

论 文

# 中国气候变化区划(1961~2010 年)

史培军<sup>①②③\*</sup>, 孙劭<sup>①②③</sup>, 汪明<sup>①③</sup>, 李宁<sup>②③</sup>, 王静爱<sup>④⑤</sup>, 金贊贊<sup>①③</sup>,  
顾孝天<sup>②③</sup>, 尹卫霞<sup>④⑤</sup>

① 北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875;

② 北京师范大学环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京 100875;

③ 民政部/教育部减灾与应急管理研究院, 北京 100875;

④ 北京师范大学地理学与遥感科学学院, 北京 100875;

⑤ 北京师范大学区域地理研究重点实验室, 北京 100875

\* E-mail: spj@bnu.edu.cn

收稿日期: 2013-11-14; 接受日期: 2014-01-14; 网络版发表日期: 2014-09-23

国家重大科学计划项目(编号: 2012CB955404, 2012CB955402)和国家自然科学基金项目(批准号: 41321001)资助

**摘要** 气候条件是人类生存与发展的重要基础, 亦是经济与社会可持续发展的重要影响因素。应对气候变化已成为世界各国政要、科学家、政府和公众高度关注的全球性问题。现行的中国气候区划均是以不同气候要素指标的多年均值为基础的, 旨在表征气候状态的区域差异。然而在气候变化速率不断加快的今天, 已有的气候区划并不能表达气候变化的区域差异, 也不能反映由气候变化所带来的灾害与环境风险。本文利用 1961~2010 年气温和降水量的变化趋势值、波动特征值定量识别气候变化, 结合中国地形特点, 以县级行政区划为单元, 完成了中国气候变化区划(1961~2010 年)。一级区划根据气温和降水量的变化趋势将中国气候变化(1961~2010 年)划分为 5 个变化趋势带, 即东北-华北暖干趋势带、华东-华中温暖趋势带、西南-华南干暖趋势带、藏东南-西南温暖趋势带以及西北-青藏高原暖湿趋势带; 二级区划根据气温和降水量的波动特征, 在一级区划基础上划分为 14 个波动特征区。

关键词  
气候变化  
区划  
气温  
降水量  
变化趋势  
波动特征  
中国

联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)于 2007 年发布的第四次评估报告显示, 近 50 年(1956~2005 年)全球地表温度的线性趋势为  $0.13^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ , 几乎是过去 100 年(1906~2005)的 2 倍; 2013 年 9 月 IPCC 发布的最新报告称, 在最低排放情景下, 到 21 世纪末, 气温将比 1850~1900 年间上升  $1.5^{\circ}\text{C}$ 。中国发布的《第二次气候变化国家评估报告》指出, 在百年尺度上, 中国的升温趋势与全球基本一致; 1951~2009 年, 中国地表温度的线性趋势为  $0.23^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。2012 年,

IPCC 发布了《管理极端事件和灾害风险增强气候变化适应特别报告》(以下简称《SREX 报告》), 将气候变化定义为“能够识别的(如采用统计检验)气候状态的变化, 即平均值变化和/或各种特性的变率, 并持续较长的时间, 一般达几十年或更长时期。气候变化或许是由于自然的各种内部过程或外部强迫所致, 或者是由于大气成分或土地利用的持久人为变化所致。”《SREX 报告》明确指出, 不断变化的气候可导致极端天气和气候事件在频率、强度、空间范围、持

中文引用格式: 史培军, 孙劭, 汪明, 等. 2014. 中国气候变化区划(1961~2010 年). 中国科学: 地球科学, 44: 2294~2306

英文引用格式: Shi P J, Sun S, Wang M, et al. 2014. Climate change regionalization in China (1961~2010). Science China: Earth Sciences, doi: 10.1007/s11430-014-4889-1

续时间和发生时间上的变化，并能够导致前所未有的极端天气和气候事件；具有高信度的是，与天气和气候灾害有关的经济损失已经增加。

应对气候变化已成为世界各国政要、科学家、政府和公众高度关注的全球性问题，其应对方法主要分为三个方面：降低脆弱性、提高恢复性和改进适应性。本文立足于改进适应性，提出适应气候变化应因地制宜，即根据不同区域的不同气候变化类型，以及不同气候变化类型与灾害和环境风险间的关系来确定具体的适应性措施。目前，全球范围内有关气候区划的研究工作已有很多，但其核心都是气候状态区划，而不是气候变化区划，不能满足当前适应气候变化的需要。

在全球尺度上，1918 年德国的柯本(Wladimir Peter Köppen)以气温和降水两个气候要素状态为基础，结合世界主要植被类型分布特征，提出了世界第一个气候定量分类指标和方法；1948 年美国的桑斯韦特(Charles Warren Thornthwaite)提出了可能蒸散量的概念和计算方法，并结合降水量定义了湿润指数，综合两个指标对世界气候状态进行分类与分区；1959 年美国的 A.N. 斯特拉勒(Arthur Newell Strahler)依据不同源地、不同性质气团的动态和锋面分布，参考气温和降水两大气候要素状态指标，建立了以气候动力为基础的世界气候分类体系，并完成了世界气候区划。

中国是世界上较早开展气候区划研究的国家之一。1929 年竺可桢发表的《中国气候区域论》标志着中国现代气候区划研究工作的开始。1959 年中国科学院自然区划工作委员会以日平均气温稳定 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 期间的积温为主要指标评价中国的热量资源状况，以干燥度为主要指标评价中国的湿润状况，再结合中国地形特点和行政区划状况，将中国划分为 8 个一级气候地区，32 个二级气候省和 68 个气候州(张宝堃和朱岗昆，1959)。1984 年气候变化这一概念正式确立，许多学者开始关注气候变化，特别是气候变暖对我国气候区划界线的影响(丁一汇，2013；沙万英等，2002；Ye 等，2003；郑景云等，2013；卞娟娟等，2013；杨建平等，2002)；并探讨了未来气候增暖背景下中国气候区划的可能变化情景(黄秉维，1993；赵名茶，1995；周广胜和张新时，1996；沈雪芳等，1996；慈龙骏等，2002)。

综上所述，以往的气候区划所采用的气候要素

指标都是其平均值的概念，例如在一定时间段内的多年平均气温、多年平均 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温和多年平均降水量等；虽然近年来已有学者关注到了气候变化对气候区划界线的影响，并对不同时间段区划的结果进行对比分析，但其本质仍然是气候状态区划。在全球气候变化的大背景下，以气候要素平均值为基础的气候状态区划并不能满足应对气候变化的需要。我们亟需一套能够诊断气候变化及其影响的区域差异的分类方法来实现气候变化区划，揭示不同区域由气候变化所可能带来的不同种类的灾害与环境风险，从而因地制宜的提出适应性对策。本文针对气候变化的本质，将气候变化分为线性变化趋势、波动特征变化和极端天气与气候事件变化，并利用中国 1961~2010 年气温和降水量的变化趋势值、波动特征值定量识别气候变化，结合中国地形特点，以县级行政单元区划为基本单元，完成了中国气候变化区划(1961~2010 年)，为中国制定适应气候变化区域差异的对策提供了依据。

## 1 数据及方法

### 1.1 数据来源

研究中使用的数据主要分为气象数据和地形数据两类。

气象数据来源为中国气象局国家气象信息中心提供的《中国地面气候资料日值数据集》。数据集为中国 756 个国家级气象站 1951 年至最新日值数据集，要素包括平均气温、日最高气温、日最低气温、日降水量、蒸发量、平均风速和日照时数等。由于中国大部分气象站的建站时间处于 1951~1960 年，根据尽量保留最多站点并保证观测时间连续的原则，研究中所用时间序列为 1961~2010 年，主要选用指标为平均气温和降水量。将该时间段内有缺测的站点剔除掉，得到可用气温观测站点 533 个，可用降水观测站点 537 个。

地形数据来源为美国地质勘探局(United States Geological Survey)提供的 Global 30 Arc-Second Elevation (GTOPO30) 高程数据集。数据集的空间分辨率为  $0.0833^{\circ} \times 0.0833^{\circ}$ (1 km 分辨率)。

### 1.2 计算方法

根据气候变化的变化趋势(上升/下降/无明显变

化趋势)和波动特征(增强/减弱/无明显波动特征)可以将气候变化分为 9 种模态(图 1). 本文利用年均气温和年降水量时间序列的变化趋势值和波动特征值进行气候变化的识别, 并以此作为气候变化区划的基础.

考虑到小的周期性振动对原始序列的干扰, 本文首先利用各个站点的年均气温、年降水量原始序列求得滑动平均序列, 并使用滑动平均序列进行变化趋势值和波动特征值的计算. 对于 50 年的原始序列, 取滑动长度为 5 年. 对于样本量为  $n$  的序列  $x_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ), 其每  $k$  年滑动平均序列  $y_j$  表示为

$$y_j = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k x_{j+i-1}, \quad j=1, 2, \dots, n-k+1. \quad (1)$$

变化趋势值的计算方法如下: 对于样本量为  $n$  的滑动平均序列  $y_j$ , 用  $t_j$  表示所对应的时刻, 建立  $y_j$  与  $t_j$  之间的一元线性回归方程:

$$\hat{y}_j = a + bt_j, \quad (2)$$

式中,  $a$  为回归常数,  $b$  为回归系数. 利用最小二乘法可求出  $a$  和  $b$ .

$$a = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_j - b \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n t_j,$$

$$b = \frac{\sum_{j=1}^n y_j t_j - \frac{1}{n} \left( \sum_{j=1}^n y_j \right) \left( \sum_{j=1}^n t_j \right)}{\sum_{j=1}^n t_j^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{j=1}^n t_j \right)^2}. \quad (3)$$

回归系数  $b$  的符号表示变量的线性趋势.  $b>0$  表明随时间增加  $y$  呈上升趋势,  $b<0$  表示随时间增加  $y$  呈下降趋势.  $b$  的大小反映上升或下降的速率, 即表示上升或下降的倾向程度. 本文将回归系数  $b$  称为变量的变化趋势值.

波动特征值的计算方法如下:

利用上一步计算得到的  $a$  和  $b$ , 得到一元线性回归方程. 则样本量为  $n$  的滑动平均序列  $y_j$  与线性回归序列的残差绝对值序列  $z_j$  表示为

$$z_j = |y_j - a - bt_j|, \quad j=1, 2, \dots, n, \quad (4)$$

将残差绝对值序列  $z_j$  的平均值称为变量的波动平均值, 计算公式如下:

$$\bar{z}_j = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n z_j. \quad (5)$$

对于样本量为  $n$  的残差绝对值序列  $z_j$ , 用  $t_j$  表示所对应的时刻, 建立  $z_j$  与  $t_j$  之间的一元线性回归方程

$$\hat{z}_j = c + dt_j. \quad (6)$$

同理, 利用最小二乘法可求出回归常数  $c$  和回归系数  $d$ .

回归系数  $d$  的符号表示残差绝对值序列的线性趋势.  $d>0$  表明随时间增加呈上升趋势, 即变量波动增强;  $d<0$  表示随时间增加呈下降趋势, 即变量波动减弱.  $d$  的大小反映上升或下降的速率, 即表示变量波动增强或减弱的倾向程度. 本文将回归系数  $d$  称为变量的波动特征值.

以北京气象站为例, 对年均气温序列(1961~2010 年)进行每 5 年滑动平均处理后, 我们可以从这条年均气温的变化曲线(图 2(a))上读出如下信息: (1) 平均值: 北京年均气温的平均值为  $12.3^{\circ}\text{C}$ ; (2) 变化趋势值: 北京年均气温的变化趋势值为  $0.56^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ; (3) 波动平均值: 北京年均气温的波动平均值为  $0.24^{\circ}\text{C}$ ; (4) 波动特征值: 北京年均气温的波动特征值为  $-0.08^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ . 同理, 从北京气象站年降水量序列(1961~2010 年)的变化曲线(图 2(b))上读出如下信息: (1) 平均值: 北京年降水量的平均值为  $549.4\text{ mm}$ ;

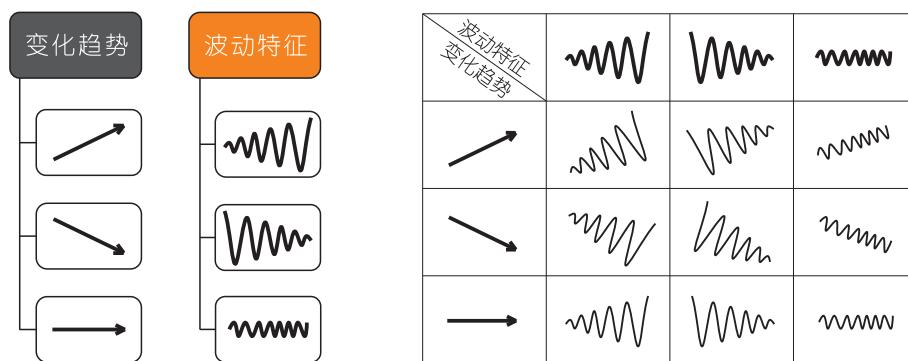


图 1 气候变化的 9 种模态

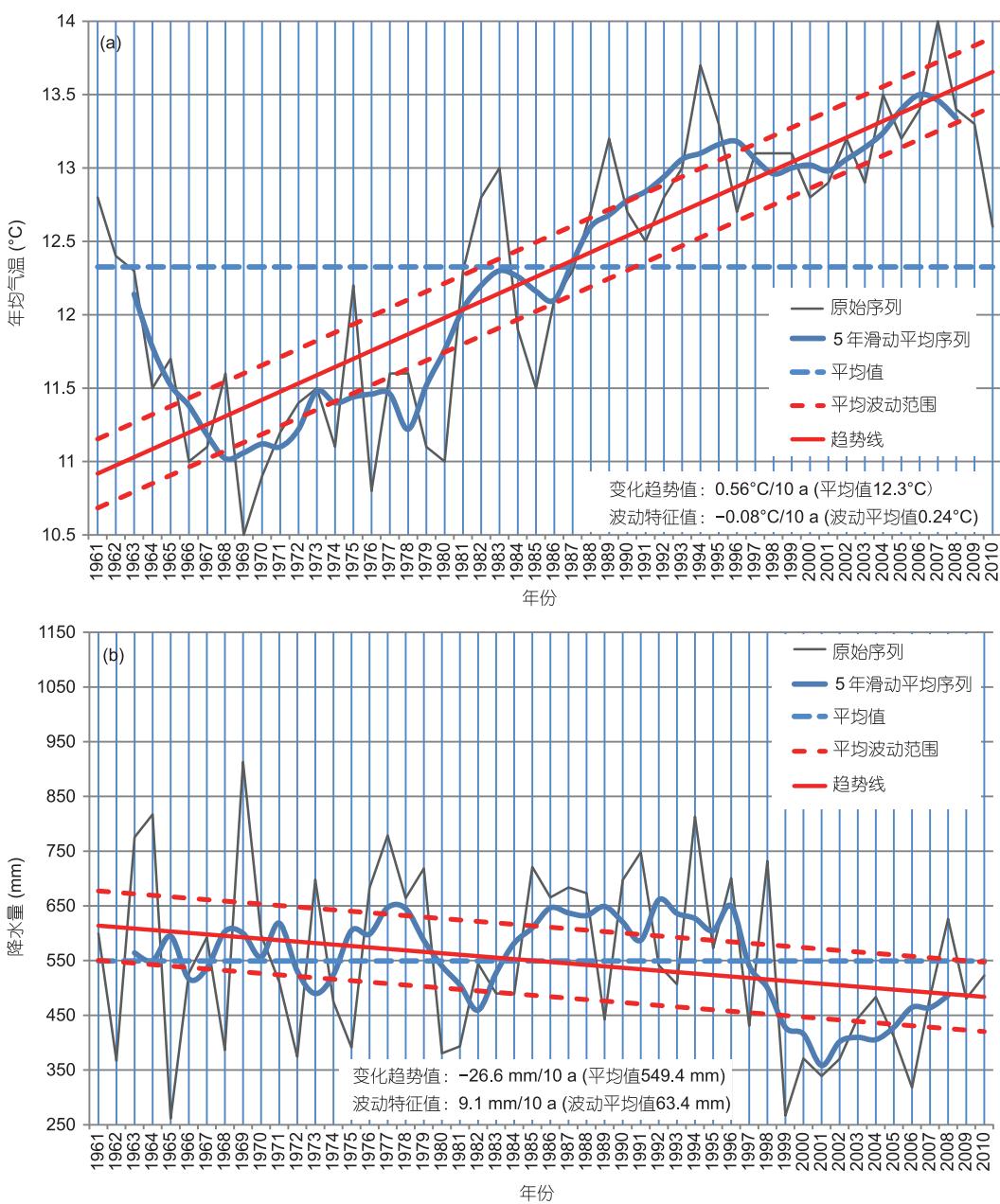


图 2 北京气象站年均气温和年降水量序列(1961~2010 年)

(2) 变化趋势值: 北京年降水量的变化趋势值为  $-26.6\text{ mm}/10\text{ a}$ ; (3) 波动平均值: 北京年降水量的波动平均值为  $63.4\text{ mm}$ ; (4) 波动特征值: 北京年降水量的波动特征值为  $9.1\text{ mm}/10\text{ a}$ .

### 1.3 置信度检验

在对变量的时间序列进行线性回归的同时, 由显著性水平计算得到置信度, 根据给定置信度对气

象站点通过检验的情况进行统计(图 3), 并参照《SREX 报告》中的置信度分类标准对能够通过检验的站点进行分类(表 1), 其中“未通过检验”表示气象站点的某项指标在该置信度下不能通过检验, 即在该置信度下无明显变化趋势或无明显波动特征。

从结果看出, 在一级指标中, 气温变化趋势在 99%~100% 置信度下, 气象站点的通过检验率达到 97%, 只有不到 3% 的站点未能通过检验; 降水量变

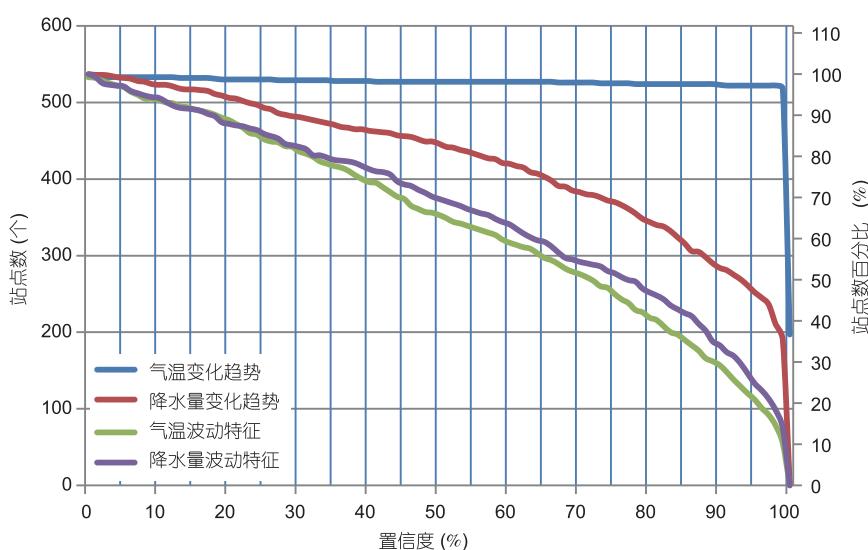


图 3 不同置信度下气象站点通过检验情况

表 1 不同置信度下站点分类统计结果<sup>a)</sup>

置信度		0~100%	66%~100% (可能)	90%~100% (很可能)	99%~100% (几乎确定)	站点 总数
一 级 指 标	气温变化趋势	上升	527(99%)	523(98%)	520(97%)	515(96%)
		下降	6(1%)	4(1%)	3(1%)	3(1%)
		未通过检验		6(1%)	10(2%)	15(3%)
二 级 指 标	降水变化趋势	上升	274(51%)	200(37%)	143(27%)	99(18%)
		下降	263(49%)	198(37%)	141(26%)	91(17%)
		未通过检验		139(26%)	253(47%)	347(65%)
二 级 指 标	气温波动特征	增强	244(46%)	131(25%)	73(14%)	28(5%)
		减弱	289(54%)	163(31%)	84(16%)	27(5%)
		未通过检验		239(44%)	376(70%)	478(90%)
二 级 指 标	降水波动特征	增强	312(58%)	195(36%)	112(21%)	50(9%)
		减弱	225(42%)	117(22%)	71(13%)	25(5%)
		未通过检验		225(42%)	354(66%)	462(86%)

a) 左侧数字代表气象站数量, 右侧括号内数值代表该类气象站占气象站总数的百分比

化趋势的通过检验率低于气温变化趋势, 但在 90%~100% 置信度下, 仍能够保证超过 50% 的站点通过检验.

在二级指标中, 气温和降水量波动特征的通过检验率大致相当, 但普遍低于其变化趋势. 在 66%~100% 置信度下, 能够保证超过 50% 的站点通过检验; 在 90%~100% 置信度下, 1/3 左右的站点通过了检验; 在 99%~100% 置信度下, 约 10% 的站点通过了检验.

#### 1.4 模态归类

在给定置信度为 90%~100% (显著性水平  $\leq 0.1$ ) 条件下, 对中国各个气象站点的气温和降水量的变

化趋势、波动特征进行识别, 根据图 1 所示的气候变化的九种模态对其识别结果进行归类, 并统计气温和降水量变化在九种模态下的气象站点数量和所占比例, 气温变化统计结果见表 2, 降水量变化统计结果见表 3.

从气候变化趋势的危险性角度出发, 在全球变暖的大背景下, 对于中国整体而言, 气温呈下降趋势比其呈上升趋势的危险性低, 故气温变化趋势的危险性从低到高的排序为: 下降趋势、无明显变化趋势、上升趋势; 与此同时, 从整体上讲中国是一个缺水的国家, 降水量呈上升趋势对中国整体有利, 下降趋势明显不利, 故降水量变化趋势的危险性从低到

**表 2 中国气象站点气温变化模态归类(1961~2010 年)<sup>a)</sup>**

波动特征	波动减弱	无明显波动特征	波动增强
	84(16%)	376(70%)	73(14%)
下降趋势 3(1%)	0(0)	1(0)	2(1%)
无明显变化趋势 10(2%)	0(0)	5(1%)	5(1%)
上升趋势 520(97%)	84(16%)	370(69%)	66(12%)

a) 说明同表 1

**表 3 中国气象站点降水量变化模态归类(1961~2010 年)<sup>a)</sup>**

波动特征	波动减弱	无明显波动特征	波动增强
	71(13%)	354(66%)	112(21%)
上升趋势 143(26%)	17(3%)	92(17%)	34(6%)
无明显变化趋势 253(48%)	38(7%)	159(30%)	56(11%)
下降趋势 141(26%)	16(3%)	103(19%)	22(4%)

a) 说明同表 1

高的排序为: 上升趋势、无明显变化趋势、下降趋势。从气候波动特征的危险性角度出发, 无论对气温变化还是降水量变化而言, 波动减弱表示气候变化的不稳定性减弱, 这显然是有利的; 而波动增强则表示气候变化的不稳定性增强, 这是不利的, 故气候波动特征的危险性从低到高的排序为: 波动减弱、无明显波动特征、波动增强。

从表 2 中可以看出, 全国气温呈上升趋势的站点比例达到了 97%, 其中气温呈上升趋势且波动增强这一组合模态对中国最为不利, 这类站点占全国站点总数的 12%; 气温呈下降趋势或无明显变化趋势的站点比例仅有 3%。从表 3 中可以看出, 降水量呈下降趋势且波动增强这一组合模态对中国最为不利, 其站点比例为 4%; 降水量呈上升趋势且波动减弱这一组合模态对中国最为有利, 其站点比例为 3%。总体而言, 在过去的 50 年中(1961~2010 年), 中国气温变化的危险性高于降水量变化的危险性。

## 2 气候变化的区域规律

### 2.1 气温变化趋势

通过对 533 个可用气温测站年均气温序列进行计算, 得到各个站点的气温变化趋势值(图 4(a)), 并

分析中国气温变化趋势(1961~2010 年)的区域规律特征(表 4; 区划特征值见网络版附表 1, <http://earth.scichina.com>, 下同)。

### 2.2 降水量变化趋势

通过对 537 个可用降水量测站年降水量序列进行计算, 得到各个站点的降水量变化趋势值(图 4(b)), 并分析中国降水量变化趋势(1961~2010 年)的区域规律特征(表 5; 区划特征值见网络版附表 1)。

### 2.3 气温波动特征

通过对 533 个可用气温测站年均气温序列进行计算, 得到各个站点的气温波动特征值(图 5(a)), 并分析中国气温波动特征(1961~2010 年)的区域规律特征(表 6; 区划特征值见网络版附表 2)。

### 2.4 降水量波动特征

通过对 537 个可用降水量测站年降水量序列进行计算, 得到各个站点的降水量波动特征值(图 5(b))。并分析中国降水量波动特征(1961~2010 年)的区域规律特征(表 7; 区划特征值见网络版附表 2)。

## 3 中国气候变化区划(1961~2010 年)

### 3.1 区划原则、指标及方法

(1) 区划原则. 区划原则是确定区划指标和制定区划方法的主要技术依据。本区划主要考虑以下 5 项基本原则: (1) 保持县级行政单元界线的完整。中国大陆共分为 2853 个县级行政单元, 在区划时沿县级行政单元的边界线划定区划界线; (2) 主导因素原则。在区划时无法同时考虑所有的气候变化因子, 因此必须选择出具有主导作用的因子作为指标进行区域划分; (3) 空间分布连续性原则。气候区划与气候分类的本质区别就在于气候区划必须考虑分区的空间分布连续性, 因而在区划过程中要根据区划空间范围的大小进行适当的取舍, 以保持区划结果的完整性; (4) 气候变化趋势和速率相结合原则。在确定区划界线时, 不仅应考虑气候因子的变化趋势, 还应同时考虑其变化速率。在分界线附近, 往往会出现气候因子变化趋势交替出现的情况, 这时应优先考虑变化速率较大的一侧, 显示气候变化特征更为显著的区域; (5) 大尺度地形单元一致性原则。鉴于我国

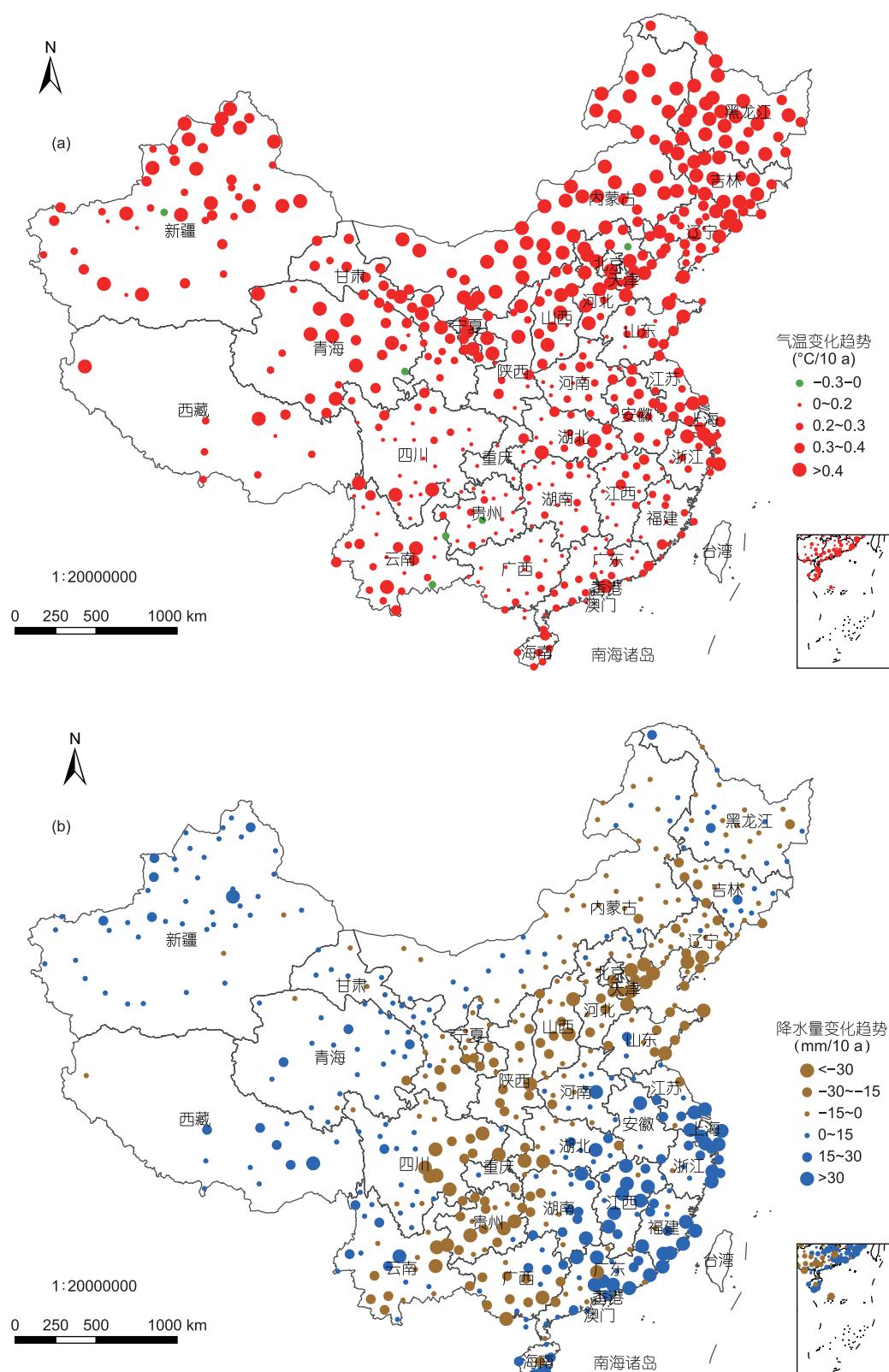


图 4 中国气温和降水量变化趋势值分布(1961~2010 年)

表 4 中国气温变化趋势(1961~2010 年)的区域规律特征

全国特征	北方气温上升速率高	南方气温上升速率低
区域特征	三北地区(东北、华北、西北)气温上升速率最高	云贵高原及南岭地区(贵州、湖南、广西、广东、江西、福建等地)气温上升速率最低
局地特征	甘南、陕南地区气温上升速率较低	长江中下游地区(上海、江苏、安徽、湖北、浙江等地) 气温上升速率较高

表 5 中国降水量变化趋势(1961~2010 年)的区域规律特征

全国特征	东部地区降水量呈快速上升趋势	中部地区降水量呈快速下降趋势	西部地区降水量呈缓慢上升趋势
区域特征	东南沿海地区、长江中下游地区(上海、江苏、安徽、浙江、江西、福建等地)降水量上升速率最高	二级阶梯(除西北地区外)大部分地区、环渤海地区降水量下降速率最高	青藏东南、阿勒泰、天山地区降水量呈较快上升趋势
局地特征	山东半岛、广西南部地区降水量呈下降趋势	松嫩平原、长白山、云贵高原西北部地区降水量呈缓慢上升趋势	青海西北、甘肃北部、蒙西、南疆地区降水量上升速率较低

三大地貌阶梯格局的存在,由于地气相互作用,使得气候变化的区域规律会受到大尺度地形单元的影响,因此在区划中需要参考大尺度地形分异综合划定气候变化区划边界。考虑到所选气象站点不能覆盖到每一个县级单元,因此,针对没有气象站点的县级单元,在区划中将大尺度地形相对一致的县级单元划分在一个气候变化区内。

根据上述气候变化区划的基本原则,本区划分为两级,其中一级区划为气候变化趋势带,二级区划为气候波动特征区。

(ii) 区划指标。气候变化趋势带划分指标和标准如下: (1) 气温变化趋势及其速率。鉴于气温变化趋势的特殊性——99%的气象站都呈气温上升趋势,本文采用全国 533 个气象站的平均气温变化速率  $0.3^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$  (1961~2010 年) 为衡量阈值,旨在表征各地区气温变化速率相对于全国平均变化速率偏大或偏小的区域差异,并据此将全国划分为气温快速上升趋势带和气温缓慢上升趋势带; (2) 降水量变化趋势及其速率。主要以降水量变化趋势作为判断依据,将全国分为降水量上升趋势带和降水量下降趋势带,在确定区划界线时以降水量变化速率的大小作为辅助指标; (3) 中国地形特征。区划时取中国地形数据作为参考指标,并注重考虑三大地势阶梯的界线。

气候变化波动特征区划分指标和标准如下: (1) 气温波动特征及其速率。主要以气温波动特征作为判断依据,将全国分为气温波动增强区和气温波动减弱区,在确定区划界线时以波动变化速率的大小

作为辅助指标; (2) 降水量波动特征及其速率。主要以降水量波动特征作为判断依据,将全国分为降水量波动增强区和降水量波动减弱区,在确定区划界线时以降水量波动变化速率的大小作为辅助指标; (3) 中国地形特征。区划时取中国地形数据作为参考指标,并注重考虑大范围的地貌因素影响。

(iii) 区划方法。根据上述的区划原则和指标体系,本区划所采取的方法为: (1) 叠置法。在气候变化趋势带和气候变化波动特征区划分完成后,采用 GIS 空间叠置法,综合分析和比较两级区划的分界线,将一级区划和二级区划的结果进行叠置; (2) 一级区划重点突出气温和降水量变化趋势的共同分界线; (3) 二级区划重点突出气温和降水量波动变化与大范围地形(高程与大地貌单元)变化共同的分界线。

### 3.2 一级区划及特征

利用气温变化趋势值计算结果(2.1 节图 4(a))和降水量变化趋势值计算结果(2.2 节图 4(b))为主要指标进行中国气候变化区划(1961~2010 年)的一级区划。本区划以中国县级行政单元为基本单元,在区划时取中国地形数据为辅助参考指标,一级区划将中国分为 5 个变化趋势带,即东北-华北暖干趋势带、华东-华中湿暖趋势带、西南-华南干暖趋势带、藏东南-西南湿暖趋势带以及西北-青藏高原暖湿趋势带(图 6),并根据指标分类统计各个气候变化趋势带的特征值(网络版附表 1)。

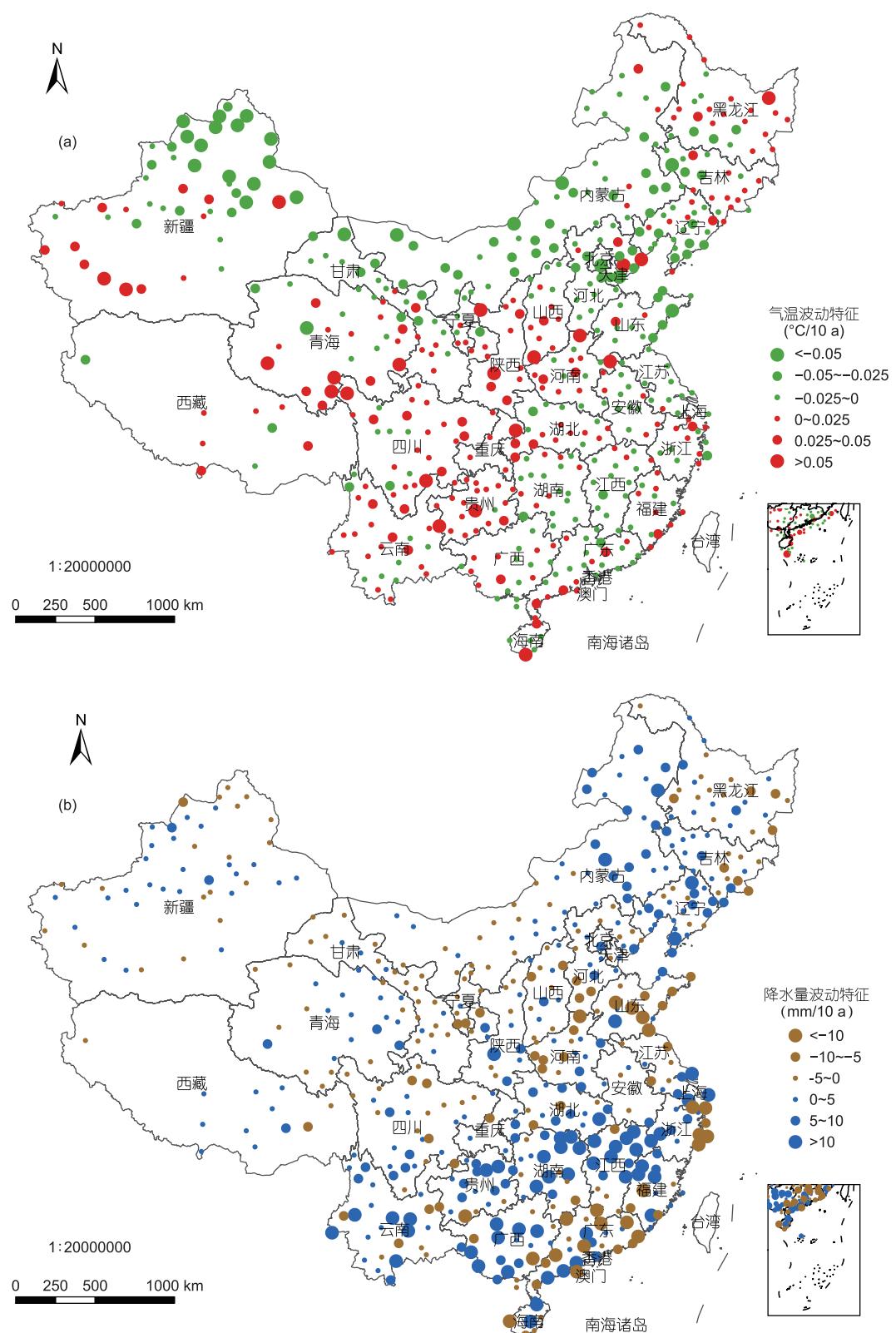


图 5 中国气温和降水量波动特征值分布(1961~2010 年)

表 6 中国气温波动特征(1961~2010 年)的区域规律特征

区域特征	东部、东北地区气温波动特征交替出现 小兴安岭、三江平原、长白山中北部(黑龙江、吉林东部)地区气温波动增强; 环渤海地区气温波动减弱	西南、青藏高原地区气温波动增强 西南中高山地、江河上游高山谷地气温波动增强幅度最大	内蒙、西北地区气温波动减弱 北疆地区气温波动减弱幅度最大; 南疆地区(塔里木盆地)气温波动特征相对交替出现
------	---	--	---

表 7 中国降水量波动特征(1961~2010 年)的区域规律特征

区域特征	南方、云贵高原降水量波动增强	华北、山东半岛、西北地区降水量增强与减弱交替出现, 且以波动减弱突出	东北地区、东南沿海降水量波动增强与减弱交替出现
局地特征	长江中下游平原降水量波动增强幅度最大, 云南、贵州、广西大部地区降水量波动明显增强	京津降水量波动增强突出, 山东、冀南降水量以波动减弱突出, 陕甘宁新降水量波动交替出现	大兴安岭降水量波动明显增强, 三江平原降水量波动减弱, 浙江沿海降水量波动明显减弱, 福建和广东沿海降水量波动相对交替出现

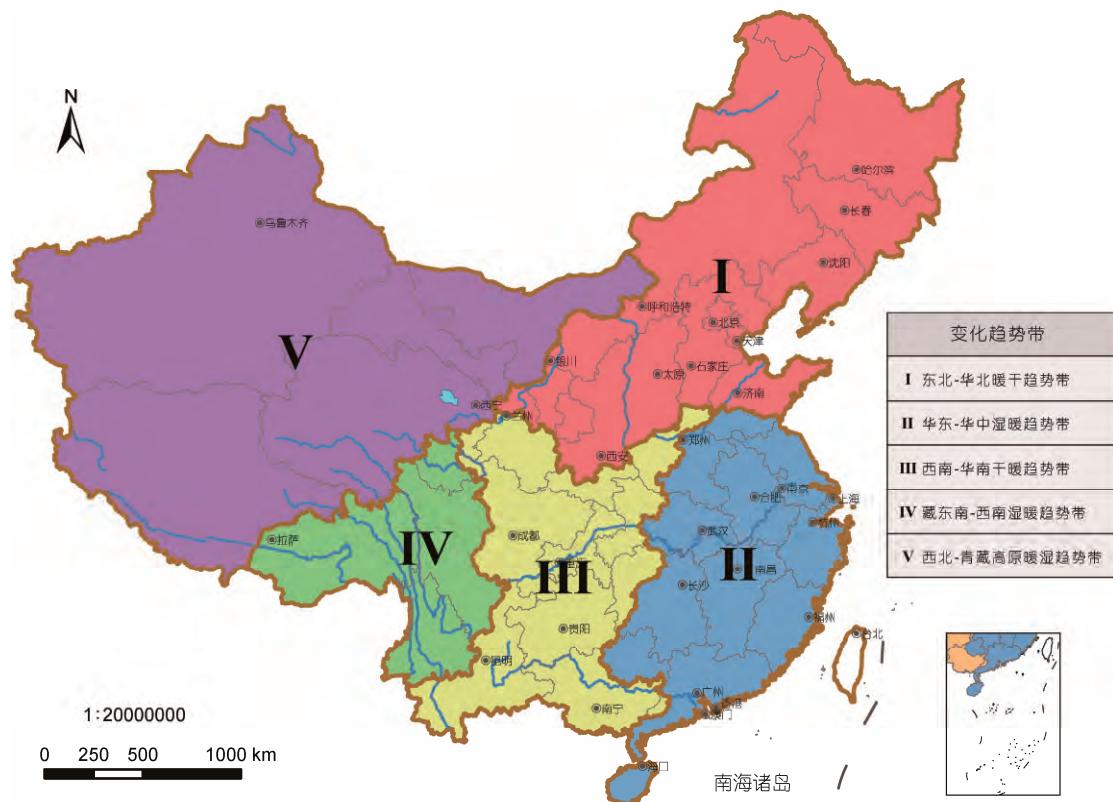


图 6 中国气候变化一级区划(1961~2010 年)

### 3.3 二级区划及特征

以中国县级行政单元为基本单元, 以中国地形为辅助参考指标, 在一级区划的基础上, 利用气温波动特征值计算结果(图 5(a))和降水量波动特征值计算结果(图 5(b))为主要指标, 进行中国气候变化区划

(1961~2010 年)的二级区划, 将中国分为 14 个波动特征区, 并根据二级区划指标分类统计各个波动特征区的特征(网络版附表 2). 将一级区划与二级区划相结合, 并根据各个区域的地貌特征进行命名, 完成中国气候变化区划(1961~2010 年)(图 7). 各区特征见网络版附表.

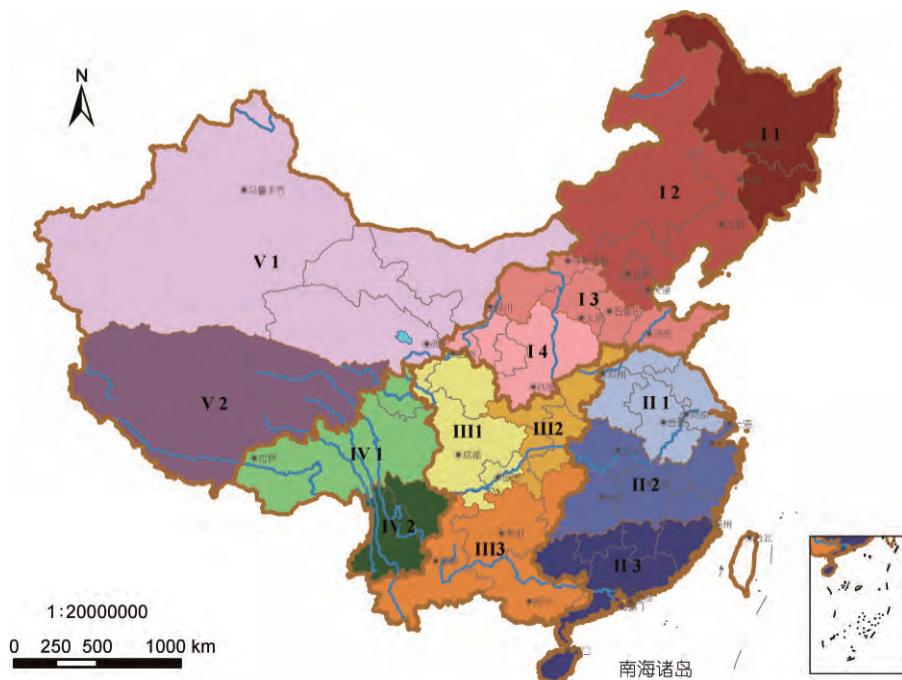


图 7 中国气候变化区划(1961~2010 年)

## 4 讨论与结论

### 4.1 讨论

(i) 数据可靠性问题。可靠的数据是进行一切科学的研究的基础, 特别是对于气候变化领域而言, 地面观测资料的质量和可靠性尤其关键。目前国内外学者在建立和分析地面气温序列时, 已经注意到以下两个方面的问题: 一是气象站迁移等造成的资料非均一性问题, 已有科学家提出均一化订正的方法(李庆祥, 2011); 二是气象站受城市热岛效应影响问题, 科学家们已遴选出一批具有代表性的乡村站作为参考站(任国玉等, 2010)。同时, 有学者发现城市化导致的大气气溶胶浓度增加对降水量观测序列也产生了一定的影响(Li 等, 2011)。

研究后发现, 由于迁站通常是由城区迁往郊区, 其受到的城市热岛效应减弱, 使得迁移后的气温序列整体下移, 有可能对气温变化趋势及其速率的计算结果产生一定影响。部分台站的线性降温趋势系观测资料的非均一性所致, 例如青海河南县气象站的年均气温在 1981 年前后发生突变, 但其前后两段气温序列皆呈上升趋势; 当然也有的降温站点未发现观测资料的非均一性问题, 比如新疆库车县气象

站等。这说明未经均一化订正的气温序列会对其变化趋势的识别产生影响, 但在本文气温变化趋势的识别结果中, 只有 6 个台站呈降温趋势, 占所选气象站点总数的 1%, 对整体影响十分有限。与此同时, 相对于均一化订正后的气温序列, 原始序列的气温变化速率可能偏低。在本项研究中, 气温变化趋势是区划的主要指标之一, 其变化速率是辅助指标。因此, 其对区划结果的影响也十分有限。本文针对全国气温变化趋势的特殊性, 采用所选全国 533 个气象站的平均气温变化速率  $0.3^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$  (1961~2010 年) 为阈值, 利用各站气温变化速率相对于平均速率偏大或偏小的区域差异, 将全国划分为气温快速上升区和气温缓慢上升区。

截至目前, 我国共有气象站 2600 余个, 其中国家级气象站 700 余个, 一般气象站 1800 余个。本项研究采用的数据全部为国家级气象站的地面观测资料, 考虑到绝大多数国家级气象站都是城镇站, 东部地区更是如此, 它们都会受到城市化的影响, 所以在这里城市热岛效应和气溶胶效应对气温和降水量观测序列的影响可以认为是系统性误差, 其对整体区划结果的影响同样十分有限。

(ii) 识别方法问题。除文中所采用的气候变化

识别方法外, 本研究也曾采用诸如集合经验模态分解(EEMD)法、贝叶斯方法等尝试识别气候变化规律, 得到了大致相同的结果。现已证实, 气候变化不仅受到自然因素的影响, 在很大程度上也受到了人类活动的影响, 所以在气候变化识别的工作中必须同时考虑两者的综合效应。未来我们将不断尝试新的气候变化识别方法, 以期提高气候变化识别的置信水平。

(iii) 时间尺度问题。气候变化区划与传统的气候状态区划有本质上的不同。气候变化区划的结果与所选择的时间尺度有很大的关系, 即在不同时间尺度下, 气变化区划结果可能表现出较大差异。本文只考虑了近半个世纪尺度上(1961~2010 年)中国气候变化的整体表现, 并没有研究年代际气候变化的区域差异。就气温变化而言, 在 0.1 显著性水平下, 有 98% 的台站通过了检验, 说明年代际尺度上的变化, 对近半个世纪尺度上的气温变化趋势在整体上没有影响, 只有变化速率上的差异; 而对于降水量变化来说, 站点的通过检验率只有 53%, 这说明在年代际尺度上, 对近半个世纪尺度上的降水量变化趋势在整体上是有影响的。在进一步的工作中, 应开展年代际气候变化规律的研究, 以揭示气候变化趋势“变化”的区域差异。

(iv) 区划基本单元问题。本文选取县级行政区划作为气候变化区划的基本单元, 即用县界限制区划边界, 主要是考虑到目前我国的灾情数据是以县域为单元进行统计的, 而本项研究的目的正是试图通过对气候变化区域差异的理解, 深入分析气候变化对灾害风险的影响机理及演变过程, 揭示以县域为单元的灾情形成原因。

我们在研究中发现, 我国东部地区气象站和县级行政区的分布相对较为密集, 各个县的气象站覆盖率较高, 也极少出现县域跨过大尺度地形单元的情况; 而西部地区的气象站分布较稀疏, 县域面积也较大, 经常需要参考地形来确定区划界线, 特别在南疆地区, 有 10 余个县域跨越了我国第二、第三级地貌阶梯(图 8), 这说明采用县界限制区划边界存在一定的局限性。当然, 就全国而言, 县域跨过大尺度地形单元的情况只是个例, 其对区划边界的影响仍然是非常有限的。随着我国灾情数据统计精度的改善, 在未来进一步深入的工作中, 可以将区划单元选择为乡镇级行政单元, 即利用乡界限制区划边界, 这样就能在一定程度上克服因区划基本单元影响区划界线这一问题。

本文目前所完成的工作主要是针对气候变化的

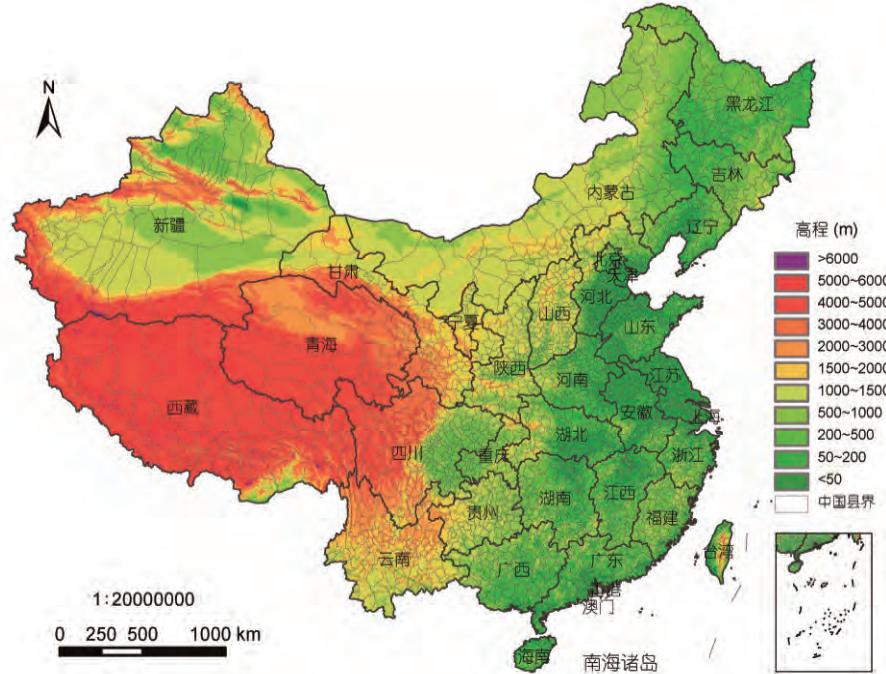


图 8 中国地形图(县界)

区域规律, 并没有考虑气候变化的成因机制。在下一步的工作中, 应深入探讨近半个世纪以来气候变化成因机制的区域差异, 例如季风区和非季风区对我国气候变化区划的影响等。此外, 应重点关注极端天气气候事件的变化对气候变化区划结果的影响。本文中所采用的气候波动特征指标在一定程度上包含了极端事件的变化, 但若要深刻理解气候在年际尺度上的显著变化, 则应考虑各类极端事件在频次和强度上的变化, 以进一步揭示气候变化的区域分异规律及其与灾害和环境风险之间的关系, 为我国更好的应对气候变化提供理论依据。

## 4.2 结论

本文以 1961~2010 年全国 756 个国家级气象站的气温和降水量两个气候指标的变化趋势和波动特征

为主要指标, 以气温和降水量的变化趋势速率和波动特征速率作为辅助指标, 以中国地形特征为参考指标, 以县级行政单元区划为基本单元, 完成了中国气候变化区划(1961~2010 年)。一级区划将中国气候变化(1961~2010 年)划分为 5 个气候变化趋势带, 即东北-华北暖干趋势带、华东-华中温暖趋势带、西南-华南干暖趋势带、藏东南-西南湿暖趋势带以及西北-青藏高原暖湿趋势带; 二级区划根据气温和降水量的波动特征, 在一级区划基础上划分为 14 个气候变化波动特征区。同时深入分析了各区的气候变化特征, 以及所处地区的行政区划、地貌、植被、水系等地理特征, 并计算了各个分区所包含面积、人口等信息, 完整的揭示了中国气候变化(1961~2010 年)的区域分异规律。

## 参考文献

- 《第二次气候变化国家评估报告》编写委员会. 2011. 第二次气候变化国家评估报告. 北京: 科学出版社. 1~78
- 卞娟娟, 郝志新, 郑景云, 等. 2013. 1951~2010 年中国主要气候区划界线的移动. 地理研究, 32: 1179~1187
- 慈龙骏, 杨晓晖, 陈仲新. 2002. 未来气候变化对中国荒漠化的潜在影响. 地学前缘, 9: 287~294
- 丁一汇. 2013. 中国自然地理系列专著·中国气候. 北京: 科学出版社. 392~418
- 黄秉维. 1993. 如何对待全球变暖问题. 见《自然地理综合工作六十年》. 北京: 科学出版社. 130~142
- 李庆祥. 2011. 气候资料均一性研究导论. 北京: 气象出版社. 1~115
- 任国玉, 张爱英, 初子莹, 等. 2010. 我国地面气温参考站点遴选的依据、原则和方法. 气象科技, 38: 78~85
- 沙万英, 邵雪梅, 黄政. 2002. 20 世纪 80 年代以来中国的气候变暖及其对自然区域界线的影响. 中国科学 D 辑: 地球科学, 32: 317~326
- 沈雪芳, 丁裕国, 石明生. 1996. 全球变暖对我国亚热带北界的影响. 南京气象学院学报, 19: 108~111
- 杨建平, 丁永建, 陈仁升, 等. 2002. 近 50 年来中国干湿气候界线的 10 年际波动. 地理学报, 57: 655~661
- 张宝堃, 朱岗昆. 1959. 中国气候区划(初稿). 北京: 科学出版社. 1~297
- 赵名茶. 1995. 全球 CO<sub>2</sub> 倍增对我国自然地域分异及农业生产潜力的影响预测. 自然资源学报, 10: 148~157
- 郑景云, 卞娟娟, 葛全胜, 等. 2013. 中国 1951~1980 年及 1981~2010 年的气候区划. 地理研究, 32: 987~997
- 周广胜, 张新时. 1996. 全球变化的中国气候-植被分类研究. 植物学报, 38: 8~17
- 竺可桢. 1929. 中国气候区域论. 见《竺可桢文集》. 北京: 科学出版社. 124~132
- IPCC. 2007. Climate change 2007: Synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC. 1~33
- IPCC. 2012. IPCC Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation (SREX). Cambridge: Cambridge University Press. 1~21
- Köppen W P. 1918. Klassifikation der Klimaten nach Temperatur, Niederschlag und Jahresablauf (Classification of climates according to temperature, precipitation and seasonal cycle). Petermanns Geogr Mitt, 64: 193~203, 243~248
- Li Z, Niu F, Fan J, et al. 2011. Long-term impacts of aerosols on the vertical development of clouds and precipitation. Nat Geosci, doi: 10.1038/NGEO1313
- Strahler A N. 1975. Classification of global climates. In: Strahler A N, ed. Physical Geography. New York: John Wiley. 243~245
- Thorntwaite C W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. Geographical Rev, 38: 55~94
- Ye D Z, Jiang Y D, Dong W J. 2003. The northward shift of climatic belts in China during the last 50 years and the corresponding seasonal responses. Adv Atmos Sci, 20: 959~967