

用灰色关联法探讨 干旱地区蒸发器的代表性

汤奇成

(中国科学院地理研究所, 北京 100101)

提要 本文以 20 m² 蒸发池为标准, 选定哈地坡站和阿克苏站 1982—1988 年的部分同期观测资料, 研究其它蒸发器的代表性。采用灰色关联法计算各种蒸发器与 20 m² 蒸发器的关联度。结果表明: 哈地坡站, $\Phi 20$ cm 的关联度最高, 其次为 ГТН-3000; 阿克苏站, ГТН-3000 型关联度最高, 其次为 E-601。该结果与 20 m² 蒸发量与各型号的线性相关分析结果不同。哈地坡站线性相关系数以 ГТН-3000 最大, 其次是 E-601; 阿克苏站以 E-601 最大, ГТН-3000 次之。

关键词 灰色关联法 灰色关联度 相关系数 干旱地区 蒸发 蒸发器

蒸发研究对于水量平衡计算和各种模型计算都非常重要。在干旱地区, 蒸发量的计算在理论和实践上都具有重要意义。

干旱区是我国主要湖泊分布区之一。作为全国五大湖区之一的蒙新高原湖区湖泊面积就占全国湖泊面积的 13.1%。在新疆维吾尔自治区天然湖泊面积大于 1 km² 的湖泊就达 139 个, 总面积 5504.5 km²。据新疆水文站估算, 新疆每年从湖泊和水库表面蒸发掉的水量约为 70×10^8 m³, 占地表总水资源的 8%。

干旱区湖泊又多为内陆湖, 水面蒸发是湖泊水量的唯一耗损量, 因此, 水面蒸发量的计算对湖泊的水量平衡研究以及湖泊的利用与改造都有重要意义。

推求水面蒸发的方法有很多, 器测法是最常用而且是最基本的手段之一。用器测法观测得到的蒸发量, 一般是指有限水域表面(有限水面)的蒸发量。有限水面, 是指有一定面积范围的水面, 如江河、湖泊、水库、池塘和大型蒸发池等。在干旱地区, 有限水面的蒸发一般不能引起水汽凝结, 而是随着与水域边缘距离的增大, 相应的蒸发量也有很大变化。

目前, 较常用来测定水面蒸发的蒸发器有 100 m²、20 m²、E-601、ГТН-3000、A 级蒸发器、 $\Phi 20$ cm、 $\Phi 80$ cm 等, 它们的水面面积各不相同。然而, 水面蒸发量的多少与蒸发器面积大小有着直接的关系。一般地, 面积大, 蒸发量小; 反之则大。

除直接观测湖泊、水库水面蒸发外, 目前 100 m² 蒸发池被认为是观测有限水面蒸发量的标准。但是, 我国拥有 100 m² 蒸发池的测站很少, 干旱地区更为空白。许多研究表明, 20 m² 蒸发池的水面蒸发量与 100 m² 的蒸发量相当接近。山东南四湖水面蒸发站平均年蒸发量 850 mm, 而这两种蒸发器的年蒸发量仅相差 15—20 mm, 相当于年蒸发量的 1.8%—2.4%。官厅站的两者差值也仅相当于年蒸发量的 4% 左右。这里, 可以认为 20 m² 蒸发池

收稿日期: 1992 年 7 月; 接受日期: 1993 年 8 月 5 日。

的水面蒸发量可以代表有限水体的水面蒸发量。已有的蒸发器中,究竟哪种型号与 20 m^2 的水面蒸发量最为接近,各地曾开展过不少研究。在干旱地区主要是折算系数的分析研究。本文拟利用灰色关联理论和方法,就此问题作一些探讨。

1 灰色关联分析简介

灰色关联分析,是通过分析系统中各因素之间的关联程度,对系统动态过程发展态势进行量化比较分析的方法。其基本思路是根据系统动态过程发展态势,即系统历年有关统计数据的几何关系及其相似程度,来判断其关联程度。其几何形状越相似,则发展变化态势越接近,关联程度也就越大。然而这种几何形状的判断虽然比较直观,但不能量化。关联分析则提供了把若干曲线相似程度进行量化比较的分析方法。

事物都是以系统的形式存在和发展,事物彼此之间的关系有时很复杂。在某种意义上可以说这种关系是灰色的,即只有一部分是确知的,而另一部分是不确知的。

灰色关联分析就是通过对灰色系统动态过程(即系统历年有关统计数据)发展态势的量化比较分析,为系统预测、决策、控制提供有用的信息和比较可靠的依据。其步骤,一般包括确定参考系列(母系列),求均值化,求关联系数、求关联度、排关联序等。

2 关联度计算

2.1 测站简介

为分析干旱地区水面蒸发量与蒸发器型号的关系,选择新疆维吾尔自治区天山北坡的哈地坡站与南坡的阿克苏站的资料为例,进行初步分析计算。

哈地坡站位于 $87^{\circ}15'E, 43^{\circ}47'N$, 海拔 966 m , 站上设有 20 m^2 蒸发池、ГГII-3000、E-601、 $\Phi 20\text{ cm}$ (两种深度)等类型的蒸发器。1958—1987年, 20 m^2 蒸发池积累 78 个月的蒸发量资料。从已有的 20 m^2 蒸发池与各种蒸发器蒸发量间的折算系数分析,无论是年际或年内均有较大的变化^①。各种蒸发器的蒸发量能与 20 m^2 的资料进行相关对比的年限只有 1984—1986 年,而且由于气候寒冷、冰期较长,每年只有 4 月(5 月)—10 月的资料。

阿克苏水平衡站位于 $80^{\circ}45'E, 40^{\circ}27'N$, 海拔 1028 m , 站上设有 20 m^2 蒸发池、ГГII-3000、E-601、A 级蒸发器、 $\Phi 20\text{ cm}$ 等类型的蒸发器。其中 20 m^2 蒸发池的资料 1982—1988 年间共积累 43 个月,但与 20 m^2 平行观测能对比使用的各种蒸发器资料仅有 1985—1987 年^[2],而且阿克苏站也只有每年 4—10 月的观测资料。各型号哈地坡站和阿克苏站的水面蒸发量见图 1。

2.2 关联分析步骤

2.2.1 确定参考系列与比较系列 两个站都以 20 m^2 蒸发池的蒸发量作为参考系列。所谓参考系列,就是作比较的“母数列”,记为 x_0 。记第 1 个时刻的值为 $x_0(1)$, 第 2 个时刻值为

① 新疆水利厅昌吉水文勘测队。哈地坡水面蒸发实验站资料统计和初步分析。1984。

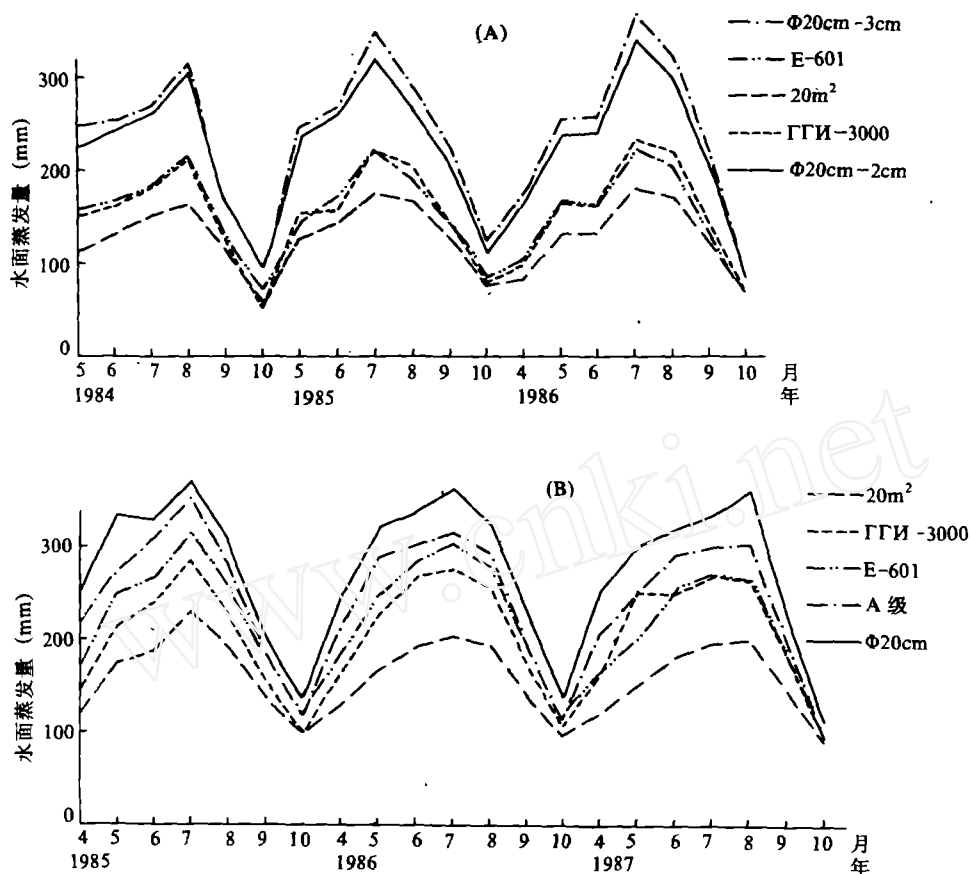


图1 哈地坡(A)、阿克苏站(B)各型水面蒸发量
Fig. 1 Evaporation from different types of evaporimeters at
(A) Hadipo Station and (B) Aksa Station

$x_0(2)$, 第 k 个时刻的值为 $x_0(k)$ 。这样, 参考系列 x_0 可表示为:

$$x_0(k) = x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(n) \quad (k = 1, 2, \dots, n)$$

关联分析中与参考系列作关联程度比较的“子数列”称之为比较系列。

同样, 比较系列可写成

$$x_1(k) = x_1(1), x_1(2), \dots, x_1(n)$$

... ..

$$x_m(k) = x_m(1), x_m(2), \dots, x_m(n) \quad (k = 1, 2, \dots, n)$$

上述两个站的参考系列与比较系列有关数据见表1。

2.2.2 无量纲化

原始数列无量纲化的方法有初值化、均值化等方法, 这里采用均值化处理方法。所谓均值化处理, 是指将同一系列的所有数据, 均除以该数列的平均值, 得到一个新的数列。这个新的数列, 即是各个时刻的数值相对于该系列平均值的倍数的系列。在系列均值化后, 先将各数列对准参考点, 然后求得参考系列与比较系列之间的绝对差值。

表 1 哈地坡站、阿克苏站水面蒸发量
 Tab. 1 Monthly evaporation from different types of evaporimeters at
 (A) Hadipo Station and (B) Aksu Station

单位:mm

(A) 哈地坡站						
序号	年 月	x_0 (20 m ²)	x_1 (1171-3000)	x_2 (E-601)	x_3 (Φ 20-3cm)	x_4 (Φ 20-2 cm)
1	1984年5月	116.2	154.4	157.7	248.1	224.0
2	6	131.4	161.1	167.6	254.8	241.1
3	7	150.7	180.1	181.2	270.8	262.4
4	8	162.1	212.9	214.2	316.3	310.5
5	9	112.1	124.1	126.2	166.0	166.0
6	10	58.7	54.5	61.8	93.1	93.1
7	1985年5月	126.1	154.8	145.5	245.7	232.1
8	6	142.9	157.6	173.5	265.5	256.8
9	7	175.2	223.9	221.2	348.8	320.5
10	8	167.3	205.2	191.3	289.6	268.8
11	9	126.7	144.4	148.2	223.6	208.3
12	10	77.8	80.0	83.8	124.5	113.2
13	1986年4月	82.2	97.7	105.8	176.9	167.2
14	5	129.7	161.7	165.2	254.8	236.6
15	6	129.4	162.6	162.0	259.4	242.4
16	7	180.8	234.4	223.3	366.6	338.1
17	8	171.7	220.3	205.0	325.3	303.2
18	9	121.2	142.5	132.8	219.2	207.4
19	10	69.6	68.4	64.3	94.0	88.2
(B) 阿克苏站						
序号	年 月	x_0 (20 m ²)	x_1 (1171-3000)	x_2 (E-601)	x_3 (A 级)	x_4 (Φ 20 cm)
1	1985年4月	119.6	147.9	177.3	219.2	253.7
2	5	173.6	211.8	212.3	273.0	339.3
3	6	188.8	239.5	267.3	310.5	331.5
4	7	230.1	284.5	315.8	350.5	369.5
5	8	190.6	228.1	257.6	280.4	307.9
6	9	135.6	155.2	174.6	182.6	202.2
7	10	98.6	104.2	124.1	118.0	136.4
8	1986年4月	128.3	159.4	184.1	213.3	244.3
9	5	166.5	226.2	246.6	287.1	320.3
10	6	192.4	267.8	283.1	301.2	336.0
11	7	202.1	275.8	304.4	316.8	362.2
12	8	194.7	256.0	279.7	291.8	324.0
13	9	140.3	172.0	193.1	196.6	230.1
14	10	98.2	108.0	121.0	114.8	138.3
15	1987年4月	120.2	162.8	163.5	207.0	252.4
16	5	152.5	252.1	200.5	254.5	301.8
17	6	182.2	252.6	251.0	292.6	318.7
18	7	195.1	269.2	271.8	301.8	335.1
19	8	200.8	266.2	264.5	302.3	343.0
20	9	147.4	183.3	184.6	198.6	230.3
21	10	90.4	95.6	100.4	95.0	115.7

2.2.3 求关联系数

关联程度实质上是曲线间几何形状的差别。因此,曲线间差值大小,可以作为关联程度的衡量尺度。

一般情况下的关联分析,是对于一个参考系列 x_0 ,有若干个比较系列 x_1, x_2, \dots, x_m 。各比较系列(即比较曲线)与参考系列(即参考曲线)在各个时刻(即曲线的各点)的差,可用下列关系式表示:

$$\xi_i(k) = \frac{\min_k |x_0(k) - x_i(k)| + p \max_k |x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + p \max_k |x_0(k) - x_i(k)|} \quad (1)$$

式中 $\xi_i(k)$ 是第 k 个时刻比较系列 x_i 与参考系列 x_0 的相对差值。这种形式的相对差值,就称为 x_i 对 x_0 在 k 时刻的关联系数。 $\min_k |x_0(k) - x_i(k)|$ 称为两个层次(即两级)的最小差; $\max_k |x_0(k) - x_i(k)|$ 称为两个层次(即两级)的最大差; p 为分辨系数,一般在 0 与 1 之间选取,本文取 $p=0.5$,分辨系数可以取不同的值,但不影响关联度的排序。

第一层(第一级)的最小差为:

$$\min_k |x_0(k) - x_i(k)| = \Delta_i(\min) \quad (2)$$

即在参考系列 x_0 与第 i 个比较系列的绝对差值中,按不同 k 值选出一个最小差值;第二个层次(第二级)的最小差为

$$\min_k |x_0(k) - x_i(k)| = \Delta_i(\min) \quad (3)$$

即在参考系列 x_0 与所有比较系列 x_i 的最小绝对差值中,再选一个最小的差值,即 $\Delta \min$ 。

第一层次(第一级)最大差为:

$$\max_k |x_0(k) - x_i(k)| = \Delta_i(\max) \quad (4)$$

即在参考系列 x_0 与第 i 个比较系列的绝对差值中,选出一个最大差值;第二层次(第二级)最大差值为:

$$\max_k |x_0(k) - x_i(k)| = \Delta_i(\max) \quad (5)$$

令 $\Delta_i(k) = |x_0(k) - x_i(k)|$ 为参考系列 x_0 与各比较系列 x_i 在 k 个时刻的绝对差值。这样,(1)式可简化为:

$$\xi_i(k) = \frac{\Delta \min + p \Delta \max}{\Delta_i(k) + p \Delta \max} \quad (6)$$

哈地坡站和阿克苏站均为 20 m^2 的蒸发量作为参考系列。从计算结果可以看出,其第一级和第二级最小差值均为 0,即 $\Delta \min = (0, 0, 0, 0) = 0$ 。

对哈地坡站 $\Delta \max = (0.188, 0.242, 0.297, 0.238) = 0.297$;

对阿克苏站 $\Delta \max = (0.299, 0.167, 0.327, 0.294) = 0.327$

2.2.4 求关联度 因为关联系数是比较曲线与参考曲线在第 k 个时刻的相对差值,所以它也是一个系列,不便于从整体上进行比较。因此,就有必要把各个时刻的关联系数集成为一个值(求平均值),作为关联程度的数量表示,称为关联度,其表达式为:

$$r_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \xi_i(k) \quad (8)$$

式中 N 为比较系列的数据数, r_i 也就是比较曲线 x_i 对参考曲线 x_0 的关联度。

哈地坡站和阿克苏站关联度计算结果见表 2。

表 2 哈地坡站、阿克苏站关联度表
Tab. 2 Grey incidence Degrees between evaporations
by using different types of evaporimeters at Hadipo Station and Aksu Station

测站	20 m ² ~ГГН-3000 (r ₁)	20 m ² ~E-601 (r ₂)	20 m ² ~Φ 20 ₃ cm (r ₃)	20 m ² ~Φ 20 ₂ cm (r ₄)	20 m ² ~A 级蒸发器 (r ₅)
哈地坡站	0.6674	0.6200	0.6244	0.6814	
阿克苏站	0.7443	0.7328		0.5380	0.5708

2.2.5 排关联序 计算结果表明,哈地坡站 20 m² 蒸发量与 Φ 20₂cm 的蒸发量的关联度最高,其次是 20 m²~ГГН-3000 型,其排序为:

$$r_4 > r_1 > r_3 > r_2$$

阿克苏站则 20 m² 蒸发量与 ГГН-3000 型的关联度最高,其次是 20 m²~E-601 型,而 A 级蒸发器及 Φ 20 cm 则明显小。其排序为:

$$r_1 > r_2 > r_4 > r_5$$

3 问题讨论

3.1 与一般认为 E-601 型蒸发器较能代表大水体蒸发量的情况不同,在哈地坡站计算中关联度最小。在阿克苏站计算时,也较 ГГН-3000 型为小。

必须指出,关联度的排序结果不代表实际的蒸发量,而且各不同型号蒸发器的蒸发量在研究时段内与 20 m² 蒸发量曲线(过程线)的平行程度。这实际上是说明各不同型号蒸发量在这段时间内与 20 m² 蒸发量折算系数稳定程度的比较。从以上结果看,哈地坡站情况有些特殊,还要进一步的研究分析。

3.2 为便于比较,还分别计算了上述两个站 20 m² 蒸发量与各不同型号蒸发量的线性相关系数,其结果见表 3。

表 3 哈地坡、阿克苏站 20 m² 与各不同型号蒸发量的线性相关系数 R
Tab. 3 Linear correlation coefficient R between evaporation capacities
by using different types of evaporimeters at Hadipo Station and Aksu Station

测站	20 m ² ~ГГН-3000 (R ₁)	20 m ² ~E-601 (R ₂)	20 m ² ~Φ 20 ₃ cm (R ₃)	20 m ² ~Φ 20 ₂ cm (R ₄)	20 m ² ~A 级蒸发器 (R ₅)
哈地坡站	0.98877	0.98051	0.96832	0.96868	
阿克苏站	0.9584	0.9830		0.9365	0.9533

从表 3 可以看出,线性相关结果排序是:哈地坡站: R₁ > R₂ > R₄ > R₃;阿克苏站: R₂ > R₁ > R₄ > R₅。显然与关联度的排序不同,其中阿克苏的结果似乎符合通常的情况。

过去也曾遇到关联度排序与线性相关排序不一致的情况^[3],初步研究认为其原因有以下几点:

(1) 关联度与相关系数涵义不同,前者着重于过程的一致性,而后者则考察 2 数列间的相关程度,相关关系不一定是因果关系,相关分析的概念要比因果关系广泛,不能单纯依靠相关关系或回归系数的显著性来证明因果关系的有或无。

(2) 关联分析以一个参考系列为主,着重研究其他系列与该系列的关联程度的相对情况。关联度本身的值由于分辨系数的不同可以有差异,而相关系数的值不能改变。但如果在各系列中增加新的数据,则关联度分析的结果比较稳定,而相关系数则可能有所改变甚至改变较大。

(3) 相关系数是在假定系列较平稳和属于正态分布的前提下求得的,而关联度则不需考虑系列本身的分布问题和是否平稳。两种方法的出发点和思路不同,其分析结果自然也可以各异。

以上以新疆天山北坡的哈克坡站与天山南坡的阿克苏站为例,对干旱地区进行了 20 m^2 蒸发池与其他型号蒸发器所观测的蒸发量的关联分析计算,其结果与传统的有所不同。由于资料等因素的限制和两个站自然地理情况的差异,得出的结果也各不相同。究竟哪种型号的蒸发器在干旱地区更能代表大水体的水面蒸发量还需作进一步地深入研究。但从现有分析初步判断,ГГП-3000 型的水面蒸发器可以作为干旱区水面蒸发的基本型号之一,而 E-601 作为已经广泛设置的水面蒸发器,仍应该继续进行连续观测。

参 考 文 献

- 1 罗庆成、徐国新。灰色关联分析与应用。南京:江苏科学技术出版社,1989。
- 2 中国科学院新疆地理研究所。中国干旱区地理数据:阿克苏水平衡站卷(第一集)。南京:河海大学出版社,1991。
- 3 汤奇成、周德全。用灰色关联分析塔城地区河川径流补给。中国沙漠,1988,(1)。

APPROACH TO THE REPRESENTATIVENESS OF EVAPORIMETERS IN ARID AREA BY GREY INCIDENCE METHOD

Tang Qicheng

(*Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101*)

Abstract

The representativeness of evaporimeters in arid area has been questioned by using Grey Incidence Method in this paper. The analysis was carried out with the periodic (Apr. — Oct. , 1984—1986) observing data of evaporation capacities by different evaporimeters in arid areas as Hadipo Station and Aksu Station, which lie in the northern and southern slopes of the Tianshan Mountains in Xinjiang separately. The evaporimeters include different types such as Φ 20 cm , E-601, ГГII-3000, 20 m² and A class.

The monthly evaporation capacity of 20 m² evaporipool has been considered as standard evaporation . It is assumed that the relations between evaporation capacities by using 20 m² evaporipool and other evaporimeters such as ГГII-3000, E-601 , Φ 20₋₃ cm , Φ 20₋₂ cm , A class are r_1, r_2, r_3, r_4, r_5 respectively. The orders of grey incidence degree are $r_4 > r_1 > r_3 > r_2$ in Hadipo Station and $r_1 > r_2 > r_3 > r_5$ in Aksu Station . In the meantime, the linear correlation analysis shows that correlation coefficients are in the order of $r_1 > r_2 > r_4 > r_3$ in Hadipo Station and $r_2 > r_1 > r_5 > r_3$ in Aksu Station . Obviously, the order of incidence degree differs from that of correlation coefficient.

The preliminary analysis gives the following reasons for the difference: (1) the grey incidence degree focuses on the consistency of procedure while the correlation coefficient on the correlating degree between two series; (2) that two series are almost stable and normally distributed is the prerequisite for the calculation of correlation coefficient, while the calculation degree has nothing to do with series stability and distribution.

The above analysis advances a question on the ever-established conclusion that the monthly evaporation of evaporimeter E-601 represents that of large evaporipool in arid area. What type of evaporimeters can represent the evaporation of physical water body still awaits further discussion.

Key Words Grey Incidence Method, grey incidence degree, correlation coefficient, arid area, evaporation, evaporimeter