

层控矿床和层状矿床

第二卷

K·H·乌尔夫 主编

地质出版社

层控矿床和层状矿床

K.H.WOLF 主编

第二卷

地球化学研究

地质出版社

HANDBOOK OF STRATA-BOUND AND

STRATIFORM ORE DEPOSITS

Edited by K.H.WOLF

ELSEVIER SCIENTIFIC PUBLISHING COMPANY

1976

Volume 2

GEOCHEMICAL STUDIES

层控矿床和层状矿床

第二卷

乌尔夫 主编

*

地质部书刊编辑室编辑

地质出版社出版

(北京西四)

地质印刷厂印刷

(北京安德路47号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 19.375 字数: 480,000

1980年2月北京第一版·1980年2月北京第一次印刷

印数1—5,890册·定价2.50元

统一书号: 15038·新443

层控矿床和层状矿床

1—7 卷

第一部分 原理及通论

第一卷 矿床分类及研究历史

第二卷 地球化学研究

第三卷 表生作用及表成矿床；结构和组构

第四卷 大地构造及变质作用

第二部分 区域研究及特定矿床

第五卷 区域研究

第六卷 铜、铅、锌及银矿床

第七卷 金、铀、铁、锰、汞、锑、钨及磷矿床

层控矿床和层状矿床

第二卷 地球化学研究

目 录

第一章 沉积岩中金属矿床的副元素——对最近文献的评论 W. Mercer

前 言	1
矿床的分类	1
副元素数据的汇集	2
碳酸盐类岩石中层控的方铅矿—闪锌矿	3
层状块状硫化物矿床	4
泥质岩石中的金属矿床	7
砂质岩石中的层控Cu-U-V矿床	9
副元素的重要意义	10
矿石成因的讨论	11
碳酸盐岩中的层控铅—锌矿床	11
层状块状硫化物矿床	12
泥质岩石中的金属矿床	13
砂质岩石中的层控Cu-U-V矿床	14
现代含金属沉积物	14
结 论	15
参考文献目录	16

第二章 沉积系统中的扩散原理 E. X. Duursma和C. Hoede

前 言	22
扩散作用的理论	22
沉积物和固体系统中的扩散相	28
自由路线	28
界面作用、粘度和Z电位	29
温 度	29
压 力	29
压实作用	30

扩散作用和副作用	31
固体介质中的扩散作用	34
与扩散有关的野外观察	35
结 论	37
参考文献目录	38

第三章 沉积岩中矿床的水文地球化学 B.Hitchon

前 言	41
水动力学	42
水化学	45
应 用	47
参考文献目录	48

第四章 关于沉积岩和火山岩中矿石成因的气液包裹体证据 E.Roedder

前 言	52
文献资料来源	56
气液包裹体数据所根据的假设	56
包裹体的分类	59
实验技术	60
样品的选择	60
切面和抛光	61
包裹体的选择和显微镜研究中的一些问题	62
热台及其操作	65
冷 台	67
可获得的几种数据类型——密西西比河谷型矿床	67
密 度	67
运动速度	68
压 力	69
温 度	70
总含盐度	74
pH	74
不可凝气体和有机物质	74
同位素比率	75
溶液中不挥发的离子（即“各种盐类”）	76
密西西比河谷型矿床的气液包裹体资料与岩浆热液矿床的气液包裹体资料的比较	77
非密西西比河谷型矿床的资料	78
对未来工作的建议	78
参考文献目录	81

第五章 有机物质在矿床成因中的重要意义 I.D.Saxby

前 言	89
金属的富集	90
金属有机化合物	90
物理吸附作用	92
化学沉淀	92
硫化物的产生	93
沉积矿床的形成阶段	94
实验室研究	96
人工成岩作用	96
矿石中有机物质的分离	98
结 论	101
参考文献目录	101

第六章 与矿床成因有关的微生物作用 P.A.Trudinger

前 言	109
成矿元素的聚集	109
物理-化学环境的改变	110
有机质的产生	111
代谢作用的转换	111
硫化物矿化	111
硫酸盐还原细菌的矿物合成	115
黄铁矿微莓球状体	118
同位素证据	119
硫矿床	126
磷块岩矿床	128
锰的生物沉淀作用	131
铁的微生物沉淀作用	135
结 语	138
校 注	138
硫化物	138
铁	139
参考文献目录	139

第七章 沉积岩中矿床的氧和碳同位素 P.Fritz

前 言	159
δC^{18} 和 δO^{18} 的环境丰度	160
热液系统中的 O^{18} 和 C^{18}	162
理论问题	162

活动地热系统中的 O^{18}	165
脉石矿物和矿化流体中的 O^{18}	166
碳酸盐脉石矿物中的 C^{13}	170
O^{18} 和 C^{13} 作为找矿标志	173
总结和结论	174
参考文献目录	176

第八章 层控矿床中的硫和铅同位素 D.F.Sangster

前 言	180
硫同位素	180
总 论	180
层控矿床的硫同位素	183
铅同位素	195
一般理论	195
异常铅 (两阶段)	196
层控硫化物矿床中的铅同位素	196
参考文献目录	211

第九章 层控矿床中铀、钍和铅的同位素研究 V.Koppel 和 R.Saager

前 言	218
年龄测定: 放射性衰变	218
U-Pb法和Th-Pb法	218
普通铅	222
整合矿床的铅增长曲线	224
(异常) 铅不一致线, 多阶段铅	231
实例剖析	233
密西西比河谷型铅-锌矿床	233
碳酸岩中的其它铅-锌矿床	236
Broken Hill矿脉	237
Witwatersrand矿床	242
Transvaal东部的太古代绿岩带	247
概要和结论	249
参考文献目录	250

第十章 铅、锌、铜和铁硫化物的沉积地球化学和矿物学及其在沉积矿床中的产出情况 D.J.Vaughan

前 言	261
Pb、Zn、Cu、Fe的化学和地球化学	261
铅	262
锌	262

铜.....	262
铁.....	263
晶体场理论和Fe、Cu的地球化学	263
Pb、Zn、Cu、Fe在地球中的分布	264
沉积组合中的Pb、Zn、Cu和Fe的硫化物矿物.....	264
主要矿物的结构和成分.....	265
矿物的形态和构造.....	270
作为形成条件指征的矿物成分.....	271
水系中的Pb、Zn、Cu、Fe的硫化物	274
Eh-pH图和分压图	274
与Pb、Zn、Cu、Fe硫化物有关的搬运、沉积现象	283
溶解度和络合物的形成.....	284
沉积反应、沉积系统及表面现象.....	286
含有Pb、Zn、Cu和Fe硫化物的沉积环境的例子	288
现代环境.....	288
铁和铜的硫化物在沉积环境中的富集.....	291
铅-锌硫化矿床	292
结束语	293
参考文献目录	294

第一章

沉积岩中金属矿床的副元素[●]—— 对最近文献的评论

W. Mercer

前 言

关于沉积岩中金属矿床的成因，经常引起争论。正因为如此，与沉积岩中矿床成因有关的任何新的探讨都具有重要意义。大多数层控矿床都有后生与同生两种理论。另外，关于正常的沉积过程和象火山喷气这样的不寻常的过程的相对重要性问题也曾引起长期的争论。过去曾有很多地质学者研究了大多数类型的金属矿床中的痕量元素或副元素，取得了不同程度的成就。本文评述了一些较新的、有关沉积岩中某些类型矿床的地球化学的文章，并且把地球化学数据和目前盛行的矿床成因理论联系在一起。

矿床的分类

本文仅探讨那些在沉积岩中看到的，某些类型的金属硫化物矿床。至于前寒武纪含铁建造和铀—金矿产、近代砂矿以及那些疑为沉积成因的金属富集物的许多次要的实例，如欧洲阿尔卑斯山的那些白钨矿条带则都不在讨论之列。

为了说明副元素的数据，可以将沉积岩中的主要矿床，除热液矿脉外，分为四大类，它们是：

(1) 碳酸盐类岩石中的层控的方铅矿—闪锌矿。这种矿床常呈不连续的块状硫化物，往往局限于一个地层层位中，但并不与地层整合（美国密西西比河谷型矿床，加拿大Pine Point矿床）。

(2) 层状块状Fe—Cu，Fe—Cu—Zn，或Fe—Cu—Zn—Pb硫化物矿床。它们与(1)的区别在于它们明显地呈扁豆状，在主岩中，除非有强烈变形并不呈横穿脉产出。它们在化学上的特点是含铁量极高（日本的Besshi型及黑矿型；塞浦路斯型）。

(3) 含金属的泥质岩石，它们会沿层逐渐转化为正常沉积岩。一层通常富含有机质的页岩可以含数量很多的金属，局部达到工业开采品位（德国的含铜页岩；美国White Pine矿床；赞比亚铜带）。

● 副元素 (minor element) 相对于主元素 (主要元素, Major element) 而言——译者。

(4) 砂粗碎屑岩中的U, V及Cu这些粗砂粗碎屑岩可以从富含U-V(美国科罗拉多高原)改变为富含Cu-U(赞比亚铜带)。不过, 在很多这类矿床中, 主元素的相似性并不意味着有相同的成因。

副元素数据的汇集

以下讨论的是两种类型的研究工作, 即: 关于矿石中副元素的研究和矿物中副元素的研究。这里并不想给“副元素”这个术语下一个精确的定义; 因为当把这个术语用于全矿石时, 矿山地质学家与地球化学家可以各有各的完全不同的解释。不能将副元素定义为在某种浓度以下的元素, 因为金属可采品位会随着许多因素而有很大的变化, 其中有很多并非地质因素。但在这里可以简单地把副元素理解为并不构成一个矿床中具有开采价值的主要金属的那些元素。

副元素可以做为某种特定矿物的星散的颗粒而存在, 也可能做为其它矿物中的痕量组分而产出。例如在密西西比河谷型矿床中, Cd有的呈硫镉矿产出, 有的呈溶液状态而存在于闪锌矿中。

主要造岩元素经常不被作为副元素看待。例如在副元素分析中往往不考虑Na, 尽管它的含量可能很低。在一个黑矿矿床中, Ag和Au可以被认为是副元素, 尽管它们为矿床创造了价值。另一方面, 没有工业价值的Fe和Si与有工业价值的Cu, Zn及Pb都被认为是主元素。

大多数矿床都具有元素组分分带。一种元素在矿体某部位是“主”元素而在另一部位就可能变成“副”元素。因此, 在这种情况下对采样技术及其意义做了严格的规定。

在地球化学领域内, 对很多作者的文章进行对比存在着一些固有的困难。首先, 由于所用方法及所分析的物质不同, 副元素的分析结果会有很大的差异。一个作者可以用电子探针分析一些相互接触、呈带状分布的矿物颗粒, 而另一个作者则可能讨论一座矿山中的全矿石的组分。

其次是对某一种特定矿石应该分析哪些元素并没有一致的意见。其结果是一项研究工作中可能列出了黄铁矿中的As, Ag, Co及Se的含量, 而在另一项工作中却分析了这种矿物中的Co, Ni, V, Ti。但是某些元素, 如黄铁矿中的Co及Ni, 闪锌矿中的Cd, Mn及Fe, 方铅矿中的Ag与Bi则是经常都要分析的元素。

除了上述的困难以外, 在研究矿物中的痕量元素时还会遇到一些其它的障碍。任何用矿物分离所使用的分析方法都有可能遇到矿物分离物中含有痕量杂质的情况。在分析浓度极低的元素时, 上述情况就会引起严重的误差, 当然, 尽管还无法规定一个确切的准确度标准。必须记住在本文中讨论的大多数矿物分析都可能存在这种误差。

电子微探针似乎有可能避免上述误差。但是这种工具受它本身准确度的限制——对大多数元素说来, 它的检出限为50—1000ppm (Beaman和Isasi, 1972), 在大多数情况下要想研究元素在各种硫化物之间的分配都必须有比电子微探针更高的灵敏度才能获得有意义的结果 (D. Smith, 私人通讯, 1974)。

其它关于硫化矿物中副元素有意义的评述有Hegemann(1943)与Fleischer (1955)等人的著作。另外, Cambel和Jarkovsky(1967)曾经发表过一篇内容广泛的、有关捷克斯

洛伐克大多数类型黄铁矿中副元素的评论。

碳酸盐类岩石中层控的方铅矿—闪锌矿^①

Brown(1967)主编的专著曾经评论过这种类型矿床。在这类矿床中,主元素组分为Pb,Zn,Ba及F。并从富含Pb到富含Zn,同时含有少量黄铁矿及更少量的黄铜矿。

Hall与Heyl(1968)以及 Mcknight与 Fischer(1970)曾经分析过密西西比河谷型矿床中的副元素(表I)。与其它类型铅—锌矿相比,这些矿石通常贫于贵金属;Ag含量通常低于20ppm,而Au从未被检出过。据报导,Cd及Ge的含量较高。

在细节上,Hall与Heyl(1968)发现伊利诺斯—肯塔基地区的矿床与密西西比上游河谷的矿床具有显著的差异。伊利诺斯—肯塔基地区矿床主要组分是F,Zn及Ba,副元素含量高。而密西西比上游河谷矿床则是Pb及Zn的主要来源,矿石中副元素含量低。此外,伊利诺斯—肯塔基地区矿床中副元素显示明显分带。

这些矿床中的闪锌矿的特点是Fe的含量较低,但富含其它元素如Cd,Cu,Ge及Ga(Mcknight和Fischer,1970)。值得注意的是,这些矿床和层状块状硫化物矿床不同,它们的方铅矿通常贫于Ag,而闪锌矿则富含Ag。

Hall及Heyl(1968)提供了各种世代的黄铁矿分析数据,其中Co含量在10,000与20ppm之间,Ni含量在10,000与300ppm之间。几乎可以肯定,这样的高含量是由于Co与Ni矿物和黄铁矿交生造成的。Co/Ni比值从1.5到0.1。

表I 碳酸盐类岩石中的层控铅—锌矿床

(矿物分析数据以ppm表示)

参考文献	地区	矿物	样品数	Cd	Ag	Ge	Co	Ni	Fe	Mn	其它
1	上密西西比河谷	黄铁矿	5		3—70		20—10,000	300—10,000			Cu = 10—15,000 As = 0—13,000
		闪锌矿	6	14,000	14	102	15	42		49	
		方铅矿	22		18						
1	伊利诺斯—肯塔基	闪锌矿	5	6,900	5	290	11	4	20,900	8	
2	俄克拉何马—堪萨斯	闪锌矿		7,300	1	470	6				
3	西加拿大	闪锌矿	20	1,800					23,000	350	Se = 160
		方铅矿	12								Se = 1085
4		闪锌矿	10	1,400	25	110			3,500	123	Sb = 517

注:空白表示无分析数据。

参考文献: 1 = Hall和Heyl(1968); 2 = Mcknight和Fischer(1970);
3 = Evans等人(1968); 4 = Fruth和Maucher(1966)。

阿尔卑斯Zn—Pb矿床中的闪锌矿(Landinian高原矿脉)也显示出Cd、Ga及Ge含量高,Fe含量低(Fruth和Maucher,1966)。

加拿大西部碳酸盐类岩石中有许多小的Pb—Zn富集产地。这里的闪锌矿与密西西比河谷矿石相比,Cd的含量较低,而Fe的含量较高(Evans等人,1968)。在方铅矿中Se含

① 详见本书专论这些矿床的各章。

量高达1000ppm，这在讨论Se/S比值和矿床成因时是相当重要的。

层状块状硫化物矿床●

这些矿床与其它同沉积岩同生的类型不同之处在于它们几乎完全由硫化物矿物组成。它们通常为扁豆状，其长轴方向与主岩层面一致。它们的一般特征曾被许多作者评述过 (Anderson, 1969; Sangster, 1972; Stanton, 1972; 见本丛书第六卷, Sangster 和 Scott 合写的第五章)。

在地球化学方面，层状块状硫化物矿床中具有许多主元素组合 (Stanton, 1972); Fe, Fe-Cu, Fe-Cu-Zn, Fe-Cu-Zn-Pb。Fe-Cu矿床具有与铁镁质火山岩相连系的趋势 (Besshi类型与塞浦路斯类型) 而Fe-Cu-Zn-Pb矿床则有与硅铅质火山岩相连系的趋势 (黑矿型)。

澳大利亚的Mount Isa矿床与加拿大的Sullivan矿床都很少有火山岩，或者没有火山岩，这些矿床可做为火山活动不重要的例子。

Fe-Cu-Zn-Pb矿床中经常呈现横切层位的分带现象。在未变形的矿体可以看到Cu富集于底层，Zn及Pb富集于顶层。在那些缺少岩层上翘 (Way-up) 证据的变形地区，这种分带往往可以作为矿床四周岩层上翘的证据。

块状硫化物全矿石中的副元素 日本Besshi矿床 (Doi, 1962; Yamaoka, 1962) 塞浦路斯矿床 (Constantinou和Govett, 1973; Govett和Pantazis, 1971) 和土耳其的Ergani矿床 (Griffiths等人, 1972) 中含铜块状硫化物全矿石样品中的副元素的研究结果都已发表。所得结果综合列于表 I。

根据Birgi (Griffiths等人, 1972引文) 的资料，土耳其矿床中的Co及Ni的含量比其它同类型矿床高，但至今还无法从这些矿石中回收Co。Co/Ni比值约为7.4。

表 I 层状块状含铜硫化物矿床

(全矿石中副元素分析，以ppm表示，注有*者以%表示①)

参考文献	矿床	矿石类型	分析数	As	Co	Cu*	Ag	Au	Fe*	S*	Ni	Na*	Se
1	塞浦路斯	块状	45		94	2.7				41	45	0.7	
		网状脉	70		69	0.3				18	37	0.07	
2	土耳其Ergani			1200	5200	10	22	1.4	39	48	700		
3	日本Besshi		5	90	6300	10	30	0.6	38	37	42	0.92	45

①空白表示无分析数据。

参考文献: 1 = Constantinou和Govett (1973); 2 = Griffith等人 (1972); 3 = Doi (1962)。

在含铜矿床中，Pb的含量一般都很低，但Zn有时则很重要。在加拿大前寒武纪地层中有许多块状黄铁矿体，其中Cu与Zn含量可达工业品位，而Pb则含量甚低。通常有分析数据的副元素为Cd, Ag与Au及含量更少一些的Se, Te, Bi, Sn (Sangster, 1972; Pollock等人, 1972)。

含Pb量高的层状矿床中所含副元素种类很多 (表 II)。已经发表的分析资料有日本

- 为了更详细地了解这方面的内容，可参看本书卷六，Lambert 写的第十二章，Sangster 和 Scott 写的第五章，Vokes写的第四章。

表 I 层状块状硫化物矿床 (Fe-Cu-Zn-Pb 型)

(全矿石中的微量元素分析, 以 ppm 表示, 注 * 者以 % 表示①)

参考文献	矿床	矿石类型	分析数	Sb	As	Ba*	Bi	Cd	Cu*	Au	Fe*	Pb*	Mn	Mo	Co	Ni	Ag	S*	V	Zn*
1	日本 Kosaka	黑矿	7	300	1100	23	20	1300	2.3	3	5.6	17		200	痕量	10	300	24	80	24
		半黑矿	5	60	280	36	170	200	4.5	0.9	19.9	0.6		400	10	20	92	27	20	7.0
		黄矿	18	230	280	0.4	180	80	7.4	0.8	38.9	0.2		1200	30	40	36	45	痕量	2.0
		黄铁矿	3	320	320	痕量	80	痕量	0.4	0.6	42.4	0.1					15	48		0.2
		硅质矿	7	80	170	0.2	140	痕量	1.9	0.3	17.9	0.1		300	40	15	11	20	痕量	0.2
2	日本 Kano	黑矿	9	325	555		25		3.0		12.6	5.7		78			169			22
		黄铁矿			250				7.4		32.7			5			7			1.9
3.4	澳大利亚	黄矿	4	500	1300	1.9			15.5		31.6	0.06					32	39		1.3
				0-1600	2300			0-600	0-0.45		0-22	0-11			0-1400-1100-140		0-29			0-23
5	澳大利亚	页岩	10			0.04		12	0.03		4.3	0.2	2600		19	19	10		33	0.04
	Mount Isa	白云岩	3			0.004		5	0.4		4.7	0.01	1500		70	20	10		19	0.004
6	德国 Meggen		3	157	444	0.05			0.003		33.4	0.70	1340		31	183		41		6.1

①空白表示无分析数据。

参考文献, 1 = Lambert 和 Sato (1974); 2 = Takahashi (1966); 3 = Croxford 和 Jephcott (1972);

4 = Lambert 和 Scott (1973); 5 = Smith 和 Walker (1971); 6 = Gasser (1974)。

黑矿型矿床 (Takahashi, 1966; Tatsumi和Oshima, 1966; Shiikawa, 1970; Matsukuma 和 Horikoshi, 1970; Lambert和Sato, 1974) 澳大利亚 McArthur River矿床 (Croxford和Jepycott, 1972, Lambert和Scott, 1973) 以及澳大利亚Mount Isa矿床 (Smith和Walker, 1971)。

大多数层状块状硫化物矿床中主要金属所呈现的明显分带现象在许多副元素中也可以明显地看到。在黑矿矿床中, 根据金属分带可以划分出五种类型的矿石 (Matsukuma和Horikoshi, 1970)。可以很明显地看到, 在垂直于层位的方向上, 当Cu从下向上递减而Zn及Pb递增时, As, Sb, V, Ag及Au的含量增高而Ni与Co的含量降低 (Tatsumi和Oshima, 1966; Lambert和sato, 1974)。另一些元素, 包括Mo, W, Tl, Hg及Bi则在不同矿床中具有互相矛盾或不明显的变化趋势。

已有资料表明, 在新不伦瑞克的Bathurst层状硫化物矿床中, Au与Ag常和Pb—Zn矿石相关联 (Mercer和Crocket, 1972), 而Pd在这类矿石中则并没有富集。

在澳大利亚Mount Isa与McArthur河矿床中, 副元素浓度沿岩性不均匀的矿层层序呈现复杂的模式。在Mount Isa, 与硫化物共生的金属主要是Fe, Cu, Pb及Zn和富集程度较小的Cd, Co及Mo, 而Ni, Ti及V则是在四周沉积岩中含量较高。McArthur河矿床中主要是Fe, Zn及Pb, 另外还有一些Cu, 在矿层中有As, Sb, Co, Cd, Hg, Ni, Ag, Tl及Ge富集。在这两个矿床中, Cd与Zn及Ag与Pb具有着紧密的相关性。另外, Croxford与Jephcott (1972) 还指出了Sb—Ag, Tl—Fe, 及Ag—Cu的相关性。在这里应该指出, 在这些矿石中, 即使检出有Se, 其含量也是非常低的。

矿物中的副元素 现将层状块状硫化物矿石矿物研究中的分析数据加以精简列于表N。最常用的办法是比较黄铁矿中的Co/Ni比值。在所有含Cu黄铁矿床中此比值都大于1 (Itoh和Kanehira, 1967; Itoh, 1971a, b)。

Loftus—Hills与Solomon (1967) 所引用的、关于塔斯马尼亚矿床的数据表明, 与Cu矿化有关的黄铁矿其Co/Ni比值大于1, 而与其相伴生的、Fe—Cu—Zn—Pb矿床中富含Pb—Zn矿石的Co/Ni比值则小于1。关于这是否是一般规律, 因为文献中的数据很少, 还不能证实或否定。Lambert及Sato (1974) 就曾指出, 日本Kosaka矿床的矿石 (黑矿类型) 从底部到顶部Co/Ni比值自2.7变到0.1。

As, Co, Cu, Ni, Zn在这些黄铁矿中一般都超过100ppm。在加拿大前寒武纪矿床的黄铁矿中Sn含量显著地高。Se的数据很少。它似乎可以从新不伦瑞克矿石中的3ppm (Sutherland, 1967) 变化到安大略Horne矿床中的1000ppm (Hawley和Nicol, 1961)。Hawley及Nicol得出结论, 认为Se的浓度变化无规律, 矿石中的Se含量与Pb或Zn是否存在不相关。文献所载的黄铁矿中的Se含量只是反映了整个矿石中的Se含量。Stanton (1972, P171) 摘录了少量Se的数据, 他认为在矿物之间Se与S有某种分集的可能性, 但数据的变化很大。

从对同一矿体中黄铁矿所作的大量分析的结果 (Hawley和Nicol, 1961; Farkas, 1973) 可以明显地看到, Co, Ni及Se含量变动范围很大, 这肯定是反映着矿床中的黄铁矿具有不同的成因。

层状硫化物矿床中副元素在各种硫化物之间的分布可以呈现两种不同的方式。第一种是, 有些元素在矿物之间并无一定的分配关系, 它们的富化或贫化取决于它们在成矿溶液

表Ⅳ 层状块状硫化物矿床 (硫化矿物中副元素分析, 用ppm表示①)

参 考 文 献	矿 床	矿 物	分 析 目 标	As	Cd	Co	Cu	Ni	Ag	Au	Sn	其 它
1	加拿大各种前寒武纪矿床	黄铁矿	4	137		600		93	33	6.1	197	
1		磁黄铁矿	4	58		540		75	39	1.4	263	
2		黄铁矿	39			900		34	40		690	
2		磁黄铁矿	50			600		14	38		400	
2		黄铜矿	44			190		29	220		270	
3		黄铁矿	30			940	430	140	210		180	
3		黄铜矿	13			400		150				
3		闪锌矿	26		2050	828		61	135		73	Mn = 145
3		方铅矿	15		71							Mn = 62
4		黄铁矿	4	ND	2	39	188	ND	44		ND	Mn = 43
4	日本Besshi型	黄铜矿	4	177	23	20		ND	19		ND	Mn = 108
4		闪锌矿	5	43	2800	36	810	1	1		23	Mn = 213
5		黄铁矿	19			196		9.8				Se = 195
6		黄铁矿	77		13	1440	39,000	69	140			Mn = 84 Zn = 200
7+8	各种塞浦路斯型	黄铁矿 (块状矿石)	11	1590		416	220	3	4			
7+8	塞浦路斯	黄铁矿 (网脉矿石)				450	200	160	1			
9	加拿大纽芬兰约克港	黄铁矿 (块状矿石)	8			183		289				
9		黄铁矿 (浸染状矿石)	7			282		142				
10	加拿大, 新不伦瑞克Bathurst	黄铁矿	7	2200	50	700	4500	40	33		22	Se = 3
11		方铅矿	8	3400			4100		850		600	Se = 370
12		锌精矿 (闪锌矿)			1000							

①ND表示未检出, 空白表示未经分析。

参考文献: 1 = Roscoe (1965); 2 = Hawley和Nicol (1961); 3 = Farkas (1973); 4 = Yamaoka (1962); 5 = Yamamoto等人 (1968); 6 = Itoh (1971a); 7 = Hutchinson和Searle (1971); 8 = Johnson (1972); 9 = Duke和Hutchinson (1974); 10 = Sutherland (1967); 11 = Boorman (1968); 12 = The Canadian Mineral Industry in 1971 (Dept. Energy, Mines and Resources, Ottawa, Canada), Mineral Bull. MR122 (1972), 114PP.

中的一般含量, 例如Se。第二种是有些元素在某些特定的矿物中含量总是高 (如果这种矿物存在), 例如方铅矿中的Ag, 闪锌矿中的Cd及黄铁矿中的As。

许多作者都曾集中力量研究上述元素在相应矿物相中的含量水平。象Both (1973) 对Broken Hill闪锌矿与方铅矿的研究论文以及Farkas对加拿大安大略Kidd Greek矿床的研究论文就可以做为这方面的例子, 尽管这两个研究者的目的是完全不同的。

泥质岩石中的金属矿床

过渡金属在页岩中通常比在砂岩与灰岩中更为富集。但也有例外, 如Sr与Mn在灰岩中含量较高, Zr和稀土元素在砂岩中含量较高。除去过渡金属元素 (Sc, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn等) 以外, 硫化物矿床所特有的其它许多元素 (As, Sb, Se, 和S) 在页岩中的含量也较富 (Turekian和Wedepohl, 1961)。痕量金属元素在页岩

中富集的机制包括在粘土矿物中的离子替换,在粘土矿物上的吸附,在金属氢氧化合物上的吸附,难溶化合物(例如硫化物)的沉淀,以及在有机物上的吸附或与有机物发生反应等。在大多数富集的例子中都表明了与有机物的相关性(Vine和Tourtelot, 1970——见本卷, Saxby所编写的第五章)这种相关性可能是因为: (1) 结合于活的有机体中,然后,与有机体的有机残骸一起沉积; (2) 有机体死后,金属与有机物之间发生反应而结合在一起; (3) 吸附在有机物上; (4) 有机物使金属还原,因而沉淀了一种难溶的化合物。

在德国(含铜页岩)^①和美国(White—Pine 矿床, Nonesuch 页岩)以及其它地方的页岩中含有够工业品位的Cu, Pb, Zn。Wedepohl (1964, 1971), White和Wright (1966) Haranczyk (1970) 和 Brown (1971) 曾经论述过这些矿床中主元素与副元素的变化情况。他们的数据列于表V。

明显的特点是矿石中富含着一些为它们所特有的元素如V, Cr, Ni及U, 而且Ni的含量多于Co。Co/Ni比值与近代沉积物〔例如黑海沉积物(Butuzova, 1969)〕的黄铁矿中的比值类似, 金属组合与页岩中的沥青碳相一致(Vine和Tourtelot, 1970)。

在含铜页岩(德国)中Cu、Pb及Zn有侧向分带(Wedepohl, 1971), 这个矿床在地理位置上与同时期的古海岸线一致^②。Cu的高含量发现于近海岸相中。

Haranczyk (1970) 所论述的Zechstein页岩, 有一部分是与含铜页岩在同一个沉积盆地中形成的。它的富含Cu的部分与富含Pb的部分也有一个明显的分界。Cu与Pb的峰值与Mo, V, Cr, Ni及Co的峰值符合一致。另外似乎也有一个垂直分带在分带序列上, 富含Zn的带位于富含Cu带的上部。

产于Nonesuch页岩中的White Pine铜矿床虽然大致呈层状, 但与主岩显然不整合(Brown, 1971)。Cu富集于页岩层的下部, 在铜矿化带与上覆的不含矿的黄铁矿之间有一个明显的异常带。在这个异常带上有Cd及Pb富集。另一方面, 从矿化带到废石带, 几乎看不到Zn与Mo的含量有什么变化。

对美国大量页岩中副元素所作的主要组分分析(Vine和Tourtelot, 1969)表明, 在Nonesuch页岩中, Cu, Ag, Pb, Ti, Mn及Y异常丰富, 而Cu和Ag与任何主元素组或副元素组都无关联。

这种类型矿石的硫化矿物目前还缺少分析数据, 这大概是由于, 从这么细小的颗粒物

表V 含金属页岩(全矿石中副元素分析, 以ppm表示, 注*者以%表示^②)

参 考 文 献	地 区	① 分析数	Cd	C	Co	Cu*	Fe*	Zn*	Pb*	Mo	Ni	Ag	S*	V
1	曼斯菲尔德 含铜页岩	18	500	64,000	87	1.4	3.6	1.5	0.59	280	110	73	1.9	740
2	波兰 Zech- stein页岩	est.			900	8			12	200	100			1000
3	美国含Cu页岩	est.	20			1	5.5	0.012	0.002	22		50	0.25	
3	美国黄铁矿带	est.	75			0	5.5	0.012	0.004	27		40	0.3	

①本栏中有数字者为所摘引文献中的总的分析数, 注有“est.”者示表列数值在所摘引文献中为估计数。

②空白表示该元素未经分析。

参考文献: 1 = Wedepohl(1964); 2 = Haranczyk(1970); 3 = Brown(1971)。

① 参看本书卷六Jung 和Knitzschke合写的第七章。