

## 中国1:100万数字地貌制图西南喀斯特地貌解译

程中玲<sup>1,2</sup>, 徐刚<sup>2</sup>, 田永中<sup>2</sup>, 吴文骥<sup>2</sup>

(1. 广州市煤气公司, 广州 510060; 2. 西南大学地理科学学院, 重庆 400715)

**摘 要:** 西南地区是我国喀斯特最发育的地区, 裸露和半裸露的喀斯特地貌连片出现。由于喀斯特地貌的复杂性, 正确解译和划分喀斯特地貌类型是中国1:100万数字地貌制图的关键问题之一。探讨喀斯特地貌分类, 以及基于Arcmap技术, 利用卫星遥感图像、地质图、历史地貌图等基础数据解译编制数字喀斯特地貌图的流程和方法。

**关键词:** 地貌制图; 西南; 喀斯特地貌

**中图分类号:** P931.5

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2007)05-0099-04

## Karst Landform Estimation of Southwest China During 1:1 000 000 Geomorphologic Mapping in China

CHENG Zhong-li<sup>1,2</sup>, XU Gang<sup>2</sup>, TIAN Yong-zhong<sup>2</sup>, WU Wen-jian<sup>2</sup>

(1. Guangzhou Gas Company, Guangzhou 510060, China;

2. School of Geographical Science, Southwest University, Chongqing 400715, China)

**Abstract:** Karst landform covers a good many parts of Southwest China. It's a hard task to distinguish karst with other kinds of landscape because of its complication. One of the crucial problems is how to distinguish karst according to basic materials during the geomorphologic mapping. The authors discuss the assortment of karst landform, and the way of 1:1 000 000 Digital Karst Geomorphological Map based on Arcmap and other geomorphological materials.

**Key words:** geomorphologic mapping; Southwest China; karst landform

地貌是自然地理环境要素的重要组成部分, 与国民经济建设关系十分密切。地貌图可为实际应用方面提供地貌形态及与其相关成因要素以及地表形态结构、分布规律、计量特征等的空间分布状况。中国1:100万地貌图是全国性的一种基本比例尺普通地貌图, 是国家重要的自然条件和自然资源基础图件之一。喀斯特地貌是我国典型地貌之一, 其分布十分广泛, 几乎各省、自治区和直辖市都有面积大小不等的碳酸盐类岩石出露, 其中西南地区的广西、云南、贵州、四川和重庆的喀斯特地貌尤为典型。通过数字地貌图正确反映喀斯特地貌发育的基本规律和分布特征, 将为西南各省、市、自治区工农业规划、资源调查和旅游事业发展提供基础的科学资料和依据。由于西南地区喀斯特地貌的复杂性, 如何利用卫星遥感图像、地质图、历史地貌图等基础资料, 正确解译和划分喀斯特地貌类型是我国西南地区数字地貌制图的关键所在。

### 1 西南喀斯特地貌基本特征

喀斯特地貌也称岩溶地貌, 在西南区分布十分广泛。东自巫山山地, 西迄怒江、金沙江流域; 南起西双版纳, 北至岷山、米仓山、大巴山, 都有它的分布。据统计, 仅滇东、黔中和黔南的碳酸盐类岩分布面积以及喀斯特的分布面积, 即达426 240 km<sup>2</sup>, 占全国喀斯特总面积的31.2%, 居全国首位。

西南区喀斯特地貌之所以十分发育, 是各种地理环境条件综合作用的结果: (1) 构造和岩性条件。前面提到滇东、贵州及川东南, 古生代以来迄中生代三叠纪处于上扬子准台地的海侵范围内, 沉积有厚层碳酸盐类岩。这是喀斯特发育的最基本条件。再则断裂破碎带大都是喀斯特发育较强烈地带, 西南区正是全国断裂带最发育、最复杂的地区, 这也是促使喀斯特发育的一个重要因素。还有在新构造运动中, 云贵高原迅速隆升, 给水流提供了很大的位能, 加速了喀斯特化作用。(2) 气候条件。喀斯特作用需在湿热条件下进行, 西南区在中生代白垩纪至新生代第三纪初曾一度属于热带湿润气候, 使云南、贵州一带发育有各种峰林, 其后转为亚热带湿润气候, 于是发育为各种喀斯特丘陵、洼地和漏斗等。气候因素使区内兼备有热带、亚热带各种喀斯特地貌类型, 可说是类型齐全。(3) 水质及其运动条件。碳酸盐的溶解速度取决于水中CO<sub>2</sub>的含量, 在热带、亚热带地区水中的CO<sub>2</sub>容易恢复平衡, 故对碳酸盐岩溶蚀速度快, 西南区位处亚热带, 就具有这一有利条件。(4) 地貌、植被和土壤条件。上面已提及高原、山地对喀斯特作用的影响, 具体来说, 则黔西、滇东高原上, 多低矮的锥状峰林, 溶蚀洼地和湖沼, 并散布有漏斗、落水洞; 高原东侧斜坡地带, 如赫章、水城、盘江一带, 河

收稿日期: 2006-08-25

基金项目: 国家科技基础条件平台项目(2004DKA20180-08); 国家杰出青年基金项目(40225004)

作者简介: 程中玲(1981-), 女, 山东威海人, 硕士, 主要从事地理信息系统应用研究。

通讯作者: 徐刚(1959-), 男, 四川乐山人, 硕士生导师, 主要从事灾害地貌和城市地貌研究。

谷深切,谷间地区有山峰林立,暗河特别发育。亚热带湿热气候,植物生长快,植物的分解作用,使水中 $\text{CO}_2$ 的含量增加,又使地表径流减弱,下渗作用加强,都有利于对碳酸盐岩的溶蚀和侵蚀。云贵高原上的主要土类是红壤和黄壤,酸度大,对喀斯特化也起一定的作用。

总而言之,西南区兼具有喀斯特地貌发育的各种条件,所以类型齐全,所有各种喀斯特地貌类型,不论是地表的或地下的,可说是无一不备。区内喀斯特地貌以贵州高原、滇东高原和四川盆地南部和广西最具有代表性。

滇东高原西部的喀斯特以石芽、溶沟、溶蚀洼地、孤立石峰和小面积峰林为主,东部则有地下河、盲谷、漏斗、落水洞、石林和峰林等。贵州高原喀斯特分布随碳酸盐岩露头而呈若干条带状,地貌类型齐全。高原面和分水岭部位多为发育峰林的巨大喀斯特盆地,坡地除峰林、峰丛外,还多悬谷与瀑布,谷地内则形成峰丛中低山,溶洞数量极多。四川盆地南缘峰林、石林喀斯特盆地分布很广,其间峰丛、溶洞数量之多和分布之密集为其他地区所罕见。兴文县有的地方每平方公里有峰丛120个,溶洞2.2个并分3~5层,落水洞3.5个,漏斗7.7个。小岩湾是一个口径650 m×490 m,深208 m的巨大塌陷坑,曾被称为我国第一大“天坑”。广西作为我国喀斯特地貌最发育的地区,地貌类型多样,但以峰林平原和峰丛为代表。峰林平原是指平地耸立起边坡陡峭、互相分离的石灰岩蚀余山峰的平原。石峰多有脚洞,平面形态为椭圆形,短长轴比平均值为0.66,平均直径200 m,长轴方向为北西西或北东,石峰高度有的超过100 m,有的不足20 m,平均70余米<sup>[1]</sup>。

## 2 喀斯特地貌分类

地貌分类是地貌制图的基础,而地貌类型则是地貌图必须表现的主要内容<sup>[2]</sup>。地貌分类系统是建立在地貌形态成因相关分析基础上,对众多地貌形态、成因,按其客观内在逻辑关系进行的系统分类。中国1:100万数字地貌分类方案是在借鉴20世纪70、80年代全国开展1:100万地貌制图中的全国1:100万地貌图分类系统,以及国际上通用的FAO土壤分类方案的基础上,采用形态成因统一、分层和分级、主导因素、量化、开放性或可扩展性等分类原则,制定中国1:100万数字地貌图分类系统。

喀斯特现象是由多种因素作用造成的,并以喀斯特地貌形态反映于地表。因此,喀斯特地貌类型的划分必须充分地体现出喀斯特地貌自然规律的客观性。喀斯特地貌分类系统的建立应具有系统性、科学性和实践性,即在图上能明确反映该区喀斯特形成的综合自然条件、喀斯特形态一成因类型、发育阶段、发展趋势,同时又便于不同生产部门所应用,能为经济发展、资源开发和生态环境保护服务。

中国1:100万地貌图喀斯特地貌分类主要按照形态成因类型和形态结构类型进行分类。形态成因类型中喀斯特地貌次级成因类型有堆积、溶积冲积、溶积、溶蚀、侵蚀,它们是面状地貌实体,用多边形图斑表示。形态结构类型有点状、线状和面状类型,其中点状类型有漏斗、竖井、落水洞、溶洞、天生桥、地下河出入口、溶沟石芽、石林、喀斯特残峰、峰

林、峰丛等;线状类型有喀斯特槽谷和暗河;面状实体有喀斯特洼地、峰林洼地、峰丛洼地等,它们是点状、面状地貌实体,用点、线、面图斑和符号共同表示。

## 3 喀斯特地貌解译技术流程

### 3.1 解译比例尺及最小成图图斑的确定

在解译过程中,利用遥感影像的自动综合能力,解译基本、大的地貌类型图斑以1:50万比例尺为好(即看图划比例尺)。在1:50万比例尺图像上能明显分辨出的基本地貌类型图斑都需要勾画出来。为保证地貌界线的准确性,具体勾画地貌界线时,需要将图像比例尺放到1:20万上。对于特别不易区分地区或微地貌特征,则需要放大到1:10万比例尺进行勾划。

按照1:100万地貌图的要求,面积大于1.5 mm<sup>2</sup>(实际面积为1.5 km<sup>2</sup>)的图斑需要解译出来。对于细长的多边形(如河谷或河谷平原),为保证此类型在100万图件上明显地反映出来,其最小宽度不得小于1 km,如小于该值,可适当扩张,但应做到正负地貌面积相等。

### 3.2 通过 TM、ETM 影像解译喀斯特地貌

本次数字地貌解译采用的是30 m的TM(1990年左右,夏季为主)和30 m的ETM(2000年左右,夏季为主)多光谱数据遥感数据。不同的物质,它们的辐射和反射特征各不相同,在遥感影像中每个像元的亮度值代表的是该像元中地物的平均辐射值,它随地物的成分、纹理、状态、表面特征及所使用的电磁波段的不同而变化。因而在遥感影像上不同的地物有其不同的光谱特性,基于光谱特性的信息提取是在对遥感信息机理初步研究基础上找到的一种信息提取方法,结合地物的空间特征不仅可以提高光谱特征提取的精度,同时又可避免人的主观因素的干扰,制图很费时,无法识别同谱异物、同物异谱现象的弊端,因此它可以成为数字地貌解译的主要参考资料。

喀斯特地貌在西南区的分布极其普遍,可见到除冰川喀斯特以外的世界大陆上所有的喀斯特地貌形态类型。一般来讲,在我国西南地区,与常态地貌相比,喀斯特地貌类型具有较独特的影像特征。如在遥感影像上峰丛洼地色调较暗,溶沟色调较浅,溶蚀漏斗和洼地呈深色,呈点状、钩状、链状、斑状、条状、弧形、蠕虫状,蜂窝状的群集图案;峰林槽谷图形分散破碎,形似蠕虫状、蚂蚁状、桔皮状如图1所示<sup>[4]</sup>。根据遥感影像的客观性、光谱性、动态性和透视性进行综合分析解译,可确定它们的形态类型,建立类型的解译标志和解译样图,作为下一步推广到更大范围解译和编绘地貌图的基本依据。

### 3.3 利用地质图判读喀斯特地貌。

经初步试验和探讨,地质图可以帮助我们进行地貌成因类型的断定和划分,尤其是在区分喀斯特地貌、火山熔岩地貌、断块地貌及部分流水地貌、黄土地貌等方面。地质图中记录的地层和岩性信息是进行辅助判断的主要依据。

对于覆盖型喀斯特来讲,在影像上就比较难确定。地质图可以帮助我们进行很好的辅助判断。以灰岩、白云岩等碳酸盐岩类分布区域会存在喀斯特地貌。如图2中箭头所示

的山地与周围山地表现出明显的差异性,但又不同于火山作用形成的山体。从地质图中,该处的地层为盐塘组深灰色中厚层泥一粉晶灰岩,因此可以判断此处为喀斯特地貌类型,



图 1 我国西南区典型喀斯特地貌影像特征

3.4 喀斯特地貌次级成因类型的划分

北方的喀斯特以侵蚀为主,西南地区的喀斯特地貌因为气候湿润,降水较多,多以溶蚀为主,但也有相当一部分是流水侵蚀作用或伴随有侵蚀作用。

喀斯特平原次级成因类型的划分是解译中的难点。喀斯特堆积平原是指那些受喀斯特作用(有些还受到流水作用)堆积形成的平原,表面覆盖着溶蚀残余的红色或黄棕色粘土(部分还有河流沉积物)虽常有石芽突出其上,但仍是喀斯特地区的重要农耕地。溶积冲积平原既有喀斯特的溶积作用,又有河流冲积作用,表层堆积物由空间分布界线不甚分明的冲积层和溶积层组成。冲积层一般由发源于本喀斯特区的河流冲积而成,冲积层虽有二元结构,但不典型、不明显,沉积物也较细小。溶积层是平原中一些残丘及平原边缘的山地、丘陵附近由坡积及残积作用所形成,它们常覆盖在罗圆浑的埋藏石芽之上,厚几至十几厘米,多为黄色粘土。溶积平原存在于基本没有河流发育的封闭喀斯特洼地中,临时性水流常通过洼地底部的一个或数个漏斗的落水洞排入地下。雨季时,有些洼地的落水洞因水流渲不及,致使洼地底部积水;在暴雨时,有部分落水洞,在某个短时间内,不但不能排水,反而涌出大量含泥沙的水流,使洼地积水。这两种积水洼地,当地常称为“水浸洞”或“水浸窝”。在这些喀斯特洼地中,由坡面水流及积水作用形成的堆积平原,称为溶积平原。溶蚀平原则大多分布在一种石芽、石沟遍布,洼地、漏斗众多的波状起伏的云贵高原面上。其上所有的地表水都通过裂隙、漏斗及洼地的落水洞转地下,所以地表甚为干旱,地表河流绝迹。只在石芽与石芽之间不规则地分布着一些红色石灰土及一些洼地或漏斗底部有小块溶积平地,可种植一些早作。

3.5 喀斯特形态结构类型划分

喀斯特形态结构类型是喀斯特形成条件与环境的表现。在进行喀斯特形态结构类型的划分时,既要考虑成因类型,

结合形态类型,该山地的地貌成因类型应划为“喀斯特溶蚀大起伏高山”。

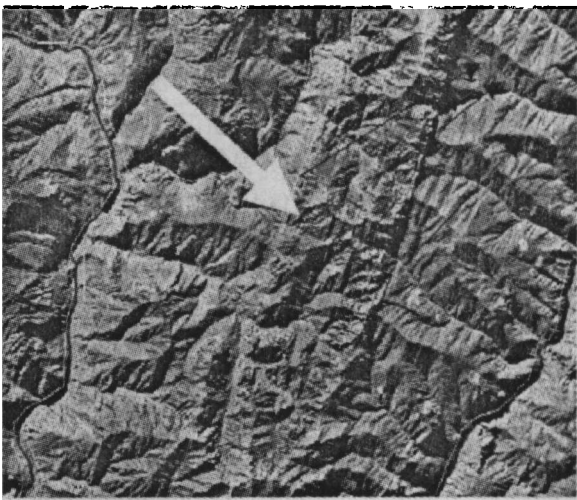


图 2 覆盖型喀斯特地貌影像及地质判别

也应注意形态类型;并且特别的着重于具有成因意义的各种地貌形态结构的表示,尽可能多的表示正地形与负地形。在西南地区可见到除冰川喀斯特以外的世界大陆上所有的喀斯特地貌形态类型,尤其是漏斗,洼地,溶洞等形态结构类型遍布整个喀斯特地区。在地貌制图中主要借助于影像,并参考已有的地貌图,划分喀斯特形态结构类型。对于一些难以判别的各种复合地貌类型则进行野外实地考察,使图件能如实地反映地表形态。

3.6 基于 GIS 的地貌类型的质检技术

基本地貌类型是由地表基本形态(平原和山地)、地貌单元起伏高度与地貌面的海拔高度三个最基本形态指标共同确定,它反映了内外营力的基本性质、强度或幅度的不同,以及由此导致的地表基本形态、起伏高度、海拔及其引起外营力基本过程和强度的变化,是陆地地貌分类系统中最综合、最基本的类型。该层数据反映的是 1 : 100 万地貌图的区域特征和基本骨架,其数据质量的好坏直接关系到一幅地貌图的质量。

基本地貌类型的定性检查主要内容包括基本类型界线的正确性与准确性、地貌实体的完整性与空间组合规律性的检查。首先将基本地貌类型叠加于 1 : 150 万地貌晕渲图之上,确定界线的走向是否正确;其次将地貌类型界线叠加于多视角阴影图(hillshade)上,确定界线走向的正确性和准确性,最后将地貌类型界线叠加于 DEM 分级着色图和遥感影像图之上,进一步确定地貌类型界线的正确性。

定量检查是指对基本地貌类型图斑属性一致性的精确检查,主要是指对图斑海拔高度和起伏度分等定级的精确检查。利用 ArcGIS 的空间分析中的分区统计功能(Zonal Statistics)在 DEM 中定量提取图斑海拔高度、起伏度、海拔平均值、中位数等统计特征参数值,这些统计特征数据为进一步定量分析地貌类型图的辨别正确与否提供了定量的指标。但是,由于 DEM 是连续的表面数据,计算机自动提取的最

大高程有可能是极值点,尤其是当1:25万等高线图上的1 000,3 500或5 000 m这些分界值是图斑的最大值时,计算机自动提取的海拔类型与人工解译的海拔类型会不一致,导致自动提取的海拔分级比人工提取的高一级。这种情况主要发生在海拔分级临界值即1 000,3 500或5 000 m出现在圈闭的面积很小的图斑内。在这种情况下,图斑海拔分级按照低的级别划分较为合适。在检查起伏度的分级时也存在由于分区统计取图斑内部DEM数据极值而导致起伏度定级比人工定级大的情况,在这种情况下,如果自动提取的起伏度值比人工解译级别的上限值略高,但高出的范围在200 m以内的图斑为判读正确,大于200 m则为判读错误,这种情况大部分情况出现在对山区的地貌解译上。

上述质检技术是用于对整幅地貌图进行质量控制,严格按照其进行定性和定量检查,也同样能保证喀斯特地区地貌解译的正确性。

#### 4 结 语

地貌制图是区域地貌研究的主要组成部分,也是简明扼

要地反映地貌研究成果的重要手段<sup>[4]</sup>。西南地区喀斯特地貌在全国具有代表意义,在解译上有一定难度。因此我们在编制中国1:100万数字地貌图过程中对喀斯特地区地貌力求严格按照上述解译技术进行解译,使图件能正确反映喀斯特等各种地貌类型的形成和分布规律,并能把喀斯特地貌与非喀斯特地貌之间的成因关系和规律合理地表现出来。

#### 参考文献:

- [1] 杨宗干,赵汝植. 西南区自然地理[M]. 重庆:西南师范大学出版社.
- [2] 赵济,陈传康. 中国地理[M]. 北京:高等教育出版社,2004.
- [3] 中国科学院地理研究所. 地貌制图研究文集[M]. 北京:测绘出版社,1986.
- [4] 林俊清. 卫星像片上喀斯特地貌及水系的解译[J]. 贵州科学,2000,9(3):.
- [5] 苏时雨,李钜章. 地貌制图[M]. 北京:测绘出版社,1999.

(上接第80页)

水土保持型立体农业体系是本区大农业今后发展的方向,水土保持型立体生态农业体系的建立,在空间尺度上应分为宏观、中观与微观3个层次<sup>[2]</sup>,宏观上应当突出山区生态环境的持续性与经济发展的地域性,充分利用光温水时空差异性 & 生物多样性互补性,体现山地立体专业化利用与保护的地域格局;中观上着眼于产业结构布局与调整,根据不同产业用地的生态功能要求,将现状土地利用适应性与土地类型适宜性,同土地资源利用改造决策结合起来,对现状经济结构有悖于自然生态结构的利用方式相应提出改进对策;微观模式侧重于具体的利用方式,强调可操作性,在农林牧各业内因时因地制宜地设计多熟制作物种植、市场型林特生产、生态林草防护与开发利用等模式(表2)。英德、阳山等部分地区的实践证明,通过林果、林农、林牧、林电结合等形式,建立各种以林为主体的具有良性循环的生态农业体系是粤北岩溶山区防治水土流失的有效途径。

#### 3.5 加强宣传教育,强化水土保持监督与执法工作

加强预防监督,防止新的水土流失是水土保持工作中的首要问题,今后应通过广泛深入的法制宣传教育,以法治林,严格执行《森林法》、《水土保持法》等有关法律法规,普及全民水土保持法制意识,明确各级水土保持部门监督权、处置

权和收费权,使水土保持工作法制化、规范化<sup>[3]</sup>;同时,水土保持工作涉及到国民经济的诸多部门,必须充分协调各部门之间关系,做到各司其职,各负其责,各尽其力,密切合作。在综合治理过程中,要加强水土保持项目管理,积极推行水土保持项目负责制、技术责任制、法人责任制、合同制等,因地制宜地推行工程招标投标制和建设监理制,建立新的建设管理机制;在监督管理方面,计划、环保、土地、矿产等有关审批部门应严格把关,对开发项目不依法编报水土保持方案的,环保、计划部门不予评审和立项,土地、矿产部门不允办理土地使用、采矿许可证等;在水土保持违法案件的查处中,司法部门要给予大力支持,只有社会各部门通力协作,才能强化依法保护水土资源的各项措施,推动水土保持产业化和水土资源的可持续利用。

#### 参考文献:

- [1] 自然地理与环境研究编辑委员会. 自然地理与环境研究[M]. 广州:中山大学出版社,1992.
- [2] 廖和平,邓旭升,卢艳霞. 三峡库区坡地资源优化利用模式与途径[J]. 山地学报,2005,23(2):198—199.
- [3] 李景保. 湖南四水中上游区水土流失与水土保持[J]. 湖南师范大学自然科学学报,2000,23(4):81—86.