

doi:10.3799/dqkx.2015.090

# 淮北煤田现今地温场特征及大地热流分布

彭涛<sup>1</sup>, 吴基文<sup>1</sup>, 任自强<sup>1</sup>, 徐胜平<sup>1,2</sup>, 张海潮<sup>1</sup>

1. 安徽理工大学地球与环境学院, 安徽淮南 232001

2. 安徽省煤田地质局第三勘探队, 安徽宿州 234000

**摘要:** 淮北煤田的高温热害问题愈发突出, 但目前对该区系统的地温场特征及大地热流分布研究非常稀少. 在系统分析淮北煤田大量地面钻孔井温测井数据和井下巷道围岩温度测试数据的基础上, 结合 72 块岩石样品的热导率测试结果, 全面阐述了该区现今地温梯度和大地热流的分布特征. 研究表明: 淮北煤田现今地温梯度众值介于 1.80~2.80 °C/hm 之间, 平均地温梯度为 2.42 °C/hm; 大地热流值变化范围为 39.52~74.12 mW/m<sup>2</sup>, 平均热流值为 55.72 mW/m<sup>2</sup>, 地温梯度和热流值均低于同处华北板块的其他盆地以及南部的淮南煤田; 大地热流受地温梯度控制明显, 两者分布较为相似, 整体表现为南高北低、西高东低的特点. 结果表明, 区内现今地温场和热流分布主要受区域地质背景和区内构造格局的控制.

**关键词:** 地温场; 地温梯度; 大地热流; 构造控制; 淮北煤田.

中图分类号: P314

文章编号: 1000-2383(2015)06-1083-10

收稿日期: 2014-08-04

## Distribution Characteristics of Current Geothermal Field and Terrestrial Heat Flow in Huaibei Coalfield

Peng Tao<sup>1</sup>, Wu Jiwen<sup>1</sup>, Ren Ziqiang<sup>1</sup>, Xu Shengping<sup>1,2</sup>, Zhang Haichao<sup>1</sup>

1. School of Earth and Environmental Studies, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China

2. Coal Geological Bureau in Anhui Province in the Third Exploration team, Suzhou 234000, China

**Abstract:** The problem of high temperature in Huaibei coalfield is going to be more and more terrible, however, the research on the characteristics of geothermal field and the distribution of terrestrial heat flow in this region is extremely rare. On the basis of systematical analysis of temperature logging data of surface boreholes and the tested data of temperature of surrounding rock of underground roadway in Huaibei coalfield, combining the tested results of thermal conductivity of 72 rock samples, the current geothermal gradient and terrestrial heat flow in this region are comprehensively expounded. The study shows that the mode of current geothermal gradient in Huaibei coalfield is between 1.80 and 2.80 °C/hm and the average is 2.42 °C/hm. The terrestrial heat flow value ranges from 39.52 to 74.12 mW/m<sup>2</sup> and the average is 55.72 mW/m<sup>2</sup>. The geothermal gradient and the terrestrial heat flow value are lower than those in Huainan coalfield and other basins in North China. Terrestrial heat flow is controlled by geothermal gradient obviously. The variation of geothermal distribution is similar to the distribution of geothermal gradient and it shows as a whole that the temperature in the south is higher than that in the north and the temperature in the west is also higher than that in the east. The analysis shows that the distribution of current geothermal field and heat flow in the region is mainly controlled by regional geological background and regional tectonic framework.

**Key words:** geothermal fields; geothermal gradient; terrestrial heat flow; structural control; Huaibei coalfield.

随着对各类能源、资源勘探开采的不断深入和对地温在煤、石油、天然气等能源生成和演化过程中

所起决定性作用的不断深化认识, 地壳浅部低温领域地温场的研究在近 30 年来得到了显著发展. 研究

**基金项目:** 国家自然科学基金项目 (No. 41272278); 安徽省国土资源科技项目 (No. 2011-K-13); 高等学校博士学科点专项科研基金 (No. 20123415110002).

**作者简介:** 彭涛 (1988-), 男, 在读博士, 研究方向为煤田地热和矿井工程地质与水文地质. E-mail: 512022882@qq.com

**引用格式:** 彭涛, 吴基文, 任自强, 等. 2015. 淮北煤田现今地温场特征及大地热流分布. 地球科学——中国地质大学学报, 40(6): 1083-1092.

盆地的地温场,对探索能源资源的分布规律、勘探开发都具有重要的理论意义和实际价值(Gao and Leriche, 1989;谢德宜,1993; Feinstein *et al.*, 1996; 谭静强等,2009)。

淮北煤田是华东地区重要的煤炭资源供应地,随着开采深度的增大,高温热害问题愈发突出,煤矿研究领域越来越关注矿区的地温和地热研究工作(郭平业,2009)。目前,区内的地温研究成果和认识较为丰富,但分析多集中于满足生产需求方面,一般仅对某一矿井或局部矿区的地温特征进行探讨(雒毅等,2011;张帅等,2012),没有对淮北煤田系统的地温场特征的报道,并且涉及到岩石热物理参数测试和大地热流分布的研究更是稀少(谭静强等,2010);此外,随着煤田勘探的不断进行,区内有大量更新的地温数据亟待汇总。为了全面展示淮北煤田现今地温场特征,本次研究在系统收集和测试淮北煤田各类地面钻孔井温测井和井下巷道围岩温度测试数据的基础上,结合 72 块岩石的热导率测试结果,对该区地温梯度和大地热流分布特征进行了分

析,并研究现今地温场的形成和构造控制机理,从而对探索深部地温的分布规律和矿井热害防治工作提供依据。

### 1 地质概况

淮北煤田地处华北型的中朝准地台石炭—二叠系聚煤区的东南部(图 1),位于鲁西断隆和华北断拗二级构造区内,北接丰沛隆起,南以蚌埠隆起为邻(谭静强等,2009),区内分布有众多与郯庐断裂近于平行的北东向褶皱、深大断裂和逆冲推覆构造等(王桂梁等,1992;琚宜文等,2011),东北部的徐宿弧形双冲叠瓦扇逆冲断层系统是淮北煤田标志性的构造形态。

淮北煤田以 EW 向的宿北断裂为界,北部濉肖闸河矿区,南部宿北断裂和板桥—固镇断裂之间包含 3 个矿区,由东至西分别为宿县、临涣和涡阳矿区。本次研究对象共包含煤矿井田 38 个,分别为濉肖闸河矿区的卧龙湖、黄集、火神庙、梁花园、刘一、刘桥深部和

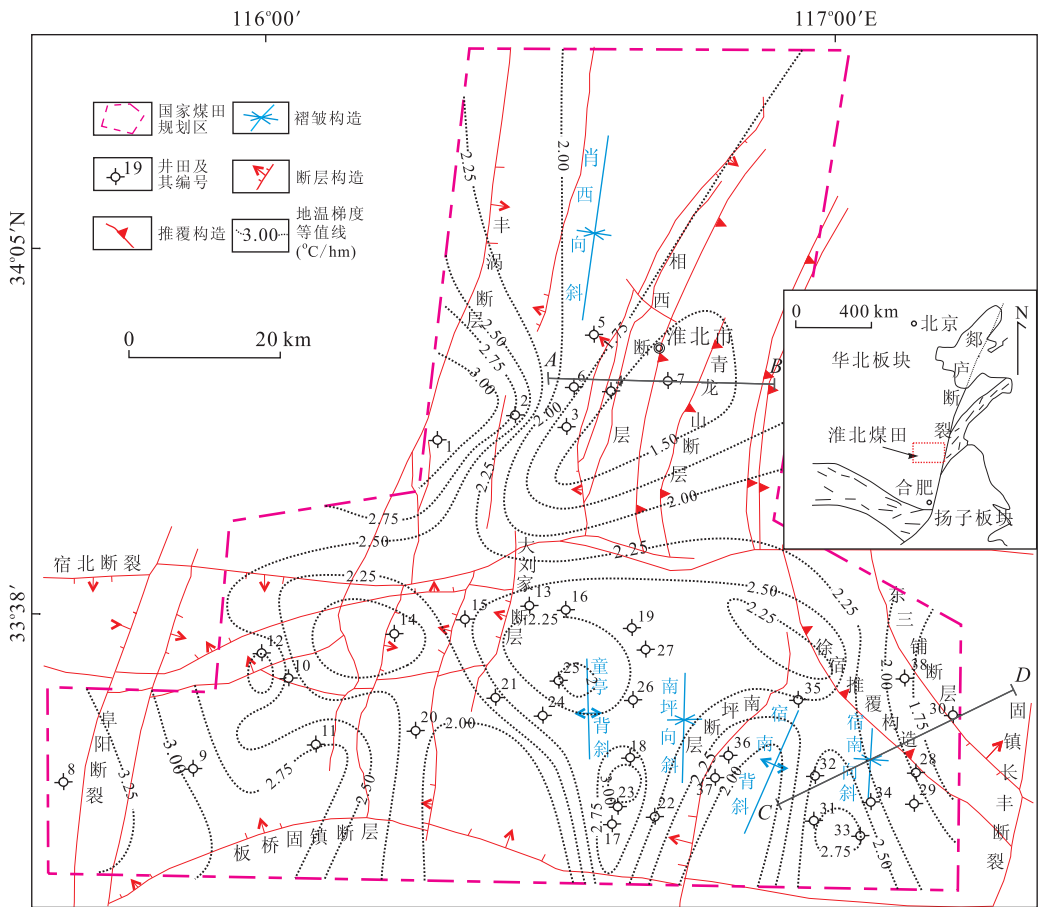


图 1 淮北煤田构造简图及现今地温梯度分布

Fig. 1 The structure outline and the distribution of current geothermal gradient in Huaibei coalfield

杨庄井田(图 1 中分别编号为 1~7),涡阳矿区的花沟西、信湖、杨潘楼、徐广楼和刘店井田(图 1 中分别编号为 8~12),临涣矿区的海孜、大段家、青东、临涣、许疃、任楼、杨柳、袁一、袁二、赵集、邵于庄、五沟、张油坊、孙疃和孙疃深部(图 1 中分别编号为 13~27),宿县矿区的龙王庙北、龙王庙南、芦岭、祁南、祁南深部、祁东、祁东深度、骑路孙、钱营孜、邹庄和朱仙庄井田(图 1 中分别编号为 28~38)。

## 2 地温研究

### 2.1 测温资料和地温梯度

**2.1.1 井温测井数据** 在煤田勘探中,主要依靠地面钻孔进行井温测量获取地温数据,目前常用方法为钻孔井液系统连续测温,即井温测井(洪有密,1993;王华玉等,2013)。本次研究共收集和测试了淮北煤田 695 个钻孔的井温测井数据,其中近似稳态测温孔 90 个、简易测温孔 605 个。近似稳态测温数据一般在完井 72 h 以后测得,井液和岩温已经基本达到平衡,所测数据能客观地反映地层的真实温度,因此其数据可直接使用(谭静强等,2009),图 2a 为计算大地热流所选用的各井田具有代表性的近似稳态孔温度与深度的关系曲线,地温随深度的增加逐渐升高,表现出良好的线性关系,说明该区以传导型增温特点为主。

**2.1.2 井下巷道岩温测试数据** 由于淮北煤田一些矿井勘探较早,测温钻孔数量较少,而且多数矿井正在往深部延深,地温影响也越来越大,为了补充矿井地温数据和掌握井下地温变化规律,本次利用浅钻测温方法(李浪等,2010)对芦岭、朱仙庄、石台和刘一 4 个生产矿井,开展了井下巷道围岩温度的实测工作。井下实测地温因其具有热平衡时间短、受扰动程度小等特点,更能精确地反映岩层温度。对比分析井下测温 and 地面钻孔测温所得地温梯度可知(表 1),利用井下测温点计算的地温梯度和地面钻孔平均地温梯度基本相同,差异甚小。所以本次井下测温研究,也证实了地面钻孔井温测井结果的可靠性。

**2.1.3 地温梯度的求取** 地温梯度的计算公式为:

$$T = G(H - H_0) + T_0, \quad (1)$$

式中: $G$  为测温钻孔平均地温梯度( $^{\circ}\text{C}/\text{hm}$ ); $T$  为井底温度或校正后的井底温度( $^{\circ}\text{C}$ ); $T_0$  为恒温带温度( $^{\circ}\text{C}$ ); $H$  为井底深度(m); $H_0$  为恒温带深度(m)(谢得宜,1993;孙占学等,2006;张鹏等,2007;王华玉等,2013)。区内  $H_0$  为 30 m,  $T_0$  为  $16.8^{\circ}\text{C}$ 。淮北煤田现今地温梯度随深度的增加而递减,且逐渐趋于一致,在 300 m 以内,地温梯度分布较为离散;当深度至 300 m 以下时,地温梯度变化极小,且低于 300 m 以内的地温梯度值(图 2b)。

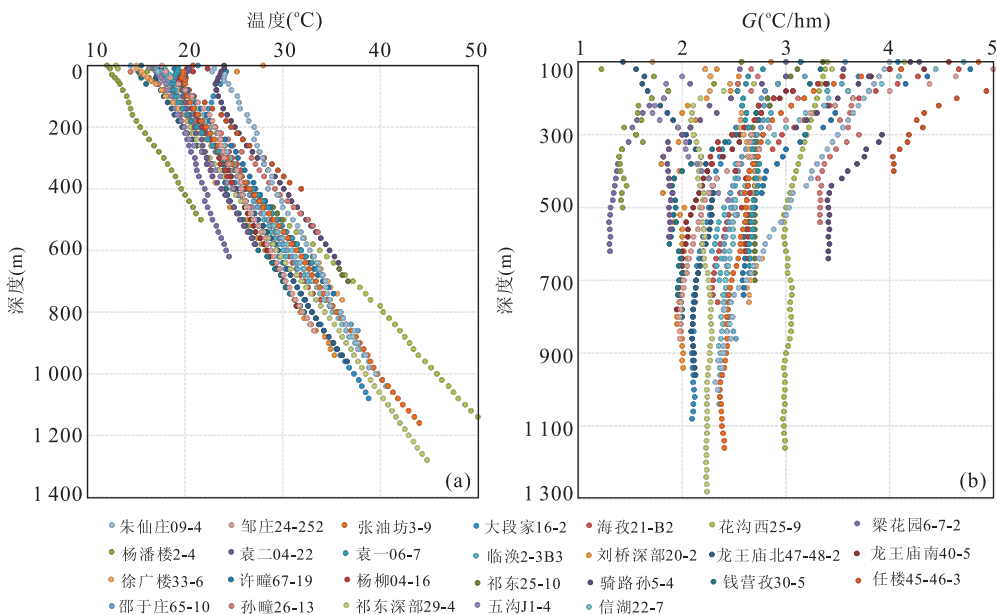


图 2 淮北煤田系统连续测温曲线(a)和现今地温梯度—深度关系(b)

Fig. 2 The systematic and continuous temperature curves (a) and the relation between the current geothermal gradient and depth (b) in Huaibei coalfield

表 1 井下测温结果

Table 1 The results of underground temperature

煤矿	测点位置	标高(m)	温度(℃)	平均地温梯度(℃/hm)	地面钻孔平均地温梯度(℃/hm)
芦岭矿	Ⅲ1 轨道下山巷道不同位置	-650.0	28.1	2.32	2.24
		-750.0	30.2		
		-800.0	31.3		
		-869.4	33.1		
		-442.0	27.4		
朱仙庄矿	Ⅱ 851 岩轨巷 Ⅱ 833 岩轨巷 Ⅱ 5 行人上山 二水平回风上山	-558.0	30.4	2.41	2.46
		-678.0	33.0		
		-324.0	24.6		
		-272.0	23.4		
石台矿	2511 风巷 23120 切眼	-352.0	20.8	1.30	无测温孔
		-473.0	22.8		
刘桥一矿	Ⅱ 66 风巷距迎头 20 m 处 810 岩巷距迎头 45 m 处	-740.0	28.1	1.50	1.80
		-810.0	28.8		

在实际钻孔测温工作中,由于近似稳态测温工作操作复杂、耗时长,所以一般采用的都是简易测温. 简易测温数据不能像近似稳态测温资料一样直接使用(余恒昌,1991;洪有密,1993),本文利用“三点法”对非近似稳态测温数据进行校正(钟仕兴,1985;谭静强等,2010;雒毅等,2011),利用校正后的地温数据分析地温场特征.

## 2.2 岩石热导率测试和大地热流值计算

**2.2.1 岩石热导率测试** 岩石热导率表示岩石传热量的特性,是主要的岩石热物参数,也是获取大地热流值所必须的基础数据. 本次研究共测定了卧龙湖矿、孙疃矿、祁东矿深部、任楼矿和杨庄矿内 10 个钻孔共计 72 块样品的热导率值,所采样品深度范围介于 90~1 233 m 之间,分布于 N~C<sub>3</sub> 的各时代地层中,垂向上取样相对较均匀,岩石类型主要包括砂岩(细砂岩、粗砂岩、中砂岩、粉砂岩)、泥岩、岩浆岩、煤、细砂、粘土等,基本代表了淮北煤田煤系地层的主要岩石类型. 测试结果表明,淮北煤田煤系地层岩石热导率介于 0.88~4.36 W/(m·K) 之间,平均值为 2.49 W/(m·K)(表 2).

**2.2.2 大地热流的求取** 大地热流是指地表或近地表浅层单位面积上由地球内部向地表传输的热量,在数值上它等于岩石热导率和垂向地温梯度的乘积,即:

$$Q = -k \cdot (dT/dZ), \quad (2)$$

式中:  $Q$  为大地热流 ( $mW/m^2$ ),  $k$  为热导率 ( $W/m \cdot K$ ),  $dT/dZ$  为地温梯度 ( $℃/hm$ ). 所以,确定了计算段内岩石热导率和地温梯度,就可以获得热流值的大小.

为了使计算的热流值具有更高的可靠性,本文

表 2 岩石热导率测试结果汇总

Table 2 The summary table of the tested results of rock thermal conductivity

煤矿	孔号	采样深度(m)	岩性(样品数(个))	平均热导率( $W/(m \cdot K)$ )		
卧龙湖	W6-2	881~1 026	泥岩(1)	2.36		
			砂岩(2)	2.62		
			岩浆岩(1)	2.49		
孙疃	副检	222~1 183	泥岩(7)	2.17		
			砂岩(15)	2.51		
			泥岩(4)	2.28		
祁东深部	27-28S7	733~1 233	砂岩(4)	2.79		
			46(I)5	890~915	泥岩(7)	2.33
			42-43-11	1 005~1 010		
			46(II)4	1 021~1 023	砂岩(10)	3.30
42-43-12	1 057~1 071					
任楼		46-47-15	1 210~1 230	煤(1)	0.88	
		46-47-13	1 070~1 208			
		杨庄	2013-2			90~394
			砂岩(9)	2.64		

选取各矿井内具有代表性的近似稳态测温钻孔(没有近似稳态孔的井田,用区内两次测试温差最小的简易测温孔代替),利用最小二乘法拟合出地温与深度的线性关系式,从而获取地温梯度值,热流值计算点的地温梯度求取范围均为基岩面以下.

按照热流值的获取要求,井温测井和岩石热导率测试应为同一钻孔,但在实际工作中很难做到. 考虑到本次二叠系煤系地层岩样取样深度分布均匀,具备了足够的代表性,并且研究区内相同层位的岩石热导率差别细小,所以,本文采用钻孔各类岩性厚度“加权平均法”计算求得各个测温孔的平均热导率值(孙占学等,2006;何争光等,2009).

### 3 现今地温场特征

根据以上方法得出淮北煤田现今地温梯度分布(图 1)。区内地温梯度差异较大,变化范围为 0.9~4.2 °C/hm,众值在 1.80~2.80 °C/hm 之间,平均地温梯度为 2.42 °C/hm,本次计算结果与文献差异甚微(谭静强等,2009, 2010; 雒毅等,2011),但是该区地温整体低于同处华北板块东南缘的淮南煤田(李红阳等,2009; 杨丁丁等,2012)。

从图 1 中可以看出:宿北断裂和板桥—固镇断裂之间的 3 个矿区内的地温梯度多介于 2.0~2.8 °C/hm,地温较为正常。现今地温梯度平均值由西至东逐渐降低的趋势,西部涡阳矿区地温最高,区内除了刘店煤矿以外,其他矿井地温梯度均在 2.6 °C/hm 以上,并且在花沟、徐广楼等矿井存在多处大于 3 °C/hm 的高温异常区;临涣矿区西部大段家和袁店井田地温偏低,地温梯度均在 2.2 °C/hm 以下,但是东部除了张油坊和童亭井田外,其他区域均高于 2.4 °C/hm,且在青东、任楼、许疃和孙疃井田的现今平均地温梯度均高于 2.6 °C/hm,其中邵于庄井田平均值更是高达 2.87 °C/hm,是宿北断裂和板桥—固镇断裂之间梯度最高的井田;东部宿县矿区地温分布

变化较大,南北两端的骑路孙和祁南矿井地温梯度均值超过 2.6 °C/hm,局部达到 2.81 °C/hm,但是在矿区中部的钱营孜和邹庄矿均值则分别为 1.9 °C/hm 和 2.1 °C/hm。需指出,在宿县矿区东部徐宿推覆构造上下盘地温差异明显,位于上盘的龙王庙、朱仙庄和芦岭井田地温都相对较低,地温梯度一般在 2.2 °C/hm 以下,相反位于下盘的井田地温梯度较高。

宿北断裂以北的闸河矿区是淮北煤田地温梯度低值异常区的集中区段。低值区位于徐宿弧形推覆构造的上盘,包括东部的火神庙、梁花园、杨庄、朱庄、石台、岱河等井田地温梯度均在 2 °C/hm 以下,刘一矿井下测温时,两个测点计算所得地温梯度分别仅为 1.58 °C/hm 和 1.49 °C/hm。但是西部的濉肖矿区地温较高,如卧龙湖和黄集井田,地温梯度分别为 3.04 °C/hm 和 2.55 °C/hm。

总体上,淮北煤田现今地温梯度区域性差异明显,表现为南高北低、西高东低的特征。此外,在垂向分布上,虽然各个钻孔地温梯度和深度的变化趋势基本一致(图 3),但是各井田测温孔的地温梯度却大小不一,且地温梯度随深度增加而减小的程度也有所不同,处于背斜轴部或松散层较薄的许疃和任楼等井田变化速率明显较大,相反,处于向斜轴部、

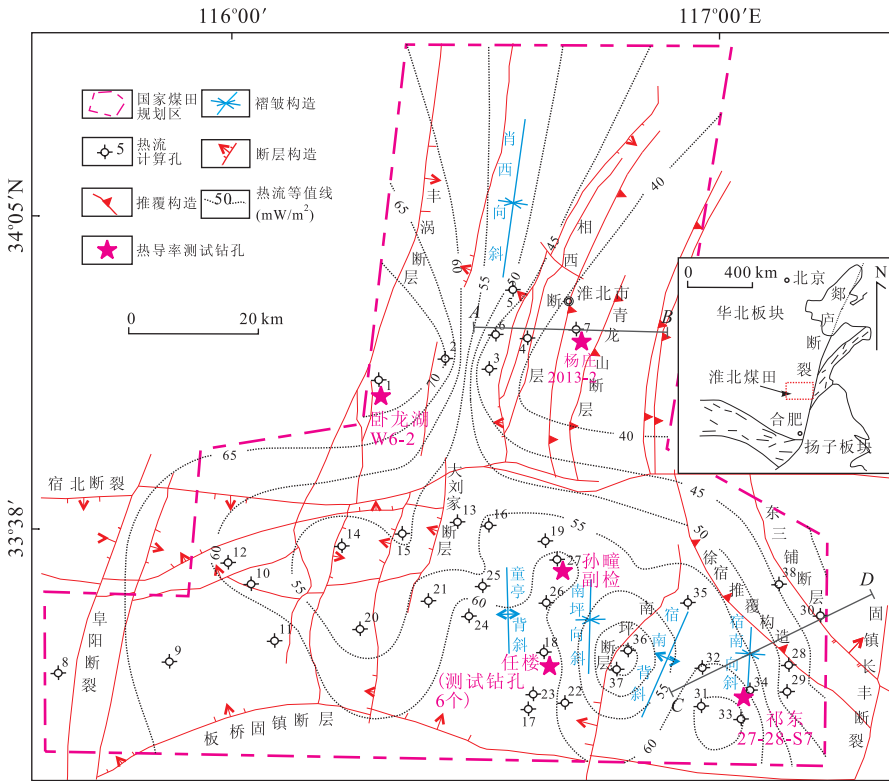


图 3 淮北煤田大地热流分布

Fig. 3 Heat flow of Huabei coalfield

表3 淮北煤田大地热流值汇总

Table 3 The heat flow database of Huainan coalfield

孔号/ 井田	东经	北纬	计算段 范围 (m)	地温 梯度 (°C/hm)	砂岩所 占比例 (%)	泥岩所 占比例 (%)	煤所占 比例 (%)	岩浆岩 所占比例 (%)	加权平均 热导率 (W/(m·K))	大地热 流值 (mW/m <sup>2</sup> )
朱仙庄 09-4★	117°8'37"	33°34'56"	238~958	1.92	31.30	62.70	3.44		2.25	43.26
龙王庙北 47-48-2★	117°9'24"	33°28'19"	231~967	2.02	46.20	52.10	1.70		2.42	48.80
龙王庙南 40-5★	117°9'18"	33°26'4"	301~793	1.91	43.79	53.78	2.43		2.39	45.67
芦岭 LA	117°12'23"	33°32'16"	201~1 160	1.74	53.59	42.50	3.91		2.42	42.03
祁南深部 Q12-4	117°0'52"	33°28'4"	221~1 163	2.56	44.60	51.20	1.11		2.35	60.16
骑路孙 5-4★	116°59'28"	33°33'29"	216~694	2.52	49.60	47.20	2.30		2.40	60.56
钱营孜 30-5	116°53'24"	33°29'24"	231~1 002	1.89	27.20	66.90	2.28		2.23	42.13
邹庄 24-252★	116°52'20"	33°27'51"	236~1 000	1.90	30.10	65.10	3.08		2.27	43.17
祁东深部 29-4★	117°4'44"	33°23'53"	430~806	2.80	51.20	43.80	2.95		2.37	66.49
祁东 25-10★	117°4'53"	33°25'40"	366~758	2.60	48.91	49.13	1.96		2.43	63.06
祁南 18-8	117°0'44"	33°24'53"	380~816	2.70	53.21	45.18	1.61		2.45	66.24
五沟 J1-4★	116°37'39"	33°33'9"	270~741	2.55	49.89	47.61	2.50		2.42	61.73
张油坊 3-9★	116°39'0"	33°34'48"	280~1 175	2.28	48.50	48.30	1.25		2.39	54.55
赵集 2-1	116°47'12"	33°25'15"	336~1 000	2.54	43.30	51.80	1.89		2.33	59.22
许疃 67-19★	116°43'49"	33°24'57"	359~750	2.70	38.74	54.40	6.86		2.29	61.78
邵于庄 65-10	116°44'7"	33°25'44"	319~801	2.50	48.56	50.01	1.43		2.43	60.82
孙疃 26-13★	116°45'33"	33°33'27"	189~882	2.51	56.32	37.61	6.07		2.39	60.03
孙疃深部 16-S2	116°47'3"	33°36'5"	172~1 222	2.59	52.19	43.87	3.94		2.41	62.36
杨柳 04-16★	116°45'17"	33°38'35"	142~672	2.40	51.89	46.50	1.61		2.45	58.72
任楼 45-46-3	116°45'48"	33°28'13"	240~618	2.70	42.10	53.80	4.10		2.35	63.54
临涣 2-3B3★	116°39'18"	33°39'50"	178~605	2.38	36.79	61.87	1.34		2.37	56.51
海孜 21-B2	116°36'35"	33°40'6"	233~780	2.02	46.80	51.38	1.82		2.42	48.82
青东 9-106	116°31'4"	33°39'5"	239~721	2.28	56.81	40.89	2.30		2.46	56.08
袁一 06-7★	116°33'37"	33°33'36"	249~702	2.48	34.17	60.82	5.01		2.30	56.97
袁二 04-22★	116°27'2"	33°31'23"	262~962	2.11	46.17	50.21	3.62		2.38	50.27
大段家 16-2★	116°25'3"	33°38'2"	237~1 166	2.13	35.52	63.40	1.08		2.37	50.53
杨潘楼 2-4★	116°16'9"	33°34'53"	247~519	2.40	45.67	49.04	5.29		2.35	56.42
信湖 22-7	116°7'60"	33°28'34"	438~1 262	2.70	23.02	75.32	0.64		2.29	61.93
刘店 04-26	116°13'56"	33°36'33"	353~655	2.40	43.32	56.68	0.00		2.43	58.34
徐广楼 33-6★	116°18'26"	33°30'11"	286~526	2.70	47.62	50.18	2.20		2.41	65.19
花沟西 25-9★	115°56'58"	33°27'25"	686~1 301	3.00	34.97	60.36	2.07	2.59	2.34	70.26
卧龙湖 B1-4	116°28'60"	33°50'22"	224~770	3.00	51.28	47.07	1.65		2.44	73.29
黄集 1-3	116°35'17"	33°53'36"	185~737	3.01	57.49	40.17	2.34		2.46	74.12
火神庙 10-3	116°39'24"	33°52'33"	119~678	1.79	38.21	58.47	2.12	1.20	2.34	41.88
梁花园 6-7-2★	116°43'25"	33°55'10"	104~630	1.69	50.74	48.41	0.85		2.45	41.40
刘一 II 6	116°40'12"	33°55'31"	121~601	1.80	43.48	52.84	3.68		2.37	42.62
刘桥深部 20-2★	116°42'1"	33°59'15"	162~1 046	2.08	38.17	58.86	2.93		2.35	48.94
杨庄 83-6	116°48'39"	33°55'16"	91~800	1.6	56.32	42.18	1.50		2.47	39.52

注:★号为近似稳态孔。

松散层覆盖较厚的祁东、祁南井田则相对较小。但是无论是在温度—深度还是地温梯度—深度关系图上,其表现都与地温梯度平面分布特征一致,高低温区均一一对应。

#### 4 现今大地热流分布特征

由表3热流计算孔的结果得出淮北煤田大地热流分布(图3)。淮北煤田大地热流值变化介于39.52~

74.12 mW/m<sup>2</sup>之间,平均值为55.72 mW/m<sup>2</sup>。各井田差别较大,大于60 mW/m<sup>2</sup>的高值区位于宿县和临涣矿区的南部以及涡阳和闸河矿区的西部,包括宿县矿区的祁东和祁南矿,童亭背斜周围的孙疃、许疃和任楼矿,涡阳矿区的花沟井田,闸河矿区的卧龙湖和黄集矿等,其中最大值为黄集井田的74.12 mW/m<sup>2</sup>。低值区几乎覆盖整个北部闸河矿区。总体上说,淮北煤田大地热流受地温梯度的控制明显,两者分布特征较为相似,高值区主要集中在煤田中西部的临涣和涡阳



矿区, 低值区位于煤田北部闸河矿区。

本次计算的大地热流值几乎全部在《中国大陆地区大地热流数据汇编》的平均值  $61.0 \pm 15.5 \text{ mW/m}^2$  范围以内(胡圣标等, 2001), 淮北煤田中南部平均大地热流也和文献值( $60 \text{ mW/m}^2$ )(谭静强等, 2010)基本相同。但是淮北煤田平均热流值( $55.15 \text{ mW/m}^2$ )低于安徽省大地热流均值( $62.0 \text{ mW/m}^2$ )(胡圣标等, 2001), 且远小于淮南煤田平均大地热流值( $72.31 \text{ mW/m}^2$ )(周昫涵等, 2011)。

### 5 现今地温分布的构造控制

#### 5.1 区域地质背景和构造演化

一个地区的地温场特征是该区所处地质构造环境与长期地质演化结果的集中体现。华北聚煤盆地形成以后, 板块经历了多次大规模的构造运动(崔军平等, 2007; 周庆华等, 2008; 武昱东等, 2009; 饶松等, 2013)。板块从侏罗纪之前的低温, 至燕山期大规模构造运动和岩浆活动引起的高温, 再到新生代喜山运动之后逐渐降温的过程中, 由于多期板块运动引发的热流上升和岩石圈的减薄等原因, 华北克拉通南部地区现今地温场总体上表现为东高西低、北高南低的趋势, 这也很好地解释了淮北煤田热流相对低于同处华北板块的渤海湾( $69 \text{ mW/m}^2$ )(Hu *et al.*, 2000)和苏北盆地( $68 \text{ mW/m}^2$ )(王良书等, 2000)。

不同板块间碰撞后的伸展区域以及深部断裂带一般是高热流分布带(王桂梁等, 1992), 淮南煤田相对于淮北煤田更加靠近华北板块和扬子板块的交界处, 在发生构造运动时, 其接受深部热流补给更为直接, 这是淮南煤田地温高于淮北的原因之一。

构造一埋藏史(王桂梁等, 1992; 琚宜文和王桂梁, 2002)表明, 由于淮南煤田处于淮南复向斜内, 而淮北煤田位于蚌埠隆起的北部, 淮北煤田地势相对高于淮南煤田; 在华北和华南板块发生强烈碰撞时, 受到强大的挤应力作用, 淮南煤田埋藏更深, 盖层较厚(淮南煤田松散层均厚为  $359.2 \text{ m}$ ), 而淮北煤田随着地壳的缓慢抬升, 自中生代早期开始长期处于剥蚀状态, 上覆盖层变薄(均厚为  $269.4 \text{ m}$ ), 热流散失严重; 新生代伴随着整个中国东部强烈的伸展作用, 研究区伸展性正断层广泛发育, 造成煤系地层整体性再次受到破坏, 煤系地层经历的抬升作用使其所受地温降低, 这是淮南煤田热流高于淮北煤田的原因之一。

总体上说, 淮北煤田现今地温场主要受华北板块大地构造背景的控制。而淮南煤田热流与淮北煤田不同的原因是由距离板块交界带的远近和后期地壳抬升的程度两者共同作用的结果。

#### 5.2 区内地质构造

由图 1 和图 4 可知, 区内地温梯度和热流值异常点主要分布于大型褶皱和深大断裂活动带附近。淮北煤田复杂的基底构造, 多样的构造组合, 影响着深部热流的分配, 形成现今不同的构造部位热流和地温分布不同的现象。

(1) 基底起伏和褶皱构造。基底起伏和褶皱构造对热流传递的控制最为突出, 隆起区上部即背斜构造轴部热流值容易集中, 具有较高的地温、地温梯度和热流值。以童亭背斜为例, 热流值均大于  $60 \text{ mW/m}^2$ , 且高值区几乎全部集中在背斜轴部。

(2) 断裂构造。断层的存在既可以实现热流的阻隔, 又能导致热流的传递和运移, 所以断层带(尤其是较大的断层带)附近, 常产生热流的高低异常现

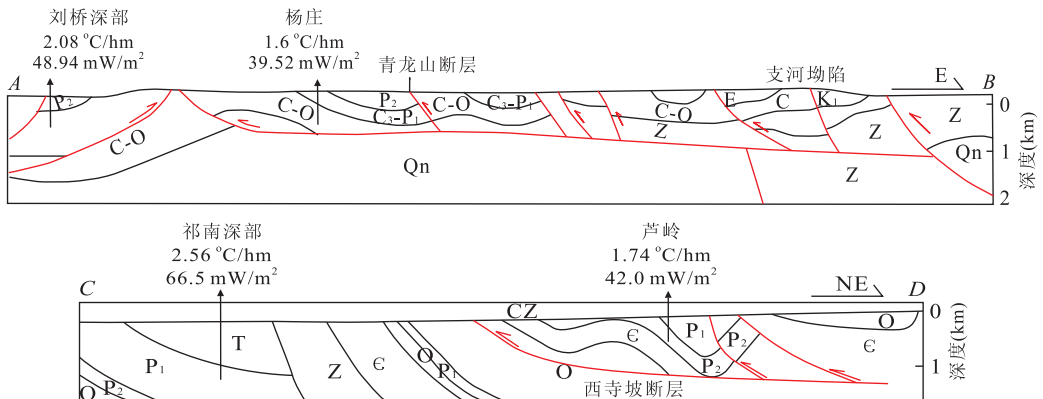


图 4 淮北煤田逆冲推覆构造剖面

Fig. 4 Section of thrust nappe structure in Huaibei coalfield

剖面位置如图 1 所示; 据王桂梁等, 1992 修改

象. 淮北煤田西部涡阳矿区内发育多条落差大、延伸长和角度高的张性正断层, 成为导通地下水和岩浆岩倾入的主要通道, 致使地下深部热流源源不断地输送到上部, 改变了原始的热流状态, 形成目前高热流值区. 另外, 区内徐广楼井田 F38 断层两盘地温差异较大, 由于断层带很厚, 并且被碎屑物填充时, 加之断层带内热导率小, 断层就充当了阻隔下盘热源往上传递的角色, 从而产生了断层两盘的地温差异.

(3) 逆冲推覆构造. 淮北煤田在构造演化中产生了众多逆冲推覆构造 (Wemicke, 1981), 以淮北煤田的徐宿推覆构造为代表. 徐宿推覆构造是由淮北煤田在燕山早期受到板块的持续挤压作用以及郟庐断裂带的左行平移产生的 (据宜文等, 2011). 由图 4 和图 5 可知, 推覆构造两侧热流有明显的差异, 表现为上盘热流值低、下盘热流值高的特点. 徐宿推覆构造位于淮北矿区东部, 并且被宿北断裂断开, 在北部闸河矿区表现为一系列近 SN 向的逆掩断层, 南部宿县矿区为西寺坡逆掩断层. 闸河矿区推覆体上盘热流多在  $45 \text{ mW/m}^2$  以下, 局部更低, 而下盘的濉肖矿区内黄集、卧龙湖井田等则大于  $70 \text{ mW/m}^2$ ; 宿县矿区徐宿推覆体热流分布整体表现为由西南至东北逐渐减小的趋势, 位于系统上盘的朱仙庄和芦岭煤矿, 热流值均在  $45 \text{ mW/m}^2$  以下, 而推覆体下盘的祁东、祁南、桃园矿等达到  $60 \text{ mW/m}^2$  以上.

淮北煤田聚煤盆地形成以后, 伴随着强烈的构造运动, 在应力作用下形成了现今呈双冲一叠瓦扇构造形态的推覆构造体系 (图 4). 淮北煤田的徐宿推覆体上盘的井田均位于叠瓦状构造的夹块之中, 随着推覆体的作用, 煤系地层缓慢抬升, 由于其所受底部热流减小, 并发育大量高角度断层, 上部地层长期处于剥蚀状态, 热流逐渐散去, 形成目前热流偏低的状态. 此外, 推覆体构造也间接导致上盘基岩上覆新生界松散层厚度小于下盘, 上覆巨厚的松散层在一定程度上可以对热流起到“保存”的作用, 所以松散层厚度也是推覆体上下盘热流差异的原因之一.

## 6 结论

(1) 淮北煤田现今地温梯度主要介于  $1.80 \sim 2.80 \text{ }^\circ\text{C/hm}$  之间, 平均地温梯度为  $2.42 \text{ }^\circ\text{C/hm}$ ; 温度与埋藏深度具有很好的正相关性, 而地温梯度随深度呈逐渐减小的趋势, 并在深部趋向一致; 大地热流值变化范围为  $39.52 \sim 74.12 \text{ mW/m}^2$ , 平均热流

值为  $55.72 \text{ mW/m}^2$ . 地温梯度和大地热流两者变化特征较为相似, 整体表现为南高北低、西高东低的特点.

(2) 淮北煤田地温梯度和大地热流相对低于同处华北板块的其他盆地, 且和淮南煤田相比, 淮北煤田整体呈现较低的地温和地热状态. 其现今地温场主要受构造演化和区域地质背景的控制, 而研究区内地温和热流的分布不均是由于地质构造格局对地温场的影响所致.

## References

- Cui, J. P., Ren, Z. L., Su, Y., et al. 2007. Relationship between Present Geotemperature and Hydrocarbon Generation in Haila'er Basin. *Petroleum Exploration and Development*, 34(4): 445—450 (in Chinese with English abstract).
- Feinstein, S., Kohm, B. P., Steckler, M. S., et al., 1996. Thermal History of the Eastern Margin of the Gulf of Suez, I. Reconstruction from Borehole Temperature and Organic Maturity Measurements. *Tectonophysics*, 266: 203—220.
- Guo, P. Y., 2009. Characteristics of Geothermal Field of Deep Mine and Its Heat Damage Control in China (Dissertation). China University of Mining and Technology, Beijing (in Chinese with English abstract).
- Gao, S., Lerche, I., 1989. Geohistory, Thermal History and Hydrocarbon Generation History of Navar in Basin Coast No. 1 Well, Bering Sea, Alaska. *Journal of Petroleum Geology*, 12(3): 325—351.
- He, Z. G., Liu, C. Y., Zhao, J. F., et al., 2009. A Study on Geothermal Field and Its Geological Significance in Southern Area of the North China Craton. *Geological Review*, 55(3): 428—434 (in Chinese with English abstract).
- Hong, Y. M., 1993. The Principle and the Comprehensive Explanation of Logging. China University of Petroleum Press, Dongying, 38 (in Chinese).
- Hu, S. B., He, L. J., Wang, J. Y., 2000. Heat Flow in the Continental Area of China: A New Data Set. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 179(13): 407—419.
- Hu, S. B., He, L. J., Wang, J. Y., 2001. Compilation of Heat Flow Data in the China Continental Area (3rd Edition). *Chinese Journal of Geophysics*, 44(5): 611—626 (in Chinese with English abstract).
- Ju, Y. W., Wang, G. L., 2002. Tectonic Characteristics and Evolution of the Sulin Mine Area in the Huaibei Coalfield. *Journal of Liaoning Technical University (Natural Science)*, 21(3): 286—289 (in Chinese with



- English abstract).
- Ju, Y. W., Wei, M. M., Xue, C. D., 2011. Control of Basin-Mountain Evolution on the Occurrence of Deep Coal and Coal Bed Methane in North China. *Journal of China University of Mining & Technology*, 40(3): 390—398 (in Chinese with English abstract).
- Li, H. Y., Zhu, Y. W., Yi, J. C., et al., 2007. The Geothermal Change Rule and Analysis of Abnormal Factors in Huainan Mining Area. *Safety in Coal Mines*, 11: 68—71 (in Chinese).
- Li, L., Luo, X. R., Zhang, K. B., 2010. Temperature Prediction in Deep Coal Mine of Dingji. *Journal of Heilongjiang Institute of Science & Technology*, 20(5): 340—342 (in Chinese with English abstract).
- Luo, Y., Ju, Y. W., Tan, J. Q., 2011. Characteristics of Present Geothermal Field and Prediction of Its Thermal Damage in Suntuan-Zhaoji Exploration Area. *Journal of Graduate University of Chinese Academy of Sciences*, 28(6): 734—739 (in Chinese with English abstract).
- Rao, S., Hu, S. B., Zhu, C. Q., et al., 2013. The Characteristics of Heat Flow and Lithospheric Thermal Structure in Junggar Basin, Northwest China. *Chinese J. Geophysics*, 56(8): 2760—2770 (in Chinese with English abstract).
- Sun, Z. X., Zhang, W., Hu, B. Q., et al., 2006. Features of Heat Flow and the Geothermal Field of the Qinshui Basin. *Chinese J. Geophysics*, 49(1): 130—134 (in Chinese with English abstract).
- Tan, J. Q., Ju, Y. W., Hou, Q. L., et al., 2009. Distribution Characteristics and Influence Factors of Present Geotemperature Field in Su-Lin Mine Area, Huaibei Coalfield. *Chinese J. Geophysics*, 52(3): 732—739 (in Chinese with English abstract).
- Tan, J. Q., Ju, Y. W., Zhang, W. Y., et al., 2010. Heat Flow and Its Coalbed Gas Effects in the Central-South Area of the Huaibei Coalfield, Eastern China. *Science in China (Series D)*, 40(7): 855—865 (in Chinese).
- Wemicke, B., 1981. Low Angle Normal Faults in the Basin and Range Province; Nappe Tectonics in an Extending Orogen. *Nature*, 291: 645—647.
- Wang, G. L., Cao, D. Y., Jiang, B., et al., 1992. The Thrust Nappe, Extension Algliding Nappe and Gravity Gliding Structure in the South of Northern China. China University of Mining & Technology Press, Xuzhou, 5—14 (in Chinese).
- Wang, H. Y., Liu, S. W., Lei, X., 2013. Present Geothermal Regime of the Lower Yangtze Area, South China. *Journal of China Coal Society*, 38(5): 896—900 (in Chinese with English abstract).
- Wang, L. S., Li, C., Liu, F. T., et al., 2000. Two Types of Basin Rheological Structure of the Lithosphere between Eastern and Western China. *Science in China (Series D)*, 30(Suppl.): 116—121 (in Chinese).
- Wu, Y. D., Ju, Y. W., Hou, Q. L., et al., 2009. The Control of Tectonic-Thermal Evolution to CBM's Generation of the Sulin Mine Area in the Huaibei Coalfield. *Progress in Natural Science*, 19(10): 1134—1141 (in Chinese).
- Xie, D. Y., 1993. Geothermal Characteristics in Northern Tarim Basin, Northwestern China. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 18(5): 627—634 (in Chinese with English abstract).
- Yang, D. D., Wang, B. S., Zhang, X., et al., 2012. Ground Temperature Distribution and Heat Damage Prevention of Huainan Coal Field. *China Mining Magazine*, 21(7): 94—97 (in Chinese with English abstract).
- Yu, H. C., 1991. The Governance of Geothermal and Heat Disaster in Mine. China Coal Industry Publishing House, Beijing, 35—41 (in Chinese).
- Zhang, S., Tian, D. C., Liu, W. Z., 2012. Geotherm Distribution in Guobei Coal Mine and Its Influencing Factors. *Journal of Anhui University of Science and Technology (Natural Science)*, 32(1): 35—38 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, P., Wang, L. S., Liu, S. W., et al., 2007. Geothermal Field in the South Huabei Basins. *Progress in Geophysics*, 22(2): 604—608 (in Chinese with English abstract).
- Zhong, S. X., 1985. Discussion on Simple Question about the Temperature Curve Correction. *Coal Geology and Exploration*, (4): 48—51 (in Chinese).
- Zhou, Q. H., Feng, Z. H., Men, G. T., 2007. The Study on Present Geothermal Features and the Relation with Natural Gas's Generation of Xujiaweizi Fault Depression in the North of Songliao Basin. *Science in China (Series D)*, 37(Suppl.): 177—188 (in Chinese).
- Zhou, Y. H., Luo, X. R., Li, L., et al., 2011. The Analysis on Thermal Physical Parameters and Terrestrial Heat Flow of Coal Measure Strata in Huainan Mining Area. *Safety in Coal Mines*, 42(12): 116—119 (in Chinese).

#### 附中文参考文献

- 崔军平,任战利,苏勇,等,2007.海拉尔盆地现今地温场与油气关系.石油勘探与开发,34(4): 445—450.
- 郭平业,2009.我国深井地温场特征及热害控制模式研究(博士学位论文).北京:中国矿业大学.
- 何争光,刘池洋,赵俊峰,等,2009.华北克拉通南部地区现今

- 地温场特征及其地质意义. 地质论评, 55(3): 428—434.
- 洪有密, 1993. 测井原理与综合解释. 东营: 中国石油大学出版社, 38.
- 胡圣标, 何丽娟, 汪集旻, 2001. 中国大陆地区大地热流数据汇编(第三版). 地球物理学报, 44(5): 611—626.
- 琚宜文, 王桂梁, 2002. 淮北宿临矿区构造特征及演化. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版), 21(3): 286—289.
- 琚宜文, 卫明明, 薛传东, 2011. 华北盆山演化对深部煤与煤层气赋存的制约. 中国矿业大学学报, 40(3): 390—398.
- 李红阳, 朱耀武, 易继承, 等, 2007. 淮南矿区地温变化规律及其异常因素分析. 煤矿安全, 11: 68—71.
- 李浪, 罗新荣, 张克兵, 2010. 丁集煤矿深部地温预测. 黑龙江科技学院学报, 20(5): 340—342.
- 雒毅, 琚宜文, 谭静强, 2011. 孙疃—赵集勘探区现今地温场特征及其高温热害预测. 中国科学院研究生院学报, 28(6): 734—739.
- 饶松, 胡圣标, 朱传庆, 等, 2013. 准噶尔盆地大地热流特征与岩石圈热结构. 地球物理学报, 56(8): 2760—2770.
- 孙占学, 张文, 胡宝群, 等, 2006. 沁水盆地大地热流与地温场特征. 地球物理学报, 49(1): 130—134.
- 谭静强, 琚宜文, 侯泉林, 等, 2009. 淮北煤田宿临矿区现今地温场分布特征及其影响因素. 地球物理学报, 52(3): 732—739.
- 谭静强, 琚宜文, 张文永, 等, 2010. 淮北煤田中南部大地热流及其煤层气资源效应. 中国科学(D辑), 40(7): 855—865.
- 王桂梁, 曹代勇, 姜波, 等, 1992. 华北南部的逆冲推覆、伸展滑覆与重力滑动构造. 徐州: 中国矿业大学出版社, 5—14.
- 王华玉, 刘绍文, 雷晓, 2013. 华南下扬子区现今地温场特征. 煤炭学报, 38(5): 896—900.
- 王良书, 李成, 刘福田, 等, 2000. 中国东、西部两类盆地岩石圈热一流变学结构. 中国科学(D辑), 30(增刊): 116—121.
- 武昱东, 琚宜文, 侯泉林, 等, 2009. 淮北煤田宿临矿区构造—热演化对煤层气生成的控制. 自然科学进展, 19(10): 1134—1141.
- 谢德宜, 1993. 塔里木盆地北部的地温特征. 地球科学——中国地质大学学报, 18(5): 627—634.
- 杨丁丁, 王佰顺, 张翔, 等, 2012. 淮南煤田新区地温分布规律分析及热害防治. 中国矿业, 21(7): 94—97.
- 余恒昌, 1991. 矿山地热与热害治理. 北京: 煤炭工业出版社, 35—41.
- 张帅, 田道春, 刘文中, 2012. 涡北煤矿地温分布规律及其影响因素分析. 安徽理工大学学报(自然科学版), 32(1): 35—38.
- 张鹏, 王良书, 刘绍文, 等, 2007. 南华北盆地群地温场研究. 地球物理学进展, 22(2): 604—608.
- 钟仕兴, 1985. 关于简易测温曲线校正问题的商榷. 煤田地质与勘探, 4: 48—51.
- 周庆华, 冯子辉, 门广田, 2007. 松辽盆地北部徐家围子断陷现今地温特征及其与天然气生成关系研究. 中国科学(D辑), 37(增刊): 177—188.
- 周昀涵, 罗新荣, 李浪, 等, 2011. 淮南矿区煤系地层热物性参数与大地热流分析. 煤矿安全, 42(12): 116—119.