川南煤田晚二叠世含煤系统分析

朱志敏[1]，陈 岑[2]，尹中山[3]
(1. 中国地质科学院 矿产综合利用研究所，四川 成都 610041;
2. 辽宁省国土资源厅 土地权属调处事务中心，辽宁 沈阳 110032; 3. 四川省煤田地质局，四川 成都 610072)

摘 要：为了更加有效地对煤炭及其相关的油气资源评价和环境保护，对川南煤田进行了含煤系统分析。通过对该煤田地质特征和煤层成因史分析，确定了二叠世煤层的沉积环境、含煤地层格架及含煤性、煤层硫含量和煤阶。结果表明，川南煤田可划分出 4 个含煤系统：含煤系统 A，包括龙潭组 C25—C21煤层，主要分布于古叙矿区；含煤系统 B，包括龙潭组 C20—C11煤层，主要分布于古叙矿区；含煤系统 C，包括长兴组 C10—C5煤层，主要分布于南广、芙蓉和筠连矿区；含煤系统 D，包括长兴组 C4—C1煤层，主要分布南广、芙蓉和筠连矿区。其中，古叙矿区含煤系统 B和南广、芙蓉、筠连矿区含煤系统 C的煤及煤层气丰度高，应作为未来煤及煤层气勘探开发的优选区。

关键词：煤；含煤系统；川南煤田；资源评价
中图分类号：0618.11 **文献标志码**：A **文章编号**：0253-2336(2010)07-0104-05

Analysis on Upper Permian Coal System in Chuannan Coalfield

ZHU Zhi-min[1], CHEN Cen[2], YIN Zhong-Shan[3]
(1. *Research Institute of Minerals Comprehensive Utilization, China Academy of Geological Sciences, Chengdu 610041, China;*
2. *Mediating Affairs Center for Land Disputes, Liaoning Province Department of Land and Resources, Shenyang 110032, China;*
3. *Sichuan Provincial Bureau of Coal Geology, Chengdu 610072, China*)

Abstract In order to more effectively evaluate the coal and related oil and gas resources and protect the environment, the paper analyzed the coal bearing system of the Chuannan Coalfield. With the analysis on the geological features of the coalfield and the seam formation history, the sedimentary environment of the Permian Period seam, the grillwork and the coal bearing of the coal bearing strata, the sulfur content and coal grade of the seam were determined. The results showed that the Chuannan Coalfield could be divided into four coal bearing systems: the coal bearing system A, including the C25—C21 seams in Longtan Group, mainly located in Guxu Mining Area; the coal bearing system B, including the C20—C11 seams in Longtan Group, mainly located in Guxu Mining Area; the coal bearing system C, including C10—C5 seams in Changxing Group, mainly located in Nanguang, Furong and Junlian Mining Areas; the coal bearing system D, including C4—C1 seams in Changxing Group, mainly located in Nanguang, Furong and Junlian Mining Areas. Among the systems, the coal and coalbed methane in the coal bearing system B in Guxu Mining Area and the coal bearing system C in Nanguang, Furong and Junlian Mining Areas were rich and high in resources and could be the optimized selected area for the near future exploration and development of coal and coalbed methane.

Key words: coal; coal bearing system; Chuannan Coalfield; resources evaluation

据目前所知，煤是除天然气水合物之外地球上最丰富的化石能源，在我国的一次能源结构中占主导地位；煤中还赋存有丰富的煤层气资源，可作为21世纪高效清洁的优质化石替代能源。同时，煤又是制约我国生态环境的重要污染源，我国大气中大于 90% 的 SO_2，80% 的 CO_2，71% 的 CO，70% 的 NO_x，60% 的烟尘和大量重金属元素都是煤炭在开采、储存、转运、燃烧和加工利用过程中排放的[1]。因此，未来煤炭资源的评价对于能源安全、环境保护具有至关重要的作用。然而，未来煤炭资源的评价需要考虑全面系统的煤田地质评价、煤炭资源的潜在需求和煤炭开采史等 3方面的因素。因此，未来煤炭资源评价首要的工作是全面系统的煤田地质评价。全面系统的煤田地质评价通常需要综合考虑煤从泥炭堆积到最后保存为可用煤炭资源的一系列地质要素及地质作用 (可能涉及整个煤田

基金项目：四川省社会公益基金资助项目 (2007SGY039)

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

地质学及部分煤化学的研究领域)，作为进行资源评价的研究方法和思路的基础，这就是含煤系统分析[2]。虽然含煤系统方法对于未来煤炭资源评价是如此的重要，但是，以往任何一次煤炭资源评价都不是建立在含煤系统分析基础上的。本文将介绍含煤系统的概念及分析方法，并对川南煤田含煤系统进行了系统的描述，从而为川南煤田煤炭资源评价提供地质依据。

1　含煤系统的概念

含油气系统概念提出以来，对石油天然气开发领域减少风险、降低成本、提高勘探效益方面起着越来越重要的作用，目前已发展成为石油天然气地质综合研究与油气勘探的重要思维方式和研究方法[3]。含油气系统的核心是循着油气从源岩到圈闭的全过程，在大量生－排烃时间界面上或已聚集油气成藏，或发生大规模调整、改造，再或破坏的时间段和过程，通过三维空间分析建立油气成藏主控因素及其与地质作用的组合关系，从而达到有效预测油气资源，在勘探选区和目标选择上最大限度地减少风险，提高成功率[4]。随着近年来煤层气勘探开发的兴起，含油气系统概念被引入煤层气地质学领域，用于煤层气资源评价[5-8]。鉴于煤和油气在形成机制上的相似性，赵忠新等[9] 2002年提出了含煤系统概念；之后，美国地质协会 2005年出版了《含煤系统分析》专题论文集，全面总结了含煤系统概念及分析方法[2 10-14]。

煤是植物残骸经过复杂的生物化学、物理化学以及地球化学变化形成的。煤层是含煤岩系中有机质集中分布的部分，由有机质和混入的矿物质组成；用煤阶、厚度、空间变化、几何形态、煤岩类型、煤化学等进行煤层描述，煤的生烃潜能也常用来描述煤层。当把以上关于煤层描述和煤的形成过程作为一个统一的系统时，即所谓的含煤系统。因此，含煤系统是指具有相同或相似成因史的一个或者多个煤层或者煤层组，其成因史包括泥炭的堆积、埋藏、成岩、后生及最终保存为褐煤、沥青煤或无烟煤[10]。从含煤系统定义可以看出[9]，含煤系统分析应包括煤的形成、煤质、环境因素及煤的生烃潜能评价，每个含煤系统的组成要件 (图 1)，包括：①聚煤环境；②保存及埋藏；③成岩－煤化作用；④煤及其油气资源 (图 1)[9]。

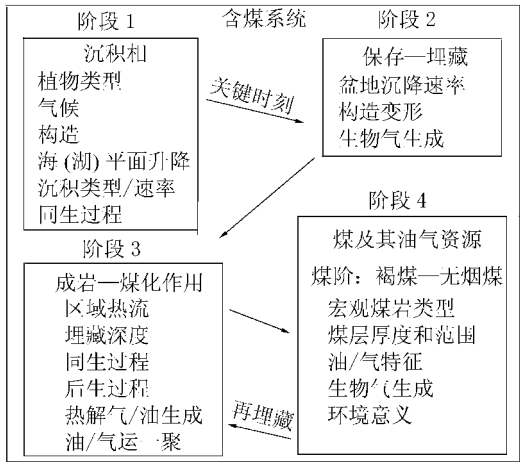


图 1　含煤系统分析组成要件

2　川南煤田地质特征

2.1　地质概况

四川盆地位于扬子板块西部，是一个发育在前寒武组基底之上的叠合沉积盆地－自新元古晚期以来，经历了二叠纪海相克拉通盆地、三叠－白垩纪陆相前陆盆地阶段和白垩纪以后的区域挤压阶段[15]。其中，晚二叠世盆地处于拉张状态，盆地地势总体西高东低，海水从早期到晚期经历 2次进退旋回，沉积了多套含煤地层[16-17]。川南煤田位于四川盆地南部，包括南广、筠连、芙蓉、古叙四大矿区，构造上属于古蔺－筠连褶皱带，以东西向短轴复式褶皱为主，据文献 [16] 修改，如图 2所示。区内出露地层最老为寒武系，除零星分布新近系更新统外，最新为白垩系，缺失奥陶系－石炭系，主要地层为二叠系和三叠系。其中，晚二叠世含煤地层主要为长兴组和龙潭组，含煤 40余层，有可采价值且层位稳定的 25层，自上而下编为 C1—C25，据文献 [16] 和 [17] 修改，如图 3所示。受后期南北向挤压应力，区内地层普遍褶皱抬升，含煤地层大面积遭受剥蚀破坏，煤层主要赋存于保存较好的向斜内部和背斜的翼部。

2.2　沉积环境及煤层

在晚二叠世，川南聚煤区位于南纬 3～5°，是上扬子聚煤盆地的北半部分，古气候属炎热潮湿的热带－亚热带气候[15]。前人对于研究区的沉积环境研究比较深入[16-18]，认为：晚二叠世，海侵路线沿着垫江凹陷，从宣汉、开县地区往西南方向推进，在华蓥山的北东面接受沉积，形成 C25煤层

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

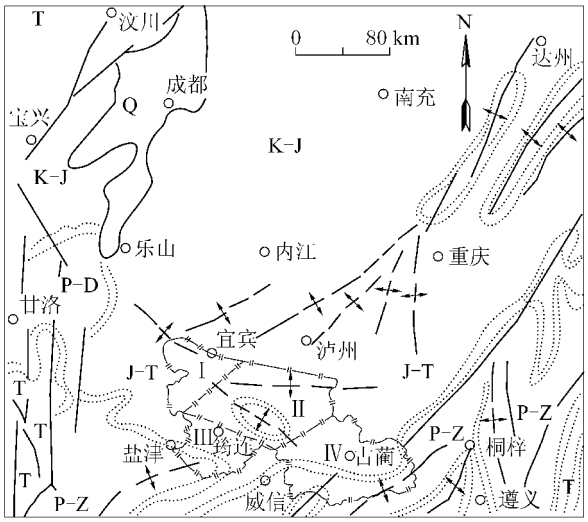
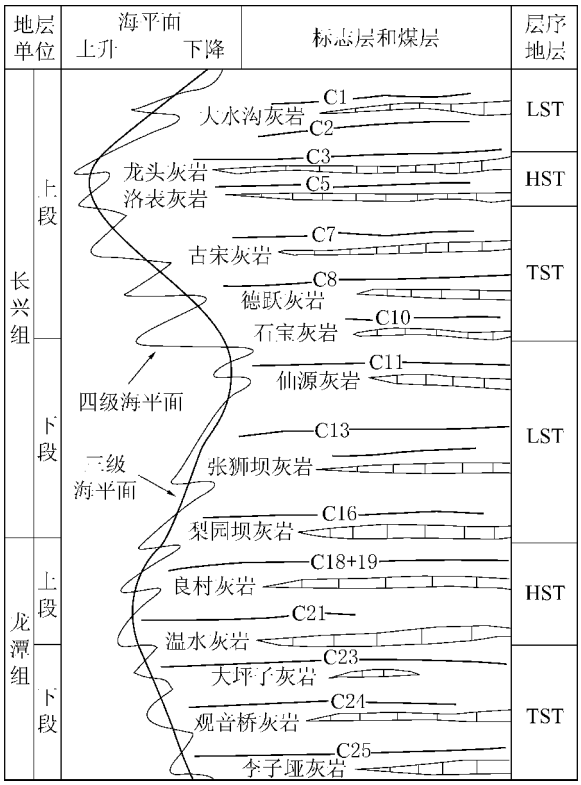


图 2　川南煤田地质略图



LST—低位体系域；HST—高位体系域；TST—海侵体系域

图 3　川南煤田晚二叠世层序地层

以下的地层，川南是广阔的风化残积平原，分布有高岭石化基性凝灰质残积层；龙潭早期，随着海侵的继续，基性凝灰质残积层上发生沼泽化，沉积了以残积平原型为主的 C25—C21煤层；龙潭晚期，开始有河流发育，形成古蔺三角洲，沉积了以三角洲为主的 C20—C11煤层；长兴早期，由于沉积物补偿加快，出现过补偿性海退，冲积平原和近海平原向东扩展，三角洲沉积也明显向海推进，古陆剥蚀区边界向西退缩，泥炭沼泽出现双向扩展，形成以 C8煤层为代表的泻湖－海湾型 C10—C5煤层；长兴晚期，由于研究区南东方向的川黔地区抬升加快，成都－梓潼凹陷开始下降，导致川南隆起带抬升趋势渐弱，沉积了以三角洲型为主的 C4—C1煤层 (图 3)。之后，海水淹没全区，结束晚二叠世成煤过程。

2.3　煤层的保存－埋藏

研究区煤层埋藏历史经历了 6个演化阶段[19]。

1) 阶段 1为初次沉降阶段，从晚二叠世至中三叠世末期，研究区处于持续下降阶段，煤系之上连续沉积了厚度较大碳酸盐地层，煤层深埋地下，最大埋深达 1 400 m，地温 70 ℃，煤层镜质组反射率 R_o为 0.65% 左右，热演化程度低，故此阶段煤层生烃有限。

2) 阶段 2为初次隆升阶段，中－晚三叠世，研究区煤层一度抬升，使得煤化作用停止，但由于抬升幅度和时间有限，因此对煤层的保存无实质性影响。

3) 阶段 3为第 2次沉降阶段，从晚三叠世至晚侏罗世，由于早燕山运动的影响，研究区地层持续沉降，接受陆相碎屑沉积，埋藏深度达到 4 000 m，古地温增高到 90~ 180 ℃，煤层演化达到焦煤阶，煤层大量生烃。

4) 阶段 4为稳定阶段，从晚侏罗世至晚白垩世，煤层埋深保持在 4 000 m左右，煤层进一步演化变质达到瘦煤和贫煤阶。

5) 阶段 5为第 3次沉降阶段，主要发生于晚白垩世，煤层埋深达到 5 000~ 5 500 m，古低温增加到 200~ 210 ℃，煤化作用不断加深，煤层演化达到无烟煤阶，煤层中生成大量甲烷。

6) 阶段 6为再次隆升阶段，受强烈喜马拉雅运动影响全面褶皱回返，形成现今煤层保存状态。

3　川南煤田含煤系统划分和特征

Warwick[2]全面总结了含煤系统特征及组成要

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

素，M ilici[10]详细研究了这些组成要素后，基于其内部关系提出了含煤系统划分的 5条准则：①古泥炭沉积环境；②含煤地层格架；③主要地层单元的含煤性；④煤层硫含量；⑤煤阶为无烟煤。根据研究区含煤系统的各组成要件特点及划分准则，川南煤田可划分出 A－D共 4个含煤系统（表 1）。

表 1　川南煤田晚二叠世含煤系统划分和基本特征

时代	含煤系统	分布矿区	沉积环境	岩性组合	煤层	主要可采煤层	灰分 f/%	含硫量 f/%	R°f/%
长兴期	D	南广、芙蓉、筠连	三角洲	灰－深灰色泥岩、砂质泥岩、粉砂岩及煤层	C4—C1	C2、C3	31.00~38.50	1.65~4.10	2.54~3.18
	C	南广、芙蓉、筠连	泻湖－海湾	细屑岩及煤层，含菱铁矿和黄铁矿结核	C10—C5	C8	22.92~37.23	1.00~4.95	2.42~3.46
龙潭期	B	古叙	三角洲	灰－深灰色灰岩、泥岩及煤层，含燧石结核	C20—C11	C18、C19	15.00~35.00	1.50~5.00	3.23~3.32
	A	古叙	残积平原	细粉砂岩、泥岩及煤层，夹薄层灰岩	C25—C21	C23、C24、C25	15.00~31.94	1.05~2.58	3.25~3.30

4　讨论和结论

4.1　含煤系统划分准则及其地质意义

针对 M ilici[10]提出的含煤系统划分的 5条准则，赵忠新等[9]认为，每一次海（湖）平面周期性变化所形成的煤层及其含煤岩系都可看作是一个含煤系统。当具备发育含煤盆地的构造条件、古气候和古植物条件后，含煤盆地的沉积环境决定煤层聚集特征，包括厚度、形态、煤岩、煤质等，而此时沉积环境又受控于海（湖）平面的升降。根据三级海（湖）平面的升降曲线（图 3），可以划分出与前述含煤系统一致的结果。因此，M ilici和赵忠新等对于含煤系统划分的基本原则是一致的，即沉积环境是划分含煤系统的主要准则，但 M ilici的标准既有定性（沉积环境、岩性）指标，又具有定量（含煤丰度、硫分、煤阶）的特点，采用了 M ilici的准则对川南煤田含煤系统进行划分。

川南煤田煤层中硫分含量主要受沉积环境影响，海水环境下沉积的煤层比淡水环境下沉积的煤层含有更高的硫[20]。从研究区晚二叠世主要煤层平均硫分分布来看（图 4），含煤系统 B和含煤系统 D各煤层硫分表现出含量高（> 3%）的特点，且具有由西（陆）向东（海）含量逐渐升高的变化趋势，这与当时泥炭沉积时海水由东侵入有关；含煤系统 A和含煤系统 C各煤层硫分稍低（< 3%），如图 4所示（据文献［16］和［20］修改），主要因为当时沉积环境为三角洲基础上发育的泥炭沼泽，成煤后受陆相地层覆盖，受海水影响较小，系统内各主要煤层硫分横向数据较少，目前尚难以评价其变化特征和影响因素。

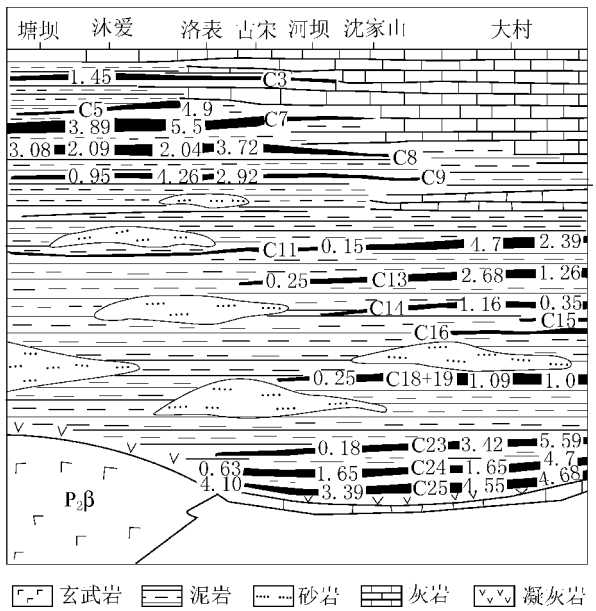


图 4　川南煤田主要煤层的硫含量

煤阶作为煤化作用程度的等级，主要受到温度、时间和压力影响。因此，煤阶是煤层埋藏－保存过程中的煤变质作用的体现，包括深成埋藏变质、岩浆热变质、动力变质等 3种。从川南煤田构造－埋藏过程和热史分析来看，煤阶主要受深成埋藏变质作用控制。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

4.2 资源评价和环境意义

在含煤系统的划分、表征与描述基础上，可以对含煤系统进行煤炭资源预测和评价，包括比较不同的含煤系统，指出对勘探开发有利的含煤系统及有该系统中利区带的位置。川南煤田晚二叠世含煤系统煤炭资源共计有 108.28亿 t，煤层气资源为 $2\ 861.44\times10^{8}\ m^{3}$。另外，川南煤田晚二叠世含煤系统中硫铁矿资源总量达 65亿 t，高岭石黏土资源总量超过 10亿 t[21]。其中，古叙矿区含煤系统 B和南广、芙蓉、筠连矿区含煤系统 C的煤及煤层气丰度高，是未来煤及煤层气勘探开发的优选区。

煤中除含有机质外，还存在大量的无机质，这些无机质包括矿物质和微量元素，这些无机质严重影响环境和生态。川南煤田在长期的煤炭开采过程中，造成了严重的生态、环境污染，至今仍未得到有效的治理。因此，含煤系统分析对于川南煤田环境研究也具有重大作用。另外，碳封存作为减少温室气体排放的新技术，通常也需要考虑含煤系统的特征，才能取得更有效的效果。

志谢：在资料收集过程中得到四川煤田地质局徐锡惠总工程师及川煤集团李益强工程师的大力帮助，在此表示感谢!

参考文献:

[1] 刘焕杰，桑树勋，郭英海，等．我国含煤沉积学若干问题及展望 [J]. 沉积学报，2003，23(1)：129-132.

[2] Warwick，P.D. Coal Systems Analysis：A New Approach to the Understanding of Coal Formation，Coal Quality and Environmental Considerations，and Coal as a Source Rock for Hydrocarbons [C] //Warwick P.D. Coal Systems Analysis. Geological Society of America Special Paper 387，2005：1-8.

[3] Magoon L.B.，Dow W.G. The Petroleum System-from Source to Trap [M]. AAPG Memoir，1994：3-24.

[4] 赵文智．中国含油气系统基本特征及评价方法 [M]. 北京：科学出版社，2003.

[5] Ayers W.B. Jr. Coalbed Gas Systems，Resources，and Production and a Review of Contrasting Cases From the San Juan and Powder River Basin [J]. AAPG Bulletin，2002，86(11)：1853-1890.

[6] SU Xian-bo，LIN Xiao-ying，ZHAO Meng-jun，*et al*. The Upper Paleozoic Coalbed Methane System in the Qinshui Basin，China [J]. AAPG Bulletin，2005，89(1)：81-100.

[7] 朱志敏，沈　冰，路爱平，等．阜新盆地白垩系阜新组煤层气系统 [J]. 石油勘探与开发，2007，34(2)：181-186.

[8] 秦　勇，熊孟辉，易同生，等．论多层叠置独立含煤层气系统：以贵州织金—纳雍煤田水公河向斜为例 [J]. 地质论评，2008，54(1)：65-70.

[9] 赵忠新，王　华，甘华军，等．含煤系统 [J]. 煤田地质与勘探，2002，30(2)：12-15.

[10] Milici，R.C. Appalachian Coal Assessment：Defining the Coal Systems of the Appalachian basin [C] //Warwick，P.D. Coal Systems Analysis：Geological Society of America Special Paper 387，2005：9-30.

[11] Greb S.F.，Eble C.F.，Hower J.C. Subtle Structural Influences on Coal Thickness and Distribution：Examples From the Lower Broas-Stockton Coal (Middle Pennsylvanian)，Eastern Kentucky Coal Field，USA [C] //Warwick，P.D. Coal Systems Analysis：Geological Society of America Special Paper 387，2005：31-50.

[12] Nichols D.J. Palynology in Coal Systems Analysis：the Key to Floras，Climate，and Stratigraphy of Coal-forming Environments [C] //Warwick，P.D. Coal Systems Analysis：Geological Society of America Special Paper 387，2005：51-58.

[13] O'Keefe J.M.K.，Sancay R.H.，Raymond A.L.，*et al*. A Comparison of Late Paleocene and Late Eocene Lignite Depositional Systems Using Palynology，Upper Wilcox and Upper Jackson Groups，East-central Texas [C] //Warwick，P.D. Coal Systems Analysis：Geological Society of America Special Paper 387，2005：59-71.

[14] Riese W.C.，Pelzmann W.L.，Snyder G.T. New Insights on the Hydrocarbon System of the Fruitland Formation Coal Beds，Northern San Juan Basin，Colorado and New Mexico，USA [C] //Warwick P.D. Coal Systems Analysis：Geological Society of America Special Paper 387，2005：73-111.

[15] 李忠权，潘　懋，萧德铭，等．四川盆地拉张-挤压构造环境探讨 [J]. 北京大学学报：自然科学版，2001，37(1)：86-93.

[16] 张玉成．四川盆地南部晚二叠世含煤地层沉积环境与聚煤规律 [M]. 贵阳：贵州科技出版社，1993.

[17] 邵龙义，刘红梅，田宝霖，等．上扬子地区晚二叠世沉积演化及聚煤 [J]. 沉积学报，1998，16(2)：55-60.

[18] 徐兴国．四川东部晚二叠世煤田成煤环境及聚煤规律探讨 [J]. 四川地质学报，1994，14(1)：37-43.

[19] 杨俊杰，裴锡古．中国天然气地质学 [M]. 北京：石油工业出版社，1996.

[20] 唐跃刚，任德贻，刘钦甫，等．四川晚二叠世煤中硫与成煤环境的关系 [J]. 沉积学报，1996，14(4)：161-167.

[21] 周开灿，胡治宪，高德政，等．川南煤、硫共伴生矿物综合利用的资源-环境-经济效应 [J]. 矿产综合利用，1996(5)：20-24.

作者简介：朱志敏 (1978-)，男，四川绵竹人，工程师，博士研究生，从事矿物学、岩石学、矿床学研究。Tel：13408699356，E-mail：zhu-zhimin@163.com

收稿日期：2010-03-15；责任编辑：曾康生

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net