蒋友严,黄 进. 基于GIS技术的甘肃省气温空间分布特征[J]. 干旱气象,2013,31(1):206-211. doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2013)-01-0206

基于GIS技术的甘肃省气温空间分布特征

蒋友严[1,2],黄 进[3]

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所,甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室,
中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室,甘肃 兰州 730020;
2. 西北区域气候中心,甘肃 兰州 730020;3. 甘肃省气象局减灾处,甘肃 兰州 730020)

摘 要:利用40 a气象站气温观测数据,结合GIS技术,建立甘肃省气温空间化模型,以高分辨率的DEM作为模型的输入参数实现气温数据的空间化,同时与传统的气温内插方法(反距离加权法(IDW)、克里格(Kriging)、协同克里格(Co-Kriging))的插值结果进行比较分析,结果反映利用多元回归分析+克里格方法建立的气温数据栅格化结果较好,比传统的气温内插方法插值精度高,插值结果很好的再现了原始测量结果。

关键词:气温;内插;多元回归;模型;甘肃
文章编号:1006-7639(2013)-01-0206-06 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2013)-01-0206
中图分类号:P468.0+21 **文献标识码**:A

引 言

研究某一地区多年气温变化特征及空间分布从而为农业生产更好的服务变得尤为重要,然而,由于经济、技术和人力的原因,气象站点是有限的,对于地形复杂的偏远地区,获取多年气象资料难度较大,在实际工作中,利用邻近该区域气象站点的资料,通过空间插值生成研究区气温的空间分布图,则是一种有效的解决方法。如何利用气象站观测资料,推算区域的气温分布即如何实现由点数据向面数据的转化,这方面的研究国内外比较多,MARQUNEZ[1]、张洪亮[2]等研究山区气温空间分布特征,仲嘉亮[3]对新疆的气温空间特征做了分析,张海静[4]对青海最低气温的特征做了研究,孟庆香[5]对黄土高原的气温特征做了插值方法研究。

甘肃省位于东经92°13′~108°46′和北纬32°31′~42°57′间,深居内陆,地形复杂,气候差异大,东南部湿润西北部干冷,从东南到西北几乎包括了从北亚热带湿润区到高寒区、干旱区等多种气候类型[6],省域大部分处于我国半干旱及干旱气候区,气温的空间分布研究对农业生产具有重要意义[7-8]。本文在主要综合国内外对气温空间特征分析研究的基础上,利用各常规气象站的多年气温观测数据建立甘肃省气温空间化模型,并以高分辨率的DEM作为模型的输入参数实现气温数据的空间化,同时与传统的气温内插方法(反距离加权法(IDW)、克里格(Kriging)、协同克里格(Co-Kriging))进行比较分析,揭示甘肃省气温的空间分布特征。

1 数据来源

温度数据采用甘肃省内80个常规气象观测站点数据,1970~2009年各气象站点40 a的数据。观测站点分布如图1。对数据进行精度验证,去掉异常值和缺值,对数据进行分析。

高程模型(DEM)数据采用国家基础地理信息系统之甘肃省1:20万DEM数据。

2 数据预处理

GIS空间数据处理利用ARCGIS10.0软件,属性数据的处理和分析使用Excel 2007和SPSS 19.0分析软件。

(1)使用Excel 2007和DEM数据整理80个常

收稿日期:2012-09-13;**改回日期**:2012-11-20
基金项目:气候变化专项"气候变化情景下甘肃省未来40 a干旱灾害发生趋势"及科技部农业科技成果转化资金项目(2011GB2416005)共同资助
作者简介:蒋友严(1981-),汉族,工程师,主要从事遥感监测和分析工作.

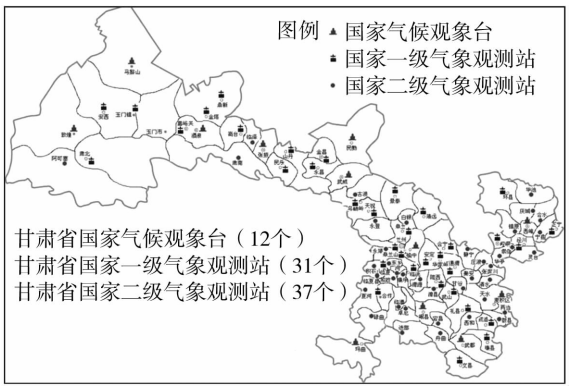

图 1　甘肃省气象观测站点分布图

Fig. 1　The observation stations distribution of Gansu Province

规气象站点的基本信息,包括站名、海拔高度、经度、纬度;整理所有气象站点的年平均气温资料。

(2)利用自己编写程序生成经纬度网络数据。数据的空间化要使用经纬度数据,而在 ARCGIS10.0 中,尽管 DEM 数据隐含有每个栅格的经纬度坐标,但不能取出来进行运算,因此需要重新构建每个栅格的经度和纬度数据。利用简单的程序生成符合要求的经度 ASCII 文件和纬度 ASCII 文件,然后再分别将它们转换为经纬度 GRID。

(3)选择验证气象观测站点气温数据。利用 ARCGIS10.0 Geostatistical Analyst 随机选取 70% 的编撰数据用于模型构建,剩余 30% 的数据用于气温栅格化数据结果的验证。

(4)在 SPSS 19.0 中,进行多元回归分析;在 ARCGIS10.0 平台中,运用 IDW、Kriging、Co - Kriging 3 种方法进行空间插值,栅格运算,制作年平均气温数据分布图。

(5)检验数据进行交叉验证,进行误差分析。

3　空间插值方法

空间插值是根据已知的空间数据估计(预测)未知空间的数据值。它的本质是根据给定的一组或多组离散点的特征值与空间位置拟合一个函数方程,该函数方程能充分反映样本点特征值与空间位置间的数据关系,从而推断研究区域范围内未知空间点的特征值[9]。本文所采用的内插方法主要是反距离加权法(IDW)、克里格(Kriging)和协同克里格(Co - Kriging)法。

3.1　反距离加权插值法(IDW)

该方法基于相近相似的原理:在空间上越靠近的 2 个事物,它们的性质就应该越相似;如果靠的越远,则 2 个事物的相似性差。也就是说如果要对未知地点进行估算的话,与未知点距离最近的若干个点对未知点的贡献最大,应该赋予更大的权重。其表达式为:

$$Z = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{(D_i)p} Z_i / \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{(D_i)p} \tag{1}$$

式中 Z 是利用周边点预测出的值,n 是预测一个未知点所使用的周边点数量,D_i 是第 i 个观测点与预测点的距离,p 是指定的权重赋值参数,Z_i 为第 i 个点的观测值。

3.2　克里格插值法(Kriging)

克里格插值法是南非地质学家 Krige 等开创的,后来经过法国著名统计学家 G. Matheron 的改进并创立了地统计学。与传统统计学预估方法相比,地统计学更注重空间位置带来的统计意义,即不仅关注在量上的差异,还关注在方向上的差异。Kriging 是建立在地质统计学基础上的一种插值方法。该方法是根据未知样点有限临域内的若干已知样本点数据,在考虑了样本点的形状、大小和空间方位,与未知点的相互空间位置关系,以及变异函数提供的结构信息之后,对未知样点进行的一种线性无偏最优估计。克里格方法的插值公式为:

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i Z(x_i) \tag{2}$$

式中 $Z(x_i)$($i = 1, \cdots, n$)为 n 个样本点的观测值,X_0 是一个未采样点,λ_i 为权重,并且其和等于 1,即:

$$\sum_{i=1}^{n} \lambda_i = 1 \tag{3}$$

插值数据的空间结构特征由半变异函数描述,其计算公式为:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} (Z(x_i) - Z(x_i + h))^2 \tag{4}$$

式中 $N(h)$ 为被距离区段分割的试验数据对数目。

3.3　协同克里格插值法(Co - Kriging)

协同克里格插值法是在克里格方法基本原理的基础上,通过考虑一个以上变量及变量之间的关系而优化估计,例如,在估计稳定同位素值时,纬度和海拔高度是附加的重要变量。该方法首先确定多个观测值之间空间相关的特征,并借助于变异函数和交叉变异函数(cross - variogram),对相关建模,然后

利用这些函数估计插值点的值。

4 模型构建

太阳辐射分布的纬度性特征决定了气温分布的纬度性,海陆分布的影响带来了温度的经向变化,海拔高度直接决定自由大气温度的垂直梯度,因此,我们可以用经纬度和海拔高度来推断气温空间变化[10-11]。在 SPSS 19.0 的支持下,以各气象观测站点的多年平均气温为输出变量,以各观测点的经度、纬度和海拔高度为输入变量进行相关分析和多元回归分析,结果表明,各观测站点的多年平均气温与经度、纬度和海拔高度显著相关。基于此建立了多年平均气温的回归关系:

$$T = 85.165 - 0.3695LON - 0.8425LAT - 0.005ALT \quad (5)$$

式中,*LON*、*LAT* 和 *ALT* 分别表示某地的经度、纬度和海拔高度,单位分别为°、°和 m。$R^2 = 0.896$,标准误差为 $SD = 1.57$。

图 2 表示各观测站点实际观测值与公式(5)计算值的线性相关关系,说明所建立的回归方程一定程度上反映了多年平均气温随经纬度和海拔高度的变化规律,可以作为气温数据空间化的依据。然而很多观测点的误差还是比较大。为了更准确的对甘肃省气温数据空间化进行研究,考虑到甘肃省地形的复杂性和气候的多变性,我们根据气候区划指标和地理特征,将甘肃省分为 6 个区[12](图 3)。

用 SPSS 19.0 软件对各分区内所有气象站点的气温值与经纬度和海拔高度进行相关分析和回归分析[13],其表达式分别为:

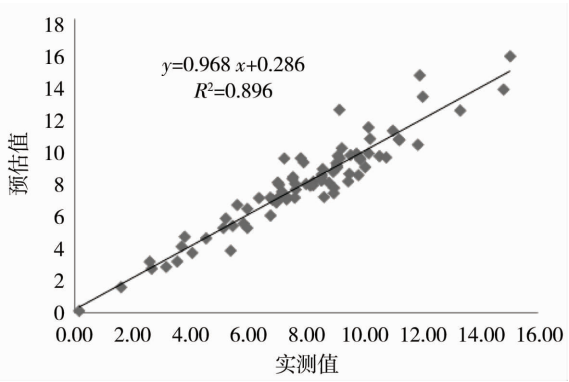

图 2 公式(5)的多年平均气温模拟值与实际观测值对比

Fig. 2 Comparison of the observed and caculated annual mean temperature by the equation 5

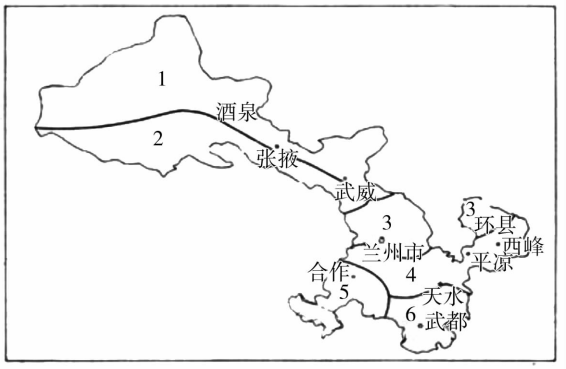

图 3 甘肃省气温内插分区

Fig. 3 The temperature interpolation zoning in Gansu Province

分区 1 :$T = 62.146 - 0.1489LON - 0.7948LAT - 0.0056ALT$ ($R^2 = 0.97$) (6)

分区 2 :$T = 163.613 - 0.7375LON - 1.8657LAT - 0.0059ALT$ ($R^2 = 0.99$) (7)

分区 3 :$T = 97.315 - 0.6809LON - 0.1847LAT - 0.0068ALT$ ($R^2 = 0.85$) (8)

分区 4 :$T = 59.093 - 0.2485LON - 0.4831LAT - 0.0048ALT$ ($R^2 = 0.91$) (9)

分区 5 :$T = 221.157 - 1.4328LON - 1.4475LAT - 0.0069ALT$ ($R^2 = 0.98$) (10)

分区 6 :$T = 294.979 - 2.6808LON + 0.3180LAT - 0.0093ALT$ ($R^2 = 0.95$) (11)

图 4 显示了公式(6)~(11)对各观测站点气温计算值与实际观测值的线性相关关系。其解释方差 93.3% 明显高于公式(5)的解释方差,标准差 0.83 ℃明显小于公式(5)的标准差 1.57 ℃。

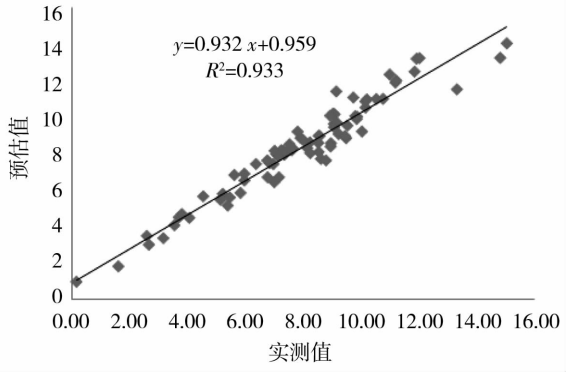

图 4 利用公式(6)~(11)对各观测站点的气温计算值与实际观测值对比

Fig. 4 Comparison of actual temperature and caculated value by multiple equations for each meteorological station

利用多元回归方法进行甘肃省气温数据栅格化的具体方法:首先用各个分区内观测点(不含检验站点)的实测气温作输出变量,以观测点的经度、纬度和海拔高度为输入变量进行多元回归,可得到回归方程和每个气象站点的气温残差。然后用回归方程和数字高程模型(DEM)计算各气象站的气温,同时用 Kriging 空间插值方法对气温残差进行空间插值,得到栅格化的残差。最后将 2 部分进行栅格运算得到估算的实际气温,其空间分布模型表达式为:

$$T = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i S_i + T_x \tag{12}$$

$$T_x = aLAT_x + bLON_x + cALT_x + d \tag{13}$$

式中 T_x 为站点 x 的多元回归模型预估气温,T 为最终的预估气温,ALT 为站点的海拔高度,LON 为站点的地理经度,LAT 站点的地理纬度,d 为常数项,S 为多元回归模型残差项。a、b、c 为回归方程系数。该模型(多元回归 + 克里格模型)基本思想是将甘肃省气温分解为随环境(经度、纬度和海拔高度)变化而变化的规律性成分和受局部非规律性成分,多元回归计算结果代表气温随环境变化的规律性成分,克里格插值后的残差代表不同大气环流、局部小地形因素和随机因素导致气温变化的非规律性成分。

5　结果分析

5.1　气温数据栅格化结果

首先利用高分辨率的 DEM 作为模型的参数,计算出甘肃省的多年气温分布图,然后用 Kriging 方法对公式的残差进行空间插值,并将 2 部分进行求和运算,即在 Arc / Info 的 GRID 中进行 2 个 grid 的求和运算,最终获得甘肃省多年平均气温分布图(图 5)。图中不仅客观细致地反映温度随经度、纬度和海拔高度梯度变化的规律性特征,而且又考虑了大气环流等影响局部气温的非规律性成分,因此该空间分布图结果比较好。

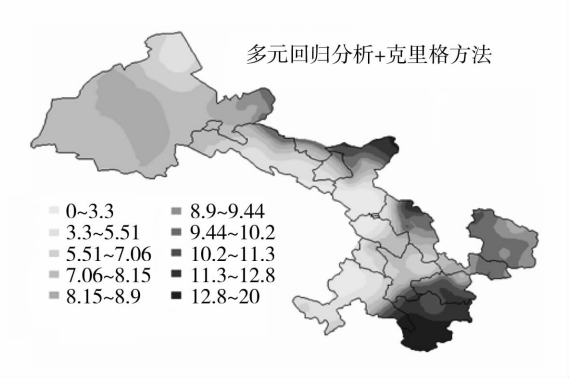

图 5　甘肃省气温空间分布图

Fig. 5　The temperature distribution in Gansu Province

5.2　与传统方法对比

本文对甘肃省气温空间化方法(多元回归分析 + 克里格方法)与反距离加权(IDW)、克里格(Kriging)和协同克里格(co - kriging)3 种方法对甘肃气温空间差值结果进行了比较,计算了 24 个验证站点所在位置的气温,并与对应观测站点的实测值进行了对比,考虑到插值结果的准确性,对各气候分区的平均绝对误差也进行了对比分析(结果见表 1)。可以看出,直接内插法的 $R^2 < 0.95$,且均方根误差均在 2 ℃左右,平均绝对误差在 1 ℃以上,远高于多元回归分析 + 克里格方法,各分区的平均绝对误差比较中,多元回归分析 + 克里格方法得到的结果误差也是最小的。并且从图5中也可以看出,多元回归

表 1　4 种方法栅格化计算结果与实测温度值的对比

Tab. 1　The grid computation results with four methods and the measured temperature

	IDW	Kriging	co - kriging	多元回归 + 克里格法
R^2	0.89	0.90	0.93	0.97
均方根误差/℃	2.0	2.09	1.92	1.08
平均绝对误差/℃	1.17	1.08	1.01	0.63
分区 1 平均绝对误差/℃	1.29	1.03	0.98	0.69
分区 2 平均绝对误差/℃	2.21	2.17	2.09	1.59
分区 3 平均绝对误差/℃	0.81	0.79	0.71	0.39
分区 4 平均绝对误差/℃	0.74	0.76	0.72	0.33
分区 5 平均绝对误差/℃	0.71	0.64	0.53	0.37
分区 6 平均绝对误差/℃	1.18	1.01	0.93	0.52

分析 + 克里格方法的插值效果也比其它 3 种要好。分析其原因在于,尽管气温在甘肃省变化有连续性,但由于甘肃省地形结构的复杂性和河西气象站点分布的相对稀疏,直接内插很难顾及这种地形和气温剧烈变化的情况,因此精度较低。而多元回归分析 + 克里格方法即使在采样点相对稀疏的地区,同样能够获得比较高的插值结果。当然,由于河西祁连山地区站点相对较少,气温受地形影响较大,有误差也是不能避免的。

5.3 插值结果与原始观测数据的对比分析

在采用空间内插方法对原始观测资料进行插值时,如果观测点位置正好落在插值网格点上,则对于本文所提出的插值方法,若不附加任何平滑处理,此网格点的插值结果应该与原始观测值一致。为了检验插值后的结果与原始观测值有多大偏差,将已经插值处理好的网格化数据与构建模型的 56 个实测气温数据作进一步分析比较。计算结果(图 6)表明,插值结果很好地再现了原始观测结果。

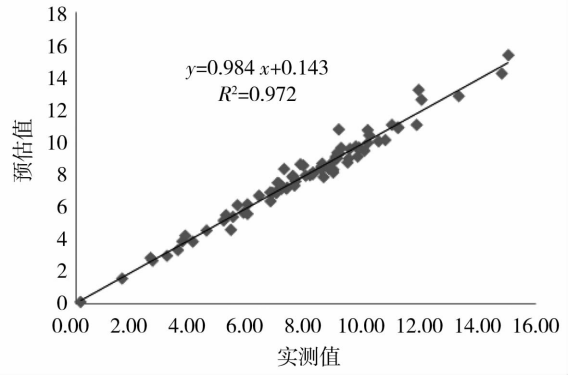

图 6 甘肃省实测气温与插值结果对比

Fig. 6 The measured temperature and the interpolation results of Gansu Province

6 结论与讨论

(1)多元回归分析 + 克里格方法模型不仅客观细致地反映温度随经度、纬度和海拔高度梯度变化的规律性特征,而且又考虑了大气环流等影响局部气温的非规律性成分,气温数据栅格化结果较好;

(2)与传统的空间插值方法比较,直接内插法的 $R^2 < 0.95$,且均方根误差均在 2 ℃左右,平均绝对误差在 1 ℃以上,远高于多元回归分析 + 克里格方法。在各分区的平均绝对误差比较中,多元回归分析 + 克里格方法得到的结果误差也是最小的;多元回归分析 + 克里格方法模型的插值结果与实测温度具有很好的相关关系,$R^2 = 0.972$,说明插值结果很好的再现了原始观测结果。

(3)海拔高度、坡度、坡向以及周围地形遮蔽的作用,造成山区各部位接受到的太阳辐射能量有很大的差异,继而会影响气温,模型中仅考虑了海拔高度并没有考虑坡度、坡向等因素,在下一步工作中需要进一步完善。

参考文献:

[1] MARQUNEZ J, LASTRA J, GARCA P. Estimation models for precipitation in mountainous regions: the use of GIS and multi - vitiate analysis[J]. Journal of Hydrology, 2003, 270(1):1 - 11.

[2] 张洪亮,倪稍祥,邓自旺,等. 基于 DEM 的山区气温空间模拟方法[J]. 山地学报,2002,20(3):360 - 364.

[3] 仲嘉亮. 基于 RS 和 GIS 技术的新疆气温空间插值方法探讨[J]. 沙漠与绿洲气象,2007,1(4):33 - 35.

[4] 张海静,周秉荣,金元峰,等. 基于 GIS 技术的青海省最低气温空间插值方法探讨[J]. 草叶科学,2010,27(9):6 - 10.

[5] 孟庆香,刘国彬,杨勤科. 基于 GIS 的黄土高原气象要素空间插值方法[J]. 水土保持研究,2010,17(1):11 - 14.

[6] 伍光和,江存远. 甘肃省综合自然区划[M]. 兰州:甘肃科学技术出版社,1998.

[7] 谭启后,褚友余. 甘肃省干旱半干旱地区降水的研究[J]. 干旱区资源与环境,1991,5(2):50 - 59.

[8] 宁惠芳,林婧婧,陈佩璇. 甘肃省气候暖干化与农业干旱灾害的联系[J]. 干旱气象,2010,28(2):198 - 201.

[9] 唐国栋,柯长青. 中国西部地区积雪深度的空间插值比较[J]. 遥感技术与应用,2007,22(1):39 - 44.

[10] 傅抱璞. 地形和海拔高度对降水的影响[J]. 地理学报,1992,47(4):302 - 314.

[11] 李粉玲,李京忠,刘勇. 基于 MODIS 的祁连山地区陆面温度空间分布研究[J]. 干旱气象,2008,26(2):41 - 47.

[12] 杨绚,李栋梁. 中国干旱气候分区及其降水量变化特征[J]. 干旱气象,2008,26(2):17 - 24.

[13] 徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 北京:高等教育出版社,2002.

The Temperature Spatial Distribution Characteristics Based on GIS Technology in Gansu Province

JIANG Youyan[1,2], HUANG Jin[3]

(1. *Institute of Arid Meteorology of CMA, Key Open Laboratory of Arid Climatic Change and Disaster Reduction of CMA, Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Lanzhou* 730020, *China*; 2. *Northwest Regional Climate Center, Lanzhou* 730020, *China*; 3. *Meteorology Disaster Reduction Department of Gansu Province, Lanzhou* 730020, *China*)

Abstract: Based on the GIS technical, the temperature spatial model was established by using observation data in weather stations of Gansu Province, and the spatial data of temperature were achieved when we took the high resolution DEM as the model input parameters, which was compared with the interpolating results from the traditional temperature interpolation method (inverse distance weighting method IDW), Kriging and Co – Kriging. The results of multiple regression analysis showed that the temperature data grid result by using the multiple regression analysis and Kringing method was better than that by using the traditional method, and the interpolation precision was higher also, the interpolation results represented the original measurement results well.

Key words: temperature; interpolation; multiple regression; model; Gansu

(上接第 198 页)

Advances of Research About High Temperature Events and Its Meteorological Disaster in China

XIONG Yajun[1], YU Ping[2], HU Haibo[3]

(1. *Beijing Meteorological Observatory, Beijing* 100089, *China*; 2. *Heyuan Meteorological Bureau of Guangdong Province, Heyuan* 517000, *China*; 3. *The Institute of Urban Meteorology, CMA, Beijing* 100089, *China*)

Abstract: The high temperature is a kind of disaster weather with serious harmfulness. Its occurrence and development should not only be related to the atmospheric circulation, but also have a connection with other factors such as heat island effect, terrian and temperature increase due to subsidence flow. In the paper, a brief retrospect about relative researches in China were made from three aspects of climatic characteristics of high temperature, relationship of high temperature and atmospheric circulation, and risk assessment of high temperature meteorological disaster. Some advances in study of high temperature meteorological disaster were also systematically revealed in this paper.

Key words: high temperature; meteorological disaster; research advance