

西藏地球化学填图及其意义

杨文采(执笔)¹⁾, 谢学锦(原创)²⁾

1) 浙江大学地球科学学院, 杭州, 310027; 2) 中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所, 北京, 100037

内容提要: 本文介绍谢学锦先生快速进行区域地球化学填图的计划在西藏取得的成果。区域水化学填图可分析66个指标, 效率高, 成本低, 见效快; 同时水化学填图的空间定位和分辨率比采集土壤样品的填图会差一些。西藏地球化学填图成果呈现了一定的规律性, 例如西藏66种元素的地球化学图中, 有三分之二沿雅鲁藏布江缝合带出现异常带。西藏许多元素的分布受雅鲁藏布江缝合带影响, 是因为特提斯洋原有的一些元素残留在雅鲁藏布江缝合带两侧。氧化钾、氧化钠沿雅鲁藏布江缝合带出现含量高的异常带, 可见特提斯洋中丰富的钾、钠成分残留在代表大洋封闭的雅鲁藏布江缝合带两侧。沿雅鲁藏布江缝合带氧化钙出现含量低的异常带, 可用特提斯洋中的碳汇作用来解释, 即特提斯洋中的钙由于碳汇作用变成碳酸盐岩石, 氧化钙出现含量低的异常。西藏的地球化学图对矿产勘查和生态环境研究也具有一定意义。

关键词: 地球化学; 填图; 西藏; 构造意义; 矿产勘查; 环境研究

2017年2月24日, 我国应用地球化学的奠基人, 中国科学院院士谢学锦先生离开了我们, 享年94岁。1994年本文第一作者(下文称笔者)在中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所当所长时, 谢学锦先生是名誉所长。他向笔者建议一个快速进行西藏地球化学填图的计划, 并在4年后完成了这个计划, 取得了西藏地球化学填图的成果。2002年他成为资深院士后, 给笔者一套西藏地球化学填图的成果图件, 希望笔者研究这些图件的大地构造意义。遗憾的是, 由于笔者对地球化学理论不了解, 一直没有完成谢先生的心愿。得知谢先生去世之后, 笔者深深自责自己的懒惰, 整理了他当年给笔者的图集, 写下了笔者初步的认识。本文中的20幅图都是谢先生的成果, 发表出来一方面可以加深对青藏高原地质构造的认识, 另一方面也表达我们对谢学锦先生的敬意和传承。

1 谢学锦先生的地球化学填图计划

谢学锦先生在1980年代就开始了中国地球化学填图计划。1993年他进一步提出全球地球化学基准填图计划。他要求通过采集分析土壤样品中的50~76个元素, 作为量化元素自然演化与人为作用

变化的参照标尺(谢学锦等, 1997, 2006; 王学求等, 2006, 2010)。与这些计划不同, 他还有一个快速进行区域地球化学填图的计划, 是通过采集河水样品实现的, 本文中的图幅都是通过采集河水样品取得的成果。

区域水化学填图的计划1995~1998年实施, 在西藏各个河流及其各级支流的河口采集河水样品, 然后分析66个指标。分析的化学元素和其它指标包括: Ag、Al₂O₃、As、Au、B、Ba、Be、Bi、Br、CaO、Cd、Ce、Cl、Co、Cr、Cs、Cu、Dy、Er、Eu、F、Fe₂O₃、Ga、Gd、Ge、Hg、Ho、Hf、In、K₂O、I、La、Li、Lu、MgO、Mn、Mo、Na₂O、Nb、Nd、Ni、P、Pb、Pd、Pr、Pt、Rb、S、Sb、Sc、Se、SiO₂、Sm、Sr、Ta、Tb、Th、Ti、Tm、U、V、W、Y、Yb、Zn、Zr。由于采集的河水样品分布比较不均匀, 而河水是流动的, 水化学填图的成果的空间定位和分辨率比采集土壤样品的填图成果会差一些, 但是水化学填图效率高, 成本低, 见效快。

2 西藏的水地球化学填图成果

经过谢学锦先生和他的研究生4年努力, 西藏的水地球化学填图取得最终成果, 部分图集示于图1~图5。图中元素含量的等值线有两种不同的标

注: 本文为国家自然科学基金资助项目(编号:41574111)的成果。

收稿日期: 2017-03-01; 改回日期: 2017-03-03; 责任编辑: 章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2017.02.001

作者简介: 杨文采, 男, 1942年生。1964年毕业于北京地质学院物探系, 1984年在加拿大McGill大学取得博士学位; 现为教授, 博士生导师, 中国科学院院士。主要从事固体地球物理学研究。Email: yangwencai@cashq.ac.cn。

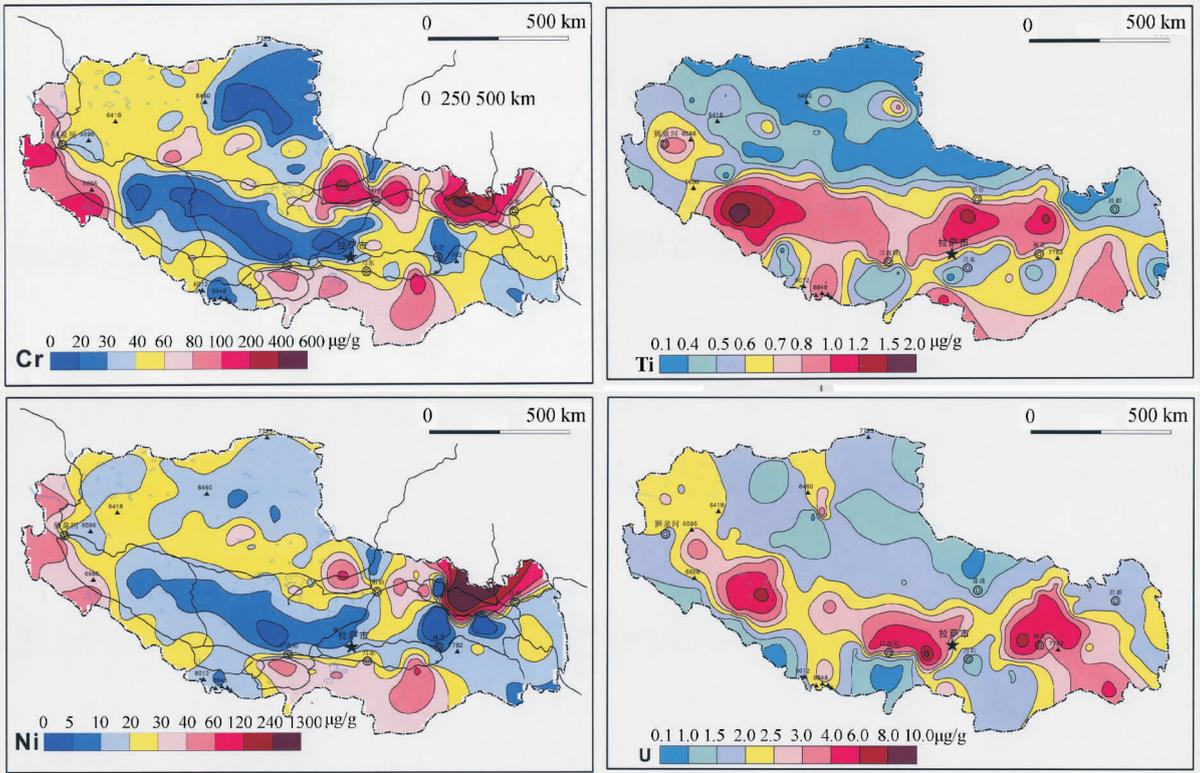


图1 西藏四种金属元素 Cr、Ni、Ti、U 的地球化学图

Fig. 1 Geochemical maps of elements Cr, Ni, Ti and U in Xizang(Tibet)

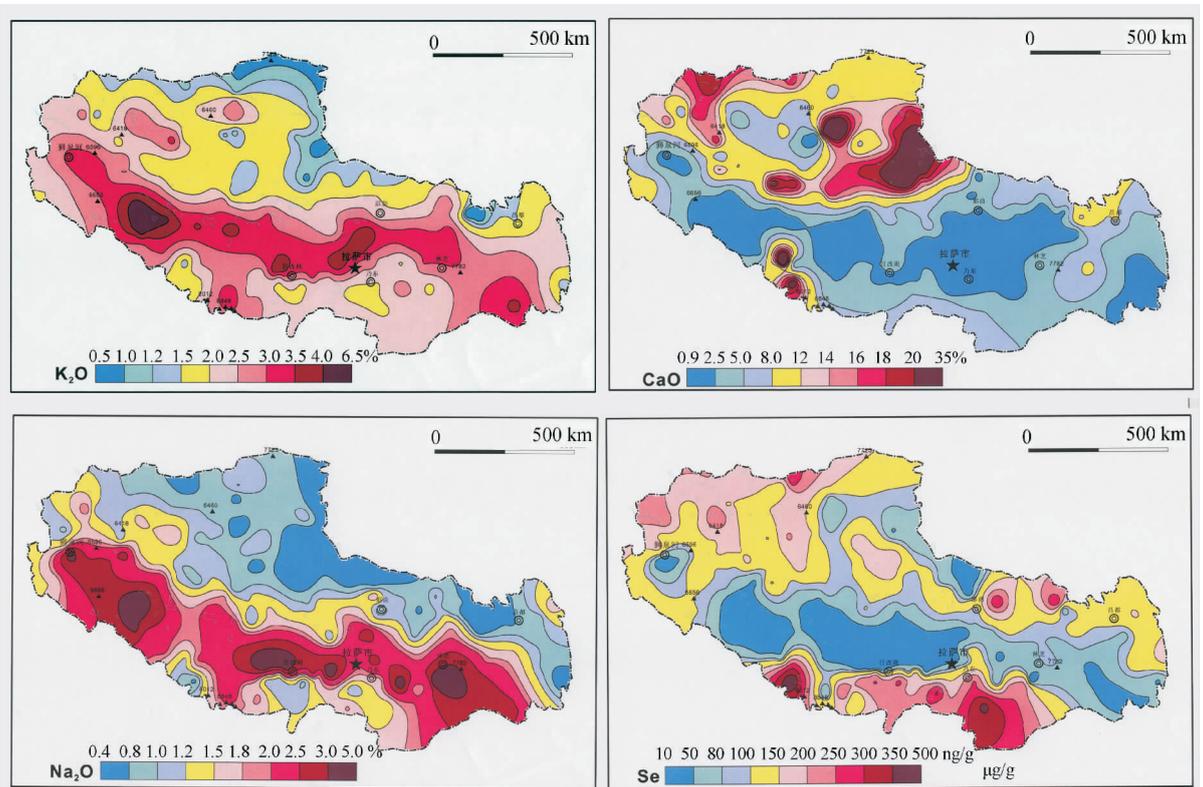


图2 西藏四种非金属元素 K₂O、Na₂O、CaO 和 Se 的地球化学图

Fig. 2 Geochemical maps of K₂O, Na₂O, CaO and Se in Xizang(Tibet)

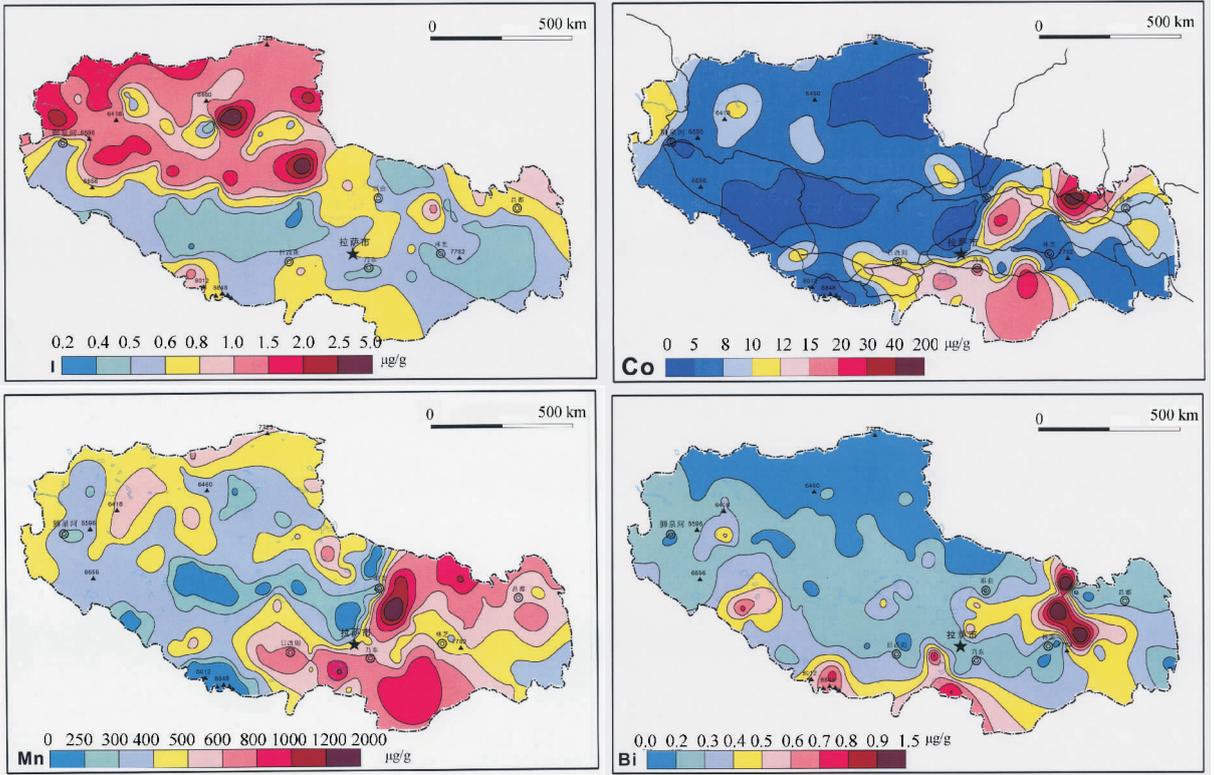


图 3 西藏四种元素 I、Mn、Co、Bi 的地球化学图

Fig. 3 Geochemical maps of elements I, Mn, Co and Bi in Xizang(Tibet)

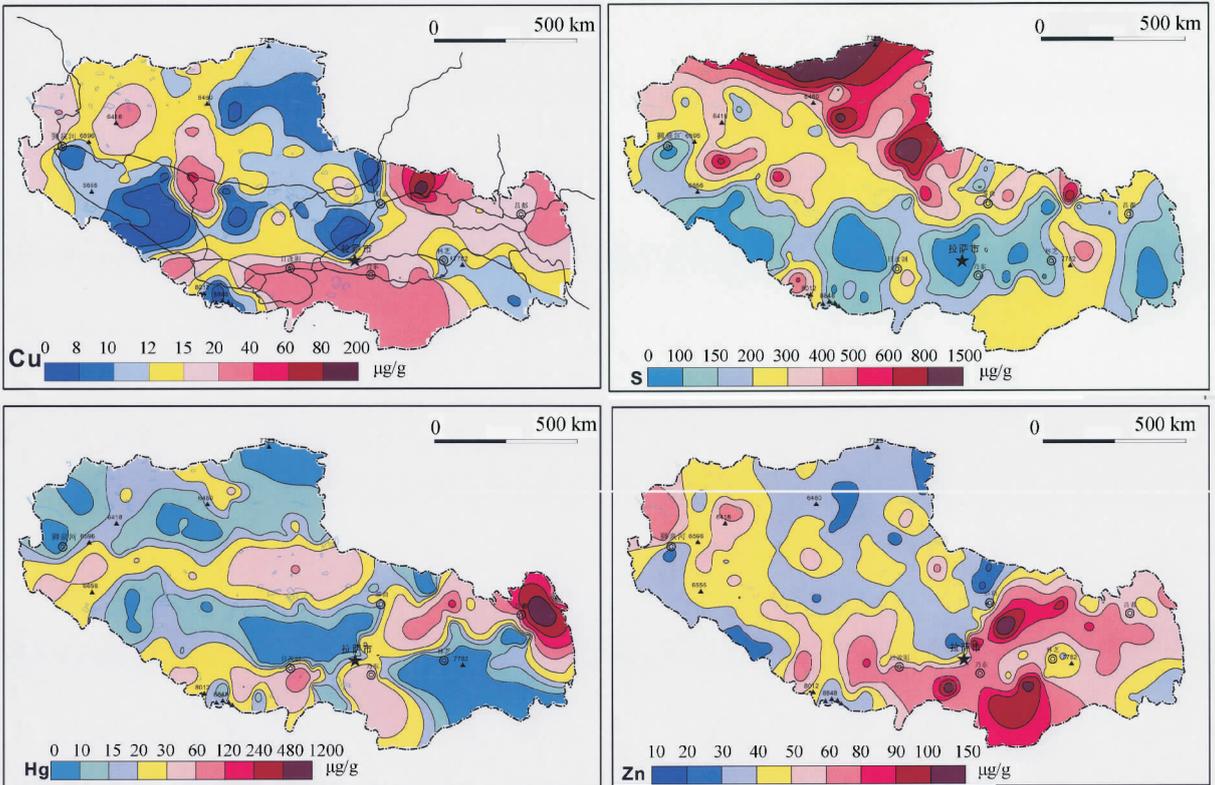


图 4 西藏四种亲硫元素 Cu、Hg、S、Zn 的地球化学图

Fig. 4 Geochemical maps of elements Cu, Hg, S and Zn in Xizang(Tibet)

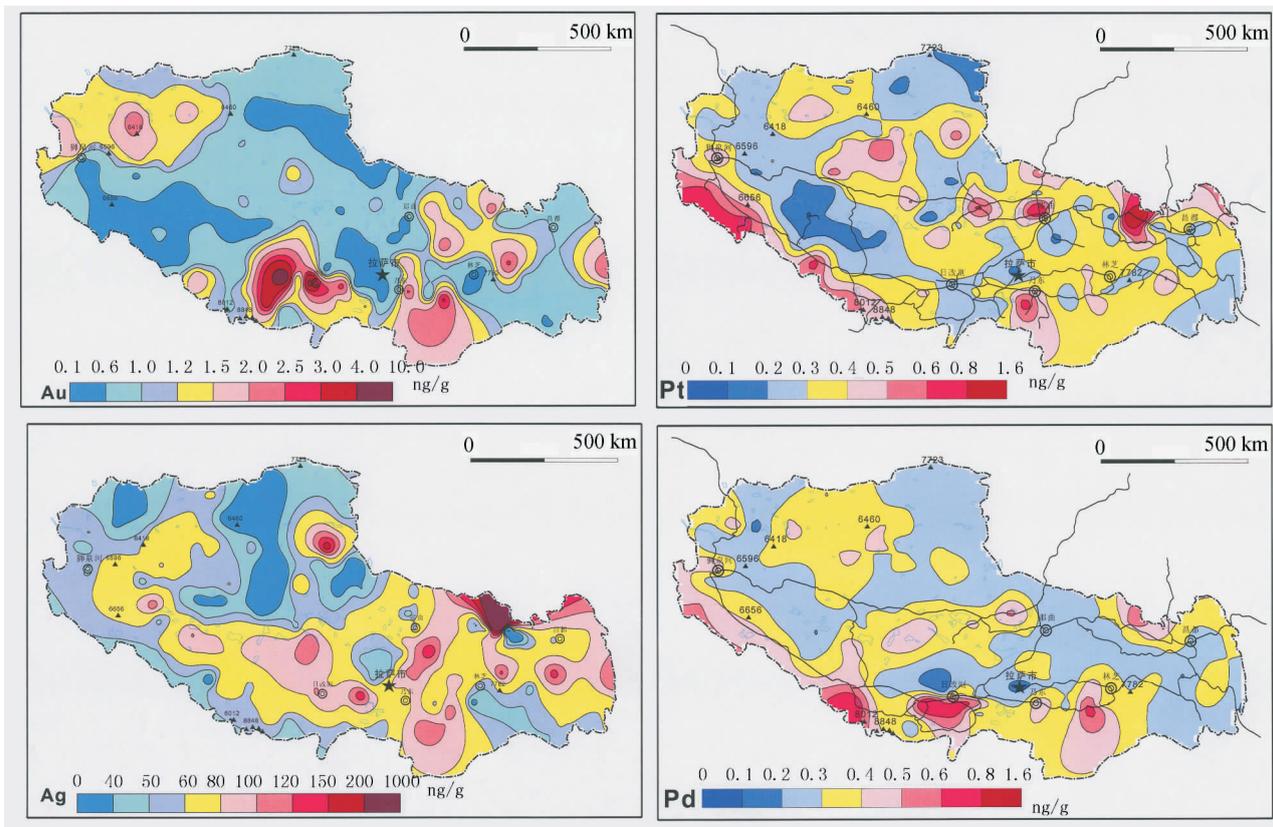


图5 西藏四种金属元素 Au、Ag、Pt、Pb 的地球化学图

Fig. 5 Geochemical maps of elements Au, Ag, Pt and Pd in Xizang(Tibet)

志。一种是相对含量的比值,单位是 $\mu\text{g/g}$ 。另一种是相对比值,单位是百分比。以图 2 为例,西藏 K_2O 、 Na_2O 、 CaO 用的单位是百分比,Se 单位是 $\mu\text{g/g}$ 。图中用颜色表示含量的高低,红色表示含量高的异常,蓝色表示含量低于克拉克值的异常。

西藏 66 种元素的地球化学图中,分布模式虽然大不一样,但是有三分之二与图 1 四种金属的地球化学图相像,这就是沿雅鲁藏布江缝合带出现了元素含量的异常带。图 1 中西藏金属元素 Cr、Ni 是含量低的异常带,Ti 和 U 是含量高的异常带。图 2 是西藏 K_2O 、 Na_2O 、 CaO 、Se 的地球化学图。 K_2O 、 Na_2O 是含量高的异常带,CaO 和 Se 是含量低的异常带。由此可见,雅鲁藏布缝合带对青藏高原地球化学元素的分布有重要影响。

然而,也有一些元素的分布模式不同于沿雅鲁藏布江缝合带。图 3 是西藏四种元素 I、Mn、Co、Bi 的地球化学图。I 的地球化学图呈现南北分区的模式,北部的羌塘为含量高的异常区;南部为低异常区。Mn 和 Co 的地球化学图呈现东南—西北分区的模式,东南部为高异常区;西部、北部的含量低的

异常区。Bi 的地球化学图呈现全区低异常的模式,只是在东部南部有局部高异常区。由此可见,雅鲁藏布缝合带对 Bi 和 Co 的分布几乎没有影响。

再来看看亲硫元素 Cu、Hg、S、Zn 的地球化学图(图 4)。看上去这些元素的分布既受雅鲁藏布江缝合带的影响,又受羌塘盆地的影响。Cu 和 Hg 在雅鲁藏布江缝合带和羌塘盆地都呈现低异常。S 的地球化学图在雅鲁藏布江缝合带为低异常区,在羌塘盆地呈现高异常。Zn 似乎相反,在雅鲁藏布江缝合带为高异常区,在羌塘盆地呈现低异常。由此可见,青藏高原元素的分布受地层构造等多因素的影响,要综合分析。图 5 中四种金属元素金、银、铂、铅的分布更为复杂,更要考虑多种因素的影响。

3 西藏地球化学填图成果的意义

由于上述西藏地球化学填图成果呈现了一定的规律性,说明它们对大地构造研究和矿产勘查具有一定的意义。首先我们要问,为什么许多元素的分布会受雅鲁藏布江缝合带的影响?

雅鲁藏布江缝合带是亚欧板块和印—澳板块的

分界线,代表了 30 Ma 前消亡的特提斯洋(杨文采等, 2014, 2015, 2016)。雅鲁藏布江缝合带南边为喜马拉雅碰撞造山带,北边为冈底斯俯冲造山带(孙艳云等, 2015, 2016)。在 80Ma 前印度次大陆向北漂移(图 6a),南边的印度洋正在扩张,北边的特提斯洋正在消减。特提斯洋板块的俯冲在亚欧大陆南缘形成冈底斯海沟—岛弧体系,使碰撞前特提斯洋逐渐消减成为位于印度次大陆北方的洋陆转换带(图 6b)。印度和亚欧大陆南缘碰撞后特提斯洋逐

渐消失,印度次大陆继续向亚欧大陆岩石圈俯冲,形成喜马拉雅造山带;原来的冈底斯海沟—岛弧体系也隆升成为现今冈底斯山脉。喜马拉雅带主碰撞期 55 ~ 40Ma,碰撞晚期的陆—陆俯冲期开始于 30Ma 左右,现在高喜马拉雅还处在碰撞晚期阶段。雅鲁藏布江缝合线以地表出露蛇纹岩套和强地磁异常带为特征。与阿尔卑斯演化碰撞造山带的地壳结构相比,可知特提斯洋逐渐消减过程可分为以下 3 个阶段。

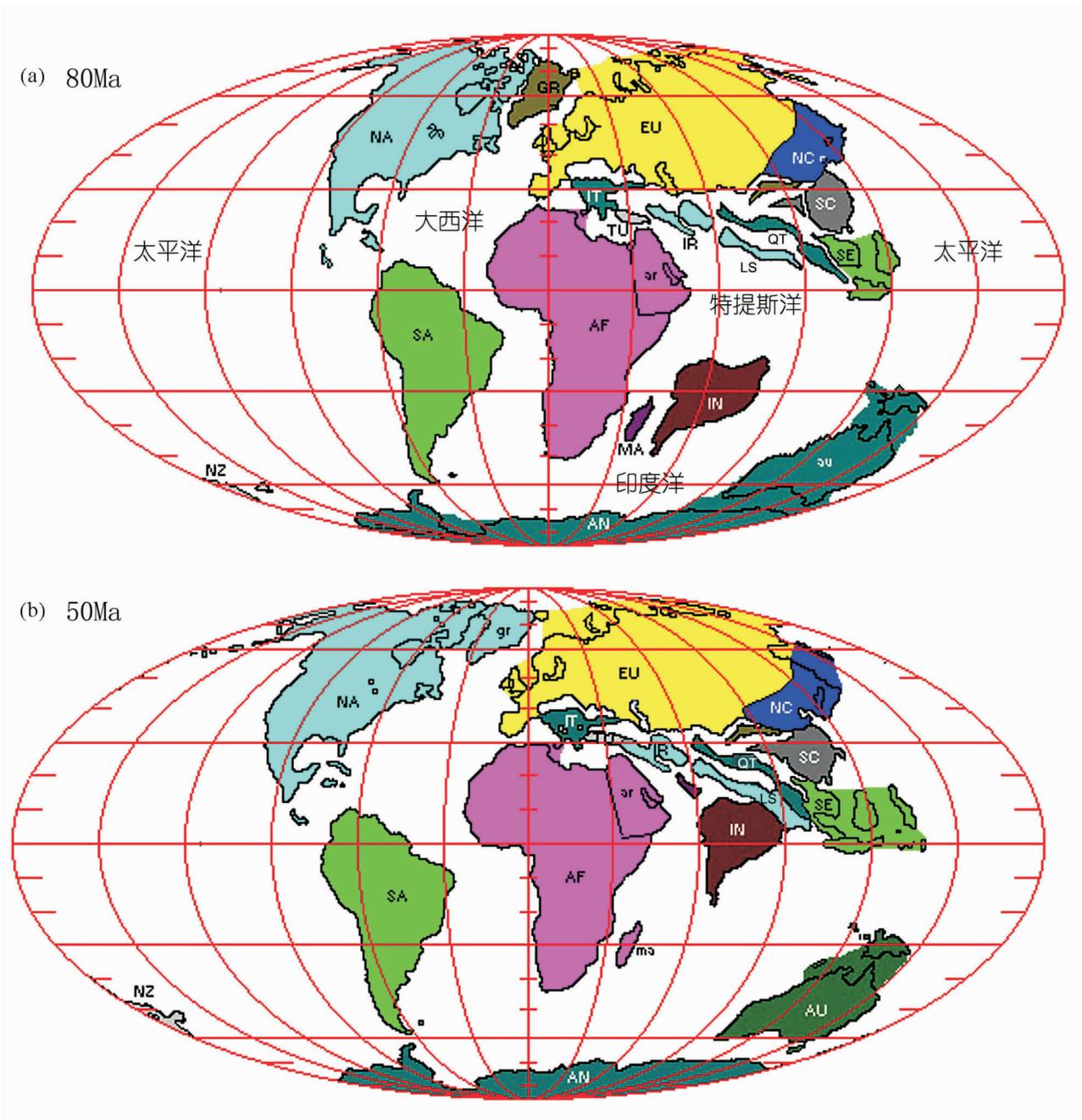


图 6 特提斯洋逐渐消减过程的古大陆分布: (a) 为 80Ma; (b) 50Ma

Fig. 6 Paleogeographic maps of continental distribution and Tethys Ocean in 80Ma (a) and 50Ma (b)

(1) 碰撞前期 (图 6), 大洋尚未完全闭合。这个阶段特提斯洋向亚欧板块下方俯冲, 大洋逐渐萎缩消减。

(2) 主碰撞期 (55 ~ 30Ma 左右), 碰撞首先在印度次大陆北缘的凸出部, 即东西两个造山带开始, 然后沿雅鲁藏布江一线展开。随着陆缘海逐渐闭合, 印度与亚欧两大陆边缘的洋—陆转换带联在一起, 形成雅鲁藏布缝合带。随着碰撞挤压的持续, 两个大陆板块的地壳开始拆离和互相穿插, 但俯冲洋壳仍然存在于岩石圈下部, 造山带地壳还没有明显加厚。

(3) 碰撞晚期陆—陆俯冲 (30Ma—现在), 碰撞后印度板块向北的冲力和俯冲前方特提斯洋板块的

拖曳力仍然持续, 造成了印度板块向亚欧板块的陆—陆俯冲。陆—陆俯冲使两个板块互相穿插, 岩石圈发生了剧烈的变形, 加厚了造山带地壳, 形成大量地壳拆离断层和推覆体。原先特提斯洋壳物质被揉碎破坏, 少量沿缝合线仰冲, 包括被挤出的蛇绿岩套及地表混杂堆积, 沿雅鲁藏布江一线展布。这种陆—陆俯冲现在还在进行中。

为什么许多元素的分布会受雅鲁藏布江缝合带的影响? 因为特提斯洋虽然封闭了, 但是它原有的一些元素仍然残留在代表大洋封闭的雅鲁藏布江缝合带两侧。西藏 66 种元素的地球化学图中, 有三分之二有沿雅鲁藏布江缝合带出现高或者低的含量异常带。图 2 中 K_2O 、 Na_2O 沿雅鲁藏布江缝合带

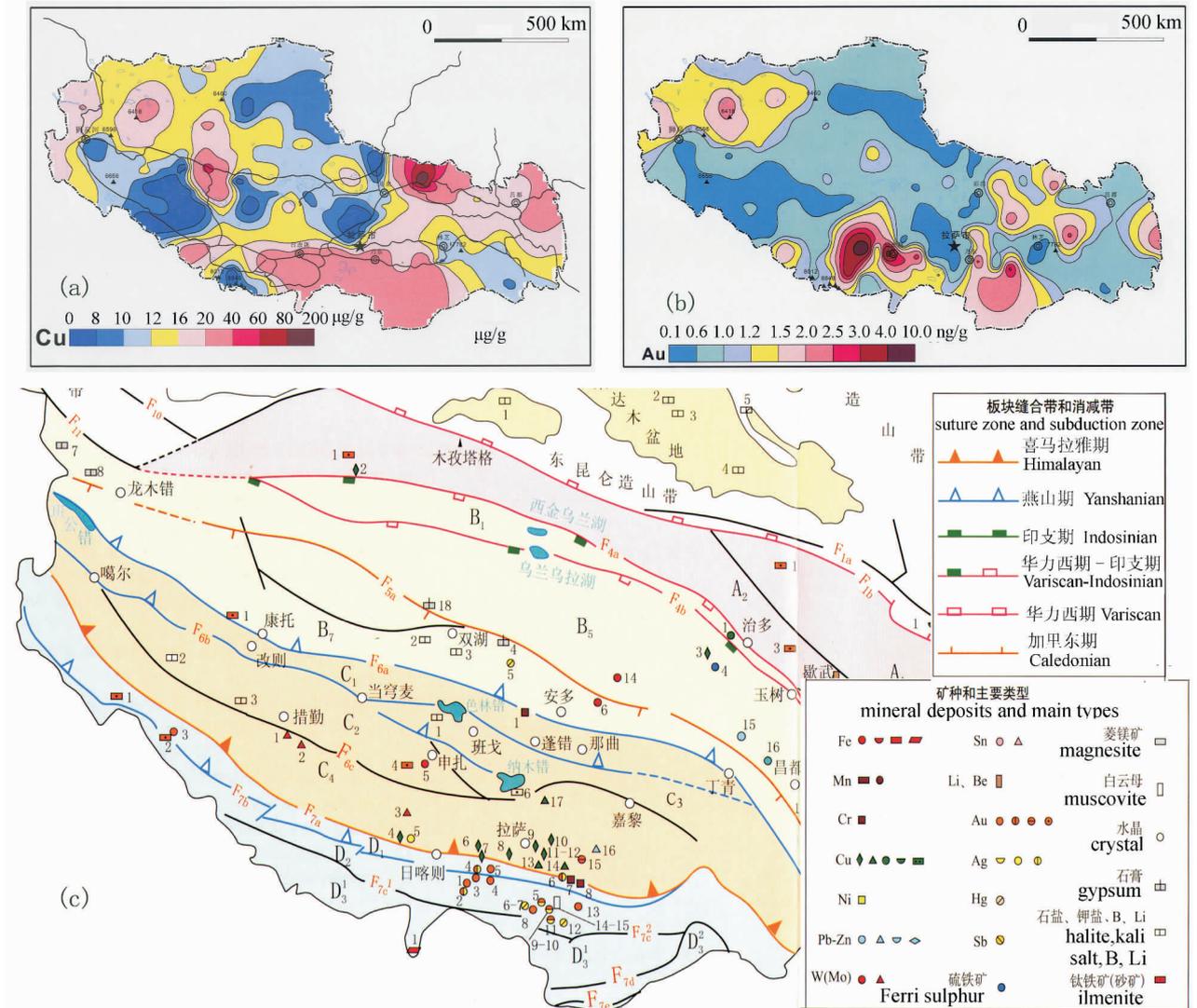


图 7 西藏铜、金地球化学图与矿产分布图的对比: (a) 铜地球化学图; (b) 金地球化学图; (c) 矿产分布图

Fig. 7 Comparison between mineral deposits location map (c) and geochemical maps of elements Cu (a), and Au (b) in Xizang (Tibet)

出现含量高的异常带,可见特提斯洋海水中丰富的钾、钠成分残留在代表大洋封闭的雅鲁藏布江缝合带两侧。沿雅鲁藏布江缝合地带 CaO 出现含量低的异常带,可用特提斯洋中的碳汇作用来解释,即特提斯洋中的 Ca 由于碳汇作用变成碳酸盐岩石, CaO 出现含量低的异常。残留在代表大洋封闭的雅鲁藏布江缝合带两侧,也形成 CaO 出现含量低的异常带。这个例子说明,上述西藏的地球化学图对大地构造研究是有意义的。进一步研究元素空间分布总体特征与基础地质的关系,可望取得更多成果。上述西藏的地球化学图对矿产勘查具有一定意义是不言而喻的。图7为西藏铜、金地球化学图与矿产分布图(Ren Jishun, 2013)的对比。由此可见,矿产分布图上位于拉萨以南的铜金矿产密集区和铜、金地球化学图中的高值异常区位置很吻合。因此,图4和图5中亲硫元素 Cu、Hg、S、Zn、Pb 的和贵金属元素 Au、Ag、Pt 的地球化学局部异常,都对矿产勘查具有一定指导意义。当然,水化学填图的成果的空间定位和分辨率不高,只能用于矿产普查阶段。进一步研究元素空间分布总体特征与矿产资源的关系,可望取得更多成果。

上述西藏的地球化学图对生态环境研究也具有一定意义。图2中元素硒沿雅鲁藏布江缝合带降低,图3中元素碘沿雅鲁藏布江缝合带也降低,不过碘在羌塘盆地呈现高异常。这些信息对雅鲁藏布江河谷地区的地方病防治有指导意义。进一步研究元素空间分布与环境的关系可望取得更多成果。

4 结论

(1) 区域水化学填图可分析 66 个指标,效率高,成本低,见效快;水化学填图的空间定位和分辨率比采集土壤样品的填图会差一些。

(2) 西藏地球化学填图成果呈现了一定的规律性,例如西藏 66 种元素的地球化学图中,有三分之二沿雅鲁藏布江缝合地带出现了含量高或者低的异常带。

(3) 西藏许多元素的分布会受雅鲁藏布江缝合带影响的原因,是因为特提斯洋原有的一些元素残留在雅鲁藏布江缝合带两侧。氧化钾、氧化钠沿雅鲁藏布江缝合地带出现含量高的异常带,可见特提斯洋海水中丰富的钾、钠成分残留在代表大洋封闭的雅鲁藏布江缝合带两侧。沿雅鲁藏布江缝合地带氧化钙出现含量低的异常带,可用特提斯洋中的碳汇作用来解释,即特提斯洋中的钙由于碳汇作用变

成碳酸盐岩石, CaO 出现含量低的异常。

(4) 西藏的地球化学图对矿产勘查和生态环境研究也具有一定意义。

致谢:当年中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所地球化学勘查研究室的研究生和许多同事参加了西藏地球化学填图的样品采集分析工作。由于谢学锦先生生前没有说出他们的名字,无法把他们录入作者名单,只能在此对他们表示抱歉,并对他们的贡献表示万分感谢。

参 考 文 献 / References

- (The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; the literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)
- 孙艳云,杨文采,侯遵泽,于常青. 2015. 青藏高原刻痕与地壳分层构造. 地质论评,61(2): 269~280.
- 王学求,谢学锦,张本仁,张勤,迟清华,侯青叶,徐善法,聂兰仕,张必敏. 2010. 地壳全元素探测——构建“化学地球”. 地质学报,84(6):854~864.
- 王学求,徐善法,程志中,刘红艳,师淑娟. 2006. 国际地球化学填图新进展. 地质学报,80(10): 1598~1606.
- 谢学锦,刘大文. 2006. 地球化学填图与地球化学勘查. 地质论评,52(6): 721~732.
- 杨文采,于常青. 2014. 从地壳上地幔构造看大陆碰撞造山作用. 地质论评,60(2):237~259.
- 杨文采,孙艳云,于常青. 2015a. 青藏高原地壳密度变形带及构造分区. 地球物理学报,58(11):4115~4128.
- 杨文采,侯遵泽,于常青. 2015b. 青藏高原地壳的三维密度结构和物质运动. 地球物理学报,58(11):4223~4234.
- Ren Jishun. 2013. International Geological Map of Asia. Beijing: Geol. Pub. House: 1~12.
- Sun Yanyun, Yang Wencai, Hou Zunze, Yu Changqing. 2015&. Deformation scratches and crustal structures in Xizang (Tibet) plateau. Geological Review 61(2): 269~280.
- Sun Yanyun, Yang Wencai, Hou Zunze, Yu Changqing. 2016. The crustal density structures and deformation scratches in Qinghai—Tibet Plateau. J. Applied Geophysics, 135: 32~42.
- Wang Xueqiu, Xu Shanfa, Cheng Zhizhong, Liu Hongyan, Shi Shujuan. 2006&. Progress on international geochemical mapping. Acta Geologica Sinica, 80(10): 1598~1606. Wang Xueqiu, Xie Xuejin, Zhang Benren, Zhangqing, Chi Qinghua, Hou Qingye, Xu Shanfa, Nie Lanshi, Zhang Bimin. 2010&. China Geochemical Probe: making Geochemical Earth. Acta Geologica Sinica, 84(6): 854~864.
- Xie X, Cheng H. 1997. The suitability of floodplain sediment as global sampling medium: evidence from China. In: Taylor G F and Davy R. eds. Geochemical Exploration 1995. J. Geochemical Exploration, 58: 51~62.
- Xie Xuejin, Liu Dawen. 2006&. Geochemical mapping and geochemical exploration. Geological Review, 52(6): 721~732.
- Yang Wencai, Yu Changqing, 2014&. Continental collision process revealed by worldwide comparison of crust and upper mantle structures (1). Geological Review, 60(2): 237~259.
- Yang Wencai, Hou Zunze, Yu Changqing. 2015&. The three

dimensional density structures of Qinghai—Tibet Plateau and crustal mass movement. *Chinese J. Geophys.*, 58(11): 4223 ~4234.

Yang Wencai, Sun Yanyun, Yu Changqing. 2015. The 3D density structure and deformation belts in Qinghai—Tibet Plateau. *Chinese J. Geophys.*, 58(11): 4115 ~4128.

Yang Wencai, Chen Zhaoxi, Hou Zunze, Men Xianhong. 2016. Three dimensional crustal density structure of Central Asia and its geological implications. *Acta Geophysica*. vol. 64, DOI: 10.1515/acgeo-2015-0056.

Geochemical Mapping in Xizang(Tibet) and Its Significances

YANG Wencai¹⁾, XIE Xuejin²⁾

1) *College of Geosciences, Zhejiang University, Hangzhou, 310027;*

2) *Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Chines Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037*

Abstract: This paper introduces the efficient geochemical mapping project that was proposed by Prof. XIE Xuejin in 1990s and shows its resulting maps of element distribution. It used water chemical sampling and analysis to obtained 66 geochemical quantities. This method enjoys efficient and fact mapping process, but with lower spatial resolution comparing to the deep soil sampling. The resulting maps in Xizang (Tibet) show some regularity of elements distribution, as 2/3 maps have anomalies located along the Yarlung River Suture. The reason of this elements distribution patterns involved with closing of the Tethys Ocean that contained some rich elements and left along the Yarlung River Suture, causing high-contents of K_2O and Na_2O . On the other hand, it also caused low-content of CaO , due to the carbonate deposition in the Tethys Ocean. The resulting maps in Xizang(Tibet) may have significant also for mineral exploration as well as environmental and ecology studies.

Key words: Geochemical exploration; mapping; Xizang(Tibet); tectonics; environmental

Acknowledgements: Thank to colleagues in Institute of Geophysical and Geochemical Exploration who supported this research.

Introduction to Author: Prof. Yang Wencai, Ph. D. on geophysics from McGill University in 1984, an academican of Chinese academy of Science in 2005. Email: yangwencai@cashq.ac.cn

Manuscript received on: 2017-03-01; Accepted on: 2017-03-03; Edited by: ZHANG Yuxu.

Doi: 10.16509/j.georeview.2017.02.001