

层控矿床和层状矿床

第七卷

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

第七卷

地质出版社

HANDBOOK OF STRATA-BOUND AND STRATIFORM ORE DEPOSITS

Edited by K. H. WOLF

ELSEVIER SCIENTIFIC PUBLISHING COMPANY

1976

Volume 7

Au, U, Fe, Mn, Hg, Sb, W, and P Deposits

层控矿床和层状矿床

第七卷

乌尔夫 主编

*

地质部书刊编辑室编辑

1—7卷责任编辑余鸿彰

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: $787 \times 1092^{1/16}$ · 印张: 26 · 插页: 一个 · 字数: 606,000

1981年6月北京第一版·1981年6月北京第一次印刷

印数1—3,840册·定价4.20元

统一书号: 15038·新604

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

第七卷 金、铀、铁、锰、汞、锑、钨及磷矿床

目 录

第一章 南非元古代沉积物中的金：体系、范例和模式

D.A.Pretorius	1
前言	1
南非的金矿化	2
作为矿产生产国的南非的地位	2
地质时代与矿产的生产	2
金的时间与空间分布	2
体系、范例和模式	4
沉积金矿的范例	5
源区的模式	6
搬运系统的模式	7
沉积区的模式	9
地层模式	9
Transvaal 型金矿田的模式	12
Witwatersrand型金矿田的模式	12
金的时间模式	16
构造上升模式	16
藻类活动模式	17
金矿勘探的基本准则	19
校注	20
参考文献目录	20
第二章 Witwatersrand金-铀矿床的特征 D.A.Pretorius	21
前言	21
Witwatersrand盆地的经济意义	22
Witwatersrand盆地的时间和空间特征	23
Witwatersrand岩层的年代	23
元古代盆地和地壳演化方式	24
Witwatersrand 盆地的结构	25

构造和组成	25
褶皱型式	27
断层型式	28
Witwatersrand盆地矿产资源的来源	30
地层和岩性	31
层序和厚度	31
组成特征	32
岩墙和岩床	33
沉积学	34
沉积等厚线	34
河积扇	36
矿化层的垂直分布	38
矿化特征	40
金和铀的产量	40
含矿层的类型	42
砾岩的组成	43
含矿层的矿物学	46
含矿层的化学成分	49
组分间的相互关系	52
金和铂族金属的粒度	54
一个金矿田的特征	55
发育过程	55
过程的最终结果	56
相邻扇形地的继续发育	59
一个金矿田的渐次发展	60
金和铀的来源	61
参考文献目录	63
第三章 美国西部各州型铀矿化的成因 R.Rackley	64
前言	64
构造条件	68
沉积作用	71
网状河成岩系	72
粗粒曲流带	74
细粒曲流带	75
沉积环境, 古气候和成岩作用	77
矿化与蚀变	83
地球化学圈概念	84
地球化学圈反应	86
物理条件和化学条件	89
蚀变特征	89
矿物分带性	90

地球化学圈的生长和形状	94
地球化学圈发展的改造	97
矿化时间	99
矿源	101
成因模式	105
讨论	107
今后的研究课题	109
校注	110
参考文献目录	110
第四章 前寒武纪条带状含铁建造的成因 J.Eichler	116
前言	116
含铁建造的术语和定义	117
区域地质分布	119
前寒武纪条带状含铁建造的年代	121
地质背景	123
沉积环境	123
含铁建造的沉积相	129
沉积构造	131
矿物相的成岩蚀变和变质蚀变	134
生物遗体	136
化学组成	138
条带状和鲕状含铁建造之间的异同	140
成因假说	141
沉积环境	142
铁和硅的来源	143
搬运、沉积和条带	144
结论	146
参考文献目录	147
第五章 燧石质含铁建造的沉积岩石学概貌 E.Dimroth	152
前言	152
定义和概述	152
术语	153
沉积标志	153
沉积结构	153
沉积构造	156
生物-沉积结构和构造	157
分类	159
成岩作用	159
同生沉积变形作用	160
干裂(陈化)标志	160

压实作用	161
结核体	161
溶解作用和溶崩作用标志	162
缝合线	162
结晶结构	163
基质燧石中的石英	163
胶结燧石石英	164
铁矿物	166
铁矿物成岩作用的物理化学	170
古地理分析	172
苏必利尔湖型含铁建造	173
阿尔哥马型含铁建造	176
含铁建造古地理的专门问题	176
铁矿物相的深度控制	177
含铁建造沉积作用的大地构造控制	177
燧石质含铁建造的成因	178
铁和硅的搬运	178
直接沉淀假说	179
交代假说	180
要点和结论	181
参考文献目录	186

第六章 Lahn-Dill型火山-沉积铁矿床的成因问题 and 环境特点

H.Quade	194
前言	194
一般鉴别要点	195
地质特征	196
区域和地层分布	196
大地构造和古地理格局	197
火山-沉积铁矿的沉积环境	199
火山-沉积铁矿的沉积相	200
火山-沉积铁矿的矿物相	202
火山-沉积铁矿的化学组成	204
火山-沉积铁矿的成因	207
成因假说	208
由火山作用形成富铁沉积物的实例	209
Lahn-Dill 型和其他沉积铁矿建造的异同	211
火山沉积铁矿与地槽环境其他同生金属矿化的关系	213
地槽蛇绿岩质火山作用中铁和硅的可能来源	215
结论	218
参考文献目录	218

第七章 深海锰结核 G.P.Glasby和A.J.Read	224
历史的简介	224
锰结核在世界各大洋中的分布	226
区域分布	226
沉积率	227
潜在成核物质的存在状况	227
年龄	228
底流速度	228
生物活动	229
氧化还原条件	229
局部性分布	230
随深度的分布情况	231
地球化学	232
单个结核内的成分变化	232
结核成分的局部性变化	233
结核成分的区域性变化	234
矿物学	237
内部结构	239
价态的测定	242
结核的增生率和增生机制	243
热力化学因素	245
参考文献目录	248
第八章 淡水铁锰矿床 E.Callender和C.J.Bowser	259
前言	259
地质背景	261
淡水铁锰氧化物的产状与形态	262
涂被	262
皮壳	264
结瘤	264
分散的铁锰氧化物	266
与铁锰结瘤共生的沉积物类型	267
淡水铁锰氧化物的化学成分	267
铁/锰比值	267
主要元素的化学情况	268
少量元素的化学情况	271
不同地区的结瘤成分的变化	272
矿物组合	273
海水结瘤及淡水结瘤的对比	277
沉积环境中铁、锰的活化作用沉淀作用	281
铁及锰的水体地球化学	281

铁和锰的运移	283
铁锰供给水源及湖水之间的相互作用	284
铁和锰氢氧化物的沉积	284
成因理论	286
发展史	286
来自上覆水的沉淀作用	288
成岩再活化作用	289
铁锰氧化物的沉淀机制	291
要点及结论	294
参考文献目录	295

第九章 古锰矿床 S.Roy..... 301

前言	301
非火山成因-沉积锰矿床	303
与陆源建造伴生的锰矿床	312
与碳酸盐建造伴生的锰矿床	321
与含铁建造伴生的锰矿床	326
古锰结瘤及古铁-锰结瘤	330
沉积锰矿石和叠层石	334
火山成因-沉积锰矿床	335
Olympic半岛型矿床	336
野田-玉川 (Noda-Tamagawa) 型矿床	337
西非型矿床	340
Langban 型矿床	342
Karadzhal型矿床	347
要点和结论	349
参考文献目录	350

第十章 层控辰砂-辉锑矿-白钨矿矿床 (结合地中海地区

实例讨论) A.Maucher 358

前言	358
撒丁岛	363
土耳其	364
结论	366
阿尔卑斯山脉东部	367
西班牙	371
结论	375
参考文献目录	376

第十一章 沉积磷酸盐矿床 P.J.Cook 379

前言	379
磷酸盐矿床的分布	382

磷酸盐矿床的类型	382
“地槽型”磷块岩	383
“地台型”磷块岩	383
风化的和残积的磷块岩	384
磷块岩岩石学	384
磷酸盐结核	384
磷酸盐颗粒和球粒	387
非球粒状磷酸盐	390
磷块岩的地球化学	391
磷块岩的成因	393
结论	399
参考文献目录	400

第一章

南非元古代沉积物中的金： 体系、范例和模式

D. A. Pretorius

前 言

南非共和国是第一流的金属生产国家，金又是所产金属中最重要金属，到1971年底为止，已经出售了三百二十亿美元。这个数值相当于所有出售的金属总值的80%。金矿省是位于年龄从17亿5千万年到30亿年的，前寒武纪沉积—火山岩和花岗—绿岩组合所构成的Kaapvaal克拉通之上，这个克拉通构成南非地盾的南部。在这个地盾以外尚未找到重要的金矿化。在Kaapvaal克拉通的太古代基底上有五个元古代的沉积—火山盆地，这些盆地均形成于大陆条件之下，仅有一个盆地中有重要的海侵证据。金在太古代岩石中仅占总量的1.77%，其它98.23%则来自元古代的沉积物。在盆地的火山岩中没有开采过金矿。金矿田有三种型式即：经构造和变质作用改造的太古代绿岩带的超铁镁质和铁镁质岩中的矿田，如在Swaziland层序中的Barberton型矿田；河积扇/湖泊界面环境中，如在Pongola Witwatersrand和Tranvaal层序中的Witwatersrand型矿田；和存在于三角洲—开放海界面环境中，如在Transvaal层序中的Transvaal型矿田。沉积金矿床的元古代容矿岩石为砾岩，石英岩、页岩、粉砂质白云岩、白云质泥质板岩和藻垫。已建立了一系列概念性的作用—反应模式来总结最有利于元古代沉积物中金的富集的时间、环境和条件。这些模式涉及到金的源区，搬运系统和以固体状态或以溶液状态从绿岩带搬运到克拉通的碎屑或非碎屑沉积物中，并被物理的，化学的和生物的作用而集中起来的成矿场所。各种不同的模式描绘出了构造作用、侵蚀作用、搬运作用、地层学、沉积作用、成矿作用，生物活动和大气演化的各个方面，它们的相互作用形成了世界上最重要的元古代金矿。从这些模式中得到若干概括性的结论对将来在南非勘察更多的金矿床，也许会起指导作用。（关于区域地理环境，参看Anhaeusser所著本书的第五卷第六章，有关Witwatersrand金—铀矿床地质的细节，请参阅Pretorius所著本卷第二章）。

南非的金矿化

作为矿产生产国的南非的地位

南非(阿扎尼亚—译者)面积大约为472,000平方英里。到1971年底为止,从整个采矿活动的记载看来,矿产总值略超过490亿美元。平均每平方英里的开采价值为104,500美元。同年,在美国单位地区开采价值每平方英里为266,100美元,加拿大每平方英里为17,400美元,澳大利亚每平方英里为8,700美元。这些数字说明,在世界重要的矿产国名单中,南非的地位是非常高的。假如从地壳中全部被开采出来的所有矿产的总价值,按照三个主要分类来分开,可以看出燃料在美国每平方英里可提供174,000美元,在南非每平方英里为7,000美元,在加拿大每平方英里为5,100美元,在澳大利亚每平方英里为2,500美元;非金属矿产在美国是50,500美元,在南非是11,300美元,在加拿大是4,500美元和在澳大利亚是1,000美元;从金属情况看,重要性的次序表示出显著的变化。在南非每平方英里可回收金属的价值为86,200美元,在美国为41,500美元,在加拿大为7,800美元,而在澳大利亚为5,200美元^①。

当然,无论在空间上或时间上,金在次大陆地壳的各个部分都不会均匀地分布。除很少部分外,实际上,所有可采的金都是在前寒武纪岩石中找到的,而且除了无足轻重的一小部分外,所有的金都来自南非的东北部分。

地质时代与矿产的生产

南非的地壳发展和与之相伴的成矿作用的历史,可以分为六个时代,随着时间的推移,每一个时代的延续期逐步缩短。Botswan时代是从现代到1亿5千万年前;Outeniquian时代从1亿5千万年—5亿年;Boland时代从5亿—10亿年;Bushman时代从10亿—17亿5千万年;Kaaopvaal时代从17亿5千万年—30亿年和Barberton时代从30亿年到地球的形成。前寒武纪岩石(Barberton, Kaaopvaal, Bushman和Boland)的出露总面积超过154,000平方英里。到1971年底为止,已开采的矿物和矿物集合体的价值为430亿美元。出露的前寒武纪地区的单位产值,每平方英里为279,700美元。关于这些前寒武纪的矿产财富,从沉积盆地中开采出来的占85%,从侵入杂岩中开采出来的占9%,而从变质岩中开采出来的占6%。

这样,在南非矿产财富分布中关键的几个字是“金”、“沉积物”,“前寒武纪”和“国家的东北部”。

金的时间与空间分布

南非地盾包括博茨瓦纳东部,南非东北部分和津巴布韦。它由两个克拉通组成—Kaaopvaal克拉通和罗德西亚克拉通—二者被Limpopo深变质带所分开。南非重要的金的成矿作用是受这两个克拉通控制的。其中Kaaopvaal地块起了更重要的作用。在Kaaopvaal克拉通上,从太古代型地壳到元古代型地壳的过渡大约发生在30亿年前,而在罗德西亚克拉通

^① 见第20页校注。

上此过渡时期可能为27亿年前。在津巴布韦, 金矿化仅仅发生在太古代花岗岩—绿岩岩层中。然而, 在Kaapvaal, 在太古代建造和元古代沉积—火山盆地两者之中都可找到金矿化。太古代金矿化的容矿岩石, 占优势的是超铁镁质和铁镁质岩石, 其中许多是一个火山旋迴成因的并伴有火山碎屑物和化学沉积物互层。元古代的金矿大部分产于碎屑和非碎屑沉积物中。碎屑沉积物具细粒和粗粒两种, 但是金明显地趋于更集中于砾岩层中或靠近砾岩层的地方, 较重要的非碎屑容矿岩石为粉砂质碳酸盐, 系细粒碎屑沉积和化学沉淀间的过渡产物。在太古代沉积和元古代沉积两者中, 金曾被再活化。在前一情况下, 当太古代末期, 花岗岩的大量形成和侵位是金再活化的主要因素, 这种再活化比在元古代中发育的更为广泛。在沉积—火山盆地中, 金矿的重新组成是成岩作用和继之而来的火山活动所造成的。金的矿化, 在太古代主要是火成成因, 在元古代主要是沉积成因。

在Kaapvaal克拉通, 到1970年底为止, 采出金的总价值是326.1亿美元。其中5.68亿美元(1.77%)来自太古代矿石, 320.42亿美元(98.23%)来自元古代矿石。

太古代, 在30亿到32.5亿年这一段时期中, 以花岗岩的活动和小的原生金的矿化相伴生为标志。在Transvaal东部Barberton山地的典型绿岩区中, 在32.5亿年到35亿年之间的时期里, 见有斯威士兰层序的发育, 它是由大群(major Group)组成的一Onverwacht群位于厚达25,000米岩系的底部, Fig Tree群和Moodies群在层序的顶部。Onverwacht群的下部基本上是由超铁镁质和铁镁质岩石组成, 并伴有一些火成碎屑物和燧石的互层。上部的超铁镁质岩数量明显地较少, 除玄武岩外, 同时还有长英质火山岩、火山碎屑和化学沉积物再次出现。Fig Tree群是由硬砂岩、页岩、燧石和条带状的铁石组成, 同时Moodies群则包括砾岩、石英岩、页岩、碧玉岩和少量的火山岩。Onverwacht和Fig Tree部分是深海条件下沉积的, 而Moodies沉积物则是在浅水的大陆环境下形成的。

原生金矿化的主要部分看来受控于两个特殊的地层层位——Onverwacht群和Fig Tree群之间的接触处。过去长期认为, 是由30亿—32亿5千万年前的花岗岩侵入体所产生的典型中温和高温热液成矿作用, 而现在却认为金是Onverwacht时期古火山活动的产物。最常见的伴生的矿石矿物是黄铁矿, 毒砂和辉锑矿, 以及少量的铜、镍和钴的矿物。

在Kaapvaal克拉通上, 保存有五个元古代的沉积—火山岩带: Pongola层(30亿—27亿5千万年), Witwatersrand层(27亿5千万—25亿年), Ventersdorp层(25亿—22亿5千万年), Transvaal层(22亿5千万—20亿年)和Waterberg层(20亿—17亿5千万年)。这就看来在Kaapvaal克拉通上, 没有形成更年青的元古代盆地, 并且标志着在Waterberg层和古生代Karoo层序盖层之间曾出现相当大的时间间断。每个盆地都有类似的地层层序: 底部和顶部为火山岩, 中间则为细粒和粗粒的碎屑岩。条带状的含铁建造出现在Pongola, Witwatersrand及Transvaal层序中, 在最后一个层序中, 还明显地出现有白云岩。Waterberg岩石的颜色特征是淡红—褐色, 相反, 元古代的其它四个层序的地层全是灰、白、黑和蓝—绿等各种色调。这些层序一般厚度是10,000—15,000米。在元古代盆地中未出现超铁镁质的火成岩, 而在火山岩中占优势的是具有一些长英质组分的玄武安山岩。

在Kaapvaal克拉通上的五个元古代盆地中, 至1971年底为止, 所获得的金的产值是:

Waterberg层: 0

Transvaal层: 484百万美元

Ventersdorp层: 0

Witwatersrand层: 31,557百万美元

Pongola层: 1 百万美元

Pongola岩石中的金产于砾岩和页岩中; Witwatersrand层的金则产于砾岩, 石英岩, 页岩和藻垫中; Transvaal层的金则产于砾岩, 页岩, 粉砂质白云岩和白云岩中。在 Pongola层中一般的共生矿石矿物是黄铁矿; 在 Witwatersrand 层中是黄铁矿和沥青铀矿; 在 Transvaal层中是黄铁矿和黄铜矿。Witwatersrand矿石曾被认为是砂矿和热液成因, 而在 Pongola和Transvaal岩石中的金则曾被认为是热液作用的结果。现在则认为这三个沉积盆地中的金都是沉积成因的, 它们或者以碎屑微粒被搬运, 而在粗碎屑物中聚集, 或者从冷的溶液中被碳酸盐和生物物质沉淀出来。

在Kaapvaal克拉通上, 当Transvaal 期结束时, 金便从记载中消失, 并且从任何意义上讲, 在元古代剩余的时间里或显生宙中, 都没有再出现。因而, 金的矿化是限制在Barberton期和Kaapvaal期的早期和中期。对于整个南非, 可以提出同样看法, 即在晚于20亿年的岩石中金都没有重要的经济意义。在次大陆矿床总的特点中, 这个时间界限, 同样也标志着一个重要的变化。在20亿年以前, 亲铁元素的成矿作用比亲硫元素的沉积重要得多, 在20亿年以后, 情况正好相反。

体系、范例和模式

由于南非的太古代和元古代早期, 金的矿化是如此广泛, 可以认为, 经历了很长时期的地壳发展的方式, 始终有利于贵金属的富集。在太古代到中元古代之间的这一段时间, 也就是至少有15亿年之久, 一个侵位和再分配的体系在起作用。这一体系有助于确切地概括说明金的来源、分散与沉积状况。如果金的产地数量少、体积小, 在时间和空间上分布很广泛, 而且所处的环境多变, 那么要作这样的概括是不可能的。建立模式就是概括工作的一个组成部分。

Onions (1959) 对于体系下的定义是, “相互联系, 相互伴随 或者相互依存, 从而构成一个复杂统一的一组事物或事物的组合”。为了概括一个体系——在Kaapvaal 克拉通东部, 金矿化的作用和反应, 超过15亿年的情况——必须将复杂体分解成为一组相对简单的模型, 其中的资料按可以去了解 and 预测的方式加以组织。作用—反应模式, 可以被当作是各种类型的过滤器, 通过它, 复杂的事物将被转变为明显的简单事物。这些模式是启发式的工具, 它有助于从指示性的环境中去推断至今尚未被发现的矿床的可能环境。在这些指示性的环境中, 已知的矿化特征和控制条件业经分析过并已确立。

Meadows 等人 (1972) 曾阐明过, “模式只不过是对于一个复杂体系系列化的一组设想, 它试图从感觉和过去的经验中挑选出来一套可适用于已掌握的问题的各种观察结果, 去对变化无穷的世界的某些方面 进行了解”。在南非, 过去一百多年勘探和采矿工作已获得足够的经验, 来制定几个关于金的矿化的模式。这些模式包含有关特别有利于在沉积组合中生成金矿床的作用和环境系统的演化的各种观察结果和正确的设想。对于这个体系的资料, 可以按四个级别来建立: 区域的, 地区的, 局部的和随机的。模式的基本特征, 根据Hagget和Chorley (1967), 是对资料的高度选择性态度, 使局部的和随机的两个级别可以消除, 这样, 模式就可以做到对一个领域的基本特征得到一个总的看法。因为有这个选

择性，模式近似于真实情况，它能把对自然现象观察到的部分和理论部分连系起来。

一个体系内，概括的级别是：(1)事实；(2)模式；(3)范例 (Hugget 和 Chorley, 1967)。范例的定义是：概念的相互关联的网络体 (networks)，它在充分普遍的水平上，表示出工作目的的性质和在其中所追求的目的的常规结构的性质。范例可当作大规模的模式，而不是特别拟定的，在其中还可以包括较低级的模式 (Hugget 和 Chorley 1967)。范例的价值在于这样一个事实，即一般地讲，它允许一系列的模式逐渐演变，但它们本身，随着时间的转移基本保持不变。

南非元古代盆地的概念性的过程—反应模式，首先被 Pretorius (1965) 用来试图去概括 Kaapvaal 岩系的层序中旋迴的全貌。随后，Pretorius (1966)^① 又为 Witwatersrand 盆地中更进一步勘察金矿而创立了一些概念模式。这些模式与 Hagget 和 Chorley 对描述所研究的对象或事件类别的手段，所采用的测绘方法的种类和这些测绘方法的性质或属性的定义是一致的。本章是对地层—沉积学模式化过程中两种较早尝试的支派，也是为了强调金在 35 亿年前进入而在 20 亿年左右消失的地质体系的主要特征所作的一番扩大的努力。这些沉积金矿床是含矿岩石的组成部分。要想了解矿化的性质，元古代沉积物的复杂形成历史，就必须对决定了各种不同类型金矿床的最适合的沉积环境的区域和地区的可变因素通过概括进行简化。

沉积金矿的范例

在 Kaapvaal 时代的 Pongola, Witwatersrand 和 Transvaal 层序中业已发现的金矿，毫无疑问是被认为是沉积成因的。显然，其中某些曾被认为是后生成因，但尚提不出实质性的证据来说明是可以被人接受的岩浆热液来源。也许，对 Transvaal 层序的白云岩和粉砂质非碎屑岩中的金，是沉积成因的最大怀疑是因为这些矿床的许多特征可以适合于火山喷气模式。然而对 Kaapvaal 克拉通盆地中所有元古代的金矿化，争论的重点都非常倾向于同生论。

在这样的情况下，对这种矿化的范例（超模式）见于图 1。要使金在矿床的沉积物中富集，它必须从来源区被搬运到沉积场所中来，不管这些来源区是太古代的绿岩地块也好，还是早元古代的沉积盆地也好。这个范例就是南非元古代沉积金矿成因的基本概括。

第二个范例绘于图 2，要使图 1 所示的体系发生作用，必须有一系列动力，它对后来的各种作用产生了一系列的影响。火成活动—基本上是超铁镁质—铁镁质的，与此同时长英质的岩浆也起着重要的作用—将金和其它金属矿物引入 Barberton 地区的太古代绿岩带中。以首先进入整个体系的形式出现的金，明显地属于岩浆成因。火成活动停止而引起的构造调正，将矿化的绿岩抬升起来，这样就使岩石容易受到物理的和化学的减削作用，在这一过程中，搬运体系的初期阶段，能够得到从原岩中释放出来的金。侵蚀作用将所获得的金置于体系的分配作用所能影响的范围中，河流的搬运作用，将这些侵蚀产物携入沉积场所，停积在旋迴性沉积层序中。从构造抬升时开始，体系中的全部能量逐渐减少，构造抬升使得源岩有可能受到侵蚀，直到被侵蚀的岩屑，沉积于南非地盾上的某个 Kaapvaal

① 关于某些细节，参看本书第一卷关于模式一章——主编。

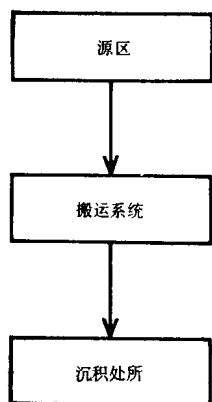


图 1 南非元古代沉积盆地中，层控沉积金矿化发展所必需的环境和组成部分的范例

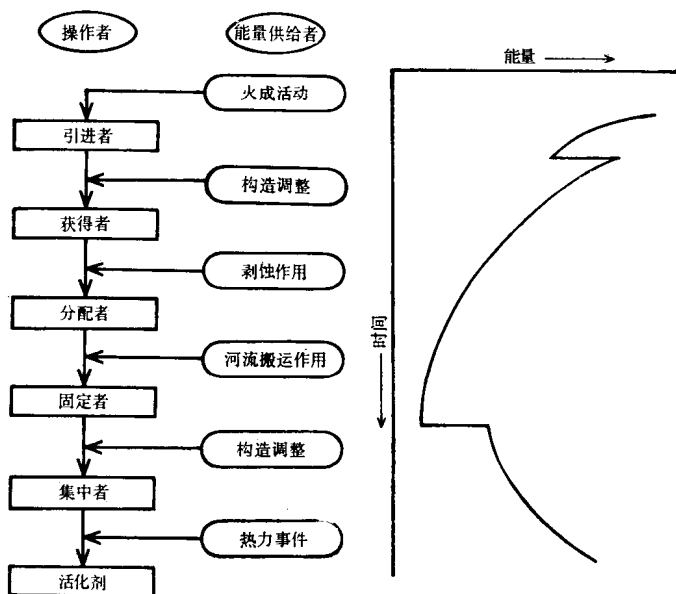


图 2 结合起来产生南非元古代沉积金矿田的作用（operators）和动力（energizers）的范例以及在该体系不同阶段占优势的能量水平中的和时间因素中的变化关系的范例

坳状盆地之中时为止。

第一阶段沉积物中金的含量太低而不具经济价值，必须重新组建物质才能形成矿石。对于岩石的物理改造而言，为了使早先沉积的物质再循环而抬升，盆地中的构造调整是必要的。再造每循环一次，都有助于残留金和其它重矿物碎屑含量的更加富集。为了使金在化学上重新构成，要把硅氧、金、碳酸盐以及在较少程度上使其它沉积组分活化，并且要把这些组分迁移到较低的温度—压力带或者发生沉淀作用的更大的化学活动带，就要求增加热梯度。要从初始阶段的沉积矿胚中形成矿石，当盆地经受构造作用和变质作用时，其能量逐渐增加这就预示着 Kaapvaal 层序中下一个盆地开始的地壳的调整。

源区的模式

在南非元古代金矿化体系的第一阶段，是太古代型的、地幔派生的、从超铁镁质到长英质的火成岩，进入地壳的较高层位。金喜欢含在超铁镁质和铁镁质组分中，亲铁金属在这类岩石中也更为普遍。同时亲硫金属，显示出与岩浆组合中的铁镁—长英质组分关系密切。硫的大量出现，看来是后一岩石类型的特征，因此硫化物，尤其是黄铁矿，当火成岩组合趋向于接近长英质端点时便以较大富集程度出现。所有这些岩类，与后来的沉积物一起组成了绿岩带，它又被后来的各种类型的花岗岩所侵入。由于侵入作用所产生的热力梯度是使得金在更加镁铁质岩石中重新活化，并且在 Barberton 时期生成热液矿床的动力。

图 3 是源区中由于超铁镁质、铁镁质和酸性岩类相对体积变化结果所引起的矿化程度量变模式图。在超铁镁质占优势的地方，以亲铁元素为主。在长英质大量存在的地方，这