

文章编号:1673-8411 (2014) 02-0001-06

“回南天”的客观分析方法研究

王庆国¹, 黄归兰¹, 黄增俊¹, 马继华¹, 白 龙¹, 农孟松²

(1.南宁市气象局, 广西 南宁 530028; 2.广西气象台, 广西 南宁 530023)

摘 要:通过理论假设推导出建筑物内壁温度与气温及 15CM 地温的关系式,利用历史“回南天”过程记录确定了关系式的相关系数,建立了建筑物内壁温度的拟合公式,有效的解决了长期以来困扰“回南天”观测资料缺少的难题;通过聚类分析,研究“回南天”主要天气影响系统及特征,结果表明南宁市“回南天”过程是在冷高压和暖低压的交替影响下产生,分为冷性结束和暖性结束两类过程,并总结两类过程的单站内壁温度、气温、露点、24 小时日平均变压等要素变化特征和天气形势场特征,分析它们与“回南”影响时间及强度的关系,得出冷性结束“回南天”过程,“回南”持续时间越长,强度强,出现频率高的结论。

关键词:回南天;内壁温度;聚类分析

中图分类号:P458

文献标识码:A

Objective Analysis Method For “Huinan Weather”

WANG Qingguo¹ HUANG Guilan¹ HUANG Zengjun¹ MA Jihua¹ BAI Long¹ NONG Mengsong²

1. Guangxi Nanning Meteorological Office, Guangxi Nanning 530028

2. Guangxi Meteorological Observatory, Guangxi Nanning 530022

Abstract: we define the strength and standards of the humid weather by building the relationship between the wall temperature, the air temperature and the 15CM ground temperature based on theoretical assumptions. Then based on historical records, we fixed the correlation coefficient of the relationship and established a fitting formula of Nanning wall temperature and effective to solve the long troubled of the lack of observational. By cluster analysis to analyze the humid weather systems and the main weather feature, the results show that the process of “Huinan Weather” is generated by alternating of cold high pressure and warm low pressure, and can be divided into two types of processes character as the ending of cold and warm. We also summarize the single-station wall temperature, surface air temperature, dew point, 24 hours daily average swing and the field characteristics of the two types, and get the relationship between impact time and intensity. The final result show that the “Huinan Weather” character by the end of cold process has a longer time, higher intensity and higher frequency.

Key words: humid weather, wall temperature, cluster analysis

“回南天”是暖湿空气流经较冷物体表面导致水汽凝结的一种天气返潮现象,在华南常出现在冬春季节,以 2~3 月份居多,研究“回南天”的发生及结束的天气规律,建立相应的预报方法,并根据预报及时采取应对措施,可以极大的减轻“回南天”的影响。由于缺少相应的观测资料,“回南天”的预报研究非常

少,郭媚媚等^[1]对 2012 年春季肇庆“回南天”天气形势特征和气象要素进行统计和天气学原理分析,结果发现:温度露点差和露点温度曲线的交点出现在“回南天”发生前的第 2 到 4 天,对“回南天”预报具有一定作用的时间提前量;何飞^[2]等通过对 2010 年贺州冬春季节回潮过程的天气环流形势及本站气象

收稿日期:2014-01-12

作者简介:王庆国(1981-),男,广西资源人,硕士,工程师,主要从事天气预报技术方法研究,E-mail:wangqingguo209@126.com

要素变化分析,指出西南暖低压的发展是“回南天”出现的主要天气环流特征。余江华、陈芳丽^[3]等对广东沿海、粤东等地的“回南天”天气过程进行了总结分析,得出对流层高层北支系统偏北,南支系统活跃,地面位于发展的低槽前侧是“回南天”发生的特定大气环流形势背景。目前针对“回南天”研究的主要困难是缺乏客观定量的标准定义,历史观测资料几乎空白,而“回南”天气出现的本质原因是物体表面的温度低于空气露点温度,导致水汽在物体表面凝结。在目前缺乏物体表面温度资料的情况下,通过计算出物体表面温度,并与实况露点温度比较,可以客观定量的定义“回南天”的标准及强度,也可以反演历史“回南天”,因此物体表面温度的计算是研究“回南天”难以避免的工作之一。本文通过理论假设分析了建筑物内壁温度与气温及地温变化的关系,建立了相应的拟合关系式,客观定量的定义了“回南天”标准,并在此基础上分析了其对应的天气形势特征及单站气象要素变化特点,以期“回南天”历史资料的建立提供可靠的参考,并为进一步研究“回南天”的预报提供科学依据。

1 “回南天”客观判断标准

1.1 资料来源及“回南天”定义

本文中应用的资料为 2007~2013 年南宁市城区气象观测站逐小时地面气温、15CM 地温、相对湿度、露点气温,2012~2013 年南宁市“回南天”记录,记录主要来自天气预报员的值班记录,媒体对“回南天”的报道。“回南天”最直接的现象是室内建筑物墙壁出现不同程度的“水珠”,且出现的时段不同,可能是早晚出现,中午逐渐消失,也可能是一整天都维持,当日平均露点气温大于建筑物内壁日平均温度时当天即可出现较明显的“回南”天气,因此本文中“回南天”指 20 时至 20 时日平均露点温度大于日平均内壁温度的天气,“回南”强度为对应的温度差,温度差越大强度越强。

1.2 建筑物内壁温度拟合公式

根据“回南天”的定义,研究“回南天”首先要解决的问题是拟合建筑物内壁温度。建筑物内壁温度的影响因素非常复杂,受太阳辐射、环境气温、建筑物材料等诸多因素影响,不同季节、不同朝向、不同材料的内墙壁其温度滞后时间和衰减系数都不一样^[4,5],且一个城市的建筑物材料的构成很不统一,因此直接计算建筑物内墙壁温度几乎是不可能的。

为了简化这种复杂的影响因素,本文假设存在这样一面墙,墙的厚度及材料可以代表南宁市大多数建筑物墙壁,同时假设墙壁内部某一深度的温度等于气象常规观测某一深度的地温(T_0),墙壁的内表面温度主要受内部温度和气温(T_1)的热传递影响。物体间热传递对温度的改变主要受接触面积、材料、质量、温差等影响,平壁热传递基本公式^[6]为:

$$\phi = KA\Delta T \dots\dots\dots (1)$$

式中 ϕ ——为热流量。W

K ——总导热系数。W/(M²·℃)

A ——传热面积。M²

ΔT ——热流体与冷流体之间温度差。℃

设 ϕ_0 为建筑物内部某一深度对建筑物内墙壁的热流量, ϕ_1 为室内空气对建筑物内墙壁的热流量, ϕ 为建筑物内墙壁吸收的热流量,由以上假设可得如下关系:

$$\phi = \phi_0 + \phi_1$$

由(1)代入可得:

$$\phi = K_0 A \Delta T_0 + K_1 A \Delta T_1$$

内墙壁在吸收热流量的同时,温度在不断变化,且气温、建筑物墙壁内部的温度也在不断变化,此处为简化问题,假设在单位时间内室内气温及建筑物墙壁内部温度与内墙壁的温差为当前时刻的温度与内墙壁前一时刻的温度差,设单位时间内内墙壁温度的变化为 Δt , c 为内墙壁比热, m 为质量,单位时间内墙壁吸收的热量 $\phi = cm\Delta t$ 代入上式可得:

$$t_i - t_{i-1} = \frac{K_0 A}{cm} (T_{0i} - t_{i-1}) + \frac{K_1 A}{cm} (T_{1i} - t_{i-1})$$

t_i 为第 i 个时刻的建筑物内壁温度,设 $a = \frac{K_0 A}{cm}$, $b = \frac{K_1 A}{cm}$ 可得:

$$\begin{aligned} t_i &= t_{i-1} + a(T_{0i} - t_{i-1}) + b(T_{1i} - t_{i-1}) \\ &= (1-a-b)t_{i-1} + aT_{0i} + bT_{1i} \\ &= (1-a-b) * ((1-a-b)t_{i-2} + aT_{0(i-1)} + bT_{1(i-1)}) + aT_{0i} + bT_{1i} \\ &= (1-a-b) * (1-a-b)t_{i-2} + (1-a-b)aT_{0(i-1)} + (1-a-b)bT_{1(i-1)} + aT_{0i} + bT_{1i} \\ &= aT_{0i} + bT_{1i} + (1-a-b)(aT_{0(i-1)} + bT_{1(i-1)}) + (1-a-b) * (1-a-b)t_{i-2} \\ &= \sum_{n=0}^m (1-a-b)^n * (aT_{0(i-n)} + bT_{1(i-n)}) + (1-a-b)^{m+1} * t_{i-m-1} \\ &\dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

因建筑物综合热惰性的存在,环境温度变化对内壁温度的影响总存在衰减和延迟^[5],因此内墙壁

温度的变化幅度小于环境温度的变化幅度, 即 $a, b \in 0 \sim 1$, 设

$$R=(1-a-b)^{m+1} * t_{i-m-1} \dots\dots\dots (3)$$

当 $m \rightarrow \infty$ 时,

$$R=\lim_{m \rightarrow \infty} (1-a-b)^{m+1} * t_{i-m-1}=0$$

因此建筑物内墙壁温度与气温及地温的计算关系式为:

$$t_i=\sum_{n=0}^m (1-a-b)^n * (aT_{0(i-n)}+bT_{1(i-n)})+R \dots\dots\dots (4)$$

其中 R 为拟合误差, 当 m 足够大时可以忽略不计。

公式(4)中 a, b, m 三个系数的计算可通过历史“回南天”记录数据客观确定, 设 N_0, N_1, N_2 , 分别为“回南天”历史记录日数、建筑物内壁温度计算的“回南天”日数、计算的“回南天”与历史记录相同的日数, 设

$$k=N_0/(N_0+N_1-N_2) \dots\dots\dots (5)$$

当 $N_1=N_2$ 时 $k=1$, 即 k 越接近 1 表明计算的“回南天”数据越接近历史记录数据。在 a, b, m 变化范围内, 通过测试法选择不同的 (a, b, m) 组合计算相

应的 k 值, 选择最大的 k 值所对应的组合即为最佳的系数。本文中 a, b 以 0.01 为递增量, m 变化范围为 0~72h 逐小时递增, 得到的 (a, b, m) 组合 $(0, 0, 1), (0.01, 0.02, 1) \dots\dots\dots (0.02, 0.01, 2) \dots\dots\dots (1, 1, 27)$, 地温可以选择 5CM、10CM、15CM、20CM 等, 经计算 15CM 地温具有最佳的代表性, 其计算的最大 $k=0.7$, 对应的 (a, b, m) 组合为 $(0.04, 0.06, 27)$ 因此南宁市建筑物内壁温度计算公式为:

$$t_i=\sum_{n=0}^{27} 0.9^n * (0.04 * T_{0(i-n)}+0.06 * T_{1(i-n)}) \dots\dots\dots (6)$$

其中 T_{0n} 为 15CM 地温, T_{1n} 为气温。

1.3 拟合公式检验分析

表 1 为根据公式(6)计算的南宁市 2012 年 1 月 1 日至 2013 年 12 月 31 日“回南天”日平均露点温度与建筑物内壁日平均温度差, 表中“*”指当天有“回南天”记录(来自于媒体报道或者人工记录, 准确性高), 数值大于 0 代表计算的数据显示当天应该出现“回南”天气, 数值越大“回南”越严重, 相反数值小于或等于 0 代表当天不易出现“回南”天气, 数值越小越不利于出现“回南天”。

表 1 2012~2013 年南宁市“回南天”日平均露点温度与建筑物内壁日平均温度差

2012 年		2013 年 1~2 月		2013 年 3~4 月	
日期	露点内壁温度差	日期	露点内壁温度差	日期	露点内壁温度差
2/5	0.04*	1/20	0.66*	3/1	0.99
2/6	1.83*	1/21	0.62*	3/16	0.88*
2/13	0.24*	1/30	0.89	3/17	0.98
2/14	0.66*	1/31	1.32*	3/18	0.52
3/15	0.12*	2/1	0.72	3/19	0.19*
3/16	1.57*	2/5	0.63	4/2	0.40*
3/17	1.26*	2/17	1.07*	4/3	0.87
3/18	0.17*	2/18	2.51*	4/4	1.61*
3/19	-0.72*	2/25	0.02*	4/5	0.84
12/14	0.66*	2/26	1.92*	4/23	2.07*
12/15	-0.47*	2/27	1.51*		
		2/28	0.56*		

注: 表 1 中“*”表示当天有“回南天”记录。

表 1 为计算及收集的“回南天”记录共 33 天数据, 从表中可知拟合内壁温度可以计算出绝大部分回南天记录, 通过媒体搜索和收集零散的人工记录, 2012~2013 年南宁市共有 25 天“回南天”记录, 通过公式(6)计算的“回南天”有 31 天, 与实况对比后发现计算正确的天数为 23 天, 2 天不正确(露点内壁

温度差为负值), 有 8 天计算的“回南天”没有相关记录, 由公式(5)可知“回南天”计算的准确率为 $k=0.7$, 实际准确率应该远大于此, 因为存在“回南”不明显, 媒体没有报道或者人工没有记录的可能。最严重的“回南”天气为 2013 年 2 月 18 日, 露点内壁温度差最大达到 2.51℃。表中带“*”的记录表明当天

有“回南天”记录,记录的日期显示大部分“回南天”持续 2 天以上,说明长时间的“回南”天气对生产生活的影响比较严重,容易引起媒体注意。总体来说,拟合的内壁气温能够客观反映南宁市的“回南天”过程,为进一步检验拟合内壁温度,本文对 2013 年 2 月 17~19 日“回南”最强的一次过程及 2012 年 3 月 15~19 日存在计算不一致的一次过程进行详细分析。

根据媒体报道及值班记录,2013 年 2 月 17、18 日南宁市出现了很严重的“回南”天气,室内墙壁大量“挂满”水珠,墙壁水珠的出现大概在 17 日中午,18 日中午城市郊区的部分房屋墙壁水珠逐渐消失,城市中心房屋墙壁水珠在 19 日上午逐渐消失。图 1 为 2013 年 2 月 16 日 20 时至 19 日 20 时南宁市城区气象观测站逐小时气温、露点温度以及内壁计算温度变化曲线(x 轴采用逐 3 小时标示),从图中可知 16 日 20 时至 18 日 11 时气温和露点温度曲线几乎重合,说明相对湿度非常大接近 100%,高湿环境有利于“回南”天气的出现,气温和露点温度在 17 日 08 时快速上升,因内壁温度相对气温的变化具有时间滞后性和幅度的衰减^[5],因此快速上升的气温和露点温度变化也有利于出现“回南”天气,图中计算的内壁温度与露点温度的交叉点也在 17 日 08 时附近,因此判断 17 日房屋墙壁“冒”水应该从 17 日 08 时开始,而实际上墙壁出现水珠大概在 17 日中午,其主要原因是建筑物内墙壁本身可以吸收一部分凝结水,因此当墙壁吸够凝结水后于 17 日中午开始“冒”水。18 日 11~13 时气温急剧上升,露点温度的变化却比较平稳,说明相对湿度开始降低,此时露点温度与内壁温度差也减少,由于建筑物的建筑材料不同,接收太阳辐射的方位不同,内壁温度变化也不同,因此部分房屋墙壁水珠可能会逐渐消失。19 日 08 时后由于冷空气的扩散影响,气温急剧下降,此时虽然相对湿度也接近 100%,但是露

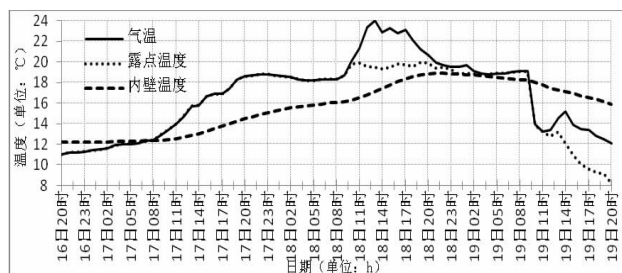


图 1 2013 年 2 月 16 日 20 时至 19 日 20 时
逐小时气温、露点温度、内壁温度变化曲线

点温度低于内壁温度,且差值越来越大,因此 19 日上午“回南”天气逐渐消失。从以上分析可知拟合的内壁温度对 17~19 日的“回南天”天气过程的解释是比较合理的,说明拟合的内壁温度是可信的。

图 2 为 2012 年 3 月 14 日 20 时至 19 日 20 时逐小时气温、露点温度、内壁温度变化曲线(x 轴采用逐 6 小时标示),本次“回南天”过程从 15 日开始至 19 日持续了 5 天,19 日露点温度与拟合内壁温度日平均差值为 -0.72°C ,19 日应该不会有“回南天”,但是从收集的媒体记录及相关值班记录显示,19 日南宁市仍然有部分墙壁有水珠。由图 2 中可知露点温度、气温从 15 日 08 时开始快速回升,15 日 08 时至 17 日 20 时平均气温露点差为 1.7°C ,湿度大,有利于形成“回南”天气,17 日 21 时后呈缓慢波动回升趋势,18 日 21 时至 19 日 20 时平均气温露点差为 3.4°C ,湿度显著变小,平均露点内壁温度差为 -0.72°C ，“回南”天气应逐渐消失,计算结果与实际记录不一致,进一步分析 19 日露点温度与内壁温度的逐小时差值显示,在 19 日中午仍然有 2 个小时露点温度大于内壁温度,说明 19 日大部分时间是有利于“回南天”消失的,但因前期“回南”天气持续时间较长,墙壁含水比较多,且露点温度并没有明显低于内壁温度,因此墙壁水分的蒸发比较慢,19 日的墙壁仍有部分水珠。从以上分析可知 19 日“回南天”是前期“回南”天气的持续,露点温度与拟合内壁温度日平均差值为负数,可认为当时“回南”天气是一个逐渐消失的过程,同样 2012 年 12 月 15 日的情况与此类似,因此拟合内壁温度仍然是可信的。

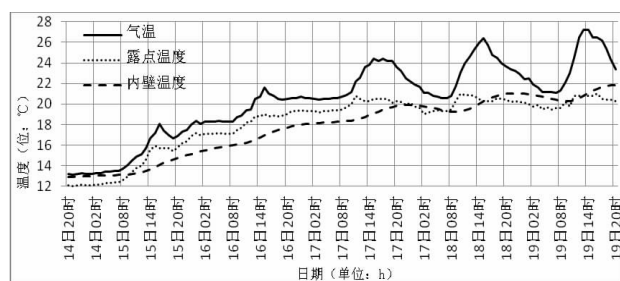


图 2 2012 年 3 月 14 日 20 时至 19 日 20 时
逐小时气温、露点温度、内壁温度变化曲线

2 “回南天”天气形势场及单站要素变化特征

2.1 资料处理方法

本文利用欧洲中心 (ecmwf) $2.5^{\circ}\times 2.5^{\circ}$ 格点资料

场, 资料范围 0~90N, 50~140E, 通过聚类分析对 2007~2013 年南宁市“回南天”天气过程进行分类, 聚类分析中度量距离的度量公式为:

$$f_{ik} = \cos \theta_{ik} + 1 / (1 + D_{ik}) \quad i, k = 1, 2, \dots, n$$

$f_{ik}^{[7]}$ 为相似统计量, 用类之间的最大相似统计量, 对类进行归并。数据处理时将“回南天”天气过程分前期、中期、后期三个阶段, 即“回南天”开始时前 1 天 (20 时) 欧洲中心天气形势场为前期, 持续期间形势场 (当持续多天, 求多天平均场) 为中期, 回南天“消失”时 (20 时) 形势场为后期。聚类的要素场为 500hPa 高度场, 999hPa 气压场, 850hPa 风场, 分前、中、后三个阶段分别聚类, 从分析的数据结果看, 后期“回南天”结束阶段可以明显的分为冷性结束和暖性结束两种类型, 本文以后期的聚类结果为依据将“回南天”过程分为冷性结束过程和暖性结束过程两类, 并计算每类过程的前期、中期、后期平均形势场和单站要素的平均曲线, 得到每类形势场的平均过程演变图和要素变化趋势线。

2.2 天气形势场特征

“回南天”高空 500hPa 形势场在各个阶段变化不大 (图略), 华北槽不断引导冷空气南下影响广西, 副热带高压在太平洋西岸沿东西方向来回摆动, 广西上空为平直西风气流, 850hPa 在广西桂北一带有切变线来回摆动 (图略), 南宁市上空基本为偏南暖湿气流, 地面为冷高压和西南暖低压共同影响, 在不同阶段, 不同分类中冷高压、西南暖低压的位置和强度都不同, 南宁市“回南”天气在冷高压和暖低压的交替影响下产生, 为南宁市“回南天”过程不同分类 (“冷性结束”和“暖性结束”) 不同阶段的海平面气压场。

前期, 在贝加尔湖以西维持有较大范围的冷高压, 不断分裂冷空气南下影响我国, 并从广西东北部南下影响南宁市, 南宁市维持较长时间的低温天气, 第一类与第二类最大的区别是冷空气的强度不同, 第一类有 1023hPa 的闭合等压线而第二类只有 1015hPa 的闭合等压线, 且第一类闭合等压线的面积远大于第二类。

中期, 影响广西的冷高压逐渐东移出海, 同时新的冷空气从北方南下, 广西转高压后部影响, 西南暖低压不断发展东扩, 南宁市由前期的冷空气影响逐渐转为西南暖低压的影响, 南宁市上空的温度梯度很大, 850hPa 维持较强的西南暖湿气流, 一旦西南

暖低压东移, 由于温差变化大, 低层相对湿度较大, 地面露点气温快速上升, 此时由于建筑物温度变化的时间滞后性, 受前期低温的影响其表面温度仍维持较低的温度, 遇上暖湿的气流南宁市很容易出现严重的“回南”天气。中期两类“回南”天气最大的区别是西南暖低压的强度不同, 第一类西南暖低压比较弱, 1008hPa 等压线穿过广西西部, 而第二类 1008hPa 等压线穿过广西中部, 且出现了 1007hPa 闭合等压线, 并进入了广西西部, 西南暖低压强度高。

后期“回南”天气逐渐消亡, 后期可以很明显的分为冷性结束 (第一类) 和暖性结束 (第二类) 两种类型, 第一类新的强冷空气从北方南下影响, 此时露点温度急剧下降到建筑物温度以下, 原来在墙壁上的水珠由于干冷空气的影响, 迅速蒸发, “回南”天气很快结束, 而第二类北方冷空气很弱, 西南暖低压继续发展, 此时 850hPa 西南气流减弱, 地面相对湿度逐渐减小, 露点温度逐渐下降, 建筑物温度在西南暖低压影响下逐渐升高并高于露点温度, “回南”天气结束, 此类“回南”天气结束的过程往往比较长。

2.3 单站要素特征

从“回南天”两类过程的单站内壁温度、气温、露点、24 小时日平均变压的平均变化曲线可看出: 前期指“回南天”发生前 1、2、3 天, 中期指“回南天”发生当天 (如持续多天则求平均), 后期指回南天结束后 1、2 天。

两类过程曲线在中、前期变化趋势一致, 都是持续较长时间低温, 内壁温度与气温接近, 地面气压由正变压逐渐转负变压; 中期, 地面维持负变压, 气温、露点温度快速回升并超过内壁温度, 产生“回南”天气; 后期两类曲线变化区别比较大, 第一类气温、露点都迅速下降, 正变压很明显, “回南”天气迅速消失, 而第二类除露点温度逐渐下降外, 气温、内壁温度少变或略微下降, 有很弱的正变压, 说明有很弱的干冷空气扩散影响, “回南”天气逐渐消失。

表 2 为 2007~2013 年南宁市“回南天”过程统计表, 从表 2 可知“冷性结束”的“回南天”过程持续时间长, 平均持续 2.1 天, 最长 5 天, 强度强, 露点温度与内壁温度平均差为 0.74℃, 出现频率高, 过程年平均次数为 4.6 次; 而暖性结束的“回南天”过程持续时间相对较短 1.6 天, “回南”的强度比较弱 0.49℃, 出现频率相对较低 2.3 次。

表 2 2007~2013 年南宁市“回南天”过程统计表

类型	过程平均持续天数 (d)	过程最长持续天数 (d)	过程年平均次数 (次)	“回南”强度 露点-内壁(℃)
第一类(冷性结束)	2.1	5	4.6	0.74
第二类(暖性结束)	1.6	3	2.3	0.49

3 “回南天”预报

通过以上分析可知,南宁市“回南天”产生的天气背景主要是冷高压和暖低压的交替影响,这种交替影响因建筑物温度变化的滞后性而导致露点温度高于建筑物内壁温度出现水汽凝结的“回南”天气现象。因此“回南天”的预报主要是要把握前期冷高压影响地区,相应暖低压是否能够发展并快速影响该地区,同时中低层维持偏南暖湿气流。由公式(6)可知,“回南天”的定量预报可以简化为气温和 15CM 地温的预报,通过前期“回南天”个例样本建立客观预报方程。

4 结论

(1) 本文通过理论假设分析了建筑物内壁温度与气温及地温变化的关系,建立了相应的拟合关系式,客观定量的定义了“回南天”标准,有效的解决了长期以来困扰“回南天”观测资料缺少的难题,为“回南天”的判断分析提供了参考。

(2)通过聚类分析,总结了“回南天”主要天气影响系统,得出南宁市“回南”天气是在冷高压和暖低压的交替影响下产生,并将“回南天”分为冷性结束和暖性结束两类过程。

(3)分析了不同类型“回南天”的单站要素变化

特征,比较了不同类型天气形势场特征,及影响时间的长短,强度的不同,得出冷性结束的“回南天”过程,“回南”的强度强,持续时间长,出现频率高的结论。

(4)“回南”天气严重影响日常的生产生活,本文拟合了建筑物内壁温度,分析了相应的影响天气系统及单站变化特征,为此类天气的研究提供了一种新的思路和方法,关于“回南天”的预报相对较少,有待今后进一步分析研究。

参考文献:

[1] 郭媚媚,麦冠华,高俊杰,孔树剑,黄成南.肇庆市春季“回南天”的天气特征 [J]. 广东气象, 2013, (1): 27-31.

[2] 何飞, 柴广萍, 黄远盼.贺州市冬春季节回潮现象分析及预报方法初探 [J]. 气象研究与应用, 2011, 32 (3) 36-38.

[3] 余江华.广东沿海地区“回南天”初探 [J]. 广东气象, 2010, 32 (S1): 13-15.

[4] 张云霞, 孙三祥, 朱琨.兰州建筑墙体朝向对延迟时间和衰减系数的影响 [J]. 建筑热能通风空调, 2010, (3): 25-26+56.

[5] 刘建伟.建筑物综合热惰性的研究 [D]. 天津大学, 2007.

[6] 赵镇南.传热学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2008

[7] 施能.气象科研与预报中的多元分析方法 [M]. 北京: 气象出版社, 2002.