

文章编号: 1008-2786-(2006)1-065-05

用坡面增量系数进行区域地势评价的尝试 ——以江西省泰和县为例

李家永¹, 程琴娟^{1,2}, 张晓东³, 李黔湘^{1,2}

(1 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2 中国科学院研究生院, 北京 100039
3 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100094)

摘 要: 选择山地、丘陵、河谷平原等层状地形构造特征突出的江西省泰和县为例, 基于 Arc/Info 和 Arcview 等 GIS 软件的空间分析功能, 使用 25 m × 25 m 的 DEM 数据源建立了数字坡度模型, 并与乡级行政区划图进行叠加分析, 计算出以乡(镇)为单位的坡面面积增量。进而根据坡地的坡度越陡其地表面积增量越大的原理, 将坡面面积增量与其投影面积的比定义为坡面增量系数 (Increment Coefficient of Slope Area, ICSA), 以 ICSA 为量化指标, 探讨了区域地势评价的方法。

关键词: 丘陵山区; 坡面面积增量; 坡面增量系数; 数字高程模型 (DEM); 泰和县

中图分类号: P931

文献标识码: A

我国是一个多山的国家, 山地、丘陵约占国土总面积的 2/3。崎岖不平的山丘起伏对地面大气、热量、水份等能量和物质的流动产生作用, 使地表水热重新分配, 从而扰乱了光、热、水等要素的水平地带性分布规律, 导致自然条件的复杂性。同时, 地面陡缓决定着区域土地利用与改良的难易, 从而支配着区域人口的分布和农林牧业布局以及交通、水利与城镇建设, 是区域土地资源开发和社会经济可持续发展的基础, 也是工程设计和环境规划的重要依据。因此, 分析和了解地面起伏状况无论对于科学研究还是实际应用都具有重要意义。

地形、地貌和地势是研究地面起伏状况所涉及的 3 个相互联系的重要概念。地形即地表起伏形态, 强调地面起伏的近观与外形; 地貌既指地表起伏形态也包含其成因与岩性, 强调地质营力的作用和结果; 地势则是指一个地区地面起伏的总体趋势, 着重强调特定范围内地面起伏的陡缓程度 (不一定指明海拔) 及其区域对比。一般来说, 地形起伏是在漫长的陆地地貌演化过程中形成的, 在当前的技术

水平条件下, 人类有可能在一个很小的局部改变地面坡度和破碎程度, 但不可能大范围地改变一个地区地面起伏的总体趋势, 也就是说, 地势较地形更宏观、更稳定。

研究地形地貌是地理学的传统优势, 目前已经建立多种描述地形起伏的量度指标, 如最常用的地面坡度、地形起伏量、剖面曲率和地形指数等等, 这些指标都从不同的侧面反映出地形的起伏与变异特征^[1]。最近十几年, 随着地理信息系统 (GIS) 和数字高程模型 (DEM) 应用技术的迅速发展, 对地表复杂形态进行定量研究取得较好成果^[2-10], 如谢焱石等^[3]采用投影覆盖法对地表进行二维分形测量, 提出可以用分维值指示地表形态的复杂程度; 甘淑等^[5]通过综合运用空间信息处理技术提取地势曲线图谱, 对我国西南纵向岭谷区的地表形态特征所做的分析; 特别是针对地表水文过程模拟开展的地形特征提取与应用研究有许多新的进展^[6-10]。然而, 对大多数丘陵山区来说, 往往是由许多大小不等、高低不平、陡缓不一的丘陵山体错落构成, 无论是传统

收稿日期 (Received date): 2005-05-10; 改回日期 (Accepted): 2005-12-14.

基金项目 [Foundation item] 中国科学院知识创新工程重要方向项目: "南方丘陵坡地农林复合生态系统构建机理与可持续性研究" (编号: KZCX2-407) [Supported by the knowledge innovation program of CAS (No. KZCX2-407)]

作者简介 [Biography]: 李家永 (1951-), 男, 四川中江人, 研究员, 主要从事土地利用与土地资源评价研究。 [Li Jiayun (1951-), male, from Zhongjiang City, Professor, Specialized on land use development.]

的或者是现代的相关研究,所提出的一些地形量度指标多是基于具体的坡面或剖面建立,很少从区域综合的角度加以考虑,因而不具有全局特征,如何用一个量化指标综合地表征区域地势陡缓还是一直没有得到很好地解决,目前通常的做法多是使用诸如平均坡度、平均高程差等来指示一个地区地势起伏的状况。事实上,带有统计意义的平均值虽然可以说明一些问题,但区域地势与地形要素之间是一种复杂的非线性关系,简单的平均不但在算法上缺乏地学意义,而且不一定能够概括区域复杂地形构成的总体趋势。笔者从“七五”时期参加黄土高原地区地面坡度分级^[11]和坡耕地分级^[12]就开始注意这个问题,最近在分析和总结相关研究成果的基础上结合南方坡地研究做了一些工作。本文根据坡地的坡度越陡其地表面积增量越大的原理,提出用坡地表面增量与其投影面积的比值(坡面增量系数)作为量化指标进行区域地势评价的设想,并选择山地、丘陵、平地等地形构造特征明显的江西省泰和县作为研究案例,使用 25 m × 25 m 规则格网 DEM 数据进行了实证研究。

1 坡面增量系数的意义及计算方法

我们知道,坡地的坡面面积总是大于或等于其投影面积(或称底面积),且坡地越陡地表坡面的面积增量越大,这是一条无需证明的公理。如图 1 所示,如果把平地视为一种坡度为 0 的特殊坡地,则坡度为 β 的坡地其坡面面积 A_f 与底面积 A_p 的关系为:

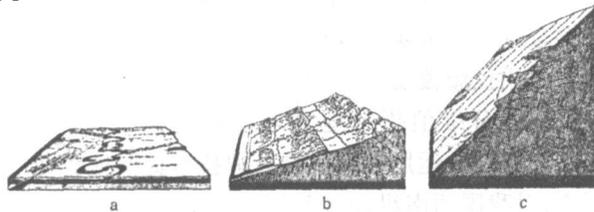


图 1 坡地表面积与坡度的关系

Fig 1 The relationship between surface area section area and slope

$$A_f = A_p \cdot \sec\beta \quad (1)$$

当 $\beta = 0$ 时,有 $A_f = A_p$, 即 $(A_f - A_p) = 0$ 当 $\beta > 0$ 时, $(A_f - A_p)$ 则随着坡度 β 的增大而增大。据

此,本文将坡地坡面面积 A_f 与底面积 A_p 的差 $(A_f - A_p)$ 称之为坡面增量,用 ΔA 表示。 ΔA 的地学含义十分清楚,就是在特定区域因地面隆起而增大的那一部分地表面积。

很显然,不同于坡度,坡面面积和底面积都是具有加和性的标量,坡面增量 ΔA 可以随研究区域变化进行加减分合,应用 DEM 数据提取坡面面积 A_f 和投影面积 A_p 可以直接求出 ΔA , 同样也可以通过 $\Delta A = A_f - A_p = A_p \cdot \sec\beta - A_p = A_p (\sec\beta - 1)$ (2) 来间接地计算。

由于评价区域大小不等,本文进而将坡面增量 ΔA 对其投影面积 A_p 的比,即单位投影面上的坡面增量 $(\Delta A / A_p)$ 定义为坡面增量系数 (Increment Coefficient of Slope Area 缩写为 ICSA), 并且规定:

当某个评价单元(如某个乡、村或自然单元,或 DEM 中的 1 个栅格)是理想的平地,即地面倾角 $\beta = 0$ 则 $ICSA = 0$

假设某个评价单元全部由评价区内的极陡坡地构成(如在泰和县的某个地方全部由 55° 的陡坡地构成),则 $ICSA = 1$

根据以上定义,并设评价区最陡坡度段的 $\Delta A_{max} / A_{p_{max}}$ 为 ρ 则

$$ICSA = \frac{A_f - A_p}{A_p \cdot \rho} = \frac{\Delta A}{A_p \cdot \rho} \quad (3)$$

依式 (3) 我们可以应用 DEM 数据非常方便地求得任意区域的坡面增量系数,对不同区域地面起伏陡缓的总体状况做出比较和分析。

2 研究实例: 泰和县区域地势评价

2.1 研究区地貌特征

江西省泰和县位于 $26^\circ 58' \sim 26^\circ 27' N$, 东经 $114^\circ 18' \sim 115^\circ 20' E$, 土地总面积 $2\,667\text{ km}^2$; 其中山地、丘陵 $1\,878\text{ km}^2$, 占土地总面积的 70.4% , 行政区划上辖 27 个乡(镇)¹⁾。该县地处罗霄山脉向东北延伸和武夷山脉向西北斜落的交汇地带, 总的地势是东西两侧高, 中北部较低。其东南部山峰林立, 地势陡峻, 山地海拔多在 $800\text{ m} \sim 1000\text{ m}$, 水槎乡的十八排 $1\,176\text{ m}$, 为全县的最高点。本县西侧背靠井冈山, 但县境内地势已处于下降地带, 山峰高程多小于 800 m 。赣江自南向北贯穿整个中部, 构成了全县地

1) 泰和县现行行政区划为 27 个乡(镇)级单元, 因本文采用 1994 年中科院与荷兰 ITC 合作完成的《泰和县地理信息系统》为基础底图, 此资料仅划分 22 个乡级单元, 其中澄江含上田, 沿溪含文田和垦殖场, 老营盘含上垵, 中龙含小龙, 本文所有数据统计均按此 22 个乡级单元进行。

势最为低下的河谷平地, 海拔多在 100 m 以下, 最低点不到 60 m。在平地与山地之间遍布典型的江南红壤丘陵, 海拔多在 100~400 m 之间, 相对高度 20~100 m 不等。全县地貌受构造控制明显, 地质构造、岩性和地貌之间关系密切, 具有鲜明的层状地形规律, 从东西两侧向中部依次排布中山、低山、高丘、低丘、岗地、阶地和河漫滩等, 地表岩性和土壤也呈现出明显的层状梯级变化特征, 是进行丘陵山地地形分析的极好场所。

表 1 泰和县及其各乡(镇)的坡面增量与坡面增量系数

Table 1 Increment Coefficient of Slope Area
in Taihe County and its townships

乡(镇)	投影面积 (km^2)	坡面增量 (km^2)	坡面增量系数
水槎	17 475.2	2 024.8	0.1623
桥头	24 801.7	2 539.2	0.1434
碧溪	16 776.0	1 665.7	0.1390
中龙	18 665.9	1 831.3	0.1374
老营盘	16 517.2	1 600.8	0.1357
上模	10 122.5	589.5	0.0815
禾市	14 834.3	706.8	0.0667
沙村	8 129.1	319.5	0.0550
苑前	10 394.4	330.0	0.0445
苏溪	9 630.7	276.0	0.0401
灌溪	16 944.4	423.6	0.0350
石山	5 902.7	130.8	0.0310
南溪	4 310.5	79.0	0.0257
冠朝	15 895.7	216.3	0.0191
澄江	7 999.5	107.3	0.0188
樟塘	7 339.3	63.3	0.0121
马市	9 087.0	58.9	0.0091
塘洲	12 633.9	78.7	0.0087
万合	9 980.3	58.4	0.0082
栖龙	4 647.1	20.9	0.0063
螺溪	8 219.8	36.9	0.0063
沿溪	16 568.9	73.4	0.0062
泰和县	26 6876.3	13 230.8	0.0694

2.2 信息源及数据处理

以国家基础地理信息中心提供的 25 m × 25 m 规则格网数字高程模型 (DEM) 为基本资料, 同时使用了原中国科学院自然资源综合考察委员会与荷兰国际航测与地球科学研究所 (ITC) 合作完成的“泰和县地理信息系统”的有关数据。在 ARC/INFO 平台支持下, 完成幅图拼接和行政区划图叠加。

2.3 结果分析

根据式 (3), 使用上述资料计算求得泰和全县及其各乡(镇)的坡面增量, 并按泰和县的坡度 55° 为标准做归一化处理求得相应的坡面增量系数

(表 1), 进而得到图 2。分析表 1 和图 2 总体来说, 泰和县的坡面增量系数 $ICSA$ 值为 0.0694, 大约相当于一个倾角为 17.7° 的理想斜面的起伏程度, 其中水槎、桥头、碧溪、中龙、老营盘和上模等 6 个乡(镇)的 $ICSA$ 值高于全县水平, 它们是泰和县比较陡的地区, 其土地面积占 40% 左右。进一步以 $ICSA$ 值为指标分析泰和县各乡(镇)的地势差异, 大致可将泰和县各乡(镇)分为 4 种类型区: $ICSA$ 值在 0.1 以上的有水槎、桥头、碧溪、中龙、老营盘等 5 个乡(镇), 主要分布在泰和县西南部的井冈山地区和东南部的十八排与天湖山区, 地貌多以中、低山地、高丘陵和山间小盆地为主, 地势挺拔陡峭; $ICSA$ 值在 0.05~0.1 之间的有上模、禾市和沙村等 3 个乡(镇), 处于陡峻的山区向丘陵区过渡的地带, 以低山、高丘和河谷小盆地为主, 地势较为陡峭; 苑前、苏溪、灌溪、石山、南溪、冠朝、澄江、樟塘等 8 个乡(镇)的 $ICSA$ 值在 0.01~0.05 之间, 多位于延绵起伏的典型红壤丘陵区, 或者虽位于赣江河谷(如澄江镇)但区内含有一些小的山丘, 地面以 7°~12° 和 12°~18° 两个坡度级构成为主, 丘体呈馒头状、垄冈状或不规则状, 丘顶高度大致相似, 为较为完整的一级剥夷面, 是泰和县境内分布最广、面积最大的一种地貌类型, 总体地势较为平缓; 马市、塘洲、万合、栖龙、螺溪和沿溪等 6 个乡(镇)的 $ICSA$ 值都在 0.01 以下, 它们多分布在赣江两岸, 地貌类型以低丘、浅丘、阶地为主, 是泰和县境内地势最为平缓的区域。

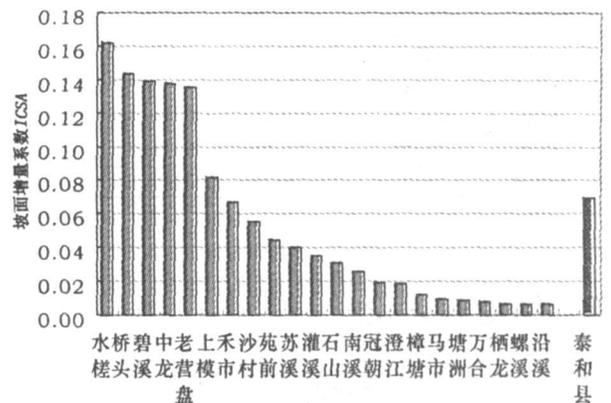


图 2 泰和县及其各乡(镇)坡面增量系数排序

Fig. 2 Increment Coefficient of Slope Area of
Taihe County and its townships

进一步对坡面增量系数(见表 1)与相应的坡度分级数据(表 2)进行对比分析可以看到, 用坡面增

量系数度量地面起伏程度是符合实际的,且将地面坡度分级的多元指标转化成为一个地学意义明确的综合指标。以澄江镇和冠朝乡为例,从土地总面积看,后者比前者大 1 倍;从不同坡度级的坡地构成看,澄江镇 $< 3^\circ$ 的平地占有很大比例,为 60.36%, $3^\circ \sim 7^\circ$ 和 $7^\circ \sim 12^\circ$ 的坡地分别占 11.81% 和 12.14%,但澄江镇同时也存在少许坡度 $> 25^\circ$ 的陡坡地;而冠朝乡 $< 3^\circ$ 的平地比例要小得多,只占 28.26%,与 $3^\circ \sim 7^\circ$ 的平坡地(占 27.69%)和 $7^\circ \sim 12^\circ$ 的缓坡地(占 27.44%)等几个坡度级的比例几乎相当,但 $> 25^\circ$ 的陡坡地极少;经计算得到澄江镇的坡面增量恰好是冠朝乡的一半,于是有二者的坡面增量系数几乎相

等,分别为 0.019 1 和 0.018 8。也就是说,假如将澄江镇和冠朝乡的地表面拉伸重构两个假想的理想坡面,这两个假想坡面的坡度是大致相等的。特别值得一提,泰和县与其所辖的禾市镇则表现为另一种情况,二者的土地总面积相差很大,且是整体与局部的关系,但它们的坡度级比构成非常相似,尤其是 18° 以下坡地的累计百分比几乎相当,分别为 71.12% 和 71.46%,从而决定了坡面增量系数相近,分别为 0.069 4 和 0.066 7。由此可见,应用坡面增量系数 *ICSA* 能够比较好地综合概括区域地势的总体特征。

表 2 泰和县及其各乡(镇)地面坡度分级级比

Table 2 Ratio of different slope land in Taihe County and its townships(%)

乡(镇)	$0^\circ \sim 3^\circ$	$3^\circ \sim 7^\circ$	$7^\circ \sim 12^\circ$	$12^\circ \sim 18^\circ$	$18^\circ \sim 25^\circ$	$25^\circ \sim 35^\circ$	$35^\circ \sim 45^\circ$	$45^\circ \sim 55^\circ$
桥头	4.33	7.20	8.87	18.16	26.46	26.88	6.94	1.15
碧溪	12.19	9.03	9.41	12.58	21.45	25.08	9.57	0.69
水槎	3.56	4.37	7.11	15.93	26.44	32.07	9.93	0.59
上模	15.35	15.47	15.09	18.16	18.54	14.83	2.17	0.38
中龙	1.87	4.51	6.93	18.31	35.71	28.02	4.30	0.35
老营盘	5.33	5.17	8.62	20.06	26.02	28.53	6.11	0.16
禾市	25.65	15.10	14.83	15.88	14.75	11.26	2.44	0.09
苑前	35.99	25.41	16.44	5.85	5.73	8.22	2.37	0
沙村	25.00	14.97	17.83	20.54	12.58	7.17	1.91	0
苏溪	43.68	16.13	11.96	12.77	7.93	6.05	1.48	0
石山	30.04	19.52	26.75	14.47	5.26	3.51	0.44	0
澄江	60.36	11.81	12.14	8.74	5.18	1.62	0.16	0
灌溪	24.37	21.77	22.77	18.26	9.47	3.21	0.15	0
南溪	31.83	25.83	22.22	9.91	8.41	1.80	0	0
马市	59.54	23.08	11.82	3.56	1.71	0.29	0	0
樟塘	37.74	32.28	22.40	6.88	0.53	0.18	0	0
冠朝	28.26	27.69	27.44	13.44	3.01	0.16	0	0
塘洲	50.82	27.15	17.93	3.48	0.62	0	0	0
万合	55.51	23.22	17.38	3.37	0.52	0	0	0
沿溪	61.41	24.61	11.25	2.50	0.23	0	0	0
螺溪	60.63	24.09	12.60	2.68	0	0	0	0
栖霞	58.77	25.63	13.37	2.23	0	0	0	0
泰和县	28.08	16.39	14.14	12.51	13.39	12.23	3.02	0.24

3 结论与讨论

1 根据坡地越陡地表坡面面积增量越大的原理,将坡面增量对其投影面积的比定义为坡面增量系数(*ICSA*),用 *ICSA* 作为评价区域地势陡缓的综合指标具有十分明确的地学意义,且计算简便,算理清楚。

2 以 *ICSA* 值为指标,对泰和县及其各乡(镇)的地面起伏状况进行量化分析,按其地势差异可将泰和县各乡(镇)分为陡峻的山区、较陡的山地丘陵

过渡区、典型丘陵区 and 缓坡浅丘区 4 种类型区,所得结果完全符合泰和县的实际情况,证明应用坡面增量系数 *ICSA* 能够比较好地综合概括区域地势的总体特征。

3 空间尺度和 DEM 误差可能是影响 *ICSA* 提取精度的主要因素,本文的主要目的是探讨建立一种评价区域地势陡缓的方法,对于提取精度以及该方法的应用等问题笔者拟另文讨论。此外,是否需要坡面增量系数做归一化处理 and *ICSA* 的量值范围取多大为好也还有待于深入探讨。

参考文献 (References)

- [1] Zhang Ting, Tang Guoan, Wang Zheng *et al.* Correlation between mean slope and other quantitative terrain factors based on the neural network [J]. *Journal of Mountain Science*, 2004, 22(4): 415~420 [张婷, 汤国安, 王峥, 等. 基于神经网络的地面坡度与其他地形定量因子的关联性分析 [J]. *山地学报*, 2004, 22(4): 415~420]
- [2] Tang Guoan, Zhao Mudan, Li Tianwen, *et al.* Modeling Slope Uncertainty Derived from DEMs in Loess Plateau [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(6): 824~830 [汤国安, 赵牡丹, 李天文, 等. DEM 提取黄土高原地面坡度的不确定性 [J]. *地理学报*, 2003, 58(6): 824~830]
- [3] Xie Yanshi, Tan Kaikuan, Chen Guanghao. Fractal measure of the earth's surface and its significance to geotectonics [J]. *Geotectonics and Metallogenia*, 2004, 28(1): 74~80 [谢焱石, 谭凯旋, 陈广浩. 地表的分形测量及其大地构造学意义 [J]. *大地构造与成矿学*, 2004, 28(1): 74~80]
- [4] Tang Guoan, Yang Weiyang, Yang Xin, *et al.* Some key points in terrain variables deriving from DEMs [J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2002, 28(1): 28~32 [汤国安, 杨玮莹, 杨昕等. 对 DEM 地形定量因子挖掘中若干问题的探讨 [J]. *测绘科学*, 2002, 28(1): 28~32]
- [5] Gan Shu, He Daming. Analysis on morphological character of longitudinal range-gorge region based on geo-information topumethod [J]. *Journal of Yunnan University*, 2004, 26(6): 534~540 [甘淑, 何大明. 纵向岭谷区地势曲线图谱及地貌特征分析 [J]. *云南大学学报 (自然科学版)*, 2004, 26(6): 534~540]
- [6] Liu Xinhua, Yang Qinke, Tang Guoan. Extraction and application of relief of China based on DEM and GIS method [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2001, 21(1): 57~62 [刘新华, 杨勤科, 汤国安. 中国地形起伏度的提取及在水土流失定量评价中的应用 [J]. *水土保持通报*, 2001, 21(1): 57~62]
- [7] Yu Xinxiao, Zhao Yutao, Zhang Zhiqiang, *et al.* Advance and research focuses of TOPMODEL [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2002, 24(4): 117~121 [余新晓, 赵玉涛, 张志强, 等. 基于地形指数的 TOPMODEL 研究进展与热点跟踪 [J]. *北京林业大学学报*, 2002, 24(4): 117~121]
- [8] Kong Fanzhe, Rui Xiaofang. Hydrological similarity of catchments based on topography [J]. *Geographical Research*, 2003, 22(6): 709~715 [孔凡哲, 芮孝芳. 基于地形特征的流域水文相似性 [J]. *地理研究*, 2003, 22(6): 709~715]
- [9] Deng Huiping, Li Xiubin. Relationship of Upslope Contribution Area and Soil Water Content in TOPMODEL [J]. *Progress in Geography*, 2002, 21(2): 103~110 [邓慧平, 李秀彬. 地形指数的物理意义分析 [J]. *地理科学进展*, 2002, 21(2): 103~110]
- [10] Li Bengang, Tao Shu. Several problems and their solutions in surface runoff modeling [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2000, 20(3): 47~49 [李本纲, 陶澍. 用数字高程模型进行地表径流模拟中的几个问题 [J]. *水土保持通报*, 2000, 20(3): 47~49]
- [11] Scientific Survey Team for Loess Plateau, Chinese Academy of Sciences. Data Sets of Slope Gradation in Loess Plateau of China [M]. Beijing: China Ocean Press, 1989. [中国科学院黄土高原综合科学考察队. 中国黄土高原地区地面坡度分级数据集 [M]. 北京: 海洋出版社, 1989.]
- [12] Scientific Survey Team for Loess Plateau, Chinese Academy of Sciences. Data Sets of Slope Gradation of Cultivated Land in Loess Plateau of China [M]. Beijing: China Ocean Press, 1990. [中国科学院黄土高原综合科学考察队. 中国黄土高原地区耕地坡度分级数据集 [M]. 北京: 海洋出版社, 1990.]

Increment Coefficient of Slope Area and Its Application of Quantitative Assessment of Surface Relief in Hilly Region

LI Jiayong¹, CHENG Qinjuan^{1,2}, ZHANG Xiaodong³, LI Qianxiang¹

(1 Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, CAS., Beijing 100101, China;

2 Graduate School of the Chinese Academy of Science Beijing 100039, China;

3 College of Information and Electrical Engineering, China Agriculture University, Beijing 100094, China)

Abstract This paper seeks to develop a new technique for quantitative assessment of surface relief in the hilly regions. It is a generally acknowledged truth that the surface area is certainly larger than the projection area, and the expanded area increased with increasing gradient of the slope and complexity of the landforms in a given slope field. On the basis of this fact, increment coefficient of slope area (*ICSA*), which is the ratio of the increment of surface area to its projection area in the same region, is suggested as a quantified index for assessing the surface relief in hilly regions, and the related formula is derived. Taking Taihe County of Jiangxi Province as the test region, the *ICSA* of the county and its townships are extracted from the DEM. The experiment shows that this technique can satisfy the quantitative analysis of the surface relief in hilly regions.

Key words hilly region; surface relief; the increment of slope area; increment coefficient of slope area; Digital Elevation Model (DEM); Taihe County