

中美合作东昆仑造山带地质填图的启示： 填图理念与填图方法

胡道功¹, PATRICK J Barosh², 吴珍汉³, 叶培盛¹, 张耀玲¹, 周春景¹, 倪晋宇¹
HU Dao-gong¹, PATRICK J Barosh², WU Zhen-han³, YE Pei-sheng¹,
ZHANG Yao-ling¹, ZHOU Chun-jing¹, NI Jin-yu¹

1. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081;

2. P.J. Barosh and Associates, 103 Aaron Avenue, Bristol, RI 02809, USA; 3. 中国地质科学院, 北京 100037

1. *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China;*

2. *P.J. Barosh and Associates, 103 Aaron Avenue, Bristol, RI 02809, USA;*

3. *Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China*

摘要:在中美合作东昆仑造山带地质填图实践的基础上,结合美国地质调查局(USGS)最近完成的地质填图实例的对比分析,初步总结和探讨了美国的地质填图方法和填图理念。结果表明,尽管地球物理和 3S 技术在地质填图中的应用不断推陈出新,但是地质填图理念、地质填图方法和地质报告风格自 USGS 成立以来未曾改变。“对所有地质实体按岩性进行划分和详细填图”的地质填图理念伴随 USGS 走过了 130 年曲折而艰难的历程。“地质现象引导地质路线”的填图方法是美国地质填图长期采用的方法,但应用于澳大利亚厚层风化壳和加拿大冰雪覆盖区的高精度地球物理填图方法并没有应用到造山带地质填图中,而遥感技术成为造山带基岩区填图的重要技术支撑。美国基岩区高效的地质填图速度并不能用高精度地球物理和遥感技术的应用来解释,已有地质成果的继承与利用、填图工作模式、填图与科学研究的合理定位、简明地质报告和 GIS 的地质应用才是决定地质填图速度的关键因素。

关键词:中美合作填图;填图方法;填图理念;东昆仑造山带

中图分类号:P623 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2009)10-1411-08

Hu D G, P J Barosh, Wu Z H, Ye P S, Zhang Y L, Zhou C J, Ni J Y. Inspirations from the Sino-U.S. cooperative geological mapping in the East Kunlun orogenic belt: ideas and methods. *Geological Bulletin of China*, 2009, 28(10):1411-1418

Abstract: On the basis of the practice of the Sino-U.S. cooperative geological mapping in the East Kunlun Orogenic Belt and through the comparative analysis of several geological mapping examples completed recently by USGS, we have a further knowledge of the method and idea of America geological mapping. Although the application of geophysics and 3S technology in geological mapping is in continuous development, the fundamental method and idea of America geological mapping and the style of geological reports remain the same ever since the establishment of USGS. The concept of “mapping all lithological unites” hasn’t changed within a difficult course of 130 years along with USGS’s evolution. The mapping method of “geological features guiding geological trails” has been always been followed in America geological mapping history. Whereas, high accuracy geophysical mapping method commonly applied in thick-bed weathering crusts of Australia and ice-snow covering areas of Canada is not used in the geological mapping of orogenic belts, but the remote-sensing technique provides an important support for the mapping of bedrock areas of orogenic belts.

收稿日期:2009-04-27;修订日期:2009-08-07

地调项目:中国地质调查局《开展现代地质填图新技术新方法的研究与示范》项目(编号:1212010711510)与科技部国际科技合作重点项目(编号:2006DFB211330)资助

作者简介:胡道功(1963-),男,研究员,从事构造地质研究。E-mail:hudg@263.net

The key of high efficiency of America bedrock areas mapping can not be interpreted by using advanced geophysical and remote-sensing techniques. In fact, utilization of existing geological results, standardized mapping work mode, rational aiming of field mapping and scientific research, the concise geological report, and the GIS application are quite detrimental.

Key words: Sino-U.S. cooperative geological mapping; mapping method; mapping idea; East Kunlun orogenic belt

20 世纪 80 年代以来,美国、加拿大、澳大利亚等发达国家为适应社会经济发展对地球科学数据日益增长的需求,相继实施了国家地质填图计划,开展了新一代地质填图。为了解国外地质填图方法,我们特邀请美国地质填图专家 Patrick J Barosh 教授来华与中方填图人员联合开展了东昆仑造山带野外地质填图试验。本文主要介绍 Barosh 教授的野外地质填图方法,并结合最近完成的美国地质填图成果和 USGS 编写的《地质报告编写指南》,探讨美国的地质填图方法和填图理念。

1 中美合作填图区地质地貌特征

中美合作填图区位于青藏高原东昆仑造山带东段,北距格尔木市 50km 左右。地势南高北低,平均海拔 3500m 左右。基岩切割强烈,地形陡峭,露头良

好,地层和构造复杂,前人已完成 1:20 万地质填图^①和 1:5 万地质填图^②,是开展地质填图试验的理想地区(图 1)。

填图区位于昆南地体内,北邻昆中缝合带和昆北地体,南接昆南缝合带和巴颜喀拉地体。昆北地体主要由中元古界金水口群、新元古界冰沟群等前寒武纪变质基底,古生代—中生代沉积盖层和不同时代的各类侵入岩体所组成。昆中缝合带呈北西西向从填图区北部通过,缝合带内超镁铁岩、镁铁岩和深水沉积物断续出露于清水泉、诺木洪以南、吐木勒克等地,在填图区附近表现为大规模的走滑断裂。对昆中缝合带的形成时代争论较大,有中元古代^[1]或早古生代^[2]之争。昆南地体夹持于昆中缝合带与昆南缝合带之间,至少经历了加里东期和印支期造山作用,构造变形复杂,地层时代争议较大。昆南缝合带

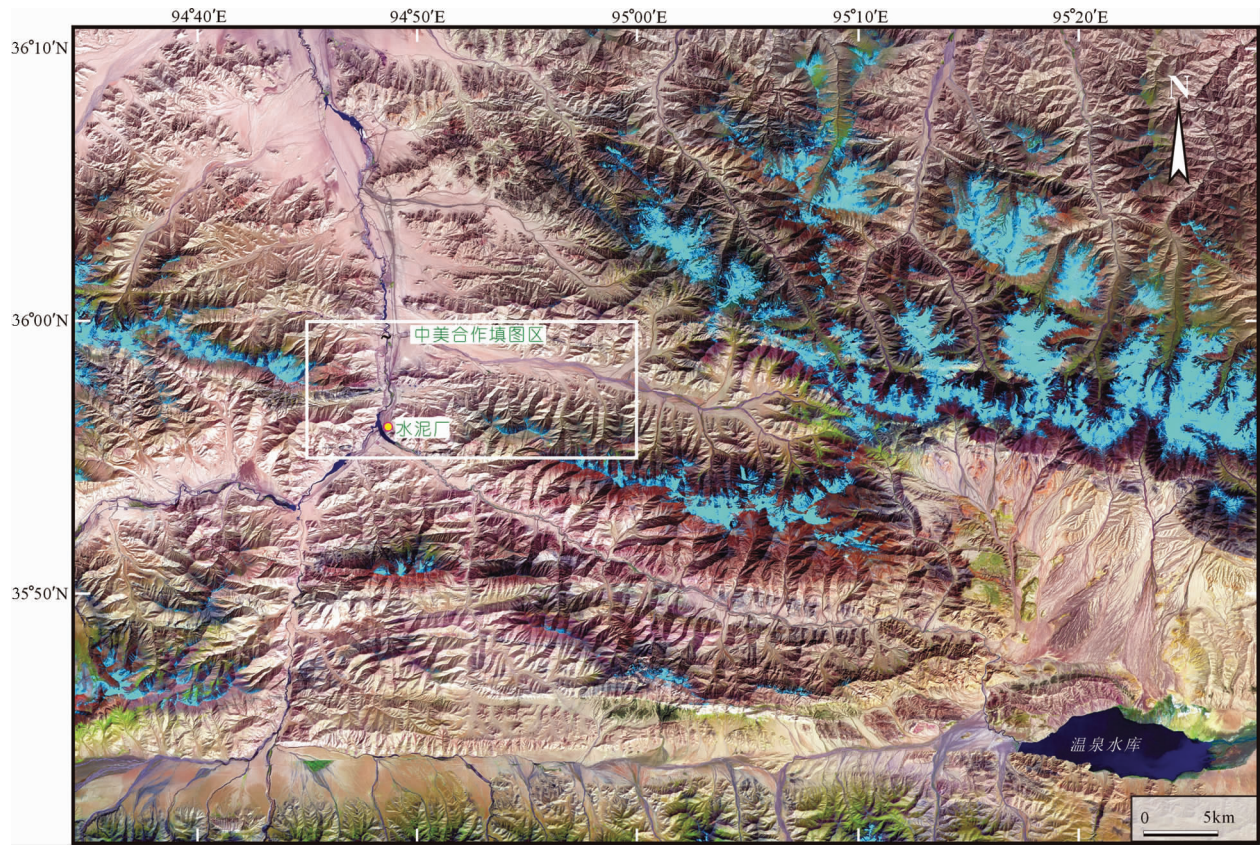


图 1 中美合作东昆仑造山带地质填图区 IRS-P6 遥感影像

Fig. 1 Remote-sensing images of IRS-P6 in the Sino-U.S. cooperative East Kunlun orogenic belt mapping area

呈北西向沿东大滩谷地分布,以大型推覆构造为标志。缝合带内断续出露晚古生代蛇绿构造混杂岩块,主要有纯橄岩、辉橄岩、辉长岩、辉绿岩、斜长花岗岩、玄武岩及放射虫硅质岩,形成时代一般认为是二叠纪—三叠纪。巴颜喀拉地体由二叠系和中下三叠统巴颜喀拉山群复理石建造构成。

2 中美合作东昆仑地质填图实践的回顾与总结

美国地质填图专家 Barosh 教授于 2005 年 6—7 月、2007 年 6—7 月和 2008 年 5 月,与中方地质填图人员共同开展了东昆仑造山带东大滩和水泥厂北一带的地质填图工作。根据中美合作地质填图的实践经验,对 Barosh 教授的野外地质填图方法简要总结如下。

2.1 填图前的准备工作

在计划进行某个特定地区的地质填图前,首先进行前人地质资料阅读、遥感地质解译工作。前人地质资料分析由中方人员辅助完成,主要包括对已有填图单位的划分及填图单位名称,主要岩性及组合变化规律,各填图单位的时代及依据,接触关系及可靠性的分析。在此基础上分析地质图中存在的问题,结合遥感图像初步确定野外重点填图区域和填图路线,原则是尽可能观察到需要检验的构造、地层和地貌特征。

由于对 ASTER 和 Hyperion 遥感数据提取的地质信息理解有限,Barosh 教授更习惯于应用可以直接进行目视解译的高空间分辨率遥感图像,如 IRS-P6 图像(图 1)和 ETM 图像。解译对象以线性构造为主,只有存在特别明显的影像特征才解译岩石和地层。一般将遥感图像上解译出来的断层和地质体界线以虚线表示,待野外填图核实后再改为实线。如水泥厂北填图区,填图前解译出近东西向、北东向和北西向 3 组线性构造。

2.2 野外地质填图路线的确定

野外填图路线需要在前一天晚上分析确定。在确定第二天工作区域、填图路线和重点观察内容时,需要考虑以下 4 个方面的情况:一是前人的地质填图结果,其地质界线是否需要重新验证,前人遗留的问题有无解决的可能性;二是当天的工作总结,主要看当天填图是否达到了预期目标,如果没有,再结合前人的地质图和遥感图确定第二天需要补充的观察点或地区;三是遥感图像解译出来而原来没有填出的地质要素,如前述的线性构造等;四是前人组图中

有无需要进一步划分和填绘的岩性段。在野外填图工作中,除解决计划内的地质问题外,还需要根据地质现象的变化和新发现不断调整填图路线的走向,对重要地质现象进行追索和观察。

2.3 野外记录方法

野外地质观察点记录内容主要包括岩石的宏观特征、岩层和构造产状、接触关系、变形特征、矿化蚀变、样品和照片位置等。在地质关系复杂区,除对地质现象进行详细的描述外,还要对观察点及周围小区域内的地质关系进行素描,补充说明地质现象(图 2)。

2.4 野外手图上地质要素的标绘

野外地质手图上标绘的地质要素包括观察点号、地质界线、产状、用符号和英文缩写字母表示的颜色和岩性、断层(实测和推测)等。由于按不规则路线进行观察和填图,每天都可以完成面积不等的填图工作。因此,野外地质手图上实际已经勾绘出当天填图所在区域的地质图。野外勾绘地质图时通常参考高分辨率卫星图像,以便对野外观察数据给出最好的地质解释。Barosh 教授强调所有地质要素的标绘必须在野外现场完成,这样可以很快发现填图区存在的问题,以便在当天或第二天的填图过程中优先解决。重要的是,野外实地勾绘地质界线和确定地质关系可以防止地质图的简单化。

2.5 填图内容

尽管前人已经建立了以组为单位的地层格架,但 Barosh 填图时更关注组内不同岩性段的对比和填图(图 3)。水泥厂北大面积分布的泥盆纪牦牛山组磨拉石建造的岩性填图就是典型的例证。牦牛山组在 1:20 万纳赤台幅^①中划入下二叠统,1:5 万水泥厂幅^②将其解体为奥陶纪—志留纪纳赤台群石灰厂组火山岩段、碳酸盐岩段和哈拉巴依沟组炭质千枚岩段,泥盆纪碎屑岩组砾岩段和砂板岩段。详细的岩性填图结果表明,1:5 万地质图中的泥盆纪碎屑岩组夹有多层流纹岩和流纹质凝灰岩,与石灰厂组火山岩段的流纹岩具有相同的岩性和变质变形特征。

除地质界线、岩层产状、断层等地质要素外,其他可识别的地质要素均为填图对象,如控制现代地貌的新生代断裂等。野外填图结果表明:填图区内东西向线性构造形成时代较早,多表现为不同地质边界断裂或韧—脆性劈理化带;而北东向和北西向断裂形成时代要晚,并控制现代河流、冲沟等微地貌,属于新生代破裂系统。这些断裂经野外验证后均标

薄片鉴定,在不同火山岩段中采集了 9 个锆石 SHRIMP U-Pb 测年样品。测年结果表明,水泥厂东下二叠统流纹岩与锯齿山一带的晚泥盆世酸性—基性火山岩系^①属同一火山—沉积系列的一部分,形成时代均为早泥盆世早期,锆石 U-Pb 年龄分别为 $(408.2 \pm 2.4) \text{ Ma}$ 和 $(407.9 \pm 3.2) \text{ Ma}$ (图 4)。详细的岩性填图和高精度的年龄测定,解决了长期争论的地层时代和构造属性的问题,也为东昆仑造山带早古生代造山事件^[9]提供了最小年龄的约束。

2.8 地质报告的编写

2008 年野外填图工作结束后,Barosh 教授在北京用 2 天时间完成了水泥厂北一带约 50 km^2 填图区的报告编写工作。由于语言障碍,报告中采用序号来代替具体的填图单位或不同岩性层的名称。报告内容包括 2 个方面:一是填图区前人工作情况介绍、基本地质特征和填图单位的基本特征;二是各岩石地层单位的描述,重点描述岩石的颜色、名称、接触关系、形成时代和空间分布。报告内容与报告编写风格和目前美国地质调查局的地质报告一样。

3 中美合作东昆仑地质填图的启示

Barosh 教授采用 USGS 的地质填图方法,在东昆仑造山带进行了近 3 个月的综合地质填图,为我们了解美国地质填图方法提供了案例,也提供了许多有益的启示。根据东昆仑地质填图实践,结合 USGS 新近完成的美国地质填图成果分析,对美国的地质填图理念和地质填图方法进行简要分析。

3.1 地质填图理念:对所有地质实体按岩性进行划分和详细填图

USGS 长期坚持为美国人民的安全、健康和幸福而工作的基本方向,肩负着为国家提供准确和详尽的地球科学信息的重任。为了完成这一历史使命,USGS 逐步形成了独具特色的填图方法体系和填图理念。“对所有地质实体按岩性进行划分和详细填图”的地质填图理念伴随 USGS 走过了 130 年曲折而艰难的历程。

这一填图理念在加利福尼亚 Cuyama 地区 1:10 万地质图中得到了充分的体现(图 5)。Kellogg 等^[4]在填制组图的基础上,突出了对组内岩性段和特殊岩层的详细填绘。除 19 个侵入体外,仅正式和非正式岩石地层单位就高达 164 个。在 33 个组级填图单位内又划分出 85 个岩性段、48 个层、特殊岩性层等

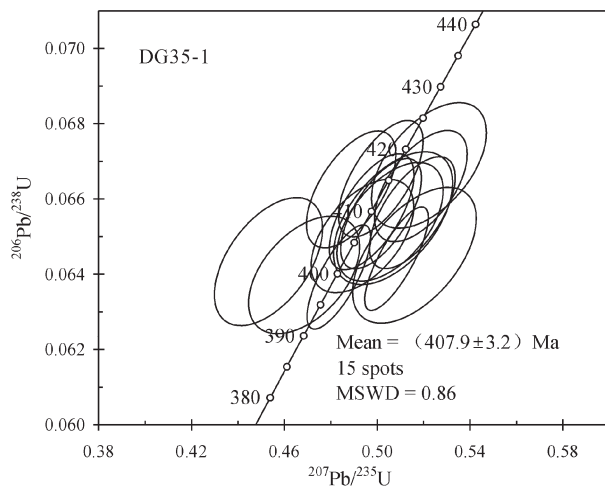


图 4 英安岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄谐和曲线

Fig. 4 SHRIMP U-Pb concordia diagram of zircons from dacite

非正式地层单位。段和层的填图不受其厚度的限制,有的厚度仅 5~15m,如 Gypsiferous 段厚 15m,流纹岩层厚 5~10m。在组图的基础上大量增加岩性段、特殊岩性层,地层和构造特征清晰可见,犹如一幅栩栩如生的大地素描图,它无疑会成为地质科学研究和国家经济建设的重要基础地质图件。

Barosh 教授在东昆仑造山带进行地质填图时,除填绘组间地质界线、断层等地质要素外,重点填绘组内岩性段和特殊岩性层,如泥盆纪磨拉石建造中的流纹岩夹层、由不同岩石类型组成的砾岩层等。这些岩性段和特殊岩层的填绘,对解决东昆仑造山带疑难地层和构造演化提供了扎实的基础资料。

3.2 前人成果:继承与更新

USGS 快速更新地质图件的关键因素之一就是対前人成果的汲取。美国地质学家在填图前要系统综合分析前人的地质、地球物理资料,编制填图区的地质草图,找出填图区存在的地质问题,确定野外重点工作地区和要解决的关键问题。USGS 在报告编写指南中对如何利用前人成果有详细的说明^[5-7],如剖面测量只有存在下列情形之一时才实测剖面:一是命名新的填图单位;二是修定原有的填图单位。换言之,如果填图区所有填图单位都有实测剖面控制并且都有效的话,就不必重复实测剖面的工作。

Barosh 教授非常重视前人填图和研究成果的综合利用,如前人填图单位的划分、各填图单位的岩性特征、时代及依据、断裂带的分布等。在填图过程中

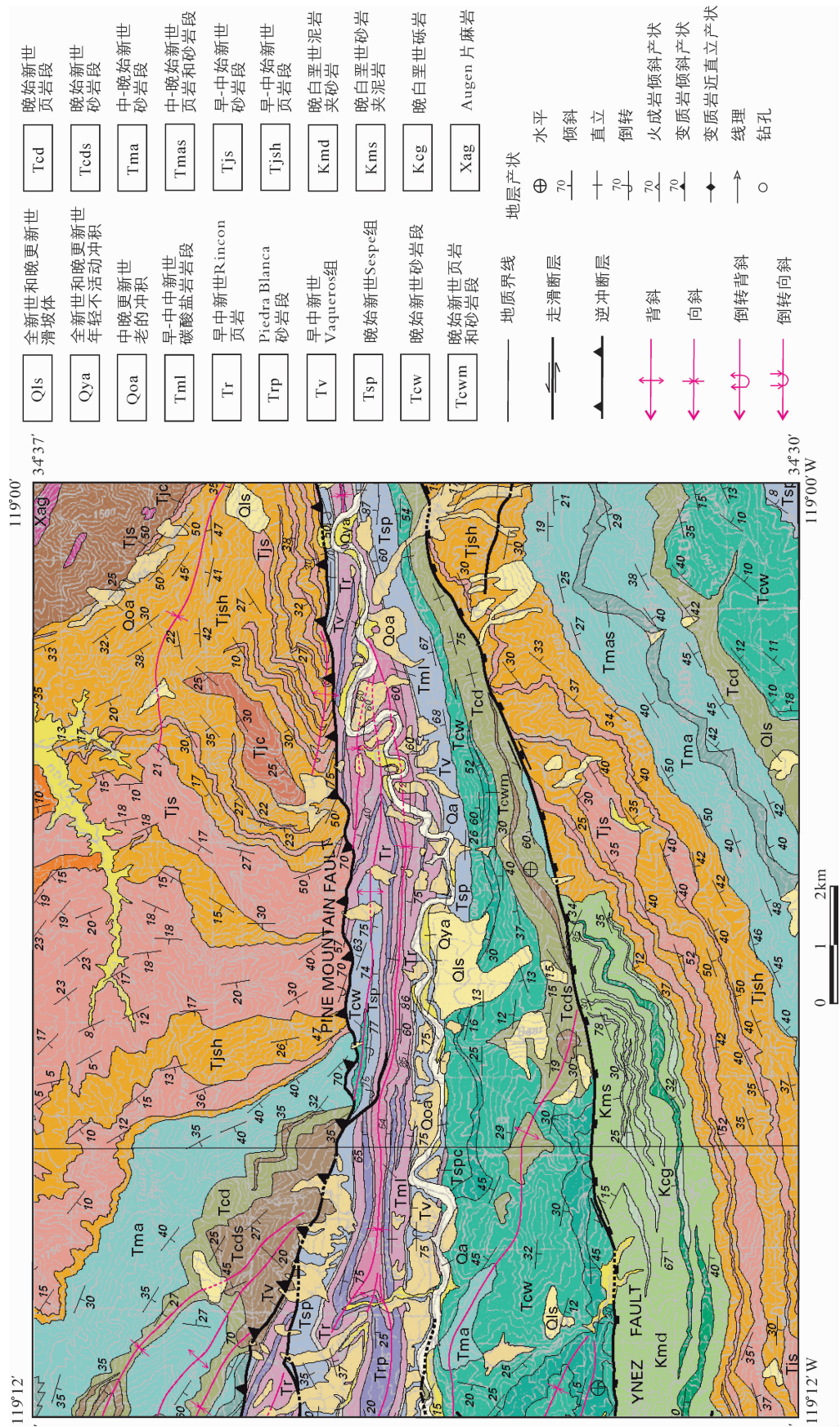


图 5 美国加利福尼亚 Cuyama 地区 1:10 万地质图(局部)(据参考文献[4])
Fig. 5 Part of 1:100000 geological map of Cuyama area, California, U.S.

对前人资料有选择性地验证,继承前人合理的填图成果,并对尚未解决的地质问题进行补充调查,填绘新的地质界线,实现地质图的更新。

3.3 填图路线:地质现象引导地质路线

“地质现象引导地质路线”是 USGS 长期采用的地质填图方法,其核心是野外现场填绘所有的地质要素。USGS 和 Barosh 教授的地质填图实践表明,根据地质现象的变化不断调整调查路线可以更好地控制地质界线和地质关系,野外迂回曲折的地质路线和面状分布的地质观察点可以真实地反映复杂的地层和构造图像(图5),这可能是 USGS 没有硬性规定地质调查路线的主要原因。但是,在 USGS 编写的《地质报告编写指南》中,对地质填图过程中涉及到的许多方面又给出了非常详细的说明和规定,这意味着 USGS 希望通过详细的地质报告编写规范引导高度灵活的地质填图。USGS 简明而规范的地质报告和丰富多彩的地质图件可以佐证。

3.4 工作模式:填图与资料数值化分离

实现野外地质数据的数值化是现代各国地质填图的总趋势,但具体工作模式各具特色。为适应“地质现象引导地质路线”的填图需要,提高野外工作效率,美国主要采用野外数据采集和数值化分离的工作模式。野外填图由填图专家和辅助人员完成,前者主要为美国地质调查局的雇员,负责完成地质填图工作,野外填图时采用卡片进行野外记录和地质现象素描;后者主要为从各大学聘请来的学生或者填图专家自己带的研究生,在野外营地负责数值化填图专家记录本上的地质资料。上述填图方法,要求野外填图按下列工作模式之一进行:每组独立填完一定区域后再拼图;或者每个填图组都进行全区填图,最后再综合归并。

以美国地质填图专家 Kellogg 为首席科学家的填图组就是一个典型的例子。他们近年来完成了美国西部内华达、科罗拉多和加利福尼亚等基岩山区的多幅 1:10 万和 1:2.4 万地质填图^[8-12]。在完成科罗拉多州一幅 1:2.4 万的地质填图时,Kellogg 负责填图,Theissen 为野外填图助手,野外资料数值化由 Young 和 Brandt 完成,而 Bill Sowers 负责设计数字地质图,Nancy Shock 准备数值地质图的 GIS 文件^[9]。

3.5 地质填图的定位:科学研究和实用并重

从昆仑山中美合作地质填图和 USGS 最新出版的 1:10 万和 1:2.4 万地质图、地质报告^[4,8-14]、报告编

写指南^[5-7]可以看出,美国地质填图的工作重点是详细填绘地质构造和各种地质实体的空间分布,查明地质体的形成时代、岩层厚度及空间变化。最大的特点就是对所有的地质实体按岩性进行划分和详细填图,并赋予形成时代的信息。这一填图方法完全体现了为国家和社会公众服务的理念。

但是,填图过程中遇到的关键地质问题需要进行深入研究,这些研究无疑有助于提高地质填图的质量和地质理论的原始创新。典型的实例如美国西部科迪勒拉造山带内伸展构造和变质核杂岩概念的提出,均来源于该区的详细地质填图。但研究定位在野外地质现象本身的研究和填图上,研究成果可以在 USGS 的系列刊物如《Journal of Research》和《Open-File Reports》等^[6]公开出版的刊物上发表,实行填图报告和专题报告的“双轨制”。地质报告和研究成果的分离,可以加快地质填图速度,并为快速更新地质图件奠定基础。

3.6 地质报告:简明而规范

USGS 从 1879 年成立之日起就对地质报告的编写给予高度重视。1909 年出版了《地质报告编写指南》(第 1 版)。其内容对报告中可能涉及到的问题都有详细说明和规定。有意思的是,此书虽然专为 USGS 雇员而写,但很快得到了其他部门地质学家的赞同和采纳。在 USGS 地质填图 130 年的发展历史中,尽管随着科学技术和地质理论的不断进步,特别是 3S 技术在地质填图中的广泛应用,《指南》内容在不断修改和完善(到 1991 年已更新到第 7 版),但 USGS 对编写地质报告的原则始终没有改变,即简明和易懂。

地质报告一般包括标题、作者、合作填图情况介绍、前言、附图和附表名称、报告摘要、报告正文等内容。报告正文包括地质填图区背景、填图区地质发展历史、各填图单位的岩石描述和参考文献,部分图幅对地质灾害也有详细的描述。地质填图背景简要回顾前人在填图区已做过的工作,说明本次填图的主要填图人员、辅助人员和合作单位的情况,简要介绍区域地质特征。填图区地质历史,根据野外观察到的角度不整合等地质现象,描述填图区地质演化历史。各填图单位的岩石描述是报告的主体,对地质图上的填图单位,包括正式填图单位和非正式填图单位,按照由新到老的顺序逐一描述。描述内容以颜色、岩性、厚度和形成时代为重点,描述时常常大量引用前人的测年数据和化石证据。如有新测或修测的剖面,

需要对剖面进行描述。参考文献是报告的重要组成部分,只要涉及到填图区的填图成果和研究成果的就全部列出,并在报告中加以引用。

从 Barosh 完成的昆仑山地质填图报告和 Kellogg 等完成的加利福尼亚 Cuyama 地区 1:10 万地质填图报告来看,报告内容及格式完全按照 USGS 编写的《地质报告编写指南》的要求,Cuyama 地区 1:10 万地质填图报告用 24 页的篇幅描述了 185 个填图单位,体现了简明而规范的编写原则。

4 结 语

Barosh 教授在东昆仑造山带的地质填图虽然只是美国地质填图专家在美国和世界各地众多地质填图活动中的冰山一角,但它折射出美国的地质填图理念和填图方法。USGS 肩负着为国家提供客观详尽的地球科学信息的重任,带着“对所有地质实体按岩性进行划分和详细填图”的地质填图理念走过了 130 年曲折而艰难的历程,诠释了地质填图的内涵。USGS 采用的“地质现象引导地质路线”的地质填图方法是应对复杂多变的地质现象的有效填图方法,但应用于澳大利亚厚层风化壳和加拿大冰雪覆盖区的高精度地球物理填图方法并没有应用到造山带地质填图中,而遥感技术成为造山带基岩区填图的重要技术支撑。尽管地球物理和 3S 技术在地质填图中的应用不断推陈出新,但是,这些现代高新技术的广泛应用并不能解释美国基岩区高效的地质填图工作,真正的驱动力是地质填图的长效机制和动态更新机制,已有地质成果的继承与利用、填图工作模式、填图与科学研究的合理定位、简明地质报告和 GIS 的地质应用才是决定地质填图速度的关键因素。

在 USGS 的发展历史中,尽管受各历史时期政治、经济及科学技术发展水平的影响,其工作重点和研究领域在不断变化,但地质填图理念、地质填图方法和地质报告风格自 USGS 成立以来未曾改变。正是由于 USGS 长期坚持为美国人民的安全、健康和幸福而工作的基本方向,最终经受住了 1995 年生存危机的考验。其发展历史耐人寻味,成功经验值得借鉴。

致谢:中国地质科学院肖序常、李廷栋院士,董树文、陈克强研究员,加拿大滑铁卢大学林寿发教授、美国麻省理工学院 Burchfiel 教授和南加州大学 Davis 教授,中国地质大学(北京)张达、刘文灿、胡玲教授及中国地质科学院地质力学研究所领导等提供

了大量的信息和帮助。参加野外填图的还有美国斯坦福大学 Marianne 博士和地质力学研究所杨欣德研究员、王彦江硕士等。在野外填图过程中得到中国地质调查局格尔木分站领导的帮助,西藏地勘局职工培训中心提供了后勤保障。在此一并致谢。

参考文献

- [1]解玉月.昆中断裂带东段不同时代蛇绿岩特征及形成环境[J].青海地质,1988,(1):27-35.
- [2]高延林,吴向农,左国朝.东昆仑清水泉蛇绿岩特征及其大地构造意义[J].中国地质科学院西安地质矿产研究所所刊,1988,21:17-28.
- [3]李荣社,计文化,赵振明,等.昆仑早古生代造山带研究进展[J].地质通报,2007,26(4):373-382.
- [4]Kellogg K S, Minor S A, Cossette P M. Geologic map of the Eastern Three-Quarters of the Cuyama 30'×60' Quadrangle, California[M]. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Map 3002, scale 1:100000.2008.
- [5]Bishop E E, Eckel E B, and others. Suggestions to the authors of the reports of the United States Geological Survey (6th ed.)[M]. Washington D C:U.S. Geological Survey,1978:1-273.
- [6]U.S. Geological Survey. Suggestions to the authors of the reports of the United States Geological Survey (5th ed.)[M]. Washington D C: U.S. Geological Survey,1958:1-255.
- [7]Hansen W R. Suggestions to the authors of the reports of the United States Geological Survey (7th ed.)[M]. Washington D C: U.S. Geological Survey,1991:1-289.
- [8]Kellogg K S, Bryant B, Redsteer M H. Geologic map of the Vail east quadrangle, Eagle County, Colorado[M]. Miscellaneous Field Studies Map MF-2375.2003.
- [9]Kellogg K S. Geologic map of the Frisco quadrangle, Summit County, Colorado[M]. U.S. Geological Survey Miscellaneous Field Studies Map MF-2340, scale 1:24000. 2002.
- [10]Kellogg K S. Geologic map of the Cuddy Valley quadrangle, Kern and Ventura Counties, California[M]. U.S. Geological Survey Open-File Report 03-153, scale 1:24000. 2003.
- [11]Kellogg K S, Shroba R R, Bryant Bruce, et al. Geologic map of the Denver West 30'×60' quadrangle, north-central Colorado [M]. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Map 3000, scale 1:100000. 2008.
- [12]Kellogg K S. Geologic map of the Dilion quadrangle, Summit and Grand Counties, Colorado [M]. U.S. Geological Survey Miscellaneous Field Studies Map MF-2390, scale 1:24000.2002.
- [13]Bryant B, Shroba R R, Harding A E, et al. Geologic map of the Storm King mountain quadrangle, Grafield County, Colorado[M]. U.S. Geological Survey Miscellaneous Field Studies Map MF-2389, scale 1:24000. 2002.
- [14]Minor S A, Kellogg K S, Stanley R G, et al. Geologic Map of the Goleta Quadrangle, Santa Barbara County, California[M]. U.S. Geological Survey Open-File Report 2007-1403, scale 1:24000. 2007.
- ① 青海省地质矿产局. 格尔木市幅、纳赤台幅区域地质调查报告(1:200000).1981.
- ② 青海省地质调查院. 水泥厂幅、忠阳山幅、黑刺沟幅区域地质调查报告(1:50000).2004.