



论文

中国天文气象条件的时变特征

钱璇^{①②③*}, 王盘兴^①, 姚永强^{②*}, 王国复^③, 刘立勇^②, 张永婧^{①③}

① 南京信息工程大学大气科学学院, 南京 210044;

② 中国科学院国家天文台光学天文重点实验室, 北京 100012

③ 中国气象局国家气象信息中心, 北京 100081;

*E-mail: qianxuan@bao.ac.cn; yqyao@bao.ac.cn

收稿日期: 2010-03-31; 接受日期: 2010-05-10; 在线出版日期: 2011-02-15

国家自然科学基金(批准号: 10778709, 10903014)和中国科学院国家天文台青年人才基金资助项目

摘要 采用全国地面气象站 1951~2008 年的气象资料年值和月值数据集, 系统分析云量、气温、湿度、风速、水汽压和降水量等天文选址气象要素气候态的长年变化、季节变化和日变化特征. 根据对全国天文气候的区域划分, 挑选出 21 个地区代表台站. 统计比较各气象要素变化特征, 总结出各地区天文气象条件的时变特性, 进一步论证其地域分布特征, 从而为进行地基望远镜建设的全国范围选址调查提供可靠的基础数据.

关键词 天文选址, 气象条件, 时变特征

PACS: 95.45.+i, 92.60.Ry, 92.05.Df, 92.60.We

气象条件分析是天文选址调查工作的重要内容. 对天文台址候选点的气象条件及其长年变化趋势进行系统分析, 是论证天文台址优劣的基础^[1]. 近几十年来, 天文界对我国西部广大地区进行过多次天文选址考察与评价. 20 世纪 80 年代, 陈洪卿^[2]在西藏地区优选出六个候选天文台址, 考察分析其累年统计气象资料, 用以说明其气象条件是否利于天文观测. 90 年代初期, 张柏荣等人^[3]根据丽江高美古两年的实地气象观测, 考察了当地天文台址的气象条件. Huang 和 Mao^[4]收集我国 1978~1986 年和 1990 年共 10 年时间的 192 个地面气象站一天四个时刻(2:00, 8:00, 14:00, 20:00)的总云量观测资料, 计算了北京时间 8:00, 2:00 和 8:00 以及 20:00, 2:00 和 8:00 的无云概率, 表明我国所处天文气候条件大环境并非最好, 但在相对较好区域里挑选出受局部地形影响形成的

较好台址是有可能的. 马开全等人^[5]根据丽江高美古地区的气象数据较为系统的分析了当地的气象条件, 从而为天文观测提供依据. 2008 年, Wang 等人^[6]总结了新疆卡拉苏和西藏物玛天文候选点的气象要素观测, 通过对当地气象条件和变化特征的系统分析, 客观评价了候选点的天文观测质量. Shi 等人^[7]根据当地天文观测的云量状况做出了初步评价. 2010 年, Zhang 等人^[8]采用国家气象信息中心提供的 2425 个地面气象站的长年观测数据, 根据云量、水汽压和地面风速等关键要素对全国进行天文气候的地域划分, 全面分析了各区域的天文气候状况.

中国西部地区具有云量少、海拔高和极干旱的气候条件, 是优良天文台址的潜在区域. 2003 年国家天文台启动西部天文选址项目, 对西部高原地区潜在的优良台址进行考察、选择和监测^[9,10]. 本文是西部

引用格式: 钱璇, 王盘兴, 姚永强, 等. 中国天文气象条件的时变特征. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2011, 41: 896-910

Qian X, Wang P X, Yao Y Q, et al. Time variation of astro-climate conditions in China (in Chinese). Sci Sin Phys Mech Astron, 2011, 41: 896-910, doi: 10.1360/132010-286

天文选址工作的远程研究系列之一, 利用最新地面气象站数据库考察全国天气气候状况, 对中国大范围天文观测的可选地域给出可靠的结论. 西部天文选址的系列研究结果对于地基空间观测等相关学科有着广泛的应用价值.

本文研究内容与Zhang等人^[8]对全国天气气候区域划分的研究结果紧密联系. 实际上, Zhang等人^[8]对全国10个天气气候区域的划分可理解为大尺度的长时标平均状况, 仅具有指导意义, 对于天文台址选择要求的定点考察和评价观测, 还需要更加细致的工作. 本文对全国天气气象条件时变特性的研究有三方面目的: (i) 从全国10个天气气候区域中挑选出有代表性的21个地区台站, 统计分析各地区云量、气温、湿度、风速、水汽和降水量的气候态长年变化、季节变化和日变化, 总结出各地气象条件的时变规律; (ii) 利用1951~2008年近60年的长时间序列资料, 进一步检验天气气候区域划分的可靠性, 如果某台站存在气象要素的大幅度年代际变化, 则其所代表地区的天气气候评价等级需要做进一步检验; (iii) 所选的21个台站是经过多方面考察的, 优先选择各区域中优选地区、临近天文台或是天文候选点的台站, 其次选择最能代表其整个区域特征的台站. 从而通

过气象条件分析, 提供直接有效的方法比较、评价各地区的优选考察区域, 为全国大范围的天文选址调查提供可靠的基础数据.

1 气象资料与考察台站

根据Zhang等人^[8]对全国天气气候十大区域的划分, 在每个区域中各挑选出2~3个地区台站. 挑选的依据主要是考察各区域的气象条件和地形条件, 优先选择最具备天文观测优势的地区台站、已有天文台或天文候选点的临近台站, 其次是最能代表其整个区域气象条件的地区台站, 这些都是天文界感兴趣的地区代表性气象站, 其气象要素的量化比较有代表性和指导性的意义. 表1给出了这21个台站的经纬度、海拔高度和所代表区域等相关信息. 图1给出了中国天气气象条件的区域划分及所选这21个台站的分布.

气象资料由中国气象局气象资料室提供, 台站的选择考察使用了全国2425个地面观测站1951~2008年的气象观测资料, 供挑选的台站范围广、资料年代长, 因而其分析结果最具完备性. 地面气象观测资料主要使用年值和月值数据集, 统计这21个地区

表1 考察台站信息

Table 1 The information of the selected stations

代表站点	所属省份	地理纬度	地理经度	海拔高度(m)	代表区域 ^[8]
阿勒泰	新疆	47°44'	88°05'	735.3	新疆西北部
北塔山	新疆	45°22'	90°32'	1653.7	新疆中部向东北延伸一带
巴伦台	新疆	42°44'	86°18'	1739.0	
漠河	黑龙江	52°58'	122°31'	433.0	
佳木斯	黑龙江	46°49'	130°17'	81.2	东北大部
长春	吉林	43°54'	125°13'	236.8	内蒙古
乌拉特中旗	内蒙古	41°34'	108°31'	1288.0	
承德	河北	40°59'	117°57'	385.9	华北北部
喀什库尔干	新疆	37°47'	75°14'	3090.9	新疆西部
狮泉河	西藏	32°30'	80°05'	4278.0	青藏高原西南部
改则	西藏	32°09'	84°25'	4414.9	
格尔木	青海	36°25'	94°54'	2807.6	青海大部
德令哈	青海	37°22'	97°22'	2981.5	
拉萨	西藏	29°40'	94°08'	3648.9	青藏高原南部
江孜	西藏	28°55'	89°36'	4040.0	
丽江	云南	26°52'	100°13'	2392.4	云南大部
德钦	云南	28°29'	98°55'	3319.0	横断山脉一带
郑州	河南	34°43'	113°39'	110.4	华北南部
盱眙	江苏	32°59'	118°31'	42.8	华中大部
成都	四川	30°40'	104°01'	506.1	四川盆地
福州	福建	26°05'	119°17'	84.0	江南华南

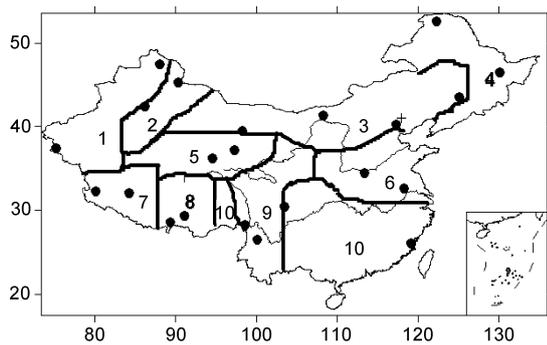


图1 中国地区天气气象条件区域划分及所选站点分布示意图

图中数字 1~10 分别代表所划分的 10 个区域: 1-新疆西及西北部, 2-新疆中部向东北延伸一带, 3-内蒙古、华北北部, 4-东北大部, 5-青海大部, 6-华北南部、华中大部, 7-青藏高原西南部, 8-青藏高原南部, 9-云南大部, 横断山脉一带, 10-四川盆地、江南华南

Figure 1 The division of astro-meteorological conditions in China and the distribution of the selected stations. Number 1~10 represents the 10 regions: 1-West and Northwest Xinjiang, 2-The central to the northeast of Xinjiang, 3-Neimenggu and the north part of North China, 4-Northeast China, 5-Qinghai, 6-The south part of North China, and central China, 7-The southwest of Tibetan Plateau, 8-The south of Tibetan Plateau, 9-Yunnan and the Hengduan Mountains, 10-Sichuan basin, South China and the south of the Yangtze river.

台站的云量、水汽压、湿度、降水量、风速和气温等气象要素, 分析其气候态时变特征. 年资料具体包括: 平均气温、平均总云量、平均低云量、平均水汽压、平均相对湿度、平均风速和降水量; 月资料包括: 平均四时刻(2:00, 8:00, 14:00, 20:00)气温、平均最高和最低气温、平均气温、平均四时刻总云量、平均总云量、平均四时刻低云量、平均低云量、平均风速、平均相对湿度、平均水汽压和降水量. 各气象要素的归档数据库记录精度为: 云量 0.1 成, 气温 0.1℃, 水汽压 0.1 hPa, 降水量 0.1 mm, 风速 0.1 m s⁻¹. 数据库资料及各气象要素的观测说明可参考文献[8]. 季节变化统计分析中, 按常规定义 3~5 月为春季、6~8 月为夏季、9~11 月为秋季、12~2 月为冬季; 日变化统计主要考察云量.

2 云量时变特征

云量通常是影响天文观测的最重要因素, 可直接决定天文观测的可用时间和可视域. 云量是指云遮蔽天空视野的成数. 云量观测包括总云量和低云量, 低云量是指天空被低云族所遮蔽的成数, 均记整数. 气象上对云量的观测: 全天无云, 云量记 0; 天

空完全为云所遮蔽, 记 10; 云覆盖率占全天十分之一, 云量记 1.

表 2 给出了所选台站 1951~2008 年云量的多项统计值, 较为系统地给出了各台站代表区域的量化比较. 总云量和低云量的多年平均值可作为基准, 用以量化比较所选台站的优劣; 各台站的云量均值分布与 Zhang 等人^[8]给出的云量地域分布相符合.

总云量和低云量的多年距平变化幅度, 在本文中用于量化各地区云量长年变化的参数; 距平是指一数列集合中单个数值与数列平均值的差, 分为正距平和负距平, 在气象上经常是用来确定某个时段的气象参数相对于某个长期平均值的偏差. 总云量和低云量各季节的多年平均值用于考察各地区云量季节变化特征, 本文更精确地使用了月值数据统计. 光学红外天文观测更加关注夜间云量, 考虑到全国各地区的实际时差, 表 2 只给出了夜间 2 点的多年平均云量, 作为比较考察各地夜间云量状况的参数. 月均云量的日变化幅度给出了各台站多年月平均总云量在每天四时刻的最大、最小差值及相应月份, 作为量化比较各代表地区云量日变化的特征参数.

2.1 年代变化

各地区云量的长年变化趋势由表 2 中的云量距平变化幅度给出, 在其后用符号表征其长年变化的增减: (-) 表示长期趋势减少, (o) 表示总体趋势不变, (+) 表示长年变化趋势增加. 1951~2008 年, 全国大部分地区的总云量整体变化趋势是减少的, 距平变化幅度主要在 0.6~0.8 成间. 东北北部地区变化幅度较小, 0.5 成左右; 新疆中部巴伦台和西北部的阿勒泰变化幅度较大, 1.0~1.2 成. 华北北部的承德地区 20 世纪 70 年代末总云呈减少趋势, 至 20 世纪 80 年代中期开始回升; 内蒙古、东北西部、华北南部、华中和青海地区在 20 世纪 80 年代前后出现略微上升趋势, 青藏高原西南部的改则地区的变化趋势是平缓的, 但在整体趋势上这些地区的总云量都是减少的. 总云量长年变化较为平缓、没有明显增减趋势的是四川盆地、云南、横断山脉和华南的大部分地区, 距平变化幅度也相对较小, 0.3~0.4 成之间. 由此, 我们得到一个重要结论, 总云量的长期变化幅度很小, 基本上在 1.0 成以下, 前期 Zhang 等人^[8]关于云量地域分布的研究结果在长时标上是可靠的.

表2 云量统计

Table 2 The statistics of cloudiness

台站	总云量			低云量			2点云量 年均	月均云量日变幅 最大/最小
	年均	距平幅	春/夏/秋/冬	年均	距平幅	春/夏/秋/冬		
阿勒泰	5.3	1.2(-)	5.7/5.5/5.0/5.2	1.0	0.8(o)	1.2/1.8/1.1/0.3	4.3	2.5(7)/1.3(1)
北塔山	4.5	0.8(-)	5.3/5.2/3.9/3.7	1.2	0.4(o)	1.4/1.9/1.0/0.4	3.4	3.1(7)/1.1(11)
巴伦台	4.2	1.0(-)	5.2/5.3/3.1/3.2	1.0	0.4(+)	0.9/2.4/0.7/0.1	3.2	2.8(6)/1.2(10)
漠河	5.5	0.5(-)	5.7/7.0/5.5/4.0	1.9	0.4(-)	1.7/4.2/1.1/0.1	4.7	2.8(5)/0.7(7)
佳木斯	5.0	0.8(-)	5.5/6.5/4.6/3.7	1.8	0.6(+)	1.9/3.7/1.8/0.2	4.2	2.3(4)/1.0(1)
长春	4.5	0.8(-)	5.0/6.3/3.9/3.1	2.2	0.4(+)	2.1/3.8/2.0/0.8	3.8	2.2(5)/0.9(12)
乌拉特中旗	3.5	0.7(-)	4.2/4.9/2.9/2.4	0.8	0.3(o)	0.7/2.0/0.7/0.2	2.5	2.8(7)/1.3(12)
承德	4.2	0.8(-)	4.7/6.3/3.5/2.5	1.6	0.8(+)	1.5/3.2/1.4/0.4	3.5	2.0(5)/1.1(11)
塔什库尔干	5.3	0.8(-)	6.3/5.3/4.0/5.6	2.6	2.2(+)	3.1/3.7/1.9/1.6	4.5	3.2(6)/1.1(8)
狮泉河	3.7	0.6(-)	4.2/4.9/2.2/3.4	2.4	0.8(o)	2.8/3.5/1.5/1.9	2.6	3.9(5)/2.0(1)
改则	4.2	0.6(-)	5.0/5.7/2.8/3.2	3.2	1.0(+)	3.9/4.6/2.1/2.2	3.0	5.1(3)/1.6(8)
格尔木	5.5	0.8(-)	6.5/6.0/4.3/4.8	1.2	1.2(+)	1.1/2.2/0.9/0.5	4.4	2.7(2)/1.0(7)
德令哈	5.2	0.8(-)	6.3/6.0/4.1/4.2	1.3	0.8(+)	1.2/2.5/0.9/0.3	4.0	3.0(5)/1.5(1)
拉萨	5.0	0.6(-)	5.7/7.5/3.9/2.9	4.0	1.0(-)	4.6/6.3/3.1/2.1	4.1	4.6(3)/0.7(8)
江孜	4.2	0.8(-)	4.6/7.1/3.0/1.9	3.5	0.8(-)	3.8/6.2/2.5/1.4	3.0	3.9(3)/1.5(10)
丽江	5.6	0.4(o)	5.4/8.7/5.8/2.5	4.3	1.2(+)	3.9/6.9/4.6/1.9	4.9	2.7(4)/0.5(9)
德钦	6.2	0.4(o)	6.4/8.7/5.7/3.7	5.4	0.8(+)	5.5/7.9/5.2/3.2	5.7	2.4(4)/0.4(7)
郑州	5.8	0.8(-)	6.2/6.4/5.4/5.0	1.7	1.6(-)	1.6/2.4/1.6/1.4	5.0	1.5(6)/0.8(11)
盱眙	6.1	0.6(-)	6.4/6.9/5.5/5.3	2.1	1.2(-)	2.1/2.8/1.9/1.6	5.8	1.7(8)/0.4(11)
成都	8.4	0.3(o)	8.5/8.1/8.7/8.3	3.3	4.8(-)	3.5/3.1/3.5/3.7	8.6	1.1(8)/0.4(6)
福州	7.2	0.4(o)	8.0/7.2/6.7/7.0	5.7	1.4(+)	6.4/4.7/5.4/6.2	7.0	1.5(7)/0.4(11)

注: 距平变化幅度中, (-) 表示长期趋势减少, (o) 表示长期总体趋势不变, (+) 表示长年变化趋势增加; 月均云量日变化幅度中, 括号内的数字指示其最大和最小幅度出现的月份; 云量单位(成)

与总云量的普遍下降趋势不同, 表2中的低云量距平变化中有一半是上升的. 低云长年变化表现增多的地区主要是在新疆西部、青海、江南华南、青藏高原西南部及云南、横断山脉地区. 其中, 新疆西部的塔什库尔干距平变化上升幅度最大, 2.2成左右; 青海德令哈、云南德钦和青藏高原西南部地区变化幅度较小, 0.8~1.0成. 低云变化呈减少趋势的是东北部、华北、华中大部和四川盆地. 华北承德地区低云在20世纪90年代以前较少, 且变化趋势平缓, 20世纪80年代末开始上升, 东北部地区距平变化幅度较小, 0.4成左右, 四川成都下降幅度最大, 达4.8成. 低云长年变化趋势平缓的是新疆西北部及其中部向东北延伸一带、内蒙古、青藏高原南部和东北部分地区. 新疆中部、内蒙古和东北西部的距平变化幅度较小, 0.3~0.4成, 新疆西北部和青藏高原西南部的变化幅度较大, 0.8~1.0成之间. 青藏高原南部地区在20世纪80年代以前低云略多, 但总体变化趋势平缓. 低云量的长期变化应与气温增高的长期趋势相关, 并且与各地的下垫面性质(如雪山)有关.

图2(a)给出了北塔山、狮泉河、丽江和福州地区

台站的总云量年距平图, 图2(b)给出了塔什库尔干、北塔山、格尔木和郑州地区台站的低云量距平变化图, 分别代表不同类型的趋势变化. 简单总结云量长年变化, 各地总云量普遍下降(17/21), 幅度多在1.0成以下, 但在四川盆地、华南、云南西北部变化趋势较为平缓(4/21), 且距平变化幅度较小, 0.4成以下. 而低云量距平变化各有增减趋势, 50%(11/21)地区呈上升趋势, 且变化幅度范围很大, 0.4~2.2成; 30%(6/21)地区呈下降趋势, 成都地区的变幅达4.8成; 20%(4/21)地区低云量变化平缓, 变化幅度也都很小.

2.2 季节变化

各地区云量的季节变化在表2中按照春夏秋冬季分别统计. 总体来讲, 各地区总云量夏季多、冬季少; 但塔什库尔干、德令哈、格尔木和福州在春季云最多, 塔什库尔干、狮泉河、改则和格尔木在秋季云最少. 冬季在全国范围内, 内蒙古、华北北部、东北西部和青藏高原南部总云量较少, 新疆西及西北部、华北南部、华中、江南华南和四川盆地总云量偏多. 其余季节, 内蒙古和青藏高原南部及西南部地区总

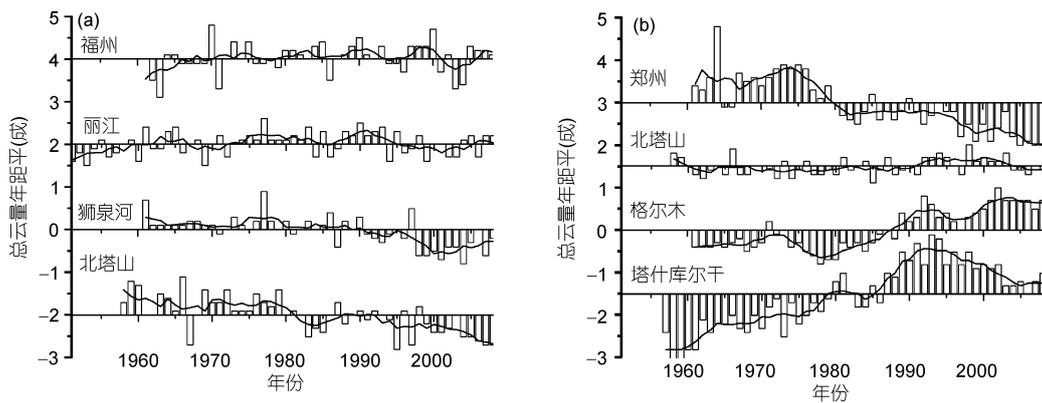


图 2 (a) 总云量年代变化趋势; (b) 低云量年代变化趋势

直方图表示云量的年距平变化, 实线是五点平滑趋势线, 表示云量的年代变化趋势

Figure 2 (a) The long-term trend of the total cloud; (b) the long-term trend of the low cloud. The histogram represents the yearly variation of cloudiness anomaly, and the solid line the five-point smoothness to represent the yearly variation.

云较少, 云南、横断山脉、江南华南和四川盆地总云较多. 青藏高原南及西南部、云南、横断山脉、江南华南和四川盆地在各季节中的低云量均较多.

进一步考察各地区总云量的季节变化幅度, 华北南部和华中地区的年变化幅度较小, 在 4.5~7.5 成之间, 季节变化则较为平缓; 青藏高原南部和云南、横断山脉地区季节变幅较大, 2~9 成间, 江孜、德钦、丽江是总云量季节变化最大的地区, 阿勒泰、成都、福州的总云量季节变化幅度最小. 新疆中西部、青海和华南部分地区, 云量在春夏季节均较多、秋冬季节较少, 春夏间和秋冬间的变化幅度很小.

全国大部地区的低云量分布有北少南多、平原少高原多的整体趋势. 相对于总云量, 各地区低云量的

季节变化更为明显, 但基本趋势都是夏季多、冬季少. 狮泉河和改则在春季低云最少. 低云量季节变幅最大的依然是江孜、德钦、丽江所代表的区域, 冬夏季差别在 5 成以上; 新疆西北部、青海、内蒙古、华北和华中地区, 低云量的年变化幅度较小, 都在 2 成左右. 在夏季低云少、春季多的江南华南和四川盆地, 低云的季节变化幅度在 1 成以内, 年变化最小.

图 3(a)给出了北塔山、成都、狮泉河、丽江和郑州地区的月均总云量分布. 丽江夏季云最多、冬季云最少, 季节变化幅度最大; 狮泉河在春秋季节云最少、夏季云也相对较少, 是云量评价最好的地区; 而北塔山、郑州和成都地区的总云量月分布是逐渐增多的, 季节变化幅度较小. 成都地区, 夏季云较少, 而

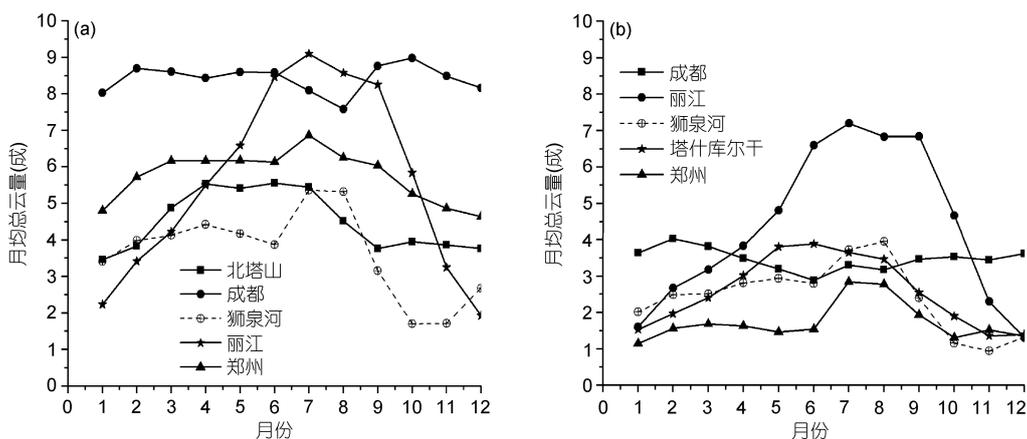


图 3 (a) 总云量季节变化趋势; (b) 低云量季节变化趋势

Figure 3 (a) The seasonal trend of the total cloud; (b) the seasonal trend of the low cloud.

北塔山地区, 春夏季总云持续偏多, 各有其特点.

图 3(b)给出了成都、丽江、狮泉河、塔什库尔干和郑州的月均低云量分布, 代表各地区低云的变化趋势. 丽江低云量的季节变化幅度最大, 5~10 月份低云最多, 6~9 月间低云持续在 6~7 成以上, 其冬季低云少的优势不明显. 其他地区台站的低云量总体变化幅度较小, 郑州是低云最少的地区, 季节变化趋势和狮泉河地区较为一致; 帕米尔高原的塔什库尔干在春季低云最多, 秋冬季与狮泉河地区接近; 成都地区低云冬季偏多、夏季偏少.

2.3 日变化

云量的日变化主要考察 8:00, 14:00, 20:00, 2:00 4 个时次的总云量变化, 同时分析不同季节中早晨、中午、晚上和夜间云量的变化规律.

云量日变化幅度较大的地区包括新疆、内蒙古和青藏高原西南部地区. 整体来看, 一天中白天云量多、夜间云量少; 夜间 2 点云量普遍最少, 而晚上 20 点云最多. 新疆西北部在 1~3 月和 10~12 月、新疆中部巴伦台在秋冬季节, 下午 14 时云量最多. 云量的日变化与日照、对流和下垫面性质等诸多因素相关.

云量日变化幅度较小的地区包括东北、青海、云南及横断山脉、江南华南、四川盆地、华北、华中和青藏高原南部地区. 这些地区也都是夜间云量最少. 青藏高原南部和青海在 1~5 月份的日变化幅度相对较大. 下午 14 时云量最多的有云南、横断山脉、华北、华中、东北和青海部分地区, 其中云南德钦和华中地区在下半年来早上 8 点云最多. 晚上 20 时云量最多的是青藏高原南部和青海部分地区, 其中西藏拉萨和青海格尔木在 7~9 月份早上 8 点云最多. 早上 8 时云量最多的是四川盆地和江南华南, 其中四川成都都在春季晚上 20 时云最多. 实际上, 各地云量日变化在季节上的调整是与各地日出日落时刻的季节变化相一致的.

夜间云量是天文观测最关注的要素. 考察结果表明, 夜间 2 点云量的变化趋势与总云变化较为一致, 夜间云量一般均小于总云量. 特别注意到, 盱眙、德钦、福州地区的夜间云量接近其总云量, 在成都地区甚至大于其总云量. 青藏高原西南部和内蒙古地区的夜间云量较少, 其次是青藏高原南部、新疆中部向东北延伸一带, 云量也偏少, 江南华南、四川盆地云

较多. 各地区的夜间云量距平变化幅度都不大, 只在新疆西北部略微偏大.

图 4 给出了狮泉河、丽江、佳木斯、北塔山四个地区的总云量日变化比较. 丽江和佳木斯地区的云量日变化幅度相对较小, 多在 2 成以下; 北塔山在春夏季节日变化幅度在 3 成程度; 狮泉河在春季的日变化幅度可达 5 成. 由此可以看出, 狮泉河与北塔山地区在夜间云量评价方面有明显优势.

3 温湿风时变特征

3.1 气温

表 3 给出了各台站气温的多年平均值、距平变化幅度和季节均值等统计信息. 东北和青藏高原西南部气温较低, 华北、华中和江南华南、四川盆地气温偏高. 新疆西及西北部、内蒙古和东北地区气温年较差较大, 在 30°C 以上, 青藏高原南部及西南部、云南、横断山脉、江南华南和四川盆地年较差较小. 在各地气温的季节分布中, 华北南部、华中、江南华南和四川盆地等地区长年气温偏高, 在各季节的气温都相对较高.

与全球变暖的气候变化特征相一致, 1951 年以来全国各地气温基本上都是呈上升趋势. 内蒙古、东北西部和青海大部分地区的气温距平变化幅度较大, 2.5~3.0°C; 青藏高原南部的江孜和四川成都地区变化幅度小, 1°C 左右, 其余地区变化幅度均在 1.5~2.0°C 之间. 图 5(a)给出北塔山、江孜、狮泉河地区的气温多年距平变化, 五点平滑趋势线很好地表现了不同程度的气温上升趋势.

图 5(b)给出了北塔山、狮泉河、丽江、郑州和福州地区的月均气温分布. 可以看出, 各地区气温季节变化趋势大致相同, 福州地区气温较高, 狮泉河气温偏低, 云南丽江的季节变化幅度最小. 实际上, 全国各地气温季节变化趋势大体一致, 夏季气温高, 冬季气温低. 华北南部、华中、江南华南、四川盆地及云南部分地区长年平均气温均在 0°C 以上变化, 华南福州地区气温最高, 在 10°C 以上变化, 其次是四川成都和云南丽江, 月均气温均在 5°C 以上, 东北北部地区冬季气温最低, -20°C 以下.

3.2 相对湿度

表 3 中列出了各地区台站相对湿度的年均值、季

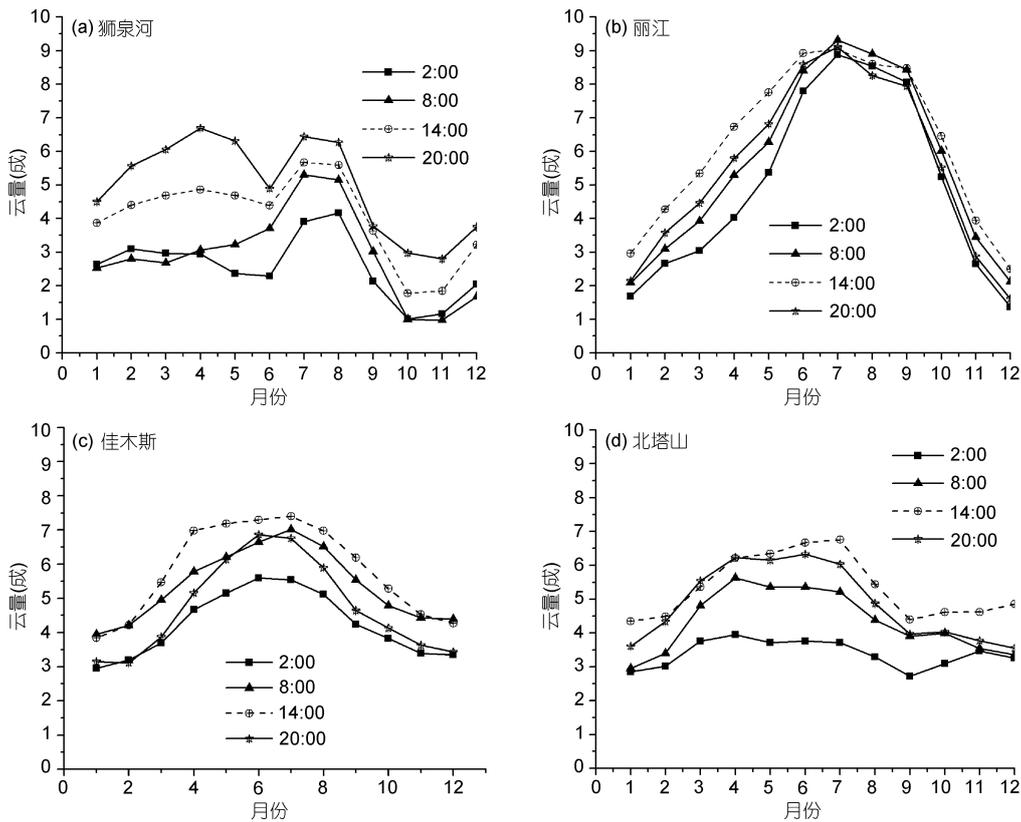


图 4 总云量日变化趋势
Figure 4 The diurnal trend of the total cloud.

表 3 气温和相对湿度统计

Table 3 The statistics of temperture and the relative humidity

台站名	年均气温	气温距平变幅	春/夏/秋/冬季气温季节均值	年均湿度	湿度距平变幅	春/夏/秋/冬季湿度均值
阿勒泰	4.4	1.5	5.9/20.9/5.3/-14.4	57.9	6.0	53.2/48.8/56.2/72.9
北塔山	2.7	1.5	3.0/16.8/2.5/-11.3	48.8	6.0	47.3/43.4/48.9/55.1
巴伦台	6.5	1.5	8.6/18.4/6.6/-7.3	43.2	4.0	34.9/47.3/44.4/45.3
漠河	-4.3	1.5	-1.8/16.6/-4.6/-27.6	19.6	6.0	58.7/76.8/72.9/72.5
佳木斯	3.3	2.0	5.0/20.7/4.4/-16.4	67.2	4.0	56.8/75.5/66.8/68.9
长春	5.4	2.0	6.8/21.7/6.4/-13.0	63.9	3.0	51.0/73.9/65.0/65.0
乌拉特中旗	5.0	2.5	6.8/20.9/4.9/-12.1	48.2	5.0	34.7/48.9/52.2/56.6
承德	9.0	1.0	10.7/23.1/9.1/-7.3	55.1	6.0	42.9/68.7/60.1/49.5
塔什库尔干	3.5	2.0	5.1/15.2/4.0/-6.9	40.1	8.0	34.2/39.5/38.8/48.0
狮泉河	0.5	2.0	-3.6/12.6/9.7/-10.8	33.4	5.0	31.0/38.6/30.0/32.6
改则	0.1	1.5	-1.6/11.2/4.2/-10.9	34.3	8.0	28.4/47.8/34.2/26.5
格尔木	4.9	3.0	6.4/16.9/4.5/-7.9	32.6	4.0	26.2/34.6/32.8/36.3
德令哈	3.7	2.5	5.4/15.7/3.6/-9.5	39.0	8.0	31.8/45.0/39.5/39.4
拉萨	7.9	2.0	8.6/15.4/8.1/-4.1	44.1	6.0	35.7/60.3/49.7/28.8
江孜	5.0	1.0	5.5/12.3/5.5/-3.4	45.1	9.0	37.1/65.2/49.5/28.1
丽江	12.7	1.5	13.5/17.9/12.8/6.7	63.2	4.0	53.2/79.0/72.5/48.0
德钦	5.3	2.0	4.7/12.1/6.3/-1.6	70.8	4.0	70.6/81.6/72.6/58.1
郑州	14.3	1.5	14.9/26.3/14.8/1.6	66.4	7.0	61.0/72.3/69.6/60.9
盱眙	14.8	1.5	14.3/26.2/16.2/2.6	75.8	4.0	72.0/81.3/76.7/72.5
成都	16.2	1.0	16.6/24.7/16.8/6.2	81.9	3.0	80.3/82.3/85.2/82.4
福州	19.8	1.5	18.1/27.8/22.0/11.7	76.6	3.0	79.7/78.4/71.7/74.0

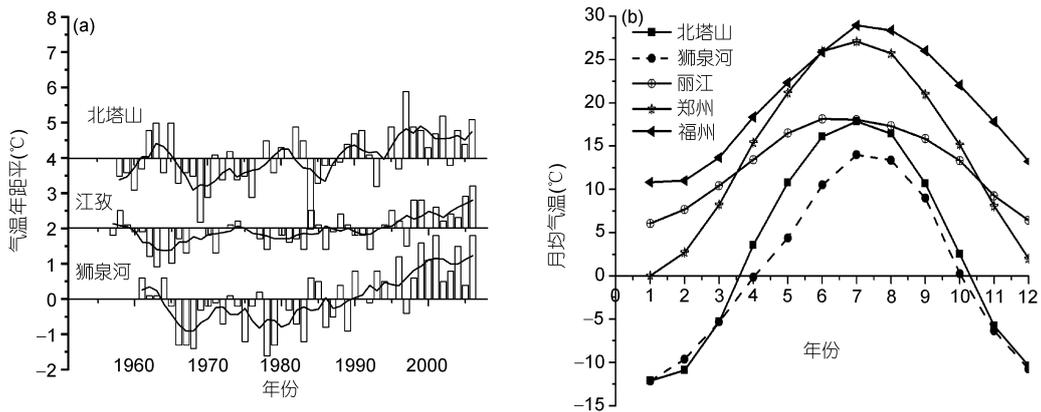


图5 (a) 气温年代变化趋势; (b) 气温季节变化趋势

(a)中直方图表示气温的年距平变化, 实线是五点平滑趋势线, 表示气温的年代变化趋势

Figure 5 (a) The long-term trend of temperature; (b) the seasonal trend of temperature. The histogram in (a) represents the yearly variation of temperature anomaly, and the solid line the five-point smoothness to represent the yearly variation.

节均值和距平变化幅度. 东北南部、华北南部、华中、四川盆地、云南、横断山脉及华南地区长年相对湿度较大, 年均值在 60%以上, 青海和青藏高原西南地区湿度较小, 小于 40%. 我国多数地区夏季相对湿度较大, 新疆西部及西北部、中部及东北延伸一带、内蒙古、青海地区在一年中冬季湿度最大, 成都地区秋季湿度最大, 春季湿度都较为偏小. 华南的福州地区春季湿度最大, 冬季最小.

1951 年至今, 相对湿度长年变化呈减小趋势的是东北、青海、青藏高原南部及西南部部分地区. 东北北部漠河、青海德令哈、青藏高原的改则和拉萨地区相对湿度的长年距平变化幅度较大, 大于 6%, 长春、佳木斯和青海格尔木地区距平变化幅度较小, 3%~4%. 狮泉河地区在 90 年代以前变化趋势是逐渐增大的, 随后减小. 长年变化较为平缓的是华中、云

南、横断山脉及华南大部地区, 且距平变化幅度都较小, 3%~5%之间. 长年变化呈增大趋势的是内蒙古、新疆西及西北部、其中部向东北延伸一带、华北和青藏高原南部地区, 且距平变化幅度都较大, 大于 6%. 新疆北塔山和内蒙古乌拉特中旗地区在 90 年代中期以前湿度较小, 且变化平缓. 图 6(a)给出了承德、格尔木和福州地区的相对湿度年距平图, 分别代表了不同的变化趋势.

在季节变化中, 我国多数地区夏季湿度最大, 新疆巴伦台、东北、华北、青海德令哈地区相对湿度在春、秋季节最小, 而华南、云南、横断山脉、青藏高原、华南北部和华中地区冬季湿度最小. 新疆西及西北部、中部北塔山、内蒙古和青海格尔木地区冬季湿度最大, 春、秋季节小. 四川成都地区秋季湿度最大, 其余季节相当. 相对湿度的季节变化幅度基本都在

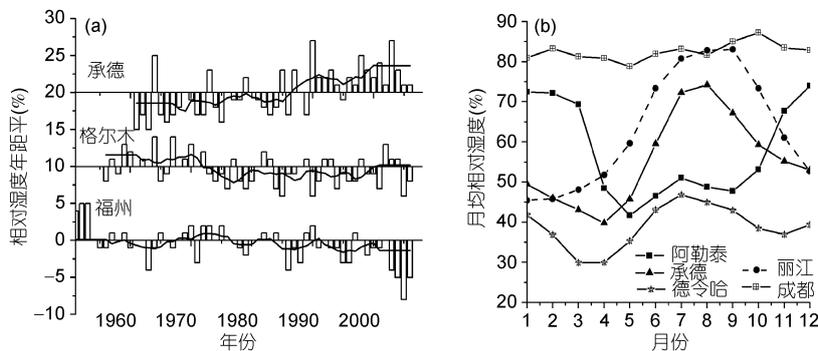


图6 (a) 相对湿度年代变化趋势; (b) 相对湿度季节变化趋势

Figure 6 (a) The long-term trend of the relative humidity; (b) the seasonal trend of the relative humidity.

表 4 风速统计

Table 4 The statistics of wind speed

台站名	年均风速 (m s^{-1})	峰值月份	风速距平 变化幅度	春/夏/秋/冬季 风速均值(m s^{-1})	年最大风速 均值(m s^{-1})	年均大风(>5 m s^{-1}) 日数
阿勒泰	2.4	4	1.0	3.2/2.7/2.4/1.3	17.3	21
北塔山	3.0	5	0.5	3.5/3.9/2.8/1.9	17.5	34
巴伦台	2.1	4	0.5	2.6/2.0/1.8/1.7	15.3	3
漠河	2.0	5	1.0	2.5/1.9/1.9/1.4	15.3	12
佳木斯	3.2	5	1.5	3.9/2.7/3.2/3.1	19.5	53
长春	4.0	4	1.0	4.9/3.3/3.8/3.8	18.2	81
乌拉特中旗	3.1	6	1.0	3.9/3.2/2.7/2.6	9.0	50
承德	1.2	4	0.8	1.8/1.0/1.0/1.2	12.8	3
塔什库尔干	2.0	5	1.0	2.8/2.4/1.6/1.1	13.7	10
狮泉河	2.9	3	1.0	3.5/3.1/2.4/2.6	11.4	33
改则	3.9	3	1.0	4.5/3.6/3.2/4.0	19.7	63
格尔木	2.8	5	2.0	3.2/3.2/2.4/2.3	12.6	19
德令哈	2.3	5	1.5	2.7/2.7/1.8/1.7	20.0	15
拉萨	1.9	3	0.5	2.3/1.8/1.6/2.0	11.2	2
江孜	2.5	3	1.0	3.4/2.0/2.0/2.5	13.9	18
丽江	3.2	3	1.0	4.1/2.3/2.5/4.0	14.7	50
德钦	2.2	2	1.5	2.4/1.9/2.1/2.4	14.9	37
郑州	2.7	4	1.0	3.1/2.4/2.3/2.9	18.3	23
盱眙	3.0	3	1.5	3.4/2.8/2.6/2.9	16.4	27
成都	1.2	5	1.0	1.4/1.3/1.1/1.0	14.0	0
福州	2.7	7	1.0	2.4/2.9/2.9/2.6	16.7	11

20%之内. 图 6(b)给出了阿勒泰、承德、德令哈、丽江和成都地区的相对湿度季节变化图. 德令哈的相对湿度最低, 最大最小值分别出现在 7 月和 4 月; 承德地区在夏季 8 月湿度达到最大, 春季 4 月最小. 成都地区湿度总体最大, 变化也较为平缓. 阿勒泰则表现为冬季 11~次年 3 月湿度最大, 春夏秋三季只是轻微波动.

3.3 风速

表 4 中列出了风速的年均值、距平变化幅度、季节均值、最大风速出现的月份、年均最大风速等统计信息. 其中大风日数的统计是根据 1971~2008 年风速日值资料中风速大于 5 m s^{-1} 的天数求平均得到的. 塔什库尔干、巴伦台、承德、拉萨和成都地区年均大风日数最少, 乌拉特中旗、长春、佳木斯、改则和丽江地区出现大风日数较多. 北塔山、巴伦台、狮泉河、改则和江孜地区许多年代最大风速资料缺测, 只有 2~5 年的记录, 这些地区统计的年均大风日数较片面.

东北长春和藏西南的改则地区长年风速较大, 其次是东北佳木斯、云南丽江、新疆北塔山、东部盱眙和藏西南的狮泉河地区, 新疆西及西北部、东北漠河、藏南拉萨和四川成都地区风速较小. 从长年风速

距平变化幅度来看, 青海地区的风速变化幅度最大, 其次是东北佳木斯、东部盱眙和云南西北的德钦, 华北北部、新疆中部向东北延伸一带和青藏高原西南部地区的变化幅度较小.

全国各地区风速的长年变化都呈减小趋势, 只是在塔什库尔干、北塔山、拉萨、德钦、成都和福州地区变化趋势较为平缓. 德钦地区在 1981~1992 年间出现一个 2 m s^{-1} 速度的上跳, 1992~1995 年下降到原来的 2 m s^{-1} 风速. 图 7(a)给出了狮泉河、丽江和北塔山地区的风速年距平变化. 狮泉河地区的风速长年变化趋势是减小的; 丽江在 70~80 年代风速偏大, 80 年代中期开始持续减小; 而北塔山地区风速变化趋势则较为平缓.

考察风速的季节变化, 全国大部地区春季风速最大. 青藏高原西南部、新疆中部延伸至东北一带、内蒙古、东北北部、四川盆地、新疆西及西北部, 冬季风速最小; 青藏高原南部、华北、华中、云南、横断山脉及东北大部地区, 一年中夏季风速最小. 青海地区的春夏季节风速相当, 均较大, 秋冬季节风速较小. 夏季风速最大的是新疆北塔山, 在冬季其风速最小; 福州夏秋两季风速偏大, 风速的季节变化稳定在 2.5 m s^{-1} 左右. 研究发现, 大尺度地面风速分布还与

高空风速的季节变动有密切相关性, 其考察结果近期将另文发表.

图 7(b)比较了北塔山、德令哈、丽江、塔什库尔干和福州地区风速的季节变化. 北塔山有半年期的风季, 风速季节变化幅度很大, 接近 2.5 m s^{-1} ; 其次是塔什库尔干, 风速变幅在 2.0 m s^{-1} 左右; 北塔山与塔什库尔干的风速季节分布相似, 都是春季风速最大. 德令哈也在春季风大, 但其风速季节变幅较小,

1.2 m s^{-1} . 福州的风速变化幅度最小, 只在夏季 7 月份风速偏大. 与高空急流的北跳相关, 丽江风速的季节变化表现异常, 在其云量最少的冬春季节风速最大, 2~3 月份风速达 4.5 m s^{-1} , 而在多云的夏季风速最小, 7~9 月风速约 2 m s^{-1} .

3.4 水汽与降水

表 5 列出了各地区台站的水汽压与降水量年均

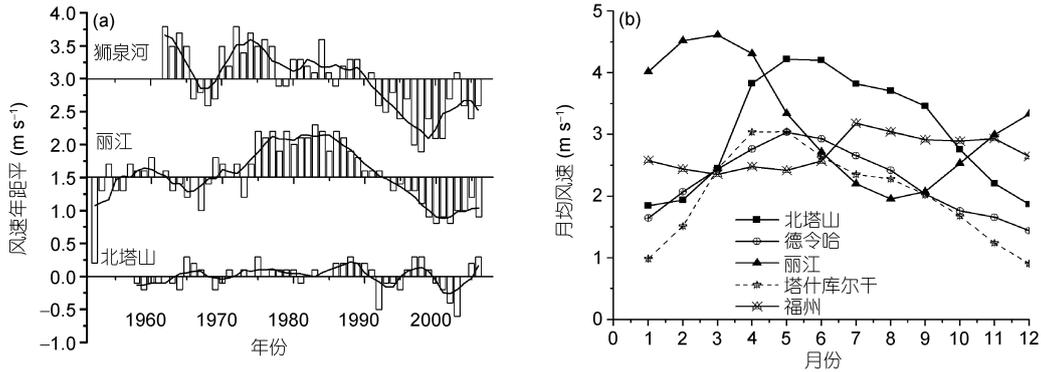


图 7 (a) 风速年代变化趋势; (b) 风速季节变化趋势

(a)中直方图表示风速的年距平变化, 实线是五点平滑趋势线, 表示风速的年代变化趋势

Figure 7 (a) The long-term trend of wind speed; (b) the seasonal trend of wind speed. The histogram in (a) represents the yearly variation of wind speed anomaly, and the solid line the five-point smoothness to represent the yearly variation.

表 5 水汽压与降水量统计^{a)}

Table 5 The statistics of vapor pressure and precipitation^{a)}

台站名	年均水汽压	水汽压距平变幅	春/夏/秋/冬季水汽压均值	年均降水量	降水量距平变幅	春/夏/秋/冬季降水量均值
阿勒泰	5.9	1.2	4.9/11.5/5.1/1.7	196.1	100.0	13.6/20.1/17.0/14.5
北塔山	4.1	0.8	3.6/7.7/3.6/1.5	175.8	100.0	12.7/28.9/12.2/4.9
巴伦台	4.8	0.8	3.9/9.1/4.5/1.6	210.8	140.0	10.6/49.6/9.4/0.5
漠河	5.7	0.8	3.6/14.2/4.3/0.6	431.6	130.0	21.3/88.9/28.5/5.4
佳木斯	7.9	0.6	5.3/18.2/6.7/1.2	534.3	250.0	27.8/106.4/36.1/6.3
长春	8.3	0.6	5.4/19.0/7.3/1.6	567.9	200.0	26.0/132.8/30.9/4.2
乌拉特中旗	5.4	1.2	3.5/11.4/5.0/1.4	200.0	100.0	7.6/47.3/12.0/1.5
承德	8.6	0.8	5.8/18.9/7.8/1.8	524.1	180.0	25.8/121.7/27.3/2.8
塔什库尔干	3.4	0.8	2.8/6.2/3.1/1.3	71.6	50.0	5.9/13.0/2.8/2.8
狮泉河	2.5	0.7	1.8/5.3/2.2/0.9	70.14	50.0	1.7/17.3/2.8/1.3
改则	2.6	0.7	1.7/5.9/2.5/0.7	171.5	100.0	3.5/44.5/9.4/0.8
格尔木	3.3	0.6	2.5/6.3/2.9/1.2	40.9	40.0	2.3/8.8/2.1/0.5
德令哈	3.7	0.8	2.8/7.5/3.4/1.7	165.1	150.0	10.5/34.4/8.3/2.8
拉萨	5.2	0.8	3.7/10.0/5.6/1.5	433.8	200.0	12.3/11.1/24.4/0.7
江孜	4.4	1.2	3.2/8.9/4.6/1.3	286.5	100.0	6.8/74.2/14.7/0.3
丽江	9.8	0.6	8.0/15.8/10.8/4.4	966.0	250.0	31.4/209.6/77.2/4.1
德钦	6.8	0.8	5.9/11.3/7.2/3.0	645.0	250.0	54.2/106.7/43.9/8.2
郑州	6.6	0.8	10.5/24.1/12.2/4.0	639.9	250.0	40.6/113.1/46.5/10.5
盱眙	15.1	1.2	12.2/27.6/15.0/5.5	1010.9	300.0	65.0/180.0/64.7/29.8
成都	16.3	0.5	14.7/25.9/16.5/8.1	882.9	200.0	49.8/186.8/57.1/17.9
福州	19.0	1.2	17.1/28.8/19.5/7.0	1363.3	400.0	159.6/162.5/75.9/54.8

a) 表中列出了水汽压和降水量的年均值、距平变化幅度和季节均值. 水汽压单位: hPa, 降水量单位: mm

值、季节均值和距平变化幅度. 整体来看, 华北南部、华中、云南及横断山脉、江南华南和四川盆地等地区年水汽压长年较大, 新疆西及西北部、青海和青藏高原西南部地区水汽压偏小, 距平变化幅度也较小. 华中、江南华南和四川盆地等地区的降水量较多, 距平变化幅度较大.

1951 年以来, 年均水汽压变化呈增大趋势的地区包括新疆、内蒙古、东北西部、青海、青藏高原南部和云南大部. 东北南部、青海格尔木、云南丽江、四川成都和青藏高原西南部地区, 水汽压的距平变化幅度较小, 在 0.5~0.7 hPa 之间, 其余地区变化幅度在 0.8~1.2 hPa 间. 内蒙古、东北西部和新疆中部巴伦台, 水汽压在 2000 年以后出现略微减小的变化, 但整体上仍呈增大趋势.

水汽压长年变化呈平缓趋势的地区包括华北南部、东北东部和北部、江南华南及四川盆地, 距平变化幅度均在 0.5~0.8 hPa 之间, 华南福州地区变化幅度较大, 1.2 hPa 左右. 华南福州和四川成都在 2000 年以后也出现水汽压略微减小的变化, 但整体趋势较为平缓. 图 8(a)给出北塔山、丽江、狮泉河地区的水汽压年代距平变化. 北塔山和狮泉河地区的水汽压有较明显的上升趋势, 丽江地区的水汽压随年代波动, 但整体变化平缓.

全国大部地区的降水量长年变化趋势平缓. 新疆西部的塔什库尔干、青海格尔木及藏西南的狮泉河地区降水变化幅度最小, 40~50 mm 左右, 东北南部、

华北南部、云南及横断山脉、青藏高原南部拉萨和四川成都地区变化幅度在 200~250 mm 间, 华中盱眙和华南的福州地区降水距平变化幅度最大, 300~400 mm, 其他地区的距平变化幅度在 100~150 mm 之间. 东北漠河、华中盱眙、新疆中部巴伦台和藏西南的拉萨、改则地区 80 年代开始年降水略微增大, 但整体上趋势平缓. 年降水量年代变化呈增多趋势的地区只有青海德令哈地区. 图 8(b)给出了狮泉河、北塔山、丽江三个地区的降水量年代距平变化情况.

进一步考察季节变化, 全国各地区水汽压和降水量的季节变化趋势都较为一致, 一般是夏季降水多、水汽压大, 冬季降水少、水汽压也小. 江南华南和四川盆地水汽压大, 在 7.0~28.8 hPa 之间; 青藏高原、新疆中西部及其向东北延伸一带和青海大部地区的水汽压较小, 0.7~11.5 hPa. N35°以南的江南华南、四川盆地、华北南部、华中及云南和横断山脉大部地区的降水量较大, 季节变化范围也在 210 mm 以下. 新疆、藏西南和青海大部地区的降水量很少, 季节变化范围在 50 mm 以下. 华南的福州地区 6 月份降水最多, 7 月份出现降水大幅减少. 新疆西北部地区在 7 月降水最多, 在春季 3 月降水最少.

图 9 给出了北塔山、德令哈、狮泉河、丽江和福州地区水汽压和降水量的季节变化情况; 水汽压的月均分布平滑且非常一致, 基本特征是夏季大、冬季小. 福州和丽江地区水汽压最大, 降水量多, 变化幅度也最大; 北塔山、德令哈和狮泉河地区水汽压小,

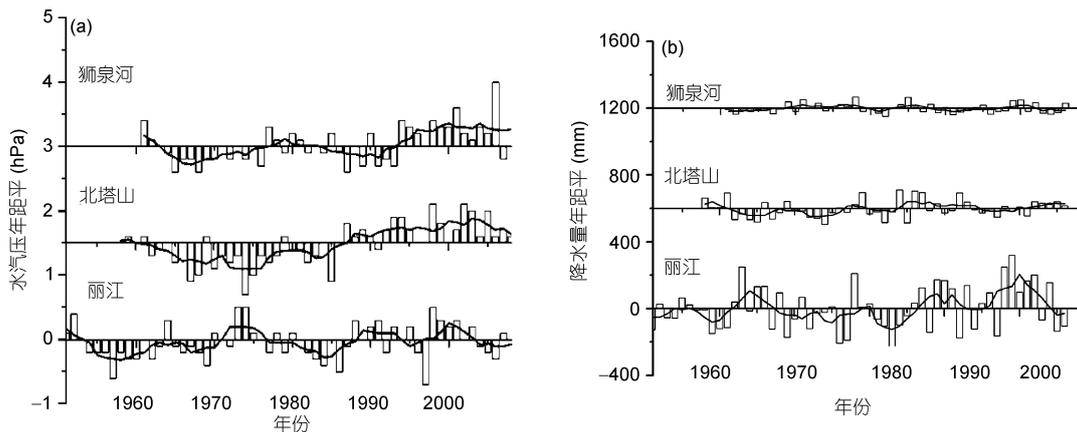


图 8 (a) 水汽压年代变化趋势; (b) 降水量年代变化趋势

直方图表示水汽压和降水量的年距平变化, 实线是五点平滑趋势线, 表示其年代变化趋势

Figure 8 (a) The long-term trend of vapor pressure; (b) the long-term trend of precipitation. The histogram represents the yearly variation of vapor pressure and precipitation anomaly, and the solid line the five-point smoothness to represent the yearly variation.

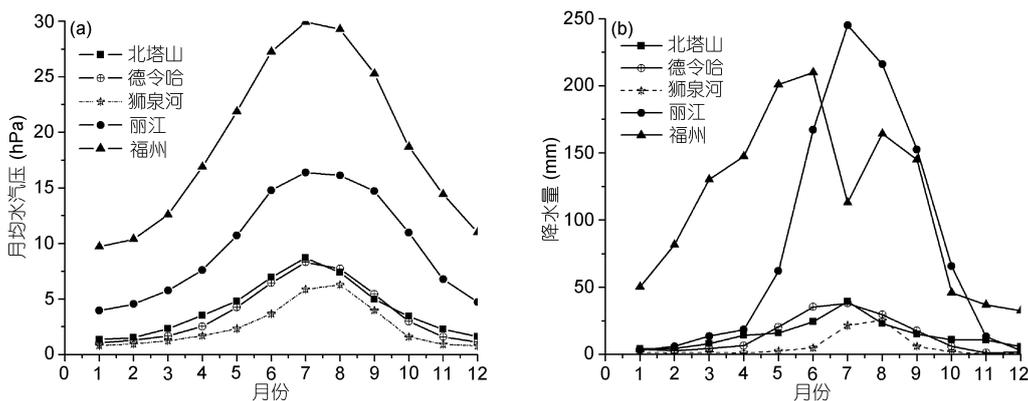


图9 (a) 水汽压季节变化趋势; (b) 降水量季节变化趋势

Figure 9 (a) The seasonal trend of vapor pressure; (b) the seasonal trend of precipitation.

降水量少, 整体变幅也小。

4 讨论

4.1 平均云量统计与天文可用夜的比较

天文选址评价需要确定比较台站的实际可用观测时间, 即某种定义下晴夜数; 而本文根据气象观测规范的平均云量统计与天文可用夜数缺乏必要的联系. 如下以临近天文台晴夜数统计结果与相同时间段的平均云量统计进行比较, 进一步探讨平均云量与天文可用夜数的转换关系.

选取丽江站 1994 年 7 月到 1996 年 7 月间的夜间 2 点月均云量 C_2 , 与相同时段高美古天文站的实测可用夜和测光夜^[11]进行对比分析. 考虑到晴夜数实际上是针对全天空无云概率的统计, 我们因此以 $(10-C_2)$ 为考察参量进行对比. 表 6 列出了丽江站该时段的夜间 2 点月均云量 C_2 、 $(10-C_2)$ 和邻近高美古天文站实地监测的平均可用夜和测光夜. 图 10 展示了高美古可用夜、测光夜与丽江气象站夜间无云量 $(10-C_2)$ 的逐月变化.

图 10 显示, 丽江的月均夜间无云量 $(10-C_2)$ 与高美古的可用夜数存在很强的相关性, 与测光夜统计也有很一致的季节变化趋势. 夜间无云量与可用夜的线性回归分析给出相关系数 0.93, 一个无云量可折合 2.4 个可用夜. 由此, 根据夜间 2:00 云量评价某个个别台站的可用天文夜条件是可行的.

实际上, 天文晴夜概率与平均云量的严格换算必须要有局地实际云量的概率密度分布. 如下晴夜概率与平均云量的表达式中:

表 6 丽江站夜间 2 点月均云量 C_2 , $(10-C_2)$ 和邻近高美古天文站实地监测的平均可用夜和测光夜统计结果^{a)}

Table 6 The statistics of the seasonal cloudiness C_2 at 2:00am of Lijiang station, $(10-C_2)$ and the mean usable night, photometric night of nearby Gaomeigu site^{a)}

月份	丽江站 2 点云量	丽江站 $10-C_2$	高美古 可用夜	高美古 测光夜
1	1.8	8.2	28	20.5
2	2.8	7.2	25.5	12.5
3	3.1	6.9	22	7
4	3.6	6.4	20.5	5.5
5	5.8	4.2	20.5	4
6	8.4	1.6	8	0
7	9.4	0.6	10	0.5
8	8.5	1.5	12.5	0
9	8.2	1.8	12.5	0.5
10	4.2	5.8	23	11
11	3.8	6.2	25	11.5
12	0.7	9.3	30	23.5
均值	5.0	5.0	19.8	8.1

a) 云量单位(成), 天文夜单位(夜数)

$$P_r = \sum_0^{C_s} \rho_i, \quad (1)$$

$$C = \sum_0^{10} C_i \rho_i, \quad (2)$$

其中, P_r 为晴夜率, C 为平均云量, ρ_i 为局地云量概率密度, 云量 $C_i, i=0, 1, \dots, 10$, 晴夜云量定义为 C_s . 如果将云量 C_i 看作概率密度的权重因子, 则多云天气对平均云量结果的影响权重最大, 全晴天 $C_0=0$ 实际上无法进入统计. 由此, 无云量定义 $(10-C)$ 写为

$$(10-C) = \sum_0^{10} (10-C_i) \rho_i, \quad (3)$$

则晴天和少云天气对平均无云量的影响权重最大, C_s 以上云量的天气时段对于晴夜率与无云量的比较影

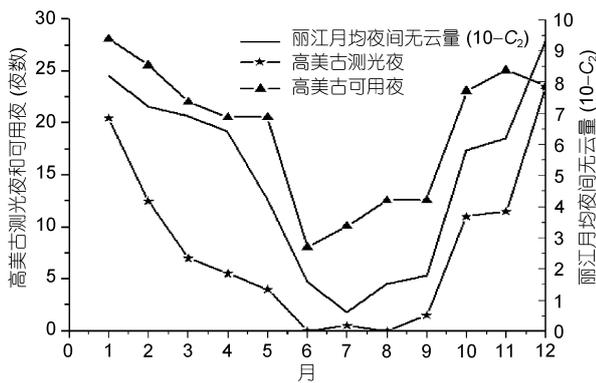


图 10 高美古 1994.7~1996.7 测光夜、可用夜^[11]与丽江月均夜间无云量(10-C₂)的季节变化趋势

Figure 10 The seasonal variation of usable night, photometric night of Gaomeigu site during 1994.7-1996.7, comparing to the seasonal cloudless cover (10-C₂) of Lijiang.

响降低.因此,根据不同的局地云量概率密度分布,平均无云量与晴夜率应存在较强的相关性.但必须强调,各地云量概率密度分布不尽相同,严格来说,不可能将某个别台站的相关关系应用于其他评价地区.

4.2 天文气象要素综合评价

本文从全国 10 个天文气候区域中分别挑选出具有代表性的 21 个地区台站,比较总结各地区云量、气温、湿度、风速、水汽和降水量的气候态时变特性.这 21 个台站是经过多方面考察、优先从各优选地区和可代表整个区域特征的台站中挑选出来的,可直接比较其气象条件,用以评价各地区天文气象条件的优劣.

作为例子,我们利用表 2, 4, 5 中的云量、风速、水汽和降水量等要素的多年平均值,为各地区台站累计打分,总分越少的地区应该是越利于天文观测的地区.为平衡各考察要素在总体评分中的相对重要程度,我们对温湿风等要素进行了等权重均一化处理($X_i^* = 10/X_{max}$).当然,在实际选址评价中,有必要根据所考察要素的重要性而选择不同比例的权重.图 11 给出了由夜间 2 点云量、总云量、风速、水汽压和降水量的等权重累积评分的结果.狮泉河台站得分最低,因此是最佳台站;其次是乌拉特中旗、巴轮台、江孜和塔什库尔干;再次为德令哈、北塔山、改则、格尔木和拉萨;丽江、盱眙、成都和福州是最差的一组,基本上是不可取台站.

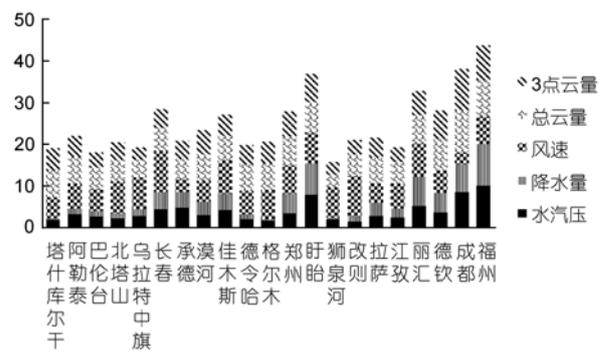


图 11 各要素年均值的等权重累积

各要素年均值的等权重累积,用以对比各要素在总体评价中的相对重要程度.云量单位(成),风速单位($m s^{-1}$),降水量单位(mm),水汽压单位(hPa)

Figure 11 The equi-weighted accumulation of the yearly average elements. The equiweight accumulation of the yearly mean values compares the relative importance of each element in the overall evaluation. The cloudiness units (10%), wind speed units ($m s^{-1}$), precipitation units (mm), vapor pressure units (hPa).

5 结论

(i) 云量: 大部分地区总云量变化趋势是减少的,距平变幅小于 1.0 成,其年际变化还不足以影响基于长年均值的地域划分.约一半地区低云量呈上升趋势,最大距平变幅 2.2 成,30%地区低云量呈下降趋势,最大距平变幅达 4.8 成.因而涉及低云量的选址点等级评价,有必要针对时变特性做进一步检验.季节变化特征主要是夏多冬少,局部地区春季或秋季云最多.总云量季节变幅在 3~5 成间,藏南与云南西北部季节变幅可达 7 成.低云量季节变化更为明显.云量日变化特征主要是白天多、夜间少.大部分地区月均云量日变幅为 2~3 成,最大幅度 5 成;日变幅较小的地区其总云量一般较高.白天云量最多的时刻很大程度上与地区和季节变化相关.藏西南和新疆中部及其东北延伸一带夜间云量最少.

新疆、长春、漠河、江孜和成都,云量年变幅较大,格尔木、丽江最平缓.内蒙古、狮泉河、江孜、长春、承德和新疆中部年均云量小于 4.5 成,盱眙、德钦、成都和福州云多在 6 成以上.阿勒泰、乌拉特中旗、青海、郑州、佳木斯、漠河低云量小于 2 成.多数地区夏季云多冬季少.塔什库尔干、北塔山和青海春季云多,秋冬少,塔什库尔干夏秋季云少.成都和阿勒泰冬春季云均较多,夏季少.内蒙古、新疆、青

海、青藏高原西南部、盱眙、佳木斯和丽江晚上云多, 夜间少; 承德、巴伦台、拉萨、江孜晚上、中午云多, 早晨、夜间云少; 郑州、德钦、长春、漠河白天云多; 成都和福州早晨云多, 其余时刻相当, 变化不明显.

(ii) 气温: 各地气温长年变化均呈上升趋势, 最大距平变幅 3°C . 漠河气温最低, 年均值 4.3°C ; 其次狮泉河和改则, $0\sim 1^{\circ}\text{C}$; 成都、福州、丽江、盱眙和郑州年均气温 10°C 以上. 各地气温季节变化大致相同, 夏季气温高, 冬季低, 逐月气温分布的差别主要在其年变幅.

(iii) 湿度: 多数地区湿度长年变化呈下降趋势, 新疆、狮泉河、改则、江孜和承德呈上升趋势. 塔什库尔干、青海、狮泉河和改则年均湿度 40% 以下, 福州、成都、德钦、盱眙和漠河地区大于 70% . 成都秋季湿度大; 福州上半年湿度大于下半年; 新疆地区冬季湿度大, 春夏小. 乌拉特中旗、漠河、青海和巴伦台冬夏湿度大, 春秋小, 其余地区都是夏季湿度大, 冬季小.

(iv) 风速: 各地风速长年变化大多呈下降趋势. 30% 地区风速变化平缓, 分布在新疆西及西北部、拉萨、德钦、成都、福州, 距平变幅小于 2 m s^{-1} . 季节变化稍复杂, 大多春季风最大, 个别地区夏季风最大. 丽江风速季节分布“异常”, 冬春季风大而夏季小. 承德、漠河、拉萨和成都年均风速小于 2 m s^{-1} , 长春、改则、丽江、乌拉特中旗、北塔山和佳木斯年均风速 3 m s^{-1} 以上. 福州下半年风速大于上半年, 拉萨上半年风速大于下半年, 其余地区春季风偏大, 冬季小,

而承德、佳木斯、丽江、郑州、长春、江孜、德钦夏季风最小.

(v) 水汽压: 水汽压长年变化上升的地区距平变幅相对较大, 进行台址评价时有必要关注其时变特性. 而变化平缓地区, 对应于华北、东北、江南华南与四川盆地等水汽较大的地区, 其距平波动较小, 小于 0.8 hPa . 塔什库尔干、青海、狮泉河和改则水汽压较小, 小于 4 hPa . 福州、成都和盱眙水汽压大于 14 hPa , 波动幅度也较大. 季节变化中夏季水汽压大, 冬季小.

(vi) 降水量: 多数地区降水量长年变化平缓, 德令哈呈明显上升趋势. 塔什库尔干、格尔木和狮泉河降水少, 年均降水量 10 cm 以下; 其次是阿勒泰、北塔山、乌拉特中旗、德令哈和改则, $10\sim 20\text{ cm}$; 福州、盱眙降水量年均值大于 100 cm . 季节变化各地基本一致, 夏季大冬季小.

综合来看, 青藏高原南及西南大部分地区天文气象条件最好, 西南部狮泉河和改则云量、水汽条件较优越, 云较少, 水汽压低于 4 hPa , 长年变化趋势平缓, 但风较大. 西部拉萨和江孜风较小, 年均风速小于 2 m s^{-1} . 其次是新疆中部延伸至东北一带、东北, 云量条件较好, 风较大. 青海地区水汽条件较好, 水汽压低, 长年变化趋势较为平缓. 新疆西部、华北、华中和云南、横断山脉地区综合气象条件一般, 水汽压略偏大, 云多在 6 成以上. 江南华南和四川盆地, 云量、水汽条件均不利于天文观测, 海拔较低, 气候湿润, 天文气象条件最差.

致谢 感谢国家气象信息中心气象资料室数据共享服务室提供了大量整理归档的气象资料.

参考文献

- 1 Haas M R, Pfister L. A high-altitude site survey for SOFIA. *Publ Astron Soc Pacific*, 1998, (110): 339–364
- 2 陈洪卿. 西藏潜在天文台址气象条件调查. 西藏天文台址资源调查, 1995. 4–19
- 3 张柏荣, 于建明, 谭徽松. 中国第三次天文台选址高潮及对丽江高美古地区天文观测条件的初步估计. 天文台址资源调研报告汇集(三), 1996, (66): 30–33
- 4 Huang Y L, Mao J T. A probe on the astro-climate and potential high quality astronomical sites (opt./infra.) in China (in Chinese). *Chin J Astron Astrophys*, 1994, 14: 379–384 [黄寅亮, 毛节泰. 我国天天气候特点及潜在(光学/红外)优良台址探讨. 天体物理学报, 1994, 14: 379–384]
- 5 马开全, 栾蒂. 丽江高美古的气象观测. 天文台址资源调研报告汇集(三), 1996, (66): 42–47
- 6 Wang J C, Yao Y Q, Yang G A. Meteorological conditions at the astronomical candidate sites in Oma, Tibet and Kalasu, Pamirs (in Chinese). *Astron Res Tech*, 2008, 5(4): 404–414 [王继昌, 姚永强, 杨国安. 西藏物玛与新疆卡拉苏天文候选点的气象条件. 天文研究

- 与技术, 2008, 5(4): 404–414]
- 7 Shi Y, Yao Y Q, Liu L Y. A method for observing and counting day-time cloud amounts in an astronomical site survey (in Chinese). *Astron Res Tech*, 2008, 5(4): 415–419 [施洋, 姚永强, 刘立勇. 天文选址数字云量白天观测处理方法. *天文研究与技术*, 2008, 5(4): 415–419]
 - 8 Zhang Y J, Wang P X, Yao Y Q, et al. Climate regionalization in China for astronomical observations (in Chinese). *Sci Sin Phys Mech Astron*, 2010, 40(10): 1302–1314 [张永婧, 王盘兴, 姚永强, 等. 中国天文气象条件的地域分布. *中国科学: 物理学 力学 天文学*, 2010, 40(10): 1302–1314]
 - 9 Yao Y Q. The astronomical site survey in west China. *J Korean Astron Soc*, 2005(39): 113–116
 - 10 王国复. Statistical study of long-term meteorological data for astronomical site selection. 中国西部天文选址研讨会, 拉萨, 2004
 - 11 Tan H S, Cen X F, Qian T L, et al. Evaluation of lijiang gaomeigu site for astrophysical observation. *Bull Astron Soc India*, 2002, 30: 881–893

Time variation of astro-climate conditions in China

QIAN Xuan^{1,2,3}, WANG PanXing¹, YAO YongQiang^{2*}, WANG GuoFu³, LIU LiYong²
& ZHANG YongJing^{1,3}

¹ College of Atmospheric Sciences, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China;

² Key Laboratory of Optical Astronomy, National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100012, China;

³ National Meteorological Information Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China

The time variation of astroclimate conditions in China was analyzed in terms of cloud cover, air temperature, wind speed, water vapor pressure, and precipitation. The databases from ground meteorological stations over China were employed with the yearly and monthly data sets for the period of 1951–2008. According to the climate regionalization for astronomical observations, 21 stations were selected based on their advantages for astronomical observations, the locations nearby existing/candidate observatories, or the climatologically representative of local regions. The long-term trend, annual and diurnal variability of the relevant meteorological factors were summarized and compared for the 21 local regions, providing ground-truth evidence for selecting and further evaluating an astronomical site. This study serves as a further demonstration towards astroclimate regionalization, and provides with essential database for astronomical site survey in China.

astronomical site survey, meteorological conditions, time variation

PACS: 95.45.+i, 92.60.Ry, 92.05.Df, 92.60.We

doi: 10.1360/132010-286