

国家自然科学基金项目(51074066)

河南理工大学博士基金项目(B2013-050)



# 科学采矿评价指标体系 与量化评价方法

李东印 著

中国矿业大学出版社  
China University of Mining and Technology Press

国家自然科学基金项目(51074066)

河南理工大学博士基金项目(B2013-050)

# 科学采矿评价指标体系与 量化评价方法

李东印 著

中国矿业大学出版社

## 内 容 提 要

本书全面系统地介绍了煤炭资源科学采矿现阶段的研究成果和进展,阐述了科学采矿的评价指标体系,提出了科学采矿指数(ScMC)和科学采矿等级(ScMR)的概念,探索了科学采矿的量化评价方法,研发了煤炭资源科学采矿评价系统(ESSM)软件,针对特定矿井可计算科学采矿指数(ScMC)和科学采矿等级(ScMR)。

本书可作为煤炭高校采矿工程专业研究生、本科生的参考书,也可供煤炭企业、煤炭部门的技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

科学采矿评价指标体系与量化评价方法 / 李东印著.

徐州:中国矿业大学出版社,2013.7

ISBN 978 - 7 - 5646 - 1839 - 1

I. ①科… II. ①李… III. ①煤矿开采—矿床开发评价—研究 IV. ①TD82

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 063395 号

书 名 科学采矿评价指标体系与量化评价方法

著 者 李东印

责任编辑 王美柱

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 徐州中矿大科技印发有限公司

开 本 890×1240 1/32 印张 5.625 字数 157 千字

版次印次 2013 年 7 月第 1 版 2013 年 7 月第 1 次印刷

定 价 35.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

## 前 言

科学采矿是在安全、环保前提下,最大限度地高效采出煤炭资源的开采技术,是人类认识自然和开发利用煤炭资源理念的升华,是采矿技术、发展方式,乃至煤炭行业命运的重大变革,是一种全新的采矿模式,必将对煤炭工业的未来产生深远影响。为推动科学采矿的进一步发展,亟待建立科学采矿的评价指标体系及量化评价方法。

本书在系统分析煤炭开采历史演化进程、吸取前人研究成果的基础上,把科学采矿评价指标分为核心内涵指标和主控因素指标两大方面。其中,核心内涵指标从采矿理念与开采技术方面充分体现科学采矿的本质,包括“安全开采、绿色开采、高采出率开采、集约化高效开采、智能化开采和完全成本开采”等6个方面;主控因素指标则体现煤炭资源赋存的客观性、技术与管理的主观性、开采效益的现实性,由“资源禀赋条件、安全技术保障、科学管理保障、经济与社会效益”等4个方面组成。以科学采矿评价指标为基础,采用数理统计、图论方法以及物理学中的“力”、“场”原理及方法,建立了科学采矿评价指标的量化方法,构建了集安全、环保、效率、科技及责任等为一体的科学采矿评价体系。定义了用于体现煤炭资源科学采矿程度的科学采矿指数(ScMC)和科学采矿等级(ScMR)。以可拓理论、主观动态赋权方法、线性加权综合方法、专家定参方法等为手段,建立了必须由多专家共同参与的科学采矿评价数学模型,探索了适用于生产矿井(不含选煤厂)的ScMC和ScMR计算方法,并用自主研发的煤炭资源科学采矿评价系统(ESSM)软件,对示例矿井进行了科学采矿评价,初步形成并验证了本书提出的科学采矿评价体系及量

化评价方法。

河南理工大学副校长、河南省教学名师周英教授主持的国家自然科学基金项目“基于动态权重的煤炭资源科学采矿指数研究(项目编号:51074066)”,对科学采矿的评价方法进行了较深入的研究。本书是在作者的博士论文基础上完成的,得到了导师周英教授和基金项目的大力支持,值此,谨向恩师周英教授致以崇高的敬意和衷心的感谢!

特别感谢河南省教学名师、河南理工大学李化敏教授长期以来的悉心指导及在生活、工作、学习上的无私帮助!感谢河南理工大学能源科学与工程学院领导与同事们的大力支持和帮助!

感谢《煤炭学报》、《采矿与安全工程学报》、《煤炭工程》等高水平期刊对本人学术观点的认可及学术论文的发表。

感谢书中所引用文献和阅读文献的各位著、编、译者。

感谢内蒙古蒙泰不连沟煤业有限公司领导和朋友在资料收集方面的支持和帮助。

感谢所有关心、支持和帮助我的家人、师长、同学、朋友和学生,感谢所有需要感谢的人,祝好人一生平安!

由于作者水平所限,书中难免有不妥之处,敬请同行专家批评指正。

著 者

2012年12月

---

# 目 次

<b>1 绪论</b> .....	1
1.1 煤炭的能源地位与存在问题 .....	1
1.2 科学采矿的国内外研究现状 .....	9
1.3 科学采矿量化评价意义 .....	13
1.4 主要研究方法与研究内容 .....	16
1.5 研究技术路线 .....	17
<b>2 科学采矿评价指标体系构建</b> .....	18
2.1 煤炭开采水平评价方法的发展历程 .....	18
2.2 科学采矿评价指标体系的作用与构建方法 .....	27
2.3 科学采矿的核心内涵与评价指标 .....	29
2.4 科学采矿的主控因素与评价指标 .....	55
2.5 科学采矿评价指标体系 .....	71
2.6 本章小结 .....	71
<b>3 基于可拓论与动态权重的科学采矿评价方法</b> .....	73
3.1 科学采矿评价体系 .....	73
3.2 科学采矿评价模型 .....	75
3.3 科学采矿评价模型计算流程与指标量化 .....	80
3.4 评价指标动态权重的实现方法 .....	119
3.5 线性加权综合法计算科学采矿指数 .....	123

3.6	运用可拓方法确定科学采矿等级 .....	125
3.7	本章小结 .....	140
<b>4</b>	<b>ESSM 的工程应用实例 .....</b>	<b>141</b>
4.1	ESSM 的特点与功能 .....	141
4.2	被评价矿井基本情况 .....	143
4.3	ESSM 的应用过程 .....	152
4.4	结果输出与分析 .....	157
4.5	本章小结 .....	159
<b>5</b>	<b>主要结论和展望 .....</b>	<b>160</b>
5.1	主要结论 .....	160
5.2	展望 .....	161
	<b>参考文献 .....</b>	<b>163</b>

# 1 绪 论

## 1.1 煤炭的能源地位与存在问题

### 1.1.1 煤炭在世界能源结构中仍占据重要地位

煤炭目前是我国主力能源,煤炭的开采、洗选和利用必须改变粗放形态,走安全、高效、环保的科学发展道路,煤炭在我国总能耗中的比重将逐步下降,2050年可望减至40%(甚至35%)以下,其战略地位将调整为重要的基础能源。据世界能源委员会评估,世界煤炭可采资源量达 $4.84 \times 10^4$ 亿t标准煤,占世界化石燃料可采资源量的66.8%。世界煤炭储量主要分布在亚洲(占58%)、北美洲(占30%)、欧洲(占8%)、澳大利亚(占3%)和南非(约占1%)。煤炭产量前10位的国家如表1-1所列,煤炭消耗前15位的国家如表1-2所列。煤炭是中国储量最多、分布最广的不可再生战略资源。国土资源部最新预测(源自2010年7月9日中央电视台“经济半小时”):我国煤炭可采储量达2040亿t,而石油的可采储量仅为212亿t。

表 1-1 世界煤炭产量前 10 位国家统计

项 目	探明储量/亿 t		储采比		占总量比例/%	
	2007 年	2006 年	2007 年	2006 年	2007 年	2006 年
中 国	1 145	1 145	45	48	13.5	12.6
印 尼	43	52	25	25	0.5	



科学采矿评价指标体系与量化评价方法

续表 1-1

项 目	探明储量/亿 t		储采比		占总量比例/%	
	2007 年	2006 年	2007 年	2006 年	2007 年	2006 年
加 拿 大	66	86	95	105	0.8	0.7
波 兰	75	143	51	90	0.9	1.5
德 国	67	67	33	34	0.8	0.7
南 非	480	553	178	190	5.7	5.4
俄 罗 斯	1 570	1 570	500	>500	18.5	17.3
澳 大 利 亚	766	904	194	210	9.0	8.6
印 度	565	747	118	207	6.7	10.2
美 国	2 427	2 466	234	234	28.6	27.1
全 世 界	8 475	9 090.64	133	147	100	100

表 1-2 2010 年世界煤炭消费量前 15 位国家统计

国 家	原油 (Mtoe)	天然气 (Mtoe)	煤炭 (Mtoe)	核能 (Mtoe)	水力发电 (Mtoe)	再生能源 (Mtoe)	总计 (Mtoe)
中 国	428.6	98.1	1 713.5	16.7	163.1	12.1	2 432.2
美 国	850	621	524.6	192.2	58.8	39.1	2 285.7
加 拿 大	102.3	84.5	23.4	20.3	82.9	3.3	316.7
墨 西 哥	87.4	62	8.4	1.3	8.3	1.7	169.1
巴 西	116.9	23.8	12.4	3.3	89.6	7.9	253.9
法 国	83.4	42.2	12.1	96.9	14.3	3.4	252.4
德 国	115.1	73.2	76.5	31.8	4.3	18.6	319.5
俄 罗 斯	147.6	372.7	93.8	38.5	38.1	0.1	690.9
英 国	73.7	84.5	31.2	14.1	0.8	4.9	209.1
伊 朗	86	123.2	1.1		2.2	0.1	212.5
南 非	25.3	3.4	88.7	3.1	0.3	0.1	120.9
澳 大 利 亚	42.6	27.3	43.4		3.4	1.5	118.2
印 度	155.5	55.7	277.6	5.2	25.2	5	524.2
日 本	201.6	85.1	123.7	66.2	19.3	5.1	500.9
韩 国	105.6	38.6	76	33.4	0.8	0.5	255
世界总计	4 028.1	2 858.1	3 555.8	626.2	775.6	158.6	12 002.4

## 1.1.2 我国煤炭开采技术取得了较大进展

### (1) 煤矿开采技术处于世界先进水平

大采高厚煤层一次采全高、特厚煤层综放开采、薄煤层综采、急倾斜和地质构造复杂煤层开采技术等先进工艺被广泛推广应用,集采掘生产、机电装备、安全监测、信息通讯、多媒体和可视化的煤矿自动化、信息网络化技术得到了广泛采用。我国煤炭开采技术在许多方面已居世界领先地位,创造了多个世界第一。例如,我国先后建成了年产 1 000 万 t 的矿井、年产 1 200 万 t 综采队;相继试验了第一个 300 m、360 m、400 m 加长采煤工作面;首创了世界上第一个 5.5 m、6.3 m、7.0 m 大采高重型支架采煤工作面和中厚偏薄煤层自动化采煤工作面。

### (2) 煤矿重大灾害防治技术研究取得突破性进展

煤矿瓦斯(煤层气)抽采、煤与瓦斯突出、煤矿火灾、水灾防治和煤矿顶板事故防治与支护,以及矿井自动化检测监测和预警技术等取得了新进展。

### (3) 绿色开采、生态矿山建设技术得到推广

采煤工作面矸石充填、膏体充填技术趋于成熟,矿井水、地热利用、采煤沉陷治理技术得到普遍应用,一些煤矿实现了产煤不烧煤,一批煤矿被授权首批国家级绿色矿山试点单位。

### (4) 煤炭经济结构调整取得重大进展

煤矿生产集中度显著提高,单井规模由 9.6 万 t/a 提高到 20 万 t/a。煤电一体化发展进程加快,全国煤矸石电厂装机容量增加 2 500 万 kW。煤矿瓦斯抽采从无到有,瓦斯抽采突破 80 亿 m<sup>3</sup>,行业节能减排效果明显。

## 1.1.3 我国煤炭开采技术面临着突出问题

### (1) 煤矿安全问题依然突出

我国煤炭产量占世界的 1/3,但死亡人数占世界煤炭行业死亡

人数的 80%。图 1-1 统计了 1949~2010 年间我国煤炭事故死亡人数与百万吨死亡率的变化曲线。



图 1-1 中国历年煤炭事故死亡人数与百万吨死亡率统计

煤矿的死亡事故主要集中在瓦斯事故、冒顶事故、水害事故和运输事故方面,图 1-2 对 2005 年煤矿死亡事故进行了分类统计。

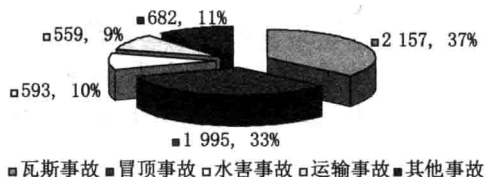


图 1-2 中国煤矿死亡事故分类统计

综观世界发达国家,其煤矿安全状况的改善主要得益于相关法律法规的不断健全、科技水平的不断进步、职工素质的不断提高、评价机制的不断完善等。到 20 世纪 70 年代,美国煤矿死亡人数降至千人以下,特别是 1990 年以来,伤亡人数进一步迅速减少。美国煤矿安全状况的改善大致经历了 3 个历史性的时期:

① 20 世纪前 30 年,美国煤矿的安全状况也曾令人揪心,年均事故死亡人数在 2 000 人以上,特别是 1907 年,矿难死亡人数多达 3 242 人,百万吨死亡率为 8.37。

② 20 世纪 70 年代后期,《联邦矿业安全和健康法》实施后,煤矿年死亡人数立即下降到 1 000 人以下,1990 年死亡 66 人。

③ 1993 年后,煤矿事故年死亡人数降至 50 人以下,2000 年死

亡 40 人,1993~2000 年整个行业未发生一起死亡人数超过 3 人的事故。

1976 年以来,美国一次死亡 5 人以上的严重煤矿事故,平均 2 年发生一起。近十余年来,美国煤矿工人数量逐年递减(目前仅有 13.5 万煤矿职工),与此同时事故总体情况趋于缓和,呈现出平稳递减并伴有小幅度震荡的态势。

通过对 2000~2007 年中国煤炭与美国煤炭行业产量与安全状况对比(表 1-3)可以看出,8 年期间中国煤炭的产量是美国煤炭行业产量的 1.67 倍,但死亡人数却是美国的 187 倍,百万吨死亡率是美国的 113 倍。2010 年,波兰煤矿百万吨死亡率为 0.09,南非煤矿百万吨死亡率为 0.13,俄罗斯煤矿百万吨死亡率为 0.34。

表 1-3 2000~2007 年中国与美国煤炭产量与事故对比

项 目	中国	美国	中国-美国
总产煤量/亿 t	148.72	89.18	+59.54
平均年产量/亿 t	18.59	11.15	+7.44
总死亡人数	45 162	241	+44 921
平均年死亡人数	5 645	30	+5 615
百万吨死亡率	3.04	0.027	+3.013

## (2) 环境问题更加凸显

矿产资源开发利用具有正负价值的两面性(钱鸣高等,2008)。我国因开采引起的地表塌陷面积已达 40 万  $\text{hm}^2$ ,且平均每年以 1.5 万  $\text{hm}^2$  的速度增加。图 1-3 为准格尔煤田某煤矿开采后引起地表破坏情况。据不完全统计,在采煤过程中,全国煤矿每年矿井水排放约 30 亿  $\text{m}^3$ ,平均吨煤涌水量约为 1  $\text{m}^3$ 。2003 年我国矿井瓦斯排放量首次突破 100 亿  $\text{m}^3$ ,到 2008 年矿井瓦斯排放量已达近 150 亿  $\text{m}^3$ ,其中 80%左右是采用通风方式排出,数量巨大,浓度在 0.75%以下,利用技术难度较大。瓦斯中的甲烷含量很高,甲烷的温室效应在全

球气候变暖中的份额为 15%，仅次于二氧化碳，而且等量甲烷造成的温室效应是二氧化碳的 21 倍。按照瓦斯年排放量 150 亿  $\text{m}^3$  计算，则相当于排放 3 150 亿  $\text{m}^3$  二氧化碳产生的温室效应。



图 1-3 开采引起的地表变形照片

### (3) 煤炭资源采出率明显偏低

由于煤炭资源长期以来无偿占用，煤矿片面追求高效率，造成不少矿井“采易弃难”、“采厚弃薄”、“吃肥丢瘦”等资源浪费现象。近年来，一些乡镇煤矿一方面造成资源极大浪费，另一方面导致国有重点煤矿缩短了服务年限(钱鸣高等,2008)。

据原地质工业部部长朱训说，我国国有重点煤矿(曾称统配煤矿)的总体采出率只有 30%，国有地方煤矿的总体采出率只有 20%，乡镇煤矿的总体采出率只有 10%。共生、伴生资源的利用率只有 20%左右。据李毅中 2008 年在全国小煤矿安全基础管理工作现场会上的讲话，全国小煤矿资源采出率甚至只有 15%(石平伍,2008)。

因此我国煤炭资源采出率的绝对值极低，无法与科学开采水平较高的国家相比。例如，美国共有矿井 360 处，其中 35%的产量来自井工矿，65%的产量来自露天矿井，煤炭资源总采出率为 80.83%，资源平均采出率井工矿为 57.13%，露天矿为 90.8%。

### (4) 机械化整体水平有待提升

2008 年，全国煤矿平均机械化水平仅为 45%。原国有重点煤矿采煤机械化程度为 83%(王其江等,2008)，乡镇煤矿几乎没有机械化开采，全国约有 200 万以上的矿工还在从事手工采煤。图 1-4 为

我国国有重点煤矿采煤机械化程度变化趋势。美国、澳大利亚、德国、英国等世界主要产煤国家,其机械化水平已接近或达到 100% (王其江等,2008)。实现机械化开采以机械代替人力是保证煤矿安全的重要手段。

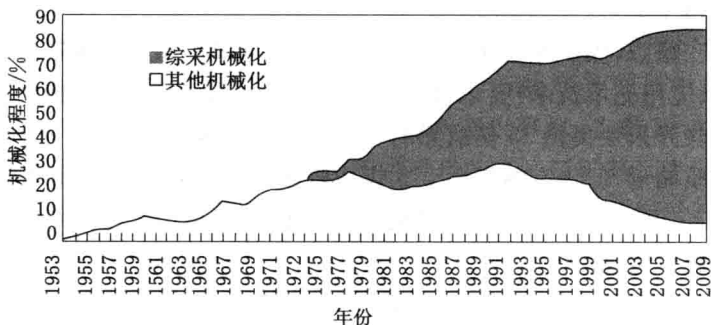


图 1-4 我国国有重点煤矿采煤机械化程度变化趋势

#### (5) 煤炭成本构成欠合理

目前,煤炭企业计算的成本仅仅是生产成本,不是完全成本。完全成本应考虑资源成本、环境成本、安全成本、发展成本及原有的“生产成本”。而完全成本的形成将随着对环境、安全等标准的提高和该地区对环境与生态经开采后的治理难度而变化。

在管理失控情况下,乡镇煤矿为了扩大赢利空间,或经济状况差的国有煤矿为了生存,往往采取以牺牲安全、采肥丢瘦和破坏环境而获得低成本(如乡镇煤矿成本仅为 55 元/t),从而将内部成本转化为社会成本,而在同样条件下的国有重点煤矿生产成本达到 150~250 元/t,由此形成了不公平竞争。

美国的吨煤劳动力成本为 3.8 美元,南非为 2.9 美元,由于我国大部分煤矿用人过多,我国吨煤劳动力成本高达 30 多元,占成本的 30%。而神东大柳塔煤矿由于高度机械化,吨煤劳动力成本仅为 2.5 元,只占成本的 3%(钱鸣高等,2006;李建民,2006)。

显然“完全成本”意味着煤炭成本的大幅度增加,从而影响着煤

炭产能和市场价格。有关部门研究表明,对煤炭生产企业征收煤炭可持续发展基金、矿山环境治理恢复保证金和煤矿转产发展资金三项基金后,煤炭企业约增加成本 40~50 元/t。再加上煤炭资源税、安全生产专项费和资源有偿使用费,煤炭企业政策性成本将增加 70 元/t 以上。

在德国,煤矿地质条件复杂,劳动工资高,矿井安全保证和环境保护(应用充填技术)要求高。在考虑完全成本后,德国政府每年需为煤炭开采业提供 25 亿欧元的补贴。虽然德国拥有 2 300 亿 t 的煤炭地质储量,但现有的最后 8 家煤矿将在 2018 年前关闭(钱鸣高等, 2008)。至 2020 年,德国对煤炭的需求将升至 7 000 万 t/a,则全部依靠进口实现。

#### (6) 煤矿生产效率普遍较低

2008 年,中国煤炭工业协会命名了 292 处安全高效矿井(含露天)。被命名的煤矿中,特级安全高效矿井(露天)100 处,行业一级矿井(露天)123 处,行业二级矿井(露天)69 处。这些煤矿各项经济技术指标在全国处于领先水平。292 处煤矿(约占总煤矿数量的 3.8%)共生产原煤 8.62 亿 t(约占总产量的 27%)。其中,283 处井工煤矿产量 7.69 亿 t,平均生产规模 271.7 万 t/a,绝大部分矿井实现了一井一面(两面)集中生产,综合单产 14.7 万 t/(个·月),原煤工效 14.8 t/工,单井盈利 2.67 亿元,人均收入 4.9 万元/a,百万吨死亡率 0.039;9 处露天煤矿产量 0.93 亿 t,平均生产规模 1 032.6 万 t/a,综合单产 18.6 万 t/(个·月),原煤工效 73.6 t/工。

可以看出,我国还有 96.2% 的煤矿不属于安全高效矿井,产量占全国总产量的 72%。据统计,国内煤矿平均每人每年产煤 321 t,效率仅为美国的 2.2%、南非的 8.1%。以澳大利亚为例,莫兰巴北矿煤炭产量为 700 万~800 万 t/a,人均年生产效率为 3.6 万~3.7 万 t;克瑞努姆煤矿生产规模为 460 万 t/a,共有雇员 200 人,人均年生产效率为 2.3 万 t;昆士兰州的库克煤矿生产规模为 65 万 t/a,共有雇员 70 人,人均年生产效率为 0.9 万 t。

(7) 智能化开采尚未得到广泛推广

智能化矿山建设是我国矿山技术人员必须要面对的一项严峻挑战。目前,我国煤矿智能化开采技术仍处于起步阶段。

#### 1.1.4 煤炭安全管理时常苦于“令出无据”

在社会高度关注煤矿安全与煤炭产量的前提下,曾多次出现“因一矿发生意外安全事故而造成多个矿井被迫行政停产”的尴尬局面。例如,2011年10月27日某煤矿发生瓦斯突出事故,造成18人死亡的严重后果,受此影响,几乎该矿所在省份的高瓦斯矿井及突出矿井全部停产检查或严重压产、限产;再如2011年11月3日某煤矿发生冲击地压事故,造成10人遇难,此后,相关部门要求所有矿井(不论是否鉴定有冲击倾向性)的安全措施都要增加预防冲击地压的内容。不可否认,从安全的角度加大管理力度是无可厚非的;但从另一个角度考虑,也是相关部门缺少针对每个矿井的可操作性的量化评价与分析,才出现这种“一人生病,多人吃药”的局面。因此,只有通过不同矿井科学开采水平进行量化评价,才能为管理部门的行政决策提供可操作的理论支持,才能使煤矿管理真正做到有的放矢、宽严有据。

## 1.2 科学采矿的国内外研究现状

煤炭资源可持续利用概念被提出后,立即得到了世界的响应与普遍认可。但在最初的具体实施过程中,不少人又提出种种疑问,认为可持续发展只是一种理念、一种主张。产生这种情况的重要原因之一是可持续发展缺少完善的理论支持。事实上,可持续发展的思想早在远古时期就有,只是由于一直没有形成完善的理论而未被普遍提倡与广为传播。

2003年,钱鸣高院士首次提出了绿色开采的概念、内涵和技术体系,阐述了绿色开采技术的主要内容。2004年以来,又进一步对



煤矿绿色开采技术进行了研究与实践。董洁、龙如银(2004)剖析了煤炭开采对环境造成的负面影响,提出解决煤炭企业可持续发展瓶颈的关键在于发展绿色开采技术创新。2007~2008年,钱鸣高院士、缪协兴教授、许家林教授对煤炭资源绿色开采的内涵作了进一步的阐述,介绍了绿色开采技术体系框架及其研究进展,从煤炭经济与管理角度分析了实现绿色开采存在的困难,并提出了相应的政策建议。钱鸣高等(2009)对中国煤炭资源绿色开采现状进行了研究与展望。

钱鸣高院士(2006)从分析煤炭产业的特点出发,提出科学采矿的概念,认为科学采矿主要包含5个主要方面,即煤炭生产机械化、煤炭生产与环境保护、矿井矸石与利用、煤矿安全生产和提高资源采出率。

2008年3月,钱鸣高院士、缪协兴教授、许家林教授针对我国煤炭产业现状与产业特点,全面阐述了科学采矿的内涵以及实现科学采矿对煤炭成本、价格及国民经济的影响。把科学采矿进一步定义为:实现既能最大限度地高效采出煤炭资源而又保证安全和保护环境的开采技术。认为科学采矿主要包括机械化高效开采、绿色开采、安全开采及提高资源采出率等方面。

2008年8月,钱鸣高院士又在《煤炭的科学开采及有关问题的讨论》一文中,进一步将科学采矿在技术方面总结为以下5个方面内容:① 高效开采;② 绿色开采以保护环境;③ 安全开采以保护人身作业安全;④ 高回收开采以提高资源采出率;⑤ 经济开采以降低成本。科学采矿概念(定义)的演化过程如图1-5所示。

河南理工大学正在承研的国家自然科学基金项目(编号:51074066)“基于动态权重的煤炭资源科学采矿指数研究”,在前人研究基础上,试图取得科学采矿研究的突破性进展。笔者的博士论文是上述国家自然科学基金项目研究的主要内容,进一步丰富和完善了科学采矿内涵,构建科学采矿评价指标,研究科学采矿量化评价方法,用科学采矿指数(ScMC)和科学采矿等级(ScMR)从不同侧面反