

世界煤炭可供人类用多久？

时间: 2013-08-29 19:45 来源: 来稿选登 作者: 望远镜 点击: 449 次

本文在讨论煤炭“储量”与“资源量”的差异、煤炭的开采条件、煤类及煤质构成与用途关系的基础上，根据资源量、储量和消费量的现有资料，结合开采条件、采收率等因素，对全球煤炭资源

摘要：本文在讨论煤炭“储量”与“资源量”的差异、煤炭的开采条件、煤类及煤质构成与用途关系的基础上，根据资源量、储量和消费量的现有资料，结合开采条件、采收率等因素，对全球煤炭资源的可采年限作了粗略估计：**若全球煤炭产量在2020年达到峰值，此后每年按0.5%递减，则2175年用完。**在全球煤炭减产过程中，将对中国的电力、粮食、钢铁等生产和人民生活带来巨大的冲击。并指出：煤炭可采年数还要受淡水、耕地等资源的限制，并受环境承载能力和矿工生命安全的制约。煤炭资源的有限性、集中性、难采性及开采和消费对环境的破坏等特征都是自然规律，而不是人的意志决定的，所以人类只有改变现代的生产生活模式，才能闯过难关。

目录

一、煤炭“储量”与“资源量”的巨大差距#一

1、新口径“储量”、“基础储量”和“资源量”的关系；2、旧口径“资源量”、“储量”、“累计探明储量”、“保有储量”的关系；3、新旧口径“储量”“资源量”折算实例。

二、大部分煤资源不能开采到地面上的原因#二：

1、预测资源比重大，可靠性差；2、精查的资源也有开采损失；3、深部资源存量较大，开采难；4、开采过薄的煤层不合算；5、地表环境制约煤田开发；6、地质构造影响采收率。

三、实存的煤类、煤质结构不能满足用途的需求#三：

1、优质无烟煤显著偏少；2、炼焦用煤短缺；3、质量太差的煤缺乏能源价值。

四、地壳存煤能支撑多久？#四：

1、对全球最终可采储量的估计；2、对全球煤炭可用期的估计

五、全球煤炭减产过程中的负面影响#五：

1、全球煤炭减产过程中对中国的冲击；2、对其它缺煤国的负面影响。

六、开采和消费煤炭要付出的资源、环境和安全代价#六：

1、与人畜生存争夺水资源；2、排放污水影响更多人的健康；3、占用并坍塌土地；4、污染空气；5、排放温室气体；6、危及矿工生命安全与健康。

小结—煤炭资源的特征及其客观必然性

工业革命(1750)以来的 200 年,煤炭居全球能耗首位,1950 年仍占世界能耗 61.5%。1965 年才降为 38.7%,比石油少 0.7 个百分点,成为第二位的能源。

[i] 中国 2012 年煤炭消费仍占总量的 67.1%,石油居第二位为 18.4%。[ii] 因为煤可变油,有望成为油气枯竭后的替代品。所以研究世界能源,就有必要研究“世界煤炭可供人类用多久”的问题。

1984 年第 27 届国际地质大会发表的“世界煤炭资源报告”称:世界煤炭资源量为 14.81 万亿吨,加上中国等国增加的 3.88 万亿吨,世界资源总量达 18.69 万亿吨。[iii] 2009 年世界煤炭产量 69.4 亿吨,简单计算可供人类使用 2693 多年。而 2009 年公布的世界煤炭储量只有 8260 亿吨,[iv] 照此计算只可供 119 年。两种口径相差 2500 多年,原因何在?

一、煤炭“储量”与“资源量”的巨大差距

1、新口径“储量”、“基础储量”和“资源量”的关系。

按国际标准,从对“矿区地质查勘程度”、对拟建“可行性研究程度”和投产后“经济效益”三方面,把地下煤炭资源分为“储量”、“基础储量”和“资源量”三个级别。其中:

“地质查勘程度”分:探明的、控制的、推断的和预测的四个等级。“探明的”或“控制的”指对矿区的煤层、煤质、煤类、构造及岩浆岩等地质条件“查明”或“基本查明”;“推断的”大致查明其地质特征;“预测的”用“地质特征相似的已知矿床”类比,估算的资源量。

“可行性研究程度”包括可行性研究、预可行性研究和概略研究三等级。“可行性研究”是指矿山项目立项后,对所在地气象、水文、地质、地形及交通,建矿资金筹措、生产、销售、价格、环境等进行的研究;“预可行性研究”内容同上,只是粗略些;“概略研究”仅对项目经济意义作概略评价。

开采后“经济效益”分为经济的、边界经济的、次边界经济的、内蕴经济的四个等级。“经济的”指从建矿到报废全过程中,扣除投资和生产成本后净收益率(净收益与总收入之比) \geq 行业基准水平;“边界经济的”指净收益率在行业基准水平与 0 之间,即投产后各年总和不亏本;“次边界经济的”(不经济)净收益为负数;“内蕴经济的”指无法确定未来的净收益状况。

新口径储量、基础储量、资源量的划分标准及之间关系是:

储量=查勘达到“探明的”和“控制的”程度,确认为“经济的”全部地下资源-设计与开采损失(1 式)

基础储量=储量+计算“储量”时扣除的损失+经查勘达探明和控制程度的“边界经济的”资源量(2 式)

资源量=基础储量+经查勘达探明和控制程度的“不经济”地下资源+经概略研究的“内蕴经济资源”+未经推断和研究仅凭预测估计的资源(3 式)

将(1 式)、(2 式)代入(3 式)后:

资源量=①储量+②储量计算时扣除的损失+③确认的“边界经济资源”+④确认的“不经济资源”+⑤推断的内蕴经济资源+⑥预测的资源(4 式)

由(4 式)可见,从地下采上来的煤炭①,只占资源总量 6 个部分之一。

2、旧口径“资源量”、“储量”、“累计探明储量”、“保有储量”的关系。

旧口径“储量”是已发现的煤炭资源量。它不论勘查程度和经济价值大小，只要提交勘查报告都算在内。从对“煤层、煤质、煤类、构造及岩浆岩等地质条件”作了“详细研究”的 A 级储量，到只作了“初步了解”的 D 级储量，均算在“储量”之内。^[v] “累计探明储量”指历次探明储量之和。“保有储量”指截止某时点剩余的累计探明储量。

“保有储量”=累计探明储量-已采出产量-开采损失

“资源量”=累计探明储量+预测资源量；预测资源量=预测可靠+预测可能+预测推断

3、新旧口径“储量”“资源量”折算实例。

以中国为例，第二次全国煤田预测，至 1981 年底资源总量 50592 亿吨。当时的构成：

储量 5665 亿吨(1975 年底)+预测资源量 44927 亿吨=资源总量 50592 亿吨；

1996 年底，“累计探明储量”增至 10273 亿吨。其中，精查储量 2510 亿吨，详查储量 1815 亿吨，普查与找煤储量 5948 亿吨。表明 1976~1996 年的 20 年中经不同程度的查勘，将 4927 亿吨资源量转化为储量。至此，旧口径“累计探明储量”占资源量的 20.3% ($=10273/50592$)。

1996 年末的“保有储量”为 10025 亿吨。此后，中国统计年鉴每年公布煤炭的保有储量，2001 年为 10033 亿吨。按 2002 年产量 15.5 亿吨和 30% 采收率(按省矿水平)推算，2002 年保有储量应为 9981 亿吨

($10033-15.5/30\%$)。同年公布了新口径基础储量 3318 亿吨。这样，新口径“基础储量”相当于旧口径“保有储量”的 33.2% ($=3318/9981=33.2\%$)。

中国统计年鉴公布 2004 年基础储量 3373 亿吨，《世界矿产年评》公布中国同年新口径“储量”1145 亿吨。由此，新口径“储量”相当于新口径“基础储量”的 33.9% ($=1145/3373$)。

按此例，新口径“储量”相当于旧口径“储量”的 11.3% ($=33.2\%*33.9\%$)。“储量”只占“资源量”的 2.3% ($11.3\%*20.3\%$)

资源量最多的原苏联(含俄罗斯、乌克兰和哈萨克斯坦)2004 年储量 2224.4 亿吨，占资源量 68000 亿吨的 3.27%。资源量第三位的美国，同年储量 2466.4 亿吨，占资源量 36000 亿吨的 6.85%。可见实际可采的煤，比资源总量要少得多。其原因如下：

二、大部分煤资源不能开采到地面上的原因

大部分煤资源不能转化为可采“储量”的原因主要是：

1、预测资源比重大，可靠性差。

资源量的构成中，绝大部分是未经查勘或很少查勘的“预测资源”。如中国 1981 年预测的资源总量中，预测资源量达 44927 亿吨，占总量 88.8%。其中预测可靠级、预测可能级和预测推断级又分别占预测资源量的 31.45%、44.19% 和 24.36%。当时的旧“储量”只占资源总量的 11.2%，15 年后的 1996 年才增至 20.3%，可靠性差的预测资源量仍占总量的 79.7%。

如最大的鄂尔多斯煤田，其资源总量虽占全国的 31.6%，达 16000 亿吨。但当时的“精查储量”(比新口径“储量”大，未扣除损失)只有 600 亿吨，只占资源

总量的 3.75%。其余 96.25% 的资源数大部分由预测得来。[vi]

2、精查的资源也有开采损失。

实际开采过程中总会发生各种储量损失,包括:由安全需要及水文地质环境的限制必须预留各种煤柱;因支护、分层等限制损失的顶底煤;实际开采过程中发现新情况必须丢失的煤炭;以及违背设计乱采乱挖的损失。实际采收的煤炭与减少的确认资源之比为“采收率”。中国实际平均采收率约为 30%:小矿 10~15%,省矿 30%,国矿 50%,最先进 80%。[vii]

3、深部资源存量,开采难。

一般认为,矿山开采深度超过 600m 即为深井开采(或为 600~800m)。过此深度的岩石力学性质已超越线性规律。易发生岩爆、瓦斯、流变、底板突水等地质灾害。[viii] 发生矿难后极难避险,清理事故的投入和损失的资源都很大。虽可通过加固巷道、工作面的支护,增加避险设施,但若增加的投入小于产出就将失去意义。

煤炭资源最多的苏(含俄罗斯、乌克兰、哈萨克斯坦)、中、美三国资源总量 15.46 万亿吨,占全球的 82.7%。而界定的埋深:原苏联 1800m,中国北方 2000m,南方 1500m,美国 1822m。[ix] 多数资源在 600m 以深。如中国的 50592 亿吨煤资源中,600m 以浅为 17709 亿吨,只占 35%。而 >600m 占 65%。其中 601~1000m 占 17.8%,1001~1500m 占 22.3%,1501~2000m 占 24.9%。又如,俄罗斯的勒拿煤田资源量达 15390 亿吨,煤层总厚度 4000~7000m,共有煤层 150 层,仅可采 50 层;库兹涅茨克煤田资源量 6430 亿吨,煤层总厚度 5000~8000m,共 300 层,仅可采 130 层;通古斯煤田资源量 20890 亿吨,煤层总厚 300~1800m,百余层中仅可采 20 余层。[x] 可见,从深度上看,世界煤炭大国及一些特大煤田的资源大部分难以开采。

一般情况,地下每向下 100m,地温增加 3°C。[xi] 如果地面 20°C,则 600m 深就达 38°C,已超过人的体温,必须降温。但若达 800m,不加空调将达 48°C,人将无法生存。这也是深度限制的一个因素。

4、开采薄煤层不合算。

地下的煤炭呈层状分布,煤层之间夹着煤矸石。煤层厚薄不一。世界上前 10 位的煤资源国规定,划入“资源量”最小厚度 0.3~0.7m, [xii] 更薄煤层的存煤不计入资源量或储量之内。中国规定最小煤厚度为 0.3~1 米。[xiii] 以 0.5m 厚的煤层为例,若该煤矿的工作面 3m 高,则需开采 6 吨物质才能剥离 1 吨煤炭,其中 5 吨是煤矸石。还要将其输送到相应位置。与开采 3m 厚的煤层相比,显然多耗 5 倍的人力、物力和能源。只要每吨煤炭投入的成本和能耗大于产出,就没有开采价值了。所以划入资源量的小于 1m 厚的煤层,必有一部分缺少开采价值。

5、地表环境制约煤田开发。

若煤田处于气候恶劣、沙漠、地表崎岖不平或严重缺水的地域,虽有丰富的地下资源,但要开采出来并运至需要的地方,有可能得不偿失。如世界最大的通古斯煤田,地处严寒的西西伯利亚,“自然条件恶劣,许多地区人类难以到达”。确认和推测的储量只占预测资源量的千分之几。生产的煤只能供当地人使用。所估资源量将有大部分永远留在地下。中国最大的鄂尔多斯煤田,煤质较好的中部为“黄土高原梁峁地形,沟谷陡峻或被沙漠覆盖,只有小规模开采”。第二大的准噶尔煤田,大部分布于戈壁之中。[xiv] 煤炭开采、洗选、发电都需大量的水资

源，而人民生活、农业生产更需要水。二者矛盾也迫使部分煤资源不能开采。

6、地质构造影响采收率。

地下的煤层很少呈水平展布。有的是单向倾斜，倾斜角可达 45 度以上；有的有宽缓或紧密的褶皱；有的有一组或多组断层；有的煤层厚度无规律变化，甚至呈透镜状、鸡窝状不连续的分布。在复杂构造的区域采煤有可能事倍功半，得不偿失。还有的煤田局部有岩浆活动，地温梯度可达 $9.3-9.8^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 。

[xv] 300m 深就 $>40^{\circ}\text{C}$ 。没有强大的空调设备无法开采。

三、实存的煤类、煤质结构不能满足用途的需求

煤炭的按变质程度依次分为：a 褐煤：未变质；b、低变质烟煤：包括长焰煤、不粘煤和弱粘煤(按变质程度由低到高列出，下同)；c、中变质烟煤：包括气煤、肥煤、焦煤和瘦煤；d 高变质烟煤：指贫煤；e 无烟煤，是变质程度最高的煤炭。

使用煤炭时,主要看所含的硫分、灰分、水分、挥发分、发热量等指标。硫分是煤炭中含硫百分比。硫在燃煤时排放 SO_2 污染空气，进而形成酸雨，影响农业和人体健康。还会腐蚀设备；灰分是煤炭中不能燃烧物质的百分比。燃煤烧尽变成炉渣或煤灰。灰分增多热值下降，还会在炉内结渣影响燃烧；挥发分是煤炭中所含可燃性气体的百分比。挥发分高了虽可降低着火点，但易使煤粒坍塌，不耐烧；水分是煤炭中含水百分比。水分高了不仅影响热值，还增加了运输能耗；发热量是每公斤煤燃烧产生的热量,7000 大卡/公斤称为“标准煤”。保持原有水分测定的发热量称“湿基发热量”，蒸干水分测定的发热量称“干基发热量”。发热量主要取决于煤的含碳量。变质程度越高，挥发分和水分越低，发热量越高。

煤炭的用途按需求量分依次为：燃料、炼焦、作为合成氨的原料、其它用途。地下资源的实际比例不能满足用途结构的需求。

1、优质无烟煤显著偏少。

合成氨主要用于生产氮肥，如尿素等。世界多数国家虽用天然气作合成氨的原料，但化肥产量最高的中国却用块状的优质无烟煤作原料。要求此类无烟煤的固定碳 $>80\%$ ，灰分 $<25\%$ ，硫分 $\leq 2\%$ ，粒度均匀: 25~75mm,或 19~50mm,或 13~25mm，机械强度 $>65\%$ ，热稳定性 $>60\%$ (指煤在高温作用下保持原来粒度的性能，即耐热性)，灰熔点 $>1250^{\circ}\text{C}$ ，挥发分不高于 9%，化学反应性愈强愈好。[i]

世界煤资源最多的苏中美三国特大型煤田中，含有无烟煤的只有中苏(含俄罗斯和乌克兰)两国，其中俄罗斯含无烟煤的煤田主要分布在气候恶劣的西伯利亚，包括北极圈内的伯朝拉煤田和“许多地区人类难以到达”的通古斯煤田。乌克兰分布在开采条件复杂的顿涅茨煤田。只有中西伯利亚的库兹涅茨克煤田属中等开采条件，其确认储量不超过 300 亿吨。[ii]中国无烟煤 1996 年保有煤量 1156 亿吨，主要集中在山西、贵州两省。只有晋东南的沁水煤田上部山西组,产低灰

低硫优质无烟煤(晋城的兰花炭),估计保有储量不超过 300 亿吨。沁水煤田下部太原组及贵州、四川的无烟煤为中高硫至特高硫煤,不适于合成氨生产。^[iii]即使把俄罗斯的无烟煤估计在内,^[iv]世界可作合成氨原料的无烟煤保有储量不超过 600 亿吨。从旧口径“保有储量”到新口径的“储量”约 11.3%,至 1996 年末全球优质无烟煤最终可采 67.8 亿吨($600 \times 11.3\%$)。假如该类煤只给中国生产合成氨使用,则至 2009 年末最终可采量减至 57 亿吨^[v]只占 2009 年全球煤炭储量的 0.69%。可见全球优质无烟煤远远不能满足需要。

2、炼焦用煤短缺

焦炭在炼铁炉中起着还原、熔化矿石,提供热能和支撑炉料,保持炉料透气性能良好的作用。炼焦用煤要求灰分 $<11.5\%$,硫分 $<1.5\%$,水分 $<12\%$ 。世界炼焦用煤的资源量 1.14 万亿吨,只占资源总量 18.69 万亿吨的 6%。其中作为炼焦基础煤的肥煤、焦煤和瘦煤,1984 年的经济可采储量约 3500~4000 亿吨,而优质炼焦煤仅 600 亿吨。^[vi]至 2009 年,如果新发现优质炼焦煤储量,小于 25 年开采耗用的储量,则此类煤剩余储量应小于 600 亿吨。况且旧口径的储量到新口径储量还要大打折扣,故全球炼焦煤远远不能满足 2009 年世界铁矿石含铁储量 770 亿吨的需求。^[vii]

3、质量太差的煤缺乏能源价值。

燃料用煤主要是火电厂发电之用,其次为其它工业用煤。中国 2009 年这两类煤分别占当年消费总量的 48.7%和 17.8%,共 66.5%。都是在锅炉中燃烧,产生蒸汽推动汽轮机发电或直接使用蒸汽。虽然可以使用高灰分和高水分、低发热量的劣质煤。但因水分和灰分不能转化成热能,而且在开采、洗选和清理煤渣时都要耗能,在炉膛中蒸发水分和加热灰分也要耗热,所以灰分水分越高,生产 1 吨相同压力的蒸汽所需原煤越多。如用“能量净收得率”考核,可判断其开采及利用价值。

能量净收得率 $N_0 = (\text{用于生产蒸汽的热能} - \text{从开采到清理炉渣的能耗}) / \text{用于生产蒸汽的热能}$ 。(5 式)

(5 式)的“从开采到清理炉渣的能耗”未含运输能耗。 N_0 表示的“能量净收得率”,适用于对坑口电厂用煤的判断。若 $N_0 \leq 0$ 则此种煤资源没有开采价值。如澳大利亚的吉普斯兰褐煤田,水分高达 50~60%,湿基发热量只有 600~900 大卡,虽有 1080 亿吨资源量,419 亿吨可采储量,是否有开采价值就需要试验研究。^[viii]

远离矿区锅炉所耗煤炭都要消耗运输能,其“能量净收得率”可用“ N_L ”表示,下标 L 为燃煤锅炉到产煤坑口的距离。

$N_L = [\text{用于生产蒸汽的热能} - (\text{从开采到清理炉渣能耗} + \text{运输能耗})] / \text{用于生产蒸汽的热能}$ (6 式)

使用同种运输工具时,运输能耗必随 L 增加, N_L 随之减少。当 $N_L \leq 0$ 则不宜用此种煤。

褐煤的发热量一般只有标准煤的一半左右。2009 年世界煤炭储量中“烟煤和无烟煤”与“次烟煤和褐煤”约各占一半。美国的 3.6 万亿吨煤炭资源量中,褐煤占 64%。在能源统计上,原煤的发热量按 5000 大卡/公斤折算。对于能源使用价值来说,褐煤与硬煤(烟煤和无烟煤的总称)的储量,就不能简单相加了。

四、地壳存煤能支撑多久?

1、对全球最终可采储量的估计。

1984 年预测的全球煤炭资源量 18.69 万亿吨,估计 2010 年的可采储量,需作以下扣除:

一是地理环境恶劣的煤资源。如上文列举的俄罗斯通古斯煤田,“许多地区人类难以到达”;部分在北数圈内的伯朝拉煤田和美国的科尔维尔煤田;自然环境严酷的勒拿煤田;大部分在戈壁滩内的准噶尔煤田和大部分沟谷陡峻或被沙漠覆盖的鄂尔多斯煤田等。这些煤田的预测资源量共 6 万亿吨。^[ix]若 2/3 不可采,则扣除 4 万亿吨,下剩 14.69 万亿吨。

二是垂深大于 600 米的资源。要采取特殊的支护设备及安全措施才能开采,由经济成本、能耗和人身安全,决定了这部分资源很少可开采。中国 1981 年预测 600m 以浅为 15288 亿吨,约占预测资源总量 50592 亿吨的 30%,601 米以深的资源占 70%。^[x]全球煤炭资源主要以 1800~2000m 以浅的范围界定的,全球平均>600m 资源若占总量的 50%,其中的 10%即总量的 5%可采,则应扣除 45%不可采部分 6.61 万亿吨($14.69 \times 45\%$),下剩 8.08 万亿吨。

三是 1985~2009 的 25 年煤炭生产消耗的 600m 以浅资源量。中国 1997 进行了第三次煤炭资源预测,表明至 1992 年末全国<1000m 的资源 18440 亿吨,比 1981 年预测的 26705 亿吨少 8265 亿吨,1982~92 产量共 101.8 亿吨,开采量仅为资源减少量的 1.23%($101.8/8265$)。由开采损失等多种因素,中国此间每产 1.23 亿吨煤炭,要减少 100 亿吨 600m 以浅的资源。全球平均这一比例若放大 1 倍,为 2.5%。估计 1985~2009 年全球累计产煤 1376 亿吨。^[xi]至 2009 年末的 600m 以浅的资源总量相应减少 5.5 万亿吨。 $(1376/2.5\%)$ 下剩 2.58 万亿吨。

四是地质结构极复杂、严重缺水及不经济资源。按 20%估计,应扣除 0.52 万亿吨。下剩 2.06 万亿吨。

五是设计与开采损失。中国煤炭平均采收率 30%,全球平均若为 50%,则最终可采 10300 亿吨。比 2009 年的新口径储量 8260 亿吨多 2040 亿吨。^[xii]

2、对全球煤炭可用期的估计。

2008~2012 年世界煤炭消费年均增速虽然达 3.2%,但除中国外的世界其它国家的年均增速却为-0.3%。^[xiii]可见除中国外的世界各国的煤炭消费有

趋于停滞的迹象。

世界煤炭产量似乎也出现了接近峰值的迹象。2012 年与 2008 年相比,世界煤炭产量虽增加了 11.255 亿吨,但是除中国增加的 9.01 亿吨外,其它国家只增加了 2.24 亿吨,再除去印尼、澳大利亚和印度增加的 2.8 亿吨,其余国家合计减产了 0.56 亿吨。^[xiv]

那么中国 2012 比 2008 年增产 9.01 亿吨是否可靠呢? 2008 年末全国煤炭库存至少为 3 亿吨。^[xv] 2009~2012 年累计产量 133.8 亿吨,消费量 132.7 亿吨,净进口了 7 亿吨,^[xvi] 2012 年末库存应增至 11.1 亿吨 $(3+133.8-132.7+7)$,但实际库存仅有 2.84 亿吨,^[xvii] 比按公布数字推算的库存少了 8.26 亿吨。如果今年 6 月末库存和近 4 年消费数字真实,就有可能说明近 4 年中国煤炭产量数存在 8.26 亿吨的水分。那么世界煤炭产量就可能接近峰值。

任何一种不可再生资源的产量,都不可能沿着“大于 1 的指数”曲线单调增加,直至耗尽。而是达到某一峰值后将会减少,直至用完。

考虑到近期世界煤炭产量受 2008 年后美国金融风暴的影响,数年内世界煤炭产量还可能回升。尤其是中国、印度的需求趋势将促使产量回升。若 2013~2020 年全球煤炭消费量在 2012 年 74.6 亿吨基础上,年均递增 2%,^[xviii] 则 2020 年世界原煤消费量约 87.4 亿吨 $(74.6*1.02^8)$ 。2010~2020 年内需生产 860 亿吨才能满足消费。^[xix] 上文估算的 2009 年末可采的 10300 亿吨储量,2020 年末减至 9440 亿吨 $(10300-860)$ 。若从 2021 年起每年递减 0.5%,则剩余储量可用 155 年。^[xx] 即 2175 年用完。

当然,若发现大量可采煤炭资源—如全球变暖,西伯利亚冻土融化,俄罗斯特大煤田可采量猛增,则另当别论。按上列算法,2021 年后全球煤炭生产(消费)的递减速度越快,可用年数越长。可以推算,当年递减速度 $>0.926\%$,可以无限延长使用年限。但如按此速 80 年后,即至 2100 年全球煤炭消费量将减至 2020 年的 47.5% $((1-0.926\%)^{80})$,已逐渐退出主能源的地位了。分析表明,并不是全球煤炭资源全部枯竭才对人类产生严重影响,而是在可采资源减少的过程中,逐步扩大负面影响的。

五、全球煤炭减产过程中的负面影响

1、全球煤炭减产过程中对中国的冲击。

中国是对煤炭依赖性最大的国家,虽然产量居全球第一,但 2012 年消费量已占全球的 50.2%。依赖性越大,对减少供应量越敏感。表现在:

一是将会因货源短缺致使生产生活无法正常运行。

2009 年起中国从煤炭净出口国一跃成为净进口大国,4 年的净进口量分别为 1.1、1.46、1.68 和 2.8 亿吨,2013 年上半年进口量 1.54 亿吨,同比又增

加 13.3%。可见对进口依赖度越来越大。上文已提及,近 4 年全球除中国、印尼、印度和澳大利亚外,其余国家产量总和下降。印度增产用于国内,中国进口货源主要靠印尼和澳大利亚的增产提供。澳大利亚 2012 年的“储采比”(剩余储量与当年产量之比)虽达 174 年,[xxi] 但近 4 年平均每年仅增产 800 多万吨,与中国平均每年新增进口 7000 万吨相差甚远。而印尼每年增产虽近 4000 万吨,但至 2012 年的储采比已从 2009 年的 17 年降至 7 年,而且增产越多储采比下降越快。如无大量的新增储量,7 年后,即 2019 年后中国的进口货源从哪里来?

更为严重的是,2012 年中国的储采比仅剩 28 年,[xxii] 如无大量新增储量,那么 2040 年后怎办? 届时世界全部富余产量只能满足中国需求量 1/4。

[xxiii] 何况,日本、韩国、印度等进口大国也不可能把货源让给中国的。

最近业内分析文章只是抱怨煤价下滑、需求不旺、进口冲击国内市场,导致煤企亏损。或者看到国际煤价与国内价差距变小,又担心进口商无利可图。

[xxiv] 官方也出台措施,降低煤企准入门槛--全国人大常委会 6 月底通过了修改《煤炭法》的决定,将取消煤炭的生产和经营许可证。[xxv] 似乎煤炭不再是“不可再生资源”,而成为不受欢迎的“臭狗屎”。说穿了,他们是为煤老板、国矿老总或进口商的近期利益--赚多赚少而操心。殊不知,“煤炭是难以开采的不可再生资源”,不会以官商意志为转移!中国的火电占发电量的 80%,缺煤必缺电。而电力是全社会生产生活的基础,缺了电,“城市化”依赖的钢材、水泥等行业首当其冲。基础建设、房地产、城市化将放慢步伐。当然“全面小康”只是“梦想”而已。但停了电将停止绝大部分的生产活动,城市一片漆黑、死寂,连居民的用水都无法供应,如何生存?

二是将导致粮食大幅度减产。

中国的合成氨以无烟煤为原料,合成氨又是制造氮肥的原料。1996 年末中国的无烟煤“保有储量”1156 亿吨,其中可作为合成氨生产的优质无烟煤不足 300 亿吨。按上文推算,1996 年无烟煤旧口径“保有储量”,折算成新口径的“储量”仅有 130.6 亿吨 ($1156 \times 11.3\%$)。1997-2007 年煤炭总产量 200 亿吨,若按 1996 年无烟煤产量占全部产量 20%推算,[xxvi] 11 年开采了 40 亿吨,则 2007 年末剩余无烟煤储量仅为 90.6 亿吨。2008 年全国无烟煤产量达 4.47 亿吨,[xxvii] 照此计算中国的无烟煤仅可开采 20 年,即 2027 年采完。上文述及,全球无烟煤资源最为稀缺,中国相对丰富,中国用完后不可能通过进口解决无烟煤的货源。

氮肥约占化肥施用量的 60%。2000~2010 年全国粮食年均递增 1.15%,而化肥施用量年均递增 2.98%,是粮食增速的 2.6 倍。[xxviii] 中国的化肥产量世界第一,2009 年占世界 33.9%。[xxix] 中国的氮肥原料枯竭后,全球氮肥的贸易量不能满足中国的需求。而因氮肥短缺造成的粮食减产,全球也没有那么多的

剩余粮食来供应中国！看来，布朗在上世纪末对中国的提醒：“21 世纪谁来养活中国？”不是没有道理的。

三是可引起钢铁产量大幅度下降。

炼铁需用焦炭作还原剂并支撑矿石。中国 1996 年炼焦煤保有储量 2549 亿吨，1996 年炼焦煤产量占全部产量的 47%。用上文对无烟煤的方法推算，2007 年末新口径的剩余炼焦煤储量仅为 194 亿吨。2008 年炼焦煤实际产量 10.33 亿吨，以此推算只可采 19 年。即 2026 年国内炼焦煤用完。上文已述及，全球炼焦煤储量不能满足需求。中国炼焦煤用完后，也很难通过进口弥补。中国用生铁炼钢占粗钢产量 90% 以上，炼焦煤用完后钢材的产量将大幅度削减。中国的粗钢产量占世界一半以上，届时也不可能通过进口钢材填补国内的缺口。继而对现在的支柱产业—房地产和汽车制造业，及众多的机械制造业都将产生巨大的冲击。

2、对其它缺煤国的负面影响。

虽然全球 91.4% 的煤炭储量和 89% 的产量集中在前 10 国之内，但全球煤炭贸易量只占当年产量的 14% 左右。这是因为煤炭的能源品质比油、气差，用同种运具等距离运 5 千吨原煤，要消耗运 1 万吨石油的能量。进出口煤炭主要靠远洋运输，烧高热值的柴油，运低热值的煤炭，煤质越差能量收支越不合算。而石油、天然气还可用耗能更少的管道运输。当产煤国的煤炭富余量逐渐减少、煤炭的品质下降至一定程度、油气资源逐渐稀缺时，不能不考虑：用高热值柴油，运输低热值煤炭的能量收支问题。产煤国将用稀缺的柴油优先满足本国缺煤地区的需求，过剩后才能出口。而出口对象也只能优先解决邻近的缺煤国。远离富余国的缺煤国将得不到充足的货源，最终无煤可用。油气枯竭后靠烧煤运煤，运输能耗更大，无煤国更多。只要没有足够的替代能源，将对这些国家生产生活带来不同程度的负面影响。

至于用煤变油出口或作运输燃料，更要权衡能量的收支。因为变油工艺过程中维持 450℃ 以上和 100~140 个大气压的反应条件，还要制取大量氢气加入，都要消耗大量的能。^[xxx]而煤中的水和灰分都不能变成油，过程中还要耗能。若能量净收得率 ≤ 0 就没有液化的价值了。

六、开采和消费煤炭要付出环境和安全代价

1、与人畜生存争夺水资源。

中国现有煤矿区 70% 缺水，40% 严重缺水。13 个大型煤炭基地中有 10 个缺水或严重缺水。晋、陕、蒙、新煤炭资源占全国的 74%，水资源仅占 1.6%。煤炭开采、洗选过程中必须消耗大量水资源。2005 年煤矿抽排水 45 亿吨，

[xxxix] 每吨煤用水 1.9 吨。中国预测资源量最多的鄂尔多斯煤田--总资源量占全国 31.6%。而“鄂尔多斯河流域”常年平均产生的水资源仅为 2.25 万 m³/km²·年。[xxxix] 要使该煤田达到 1 亿吨的年产量, 每年需水 1.9 亿 m³。约需 8400 多平方公里范围内全年所有的水资源。这就要当地 4~5 个县除采煤外的全部工农业停产, 全部人畜搬迁。按每个县 20 万人口估算, 总共 80~100 万人口, 40~50 万劳动力。按每亿吨煤需 20 万劳力计算,[xxxix] 过剩的几十万人只如何谋生? 况且, 水资源随季节和年度变化很大, 产生的水资源也不可能全被抽取, 否则河流干涸了。2011 年中国西北诸河区, 用水总量占水资源量 45%。[xxxix] 照此推算在该区域建 1 亿吨规模的煤矿, 将要夺走 180~200 万人口生存的水资源。而煤炭实际产量还要随水资源的波动起落。该煤田 1990 年的保有储量 3500 亿吨, 占全国 9500 亿吨的 36.8%。[xxxix] 照此比例, 当年应达产近 4 亿吨, 当然远未能实现。其次, 中国第二大的准噶尔煤田也因水资源短缺, 远未达产—新疆的煤资源占全国 13.8%, 2008 年产量只占全国 2.4%。[xxxix]

2、排放污水影响更多人的健康。

2005 年煤矿抽排酸性水 45 亿 m³ 中仅 44% 经处理, [xxxix] 表明煤炭生产向水体排放了 25.2 亿 m³ 污水, 占当年工业废水总排放量 10.4%。[xxxix] 煤矿废水中至少是硫酸盐超标。以 1.5% 的“中硫煤”计算, 只要 10% 的硫被洗选去除, 每升废水中硫酸盐的浓度将达 2370 毫克/升, [xxxix] 为人体不能直接接触的 4 类水“硫酸盐含量标准”的 9.3 倍。[xi] 当年煤炭生产排放的污水, 需要稀释到 245 亿 m³ 水中才能达标。

3、占用并坍塌土地。

采煤必然造成地下采空, 随雨水入侵, 迟早要形成地面裂缝、沉降直至坍塌或诱发山体滑坡。中国平均每采万吨煤炭沉陷 3 亩以上土地。2005 年矿区沉陷 450km², 即 67.5 万亩。中国累计沉陷 4500 km², 即 675 万亩。另外, 每开采 1 吨煤排放矸石 0.18 吨。2005 年排放矸石 3.5 亿吨, 其中 43% 回收利用。累计产生的煤矸石超过 50 亿吨, 占地 16000km²。[xii] 沉陷和堆放矸石累计占用土地 3075 万亩。以 50% 耕地, 每亩产粮 400 斤推算, 每年少产 61.5 亿斤粮食。加上与农业争水而减产的粮食, 其损失数字更大。某种意义上可以认为煤炭是用一定的粮食换来的。

4、污染空气。

煤炭中所含硫分, 除少数在洗选被溶解污染水体外, 大部分在燃烧时以 SO₂ 形态释放。尽管做些脱硫处理, 但仍有相当多的 SO₂ 排放到空气中。中国 2005 年燃煤排放 4299 万吨 SO₂。[xiii] 高浓度的 SO₂ 主要在燃煤集中的城市上空 1km 范围内。2005 年监测的 522 个城市中(地级以上 319 个, 县级 203 个), SO₂ 浓度超过 2 级(即超过宜居标准)的城市占 22.6%。[xiii]

SO₂ 在空气中的寿命约 2 天, 此后漂移扩散或随降雨到地表形成酸雨, 危害农作物。2005 年, 全国 696 个市(县)降水 pH 年均值小于 5.6 的城市 267

个,占 38.4%。[xliv]

煤烟中的微粒也是空气中的污染物。2005 年大气颗粒物浓度超过 2 级的城市占 35%。[xlv]

5、排放温室气体。

燃煤最终将其中的 C 变为 CO_2 ,人为大量排放 CO_2 是全球变暖的主要因素。每吨原煤燃烧排放 2.37 吨 CO_2 。[xlvi] 2007 年全球煤炭消费 63.68 亿吨,照此推算排放 CO_2 150.9 亿吨,占全球排放量 306.5 亿吨的 49.3%。[xlvii] 煤炭开采中还排放大量瓦斯,主要是 CH_4 ,其温室效应是等量 CO_2 的 20 倍。2005 年中国瓦斯排放 150 亿 m^3 ,仅 23 亿 m^3 得到回收。[xlviii]

6、危及矿工生命安全与健康。

在煤炭开采中,矿难频发。主要是瓦斯爆炸、水涌、火灾、顶板冒落等原因引起。一旦出现,矿井越深越难救援。中国 47%以上属于高瓦斯的矿井,事故频率大。1995 年每百万吨煤死亡率:国有重点煤矿为 1.17,地方国煤为 4.89,乡镇集体煤矿(不完全统计)为 8.45。而美国为 0.05,印度为 0.52 俄罗斯也只有 0.96。21 世纪以来乡镇集体煤矿改为私有,煤老板更注重赚钱,忽视安全,矿难死亡率更高。煤矿职业病也相当严重,井下采煤产生大量粉尘,诱发矿工的职业性矽肺病,所引起的人员伤亡远较各类灾害大。据不完全统计,(1995 年)煤炭行业矽肺病患者 40 万人,且仍以每年 8000 人的速度增长。[xlix]

从这个意义上看,煤炭又是以牺牲资源、环境和部分矿工的生命换来的。

小结—煤炭资源的特征及其客观必然性

综上所述,煤炭作为仅次于石油的现代主能源,至少具有以下特征:

一是资源是有限的,可采储量又远远小于预测资源量;

二是许多地下资源量不具备开采条件;

三是实存的煤类、煤质结构不能满足用途的需求;

四是煤炭开采与消费量,不仅取决于实际储量、开采条件和用途的专一性,还受到局部水资源、全球粮食的制约和环境的承载能力及矿工安全与健康的限制。

这些特征是由自然和社会规律决定的,人的意志无法改变。具体说来:

一是因为煤炭是由未被彻底分解的植物,经泥炭(或腐泥)结聚、成岩和变质三阶段形成的。成煤质料的集聚必须要以植物繁茂为条件,只能在距今 3 亿多年的“石炭纪”之后而不是之前;只能是当初排水性较差的沼泽中的植物,才会不彻底分解;而沼泽多半分布在大陆边缘。由于大陆漂移分裂、合并,只能在当初独立陆块的边缘成煤。而此后的成岩和变质,又要求已结聚的泥炭及已成岩的褐煤地层持续沉降。要在同一原始位置集合诸多的偶然条件,这就决定了全球煤炭资源的有限性和分布的集中性。

也正因为煤炭资源分布的集中性,加上运输单位热值的能耗较高,决定了煤炭贸易比远小于石油和天然气,也导致将来油气枯竭后,难以成为替代能源。

二是由于完成煤炭的变质作用必须要高温、高压和时间,只有埋藏加深才能实现,所以多数煤炭在地下深处,必须经详细查勘才能确认地下的储量。而全球多数陆地的地貌、气候不适于人类居住,详细查勘需要投入大量的人力物力。尤其在矿产权划归私有的情况下,更不可能对全国的地下矿藏全面查勘。这就决定了对全球的多数煤炭资源只能作预测估算,只有对开采价值较大的区域进行详查、精查。从而使煤炭的资源量与储量产生巨大差异。

三是不同用途对煤质的要求,是由煤炭在不同的生产过程所起的作用决定的。如炼铁用的焦炭要支撑矿石,必须要炼焦用煤有一定的机械强度。而各煤类天然的工艺特征,是由该煤的原始质料、成煤时间、过程中的地壳变迁及局部岩浆活动等多种因素决定的。这就决定了煤类、煤质结构不能满足用途的需求。特别是无烟煤,不仅成煤时间长,而且要达 250-300⁰C 的高温,往往需要岩浆的参与才能实现。而低硫的优质无烟煤,又要求低蛋白的原始质料。所以优质无烟煤资源必然稀少。

四是在成煤的 3 亿多年内,陆块分分合合,或碰撞成高山,或下沉到很深的地下。原来平整的泥炭层有可能倾斜、褶皱、断裂,对应的地表有可能成为高山、沙漠。所以必有相当的煤资源不宜开采。

五是出于煤炭是植物在缺氧环境下演化而来,除了碳元素还含有硫氮等对环境有害的成分。燃煤必污染环境。初期沉积过程中,只要有甲烷菌存在,必有部分有机物生成甲烷。洗选耗用大量水资源,采空后地面坍塌,矸石堆放占用大量土地,井下形成瓦斯爆炸等,资源、环境及安全问题都有客观必然性。

本文仅据资源量、基础储量、储量和消费量变化的现有资料,及相关的开采条件、采收率等方面,对全球煤炭资源的可采年限作了粗略估计:**若 2020 年全球产量达到峰值,2021 年后每年递减 0.5%,则将在 2175 年枯竭。**在减产过程中,中国的生产生活将受到巨大冲击,其它缺煤国也将受到不同程度的负面影响。不论估计的误差有多大,对于人类历史来说,至煤炭枯竭的期间总是短暂的。而且全球煤炭可用年数,还要受淡水、粮食等资源的限制,并受环境承载能力和矿工生命安全与健康的制约。当代人的能耗需求,局部的、个人(煤老板)的经济利益必须服从全人类的长远利益。若违背这一原则,再多的煤炭资源也不应开采!

笔者相信,除非人类改变现有的生产生活方式,回归主要靠自身劳动能,适度获取自然界可再生资源的生存、繁衍模式。否则,化石能源枯竭后,人类将难以闯过这道关。

[i] 同注 5。

[ii] 同注 1, p48~51 该煤田资源量 6000 亿吨, 确认储量 600 亿吨, 其中气煤为主, 其次是长焰煤和无烟煤。

[iii] 同注 1, p52-53, 及注 5, 山西无烟煤保有储量 485 亿吨, 贵州 374 亿吨。

[iv] 《大百科全书》化工卷“合成氨工业”条目: 1981 年苏联以 92% 的天然气作为合成氨的原料, 说明苏联很少用无烟煤生产合成氨。

[v] 中国 2009 年“化学原料及化学制品制造业”耗煤 1.5 亿吨, 主要是制氨所用。若其中 80% 即 1.2 亿吨为优质无烟煤, 1996~2009 年中国化肥年均增速 6.5%, 13 年累计消耗 $= 1.2 * ((1 - 6.5\%)^{13} - 1) / (0.935 - 1) = 10.8$ 亿吨, 最终可采量下剩 $= 67.8 - 10.8 = 57$ 。

[vi] 同注 1, p46。

[vii] 同注 4, p83。

[viii] 同注 1, P60。

[ix] 这些煤田资源量依次是: 20089, 424, 1097, 15390, 7000 和 16000 亿吨—数据来源同注 1, p48~58。

[x] 数据源同注 5。预测量中含 600m 以浅 12044 亿吨。1000m 以浅的探明储量 5665 亿吨中, 按 600m 以浅和 601~1000m 的比例分配, 探明储量中 600m 以浅 3244 亿吨。资源总量中 600m 以浅 $= 12044 + 3244 = 15288$ 亿吨。

[xi] 1990~2009 年全球煤炭产量年均增速度 2.1%, 这里取 1984~2009 年均增速 2%。2009 年产量 69.4 亿吨, 25 年累计产量 $= 69.4 * [(1 - 2\%)^{25} - 1] / [(1 - 2\%) - 1] = 1376$ 。

[xii] 同注 4。

[xiii] 2012 年的世界及中国煤炭消费数是《BP 世界能源统计 2013》发布的数字, 引自 2013-7-17 中国网“2012 年世界煤炭数据公布煤炭产量增长”一文, 2012 年世界和中国煤炭消费量分别为 37.3 亿吨标油和 18.725 亿吨标油。2008 年数字见《世界矿产年评》, 世界和中国煤炭消费量分别为 32.86 和 14.06 亿吨标油。

[xiv] 2012 年煤炭产量数来源同注 28, 世界为 78.645 亿吨, 中国为 36.5 亿吨。2008 年产量数来源见《世界矿产年评》。2012 比 08 增产数: 印尼 1.57 亿吨, 印度 0.9 亿吨, 澳大利亚 0.33 亿吨。

[xv] 按《中国统计年鉴》公布的生产、消费和海关的进出口数字推算: 假如 2005 年全国煤炭库存为 0, 2006~08 年生产 80.2 亿吨, 消费 76.9 亿吨, 净出口 0.3 亿吨库存应为: $80.2 - 76.9 - 0.3 = 3$ 亿吨。事实上任何时点库存不可能为 0, 2008 年末库存肯定超过 3 亿吨。

[xvi] 2012 年以前的产量、消费数字来源于《中国统计年鉴》, 进出口数据同注 4。

[xvii] 2013 年 07 月 25 日中国煤炭网：“下半年全球煤炭市场仍将呈现总体过剩态势”一文披露：2013 年 6 月末全社会库存 2.98 亿吨。推算至 2012 年末库存=2.98+1~6 月消费 19.3-生产 17.9-净进口 1.54=2.84 亿吨。

[xviii] 世界煤炭消费量 37.4 亿吨标油,按 5000 大卡折算成 74.6 亿吨原煤;2008~2012 全球煤炭消费年均递增 3.2%,考虑生产能力制约,今后 8 年增速减至 2%。

[xix] 2010~2012 年消费 219.5 亿吨,加 2013~2020 年预计消费: $74.6 \times [(1.02^8 - 1) / 0.02] = 640.3$,共 859.8 亿吨。

[xx] $(9440 = 87.4 \times (1 - 0.995^n) / (1 - 0.995))$, $n = 155$ 。

[xxi]: 见注 4,澳大利亚 2009 年储量 762 亿吨,扣除 2010~2012 年产量约 12.8 亿吨,剩 749.2 亿吨,除以 2012 年产量 4.31 亿吨,可采年数约 174 年。

[xxii] 见注 4: 2004 年中国剩余储量 1145 亿吨,减 2005~2012 年产量 232.2 亿吨,加“产量水分”8.2 亿吨,2012 年剩余储量 921 亿吨,除以 2012 年产量 34 亿吨(36.5-水分 3.5),约可采 28 年。

[xxiii] 目前世界煤炭出口总量约 10 亿吨,届时中国的年需求约 40 亿吨。

[xxiv] 如: 2013 年 04 月 03 日 来源:中国矿业报 新闻资讯 > 进出口煤炭 > “2013 年中国煤炭进出口贸易形势预测分析”; 2013 年 07 月 24 日人民网 > 能源: “煤炭行业遭遇 5 年来最冷寒冬 煤企巨头降价促销”。

[xxv] 2013 年 07 月 22 日 08:26 来源: 中国广播网“煤炭行业将取消生产和经营许可证 加深市场化”。

[xxvi] 同注 5。

[xxvii] 成升魁等: 《2010 年中国资源报告》科学出版社, 2011 年版 P81。

[xxviii] 据《中国统计年鉴》计算。

[xxix] 据《2011 国际统计年鉴》计算。

[xxx] 参见《大百科全书》化工卷“煤直接液化”条目。

[xxxi] 同注 44,p99。

[xxxii] 见黄秉维等: 《现代自然地理》, 科学出版社 1999 年版 p260。“万 $m^3/km^2 \cdot 年$ ”称“产水模数”。

[xxxiii] 同注 5: 1995 年全国重点煤矿产量 4.82 亿吨, 井下工人 91.3 万人, 亿吨煤井下工人约 18.94 万人, 估计包括井上勤杂在内,每亿吨产量的粗壮劳力需求不超过 20 万人。

[xxxiv] 2011 年水资源公报。

[xxxv] 同注 1, p52。

[xxxvi] 新疆资源量 7000 亿吨/50592 亿吨=13.8%,2008 年产量 0.68 亿吨/28.02 亿吨=2.4%。

[xxxvii] 同注 42,p99。

[xxxviii] 见 2005 年中国环境公报,当年工业废水排放 243.1 亿 m³。

[xxxix] [硫酸根: 1000g 煤*1.5%*10%*96/32]: 水 1.9 升
=2.37g/L=2370mg/L。

[xl] 见中国《地面水环境质量标准》。

[xli] 同注 42, p99。

[xlii] 同注 42, P100, 表 3.10: SO₂ 排放量 4299 万吨。但 2005 年中国环境公报: SO₂ 排放量 2549 万吨。笔者用当年消费煤炭 21.4 亿吨推算: 燃煤的平均硫分=4299/(21.4*10000)*32/64=1%。相当于中低硫分, 接近实际情况, 故采用 4299 万吨。

[xlili] 同注 53。

[xliv] 同注 53。

[xlv] 同注 53。

[xlvi] 同注 42, P100。

[xlvii] 煤炭消费见注 4, 煤消费 31.84 亿吨标准油, 按 5000 大卡折算成 63.68 亿吨原煤。全球 CO₂ 排放量见 2010 年《国际统计年鉴》。

[xlviii] 同注 42, P99。

[xliv] 同注 5。

[i] 马学昌:《煤炭资源于开发及其利用前景》, 地质出版社 1994 年版 p1。

[ii] 《2013 年中国统计摘要》。

[iii] 同注 1, p37, p40 原“世界煤炭资源报告”中, 中国资源量为 14655 亿吨, 第二次全国煤田预测, 至 1981 年末资源总量为 50592 亿吨, 应增加 35945 亿吨。印度应增 652 亿吨, 巴西应增 2200 亿吨褐煤。

[iv] 国土资源部: 2008~09《世界矿产年评》。

[v] 参见国土资源部网: “资源概况-煤”。

[vi] 同注 1, P52。

[vii] 2007-2-5 16:30 中央电视台百科探秘。

[viii] 参见何满潮: “深部的概念体系及工程评价指标”, 《岩石力学与工程学报》2005 年第 16 期。

[ix] 同注 5。

[x] 同注 1, P37, 48~55。

[xi] 同注 1, p18。

[xii] 同注 1, p37。

[xiii] 同注 5。

[xiv] 同注 1, p51~54。

[xv] 同注 1，P23。