的悬浮逆温起始高度和终止高度均小于 19 时的,两个时次的起始高度、终止高度均以冬季最大,07 时的起始高度和终止高度春季最低,19 时的起始高度相对 07 时偏高 331 m,19 时的终止高度相对 07 时偏高 280 m。

(4)早间柴达木盆地逆温发生频率最高,逆温强度最大,逆温厚度最薄;晚间柴达木盆地逆温发生频率少于河湟地区但多于三江源地区,逆温强度最小,逆温厚度最厚。3 个气候区的逆温特征存在差异可能是由于地形、气候条件及局地环流等因素引起的,具体影响机制需要做进一步的研究。

(5)在格尔木地区,低空逆温层的存在会对空气

污染物的扩散产生影响,但对 $PM_{2.5}$ 浓度的影响效果不如风速明显。因此,由于当地特殊的高原盆地地形和多大风、沙尘天气的气候特性,以及冬季采暖和工业废气排放等因素,在污染防治时应充分考虑当地污染源排放、逆温层、大风和沙尘等气候因子的综合影响。

参考文献:

- [1] 周淑贞.气象学与气候学[M].上海:华东师范大学高等教育出版社,1997:67.
- [2] 邱金恒,陈洪滨.大气物理与大气探测学[M].北京:气象出版社,2005:1-28.
- [3] Rubber R M, Olthoff C S, Ramamurthy M K, et al. Asynoptic weather pattern and sounding-based climatology of freezing precipitation in the United States east of the Rocky Mountains [J]. Journal of Applied Meteorology, 2001, 40(10): 1724-1747.
- [4] 姚作新,吕鸣,贺晓东.2008/2009 年乌鲁木齐近地空间逆温层特征分析[J].沙漠与绿洲气象,2011,5(3):29-32.
- [5] 胡义成,伊里哈木,王秋香,等.乌鲁木齐大气边界层风温垂直结构特征[J].沙漠与绿洲气象,2015,9(3):44-49.
- [6] 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(2):108-111.
- [7] 杜荣光,齐冰,郭慧慧,等.杭州市大气逆温特征及对空气污染物浓度的影响[J].气象与环境学报,2011,27(4):49-53.
- [8] 李兰,陈正洪,魏静,等.三峡坝区边界层逆温特征及其成因分析[J].暴雨灾害,2003,22(1):3-5.
- [9] 王晓明,云天,张智勇,等.吉林省冬季逆温天气特征分析[J].气象,2009,35(8):91-97.
- [10] 夏敏洁,周文君,裴海瑛,等.基于 L 波段雷达探空资料的南京低空逆温特征 [J]. 大气科学学报,2017,40(4): 562-569.
- [11] 何永晴,赵玉成,冯蜀青.西宁市逆温特征及其与空气污染物浓度的相关分析[J].冰川冻土,2014,36(3):608-613.
- [12] 胡晏玲,陈思萍.乌鲁木齐市冬季近地逆温特点及其与可吸入颗粒物浓度的相关关系分析[J].干旱环境监测,2004,18(2):88-90.
- [13] 郑庆锋,史军.上海地区大气贴地逆温的气候特征[J].干旱气象,2011,29(2):195-200.
- [14] 陈榛妹.高原盆地边界层内冬季逆温特征的分析[J].气象,1988,14(10):44-47.
- [15] 陈晓光,李林,朱西德,等.青海省气候变化的区域性差异及其成因分析 [J]. 气候变化研究进展,2009,5(5): 249-254.
- [16] 王珩,于金莲.大气中 PM_{10} 浓度的影响因素及其污染变化特征分析 [J]. 上海师范大学学报(自然科学版),2004,33(3):98-102.

- [17] 夏恒霞.北京城区逆温气象特征及其对大气污染的影响[J].城市管理与科技,2004,6(2):63-66.
- [18] 李景林,郑玉萍,刘增强.乌鲁木齐市低空温度层结与采暖期大气污染的关系[J].干旱区地理,2007,30(4):519-525.
- [19] 郑红,郑凯,张桂华.哈尔滨冬季大气污染及逆温对污染物扩散影响[J].自然灾害学报,2005,14(4):39-43.
- [20] 韩茜,魏文寿,刘新春,等.乌鲁木齐市 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度及分布变化特征研究 [J]. 沙漠与绿洲气象, 2015,9(1):32-38.
- [21] 韩廷芳,马生玉,刘成丰,等.2017年2月一次典型沙尘天气对格尔木市 AQI 的影响 [J]. 青海气象,2018(3):71-73.
- [22] 祁栋林,李晓东,肖宏斌,等.青海省城市大气污染物变化特征及与气象因子的灰色关联分析 [J]. 安徽农业科学,2014,42(16):5162-5165.
- [23] 那雅欣,魏建新,龚丽春,等.乌鲁木齐建成区颗粒物污染的变化规律及其相关性研究[J].干旱区资源与环境,2018(6):187-193.
- [24] 陈芳,马英芳,申红艳,等.格尔木市区空气污染的气象条件分析 [C]//中国气象学会 2006 年年会“大气成分与气候、环境变化”分会场论文集,2006:8.

Characteristics of Temperature Inversion in Lower-air and Its Influence on Concentration of Air Pollutants over Golmud City

ZHOU Wenli¹, XIANG Yafei¹, ZHU Haiyang¹, JU Bingzhong¹, WANG Lixia², MA Jun³

(1. Qinghai Province Atmospheric Detection Technology & Guarantee Center, Xining 810001, China;

2. Weather Modification Office of Qinghai Province, Xining 810001, China;

3. Golmud Meteorological Bureau, Golmud 816000, China)

Abstract Based on the L-band radar data observed from 2015 to 2017, this paper analyzed the characteristics of low-altitude inversion layer over the Golmud city and compared with Xining and Yushu city that located in different climate zones. Combined with the daily air pollutants concentration data (SO_2 , NO_2 , O_3 and $PM_{2.5}$) during 2016 – 2017 in Golmud city, the impact of low-altitude inversion layer on the concentration of air pollutants were studied. The results showed that the annual average frequency of temperature inversion in Golmud city was 67% at 07:00 and 24% at 19:00, mainly by the near ground temperature inversion, the frequency of temperature inversion was higher in autumn and winter than that in spring and summer. The temperature inversion thickness in the morning was much higher than in the evening, and it was the thickest in winter and the thinnest in summer. The thickness of the grounding inversion was higher than the suspension inversion at 07:00 in each season, the thickness of suspension inversion at 19:00 in autumn and winter was higher than the grounding inversion. The intensity of the grounding inversion was stronger than the suspension inversion. The starting and ending height of suspension inversion at 07:00 (331 m, 571 m) were less than 19:00 (662 m, 851 m), and reached the maximum in winter. At 07:00, the temperature inversion of Qaidam Basin had the highest frequency (67%), the strongest intensity (2.07 °C/100 m) and the thinnest thickness (267 m). At 19:00, the frequency of the Qaidam Basin was less than the Hehuang area but much higher than the Three-River Source area (24%), have the smallest intensity (2.18 °C/100 m) and the thickest thickness (127 m). The temperature inversion had significant effect on concentration of SO_2 , NO_2 , O_3 and $PM_{2.5}$, however, the effect on $PM_{2.5}$ Concentration was less significant than wind speed.

Key words Golmud city; grounding inversion; suspension inversion; climate zone; air pollutant concentration