

矿山地质经济学

KUANGSHAN DIZHI
JINGJIXUE

安徽科学技术出版社

序

徐恒诚和司永年同志的新著《矿山地质经济学》一书，着眼于合理利用矿产资源，提高社会经济效益，从经济评价入手，较全面地介绍了矿山地质工作的基本内容（主要是金属矿产），并初步应用了数学统计方法，吸收了国外的一些新成果，突破了传统矿山地质和矿产经济学的界线，使二者密切结合，融于一册，是本书的一大特色。

本书按其内容基本上可分为两部分。其中一、三、五篇及第四篇的部分章节，介绍了我国现行有关矿产（主要是金属矿产）工业要求、地质勘探及矿山地质主要工作方法和规定，带有手册性质，基本上反映了目前国内有关这方面的现状；有些内容，如关于矿产资源技术经济类型的划分，探采结合勘探、探采对比的评述以及生产取样方法的介绍等，均系国内若干年来金属矿山生产实践经验的积累，也反映了作者自己的见解，有一定特色和使用价值，可供矿山地质工作者参考使用。

第二篇和第四篇部分章节，着重介绍了西方和苏联有关矿产资源经济评价的方法，尽管由于本书性质及篇幅所限，未深入展开讨论，但已在一定程度上反映了当代先进国家的水平，同时还指出了我国在这一方面的差距及努力方向。关于矿产工业指标方面，书中对国内外现行的两种基本模式作了比较和评述，也分析了我国现行办法的弱点和弊病，并从经济管理体制角度加以考察，提出了初步的改进建议。所有这些无疑地将对国内读者有较大的启发意义，同时也符合我国关于经济体制改革的精神。

矿产地质和矿产经济相结合的跨学科的研究，早已为一些研究者所注意，并且愈益成为众所关心瞩目的课题，近年来亦引起了有关部门的重视。少数学者在这方面已发表过一些成果和论文，有一定的深度和广度，但多侧重于矿产资源经济评价原理和方法的研究，尚未正式提出过建立“矿山地质经济学”分支学科的建议，所以本书是在这一领域的初次尝试。鉴于矿山地质工作与矿山生产及经济工作的联系，较之其它矿产工作（如找矿勘探）更为直接和紧密，以此作为发展边缘学科的“生长点”，有其更有利的条件。从这一意义而言，本书又是开拓性的。当然，本书在这方面还只是一个起步，但有可能起着某种“催生”的作用，不应忽视。

在我国社会主义制度下，如何运用国外的特别是西方的矿产评价理论和方法，以及在现时经济管理体制下，如何把地质与经济有效地结合起来，目前国内尚无公认的切实可行的准则。作者在书中对此进行了有益的探讨，尽管某些看法还不能被认为已臻成熟，但总是向前跨出了一步；事实上许多问题涉及国家关于矿产资源开发利用的一系列方针政策，有待今后经济体制改革中通过科研和生产的不断实践才能解决。因此，本书作为一家之言，也有其现实意义。

本书主要不足之处是非金属矿产方面的实例较少，某些问题的探讨尚不够系统、深入，但这些都无损于其主要精华及其积极意义。

中国地质学会理事、安徽省地
质学会理事长、高级工程师 常印佛
1986年4月

目 录

绪 论

第一篇 矿山地质经济

第一章 矿产资源与矿产储量分类	1
第一节 矿产资源与矿产储量的概念	3
第二节 矿产储量分类和分级	8
第三节 工业应用对各级储量的比例要求	25
第二章 矿产资源的技术经济类型	31
第一节 矿产资源技术经济类型划分的尝试	32
第二节 矿产资源的技术经济类型划分	35
第三章 矿产资源的工业利用	45
第一节 黑色金属矿产	46
第二节 有色金属矿产	60
第三节 轻金属矿产	73
第四节 贵重金属矿产	82
第五节 稀有和稀土金属矿产	85
第六节 稀散和放射性元素矿产	93

第二篇 矿产资源经济评价

第四章 经济评价概论	101
第一节 矿产资源经济评价的提出	101
第二节 矿山工程项目可行性研究	102
第五章 欧美国家的矿产资源经济评价	106

第一节	概述	106
第二节	时间经济理论	108
第三节	欧美国家矿山企业经济计算	112
第四节	欧美国家矿产资源经济评价原理和方法	120
第五节	矿产资源经济评价实例	128
第六章	苏联的矿床经济评价	133
第一节	苏联矿床经济评价的发展	134
第二节	矿山级差地租和矿床资源的货币价值	138
第三节	极限企业与极限生产费用的确定	142
第四节	矿床经济价值计算	147
第七章	我国的矿产资源经济评价	152
第一节	实行矿产资源经济评价的必要准备	154
第二节	对我国实行矿产资源经济评价的设想	157
第三节	矿产资源综合勘探、综合评价和综合利用	159

第三篇 生产地质勘探与固体矿产取样

第八章	生产地质勘探	171
第一节	生产勘探工程选择和布置	172
第二节	生产地质勘探的工程间距和施工顺序	183
第三节	探采结合勘探	194
第四节	坑内钻探的技术经济效果	200
第五节	坑钻结合	203
第九章	矿床地质勘探与开采资料的对比	208
第一节	探采对比初步分析	210
第二节	数理统计在探采对比中的应用	215
第十章	固体矿产取样	224
第一节	矿产取样种类与方法	225
第二节	生产取样	233
第三节	样品加工和分析	244
第四节	砂矿取样	251
第五节	矿石加工技术和矿岩物理机械性能试验	255

第四篇 矿产储量

第十一章	矿产储量与矿产工业技术要求	265
第一节	矿产工业技术要求概述	265
第二节	开采作业工业指标与地质勘探储量计算工业指标	268
第十二章	多元指标	270
第一节	关于多元指标的一般概念	271
第二节	多元指标的一般制订方法	276
第三节	综合工业指标	285
第十三章	单元指标	288
第一节	单元指标的制订原则与方法	289
第二节	单元指标应用实例	293
第三节	制订单元指标的地质统计学方法	300
第十四章	传统储量计算与方法	311
第一节	概述	311
第二节	矿体圈定	313
第三节	储量计算参数的确定	325
第四节	储量计算特殊问题的处理	327
第五节	储量计算方法	337
第十五章	欧美国家的矿产储量计算	346
第一节	传统储量计算方法	347
第二节	地质统计学法	350
第三节	普通克里格法理论梗概	355
第四节	普通克里格法实施	362

第五篇 矿山地质管理

第十六章	矿产储量的平衡与管理	371
第一节	三级矿量的划分原则	374
第二节	矿量计划的编制与管理	393
第十七章	贫化率与损失率的计算管理	395

第一节	贫化与损失的分类及计算	396
第二节	矿石贫化、损失的经济计算方法	409
第三节	贫化、损失的统计管理和降低贫化、损失的措施	418
第十八章	矿山生产计划与地质技术经济管理	425
第一节	矿山生产技术计划	425
第二节	矿山质量管理计划	429
第三节	矿产资源损失的经济评价	431
第四节	矿山技术经济预测	435

附 录

一、国家及有关工业部门对工业指标的规定	440
二、复利率的各种偿付系数表	443
三、金属矿床生产勘探工程最终间距经验数据参考表	462
四、国外部分金属矿山矿石损失贫化概况	470
五、截锥公式法中的 K 值	476

第一篇 矿山地质经济

第一章 矿产资源与矿产储量分类

按照再生和重复利用的可能性，自然资源分为再生资源 and 不可再生资源。矿产资源只能消耗而不能再生，属于不可再生的资源。

地壳本身是个不均质的地质体，它赋存有自然矿物，其中一些矿物贫瘠，一些矿物相对富集，而且有可能成为矿产资源。因此，可把矿产资源定义为天然矿物的自然富集和堆积体。这种富集和堆积体尽管自然生成，但不意味着它们就是当然的矿产资源，而是有一个为人类承认的时间过程，这个过程即金属的发现、提纯、实现工业化和找到用途的历史。

一种金属的发现并不意味着能大量制取它，还要经过许多年的实践才能做到。例如，铍在1789年就已发现（表1-1），但1828年才在实验室提取出纯铍。当一种纯金属提取出来后，只有找到其工业用途后，人们才去开采它。例如，1841年就分离出了铀，但却在1942—1944年发现了原子能后，才投入了大量生产。总之，一种元素到发现和找到用途后，人类才去开发利用它。由此可见，天然矿物的富集和堆积体能成为矿产资源的首要条件是其所含的金属能被发现、分离、提纯并找到用途。

表1-1说明，一种元素从发现到提取实现工业应用的时间是漫长的，这与科学技术发展速度有关。迄今已知的所有元素，在科学技术发达的今天，只要不惜工本，都有可能从任何一块岩石中

提取出来，并加工成需要的产品，但这会得不偿失。因此，矿物富集和堆积体能成为矿产资源的另一条件是人类能经济地将其开采出来，并加工成为社会需要的矿产品。

表1-1 稀有金属的发现应用历史表

元 素 符 号	发现时间 (年)	发现所依 据的矿物	首次制得纯 金属的时间(年)	投入工业生产 的时间(年)
Li	1817	锂云母	1855	1945年以前
Be	1789	绿柱石	1828	1898
Sc	1879	硅铈钇矿 黑稀金矿	1937	1956年以后
Ga	1875	闪锌矿	1875	本世纪50年代
Ge	1886	"	1922	1942
Se	1817	黄铁矿	1847	1917
Rb	1861	矿泉水	1882年以前	1930
Zr	1789	锆英石	1824	1950
Nb	1801	铌铁矿	1928	1944
Ta	1802	钽铁矿	1903	1922
Cd	1817	异极矿		1950
In	1863	闪锌矿		本世纪30年代
Te	1798			1939
Cs	1860	矿泉水	1882	1930
TR	1794—1947			本世纪五六十年代
Hf	1923		1953	1953
Re	1925	辉钼矿	1929	1930
Tl	1861		1862	1934
U	1789	沥青铀矿	1841	1942
Th	1828	钍石矿		本世纪50年代
W	1781	钨华		上世纪末20世纪初
Mo	1778	辉钼矿	1781	19世纪末
Ti	1791	磁铁矿	1910	20世纪初
Ni	1751		1804	
Al	1825			

矿物富集和堆积是一种普遍性的地质现象，但它并不标志着富集的丰度含量。开发利用矿产资源是件花大钱、下大力气的基本建设，所以只有在矿物富集到一定程度，堆积到一定量时，才有利于开发利用。实践和经验告诉我们，具有一定丰度含量的矿物富集和堆积体，都有其特定的矿床工业类型。除此之外，它们只有地质意义而无工业价值。矿物富集和堆积体能成为矿产资源的第三个条件是在地质上属于目前已知及新发现的某种矿床工业类型。

综上所述，矿物富集和堆积体能成为矿产资源的必要条件可概括为：社会需要；能被经济地采出变成所需要的矿产品；从属于目前已知及新发现的矿床类型。

第一节 矿产资源与矿产储量的概念

顾名思义，矿产资源是一种物质概念，凡符合前述三个条件的矿物富集和堆积体，均可称为矿产资源。这个富集和堆积体有一系列属性，诸如几何要素（长度、宽度、厚度），质量（品位）数量（吨位）等。一些国家曾把矿产资源限制在仅探明的那一小部分，并定义为矿产储量。这种观念使矿产储量与矿产资源的概念混淆。现在持这种观念的国家也开始研究它们间的概念区别。例如，苏联在1981年新颁布的《固体矿产储量和预测资源的分类》规定：“固体矿产储量是根据工业开采矿床在勘探过程中所完成的地质勘探工作和山地工程、钻探工程的结果进行计算和核算的，”而固体矿产预测资源是“根据总的地质概念、科学理论……等研究成果预测的。”照这个新规定，苏联区分矿产储量与矿产资源概念的依据是可靠程度。在我国，有不少学者为了做好我国的资源的预测、保护等工作，也在研究符合国情需要、能区分矿产储量与矿产资源的概念定义。例如，武汉地质学院赵鹏大教授和北京矿冶研究总院彭觐等就做了许多理论研究。

欧美国家一直比较注意从概念上区分矿产资源与矿产储量。N·H·菲歇尔把储量看成就是矿量；澳大利亚矿冶研究所推荐的矿量定义是一种天然埋藏于地壳中的或地壳上的固体、液体或气体物质的聚积，从而体现出矿产资源在经济利用上的现时意义。在美国和加拿大，对储量有个明确概念，即矿产资源不管其探明的可靠程度如何，凡未经工业公司或有关权威咨询公司进行可行性研究，并结论为有利可图者，一概不称矿产储量，而叫做矿产资源。

总之，矿产储量是矿产资源中可靠程度高，现时就有利可图的那一部分，而矿产资源是对符合上述三条件的有用矿物的自然富集和堆积体的一个总称。

一、矿产资源的定量和预测

矿产资源总量是指存在于地壳里及其表面上的符合上述三个条件的有用矿物富集和堆积体的总吨位。这个吨位尽管是工业技术和经济的函数，但总存在一个倾向性的最大值。预测这个最大值，可以按目前的使用情况推算矿产资源枯竭年代，鞭策人类为延长矿产资源使用年限去积极地努力。例如，罗马俱乐部就曾对铜、铅、锌等常用的有色金属按1970年的使用情况做过预测，见表1-2。

表1-2 铜、铅、锌资源使用年限表

金 属	预测的可开采量 $R(10^3 \text{短吨})$	1970年用量 $P(10^3 \text{短吨})$	R/P	资源枯竭年(公元)
Cu	309000	6945	44.4	2015
Pb	103000	3754	27.4	1998
Zn	117000	5615	20.8	1991

罗马俱乐部的预测不是唯一的，1957年弗里登斯堡也有类似

的预测数据（表1-3）：

表1-3 岩石圈内金属资源的理论总量及枯竭年代表

金属名称	地壳中可利用的理论埋藏量（深度3000m）		预计开采量 (10亿吨)	1962年世界总产量 (1000吨)	按1962年世界总产量估计使用年限（年）	预计枯竭年代 (公元)
	平均品位（%）	理论埋藏量 (10亿吨)				
Al	8.13	100,812,000	2	5,040	397	2354
Fe	5.0	62,000,000	131	282,000	464	2421
Mn	0.1	1,240,000	0.5	6,670	75	2032
Cr	0.02	248,000	0.7	1,310	535	2492
Zn	0.0132	164,000	0.25	3,515	71	2028
Ni	0.008	99,000	0.05	362	138	2095
Cu	0.007	87,000	0.25	4,600	54	2011
Sn	0.004	50,000	0.007	193	36	1993
Pb	0.0016	19,800	0.15	2,510	60	2017
Au	0.0000001	1.24	0.00003	1.55	20	1977
Ti	0.44	5,456,000	0.15	1,000	150	2107
Zr	0.022	273,000	0.02	105	190	2147
W	0.005	62,000	0.001	33	30	1987
Nb	0.0024	29,800	0.0125	2.2	5700	
Co	0.0023	28,500	0.003	18	165	2122
Be	0.0006	7,400		0.3		
Mo	0.0003	3,700	0.004	34.1	115	2072
U	0.0004	5,000	0.001	40	25	1982

表1-2和表1-3预测的矿产资源枯竭年限不是绝对的。例如金，现时已超过1977年的枯竭年限，铀很快就要枯竭。这显然是因预测理论和方法不完善而产生的错误，应给预修正。

矿产资源总量仅仅回答了矿产资源的蕴藏量问题，并未回答该量的经济性和可靠性，以及对现时工业需要的供给程度和保证程度。所以在预测矿产资源总量的同时还要估算它探明部分的矿产储量。资源总量和矿产储量在量的关系上欧美早有研究，1965

年布兰德(Blondell)和拉斯克(Lasky)提出以下等式:

资源=储量+边界资源+次边界资源

我国的赵鹏大教授把资源总量与储量在量的关系上表示为:

资源总量=能利用的储量(包括已开采的储量)+暂不能利用储量+尚未发现的资源量

综合看出,矿产资源的定量评价问题包括矿产资源总量预测和矿产储量计算两个方面。

二、矿产储量需求量的预测

苏联科学院研究了欧美发达国家和第三世界国家几个历史时期(1958—1959, 1968—1971, 1975—1977)的各矿种年保有储量、年产量、年需求量之间的数理统计关系,发现相互间有如下线性关系(图1-1, 1-2)。

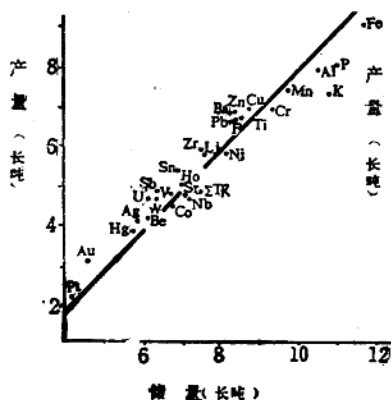


图1-1 储量(长吨)

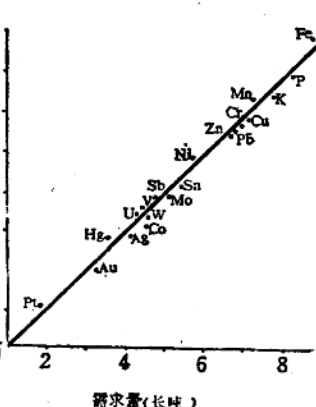


图1-2 需求量(长吨)

各矿种保有总储量和年产量之间的比值K相当接近,且总的趋势是下降:1959年约为 1.73×10^2 ; 1971年为 1.65×10^2 ; 1977年为 1.39×10^2 。苏联科学院根据稀有元素矿产、有色和贵金属矿产、黑色金属矿产以及所有矿种探明的保有总储量与年产量间的

表1-4 苏联科学院对2000年需要探明和保有储量预测表

金属符号	计 算 单 位	需 求 量		产 量		资 源 量		2000年时所需储量与1975—1977年储量之比
		最小	最大	最小	最大	最小	最大	
V	千吨	49.0	70.0	53.9	77.0	4851	6930	0.3—0.4
Cu	百万吨	19.6	38.8	21.6	42.7	1944	3843	4.1—8.2
As	千吨	71.6	105.3	78.8	115.8	7092	10422	—
Sn	千吨	263.1	495.8	289.4	545.4	26046	49086	3.9—7.3
Hg	千吨	497	673	547	740	49230	66600	—
Pb	百万吨	5.1	7.3	5.6	8.0	504	720	3.6—5.1
Ag	千吨	16.9	36.1	18.6	39.7	1674	3573	3.4—7.3
Sb	千吨	94.4	129.8	103.7	142.8	9333	12852	5.5—7.6
Zn	百万吨	9.9	13.8	10.9	15.2	981	1368	4.6—6.2
Au	千吨	1.9	3.1	2.1	3.4	189	306	7.0—11.3
Be	千吨	1.5	2.8	1.7	3.1	153	279	0.3—0.6
Ga	吨	0.7	3.4	0.8	3.7	72	333	0.003—0.013
Hf	吨	72.6	154.2	79.9	169.9	7191	15264	—
Ge	吨	69.4	129.3	76.3	142.2	6867	12798	4.9—8.3
In	吨	73.1	130.0	80.4	143.0	7236	12870	0.3—0.5
Y	吨	94.4	235.0	103.8	258.8	9342	23265	—
Cd	千吨	23.2	44.0	25.5	49.4	2295	4446	2.1—4.0
Pr	吨	241.4	387.9	265.5	426.7	23895	38403	1.8—3.0
ΣTR	千吨	26.0	51.2	28.6	56.3	2574	5067	0.2—0.4
Rb	吨	4.7	11.0	5.2	12.1	468	1089	0.001—0.002
Se	千吨	1.4	2.7	1.5	3.0	135	270	0.65—1.3
Sc	公斤	18.7	27.3	20.6	30.0	1854	2700	—
Tl	吨	14.9	21.1	16.4	23.2	1476	2088	0.2—0.26
Te	吨	249.5	483.1	274.5	531.4	24705	47826	0.35—0.7
Cs	吨	9.0	30.9	9.9	34.0	891	3060	0.006—0.02
Zr	千吨	25.4	65.8	27.9	72.4	2511	6516	0.1—0.3
Li	千吨	13.4	19.1	14.7	21.0	1323	1890	0.1—0.15
Sr	千吨	21.5	35.0	23.7	38.5	2133	3465	0.3—0.4
Nb	千吨	13.2	27.4	14.5	30.1	1305	2709	0.13—0.26
Ta	千吨	2.9	4.6	3.2	5.1	288	459	2.4—3.8
Re	吨	2.8	4.9	3.1	5.4	279	486	0.06—0.1
Bi	千吨	4.4	6.9	4.8	7.6	432	684	5.1—8.1

平均相关系数K值,预测到2000年时的相关系数(图1-3)将递减到 $(0.9-1.0) \times 10^2$ 。再根据年产量与需求量之间的相关系数1.1,由需求量预测开采量,而后预测需要探明的保有储量(表1-4)。

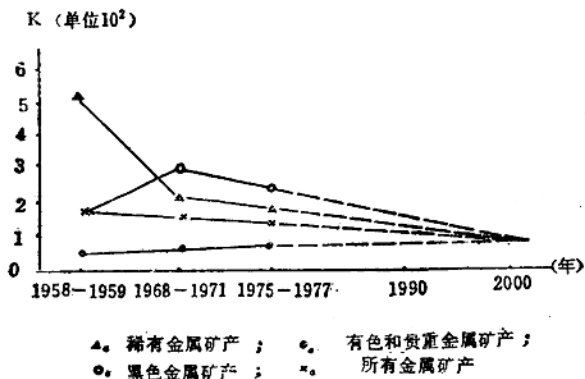


图1-3 2000年保有储量和产量的相关系数预测图

第二节 矿产储量分类和分级

分类分级是对矿产储量实行的两种不同用途的划分。矿产储量分类是经济可行性划分;矿产储量分级是可靠程度划分。矿产储量分级较分类要早,已有一个世纪的历史。其起源并非在苏联,而是在英国。早在十九世纪末,英国一位采矿工程师就提出把矿产储量中能用肉眼直观可见部分称直观储量,从此开始了矿产储量分类与分级的研究。

一、欧美的矿产储量分类分级

1. 英国矿产储量分类分级

1902年英国伦敦采矿、冶金协会建议把直观储量(可见矿石量)划分为控制储量,即以较密工程至少从三面控制的储量和未

控制但资料证实存在的储量。1903年P·阿格尔正式提出三级划分方案，即已揭露的储量、揭露中的储量和期望储量。其中已揭露的储量又分为单面揭露、双面揭露和三面揭露。伦敦采矿、冶金协会和P·阿格尔的分类引起当时一些学者的注意，并且成为众所关心瞩目的研究课题。经过充分讨论，伦敦采矿、冶金协会把矿产储量分级审定为：可见储量（可见矿石量）、或然储量（概略矿石量）、可能储量（可能矿石量）。1909年，G·古维尔认为储量级别除工程揭露外，还与成矿地质条件有关，据此提出了新的分级方案：证实储量（即矿体不发生断失、尖灭和失去工业价值的储量）、或然储量（即开采有一定风险，但工程控制部分不致发生断失的储量）、可能储量（即不能用数字表达的储量）G·古维尔的分级成为四十年代许多国家对矿产储量实行分级的基础。

2. 美国矿产储量分类分级

美国研究矿产储量分类分级较英国晚半个世纪，四十年代才开始。美国矿业局地质调查所提出和审定的分级是：确定储量，即数量是根据实地观察和坑钻揭露资料计算的，质量是根据较密采样化验成果确定的，储量与实际相比，误差不超过20%；推定储量，即由揭露部分根据地质条件外推的储量；推测储量，即数量是根据地质研究程度推测的，矿体连结是根据地质研究和类比的方法确定的。这种分级至今仍是南北美洲、非洲和澳大利亚的分级基础。关于欧美矿产分类发展情况和各级储量被工程控制的情况见表1-5，各级储量的构成及相互关系见图1-4。

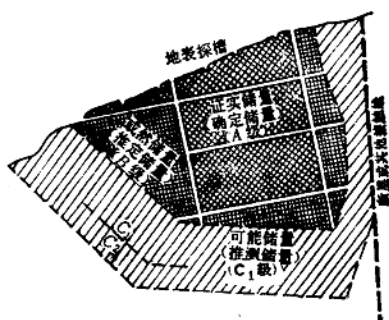


图1-4 脉状矿床的垂直纵投影图

表1-5 欧美矿产资源分类发展情况简表

分类方案	经济 则分	原 类	地质可靠程度分级			
伦敦采矿、 冶金协会 (1902)		可见矿石量 (Visible Ore)	概略矿石量 (Probable Ore)	可能矿石量 (Possible Ore)		
美国胡佛 建议 (1909)		证实矿石量 (Proved Ore)	概略矿石量 (Probabl e Ore)	可能矿石量 (Possible Ore)		
十一次国际 地质会议 (1910)		A	B	C		
十二次国际 地质会议 (1913)	赋存深度 分类： 1. 目前开采 深度； 2. 将来可能 开采。	确实矿石量 (Positive Ore)	概略矿石量 (Probable Ore)	可能矿石量 (Possible Ore)		
美国矿业 局及地调所 (1944)		确定储量	推定储量	推测储量		
日本煤储 量计算标准 —工业标准 M1002号 (1953)	赋存深度 分类： 1. 现开采深 度内； 2. 将来开采 深度。	证实矿石储量 (Proved Or e reserves)	概略矿石 储量 (Probable Ore reser- ves)	可能矿石储量 (Possible Ore reserv- es)		
西德埃森 煤矿协会矿 山测量标准 理事会 (1956)	技术经济 条件分类： 1. 有用的； 2. 不合要求 的； 3. 厚度太小 的； 4. 埋深太大 的。	O 已开采的	A 可靠的	B 或然的	C 可能的	D 未知的
法国布朗 戴尔和拉斯 基建议 (1956)		资源 = 储量 + 边际资源 + 边际下资源 + 潜在资源				