

环境气象指数的设计方法探讨

严明良 沈树勤

(江苏省气象台,南京 210008)

摘要 在大规模的现场和用户调查的基础上,结合现场观测和试验分析等手段,依据人类生活环境对气象条件的敏感性和依从性原理,提出了涉及人类生活、公共事业、休闲、旅游、农业生产、工程建设、医疗卫生等多种行业的环境气象指数的 7 种设计方法:回归统计法、因子加权法、经验模式法、历史资料反查法、动力统计法、延伸法、概念模型法,将 7 种方法单独应用或综合应用,江苏省气象部门开发研制了八大类 73 个环境气象指数。结合几个环境气象指数的研究实例,阐述了各种设计方法中的关键技术和要点,文中提出的环境指数设计方法较为简单实用,易于业务化,对气象指数的研究和业务工作均有一定的借鉴作用。

关键词 环境气象指数 设计原理 分级标准

引言

近年来,为了进一步拓宽气象服务领域,气象工作者针对各行各业和人类生活环境开发了诸如人体舒适度等适用于不同服务对象的环境气象指数^[1,2],取得较好的服务效果。尤其是进入 21 世纪以来,各地气象部门对环境气象的研究工作方兴未艾,特别在医疗及健康气象领域,此项工作的开展较为普遍,有很多文献报道了心脑血管病^[3]、消化道疾病^[4]与气象条件的关系以及紫外线^[5]、花粉指数^[6]等方面的研究成果,纵观这些成果均带有其特定性和单一性,尽管有些研究已经比较深入,但没有形成普遍性和系列化。为此,江苏省气象部门从 1999 年开始,联合全省各地区台站共同研究,提出了环境气象指数的几种设计方法以及比较具有普遍性的设计原理及分级标准,在中国气象局的大力支持下,将研制出的八大系列 73 种气象指数向全国气象部门积极推广。本文在大规模的现场和用户调查的基础上,结合现场观测和试验分析等手段,依据人类生活环境对气象条件的敏感性和依从性原理^[7,8],提出了涉及人类生活、医疗卫生等多种行业的环境气象指数设计方法,结合几个环境气象指数

的研究实例,阐述了各种设计方法中的技术要点。

1 环境气象指数设计原理

文献^[7]提出,气象指数设计是依据气象要素的敏感性和依从性,将各种气象要素进行综合的结果,是以不同的数学或统计函数来表征的。

不同种类的气象指数函数有不同的表达方式,通常的表达形式可用下式表示:

$$S_p = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad (1)$$

式中 S_p 为气象指数,该指数是由气象因子所组合的函数,其中气象因子是经过严格挑选的,能反映出它本身对气象指数所具有的敏感性和依从性,依据这些因子设计不同种类的气象指数,既是统计函数,也可用线性或非线性数学式来表示。

环境气象指数设计的数学表达式如下:

$$S_p = f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \begin{cases} |S_{p1}, S_{p2}| & \Rightarrow \text{Level 1} \Rightarrow \text{text 1} \\ |S_{p3}, S_{p4}| & \Rightarrow \text{Level 2} \Rightarrow \text{text 2} \\ \vdots & \vdots \\ |S_{pn}, S_{p(n+1)}| & \Rightarrow \text{Level } n \Rightarrow \text{text } n \end{cases} \quad (2)$$

S_p 为气象指数值, $f(x)$ 为求算气象指数的函数,区间 $|S_{p1}, S_{p2}|$ 为气象指数值域, $\text{text } n$ 为对应级别的

江苏省气象局“环境系列气象指数的研究”课题资助

作者简介:严明良,男,1970 年生,高级工程师,主要从事天气动力及应用气象研究工作

收稿日期:2004 年 9 月 30 日;定稿日期:2004 年 12 月 14 日

建议措施等。

2 环境气象指数的几种设计方法

根据气象指数的设计和预报技术原理,设计气象指数模式,实际上就是找出具有敏感性的气象要素与气象指数之间的关系。

2.1 回归统计法

这种方法一般用于可以量化的气象指数,如电力负荷量、煤气和自来水消耗量、商品销售量、疾病发病率等。回归统计是一种较为简单的统计方法,但在设计气象指数时需要进行一些技术处理,主要包括:

①气象因子要经过科学挑选和相关检验。

②适当考虑一些非气象因子的作用,如时间、季节的影响、节假日效应等。

③考虑季节、时间影响,分时段建立预报方程。

④为消除个体差异,对预报量进行优化,比如设计空调销售指数时,用销售量的距平百分率(而不是绝对销售量)作为预报量。

⑤采用动态回归方程:根据地区的不同,季节的不同,动态调整预报因子和预报量,运用交互式界面,动态地调整统计方程。

2.2 因子加权法

有些预报量为定性的,从大量的调查、试验和观测记录中找出具有相关性的气象因子,再根据不同因子对预报量的影响程度赋予不同的权重,得出无量纲的分值,最后将这些分值累计起来作为预报量,即气象指数。相关的技术处理主要包括:

①因子加权原则。通过相关性分析,对气象指数贡献越大的因子,其分值越大,不可使用平均法。

②因子排它原则。有些气象因子对指数的敏感性非常强,其它气象因子的影响必须是在这种气象因子满足条件的情况下才有意义。这种情况下可以实行“一票(或几票)否决”的方法,即这一种(或几种)气象因子如果不满足条件,则立即得出结论,不再考虑其它因子的作用。

③综合因子的作用。被加权的气象因子自身就是一种预报量,可以是几种气象要素的综合,可先用统计回归方程计算出因子值,再作加权处理。

④考虑非气象因子(如地区、季节)的影响。

以一个旅游气象指数的设计为例,来说明因子加权法在气象指数设计中的应用^[3]。在旅游气象指数的设计过程中,根据因子加权原则,直接对各种气象因子进行加权,并考虑一些非气象因子的影响得出最为简便实用的气象指数。

影响旅游的气象因子主要有降水(r)、气温(t)和大风(w),将这3种因子对旅游气象指数的作用分别记作: $a = f(r)$ 、 $b = f(t)$ 、 $c = f(w)$ 。

根据大量事实调查统计,可以给各个因子作如下加权处理:

$$a = f(r) = \begin{cases} 45 & r:\text{无雨} \\ 25 & r:\text{小雨} \\ 10 & r:\text{中雨} \\ 0 & r:\text{小雨} \\ -15 & r:\text{暴雨以上} \\ 0 & r:\text{降雪} \\ 20 & r:\text{雪停有积雪} \end{cases}$$

$$b = f(t) = \begin{cases} -40 & t \leq 0 \text{ } ^\circ\text{C} \\ -20 & 0 \text{ } ^\circ\text{C} < t \leq 5 \text{ } ^\circ\text{C} \\ 0 & 5 \text{ } ^\circ\text{C} < t \leq 10 \text{ } ^\circ\text{C} \\ 20 & 10 \text{ } ^\circ\text{C} < t \leq 15 \text{ } ^\circ\text{C} \\ 40 & 15 \text{ } ^\circ\text{C} < t \leq 30 \text{ } ^\circ\text{C} \\ 30 & 30 \text{ } ^\circ\text{C} < t \leq 35 \text{ } ^\circ\text{C} \\ 10 & t > 35 \text{ } ^\circ\text{C} \end{cases}$$

$$c = f(w) = \begin{cases} -20 & w:\text{有5级以上大风} \\ 0 & w:\text{无5级以上大风} \end{cases}$$

另外还有一些非纯气象因子不能忽视:

①景点植被繁茂,盛夏将形成局地避暑小气候,这样的景点较少受高温影响,甚至还可消夏避暑。

②以某种植物为旅游特色的景点,具有明显的季节性,鲜花盛开或枫叶正红,即使天气不够理想,但景观出色,也会游人如织。

③名胜、古迹等人文景观受气象因素影响较小,也应予以考虑。

对旅游产生影响的季节性因素记为 $d = f(s)$ 、人文因素记为 $g = f(p)$ 、景观因素记为 $h = f(k)$,作如下加权处理:

$d = f(s) =$	$\begin{cases} 30 \\ 20 \\ 0 \end{cases}$	s :当季,且省内闻名(如南京梅花山的 3 月份等) s :当季,且本地闻名(如南京栖霞山观枫叶的 11 月份等) s :非当季
$g = f(p) =$	$\begin{cases} 15 \\ 10 \\ 5 \\ 0 \end{cases}$	p :全国闻名人文景观(如南京中山陵) p :省内闻名人文景观(如连云港花果山等) p :市内闻名人文景观 p :不闻名
$h = f(k) =$	$\begin{cases} 10 \\ 0 \end{cases}$	k :气温超过 30 ℃,且有能遮荫的植物或海拔大于 400 m k :气温低于 30 ℃,或无遮荫植物且海拔小于 400 m

旅游气象指数就可以表示为:

$$S_p = f(r) + f(t) + f(w) + f(s) + f(p) + f(k)$$

根据计算出来的指数值,通过和历史资料的对比分析,再将旅游指数划分为 5 个值域区间,即为 5 个级别(记为 L):

$L =$	$\begin{cases} 1 \text{ 级} & 0 \leq S_p < 20 \Rightarrow \text{天气不太好,建议您改日再行} \\ 2 \text{ 级} & 20 \leq S_p < 40 \Rightarrow \text{天气不太适宜,但愿您不会失望} \\ 3 \text{ 级} & 40 \leq S_p < 60 \Rightarrow \text{天气还可以,出去玩玩吧} \\ 4 \text{ 级} & 60 \leq S_p < 80 \Rightarrow \text{天气不错,大自然欢迎您} \\ 5 \text{ 级} & S_p \geq 80 \Rightarrow \text{多好的天,投入大自然的怀抱吧} \end{cases}$
-------	---

2.3 经验模式法

基于国内外已有的研究基础,根据预报量的不同和本地特征,进行必要的修正。相关技术处理主要包括:①预报量的优化(形成指数化);②经验参数的修改;③预报因子的优化。

以着装气象指数设计为例来说明经验模式法的预报量优化及预报因子的优化。该指数从统计分析当地的温、湿、风的变化规律着手,探讨气象要素对穿着厚度的影响,得出计算穿着厚度的经验公式以及穿着厚度相对应的穿着建议,并提出增减衣指数。一般来说,影响着装厚度的气象要素有温度、湿度、风速、太阳辐射等,另外季节的转换、人的运动状态、年龄和体质对穿着厚度也有不同的要求,考虑到预报服务的可行性,选取温度、湿度、风速这 3 个相

关最好的气象要素来预报室外所需穿着厚度。

根据人体热量平衡原理,引进穿着厚度经验关系式:

$$H = 0.61(25.8 - T)/(1 - 0.01165 V^2) \quad (3)$$

式中 H 为室外环境所需穿着厚度预报值 (mm), T 为环境温度预报值 (℃), V 为环境风力预报值 (级)。

① 预报因子的优化

考虑到目前台站的逐日温度预报一般只作最高、最低温度的预报,一般人群的户外活动以白天为主,着装的预报也应着眼于白天,所以在式(1)中引入白天最高温度 T_M ,优化预报因子,将式(3)调整为:

$$H = 0.61(33 - T_M)/(1 - 0.01165 V^2) \quad (4)$$

通过这样的优化处理,使该气象指数的计算具有了可操作性。

在不同条件下,相对湿度对着装的影响也是不同的,就像通常说的“闷热”和“阴冷”。冬半年,当温度较低时,湿度越大,穿着越厚,成正相关;夏半年,当温度较高时,湿度越大,穿着越薄,成负相关;春秋季节,湿度对着装影响相对较小。根据经验和抽样调查,最高温度在 18~26 ℃ 之间时湿度对着装的影响较小,可忽略不计, $T_M \leq 18$ ℃ 时为正相关, $T_M \geq 26$ ℃ 时为负相关。

根据最小相对湿度的分布情况,取 $f = 60$ 为基准值进行订正,则式(4)进一步调整为:

$$H = \begin{cases} (1.24 - 0.4 f/100) \times 0.61(33 - T_M)/(1 - 0.01165 V^2) & T_M \leq 18 \text{ }^\circ\text{C} \\ 0.61(33 - T_M)/(1 - 0.01165 V^2) & 18 \text{ }^\circ\text{C} < T_M < 26 \text{ }^\circ\text{C} \\ (1.24 + 0.4 f/100) \times 0.61(33 - T_M)/(1 - 0.01165 V^2) & T_M \geq 26 \text{ }^\circ\text{C} \end{cases} \quad (5)$$

式(5)中 f 为最小相对湿度预报值。

根据以上的经验公式,可方便地算出第 2 天的穿着厚度 (mm),如能转换成通用的服装款式,会更

便于使用。

② 预报量的优化

除气象因素外,影响着装厚度的因素还有运动

状况、年龄和体质等个体差异。着装厚度指数预报虽有一定的普遍性,但个体差异无法顾及。在日常生活中,着装的多少往往以前一天的穿着为依据,但当气象条件特别是气温升降幅度较大时,则经常出现着装过多或过少的情况。所以从实践中得出增减衣气象指数,可以避开个体差异,对人们着装的增减起到较好的指导作用。增减衣气象指数以预报日与前一日的最高气温差值为依据,当气温上升或下降明显时,提请减衣或加衣;当气温上升或下降达到一定幅度时,考虑到人们对气温升降具有不同的承受力和敏感性,因此建议可考虑减衣或可考虑加衣。由于在计算着装厚度气象指数时,是以最高温度为基准值进行的,而事实是,当最高温度相同时,早晚的温度差异还是比较大的,这种差异可以用气温日较差来表示。当气温日较差达到一定程度时,即建议人们早晚增加衣服。

2.4 历史资料反查法

有些气象指数与某一种气象要素的相关性非常好,即对这种气象要素具有很高的依从性,则可以根据二者的统计关系,直接用这种气象要素值域的变化作为气象指数的级别。如支气管哮喘发病气象指数与气温明显相关,可以用气温的变化作为该气象指数设计依据。历史资料表明:

①在日平均气温 20 ~ 22 °C 时,入院病人多,多数患者会有并发症的出现。

②在日平均气温小于 15 °C 时,入院病人亦多,患者发病的起因大多是由于天气较冷,自身免疫力降低而患感冒等上呼吸道感染性疾病导致哮喘病的复发。

③在春季(3 ~ 5 月)患者入院率较低,似乎不易发病,不过从部分医学专家的门诊资料统计上来看,哮喘病人的发病率也较高。春季哮喘病人的病情复发大多是由于受花粉等过敏源的刺激,病情一般较轻,使用药物控制即可并不需要住院,所以,从住院记录上表现不明显。

④从病历资料上可以看出,哮喘发病在四季均有出现,但在夏季无患者住院,冬季仅有少量出现。这从另一个方面也说明了哮喘病的发作与气温的关系较为密切。

⑤由于样本资料少和重病患者的死亡受多种因素的影响,气象条件只是其中之一,而不能起主导作用,所以哮喘指数的预报只能作为趋势的预报,不能

代表绝对事实。

根据历史资料的反查,发现哮喘发作与日平均气温关系十分密切,但在日常预报业务中,一般不预报日平均气温,考虑到哮喘病发作对天气的滞后,可取昨日或当日的日平均气温来作为预报因子,作如下的等级划分:

1 级:日平均气温 < 15 °C 或日平均气温 > 25 °C,哮喘不易发生。

2 级:15 °C ≤ 日平均气温 < 17 °C 或 24 °C < 日平均气温 ≤ 25 °C,哮喘病少发或发病较轻。

3 级:17 °C ≤ 日平均气温 < 19 °C 或 23 °C < 日平均气温 ≤ 24 °C,哮喘发病较多或较重。

4 级:19 °C ≤ 日平均气温 < 20 °C 或 22 °C < 日平均气温 ≤ 23 °C,哮喘发病多或发病重,较易导致并发症。

5 级:20 °C ≤ 日平均气温 ≤ 22 °C,哮喘病最易复发,发病最重,并易导致并发症如肺气肿等。

如有 2 天以上雨雪、大雾天气、锋面过境或 $-\Delta p_{24} < 10$ hPa,哮喘指数在 2 ~ 3 级时,其级别将上升一级。

2.5 动力统计法

根据动力学原理,求出气象指数与基本气象要素的关系,或者求出与气象指数关系非常密切的另一些特种气象信息,将这些特种气象信息作为影响因子,再利用统计学等方法,求得气象指数值。例如吊装施工气象指数,就是根据流体力学原理,求得不同高度的风速,再将这种风速作为入选因子;根据热力学原理,求得不同高度层的气温作为入选因子,结合其它气象要素,得出吊装施工气象指数。

2.6 气象指数延伸法

根据已经研制出的气象指数,延伸到其它领域,再进行适当修正,得出其它气象指数。如游泳气象指数,是根据人体舒适度指数的延伸,根据人体的热量平衡原理和其他气象因子的综合影响,得出游泳气象指数。

根据人体舒适度指数(p)的公式:

$$p = (1.8 T + 32) - 0.55(1 - U/100)(1.8 T - 26) - \sqrt{V} \quad (6)$$

式(6)中的 T 为温度, U 为相对湿度, V 为风速。

如果计算白天在室外游泳气象指数,可以取 14:00 前后人在室外时的感觉来确定是否需要进行这种运动。于是,可以将式(6)延伸为:

$$p = (1.8 T_a + 32) - 0.55(1 - U_a/100)(1.8 T_a - 26) - \sqrt{V_a} \quad (7)$$

式(7)中 T_a 为 14:00 户外温度, U_a 为 14:00 相对湿度, V_a 为 14:00 风速。

$$T_a = T + 3.2 - 0.07 E / T - 0.21 N \quad (8)$$

T 为 14:00 百叶箱内干球温度; E 为 14:00 水汽压; N 为云量 ($N = N_1 + N_2$, N_1 为 14:00 低云量, N_2 为 14:00 总云量减低云量乘系数 0.3, 反映云对日照的反射)。计算晚上的游泳指数时,一般在室内,可以将式(6)延伸为:

$$p = (1.8 T_{20} + 32) - 0.55(1 - U_{20}/100)(1.8 T_{20} - 26) - \sqrt{V_{20}} \quad (9)$$

式(9)中 T_{20} 为 20:00 干球温度, U_{20} 为 20:00 相对湿度, V_{20} 为 20:00 风速。

游泳环境一般是指自然环境,而有些室内游泳馆的环境是人工调节的,无法采用通用的计算公式,这里不作考虑。

另外,在制作游泳指数时,不仅要考虑人体舒适度指数 p ,还需要加上降水对游泳的影响进行订正,订正函数为:

$$f(p) = \begin{cases} p - 3 & \text{白天有大雨或晚上有暴雨} \\ p - 6 & \text{白天有暴雨或晚上有大暴雨} \\ p - 9 & \text{白天有大暴雨} \end{cases}$$

函数值 $f(p)$ 即为游泳指数的预报值。

2.7 概念模型法

通过实地调查,得出了气象指数与气象条件的一系列相关关系和指标,根据这些指标,采用概念模型法制作气象指数。例如,道路施工气象指数就可以采用概念模型的方法。

在影响施工的气象因子中,以温度变化对道路施工的影响为主要指标,综合考虑降水和风力贯穿其中,将各气象要素指标化设计如下:

降水指标 (R):

$$R = \begin{cases} 1 & \text{有降水} \\ 0 & \text{无降水} \end{cases}$$

大风指标 (F):

$$F = \begin{cases} 1 & \text{有 5 级以上大风} \\ 0 & \text{无 5 级以上大风} \end{cases}$$

气温指标 (T):

$$T = \begin{cases} 1 & t \leq -5 \text{ } ^\circ\text{C} \\ 2 & -5 \text{ } ^\circ\text{C} < t \leq 0 \text{ } ^\circ\text{C} \\ 3 & 0 \text{ } ^\circ\text{C} < t \leq 5 \text{ } ^\circ\text{C} \\ 4 & 5 \text{ } ^\circ\text{C} < t \leq 10 \text{ } ^\circ\text{C} \\ 5 & 10 \text{ } ^\circ\text{C} < t \leq 15 \text{ } ^\circ\text{C} \\ 6 & 15 \text{ } ^\circ\text{C} < t \leq 35 \text{ } ^\circ\text{C} \\ 7 & t > 35 \text{ } ^\circ\text{C} \end{cases}$$

根据上述指标,设计了道路施工指数的概念模型(图 1):

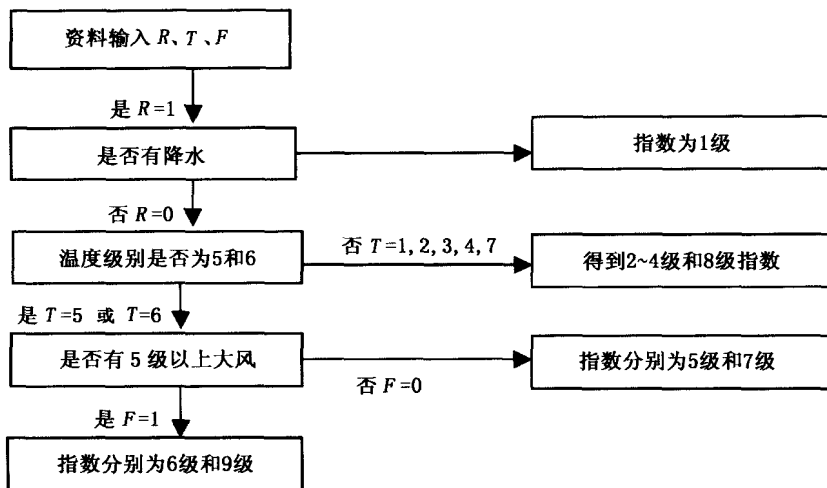


图 1 道路施工指数概念模型

3 小结

通过实例介绍了环境气象指数的回归统计法、因子加权法、经验模式法、历史资料反查法、动力统计法、延伸法、概念模型法的设计和每种方法的技术要点。环境气象指数的设计方法不局限于这几种,这里列出的只是在实际工作中比较实用而有效的几种简单方法,而且某一种气象指数的设计中可能会用到几种不同的方法加以综合应用,环境气象的研究工作与天气动力学的研究相比还仅仅是刚起步,有待于进一步深入研究和探讨。

致谢:江苏省13个地区、市气象局有关科技人员参加了本项目工作,在此一并致谢。

参考文献

- 1 吴兑.多种人体舒适度预报公式讨论.气象科技,2003,31(6):370-372
- 2 宋静.连云港旅游气象指数研究及其预报.气象科学,2001,24(4):480-484
- 3 杨宏青,陈正洪,肖劲松,等.呼吸道和心脑血管疾病与气象条件的关系及其预报模型.气象科技,2001,29(2):49-52
- 4 谢静芳,秦元明,叶琳,等.消化系统疾病的气象影响分析和预报.气象科技,2003,31(6):393-396
- 5 李雄.南宁市紫外线辐射变化特征及相关因子分析.气象科技,2003,31(2):105-108
- 6 张姝丽,张德山,何海娟,等.北京城区花粉数量天气条件分析.气象科技,2003,31(6):406-408
- 7 沈树勤,严明良,尹东屏,等.江苏省环境气象指数开发技术初探.气象,2003,29(2):17-20
- 8 严明良,沈树勤,焦艾彩,等.环境气象指数业务化系统.气象科学,2003,23(4):478-484

Design Methods of Environmental Meteorological Indexes

Yan Mingliang Shen Shuqing

(Jiangsu Provincial Meteorological Office, Nanjing 210008)

Abstract: Based on the principles of environmental sensitivity to and compliance with the meteorological conditions, presented were seven design methods of the environmental meteorological indexes related with various aspects such as human being living conditions, public service, recreation, travel, agriculture, engineering, medical treatments and sanitation, etc. These methods include Regression Statistics, Factor Weighting, Experience Mode, History Data Searching, Dynamics Simulation, Extension Methods and Concept Model. Based on these methods, eight categories and 73 kinds of indexes were developed. Considering the results from a large population customer survey along with other methods such as field observation and experimental analysis, the technical details of various design methods are discussed with several environmental meteorological indexes as examples. These methods are simple, practical, and easy to be put to operational use.

Key words: environmental meteorological index, design principle, grading standard