

# 大畈核电站拟址空气湿球温度推算

袁业畅 陈正洪

(武汉区域气候中心, 430074)

**提 要:** 确定最终热阱系统的容量时,必须规定设计基准气象参数,首先确认了内陆核电站最终热阱关键气象参数之一为空气湿球温度。选取湖北大畈核电站拟选站址所在地通山县气象站的三种湿球温度数据序列——近10年最热月日最高值、历年最热月日最高值、历年最高值,分别用对数、Gumbel及多项式等3种曲线进行概率拟合,并分别计算了不同重现期的参数值。结果表明:日资料拟合的极值略高于历年最高值的拟合结果,历年最高值的拟合值更接近于实际情况;多项式拟合尽管拟合效果好,但有一个不可突破的最大值,显然具有局限性;选取近10年最热月日最高值进行拟合,可以弥补缺乏长期观测的不足;Gumbel曲线拟合概率误差比对数曲线的小。最终推荐采用Gumbel曲线对历年最高值进行拟合,湖北大畈核电站50年、100年、500年、1000年重现期湿球温度的极值分别为:30.3℃、30.5℃、31.1℃和31.3℃。

**关键词:** 核电站 最终热阱 湿球温度 概率拟合 极值

## Calculation of the Wet Bulb Temperature Among Key Meteorological Parameters of Final Heat Sink of Inland Nuclear Power Station

Yuan Yechang Chen Zhenghong

(Wuhan Regional Climate Center, 430074)

**Abstract:** The wet bulb temperature among key meteorological parameters of final heat sink of inland nuclear power is determined as air wet bulb temperature. According to daily maximum air wet bulb temperature of hottest month for last 10a and for last 30a, and yearly maximum air wet bulb temperature for last 30a from Tongshan meteorological station near the Dafan Nuclear Power Plant, three kinds of curves including logarithm, Gumbel and polynomials curves are used to fit the distribution of the probability with maximum air wet bulb temperature and to calculate the possible value once for different periods. The result suggests that yearly maximum air wet bulb temperature for more than 30a and Gumbel curve fitting are suitable for calculating of parameter, although polynomial curve fitting is best, a maximum value can't be overpass that limits its further application. According to the yearly maximum fitted by Gumbel curve, the final extreme value

基金项目:湖北省发展与改革委员会核电项目筹备处资助

收稿日期:2007年12月11日; 修定稿日期:2008年9月27日

once for 50a, 100a, 500a, 1000a are 30.3℃, 30.5℃, 31.1℃ and 31.3℃ respectively for the Dafan nuclear power plant.

**Key Words:** nuclear power station final heat sink air wet bulb temperature probability fitting extreme value

## 引言

安全保障贯穿于核电站的设计、设备制造、建设、安装、调试、运行直到退役等各个环节。核电厂址所在环境的安全性评价中一个重要方面就是极端气象现象和极端气象参数的推算,其中包括最终热阱<sup>[1-2]</sup>气象参数。所谓最终热阱,是指可以排入核电站余热的大气或水体或它们的组合体。沿海地区核电站余热一般排入海洋,海洋为最终热阱。在内陆地区,考虑到淡水资源的宝贵以及核电站大量的余热,一般通过冷却塔,采用循环水冷却方式,将多余的热量散发到大气中。可见大气便是内陆核电站的最终热阱。

冷却塔的余热排放能力取决于仪器设备的性能、喷淋水循环量和温度、空气流量以及温度、湿度<sup>[3-4]</sup>。其中喷淋水循环量、喷淋水温度、冷却水流量、冷却水进口温度等要素由工程规模等非气象因素确定,冷却塔空气流量则由冷却塔的构造和周围风速决定。空气流量增大,可及时将喷淋水蒸发变成的水蒸汽带走,使冷却水蒸汽分压力降低,以利于后来喷淋水的蒸发,主要影响冷却速率。同时空气流量也可以人为地采取措施进行调节。冷却塔一旦确定,冷却水的温度就取决于室外空气湿球温度和冷却塔的冷幅高<sup>[5-7]</sup>(室外空气湿球温度与冷却塔出水温度之差)。湿球温度为在定压下由于水分蒸发使气块冷却到相对于平水面为饱和时的温度<sup>[8]</sup>。从理论上讲,当空气相对湿度为100%,湿球温度等于干球温度。湿球温度可以理解为在当地气温条件下,水可能被冷却的最低温度,也就是冷却塔出水温度的理论极限值<sup>[5-8]</sup>。因此,空气的湿球温度是内陆核电厂址最终热阱的关键气象参数之一。

《HAD102/09 核电厂最终热阱及其直接有关的输热系统》要求,确定最终热阱系统的容量时,必须规定设计基准环境参数。文献1在“4.2 最终热阱中余热输送和吸收的关键环境参数”一节中要求,引起最低热耗散的环境参数(例如:气温、水汽压、风速和太阳辐射)的关键值,应被选作最终热阱系统的设计输入。

本研究将利用同一个地方、不同取样长度、不同取样方式的湿球温度样本资料,试图合理推算核电站厂址最终热阱的关键气象参数之一——湿球温度不同重现期的极值,供设计部门参考。

按要求,长期数据应能覆盖至少30年或更长的时期,在某些情况下,可能不得不接受在较短时期内测量到的数据组,但这样得到的极值估计数会有较大的不确定性<sup>[1]</sup>。所以本工作还试图证明短期日资料可以替代长期历年极端值序列。

## 1 资料来源及处理

### 1.1 资料来源

通山县气象站是距湖北省拟建大畈核电站厂址最近的气象站,仅16.5km,且与厂址同处于一东西向的山谷中,历史上迁站少,资料不连续现象较少,可靠性大,资料项目较全。因此选用通山县气象站的湿球温度代表大畈核电站厂址的湿球温度。所选用经过整编审核后的3种湿球温度资料系列为:1996—2005年共10a最热月(6、7、8月)每天的最高湿球温度共920个样本,1959—1965年、1980—2005年共33a最热月(6、7、8月)每天的最高湿球温度共3036个样本(1966—1979年缺测),以及这33a的每年最高湿球温度值共33个样本(1966—1979年缺测)。最高湿球温度取每天3次观测中的

最大值。通山最热月累年最高湿球温度为 29.9℃,共两次,分别出现在 1961 年 6 月 19 日和 1963 年 8 月 15 日。

1.2 资料处理

首先,将上述资料按从大到小的顺序排列,设序列长度为  $n$ ,设第  $m$  位的值为  $X$ ,则空气湿球温度  $\geq X$ (℃)的期望概率  $P^{[9-10]}$ 是:

$$P = m / (n + 1)$$

再分别利用 Gumbel、对数、多项式曲线对  $X$ 、 $P$  全序列以及前 10% 概率序列(只对日值情况)进行最佳曲线拟合,并采用柯尔莫哥洛夫法检验理论与实际分布的差异,该方法规定<sup>[9-11]</sup>:

$$D_n = \text{MAX}\{|\Phi(x_i) - \phi(x_i)|, i = 1, n\}$$

其中  $\Phi(x_i)$ 、 $\phi(x_i)$  分别为  $x_i$  对应的理论分布和实际分布概率。

给定显著性水平  $\alpha$ ,查柯尔莫哥洛夫法检验表,得到临界值  $\lambda_\alpha$  或  $\lambda_\alpha/\sqrt{n}$ ,如果  $D_n < \lambda_\alpha/\sqrt{n}$ ,则接受实际分布  $\phi(x)$  符合理论分布  $\Phi(x)$  的假设。

另外,若资料样本来源于多年,平均每年  $N$  个样,则重现期  $T = N/P$ 。若  $N = 1$ ,则  $T = 1/P$

2 结果分析

2.1 历年最热月日最高湿球温度累积频率的概率拟合

图 1 为通山气象站 33a 最热月每天的最高湿球温度的概率密度分布图,可见这是一种典型的偏态分布。图 2 为累积频率分布图,最小累积频率为 0.04%,对应的最高湿球温度为 29.9℃。为了估算累积频率 0.02% 和 0.01% 的参数极值,对累积频率  $\leq 10\%$  的 272 个样本进一步进行拟合,对数和 Gumbel 曲线拟合效果较好(图 3)。

拟合方程如下:

对数:  $X = -0.389\ln(P) + 272.56$  (5)

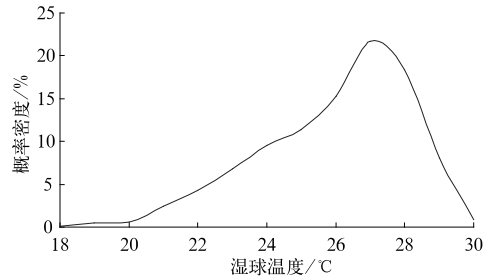


图 1 通山县历年最热月日最高湿球温度概率密度分布图(1959—1965 年、1980—2005 年共 33a)

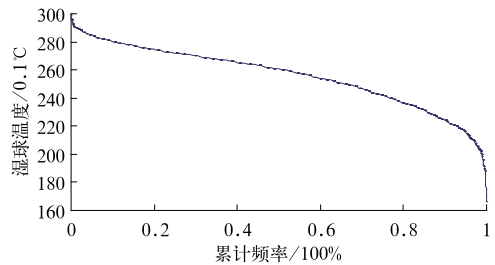


图 2 通山县历年最热月日最高湿球温度累积频率分布图(时段同图 1)

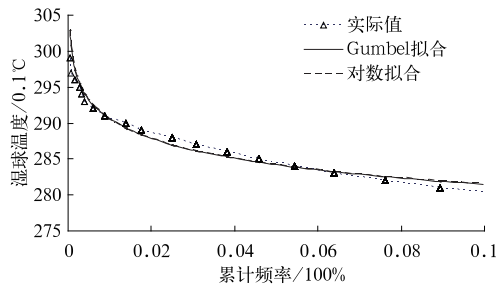


图 3 通山县历年最热月日最高湿球温度累积频率拟合曲线图(时段同图 1,取前 10% 样本)

Gumbel:  $X = 272.8 - 0.3846$

$$\ln(-\ln(1 - P)) \quad (6)$$

式中,  $X$  为最热月日最高湿球温度(0.1℃);  $P$  为累积频率(%). 以上两式均通过了显著性水平  $\alpha = 0.05$  的柯尔莫哥洛夫法检验,结果见表 1。

2.2 近 10a 最热月日最高湿球温度累积频率的概率拟合

根据该站近 10a 最热月每天的最高湿球温度的累积频率图(略)得出最小累积频率为 0.11% 的最高湿球温度为 29.6℃。同理,对

表 1 各分布型的拟合误差及检验参数一览表

所用资料	曲线型	平均相对误差(%)最大绝对误差(°C)		柯尔莫哥洛夫检验结果		
				$D_n$	$\lambda_n/\sqrt{n}$	显著性水平 $\alpha$
33a 最热月逐日 最高值(前 10%)	对数	0.23	0.4	0.0249	0.082	0.05
	Gumbel	0.23	0.4	0.0225	0.082	0.05
近 10a 最热月逐 日最高值(前 10%)	对数	0.22	0.2	0.0271	0.136	0.05
	Gumbel	0.23	0.4	0.0096	0.136	0.05
历年(33 a)最 高值	多项式	0.09	0.1	0.0921	0.234	0.05
	Gumbel	0.22	0.2	0.0715	0.234	0.05

累积频率 $\leq 10\%$ 的 100 个样本进一步进行拟合,对数和 Gumbel 曲线拟合效果较好(图 4)。拟合方程如下:

$$\text{对数: } X = -4.2353\ln(P) + 269.54 \quad (1)$$

$$\text{Gumbel: } X = 268.5 - 4.54545$$

$$\ln(-\ln(1-P)) \quad (2)$$

式中,  $X$  为最热月日平均湿球温度( $0.1^\circ\text{C}$ );  $P$  为累积频率(%)。

以上两式均通过了著性水平  $\alpha=0.05$  的柯尔莫哥洛夫法检验,结果见表 1。

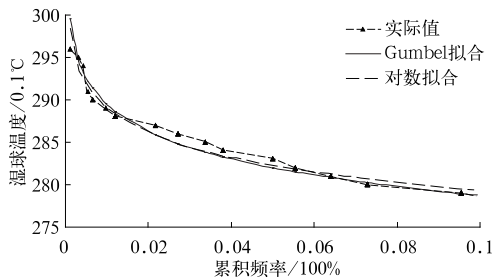


图 4 通山县近 10a 最热月日最高湿球温度累积频率拟合曲线图(1996—2005)

### 2.3 历年最高湿球温度累积频率的概率拟合

图 5 为该站 33a 历年最高湿球温度的累积频率图,可得到最小累积频率为 2.94% 的最高湿球温度为  $29.9^\circ\text{C}$ 。Gumbel、多项式曲

线的拟合效果较好。拟合方程如下:

$$\text{Gumbel: } X = 288.0821 - 3.270343$$

$$\ln(-\ln(1-P)) \quad (3)$$

$$\text{多项式: } X = -55.277P^3 + 90.425P^2$$

$$-55.121P + 300.84 \quad (4)$$

式中,  $X$  为历年最高湿球温度( $0.1^\circ\text{C}$ );  $P$  为累积频率(%)。

以上两式均通过了著性水平  $\alpha=0.05$  的柯尔莫哥洛夫法检验,结果见表 1。

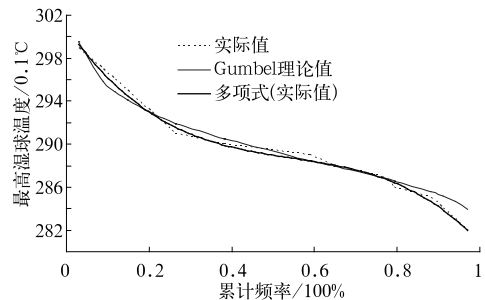


图 5 通山县历年最高湿球温度累积频率拟合曲线图(1959—1965 年、1980—2005 年共 33a)

### 2.4 不同重现期年最高湿球温度的推算

根据方程(1)~(6),可以推算出不同重现期年最高湿球温度的极值,见表 2。

表 2 不同资料和方法得到的不同重现期空气湿球温度极值( $^\circ\text{C}$ )

重现期	历年(33a)最热月逐日最高值(前 10%)		近 10a 最热月逐日最高值(前 10%)		历年(33a)最高值	
	对数	Gumbel	对数	Gumbel	多项式	Gumbel
10a 一遇	29.9	29.9	29.8	30.0	29.6	29.5
50a 一遇	30.5	30.5	30.5	30.7	30.0	30.1
100a 一遇	30.8	30.8	30.8	31.0	30.0	30.3
500a 一遇	31.4	31.4	31.5	31.7	30.1	30.8
1000a 一遇	31.7	31.7	31.8	32.0	30.1	31.1

对上述结果分析表明:

(1) 由表 1 可见,Gumbel 拟合的理论分布和实际分布概率最大差值最小。由表 2 可知,对数、Gumbel 分布拟合的不同重现期下湿球温度值相当一致。利用 33a 最热月逐日最高值为样本,拟合的不同重现期下的结果完全一致。而利用对数拟合 10a、33a 最热月逐日最高温度得到的不同重现期下的结果,最大差值仅  $0.1^{\circ}\text{C}$ ,从而为短历时样本推算参数提供了依据。

(2) 同是用 Gumbel 分布拟合,在不同的重现期下,都是用近 10 年最热月逐日最高温度样本的拟合结果最大,而历年最高值样本的拟合结果最小,重现期越长,差异越大,1000 年一遇相差  $0.9^{\circ}\text{C}$ 。

(3) 以最热月每日最高温度拟合的最大绝对误差为  $0.4^{\circ}\text{C}$ ,以历年最高值拟合的最大绝对误差为  $0.2^{\circ}\text{C}$ ,若以最长样本序列为参照,其他 2 种样本拟合出的结果误差都在  $0.6^{\circ}\text{C}$  以内。

(4) 多项式拟合中,湿球温度有一个不可突破的最大值,33a 极值的多项式拟合的湿球温度最大值为  $30.1^{\circ}\text{C}$ ,但通山历史上干球温度出现过  $41.1^{\circ}\text{C}$  的高值。

### 3 结论

(1) 空气的湿球温度是表示内陆最终热阱的关键气象参数之一。对数分布与 Gumbel 分布对空气的湿球温度极值拟合的结果相当一致,多项式拟合尽管误差小,拟合程度高,但有一个不可突破的最大值,拟合值不合理。利用最热月每日最高湿球温度资料拟合的极值略高于利用每年最高湿球温度的拟合值,利用每年最高湿球温度拟合的 10a 一遇值更接近于实际情况。选取近 10a 最热月日最高湿球温度值进行拟合,可以弥补缺乏长期观测的不足。

(2) 利用最热月逐日最高湿球温度资料拟合的方程,由于每年有 92 个样本,其拟合得到的  $0.11\%$  概率对应值,相当于每年 1 个

样本拟合得到的  $10\%$  概率对应值,即 10a 一遇值。近 10a 实际最高值为  $29.6^{\circ}\text{C}$ ,而利用近 10a 最热月日最高湿球温度的对数拟合值为  $29.8^{\circ}\text{C}$ ,Gumbel 拟合为  $30.0^{\circ}\text{C}$ ,利用 33a 日最高湿球温度的对数及 Gumbel 拟合值均为  $29.9^{\circ}\text{C}$ ,均比实际略偏高;利用 33a 每年最高湿球温度多项式拟合值为  $29.6^{\circ}\text{C}$ ,Gumbel 拟合值为  $29.5^{\circ}\text{C}$ ,接近于实际。

(3) 对最终热阱气象参数而言,只要可能,应考虑不确定性而采用适当的裕量<sup>[2]</sup>,因此,推荐大坂核电站不同重现期湿球温度的极值为 Gumbel 分布对历年最高值的拟合值加上其拟合的最大绝对误差  $0.2^{\circ}\text{C}$ (表 2 最后一列  $+0.2^{\circ}\text{C}$ ):50、100、500、1000a 一遇分别是  $30.3^{\circ}\text{C}$ 、 $30.5^{\circ}\text{C}$ 、 $31.1^{\circ}\text{C}$ 、 $31.3^{\circ}\text{C}$ 。

### 参考文献

- [1] 国家核安全局. HAD101/10 核电厂厂址选择的极端气象事件(不包括热带气旋)[G]. 核安全导则汇编(上册). 北京:中国法制出版社,1998:739-741.
- [2] 国家核安全局. HAD102/09 核电厂最终热阱及其直接有关的输热系统[G]. 核安全导则汇编(下册). 北京:中国法制出版社,1998:1110-1112.
- [3] 姜滨. 谈冷却塔的选型[J]. 应用能源技术,2003,(2):43.
- [4] 李永安,尚丰伟,焦明先. 空调用封闭式冷却塔热工性能的动态仿真及实验研究[J]. 制冷学报,1998,(4):66-70.
- [5] 张建一,毛有花. 湿球温度变化与两级制冷装置的性能研究[J]. 制冷:2002,21(2):15-17.
- [6] 李豫,胡文斌. 广州地区冷却塔选型的全工况不保证小时数的研究[J]. 计算机应用与信息技术,2003,24(3):18-19.
- [7] 李永安,尚丰伟,焦明先. 空调用封闭式冷却塔的研究[J]. 制冷学报,1997,(1):48-50.
- [8] [美]John M. Wallace, Peter V. Hobbs 著,王鹏飞等译. 大气科学概观[M]. 上海:上海科学出版社,1981:50.
- [9] 马开玉,丁裕国,屠其璞,等. 气候统计原理与方法[M]. 北京:气象出版社,1993:123-129,406-408.
- [10] 陈玉华,李正洪. 极值分布及其在气象上的应用[J]. 气象,1989,15(3):51-56.
- [11] 黄浩辉,宋丽莉,植石群,等. 广东省风速极值 I 型分布参数估计方法的比较[J]. 气象,2007,33(3):101-106.