

文章编号:1671-8879(2009)01-0045-05

基于空间变异理论的中国公路气候区划

李 超^{1,2}, 许金良¹, 杨宏志¹

(1. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064;
2. 山东交通学院 土木工程系, 山东 济南 250023)

摘要:为了得到准确的公路气候区划指标的分布规律,以空间变异理论为主要理论依据,利用地理信息系统对公路气候区划指标进行地理统计分析,提出了公路气候区划指标的分析方案,得到中国公路年施工热量不利日数分布图。实例分析结果表明,低温对中国公路工程工期的影响呈现出 3 个分布特征区域,即南部无冰冻区、东北梯形渐变区和西北锥形渐变区。

关键词:道路工程;气候区划;空间变异;分布规律

中图分类号:U412 **文献标志码:**A

Climatic zoning for highway construction in China based on spatial variability theory

LI Chao^{1,2}, XU Jin-liang¹, YANG Hong-zhi¹

(1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. Department of Civil Engineering, Shandong Jiaotong University, Jinan 250023, Shandong, China)

Abstract: In order to get the accurate distribution of the indices of climatic zoning for highway construction, based on the theory of spatial variability, this paper carried out the geology-statistical analysis of the indices of climatic zoning for highway construction with geographic information system tools, put forward the five-step plan of analyzing the indices, got the distribution map of the days in that there is not enough thermal volume in one year for constructing highway. The results indicate that the effects of low temperature on the highway engineering in China present three characteristic areas: south nonfreezing area, northeast ladder shaped area, and northwest conical area. 1 tab, 4 figs, 7 refs.

Key words: road engineering; climate zoning; spatial variability; distribution

0 引 言

在中国公路自然区划研究过程中,由于客观条件的限制,有些数据的采集难度较大,如气候恶劣地区和边远地区的气候数据采集等。因此,许多区划

指标需要进行空间插值分析。现行的《公路自然区划标准》自颁布之日距今已有 20 多年,由于受到当时技术条件的限制,区划指标的空间插值方法采用样条曲线法,并以手工绘图,这种指标生成方法没有考虑样本数据的空间连续性,不能有效的控制样本

收稿日期:2008-02-10

基金项目:国家西部交通建设科技项目(2003 318 812 36)

作者简介:李 超(1979-),男,山东济南人,山东交通学院讲师,长安大学工学博士研究生,E-mail:lic211@163.com。

数据的趋势性与误差对分析结果的影响,工作效率低。为此,本文以空间变异理论为主要数学工具,在地理信息系统(GIS)技术支持下,对中国公路气候区划指标数据的分布规律的分析方法进行深入研究,并以累年年施工热量不利日数(P_{0c})^[1]的计算为例进行实例分析。

1 空间变异理论

空间变异理论包括了对空间随机分布变量的相关性进行定量描述和空间插值的一整套特别的统计方法。本文应用其中的普通克里金法对公路气候区划指标进行预测分析。

1.1 普通克里金法的基本假设

普通克里金法^[2]的基本假设是建立在空间相关的先验模型之上的,即假定空间随机变量服从空间统计的本征假设,则它具有的性质为距离较近的采样点比距离较远的采样点更相似,相似的程度或空间协方差的大小,是采用点对的平均方差来度量的。点对对差异的方差大小只与采样点间的距离有关,而与它们的绝对位置无关。

1.2 普通克里金法的估计公式

普通克里金法的估计公式为

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (1)$$

式中: $Z^*(x_0)$ 为位置 x_0 的估计值; $Z(x_i)$ 为 x_i 的测量值; λ_i 为分配给 $Z(x_i)$ 的权重; n 为用于估计过程的测量值的个数; x_i 为各样本点坐标($i=1,2,\dots,n$)。

根据无偏条件下使估计方差达到极小值的原则,利用最小二乘法可得到关于 λ_i ($i=1,2,\dots,n$)的矩阵方程,即

$$\begin{bmatrix} \gamma_{11} & \cdots & \gamma_{1n} & 1 \\ \vdots & & \vdots & 1 \\ \gamma_{n1} & \cdots & \gamma_{nn} & 1 \\ 1 & \cdots & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \vdots \\ \lambda_n \\ \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma_{01} \\ \vdots \\ \gamma_{0n} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中: $\gamma_{ij} = \gamma(x_i - x_j)$,即为 x_i 与 x_j 之间的变异函数值($i, j=1,2,\dots,n$); μ 为拉格朗日乘数; γ_{0j} 为 x_0 与 x_j 的半变异函数值, $j=1,2,\dots,n$ 。

求解式(2),即可得到 λ_i ($i=1,2,\dots,n$)。

普通克里金法是利用区域化变量的原始数据和变异函数的结构特点,对未采样点的区域化变量的取值进行线性无偏最优估计的一种方法,其优点是以空间统计学作为其坚实的理论基础,物理含义明确。此方法不但能估计测定参数的空间变异分布,

而且还可以估算估计参数的方差分布。

2 指标分析方案

中国公路气候区划指标的分析过程,总体上可分为数据准备和指标分析两个阶段。其中,数据准备阶段的主要任务是,对分析所需的气象统计数据按照公路气候区划指标数学模型和普通克里金法的要求进行预处理,包括区划指标数学模型的实现、空间数据与指标数据关联和指标数据性质分析等步骤;指标分析阶段是将空间变异理论的估值方法作为气候分区指标变量的分布规律,对中国面域内的指标数据进行估值计算,最终得到指标等值线图,其流程如图1所示。

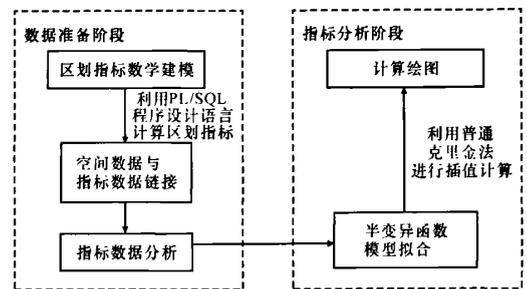


图1 指标分析方案流程

2.1 数据准备阶段

2.1.1 区划指标数学模型的实现

在公路气候区划研究中,公路气候区划指标体系包括累年年施工热量不利日数、累年年大于 20°C 积温、累年年冰冻指数和累年年非冰冻期潮湿系数加权平均值等,3级共20个分区指标。这些指标分别通过数学模型的方式来描述气候对公路建设的影响,如累年年施工热量不利日数是将不利影响因素的出现日数作为影响公路施工的气候条件评价指标;潮湿积温组合指数是某地区的潮湿系数与年度气温特征时间段内积温的乘积,它主要反映气候潮湿程度与冻融过程对公路工程的影响程度。

研究所用的基础数据资料是由国家气象中心提供的740个气象站1971~2000年地面气候资料日值、月值和年值数据集,以文本文件形式存储。公路气候区划指标多,有些指标的数学模型复杂,数据计算量大,原始数据形式不能满足区划指标分析效果与效率的要求。本文将原始数据整理导入数据库中,根据各公路气候区划指标的数学模型,利用Oracle数据库管理系统内置的PL/SQL程序设计语言对气象统计数据进行处理,得到各气象站的

公路气候区划指标的统计数据,为指标数据空间化提供重要基础。

2.1.2 空间数据与指标数据的关联

公路气候区划是从自然区的气候特征出发,根据气候对公路工程的影响方式和程度对客观存在的地域系统进行划分,区划结论要以空间的形式表达。前面利用 PL/SQL 程序设计语言处理的气象数据与公路气候区划指标数据都是以统计数据的形式存在的,不具备空间特性。根据气象站的经纬度坐标建立中国气象站点要素层,通过区站号建立气象站点与区划指标的统计数据的关联,可以使气候区划指标的统计数据具有空间意义。

2.1.3 指标数据分析

指标数据分析主要包括数据分布检查与全局趋势检查^[3]等内容。空间变异理论的估值方法假设数据服从正态分布,检验数据正态性的方法很多,如直方分布图法、正态概率单位分布图法等。本文采用直方分布图法对数据的正态性进行检验。在直方图中,如果数据分布呈钟形,并且无过大偏斜,就认为数据服从正态分布;一个数据表面主要由两部分组成:确定的全局趋势和随机的短程变异。利用空间变异理论的方法生产数据面,并表达趋势时,应先剔除全局趋势,然后用变异函数模型^[4]模拟短程随机变异,这样才能满足空间变异理论的基本假设。

2.2 指标分析阶段

在指标分析阶段,根据普通克里金法的基本原理,利用经过预处理的各气象站点的统计数据,对中国范围内其他未知各点的气候区划指标值进行预测^[5],从而生成反映区划指标分布规律的数据表面。这个阶段具体包括两项任务:半变异函数的构造和计算绘图。

2.2.1 半变异函数的构造

模型拟合就是通过构造半变异函数来描述公路气候区划指标数据的半变异值与站点距离之间的关系。构造的变异函数应满足模型的正则定条件。本文根据各气候区划指标的不同性质,尽量选择一些已被证明是有效的、常用的变异函数模型或网状变异函数模型,如球形模型、指数函数、高斯模型和迪维生模型^[5]等。

2.2.2 计算绘图

利用构造的变异函数计算公式中的各变异函数值,通过解方程得到整个预测面域内各点的预测值,最终编制气候区划指标的等值线或趋势面图。

3 实例分析

一年中大约有多长时间适宜施工?影响施工的主要气候因素有哪些?影响程度如何?这些问题与公路工程工期的估计、工程费用的估算等密切相关。累年年施工热量不利日数($P_{0.c}$)采用一年中各种不利影响因素的出现日数作为影响公路施工的气候区划评价指标,描述气候对公路工程的影响。下面就以此指标的计算为例,详细说明气候评价指标的计算分析过程。

3.1 指标数学模型的实现

累年年施工热量不利日数 $P_{0.c}$ 的计算式为

$$P_{0.c} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m d_{ij} \quad (3)$$

式中: n 为累计年数; m 为第 i 年的天数; d_{ij} 为第 i 年第 j 日温度,低于 0°C 时取1,否则取0。

气象统计数据都是以数据表的形式存储于数据库中,一般的程序设计语言不能处理这样的数据对象。在数据库中,利用 Oracle 数据库管理系统自带的 PL/SQL 程序设计语言对在第一步中建立数学模型进行编程,计算气象评价指标。

3.2 气象评价指标的分析

气象评价指标分析是利用地理统计分析和数据库中的相关数据对气象评价指标进行分析绘图。这是对前面的气象统计数据纯数值计算结果做了空间上的表示,也将为以后进行各级公路气候区划提供基础图件。

具体过程:首先通过站号将气象站点要素与 $P_{0.c}$ 数据进行连接,使气象站点要素具有气象要素属性;然后利用 ArcInfo 的地理统计分析扩展模块对 $P_{0.c}$ 进行空间插值计算,绘出 $P_{0.c}$ 的等值线图。

3.2.1 数据加载

首先,将参与分析绘图的基础数据——气象站点要素和 $P_{0.c}$ 数据表载入 ArcMap。

然后,利用站号列在气象站点要素属性表和 $P_{0.c}$ 数据表之间建立连接,如表 1 所示(见下页)。这样, $P_{0.c}$ 就变成了气象站点要素的一个属性,同时也具有了空间意义。

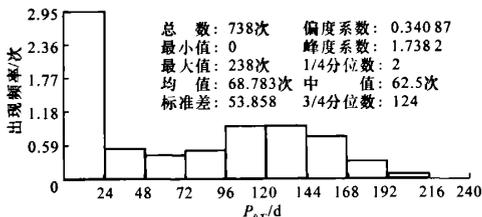
3.2.2 数据检查

用地理统计分析的方法创建表面,首先应详细分析数据集,找出采样数据中哪些可能会极大地影响输出预测表面。数据检查主要包括检查数据的分布情况和识别数据中的全局趋势。

表1 空间数据属性扩展

测站号	站名	纬度/(°)	经度/(°)	累年年施工热量不利日数/d
51330	温泉	44.97	81.02	119
51334	精河	44.62	82.90	122
51346	乌苏	44.43	84.67	122
51356	石河子	44.32	86.05	129
51365	蔡家湖	44.20	87.53	134
51379	奇台	44.02	89.57	96
51431	伊宁	43.95	81.33	143
51437	昭苏	43.15	81.13	130
51463	乌鲁木齐	43.78	87.62	118
51467	巴仑台	42.73	86.30	127
51477	达板城	43.35	88.32	111
51495	七角井	43.48	91.63	111
51526	库米什	42.23	88.22	186
51542	巴音布鲁克	43.03	84.15	109
51567	焉耆	42.08	86.57	82
51573	吐鲁番	42.93	89.20	91
51628	阿克苏	41.17	80.23	106
51633	拜城	41.78	81.90	92
51642	轮台	41.78	84.25	86
51644	库车	41.72	83.07	87

(1)检查数据的分布情况。当数据服从正态分布时,利用插值法生成表面的效果最佳。 $P_{0,c}$ 的分布状况如图2所示。

图2 $P_{0,c}$ 频率直方图

从图2中可以看出,除0~24d的频率出现异常外,其他数据都基本服从正态分布规律。0~24d区间频率高的原因主要是中国长江以南的大部分地区气温常年在0℃以上。由以上分析可以断定, $P_{0,c}$ 数据的分布规律基本符合中国的实际情况,可以直接用于中国 $P_{0,c}$ 分布图的绘制。

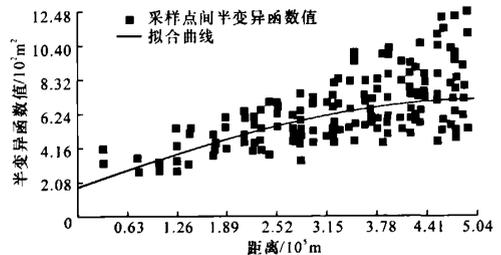
(2)识别数据中的全局趋势。只有在数据中存在某种趋势时,才可以利用某些数学公式对表面的非随机成分进行表达。但大多数的时候,数学公式因为太过于平滑而不能精确地描述表面。这样,就需要将趋势移去,通过建立趋势剔除后的残差的模型来继续对数据进行分析。

(3)模型构造。这里的模型构造就是通过构造

半变异函数来描述 $P_{0,c}$ 数据的半变异值与站点距离之间的关系。不同模型的预测结果差异会很大,因此,不同模型要拟合不同性质的现象。球体模型^[6]表明,在一定距离范围内,空间自相关逐步减小(表现为半变异值随距离的增大而增加),超过这个距离,空间自相关就为0;而采用指数模型拟合,当距离增加时,空间自相关呈指数下降趋势,并且当距离趋向于无穷远时,空间自相关才完全消失^[7]。正如人们所公认的,气候类型的区域性很强,在一定半径的区域内,各气象站数据应具有一定的相关性,虽然造成气候差异的原因很多,但如果这一半径过大,就很难保证各气象站数据间还具有相关性。因此,可选用球体模型作为理论半变异函数。式(4)为理论半变异函数模型,其半变异模型如图3所示。

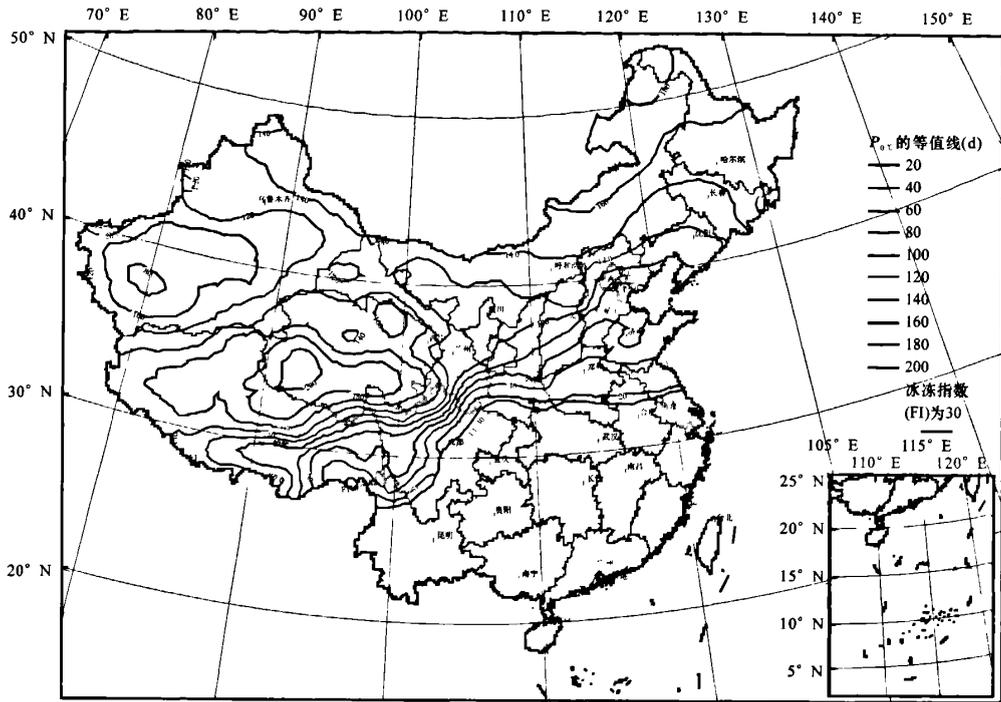
$$r(h) = \theta_0 \left[\frac{3}{2} \frac{h}{\theta_1} - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{\theta_1} \right)^3 \right] \quad (4)$$

式中: $r(h)$ 为两点间的变异值; θ_0 为基台值; θ_1 为模型自相关阈值; h 为两点间的距离。

图3 $P_{0,c}$ 的半变异模型

(4)计算绘图。由于理论半变异函数已拟定,可以利用式(1)计算矩阵方程中的所有 γ 值。然后,将 γ_i 代入克里金矩阵方程中,求出预测点周围各观测点的权重 $\lambda_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 。最后,将预测点周围各观测要素值及其 λ_i 代入克里金权重公式中,计算预测点要素值。通过计算大量的预测点就可以绘出气象要素的分布图。

图4为中国的累年年施工热量不利日数($P_{0,c}$)的等值线分布图(见下页)。从图4中可以看出,中国秦岭淮河以南以及横断山脉东南的大部分地区为全年无冰冻区,公路工程建设基本不受低温的影响;在秦岭淮河以北、阴山山脉以东的大部分地区公路工程受低温影响的程度由南向北逐渐增大;中国西北部地区,包括新疆大部和青藏高原等地区低温对公路工程的影响程度呈现由低海拔向高海拔增大的趋势。从气温角度来讲,图4中累年年施工热量不利日数的变化趋势基本反映了中国低温气候对公路工程的影响程度。



注:70°E 为东经 70°;50°N 为北纬 50°;其余以此类推。

图 4 累年年施工热量不利日数的分布

4 结 语

(1) 本文以空间变异理论为基础,提出了中国公路气候区划指标分析方案,充分考虑了样本数据空间连续性,消除了样本数据的趋势性与误差对分析结果的影响,提高了分析结果的准确率。

(2) 借助地理信息系统与商业数据库等工具,提高了区划指标分析的工作效率。

(3) 实现了无空间属性的气候统计数据向具有空间分布规律的气候区划指标的转化,为中国公路自然区划研究中涉及到的降雨、植被覆盖和岩石土壤等与公路工程密切相关的自然地理现象的描述及指标的分析提供了理论框架。

参考文献:

References:

[1] 苗英豪. 气候对公路的影响及公路气候区划方案研究 [D]. 西安: 长安大学, 2006.
 [2] 张仁铎. 空间变异理论及应用 [M]. 北京: 科学出版

社, 2005.

[3] Kanda M, Moriwaki R, Kasamatsu F. Spatial variability of both turbulent fluxes and temperature profiles in an urban roughness layer [J]. *Boundary-Layer Meteorology*, 2006, 121(2): 339-350.
 [4] Veronese J V, Carvalho M P, Dafonte J. Spatial variability of soil water content and mechanical resistance of brazilian ferralsol [J]. *Soil and Tillage Research*, 2006, 85(1/2): 166-177.
 [5] Cho S E. Effects of spatial variability of soil properties on slope stability [J]. *Engineering Geology*, 2007, 92(3/4): 97-109.
 [6] Gupta N, Rudra R P, Parkin G. Analysis of spatial variability of hydraulic conductivity at field scale [J]. *Canadian Biosystems Engineering / Le Genie des biosystems au Canada*, 2006, 48: 155-162.
 [7] Grunwald S, Reddy K R, Prenger J P. Modeling of the spatial variability of biogeochemical soil properties in a freshwater ecosystem [J]. *Ecological Modelling*, 2007, 201(3/4): 521-535.