

## 近48年华南日照时数的变化特征\*

伍红雨, 杜尧东, 潘蔚娟  
(广东省气候中心, 广东 广州 510080)

**摘要:** 利用1961-2008年华南110个测站年日照时数资料, 通过线性趋势分析、Mann-Kendall检验、功率谱分析和计算趋势系数等统计诊断方法, 分析了华南年日照时数的时空特征和气候变化。结果表明: 近48 a来, 华南年平均日照时数整体上呈自南向北减少的分布特点, 最高中心位于广西南宁(2 552 h), 最低中心在广西金秀(1 172 h)。华南平均年日照时数以4.09 h/a的速率明显减少, 高于全国平均值, 并存在22 a和11 a的显著周期振荡, 在1970年代后期发生突变。华南年日照时数长期趋势变化有明显的空间差异, 大部分地区呈明显减少的趋势, 其中有3个减少中心, 分别位于广东深圳(-12.86 h/a), 海南澄迈(-12.85 h/a)和广西横县(-11.85 h/a)。华南年平均日照时数的分布与总云量分布几乎完全相同, 但它们的变化趋势大部分相反。广东大部分地区总云量在明显增加, 日照时数在显著减少。

**关键词:** 日照时数; 总云量; 华南; 线性趋势; 变化特征

**中图分类号:** P467 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579(2011)06-0120-06

## The Change Characteristics of Sunshine Duration during the Past 48 Years in South China

WU Hongyu, DU Yaodong, PAN Weijuan

(Climate Center of Guangdong Province, Guangzhou 510080, China)

**Abstract:** Based on the annual sunshine duration data from 110 observational stations during 1961-2008 in South China, the climatic changes and the spatial temporal features of sunshine duration were studied by using statistical diagnostic methods, including linear regression analysis, Mann-Kendall test, power spectrum function and the computation of trend coefficients. The results show that the annual mean sunshine duration shows a decreasing trend from South China to North China in the past 48 years. The highest center is located in Nanning of Guangxi (2552 h) and the lowest center in Jingxiu of Guangxi (1172h). The annual sunshine duration has declined at a mean rate of 4.09 h/a, which is higher than that of China. The changes of annual sunshine duration show significant 22 year and 11 year periods, with an abrupt change in the late 1970's. The trend of sunshine duration in South China has a remarkable regional difference. Decreasing trend of sunshine duration is obvious in most part of South China. There are three decreasing centers, located in Shenzhen of Guangdong (-12.86 h/a), Chengmai of Hainan (-12.85 h/a) and Hengxian of Guangxi (-11.85 h/a) respectively. The distribution of the annual mean sunshine duration is in accord with that of total cloudiness, but the secular trend variation of sunshine duration is different from that of total cloudiness. In most part of Guangdong, the total cloudiness-increases and the sunshine duration decreases obviously.

**Key words:** sunlight duration; total cloudiness; South China; linear trend; change characteristics

\* 收稿日期: 2011-02-21

基金项目: 中国气象局气候变化专项基金资助项目(CCSF-09-11); 中国适应气候变化项目(ACCC)和广州区域气象中心重点资助项目(GRMC2007202)

作者简介: 伍红雨(1969年生), 女, 硕士, 高级工程师; E-mail: wuhy@grmc.gov.cn

联合国政府间气候变化专门委员会第四次气候变化评估报告指出<sup>[1]</sup>,全球气候正在经历着一次以变暖为主要特征的显著变化,全球气候变暖已经并将继续对全球自然、经济、社会带来严重影响<sup>[2]</sup>。日照作为太阳活动最重要的表现形式,既是气候变化的主要影响因素,也是气候资源的重要组成部分。日照情况一般采用日照时数来表示,它代表某地区一天日照时间的长短。深入开展日照时数分布规律和变化趋势研究,不仅有助于认识该地区气候背景和气候资源,而且对于合理布局农业生产、调整种植结构、开发旅游资源等都具有重要的现实意义。因此气象学者对我国及一些地区日照时数进行研究,取得很有意义的成果<sup>[3-13]</sup>。任国玉等<sup>[3]</sup>研究表明,中国近50 a来年平均地表气温变暖幅度约为1.1℃,增温速率每10年接近0.022℃,尽管温度不断升高,日照时数却在显著下降。气象学者对黄河流域<sup>[4-5]</sup>、天津地区<sup>[6]</sup>、青藏高原<sup>[7-11]</sup>、银川<sup>[12]</sup>、无锡<sup>[13]</sup>等地区日照时数的研究都存在这一现象,但不同地区在日照时数变化速率、年际、年代际变化以及转折时间等方面均存在明显的区域差异。华南地处我国南部(104°29′-117°50′E、23°58′-26°23′N),包括广东省、海南省和广西壮族自治区,总陆地面积约44.96万km<sup>2</sup>,属热带、亚热带季风气候,气候温暖湿润,雨热同季。目前,对华南温度、降水等的变化,已从不同的时空尺度作了大量的研究<sup>[14-20]</sup>,但对反映气候状况的另一个重要因子-日照时数的变化研究较少。杜尧东等<sup>[21]</sup>根据广州、汕头1961-2002年各月的总辐射和日照百分率,采用最小二乘法拟合并计算了广东省各地的月太阳总辐射;黄珍珠等<sup>[22]</sup>研究了广东省不同区域的日照时数变化特征。因此有必要把华南作为独立研究区域,利用华南均一化的110个站点年日照时数资料来进一步研究华南年日照时数的时空特征和气候变化。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料

本文所用资料是华南区域气候中心整编、通过均一性检验的华南110个站点日照时数资料。代表站点采用3步筛选:一是各站建站年代参差不齐,本着使所建时间序列尽可能长、入选站点尽可能多的原则,选取1961年及以前建站的站点,排除1962年及更晚建站的测站。二是均一化检验,没有通过检验的,予以剔除;三是剔除48 a中站点变动较大的测站(迁站超过2次的予以剔除)。共

剔除82个,剩余110个气象站。资料的时段为1961年1月-2008年12月。文中华南包括广东、广西、海南3省区。

### 1.2 方法

1.2.1 计算趋势系数、回归系数,进行功率谱分析和Mann-Kendall突变分析 为了解气象要素的长期趋势变化,根据文献[23]的方法,计算气象要素的时间序列与自然数数列之间的相关系数(称为趋势系数)。这样定义的趋势系数,是无量纲,变化在正负1之间。可以证明,它就是标准化的一元线性回归系数,它消去了气象要素的均方差和单位对线性回归系数数值大小的影响,从而可以在不同的地理位置、不同的气象要素之间比较趋势变化的大小,特别适合于研究和揭露大范围气象场长期变化的空间变化特征。对计算的趋势系数还可以进行相关系数的统计检验。

本文在对华南日照时数和总云量的长期趋势变化特征进行讨论时,还计算了华南地区平均和单站的线性回归系数。为判断日照时数年变化是否存在突变现象,文中采用Mann-Kendall(M-K)方法进行突变检验。M-K方法是一种非参数检验方法,其优点是不需要样本遵循一定的分布,也不受少数异常值的干扰。对华南平均年日照时数的长期变化进行功率谱分析,方法见参考文献[23]。

1.2.2 相似系数 为了定量地表示二张空间分布图(如平均日照图与平均总云量图)的相似程度,采用相似系数。它由下式计算:

$$\cos \theta = \frac{\sum_{i=1}^m x_i y_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^m y_i^2}} \quad m = 110 (\text{站})$$

其中,cos θ是二幅图相似程度的定量指标,x<sub>i</sub>、y<sub>i</sub>分别是第i站(空间点)在二幅图的要素值。相似系数等于1.00或-1.00,为完全相同(相反),等于0.0时表示完全不相似,正值越大图形越相似,负值越大图形越相反。

## 2 结果分析

### 2.1 华南日照时数的空间分布和空间变化

2.1.1 华南日照时数的空间分布 由图1a可见,华南年平均日照时数呈自南向北减少的分布特点。桂北和粤西北地区是日照时数低值区,在1400 h以下,最低中心在广西金秀(1172 h),中部大部分地区日照时数在1400~1800 h,南部沿海和海南是高值区,日照时数在1800~2550 h,最高中

心位于广西南宁 (2 552 h)。最高和最低日照时数相差了 2 倍多。海南日照时数差异很大, 存在日照时数高值区, 中心在海南三亚 (2 472 h), 其次是海南陵水 (2 361 h), 也存在低值, 海南屯昌仅 1 994 h。日照时数超过 2 100 h 的站点还有广东沿海的潮阳、饶平、澄海、南澳以及广西涠洲岛。

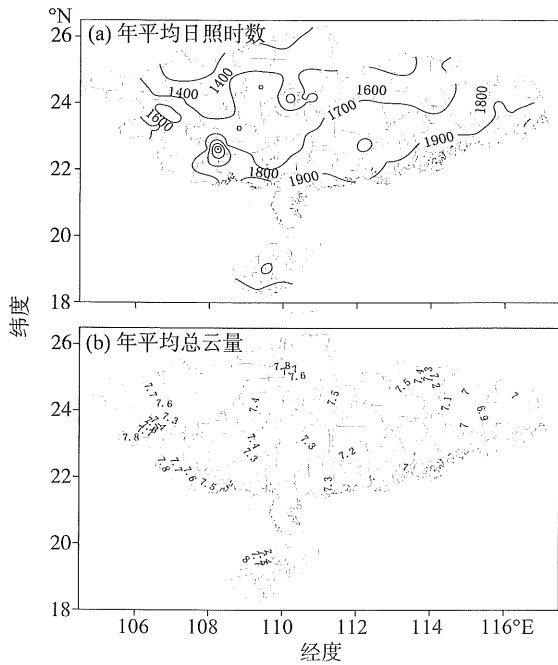


图 1 华南年平均日照时数 (h) 和总云量 (10%)

Fig. 1 The distribution of annual sunshine duration (a)(units:h), total cloudiness(b)(units:10%) in South China

由图 1b 可以看到, 广东、广西年平均总云量由沿海向内陆, 即由南向北增加, 由东向西递增。而海南差异很大, 东西边缘少, 中部多, 最大总云量中心在海南白沙 (8.3 成), 其次在广西龙胜 (8.2 成), 最少在广东饶平 (6.4 成)。

计算图 1a 和图 1b 的相似系数为 0.982, 可见 2 图几乎完全相同, 说明日照和云量是密切相关的, 就多年平均而言, 年日照时数的空间分布应该与年总云量空间分布相同。

2.1.2 华南日照时数的空间变化 由图 2a 可见, 110 个站中有 98 个站均为负趋势, 其中有 65 个站趋势系数超过 -0.29, 达到 0.05 以上的显著性水平, 说明华南大部分地区的日照时数在明显减少, 且减少的幅度明显大于增加的幅度。最强负趋势为海南澄迈 (-0.81), 其次广东深圳 (-0.75)。12 个站是正趋势, 站点主要位于海南、广西沿海和粤东, 其中只有广东普宁 (0.35) 和海南琼中 (0.31) 达到 0.05 以上的显著性水平, 增加趋势明显, 其余 9 站增加趋势不明显。计算线性回归系

数说明, 华南大部分地区年日照时数以 -3.0 ~ -7.0 h/a 的速率减少, 减少中心有 3 个, 分别位于广东深圳 (-12.86 h/a), 海南澄迈 (-12.85 h/a) 和广西横县 (-11.85 h/a), 还有广西来宾、广东河源、罗定减少速率都达 -10.0 h/a, 而在沿海和海南有 10 个站点以 3.05 ~ 5.20 h/a 速率增加, 另外广西南宁增加最大, 速率达 11.76 h/a。

已有的文献表明<sup>[11-13]</sup>, 日照时数主要受云量的影响, 近年大气污染严重, 云量和气溶胶增多, 从而增强了大气对太阳光的反射及吸收作用, 使太阳辐射减小, 日照时数下降。那么华南总云量是如何变化, 与日照时数变化的关系如何, 下面进行分析。

图 2b 是华南 110 个站总云量的变化趋势系数分布, 110 个站中有 65 个站是负趋势, 其中有 31 个站点的趋势系数在 -0.29 ~ -0.68, 达到 0.05 以上的显著性水平, 减少趋势明显, 其主要位于广西, 有两站在海南, 最大减少中心是广西来宾 (0.68)。有 31 个站是正趋势, 其中有 23 个站点的趋势系数在 0.29 ~ 0.73, 达到 0.05 以上的显著性水平, 增加趋势明显, 其主要位于广东沿海和海南, 最大增加中心是海南五指山 (0.73)、其次是海南白沙 (0.72), 第三是广东顺德 (0.62)。其余 51 站的变化趋势都未达到 0.05 的显著性水平,

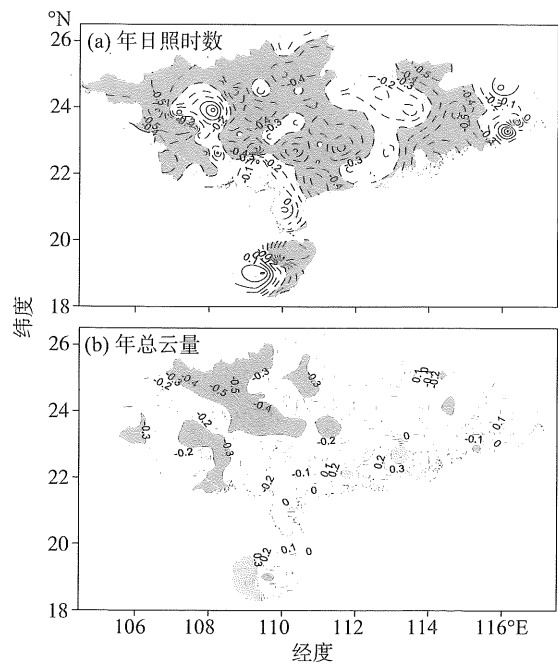


图 2 华南年日照时数和总云量变化趋势系数分布 (阴影区为达到 0.05 显著性水平的地区)

Fig. 2 The distribution of annual sunshine duration (a)、total cloudiness (b) in South China (Shaded areas are significance level > 0.05)

变化趋势不明显。可见，除广西中部偏北地区和海南的东部总云量有明显减少的趋势外，其余大部分地区有增多的趋势，增加最明显的地区在华南沿海部分地区和海南西部。

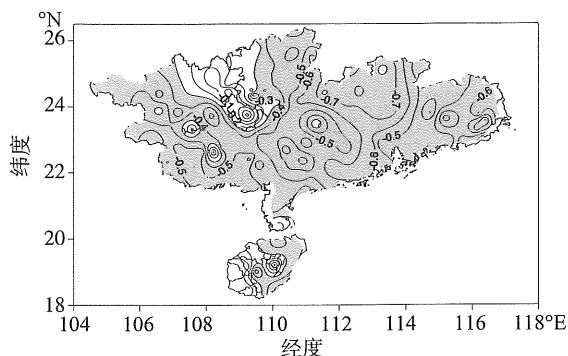


图 3 近 48 年华南年日照时数与总云量年际变化的相关系数分布 (阴影区为达到 0.05 显著性水平的地区)

Fig. 3 The correlation distribution between annual sunshine duration and total cloudiness in South China (Shaded areas are significance level >0.05)

图 3 为近 48 年华南 110 个站年日照时数与总云量年际变化的相关系数分布，统计得出 110 个站有 105 个站相关系数小于零，其中有 88 个站的相关系数在  $-0.29 \sim -0.83$ ，通过 0.05 信度检验，特别是在广东的大部分地区和广西中部和南部地区，相关系数达  $-0.5 \sim -0.8$ ，通过 0.001 的显著性检验，有着非常显著的负相关关系，最大负相关系数出现在广东乐昌 ( $-0.83$ )，其次是广西贺州 ( $-0.82$ )。年日照时数年际变化与总云量年际变化呈显著的负相关，说明总云量在明显增加，日照时数在显著减少，因为总云量增多，日照时数就减少。进一步说明华南日照时数的减少主要受总云量增加所影响，得到和文献 [9 - 11] 相类似的结论。

110 站中只有 5 个站相关系数大于零，其中广西来宾 (0.25) 为最大，其他 4 站都是  $0 \sim 0.14$ ，相关都不明显。从图 3 可看到相关不明显的地区是在广西的中部以北部分地区和海南的西部地区，说明该地区年日照时数的变化与总云量的变化联系很小。云的出现时间和日照 (白天) 时间有可能不同步，这可能是年日照时数和年总云量的年际变化关系复杂的原因，同时影响日照时数的因子还包括观测因素，如观测场四周障碍物对日照记录有影响等。

## 2.2 华南日照时数的时间变化

由图 4 可见，华南多年平均日照时数为 1 727 h，1963 年最多 (2 096 h)，1997 年最少 (1 419 h)。48 年来，年日照时数以  $-4.09 \text{ h/a}$  的速率减少 (趋势系数为  $-0.45$ )，并通过了 0.05 显著性检验，减少趋势很明显，这与任国玉等<sup>[3]</sup>指出的：近 50 a 中国日照时间、水面蒸发量和风速等气候要素均呈明显下降趋势的结论相一致，但华南日照时数的变化速率高于全国平均日照时数的变化速率 ( $-3.76 \text{ h/a}$ )。

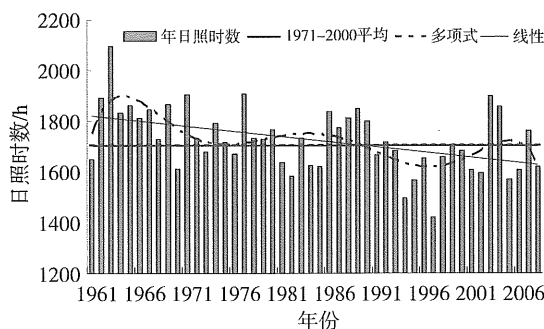


图 4 华南平均年日照时数年际变化

Fig. 4 Interannual variations in annual sunshine duration in South China

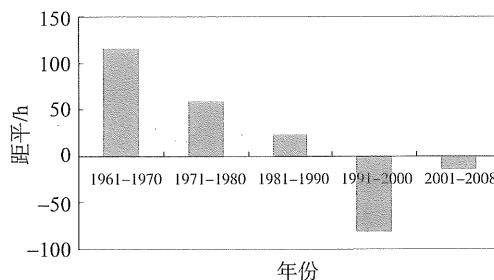


图 5 华南平均年日照时数的年代际距平

Fig. 5 Interdecadal anomalies of annual sunshine duration in South China

上面讨论了华南日照时数的年际变化，下面讨论年代际变化。以 1971 - 2000 年华南区域平均日照时数 1 705.1 h 为常年值，分析每 10 年间 (其中 2001 - 2008 年为 8 年间) 华南日照时数的年代际距平 (图 5)。结果表明，华南日照时数具有显著的年代际变化特征，1960、1970、1980 年代都为正距平，并逐年代减少，其中 1960 年代正距平最高，达 114.9 h，1970 年代降低为 58.5 h，1980 年代仅为 22.5 h，1990 年代后转为负距平，降至  $-80.9 \text{ h}$ ，2000 年后有所上升，但仍为负距平，为  $-14.3 \text{ h}$ 。华南平均年日照时数的年代际变化与近 50 年全国平均年日照时数变化趋势相同<sup>[3]</sup>，但变化

的幅度高于全国平均。

对近 48 a 华南平均年日照时数进行 M-K 突变分析 (图 6) 可见, 1970 年代后期华南年日照时数有一个减少的突变现象, 具体发生在 1976 - 1980 年。这与张智等<sup>[12]</sup>分析的银川市年日照时数在 1980 年前后存在明显的突变时间大致相同。图 6 还可见, 华南平均年日照时数在 1991 年后, 减少趋势更明显, 这与图 4 中看到的华南平均年日照时数线性趋势由 1991 年以前的正距平变为 1991 年以后的负距平相吻合。

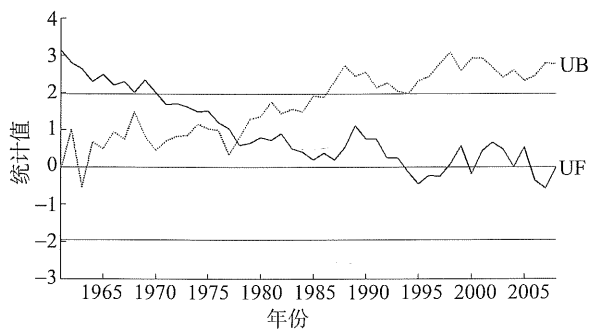


图 6 华南平均年日照时数的 M-K 突变检验  
(水平线: M-K 检验 0.05 显著水平)

Fig. 6 Mann-Kendall test of annual sunshine duration in South China  
(the level lines indicate the 0.05 significance level critical of the M-K test)

### 2.3 华南日照时数的周期分析

为了了解 1961 - 2008 年华南平均年日照时数的主要周期, 本文使用功率谱方法对其进行分析, 得到功率谱分析图 (图 7)。图中功率谱估计值的最大峰值对应 22 a 的周期, 次峰值对应 11 a 的周期, 22 和 11 a 周期都通过了  $\alpha = 0.05$  的白噪声检验, 周期振荡显著, 此外还存在 2.8 年的较明显周期振荡。

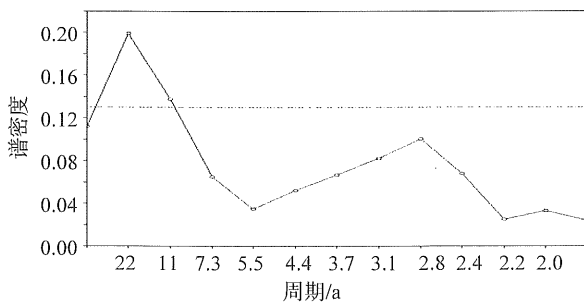


图 7 近 48 年华南平均年日照时数的功率谱分析  
(虚线为  $\alpha = 0.05$  的白噪声检验)

Fig. 7 The power spectral analysis of annual sunshine hours in South China during the past 48 years  
(dashed line indicate  $\alpha = 0.05$  white noise test)

## 3 结论

1) 近 48 a 来, 华南年平均日照时数呈自南向北减少的分布特点, 最高中心位于广西南宁, 最低中心在广西金秀, 相差两倍多。华南平均年日照时数以  $-4.09 \text{ h/a}$  的速率显著减少, 减少趋势明显, 高于全国平均值 ( $-3.76 \text{ h/a}$ )。并具有 22 年和 11 年的显著周期振荡, 在 1970 年代后期发生突变现象, 1991 年后减少明显。

2) 近 48 a 来, 华南平均年日照时数具有明显的年代距变化, 1960 年代最多, 1990 年代最少, 2000 年后有所回升。

3) 华南年日照时数长期趋势变化有明显的空间差异, 大部分地区呈明显减少的趋势, 其中减少中心有 3 个, 分别位于广东深圳 ( $-12.86 \text{ h/a}$ ), 海南澄迈 ( $-12.85 \text{ h/a}$ ), 广西横县 ( $-11.85 \text{ h/a}$ )。

4) 华南年平均日照时数的分布与总云量分布几乎完全相同, 但它们的变化趋势大部分相反。广东大部分地区, 总云量在明显增加, 日照时数在显著减少。

### 参考文献:

- [1] IPCC. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [C] // Climate Change 2007: The Physical Science Basis. UK: Cambridge University Press, 2007.
- [2] IPCC. Contribution of working group II to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [C] // Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. UK: Cambridge University Press, 2007.
- [3] 任国玉, 郭军, 徐铭志, 等. 近 50 年中国地面气候变化基本特征 [J]. 气象学报, 2005, 63(6): 942 - 956.
- [4] 买苗, 曾燕, 邱新法, 等. 黄河流域近 40 年日照百分率的气候变化特征 [J]. 气象, 2005, 32(5): 62 - 66.
- [5] 徐宗学, 赵芳芳. 黄河流域日照时数变化趋势分析 [J]. 资源科学, 2005, 27(5): 153 - 159.
- [6] 郭军, 任国玉. 天津地区近 40 年日照时数变化特征及其影响因素 [J]. 气象科技, 2006, 34(4): 415 - 420.
- [7] 李跃清. 近 40 年青藏高原东侧地区云、日照、温度及日较差的分析 [J]. 高原气象, 2002, 21(3): 327 - 331.
- [8] 杜军, 周明君, 罗布次仁, 等. 近 50 年拉萨日照时数的变化特征 [J]. 气象科技, 2007, 35(6): 818 - 821.
- [9] 毛飞, 卢志光, 郑凌云, 等. 近 40 年那曲地区日照时数和风速变化特征 [J]. 气象, 2006, 32(9): 77 - 83.

(下转第 129 页)

- [2] 高廷耀,陈洪斌,夏四清,等.我国水污染控制的思考[J].给水排水,2006,32(5):9-13.
- [3] 沈耀良,赵丹,王承武,等.ABR反应器的水力特征研究[J].中国给水排水,2003,19(11):1-3.
- [4] 黄廷林,丛海兵,周真明,等.强化原位生物接触氧化技术改善水源水质的试验研究[J].环境科学学报,2006,25(5):785-790.
- [5] MANN A, FITZPATRICK C S B, STEPHENSON T. Comparison of floating and sunken media biological aerated filters using tracer study techniques[J]. Process Safety and Environmental Protection: Transactions of the Institution of Chemical Engineers Part B, 1995, 73(2):137-143.
- [6] 陈汉辉,孙国胜.东深源水生物预处理工程挂膜启动过程水质净化效果变化的分析[J].环境污染治理技术与设备,2002,3(2):59-61.
- [7] 高大文,彭永臻.实时控制技术在污水生物处理中的研究进展[J].应用与环境生物学报,2004,10(6):821-825.
- [8] 杨岸明,王淑莹,杨庆,等.变频控制DO下SBR硝化反应控制参数及节能的中试研究[J].环境工程学报,2007,1(10):13-17.
- [9] 张元兴,许学书.生物反应器工程[M].上海:华东理工大学出版社,2001:93-116.
- [10] 凌霄,胡勇有.曝气生物滤池流态特性研究[J].安全与环境学报,2005,5(4):4-7.
- [11] Chen J, Deng Y. Identifiability analysis of the CSTR river water quality model[J]. Water Science and Technology, 2006, 53(1):93-99.
- [12] 陈甘棠.化学反应工程[M].北京:化学工业出版社,2009:88-107.
- [13] 中华人民共和国水利部.水域纳污能力计算规程[S].北京:水利水电出版社,2006:30-31.
- [14] 顾莉,祖华林,何伟,等.河流污染物纵向离散系数确定的党演算优化法[J].水利学报,2007,38(12):1421-1425.
- [15] 温季,郭建表,宰松梅,等.河流水团示踪试验数据分析的双站直线解析法[J].水利学报,2008,39(5):618-622.
- [16] 杜彦良,褚君达.河流中污染源垂向紊动混合过程研究[J].水科学进展,2003,14(3):318-322.
- [17] 王金刚,王西奎,郭培全,等.利用涡流空化效应降解水中罗丹明B[J].中国环境科学,2007,27(1):129-131.

(上接第124页)

- [10] 华维,范广洲,周定文,等.青藏高原四季日照时数年际、年代际变化趋势分析[J].自然资源学报,2009,24(10):1810-1817.
- [11] 杜军,边多,胡军,等.西藏近35年日照时数的变化特征及其影响因素[J].地理学报,2007,62(5):492-500.
- [12] 张智,林莉,孙银川,等.银川市日照时数气候变化特征分析[J].干旱区地理,2006,23(2):344-348.
- [13] 张运林,秦伯强,陈伟民,等.太湖无锡地区近40a来日照的变化特征分析[J].气象科学,2003,23(2):231-236.
- [14] 余功梅.华南地区近40年降水的气候特征[J].热带气象学报,1996,2(3):252-256.
- [13] 郑彬,梁建茵,林爱兰,等.华南前汛期的锋面降水和夏季风降水I.划分日期的确定[J].大气科学,2006,30(6):1207-1216.
- [14] 伍红雨,杜尧东.1961-2008年华南区域寒潮变化的气候特征[J].气候变化研究进展,2010,6(3):192-197.
- [15] 王志伟,唐红玉,李芬.近50年中国华南雨涝变化特征分析[J].热带气象学报,2005,21(1):92-97.
- [16] 林爱兰,李春晖,郑彬,等.南海夏季风爆发与华南前汛期锋面降水气候平均的联系[J].中山大学学报:自然科学版,2010,49(4):134-138,143.
- [17] 温之平,吴乃庚,冯业荣,等.定量诊断华南春旱的形成机理[J].大气科学,2007,31(6):1224-1236.
- [18] 乔云亭,周鑫,简茂球,等.华南春旱特征及其与水汽输送的关系[J].中山大学学报:自然科学版,2010,49(2):125-129.
- [19] 陈丽娟,张培群.1951-2005年华南春播期气象条件的年代际变化[J].气候变化研究进展,2006,2(4):184-187.
- [20] 简茂球,乔云亭,温之平.华南季节干旱及连旱特征分析[J].中山大学学报:自然科学版,2008,47(4):118-121.
- [21] 杜尧东,毛慧琴,刘爱君,等.广东省太阳总辐射的气候学计算及其分布特征[J].资源科学,2003,25(6):66-70.
- [22] 黄珍珠,蔡玲玲,秦鹏,等.1960-2008年广东省不同区域的日照时数变化特征[J].广东气象,2009,31(6):23-25.
- [23] 魏凤英.现代气候统计诊断预测技术[M].2版.北京:气象出版社,2007:23-71.