

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

安徽淮北煤田推覆构造中煤镜质组 反射率各向异性研究

曹代勇

(中国矿业大学北京研究生部)



安徽省淮北煤田推覆构造外来系统与原地系统中的煤镜质组反射率各向异性特征存在明显差异,反映不同的应力应变状态。外来系统中最小反射率的倾向由北北西转至北西,代表推覆体前锋带的应力状态;反射率光率体以长球形椭球体为主,意味着推覆过程中伴随有侧向伸长变形。原地系统中最小反射率的倾向为南南西和南南东,保存了区域性南北向挤压的痕迹;反射率椭球体有限应变分析结果为压扁型应变。本文的实例表明,煤镜质组反射率各向异性分析技术是研究煤田推覆构造的一种可行手段。

对煤自身的研究应是煤田构造研究的重要内容之一。煤作为对温度和压力十分敏感的特殊岩石,必然会保留地质历史进程中各个构造事件的深刻痕迹。这些痕迹不仅表现为煤的碎裂、流变等物理变形,而且还反映在更深层次,即由物理化学变化和结构变化所造成的反射率各向异性。70年代末期以来,煤镜质组反射率各向异性分析作为一种新手段,逐步应用于煤田构造研究,在恢复古构造应力场^[1,2,3]、研究断裂构造特征^[1,4]、确定构造事件与煤化作用的时间关系^[5,6]和有限应变分析^[4]等方面,已取得较好效果。

Underwood等(1988)研究了逆冲推覆作用对由镜质组反射率值所表征的热成熟度的影响^[7],指出与逆冲作用有关的地层层序逆转、剪切热和断层位移均可以造成镜质组反射率数值大小的异常变化。事实上,推覆构造作为包括外来系统、滑脱面和原地系统等单元的构造组合体,其各部分在构造样式、变形方式和应力状态等方面可能很不相同。因此,推覆构造不仅可以造成镜质组反射率值异常,而且其应力应变分布规律也会对反射率方位及各向异性产生明显影响。本文从应力应变分析角度,研究了淮北煤田推覆构造中煤镜质组反射率各向异性特征,发现外来系统与原地系统中的煤镜质组反射率各向异性存在明显差异,反映了不同的应变形式和应力状态。上述成果与用其它研究方法所得结论基本一致,显示了煤镜质组反射率各向异性分析技术用于煤田推覆构造研究的可行性。

一、煤镜质组反射率光性模式

煤镜质组反射率是煤变质程度和变质作用条件的函数,煤化程度取决于温度、压力和时间等因素。平均反射率值主要受温度和温度作用时间控制,反射率各向异性则主要与煤化过程中的应力状态有关^[5]。

煤光性测定表明,从肥煤阶段开始,镜质组反射率呈现各向异性。在低煤化阶段和构造变形微弱地区,镜质组光性与矿物的一轴晶负光性相似^[1],可用短轴垂直层理的旋转扁椭球体形的光

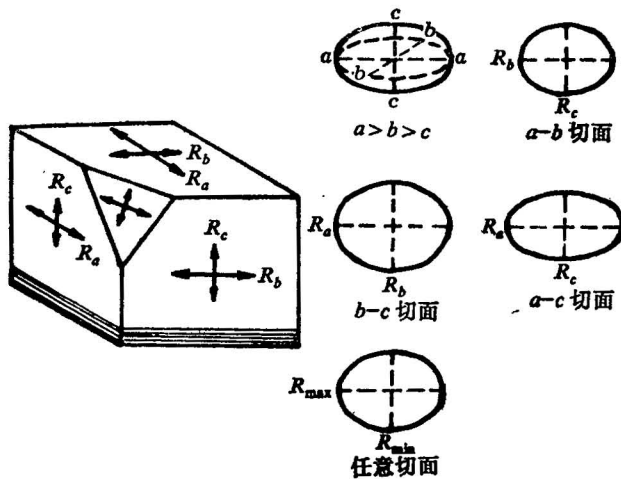


图 1 镜质组反射率二轴晶模式 (据顾寿昌, 1987^[5])

Fig. 1 The model of biaxial crystal of vitrinite reflectance (after Gu Shouchang^[5])

性指示面表示, 反映上覆岩层压力的影响。在有侧向应力参与并达到一定强度的条件下, 镜质组反射率则表现出二轴晶光性特征^[1], 光性指示面呈三轴不等的椭球体 (图1)

二、煤镜质组反射率各向异性成因及其与应力应变的关系

Murchison(1978), Oberlin (1980) 和 Stach 等 (1982) 所作的X光衍射、高分辨电子显微镜鉴定和人工碳化镜质组光性测定工作表明, 在煤化作用过程中, 组成镜质组的芳香分子经脱挥发分作用逐渐提高芳构程度和缩合程度, 形成愈来愈大的芳环叠片, 导致反射率值增加; 另一方面, 芳环叠片由无序分布向有序定向排列发展, 导致反射率各向异性逐步增强, 并使光率体 c 轴 (最小反射率方向) 趋于与最大压应力方向一致^[5]。Stone 和 Cook (1979), Levine 和 Davice (1984) 等认为, 构造应力是造成镜质组反射率二轴光性的根本原因, 多期构造活动可以进一步强化光性各向异性, 导致光性方位的重新定向^[1, 8]。Bustin 等 (1986) 所作的高温高压下煤变形试验证实了上述观点^[9], 在500℃和23%应变条件下变形的无烟煤样品, 最大反射率方位由变形前与最大压应力 σ_1 平行转变到变形后与 σ_1 近于垂直, 旋转角度达70°。

筛除煤化过程中镜质组反射率值的绝对增长 (即光率体的体积加大), 仅考虑反射率相对各向异性 (以轴率表示) 变化, 可以将反射率光率体近似地类比于有限应变椭球体。一般情况下, 最小反射率 R_c 对应于最大缩短轴 Z , 中间反射率 R_b 对应于中间应变轴 Y , 最大反射率 R_a 对应于最大伸长轴 X 。这就是用煤镜质组反射率各向异性进行有限应变分析的依据。根据经典应力应变理论^[10], 在均匀介质各向同性的条件下, 应力主轴与增量应变轴相对应, 对于共轴变形过程, 增量应变轴与应变主轴相当。从而在上述简化前提下, 建立起应力轴与应变轴及镜质组反射率主轴的对应关系: 最大、中间和最小压应力轴分别与最小、中间和最大反射率主轴平行。实际上煤所经受的压力是上覆岩层压力和构造应力的合力, 当构造应力足够大时, 可以近似认为二轴晶光性的反射率方位反映构造应力方位。

三、地质概况和工作方法

1. 淮北煤田推覆构造概况 (图2)

工作区位于安徽省北部, 为一全隐伏一半隐伏的石炭二叠系煤田。近年来的研究发现, 由鲁西南经苏北到皖北, 发育一个完整的逆冲推覆构造——徐淮推覆体^[11]。淮北煤田内, 推覆构造外来系统范围在宿北断裂以北大致与上元古界和古生界基岩出露区相当, 西缘前锋带位于肖西至

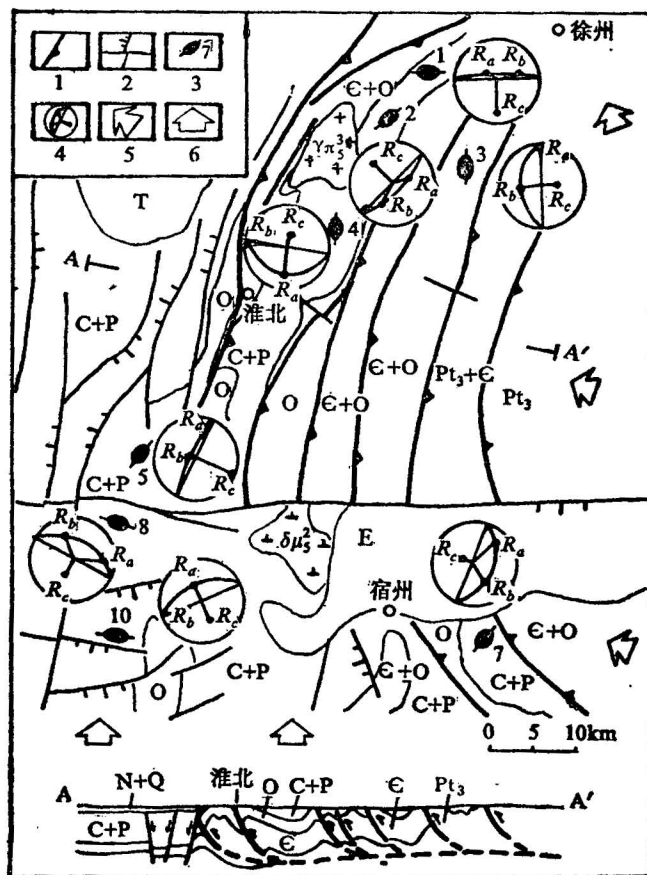


图 2 淮北煤田地质构造简图及镜质组反射率各向异性分析成果

Fig. 2 Schematic structure map of Huaibei Coalfield with the result of analysis of vitrinite reflectance anisotropy

1—逆冲断层；2—正断层和平移断层；3—水平截面反射率椭圆和采样点编号；4—主反射率赤平投影图解；5—外来系统内压应力方向；6—原地系统内压应力方向

1—Thrust; 2—strike-slip fault and normal fault; 3—reflectance ellipsoid of horizontal section and the number of sample seat; 4—stereographic projection diagram of principal reflectance; 5—direction of compressive stress in the allochthon; 6—direction of compressive stress in the autochthon

百善集一线；宿北断裂以南，因后期改造，前锋带东移至宿州—西寺坡一线。

卷入逆冲推覆的地层由东向西时代变新，从上元古界至二叠系。推覆体由一系列线性褶皱和走向逆冲断层组成，与煤田西部和西南部隐伏区原地系统中所呈现的短轴褶皱和正断层组合的构造样式迥然不同。平面上推覆体构造线呈向西凸出的弧形；剖面上逆冲断层大多数向东倾，上陡下缓，逐渐归并于主滑脱面，呈迭瓦扇组合。运动学和动力学研究表明，淮北煤田逆冲推覆构造以背驮式方式由东向西扩展，区域受力状态为北西西向挤压。

2. 工作方法

(1) 采样和制样 定向煤样采自淮北煤田范围内淮北矿务局和皖北矿务局所属的 8 对矿井，采样点分布见图 2 和表 1。每个煤样切割一个立方体，分别磨制和测量三个互相垂直的截面。

(2) 测量 采用显微光度计测量镜质组的油浸反射率。每一光片截面测量 15 至 30 个颗粒，记录各测点的视最大反射率值、视最小反射率值、及其方位，以全体颗粒相应的统计平均值

表征该光片截面的反射率椭圆。

(3) 数据处理 应用煤镜质组反射率各向异性分析技术研究构造问题, 其基础数据是反射率主轴的空间方位和相对大小。笔者将反射率光率体类比为应变椭球体, 采用有限应变分析理论中根据三个相互垂直截面的应变椭圆求解应变椭球的方法^[10], 计算主反射率空间方位和大小。

资料处理流程如图3所示, 计算过程另文详述^①。

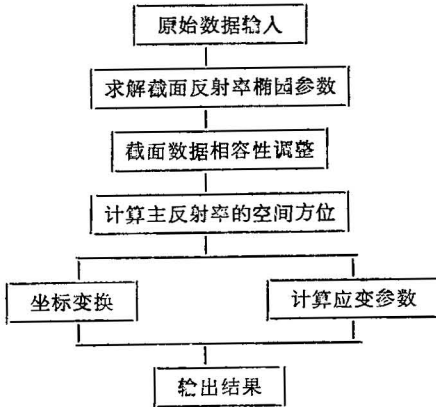


图 3 数据处理流程图

Fig. 3 Processing of data process

四、反射率光率体形态分析

初级煤化阶段, 镜质组反射率在统计意义上呈各向同性, 具有球形对称形式。随着煤化程度提高, 反射率各向异性逐渐增强, 在上覆岩层压力作用下, 反射率出现优选方位, 统计意义上的光率体为扁旋转椭球体, 轴对称, 唯一的一个对称轴 R_{\min} (最小反射率) 垂直煤层层理。构造应力作用使光率体形态进一步变化, 一般情况下, 构造应力具有三轴不等的斜方对称形式, 最大压应力轴多近水平, 与上覆岩层压力近于直交。在此应力系作用下, 反射率光率体将变为二轴晶, 亦具斜方对称形式。最小反射率方向代表上覆岩

层压力与最大压应力的合矢量方向, 从而与层面法线发生偏离。显然, 镜质组反射率光率体的对称形式, 轴率大小以及最小反射率与层面法线的偏离程度, 都是构造应力作用的表征。

表 1 列出 8 对矿井 10 个煤样的镜质组反射率测量分析结果。10 个煤样的反射率光率体均表现为二轴晶特征, 具有三个主反射率 R_a 、 R_b 、 R_c 。双反射率 ($R_a - R_c$) 0.12—0.26 (按轴率计算, 下同), 轴比 (R_a/R_c) 1.13—1.29。各截面内反射率视主值的极密程度较高, 均服从正态分布, 三度空间中具斜方对称组构。上述特征表明经历了非简单上覆岩层压力的三轴构造应力作用。

根据区域地质发展史, 本区晚古生代成煤期至三叠系均为连续沉积, 造成沉积间断、地层倾斜和被剥蚀的构造运动发生在三叠纪之后。各采样矿区均无中生界地层, 新生界地层也较薄。因此, 由上覆岩层压力造成的镜质组反射率各向异性应在印支运动前完成, 其最小反射率方向平行煤层法线。实际上, 计算得到的最小反射率方向均与煤层法线发生偏离, 偏移角 (表 1) 从近 20° 到近 90°, 这也从另一角度体现了构造应力对煤镜质组反射率各向异性的迭加改造作用。

五、有限应变分析

变形岩石的有限应变分析是构造地质学研究的重要内容。由于煤系地层中缺乏常规的应变标志物, 阻碍了该方法在煤田构造研究中的应用, 煤镜质组反射率各向异性分析技术, 则为摆脱这一困境提供了可能性^[4]。

1. 平面应变型式

各采样点的有限应变椭球体代表该点的有限应变型式, 水平截面椭圆则代表水平面内的有限应变型式。将各采样点的水平截面椭圆标绘在平面图上, 就构成直观的平面应变分布图式。图 2 中各采样点实心椭圆的长轴代表平面内伸长应变方向, 短轴代表缩短应变方向。可以看出, 绝大多数平面椭圆的长轴与该采样点附近的构造线走向基本一致, 意味着煤镜质组反射率光率体是区域应变场中的有机组成部分。

① 曹代勇, 王文侠, 1990, 煤镜质组反射率各向异性分析技术及其在构造地质研究中的应用。中国煤田地质, 第 1 期。

表 1 煤镜质组反射率各向异性分析成果
Table 1 Result of analysis of vitrinite reflectance anisotropy

编号	采样点	最小反射率			中间反射率			最大反射率			双反射率	轴比	弗参数	林移角	水平截面	
		值	轴率	方位	值	轴率	方位	值	轴率	方位					轴北	长方轴位
1	沈庄矿	1.63	0.93	178°∠10°	1.76	1	84°∠26°	1.99	1.13	287°∠62°	0.21	1.22	1.58	88°	1.14	267°
2	孟庄矿	1.03	0.94	312°∠28°	1.09	1	201°∠33°	1.23	1.13	74°∠44°	0.18	1.20	2.10	22°	1.10	40°
3	孤山矿	1.02	0.95	85°∠52°	1.07	1	262°∠38°	1.15	1.07	353°∠2°	0.12	1.13	1.48	62°	1.13	354°
4	石台矿	1.19	0.87	15°∠67°	1.37	1	277°∠3°	1.52	1.11	186°∠22°	0.24	1.28	0.73	19°	1.06	182°
5	百善矿	2.08	0.96	114°∠3°	2.16	1	289°∠87°	2.61	1.21	24°∠1°	0.25	1.25	5.11	38°	1.25	24°
6	百善矿	1.96	0.89	143°∠62°	2.21	1	343°∠26°	2.54	1.15	249°∠8°	0.26	1.29	1.17	47°	1.23	167°
7	朱仙庄矿	0.68	0.83	296°∠61°	0.82	1	143°∠61°	0.89	1.09	47°∠11°	0.26	1.30	0.43	33°	1.10	39°
8	海孜矿	1.17	0.89	214°∠46°	1.32	1	345°∠31°	1.46	1.11	93°∠26°	0.22	1.25	0.84	58°	1.21	108°
9	海孜矿	1.13	0.88	205°∠51°	1.29	1	101°∠11°	1.45	1.12	3°∠36°	0.25	1.29	0.88	65°	—	—
10	临涣矿	1.15	0.88	156°∠41°	1.13	1	246°∠1°	1.37	1.05	337°∠41°	0.17	1.19	0.43	34°	1.09	273°

测试者: 曹代勇, 金维俊。

2. 弗林图解

弗林图解是有限应变分析中常用图件^[12]。图4是根据10个煤样镜质组反射率椭球体的弗林参数 K 编制的弗林图解。各投影点比较分散,反映研究区内应变型式的多样性和复杂性。平面上大体以宿北断层为界,划分出两个变形区域,北区1—6号煤样除4号样外,其余5个煤样的 K 值(表1)均大于1,弗林图解投影点落在平面应变线 $K=1$ 的上方,其反射率光率体为长球形椭球体。这些煤样均采自外来系统,有限应变分析结果似乎意味着在逆冲推覆过程中伴随着程度不同的侧向伸长变形。宿北断裂以南的4个煤样的反射率光率体 K 值投影点均位于 $K=1$ 线下方,属于扁球形椭球体域。除7号样与第二期高角度逆冲作用有关外,其余3个煤样采自原地系统,在这里,应变型式是不同于外来系统的压扁型应变。

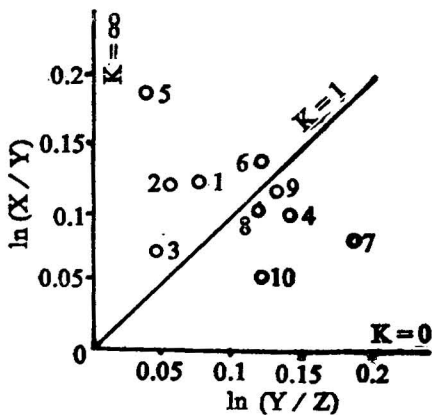


图4 反射率椭球体弗林图解

Fig. 4 Flinn diagram of reflectance ellipsoid

进行有限应变分析仅仅是刚刚起步,在理论基础和实施过程等方面均有待于更进一步的工作,方能使其逐渐完善。

六、应力分析

本文第二节已经讨论了镜质组主反射率方位与应力方位的对应关系,图2用赤平投影图解方式标绘了各采样点的三个主反射率的空间方位(其中百善矿和海孜矿各两个煤样仅各取其一),其中最小反射率 R_c 近似代表最大挤压应力方向;由 R_c 和 R_1 组成的圆弧近似代表最大挤压应力平面。

1—7号样采自外来系统,8—10号样采自原地系统。两组煤样镜质组反射率的空间方位存在明显差异。外来系统由北向南,最小反射率倾向由北北西转变为北西西,与推覆体主体构造线近于垂直,反映了向西逆冲推覆过程中推覆体前锋带的应力状态。这一结果与笔者等利用基岩区的节理、小褶皱、雁列脉等小构造标志所恢复的主要应力场面貌^①一致。4号煤样是一个例外,其最小反射率以大倾角倾向北北东,与区域规律不符。详细研究发现,该采样点恰好位于近东西向的次级褶皱之上,指示最大挤压应力方向的 R_c 与褶皱轴面大角度相交,所反映的是另一期次级应力场或局部应力场。这一事实,从另一个侧面说明了镜质组反射率对于应力作用的敏感性。

位于原地系统的9号和10号两个煤样的最小反射率倾向分别为南南西和南南东,与外来系统中 R_c 的分布状态迥然不同。综合其它研究成果分析认为,它们所保存的是区域性南北向挤压的信息,受向西逆冲推覆的影响似乎不明显。

① 安徽煤田地质公司,中国矿业大学,1989,安徽省两淮煤田推覆构造和找煤研究。

七、结 论

1. 推覆构造系统的应变应力分布具有自身的规律性, 这种分布规律对煤镜质组反射率各向异性有明显影响。本文的研究是一次初步的尝试, 相信随着工作的深入, 煤镜质组反射率各向异性分析技术作为研究推覆构造和隐伏构造的一种新手段, 将得到进一步完善。

2. 淮北煤田煤镜质组反射率光率体普遍为二轴晶, 具斜方对称形式; 最小反射率方向与层面法线发生程度不同的偏离, 表明经历了三轴构造应力作用。

3. 镜质组反射率椭球体的有限应变分析结果表明, 原地系统以压扁型应变为主, 外来系统则可能具有伸长应变性质, 意味着推覆过程中伴随着侧向伸长。

4. 原地系统和外来系统中煤样的镜质组反射率所指示的应力方向迥然不同, 前者的最小反射率倾向分别为南南西和南南东, 反映了区域性南北挤压状态; 外来系统中的最小反射率倾向由北向南由北北西转为北西西, 是导致向西逆冲推覆的北西西向挤压应力作用于推覆体弧形前锋部位的结果。

研究工作得到高文泰教授、王桂梁教授的关心和钟宁宁讲师的帮助, 有关煤矿和安徽省煤田地质公司对现场工作予以支持, 姚文龙工程师和金维俊硕士参加井下采样, 部分煤样由金维俊测试, 在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] Stone, I. J., Cook, A. C., 1979, The influence of some tectonic structures upon vitrinite reflectance. *J. Geol.*, Vol. 87, No. 5, pp. 479—508.
- [2] Hower, J. C., Davis, A., 1981, Vitrinite reflectance anisotropy as a fabric element, *Geology*. Vol. 9, No. 4, pp. 165—168.
- [3] 李肯元, 曹代勇, 钱光漠, 高文泰, 1989, 恩口—斗笠山复向斜构造应力场研究. *中国矿业大学学报*, 第18卷, 第1期, 100—106页。
- [4] 王文侠, 1987, 湖南金竹山—渣渡矿区煤反射率的有限应变分析. *中国矿业学院学报*, 第16卷, 第4期, 第62—68页。
- [5] 杨起主编, 1987, 煤地质学进展. 第35—113页, 地质出版社。
- [6] Ting, F. T. C., 1984, Uniaxial and biaxial vitrinite reflectance models and their relationship to paleotectonics. In: *Organic Maturation Studies and Fossil Fuel Exploration*. Academic Press, New York, pp. 379—391.
- [7] Underwood, M. B., Fulton, D. A., McDonald, K. W., 1988, Thrust control on thermal maturity of the frontal Ouachita mountains, central Arkansas, USA, *J. Petrol. Geol.*, Vol. 11, No. 3, pp. 325—340.
- [8] Levine, J. R., Davis, A., 1984, Optical anisotropy of coals as indicator of tectonic deformation, Broad Top coal field, Pennsylvania, *Geol. Soc. Amer. Bull.*, Vol. 95, No. 1, pp. 100—108.
- [9] Bustin, R. M., Ross, J. V., Moffat, I., 1986, Vitrinite anisotropy under differential stress and high confining pressure and temperature; preliminary observation. *Int. J. Coal Geol.*, No. 6, pp. 343—351.
- [10] Ramsay, J. G., 1967, *Folding and fracturing of rocks*. McGraw-Hill Book Company, New York.
- [11] 徐树桐, 陈冠宝, 周海渊, 陶正, 1987, 徐淮推覆体. *科学通报*, 第32卷, 第14期, 第1091—1095页。
- [12] 王焕金, 何绍勋, 1986, 变形岩石有限应变的图解表示方法. *地质与勘探*, 第22卷, 第9期, 第39—45页。

THE VITRINITE REFLECTANCE ANISOTROPY IN THE NAPPE STRUCTURE IN THE HUAIBEI COALFIELD, ANHUI PROVINCE

Cao. Daiyong

(Beijing Graduate School, China university of Mining and Technology, Beijing)

Abstract

There is a great difference in the vitrinite reflectance anisotropy between the allochthon and autochthon of the nappe structure in the Huaibei Coalfield, Anhui province, which reflects different states of stresses and strains. The dip of the minimum reflectance (R_e) in the allochthon turns from NNW to WNW, indicating the state of stresses in the frontal zone of nappe. Most of the reflectance indicatrix are prolate ellipsoid, implying a lateral extensional strain during thrusting. The dips of the minimum reflectance (R_e) in the autochthon are SSE and SSW, preserving the sign of a regional N-S compression. The finite-strain analysis of the reflectance ellipsoid shows a flattened strain. The example given by the paper shows that the technique of analysis of vitrinite reflectance anisotropy is an effective means for the study of nappe structure in coalfields.

作者简介

曹代勇, 1955年8月生, 1985年于中国矿业大学北京研究生部煤田地质专业获硕士学位, 现为矿业大学北京研究生部讲师。通讯处: 北京学院路13号, 邮政编码: 100083。