

文章编号:1001-1986(2007)06-0001-09

世界主要产煤国煤田与煤矿开采地质条件之比较

张 泓,晋香兰,李贵红,杨志远,贾建称,姜在炳,韩保山

(煤炭科学研究总院西安研究院,陕西 西安 710054)

摘要:分析了世界主要产煤国家的煤田和煤矿开采地质条件。受东亚晚古生代以来板块构造演化影响,我国煤田(除鄂尔多斯煤盆地外)的地质条件,比美国、印度、澳大利亚、德国、南非、加拿大、俄罗斯近郊煤田和波兰卢布林煤田复杂得多。我国适于露天开采的煤田少,地下井工开采将是煤矿的主要生产方式。以我国目前的开采技术水平,华南、滇藏含煤区的煤田不具备建设大型煤矿的基本地质条件,东北、华北和西北(鄂尔多斯盆地除外)许多煤田的开采地质条件对于建设安全、高产、高效、大型煤矿来说,也面临重大挑战。

关键词:煤田;煤矿床;煤矿;含煤区;开采地质条件;中国;世界

中图分类号:P618.11 **文献标识码:**A

Comparison of coalfields and coal-mining geological conditions of the main coal-producing countries in the world

ZHANG Hong, JIN Xiang-lan, LI Gui-hong, YANG Zhi-yuan, JIA Jian-chen, JIANG Zai-bing, HAN Bao-shan
(Xi'an Branch, China Coal Research Institute, Xi'an 710054, China)

Abstract: The coalfields and coal-mining geological conditions of the main coal-producing countries in the world are illustrated and compared in some detail. The coal geological conditions in China, which is largely controlled by the plate tectonic evolution of Eastern Asia from Late Palaeozoic to present, are more complex than those of the United States, India, Australia, Germany, Canada, South Africa, as well as the Moscow outskirts coalfield in Russia and the Lublin coalfield in Poland. In our country, the coalfields suited to be open-cutting are such less that the underground mining will be the main coal-mining way in the coming years. According to the currently technological standard of coal mining, all coalfields in the Southern China and Yunnan Xizang coal provinces do not have the basic geological conditions to build huge coal mine, and the most coalfields in the Northeastern, Northern and Northwestern coal provinces of China, except the Ordos coal basin, will face with the major challenge for building large-scale modern coal mine with high output, optimum beneficial result and safety.

Key words: coalfield; coal deposit; coal-mine; coal province; mining geological condition; China; world

煤炭在我国能源生产和消费结构中的比例一直占 70% 左右^[1]。新中国成立以来,全国原煤年产量已从 1949 年的 3 243 万 t^[2]增加到 2006 年的 23.8 亿 t^[3],但煤矿瓦斯、突水等矿难频发,生命、财产损失巨大。据初步统计,我国近几年的百万 t 煤死亡率为 2~4 人,是世界其他主要产煤国家的 5~100 倍。生产力综合水平低下是导致矿难频发的重要原因。煤矿的安全生产秩序有赖于社会、经济、法律、管理和科学技术进步等方面的综合治理,其根本出路是建设安全、高产、高效、大型现代化煤矿。煤田地质条件决定了煤矿开采地质条件的复杂程度,而开采地质条件是建设大型现代化矿井的前提。本文

的目的是通过世界主要产煤国家的煤田和开采地质条件的比较分析,充分认识中国煤田开采地质条件的复杂性,为我国煤炭工业的可持续发展寻求科学技术对策提供新的思路。煤矿开采地质条件泛指影响煤田开发的所有地质因素(包括煤层厚度与埋藏深度、水文地质、构造、煤层顶底板岩石物理力学性质、瓦斯、煤尘爆炸的危险性与煤自燃的倾向性、地应力与地温等)的总称。

1 世界主要产煤国煤田地质特征与主要开采方式

全球 100 多个国家^[4-6]有煤炭资源赋存(图 1)。国别煤炭产量除中国居首位外,其他主要产煤国家

收稿日期:2007-06-04

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2003CB214602;2006CB202202;2006CB202208;2002CB211730)

作者简介:张 泓(1941—),男,河南南阳人,研究员,博士生导师,长期从事煤田地质学、煤层气地质学、古植物学与陆相地层学研究。

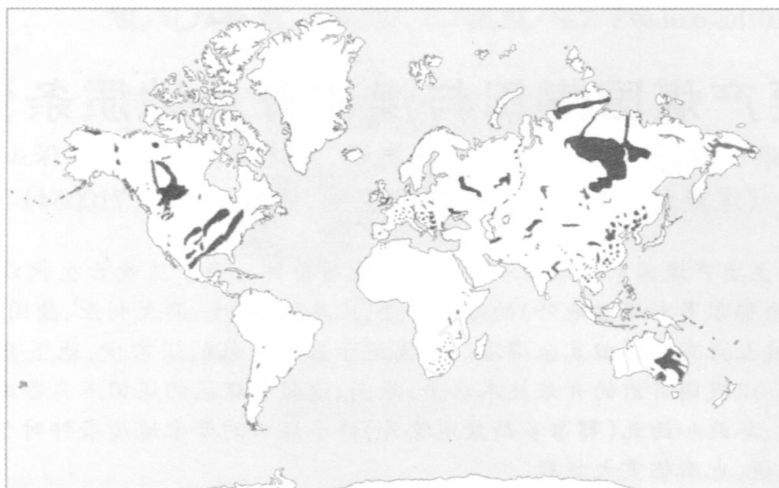


图 1 世界主要煤田分布

Fig. 1 Main coalfields in the world

注:图中黑色部分表示煤田。

依次为美国、印度、澳大利亚、俄罗斯、南非、德国、波兰、乌克兰、印度尼西亚、加拿大,上述国家煤炭年产量约占世界煤炭总产量的 85%~90%。下面按地质、地理的近似性,择要说明其煤田地质特征、开采地质条件与开发现状。

1.1 美国和加拿大

1.1.1 美国

美国的煤田或煤矿床可分为东部区、内陆区、北方大平原区、落基山区、滨太平洋区和墨西哥湾海岸平原区等 6 大含煤区^[4,7]。

东部石炭纪含煤区位于 Appalachian 山脉的前陆盆地,含煤地层是 Pennsylvanian 亚系(上石炭统),煤层厚度 0.5~3.6 m,以烟煤和无烟煤为主,煤级自西而东逐渐升高,西部为高挥发分烟煤,向东过渡为低挥发分烟煤和无烟煤,煤田构造复杂程度不等,早期为地下开采,20 世纪 80 年代以来,已建成一些露天矿。内陆含煤区由一些互相分离的煤盆地组成,含煤层位仍为 Pennsylvanian 亚系,但大地构造位置是北美克拉通(地台);除 Artoma 盆地的煤级较高(低硫无烟煤和炼焦煤)外,多为高挥发分烟煤;该区东部,煤层厚度 0.5~2.5 m,厚度超过 1.5 m 的 Springfield 煤层、Herrin 煤层分布范围达数千 km²;西部煤层较薄(<1.5 m),但分布广,采取露天剥离开采。北方大平原含煤区包括怀俄明州、蒙大拿州、北达科他州和南达科他州的煤盆地,在构造上位于 Cordilleran 推覆冲断带的落基山前陆,含煤地层是白垩系和古近系,除部分烟煤外,主要是亚烟煤和褐煤,煤级自东向西增高,褐煤见于 Williston 盆地,亚烟煤出现于 Powder River 盆地和其他盆地,而蒙大拿

州北部白垩纪煤为烟煤。古近纪煤厚度大(>30 m),采用露天开采。落基山含煤区的煤系赋存于一系列山间盆地,白垩纪煤多为烟煤和亚烟煤,古近纪煤为亚烟煤和褐煤;煤层厚度 3.0~10.0 m,部分煤层受构造破坏,另一些煤层受岩浆侵入体影响。落基山的煤硫含量低,多为高、中挥发分烟煤,局部地区有配焦煤,采用露天和平硐开采。滨太平洋含煤区包括落基山西部和阿拉斯加的煤矿床,成煤时代为白垩纪和古近纪,赋存于南部加利福尼亚州到北部华盛顿州的小型盆地,被构造破坏严重,煤的变质程度高。在阿拉斯加州,已发现许多亚烟煤和高挥发分烟煤矿床,但尚未作地质勘探。墨西哥湾滨岸平原含煤区的成煤时代为古近纪,煤种为褐煤,构造简单,煤层近水平赋存,厚度 1.0~7.5 m,采用大型露天开采方式。

1.1.2 加拿大

加拿大西部含煤区从萨斯喀彻温省的南部,经艾伯塔省延伸到不列颠哥伦比亚省,它其实是美国西部含煤区的向北延伸。该区分布于平原地区者几乎都是未受构造扰动的古近纪和中生代(晚侏罗世-早白垩世)褐煤与亚烟煤;而分布于落基山区者是中生代的高-低挥发分烟煤,煤层厚度约 3~5 m。加拿大东部含煤区包括 Minto 煤田、New Brunswick 煤田以及位于新斯科舍省的 Sydney 煤田,含煤地层为上石炭统,均为烟煤,部分硫含量高,结焦性好。加拿大北部含煤区的煤矿床主要见于育空地区(Yukon Territory)和西北地区(Northwest Territory),其成煤时代与加拿大西部含煤区相同;其中,中生代煤矿床主要见于育空地区,属高-低挥发分烟煤,古近

纪煤矿床分布与育空地区和包括北极群岛在内的西北地区;晚泥盆世和早石炭世煤矿床见于北极群岛。加拿大煤田主要采用露天开采,不过,现正在建几个地下井工煤矿。

1.2 澳大利亚 印度和南非

印度、澳大利亚和南非地理位置相距遥远,但在晚古生代,它们是冈瓦那(Gondwana)大陆的一部分(详后),二叠纪为其主要成煤期,成煤环境和煤田地质条件类似。

1.2.1 澳大利亚

澳大利亚的二叠纪煤^[8]主要见于西澳大利亚州的Collie盆地和Fitzroy盆地、昆士兰州的Bowen盆地和Galilee盆地、新南威尔士州的Sydney盆地,其他小面积二叠纪煤田分布于南澳大利亚州和塔斯马尼亚州。Collie盆地的煤层厚1.5~11.2 m,为低灰、低硫亚烟煤,未被构造扰动,Cardiff和Muja地区已开采,位于西澳大利亚州其他地区的煤田尚待开发;Bowen盆地的煤层埋藏浅,几近水平,厚度达30 m,主要是低硫、灰分产率不等的高挥发分烟煤,结焦性好,采用大型露天开采方式;Sydney盆地是澳大利亚最为重要的煤炭工业基地,主采煤层厚约10 m,为低硫、灰分产率不等的高挥发分烟煤,部分结焦好,构造简单,煤层几乎未被构造破坏,露天和地下井工开采兼而有之,主要开采地区有Sydney盆地的西部和南部、Burratorang河谷、Hunter河谷。昆士兰州东南部的Brisbane地区为中生代烟煤,尚未大规模开发。维多利亚州的Gippsland盆地广泛发育古近纪煤系,煤层厚度巨大,主采煤层达300 m,埋藏浅,产状近于水平,为低灰、低硫褐煤,采取露天开采,其中最重要的产煤区位于Latrobe河谷。

1.2.2 印度

印度98%的煤炭资源和95%的煤炭产量来自二叠纪冈瓦那煤系。冈瓦那煤集中分布于印度半岛东北部和中东部的14个盆地;新生代褐煤见于印度东北部和西北部,最重要的褐煤矿床位于泰米尔纳德邦的Neyveli以南。

在比哈尔、西孟加拉和奥里萨等东部各邦,Jharia、Raniganj、Bokaro、Ramgarh、Karanpura、Singrauli和Bisrampur等煤田均开发冈瓦那煤。除Singrauli煤田有厚达134 m的巨厚煤层外,其他煤田的主采煤层厚度多在1.0~30 m之间,主要是高灰、硫含量不等的高-低挥发分烟煤;在Jharia和Raniganj煤田,产优质炼焦煤。这些煤田都有断层,但构造破坏不强烈。印度中东部的Pench-Kanhan-Tawa、Godavari和Talchir煤田,冈瓦那煤厚约1.0~4.0 m,属不能

炼焦的高挥发分烟煤;煤层未被构造破坏。

印度北部山区的新生代煤田构造复杂,阿萨姆邦的Makum煤田,煤层呈透镜状,局部地区厚度达30 m,为高硫、高挥发分烟煤。印度南部的Neyveli地区为古近纪褐煤,构造简单,煤层最厚可达20 m,硫含量高。

1.2.3 南非

南非的煤矿床主要分布于北部和东部的一系列盆地,其中,以Karoo盆地最为重要。含煤地层为二叠系,主采煤层厚度5 m左右,几乎未受构造破坏,主要是高灰、低硫、高挥发分烟煤,部分具弱结焦性。Karoo盆地的Eastern Transvaal、Highveld、Springs Witbank、South Rand、Utrecht、Vierfontein和Vereeniging煤田,多为地下井工开采,所产煤炭主要用于发电和液化。位于南非-博茨瓦纳边境附近的Waterberg煤田和Springbok Flats地区,处于开发早期阶段,而Limpopo和Lebombo煤田的高灰分烟煤资源勘探程度较低。

1.3 俄罗斯和乌克兰

俄罗斯和乌克兰是独联体的主要产煤国家。就整个前苏联^[9-10]而言,成煤期有晚古生代(石炭纪、二叠纪)、中生代(三叠纪、侏罗纪、白垩纪)和新生代,含煤层位自西(欧洲部分)而东(远东滨太平洋)逐渐抬高。主要含煤盆地或煤田见图2。下面以几个开发历史悠久的煤盆地来说明其开采地质条件。

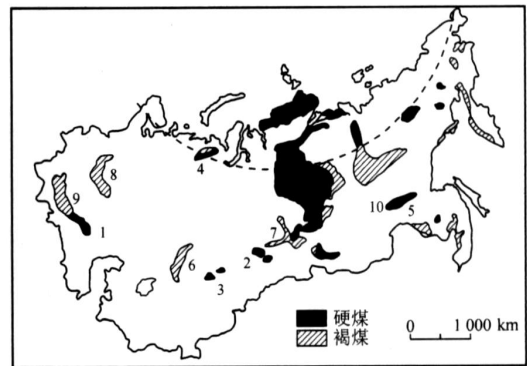


图2 独联体国家(前苏联)主要煤盆地分布

Fig. 2 Main coal basins in the Commonwealth of

Independent States (former USSR) (after Thomas L., 1992)

1—顿涅茨盆地(乌克兰与俄罗斯);2—库茨涅茨克盆地(俄罗斯);3—卡拉干达盆地(哈萨克斯坦);4—伯绍拉盆地(俄罗斯);5—南雅库特盆地(俄罗斯);6—叶基巴斯图兹盆地(哈萨克斯坦);7—坎斯克-阿钦斯克盆地(俄罗斯);8—莫斯科近郊煤田(俄罗斯);9—第涅伯盆地(白俄罗斯和乌克兰)

顿涅茨盆地位于乌克兰的第涅伯彼得罗夫斯克州、顿涅茨州、伏罗希罗夫格勒州和俄罗斯的罗斯托夫州境内,面积约6万km²。石炭纪地层含煤300多层,其中,2/3煤层厚度小于0.45 m,少数煤层的最大厚度1.8 m(偶尔达到2.5 m),主要可采煤层位于

上石炭统莫斯科阶,有 6 个煤组,有编号的可采煤层 30 层以上;煤种以肥煤和无烟煤为主,其次是气肥煤、肥煤、焦煤、瘦煤。由于煤层厚度不大,构造复杂,加之大小冲刷现象的存在,使得开采地质条件复杂化;位于顿巴斯褶皱区的煤矿,深部煤层的开发因地压增高、瓦斯含量增加、煤和岩石突出、地温升高而复杂化,现有 25% 以上的矿井为超级瓦斯矿。在西部和北部煤系隐蔽区,上覆中、新生代地层含水性高,煤矿开拓和开采的水文地质条件复杂,古近系布查克层中的细砂岩,饱水时具流沙性质,井筒掘进十分困难。在老矿区,上部水平的煤已被基本采完,目前的开采深度为 400~800 m,某些矿井的深度达 1 000 m 以上,在新开发区,开采深度小于 300 m。

莫斯科近郊煤田由许多独立的煤产地构成,它们绕莫斯科市的西部和南部作半环状分布。按煤田发现时间(1722 年)和开采时间(1855 年),该煤田是俄罗斯最古老的煤矿区。莫斯科近郊煤田的含煤层位为下石炭统维宪阶,含煤段由博布里科沃层和土拉层组成,前者平均厚度 25~30 m,含 1 层厚度 1.4~2.8 m(最厚 5~12 m)的可采煤层,后者仅有局部可采煤层;煤种为褐煤。岩层和煤层几近水平,构造简单,在含煤岩系的下伏和上覆地层都有碳酸盐岩存在,富水的灰岩岩溶含水层互相连通,水文地质条件复杂。因此,煤矿开发前,须预先疏干;主要采用地下井工开采,少数露天开采。煤层埋藏浅(埋深 15~30 m)的煤产地已全部或大部分采完,目前的生产矿井主煤层的底板深度大体在 60~140 m。

库茨涅茨克煤田位于西伯利亚克麦罗沃州,北西—南东走向长 335 km,宽约 110 km。该煤田发现于 1721 年,18 世纪人工开采,1842 年开始工业化生产。库茨涅茨克煤田总体上是一个复向斜构造,含煤层位是上石炭统—下二叠统(巴拉洪群)、上二叠统(科里楚金群)和上三叠统—侏罗系(塔尔巴甘群);下巴拉洪亚群含煤性低,煤层薄,仅局部地区有工业煤层,上巴拉洪亚群的乌夏茨克组煤层最发育,含 20 个 2.5~10 m(个别 25.0~30.0 m)的工业煤层;科里楚金群含有 40 个 1.0~3.0 m(个别 10.0~25.0 m)的可采煤层;塔尔巴甘群含煤 11~56 层,其中 5~14 层可达可采厚度(0.8~9.4 m)。库茨涅茨克煤田的煤种齐全,并以炼焦煤为主;煤中的瓦斯含量 6~40 m³/t。库茨涅茨克煤田的 3 套煤系构成了复杂的多层结构,巴拉洪群、科里楚金群和塔尔巴甘群的地质构造有重大差别。煤田的东北部,巴拉洪群岩层陡立、倒转,发育密集的线形褶皱,许多逆断层和逆掩断层构成复杂的叠瓦构造,在煤田边缘各种

方向的褶皱系交汇处,发育大型向斜构造,向斜的翼部常被次级褶皱和断层复杂化,有些地区的煤层被岩浆岩岩墙和岩床穿插。科里楚金群在盆地西北部构成宽阔的地堑状褶皱带,西南为短轴褶曲,翼部平缓。塔尔巴甘群地层构成翼部产状比较平缓的大型短轴向斜,向斜核部的煤层呈舒缓波状,或近于水平。按照含煤地层的空间分布和构造条件,库茨涅茨克煤田被分为 25 个煤矿区;煤炭产量的 1/3 为露天开采,其余是地下井工开采;后者的开采深度平均为 250~500 m,最深 1 000 m。开采地质条件的复杂程度取决于煤层所在的含煤层组和地质构造位置;水文地质条件中等,井巷中的涌水量一般不超过 200~300 m³/h,个别地区达到 500~1 000 m³/h。

1.4 波兰和德国

1.4.1 波兰

波兰的晚古生代煤分布于上西里西亚(Upper Silisia)、下西里西亚和卢布林(Lublin)煤田,含煤地层为上石炭统纳谟尔阶—维斯发阶。

上西里西亚煤田的晚古生代煤系含煤 400 层,已开采者达 200 层,可采煤层一般厚 1.5~2.0 m,最厚 9.0~24 m,以低灰、低硫、高挥发分烟煤为主,向斜构造,具有陡倾(30~60°)的翼部,以地下井工开采为主。下西里西亚煤田晚古生代煤系的煤层总数(50 层)和可采层数(30 层)都比上西里西亚煤田少,煤层也比较薄(0.6~1.2 m),煤类为焦煤—瘦煤,主体为向斜构造,被次生褶皱和断层复杂化,地下开采。卢布林煤田为低灰、低硫烟煤,结焦性好,与上、下西里西亚煤田相比,煤层几乎未被构造破坏。波兰的新生代褐煤主要见于中部和西南部,中部 Belchatow 和 Konin 地区的煤层厚度分别为 70 m 和 20 m,西南部的下 Lausitz 和 Turossow 煤田的褐煤层厚达 60 m,采取露天开采。

1.4.2 德国

德国的晚古生代煤主要分布于亚深(Aachen)、鲁尔(Ruhr)、萨尔(Saar)盆地,其中,亚深盆地产低灰、低硫、高—低挥发分烟煤(部分为焦煤),煤厚约 1.5 m;鲁尔盆地的低灰、低硫、高挥发分烟煤是良好的炼焦煤,煤层厚度 0.5~3.0 m,其向北延展部分的下 Saxony 煤田产无烟煤;萨尔盆地产不能配焦的烟煤,煤层几乎未受构造破坏,煤厚 0.5~2.0 m。

德国最为重要的新生代褐煤矿床主要见于莱茵(Rhenish)、Halle Leipzig Borna 和下 Lausitz 盆地。莱茵盆地位于鲁尔附近,赋存厚度达 90 m 的低灰、低硫褐煤,构造简单,露天开采;Halle Leipzig Borna 和下 Lausitz 盆地位于德国东部,赋存低灰、低硫褐煤,

煤厚均在 50 m 以上,采取大规模露天开采。

1.5 印度尼西亚

该国的煤田主要分布于苏门答腊和加里曼丹,含煤地层均为古近系和新近系,煤类为褐煤—低挥发分烟煤,部分地区受岩浆岩侵入和岩浆近地表热活动的影响,煤级较高。

苏门答腊岛的下列 3 个煤田已勘探开发:a. Bukit Asam 煤田位于该岛的东南端,煤厚达 12 m,一般为低灰、低硫亚烟煤,岩浆岩侵入体附近为烟煤,露天开采;b. Ombilin 煤田位于西苏门答腊省首府 Badang 市东北的 Sawahlunto 附近,主要可采煤层厚度达 20 m,为高挥发分烟煤或低灰、低硫亚烟煤,露天和地下井工开采;c. Bengkulu 煤田位于苏门答腊西南海岸,为低灰亚烟煤,仅小规模开发。

加里曼丹的新生代煤田主要分布于该岛的东海岸。东加里曼丹省的 Sagatta/Berau 煤田和南加里曼丹省的 Senaki/Tanah Grogot/Tanjung 煤田主要是低灰、低硫烟煤和亚烟煤,煤层厚度达 10 m;在加里曼丹的东北部 Karakan 煤田为高硫烟煤,现已停止开发。

2 中国主要煤田的地质特征

按照煤系的时空分布^[11]和大地构造特征,我国煤田可分为华北、东北、华南、西北和滇藏等 5 个含煤区^[12](图 3)。

2.1 华北含煤区

华北含煤区位于阴山—燕山以南、秦岭—大别山以北和贺兰山—六盘山以东的广大地区,大体相当于华北地台的位置。该区主要含煤地层形成于石

炭二叠纪和侏罗纪。石炭二叠纪煤田是晋、冀、鲁、豫、宁、陕、内蒙古等省区的主要开采对象^[13],煤种为气煤—无烟煤,处于华北地台外环变形区的煤田(如大青山、贺兰山—桌子山、渭北、豫西、徐州、淮南、淮北等煤田)构造变形强烈,即使是位于华北地台内部的煤田(如河东煤田、大宁煤田、沁水盆地),由于陆内造山带(如吕梁山、太行山)的存在,仍然受构造或侵入岩体的扰动,显示比较复杂的构造图像^[13]。特别应该指出的是,受早古生代晚期—晚古生代早期的晋冀鲁豫运动(上升)^[14]的影响,华北石炭二叠纪煤系直接平行不整合在奥陶纪灰岩之上,形成独特的“奥灰”岩溶水充水煤矿床,水文地质条件十分复杂。比较而言,侏罗纪的煤层受构造破坏较轻,鄂尔多斯盆地的侏罗纪煤田(如东胜、神木—榆林地区)的构造十分简单^[15-16],煤层近水平分布,是我国煤矿开采地质条件最简单的地区。

2.2 东北含煤区

东北含煤区是指阴山—燕山以北的我国东北地区(包括内蒙古自治区的东三盟),含煤地层以下白垩统为主,其次是石炭二叠纪煤系和古近纪—新近纪煤系^[12]。该区处于华北地台的东北缘和天山—兴蒙褶皱带,南部的南票、红阳、本溪和通化等晚古生代煤田受强烈挤压变形的影响,后期改造强烈,构造复杂。三江—穆棱地区的鸡西、七台河、双鸭山、鹤岗和集贤的白垩纪煤田分别相当于被 SN、NE、NEE 方向断裂切割的独立断块,煤田内部断裂发育、褶皱宽缓,伴有岩浆岩侵入,使煤层受到破坏,构造复杂。辽宁西部、大兴安岭及其以西的白垩纪煤田

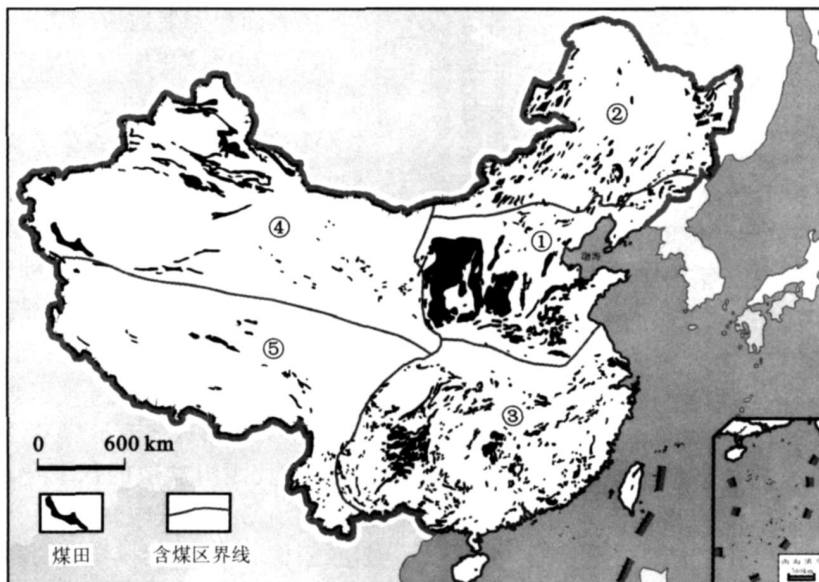


图 3 中国煤田和煤炭资源的地理分布

Fig. 3 Geographic distribution of coalfields and coal resources in China

——华北含煤区; ——东北含煤区; ——华南含煤区; ——西北含煤区; ——滇藏含煤区

(如阜新、铁法、乌兰浩特 - 林西、平庄 - 元宝山、伊敏、大雁 - 陈旗、扎赉诺尔、霍林河和胜利等煤田)均位于北东和北北东向小型断陷(单断式或双断式)盆地内,煤层产状较平缓,北东向断裂比较发育,伴有东西向和北西向断裂,形成网状构造格架,煤系被切割成一系列规模不等的断块。许多煤田有岩浆岩岩床、岩墙侵入煤层。新生代煤田分布于抚顺、沈北、依兰、舒兰、梅河口、桦甸和延边等地;除抚顺外,多为褐煤;均为北东向地堑式盆地,次级地堑和断阶发育,常被北西向断裂切割;地堑内的含煤地层常呈北东向不对称向斜。

2.3 华南含煤区

华南含煤区位于秦岭 - 大别山以南,龙门山 - 大雪山 - 哀劳山以东。该区成煤时代有早石炭世(测水煤系)、早二叠世(梁山煤系)、晚二叠世(龙潭煤系、宣威煤系)、晚三叠世(安源煤系、须家河煤系、宝鼎煤系)和侏罗纪(香溪煤系)等,且以晚二叠世煤田为主。在大地构造上,该区位于扬子地台和华南褶皱系,晚三叠世以后经历了十分强烈的改造,各主要煤田以煤系强烈变形、褶皱发育、断层密集、推覆构造发育为基本特征。滇东、广西、广东、海南、和闽、浙、台等省的古近纪 - 新近纪褐煤^[17],除台湾外,大多以断陷盆地的形式存在,后期改造微弱,构造较简单。

2.4 西北含煤区

西北含煤区是指昆仑山 - 秦岭以北和贺兰山 - 六盘山以西地区。该区虽有石炭二叠纪(山丹)和白垩纪(徽成盆地)含煤地层,但主要成煤期是早中侏罗世^[18]。大中型盆地(如准噶尔盆地、伊犁盆地、吐哈盆地、三塘湖盆地、塔里木盆地、柴达木盆地)的侏罗纪含煤地层和煤层分布稳定,但受后期构造运动的改造,盆地周缘的构造复杂,断裂发育,煤层倾角大(急倾斜、直立、倒转),盆地内部煤层倾角变缓,呈宽缓的褶皱。祁连山的小型煤盆地群(如靖远、窑街、阿干镇、大有、大通、热水、木里、江仓、门源和潮水盆地等)的边缘断裂构造发育,内部有复杂的褶皱构造。

2.5 滇藏含煤区

滇藏含煤区是指昆仑山以南、龙门山 - 哀劳山以西的西藏全部和云南西部。该区从石炭纪煤系到新生代煤系均有发育,但都是小型煤盆地^[17]。地质构造十分复杂,以紧密的线形褶皱和密集的断裂构造为特征,构造线走向北西或北北西向。

3 比较与讨论

煤田地质条件除了受煤层原始沉积环境的影响

外,主要受控于大地构造背景和煤田形成后所经历构造运动的期次多少与强弱情况。就全球情况而言,煤田构造复杂程度有以下特点:a. 位于大型稳定地台(地盾、克拉通地块)的煤田构造简单,而褶皱带和过渡带上的煤田构造复杂;b. 形成时间早比形成晚的煤田构造复杂,如晚古生代煤田构造比中、新生代煤田复杂;c. 中、高煤级煤的瓦斯含量高,低煤级煤瓦斯含量低。

我国华南含煤区和滇藏含煤区的煤田最为复杂,其次是华北含煤区,然后是东北和西北含煤区。如果将我国煤田地质条件与国外主要产煤国家相比,那么,除鄂尔多斯盆地内部的侏罗纪煤田外,我国煤田比美国、印度、澳大利亚、德国、南非、加拿大和俄罗斯近郊煤田复杂得多。导致这种差异的原因可能与我国独特的大地构造背景有关。

3.1 陆块大小与煤盆地的构造形变

中国是一个巨大的、性质不同的构造单元镶嵌体(图 4),包括独立的古(微)陆块,破裂的海洋盆地、与消减作用相关的火山 - 深成岩岛弧、与增生作用相关的变质沉积岩以及非造山侵入火成岩。虽然不同学者对于中国大陆古(微)陆块的数量存在争议,但是,大家都承认,它们是从其起源位置经过长距离位移,不断拼合增生于欧亚大陆之上^[19-20]。

中国的小型陆块都是元古宙(650 MaBP)定型的,其间是受到强烈挤压变形的褶皱带或碰撞带。上述陆块面积都不大,小者仅数千 km^2 ,最大的华北地块(地台)也不到我国大陆面积的 1/18,是北美板块的 1/12,俄罗斯地台的 1/5^[20-21]。

由大面积完整地块构成的刚性大陆(如北美板块、俄罗斯地台)在构造上比较稳定,且后期变形微弱,其上的煤田构造也简单。如美国内陆区的煤层基本保持原始水平状态;俄罗斯地台上的莫斯科近郊煤田的成煤期虽然是早石炭世,但是,不仅煤层未发生变形,甚至煤的变质程度也很低(褐煤)。

由小陆块拼合而成的大陆,其总体强度较低,容易发生塑性变形,陆块的稳定性差,其上的沉积盖层(包括煤系)容易发生构造变形^[20]。即使较大陆块(如华北、华南)的大部分地区也出现了明显的板内变形,微弱变形或未变形煤系仅限于松辽盆地、鄂尔多斯盆地、四川盆地的侏罗纪或白垩纪含煤地层。中国大陆的强烈板内变形,导致了我国煤田构造的复杂图像,未发生明显变形的鄂尔多斯地块为东胜、神木地区煤田相对简单的开采地质条件提供了基本保障。另一方面,由于小陆块稳定性差,煤系上覆盖层的厚度大,煤层埋藏较深,导致我国适合露天开采

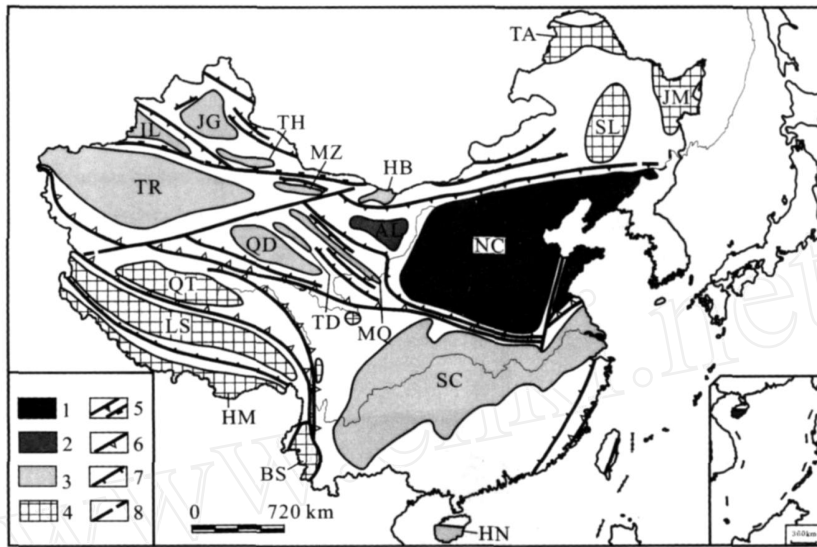


图 4 中国大地构造简图

Fig. 4 Simplified tectonic map of China

1 ——太古宙 - 古元古代结晶基底的地块; 2 ——古元古代结晶基底的地块; 3 ——中元古代结晶基底的地块;

4 ——新元古代结晶基底的地块; 5 ——古生代俯冲带和缝合带; 6 ——中生代缝合带; 7 ——新生代缝合带; 8 ——走滑断裂;

JG——准噶尔地块; TH——吐哈地块; IL——伊犁地块; TR——塔里木地块; MZ——马鬃山地块; HB——好比如地块; TA——塔河地块;

JM——佳木斯地块; SL——松辽地块; AL——阿拉善地块; MQ——中祁连地块; TD——达肯达坂地块; QD——柴达木地块; NC——华北地块;

SC——华南地块; HN——海南地块; QT——羌塘地块; LS——拉萨地块; HM——喜马拉雅地块; BS——保山地块

的煤田少。

3.2 陆块的离散和汇聚与煤盆地变形程度

在石炭二叠纪成煤期^[22], 欧洲、北美大陆是连在一起的劳伦西 (Laorensia) 大陆; 非洲、南美、印度、澳大利亚相连组成冈瓦那 (Gondwana) 大陆; 劳伦西大陆与冈瓦那大陆通过其间赤道山系组成联合古陆; 西伯利亚是位于北半球的一个独立古陆 (图 5)。在侏罗纪, 北美和南美大陆与欧洲、非洲分裂, 其间形成大西洋; 大约在白垩纪, 印度和澳大利亚冈瓦那大陆分离出来; 最后于新生代, 形成了目前的全球地理图像 (构架)。

中国的小型陆块在石炭二叠纪大多是散布于东特提斯 (Tethys) 洋盆的独立地壳块体^[23-24] (岛屿群) (图 5), 其后, 这些“刚性”地块不断向北漂移, 依次与早期形成的亚洲大陆汇聚, 于中生代晚期形成了中国大陆的基本轮廓。

澳洲、北美、印度以及非洲是从联合古陆分裂出来的大陆, 分裂之后几乎未发生重要的陆-陆碰撞, 煤盆地未受强烈改造, 煤田构造比较简单; 印度虽然在古新世与亚洲大陆汇聚^[25], 但是印度板块的核心是刚性很强的大型地盾, 这种汇聚对于印度板块的冈瓦那煤田改造轻微, 煤层未受构造的强烈扰动。

与上述情况不同的是, 中国的小陆块在汇聚过程中多次发生陆块之间的碰撞, 加上西太平洋 (岛) 弧 - (海) 沟 - (洋) 盆系统影响, 因此, 中国的晚古生

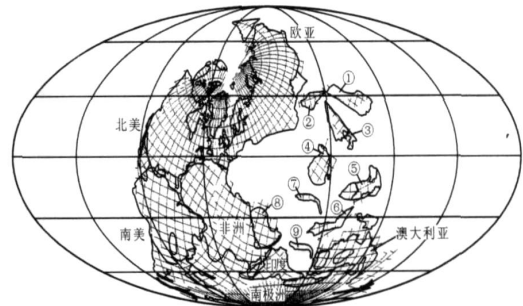


图 5 早二叠世 (281 MaBP) 全球古地理简图 (据 Ziegler et al. 修改, 示联合古陆与中国各主要地块在特提斯海域的位置)

Fig. 5 Global Early Permian palaeogeography (281 MaBP)

(after A M Ziegler et al., 1996)

- 蒙古; ——塔里木; ——华北; ——华南;
- 印支; ——中缅甸 (Sibumasu); ——羌塘;
- 阿拉伯半岛; ——拉萨

代和中生代含煤盆地受挤压变形的强烈改造, 使其原始面貌多难以辨认。

3.3 陆块碰撞拼合期次与煤田的多幕次 多方向构造扰动

晚古生代以来, 中国大陆经历的碰撞拼合期次较多。早石炭世, 包括准噶尔地块在内的哈萨克斯坦板块沿额尔齐斯 - 克拉美丽一线增生于西伯利亚板块南缘; 早二叠世末, 天山 - 兴安海洋盆地消亡, 塔里木和华北板块与哈萨克斯坦 - 西伯利亚联合板块碰撞拼合; 在中晚三叠世, 羌塘地块和华南板块拼合于包括华北和塔里木在内的古亚洲大陆南缘, 其

间形成昆仑山 - 秦岭 - 大别山褶皱带;接着,拉萨地块在晚侏罗世与羌塘地块碰撞,Kohstan - Dras 岛弧复合体在晚白垩世增生到亚洲大陆南缘;此后,印度板块在古新世末(53 MaBP)与亚洲大陆碰撞,形成雅鲁藏布江缝合带,喜马拉雅山隆起。另一方面,库拉 - 太平洋板块在晚侏罗世向亚洲大陆作 NW 向或 NWW 向俯冲,这种俯冲造成了边界断裂(如郯庐断裂)处的左行走滑,在大陆边缘外带产生挤压作用,在大陆边缘的内带和陆内外侧,以伸展作用为主,形成了一系列 NE 向断陷和裂谷含煤盆地(如我国东北的白垩纪含煤盆地)。

中国大陆的多幕次碰撞,使得先期拼合的陆块群又一再经受后期碰撞的影响而发生再变形,最终导致我国晚古生代煤田和中生代煤田产生多旋回改造。受大陆构造变形的动力学系统不同的影响,我国中生代以来的构造应力场差异明显:印支运动的挤压方向几近南北,燕山运动为北西向,而喜马拉雅运动为北东向。正是这种多期次、多方向、强度较大的构造变形,使同一煤田会出现不同方向的破裂构造(包括各种断层、节理、煤割理)和褶皱构造,甚至形成大量构造煤,而构造煤吸附的甲烷多,且渗透性差^[26],难以解吸抽放,就给煤矿安全生产带来隐患。

3.4 现今地壳运动与煤盆地的地应力和大地热流

中国大陆现今地壳运动基本上受喜马拉雅系统和西太平洋系统应力场的共同影响。根据新近研究资料^[27-28],由 GPS 观测确定的地壳运动速度场呈现明显的分区现象。我国西部主要受喜马拉雅系统构造运动的影响,由于印度板块新生代以来持续向北凸入楔进,使我国西部现今的最大主应力迹线从这个凸入楔向外散开^[29]。现今的亚洲东部在一定程度上受西太平洋系统应力场的构造影响,因此,中国东部应力场应是介于西部和西太平洋弧 - 沟 - 盆体系应力场之间的过渡地带。由于太平洋板块俯冲引起的弧后扩张和大陆一侧的北西和北北西强烈引张,使得东北、华北东部和东南沿海地区的高应力和高热流状态相对应。

基于上述原因,我国主要煤田的原地应力普遍偏高(表 1)。例如我国黔西(六盘水煤田)和滇东(恩洪矿区)煤层的原地应力为 13~28 MPa,应力梯度高达 21~33 kPa/m。我国东部的一些煤田不仅原地应力偏大(表 1),大地热流^[31]和地温梯度也较高。例如,华北地区的平均大地热流为 1.5 HFU,淮南煤田部分矿区的大地热流值为 1.6~2.34 HFU,局部地区最高地温梯度达 3.4~4.5 /hm,沁水煤盆局部地区的地温梯度 3.2~3.8 /hm;大地热流值和

地温梯度均高于全球平均值,甚至高于全球中生代造山带的平均热流值,说明这些地区仍处于比较活动的地壳演化阶段。

表 1 中国部分煤矿区主要可采煤层的原地应力数据

Table 1 The data of stress in situ from the mineable seams of selected coal - mining regions in China

煤矿区 (煤田)	煤层埋深 /m	原地应力 /MPa	应力梯度 /kPa·m ⁻¹
黑龙江鹤岗	650~955	12.2~19.5	14.0~25.7
辽宁铁法	590~730	8.3~10.2	12.2
河北开滦	720~983	7.6~9.4	10.6~11.2
河南安阳	570~670	8.7~11.7	15.2~17.6
河南鹤壁	646	9.3	14.8
河南焦作	670	13.8	20.8
安徽淮北	630~650	9.7~22.1	14.9~28.6
安徽淮南	506~974	9.5~22.3	15.6~23.5
山西阳泉	510~890	5.5~9.8	9.7~16.2
山西屯留	475~781	7.6~11.9	15.3~17.6
山西晋城	225~697	3.1~13.6	9.7~21.6
山西柳林	351~411	5.4~8.2	15.4~23.9
陕西渭北	630~720	8.5~16.9	13.1~28.0
贵州六盘水	560~1245	15.5~28.3	21.0~33.5
云南恩洪	510~568	13.4~18.2	26.7~33.1

事实上,煤矿开采中的矿压、岩爆、瓦斯突出、突水等煤矿灾害是现今应力场活动的表征之一,是能量瞬时释放的表现形式^[30],也是中国现今地壳运动的必然反映;较高的大地热流和地温梯度是煤矿热害的主导因素。因此,中国现今地壳运动比较活跃的属性,可能给煤矿的安全生产带来多种不可估量的影响。

4 结论

煤田地质条件是建设安全、高产、高效大型煤矿的基础。通过对包括中国在内的 11 个世界主要产煤国家的煤田和煤矿开采地质条件的比较分析,可以得出如下结论:

a. 就全球情况而言,煤田构造复杂程度有以下特点:位于大型稳定地台(地盾、克拉通地块)的煤田构造简单,而褶皱带或过渡带上的煤田构造复杂;成煤时间早(晚古生代)的煤田比成煤晚的煤田构造复杂;中、高煤级煤的瓦斯含量高,低煤级煤瓦斯含量低。

b. 我国华南、滇藏含煤区的煤田构造条件最为复杂,其次是华北含煤区,然后是东北和西北含煤区。就总体情况而言,我国的煤田地质条件(鄂尔多斯煤盆地除外),比美国、印度、澳大利亚、德国、南非和加拿大等国以及俄罗斯近郊煤田要复杂得多。

c. 导致中国煤田地质条件复杂的主要原因是:中国大陆由众多小型陆块组成,抵抗构造破坏的

能力差,煤盆地容易发生变形;中国是由汇聚的陆块拼合而成的大陆,煤盆地受挤压变形的影响较大;中国大陆的碰撞拼合期次多,煤田遭受多幕次、多方向的后期构造运动的改造较强烈;中国现今地壳运动受喜马拉雅系统和西太平洋系统的共同影响,地应力和大地热流较高。

d. 西方主要产煤国(美国、澳大利亚、加拿大)的煤田目前多采用露天开采。我国煤系因上覆盖层厚度大,煤层埋藏较深,适于露天开采的煤田较少;今后我国煤矿的主要生产方式仍将是地下井工开采。但是,我国西部煤田原地应力高、构造复杂,而东部(东北、华北地区)煤田不仅应力高、构造和水文地质条件复杂,且热流值较高,这给煤矿安全生产带来了矿压、瓦斯灾害、水害和热害(地温)难题。因此,以我国目前的生产力综合水平和开采技术水平,华南、滇藏地区的煤田不具备建设大型煤矿的基本地质条件;即使东北、华北和西北地区(鄂尔多斯盆地除外)许多煤田的开采地质条件,对于建设安全、高产、高效的大型煤矿来说,也面临重大挑战。

致谢:

本文的初稿是为中国工程院《煤矿灾害防治技术及对策研究》项目撰写的部分内容。在补充、完善、成文、修改过程中,曾与申宝宏、张群研究员切磋与讨论,谨致以衷心感谢。

参考文献

- [1] 阎长乐. 中国能源发展报告[M]. 北京:经济管理出版社,1997.
- [2] 煤炭工业部《中国煤炭工业年鉴》编审委员会. 1983年中国煤炭工业年鉴[M]. 北京:煤炭工业出版社,1984.
- [3] 中华人民共和国统计局. 中华人民共和国2006年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. [2007-02-28] <http://www.stats.gov.cn>.
- [4] THOMAS L. Handbook of practical coal geology[M]. Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore: John Wiley & Sons, 1992.
- [5] THOMAS L. Coal geology[M]. Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore: Wiley & Sons, 2002.
- [6] FETTWEIS GB. World coal resources: methods of assessment and results[M]. Dev. Econ. Geol. Ser. No10. Amsterdam: Elsevier, 1979.
- [7] NELSON WJ. Coal deposits of the United States[J]. Int. J. Coal Geol., 1987, 8:355-365.
- [8] COOK A C. Australian black coal[M]. Aus. Inst. Min. Met., Illawarra Branch, 1975.
- [9] 米罗诺夫, K. B. 煤田地质工作者手册[M]. 李廉清,译. 北京:地质出版社,1986.
- [10] BROWNFIELD M E, STEINSHOUER D W, POVARENYYKH M Y, et al. Coal quality and resources of the former Soviet Union - an arc view project[R/OL]. U. S. Geological Survey open - file report 01 - 104. <http://greenwood.cr.usgs.gov/energy/OFO1-104>, 2001.
- [11] 韩德馨,杨起. 中国煤田地质学(下册. 中国聚煤规律)[M]. 北京:煤炭工业出版社,1980.
- [12] 毛毕节,许惠龙. 中国煤炭资源预测与评价[M]. 北京:科学出版社,1999.
- [13] 尚冠雄. 华北地台晚古生代煤地质学研究[M]. 太原:山西科学技术出版社,1997.
- [14] 山西省地质矿产局. 山西省区域地质志(中华人民共和国地质矿产部地质专报,“一、区域地质”,第18号)[M]. 北京:地质出版社,1989.
- [15] 张泓,白清昭,张笑薇,等. 鄂尔多斯盆地形成与演化[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1995.
- [16] 张泓,何宗莲,晋香兰,等. 鄂尔多斯盆地构造演化与成煤作用—1:500 000鄂尔多斯煤盆地地质构造图简要说明[M]. 北京:地质出版社,2005.
- [17] 彭格林,童玉明,隋静霞. 中国南部第三纪地槽型聚煤盆地的形成与演化[M]. 北京:科学出版社,1990.
- [18] 张泓,李恒堂,熊存卫,等. 中国西北侏罗纪含煤地层与聚煤规律[M]. 北京:地质出版社,1998.
- [19] 任纪舜,王作勋,陈炳蔚,等. 从全球看中国大地构造—中国及邻区大地构造图简要说明[M]. 北京:地质出版社,1997.
- [20] 万天丰. 中国大地构造学纲要[M]. 北京:地质出版社,2004.
- [21] 任纪舜,陈廷愚,牛宝贵,等. 中国东部及邻区大陆岩石圈德构造演化与成矿[M]. 北京:科学出版社,1990.
- [22] ZIEGLER A M, HULVER M L, ROWLEY D B. Permian world topography and climate [C]. MARTINI I P (ed.). Late glacial and postglacial environmental changes - Quaternary, Carboniferous - Permian and Proterozoic. New York: Oxford University Press, 1996.
- [23] 殷鸿福,吴顺宝,杜远生,等. 华南是特提斯多岛洋体系的一部分[J]. 地球科学-中国地质大学学报,1999,24(1):1-11.
- [24] ZHANG H. Palaeoclimate controls on the Permian coal resources of the North China Plate, Eastern Tethys [C]. Proceedings of the trzelecki International Symposium on the Permian of Eastern Tethys: Biostratigraphy, Palaeogeography and Resources. Technical Papers, Deakin University, Australia. 1997:153-155.
- [25] ZIEGLER A M, ROWLEY D B, BEKKER A, et al. Mesozoic assembly of Asia: constraints from fossil floras, tectonics and palaeomagnetism [C]. YIN A, HARRISON T M (eds). The tectonic evolution of Asia. Cambridge: Cambridge University Press, 1996:371-400.
- [26] 张泓,王绳祖,郑玉柱,等. 古构造应力场与低渗煤储层预测[J]. 煤炭学报,2004,29(6):708-711.
- [27] 马宗晋,陈鑫连,叶淑桦,等. 中国大陆现今地壳运动的GPS研究[J]. 科学通报,2001,46(13):1118-1120.
- [28] 牛之俊,王敏,孙汉荣,等. 中国大陆现今地壳运动速度场的最新观测结果[J]. 科学通报,2005,50(8):839-840.
- [29] 马杏垣. 中国岩石圈动力学纲要—1:400万中国及邻区海域岩石圈动力学图说明书[M]. 北京:地质出版社,1987.
- [30] 陈庆宣,王维襄,孙叶,等. 岩石力学与构造应力场分析[M]. 地质力学的方法与实践(第三篇). 北京:地质出版社,1998.
- [31] 汪洋,邓晋福,汪集功,等. 中国大陆热流分布特征及构造—热分区[J]. 中国科技大学研究生院学报,2001,18(1):51-58.