

煤的还原程度的研究

煤炭科学院地质勘探分院 李濂清

与煤的变质程度和煤岩成分一样，煤的还原程度也是最能说明煤本性的普通标志之一。根据这种标志，可以预测煤质以及煤在各种加工工艺过程中的性状。因此，对煤的还原程度的研究具有很大的实际意义和理论意义。

“还原程度”的概念

有关煤的还原程度的概念，最初是由顿涅茨煤炭研究所（苏联）的一些煤化学家，根据煤岩成分均一的顿涅茨煤偏离“希尔特定律”而提出的。

在顿涅茨煤田，在煤的变质程度相等和煤岩成分相同的情况下，其化学工艺特征不同，有时甚至有明显的差别。根据这一点，他们在变质程度相同的煤的范围内，确定有两种类型：“还原程度较高的煤”和“还原程度较低的煤”。它们的化学工艺特征如表1所示。

以后，根据苏联库兹涅茨、卡拉干达、伯朝拉和其他煤田的、相互靠近而煤岩成分

不同还原程度煤的化学工艺特征 表1

特征	还原程度 较低的煤	还原程度 较高的煤
氢含量	较低	较高
氧含量	较高	较低
硫分	较低	较高
挥发分	较低	较高
熔融度	较低	较高
发热量	较低	较高
灰分	较低	较高
粘结性	较弱	较强
在有机溶剂中的溶解度	较难溶解	较易溶解
脆性	不很脆	较脆
显微硬度	较高	较低

复杂的等变质煤层煤的研究，确定了它们的化学工艺特征有差别，从而确认了不同还原程度煤的存在。

目前，在顿涅茨煤田，煤按还原程度划分成四种类型：a——弱还原型煤，b——过渡型煤，c——还原型煤，d——强还原型煤。按还原程度划分的煤的类型，是用间接方法，即根据煤岩、物理化学和地质指标的综合，来确定的。

在我国，赵师庆（1984）^[1]在研究华北聚煤区东部晚古生代太原组（C₃）和山西组（P₁）煤性质差别及显微特征的基础上，认为除煤岩成分和变质程度外，还存在着影响煤质的第三个成因因素——还原性质。

“还原程度”的概念，现在可以由相同变质程度和相同煤岩成分的煤，由于原始植物的性质及其在成煤初期阶段的转变环境的差异，表现在其物理、化学、粘结性和其它特性的差别，来加以确立。

“还原程度”的煤岩学根据

在煤岩学中划分煤的成因类型时，一般采用各种类型物质（凝胶化物质、丝炭化物质和类脂化物质）的定量比例标志。然而，在顿涅茨煤分类时，它不能作为主要标志，因为顿涅茨煤主要（95%）是亮煤质煤，因而它们似乎是同一类型的。

I.O.A.热姆丘日尼柯夫等（1959）^[2]的研究工作表明，顿涅茨煤只是在其中以凝胶化物质占主要（70—90%）这一方面来说是相同类型的，而在凝胶化物质的结构上不是

相同类型的。所以，对于顿涅茨煤的分类来说，首要的标志是凝胶化物质的结构。

根据这个标志，在顿涅茨煤中划分出两种成因类型：第一种类型——以结构镜质体为主的亮煤质煤；第二种类型——以无结构镜质体为主的亮煤质煤。

这两种成因类型是在研究长焰煤和气煤时确定的，在由肥煤到贫煤的高变质程度煤中也发现有。每一种成因类型的煤，虽然叠加有变质作用，但是，在任一变质程度的范围内，都保存其结构特征和确定的煤岩特征。也就是说，第一种和第二种成因类型的每种变质程度的煤，都具有十分固定的煤岩特征，根据这些特征，可以将它与其它变质程度的煤区别开来。

所划分出来的每一种成因类型的煤，具有一定的化学工艺特征。在同一个变质程度范围内，与第二种成因类型的煤不同，第一种成因类型的煤具有较高的挥发分，粘结得较好，具有较高的发热量、硫分和灰分。因此，按照顿涅茨煤炭研究所的分类，可以认为第一种成因类型的煤是“还原程度较高的煤”，而第二种成因类型的煤是“还原程度较低的煤”。

由于顿涅茨煤的化学工艺性质不仅取决于煤的变质程度，而且也取决于成因类型，因此，随着煤的化学工艺性质（例如，挥发分、粘结性）与成因类型的关系的确定，就可以阐明在顿涅茨煤田所发现的与“希尔特定律”不符的现象。“希尔特定律”断定，在同一个煤田内，并且大致在相同的构造条件下，随着深度的加深，煤的挥发分由一个煤层到另一个煤层逐渐减小。在顿涅茨煤田发现下伏煤层的煤比上覆煤层的煤含有较高的挥发分。这种不符合“希尔特定律”的现象，其原因就是下伏煤层由第一种成因类型的煤所组成，而上覆煤层由第二种成因类型的煤所组成。

正如П.П.季莫菲耶夫（1983）^[8]所指出的，在整个煤化作用范围内确定有两种在成煤物质结构上不同的煤岩类型，Ю.А.热姆丘日尼柯夫把它看作是煤岩学中新的事实，根据它可以最终阐明许多与一般情况不相容的事实。由于在顿涅茨煤田发现了这些煤类型，因此，煤化学家所划分的顿涅茨煤的两种类型：“还原程度较高的”煤和“还原程度较低的”煤，现在获得了煤岩学根据。

所查明的在同一个变质程度范围内，煤的各种化学工艺性质与其成因类型的关系，证实了亮煤质煤成因类型的划分的正确性，并强调指出了以凝胶化物质的结构作为顿涅茨亮煤质煤的主要分类标志的意义。因此，关于顿涅茨煤的煤岩研究资料（煤是同一类型的）与化学工艺研究资料（两种类型的煤）不一致的问题，已不复存在。

如同顿涅茨煤田一样，曾经提出按结构镜质组组分（结构镜质体）与无结构镜质组组分（无结构镜质体）的比例关系，来鉴别卡拉干达煤田的煤。然而，据И.В.叶廖明等（1983）^[4]报道，在伊尔库次克、伯朝拉和库兹涅茨煤田某些地区的煤中看到的镜质组组分结构保存程度与还原程度之间的关系，恰好相反。同样的，赵师庆（1984）^[1]也指出，与弱还原性煤相比，强还原性煤的镜质组中以无结构镜质体（基质镜质体）占绝大多数，而结构镜质体数量很少。

因此，对于顿涅茨煤田所提出的各种还原程度的煤与煤的不同成因类型的关系，对顿涅茨煤田煤也许是正确的，但并不一定能扩大使用于其它煤田的各种还原程度的煤。对此必须作更深入的研究。

不同还原程度煤的成因

现在一般都认为，煤的不同还原程度是由成煤作用的原生因素的影响所造成的。也

就是说，各种还原程度煤的成因类型的起源与不同的煤相有关。

E. 斯塔赫等 (1982, 第 2.13 节) [5] 指出，术语“煤相”是指取决于泥炭形成环境的煤的原始成因类型。煤相是通过煤的显微组分含量和矿物含量，通过一些多半与煤级关系不大的化学特性（如硫含量、氮含量和镜质组的 H/C 比），以及通过某些结构特征来表现的。

他们对决定煤层原始特征的七种因素进行了详细的探讨，引述了许多实例，特别是对于淡水泥炭、半咸水-咸水泥炭和富钙泥炭的不同特性进行了分析。例如，低灰低硫煤是呈淡水泥炭沉积下来的，其下伏和上覆有淡水碎屑沉积物，其中缺失石灰岩，在淡水沉积物层序中有石灰岩存在时，煤是中灰中硫的；而高灰高硫煤则与半咸水或咸水沉积物有关。又如，利用计算机方法对北美各地区 119 种煤的煤质进行评价分析，利用单变量聚类分析和因子分析发现，伊利诺斯等州的煤一般富含有机硫，这是由于它们是在受海水影响的环境中沉积所致。

B. П. 巴本科 (1983) [6] 对煤的成因类型形成时，各种地球化学环境中古泥炭地的有机质的研究表明，对煤的化学工艺性质的形成来说，地球化学环境（相）起着重要的作用。

沼泽水介质的 pH 值、Eh 值和盐类成分是决定介质的化学性质的因素，按照这些因素的结合，在古泥炭地（类似于现代泥炭地）中，清晰地划分出 6 种主要的地球化学环境（相）：1) 酸性氧化相，2) 碱性氧化相，3) 酸性还原潜育相，4) 碱性还原潜育相，5) 碱性还原硫化氢相，6) 酸性还原硫化氢相。

从地球化学条件的观点来看，在泥炭阶段的第一个时期（泥炭成因层）中，以两种氧化相（相 1 和 2）和一种还原相（相 5）

为主，它们决定了煤的化学工艺性质的基础。而在第二个时期（埋藏层）中，则以其余三种还原相（相 3、4 和 6）为主，它们在泥炭地植物物质的转变中起着完全是另一种性质的作用。取决于原始的地球化学相和随后泥炭埋藏层中的还原相的结合，一定成分的植物物质进行堆积，植物遗体发生改造，形成了各种还原程度褐煤和烟煤的成因类型的化学工艺性质。

Ю. А. 热姆丘日尼柯夫等 (1959) 对顿涅茨煤田的不同还原程度煤的成因作了深入的研究。他们发现，由各种不同植物遗体所组成的各个岩组中的煤层，在煤岩研究时没有发现其差别。古植物学上的差别在分解过程中没有呈现出来，因此不是造成顿涅茨亮煤质煤两种不同成因类型的原因。由此推测，造成两种不同成因类型煤的主要原因与其形成条件有关。

首先，是与泥炭沼泽的埋藏速度有关。这两种成因类型都是在具有还原介质和厌氧性质细菌活动的停滞充水沼泽条件下形成的。这些条件相当于泥泞沼泽相。但是，在第一种成因类型的情况下，植物物质的分解过程停止在膨胀阶段上，因而植物物质的分解作用进行的时间较短；而在第二种成因类型的情况下，在同样的泥泞沼泽条件下，分解过程停止在稀释阶段上，也就是说，进行到最后，所以，植物物质的分解作用进行的时间较长。

有关煤层与围岩旋回的相类型的对比表明，每一种成因类型的煤位于一定类型的旋回或旋回组中。含有第一种成因类型煤的煤层总是与冲积-泻湖类型、泻湖-海相类型和冲积-海相类型的旋回有关，也就是说，与那些在泥炭堆积前后相条件明显不同的旋回有关。含有第二种成因类型煤的煤层经常与泻湖类型的旋回有关，该旋回的特点是泥炭堆积前后的相条件是相似的。П. П. 季莫菲

耶夫证明，由第一种成因类型煤组成的煤层所处的旋回，是在有较大幅度和较大速度的升降运动的环境中形成的，由第二种成因类型煤组成的煤层所处的旋回，是在升降运动的幅度和速度较小的环境中形成的。由此得出结论，两种成因类型煤的形成与泥炭沼泽的不同埋藏速度有关。

与在运动的幅度和速度较小的条件下形成的泥炭沼泽相比较，在运动的幅度和速度较大的条件下形成的泥炭沼泽，其埋藏较快，而与这有关，其植物物质的分解作用进行的时间较短。因而，把第一种成因类型的煤归属于比较活动的泥泞沼泽相，而把第二种成因类型的煤归属于比较稳定的泥泞沼泽相。据此可以认为，“强还原煤”是在聚积和埋藏速度较快的条件下形成的，而“弱还原煤”则是在地壳运动较稳定的条件下形成的。

其次，还与泥炭沼泽的介质的化学特性有关。介质的还原程度的增高可以抑止细菌的活动，同样也阻止植物物质的分解。所以，在碱性介质、停滞和厌氧的还原程度较高的介质条件下，形成了“强还原煤”，而在还原程度较低的介质条件下，形成了“弱还原煤”。Ю.А.热姆丘日尼柯夫等得出结论，两种因素，就是泥炭沼泽的各种埋藏速度和泥泞沼泽中的各种还原程度，是产生亮煤质煤的两种成因类型的原因。

对于煤的还原程度的变化规律也进行了一些研究。例如，A.C.阿尔采尔等(1980)^[7]对库兹涅茨煤田科利丘吉诺群煤的研究表明，煤的还原程度由上部和下部岩组向中部岩组增高，在乌斯卡特岩组的上部达到最高。四个所研究岩组的煤的还原程度在其平面分布上的变化规律总的来说是重复的。高还原程度煤与滨岸-盆地相有关，而低还原程度煤与冲积相和冲积-沼泽相有关。

同样地，赵师庆(1984)^[1]也指出，比较典型的海陆交替相(近岸滨海环境)含煤建造的太原组一般均属较强还原性，过渡相(三角洲平原环境)和陆相(远岸河流或湖泊环境)含煤建造的山西组煤则属弱还原性。所以，还原性质的差别主要为含煤建造的古地理环境所控制。在此基础上，提出了环境-煤型-煤质的概略成因模型：海陆交替相含煤建造-强还原类型煤-高硫、强粘结性；过渡或陆相含煤建造-弱还原类型煤-低硫、弱粘结性。

由以上所述可以看出，不同聚煤环境对煤的组成和性质的影响是客观存在的。为了对不同还原程度煤的形成机理提出具有普遍意义的规律，并且更可靠地预测煤的化学工艺性质，必须对煤层及其围岩，运用煤岩学、煤化学、地球化学、沉积岩石学等方法进行综合的研究。

参 考 文 献

- [1]赵师庆，我国腐植煤的还原性质及其与沉积环境的关系，《沉积学报》，2(1984)，2，53—65。
- [2]Жемчужников Ю.А.等，《煤系、煤层和煤的研究方法》，科学出版社，1983年。
- [3]Тимофеев П.П., Процессы седименто-и литогенеза угленосных формаций, «Угольные бассейны и условия их формирования», 3—11, 1983.
- [4]Еремин И.В.等，东欧几国中变质腐植煤的还原程度的参数，《国外煤田地质》，1985，1，25—30。
- [5]Stach E. et.: *Stach's Textbook of Coal Petrology*, 2.13, Gebruder Borntraeger, Berlin, Stuttgart, 1982.
- [6]Бабенко В.Н., Преобразование органического вещества палеотеррафиконов в различных геохимических обстановках при формировании генетических типов углей, «Угольные бассейны и условия их формирования», 176—182, 1983.
- [7]АрцеР А.С. и др., Закономерности изменения и прогноз степени восстановленности в углях кольчугинской серии Кузбасса, «Геология и геофизика», 11, 63—70, 1980.