第76卷 第1期 地 质 学 报 ACTA GEOLOGICA SINICA Vol. 76 No. 1
2002年2月 Feb. 2002

沐川太平砂岩型铼钼(锇)矿点的地质特征和矿化时代

曹志敏[1,3] 骆耀南[2] 王汝成[3] STEIN H. J.[4] HANNAH J. L.[4] MARKEY R. J.[4]

1) 青岛海洋大学地学院，266003；2) 四川省地质勘查局，成都，610041

3) 南京大学内生矿床成矿机制国家重点实验室，210093

4) AIRIE Program，Colorado State University，Fort Collins，美国

内容提要 四川沐川县民主—太平一带含钼砂岩为一新矿化类型——沉积砂岩型铼钼(锇)矿点。X-射线粉晶衍射分析结果表明其中微—细晶鳞片状含钼矿物为晶质辉钼矿；高精度质谱分析发现辉钼矿中分散元素 Re 和铂族元素 Os 含量很高，具有重要的综合利用价值；高精度 Re-Os 同位素测年证明辉钼矿形成年龄与含矿的中生代红层盆地砂岩同期，未发现任何热液活动迹象或构造活动影响，认为辉钼矿属同生沉积产物。这一发现和研究对于矿物学和矿床学均具有重要的理论意义和应用价值。

关键词 铼钼(锇)矿床 含钼砂岩 辉钼矿 Re-Os 同位素测年 四川省沐川县

四川省乐山地区沐川、马边等地中生代红层中曾相继发现含钼砂岩层。因当时调查范围及其他技术原因否定了该区钼的工业意义，也未可能就铼和锇的利用价值进一步开展工作和研究。但因其矿化元素组合特殊，曾引起一些专家的兴趣，1981 年曾报道发现沐川矿(张汝柏等，1981)，后又被怀疑并不是新矿物，本来就是辉钼矿(Michael Fleischer at al.，1982)。传统理论一向认为沉积岩中拟或沉积条件下不可能有辉钼矿沉淀。近年来随着分散元素成矿作用研究的深入和突破性进展(陈毓川等，1993；曹志敏等，1993；涂光炽，1994；曹志敏等，1995)的启示，在更大更广阔地质背景下讨论、研究、寻找稀有、分散、贵金属的可能日益受到重视。我们应用新思路、新技术方法重新考查分析该区具有重要经济和科学价值的含钼砂岩矿化现象，取得重要进展。在沐川县太平等地深入细致地质调研和吸收前人工作成果的基础上，为进一步了解矿化特征、矿物及其主要化学成分，查明沐川含钼砂岩中的辉钼矿与红层沉积岩的关系、矿床成因及其成矿远景，我们在美国科罗拉多州立大学 AIRIE(工业与环境应用同位素)实验室测定了辉钼矿的 Re－Os 同位素年龄，并用该校热负离子质谱仪发现其特高锇、铼含量，为进一步评价其科学意义与工业利用前景提供了重要线索。

含矿砂岩产地位于乐山市沐川(太平乡铜厂沟)、马边(民主乡铜槽子和绿茵沱)县境内，距乐山分别为 70 km、125 km，交通方便。区域内中生代红层砂岩过去曾有铜矿开采史，具体年代不详。

区域范围出露前寒武系基底变质岩地层和上古生界碳酸盐岩层，局部见弱矿化的二叠纪峨眉山玄武岩。中生代盆地地层由三叠系厚层砂岩、侏罗系泥砂岩和白垩系细砂岩夹粘土岩层组成；主要构造为沐川炭库—马边荞坝向斜，两翼出露侏罗系红层砂岩，产状平缓(5～10°)，断裂构造不发育(图 1)。

矿床地质特征：1972 年至 1974 年四川省地质局二〇七地质队在马边、犍为、沐川普查评价确认其为铜-钼矿化，钼含量达到工业要求①。含矿层在沐川为侏罗系上沙溪庙组(J_2s)，马边为蓬莱镇组(J_3p)，矿层赋存于浅紫色与浅灰色厚—块状层、细—中粒钙泥质胶结的亚长石砂岩①下部，呈暗紫色、暗紫红至暗砖红色泥质粉砂岩及砂质粘土岩的不等厚互层。层间夹厚层—块状浅灰白色岩屑长石石英砂岩，砂岩延伸不稳定，常呈透镜体。顶界处为一厚 1～2m 紫红—浅灰—灰色砂质灰岩或灰岩；矿化层为中厚层—块状细—中粒浅灰白色岩屑长石石英砂岩，岩性单一，具水平层理、斜层理及楔状层理，层厚横向变化大，向北、向南两侧均渐次为紫红色泥质粉

注：本文为国家重大基础研究发展规划项目(编号 G1999043205)、国家自然科学基金资助项目(编号 49633110，40072037)的成果。

① 四川省地质勘查局 207 队. 1974. 马边民主公社含钼砂岩踏勘报告.

收稿日期：2001-07-02；改回日期：2001-09-04；责任编辑：章雨旭。

作者简介：曹志敏，博士，现任青岛海洋大学教授、博士生导师，从事金属矿床地质地球化学和现代成矿作用研究与教学。电话：0532—2032635(Fax)；Email：zmcao@mail.ouqd.edu.cn。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

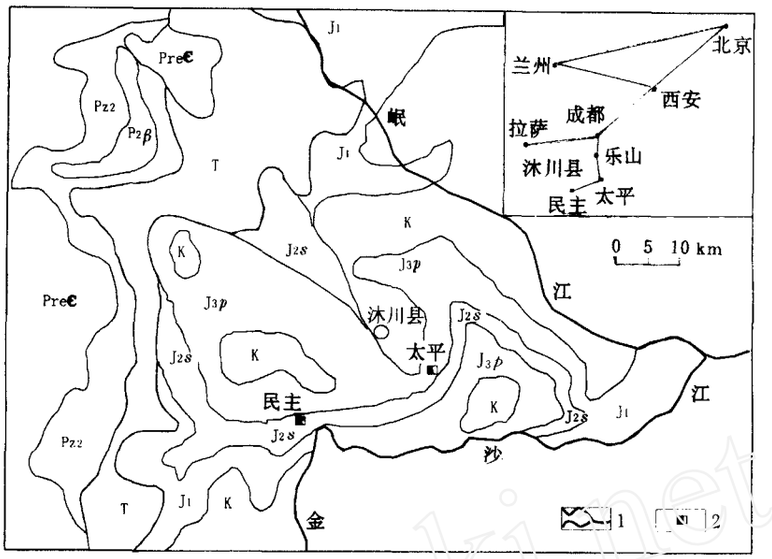


图 1 沐川太平砂岩型铼钼(铼)矿产出地质简图及交通位置示意图

Fig. 1 Sketch of geology and location in the Muchuan sandstone type Mo-Re (-Os) mineral deposit

K—白垩系紫色砂岩夹薄层状粘土岩；J_3p—上侏罗统红色砂岩、细砂岩；J_2s—中侏罗统紫灰色钙质—泥质长石砂岩夹含钼砂岩矿层；J_1—下侏罗统红色—灰色泥岩、粘土岩、粉砂岩；T—三叠系厚层砂岩、钙质粉砂岩；Pz_2—上古生界灰岩、白云岩；$P_2\beta$—上二叠统峨眉山玄武岩；Pre-∈—前寒武系变质岩基底；1—主要河流；2—采样地点

K—Cretaceous violet sandstone with thin-bedded claystone; J_3p—Upper Jurassic red sandstone, fine sandstone; J_2s—Middle Jurassic violet-gray calcareous—argillaceous arkose with Mo-bearing sandstone; J_1—Lower Jurassic red—gray mudstone, calystone and siltstone; T—Triassic thick-bedded sandstone and calcareous siltstone; Pz_2—Upper Paleozoic limestone and dolomite; $P_2\beta$—Permian Emeishanian Basalt; Pre-∈—Precambrian metamorphic rocks; 1—major rivers; 2—location of the samples

表 1 沐川太平含矿砂岩层序特征及岩性描述

Table 1 Description of the strata order & lithologies of the ore-bearing sandstone

	岩层及代号	岩(矿)层厚度(m)	岩性及矿化特征描述
1	中侏罗统沙溪庙组上段	154	薄层—中厚层，暗紫色、暗紫红至暗砖红色泥质粉砂岩及砂质黏土岩的不等厚互层。岩性软且易风化，靠近顶部颜色较红。层间夹厚层—块状浅灰白色岩屑长石石英砂岩，砂岩延伸不稳定，常呈透镜体。顶界处为一厚 1～2 m 紫红—浅灰—灰色砂质灰岩或灰岩。
2	上含矿砂岩带	7～9	中厚层～块状细—中粒浅灰白色岩屑长石石英砂岩，岩性单一，具水平层理、斜层理及楔状层理。风化表面因铁染略带褐黄色，常具褐铁矿薄膜状皮壳。岩层风化后较疏松，但抗剥蚀强，地貌上呈陡崖。层厚横向变化大，向北渐次为紫红色泥质粉砂岩及砂质粘土岩取代，向南亦同。
3	铼(钼)锇矿(体)层	0～1.3	黑色薄层状碳质细粒长石石英砂岩，沿层出现密集碳质微层理，风化表面常见孔雀石及蓝铜矿薄膜；碳质条纹密集者含钼高，细粒砂状结构，接触孔隙式胶结，由于云母矿物沿层集中分布，形成薄层状构造。矿(体)层呈透镜体产出，一般延长数米至数十米即行尖灭或呈细条纹；有用矿物主要是辉钼矿、辉铜矿等。
4	下含矿砂岩带	3～4	同第 2 层。
5	中侏罗统沙溪庙组下段	未至底部	同第 1 层。

注：据四川地勘局 207 地质队(1974)资料改编。

砂岩及砂质粘土岩取代；矿层为黑色薄层状碳质细粒长石石英砂岩，沿层出现密集碳质微层理，风化表面常见孔雀石及蓝铜矿薄膜；碳质条纹密集者含钼高，细粒砂状结构，接触孔隙式胶结，由于云母矿物沿层集中分布，形成薄层状构造。矿(体)层呈透镜体产出，一般延长数米至数十米即行尖灭或呈细条纹。主要矿(体)层特征见含矿砂岩层序特征及岩性描述(表 1)。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

矿石为铜、钼矿物的细条纹状碳质砂岩,具明显的沉积特征,其碎屑粒度一般为 0.2～0.35 cm,显棱角—次棱角状;矿物碎屑有碳屑和黑云母,含量约占 5%,石英 40%,长石＞25%,白云母＜5%,岩屑＞10%;胶结物碳质约占 5%,泥质＜5%。矿石矿物成分简单,经鉴定由辉钼矿、辉铜矿及其次生矿物孔雀石和蓝铜矿组成;矿石含铜 Cu 0.46%(最高 3.91%),Mo 0.258%(最高达 3%)和铼、锇等共伴生元素,具有极高的利用价值。

辉钼矿为 0.05～0.5 mm 的细小鳞片状,呈平行条纹顺层分布。矿物 X-射线粉晶衍射分析结果表明衍射线最强是 3.069(10),其次依次是 6.190(5)、2.190(3)、1.893(1)和 1.783(3),应属辉钼矿数据(表 2、图 2),而非所怀疑的其他含钼次生矿物。热负离子质谱(NTIMS)测试含 Re 209×10^{-6}～265×10^{-6}, ^{187}Os 451×10^{-9}～563×10^{-9}(表 3),可见矿石矿物组合(辉钼矿和辉铜矿)在过去造成了化学分析结果的组合成分。鉴于原来对含铜砂岩的关注和初步认定为胶硫铜钼矿引起的矿化价值不高,忽略了值得重视的分散元素铼和铂族元素锇。通过 Mo、Re、Os 综合评价,沭川地区含钼砂岩将成为罕见的沉积砂岩型铼钼(锇)矿床。

表 2　辉钼矿 X 光粉晶衍射参数

Table 2　X-ray diffraction data of the Molybdenite

I	*d*	*hkl*
5	6.190	003
10	3.069	006
3	2.190	015
1	1.893	107
3	1.783	110

注:南京大学内生矿床成矿机制国家开放实验室,Cu Kα,40 kV/25 mA。

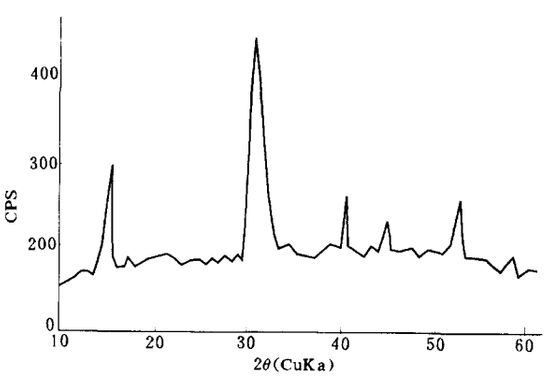


图 2　辉钼矿 X 光粉晶衍射图谱

Fig. 2　X-Ray diffraction diagram of the molybdenite

2　高精度 Re-Os 同位素测年

3 件辉钼矿粉末样品均取自沭川太平矿区条纹状矿石,矿石经手刻其条纹成粉末,分离辉钼矿共 200mg,纯度达到 85%以上;制样采用"碱熔法",同位素比值及其 Re 和 Os 用热负离子质谱仪(NTIMS)测试(Markey at al.,1998)。

首先要碱液熔样制成过氧化物,用适量辉钼矿粉末样品(小于 150 m,重量依估计的 Re、Os 丰度和年龄而定)放入盛有 Re 同位素稀释剂的 Zr 坩埚内,加入 1 g 的 NaOH 和 1 ml 的 H_2O 使辉钼矿在碱性溶液中先行溶解并蒸发至干,再加 3～3.5 g NaOH 盖好置于 350℃马弗炉内熔融硅盘上,每 20 min 移开 1 次并增温 25℃,每次猛烈旋摇至冻结,如此往复直至 400℃,样品和稀释剂充分溶解在碱性熔体中,冷凝后加入 4 g 过氧化钠(Na_2O_2)移至 550℃的马弗炉内,每 20 min 移开 1 次并增温 25℃,每次猛烈旋摇至冻结,如此往复直至 600℃,使样品和稀释剂中的 Re、Os 充分均一,并在过氧化状态下达到平衡,然后冷却至室温。其次将过氧化物用硫酸分解酸化,在 400 ml PTFE 烧杯中用 H2O 充分刷洗坩埚和坩埚盖溶解熔融物并转入置于干冰中的烧瓶内,加入 5 ml 1∶1 H_2SO_4 至坩埚并在烧杯内摇匀,(使溶液缓慢在烧瓶表面纯化,不至于加热太快而来不及反应)坩埚和烧杯均用 25 ml 1∶1 H_2SO_4 进一步冲洗,两批溶液都加到沸腾瓶内保持酸度 5N H_2SO_4。再用双氧水把挥发性 OsO4 从 H_2SO_4 溶液中蒸馏至 NaOH 中分离 Os,制成含 Os 的 HBr,残样通过离子交换柱分离 Re(Mo、W 被 1N HCl 捕获,Re 由 4N HNO_3 析出)。最后 NTIMS 质谱进行分析并计算数据。

测试结果模式年龄介于 202 Ma 和 206Ma 之间(表 3),平均年龄约 203Ma,其范围相当于国际时代对比表上的赫塘期(Hettangian,208～202Ma),即我

表 3　辉钼矿热负离子质谱(NTIMS)分析及 Re-Os 年龄测试结果

Table 3　Results of NTIMS analysis and Re-Os dating of molybdenite

分析号	原编号	Re(μg/g)	^{187}Os(ng/g)	模式年龄(Ma)
CT-266	CAO-03-1	265.4±0.2	563±1	202.4±0.8
CT-268	CAO-03-2	209.0±0.1	451±1	205.9±0.8
CT-280	CAO-03-3	260.6±0.2	552±1	202.1±0.8

注:热负离子质谱仪(NTIMS),AIRIE,Colorado State University,Fort Collins,USA;$\lambda(^{187}Re)=1.666\times10^{-11}\ a^{-1}$。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

国地层时代的早侏罗世赫塘阶(王鸿帧等,1990)。由于辉钼矿形成年龄早于含钼砂岩的相对地质时代——中—上侏罗世,因而可排除辉钼矿为后生成因的怀疑。

3 讨论

经广泛的文献对比,并参考贵州黄家湾(毛景文等,2001)的最新研究,我们认为① 沐川太平等地产出的含钼砂岩是一处新的、特殊类型的沉积钼矿产地,其中铼、锇等高含量稀散及贵重金属元素大大提高了利用价值;② 辉钼矿 Re-Os 测年结果为 202～206Ma,模式年龄值略大于地质相对年龄中、上侏罗纪,因而佐证了辉钼矿的同生成因,与含矿层同为侏罗纪赫塘期(Hettangian),具有明显的科学研究价值,并为进一步探索该矿产地的工业价值提供了线索;③ 鉴于辉钼矿与铼、硒等分散元素和铂族元素的密切关系,沐川太平等地存在自然界罕见的砂岩型铼(钼)锇矿,即分散元素铼具有独立成矿作用、伴生铂族元素中重元素锇的新矿床类型;④ 该矿床的特殊性和潜在的巨大经济价值,深入研究的意义重大。

四川地勘局二〇七地质队早期普查工作为本项研究奠定了基础,激发了我们的研究兴趣,在此谨致谢忱。

参 考 文 献

曹志敏,骆耀南. 1993. 四川碲(铋)矿床地质特征与矿石物质成分. 第五届全国矿床会议论文集. 北京:地质出版社,476～478.

曹志敏,温春齐,李保华,骆耀南,付德明,周绍东. 1995. 首例独立碲矿床成因探讨. 中国科学(B辑),(6):647～654.

陈毓川,毛景文,周剑雄,银剑钊,杨百川,骆耀南. 1993. 四川石棉县大水沟碲铋金矿床——世界首例以碲为主的碲矿床. 第五届全国矿床会议论文集. 北京:地质出版社, 437～439.

毛景文,张光弟,杜安道,王义天,曾明果. 2001. 遵义黄家湾镍钼铂族元素矿床地质、地球化学和 Re-Os 同位素年龄测定——兼论华南寒武系底部黑色页岩多金属成矿作用. 地质学报,75(2):234～243.

涂光炽. 1994. 分散元素可以形成独立矿床. 见:中国矿物学、岩石学、地球化学研究新进展(二). 兰州大学出版社,234.

王鸿祯,李光岑. 1990. 国际地层时代对比表. 北京:地质出版社.

张如柏,龚夏生,周振东,范良明,帅德权. 1981. 沐川矿——种新的含水的钼矿物. 地球化学,(2):120～127.

References

Chen Yuchuan, Mao Jingwen, Zhou Jianxiong, Yin Jianzhao, Yang Baichuan, Luo Yaonan. 1993. The Dashuigou Te-Bi-Au deposit, first deposit tellurium dominated in the world. in: Abstract collections of the fifth all-China symposium on mineral deposits. Beijing: Geological Publishing House, 437～439.

Cao Zhimin, Wen Chunqi, Li Baohua, Luo Yaonan, Fu Deming, Zhou Shaodong. 1995. A genitic discussion of the first independent tellurium deposit. Science in China (Series B), (6): 647～654.

Cao Zhimin, Luo Yaonan. 1993. Geological feature and its ore composition of the Te(Bi) deposit in Sichuan province. in: Abstract collections of the fifth all China symposium on mineral deposits. Beijing: Geological Publishing House, 476～478.

Mao Jingwen, Zhang Guangdi, Du Andao, Wang Yitian, Zeng Mingguo. Geology, Geochemistry, and Re-Os isotopic dating of the Huangjiawan Ni-Mo-PGE deposit, Zunyi, Guizhou Province——with a disccusion of the polymetallic mineralization of basal Cambrian black shales in South China. Acta Geologica Sinica, 45(2): 234～243(in Chinese with English abstract).

Tu Guangchi. 1984. Disperse elements can be enriched for a mineral deposits in independent. In: Association of Min. Petro. Geoche. China, ed. New Progress of Mineralogy, Petrology, Geochemistry in China (Part 2). Lanzhou: Press of Lanzhou University, 234.

Wang Hongzhen, Li Guangcen. 1990. Correlation table of stratigraphical subdivision. Beijing: Geological Publishing House.

Zhang Rubao, Gong Xiasheng, Zhou Zhendong, Fan Liangming, Shuai Dequan. 1981. Muchuanite, a new water-bearing molybdenum sulphide mineral. Geochemica, (2): 120～127.

Markey R J, Stein H J, Morgan J W. 1998. Highly precise Re-Os dating of molybdenite using alkaline fusion and NTIMS. Talanta, 45: 935～946.

Michael Fleischer, Chao G Y, Mandarino J A. 1982. New Mineral Names. The American Mineralogy, 67: 854～860.

Geological Characteristics and Mineralization Age of the Sandstone Type Re-Mo(-Os) Mineral Occurrence in Muchuan, Sichuan

CAO Zhimin[1,3], LUO Yaonan[2], WANG Rucheng[3], H. J. STEIN[4], J. L. HANNAH[4], R. J. MARKEY[4]

1) *College of Marine Geology, Ocean University of Qingdao, Qingdao*, 266003

2) *Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Sichuan Province, Chengdu*, 610041

3) *National Key Lab. of Mineralization Mechanisms of Endogenenic deposits, Nanjing University, Nanjing*, 210093

4) *AIRIE Program, Colorado State University, Fort Collins, USA*

Abstract

Mo-bearing sandstone discovered in the Minzhu-Taiping area, Muchuan County, Sichuan Province, is a

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

new type of mineral deposit——sedimentary sandstone type Re-Mo (-Os) deposit. X-ray powder diffraction analysis shows that the finely crystalline-microcrystalline scaly Mo-bearing mineral in the ore is crystalline molybdenite. High-precision mass spectrometry indicates that the contents of the dispersed element Re and platinum-group element Os are high in molybdenite. So the two elements can be recovered for industrial uses. High-precision Re-Os isotope dating suggests that the Muchuan Re-Mo (Os) deposit form in 202～206 Ma, synchroneously with the ore-bearing Mesozoic red bed basin sandstone. No sign of hydrothermal activity or tectonic setting has been found. The authors think that the molybdenite is the product of the syngenetic sedimentary period. This discovery and research are of great theoretical significance and practical value for the study of mineralogy and the geology of mineral deposits.

Key words: Mo-bearing sandstone; molybdenite; high-precision Re-Os isotope dating; Muchuan County; Sichuan Province

陆-陆点碰撞与超高压变质作用

董树文[1)]　武红岭[2)]　刘晓春[2)]　薛怀民[2)]

1) 中国地质科学院,北京,100037;　2) 中国地质科学院地质力学研究所,北京,100081

迄今为止,非撞击型超高压变质作用均发生在陆一陆碰撞造山带,这在东半球许多地点已被证实。超高压变质岩石以含柯石英和金刚石包体的榴辉岩和榴辉岩相变质岩石为代表,形成的温压环境为650～800℃,2.6～3.5GPa。研究证明大多数超高压岩石原岩是陆壳火山一沉积岩系,因此推断大陆深俯冲作用曾经发生。而超高压岩石现今又出露地表或浅表,意味着它们又从深部折返至地表。陆壳岩石深俯冲和折返机制已成为大陆动力学研究的热点,但认识莫衷一是。争论的焦点是陆壳俯冲的深度到底多大可以形成超高压岩石?是什么机制使其发生深俯冲而又折返到浅表?本文通过世界上出露规模最大的超高压变质带——大别山碰撞过程的动力学分析,探讨非规则边界的碰撞引起的构造附加压力对超高压岩石形成的影响作用。模拟计算表明,大陆板块的早期碰撞,会引起碰撞附近的局部应力集中现象(平均压力较周围增大了5～9倍),构造压力在超高压中所占的比例约为20%～35%。由此推测,大别山高压—超高压岩石形成深度可能为65～80km。为此本文提出超高压岩石新成因模式——大陆点碰撞模式。这种模式符合力学基本原理,也符合地质记录和地质过程;可以解释为什么超高压岩石并非沿碰撞造山带全线存在,而是出现于某些特定部位。本文提出喜玛拉雅山碰撞带的东西犄角是典型的点碰撞区域,陆壳岩石的超高压变质作用均发生在这两个特定的部位。

一个伸展构造体制下的花岗岩体的主动侵位作用

——亚干变质核杂岩同构造花岗岩体

王　涛[1)]　郑亚东[1)]　李天兵[2)]　马铭波[1)]　高永军[1)]

1) 北京大学地质学系,100871;　2) 宁夏地质调查院,750021

一般认为,在伸展拉张构造环境中花岗岩体"被动"定位,在挤压环境中"主动"定位。而本文研究显示,亚干变质核杂岩同伸展构造花岗岩体仍显示有较强的主动侵位作用。这些岩体发育同心状单元分布型式、边强中弱的应变型式,特别是围岩同侵位变形。围岩的应变分析表明,围岩韧性压缩大约提供了现今岩体16%～24%的定位空间。这说明,主动侵位机制不仅存在于挤压构造环境,而且还可以发育于伸展构造环境。其意义在于进一步论证了花岗岩复合定位机制重要性,也为探讨核杂岩与花岗岩的成因关系及驱动力问题提供了新依据。

利用半方差函数进行裂缝数据空间分布模式研究

许建东[1)]　Robert D. Jacobi[2)]

1) 中国国家地震局地质研究所,北京,100029;　2) 美国纽约州立大学(Bufallo)地质系,NY,14206

本文利用半方差函数对美国纽约州西部地区9个野外观测点实测的裂缝数据进行了空间分布模式研究。野外最长测线达36m。通过半方差的计算可确定裂缝间距和裂缝长度随空间位置的变化。为此目的,我们编制了FORTRAN程序,对从野外测线所获得的裂缝数据进行了整理。我们发现,实验计算的半方差,其空间分布模式可以用5种数学模型来描述,即线性模型、球体模型、反球体模型、多项式I型(当a小于0时)、多项式II型(当a大于0时),其中,后3种数学模型是本研究中首次提出。分析结果表明,裂缝间距和裂缝长度具有结构性的半方差图,说明裂缝的空间位置以及裂缝在空间上的长度分布都不是随机的。研究结果显示出半方差函数可以为裂缝位置和长度在空间上的相关性研究提供有益的信息,这种信息可用以设计高效率的裂缝采样方案,也可用以确定裂缝构造区可能的外延范围。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net