

尹嫦娥, 江志红, 吴息, 等. 2010. 空间差值检验方法在地面气象资料质量控制中的应用 [J]. 气候与环境研究, 15 (3): 229–236. Yin Changjiao, Jiang Zhihong, Wu Xi. 2010. A research on the application of spatial difference method in quality control of surface meteorological data [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 15 (3): 229–236.

空间差值检验方法在地面气象资料质量控制中的应用

尹嫦娥¹ 江志红¹ 吴息² 鞠晓慧³

1 南京信息工程大学气象灾害省部共建教育部重点实验室, 南京 210044

2 南京信息工程大学大气科学学院, 南京 210044

3 国家气象信息中心, 北京 100081

摘要 将差值稳定性原理引入气象资料质量控制中, 形成了一种新的资料空间一致性检验方法——空间差值检验法, 并利用 2007 年代表我国 7 个行政区的 7 个基本观测站的逐日平均气压、最高气压、最低气压、平均气温、最高气温、最低气温、平均水汽压、平均地表温度、最高地表温度和最低地表温度共 10 个要素的观测资料, 检验该方法在气象资料质量检验中的适用性。结果表明空间差值检验方法能有效的检验出可疑数据, 并且可以给出具有明确统计意义的误判率。通过对添加的随机人为误差的检验, 可以证明该方法相对于目前广泛使用的空间回归法具有更好的检验效果, 但是与一般空间检验方法相同, 该方法的检验效果与观测站间待检要素的相关程度有关。

关键词 空间差值检验方法 空间回归检验方法 质量控制

文章编号 1006-9585 (2010) 03-0229-08 **中图分类号** P468 **文献标识码** A

A Research on the Application of Spatial Difference Method in Quality Control of Surface Meteorological Data

YIN Changjiao¹, JIANG Zhihong¹, WU Xi², and JU Xiaohui³

1 Key Laboratory of Meteorological Disaster of Ministry of Education, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

2 School of Atmospheric Sciences, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

3 National Meteorological Information Center, Beijing 100081

Abstract A new Quality Control (QC) technique called spatial difference method is introduced in detail and applied to spatial checking of some basic meteorological elements at seven representative stations in China for the year of 2007 in order to evaluate the applicability of this approach. The checking tests are conducted on ten basic meteorological elements including daily mean pressure, maximum pressure, minimum pressure, mean temperature, maximum temperature, minimum temperature, mean vapor pressure, mean surface temperature, maximum surface temperature, and minimum surface temperature. It is shown that this method works well in identifying errors of single meteorological element. As compared with spatial regression test on discriminating artificial errors, the spatial difference method is more effective. Furthermore, same as the other spatial checking methods, the distribution

收稿日期 2008-11-28 收到, 2010-01-14 收到修定稿

资助项目 公益性行业 (气象) 科研专项 GYHY (QX) 2007-6-5

作者简介 尹嫦娥, 女, 1983 年出生, 硕士研究生, 主要从事气候学研究。E-mail: yinchangjiao@163.com

of neighboring weather stations should be concerned necessarily as influence factors.

Key words spatial difference test, spatial regression test, quality control

1 引言

气象资料是一切气象、气候研究的现实基础,为了确保研究结果能揭示真实的天气、气候变化特征与规律,研究前必须对其所用的资料进行质量检查,识别和处理资料中的错误资料(Gandin, 1988; Feng et al., 2004),对气候序列进行均一性检验(李庆祥等, 2005)和订正(任国玉等, 2005a, 2005b)。近年来,随着数值模式的发展和全球气候变化研究的深入,对气象观测资料的质量要求也越来越高,由此而发展了许多气象资料质量控制(Quality Control, QC)技术(陈明和洪忠祥, 1993; 江志红等, 2008)。

传统的地面气象资料质量控制方法主要有:格式检查、范围检查、极值检查、内部一致性检查、时间一致性检查和空间一致性检查,目前这些方法已经广泛的应用于地面气象观测资料的质量控制(杨贤为, 1998; 王伯民, 2004)。但是对于单要素,或者是新建的测站或测点(如在我国大城市或乡镇密布的自动观测站),由于缺乏历史资料或要素之间的相互比较,对其观测数据的质量控制就只有空间一致性检查比较合适。

目前可用于空间一致性检查的客观分析方法有很多。Eischeid et al. (1995)介绍了6种不同的方法来进行空间QC,这些方法是:(1)正常比率法;(2)简单反距离加权法;(3)最佳内插法;(4)使用最小绝对偏差标准的多元回归法;(5)单个最佳估计算子;(6)前5种方法的综合。这些方法目前用于1版全球历史气候网(GHCN)资料的QC(刘小宁和任芝花, 2005)。各国的空间QC方法也各有不同,北欧国家所用的方法主要有:Madsen-Allerup方法(丹麦)、DECWIM方法(挪威)、数值预报模式(HIRLAM)插值方法(挪威)、Kriging统计插值方法(芬兰)、MESAN方法(瑞典)等(熊安元, 2003)。我国地面非实时资料质量控制方案中使用的方法是以回归方程误差均方根最小为基础的空间回归法(刘小宁等, 2006)。Hubbard and You (2005)和

You and Hubbard (2006)在研究中分别对空间回归检验法和反距离加权法在温度资料QC中的敏感性(Hubbard and You, 2005)及在极端天气事件条件下对气象资料的质量控制控制效果(You and Hubbard, 2006)进行了讨论,结果表明空间回归方法的在QC中的效果要优于反距离加权法。以上这些空间QC方法都是通过分析观测值和该方法得到的估计值的差异大小来判断数据点是否通过空间QC,即若观测值与估计值之差超过给定的临界参数,则认为该观测值有误,其中临界参数的确定多来自于对大量气候资料试验而得到的经验值,参数的取得比较复杂,且没有客观明确的统计意义(刘小宁等, 2006)。

自20世纪60年代么枕生将差值稳定性的理论引入我国气候统计工作中,差值订正法就广泛的应用到气象年资料和月资料的插补和延长工作中(屠其璞, 1980; 唐国利, 2006)。本文将差值稳定性原理引入到气象资料质量控制中,形成了一种新的资料空间一致性检验方法——空间差值检验法,该方法利用正态分布概率模型确定小概率事件的控制参数,识别出观测样本中的可疑值。该方法可以给出明确的误判率,控制参数的选择已统计模型为基础,较为客观简便。由于计算简单、敏感性高可直接用于原始气候资料的QC,具有很高的实用性。

2 资料来源与检验方法

2.1 资料来源

本文涉及的资料来源于国家气象信息中心提供的756个基本站从建站开始至2007年的常规观测要素的逐日资料,这些资料都经过传统质量控制检验,明显的粗大误差已经被剔除。

2.2 检验方法

2.2.1 方法介绍

通过观测资料和理论均可以证明线性相关系数大于0.5的相邻两站同一要素差值较要素本身稳定的特性,这就是所谓的差值稳定性(么枕生和丁裕国, 1990)。本文从差值稳定的特性出发,通过对均匀分布于全国100个基本观测站的常规

气象观测要素逐日资料的研究发现, 空间分布均匀、相关程度高的气象要素的逐日资料的空间差值不仅具有稳定性, 而且各月的逐日差值通过显著性水平为 0.05 柯尔莫哥洛夫检验 (屠其璞等, 1984) 符合正态分布。

利用正态分布概率模型, 判断被检站与参考站全月逐日差值序列中某值出现的概率, 若该值出现的概率小于预期中的小概率 α , 则认为这是一个小概率事件, 认定该值有误。为了减少抽样随机性及大范围异常天气对资料质量控制结果的影响, 选择多个参考站进行检测。若被检站观测值的异常是由于某种非天气因素导致的, 那么必将表现为被检站与各个参考站的差值 (被检站做被减数) 同为异常大值 (观测记录高于实际值) 或异常小值 (观测记录低于实际值)。由差值稳定性的原理可知当两相邻两站某要素的相关度越高时, 两站同一要素差值越稳定 (么枕生和丁裕国, 1990), 因此本方法中参考站的选择以一定范围内相关系数最大为标准。此外需注意的是由于不同气象要素的空间相关程度不尽相同, 因此同一被检站不同待检要素所选的参考站可能不同。

2.2.2 具体步骤

第一步, 相对于被检站, 任选一批邻近候选站。一般在做资料的 QC 时, 均以被检站为中心 250 km 为半径的圆内的测站定义为邻近站 (任福民和翟盘茂, 1998; 任芝花等, 2005)。

第二步, 逐对计算候选邻近站与被检站之间各要素的相关系数, 并进行显著性检验。选择通过显著性检验, 且相关系数最大的 n 个台站作为该气象要素资料空间质量检验的参考站 (样本相关系数需大于 0.5)。

第三步, 每个站每月逐日数据作为一个序列, 逐对计算参考站与被检站的空间差值。

第四步, 给定一个小概率 α , 根据正态分布概率模型可以求得 α 对应的临界值 $\pm D$, 若某一时刻被检站与 n 个参考站的同一气象要素的空间差值均大 (小) 于 D ($-D$), 则认为该时刻这一气象要素的观测记录存在错误。

3 方法理论评估

根据概率统计学, 可以知道当检验一个假设

时, 可能会发生两种类型的错误: 其一, 在数理统计中称为“第一类错误”即“把真当假”, 在做质量控制的统计检验时, 如果数据正确而被拒绝, 则产生“第一类错误”; 其二, 是“以假充真”, 即数据是错误的而被接受, 产生“第二类错误”。在样本容量一定的情况下, 一般是控制“第一类错误”的概率, 在此基础上选择使“第二类错误”达到最小的检验方法 (屠其璞等, 1984)。

在空间差值方法中, “第一类错误”出现的概率为 α_n , 其中 α 代表被检站与某一参考站的差值被误判为错误值的概率, n 为入选的参考站个数。因此, 在应用空间差值方法对资料进行质量控制过程中, 检验者只要根据正态分布概率模型, 参照具体情况给参数一个确定的值, 就可以控制“第一类错误”的发生的概率, 这是该方法的一个特点。

该方法的另一个特点是参考站的选择不是以空间距离为基础, 不受地形的限制, 它是根据差值稳定性理论 (么枕生和丁裕国, 1990) 在被检验站邻近的一定空间范围内选择与它相关性最好的邻近站做为参考站, 事实证明这种参考站选择方法, 可以有效的减少“第二类错误”的发生 (见 4.2.2 节)。

综上所述, 虽然“空间差值检验方法”是一个考虑“空间”的检验方法, 但它不像反距离权重法等仅以距离做为权重估计被检验站的数据, 不受地形的限制同时与其它空间资料质量控制方法相比, 控制参数设定简单, 具有客观明确的统计意义, 它代表了错误记录的误判率, 检验者可以通过误判率的设定来控制检验精度, 使用者也可根据误判率来决定检验出的疑误观测值的取舍。因此, 空间差值检验方法是一种比较先进的气象资料空间质量控制方法。

4 方法应用评估

4.1 方法的适用性

为了验证空间差值方法的空间适用性, 本文参照陈隆勋等 (1991) 的划分方法, 将中国分为 7 个区域, 在各区分别选择一个资料完整性好、周围站点比较密集的基本观测站作为代表站, 7 个区域及各自代表站见表 1。利用空间差值检验方法

对这 7 个代表站 2007 年的逐日平均气压 (p)、最高气压 ($p_{\max}$)、最低气压 ($p_{\min}$)、平均气温 (T)、最高气温 ($T_{\max}$)、最低气温 ($T_{\min}$)、平均水汽压 (E)、平均地表温度 (S)、最高地表温度 ($S_{\max}$) 和最低地表温度 ($S_{\min}$) 共 10 个要素的观测资料进行空间质量控制, 检验结果见表 2。

表 2 给出了利用空间差值方法对各代表站各观测要素检验后发现的错误记录个数, 以及各要素的错误率, 错误率是由所有站检验出的认为是错误的样本个数之和与全部参加检验的样本数之比。可见, 空间差值方法在各区都能有效的检验出可疑资料, 具有较高的适用性。

由于在理论上, 错误值是在一定可信度的标准下被判断为错误的数, 每个被检出的错误记录都有个误判率 (本次试验中误判率为百万分之一)。因此在实际应用中, 它其实只是一种可疑数据。为了避免“把真当假”的情况, 在条件允许的情况下还可以通过质量评估专家对检测得到的“错误数据”进行进一步的验证。

表 1 各区域范围及其代表站

Table 1 Regions and representative stations

区域	代表站
东北	沈阳
华北	烟台
长江中下游	平湖
华南	蒲城
西北	榆中
西南	纳溪
青藏高原	拉萨

4.2 随机人为误差的检验

在 4.1 节中, 利用空间差值方法对 7 个代表站的 10 个基本观测要素资料进行了质量检验, 发现了一些“错误”值, 但是由于无法重回过去, 因此不能百分之百肯定该方法发现的“错误”值即为真实的错误记录, 尤其当该观测值偏离真实值的幅度较小时。为了弥补这一缺憾, 本节中将通过随机添加的人为误差的识别进一步证明空间差值方法的有效性。

在 7 个代表站的日平均气压、日平均温度、日平均水汽压和日平均地表温度 4 个要素的 2007 年逐日观测记录中每月随机挑选一日, 在该日的各要素的观测记录中添加人为误差, 每站每个要素一年共添加 12 个人为误差。这里添加的人为误差是绝对误差, 它的量级与该要素的均方差一致。为了便于比较, 各站各月添加的误差大小相同, 日平均气压、日平均温度、日平均水汽压及日平均地表温度添加的绝对误差大小分别为 ± 2 hPa, ± 3 $^{\circ}\text{C}$, ± 2 hPa 及 ± 4 $^{\circ}\text{C}$ 。然后利用空间差值方法对添加了人为误差的观测资料重新进行检验 (参考站个数为 3, α 取 0.01), 各站误差值的检出个数和总检出率 (各站被检要素人为误差检出个数之和与添加的人为误差总数之比) 见表 3。从表 3 中可以看出, 空间差值方法可以有效的检验出添加的人为误差。当添加的人为误差大小不变时, 误差检出率的高低, 受到参数的取值, 参考站的选择 (即测站间空间相关程度) 及样本随机抽样性的影响。下面将对前两种影响因子对检验效果的影响进行简单讨论。

表 2 空间差值检验出的各要素错误记录个数及各要素的错误率

Table 2 Number and rate of errors detected by spatial difference test

	错误记录个数							错误率
	沈阳	烟台	平湖	蒲城	榆中	纳溪	拉萨	
p	0	0	0	0	0	1	1	0.78‰
$p_{\max}$	0	1	1	0	0	0	0	0.78‰
$p_{\min}$	0	0	0	2	0	0	0	0.78‰
T	0	0	0	0	0	0	1	0.39‰
$T_{\max}$	0	0	0	0	0	0	0	0
$T_{\min}$	0	0	1	1	0	0	0	0.78‰
S	0	0	1	0	0	0	0	0.39‰
$S_{\max}$	0	1	0	0	0	0	1	0.78‰
$S_{\min}$	0	1	0	1	1	0	0	1.17‰
E	0	1	1	0	0	0	2	1.57‰

表 3 空间差值法对人为误差检验的结果
Table 3 Number and rate of artificial errors detected by spatial difference test

		误差值检出个数							检出率
人为误差		沈阳	榆中	平湖	拉萨	纳溪	烟台	蒲城	
平均气压 p	2 hPa	10	12	12	11	12	12	11	95%
	-2 hPa	10	10	12	9	12	10	11	85%
平均气温 T	3 °C	6	7	8	3	11	9	8	62%
	-3 °C	7	10	8	6	6	4	6	56%
平均水汽压 E	2 hPa	4	5	3	9	2	2	1	31%
	-2 hPa	5	5	4	6	5	5	2	38%
平均地表温度 S	4 °C	4	3	8	3	6	4	2	36%
	-4 °C	5	4	5	3	3	3	5	33%

4.2.1 α 的取值对检验效果的影响

本小节在参考站个数不变的条件下，考察了 α 取不同值时，对上文中添加了人为误差的观测资料进行空间差值检验后误差检出率随 α 取值的变化。

表 4 给出了当 α 分别取 0.1、0.05、0.02、0.01、0.005、0.001 时，平均气压 p 、平均温度 T 、平均水汽压 E 和平均地表温度 S 人为误差检出率的总体变化情况。从表 4 中可以看出，检出率随 α 取值的减小而减少，随 α 取值的增大而增加。若假设本次检验中，除了添加了人为误差的观测记录以外，其它各观测值均正确，那么由表 5 可以看出，随着 α 取值的增大“第一类错误”也在增多。表 5 中给出了该次试验中除了添加了人为误差的观测记录以外，被检出认为是错误观测记录的样本总数占总检验样本数的比率随参数的变化情况。

由上可以看出参数的取值对误差的检出率有很大影响。但是由于检出率还受到误差大小以及样本抽样随机性的影响，因此无法通过实验证明控制参数具体取多大时最合适，只能根据具体问题来决定，例如当对资料的质量要求较高时则应适当把 α 规定的大些；若想要最大限度保留所有可用资料，则应把 α 规定的小些。此外，将表 2 与表 4 (α 取 0.01 时) 中相应要素的总错误率进行对比可以发现，由于人为误差的添加导致相应要素的错误检出率降低，可见空间差值法的检验结果在一定程度上受到了异常数据的影响。

4.2.2 参考站的选择对检验结果的影响

本文在 2.1 节中指出空间差值法中参考站的

表 4 不同参数条件下人为误差检出率的对比
Table 4 Compared of detection rate of artificial errors among different parameters

α	检出率			
	平均气压 p	平均气温 T	平均水汽压 E	平均地表温度 S
0.1	99%	91%	72%	71%
0.05	99%	82%	64%	60%
0.02	96%	73%	47%	45%
0.01	92%	59%	35%	35%
0.005	86%	48%	24%	23%
0.001	69%	17%	15%	7%

表 5 不同参数条件下空间差值法检验出的各要素错误率 (不含检验出的人为误差)
Table 5 Error rates of elements under different patameters (except artificial errors)

α	错误率			
	平均气压 p	平均气温 T	平均水汽压 E	平均地表温度 S
0.1	0.78‰	7.24‰	7.86‰	12.9‰
0.05	0.78‰	1.57‰	2.74‰	4.31‰
0.02	0.20‰	0.39‰	0.98‰	0.59‰
0.01	0	0.20‰	0.78‰	0.20‰
0.005	0	0	0.39‰	0.20‰
0.001	0	0	0.20‰	0

选则是以邻近站与被检站待检要素的空间相关程度决定的，这主要是参考了差值稳定理论。但是是否观测站间空间相关性越高错误资料的检出率就越高呢？

在 4.2 节人为误差检验中，所选取的参考站是与各被检站待检要素相关系数最大的前 3 个站，在本节中则选取与被检站待检要素相关系数次大

的 3 个邻近站（即相关系数由大到小排列，排名为 4~6 的邻近站）作为参考站对同一添加了人为误差的资料进行检验。表 6 给出了在其它条件相同情况下人为误差的检出率。通过与表 3 的对比可以发现，除个别情况外此时各站各要素误差的检出个数都明显减少，各要素的误差总检出率有较大幅度的降低。由此可见，被检站与各参考站被检要素的相关度越高，资料的空间差值检验效果越好。因此，参考站的选择以邻近站与被检站待检要素的空间相关程度为标准是合理的。

4.3 人为误差检验效果的比较

4.2 节中通过对人为误差的检验证明了空间差值方法的有效性，但是其它质量控制方法对这些人为误差的检验是否也具有这样的效果呢？

目前用于气象资料的空间检验方法有很多，如：正常比率法、反距离加权法、Madsen-Allerup 方法、空间回归法、最佳内插法等，在将这些

方法应用到质量控制方案之前需先对资料进行大量研究获得相对科学的控制参数。由于空间检验方法在我国气象资料的质量控制中应用的较少，只有空间回归法的控制参数有文献可供参考（刘小宁等，2006）。因此，为了保证科学性本节仅利用空间回归方法对 4.2 节中相同的人为误差进行质量检验。在空间回归检验中控制参数来源于国家气象信息中心气象资料室提供的质量控制方案。表 7 给出了空间回归方法对人为误差的检出个数和总检出率，对比表 3 可以发现对于相同要素同样大小的误差，空间差值检验方法的识别效果远高于空间回归检验。

图 1 中对空间差值检验方法与空间回归检验法的各要素人为误差的总检出率进行了对比，从图中可以直观的看出，对于同一观测要素空间差值检验法的总检出率远高于空间回归检验法，大约是空间回归检验法的 4~6 倍。由此可见，与空

表 6 人为误差的检验结果

Table 6 Number and rate of artificial errors detected by spatial difference test

	人为误差	误差值检出个数							检出率
		沈阳	榆中	平湖	拉萨	纳溪	烟台	蒲城	
平均气压 p	2 hPa	1	6	8	10	9	6	10	60%
	-2 hPa	2	8	10	4	10	4	9	56%
平均气温 T	3 °C	0	2	1	3	6	4	7	27%
	-3 °C	2	4	5	4	3	2	3	27%
平均水汽压 E	2 hPa	5	5	2	6	0	2	1	27%
	-2 hPa	4	6	4	6	2	1	1	29%
平均地表温度 S	4 °C	1	2	5	3	3	4	4	26%
	-4 °C	2	2	2	1	0	1	3	13%

表 7 空间回归法对人为误差的检验结果

Table 7 Number and rate of artificial errors detected by spatial regression test

	人为误差	误差值检出个数							检出率
		沈阳	榆中	平湖	拉萨	纳溪	烟台	蒲城	
平均气压 p	2 hPa	0	0	2	4	6	0	1	15%
	-2 hPa	0	1	3	2	9	0	3	21%
平均气温 T	3 °C	1	0	0	0	6	6	0	15%
	-3 °C	3	0	0	0	3	3	0	11%
平均水汽压 E	2 hPa	1	0	1	2	0	0	1	6.0%
	-2 hPa	1	0	3	2	0	1	1	9.5%
平均地表温度 S	4 °C	0	0	0	0	0	0	0	0
	-4 °C	0	0	0	0	0	0	0	0

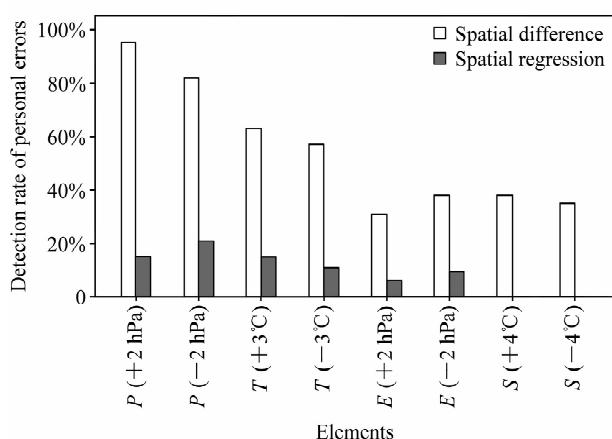


图1 空间差值检验方法与空间回归检验法对各要素人为误差检出率的对比。横坐标括号内表示对括号前要素添加的人为误差

Fig.1 Comparison of detection rate of artificial errors between spatial difference test and spatial regression test. The artificial errors are shown in the parenthesis unther the abscissa

间回归法相比,空间差值检验法的检验效果更好。由于 Hubbard and You (2005) 通过对比试验证明空间回归方法对气象资料质量控制的效果要优于反距离加权法。因此,可以推断出空间差值法的检验效果也优于反距离加权法。此外,与这两种方法相比空间差值方法不仅检验效果更好,而且计算也比较简单,并且与反距离加权法相比不受地形的限制。因此,空间差值检验方法在气象资料的质量控制中要优于空间回归检验法和反距离加权法是一种比较有效的空间质量控制方法。

5 总结

本文对空间差值检验方法在气象资料质量控制中的应用进行了讨论,得到以下初步结论:

(1) 空间差值检验方法能够有效检验出气象观测资料中的问题数据,适用于对单一要素的检验。它的计算方法简单,检验效果优于空间回归检验。

(2) 空间差值检验方法控制参数设置是以正态概率分布模型为基础,取值简单,具有明确的统计意义,可以明确的给出每个错误记录的误判率,检验者可以通过设定误判率来控制检验精度,使用者也可根据错判率来决定该可疑观测值的取舍。

(3) 空间差值检验方法的应用不受地形的限

制,仅与观测站间要素的空间相关程度有关,随着地面自动站观测网的建设和完善,观测资料空间密度的提高,该方法的有效性和敏感度有望得到提高。

(4) 在理论上,错误值是在一定可信度的标准下被判断为错误的数数据,即使误判率极小在实际应用中“以真当假”的情况还是可能会出现,因此在实际应用中,在条件允许的情况下还可以通过质量评估专家对检测得到的“疑误数据”进行进一步的验证,以期得到更完美的检验结果。

(5) 由于差值检验法以差值稳定性理论为基础,因此不适用于日降水和日风速等空间相关性较低要素的资料的质量控制,这是该方法的主要缺点。

以上仅是对空间差值检验法在地面气象资料质量控制中应用的初步研究,工作尚不全面,对于该方法的优越性、敏感度等方面还有待进一步深入研究。

参考文献 (References)

- 陈隆勋,邵永宁,张清芳. 1991. 近四十年我国气候变化的初步研究 [J]. 应用气象学报, 2 (2): 164-171. Chen Longxun, Shao Yongning, Zhang Qinfen. 1991. Preliminary analysis of climatic change during the last 39 years in China [J]. Journal of Applied Meteorological Science (in Chinese), 2 (2): 164-171.
- 陈明,洪钟祥. 1993. 大气边界层观测资料的质量控制方案研究及其应用 [J]. 大气科学, 17 (1): 98-105. Chen Ming, Hong Zhongxiang. 1993. The quality controlling method and application of the original data of the boundary layer [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica) (in Chinese), 17 (1): 98-105.
- Eischeid J K, Baker C B, Karl T R, et al. 1995. The quality control of long-term climatological data using objective data analysis [J]. Journal of Applied Meteorology, 34: 2787-2795.
- Feng S, Hu Q, Qian W. 2004. Quality control of daily meteorological data in China, 1951-2000; A new dataset [J]. Int. J. Climatol., 24: 853-875.
- Gandin L S. 1988. Complex quality control of meteorological observations [J]. Mon. Wea. Rev., 116: 1137-1156.
- Hubbard K G, You J. 2005. Sensitivity analysis of quality assurance using spatial regression approach—A case study of the maximum/minimum air temperature [J]. J. Atmos. Oceanic Technol., 22: 1520-1530.
- 江志红,黄群,李庆祥. 2008. 近50年中国降水序列均一性检验与订正研究 [J]. 气候与环境研究, 13 (1): 67-73. Jiang Zhi-

- hong, Huang Qun, Li Qingxiang. 2008. Study of precipitation series homogeneous adjustment and their correction over China in the last 50 year [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 13 (1): 67-73.
- 李庆祥, Matthew J M, Claude N W, 等. 2005. 利用多模式对中国气温序列中不连续点的检测 [J]. 气候与环境研究, 10 (4): 736-742. Li Qingxiang, Matthew J M, Claude N W, et al. 2005. Detection of discontinuities in Chinese temperature series using a multiple test approach [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 10 (4): 736-742.
- 刘小宁, 任芝花. 2005. 地面气象资料质量控制方法研究概述 [J]. 气象科技, 33 (3): 199-203. Liu Xiaoning, Ren Zhihua. 2005. Progress in quality control of surface meteorological data [J]. Meteorological Science and Technology (in Chinese), 33 (3): 199-203.
- 刘小宁, 鞠晓慧, 范邵华. 2006. 空间回归检验方法在气象资料质量检验中的应用 [J]. 应用气象学报, 17 (1): 37-43. Liu Xiaoning, Ju Xiaohui, Fan Shaohua. 2006. A research on the applicability of spatial regression test in meteorological dataset [J]. Journal of Applied Meteorological Science (in Chinese), 17 (1): 37-43.
- 任福民, 翟盘茂. 1998. 1951~1990 年中国极端气温变化分析 [J]. 大气科学, 22 (2): 217-227. Ren Fumin, Zhai Panmao. 1998. Study on changes of China's extreme temperatures during 1951-1990 [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 22 (2): 217-227.
- 任国玉, 初子莹, 周雅清, 等. 2005a. 中国气温变化研究最新进展 [J]. 气候与环境研究, 10 (4): 710-716. Ren Guoyu, Chu Ziyang, Zhou Yaqing, et al. 2005a. Recent progresses in studies of regional temperature changes in China [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 10 (4): 710-716.
- 任国玉, 徐铭志, 初子莹, 等. 2005b. 近 54 年中国地面气温变化 [J]. 气候与环境研究, 10 (4): 717-727. Ren Guoyu, Xu Mingzhi, Chu Ziyang, et al. 2005b. Changes of surface air temperature in China during 1951-2004 [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 10 (4): 717-727.
- 任芝花, 刘小宁, 杨文霞. 2005. 极端异常气象资料的综合性质量控制与分析 [J]. 气象学报, 63 (4): 526-533. Ren Zhihua, Liu Xiaoning, Yang Wenxia. 2005. Complex quality control and analysis of extremely abnormal meteorological data [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 63 (4): 526-533.
- 屠其璞. 1980. 气温序列的延长和插补 [J]. 气象, 3 (5): 14-15. Tu Qipu. 1980. The extension and interpolation of the temperature time series [J]. Meteorology (in Chinese), 3 (5): 14-15.
- 屠其璞, 王俊德, 丁裕国, 等. 1984. 气象应用概率统计学 [M]. 北京: 气象出版社, 540pp. Tu Qipu, Wang Junde, Ding Yuguo, et al. 1984. Probability Statistics Applied in Meteorology [M] (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 540pp.
- 唐国利. 2006. 仪器观测时期中国温度变化研究 [D]. 中国科学院研究生院硕士学位论文, 75pp. Tang Guoli. 2006. Studies on the temperature changes in instrumental period in China [D]. M. S. thesis (in Chinese), Chinese Academy of Sciences, 75pp.
- 王伯民. 2004. 基本气象资料质量控制综合判别法的研究 [J]. 应用气象学报, 15 (增刊): 50-59. Wang Bonin. 2004. A study on synthetic differentiation method for basic meteorological data quality control [J]. Journal of Applied Meteorological Science (in Chinese), 15 (Suppl.): 50-59.
- 熊安元. 2003. 北欧气象观测资料的质量控制 [J]. 气象科技, 31 (5): 315-320. Xiong Anyuan. 2003. Quality control of meteorological observational data in Nordic countries [J]. Meteorological Science and Technology (in Chinese), 31 (5): 315-320.
- 么枕生, 丁裕国. 1990. 气候统计 [M]. 北京: 气象出版社, 954pp. Yao Zhensheng, Ding Yuguo. 1990. Climatic Statistics [M] (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 954pp.
- 杨贤为. 1998. 气候应用专用数据库气象资料的质量检验 [J]. 气象, 24 (12): 33-36. Yang Xianwei. 1998. Quality control of meteorological data in climatic special data bank [J]. Meteorological Monthly (in Chinese), 24 (12): 33-36.
- You J, Hubbard K G. 2006. Quality control of weather data during extreme events [J]. J. Atmos. Oceanic Technol., 23: 184-197.