

环境试验与观测

漠河低温工作极值及其统计方法探讨

张先勇^{1,2}, 唐其环¹, 张燕¹

(1. 西南技术工程研究所, 重庆 400039;

2. 漠河大气环境材料腐蚀国家野外科学观测研究站, 黑龙江 漠河 165399)

摘要: 为提高漠河试验站低温工作极值统计的准确性, 推进低温工作极值在装备低温环境适应性评估中的应用。以最低温度、平均温度、小于 $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的天数为基准条件, 分别统计了漠河不同年份的低温工作极值, 研究了基准条件、统计年份、数据缺失情况对严酷月确定和工作极值的影响。基准条件、统计年份、数据缺失都会影响严酷月的确定和低温工作极值的统计, 统计年份的影响比基准条件大, 数据缺失影响的严重性需要看数据缺失的多少和时间段。工作极值结果至少包括数据年限、基准条件、严酷月、时间风险率、与时间风险率对应的工作极值等内容。1991—2005年, 时间风险率为1%、5%、10%、20%、30%的最低温度工作极值分别为: -44.0 、 -40.7 、 -38.1 、 -35.6 、 $-33.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

关键词: 漠河; 低温; 工作极值; 严酷月; 时间风险率; 基准条件; 环境适应性

中图分类号: P423

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2021)09-0125-07

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2021.09.019

Discussion on Operational Extreme Value and Statistical Method of Mohe Low Temperature

ZHANG Xian-yong^{1,2}, TANG Qi-huan¹, ZHANG Yan¹

(1. Southwest Institute of Technology and Engineering, Chongqing 400039, China; 2. Mohe National Field Scientific Observation & Research Station on Materials Corrosion in Atmospheric Environment, Mohe 165399, China)

ABSTRACT: This paper aims to improve the accuracy of low temperature operational extreme value statistics in Mohe test station and promote the application of low temperature operational extreme value in equipment low temperature environmental adaptability assessment. Based on the lowest temperature, average temperature and days below $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$, the low temperature operational extreme values of Mohe in different years are counted respectively, and the effects of base conditions, statistical years and data missing on the determination of harsh months and operational extreme values are studied. Base conditions, statistical years, data missing will affect the determination of harsh months and the statistics of low temperature operational extreme values. The influence of statistical year is greater than that of base condition. The severity of the influence caused by data missing depends on the amount and time period of data missing. The results of operational extreme values include at least data years, base conditions, harsh months, time risk rates, operational extreme values corresponding to time risk rates, etc. From 1991 to 2005, the lowest temperature operational extreme values with the time risk rates of 1%, 5%, 10%, 20% and 30%

收稿日期: 2021-04-09; 修订日期: 2021-05-31

Received: 2021-04-09; Revised: 2021-05-31

作者简介: 张先勇(1970—)男, 高级工程师, 主要研究方向为环境分析与大气腐蚀性评估。

Biography: ZHANG Xian-yong (1970—), Male, Senior engineer, Research focus: environmental analysis and atmospheric corrosivity assessment.

引文格式: 张先勇, 唐其环, 张燕. 漠河低温工作极值及其统计方法探讨[J]. 装备环境工程, 2021, 18(9): 125-131.

ZHANG Xian-yong, TANG Qi-huan, ZHANG Yan. Discussion on operational extremes value and statistical method of Mohe low temperature[J]. Equipment environmental engineering, 2021, 18(9): 125-131.

were $-44.0, -40.7, -38.1, -35.6$ and -33.6 °C respectively.

KEY WORDS: Mohe; low-temperature; operational extreme values; harsh month; time risk rate; base condition; environmental adaptability

漠河大气试验站是国防科技工业自然环境试验站网的寒冷试验站,位于黑龙江漠河县城郊,已成为我国装备低温自然环境适应性试验和评价的重要试验站,已开展大量装备及相关材料的自然环境适应性试验。漠河是我国最寒冷的地区,最低温度可达到 -52 °C^[1],年平均温度仅 -1.8 °C,每年有两个多月的时间在 -40 °C以下,属于典型的北寒带寒冷森林型气候^[2]。

低温几乎对所有的基体材料都有不利影响,对于暴露于低温环境的装备,由于低温会改变其组成材料的物理特性,对其性能会造成暂时或永久性的损害。GJB 50A 列出了诸如材料的硬化和脆化、润滑油的润滑作用和流动性降低等 12 种环境效应^[3]。对于锂离子电池, -10 °C时,三元材料锂离子电池的放电功率衰减 45%,磷酸铁锂电池衰减 58%^[4]。 -40 °C时,有的锂离子电池的放电容量只有室温时的 12%^[5]。对于天文望远镜,在低温环境下,传动系统由于润滑、间隙、材料特性等因素的影响,导致望远镜的负载扭矩增大,并具有非线性特性,甚至超过电机的峰值扭矩,从而卡死传动系统^[6]。为了应对低温环境的影响,目前在南极和空间设备上主要采取的措施是被动温控、优选器件和隔离^[7-9]。

工作极值和承受极值是 GJB 1172 中气象要素的两个重要极值概念,工作极值表征了保障军用设备正常工作的气象要素临界值,承受极值表征了军用设备不发生不可逆损坏的气象要素临界值。类似的标准还有 GJB 4657^[10]、MIL-STD-210^[11]等,可见,工作极值和承受极值是气象要素数据在军用装备环境适应性评估和试验中的具体应用。然而,工作极值和承受极值的应用和发展并不理想,GJB 1172 和 GJB 4657 发布了近 30 年,却一直没有更新过。以 GJB 1172、工作极值、承受极值为关键词,在网上只查到 1 篇 1995 年发表的相关文献^[12],另外在 1 本 2004 年的会议论文集集中找到 1 篇相关文献^[13];以气候极值为关键词,在维普上从 2011—2020 年只能查到 15 篇相关文献^[14-18];以再现期为关键词,在维普上从 2010—2018 年只查到 6 篇相关文献^[19-22]。承受极值与气候极值的内涵是一致的,数据处理的方法也相同,但二者应用的领域不同。由于研究人员的关注点不同,承受极值的发展并没有提升军用装备环境适应性评估和试验的水平,更何况工作极值的研究远不如人们对承受极值的研究。

低温工作极值是低温保障设备正常工作的临界值,是描述低温的重要环境参数。GJB 1172.1 列出了相应的统计方法:比较各月的月最高值或月最低值、

月平均值、小于某一阈值的月天数选取严酷月,根据低温严酷月的逐时资料和时间风险率进行统计。不同的统计量所统计的工作极值是不相同的,统计时间长度还有 1 年、连续多年之分,这会影响统计结果,GJB 1172 未予明确规定。文中根据漠河气象局、漠河试验站在漠河观测的温度日记时值数据,研究不同统计量和年份对统计的低温工作极值的影响。

1 观测数据

漠河气象局在东经 $122^{\circ}31'$ 、北纬 $52^{\circ}58'$,海拔 433.0 m。文中研究数据取自漠河气象局 1991—2005 年每天 2:00、8:00、14:00、20:00 的 4 次温度数据,2011、2012 年的日记时值温度数据。图 1 为漠河气象局温度 4 次数据的散点图。

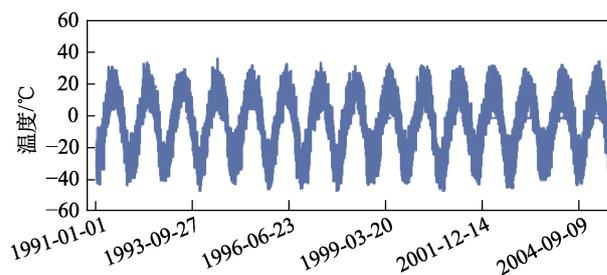


图 1 漠河气象局 1991—2005 年 4 次日记数据
Fig.1 Four diary data of the Mohe Meteorological Bureau from 1991 to 2005

2 数据处理方法

根据 GJB 1172.1 规定的方法,确定漠河的工作极值。比较各月的月最高值或月最低值、月平均值、小于某一阈值的月天数选取严酷月。将严酷月的逐时或逐次记录由小到大排序,按照式(1)确定的第 i 个记录为时间风险率等于 t 的工作极值。

$$i = \text{INT}(t \cdot N) \quad (1)$$

式中: i 为排序后的记录号; t 为时间风险率; N 为严酷月记录总数。

3 数据处理结果

3.1 严酷月的确定

3.1.1 月最低温度统计及严酷月的确定

对于低温,严酷月只会出现在冬季,严酷月只需要从 1—3 月、10—12 月中选取即可。以月最低温度

为基准，统计漠河各年冬季每月的最低温度，将月最低温度最低的月份确定为严酷月，其结果见表 1。从表 1 知，1991—2015 年和 2011、2012 年，严酷月的分布为：1 月 9 次、12 月 5 次、2 月 2 次、11 月 1 次。

3.1.2 月平均温度统计及严酷月的确定

以月平均温度为基准，统计漠河各年冬季每月的平均温度，将平均温度最低的月份确定为严酷月，其结果

见表 2。从表 2 可知，1991—2015 年和 2011、2012 年，严酷月的分布为：1 月 10 次、12 月 7 次。与最低温度选取的严酷月相比，2 月、11 月没有被选为严酷月的年份。

3.1.3 温度小于-35℃每月天数统计及严酷月的确定

以温度小于-35℃每月天数为基准，统计漠河各年冬季每月的天数，以天数最多的月份确定为严酷月，其结果见表 3。从表 3 可知，1991—2015 年和 2011、

表 1 漠河各年冬季每月的最低温度及严酷月
Tab.1 Monthly lowest temperature and harsh months of winter in each year in Mohe

年份	月最低温度/℃						严酷月
	1 月	2 月	3 月	10 月	11 月	12 月	
1991	-40.6	-41.5	-32.0	-20.4	-33.5	-41.9	12
1992	-37.4	-37.2	-33.7	-20.7	-38.9	-38.5	11
1993	-39.2	-35.5	-27.0	-18.1	-30.8	-41.3	12
1994	-47.9	-36.4	-34.6	-20.3	-33.2	-40.3	1
1995	-41.3	-34.0	-32.2	-9.4	-30.6	-38.9	1
1996	-44.1	-39.8	-30.6	-25.0	-37.5	-43.9	1
1997	-43.5	-38.5	-40.6	-19.8	-36.0	-45.2	12
1998	-46.7	-40.8	-27.9	-13.0	-39.9	-41.2	1
1999	-40.1	-41.1	-36.1	-21.1	-38.3	-39.7	1
2000	-41.1	-37.9	-29.5	-22.5	-40.5	-44.0	12
2001	-43.1	-46.1	-32.3	-18.0	-33.4	-35.9	1
2002	-38.0	-41.4	-36.5	-23.2	-35.1	-43.0	12
2003	-43.7	-43.2	-30.4	-16.9	-36.9	-38.3	1
2004	-38.3	-36.2	-35.5	-18.5	-33.8	-41.9	12
2005	-40.8	-37.8	-32.3	-21.6	-37.5	-40.1	1
2011	-38.1	-32.8	-29.9	-23.3	-31.7	-34.6	1
2012	-37.5	-30.9	-27.7	-12.8	-28.8	-36.7	1

表 2 漠河各年冬季每月的平均温度及严酷月
Tab.2 Monthly average temperature and harsh months of winter in each year in Mohe

年份	月平均温度/℃						严酷月
	1 月	2 月	3 月	10 月	11 月	12 月	
1991	-26.6	-25.2	-16.1	-2.3	-17.6	-28.8	12
1992	-27.7	-23.8	-14.9	-1.7	-21.4	-26.4	1
1993	-28.6	-20.9	-10.6	-2.3	-17.7	-28.3	1
1994	-33.9	-21.9	-12.7	0.4	-18.4	-28.8	1
1995	-25.7	-21.6	-14.5	0.0	-15.2	-25.7	1,12
1996	-30.3	-22.9	-14.7	-2.8	-18.5	-32.4	12
1997	-28.3	-24.3	-13.6	-3.4	-15.5	-28.8	12
1998	-31.6	-20.4	-10.1	-0.9	-21.9	-27.2	1
1999	-25.8	-20.1	-19.8	-3.6	-18.1	-25.6	1
2000	-28.2	-24.2	-12.6	-4.8	-24.1	-33.6	12
2001	-31.6	-27.0	-14.0	-2.2	-10.9	-24.2	1
2002	-25.8	-19.9	-9.7	-5.6	-20.5	-28.6	12
2003	-29.5	-24.0	-9.0	-1.5	-21.1	-21.6	1
2004	-28.0	-22.8	-12.4	-0.6	-12.7	-27.2	1
2005	-25.5	-25.5	-11.6	-1.1	-17.2	-26.3	12
2011	-26.1	-20.0	-11.8	-2.8	-14.7	-24.0	1
2012	-22.2	-16.3	-8.1	2.7	-12.0	-22.5	12

2012年,严酷月的分布为:1月11次、12月6次、2月1次。2月、11月没有被选为严酷月的年份。

3.1.4 从所有年份确定不同基准条件的严酷月

将1991—2005年,2011、2012年视为一个整体,统计不同基准条件各月的最低温度或最多天数,并确定相应的严酷月,统计结果见表4。从表4可知,3种基准条件统计结果都是1月份为严酷月。

3.2 工作极值的确定

3.2.1 规定时间风险率的记录号

由于不同严酷月天数不同、每天数据采集次数不同、基准条件不同、漠河试验站观测数据存在一定的缺失等原因,严酷月的记录总数并不相同,按式(1)计算的规定时间风险率对应的记录号也不相同。严酷月记录总数和规定时间风险率对应的记录号见表5。

表3 气象局数据年度温度小于-35℃的月天数统计

Tab.3 Meteorological Bureau data statistics of the number of monthly days with annual temperature below -35℃

年份	小于-35℃每月天数/d						严酷月
	1月	2月	3月	10月	11月	12月	
1991	10	9	0	0	0	13	12
1992	12	12	0	0	6	7	1,2
1993	14	1	0	0	0	9	1
1994	24	2	0	0	0	12	1
1995	6	0	0	0	0	5	1
1996	17	7	0	0	3	23	12
1997	16	8	2	0	1	14	1
1998	22	5	0	0	10	12	1
1999	7	2	3	0	4	9	12
2000	16	6	0	0	14	26	12
2001	22	14	0	0	0	2	1
2002	13	6	1	0	1	16	12
2003	22	9	0	0	4	4	1
2004	15	3	1	0	0	13	1
2005	10	7	0	0	2	12	12
2011	5	0	0	0	0	0	1
2012	4	0	0	0	0	2	1

表4 从所有年份确定不同基准条件的严酷月

Tab.4 Harsh months for different base conditions from all years

基准条件	统计值						严酷月
	1月	2月	3月	10月	11月	12月	
最低温度/℃	-47.9	-46.1	-40.6	-25	-40.5	-45.2	1
平均温度/℃	-33.9	-27	-19.8	-5.6	-24.1	-33.6	1
<-35℃天数/d	235	91	7	0	45	179	1

表5 严酷月数据记录总数及相应时间风险率的记录号

Tab.5 Data records number of harsh months and corresponding time risk rates

数据源	严酷月	记录总数	给定时间风险率的记录号					
			1%	5%	10%	20%	30%	
漠河气象局	单独年份	1,2	240	2	12	24	48	72
		11	120	1	6	12	24	36
		12	124	1	7	14	29	44
	所有年份	1	1860	18	93	186	372	558
漠河站	2011年	1	744	6	30	61	122	183
	2012年	1	744	7	35	70	141	212

3.2.2 给定时间风险率的工作极值

根据气象局数据中漠河 1991—2005 年各年的严酷月、漠河站 2011、2012 年严酷月，分别组织相应的温度观测数据，并独立从小到大排序，各自选取规定时间风险率记录号对应的温度值，即可为相应的工作极值，不同基准条件统计的工作极值见表 6。表 6 中 I、II、III 分别表示月最低温度、月平均温度和小于温度-35℃的每月天数。从表 6 可知，不同年份的严酷月并不相同，不同的基准条件所确定的严酷月在某些年份也不一样，这导致了所统计的工作极值有较大的差别。

4 分析与讨论

4.1 基准条件对工作极值统计结果的影响

从表 6 中筛选出有多种工作极值年份的统计数

据，统计给定时间风险率条件下工作极值的极差，即同一年内最高工作极值与最低工作极值之差，统计结果见表 7。从表 7 可知，不同基准条件统计的低温工作极值有一定的偏差，最大极差值为 3.7℃，约占工作极值的 10%，平均极差值为 1.5~1.8℃。

上述统计结果表明，3 种基准条件统计的工作极值有显著的差异，这会影响工作极值的推广应用。为此，需要界定基准条件，规范工作极值的处理方法，建议在给出工作极值的同时要给出相应的基准条件。

4.2 不同年份对工作极值统计结果的影响

对表 6 中的统计数据，统计给定时间风险率条件下工作极值的极差值、最大值、最小值、平均值和标准差，其中极差是指给定时间风险率条件下所有年份内最高工作极值与最低工作极值之差，统计结果见表 8。从表 8 可知，不同年份统计的低温工作极值相差较大，极差值约为工作极值的 30%，远远大于基准条

表 6 不同基准条件严酷月对应给定时间风险率的工作极值
Tab.6 Operational extreme values of harsh months under given time risk rates and different base conditions

数据源	年份	严酷月	基准条件	时间风险率				
				1%	5%	10%	20%	30%
漠河气象局	1991	12	I、II、III	-41.9	-38.6	-36.5	-34.4	-32.5
		1	II	-37.4	-36.1	-35.5	-34.5	-32.4
	1992	1、2	III	-37.2	-36.1	-35.4	-33.6	-31.7
		11	I	-38.9	-35.9	-34.5	-31.1	-28.7
	1993	1	II、III	-39.2	-37.4	-36.4	-35.0	-33.1
		12	I	-41.3	-38.4	-36.0	-34.1	-32.5
	1994	1	I、II、III	-47.9	-45.1	-43.8	-40.8	-37.5
	1995	1	I、II、III	-41.3	-37.7	-34.8	-32.8	-30.2
	1996	1	I	-44.1	-42.3	-41.2	-38.6	-35.4
		12	II、III	-43.9	-43.0	-41.3	-38.5	-36.6
	1997	1	III	-43.5	-41.1	-39.1	-35.8	-33.3
		12	I、II	-45.2	-38.8	-36.8	-34.7	-32.8
	1998	1	I、II、III	-46.7	-44.0	-43.0	-41.4	-38.4
		1	I、II	-40.1	-36.3	-34.7	-31.2	-29.5
	1999	12	III	-39.7	-37.9	-35.7	-33.5	-30.9
		2000	12	I、II、III	-44.0	-42.2	-41.4	-39.6
	2001	1	I、II、III	-43.1	-41.5	-40.3	-38.5	-36.2
	2002	12	I、II、III	-43.0	-39.3	-37.6	-35.8	-33.9
	2003	1	I、II、III	-43.7	-40.6	-39.6	-37.6	-35.8
	2004	1	II、III	-38.3	-36.8	-35.7	-34.8	-33.8
		12	I	-41.9	-40.6	-39.0	-36.2	-32.8
	2005	1	I	-40.8	-35.8	-35.4	-32.8	-30.7
		12	II、III	-40.1	-38.7	-37.5	-35.3	-32.8
	总时间	1	I、II、III	-44.0	-40.7	-38.1	-35.6	-33.6
漠河试验站	2011	1	I、II、III	-36.5	-33.0	-30.8	-28.3	-25.5
	2012	1	I、II、III	-35.7	-33.2	-31.3	-29.2	-28.1

表 7 不同基准条件统计给定时间风险率条件下工作极值的极差值

Tab.7 Range of operational extreme values under given timerisk rates and different base conditions

年份/统计量	时间风险率				
	1%	5%	10%	20%	30%
1992	1.7	0.2	1.0	3.4	3.7
1993	2.1	1.0	0.4	0.9	0.6
1996	0.2	0.7	0.1	0.1	1.2
1997	1.7	2.3	2.3	1.1	0.5
1999	0.4	1.6	1.0	2.3	1.4
2004	3.6	3.8	3.3	1.4	1.0
2005	0.7	2.9	2.1	2.5	2.1
最大极差值	3.6	3.8	3.3	3.4	3.7
最小极差值	0.2	0.2	0.1	0.1	0.5
平均极差值	1.5	1.8	1.5	1.7	1.5
极差值标准差	1.2	1.3	1.1	1.1	1.1

表 8 不同年份给定时间风险率条件下工作极值的统计量

Tab.8 Statistics of operational extreme values under given time risk rates in different years

基准条件	时间风险率				
	1%	5%	10%	20%	30%
极差值	12.2	12.1	13.0	13.1	12.9
最大值	-35.7	-33.0	-30.8	-28.3	-25.5
最小值	-47.9	-45.1	-43.8	-41.4	-38.4
平均值	-41.5	-38.9	-37.4	-35.1	-33.0
标准差	3.1	3.1	3.2	3.3	3.1

件的影响，二者相差 3 倍，这是因为每年气象因素波动较大所致。

4.3 数据缺失对工作极值统计的影响

自动气象站观测数据的缺失是在所难免的。数据缺失可分为缺失数据的多少、数据缺失的月份和时段 3 种情况，不同情况对工作极值的影响是不同的。

数据缺失的月份若不是严酷月，则数据缺失的多少和时段对工作极值的统计结果都没有任何影响。若缺失数据正好是严酷月份的逐时数据，必然会影响工作极值的统计，缺失较多时，甚至无法准确统计工作极值。工作极值统计方法要求是严酷月的逐时或逐次数据，这里的“逐”字，含有间隔时间相等的意思，否则无法确定时间风险率。因此，逐时数据有缺失时，可考虑转为逐次数据处理，为满足间隔时间相等的条件。逐次数据的“逐次”应为 24 的因子，即 4 次、6 次、8 次和 12 次。另外，若所缺失的逐时或逐次数据具有极值性，或直接拉低了平均值，还可能造成所确定的严酷月失真。

4.4 工作极值统计年限的要求

从算法看，GJB 1172 在统计工作极值时未明确

规定统计年限，一般理解为 1 年。由于不同年份的工作极值相差很大，对同一个地区会得到不同的工作极值，这会影响工作极值在装备环境适应性评估中的应用。为此，可合并多年的逐时数据或相同次数的逐次数据进行严酷月的确定和工作极值的统计，统计结果应给出数据的年限。

5 结论

综上所述，工作极值统计至少应给出：数据年限、基准条件、严酷月、时间风险率、与时间风险率对应的工作极值。漠河低温工作极值：数据年限为 1991—2005 年，基准条件为最低温度，时间风险率为 1%、5%、10%、20%、30%，工作极值为-44.0、-40.7、-38.1、-35.6、-33.6 °C。

参考文献：

- [1] GJB 1172.1-91 军用设备气候极值总则[S]. GJB 1172.1-91 Climatic extremes for military equipment general[S].
- [2] 秦晓洲. 自然环境试验站典型环境特征及腐蚀图谱[M]. 北京: 航空工业出版社, 2010. QIN Xiao-zhou. Typical environmental characteristics and corrosion atlas of natural environment test station[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2010.
- [3] GJB 150.4A-2009, 军用装备实验室环境试验方法 第 4 部分: 低温试验[S]. GJB 150.4A-2009, Laboratory environmental test methods for military materiel-Part 4: Low temperature test[S].
- [4] 张欢欢, 宫闪闪. 锂离子电池纯电动汽车低温性能研究[J]. 汽车实用技术, 2017(21): 119-122. ZHANG Huan-huan, GONG Shan-shan. Research on low temperature performance of lithium battery EV[J]. Automobile applied technology, 2017(21): 119-122.
- [5] 王洪伟, 杜春雨, 王常波. 锂离子电池的低温性能研究[J]. 电池, 2009, 39(4): 208-210. WANG Hong-wei, DU Chun-yu, WANG Chang-bo. Study of low temperature performance of Li-ion battery[J]. Battery bimonthly, 2009, 39(4): 208-210.
- [6] 杜福嘉, 李朋辉. 低温环境下材料膨胀系数和润滑对望远镜负载扭矩的影响[J]. 光学精密工程, 2018, 26(3): 616-623. DU Fu-jia, LI Peng-hui. Effect of material expansion coefficient and lubrication on telescope load torque under low temperature[J]. Optics and precision engineering, 2018, 26(3): 616-623.
- [7] LAWRENCE J S, ASHLEY M C B, HENGST S, et al. The PLATO Dome A site-testing observatory: Power generation and control systems[J]. The Review of scientific instruments, 2009, 80(6): 064501.[PubMed]
- [8] DURAND G A, TREMBLIN P, MINIER V, et al. Antarctic observations at long wavelengths with the irait-itm

- telescope at dome C[C]/SPIE astronomical telescopes+instrumentation. Montréal, Quebec, Canada: SPIE, 2014.
- [9] 张月, 周峰, 阮宁娟, 等. 空间红外天文望远镜低温制冷技术综述[J]. 航天返回与遥感, 2013, 34(5): 46-55.
ZHANG Yue, ZHOU Feng, RUAN Ning-juan, et al. Overview of cryogenic refrigeration technology in space infrared astronomical telescopes[J]. Spacecraft recovery & remote sensing, 2013, 34(5): 46-55.
- [10] GJB 4657—1994, 地空导弹武器装备使用环境气候极值[S].
GJB 4657—1994, Climatic extremes of service environment for ground-to-air missile weapon system[S].
- [11] MIL-STD-210B—1973, 军用设备气候极限[S].
MIL-STD-210B—1973, Climatic extremes for military equipment[S].
- [12] 林钧, 刘靖, 唐凤英. 重要的依据: GJB 1172《军用设备气候极值》[J]. 航空兵器, 1995, 2(1): 21-26.
LIN Jun, LIU Jing, TANG Feng-ying. Key basis: GJB 1172 “climatic extreme value of military equipment”[J]. Aero weaponry, 1995, 2(1): 21-26.
- [13] 阎书源, 李群. 我国东南地区军用设备气候极值[C]//装备环境工程研讨会论文集. 2004.
YAN Shu-yuan, LI Qun. Climatological extreme values of military equipment in Southeast China[C]. Proceedings of the workshop on environmental engineering for equipment. 2004.
- [14] 李帅, 王怀军, 潘莹萍. 基于 Max-Stable 模型的海河流域气候极值变化特征[J]. 南水北调与水利科技, 2020, 18(2): 31-43.
LI Shuai, WANG Huai-jun, PAN Ying-ping. Analysis of climate extremes using Max-Stable processes in the Haihe River Basin[J]. South-to-north water transfers and water science & technology, 2020, 18(2): 31-43.
- [15] 王怀军, 潘莹萍, 冯如, 等. 基于空间贝叶斯层次模型的淮河流域气候极值特征分析[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(5): 102-110.
WANG Huai-jun, PAN Ying-ping, FENG Ru, et al. Using spatial Bayesian hierarchical model to analyze extreme climate indexes in Huai river basin[J]. Journal of irrigation and drainage, 2020, 39(5): 102-110.
- [16] 王怀军, 赵卓怡, 曹蕾, 等. 基于 Max-stable 模型的淮河流域气候极值空间建模分析[J]. 水利规划与设计, 2020(6): 51-58, 153.
WANG Huai-jun, ZHAO Zhuo-yi, CAO Lei, et al. Spatial modeling analysis of extreme climate in Huaihe river basin based on Max-stable model[J]. Water resources planning and design, 2020(6): 51-58, 153.
- [17] 邓梅, 蔡海朝, 马琴, 等. 1961—2010 年湘中地区气候极值与农业气候指标动态变化趋势[J]. 中国农学通报, 2018, 34(25): 139-144.
DENG Mei, CAI Hai-chao, MA Qin, et al. Climate extremes and agro-climatic indicators: Dynamic change trends in central Hunan during 1961-2010[J]. Chinese agricultural science bulletin, 2018, 34(25): 139-144.
- [18] 胥德梅, 刘纯彪. Excel 实现西昌气候极值的分布和再现期值研究[J]. 农村经济与科技, 2018, 29(20): 18.
XU De-mei, LIU Chun-biao. Study on distribution and reappearance period of Xichang climate extreme value realized by Excel[J]. Rural economy and science-technology, 2018, 29(20): 18.
- [19] 司奉泰, 刘了凡. 菏泽市气候极值的统计分布和再现期研究[J]. 气象科技, 2013, 41(6): 1091-1094.
SI Feng-tai, LIU Liao-fan. Statistical distributions and return periods of climate extremes in Heze[J]. Meteorological science and technology, 2013, 41(6): 1091-1094.
- [20] 鹿翠华. 最大风速变化特征及再现期极值估算[J]. 气象科技, 2010, 38(3): 399-402.
LU Cui-hua. Characteristics of maximum wind velocity and estimation of extreme maximum velocity in return period[J]. Meteorological science and technology, 2010, 38(3): 399-402.
- [21] 陈劲, 吴巍巍, 向卫国. 微地形风速变化特征与微区域输电线路设计的初步研究[J]. 科技传播, 2016, 8(1): 38-40.
CHEN Jin, WU Wei-wei, XIANG Wei-guo. A preliminary study on the variation of wind speed in microtopography and the design of transmission lines in microregion[J]. Public communication of science & technology, 2016, 8(1): 38-40.
- [22] 刘艳琳, 郭赞洪, 唐其环. 敦煌地区温湿度和日温差的极值特性研究[J]. 装备环境工程, 2014, 11(4): 77-81.
LIU Yan-lin, GUO Zan-hong, TANG Qi-huan. Study on extreme characteristics of temperature, humidity and daily temperature difference in Dunhuang[J]. Equipment environmental engineering, 2014, 11(4): 77-81.