

敦煌地区温湿度和日温差的极值特性研究

刘艳琳, 郭赞洪, 唐其环
(西南技术工程研究所, 重庆 400039)

摘要: 目的 建立敦煌地区温度、相对湿度和日温差的年极值拟合模型。方法 根据当地气象站温度和相对湿度日记时值数据,连续统计若干年的三要素年极值,采用极大似然法建立各要素年极值的 Gumbel 模型,同时讨论值域有界类气象因素极值再现期的定义域。结果 给出了敦煌地区温度、相对湿度和日温差年极值的 Gumbel 模型参数。结论 敦煌地区各气象因素 Gumbel 模型位置参数和尺度参数,温度极大值分别为 35.193, 1.072 °C, 温度极小值分别为 -20.085, 1.945 °C, 相对湿度极大值为 95.254%, 2.471%, 相对湿度极小值为 5.837%, 1.505%, 日温差极大值为 20.676, 0.777 °C, 日温差极小值为 1.398, 0.593 °C; 相对湿度极大值、相对湿度极小值和日温差极小值的再现期定义域分别为 6.3, 47 和 10 年。

关键词: 气象因素极值; Gumbel 模型; 位置参数; 尺度参数; 极大似然法; 再现期

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2014.04.015

中图分类号: P423 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2014)04-0077-05

Study on Extreme Characteristics of Temperature, Humidity and Daily Temperature Difference in Dunhuang

LIU Yan-lin, GUO Zan-hong, TANG Qi-huan

(Southwest Technology and Engineering Research Institute, Chongqing 400039, China)

ABSTRACT: Objective To establish an annual extreme fitting model of temperature, relative humidity and daily temperature difference in Dunhuang area. **Methods** According to the daily data of temperature and relative humidity at the local meteorological station, we statistically analyzed the annual extreme value of three elements. Then we established the elements of the annual extreme value Gumbel model by the likelihood method. And we discussed a bounded domain of meteorological elements in the extreme return period domain at the same time. **Results** We presented the annual extreme Gumbel model parameters of the temperature, relative humidity and daily temperature difference in Dunhuang area. **Conclusion** The Gumbel model of meteorological factors in Dunhuang area gave the location parameter and scale parameter. The maximal temperature was 35.193, 1.072 °C, and the minimal temperature was -20.085, 1.945 °C. The maximal relative humidity was 95.254, 2.471%, and the minimal relative humidity was 5.837, 1.505%. The maximal daily temperature

收稿日期: 2014-06-04; 修订日期: 2014-06-23

Received: 2014-06-04; Revised: 2014-06-23

作者简介: 刘艳琳(1969—),女,重庆人,工程师,主要研究方向为装备环境工程。

Biography: LIU Yan-in(1969—), Female, from Chongqing, Engineer, Research focus: equipment environmental engineering.

通讯作者: 唐其环(1965—),男,研究员级高级工程师,主要研究方向为环境分析与大气腐蚀性评估。

Corresponding author: TANG Qi-huan(1965—), Male, Researcher level senior engineer, Research focus: environmental analysis and avolution of atmospheric corrosion.

difference value was 20.676, 0.777 °C, and the minimal daily temperature difference value was 1.398, 0.593 °C. The return periods of the maximal relative humidity, the minimal relative humidity and the minimal daily temperature difference value were 6.3 years, 47 years and 10 years, respectively.

KEY WORDS: the extreme meteorological factors; the Gumbel model; location parameter; scale parameter; the maximum likelihood method; return period

中国的西北地区,尤其是西北的沙漠地区,雨水稀少、蒸发量大,夏季地表温度一般在 50~60 °C,冬天气温可降至-30 °C,昼夜温差可达到 35 °C 以上。具有气候干燥、冬天寒冷、夏天炎热、昼夜和季节温差大、干热等温湿度气候特征。干热可引起设备或元器件的热老化,高温可使机油和液压油变质加快,干燥的空气易积聚静电荷,易引起电路的随机故障。高温和大温差可引起元器件参数发生漂移或元器件损坏,橡胶制品产生发黏和老化,使金属膨胀、材料软化、润滑脂黏度下降,对炸药的安全性、火药的易燃性有显著影响。低温可使橡胶、塑料制品变硬发脆,润滑脂黏度增大,甚至冻结,电子元器件参数发生漂移,材料收缩造成零部件配合间隙发生变化,火药和固体燃料燃烧速度下降等,从而降低产品的环境适应性。

许多学者对工程装备^[1]、地空导弹装备^[2]、液压系统和元件^[3]、步进电机驱动器^[4]、聚苯乙烯^[5]、车辆柴油机^[6]、混凝土^[7]、电工电子产品^[8]、管道^[9]等产品在沙漠自然环境中的环境适应性进行了广泛研究。这些研究均未结合试验期间具体气候特征要素的量值,大多只是引用这些要素的平均值对试验结果进行笼统的阐释,对试验结果的引用应持谨慎态度。如文献[5],试验时间仅 1 年,而所引用的温湿度特征要素是从相关文献摘录的。由于自然环境试验的环境条件是不可控的,温度和湿度的动态变化使得试验样品在试验过程中经历的各项特征要素相差很大,短期的量值与长期的统计平均可能存在较大的偏差,因此,用平均值阐释试验结果不是很充分,试验结果有一定的局限性。

环境条件的严酷程度和历时长短是影响产品环境适应性的重要因素,产品自然环境试验时严酷环境条件出现的几率大小是评估试验结果代表性的重要依据。环境条件的严酷程度和历时长短可用其极值性来描述,Gumbel 分布是拟合气候极值常用的分布。许多学者成功应用 Gumbel 分布对降雨径流频率^[10]、极端降水时空分布^[11]、管道最大腐蚀深

度^[12]、贵州降雨变化趋势^[13]、中国南方夏半年湿期概率^[14]等进行了分析。陈元芳、李兴凯和罗纯等人还对 Gumbel 分布参数的估计方法进行了讨论^[15-16],GJB 1172.1^[17]规定采用 Gumbel 分布拟合各气候要素的承受极值。

文中根据敦煌近 15 年的温度和相对湿度的日记时值数据分析了敦煌地区温度、相对湿度和日温差的时空分布,并获得了它们的 Gumbel 参数、再现期值和承受极值等统计量,对产品在敦煌地区的环境适应性试验结果的定量评估和代表性评估具有重要的意义。

1 气象数据整理

搜集敦煌地区 1991 年至 2005 年每天 2:00, 8:00, 14:00, 20:00 的 4 次温度和相对湿度数据。以每天 4 次温度中最高值与最低值之差作为日温差,统计每年的温度、相对湿度和日温差的极大值和极小值,结果见表 1。

表 1 敦煌 1991 年至 2005 年的温度、相对湿度和日温差极值
Table 1 The annual extrema of temperature, relative humidity, daily temperature difference in Dunhuang from 1991 to 2005

年份	温度/°C		相对湿度/%		日温差/°C	
	最高值	最低值	最高值	最低值	最大值	最小值
1991	36.8	-29.4	96	8	21.2	2.3
1992	34.9	-21.9	97	5	22.3	1.8
1993	33.5	-18.8	98	5	21.3	1.0
1994	36.8	-20.1	98	4	20.6	0.2
1995	36.1	-19.5	100	6	19.7	0.5
1996	36.2	-21.5	98	0	21.8	1.6
1997	36.2	-17.6	95	7	21.6	1.9
1998	35.2	-20.9	97	4	21.2	0.3
1999	37.0	-20.2	97	5	21.0	0.4
2000	36.5	-19.4	96	4	21.2	1.0
2001	36.0	-25.0	96	4	19.5	1.2
2002	34.6	-22.7	96	4	21.9	1.3
2003	34.2	-19.8	98	6	20.9	0.7
2004	35.6	-23.6	91	6	20.6	0.9
2005	36.2	-19.1	93	7	21.0	1.3

2 数据处理方法

2.1 拟合模型

温度、相对湿度和日温差的极大值采用 Gumbel 极大值渐近分布模型拟合,其极小值则采用 Gumbel 极小值渐近分布模型拟合,Gumbel 的两种分布模型分别见式(1)和式(2)。

Gumbel 极大值渐近分布模型为:

$$F_N(x) = e^{-e^{-(x-u)/\delta}} \quad (1)$$

式中: $F_N(x)$ 为极大值分布函数; x 为气象要素年极大值; u 为极大值分布的位置参数,单位与 x 相同; δ 为极大值分布的尺度参数,单位与 x 相同。

Gumbel 极小值渐近分布模型为:

$$F_1(x) = 1 - e^{-e^{-(x-u)/\delta}} \quad (2)$$

式中: $F_1(x)$ 为极小值分布函数; x 为气象要素年极小值; u 为极大值分布的位置参数; δ 为极大值分布的尺度参数。

2.2 Gumbel 参数估计方法

文中采用极大似然法估计 Gumbel 参数。极大值渐近分布模型的参数估计式推导过程如下所述。

根据式(1)可得其密度函数为:

$$P(x) = F'(x) = \frac{1}{\delta} e^{-(x-u)/\delta} e^{-e^{-(x-u)/\delta}} \quad (3)$$

因此对数似然函数为:

$$\ln L = -n \ln \delta - \frac{1}{\delta} \sum_{i=1}^n x_i + \frac{nu}{\delta} - e^{u/\delta} \sum_{i=1}^n e^{-x_i/\delta} \quad (4)$$

得似然方程为:

$$\frac{\partial \ln L}{\partial u} = n - e^{u/\delta} \sum_{i=1}^n e^{-x_i/\delta} = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \delta} = -n\delta + \sum_{i=1}^n x_i - nu + ue^{u/\delta} \sum_{i=1}^n e^{-x_i/\delta} - e^{-u/\delta} \sum_{i=1}^n x_i e^{-x_i/\delta} = 0 \quad (6)$$

整理得:

$$\frac{\sum_{i=1}^n x_i e^{-x_i/\delta}}{\sum_{i=1}^n e^{-x_i/\delta}} + \delta = x \quad (7)$$

由式(7)解出 δ ,代入(5)式解出 u 。极小值渐

近分布模型的估计式与此类似。

2.3 再现期与承受极值计算

2.3.1 再现期值

温度、相对湿度和日温差的极大值分布的再现期值按式(8)计算:

$$x_N = u - \delta \ln \left(-\ln \left(\frac{N}{N+1} \right) \right) \quad (8)$$

式中: N 为再现期; x_N 为极大值再现期值。

温度、相对湿度和日温差的极小值分布再现期值按式(9)计算:

$$x_N = u + \delta \ln \left(-\ln \left(\frac{N}{N+1} \right) \right) \quad (9)$$

2.3.2 承受极值

给定预期暴露期 T 、再现风险率 α ,先按式(10)计算再现期 N :

$$N = \frac{T}{\alpha} \quad (10)$$

将 N 值代入式(8)或式(9)即得相应的承受极值。

2.4 置信区间估计

给定置信水平 α ,模拟试验 M 次,每次样本量为 n ,采用蒙特卡罗法计算分布参数 u, δ 和不同再现期值的均值、标准差、置信区间。这里取 $\alpha = 0.05, M = 10000, n = 500$ 。

3 处理结果与分析

采用上述方法对表 1 中的数据进行处理,可得到温度、相对湿度、日温差极值的 Gumbel 参数及不同年限的再现期值,见表 2。若给定再现风险率 α 为 10%,则表 2 中的再现期值即暴露期分别为 5, 10, 20 年的承受极值。

从表 2 知,在给定的再现期内,相对湿度极大值的再现期值超过了 100%,其极小值和日温差极小值的再现期值成了负数,这与相对湿度介于 0% ~ 100% 之间、日温差 ≥ 0 的物理意义相矛盾的。这是因为气象因素的值域是有界的,使得所给再现期已超出了式(8)和式(9)的定义域。这类因素,在进行再现期值的计算时需要计算其定义域,对于极大值用式(8)计算,极小值则采用式(9)计算。

表2 温度、相对湿度、日温差极值 Gumbel 参数及再现期值
Table 2 The Gumbel parameters and value corresponding to return period of temperature, relative humidity, daily temperature difference in Dunhuang

因素	统计量	位置参数	尺度参数	再现期值/年			
				50	100	200	
温度 /℃	极大值	均值	35.193	1.072	39.4	40.1	40.9
		标准差	0.113	0.084	0.4	0.4	0.5
		置信下限	34.977	0.913	38.7	39.3	40.0
		置信上限	35.418	1.241	40.2	41.0	41.9
极小值	均值	-20.085	1.945	-27.7	-29.1	-30.4	
	标准差	0.210	0.153	0.7	0.8	0.9	
	置信下限	-20.503	1.651	-29.1	-30.7	-32.2	
	置信上限	-19.679	2.252	-26.4	-27.5	-28.7	
相对湿度 /%	极大值	均值	95.254	2.471	105	107	108
		标准差	0.263	0.194	0.9	1.0	1.1
		置信下限	94.753	2.105	103	105	106
		置信上限	95.777	2.867	107	109	111
极小值	均值	5.837	1.505	0	-1	-2	
	标准差	0.159	0.118	0.5	0.6	0.7	
	置信下限	5.518	1.280	-1	-2	-4	
	置信上限	6.139	1.740	1	0	-1	
日温差 /℃	极大值	均值	20.676	0.777	23.7	24.3	24.8
		标准差	0.082	0.062	0.3	0.3	0.4
		置信下限	20.520	0.658	23.2	23.7	24.1
		置信上限	20.839	0.902	24.3	24.9	25.5
极小值	均值	1.398	0.593	-0.9	-1.3	-1.8	
	标准差	0.062	0.046	0.2	0.2	0.3	
	置信下限	1.273	0.505	-1.4	-1.8	-2.3	
	置信上限	1.517	0.687	-0.5	-0.9	-1.2	

经计算,相对湿度极大值、相对湿度极小值和日温差极小值的再现期定义域分别为 6.3,47,10 年,这也是相应因素极值的再现期。

理论上,温度极大值和日温差极大值没有上限,温度极小值没有下限,相应极大值和极小值的定义域分别为大于 0 和小于 0。尽管如此,过长的再现期也没有多大的实际意义。对于装备的环境适应性试验,一般暴露试验的时间不会超过 20 年,按 10% 的再现风险率计算,其再现期为 200 年,即对于这类气象因素的再现期定义域可设为小于等于 200 年。

通过比较环境因素实际经历的最大量值和根据 Gumbel 参数计算的再现期值,可评估暴露试验结果

是否具有代表性。例如,假设某产品在敦煌暴露周期为 3 年,根据表 2 中 Gumbel 参数,按式(8)计算的温度极大值再现期值为 36.5℃。若在试验期间最高温度低于 36.5℃,则说明试验结果的代表性不足;若在此期间最高温度达到 39.5℃,可说试验经历了 50 年一遇的高温试验,试验结果的代表性是较强的。

由于所处理的原始数据较少,所获结果有一定局限性,仅供参考。

4 结论

1) 值域有界的气象因素在应用 Gumbel 模型拟合极值时,应计算再现期的定义域;对于值域无界的气象因素,再现期的定义域也不能过长,一般不超过 200 年。

2) 敦煌地区各气象因素 Gumbel 模型位置参数和尺度参数:温度极大值为 35.193,1.072℃;温度极小值为 -20.085,1.945℃;相对湿度极大值为 95.254%,2.471%;相对湿度极小值为 5.837%,1.505%;日温差极大值为 20.676,0.777℃;日温差极小值为 1.398,0.593℃。

3) 敦煌地区相对湿度极大值、相对湿度极小值和日温差极小值的再现期定义域分别为 6.3,47,10 年。

参考文献:

- [1] 刘玉. 沙漠环境特点及其对工程装备的影响[J]. 装备环境工程,2012,9(6):67—71.
LIU Yu. Characteristics of Desert Environment and Its Influence on Engineering Equipment[J]. Equipment Environmental Engineering,2012,9(6):67—71.
- [2] 段楠楠,赵英俊,周豪. 地空导弹装备环境适应性研究与分析[J]. 装备环境工程,2009,6(6):88—91.
DUAN Nan-nan, ZHAO Ying-jun, ZHOU Hao. Research and Analysis of Environmental Worthiness of Ground-to-Air Missile Equipment[J]. Equipment Environmental Engineering,2009,6(6):88—91.
- [3] 何文杰. 干热环境气候条件对液压系统和元件工作的影响及对策[J]. 机床与液压,2001(5):115—117.
HE Wen-jie. Dry-Hot Environment Climate Impact on Hydraulic Systems and Components and the Countermeasures[J]. Hydraulic Pressure and Machine Tool,2001(5):

- 115—117.
- [4] 杨万钧,肖敏,封先河. 某型步进电机驱动器在高原和沙漠环境下的失效分析[J]. 装备环境工程,2010,7(6):193—195.
YANG Wan-jun, XIAO Min, FENG Xian-he. Failure Analysis of Certain Step Motor Driver in Tableland and Desert Climate [J]. Equipment Environmental Engineering,2010,7(6):193—195.
- [5] 揭敢新,刘鑫,陶友季,等. 典型干热自然环境对聚苯乙烯分子结构的影响[J]. 中国塑料,2013,27(6):52—55.
JIE Gan-xin, LIU Xin, TAO You-ji, et al. Effect of Natural Weathering on Molecular Structure of Polystyrene in Typical Dry-Hot Environment [J]. China Plastics, 2013, 27 (6) :52—55.
- [6] 何星,韩树,杨勇. 沙漠环境车辆柴油机故障分析[J]. 柴油机,2010,32(6):30—33.
HE Xing, HAN Shu, YANG Yong. Fault Analysis for the Vehicle Engine in Desert [J]. Diesel Engine, 2010, 32 (6) :30—33.
- [7] 徐少云,张粉芹,王起才. 提高大温差、大风、干燥环境下混凝土耐磨性的试验研究[J]. 兰州交通大学学报,2011,30(4):67—70.
XU Shao-yun, ZHANG Fen-qin, WANG Qi-cai. Experimental Study on Improving the Wear Resistance of Concrete in the Large Temperature Difference, Strong Wind and Dry Environment [J]. Journal of Lanzhou Jiaotong University, 2011, 30 (4) :67—70.
- [8] 陆颂梅. 我国干热沙漠环境特点对电工电子产品的影响[J]. 环境技术,2005(5):16—19.
LU Song-mei. Dry-Heat Desert Condition'S Negative Influences on the Electric and Electronic Equipment [J]. Environmental Technology, 2005 (5) :16—19.
- [9] 李凯,张贤波,李康锐,等. 浅谈沙漠地区管道内防腐现场补口[J]. 天然气与石油,2013,31(2):76—78.
LI Kai, ZHANG Xian-bo, LI Kang-rui, et al. A Break Talk on the Field Joint Coating of the Pipe Anticorrosion in the Desert Area [J]. Natural Gas and Petroleum, 2013, 31 (2) :76—78.
- [10] 冯平,王仲珏. 基于二维 Gumbel 分布的降雨径流频率分析模型及其应用[J]. 干旱区资源与环境,2007,21(10):68—72.
FENG Ping, WANG Zhong-jue. The Two-dimension Gumbel Model for Runoff and Rainfall Frequency Analysis and Application [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2007, 21 (10) :68—72.
- [11] 蔡敏,丁裕国,江志红. 我国东部极端降水时空分布及其概率特征[J]. 高原气象,2007,26(2):309—318.
CAI Min, DING Yu-guo, JIANG Zhi-hong. Extreme Precipitation Experimentation over Eastern China Based on L-moment Estimation [J]. Plateau Meteorology, 2007, 26 (2) :309—318.
- [12] 王水勇,任爱. 利用 Gumbel 极值分布预测管道最大腐蚀深度[J]. 腐蚀科学与防护技术,2008,20(5):358—360.
WANG Shui-yong, REN Ai. Evaluation of Maximum Corrosion Depth of Pipe by Gumbel Extreme Value Probability Distribution [J]. Corrosion Science and Protection Technology, 2008, 20 (5) :358—360.
- [13] 张志才,陈喜,王文,等. 贵州降雨变化趋势与极值特征分析[J]. 地球与环境,2007,35(4):351—356.
ZHANG Zhi-Cai, CHEN Xi, WANG Wen, et al. Analysis of Rainfall Trend and Extreme Events in Guizhou [J]. Earth and Environment, 2007, 35 (4) :351—356.
- [14] 何华,吴息,程炳岩,等. 中国南方夏半年湿期概率特征及其极值风险分析[J]. 气象科学,2010,30(6):773—777.
HE Hua, WU Xi, CHENG Bing-yan, et al. The Probability Analysis for Wet Spell and Its Extreme Risk during Summer Over Southern Part of China [J]. Scientia Meteorologica Sinica, 2010, 30 (6) :773—777.
- [15] 陈元芳,李兴凯,陈民,等. 考虑历史洪水时 Gumbel 分布线性矩法的研究[J]. 水电能源科学,2008,26(1):1—4.
CHEN Yuan-fang, LI Xing-kai, CHEN Min, et al. Study on Parameter Estimation by Using L-moment Method for Gumbel Distribution in Consideration of Historical Flood Information [J]. Water Resources and Power, 2008, 26 (1) :1—4.
- [16] 罗纯. 极大似然法和概率加权矩法之比较分析[J]. 上海应用技术学院学报,2003,3(1):40—44.
LUO Chun. Comparison & Analysis of Maximum-likelihood Method & Probability Weighted Moment Method [J]. Journal of Shanghai Institute of Technology, 2003, 3 (1) :40—44.
- [17] GJB 1172. 1—1991, 军用设备气候极值 总则[S].
GJB 1172. 1—1991, Climatic Extremes for Military Equipment [S].