

石煤 的综合利用

浙江省煤炭工业局 编

煤炭工业出版社

石煤的综合利用

浙江省煤炭工业局 编

煤炭工业出版社

1

石 煤 的 综 合 利 用

浙江省煤炭工业局 编

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路16号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 $787 \times 1092^{1/32}$

印张 $8^{7/8}$

字数 196 千字

印数 1—5,350

1981年6月第1版

1981年6月第1次印刷

书号15035·2405

定价1.00元

编 者 的 话

石煤是一种低热值燃料，我国南方广大地区蕴藏十分丰富。就地、就近开发和利用石煤资源，对弥补缺煤地区的燃料不足，促进地方工业和社办企业的发展，已起了积极作用。

近几年来，浙江省有关单位在改进石煤燃烧设备和研究综合利用石煤等方面，有了新的进展。为了交流经验，探索综合利用的新途径，不断改进技术措施，特组织出版这本书，供石煤产区有关技术人员、工人和管理人员参考。

在编写过程中，得到浙江省建筑材料研究所、浙江省电力中心试验所、浙江省冶金研究所、浙江省化工研究所、浙江省煤炭设计院、浙江省煤炭研究所、浙江省卫生实验院、浙江省农业科学院和诸暨工科所等单位的支持。全书经董文彬、黄野同志选编、翁迪义同志审阅。

书中疏漏之处在所难免，谨请读者指正。

一九八〇年九月

35937

目 录

第一章	石煤的成因和性质·····	1
第二章	掏管式石煤锅炉·····	20
第三章	石煤沸腾锅炉·····	31
第四章	石煤发电·····	44
第五章	石煤烧制水泥·····	68
第六章	石煤渣碳化制品·····	97
第七章	石煤渣民用建材制品·····	127
第八章	石煤提钒·····	148
第九章	沸腾炉自热钠化焙烧提钒·····	194
第十章	石煤渣在农田上的应用·····	219
第十一章	石煤锅炉烟气的脱硫·····	246
第十二章	石煤开采和综合利用的卫生防护知识··	270

第一章 石煤的成因和性质

在我国江南缺煤地区，用石煤作燃料烧制石灰，已有数百年的历史，而用作工业锅炉的动力燃料，还是近几年的事情。随着工农业发展的需要和燃烧技术的不断提高，石煤已经成为这些地区的一种燃料来源。深入认识石煤的成因、性质及特点，是为找寻并查清资源和综合利用提供科学依据。近年来，地质部门对石煤地质资源的分布、性质、特点和成因，做了多方面工作，获得了初步成果。如浙江省目前已探明可供大、中、小型矿山建设的储量约10余亿吨，湖南有两亿多吨。使用部门则根据石煤的特点大搞综合利用，既作燃料又作原材料，用来发电、烧砖瓦、水泥，提取五氧化二钒等。因此，充分认识和利用石煤资源，对社会主义建设具有重要的经济意义。

第一节 石煤的成因

一、石煤是怎样形成的？

根据石煤煤层及其顶底板中的生物化石特征，认为大量发育的藻类和菌类低等生物，是形成早古生代石煤的主要原始物质。石煤有机组分分析、有机差热分析以及沥青抽提与族组分分析结果，与生物化石的分析结果相符。这从另一角度证明了早古生代石煤的腐泥成因的结论。氯仿沥青“A”族组分红外光谱分析和沥青抽提与族组分分析结果还表明，早古生代石煤属煤系列矿产。

1. 石煤的原始成煤物质

随着生产实践知识的不断丰富，人们逐渐认识到石煤是一种沉积矿产，一种固体可燃有机岩。早古生代大量繁殖的低等生物（藻类、菌类和浮游生物）的遗体，经过复杂的生物化学作用和物理化学作用，就转化成一种外表像石头但可以燃烧的沉积岩——石煤。

在石煤煤层及其顶底板岩石中，均可见到藻类和菌类等低等生物的痕迹。在石煤煤层中，肉眼可看到叠层状构造的碳化藻；在煤层顶底板岩石中，用显微镜可看到球状藻、海绵骨针和菌类等的形态分子。另外，在石煤中可普遍见到藻类和菌类遗体经过分解逐渐失去原有结构而成为基质的现象。这表明，由于分解程度不同，藻类和菌类等低等生物由轮廓明显的结构逐渐转化为无结构的基质的过程。由此可见，藻类和菌类等低等生物是参与石煤形成的主要原始物质，也就是说，早古生代石煤是由藻类和菌类等生物的有机体、矿物杂质和水分等组成的复杂的混合物。

2. 藻类和菌类等遗体的堆积和成煤作用

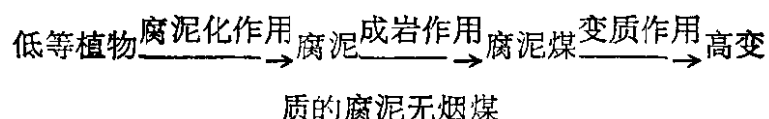
早古生代是低等生物和浮游生物大量繁殖的时期，各种藻类和菌类等低等生物，大量分布在近岸的温暖、平静、阳光充足的浅水和半深水区。另外，许多生活在海水中的无脊椎动物（如节肢动物、软体动物、棘皮动物和腕足动物）也都出现。在低等生物中，尤以藻类最繁盛，它们含叶绿素，能通过光合作用制造碳水化合物和脂肪等有机物质。这些藻类、菌类的数量极多，繁殖能力极强，只要温度和海水的含盐度适宜并有充足的阳光、氧气及营养物质，它们就能迅速繁殖、生长。死亡后的遗体与矿物质混在一起慢慢沉到水底。在滞水条件下，以厌氧细菌为主的生物化学作用，使蛋白质和脂肪分解，经过进一步复杂的缩合、聚合和迁移作用

而形成腐泥。在漫长的地质时期中，早古生代中的大量藻类和菌类等低等生物，可以提供大量有机物质，从而形成有工业价值的石煤层。

沉到水底的低等生物和浮游生物的遗体，在滞水缺氧环境中，经过细菌作用而分解并生成新产物，逐渐转变成一种胶冻状的腐泥。这种由低等生物的遗体转变成腐泥的作用，叫做腐泥化作用。

地壳下沉速度加快，或改变了藻类和菌类的生长环境时，这些腐泥被其他沉积物质所覆盖。在温度和压力不很高的条件下，经过压紧、脱水、胶结及其他化学变化，腐泥转变成腐泥煤。随着地壳继续下沉，被埋藏于地下深处的腐泥煤，在上覆岩层的高压及地壳内部高温的影响下，或受构造动力、岩浆的热力等因素的影响，经历了复杂的地球化学作用，促使煤的性质发生一系列质的改变。如煤中的挥发分随着变质程度的升高而降低，煤的比重逐渐加大等。这样，煤就由低变质向高变质变化，直到无烟煤、天然焦、石墨等。早古生代的石煤一般都是高变质的腐泥无烟煤。

低等生物成煤过程大体如下：



3. 石煤成因的化学及有机地化分析

如前所述，形成早古生代石煤的原始物质是以藻类和菌类为主的低等生物，在煤的成因分类上它应属于腐泥煤类。近年来，有关方面根据大量的化学及有机地化分析资料，也提供了早古生代石煤是腐泥成因的各种依据。

1) 有机组成分析 煤炭科学研究所地质勘探研究所提出了早古生代煤与对比样的元素组成及氢氮比，现摘录见

表1-1。

表 1-1 早古生代石煤与对比样的元素组成及氢氮比

产 地	煤 种	元 素 分 析 (%)					H/N	备 注
		C ^r	H ^r	N ^r	O ^r	S ^r		
镇坪大河	早古生代无烟煤	97.30	1.70	0.28	0.44	0.28	6.1	未直接受火成岩变质影响的地区
镇坪双河	早古生代无烟煤	95.30	1.59	0.40	1.73	0.98	4.0	
安康小道河黄泥	早古生代无烟煤	94.96	0.99	0.14	2.68	1.23	7.1	
河南新密	贫煤(C.P)	91.07	3.92	1.28	3.33	0.40	3.1	高变质的
宁夏汝箕沟	无烟煤(J)	94.12	3.36	0.74	1.47	0.31	4.5	腐植煤
河南焦作	无烟煤(C.P)	93.01	2.93	0.75	2.84	0.47	3.9	各种腐泥
山西晋城	无烟煤(C.P)	93.58	2.91	1.00	2.11	0.40	2.9	煤或腐泥腐
山西浑源	藻煤	75.72	8.43	0.80	15.05	/	10.5	植煤、沥青、
新疆乌尔禾	沥青	86.46	10.47	1.27	1.54	1.26	8.2	均系低等
甘肃玉门	沥青	87.00	10.47	1.13	1.09	0.31	9.3	生物形成的
南也门	煤-沥青	78.07	8.19	1.29	5.88	6.57	6.3	可燃矿产
澳大利亚	藻煤	83.17	10.00	0.96	5.18	0.96	10.4	
苏 格 兰	藻煤	80.40	11.20	0.80	6.70	0.90	14.0	
德国鲁尔	藻煤	81.70	9.80	1.30	6.04	1.16	7.5	
苏卡西扬	腐植腐泥煤	78.56	7.11	0.66	11.65	2.02	10.8	
苏马塔干	藻煤	78.70	10.81	2.60	7.30	0.59	4.2	

从表中可以看出，早古生代石煤由于变质程度高，腐泥成因可燃矿产的高氢含量及较低的碳氢比等特点都已不复存在，但氢与较稳定元素氮的比值(H/N)却明显地比高变质的腐植煤大，与一般的腐泥煤接近。从这个侧面也说明早古生代石煤是由低等生物形成的。

2) 有机差热分析 煤炭科学研究所地质勘探研究所对陕南早古生代石煤进行了4个样品的差热分析(图1-1)，并与贵阳地球化学研究所所积累的含油岩、石油和煤等有机差热

分析资料对比, 结果表明, 早古生代石煤与高变质的腐植煤不同, 其差热曲线在 280°C 左右的位置都出现一个小的吸热谷, 而一般腐植成因的煤类则没有。又早古生代石煤差热曲线形态复杂, 在低变质阶段时常为双峰, 腐植煤类有机质的差热曲线较简单, 多为平滑的单峰; 但石煤与一般腐泥成因的煤类及石油、含油砂岩比较, 则相近似。这也说明早古生代石煤是由低等生物形成的, 在成因分类上应属腐泥煤类的又一证明。

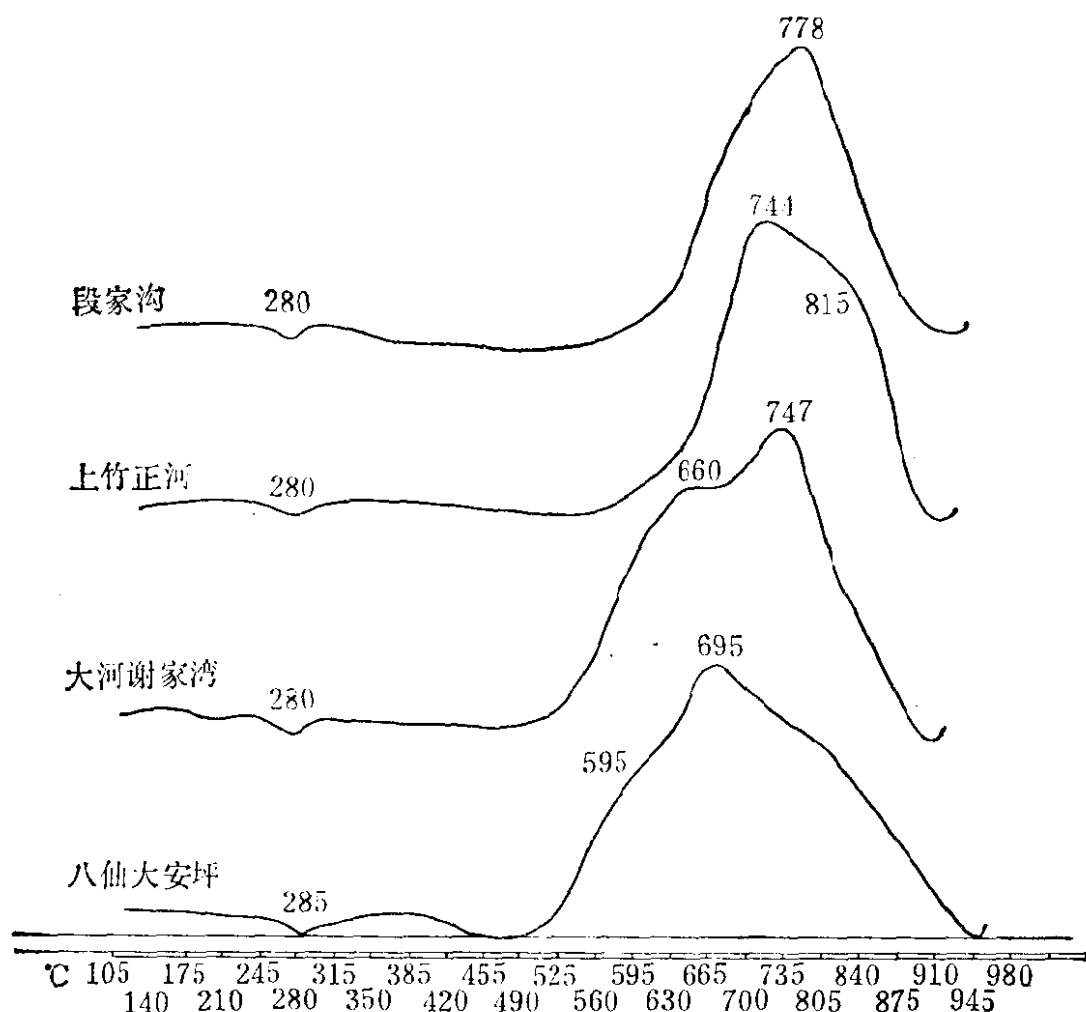


图 1-1 早古生代石煤的有机差热曲线

3) 沥青抽提与族组分分析用氯仿在常压下抽取煤中沥

青，进行沥青的碳氢含量测定，并分别定出4种族组分含量，以提供判别石煤原始物质与成因类型的资料。煤及其对比样分析结果（表1-2）证明，煤沥青与石油系列沥青的区别是：煤沥青的氢含量低于石油沥青，煤的碳氢比（C/H）大（多为8~12），石油的碳氢比小（3.6~6.9）。另外不同的是，煤沥青饱和烃含量小于芳香烃，饱和烃/芳香烃值小

表 1-2 早古生代石煤与对比样

产 地	种 类	氯 仿 沥 青 “A”			
		含量(%)	C (%)	H (%)	C/H
镇坪大河	早古生代石煤(ε)	0.0106	74.04	10.97	6.7
八仙龙门	早古生代石煤(ε)	0.0901	52.43	7.20	7.2
八仙大安坪	早古生代石煤(ε)	0.0047	/	/	/
八道黑沟	早古生代石煤(ε)	0.0107	46.16	6.30	7.3
茅坪老铺子	早古生代石煤(ε)	0.0067	47.17	15.15	6.6
紫阳段家沟	早古生代石煤(ε)	0.00275	/	/	/
延安安塞	气煤(T)	2.146	79.73	6.82	11.69
延安永坪	肥煤(T)	1.677	82.84	7.13	11.62
	焦煤(C.P)	0.430	83.40	3.86	21.61
陕西韩城	瘦煤(C.P)	0.277	/	/	/
陕西合阳	贫煤(C.P)	0.172	/	/	/
河南焦作	无烟煤(C.P)	0.017	58.68	7.16	8.1
宁夏汝箕沟	无烟煤(J)	0.017	75.92	9.45	8.0
开滦唐山	腐植腐泥煤	0.7747	82.67	6.41	12.0
山西浑源	藻煤	0.6282	79.08	9.56	8.3
某 油 田	灰色泥岩	0.0687	82.17	11.92	6.89
	深灰色泥岩	0.0638	80.43	17.74	5.85
	褐灰色泥岩	0.1936	81.08	12.23	6.63
	深灰褐色泥岩	0.0535	78.63	13.61	3.57
	暗棕红色泥岩	0.0305	77.08	11.94	6.46
	油砂	3.002	83.73	12.77	6.56

(0.9~0.32); 而石油沥青中饱和烃含量大于芳香烃, 二者的比值也大 (2.5~5.8)。从早古生代石煤的分析结果可以看出, 它既不同于一般腐植煤沥青, 也不同于石油沥青; 石煤沥青中C/H值为6.6~7.3; 饱和烃/芳香烃值0.78~2.4。两个指标都介于煤与石油沥青之间。这也证明早古生代石煤应是低等生物形成的腐泥煤这一结论是正确的。

沥青抽提与族组分分析结果

沥 青 族 组 分 分 析 (%)					备 注
饱 和 烃	芳 香 烃	胶 质	沥 青 质	饱和烃/ 芳香烃	
42.8	24.4	13.5	14.3	1.4	早古生代腐泥成因煤
23.52	29.90	2.43	44.11	0.78	
41.33	38.97	15.71	3.94	1.06	
38.16	15.46	22.70	23.68	2.40	
47.62	20.83	8.34	23.21	2.2	
58.6	34.5	/	/	1.6	
14.06	15.63	13.24	53.03	0.9	各种腐植煤
12.60	14.84	20.99	51.57	0.85	
18.41	28.86	13.92	38.81	0.64	
10.36	32.88	4.51	52.25	0.32	
25.57	52.29	1.92	20.23	0.49	
24.33	35.97	20.13	19.57	0.68	
25.90	55.70	5.90	12.50	0.46	
30.26	41.66	/	/	0.73	腐泥煤
26.62	40.99	1.23	31.16	0.65	
26.45	4.55	62.86	6.20	5.81	油砂油页岩
22.90	9.16	57.25	10.69	2.50	
23.67	7.40	58.23	10.65	3.20	
30.05	5.18	47.67	17.10	5.80	
53.10	17.93	20.69	8.28	2.96	
68.05	17.84	7.47	5.64	3.81	

氯仿沥青“A”族组分红外光谱分析结果，也证明早古生代石煤应属煤系列矿产。

二、石煤形成的构造条件和古地理环境

石煤既然是低等生物的藻类和菌类形成的，那么，在什么情况下才适宜它形成呢？

形成石煤，必须具备低等生物的生长条件、古气候条件、古地理条件和地壳运动条件。低等生物的生长条件，是形成石煤的最基本条件，没有大量低等生物的生长繁殖，就没有成煤的原始质料，也就没有形成石煤的物质基础。没有适宜的温度，就不能促使大量的藻类和菌类生长繁殖，因而古气候条件也是不可少的重要因素，在成煤过程中起着明显的作用。有了藻类和菌类的生长繁殖条件，还要有遗体的堆积场所和适宜的保存条件，因而石煤形成时的地壳运动条件和古地理环境，也是很重要的。

1. 早古生代石煤煤系煤层生成时的地壳沉降

地壳运动直接控制着古地理环境，古气候条件、古地理条件和生物的生长条件，都随着地壳运动条件的变化而变化。因此，在成煤过程中，地壳运动起着主导作用，而运动的形式主要表现为地壳的升降。

在早古生代石煤分布区，大地构造单元多处于南华准地台和扬子准地台范围内。南华准地台的基底是加里东期的褶皱，硬化程度较低，地质经历也比较复杂，在地壳活动的时间和空间上，都具有明显的差异性。在准地台内部，又可分为4个二级构造单元，即江南地轴（江南古陆）、桂、湘、赣褶皱带、华夏褶皱带（华夏古陆）和右江褶皱区。扬子准地台包括秦岭以南、江南古陆以北的广大地区。所属二级大地构造单元为：八面山褶皱带、江汉拗陷区和下扬子拗陷

区。元古代末期吕梁运动，使部分地区褶皱回返。下古生代阶段，在吕梁运动的基础上，随着加里东运动，原来没有回返或回返不完全的地区继续下陷；而回返了的地区则继续上升，以致表现出隆起与拗陷差异性显著的特点。震旦系上统与寒武系等的石煤，就是在地壳下沉广泛海侵的条件下形成的。浙西常山东鲁石煤矿区Ⅱ线地层剖面岩相（图1-2）就说明这个问题。

从上述剖面可以看出，寒武系的主要煤层多形成于泥岩之上，向上过渡为碳酸盐沉积。所有煤层几乎都在一个海浸小旋回韵律的中部发育。煤层顶板岩石碳酸岩含量一般高于底板，反映了寒武纪地壳在成煤时不断下沉，腐泥物质不断堆积的有利条件和成煤的海浸保存条件。这与一般近海型含煤沉积特点很相似，但所处部位则有所不同。

在地壳运动过程中，小的振荡运动对煤层的形成、煤层层数、厚度和结构，有重要的影响。

2. 早古生代石煤形成的古地理环境

浙西的余杭太山及常山东鲁矿区震旦系上统西峰寺组中的石煤层顶底板都是白云岩。寒武系下统荷塘组底部，广泛发育磷矿层的沉积，多作为石煤层的直接底板，这是一套富含黄铁矿、黑色有机物的泥岩和泥灰岩建造。荷塘组之上的大陈岭组、中统的杨柳岗组、上统的华严寺组和西阳山组，都是夹有砂质和泥质岩的碳酸盐建造。岩石水平层理发育。煤层及顶底板岩石中富含黄铁矿，并发现有藻类和菌类等低等生物的化石。这都说明，早古生代石煤都是在一种广阔浅海区的静水、还原环境下形成的。在此浅海区，藻类等低等生物生活所需的氮、磷和钾矿物质十分丰富，加之气候温暖，适于藻类等低等生物繁殖生长，它们死后的遗体在海底堆积并

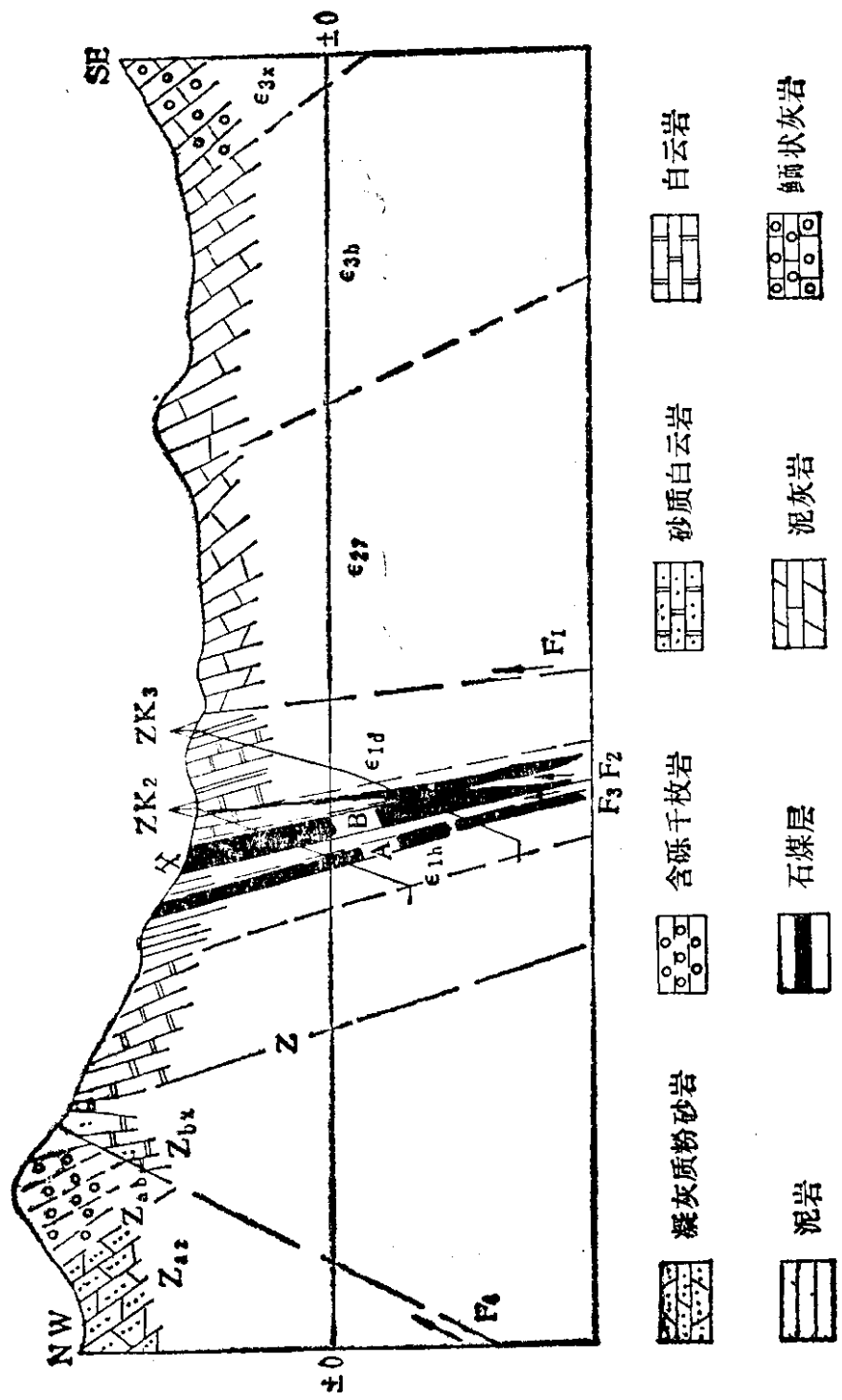


图 1-2 常山东鲁石煤矿区 I 线地层剖面图

分解。在这一过程中，海水中的硫酸盐被还原成硫化氢，部分被还原成黄铁矿及有机硫，故使本区绝大多数煤中含硫较高（ $>2\%$ ），具有海相还原环境的标志。

根据含煤岩系的厚度、岩性、岩相以及某些标准矿物（如海绿石、磷矿、锰矿和藻类、菌类等低等生物化石）的分析可知，靠大陆边缘较近的浅海区或海湾区，是寻找早古生代石煤的有利地带。这可能与陆源物质为藻类、菌类提供丰富营养有关。

综述成煤条件，我们知道石煤的成煤环境不但要有低等生物易于繁殖的温暖潮湿的气候，而且还要求浅海或海湾区静水、还原的条件，以使低等生物死亡后的遗体堆积在水下分解，而不致在氧气充分的环境中腐烂挥发，碳分不致于全部变成二氧化碳而逸散。同时，成煤时还需要一个缓慢的下降区，地壳的下降速度要与低等生物死亡后的堆积速度保持长时期的平衡。这样，地壳一边下降，腐泥物不断补充堆积。如果这种平衡长期保持不变，低等生物的遗体可能堆积得很厚，经过分解和压缩，就会形成很厚的石煤层。但是，地壳下降速度与低等生物遗体的堆积速度往往不能长期保持平衡，这样就可能形成煤层中的夹矸、薄煤层或煤线等。

第二节 石煤的性质

石煤的特点主要是硬度大、比重大、灰分高、发热量低、硫分高，并伴生钒、钾和磷等多种有用元素。

一、石煤的物理性质

1. 宏观煤岩特征

煤的颜色一般是灰黑和暗灰色，多带灰色色调，光泽暗淡，结构均一；断口由贝壳状、阶梯状到参差状不等；条痕

多为黑色或灰黑色。石煤的燃点高，无烟。目前，对于石煤的命名及各种煤类的叫法尚不统一。根据成因和变质程度不同，煤炭科学研究院地质勘探研究所把陕南地区石煤分成4种，即腐泥无烟煤、腐泥焦、劣质腐泥无烟煤和榴熔焦。根据浙西石煤的产出形态及物理性质，大体可分成3大类，即块状石煤、粉块状石煤及条带状石煤。现分述如下：

1) 块状石煤

黑色及黑灰色，致密块状，坚硬，有的较脆，光泽暗淡，条痕灰黑色，贝壳状断口。比重一般大于2。燃烧时无烟，火焰暗红色，火焰高10~15厘米，并有蓝色外焰。

2) 粉块状石煤

黑色，碎块和粉末混杂，较松散。表面披覆石墨化碳质，呈次金属光泽。条痕黑色，极易污手。比重大于2，燃烧时无烟，火焰为橙红色，一般高于20厘米。

3) 条带状石煤

由腐泥焦与碳质硅质岩互层组成，具明显条带外观。碳质硅质岩为黑色，极坚硬，敲打时易从腐泥焦与碳质硅质岩接合处断开。腐泥焦呈黑色，条痕黑色，绢丝光泽。断口参差状，硬度中等。比重大于2，常有石英脉、次生石膏充填孔隙，其外观近似角砾状构造。

2. 石煤的显微煤岩特征

1) 块状和粉块状石煤

碳质细小质点或碎片（含量15~30%）均匀浸染状分布于隐晶质石英、白云石、方解石和泥质胶结物中，为隐晶结构、浸染状构造。碳质已普遍具晶化现象（半石墨化），有鳞片状（隐晶状）和细条状（碎片状）两种。多和泥质混在一起，并污染石英、白云石等杂质，分布均匀，镜下为黄白