文章编号: 1008－2786－(2007) 1－122－07

基于多源数据的山地地貌数字解译

姚永慧,周成虎,孙然好,龙 恩,朱运海,李炳元
(中国科学院地理科学与资源研究所 资源与环境信息系统国家重点实验室,北京 100101)

摘 要: “3S”技术与地学的结合,对传统地貌制图的编绘方法必然产生较大影响。遥感影像不仅作为地面调查的重要辅助手段,而且是一种可以根据需要缩放到所需比例尺的重要数据源;各种数据源的参考数据如地形图、植被图、地质图、土地资源图等均可以数字的方式在 GIS环境中集成、叠加与运算,从而改变了地貌制图依赖于地形图进行多次综合概括的制图方式,使基于多源数据的遥感地貌信息定量解译成为可能。以青藏高原昌都幅遥感地貌解译为例,探讨不同类型的数据在山地地貌解译过程中的使用方式和对地貌判读的作用,并在此基础上总结基于多源数据的遥感地貌解译方法,为全国 1∶100万地貌遥感解译和地貌信息系统的建立奠定基础。

关键词: 多源数据;青藏高原;地貌解译;遥感 GIS;昌都
中图分类号: P931 文献标识码: A

传统地貌制图是依靠人工方法辅助野外调查由大比例尺基本地貌类型图的编制、然后经过多级综合概括的缩编制图方法。我国地貌制图在 20世纪 70年代末至 80年代达到高潮,全国 100多名专家和学者联合开展“中国 1∶100万地貌图”的试点研究和编制工作,编撰了《中国 1∶100万地貌图制图规范》论著,先后编辑出版了北京(J－50)、南京(I－50)、西安(I－49)等 15幅图,不仅在地貌制图的科学水平上达到了新的阶段,而且对中国地貌的认识又进一步加深了。但传统地貌制图对制图人员的专业知识要求很高,同时大面积的地面调查资料很难获得,再加上多级缩编概括的编图方法费时费力,地貌制图的周期很长。随着“3S”技术在地学研究中的进一步发展,现代化的制图手段和多源数据的集成利用,大大减化了制图环节和工作量,提高了制图效率,同时,正如廖克先生(2003)指出的一样,新的制图方法不仅周期短,质量高,而且 GIS环境下遥感影像的自动综合技术大大降低了制图工作对绘图者专业知识的要求[1]。

本文研究的目的在于:(1)以 1∶100万昌都幅地貌制图为例,探索新形势下基于遥感等多源数据的地貌信息提取技术与方法,为遥感地貌制图的完善与快速更新提供技术支持;(2)在上述地貌制图实践的基础上,探讨新形式下遥感地貌解译与传统地貌制图方法的异同。

1 青藏高原遥感地貌解译的数据准备与数据分析

根据数据形式与内容,将收集和整理的多源数据分为三类: 1)专题图件; 2)文献资料; 3)遥感影像图。专题图件包括:各种比例尺的新老地貌图、地形等高线图及 DEM、地质图与地质构造图、基础地理底图、植被图、土地资源图与土地类型图等。文献资料的内容比较多,包括区域自然地理、地貌书籍与资料,1959年以来的青藏高原科学考察报告,青藏公路、铁路沿线的调查与考察报告,20世纪 70～80年代地貌制图时的内部讨论资料及文献成果等。遥感影像数据主要有两期,即 1990年前后的 Landsat TM数据和 2000年前后的 LandSat ETM 数据。

收稿日期(Received date): 2006－08－21;改回日期(Accepted): 2006－09－10.
基金项目(Foundation item):科技部科学数据平台项目(2004DKA20180－08)。[Supported by Science and Technology Department Scientfic Data Platform Project(2004DKA20180－08)]
作者简介(Biography):姚永慧(1975－),女,湖北省人。主要研究领域山地生态与 GIS应用。[Yao Yonghui(1975－), Female, Hubei Province Person, Main research mountain ecology and GIS application. Email: yaoyh@lreis.ac.cn]

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

各种专题图件扫描后, 按统一的投影坐标系配准 (Transverse Mecator)形成电子图件, 对部分重要的参考图件, 如老的地貌图进行数字化; 各种文献参考资料经过系统整理和归纳后, 部分以纸质或电子文献的形式存储, 部分整理为属性数据, 以数据表的形式存储在 Geodatabase中; 影像数据采用 7、4、2波段的真彩色合成。所有图件及影像数据按全国 1∶100万标准分幅裁剪, 并以栅格或矢量的形式在 Geodatabase中建库存储。

在多源数据收集与数据配准的基础上, 对各种数据进行综合分析, 包括各类数据的质量、用途、时效性等。在原有数据的基础上, 提取了地貌制图的各种辅助信息与图件, 如各种地貌形态示量图等。地貌形态示量图是对地貌形态进行描述的图件, 如等高线以及由等高线派生出来的各种高度图、起伏度图、坡度图、坡向图、山体阴影图等, 都是地貌形态的重要的数量特征。通过等高线图和 DEM, 还提取了流域界线、沟谷界线、坡折线等地貌特征线; 对典型区建立了三维可视化图等。这些派生数据与图件都是地貌制图中重要的辅助资料。

2　基于多源数据的遥感地貌解译

青藏高原数据解译采用分层分级原则, 按下列流程依次进行: 1)基本地貌类型解译→2)地貌成因类型解译→3)地貌类型形态特征及物质组成解译。

2.1　基于多源数据的基本地貌形态解译

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, 导致地表基本形态、起伏高度、海拔及其引起外营力基本过程及其强度的变化, 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。因此, 该层数据的遥感解译在整个地貌数据解译中具有举足轻重的作用。

上述基本地貌类型划分的三个分类指标, 均按照《中国 1∶100万地貌制图规范》(1987)中的规定。根据这些指标, 中国陆地地貌划分为 28个基本地貌类型 (包括河流和湖泊等水体)。

基本地貌类型的解译是在 GIS环境下, 通过将各类栅格数据 (影像图)和矢量数据 (等高线图)进行空间叠加分析与综合判断来确定各类型的准确界线; 利用等高线和 DEM定量计算各地貌面的起伏度和海拔, 以确定其属性类型; 并在老地貌图、地势晕渲图及其他地貌形态示量图的辅助解译基础上, 通过目视解译提取的, 其基本解译流程如图 1所示。遥感影像、等高线图、DEM及阴影图、地势晕渲图是基本地貌类型定性、定量、定位解译的主要参考数据。

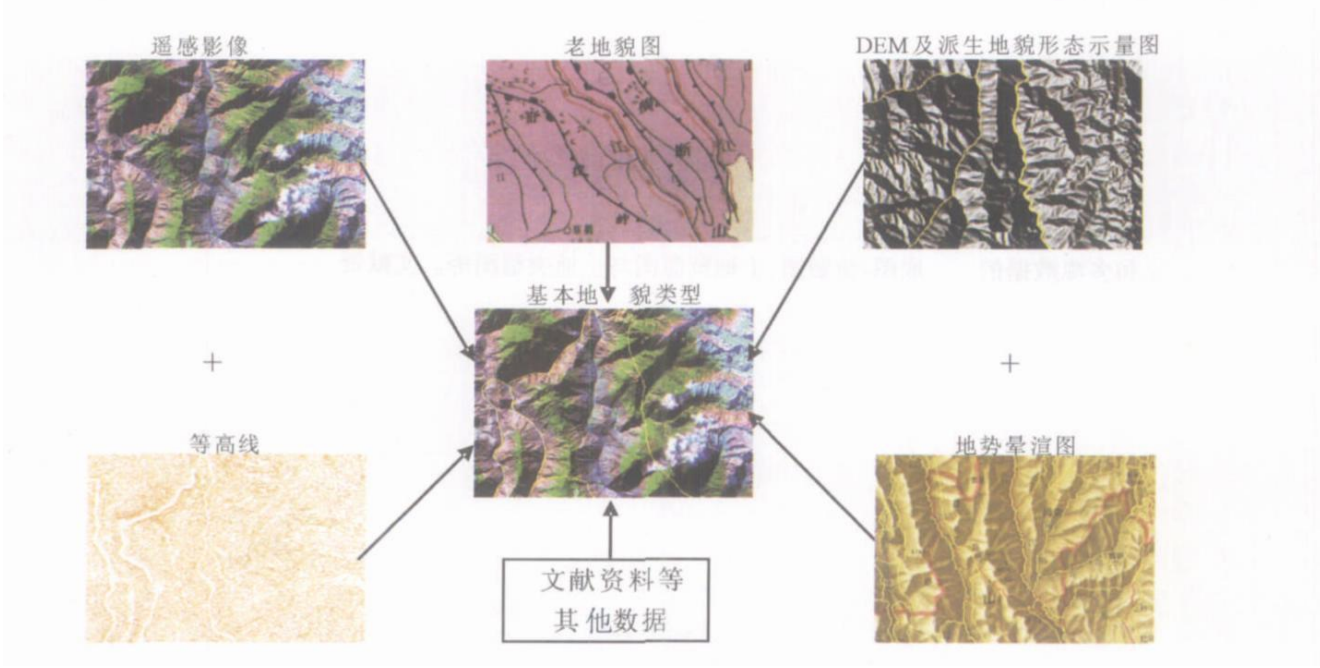


图 1　基于多源数据的基本地貌类型遥感解译

Fig. 1　Extraction of basic geomorphologic types based on multiple data sources

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

四种主要参考数据的主要作用如下:

1·影像特征:

以最直观的形式展示基本地貌类型的形态特征及空间组合特征;通过自动缩放到不同比例尺来实现解译的自动综合;此外,在其他参考数据的辅助判断下,可以进行地貌类型界线的准确定位与定性。

2·DEM 及等高线特征

等高线不仅反映地貌类型的形态特征,同时也是提取地貌特征界线的主要数据源。坡折线、沟谷线、山脊线、鞍部、垭口等地貌特征界线是划分不同基本地貌类型的主要参考线;此外,等高线也是起伏度、海拔等定量计算的主要数据源。在 ArcGIS 中,利用空间分析模块 Zonal Statistics来自动提取每个图斑的起伏度和海拔。

3·DEM 及阴影图特征

通过 DEM 的渲染和着色,可以反映区域地势变化情况;同时,提取和派生其他地貌示量图,如坡度图,阴影图等。不同方位角的阴影图还可以提供多视角的辅助判断和进一步分析。

4·晕渲图的辅助判断

1976年出版发行的中国 1∶150万地势晕渲图对区域地貌特征反映较好,有助于对区域规律及特征的把握。

2·2 基于多源数据的地貌成因类型解译

地貌成因类型是依据形成地貌的主导营力类别及其塑造地貌的基本营力作用的性质(种类)、形成的具体地貌形态(次级)和组成物质来确定的。根据地貌营力作用的基本性质、强度等,地貌成因可进一步分为下面 15种形成地貌的营力类别:内营力可以分为火山岩熔和构造 2种;外营力可以分为海成作用、湖成作用、流水作用、冰川作用、冰缘(冻融)作用、风成作用、干燥作用、黄土、喀斯特、重力作用、生物作用和人为作用等 11种,其中黄土和喀斯特是与母岩性质有密切关系的特殊地貌营力;另外,还有重力、其他(未分)营力 2种。

成因类型解译要根据不同营力的作用性质及其塑造的地貌形态特征差异性来判别,解译时需要参考多种资料:影像特征、老地貌图、地质图中的地层年代及岩性信息、区域植被、降雨量、温度和海拔、冻土、冰川分布等资料均可从不同侧面提供解译信息;其中,地质图在各种平原成因类型和冰碛作用类型、火山熔岩及喀斯特地貌类型等的解译中起着重要的作用。下面以青海省那陵郭勒河上游伯喀里克西南部地区地貌成因类型解译为例,详述基于多源数据的成因类型解译方法。

1·利用遥感影像的纹理、结构、形态特征等初步判定地貌成因类型(图 2)。不同成因的地貌类型在影像上表现出不同的纹理结构、色调特征,如图中位置 1处,冰碛丘垅具有明显的垅状形态特征和粗糙的纹理结构,并与冰川、冰川槽谷的分布位置有紧密的联系;而位置 2处的洪积平原则分布在河流出山口或山麓地带,具有相对细腻的纹理特征和流水冲刷的特征。解译时将基本地貌类型线划图与影像叠加,分别在 1∶10万、1∶25万和 1∶50万等各种比例尺下进行综合判断,初步确定成因类型。

2·在影像初步判断的基础上,根据地质图判断组成物质、构造特征并反推成因类型。岩性是地貌成因类型的物质基础,而构造特征则反映地貌发育的内营力。将 1∶50万数字地质图与影像图叠加,根据地层信息进一步确定影像初步判断的成因类型的正确性。例如,图 3中,位置 1、2在地质图上的地层信息分别为“上更新世冰水堆积”和“上更新世洪冲积”,对应的地表地貌成因类型应分别为“冰碛”和“洪积”,与影像初步判断的结果一致。解译时注意的是,由于地质界线与地貌类型界线是不完全吻合的,地质信息虽然是很重要的参考数据,但成因类型的具体界线仍需根据影像图来确定。

3·在上述判断的基础上,结合各种老地貌图等,进一步确定成因类型。各地区的老地貌图,是老一辈地貌学家智慧的结晶,具有很好的指导作用和参考价值,如图 4所示,在青海省 1∶100万地貌图上,位置 1、2的地貌类型分别为“冰水平原”和“洪积平原”,因此,这两处的地貌成因类型划分为“冰川作用”的“冰碛”和“流水作用”的“洪积”应该是正确的。但老地貌图成因类型和形态类型主要是根据 1∶10万地形图的综合而来的,地面调查并不能覆盖所有地区,因此,在有些地貌类型的形态判别上,不如现有的影像解译准确和全面,如图 4中位置 1处的“冰碛丘垅”在老地貌图上就被划分为“冰水平原”。

4·结合植被分布图、冰川、冻土分布图、区域其他图件或调查报告、气温数据等进一步推断水热条件及内外营力作用性质,确定冰川、冰缘、流水作用、喀斯特作用、干燥作用等的范围。植被、土壤等地表覆盖类型与地貌成因类型之间具有一定的对应关系,可以提供很好的辅助信息,如图 5中所示,紫花针茅草

© 1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

原分布区相对于石漠或高山岩漠地区的水热和土壤条件要好。也就是说, 可以推断紫花针茅草原分布区可能是流水作用, 而石漠或高山岩漠地区则很可能是冰川或冰缘作用类型。在冰川分布图、气温数据的支持下可以进一步判断所属的类型。

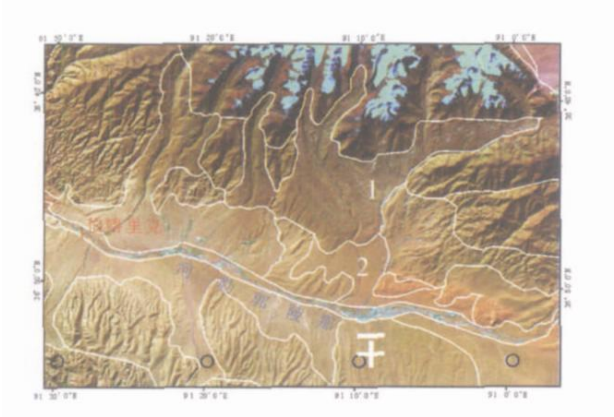


图 2　地貌成因类型的影像特征

Fig 2　Features of landform genesis on remote sensing image

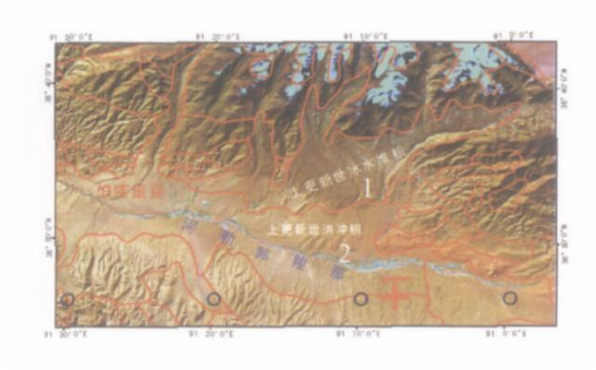


图 3　利用地质图辅助判断

Fig 3　Analysis of landform genesis based on geological map

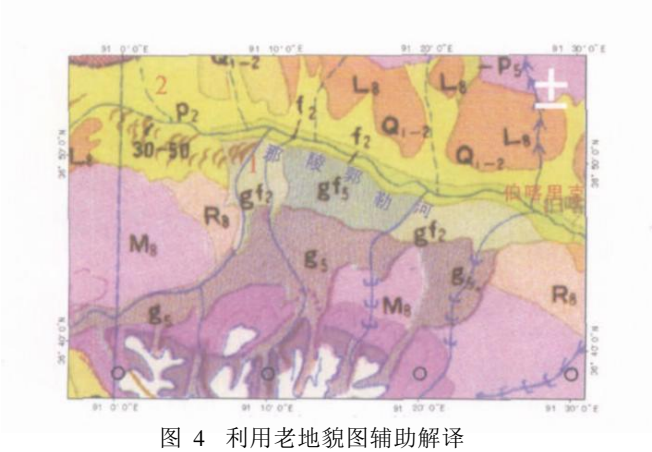


图 4　利用老地貌图辅助解译

Fig 4　Analysis of landform genesis based on old geomophologic map

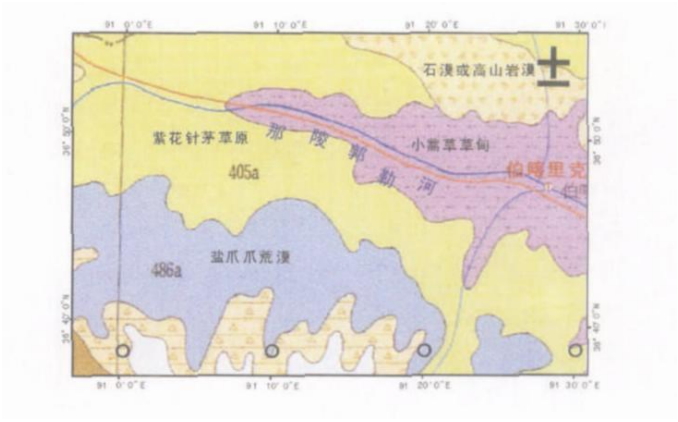


图 5　利用植被图辅助解译

Fig 5　Analysis of landform genesis based on vegetation map

5·在上述多源数据的综合判断下, 根据遥感影像确定成因类型界线, 把每个基本地貌类型图斑按成因进一步分类。上述研究区的分类结果如图 6所示。

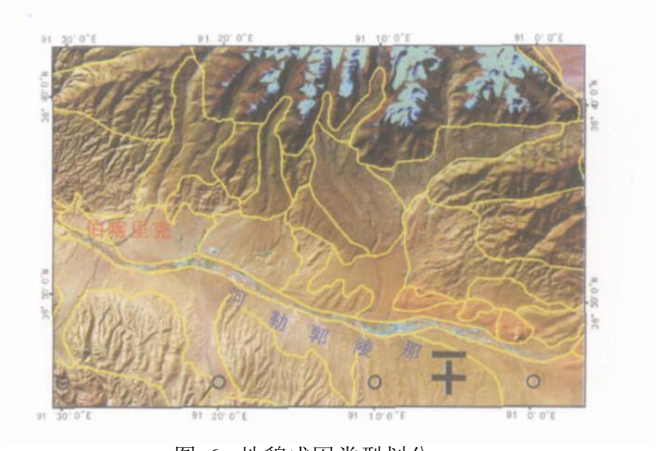


图 6　地貌成因类型划分

Fig 6　Classification of landform genesis types

2·3　地貌类型形态特征及物质组成解译

地貌类型的形态特征主要依据遥感影像和等高线图来确定, 如扇形地、河流阶地等, 都可以根据影像特征直接解译; 而高、低台地和丘陵则通过等高线图来确定其相对高度; 地貌类型的坡度坡向通过 DEM 定量提取; 地貌类型的物质组成则可以从地质图的岩性特征中提取, 如花岗岩等。

3　基于多源数据的 1∶100万昌都幅遥感地貌解译

3·1　昌都幅区域概况

1∶100万昌都幅地貌图是中国 1∶100万地貌

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

图的标准分幅之一，覆盖范围为 96°~102°E，28°~32°N之间，主要包括西藏东部、四川西部及青海南部、云南北部少部分地区。本区在地势上属于我国第一梯级，是喜马拉雅山、念青唐古拉山东段和横断山脉的交接处，山峰高达 6 000多 m，怒江、澜沧江、金沙江从北向南流经本区，河谷下降到海拔 2 000~3 000 m，地形切割强烈，形成高山深谷地貌结构，在地貌区划上属三江流域高山深谷区。由于临近印度洋，南来湿润气流沿三江河谷向内部深入，降水量较大，发育有规模巨大的现代冰川，同时，古冰川遗迹从山岭到谷地，表现得比较清晰完整。复杂的构造、气候条件导致本区地貌类型复杂，冰川地貌、流水地貌、喀斯特地貌及火山地貌、断块地貌等都很普遍。

由于水热条件较好，本区森林植被发育较好，动植物资源丰富；复杂强烈构造运动，也使本区蕴藏有丰富的矿产资源；同时，三江流域为全国水能资源富集区。此外，本区奇峰异洞圣湖等自然景观巧夺天工，也有千百年来厚重历史文化积淀的人文景观，旅游业也极具前景。因此，详细查明该区自然地理、地质地貌状况，将为当地的经济发展与生态保护奠定坚实的基础。

3.2 昌都幅遥感地貌解译实践

昌都幅遥感地貌解译的难点在于如何在连绵起伏的山地中划分出基本地貌类型。一般按山地的坡折线(包括垭口)和各类山地类型起伏度和海拔指标的差异进行勾绘。划分时根据影像和地形图分析，一般两个底座相连的山地实体，当垭口与一侧(或两侧)图斑的最高海拔高差大(>500 m)或两侧图斑的最高点海拔或起伏高度高差较大(>200 m)，而且两类图斑在图上的面积都≥1 cm^2 时，则勾划为两个类型。在GIS和遥感影像等多源数据的支持下，对H47幅(昌都幅)地貌类型进行了解译，共分出22种基本形态类型，除极高海拔平原、台地、丘陵和中起伏低山这4个基本地貌类型外，其他类型均有出现。在这22种基本地貌类型中，面积比率占前五位的分别为极大起伏极高山(26.31%)、大起伏高山(22.56%)、大起伏极高山(22.19%)、中起伏高山(11.38%)和极大起伏高山(4.79%)，这五种类型占总面积的87.23%。划分出冰川、冰缘、流水、湖成、火山熔岩、喀斯特共6种成因类型，其中，流水作用所占的比重最大，达44.76%；其次为冰川作用，占41.55%；冰缘作用和喀斯特分别占7.93%、5.30%，火山熔岩和湖成的比重很小，均不足1%。

由于版面的限制，下图仅显示了三江流域部分地区的地貌解译成果(图7)，极大起伏极高山是这一区域内的基本地貌类型的主体，这些极高山的外围，也就是沿金沙江、澜沧江和怒江干流两岸则是大起伏高山、大起伏中山，高山峡谷的地貌特征十分显著；而地貌成因类型则以冰川作用和流水侵蚀作用为主，进一步体现出该区受深山峡谷的地形特征与气候特征相互作用形成的地貌成因类型分异。

4 与传统地貌制图的比较

GIS环境下，基于多源数据的青藏高原遥感地貌解译与传统地貌编绘有很大不同：(1)首先，前者是在GIS环境下的人机交互制图。由于各种矢量数据(如等高线等)和栅格数据(如遥感影像、DEM等)在GIS环境下，可以根据需要直接缩放到所需比例尺，因而从根本上改变了传统地貌制图依靠人工方法由大比例尺基本地貌类型图的编制、然后经过多级综合概括的缩编制图方法。传统1∶100万地貌制图是以1∶10万地形图作为基本制图资料，参考各种相关资料或样区预测草图，经多次综合概括，再转绘到成图比例尺上完成的，完整的地貌图编绘过程一般包括以下几个绘制过程：编制地貌标绘图→编制地貌过渡图→编制作者原图→编写图幅说明书。(2)二者的数据来源不同。前者除充分利用地形图及其派生的各种地貌形态示量图外，还利用遥感影像作为地貌形态和地貌类型轮廓线判别的主要依据，并且将各种来源的数据能同时进行叠加显示和分析。(3)前者周期短、效率高，对制图人员专业知识的要求降低。由于现代化的制图手段和多源数据的集成利用，大大减化了的制图环节和工作量，提高了制图效率。(4)定量化指标在基于多源数据的遥感地貌制图中被广泛使用。由于GIS具有强大的空间分析功能并能有效的将空间数据与属性数据有机的结合起来，在进行1∶100万数字地貌图编绘过程中，许多定量化的指标如海拔、起伏度、坡度、坡向、切割深度等都被用来进行地貌类型划分，进一步推进了地貌制图的规范化与标准化。这些定量化标准的使用，将为地貌分析与地貌模拟奠定基础。(5)基于遥感等多源数据的地貌制图在地貌类型形态特征的表达方面具有很大的优势，这是传统地貌制图根据等高线推断形态特征不可比拟的地方。另

© 1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

外, 遥感地貌解译的结果可以使用纸质、电子版或文字等多种形式保存, 与传统地貌图以纸质或文字的表达方式不同。

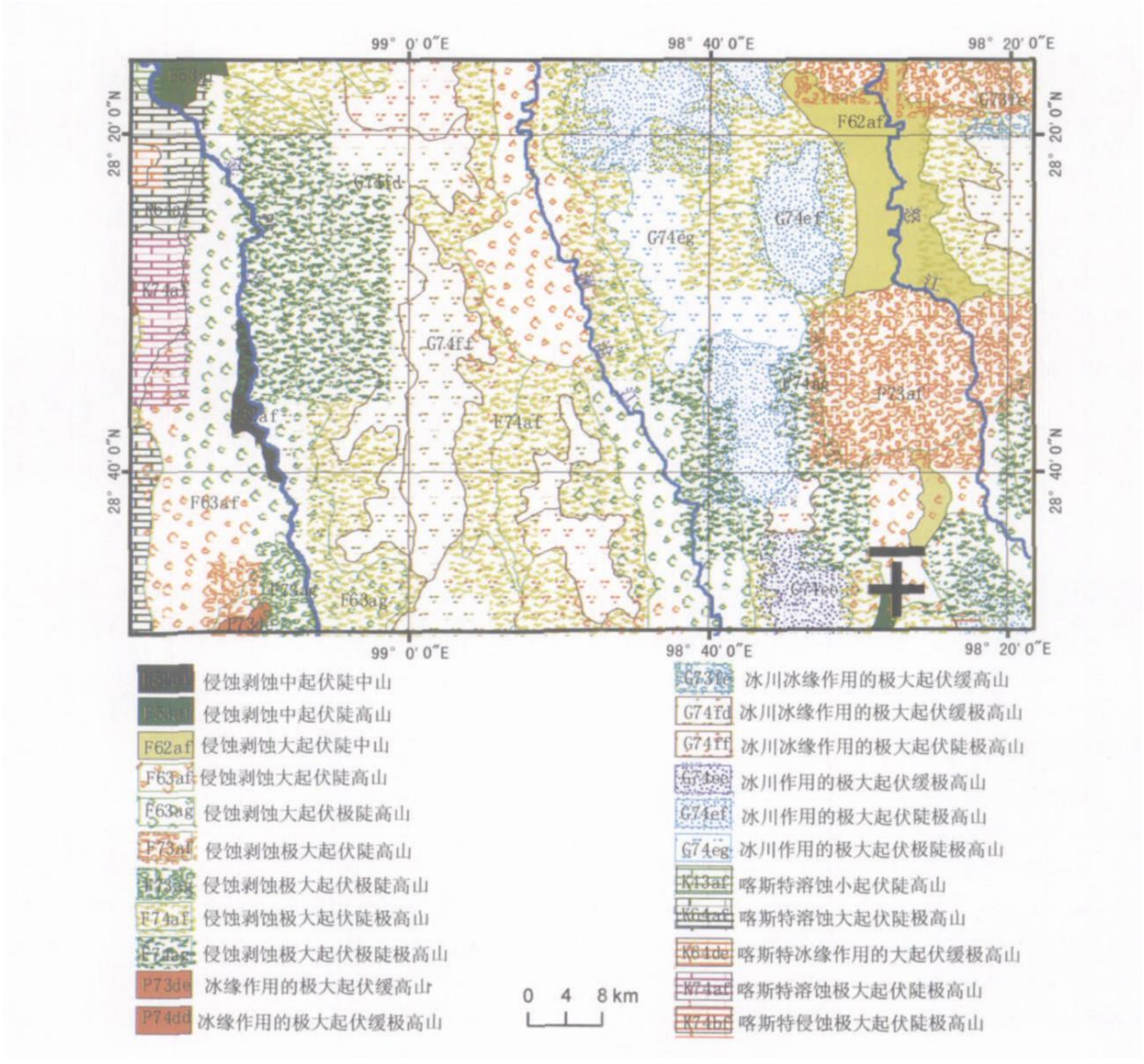


图 7　昌都幅遥感地貌解译成果展示(三江并流地区)

Fig. 7　Classification result in the region of the Three Parallel Rivers (part of Changdu sheet)

5　结论与讨论

在 GIS 环境下, 基于多源数据的遥感地貌制图方法具有传统地貌制图不可比拟的优势, 各种数据源的参考数据如地形图、植被图、地质图、土地资源图等均以数字的方式在 GIS 环境中集成、叠加与运算, 从而改变了地貌制图依赖于地形图进行多次综合概括的制图方式, 大大缩短了制图时间和周期; 同时, 也提高了数据解译的精度, 尤其是遥感影像以非常直观的方式表现了地貌类型的形态特征, 在地貌类型的形态解译上比传统方法更准确。此外, 基于多源数据的地貌定量解译结果也为地貌模拟与定量研究奠定了基础。在上述研究的基础上, 下一步的研究工作将着重于进一步建立和完善地貌信息系统, 让用户可以实时提取和查询各类地貌信息, 并进行地貌过程分析与模拟研究。

参考文献 (References)

[1] Liao Ke. Study and Practice of Cartology[M]. Beijing: Mapping

© 1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

and Survey Perss, 2003.[廖克.地图学的研究与实践[M].北京:测绘出版社, 2003.]

[2] Su Shiyu, Li Juzhang. Geomorphological Mapping[M]. Beijing: Mapping and Survey Perss, 1999.[苏时雨, 李钜章.地貌制图[M].北京:测绘出版社, 1999.]

[3] Integrated Investigation Team of Tibet Plateau, CAS. Tibet Geomorphology[M]. Beijing: Science Press, 1993.[中国科学院青藏高原综合科学考察队.西藏地貌[M].北京:科学出版社, 1983.]

[4] J. Denmark. Manual for Detail Geomorphological Mapping[M]. Beijing: Science Press, 1984.[J.德梅克.详细地貌制图手册[M].北京:科学出版社, 1984.]

[5] Institute of Geography Research, CAS. Mapping Criterion for Geomorphological Map on Scale 1∶1 000 000 in China[M]. Beijing: Science Press, 1987.[中国科学院地理研究所.中国1∶100万地貌图制图规范[M].北京:科学出版社, 1987.]

[6] Editorial Committee for Geomorphological Map on Scale 1∶1 000 000. Research Archives for Geomorphological Map[C]. Beijing: Mapping and Survey Press, 1985.[中国1∶100万地貌图编辑委员会.地貌制图研究文集[C].北京:测绘出版社, 1985.]

[7] Zhang Jingping, Cheng Weimin, *et al*. Experiment on 1∶1 000 000 Geomorphologic Mapping Method Based on RS and DEM in China[J]. *Geo-information Science*, 2005, 7(2): 36~40[张进平, 程维明, 等.中国1∶100万遥感地貌制图方法的试验——以南京幅(I-50)为例[J].地球信息科学, 2005, 7(2): 36~40]

[8] Yuan Jinguo, Long Liming. Analysis on functions of remote sensing in base mapping[J]. *Journal of The Hebei Academy of Sciences*, 2005, 22(2): 69~72[袁金国, 龙丽民.基础制图中遥感的作用分析[J].河北省科学院学报, 2005, 22(2): 69~72]

[9] Xu Jinghua. Discussion on the making technology and method of thematic map by using MapInfo[J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2003, 3: 46~48[徐京华.专题地图制作技术与方法探讨[J].测绘通报, 2003, 3: 46~48]

Digital Mapping of Mountain Landforms Based on Multiple Source Data

YAO Yonghui, ZHOU Chenghu, SUN Ranhao, LONG En, ZHU Yunhai, LI Binyuan

(*State Key Lab for Resources and Environmental Information System, IGSNRR, CAS, Beijing* 100101, *China*)

Abstract: With the further combination of "3S" with geosciences, it has great influence on mapping methods of traditional geomorphologic cartography. Firstly, remote sensing data is not only an important assistant measure for ground survey, but also an important data source which can be zoom in or zoom out to certain scales according to needs, which changes the data sources of traditional geomorphological cartography. Secondly, data with different sources such as relief map (DEM), vegetation map, geological map and remote sensing data can be integrated, overlapped and calculated in GIS environment, and this totally changes the mapping methods of traditional geomorphological cartography which was depended on generalization from topographical map by several times and makes it possible for quantitative interpretation of geomorphological information based on multiple-data-sources. In order to establish a set of methods for geomorphological interpretation on scale 1∶1 000 000, this paper discussed the ways and the functions of different data for landform interpretation and the interpretation methods of geomorphological information based on multiple-data-sources. Changdu Sheet in Tibet Plateau was our experiment area.

Key words: multiple-sources data; Tibet Plateau; geomorphology interpretation; Remote Sensing; GIS; the Three Parallel River

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net