

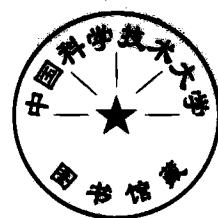
世界前寒武纪铁硅建造的 地质与成因

(国际会议文集)



世界前寒武纪铁硅建造的地质与成因

(国际会议文集)



桂林冶金地质研究所

《地质与勘探》编辑部 译

一九七六年五月

译 者 的 话

一九七〇年八月二十至二十五日，在基辅市召开了铁锰建造和金属矿床地质与成因的国际会议。会上讨论的问题，包括以下几个方面：

1. 含铁硅酸盐和铁硅建造的成因和类型及其在地槽沉积岩和火山岩中的部位，以及这些建造与类似的含锰建造之间的关系。
2. 前寒武纪地层中的含铁建造和类似的古生代建造的绝对年龄测定。
3. 含铁岩石的变质程度、矿物相及岩石命名。
4. 上述建造次生富铁矿和锰矿的成因，以及变质、热液和表生作用在形成该类大型富矿中的意义。

这次会议之后，在一九七二年用英文和俄文分别出版了会议论文集，名为《世界前寒武纪铁硅建造和锰建造的地质与成因》。

为了配合当前我国找富铁矿的需要，我们从这本文集中选择了铁矿方面的文章共35篇，根据俄文版本（《Геология и генезис докембрийских железисто-кремнистых и марганцевых формаций мира, Издательство “Наукова думка”, Киев, 1972）译出，定名为《世界前寒武纪铁硅建造的地质与成因》。

这些文章，讨论了世界上许多国家和地区（加拿大、美国、巴西、委内瑞拉、利比里亚、加蓬、毛里塔尼亚、苏联、印度和西澳大利亚等）的前寒武纪铁硅建造；论述了前寒武纪铁硅建造的地质和成因，含铁岩石与矿石的变质作用，次生富铁矿的形成以及地层和绝对年龄等问题，并对比了前寒武纪和古生代铁硅建造的特征。

本书中的文章，除署名者外，均系桂林冶金地质研究所《地质与勘探》编辑部翻译，并由编辑部负责全部核校工作。

由于我们的专业和外语水平有限，书中如有错误之处，敬希批评指正。

目 录

第 一 部 分

含铁硅酸盐建造和铁硅建造的成因及其类型, 它们在地槽沉积岩和火山沉积岩中的部位, 以及这些建造和类似的含锰建造间的联系

- 前寒武纪主要类型含铁建造的形成条件.....〔加拿大〕G.A.Gross (1)
- 加拿大地盾太古代火山成因的含铁建造.....〔加拿大〕A.M.Goodwin (6)
- 克里沃罗格含铁建造的岩相性质.....〔苏联〕A.И.Тугаринов等 (16)
- 澳大利亚前寒武纪含铁建造的类型和时代.....〔澳大利亚〕A.F.Trendall (20)
- 澳大利亚碧玉铁质岩铁矿的成因.....〔澳大利亚〕R.T.Brandt (25)
- 印度铁矿的产出条件和成因.....〔印度〕M.S.Krishnan (34)
- 瑞典的前寒武纪沉积铁矿.....〔瑞典〕R.Frietsch (40)
- 波罗的地盾东部的铁硅建造.....〔苏联〕B.M.Чернов (46)
- 库尔斯克磁异常区前寒武纪铁硅建造.....〔苏联〕H.A.Плаксенко等 (50)
- 波罗的地盾含铁岩层的构造、地层位置及早前寒武纪
- 地质中的几个理论问题.....〔苏联〕П.М.Горяинов (57)
- 库尔斯克磁异常区别尔哥罗德矿区前寒武纪铁硅建造地质...〔苏联〕Ю.С.Зайцев (68)
- 巴西的含铁建造及与其有关的含锰建造.....〔美国〕J.V.N.Dorr II (73)
- 巴西米纳斯吉拉斯州中部沉积作用的构造控制及
- 铁矿石中分散元素的分布.....〔巴西〕A.Licinio等 (79)
- 西澳大利亚哈默斯科利群含铁建造——前寒武纪带状蒸发岩类的典型实例
-〔澳大利亚〕A.F.Trendall (84)

第 二 部 分

前寒武纪地层中铁硅建造的绝对年龄测定; 古生、中生、新生代的类似建造

- 乌克兰地盾的铁硅建造.....〔苏联〕H.П.Семененко (92)
- 哈萨克斯坦前寒武纪铁硅建造.....〔苏联〕И.П.Новохатский (100)
- 哈萨克斯坦的古生代铁硅建造.....〔苏联〕И.П.Новохатский (106)

阿尔泰泥盆纪地层中含铁石英岩型矿床地质和成因	〔苏联〕 А.С.Калугин (116)
小兴安岭喷发性铁硅建造和铁矿床	〔苏联〕 Е.В.Егоров等 (125)
哈巴洛夫斯克边区乌达地区的含铁喷发碧玉岩建造和铁矿床	〔苏联〕 Э.Л.Школьник (130)

第 三 部 分

含铁岩石的变质作用、矿物相及命名

明尼苏达州米萨比、甘弗林特和库云纳铁矿区	〔美国〕 G.V.Mory (136)
含铁石英岩变质作用的物理化学条件	〔苏联〕 Ю.П.Мельник 等 (150)
阿尔丹地盾前寒武纪铁矿建造	〔苏联〕 И.Д.Ворона等 (159)
哈萨克斯坦铁和铁锰建造的成因及变质作用	〔苏联〕 В.М.Щербак等 (166)

第 四 部 分

前寒武纪高温次生铁矿的成因及矿石的变质与氧化过程

克里沃罗格型富铁矿的成因	〔苏联〕 Я.Н.Белевцев (171)
巴西巴拉州卡腊贾斯山区的地质和铁矿床	〔巴西〕 G.E.Tolbert等 (185)
西澳大利亚哈默斯利省铁矿	〔澳大利亚〕 W.N.Macleod (192)
毛里塔尼亚的克迪亚吉勒地区条带状铁矿的富集作用	〔英国〕 F.G.Percival (198)
比瓦比克含铁建造碳酸盐中的碳同位素成分变化	〔美国〕 U.K.Perry等 (203)
加蓬共和国贝林加铁矿床	〔美国〕 S.I.Sims (208)
利比里亚地盾与圭西那地盾的铁英岩型铁矿床	〔德意志联邦共和国〕 H.Gruss (213)
克里沃罗格富铁矿的构造控制	〔苏联〕 Г.В.Тохтуев (233)
密执安州的铁矿床	〔美国〕 J.Geer (238)
条带状铁硅质沉积岩及其变质岩的国际命名	R.T.Brandt等 (243)
世界前寒武纪铁硅建造和锰建造的地质与成因国际讨论会决议	(246)
附录：铁矿床的性质与赋存	(247)

第一部分

含铁硅酸盐建造和铁硅建造的成因及其类型，它们在地槽沉积岩和火山沉积岩中的部位，以及这些建造和与其相类似的含锰建造间的联系

前寒武纪主要类型含铁建造的形成条件

G. A. Gross

(加拿大)

由角页岩和含铁可达15%的矿物薄层互层组成的含铁建造，是所有已知溶液沉积岩中最重要的一种。这个建造见于化学成分不同的各种地质环境之中。构成这种建造的各种组份，可以当作介质的极细小的指示剂；含铁建造就是从这种介质中沉淀出来的。但涉及到此类岩石的多数地质文献，只阐述了个别的铁矿区或含铁建造，而由这些专门的研究所得出的结论，却常常套用到整个沉积组。同时，在进行类似的解释时，常常没有考虑到构造和时代特点，以及沉积条件和围岩的特殊性等因素，而这些围岩当中常可见到各种岩石类型的化学沉积物。

本文只讨论条带状的铁硅建造沉积物。含绿泥石-菱铁矿-针铁矿的鲕状岩石，属于另一种特殊类型的含铁沉积物。它是在另外一种条件下生成的，其成因可能也是不同的。与铁硅建造伴生的沉积岩和火山岩是多种多样的，这就表明它们的沉积环境也是各不相同的。

铁硅建造是通过化学途径形成的，而其为数众多的沉积相，则证明了沉积的物理和化学条件的变异。很难设想，所有这些岩石的铁和硅都具有同一个来源地和相同的成因。

中生代和更年青的铁硅建造比较少见；现代的条带状硅铁沉积物大概根本不能生成，因此还没有一个完整的现代模式能用来确定决定硅铁沉积物产生的地质参数。为了弄清上述岩石的来源，就必须从详细研究沉积物及其周围介质的特征入手，进而对比地球上的各个铁矿区，这样才能得出一个关于决定含铁建造沉积因素和条件的完整概念。

铁硅建造的分类，最好是依据一般标志、铁硅建造沉积的特点以及与其有关的沉积岩的类型来进行。在加拿大，近年来“阿尔戈马”一词用来表示与火山岩和优地槽带杂砂岩型的沉积物密切有关的那些铁硅建造。形成于大陆棚条件下的含铁建造（石英岩、白云岩和黑色页岩），则被称作上湖（即苏必利尔湖）型建造。

大部分地质文献都是讨论上湖型铁硅建造的。这是一种夹杂着各种沉积相含铁层的细条带状硅质岩石。氧化相由磁铁矿、赤铁矿或这些矿物的混合物组成，它们是作为铁的原生

氧化物沉淀的。硅酸盐相的硅酸盐矿物，由于变质作用程度的不同而常发生变化，从土状硅铁矿和水硅铁石，直到黑硬绿泥石、镁铁闪石、铁闪石和紫苏辉石等，都有所见。碳酸盐相主要是与磁铁矿和含铁硅酸盐伴生的菱铁矿，而铁白云石和含铁白云石，则主要分布在碳酸盐矿物与富含赤铁矿的岩相伴生的地段内。

上湖型含铁建造的硫化物相，通常由细粒的含炭泥质板岩组成，并含角页岩和硅质页岩夹层。无论是由角页岩或是铁矿物组成的晶粒和鲕粒，都是这种沉积物的典型结构特征。除了边缘过渡带或建造内部的个别地段之外，这些颗粒几乎都不含碎屑物质。其中富铁与贫铁层有韵律地互层产出，厚度从几毫米到1米不等。个别层可能出现尖灭或膨胀现象，并生成波状条带地段。单一的层理可能被崎岖不平的和瘤状的角页岩及碧石透镜体破坏，后者常沿数量不多的斜层理发育，类似于灰质水藻群体中的Collenia或Crystozoan类型的岩石。在有些硅质颗粒当中，常见应力裂隙、脱水收缩裂隙、脱水裂隙以及缝合线等。此类建造的构造和沉积特征，在所有研究过的地区都是千差万别的，只是在某些建造中一定的沉积特征要比其他建造表现得明显一些罢了。

该类建造与石英岩和黑色碳酸质页岩以及砾质白云岩、块状角页岩、角页岩角砾岩和泥质板岩的密切关系，在世界上的所有矿床中都可以见到。火山岩（凝灰岩或熔岩）在空间上不一定与上湖型含铁建造有关，但在剖面上几乎都有火山岩。白云岩-石英岩-黑色和红色铁质页岩-含铁建造-黑色页岩-泥质板岩组合，对所有大陆都是非常普遍的。但地层研究表明，尽管这些沉积岩的关系是稳定的，但它们的层序在个别地区（如拉布拉多地槽）却可能有变化。拉布拉多地槽的石英岩和红至黑色的页岩产于含铁建造之下，而黑色碳酸质页岩则在其上，但在剖面的不同部位也可以出现其他沉积岩。

上湖型的稳定铁矿层，沿着古老陆台或地槽盆地的边缘延展可达几百英里。此类建造的厚度非常稳定，一般为几十、几百米，乃至1000米。含铁建造所产出的岩石，通常不整合地产于强烈变质的片麻岩、花岗岩和角闪岩之上。有些地方，含铁建造只被厚度很小的石英岩、卵石层和硅质页岩与基底岩石分隔开；有时（如在加弗林特地区）含铁建造则直接产于基底岩石之上；多数情况下则产在基底岩石以上几百米的地方。

在世界上的几乎所有矿区，上湖型含铁建造都产在晚前寒武纪，也有的可能是在早古生代的某些岩石中。这类含铁建造显然是在大陆棚较浅水的环境中或是沿大陆棚与冒地槽盆地的边缘形成的，并由来自邻近陆地以及盆地内部一定的火山带的沉积物组成。到目前为止，还没有确定该类含铁建造铁和硅的来源究竟是剥蚀作用或是火山活动。

上述类型的硅质建造，含有富赤铁矿和针铁矿的矿体，例如美国的上湖地区；拉布拉多-魁北克；澳大利亚的西北部；印度的奥里萨和比哈尔邦；苏联的克里沃罗格、库尔斯克以及巴西等。

阿尔戈马型的含铁建造，在加拿大和澳大利亚地盾早前寒武纪的几乎所有火山和沉积岩带，以及许多其他地区的古生代和中生代岩石中，都有发现。此类含铁建造由细条带状或鳞片状的角页岩、赤铁矿和磁铁矿组成。厚大的菱铁矿、碳酸盐岩层和铁硅及铁-硫化物矿物相，在此建造中常互相伴生，但比起氧化相，其发育程度则要差些。此类建造常表现为块状的菱铁矿和黄铁矿-磁黄铁矿矿层。含铁建造的厚度由1米到几百米，有时沿走向延展长达几公里。

上述岩石的岩层形成彼此隔开的透镜体，或是连续不断地分布。阿尔戈马型的含铁建造与各种火山岩密切相关，其中包括枕状安山岩、凝灰岩、火成碎屑岩、流纹岩流、杂砂岩和

灰绿色石板片岩及黑色碳酸质页岩。凝灰岩和细粒碎屑岩岩层或含铁角页岩在含铁建造内互层产出；完整的地层剖面证明岩石组合的非均匀性。这种含铁建造以条带为其特征，可能没有鲕状和粒状构造，后者只是在前寒武纪以后的岩石中才偶而可见。岩石的组合表明它们是在优地槽条件下沉积的，同时在空间和时间上与火山活动有密切联系。

阿尔戈马型含铁建造与火山活动中心的直接联系，见于加拿大地盾的火山带中。流纹岩和英安岩等火山岩的厚度一般都很大，常常产在古火山中心内部和周围的火山沉积岩剖面中。阿尔戈马型含铁建造，通常不整合地覆盖在主要部分的酸性火山物质之上，同时被安山岩及杂砂岩型的沉积物所覆盖。含铁建造的硫化物相和碳酸盐相，赋存在火山活动的中心或分布于其附近，而氧化相则远离这个中心，甚至在它几乎全部与碎屑沉积物伴生的地方才能见到。碳酸盐矿物和硅酸盐相见于火山活动的中心附近。一般都可以确定一个总的分带关系，就是阿尔戈马型含铁建造与硫化物之间，往往有一个碳酸盐-氧化相。该类含铁建造的岩相类型与各类火山岩之间的直接联系，相对于前述硅铁沉积物与火山作用的亲缘关系来说，是不容置疑的。

氧化的石墨页岩或黑色的含炭泥质板岩薄层，常与阿尔戈马型含铁建造伴生，并出现在火山岩的数量多于杂砂岩的那一部分剖面内。黑色泥质板岩中的相当一部分细碎屑物质，可能是由凝灰岩和火山灰生成的，并堆积于沉积盆地的凹处。这种岩石含有黄铁矿和磁黄铁矿，有的地方还含有相当数量的铅、锌和铜。黑色泥质板岩与层状金属硫化物矿体密切相关，并且是一种常见的围岩，其中见有细条带状的硫化矿层。黑色泥质板岩可能是阿尔戈马型含铁建造的一个相，产于氧化相和碳酸盐相所在的同一层内，并形成单独的岩层或层位。这些岩层或层位又与由含铁建造其他相所组成的比较厚的层有密切关系。

阿尔戈马型含铁建造广泛分布于一些较古老的地段的火山沉积带中。奥陶系地层见于新布伦兹威克北部和纽芬兰北部，中生代地层则分布于范库佛岛。

阿尔戈马型的铁锰建造具有特殊的价值，但比富铁的矿层较为少见。铁锰建造的生成条件几乎无异于阿尔戈马含铁建造的岩石。硅锰沉积物可含大量的锰，这与锰、铁比值不高的硅质岩层是不同的。这种岩石的形成可能与火山喷气有关，故列为阿尔戈马型。

几乎所有的铁硅建造，都可以归属于上述类型中的一个或两个。许多含铁建造及与其有关的岩石都受到强烈变质，因此只能据其残余物来判断沉积特征。

加拿大西北部育空地区和马更些地区的交界线上，发育一种特殊的含铁建造。斯内克河的含铁建造为厚度150米的碧石与天蓝色赤铁矿交互产出的一层，产于腊皮坦建造的基底；腊皮坦建造含有厚达1500米的厚层和分选不好的砾岩。在腊皮坦砾岩与围岩之间见有角度不整合。砾岩不整合地覆盖在厚度很大的白云岩、石膏和页岩粘土、炭质页岩、灰岩及石英岩岩系之上。腊皮坦砾岩之上为晚前寒武纪时代的暗色粘土页岩和白云岩。腊皮坦建造及从属于它的含铁建造的确切时代尚不清楚。

腊皮坦建造由砾岩状粉砂岩、粘土页岩、粉砂岩及淤泥质页岩组成，其中从半棱角到1~5厘米的粗碎屑角砾占10%（个别巨砾可达5米）。相大的碎屑由碳酸盐、基性火成岩、砂岩、石英岩及粘土页岩（以其数量减小的顺序排列）。腊皮坦建造的边部，在距较厚的含铁建造不远的地方，粗屑火山岩及凝灰物质的含量很高。

含铁建造含铁平均46%，是由亮红色的碧石和暗蓝色的细粒赤铁矿物质的交互层组成的，碧石层和赤铁矿层很容易区分，但有些赤铁矿层含有大小为0.5~1厘米的红色、灰色或

黄色角页岩单体，后者约占赤铁矿层的20%。该含铁建造中没有出现岩石的粒状和鲕粒结构。一般的角页岩层为红色到栗色，由分布在角页岩基质中的极细粒碎屑物质组成。曾经见到许多较粗的碎屑物质的薄透镜体，沿整个含铁建造均有分布。细粒物质是由凝灰岩组成的；粗屑的成分与基性砾岩的卵石类似。有两个很薄但很连续的泥质砂岩层（一个在含铁建造的顶板，另一个在其底板），被作为标准层用来进行详细地层对比。铁白云石和白云石碳酸盐薄层，在剖面的某些地段与角页岩和赤铁矿层互层。

上述含铁建造受到的变质作用很弱，故原始沉积和成岩标志明显。

在含铁建造的整个剖面上，可以看到岩石的差异压固标志、滑坡与滑动构造、含有铁硅建造角砾的建造内角砾岩的堆积、冲刷与堆积构造、应力裂隙以及其他类似的现象。在粗屑岩层中，有许多看来是泥流的产物，泥流覆盖了已经固化的含铁矿层，同时使其下伏岩层受到变形和破坏。覆盖着泥流的含铁建造的上部有一个特点，就是赤铁矿-角页岩岩石的未被破坏的水平层理。有些地方见到泥流，冲刷并切出一条深达5米、宽几十米的沟槽。含铁建造的粗粒碎屑，处于悬浮状态存在于泥流物质中，在所述沟槽的两壁其数量最多。

有人认为，在含铁建造中找到的并引起下伏角页岩层膨胀或倾伏的孤立的巨砾，是被冰川带来的并堆积于硅铁建造半固结的沉积物中。这种巨砾大部分产在砾岩和凝灰物质的少数夹层中。作者认为，这种物质是爆发火山作用的产物，这种火山活动在含铁建造堆积的期间都可以见到。尽管尚未发现任何火山口，但含铁建造砾岩中的凝灰层和火山物质的存在，都说明在此种岩石沉积过程中是有火山活动的。

以上描述的含铁建造，其岩石的厚度很大，呈似透镜状产出，宽度可达10英里，走向长30余英里。该建造的厚度向东、西两面减小；北面被不整合面所限定；在南面，该建造延展到较年青的岩石之下，走向长度未确定。岩性上类似于含铁建造、厚度不大的岩层，见于向西北延展200多英里、向东南延展很大距离的个别孤立地段，可能是其延续部分。

腊皮坦建造的产生，是由于很深的、形状不规则的降落盆地，迅速被层状的淤泥（细粉屑）和砾岩物质充填的结果。硅铁建造的铁和二氧化硅的化学沉淀，是与粉砂质砾岩的形成同时发生的，同时两种沉积类型（碎屑沉积和化学沉积）是互相叠加的。

有人认为，砾岩和含铁建造是在海底的宽广的洼地或盆地中沉积的，而未固结的岩石从相邻断层的裂隙或盆地的斜坡上滑落和流出，则是由沿相邻断层所发生的运动或火山爆发所造成的。某些含赤铁矿包体的细粒碎屑岩层，可能是在赤铁矿软泥中沉积的凝灰或火山灰堆积。

赤铁矿和二氧化硅认为是被喷气水搬运的，并沿着断裂带沉积于海底。斯内克河的含铁建造，可能是蒸发-沉积作用的产物，所以与阿尔戈马型主要的含铁建造组有着相近的亲缘关系。斯内克河含铁层的成因，与红海现代沉积物是类似的。

斯内克河含铁建造，证明盆地中的大量铁和二氧化硅是溶液沉积的，这个盆地很快又被砾岩和淤泥充填。这两类沉积物的来源与堆积方式之间，没有明显的成因联系。含铁建造的各个相的分布与一定的火山活动期有关，这是没有疑问的。

上湖型含铁建造的硅酸盐和含铁溶液沉积物厚大岩层的岩石，与大陆棚沉积物的沉积顺序是一致的。在许多类似的地段，火山活动和沉积活动同时发育，而且沉积作用是沿着盆地的陆棚带外缘进行的。如果假定，所有沉积岩是在特殊的剥蚀和沉积条件下，由于大陆物质的深部化学风化而生成的，则含铁建造和石英岩以及白云岩和泥质板岩中的铁和二氧化硅，

可能存在过一个共同的来源。但以这种构思为基础所拟定的地质模式，并不能正确地解释该类含铁建造的成因。作者认为，极大可能是铁和二氧化硅的来源地位于火山带中，而不是被剥蚀的大陆物质。这个认识是在对比阿尔戈马和上湖含铁建造的基础上提出来的。

揭示各类含铁建造的典型特征，对于评价新发现的和已开采过的铁矿床，具有十分重要的意义。涉及到上述各类含铁建造的最重要的一个问题，乃是确定与含铁建造有关的锰、有色金属和含矿层的产出条件。

在与阿尔戈马型含铁建造相同的地质环境中生成的有色金属硫化物层状矿体，和含铁建造一样确定为含铁建造硫化物相的岩相变种，并认为是喷气-沉积火山成因的。层状硫化矿层与含铁建造的硫化物、碳酸盐和氧化物相的成因联系，是毫无疑问的。这个因素的确定，揭示出加拿大地盾有用矿物勘探的新的途径。目前已经证实，阿尔戈马型含铁建造的碳酸盐相和某些硫化物相，是金（可能还有银）的母岩，金和银在稍晚些时候富集于与该含铁建造有关的矿脉和矿巢之中。

阿尔戈马型含铁建造的金属硫化物矿层，其化学成分和物理特性，都与红海的某些现代沉积物非常相似。阿尔戈马含铁建造中的矿体与红海岩相，很可能是与地壳大断裂有关的深部岩浆作用的产物。喷气活动和水的循环引起大量硅离子和其他金属离子的溶解和搬运。一方面，在阿尔戈马型沉积物堆积的条件下，发生过强烈的火山岩喷发，同时逸出深部的含矿溶液；另一方面，在红海，这些溶液是从深断裂体系逸出的，并不伴随强烈的火山活动。

世界上的许多主要前寒武纪含铁建造，都与大陆的边缘平行或近于平行产出，例如非洲大陆西岸附近的含铁建造，以及南美东岸、印度和澳大利亚的含铁建造等。这些含铁建造，是堆积于古老地盾地区的前寒武纪沉积物，很可能与产在构造带的同一沉积盆地有关，或者就是它的一部分。这种盆地是在大陆漂流和主要的前寒武纪大陆物质分割之前存在过的。

作者认为，许多前寒武纪铁矿带及其沉积盆地，在地域分布上都是密切有关的。含铁建造的堆积，很可能是沿着地球主要深断裂和构造体系进行的。这些断裂和构造体系，存在于前寒武纪的大陆物质之中，而由于大陆的漂移现在已见不到。大量铁和二氧化硅的聚集以及它们被喷气水沿着构造带的运移，可能与喷出作用和火山活动有关。如果是这样的话，我们就可以知道为什么广泛分布的硅质沉积物产出的条件是如此多种多样。赋存于大陆棚和优地槽或厚大的砾岩系中的火山沉积杂岩内厚度巨大的铁硅层的存在，只有在单独的地域内对沉积特征进行详细研究，才能作出合理的解释。要对这些最重要的问题作出回答，就要对构造环境的特征以及造成这种环境的深部岩浆作用进行研究，而深部岩浆作用可能决定着含铁建造堆积的所有上述条件。

加拿大地盾太古代火山成因的含铁建造

A.M. Goodwin

(加拿大)

在加拿大地盾的太古代岩石(时代为2500百万年)中,含铁建造分布很广,尤其是其南部(苏必利尔省)和北部(彻奇尔省)更为发育。在地盾的西北部,其分布有一定局限性。单个的太古代含铁建造,其厚度虽不大,但分布很广。

加拿大地盾太古代含铁建造中的铁矿石总储量约为35亿吨,约占加拿大铁矿总储量的25~30%。铁的平均品位为25~30。

海伦铁矿区

米契皮科坦地区位于上湖(即苏必利尔湖)东北边缘,这里是加拿大地盾苏必利尔南部构造省(图1)。下伏的岩石是米契皮科坦岩系的火山沉积岩,比较年青的岩石主要是花岗岩类岩石。包括海伦铁矿区在内的本区中部,暗色火山岩向上逐渐过渡为霏细火成碎屑岩,后者被暗色枕状熔岩覆盖,熔岩又被道尔沉积岩覆盖,更年青的则为暗色岩石。因此,海伦含铁建造乃是厚度很大但不均匀的火山岩层的一部分。含铁建造在霏细质和暗色火山岩层当中占有固定的地层位置,赋存在其下部的流纹英安火成碎屑岩与上部的安山玄武熔岩盖层的接触带上(图2)。相对于向东延展的褶皱轴而言,岩石是向北倒转并向南陡倾的,同时以 $30\sim 40^\circ$ 角向东倾伏。

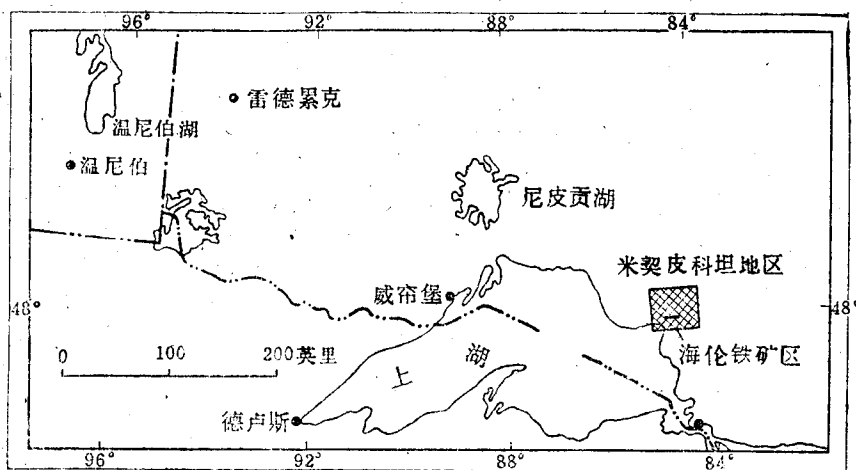


图1 包括海伦铁矿区在内的米契皮科坦地区示意图

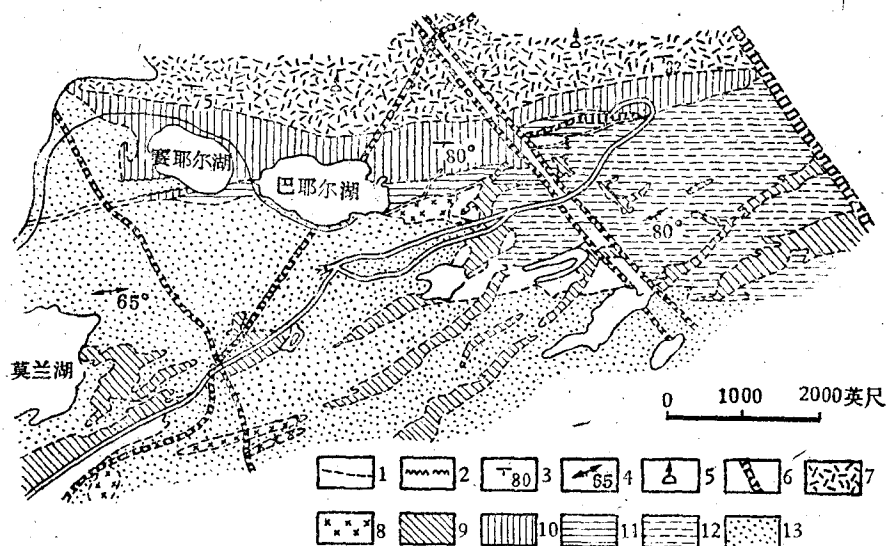


图2 海伦铁矿地质图

- 1—地质界线; 2—断层; 3—岩层的产状要素; 4—片理的方向; 5—枕状熔岩盖层的顶板;
6—辉绿岩; 7—安山岩盖层; 8—石英斑岩; 9—变闪长岩; 10—条带状含铁建造; 11—菱铁矿
和黄铁矿岩石; 12—以英安岩为主的凝灰角砾岩; 13—以流纹岩为主的凝灰角砾岩

海伦含铁建造 包括三类通常是互相有关系的岩相, 这些岩相即条带状角页岩、黄铁矿层和菱铁矿层, 以明显的地层层序产出(图3)。另外, 薄而不连续的角页岩带还见于菱铁矿层的内部和基底。

主要的条带状角页岩层的厚度为400~1000英尺, 一般是由白色到灰色的角页岩条带与浅褐色的硅质菱铁矿互层组成的。条带一般不均匀, 个别夹层常见尖灭、膨胀和分枝现象。可以见到厚度很小的含硫化物的烟灰状黑色炭质角页岩, 厚达30英尺, 走向长几百英尺。

条带状角页岩经过厚度很小的粒状硅质物带(是一种粒度较粗的非晶质角页岩), 渐变为黄铁矿或硫化物夹层。这个不连续的透镜状构造的岩层, 在西部的赛耶尔湖附近, 厚度为50英尺, 在本区东部小于10英尺。该层由黄铁矿和少量磁黄铁矿、菱铁矿、磁铁矿及角页岩组成。黄铁矿的粒状构造非常发育, 但局部黄铁矿细脉和条带具有致密块状构造。

黄铁矿层向下渐变为菱铁矿或碳酸盐层, 后者形成稳定的板状体, 其厚度在本区的西部可达100英尺, 在中部可达350英尺或更大。这一层的铁矿石储量约几亿吨。本矿层由细粒菱铁矿组成, 同时含有数量不等的铁白云石、方解石、石英、硫化物、磁铁矿和含铁硅酸盐矿物。菱铁矿为灰色到褐色乃至黑色, 外表呈现块状非晶质构造。单个颗粒的横截面为0.003~0.07毫米, 平均0.022毫米。菱铁矿层的个别地段由火山凝灰岩组成, 也有的是薄而稳定的含黄铁矿的页岩。

菱铁矿层的底部, 发现有厚5~10至35英尺的不连续的条带状角页岩层。该层整合产在下伏的火山岩层之上, 未见火山岩的明显的剥蚀或变形痕迹。

下伏的火山杂岩体 铁矿区周围的下伏火岩杂岩, 是由成分变化极大的流纹英安凝灰

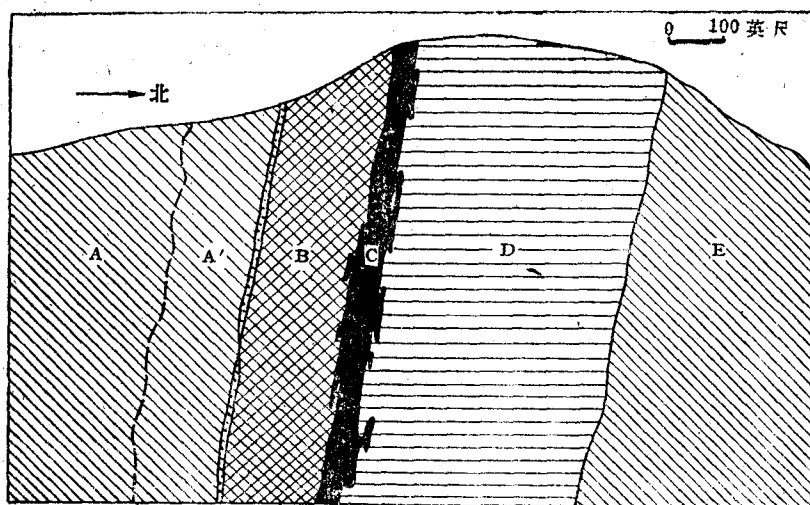


图3 海伦铁矿层的地质剖面

A—蚀变轻微的酸性火成碎屑岩；A'—强烈蚀变的酸性火成碎屑岩；B—菱铁矿；C—黄铁矿；D—一条带状角页岩；E—过渡成分的喷出岩（岩流）

岩、岩流和角砾岩组成的，同时还有大量强烈碳酸盐化了的闪长岩（变闪长岩）和少量石英斑岩侵入体存在（图2）。

距含铁建造发育区3000英尺远的下伏火山杂岩，是由粗粒流纹火成碎屑岩组成的。后者分布于原始火山口以西的火山口附近，而细粒的英安凝灰岩和岩流则在火山口以东。这两种主要的喷出岩相，经过混合火山岩带而彼此过渡，它们向东面倾伏于地表以下3000英尺的深处。

在此杂岩体中，见有许多很大的变闪长岩岩席及岩脉，并含有大量石英碳酸盐细脉；它们和石英斑岩侵入体一样，可能都是与喷出火山岩同生的岩石。在水平和垂直方向上，杂岩体呈带状分布。水平分带是火山剖面原始分带的函数，是由于物质成分的变更引起的。火山岩中的垂直分带，则是其化学作用渐变的函数。这种变化是发生在火山岩喷出地表以及海伦含铁建造堆积的整个时期内。

火山岩的最大化学风化带之下，在大约150英尺的深度上，产出的是最下部的海伦含铁矿层或菱铁矿层（图3）。最强烈的风化带厚度稳定，仅围岩的成分局部有变化。强烈风化带之下，火山岩在3000英尺以内都有变化。

围岩蚀变的化学方向到处都是一样的，差别只在于蚀变的程度，以此为基础，火山杂岩本在垂向上可划分为深蚀变带（厚约150英尺）和产于其下的弱蚀变带（厚几千英尺）。

1375个样品的化学分析数据表明，从岩石中带出的是 SiO_2 ，而构成碳酸盐的带入组份则是 FeO 、 MgO 、 MnO 和 CO_2 。个别剖面火山岩中的 Al_2O_3 含量，并不因为其化学改造的程度而变化，说明火山岩原始成分是相当均匀的。

氧化带（图4）包括下伏的流纹岩和英安岩岩层。流纹岩（72.3%）和英安岩（59.8%）中 SiO_2 的平均含量，在矿带（菱铁矿层）附近有所减少，在离矿体150英尺的地方分别为

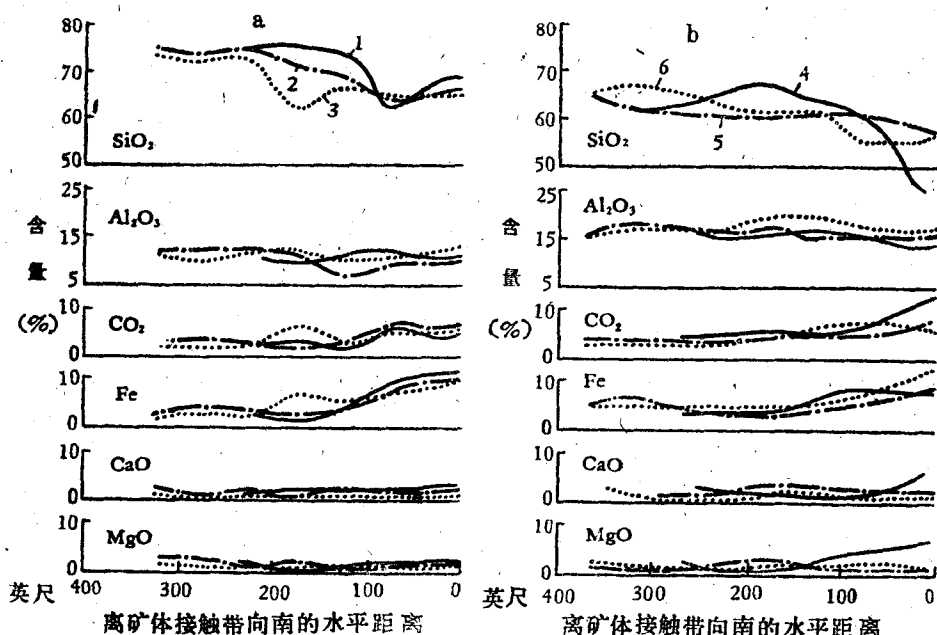


图4 说明下伏火山杂岩体中氧化过程方向的曲线
a—流纹火山岩； b—英安火山岩； 1~6—标本号

64.1和58.4%，而碳酸盐的平均含量则成比例地增多。火山岩的化学改造直到几千英尺的深处依然分布很广，同时还存在着厚而稳定的强烈被改造的岩带，这都说明在水平产出的火山岩中，化学改造是深度的函数。化学研究数据表明，这种改造作用并不决定于局部的构造特征（如断裂和裂隙），也不取决于岩相的性质。改造作用的机理，显然与以热泉、喷气孔及类似的搬运系统等形式存在的、向上运动的火山溶液有关。这就使得它有很高的渗透性，能够引起刚刚沉积不久的主要是靠细质的火成碎屑岩的改造。

理论上，火山溶液和火山气穿过火山岩层的时间，是在火山爆发期。它们与地下水一起向上运移，穿过新鲜的时代较新的靠细火成碎屑岩（这种岩石被玻璃质的多孔碎屑充填），并穿过所有它能够到达的孔洞（包括孔隙、碎屑间的接触线）、裂隙以及诸如火山颈、火山筒、裂隙和其他最普通的通道。在溶液向上运移的时期，原始的重碳酸盐-硫酸盐的饱和水溶液，能够促使火山玻璃的脱玻璃作用和与次生矿物伴生的原生硅酸盐矿物的改造，同时就有过剩的 SiO_2 被带出。

在火山剖面的底层，来自各方面的巨大压力，强化了岩石的化学改造（中等改造带）。但在沿剖面向上150英尺的范围内，内部压力逐渐超过了上面的岩石负荷所引起的压力。结果在150英尺厚的上部，化学改造达到最高峰（深改造带）。

饱含原始火成组份（如铁的重碳酸盐和硫化物）和少量被淋蚀出来的 SiO_2 的火山溶液，流到地表上的水域（如海或湖）。随后发生的化学组份的沉淀，就堆积成菱铁矿、黄铁矿和条带状角页岩层（以沉积先后的次序列出）。此时的基本因素是：在岩石与水的界面上失去

了 CO_2 ，压力减小，从而在火山喷发的中心附近导致层状的致密菱铁矿迅速沉积；温度逐渐降低，引起条带状角页岩在菱铁矿层之上缓慢堆积。硫化矿层处于中间（过渡）部位，可以证明类似的温度与压力条件，同时生物因素也有一定影响。

因此，海伦含铁建造岩石的主要化学组份，表明它们与火山作用的产物有着直接的联系。三个岩相变种，可能是由于沉积和石化期间水介质条件变化的结果生成的。海伦含铁建造中一定数量的 SiO_2 ，可能形成于它从下伏火山岩被淋蚀的过程之中，这些岩石的相互关系也值得注意，它是海伦含铁矿层与太古代火山活动有直接成因联系的证据。

米契皮科坦盆地

在长70英里、宽30英里的米契皮科坦地区，见有暗色火山岩和霏细火山岩、碎屑岩和条带状含铁建造的岩石（包括海伦建造在内）以及时代较新的侵入岩。特别值得注意的是表层岩石，尤其是霏细火成碎屑岩、碎屑岩和含铁建造的分布、性质及其与原始沉积盆地的相互关系。

米契皮科坦地区的岩石，构成一些轴向东西和北西的、变动复杂的褶皱，形成纵、横截面上均有倾伏的复杂褶皱构造（图5）。另外，岩石还被许多南北向的断层切穿。

由于变形的结果，岩石的走向主要是东西向。南北走向则相当于“米契皮科坦”时期盆地外形的主要方向。经过米契皮科坦地区并垂直于盆地主要方向的东西向地层剖面，从横向上切穿了岩相的走向。

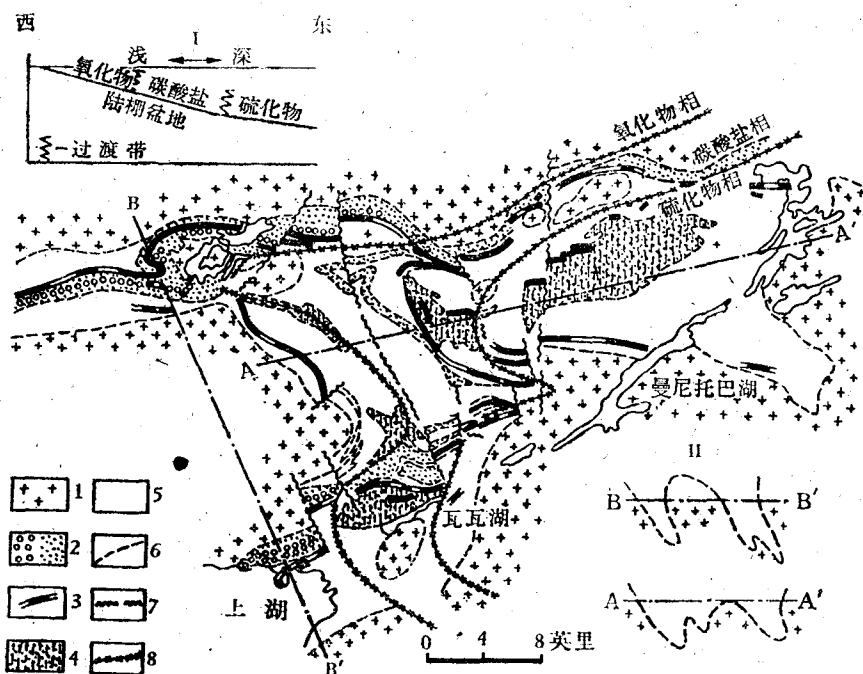


图5 米契皮科坦盆地中含铁岩相的分布

1—花岗岩；2—深水沉积物（左侧）：砾岩、杂砂岩、页岩；3—含铁建造；4—霏细火山岩；5—铁镁火山岩；6—地质界线；7—断层；8—含铁岩相的过渡或大致界线；I—穿过米契皮科坦盆地的理想剖面，说明随着深度的增加各岩相的互相关系；II—构造剖面

在米契皮科坦剖面中，见有常见的优地槽型火山岩和沉积岩相。多数情况下岩石的产状为透镜状。只有个别类型的岩层分布于所研究过的整个领域，大多数则分布范围有限。米契皮科坦杂岩体，包括一定数量的火山岩和沉积岩相（图6）。它的最下部，是一层暗色火山岩，分布面积遍及整个地区。在西面，这一层被碎屑岩覆盖，碎屑岩向东其粒度变细，最终变为霏细火山岩，再向上就是暗色火山岩。向东去，在含铁建造中曾见到由沉积岩到火山岩的渐变过渡现象。

霏细岩岩层见于本区东部的果德烈奥附近和中部的麦格皮地区以及瓦瓦湖以南。霏细岩剖面中见有各种安山-英安-流纹火成碎屑岩和熔岩流的堆积。最酸性的一种岩石，其中就有流纹岩，产于剖面的上部。直径可达到3英尺的巨大火成碎屑岩角砾，常常产于岩层的顶板。局部以凝灰岩和凝灰角砾岩为主，并有安山-英安岩成分的熔岩流存在。碳酸盐化是霏细火成碎屑岩的一个典型特征。

霏细火山岩是强烈爆发活动的产物。这种爆发活动能够迅速地形成厚度很大但不规则的岩体。

含铁建造 含铁建造几乎遍及整个米契皮科坦地区。在本区的中部和东部，该建造赋存于火山岩中，产于霏细岩与暗色火山岩的接触带上。在西部，类似的含铁建造产于沉积岩中。在本区的中部和东部，与火山岩伴生的米契皮科坦含铁建造，包括条带状角页岩、硫化物和碳酸盐三层（图7，海伦和果德烈奥剖面）。条带状角页岩层的厚度一般为100~200英尺，在海伦地区最厚达到1000英尺（本区的中部），在东面变薄并尖灭。硫化物层的厚度10~30英尺，最厚120英尺（果德烈奥地区及本区东部）。下部的碳酸盐层不连续，呈似透镜状，主要组成矿物是含铁碳酸盐，并含黄铁矿、磁铁矿、磁黄铁矿和硅酸盐矿物等杂质。碳酸盐层的厚度小于200英尺，最厚350英尺（海伦铁矿区，瓦瓦湖附近）。在本区的中部，该层主要由菱铁矿组成，向东方，方解石的含量增多。

在西部地区，与沉积岩伴生的米契皮科坦含铁建造（图7，卡别努剖面），包括一个厚大的角页岩层，后者是由角页岩、碧玉和赤铁矿角页岩的薄层互层组成的。单个含铁建造带的厚度为50~250英尺，有时达到600英尺，常是一层或两层赋存于同一剖面中。该类含铁建造，产于沉积岩层中，其中常有杂砂岩和页岩交互产出。

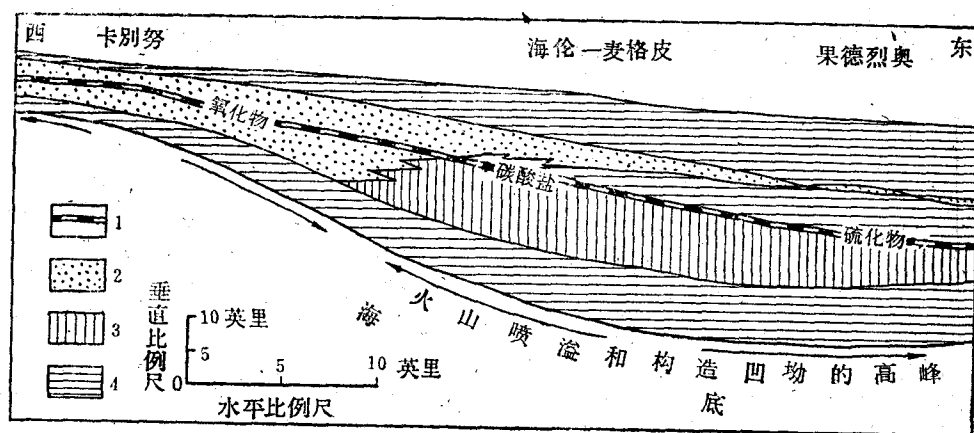


图6 穿过米契皮科坦盆地恢复后的东西向剖面

1—含铁建造， 2—深水沉积物， 3—霏细火成碎屑岩， 4—磁铁质火成岩

米契皮科坦地区含铁的岩相，从西到东常彼此交替产出（图5）。氧化相主要是在本区西部的卡别努湖附近，碳酸盐相在本区中部的海伦和麦格皮，硫化相则在东部的果德烈奥地区。研究构造关系查明，各岩相之间的弯曲界线，主要与区域性的褶皱有关。与碎屑沉积岩层有关的氧化含铁相，在多数情况下与西部含砾岩的浅水沉积物相吻合；碳酸盐含铁相与中部较深水的沉积物一致；而与更浅水的粘土沉积物伴生的硫化含铁相，则分布于本区东部。这些关系说明，铁和二氧化硅的沉积特点，是由沉积介质的条件所决定的。盆地的深度以及由浅水介质向西部较深水条件下的氧化环境、再向东部还原介质的过渡，都是重要的因素。西部的介质条件，促使铁的氧化物（赤铁矿和磁铁矿）大量析出。

如果注意一下构造因素，并考虑到喷发岩的产状要素，就可以清楚：经过瓦瓦和麦格皮向北延展的一条线，同时也就是靠细喷发岩分布的西部界线。这条线大体上与氧化和碳酸盐含铁线的界线是一致的。上述事实以及西部浅水碎屑岩相的存在，证明适合于向东倾斜的大陆坡沉积物堆积的那种条件，在铁和二氧化硅堆积的整个期间，都是占统治地位的。

米契皮科坦含铁建造属于火山活动的产物，其理由是：

1) 铁（菱铁矿、黄铁矿）主要富集在靠细火山岩层厚度最大的地方，这里火山源附近含铁的数量也最多；2) 含铁建造形成的速度相当快，发生在喷出旋回之末期，始于暗色岩的生成，终于靠细火山岩的生成；3) 含铁建造的堆积伴随着二氧化硅从稍后生成的靠细火成碎屑岩中被淋蚀。

所以，尽管火山成因的米契皮科坦含铁建造，也与一定的火山中心有关，但沉积条件和盆地的形状，对其形成也有着很大的影响，这就使典型的陆棚相得以生成，有人认为这对世界范围内的含铁沉积物都有代表性。米契皮科坦含铁建造无论在垂直和水平方向上所表现出的多样性，乃是不同成分沉积物的堆积以及沉积环境的变化所造成的。应当指出的是，广泛

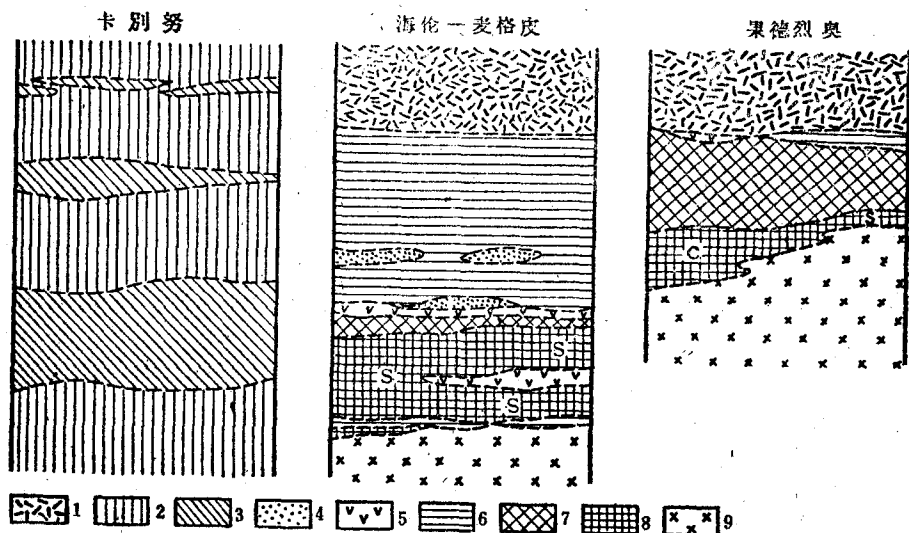


图7 氧化相、碳酸盐相和硫化物相的典型剖面

1—安山岩流；2—页岩-杂砂岩；3—层间磁铁矿角页岩；4—石墨页岩；5—粒状角页岩；6—条带状角页岩；7—黄铁矿；8—碳酸盐（S—菱铁矿，C—灰岩）；9—流纹英安凝灰岩，角砾岩、岩流。