

成都金沙遗址青铜器的化学特征及矿质来源

向 芳¹, 蒋镇东², 张 擎³

(1 成都理工大学 沉积地质研究院, 四川 成都 610059; 2 中国共产党成都市委员会 统一战线工作部, 四川 成都 610015; 3 成都市文物考古研究所, 四川 成都 610071)

摘要: 在总结前人对商周遗址中青铜器研究的基础上, 通过对成都金沙遗址出土青铜器的铅同位素和主要金属元素含量的测定, 分析讨论了金沙青铜器的化学特征及可能的矿质来源。通过对测定结果的分析认为: 青铜器的冶炼过程中人为进行铜铅锡含量配比的迹象并不明显, 更多体现出直接利用多金属矿的结果; 金沙遗址中青铜器的铅同位素值大部分异常高, 表现出 $N(^{206}\text{Pb})/N(^{204}\text{Pb})$ 大于 20。根据区域地质资料和前人对多金属矿床的研究结果, 认为金沙青铜器的铜矿石极有可能来自于距离较近的会理拉拉厂铜矿。

关键词: 金沙遗址; 青铜器; 化学特征; 铅同位素; 矿质来源

中图分类号: P595; K876.41 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2010)02-0144-05

Chemical Character and Ore Source of Bronze Wares at Jinsha Site in Chengdu

XIANG Fang¹, JIANG Zhen-dong², ZHANG Qing³

(1. Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China;

2. Department of United Front Work, Chengdu Committee of the Communist Party of China, Chengdu 610015,

Sichuan, China; 3. Chengdu Institute of Archaeology Heritage, Chengdu 610071, Sichuan, China)

Abstract On the basis of summarizing formers' results on bronze wares at some sites of Shang and Zhou dynasties, Pb isotopes and main metal elements of bronze wares at Jinsha Site in Chengdu were measured, and characters and possible ore sources of bronze wares at Jinsha Site were discussed. The result showed that there was no evidence that contents of Cu, Pb and Sn were artificially controlled while smelting bronze wares; bronze wares at most sites of Shang and Zhou dynasties were possibly smelted with multi-metal ores; the values of Pb isotopes of bronze wares at Jinsha Site were mostly high, and $N(^{206}\text{Pb})/N(^{204}\text{Pb})$ was higher than 20. According to geology data and formers' results on multi-metal mineral deposits, Cu ores of bronze wares at Jinsha Site could be from Lalachang Cu deposits in Huili county, which is not far away from Jinsha Site.

Key words: Jinsha Site; bronze ware; chemical character; Pb isotope; ore source

0 引言

20 世纪 30 年代以来, 商周时期数量巨大的铜料来源, 一直是众多学者关注的学术悬案。半个多世纪以来, 这一问题作为涉及商周历史的重大学术问题, 一直备受重视^[1]。这些巨量青铜器的矿质来源问题, 将为展示远古人类的文明程度和生产力水平、揭示商代青铜业原料和制品的生产和流通过

系、探讨包括黄河和长江流域在内的不同青铜文明的传播和交流提供重要的基础数据和科学依据。

发现于 2001 年初的成都金沙遗址, 其主体文化遗存时代约为商代晚期至西周时期, 极有可能是继三星堆之后的又一个古蜀国的政治经济文化中心^[2], 它为解读古蜀文明的起源和演化历史提供了非常重要的实物证据^[3]。金沙遗址内现已出土青铜器 1 200 余件, 对于这些青铜器的化学特征和矿

收稿日期: 2009-07-21

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40602011); “十五” 国家科技攻关计划项目 (2004BA810B05)

作者简介: 向 芳 (1974-) 女, 重庆人, 副教授, 理学博士, 从事地质学研究。E-mail: xiangf@cdu.edu.cn

© 1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

质来源,只有金正耀等^[4]做过一定讨论。笔者通过新测试的数据,结合前人研究,对金沙青铜器化学特征及其中蕴含的矿质意义进行一定探讨。

1 金沙青铜器铅同位素特征

在青铜器矿质来源研究中,现今使用较多的一种方法是利用铅同位素的比值特征。20 世纪 60 年代,美国康宁玻璃博物馆的 Brill^[5] 首先将铅同位素用于古代文物的研究,开创了铅同位素示踪方法在考古学和自然科学史研究中的应用,随后欧洲和日本学者也开始了这方面的研究,中国出土的文物成为重要的研究对象^[1]。20 世纪 80 年代,金正耀^[6] 将铅同位素方法引入到青铜器的矿料来源研究,发现高放射成因铅同位素特征而取得了突破性进展,并掀起了铅同位素应用于考古研究的高潮。

自然界中的铅有 4 种稳定同位素:²⁰⁴Pb、²⁰⁶Pb、²⁰⁷Pb、²⁰⁸Pb。其中,²⁰⁶Pb、²⁰⁷Pb、²⁰⁸Pb 分别由²³⁸U、²³⁵U、²³²Th 衰变而来,3 种同位素的含量随着时间增加而不断增加,因此被称为放射性铅同位素。而²⁰⁴Pb 在古老的矿石和陨石中相对含量较高,在现代铅中含量较低,而且不随时间的流逝发生绝对含量的改变,所以在研究中常常将²⁰⁴Pb 作为基准,用 $N(^{206}\text{Pb})/N(^{204}\text{Pb})$ 、 $N(^{207}\text{Pb})/N(^{204}\text{Pb})$ 、 $N(^{208}\text{Pb})/N(^{204}\text{Pb})$ 来进行研究。

铅同位素示踪方法应用于青铜器考古研究的基本原理为:由于地球上铜、锡、铅金属矿床在其形成的地质年代以及形成过程环境物质中铀钍浓度条件方面的差异,铅同位素组成也各具差异,表现为铅的 4 种稳定同位素含量比率各有特征;同时,4 种稳定同位素在古代青铜业的一般冶炼、铸造等加热过程中不会发生分馏,与微量元素相比,可更好地保存原产地的信息^[7-8]。通过比较青铜器样品和矿床的铅同位素数据,可以进行青铜器原料的产地研究,同时比较各个时代和时期青铜器样品的铅同位素数据,也可以了解不同时期、不同地区矿山开采利用的盛衰变迁,进而推动关于上古时代的有关研究^[9]。同时,铅同位素示踪方法研究古代器物还具有所需样品量很少、器物表皮的氧化物等对器物的铅同位素比值影响很小等优点。铅同位素不受风化和腐蚀影响,不受元素含量变化影响,具有明显的地球化学块体效应,便于确定所用资源的产地。虽然该方法也存在重叠效应和混合效应的局限性,但其分辨率仍高于其他任何单一的地球化学

示踪方法^[1]。

为此,选取不同类型的 10 件青铜器取微量样品送南京大学做铅同位素分析。利用 Finnigan 公司 TRITON-TI 型热电离质谱仪对具有不同器物类型的金沙青铜器进行了铅同位素分析,其误差范围为 0.003 7~0.001 8,测试结果见表 1。

表 1 金沙青铜器铅同位素测试结果

Tab. 1 Testing Result of Pb Isotope of Bronze Wares at Jinsha Site

样品号	器物名称	$N(^{206}\text{Pb})/$	$N(^{207}\text{Pb})/$	$N(^{208}\text{Pb})/$
		$N(^{204}\text{Pb})$	$N(^{204}\text{Pb})$	$N(^{204}\text{Pb})$
1	铜铃	22.34	16.23	42.63
2	铜瑗	22.00	16.08	42.34
3	铜壁形器	22.64	16.14	43.36
4	铜圆角长方形板	21.70	16.08	42.40
5	铜匕首	18.49	15.68	38.81
6	铜眼形饰件	21.65	15.99	42.29
7	铜帽形饰件	17.63	15.41	37.75
8	铜壁/环行器	20.39	15.80	40.87
9	铜器残件	23.02	16.35	43.35
10	铜挂饰/扇贝形	22.90	16.25	43.81

从表 1 可以看出,对于所测定的青铜器,大部分均具有铅同位素的异常值,表现为 $N(^{206}\text{Pb})/N(^{204}\text{Pb})$ 大于 20。金正耀等^[4] 认为,商周青铜器中存在有 3 种铅同位素组成:①密西西比型异常铅, $N(^{207}\text{Pb})/N(^{206}\text{Pb})$ 为 0.690 7~0.766 5、 $N(^{206}\text{Pb})/N(^{204}\text{Pb})$ 为 23.699~20.933;②异常铅, $N(^{207}\text{Pb})/N(^{206}\text{Pb})$ 为 0.803 2~0.819 9、 $N(^{206}\text{Pb})/N(^{204}\text{Pb})$ 为 19.678~19.117;③普通铅, $N(^{207}\text{Pb})/N(^{206}\text{Pb})$ 为 0.835 0~0.909 0、 $N(^{206}\text{Pb})/N(^{204}\text{Pb})$ 为 18.880~16.881。对包括殷墟妇好墓、江西新干大洋洲、盘龙谷城、广汉三星堆、成都金沙等在内的一系列遗址中青铜器铅同位素的分析均发现,在商代出土的青铜器中存在有 $N(^{206}\text{Pb})/N(^{204}\text{Pb})$ 、 $N(^{207}\text{Pb})/N(^{204}\text{Pb})$ 、 $N(^{208}\text{Pb})/N(^{204}\text{Pb})$ 的异常高值,即存在密西西比型异常铅。对于密西西比型异常铅值而言,根据现今的铅同位素数据,很难找到相同数值的矿床,在中国可能只发现于云南或西南地区。由此,金正耀^[4] 断定,商代青铜器的主要矿源地可能就在云南或西南地区。

2 金沙青铜器主要金属元素成分

为了研究青铜器的主要金属成分及其与铅同

位素的关系,将进行铅同位素测定后剩余的 7 件样品送四川省冶金地质岩矿测试中心进行 Cu、Pb、Sn、Ag、Zn 等 5 种主要金属元素的测定。其中 Cu 和 Sn 利用碘量法测定,其误差范围分别为 0.34%、0.20%~0.25%。Pb、Zn 和 Ag 采用原子吸收分光光度法测定,误差分别为 0.17%、 15×10^{-6} 、 20×10^{-6} 。测试结果见表 2。

表 2 金沙青铜器的主要金属元素分析
Tab. 2 Testing Result of Main Metal Element of Bronze Wares at Jinsha Site

样品号	器物名称	铜	铅	锡	银	锌
1	铜铃	60.31	1.05	14.49	250	163
2	铜环	70.21	2.23	24.75	360	103
3	铜壁形器	54.48	13.18	9.56	560	42
4	铜圆角长方形板	48.07	4.93	10.86	260	62
5	铜匕首	52.12	7.98	13.94	520	61
6	铜眼形饰件	60.41	4.29	11.83	1 700	43
7	铜帽形饰件	72.37	7.47	12.53	660	144

注:铜、铅、锡质量分数/ 10^{-2} ;银、锌质量分数/ 10^{-6}

从表 2 可以看出,对于分析的 7 种青铜器,其 Cu、Pb、Sn 3 种重要的元素显示出较大的变化范围,Cu 的质量分数为 50%~70%,Pb 的质量分数为 1%~13%,Sn 的质量分数为 10%~25%,这种数值特征反映了在青铜器的冶炼过程中,对青铜器的元素构成人为控制作用不太明显。在 Ag 和 Zn 这两种微量元素的质量分数上,也存在有较大的差异,其原因一方面与原料可能来自于不同的矿床有关,另一方面也体现了相同矿床的不同部位矿化可能有所不同。

3 与前人研究资料对比

就金沙青铜器的元素组成和铅同位素数值的关系而言(图 1),其 Cu、Pb、Sn 的质量分数与铅同位素之间并没有表现出一定的对应关系。同时通过影子成等^[10]对商周青铜器研究的资料也发现(表 3),铜、铅、锡 3 种合金配比的数值不同,对于青铜器铅同位素比值似乎没有太大影响,因此前人研究中仅利用铅矿进行矿质讨论就有一定的局限性。同时 Cu:Sn:Pb 比值的差异,表明青铜器在冶炼过程中似乎并没有特意和严格的进行人工配比。因此,青铜器的组成不能排除是因为冶炼工艺有限造成杂质无法提纯的可能,或者说是古人直接利用多金属矿床的结果。

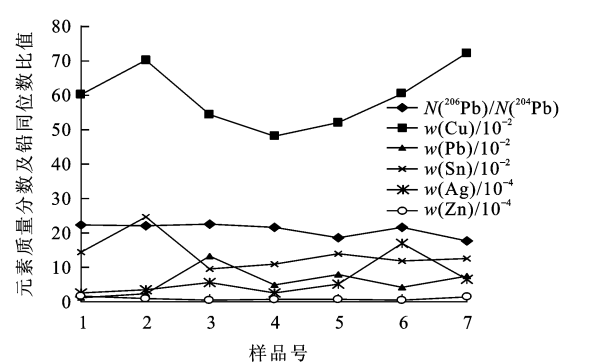


图 1 金沙青铜器的主要金属元素和铅同位素之间的关系

Fig. 1 Relationship of Main Metal Element to Pb Isotope of Bronze Wares at Jinsha Site

表 3 青铜器主要金属元素和铅同位素组成

Tab. 3 Main Metal Element and Pb Isotope Characters of Bronze Wares

产地	Cu : Sn : Pb	$N(^{206}\text{Pb})/N(^{204}\text{Pb})$	产地	Cu : Sn : Pb	$N(^{206}\text{Pb})/N(^{204}\text{Pb})$
江西新干大洋洲	16.45 : 8.1 : 1	22.696	江西铜岭	19.51 : 3.98 : 1	18.841
江西新干大洋洲	12.77 : 0.31 : 1	21.846	江西铜岭	48.66 : 8.47 : 1	18.333
江西新干大洋洲	64.06 : 9.85 : 1	20.308	河南郑州	882.0 : 103.0 : 1	21.554
江西新干大洋洲	12.77 : 2.53 : 1	20.921	河南郑州	136.3 : 22.67 : 1	16.572
江西新干大洋洲	8.76 : 1.58 : 1	22.634	河南郑州	13.62 : 4.40 : 1	18.005
河南安阳	30.39 : 1.46 : 1	18.743	河南郑州	8.05 : 2.11 : 1	17.906
河南安阳	7.25 : 0 : 1	18.001	河南郑州	135.2 : 22.67 : 1	16.588
河南安阳	153.9 : 38.8 : 1	24.636	河南郑州	5.49 : 0.86 : 1	16.876
河南安阳	112.10 : 9.83 : 1	21.974	河南郑州	35.46 : 4.08 : 1	16.474
河南安阳	59.37 : 6.00 : 1	23.066	河南郑州	69.00 : 10.58 : 1	16.436

4 矿质来源讨论

高子英^[11]研究表明(表 4),相同多金属矿床中,不同的矿石如方铅矿和黄铁矿具有相近的铅同位素组成。因此同一地区相同矿床来源不同矿石的配比组合,应该不会改变其主要的铅同位素比值特征,同时如果是同一地区来源的矿石混合铸造的青铜器,其铅同位素组成应该反映了基本组成中任何一种矿石原料的同位素组成,而并不一定总是由铅矿石来决定。

事实上,影子成等^[10]对不同产地及相关时代中铜矿石、铜制品、铜渣等元素组成和铅同位素比值的研究(表 5)表明,铜矿石原料之一的孔雀石和相同时代的炼渣之间具有相近的同位素组成。既然铜矿在冶炼过程中铅同位素没有在原料和炼渣中

出现分馏,相应在冶炼制品中也就不会有同位素的富集和分散作用。另一方面,孔雀石与炼渣及粗铜间相近的铅同位素比值特征也说明,铜矿石对于铜制品的冶炼过程及产物中铅同位素具有主要控制作用。

表 4 云南主要矿床的铅同位素比值

Tab. 4 Pb Isotope Characters of Main Ore Deposits in Yunnan Province			
产地及矿床类型	矿石类型	$N(^{206}\text{Pb})/N(^{204}\text{Pb})$	
云南兰坪金顶铅锌矿	方铅矿	18.03~18.52	
	黄铁矿	18.28~18.71	
	闪锌矿	18.43~18.57	
云南蒙自白牛厂银铅锌锡铜矿床	方铅矿	18.04~18.42	
	硫锑铅矿	18.38	
	铁闪锌矿	18.33	
	花岗岩	18.26	
云南马关都龙锡铅矿床	方铅矿	17.81~18.54	
	黄铁矿	18.06~18.21	
云南个旧锡铅锌铜矿床	方铅矿	17.99~18.67	

注: 据文献[11]

表 5 铜矿石与相应冶炼物的铅同位素数值比较

Tab. 5 Pb Isotope Characters of Copper Ore and Corresponding Smelting Matters				
样品名称	年代	产地	$w(\text{Cu})/\%$	$N(^{206}\text{Pb})/N(^{204}\text{Pb})$
孔雀石	商	河南郑州	66.10	19.001
铜渣	商	河南郑州	23.73	18.995
自然铜	现代	湖北铜绿山	99.78	18.038
粗铜	东周	湖北铜绿山	94.42	17.467
孔雀石	商周	湖北铜绿山	54.44	18.671
孔雀石	现代	湖北铜绿山	53.84	18.691
炼渣	东周	湖北铜绿山		18.498
孔雀石	现代	湖北铜绿山	49.17	17.807
孔雀石	现代	湖北铜绿山	90.04	18.474

注: 据文献[10]

根据区域地质资料中铜、铅、锡主要矿产分布信息,同时根据古人对于矿产资源利用的就近假设,在西南地区能够找到的最有可能同时存在有铜、铅、锡矿床的地区有:四川会理(拉拉厂铜矿、大铜厂铜矿;岔河锡矿;天宝山铅锌矿)、云南兰坪(金满铜矿;金顶铅锌矿)、云南蒙自(白牛厂银铅锌锡铜矿床)、云南马关(都龙锡铅矿床)、云南个旧(锡铅锌铜矿)。

从高子英^[11] 研究可以发现,云南蒙自、马关、个

旧的矿石均不存在有铅同位素异常,因此就只剩下四川会理。通过孙燕等^[12]、王小春^[13] 的研究可以看出(表 6),会理拉拉厂铜矿的铜矿石绝大部分都有异常值,且 $N(^{206}\text{Pb})/N(^{204}\text{Pb})$ 大于 20,而天宝山铅锌矿的铅矿石只有部分具有异常,由此估计金沙青铜器的铜矿石极有可能来自于距离较近会理拉拉厂铜矿。

表 6 会理拉拉厂铜矿及天宝山铅锌矿铅同位素特征

Tab. 6 Pb Isotope Characters of Lalachang Cu Deposits and Tianbaoshan Lead-Zinc Deposits in Huili County			
拉拉厂铜矿		天宝山铅锌矿	
矿石类型	$N(^{206}\text{Pb})/N(^{204}\text{Pb})$	矿石类型	$N(^{206}\text{Pb})/N(^{204}\text{Pb})$
黄铜矿	27.09	方铅矿	18.389
黄铜矿	66.12	方铅矿	18.359
黄铜矿	18.103	方铅矿	18.288
黄铜矿	20.595	方铅矿	18.214
黄铁矿	26.35	方铅矿	18.517
黄铁矿	25.63	方铅矿	18.402
黄铁矿	30.80	方铅矿	18.596
黄铁矿	19.207	方铅矿	18.483
黄铁矿	20.251	方铅矿	18.110
红色钠长石	22.184	方铅矿	20.191
钠长石	20.366	方铅矿	26.950
白云石	20.035	方铅矿	19.88

注: 据文献[12-13]

5 结语

通过对成都金沙遗址出土青铜器的铅同位素和主要金属元素含量的测定以及与前人研究成果对比,获得了以下认识:

(1)青铜器的主要组成元素 Cu、Pb、Sn 和次要元素 Ag、Zn 的质量分数变化范围较大,同时 Cu、Pb、Sn 的质量分数与铅同位素之间并没有表现出一定的对应关系,这表明青铜器在冶炼过程中并没有特意和严格的进行人工配比,青铜器的组成不同可能是因为冶炼工艺有限造成杂质无法提纯,反映了古人直接利用多金属矿床的结果。

(2)同一地区相同矿床来源不同矿石的配比组合,不会改变铜制品的主要铅同位素比值,因而其铅同位素特征并不一定总是由铅矿石来决定,相反由于铜制品中铜的含量是主要的,且在铜矿石的冶炼和加工过程中不存在铅同位素的分馏,因而铜矿石对于铜器的铅同位素具有主要控制作用。

(3)金沙青铜器大部分具有铅同位素的异常值,表现为 $N(^{206}\text{Pb})/N(^{204}\text{Pb})$ 大于 20。在西南地区能够找到的、最有可能同时存在有铜、铅、锡矿床并且矿石具有相同铅同位素异常值的产地为会理拉拉厂铜矿。

参考文献:

[1] 常向阳 朱炳泉,金正耀.殷商青铜器矿料来源与铅同位素示踪应用[J]. 广州大学学报:自然科学版, 2003, 2(4): 323-326.
[2] 王 方.金沙遗址出土青铜器的初步研究[J]. 四川文物, 2006(6): 51-57.
[3] 向 芳,王成善,蒋镇东,等.成都金沙玉器的稀土元素特征及材质来源[J]. 地球科学与环境学报, 2008, 30(1): 54-56.
[4] 金正耀,朱炳泉,常向阳,等.成都金沙遗址铜器研究[J]. 文物, 2004(7): 76-88.
[5] Brill R H. Ancient Glass[J]. Scientific American, 1963, 209(5): 120-126.
[6] 金正耀.晚商中原青铜器的矿料来源研究[D]. 合肥: 中国科

技大学, 1984.

[7] Pernicka E. Comments on “Statistical Evaluation of the Presently Accumulated Lead Isotope Data from Anatolia and Surrounding Regions”[J]. Archaeometry, 1992, 34(2): 322
[8] Gale N H, Stos-Gale Z. Lead Isotope Analyses Applied to Provenance Studies[C] //Giliberto E, Spoto G. Modern Analytical Methods in Art and Archaeology. New York: John Wiley and Sons, 2000: 503-584.
[9] 金正耀. 铅同位素示踪方法应用于考古研究的进展[J]. 地球学报, 2003, 24(6): 548-551.
[10] 彭子成, 刘永刚, 刘诗中, 等. 赣鄂豫地区商代青铜器和部分铜铅矿料来源的初探[J]. 自然科学史研究, 1999, 18(3): 241-249.
[11] 高子英. 云南主要铅锌矿床的铅同位素特征[J]. 云南地质, 1997, 16(4): 359-367.
[12] 孙 燕, 李承德. 四川拉拉铜矿床成矿机制研究[J]. 成都地质学院学报, 1990, 17(4): 1-9.
[13] 王小春. 天宝山铅锌矿床成因分析[J]. 成都地质学院学报, 1992, 19(3): 10-20.

(上接第 136 页)

(3)除此之外,渔渡地区地质构造图中还可以识别出一期轴向北东—南西向的褶皱变形。在层理极点赤平投影图中,极密的东西两侧各有一个次级极密,应该是这期褶皱的北东和南西两翼造成的。褶皱波幅相对宽缓,主要表现为残余构造,野外没有见到露头尺度的构造形迹,但从叠加变形特征看,其变形时代应早于本区北西向褶皱构造变形。而秦岭—大巴山地区早于大巴山弧形褶皱变形的构造是与三叠纪晚期勉略微板块和扬子板块碰撞相关的褶皱构造,具体变形时代、变形特征需进一步研究。

参考文献:

[1] 张国伟, 孟庆任, 赖绍聪. 秦岭造山带的结构构造[J]. 中国科学(B 辑), 1995, 25(9): 994-1003.
[2] Meng Q R, Zhang G W. Geologic Framework and Tectonic Evolution of the Qinling Orogen, Central China[J]. Tectonophysics, 2000, 323(3/4): 183-196.
[3] 乐光禹. 大巴山造山带及其前陆盆地的构造特征和构造演化[J]. 矿物岩石, 1998, 18(增刊): 8-15.
[4] 汪泽成, 邹才能, 陶士振, 等. 大巴山前陆盆地形成及演化与油气勘探潜力分析[J]. 石油学报, 2004, 25(6): 23-28.

[5] 董树文, 胡健民, 施 炜, 等. 大巴山侏罗纪叠加褶皱与侏罗纪前陆[J]. 地球学报, 2006, 27(5): 403-410.
[6] 施 炜, 董树文, 胡健民, 等. 大巴山前陆西段叠加构造变形分析及其构造应力场特征[J]. 地质学报, 2007, 81(10): 1314-1327.
[7] 马永生, 郭旭升, 郭彤楼, 等. 四川盆地普光大型气田的发现与勘探启示[J]. 地质论评, 2005, 51(4): 477-480.
[8] 郑杰青. 宣汉地区普光构造飞仙关气藏成藏特征研究[J]. 南方油气, 2004, 17(3): 14-17.
[9] 吴世祥, 汤良杰, 郭彤楼, 等. 米仓山与大巴山交汇区构造分区与油气分布[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(3): 361-365.
[10] 张国伟, 程顺有, 郭安林, 等. 秦岭—大巴山别中央造山系南缘勉略古缝合带的再认识——兼论中国大陆主体的拼合[J]. 地质通报, 2004, 23(9/10): 846-853.
[11] 张国伟, 郭安林, 刘福田, 等. 秦岭造山带三维结构及其动力学分析[J]. 中国科学(D 辑), 1996, 26(增刊): 1-6
[12] 胡健民, 董树文, 孟庆任, 等. 大巴山西段高川地体的构造变形特征及其意义[J]. 地质通报, 2008, 27(12): 2031-2044.
[13] 何建坤, 卢华复, 朱 斌. 东秦岭造山带南缘大巴山构造反转及其动力学[J]. 地质科学, 1999, 34(2): 139-153.
[14] 董云鹏, 查显峰, 付明庆, 等. 秦岭南缘大巴山褶皱—冲断推覆构造的特征[J]. 地质通报, 2008, 27(9): 1493-1508.
[15] 渠洪杰, 胡健民, 崔建军, 等. 大巴山构造带东段秭归盆地侏罗纪沉积充填过程及其构造演化[J]. 地质学报, 2009, 83(9): 1255-1268.