

专题报道

基于UWYO大气探空廓线的中国区域大气模式构建*

桂阳¹, 段四波^{1*}, 杨晶晶², 高彩霞³, 刘萌¹, 黄成¹

(1. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京100081; 2. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西712199; 3. 中国科学院空天信息创新研究院, 北京100094)

摘要:【目的】常规大气辐射传输模型的标准大气模式仅适合表征大尺度区域的大气特征, 难以精确刻画局地大气特性的动态变化, 这会对局地地表温度、土壤湿度等参数的反演和验证精度造成影响, 从而限制了这些参数在农业生产、农业气象灾害监测等方面的应用。【方法】文章利用1973—2019年的UWYO大气探空廓线构建了中国五大气候区的局地大气模式, 对大气压强、温度和湿度廓线进行了特征分析, 并对比了利用局地大气模式与MODTRAN5.2内置大气模式计算的大气水汽总量和平均大气透过率。【结果】大气温度和水汽质量混合比廓线具有明显的区域和季节特征, 在1 km高程处, 相同季节不同气候区的大气温度及水汽质量混合比最大差异分别约为26 K和9.7 g/kg, 相同气候区不同季节的大气温度及水汽质量混合比最大差异分别约为21 K和11.3 g/kg。局地大气模式计算的大气水汽总量和平均大气透过率也呈现区域和季节特征, 且波段越大特征越明显。其中, 大气水汽总量的最高值和最低值分别约为6 g/cm²和0.6 g/cm², 平均大气透过率的最高值和最低值分别约为0.82和0.32。与MODTRAN5.2内置大气模式相比, 局地大气模式计算的大气水汽总量及平均大气透过率更贴合中国五大气候区的实际情况。【结论】局地大气模式可以有效地提高中国区域的大气辐射传输模拟精度、可以真实地反映具体地区的大气特征动态变化, 从而可以在局地地区反演得到更加精确的地表温度、土壤湿度等环境参数, 这对区域尺度的农业生产、农业气象灾害监测等方面的农业研究具有重要意义。

关键词: UWYO廓线; MODTRAN5.2; 中国五大气候区; 局地大气模式

DOI: 10.12105/j.issn.1672-0423.20210605

0 引言

由大气廓线建立的大气模式不仅在反演地表温度、土壤湿度等环境变量中扮演重要角色, 在农业气象灾害监测等方面也起着至关重要的作用^[1]。大气廓线根据来源通常分为大气探空廓线、卫星反演大气廓线和再分析大气廓线, 数据主要包括大气廓线的经纬度信息、时间信息以及不同高程所对应的气压、温度、湿度和臭氧等大气参数信息。在诸多大气内外部因子中, 温湿压参数对大气辐射传输的影响最为显著。目前, 国内外发

收稿日期: 2021-11-15

第一作者简介: 桂阳(1997—), 硕士研究生。研究方向: 定量遥感。Email: 18285626099@163.com

* 通信作者简介: 段四波(1983—), 研究员。研究方向: 定量热红外遥感。Email: duansibo@caas.cn

* 基金项目: 国家重点研发计划(2018YFB0504804)

2021年12月

布了LBLRTM、6S、LOWTRAN、MODTRAN和FASCODE等一系列大气辐射传输模型^[2-6]，用于模拟大气辐射传输过程以获取准确的大气参数。考虑到全球范围的通用性，这些大气辐射传输模型内置了由前美国空军地球物理实验室建立的6种典型大气模式供用户选择使用。

常规大气辐射传输模型内置的大气模式虽对全球区域具有一定的适用性，但也仅适合表征大尺度区域大气特性。中国国土面积辽阔，拥有复杂多样的地理条件和气候类型。若仅简单套用内置大气模式对中国具体地区进行大气辐射传输模拟研究，不仅将难以精确刻画具体地区大气特性的动态变化特征，也会对地表温度、土壤湿度等环境参数的反演及相关产品验证造成影响，从而限制这些参数在农业领域上的应用。为此，众多学者相继开展了中国区域大气模式的研究。如漆成莉等在2004年对中国典型区域不同季节的大气样本库进行了时空分析，并在2010年提出了一种挑选符合中国区域特征的大气廓线样本库的方法^[7-8]；陈秀红等利用中国典型区域大气模式分析了红外透过率的变化特征^[9]；秦琦冰等和李禧亮等分别以厦门和张家口为例模拟构建了大气温湿廓线并进行了时空分析^[10-11]；孙囡等利用SBDART辐射传输模式自带的大气温湿廓线和东部地区的74个探空站点测得的实际大气温湿廓线进行对比，并分析了不同温湿廓线对辐射计算的影响^[12]。这些研究在如何提高大气辐射传输模拟精度的问题上起到了很好的借鉴作用，但其范围只局限在几个特定区域大气模式的对比分析上，难以满足整个中国实际大气状况的大气模式需求。

因此，建立符合中国大气状况的局地大气模式十分有必要。文章基于1973—2019年的UWYO大气探空廓线，通过曲线拟合的方法构建了中国五大气候区4个季节的大气压强、温度和湿度廓线模式，以提高局地大气辐射传输模拟精度和环境参数反演的精度，从而为农业生产、农业灾害监测等农业研究提供更为精确的大气特征、地表温度、土壤湿度等参数。

1 数据和方法

1.1 UWYO大气探空廓线

使用的大气探空廓线来自美国怀俄明大学（the University of Wyoming），以下简称为UWYO大气廓线。该大气廓线从1973年覆盖至今，凭借其较高的时间分辨率和数据分布范围广的特点，被广泛应用到气候和遥感领域的研究中。用户可以从UWYO网站（[http://weather.uwyo.edu/upper air/sounding.html](http://weather.uwyo.edu/upper%20air/sounding.html)）获取每日0时和12时UTC时间的大气廓线数据。根据中国气候带和地势的分布特征，该研究使用1973—2019年分布在中国五大气候区的86个UWYO探空站点大气廓线构建局地大气模式。表1统计了这86个探空站点在中国各气候区的数量，其中：高原山地气候区和热带季风气候区分别有9个和3个探空站点；温带大陆性气候区、温带季风气候区和亚热带季风气候区的探空站点数量分别为21、20和33。每个气候区下UWYO大气廓线中的高程、气压、温度及水汽质量混合比作为构建该区域大气模式的输入参数。

表 1 中国五大气候区 UWYO 地基探空站点信息

Table 1 The information of UWYO radiosonde stations about five climate zones in China

中国气候区	站点数量	站点名称
高原山地气候	9	西宁、格尔木、都兰、合作、玉树、甘孜、那曲、昌都、拉萨
热带季风气候	3	腾冲、海口、西沙岛
温带大陆性气候	21	海拉尔、伊宁、锡林浩特、乌鲁木齐、二连浩特、哈密、额济纳旗、马鬃山、库车、呼和浩特、临河、敦煌、酒泉、喀什、若羌、民勤、银川、和田、民丰、榆中、精河
温带季风气候	20	嫩江、伊春、哈尔滨、长春、通辽、延吉、赤峰、沈阳、临江、北京、大连、太原、章丘、延安、青岛、平凉、郑州、徐州、南阳、阜阳
亚热带季风气候	33	射阳、汉中、南京、上海、温江、宜昌、武汉、安庆、恩施、杭州、重庆、衢县、洪家、南昌、西昌、怀化、邵武、威宁、贵阳、福州、赣州、郴州、桂林、台北、昆明、厦门、百色、清远、梧州、蒙自、汕头、思茅、南宁

1.2 大气辐射传输模型 MODTRAN5.2

中分辨率大气辐射传输模型 MODTRAN5.2 是 LOWTRAN 的改进模型。利用该模型可以计算大气透过率和大气水汽总量等参数。从特点上来说，它能在 Windows 环境下运行操作，模型选择性强且数据输入和结果输出都很方便，最重要的是模拟的辐射过程几乎考虑了大气中所有大气分子的吸收、散射效应，因此被广泛应用于大气透过率等大气参数的仿真计算^[13]。MODTRAN5.2 的输入文件由五类输入参数组成，分别为控制运行参数、传感器参数、大气参数、观测几何条件以及地表参数。其中，输入参数包括了 6 种典型气候的大气模式：热带、亚北极夏（冬）季、中纬度夏（冬）季和美国 1976 标准大气模式。这 6 种内置大气模式定义了大气压强、温度、湿度和臭氧等大气参数的垂直廓线。图 1 显示了这 6 种内置大气模式的大气压强、温度和水汽质量混合比的垂直分布图。此外，用户还可以输入自定义的大气模式代替模型中内置的大气模式，以满足大气科学研究的需求。

1.3 研究方法

100 km 以下的大气几乎包含了全部大气质量^[14]，因此构建 0~100 km 高程的局地大气模式能够满足科学研究的高精度要求。由于 UWYO 大气廓线缺少 50 km 以上的观测数

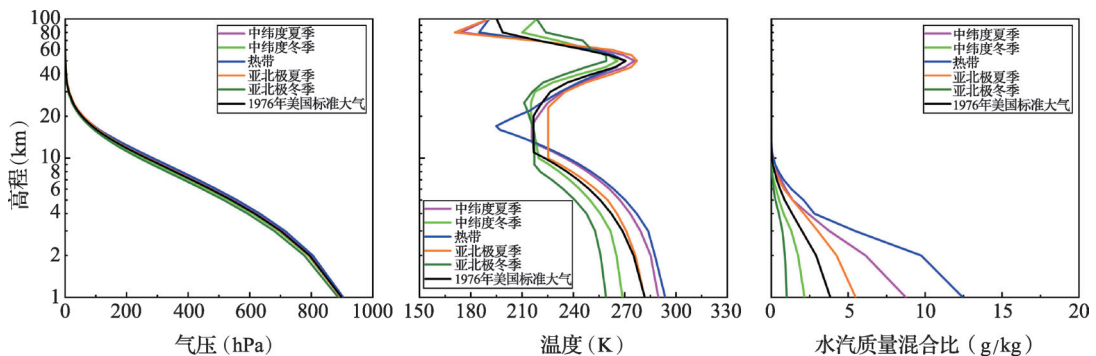


图 1 MODTRAN5.2 内置 6 种典型大气模式的大气参数的垂直分布

Fig.1 Vertical distribution of atmospheric parameters in six typical MODTRAN5.2 built-in atmospheric models

2021年12月

据,为贴近每个气候区的实际大气特性,0~50 km的局地大气模式利用UWYO大气廓线构建,而高层大气稀薄且稳定,利用大气辐射传输模型MODTRAN5.2内置大气廓线将局地大气模式从50 km补充至100 km即可。其中,热带季风气候区4个季节的50~100 km廓线都由MODTRAN5.2内置的热带大气模式进行补充,其余4个气候区的夏季和秋季廓线由MODTRAN5.2内置的中纬度夏季大气模式进行补充,春季和冬季廓线由MODTRAN5.2内置的中纬度冬季大气模式进行补充。基于不同高程范围内大气分布的变化规律,利用UWYO大气廓线分段拟合每个气候区4个季节的高程与大气参数的函数表达式系数,再根据拟合系数分段计算每个预定义高程处的压强、温度和水汽质量混合比参数值构建中国五大气候区4个季节的0~50 km大气廓线。局地大气模式构建流程如图2所示。

依据五十多年中国对流层实际高度的变化情况^[15],可以分为0~16 km和16~50 km两段表征气压随高程变化的大致特性。利用UWYO大气廓线中高程与气压数据进行曲线拟合,得到高程与气压之间呈指数形式的拟合函数:

$$P = \exp\left(\frac{1}{b} \ln \frac{H - c}{a}\right) \quad (1)$$

式(1)中, P 为相应高程下的气压值; H 为高程值; a 、 b 、 c 为高程与气压之间关系式的拟合系数。

高程-气温之间的大气模式借鉴了《1976,美国标准大气》中提及的分层思路及线性关系拟合系数^[16]。将UWYO大气廓线的气温数据按照0~11 km、11~16 km、16~30 km、30~50 km共4段分别进行拟合。0~50 km的高程-气温模式的拟合函数表达式为:

$$T = d \times H + f \quad (2)$$

式(2)中, T 为相应高程下的气温值; d 和 f 为高程与气温之间关系式的拟合系数。

大气水汽值一般集中在10 km以下,而10 km以上的水汽值接近为0且变化幅度极小,因此高程-水汽质量混合比的拟合不对高程进行分层。高程与水汽质量混合比的拟合函数表达式为:

$$MIXR = g \times \exp(k \times H) \quad (3)$$

式(3)中, $MIXR$ 为相应高程下的水汽质量混合比; g 和 k 为高程与水汽质量混合比之间关系式的拟合系数。

2 结果与分析

2.1 大气压强、温度和湿度廓线特征

图3显示了五大气候区4个季节的大气压强的垂直分布。整体来看,大气压强在不同的季节和气候区差异不大,表明大气压强廓线的季节和区域特征不明显。且气压均呈现随高程的增大而减小的变化规律,这是由于大气层的空气密度随高度而减小,高程越高空气越稀薄,因此高程越高气压值越小。仔细观察发现,气压廓线的垂直分布的变化趋势也都高度相似。具体而言,高程在1 km处大气气压均为900 hPa左右,在1~30 km的高

程范围内气压变化幅度较大，40 km 以上大气气压基本为 0 hPa，其中各气候区的夏季气压廓线相似程度最高。进一步对比图 3 和图 1 可知，五大气候区的气压廓线与 MODTRAN5.2 内置气压廓线也几乎一致，这充分表明该研究的高程-气压拟合函数及高程分段吻合高程与压强的分布规律。

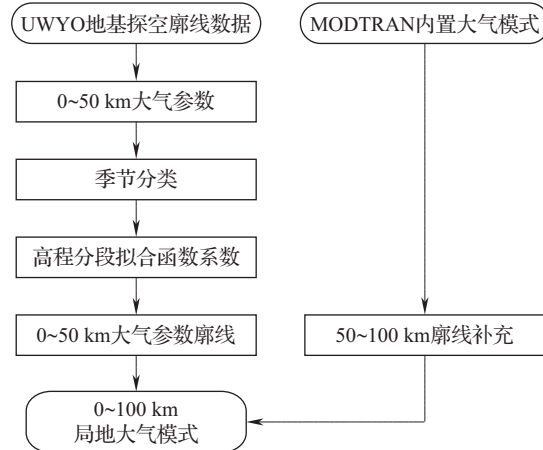


图 2 局地大气模式构建流程

Fig.2 Local atmospheric model construction process

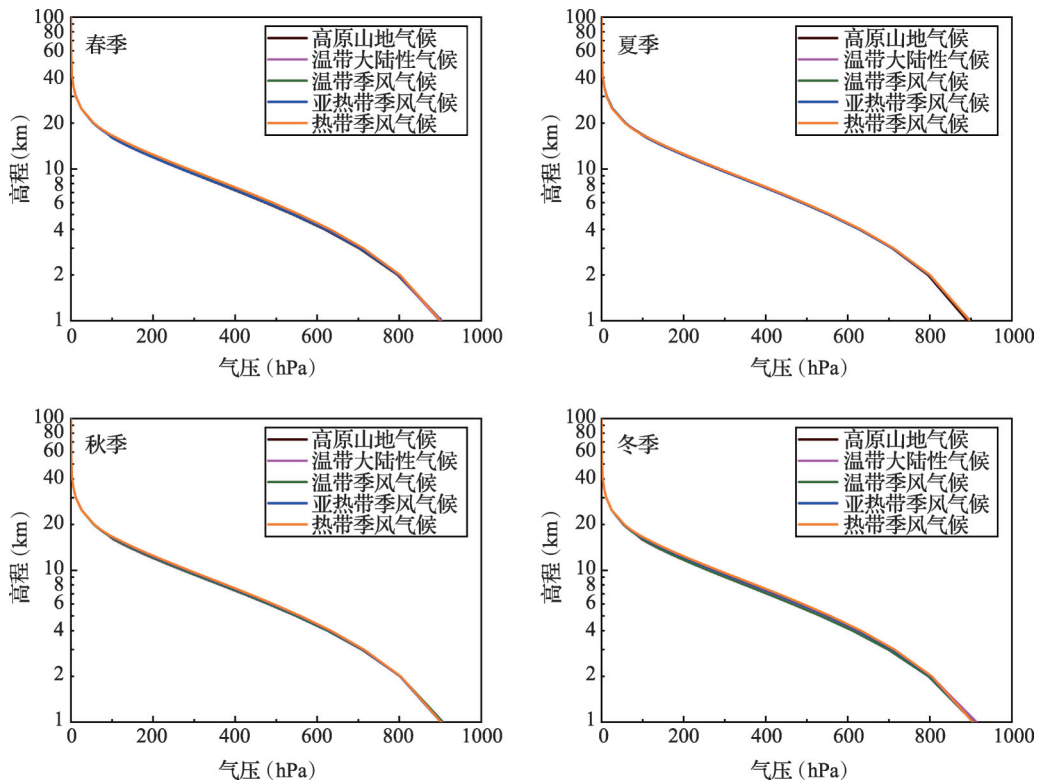


图 3 五大气候区 4 个季节的大气压强的垂直分布

Fig.3 Vertical distribution fitting of atmospheric pressure on four seasons in five climate zones

2021年12月

图4显示了五大气候区4个季节的大气温度的垂直分布。从图4可以看出，大气温度廓线的垂直分布特征明显。具体而言，五大气候区的大气温度廓线都在16 km、50 km、80 km附近出现拐点，且均呈现在0~16 km和50~80 km范围内大气温度与高程成反比，在16~50 km和80~100 km范围内大气温度与高程成正比的变化规律。结合大气层分层特点发现，16 km、50 km及80 km附近出现拐点的原因是由于这3个高程值分别位于对流层与平流层、平流层与中间层、中间层与热层的交界处附近，且大气温度与高度的变化规律符合对流层和中间层上冷下热、平流层和热层上热下冷的特点^[17]。进一步对同一气候区不同季节的大气温度廓线进行比较发现，温度廓线具有明显的季节特征，大气温度按季节排序大致都为夏季>秋季>春季>冬季。其中，热带季风气候区的大气温度廓线的波动随季节变化最稳定，这主要是由于全年高温多雨导致的。不考虑补充的大气廓线数值，最大温差出现在1 km处的温带大陆性气候区的夏季和冬季，约为26 K。再对不同气候区同一季节的大气温度廓线进行比较发现，大气温度廓线也具有明显的区域特征，不考虑补充的大气廓线数值，最大温差出现在1 km处冬季的热带季风气候区和温带季风气候区，约为21 K。

图5显示了五大气候区4个季节的大气湿度的垂直分布。从图5可以看出，大气水汽质量混合比受高程的影响显著，呈现随高程的增大而降低的变化趋势。当高程大于20 km时大气水汽质量混合比基本为0。不仅如此，大气水汽质量混合比廓线呈现季节性变化，

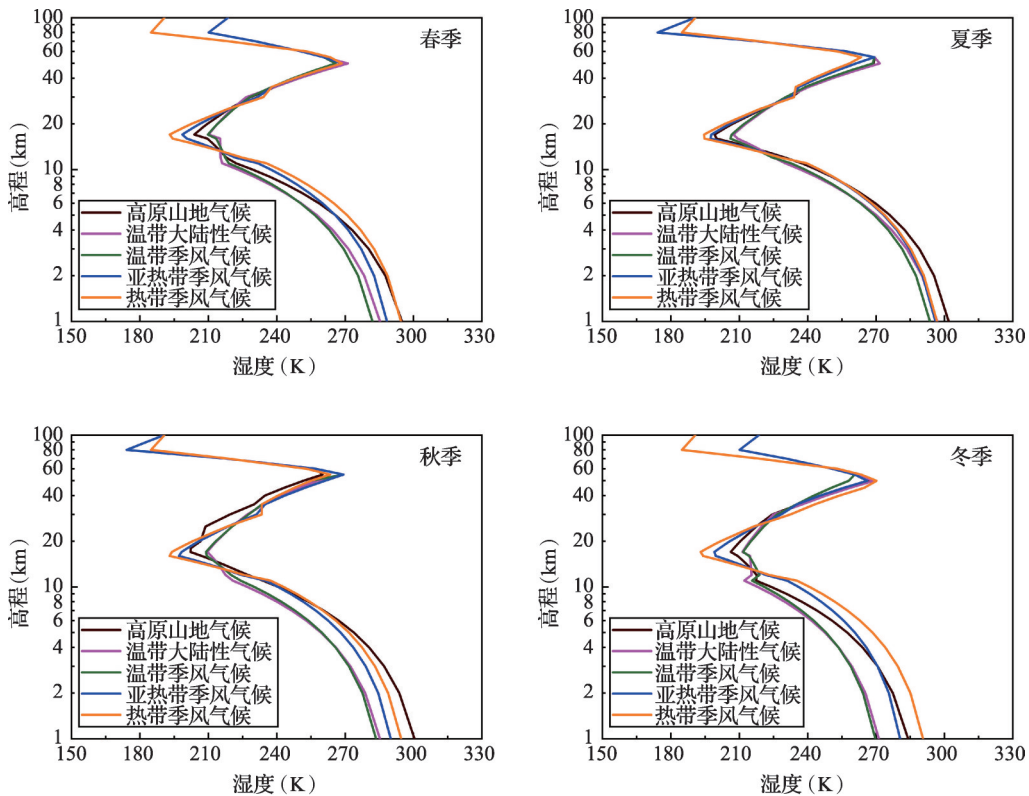


图4 五大气候区4个季节的大气温度的垂直分布

Fig.4 Vertical distribution of atmospheric temperature on four seasons in five climatic zones

每个气候区的大气水汽质量混合比都是夏季高冬季低，符合夏季降雨多，冬季降雨少的规律。高原山地气候区 1 km 处的夏季和冬季的大气水汽质量混合比相差最大，约为 11.3 g/kg。按照不同气候区进行比较发现，大气水汽质量混合比廓线也呈现区域特征，相同季节下的大气水汽质量混合比排序具有一致性，均为热带季风气候>亚热带季风气候>高原山地气候>温带季风气候>温带大陆性气候，其主要原因是受到海陆差异性及冬夏季风的影响，且春季 1 km 处的热带季风气候区和温带大陆性气候区的大气水汽质量混合比相差最大，约为 9.7 g/kg。但需要注意的是，高原山地气候区和温带大陆性气候区的冬季大气水汽质量混合比廓线基本重合，这可能是因为冬季西北季风是从西伯利亚和蒙古高原向中国大陆吹来，带来的是寒冷干燥的气流，降水极少。此外，高原山地气候区和亚热带季风气候区的夏季大气水汽质量混合比廓线在 2 km 以上基本一致且较高，其原因可能是位于高原山地气候区的 UWYO 站点少且多分布在青藏高原东侧和南侧的迎风坡，在夏季易受到东南季风和西南季风的影响，为高原山地气候区带来大量的水汽，形成较多的降水。

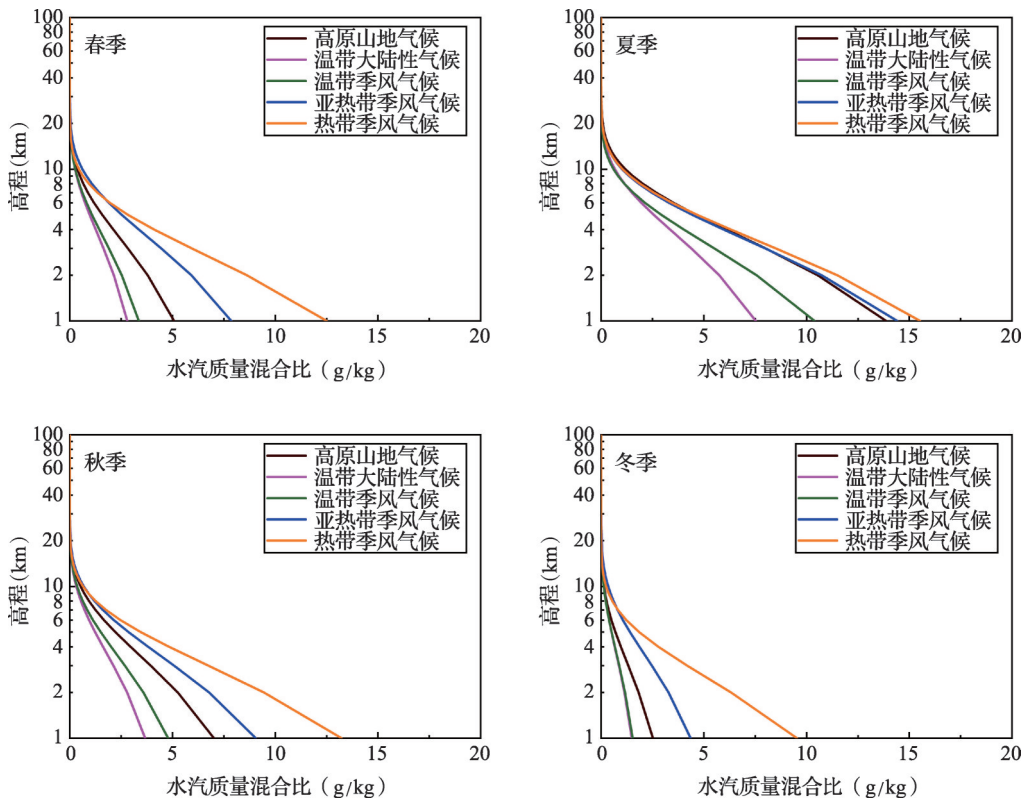


图 5 五大气候区 4 个季节的大气湿度的垂直分布

Fig.5 Vertical distribution of atmospheric moisture on four seasons in five climatic regions

2.2 大气模式对大气水汽总量和大气透过率的影响

大气水汽总量和大气透过率可以根据输入的大气廓线由大气辐射传输模型计算得到。该研究利用 MODTRAN5.2 模型，将五大气候区 4 个季节的局地大气模式和 MODTRAN5.2 内置大气模式计算的整层大气水汽总量以及可见光到近红外波段 (0.4 ~ 2.5 μm)、中红

2021年12月

外波段 (3 ~ 5 μm) 和热红外波段 (8 ~ 14 μm) 的平均大气透过率进行对比分析, 以探究不同大气模式对大气水汽总量及大气透过率的影响。

图6显示了五大气候区4个季节的局地大气模式和MODTRAN5.2内置大气模式计算的大气水汽总量, 其中图6a中的C1、C2、C3、C4和C5分别表示高原山地气候区、亚热带季风性气候区、温带大陆性气候区、温带季风气候区和热带季风气候区, 图6b中的MLS、MLW、SAS、SAW、TRO和USS分别表示MODTRAN5.2内置的中纬度夏季、中纬度冬季、亚北极夏季、亚北极冬季、热带以及1976年美国标准大气模式。从图6a可以看出, 五个气候区的大气水汽总量按季节排序均为夏季最高, 秋季次之, 春季第三, 冬季最低, 其中最高值约为6 g/cm², 最低值约为0.6 g/cm², 很好地体现了季节性降雨的特点。相同季节的大气水汽总量按照气候区排序也发现呈现一致性, 均为C5(热带季风气候区) > C2(亚热带季风性气候区) > C1(高原山地气候区) > C4(温带季风气候区) > C3(温带大陆性气候区), 而降水量的高低排序可能主要是受到海陆差异性的影响。将图6a与图6b进行对比分析可知, MODTRAN5.2内置大气模式中也同样是热带气候的大气水汽总量最高, 除热带气候以外, 其余气候区都可大致看作中纬度地区, 但对比内置的中纬度夏冬季的大气水汽总量可知, 每个气候区的大气水汽总量都明显不同, 且高低排序又与海陆差异性分布情况一致, 这表明局地大气模式能更好地反映真实的大气水汽总量情况。

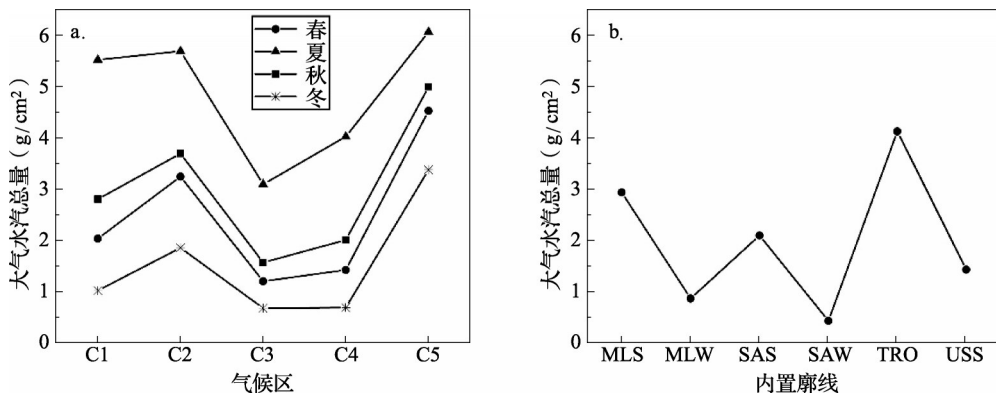


图6 五大气候区4个季节的局地大气模式和MODTRAN5.2内置大气模式计算的大气水汽总量

Fig.6 Total water vapor content calculated from local atmospheric models on four seasons in five climate zones and MODTRAN5.2 built-in atmospheric models

图7显示了利用局地大气模式和MODTRAN5.2内置大气模式计算的3个不同波段的平均大气透过率结果, 其中图7a~c分别表示5个气候区可见光-近红外 (0.4 ~ 2.5 μm)、中红外 (3 ~ 5 μm) 和热红外 (8 ~ 14 μm) 波段的平均大气透过率, 图7d~f分别表示MODTRAN5.2内置大气模式的可见光-近红外、中红外和热红外波段的平均大气透过率。从整体来看, 在不同波段下, 局地大气模式和MODTRAN5.2内置大气模式的平均大气透过率具有季节和区域的分布特征, 且波段越大, 特征越明显。利用局地大气模式计算的平均大气透过率按季节排序均为冬季 > 春季 > 秋季 > 夏季, 按气候区排序大致都为温带大

陆性气候区 (C3) > 温带季风气候区 (C4) > 高原山地气候区 (C1) > 亚热带季风性气候区 (C2) > 热带季风气候区 (C5)。这些分布特征刚好与大气水汽总量的分布规律相反，其中，平均大气透过率的最高值和最低值分别出现在热红外波段的冬季温带大陆性气候区 (C3) 和夏季热带季风气候区 (C5)，约为 0.82 和 0.32；对于利用 MODTRAN5.2 内置大气模式计算的平均大气透过率来说，不同波段的平均大气透过率排序均为 SAW (亚北极冬季) > MLW (中纬度冬季) > USS (1976 年美国标准) > SAS (亚北极夏季) > MLS (中纬度夏季) > TRO (热带)。进一步对比两种模式下的平均大气透过率发现，C1~C4 气候区都处于中纬度范围，其平均大气透过率在不同波段下均为夏低冬高，同一季节下，热带季风气候区的平均大气透过率是五大气候区中最低的，而内置大气模式中的中纬度夏季 (MLS)、中纬度冬季 (MLW) 和热带 (TRO) 也呈现一致性。但即使处于相同的纬度区域划分，平均大气透过率仍有较大差异，如在热红外波段，内置热带模式的平均大气透过率约为 0.41，而局地大气模式的热带季风气候区在不同季节下大约从 0.32 变化到 0.52。因此，相比于 MODTRAN5.2 内置大气模式，局地大气模式由于在具体区域和季节上进行划分，能更好地模拟出贴合于实际情况的大气透过率，提高大气辐射传输模拟的精度。

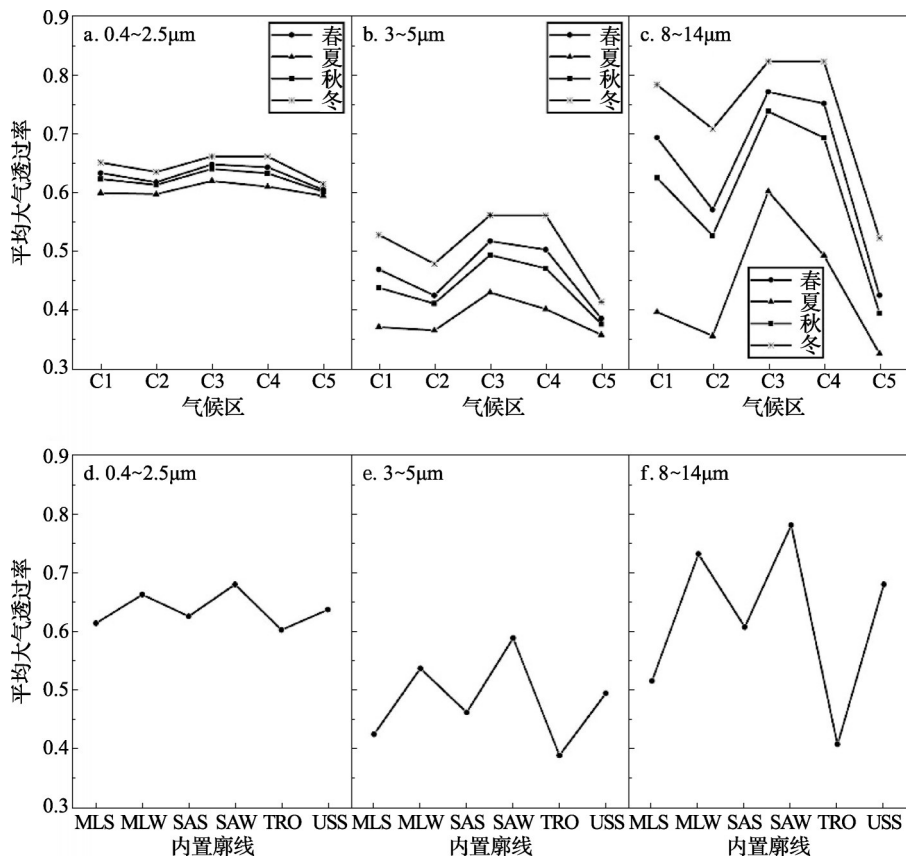


图7 五大气候区4个季节的局地大气模式和MODTRAN5.2内置大气模式计算的平均大气透过率
 Fig.7 Mean atmospheric transmittance calculated by local atmospheric models on four seasons in five climate zones and MODTRAN5.2 built-in atmospheric models

2021年12月

3 结论

基于1973—2019年的UWYO大气探空廓线,该研究通过曲线拟合的方法构建了中国五大气候区的局地大气模式,对大气压强、温度和湿度廓线进行了特征分析,并对比分析了利用局地大气模式与MODTRAN5.2内置大气模式计算的大气水汽总量和平均大气透过率,主要结论如下。

(1) 大气压强、温度和水汽质量混合比廓线的垂直分布特征明显。气压廓线和水汽质量混合比廓线都随海拔高度的增加而减小,而温度廓线在0~16 km和50~80 km范围内呈现温度与高程成反比,在16~50 km和80~100 km范围内温度与高度成正比的特征规律。

(2) 气压廓线基本不受时间变化影响,而温度廓线和水汽质量混合比廓线的时间分布特征明显。五大气候区温度和水汽质量混合比按照季节排序大致都为夏季>秋季>春季>冬季。对于同一气候区,在不考虑补充廓线的情况下,最大温差出现在温带大陆性气候区的夏季和冬季,约为26 K,水汽质量混合比最大差异在高原山地气候区夏季和冬季,约为11.3 g/kg。

(3) 气压廓线受到空间变化的影响极小,而温度廓线和水汽质量混合比廓线的空间分布特征明显。在五大气候区中,不考虑补充廓线数值,冬季热带季风气候区和温带季风气候区的温差最大,约为21 K,春季热带季风气候区和温带大陆性气候区的水汽质量混合比之差最大,约为9.7 g/kg。

(4) 在不同的波段,局地大气模式计算的大气水汽总量及平均大气透过率均受时间及空间变化影响显著,且波段越大影响越显著,大气水汽总量的分布特征与平均大气透过率的分布规律恰好相反。其中,大气水汽总量的最高值和最低值分别约为6 g/cm²和0.6 g/cm²,平均大气透过率的最高值和最低值分别约为0.82和0.32。相比MODTRAN5.2内置大气模式,局地大气模式能更精细计算实际地区的大气水汽总量及平均大气透过率。

综上所述,空间及时间变化会影响大气参数的高低,简单套用标准大气模式不仅不足以代表中国不同区域不同季节的大气变化特征,还会对大气辐射传输模拟计算造成影响,从而影响地表温度、土壤湿度等参数的反演精度,因此构建中国地区的局地大气模式是很有必要的。局地大气模式的构建和应用会提高大气辐射传输模拟精度及环境参数反演精度,这对农业生产、农业灾害监测等方面的研究具有重要的意义。

参考文献

- [1] 杨敏,刘峻明,王鹏新,等. 基于MODIS大气廓线产品分析晚霜冻对冬小麦产量的影响. 中国农业科技导报,2016,18(2):78-85.
- [2] Clough S A, Shephard M W, Mlawer E J, et al. Atmospheric radiative transfer modeling: a summary of the AER codes. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, 2005, 91(2):233-244.
- [3] Vermote E F, Tanre D, Deuze J L, et al. Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum, 6S: an overview. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1997, 35(3):675-686.
- [4] Kneizys F X. Users Guide to LOWTRAN 7. *Air Force Geophys. Lab*, 1988.
- [5] Berk A, Anderson G P, Bernstein L S, et al. MODTRAN4 Radiative Transfer Modeling for Atmospheric Correction. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, 1999, 3756.
- [6] Smith H J P, Dube D J, Gardner M E, et al. FASCOD - Fast Atmospheric Signature Code (Spectral Transmittance and Radiance). 1978.
- [7] 漆成莉,董超华,张文建. 基于辐射传输模式的中国典型区域大气样本库特征分析. 气象科技, 2004(5):357-362.

- [8] 漆成莉,刘辉,马刚,等. 中国区域典型大气廓线样本库的一种选择方法. 应用气象学报,2010,21(1):70-75.
- [9] 陈秀红,魏合理. 基于中国典型地区大气模式的红外透过率变化特征. 激光与红外,2008(11):1090-1093.
- [10] 秦琦冰,魏合理. 基于平均探空廓线和地表实测数据构建大气参数廓线的方法研究. 大气与环境光学学报,2013,8(3):161-168.
- [11] 李禧亮,陈子健,杨玥,等. 张家口赛区大气温湿廓线分析. 干旱区资源与环境,2021,35(7):71-76.
- [12] 孙囡,陈逸伦,傅云飞. 中国东部大气温湿廓线特征及其对辐射收支计算影响的分析. 气象学报,2019,77(3):563-578.
- [13] 马力. 大气辐射传输软件 MODTRAN5 的性能分析. 北京:中国科学技术大学,2016.
- [14] 张敏. 典型天气大气辐射传输特性模型设计与实现. 大连:大连海事大学,2015.
- [15] 刘慧,韦志刚,魏红,等. 近 51 年我国对流层顶高度的变化特征. 高原气象,2012,31(2):351-358.
- [16] Oceanographic N, Noaa A A.U.S.Standard Atmosphere. 1976.
- [17] 郭恩铭. 大气层结构概述. 气象,1980(9):33-35.

Construction of local atmospheric models in China based on UWYO atmospheric profiles

Gui Yang¹, Duan Sibō^{1*}, Yang Jingjing², Gao Caixia³, Liu Meng¹, Huang Cheng¹

(1. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, CAS & MWR, Shaanxi 712199, China; 3. Aerospace Information Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100094, China)

Abstract: [**Purpose**] Standard atmosphere models of conventional atmospheric radiative transfer models are only suitable for characterizing the atmospheric characteristics about large scale regions, and it is difficult to accurately describe the dynamic changes of local atmospheric characteristics, which will affect the retrieval and verification accuracy of parameters such as surface temperature and soil moisture in local areas. Therefore, the applications of these parameters in agricultural production research and agrometeorological disaster monitoring are limited. [**Method**] In paper study, we constructed local atmospheric models for five climate zones in China using UWYO atmospheric profiles from 1973 to 2019. Furthermore, we analyzed the characteristics of atmospheric pressure, temperature and humidity profiles, and compared total water vapor content and average atmospheric transmittance calculated using the local atmospheric models and the built-in atmospheric models of MODTRAN5.2. [**Result**] The atmospheric temperature profile and water vapor mass mixed ratio profile have obvious regional and seasonal characteristics. At the altitude of 1 km, the maximum differences in atmospheric temperature and water vapor mass mixing ratio in different climate regions in the same season are about 26 K and 9.7 g/kg, respectively. The maximum differences in atmospheric temperature and water vapor mass mixing ratio in different seasons in the climate region are about 21 K and 11.3 g/kg, respectively. Moreover, the total water vapor content and mean atmospheric transmittance calculated by local atmospheric model also show regional and seasonal characteristics, and the larger the band is, the more obvious the characteristics are. The maximum and minimum values of the total water vapor content calculated by local atmospheric

2021年12月

model are about 6 g/cm^2 and 0.6 g/cm^2 , respectively. And the maximum and minimum values of mean atmospheric transmittance calculated by local atmospheric model are about 0.82 and 0.32, respectively. Compared with built-in atmospheric model of MODTRAN5.2, the total water vapor content and the mean atmospheric transmittance calculated by the local atmospheric model are more consistent with the actual conditions of the five climatic regions in China. [**Conclusion**] The local atmospheric models can not only effectively improve the accuracy of atmospheric radiative transfer simulation, but also better reflect the dynamic changes of atmospheric characteristics in China, so that more accurate environmental parameters such as surface temperature and soil moisture can be retrieved. Therefore, it is of great significance for regional scale agricultural production research and agrometeorological disaster monitoring.

Key words: UWYO atmospheric profiles; MODTRAN5.2; five climatic zones in China; local atmospheric models

欢迎订阅《中国农业信息》

《中国农业信息》(双月刊)由农业农村部主管,中国农学会农业信息分会、中国农业科学院农业资源与农业区划研究所共同主办,是我国目前全方位传播和刊载国内外农业遥感/农业信息科学领域的信息获取、处理、分析和应用服务的理论、技术、系统集成、标准规范等方面最新进展和成果,促进学术交流以及农业信息学科关键技术与产品的创新研发、集成推广和应用示范的综合性科学技术期刊。

主要刊登农业遥感、农业传感器、农业信息智能处理、精准农业/智慧农业、农业监测预警与信息服务系统、农业物联网、智能装备与控制、虚拟农业、人工智能、信息技术标准等方向学科热点领域的最新、最重要的理论研究和应用成果。主要栏目有:农业遥感、智慧农业、综合研究、农业信息技术、农业物联网、专题报道等。目前被中国知网(CNKI)、万方数据、中文科技期刊数据库、中国核心期刊(遴选)数据库等多家数据库收录。

《中国农业信息》为国内外公开发行的刊物,开本为16开,彩色四封,读者范围广,影响面大,全国各地邮局均有订阅。每双月25号出版,定价为25.00元/册,150元/年。

邮局汇款

收 款 人:《中国农业信息》编辑部

地 址:北京市海淀区中关村南大街12号中国农科院资源所区划楼319

邮 编:100081

银行汇款

开 户 行:农行北京北下关支行

行 号:103100005063

账 号:11050601040011896

单位名称:中国农业科学院农业资源与农业区划研究所

电 话:(010)82109632

传 真:(010)82109632

E m a i l : nyxxbjb@caas.cn

邮发代号:2-733

投稿网址:www.cjarrp.com