

应用遥感信息模型理论建立融雪径流模型的初步研究

吴 宁,程承旗,胡雪莲

(北京大学遥感与地理信息系统应用研究所,北京 100871)

摘 要: 在遥感信息模型建模理论基础上,结合该领域较为成熟的 SRM 模型,提出融雪径流信息模型,进行了初步评价和分析。该模型的提出,体现量纲分析/相似准则在地理现象中的应用;模型的价值只有在实践中才能得到体现,笔者在今后的研究中将继续深入,通过实际数据检验模型精度。

关键词: 融雪径流信息模型;量纲分析;SRM

中图分类号:T P79

文献标识码:A

文章编号: 1005-3409(2003)03-0117-03

A Initial Research on Snow Melt Run-off Model
Based on RS Information Modeling Theory

WU Ning, CHENG Cheng-qi, HU Xue-lian

(RS & GIS Institute of Peking University , Beijing 100871, China)

Abstract: Based on the Theory of RS Information Modeling, combined with the model of SRM , the Snow Melt Run-off Information Model is designed, and the authors also make some evaluation and analyse on it. This model reflects the usefulness of Dimension Analyse and Conform Law in geographic cases. Because the practice will show the power of one model, it plans to put this further in the following research, testing the model and making it more practical.

Key words: Snow Melt Run-off Information Model; Dimension Analyse; SRM

1 引 言

地理现象具有复杂性,其表现在既有成因一面的规律性,又有多种因素影响的随机性;再由许多你中有我我中有你的多元影响的相互过渡的模糊性;还有观测数据的不足,造成内在规律缺损的灰色不确定性;更有自相似、自组织得分形不确定性。因此地理信息建模往往遇到考虑因素繁多复杂的困难。对此,我们研究最多、最普遍的使用量纲分析的方法找出地理相似准则,再进行数据统计分析,得到遥感新模型;实践证明这是目前最佳的定量化途径^[2]。

作为一种地理现象,融雪径流对地球表面的诸多地域意义甚大。中纬度干旱和半干旱山区,融雪径流对河流的补给量在春季甚至可达到 75% 以上;中国西部一些高海拔山区,融雪水是极其重要的水资源,在春季干旱期间有水贵如油之说;欧洲 Alps 山区地区,融雪水在水资源合理利用中扮演着及其重要的角色;瑞典、法国、意大利和奥地利等国家山区普遍分布着众多大小规模的水电站,融雪水是这些水电站水库蓄水的主要来源,占 60% 以上。因此,融雪径流模拟和预测值得重视。同时随着遥感/地理信息系统技术的发展,大面积监测雪盖成为可能^[3]。1975 年瑞士科学家 J. Martinec 在法国一个 2.65 km² 的小流域建立了,第一个半物理机制的融雪径流模型 Snow melt Run-off Model(SRM)^[5],使得融雪

径流模拟和预测成为现实,并且不断发展,成为与遥感图像处理、地理信息系统紧密结合的山区雪盖分析专家系统。

那么,能否利用遥感信息建模理论,吸取 SRM 中的宝贵成分,从而设计出新的融雪径流模型? 本文就从这个角度进行探讨,利用地理相似准则^[1],设计出融雪径流遥感信息模型,并对下一步工作提出了展望。

2 SRM 模型简述

SRM 模型公式如下:

$$Q_{n+1} = [C_{sn} a_n (T_n + \Delta T_n) S_n + C_{Rn} P_n] \frac{A}{86400} (1 - K_{n+1}) + Q_n K_{n+1}^{[8]}$$

式中: $n, n + 1$ ——天数; Q_{n+1} ——平均日流量(m³/s); C_{sn} ——径流系数,表示损失比率(径流量/降水量),即流出水量与可得水量(雪融水+雨水)之间差异。 C_s ——雪的径流系数, C_R ——雨的径流系数; a ——度一日因子(cm⁻¹d⁻¹),定义为每日温度上升 1 所融化的积雪深度,其获取方法是通过野外的实地测量(测量方法请阅读参考文献 8); T_n ——度一日数(d) $\bar{T} = \frac{T_{max} + T_{min}}{2}$, 测量值在地面站获得。(注:原模型 T 量纲为 d,笔者修正为 ΔT 同;

¹ 收稿日期: 2003-04-25

基金项目: 国家“十五”863 重点支持项目(编号: 2022AA716081)。

作者简介: 吴宁(1980-),男,现北大遥感所硕士,从事地理信息系统研究,并对景观生态学应用有所兴趣。

ΔT_n ——度—日数的高度校正(d), $\Delta T = Y (h_{st} - \bar{h})$
 $\frac{1}{100}$, 其中, Y = 温度梯度[$^{\circ}\text{C}/(100\text{ m})$]; h_{st} ——测量点的海拔高度(m), \bar{h} ——地区平均测量高度(m); S_n ——雪盖面积百分比; 通过卫星影像可以获取该数据; P_n ——日降水量(cm); (注: 原模型量纲为 cm , 笔者修正为 cm d^{-1}); 可以实地测量或者应用历史数据; A ——流域或者分带面积(km^2); 可以通过卫星影像测量; K_{n+1} ——衰退系数, $K = \frac{Q_{m+1}}{Q_m}$ ($m, m+1$ 是实际融雪期内的天数序数); $(1-k)$ 表示每日融雪水转化为径流的百分比, 一般运用历史数据; n ——流量计算期内的天数序列; $\frac{10000}{86400}$ —— $\text{cm km}^2\text{ d}^{-1}$ 转化成 $\text{m}^3\text{ s}^{-1}$ 的系数; $Q_n K_{n+1}$ ——根据衰退系数的物理含义, 表示雪水和雨水中由于地表吸收、凹凸不平等原因没能转化为当日径流的比例, $Q_n K_{n+1}$ 表示这些残留水可以汇入次日径流而流出故而成为 Q_{n+1} 的一部分(笔者注)。

3 融雪径流地理信息模型

3.1 选择独立变量

融雪径流指的是高山地区积雪融化产生径流。这种建模必然考虑许多气候、光照、地表状况等等因素。参考 SRM 建模特点, 笔者提出: 研究融雪径流量(Q), 需要考虑的第一个因子是雪盖面积(S); 第二个因子是雪盖地区的坡度(k); 第三个因子自然是每日温度(度—日数)(T_d); 第四个因子是度日因子(λ), 表示每日温度升高 1°C 所融化的积雪深度; 第五个因子是高山上的风速(v); 第六个因子是地区雪的比热(c); 第七个因子是径流系数(η), 表示流出水量与可得水量之间差异。

表 1 融雪径流地理信息模型独立因子

物理量	量纲	单位
Q	$[\text{L}^3\text{t}^{-1}]$	m^3t^{-1}
T_d	$[\text{Tt}]^*$	d^*
C	$[\text{L}^2\text{t}^{-2}\text{T}^{-1}]$	$\text{J g}^{-1}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} = (\text{gm}^2\text{t}^{-2})\text{g}^{-1}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} = \text{m}^2\text{t}^{-2}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} *$
K	1	—
S	$[\text{S}^2]$	km^2
V	$[\text{Lt}^{-1}]$	mt^{-1}
λ	$[\text{LT}^{-1}\text{t}^{-1}]$	$\text{cm }^{\circ}\text{C}^{-1}\text{d}^{-1}$
η	—	—

* : 针对度—日因子, 温度因子 T_d 定义为度—日数, 所以单位为 d , d 表示天, 是时间单位。

* * : 此处 J 表示焦耳, 根据, $\text{E} = mc^2$, $\text{J} = \text{gm}^2\text{t}^{-2}$, 故有以上量纲。

某些地区在融雪期间可能有降雨, 降雨因子的分析相对简单, 而且可以和融雪因子分离; 本模型暂不考虑降雨影响。

3.2 进行量纲分析

模型 7 个独立因子得量纲分析方程如下:

$$Q = F[S, K, T, Y, V, C, \eta]$$

各个独立因子得量纲(摄氏度·厘米·克·秒制[引入量纲 T (温度)]):

下面用 定理进行量纲分析, 定理要求经过运算,

得量纲为 1, 即无量纲化。选择温度因子(度—日数) T_d , 面积 S , 风速 V 为基准因子, 则: 对于 Q :

$$Q = [\text{L}^3\text{t}^{-1}]/[\text{Tt}]^a[\text{L}^2]^b[\text{Lt}^{-1}]^c$$

因为

$$\begin{aligned} [\text{L}]: & \quad \begin{cases} 3 = 2b + c \\ 0 = a \\ -1 = a - c \end{cases} \\ [\text{T}]: & \\ [\text{t}]: & \end{aligned}$$

所以

$$\begin{cases} a = 0 \\ b = 1 \\ c = 1 \end{cases}$$

于是

$$Q = Q/(SV) \tag{1}$$

对于 λ :

$$\lambda = [\text{LT}^{-1}\text{t}^{-1}]/[\text{Tt}]^a[\text{L}^2]^b[\text{Lt}^{-1}]^c$$

因为

$$\begin{aligned} [\text{L}]: & \quad \begin{cases} 1 = 2b + c \\ -1 = a \\ -1 = a - c \end{cases} \\ [\text{T}]: & \\ [\text{t}]: & \end{aligned}$$

所以

$$\begin{cases} a = -1 \\ b = 1/2 \\ c = 0 \end{cases}$$

于是

$$\lambda = N(T_d^{-1}S^{\frac{1}{2}}) \tag{2}$$

同理可得:

$$c = C/(T_d^{-1}S^{\frac{1}{2}}V) \tag{3}$$

对于无量纲因子 η , 以及坡度 k , 同理易得:

$$\eta = 1 \tag{4}$$

$$k = 1 \tag{5}$$

从而我们得到:

$$Q/(SV) = F[N(T_d^{-1}S^{\frac{1}{2}}), c/(T_d^{-1}S^{\frac{1}{2}}V), \eta, K]$$

根据经验, 写成非线性指数函数关系:

$$Q = \theta(N(T_d^{-1}S^{\frac{1}{2}}))^m(C/(T_d^{-1}S^{\frac{1}{2}}V))^n(\eta kSV) \tag{6}$$

至此完成量纲分析, 得到一个融雪径流公式。

3.3 进行统计分析

(6) 中 θ 为地理系数, m, n 为地理指数。它们需要通过实测数据 $S, K, T_d, \lambda, V, C, \eta$, 用最小二乘法求出。对 (6) 取对数, 则有:

$$\begin{aligned} \log Q = \log \theta + m \log(\lambda T_d/S^{\frac{1}{2}}) \\ + n \log(c T_d/S^{\frac{1}{2}}V) + \log(\eta kSV) \end{aligned}$$

令

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 \tag{7}$$

7 式为多元线性回归方程。其中

$$Y = \log Q$$

$$a_0 = \log \theta, a_1 = m, a_2 = n, a_3 = 1$$

$$X_1 = \log(\lambda T_d/S^{\frac{1}{2}}),$$

$$X_2 = \log(c T_d/S^{\frac{1}{2}}V), X_3 = \log(\eta kSV)$$

回归系数 $a_0 \sim a_3$, 由下列方程组求出

$$\begin{cases} L_{11}a_1 + L_{12}a_2 + L_{13} = L_{10} \\ L_{21}a_1 + L_{22}a_2 + L_{23} = L_{20} \\ L_{31}a_1 + L_{32}a_2 + L_{33} = L_{30} \end{cases}$$

当取 $S \times P$ 个像元实测数据时, 式中:

$$\begin{aligned} L_{ij} = \{X[i, (s \times p)] - \bar{X}_i\} \{X[j, (s \times p)] - \bar{X}_j\} \\ i, j = 1, 2, 3 \end{aligned}$$

$$L_{i0} = \{X[i, (s \times p)] - \bar{X}_i\} \{Y(s \times p) - \bar{Y}\}$$

7 式中常数项

$$a_0 = \bar{Y} - a_i \bar{X}_i, i = 1, 2, 3$$

回归平方和 (S) 与剩余平方和 (E) 分别为

$$S = L_{i0} a_i$$

$$E = L_{00} - S$$

式中:

$$L_{00} = [Y(s \times p) - \bar{Y}]^2$$

全相关系数 (R) 为

$$R = (S/L_{00})^{\frac{1}{2}}$$

3.4 按像元进行计算

以上论述了模型以及计算方法, 数据的获取主要通过遥
感影像以及野外实测。雪盖面积 (S) 可以通过卫星影像求
得; 雪盖地区的坡度 (k) 可以通过高精度的 DEM 求得; 每日
温度 (度一日数) (T_d) 可以由基站测定; 度日因子 (λ), 表示

每日温度升高 1 所融化的积雪深度, 会因地表状况不同而
呈现差异, 要通过野外实测; 高山风速 (v) 可以由气象资料
以及野外实测取得; 地区雪的比热 (c) 可以查资料或者室内
实验取得数据; 径流系数 (η), 表示流出水量与可得水量之
间差异, 也是野外测定。

获取以上数据后, 就可以进行模型求解。

4 结论与展望

(1) 遥感信息建模理论可以为定量化研究各种地理现象
提供一条可行途径, 其应用价值值得重视。

(2) 结合 SRM 的部分因子, 根据遥感信息建模理论提
出融雪径流 模型, 理论上成立; 而且融雪径流遥感信息模型
的各项因子数据来源符合实际操作, 所以具有应用前景。

(3) 本文的模型较之 SRM 更具有普遍性; 同时, 实践是
检验真理的标准, 笔者下一步的工作是应用相关数据进行模
型验证。由于国内相关数据较少, 笔者计划与 SRM 的创立
者取得联系, 以期获取有用数据用于本模型 验证。

参考文献:

[1] 马蔼乃. 遥感信息模型[M]. 北京: 北京大学出版社, 1997.

[2] 马蔼乃. 地理科学与地理信息科学论[M]. 武汉: 武汉出版社, 2000. 250- 251.

[3] 王建. 卫星遥感雪盖制图方法对比与分析[J]. 遥感技术与应用, 1999, 14(3): 29- 36.

[4] 王建, 李文君. 中国西部大尺度流域建立分带式融雪径流模拟模型[J]. 冰川冻土, 1999, 21, (3): 264- 268.

[5] 王建, 马明国, Paolo Federicis. 基于遥感与地理信息系统的 SRM 融雪径流模型在 Alps 山区流域的应用[J]. 冰川冻土, 2001, 23(4): 436- 441.

[6] 何延波, 杨琨. 遥感和地理信息系统在水文模型中的应用[J]. 地质地球化学, 1999, 27(2): 99- 103.

[7] Ulrike Tappeiner, Gottfried Tappeiner, Janette Aschenwald, et al. GIS-based modelling of spatial pattern of snow cover duration in an alpine area[J]. Ecological Modelling, 2001, 138: 265- 275.

[8] USDA-ARS, Hydrology Laboratory. Snowmelt Runoff Model(SRM) User's Manual[S]. 1998.

(上接第 69 页)

(2) 经过对三维地质建模数据结构的分析, 针对三维地
质建模基础数据结构的特点, 较为合理地实现了川藏公路典
型路段三维建模基础数据可视化及其管理, 并建立了简单的
数据库来管理工程数据。

(3) 组件式三维虚拟现 实地理信息系统是组建三维地
质信息系统先进可行的方法之一。采用此项新技术, 降低了
工作难度的同时也提高了我们工作的效率, 较好地实现了川

藏公路展线、断层分布工程地质分区数据的分段显示、查询,
以及川藏公路沿途地形的浏览。

(4) 另外, 从实践上来说, 由于条件所限川藏公路典型
路段综合地质信息系统本身有很多需要进一步加强和完善的
地方, 如: 进一步加强 SGIS 理论的探讨和研究, 建立一个
较为完备的理论体系; 进一步丰富实际资料与模型数据; 从
更大地形图区域中采集 DEM 数据等。

参考文献:

[1] 尚彦军, 杨志法, 廖秋林, 等. 雅鲁藏布江大拐弯北段地质灾害分布规律及防治对策[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2000 (4): 30- 39.

[2] 杨志法, 刘大安, 刘英, 等. 关于综合地质信息系统的设计及应用研究[J]. 岩石力学与工程学报, 1999(增刊): 1226- 1229.

[3] 刘大安, 杨志法, 尚彦军, 等. 工程地质力学综合集成理论及其在五强溪水电站船闸上的应用[J]. 水文地质工程地质, 1997(2): 10- 22.

[4] 刘大安, 杨志法, 柯天河, 等. 综合地质信息系统及其应用研究[J]. 岩土工程学报, 2000(2): 192- 185.

[5] 许兵, 李毓瑞, 张汝源. 金川露天矿边坡稳定性的岩体工程地质力学研究[A]. 见: 中国科学院地质研究所. 岩体工程地
质力学问题(六)[M]. 北京: 科学出版社, 1985. 1- 106.

[6] 黄鼎成. 攀西地区环境工程地质[M]. 北京: 海洋出版社, 1990. 11- 13, 85- 94.

[7] 涂新斌, 何振宁, 刘大安, 等. 铁路地质综合勘探方法决策支持系统设计研究[J]. 岩土工程学报, 2001(2): 231- 234.