

斯琴,姜学恭,赵睿峰.内蒙古地区沙尘和霾自动观测数据的可靠性和修正方法研究[J].沙漠与绿洲气象,2024,18(3):129-135.

doi:10.12057/j.issn.1002-0799.2024.03.006

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



内蒙古地区沙尘和霾自动观测数据的可靠性和修正方法研究

斯 琴,姜学恭*,赵睿峰

(内蒙古自治区气象台,呼和浩特 010051)

摘 要:选取2001—2019年内蒙古12个站点逐3 h的气象观测资料,从时空分布特征和判别方法研究了内蒙古地区沙尘和霾自动气象观测数据的可靠性和判别标准的适用性。结合 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 两个空气质量指数,通过修正错误记录,将沙尘中误判的霾、霾中误判的沙尘分离出来。结果表明:修正前,沙尘和霾分别出现284次和4 958次,占总频次的5%和95%,修正后得到的沙尘为905次、占总频次的17%,霾为2 891次、占总频次的55%,雾为33次、占总频次的0.6%,非沙尘和非霾天气为1 413次。通过修正,沙尘和霾天气现象记录趋于合理。

关键词:沙尘;霾;时空分布;判别方法;修正

中图分类号:P412

文献标识码:A

文章编号:1002-0799(2024)03-0129-07

内蒙古西部是我国北方主要的沙尘源地之一。近年来内蒙古地区霾呈急剧上升趋势。需要指出,浮尘、霾多发生在扩散条件较差的稳定大气环境中,有时浮尘和霾的区别不明显,容易造成混淆。因此,规范沙尘和霾的判别标准越来越重要。不同地区对该类天气的判别标准有所差异^[1-9]。由于采用人工观测,工作多年的观测员对于不同视程障碍天气现象的判别有一定的经验,尽管两者的相似性导致观测员的判别可能出现错误,但总体上影响不大。但是,2013年我国地面观测从人工观测改成自动仪器观测以后,数据问题变得非常明显。当发生大范围沙尘天气时,多数测站白天天气现象自动观测记录为扬沙和沙尘暴,入夜后,天气形势未发生明显改变,但天气现象自动观测记录转变为霾。从沙尘天气强度、影响系统类型及其导致的沙尘天气的延续性特点分

析,入夜后观测到的霾存在疑问。浮尘和霾的能见度范围均为1~10 km,人工观测时观测员往往通过气溶胶的颜色特征区分沙尘和霾,而新的视程障碍类天气现象机器自动判别规则中,将能见度1~10 km气溶胶且相对湿度小于80%判定为霾,从而导致自动观测霾记录明显增多。目前针对视程障碍天气现象的判别较少。因此,为了更准确地判别沙尘和霾天气,获得准确可信的观测数据,需要对自动观测数据进行修正,并完善不同视程障碍天气的判别规则。专家学者对不同地区沙尘和雾霾天气的判别方法做了大量研究^[10-18],另外,一些专家针对降水类型^[19]、降水相态^[20]、气温^[21]、能见度^[22]等不同天气现象两种观测数据的差异及产生原因进行对比,如,石登科等^[21]指出自动站日平均气温和最低气温偏低,人工观测值,最高气温反之。曾英等^[22]研究表明,陕西霾日、雾日、轻雾日自动观测比人工观测明显偏多,特别是霾日,是人工或30 a平均霾日的10~68倍。伍永学等^[23]指出北京地区各站降水自动化观测资料识别正确率在50%以上,雾、霾识别正确率差别很大,资料的可用性低。这种差异对历史气象资料的延续性提出了挑战,并影响大气科学研究和业务应用。

收稿日期:2022-08-26;修回日期:2023-05-04

基金项目:国家自然科学基金项目(41965003)

作者简介:斯琴(1982—),女(蒙古族),高级工程师,主要从事中短期、短临天气预报方法研究。E-mail:siqin2008@126.com

通信作者:姜学恭(1969—),男,正高级工程师,主要从事沙尘暴研究。E-mail:jiangxuegong@aliyun.com

在实际观测中,仅靠气象要素资料无法判别不同低能见度天气现象,需要结合 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 等空气质量观测资料进行判识,本研究选取内蒙古气象观测和空气质量观测匹配的12个站点2001—2019年每日逐3 h气象观测数据,分析沙尘和霾的时空分布特征,并结合2013—2019年 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 小时质量浓度数据,探讨自动观测数据的可靠性以及沙尘和霾判别标准的适用性,以期为今后内蒙古地区霾和沙尘天气的观测和判别提供参考。

1 数据来源与方法

1.1 数据

采用2001年1月1日—2019年12月31日内蒙古自治区12个站点每日逐3 h霾和沙尘地面天气现象观测数据,2013—2019年沙尘和霾天气发生时对应的能见度、相对湿度、风速等自动气象观测资料以及中国环境监测总站网的空气质量自动监测数据(包括 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 小时质量浓度)。

1.2 判别方法

不同时期的《地面气象观测规范》、相关行业标准以及地面气象观测技术规定对内蒙古地区沙尘和霾的判别标准中浮尘和霾天气观测标准相似,依据这些标准不能有效区分浮尘和霾。2010年中国气象局发布的气象行业标准(QX/T 113-2010)中霾的观测和等级预报增加了大气成分指标(表1)。环保部门规定优良空气质量标准为 $PM_{2.5}$ 小时质量浓度 $<35 \mu g \cdot m^{-3}$ 时视为无霾。

表1 霾的观测标准

天气现象	相对湿度/%	$PM_{2.5}/(\mu g \cdot m^{-3})$
霾	$RH < 80$	
霾	$80 \leq RH < 95$	> 75

2019年中国气象局发布的气象行业标准(QX/T 477-2019)^[24]中给出了沙尘天气强度判识的人工观测标准(表2)。

表2 三种不同强度沙尘天气观测标准

天气现象	水平能见度/km	2 min 平均风速/($m \cdot s^{-1}$)
沙尘暴	$V < 1.0$	$U \geq 5.0$
扬沙	$1.0 < V < 10.0$	$U \geq 5.0$
浮尘	$V < 10.0$	$U < 5.0$

根据2001—2012年内蒙古沙尘和霾天气发生时对应的相对湿度分布,沙尘(浮尘、扬沙、沙尘暴)天气发生时相对湿度(RH)最大值达94%,最小值为

1%,霾天气发生时相对湿度最大值达93%,最小值为6%,则 $RH < 80\%$ 时有出现霾发生的可能性, $80\% \leq RH < 95\%$ 时也有出现沙尘发生的可能性。因此要设计一套修正方法,完善 $RH < 95\%$ 时自动观测沙尘和霾的判识标准。根据《地面气象观测规范》^[25-26]、气象行业标准(QX/T 113-2010)、气象行业标准(QX/T 477-2019)和环保部门空气质量标准,采用能见度、相对湿度、风速等气象要素值,结合 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 两个空气质量浓度指标对内蒙古地区自动观测误判的沙尘和霾天气现象进行修正。当 $RH \leq 50\%$ 或 $80\% < RH < 95\%$, $PM_{2.5}/PM_{10} < 0.5$ 时判别为沙尘, $PM_{2.5}/PM_{10} \geq 0.5$ 时判别为霾; $50\% < RH \leq 80\%$ 时沙尘、霾和 $RH \leq 95\%$ 时非沙尘和非霾天气现象修正判别标准见表3所示。对修正后得到的沙尘天气用表2中的判别标准进行进一步判别沙尘的强度(浮尘、扬沙、沙尘暴),其中,沙尘时指的是某一个观测时次记录的现在天气现象为沙尘,霾时指的是某一个观测时次记录的现在天气现象为霾。

表3 沙尘、霾、非沙尘和非霾天气的修正标准

天气现象/指标	$PM_{2.5}/PM_{10}$	$RH/\%$	$PM_{10}/(\mu g \cdot m^{-3})$	$PM_{2.5}/(\mu g \cdot m^{-3})$
沙尘	< 0.5	$50 < RH \leq 80$	> 150	
霾	≥ 0.5	$50 < RH \leq 80$		> 75
非霾和非沙尘	< 0.5	$RH \leq 95$	≤ 150	
非霾和非沙尘	≥ 0.5	$RH \leq 95$		≤ 75

2 结果与分析

2.1 个例验证

为了进一步验证自动观测数据的准确性和修正方法的适用性,选取呼和浩特站2014年12月9—10日沙尘天气过程,分析气象要素和空气质量浓度的连续变化特征,并对误判的天气现象进行修正,以便在实际业务中用气象要素和环境质量指数来区分沙尘和霾天气,从而减少沙尘和霾天气预报服务中的不确定性。

图1为呼和浩特 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 小时质量浓度、能见度、相对湿度、风速观测值的时间序列。12月9日11时随着风速加强, PM_{10} 质量浓度也逐渐增加。9日23时—10日08时 PM_{10} 小时质量浓度均 $> 300 \mu g \cdot m^{-3}$ 且 $PM_{2.5}/PM_{10} > 0.5$, 相对湿度 $< 50\%$, 风速 $> 5 m \cdot s^{-1}$, 自动观测天气现象记录均为霾,根据修正后的判别标准应判别为扬沙;9—10日呼和浩特市相对湿度较小,能见度与 PM_{10} 的相关系数为 -0.43 ,空气中粗粒子明显增加, PM_{10} 质量浓度贡献占主导地

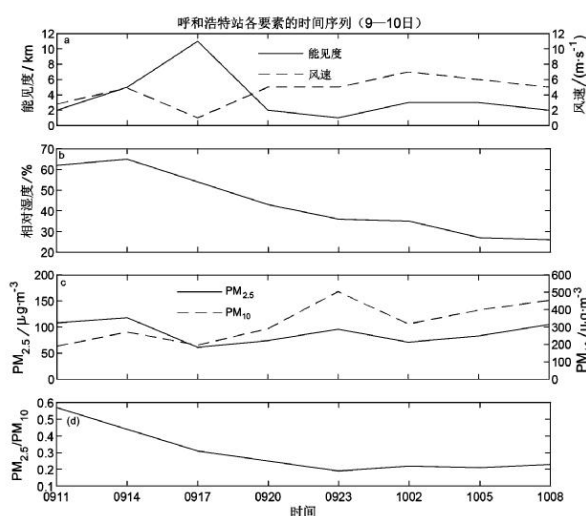


图1 2014年12月9—10日呼和浩特各要素时间序列

位,相对湿度与 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 相关系数分别为 0.56、-0.78, $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 相关系数为-0.1,进一步说明呼和浩特能见度下降主要由沙尘天气造成的。呼和浩特地区前期干旱少雨,天气变暖,气温回升,是此次沙尘天气形成的特殊天气气候背景。

2.2 人工观测沙尘、霾与自动观测对比分析

2.2.1 沙尘和霾天气年变化

根据观测方法和标准的改变,分为 2001—2012 年(人工观测)和 2013—2019 年(自动观测)两个时段,对内蒙古 12 个盟市对应站点的不同强度沙尘时(简称沙尘)和霾时(简称霾)出现频次进行统计(图 2),人工观测沙尘频次多于自动观测频次(图 2a)。

3 种强度的沙尘天气具有区域性差异,根据 12 个站点地理分布,西中部出现沙尘频次多,东部少;霾出现频次统计显示,2013 年为转折点,2013 年以前乌海市工业和煤炭企业较多,污染物排放量非常大导致乌海市出现霾的频次最多;2013 年后除乌海市和海拉尔外其他 10 个站出现霾频次剧增(图 2b)。这有人为排放增加的因素,也与沙尘和霾判别标准的变动、观测方法的改变等有关。

从 2001—2019 年 3 种强度的沙尘天气年际变化分析(图 3)可知,沙尘均呈现双峰式的变化特征,分别为 2004—2012 年和 2015—2018 年,2007 年沙尘天气最严重,之后呈减弱趋势;霾年代际变化呈单峰式的变化特征,2013 年以前霾频次较少,2014 年后霾频次剧增,2015 年达到频次最大值;2013 年以前沙尘频次多于霾,而 2013 年以后霾频次明显多于沙尘。2014 年开始霾频次明显增加,这不是单一污

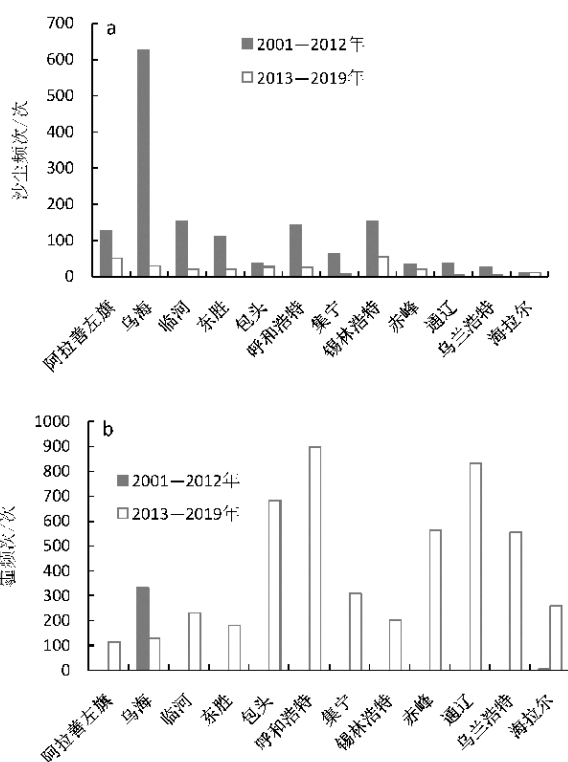


图2 不同观测时段中内蒙古 12 个站的沙尘(a)和霾(b)出现频次统计

染排放增加造成,因为污染排放往往是逐步增长的。原因可能有以下 3 种:一是自动判别方法将沙尘误记为霾,导致霾频次大幅增加。二是在《地面气象观测规范》中定义了 34 种天气现象,当前地面气象观测业务技术规定(2016 版)中保留观测和记录的有 21 种,取消了 13 种,本应该记录烟幕的,现在记录为霾;三是人工观测期间,晴天情况下人工观测遗漏一些霾天气,而自动观测不会出现这种情况。

2.2.2 沙尘和霾天气月、季变化

沙尘和霾的月频次分布显示,人工观测浮尘、扬

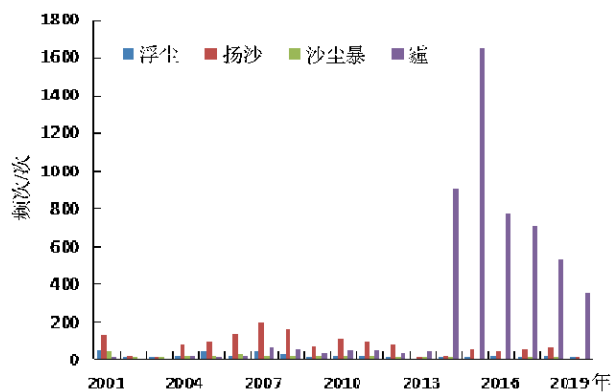


图3 内蒙古 12 个站点的年浮尘、扬沙、沙尘暴和霾频次分布

沙、沙尘暴频次峰值均出现在4月(图4a);自动观测浮尘频次峰值出现在3、5月,扬沙峰值出现在5月,沙尘暴峰值出现在4月(图4b),这与内蒙古沙尘最多出现在春季,其次在冬季和夏季,最少出现在夏季相吻合。

霾频次月分布显示,人工观测霾频次峰值出现在7月(图4a),自动观测霾频次峰值出现在12月(图4b),两个时段霾频次峰值出现的季节和频次均有明显变化。冬季内蒙古燃煤取暖,污染物加重,冷空气较弱时不利于污染物扩散,导致霾天气频发,因此,霾峰值出现在12月是合理的。人工观测霾峰值出现在7月,一是因为多站人工观测将霾记录为烟幕有关;二是内蒙古90%以上的霾出现在乌海市,污染物的最大来源是工业和煤炭。

2.2.3 沙尘和霾天气日变化

内蒙古12个站的两种观测沙尘和霾出现频次分布特征显示,2013年前浮尘集中出现在08时,而2013年后集中出现在23时;2013年前后扬沙和沙尘暴均集中出现在14、17时;2013年前霾集中出现在08时,2013年后集中出现在23时。沙尘天气一般由系统性天气过程引起,受气温和风速的日变化影响,一般午后到傍晚随着增温,大气层结不稳定,风速加强,有利于沙尘天气发生,这是沙尘暴和扬沙

多出现在下午到傍晚的主要原因。2013年以后发生在23时的霾增加,08时和23时出现峰值。浮尘和霾的形成是在较稳定的大气层结中,人为污染物和沙尘粒子输送的共同作用,夜间常常形成稳定大气,扩散条件转差,污染物容易堆积,而北方冬季夜间燃煤加剧了污染排放,这是霾和浮尘多出现在夜间和早晨的原因。2013年前后霾频次差异最显著,人工观测所遗漏的霾天气更多地发生在夜间是一个原因。另外,地面自动观测业务技术文件中规定,当视程障碍现象自动判识出现明显错误时,观测员可对天气现象记录进行人工订正,能见度记录仍以自动观测为准,这可能造成地面观测数据中出现能见度与天气现象不匹配的情况。而白天霾和沙尘的自动仪器观测记录有错误时,观测员对天气现象的人工修改也可能使白天霾的频次有所增加。

2.3 自动观测沙尘和霾修正前后特征对比

选取2013—2019年内蒙古12个站点的每日逐3h气象观测数据,结合大气成分观测资料,引入 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 逐小时空气质量浓度,采用沙尘和霾天气修正方法(表3)对2013—2019年12个站点的沙尘和霾天气自动观测数据进行了修正。修正前后对比发现,内蒙古12个站的浮尘、扬沙、沙尘暴和霾天气现象自动观测记录中误判天气类型以及占比见表4所示。

修正前,浮尘自动观测记录中存在扬沙误判为浮尘的现象。内蒙古12个站中有6个站把扬沙误判为浮尘,乌海市误判比例最高,为100%,其次为集宁为60%。

修正前,扬沙自动观测记录中存在浮尘、霾误判为扬沙的现象。内蒙古12个站中有11个站把浮尘误判为扬沙,通辽误判比例最高,为67%,其次为临河,为65%;阿拉善左旗1个站把霾误判为扬沙,其误判百分比为3%。

修正前,内蒙古12个站的沙尘暴自动观测记录中锡林浩特、赤峰和海拉尔3个站把浮尘误判为沙尘暴,误判百分比均为100%。

修正前,12个站点的霾自动观测记录中存在把沙尘误判为霾的现象。阿拉善左旗的浮尘、乌海市的扬沙和通辽市的沙尘暴误判为霾的频次最高,分别占总频次的16%、20%、2%。

由修正前后月沙尘频次分布(图5a)可知,修正后月沙尘记录均大于修正前,尤其3—5月和10—12月沙尘较修正前明显增加,修正后月沙尘频次峰值出现在春季,这与内蒙古沙尘频次最多出现在春季,

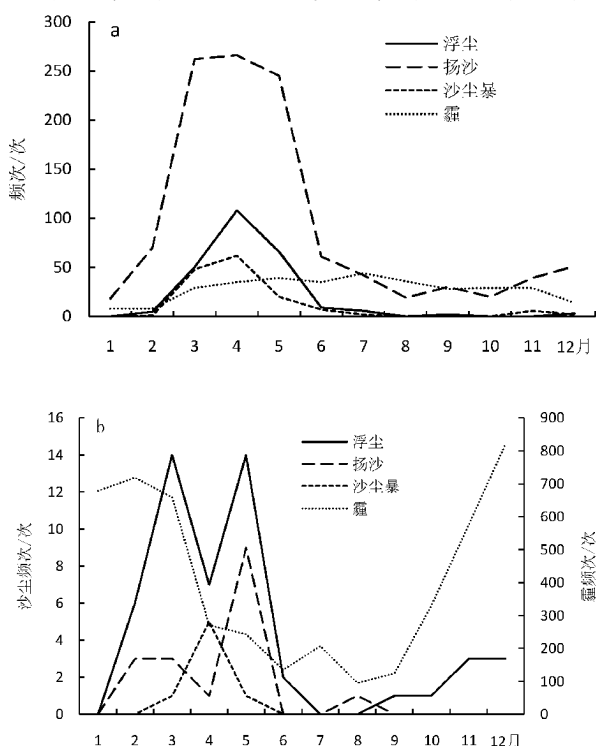


图4 人工观测时段(a)和自动观测时段(b)沙尘和霾频次月变化

(a为2001—2012年,b为2013—2019年)

表 4 沙尘和霾自动观测数据误判的天气类型及其占比

误判天气类型及占比/%	阿拉善 左旗	乌海	临河	东胜	包头	呼和 浩特	集宁	锡林 浩特	赤峰	通辽	乌兰 浩特	海拉尔
扬沙误判为浮尘	17	100	50	0	30	0	60	0	33	0	0	0
浮尘误判为扬沙	34	22	65	38	33	58	0	51	47	67	40	64
霾误判为扬沙	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
浮尘误判为沙尘暴	0	0	0	0	0	0	0	100	100	0	0	100
浮尘误判为霾	16	15	10	11	13	4	3	8	3	5	1	2
扬沙误判为霾	18	20	7	14	11	7	3	6	6	6	2	2
沙尘暴误判为霾	0	0	1	0	1	0	0	0	0	2	0	0

其次在冬季,最少出现在夏季相吻合。

针对月霾频次(图 5b),修正后月霾频次均小于修正前,霾频次峰值出现的 12 月,月频次变化特征与修正前无明显差别,这与霾中误判的沙尘天气现象较多有关系。

修正前,2013—2019 年内蒙古 12 个站点的沙尘和霾出现总频次为 5 242 次,其中,霾为 4 958 次,占总频次的 95%,沙尘为 284 次,占总频次的 5%。修正后沙尘为 905 次,占总频次的 17%;霾为 2 891 次、占总频次的 55%;雾为 33 次、占总频次的 0.6%(表 5),非霾和非沙尘天气为 1 413 次。

沙尘和霾修正前后总频次对比显示,修正后 12 个站点的沙尘记录均大于修正前,修正后霾记录均小于修正前。

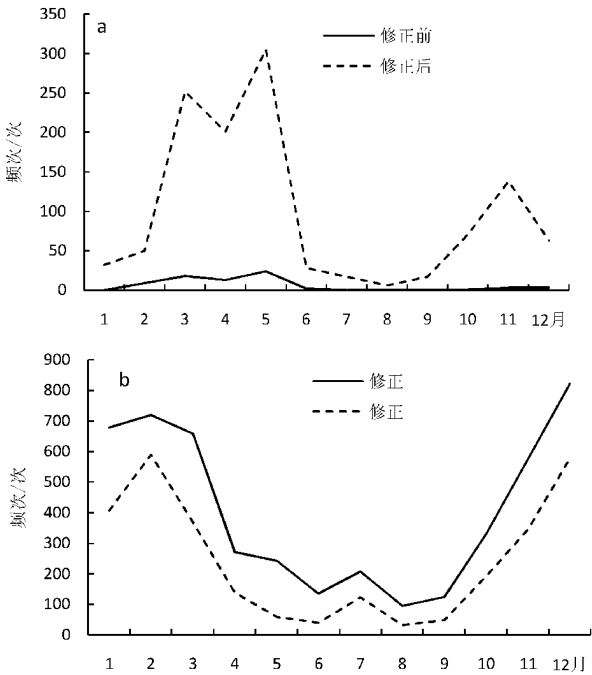


图 5 2013—2019 年沙尘(a)和霾(b)天气现象修正前后频次逐月分布

表 5 修正前后内蒙古 12 个站点沙尘和霾总频次

频次/次	浮尘	扬沙	沙尘暴	霾	雾
修正前	51	226	7	4 958	0
修正后	436	466	3	2 891	33

3 讨论与结论

(1)2001—2012 年人工观测沙尘记录多于霾,2013—2019 年自动观测霾记录多于沙尘,从年代际变化可知,沙尘呈现双峰式的变化特征,分别为 2004—2012 年和 2015—2018 年,峰值出现在 2007 年;霾呈单峰式的变化特征,峰值出现在 2015 年。

(2)修正后的 2013—2019 年霾自动观测记录较未修正前减少了 40%,沙尘自动观测记录较未修正前增加了 12%。

(3)由于人为活动的影响,霾的成分和发生机制不断在改变,只用 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 两种空气质量指数来判别沙尘和霾天气存在一定的局限性。另外,地面观测中只记录一种天气现象,实际上,沙尘和霾同时出现的混合现象也不少,因此,需要更多的沙尘和霾的样本和大气成分资料对沙尘和霾天气进行判别,订正处理技术有待后续研究。

(4)当自动观测沙尘和霾记录出现错误时,结合本站历史观测阈值,科学合理地进行订正,可降低误差出现的概率。

(5)空气质量监测站点的位置、数量是根据城市人口和建成区面积计算后确定的,城市空气质量的监测数据为多个站点平均值。气象要素观测站和空气质量监测站数量较少且不重合导致气象要素资料和颗粒物资料对应存在一定的差异,需要进一步研究。

参考文献:

[1] 刘晓慧,朱彬,高晋徽,等.长江三角洲地区霾判别方法的对比分析[J].环境科学,2014,35(9):3239—3246.

- [2] 曹剑秋,郭品文.江苏省雾霾天气特征分析[J].气象科学, 2016,36(4):483-493.
- [3] 彭舒龄,周树道,卫克晶,等.京津冀地区一次强沙尘天气过程的成因及特征[J].大气科学学报,2019,42(6):926-935.
- [4] 朱媛媛,高愈霄,柴文轩,等.京津冀及周边区域PM_{2.5}叠加沙尘重污染过程特征及预报效果分析[J].环境科学, 2020,41(2):574-586.
- [5] 徐曼,程丽萍,王玮.石家庄市春季典型霾和沙尘混合污染天气过程特征分析[J].环境科学,2020,37(2):128-134.
- [6] 陈其旭.浦口霾日突变影响因素分析[J].农学学报,2018, 8(8):38-43.
- [7] 田心如,陈广昌,王伟丽.江苏省霾日变化特征及相关气象条件的变化分析[J].气象与环境学报,2015,31(3):29-34.
- [8] 刘晓慧.长江三角洲地区霾的时空变化及其影响因子研究[D].南京:南京信息工程大学硕士学位论文,2014.
- [9] 庄智一.上海地区霾的统计分析研究[D].上海:华东师范大学硕士学位论文,2012.
- [10] 李青春,王耀庭,李伟,等.基于垂直加密观测的北京地区霾和沙尘复合污染形成条件分析[J].环境科学学报, 2020,40(3):803-818.
- [11] 李玲萍,李岩瑛,孙占峰,等.河西走廊东部沙尘暴特征及地面气象因素影响机制[J].干旱区研究,2019,36(6): 1457-1465.
- [12] 吴兑,吴晓京,朱小样.雾和霾[M].北京:气象出版社, 2009.
- [13] 吴兑.霾与雾的识别和资料分析处理[J].环境化学, 2008,27(3):327-330.
- [14] 毛敏娟,刘厚通,徐宏辉,等.多元观测资料融合应用的灰霾天气关键成因研究[J].环境科学学报,2013,33(3): 806-810.
- [15] 姜学恭,李夏子,王德军.一次典型蒙古气旋沙尘暴的对流层顶演变及沙尘垂直输送特征[J].干旱气象,2018,36 (1):1-10.
- [16] 顾润源,陈磊,周伟灿,等.一次强沙尘暴的近地层气象要素及内部热力、动力结构特征[J].大气科学学报,2014, 37(4):414-424.
- [17] 赵普生,张小玲.利用日均及14时气象数据进行霾日判定的比较[J].环境科学学报,2011,31(4):704-708.
- [18] 中国气象局.霾的观测和预报等级[S].北京:气象出版社,2010.
- [19] 秦榕,杨霞,陈艳丽等.新疆地区降水现象仪平行观测对比分析[J].沙漠与绿洲气象,2019,13(4):117-123.
- [20] 周坤论,黄剑钊,陈艳丽,等.降水类天气现象自动与人工观测质量对比分析[J].气象研究与应用,2019,13(4): 117-123.
- [21] 石登科,崔学祯.甘肃临夏人工与自动气象站气温观测差异对比及均一性研究[J].干旱气象,2008,26(4):71-74.
- [22] 曾英,张红娟,贺音.自动观测霾、雾、轻雾与人工观测对比分析及订正[J].陕西气象,2017(1):28-30.
- [23] 伍永学,丁青兰,刘凤辉,等.天气现象自动化观测资料可用性分析与应用探讨[J].沙漠与绿洲气象,2014,8 (5):69-74.
- [24] 中国气象局.沙尘暴、扬沙和浮尘的观测识别:QX/T477-2019[S].北京:中国气象局,2019:1-3.
- [25] 中国气象局.地面气象观测规范[M].北京:气象出版社, 2003.
- [26] 中国气象局.地面气象观测规范[M].北京:气象出版社, 2016.

Reliability and Correction Method of Automatic Observation Data of Sand–Dust and Haze in Inner Mongolia

SI Qin,JIANG Xuegong,ZHAO Ruifeng

(Inner Mongolia Meteorological Observatory,Hohhot 010051,China)

Abstract Based on the meteorological observation data with a temporal resolution of three hours from 12 climate stations over Inner Mongolia during the period from 2001 to 2019,the reliability of automatic meteorological observation data for dust and haze and the applicability of discrimination criteria were analyzed through spatial distribution characteristics and research methods.We use $PM_{2.5}$ and PM_{10} as standards to correct erroneous records,and then separate the misjudged haze from the sand or separate the misjudged dust from the haze.The results indicate that the frequency of dust and haze was 284 and 4 958 times,respectively,accounting for 5% and 95% of the total frequency before the correction,while the dust frequency is 905 times,accounting for 17% of the total frequency,haze frequency is 2 891 times,accounting for 55%,fog frequency is 33 times,accounting for 0.6%,and the frequency of non dust or non haze is 1 413 times after correction. The corrected records of dust and haze weather phenomena tend to be more reasonable.

Key words sand–dust; haze; spatial–temporal distribution; discrimination methods; correction