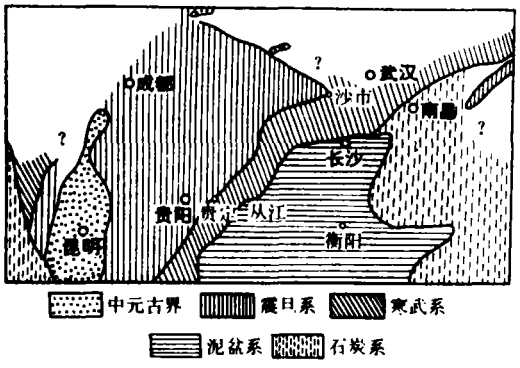

南方第一套碳酸盐岩层位区域变化示意图
（示第一套碳酸盐岩层的层位）

需要指出的是，第一套碳酸盐岩层在区域上出现的时、空规律，同大陆向海洋方向的增长之间仅是一种方向上和步调上的协调关系，在具体区域界线上并不完全吻合。从南方来看，在地槽固结之后出现的第一套碳酸盐岩的分布范围，一般小于已固结的前期地槽的范围，这意味着陆表海覆盖的范围要小于前期已固结的地槽范围。比如，经过晋宁运动扬子地台固结之后，第一次出现的较厚大的碳酸盐岩沉积，覆盖到东部的沙市—贵定一线，约占扬子地台东西宽的三分之二。华南加里东地槽发育起来以后，早、中寒武世的代表相对稳定的地质环境的碳酸盐岩沉积才向东扩展到从江—长沙—南昌一线，才大体和扬子地台的东南边缘相吻合了。加里东后地台的情况也与此类似。

从川南—滇中一带往西，第一套碳酸盐岩层的层位，同东部一样，总的也是依次向外升高，分别为震旦、寒武、泥盆和石炭纪。碳酸盐岩向西推进的速度比向东推进的速度小，这可能与西部属加里东—印支地槽，地壳长期处于活动状态有关。

我国北方东部第一套碳酸盐岩的发育过程与南方有些不同，总的虽然还是以稳定陆块为中心向外扩展，但其具体发育过程是先在陆核旁侧发生裂陷作用而开始洋壳化，出现长形的海槽。在发育了裂陷盆地型的陆源建造和火山建造之后，洋壳化的过程似乎终止，转入相对稳定的阶段而发育陆表海，出现厚大、稳定的碳酸盐岩沉积。例如，在鞍本—内蒙太古代陆核的南侧向东南依次有东西向早元古代辽东海槽的形成和东北向滹沱海槽的形成，往南、往东有中元古代北东向太行—燕辽海槽的形成，在以上的海槽中分别、依次出现了早元古代和中元古代的碳酸盐岩沉积，它们分别都是各自发育区内的第一套比较厚大、稳定的碳酸盐岩。内蒙的白云鄂博群及晋南的中条群，其中碳酸盐岩的发育过程也与此类似，它们也都是各自发育区的第一套碳酸盐岩。

北方东部前寒武系碳酸盐岩的发育是从几个中心出发向外扩展的，至寒武纪才连成片发育，所以第一套碳酸盐的时空分布图景要比南方复杂，但尽管如此，金属矿床集中在第一套碳酸盐岩中产出的趋势还是很清楚的。

参 考 文 献

[1] 谭顺道，沉积碳酸盐岩及其研究对金属矿床的价值，地质与勘探，1981年第8期

[2] 杨敏之等，白云鄂博矿床稀土元素分布的层控系列及矿床成因（摘要），层控矿床地球化学讨论会文件，1981年，未刊稿

[3] 孟庆润，论内蒙白云鄂博铁矿含矿围岩——白云岩沉积成因及其沉积环境的分析（摘要），第二届全国碳酸盐岩学术会议文件，1981年，未刊稿

[4] 李兆龙等，内蒙狼山地区层控硫化物矿床某些地球化学特征研究（摘要），层控矿床地球化学讨论会文件，1981年，未刊稿

[5] 姜春发，构造迁移简论，第二届全国构造地质学术会议论文摘要汇编（上册），1981年

后江桥生物礁与矿床成因

湖南省地质局　杨开济

以往人们所熟知的是"层控"找矿，近年来，礁控找矿已被越来越多的人所接受，据初步调查，湖南省境内泥盆、寒武、震旦系等碳酸盐地层中的一些含菱铁锰、硫铁铅锌矿床都与生物礁有成

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

因联系。本文讨论的晚泥盆世后江桥菱铁锰、铅锌矿床，即为礁控泻湖沉积—改造类型矿床一例。

矿区地质及沉积相

后江桥矿区位于湘南九嶷山穹窿西北缘的四马桥复式向斜西翼（图1）[1]。向斜轴部地层主要为D_{3s}—D_3碳酸盐建造，翼部主要由D_1—D_{2t}碎屑岩组成。不整合其下的ϵ_1深灰—灰绿色变质砂岩、板岩分布在向斜东西两侧。

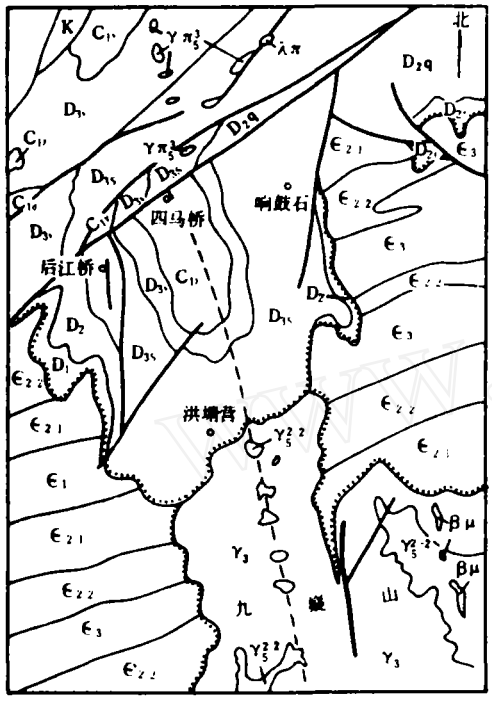

图1　道县四马桥向斜地质略图

ϵ_1－下寒武统；ϵ_2－中寒武统；ϵ_3－上寒武统；D_1－下泥盆统；D_2－中泥盆统；D_{21}－跳马涧组；D_{2q}－棋梓桥组；D_{3s}－佘田桥组；C_{1d}－大塘阶；C_{1y}－岩关阶；K－白垩系；γ_3－加里东期花岗岩；γ_5^2－燕山早期花岗岩；$\gamma\pi_5^1$－燕山晚期花岗斑岩；$\beta\mu$－时代不明辉绿岩；$\lambda\pi$－时代不明石英斑岩

四马桥向斜为一轴向南北的不对称复式向斜，西翼沉积厚大，向斜向北倾没，南端翘起，超复在加里东期雪花顶花岗岩体之上；洪塘营山顶花岗岩与佘田桥组灰岩间仅有一薄层风化壳型花岗碎屑岩，且佘田桥组底部灰岩层位比向斜中段后江桥等处层位要高。据此，认为有一海岛存在。向斜其余部位多存在着厚度不等的跳马涧组及棋梓桥组沉积物。兹将四马桥向斜西翼剖面沉积相特征简述如下：

泥盆纪早、中期（D_1－D_{21}）沉积碎屑岩，据岩性及生物化石初步定为陆相—滨海相沉积环境，厚约294米。D_{2q}为滨海海岸沙滩—滨岸海盆碎屑岩、瘤状泥灰岩，自成一海侵海退旋回单元（第2_{1-3}层）——旋回Ⅰ；厚25.76米。

晚泥盆世D_{3s}也自成一海侵海退旋回单元——旋回Ⅱ，厚310.73米。下部为较大的海侵阶段（3～57_1层），出现生物礁；中部为缓慢海退阶段（57_2～102层），出现生物滩及泻湖微相，钻孔中相当这两个微相的沉积物为微含枝状层孔虫的白云岩—雪花状灰岩3次互层（厚69米），含浸染状及白云石脉状铅锌锰菱铁矿体，主要矿层在第二互层的白云岩（大致相当地表剖面的71～81层）中，说明成化程度更高，趋向于铅锌锰菱铁的富集。

泻湖结束后，台地局限浅海出现较大的持续海退序列，D_{3s}上部鲕粒滩及核形石滩（103～120层）即为此环境的代表产物，属粒屑滩、生物滩微相。

D_3时期经历了四次海退式小旋回——旋回$Ⅲ_{1-4}$（121～149层），厚约262米。与D_{3s}相比，总的来说是海水退缩。

四马桥向斜泥盆纪沉积环境模式如图2，经对比研究[2]，此模式亦适用于湘南道县、江华、郴县一带，但岩性各地有所差异。

生物礁的形态、规模、特征与生态

1.礁的形态、规模　所谓生物岩礁，简单地说，需具备三个条件：即有大量的造礁生物，是原地增殖垒砌的，具有透镜状外形——抗浪功能[3]。广泛发育于四马桥向斜周围D_{3s}底部的四马桥礁，断续长约35公里，高约80～20米，据后江桥钻孔估计，礁宽断续约1公里，局部具小型塌积

1）湖南省地质局409队，湖南道县后江桥铁锰铅锌矿区普查评价报告，1970年。

2）湖南省石油指挥部，湘中地区中泥盆世—早石炭世岩相古地理及其与油气的关系，1979年。

3）杨开济，湘西南中上泥盆统礁特征与找矿意义，《湖南地质科技动态》，1979，1期。《湖南地质科技情报》，1980，3期。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

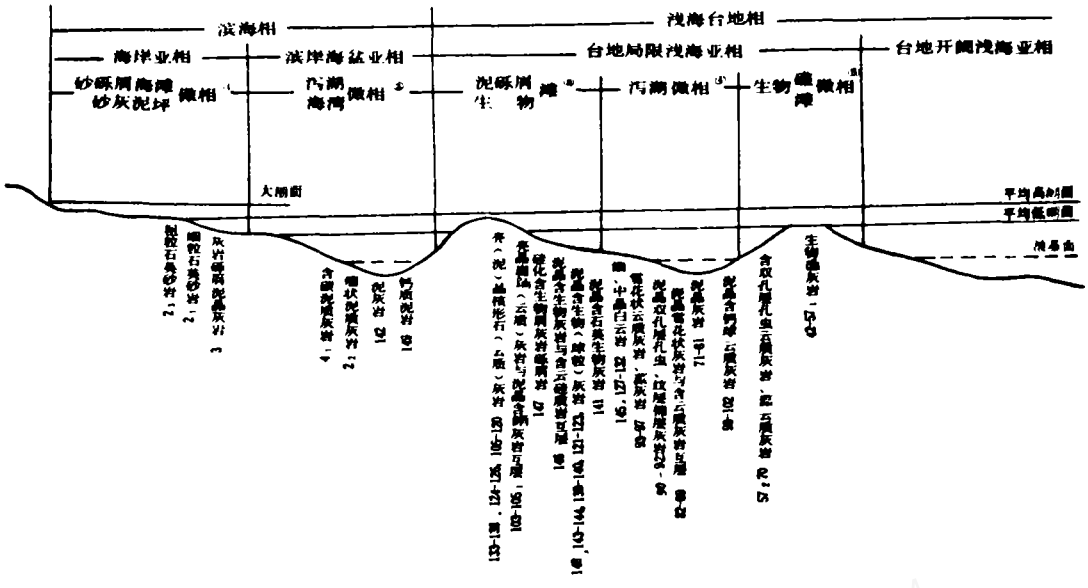

图 2　四马桥向斜 D_2q-D_3s-D_3x 沉积环境模式图

岩。平面形态因北部被横断层破坏难以恢复，目前呈U字形（图3）。剖面形态呈高低不一的不对称型（图4）。礁的高度视泻湖盆地沉降深浅而异，一般环礁西部（龙门桥、浪石一带）较东部（社头、其昌岭一带）及南部（洪塘营一带）高大，北段（龙门桥、社头）较南段（浪石、其昌岭）高大。

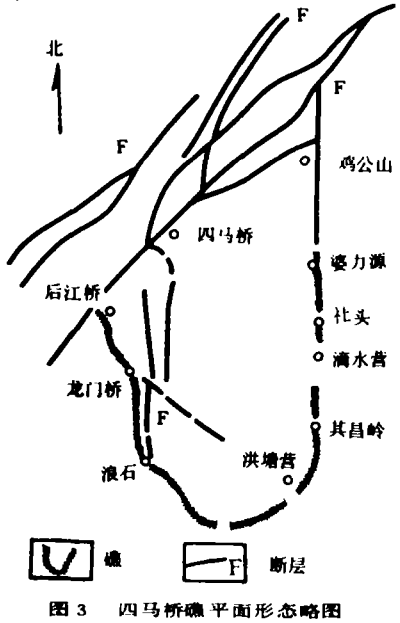

图 3　四马桥礁平面形态略图

2.礁核亚相剖面　环礁西部龙门桥一带礁核亚相剖面见表1。

3.礁的特征　表1表明，生物礁具有下列

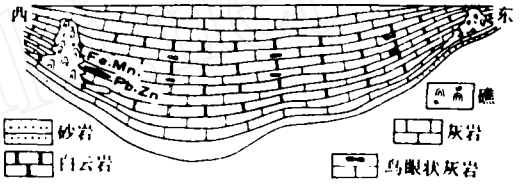

图 4　四马桥礁剖面形态示意图

特点：

（1）多旋回多韵律性　造礁生物组合可划分为两个旋回，17个小旋回（韵律）。旋回Ⅰ因半球状、球状与枝状层孔虫趋向分层反复叠生而显韵律，自下而上由半球状、球状、枝状混生演化为枝状单生，构成一个韵律，平均韵幅为6.9米；旋回Ⅱ为层孔虫与藻分层生长，藻层厚仅0.15～0.7米，出现在韵律的顶部，韵律共有13个，平均韵幅为4米。

（2）成层性较好　生物礁亦可显示层理，作者已作过分析[3]，认为在特殊的7种环境下可以形成层理。四马桥环礁成层性较通常的礁要好，主要是由于生物门类种属韵律状变更、生物造架能力差、风化缝合线构造发育所造成，其余几种情况较为次要。

（3）造礁生物主要为层孔虫及蓝绿藻，而块状层孔虫及群体珊瑚少见　填隙物为泥晶而不是亮晶方解石。

（4）造礁生物层孔虫和藻含量很多　一般

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

礁核亚相剖面　　表1

旋回	韵律	岩性 下部	岩性 上部	岩性 顶部	颜色	附生生物	其他	厚度（米）
Ⅱ	Ⅱ13	层孔虫含白云质灰岩		藻灰岩	深灰	少量单体珊瑚		3.0
	Ⅱ12	泥晶雪花状含层孔虫白云质灰岩		〃	灰		最顶部为雪花状灰岩	1.6
	Ⅱ11	雪花状层孔虫白云质灰岩		〃	灰			1.45
	Ⅱ10	枝状层孔虫灰岩→泥晶灰岩→枝状层孔虫灰岩		〃	深灰	微量珊瑚	夹数层薄层雪花状灰岩	10.85
	Ⅱ9	枝状层孔虫灰岩→半球状层孔虫灰岩→泥晶雪花状含白云质灰岩		〃	深灰 灰	微量通孔珊瑚、腕足、球状层孔虫$d=3\sim9$厘米	有的藻层内具白云石雪花构造	4.75
	Ⅱ8	细晶白云岩			深灰		下部约3米沿走向变为白云质灰岩	8.6
	Ⅱ7	层孔虫灰岩夹氧化铁锰矿扁豆体		藻灰岩	深灰灰		上部含内碎屑	6.65
	Ⅱ6	层孔虫灰岩	枝状层孔虫灰岩	〃	灰			2.08
	Ⅱ5	枝状层孔虫灰岩	半球状层孔虫灰岩	藻含白云质灰岩	深灰 灰		沿走向变为白云岩、白云质灰岩	3.8
	Ⅱ4	半球状层孔虫灰岩	枝状层孔虫灰岩	藻灰岩	〃	微量单体珊瑚、螺	中上部枝状层孔虫灰岩强烈白云石化成中晶白云岩	3.55
	Ⅱ3	半球状层孔虫灰岩		〃	灰	少量螺及生物碎片	藻灰岩已白云石化	1.13
	Ⅱ2	泥晶含层孔虫灰岩		藻白云质灰岩	深灰	少量无窗贝、无洞贝、石燕等腕足及平卷螺		1.07
	Ⅱ1	半球状层孔虫灰岩		〃	深灰 灰		藻丝为泥晶灰岩，藻丝间为细晶白云岩，藻层断续分布，其间为枝状层孔虫	3.08
Ⅰ	Ⅰ4	层孔虫灰岩	枝状层孔虫灰岩		深灰 灰	少量单体珊瑚、苔藓	下部及顶部白云石化强烈，成细晶白云岩	9.1
	Ⅰ3	〃	〃		〃	少量宝塔螺、平卷螺、单体珊瑚、弓石燕		6.77
	Ⅰ2	〃	〃		灰	少量六方珊瑚、切珊瑚、切多斯贝	含紫红色铁泥质条带	4.1
	Ⅰ1	半球状层孔虫灰岩	枝状层孔虫灰岩		深灰 灰	少量弓石燕等腕足及通孔珊瑚、钩珊瑚		7.3

表中半球状层孔虫多为小层孔虫、放射层孔虫、去角上柱层孔虫、洞层孔虫、秃柱层孔虫等。

枝状层孔虫为双孔层孔虫属。层孔虫灰岩系指半球状及枝状层孔虫含量相差不多的礁灰岩。藻为蓝绿藻。

为40～80%，都是原地增殖的。它们的多旋回、多韵律特点以及无搬运迹象是：层纹状水平连绵的藻丝体层，大小悬殊的半球状、枝状层孔虫混生在一起而个体完整无擦痕等都足以说明是土生土长的。

（5）具明显的透镜状外形　以龙门桥—车子江一带为例，地表礁高为79米，往东平距约200米的3线5孔层孔虫礁分叉为两枝，礁高急剧降低，连夹层总共20米，礁高：礁宽　3：10，故认为具备抗浪功能。3线5孔剖面为：D_2砂岩以上为厚0.23米的灰黑色钙质页岩（D_{3s}），页岩以上为第一层礁，礁高10.2米，往上为5.2米厚

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

的灰岩、白云岩互层，再上为第二层礁，礁高4.7米，最上面是一大套（90米厚）下部含矿的泻湖碳酸盐岩夹核形石滩灰岩。

人们往往只看到前三条与众礁不同的特点：多韵律，成层状，缺乏“造架”生物，便习惯地称之为“生物层”、“生物滩”，未料到不详细研究两条标志会带来错误的判断。

4.礁的生态学 礁体为了自己的生存，在展布形态、构造和生物组合上不断改变和调整，力争最大限度地适应其生活水域环境的变化，这就是礁的生态学。因此，研究礁体的某些微细特点、规律及形成机理，有助于环境的分析。

（1）礁的展布形态与海侵方向、海侵速度 四马桥向斜泥盆纪生物礁发生在大规模海侵开始期，即佘田桥组底部，结束于海退咸化阶段（见图2）。

从生物礁发生的层位看，由向斜北部往南部逐渐升高，鲕交错层所示水流方向为近南北向，故属海侵式礁。海侵是由北向南推进的。另外，生物礁沿向斜两翼分布的连续性较好，形态较完整，仅滴水营等少数地段缺失而呈不连续状（图5），故推测海侵速度较为缓慢。若是快速海侵式礁，其展布形态如图6。

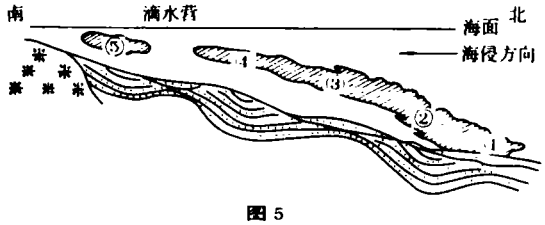

图5

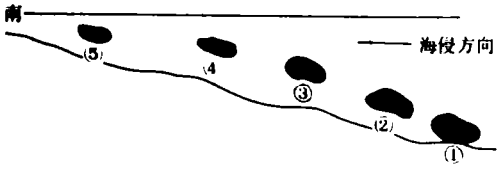

图6

因此，滴水营断礁块分布的时空环境可能是海侵速度较快的阶段，海底地形坡升度不大，不利于生物礁的成长。

（2）礁的生物组合与海水升降、深度、水动能 本区生物礁的生物组合明显可分为两个大旋回，17个小旋回（韵律），代表生长期间曾大体发生过两次较大的海进海退，17次小的海水升降运动，反映了海水升降的频繁性及其变化状态的短暂性和重复性。造成这种现象的基本原因是振荡不息的浅水环境。

造礁生物组合和泥晶填隙物则说明波浪不大，水动能中等偏弱。

（3）造礁生物生态与海水盐度 局限海盆（半封闭泻湖）内的海水盐度经常不断地变化着，表现在生物种属、门类的更替上。不同生物的耐盐性不同，层孔虫对珊瑚来说是广盐性的生物，而珊瑚则是狭盐性的生物；层孔虫中枝状的耐盐性较球状半球状块状层孔虫强，藻类（蓝绿藻等）又似乎比枝状层孔虫耐盐性强，耐盐性强的生物往往可以在盐度更高的浅水蒸发环境中生存繁殖，其岩石经常伴有白云石化、雪化鸟眼等构造发育（见表1）。因此，从海水盐度的角度来分析造礁生物韵律状生态，说明在礁生长过程中泻湖海水盐度由较高到高，多次反复稀释浓缩、再稀释再浓缩的变化特点，从而也就说明泻湖是半封闭状态的，它与外界海水的交换被局限。

（4）造礁生物生态与海水温度 珊瑚生长最适宜的温度范围为23～27℃，在更高和更低的温度下，珊瑚开始失去俘获食物的能力，故一般认为大量造礁珊瑚与层孔虫等伴生的水域是比较温暖的。由于温度与盐度往往有一定的对应性，随温度的升降生物发生下面生态分异顺序：

珊瑚、层孔虫 ⇐⇒ 层孔虫 $\underset{\text{温度降低}}{\overset{\text{温度升高}}{\rightleftarrows}}$ 枝状层孔虫 ⇐⇒ 藻类

矿床地质及成因

1.矿床地质

（1）矿体分布、产状、规模 后江桥矿区地表全为含Pb、Zn的氧化铁锰矿，地下隐伏铁锰铅锌矿体具一定规模的有Ⅰ1、Ⅰ2、Ⅱ、Ⅲ四个矿体。Ⅰ号矿带主要为铅锌矿化带，Fe、Mn较少，分布于矿区西部，多受断裂控制呈脉状产出，矿石较新鲜坚硬。Ⅱ、Ⅲ号矿体为铁锰铅锌矿体，分布于矿区东部，多呈透镜状、似层状产出，它们大多风化成褐色土状，仅Ⅱ矿体南段残留新鲜矿石。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

四个矿体中，以Ⅱ矿体（位于Ⅲ矿体之南）规模最大，长2000米，宽100～320米，厚1～60米，它聚集了全区总储量的90%以上的Fe+Mn矿石量和70%的Zn+Pb金属量。

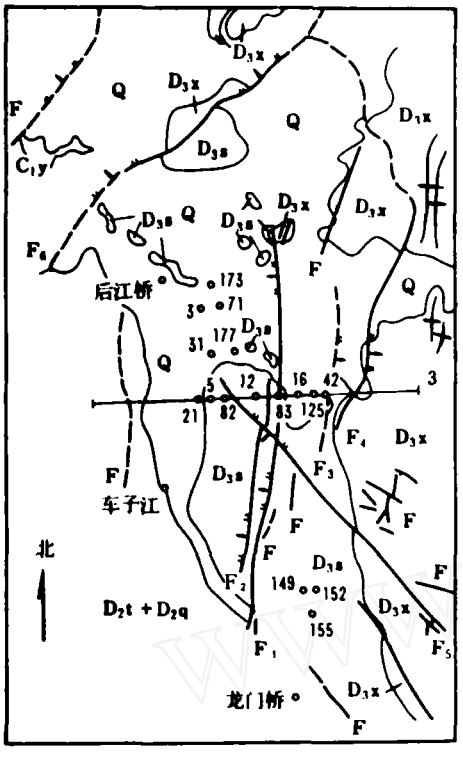

图7　道县后江桥矿区地质略图

（2）构造、岩浆与矿床的关系　矿区断裂构造发育，多集中在东半部，较大的断层以北偏东向的正断层为主，计有四条（F_1、F_2、F_3、F_4），分布于Ⅱ矿体西东两侧各二条（图7）。F_5为北西向逆断层，将Ⅱ矿体及F_1、F_2切成南北两段，并把Ⅱ矿体南段抬起，北段沉落。因此，Ⅱ矿体北段地质构造特点为断裂高度集中，地势较低，矿脉相应发育，潜水涵集，溶洞较多，矿体改造彻底的地带；Ⅱ矿体南段断裂发育较弱，地势较高，潜水量不多，矿体改造不彻底。

矿区西半部大的断层相对较少，发育一些热水矿化白云岩小脉，潜水改造轻微。

矿区周围有零星的燕山期花岗岩小岩体（枝），距离都在12公里以上，对本区成矿作用影响不大。

（3）矿石成因类型与矿物特征　可分为原生矿石和改造矿石两大类型，地表氧化矿石（图8）本文暂不讨论。

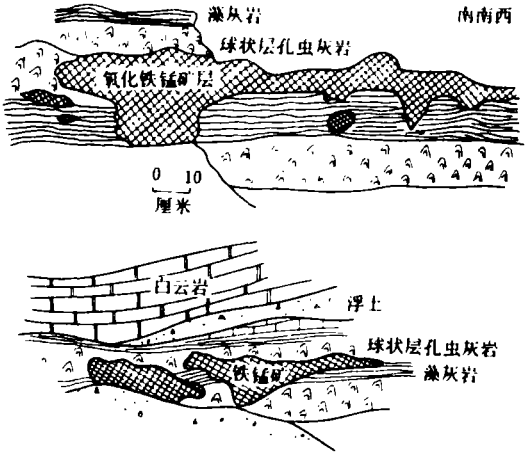

图8　龙门桥矿坑素描图

①原生矿石：为沉积—成岩早期形成的，呈层状、透镜状，以锰菱铁矿为主，次为闪锌矿、方铅矿及少量黄铁矿。

锰菱铁矿为灰—深灰色，氧化后稍带黄色，呈他形—自形细晶、叶片状微晶镶嵌生长，或致密胶体环带状，晶体内外常混有泥质物（ZK3、22、31）。闪锌矿、黄铁矿常呈细晶—微晶粒状、小团块状等。

这些金属矿物常相伴而生，构成白云岩的胶结成分，呈小团状，纹层稠密浸染状，他形粒状等，其形态依白云石粒间孔隙形态而异，以方铅矿表现最为常见（ZK3、4、5、177），有时也构成灰岩及D_{2q}长石石英砂岩的胶结成分（ZK22）。

这些金属矿物在成岩早期也常交代白云岩中层孔虫及鸟眼白云岩（ZK31、71、155、173）。交代层孔虫的锰菱铁矿构造不一，体壁为微晶—隐晶质胶状，体腔空胞为细晶半自形，闪锌矿、方铅矿则呈他形粒状充填交代基质锰菱铁矿。

②改造矿石：即受构造断裂控制的后生矿石，可分为热水改造和地下水改造矿石两类；前者又可细分为脉状矿石、角砾岩型矿石及裂隙面矿石三种，以脉状者为主。

热水改造矿石：脉状矿石由淡米黄色锰菱铁矿、黄色闪锌矿（二者颜色均较原生者浅）、方铅矿、黄铁矿及白云石组成，呈细脉状、网脉状穿入白云岩中（ZK3、5、177），或闪锌矿、方铅矿成断续脉状穿入白云岩、锰菱铁矿中，

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

（ZK3、4），局部也有方铅矿或黄铁矿或短细脉穿入白云岩、闪锌矿中（ZK5）。锰菱铁矿多为半自形，粒度较原生者大，有时包有不规则细粒原生灰色锰菱铁矿（ZK31）。

角砾岩型矿石为白云岩碎裂角砾岩胶结白云石，并混有金属矿物，金属矿物呈浸染状、集合体状（ZK3、4、5），锰菱铁矿为极浅的黄白色—肉红色。

裂隙面矿石主要为白云岩裂隙面上分布的方铅矿、闪锌矿、黄铁矿，颗粒较大。

地下水改造矿石：为原生矿石和热水改造矿石经地下水淋滤作用而形成的土状氧化矿石，Ⅱ矿体北段均属之。

原生矿石和改造矿石的矿物，具有相似的生成顺序，大致是：白云石→锰菱铁矿→黄铁矿→闪锌矿→方铅矿。

③矿物化学成分[1]见表2、3。

2.矿床形成阶段 可分为沉积—成岩早期作用和改造二大阶段。

（1）沉积—成岩早期作用阶段 层状铁锰铅锌矿沉积于礁控泻湖环境形成以后湖水的蒸发期（海进层序中相对间歇阶段，见图4、8），即泻湖沉积由灰岩过渡为白云岩时。由于湖水蒸发，咸化碱化程度更高，造成大量生物、礁体生物死亡和被埋藏。随着有机质不断分解及活礁体生物的呼吸作用，介质氧化电位逐步降低，在中性和半还原条件下，大量生物CO_2，促使高价铁锰等氧化物胶凝体还原为碳酸盐。这一趋势的进一步发展，介质变为碱性，生物H_2S增高，导致铁锰铅锌硫化物相继形成，造成矿石分带现象：矿体下部富集铁锰，上部富集铅锌。

锰菱铁矿化学分析 表2

采样地点		CaO	MgO	Mn	TFe	换算		$MnCO_3$
						$MnCO_3$	$FeCO_3$	$MnCO_3+FeCO_3$
Zk_{22}	原生矿石	2.06	2.57	14.47	28.07	37.1	58.1	38.97
		1.50	2.25	15.30	25.84	39.1	53.6	42.18
		29.41	10.28	5.68	6.82	12.02	14.10	46.00
Zk_3		10.47	5.38	12.44	19.63	31.8	40.8	43.80
		4.23	3.82	12.86	23.78	32.86	49.3	40.02
Zk_4	改造矿石	10.42	4.81	12.88	20.69	32.94	42.94	43.40

闪锌矿、方铅矿化学分析 表3

矿物	Pb	Zn	Mn	TFe
闪锌矿		63.53	0.11	1.75
方铅矿	78.32		0.08	0.77

泻湖水中有机及无机两种成因的CO_2、S均有。因为陆表海上的局限泻湖水很浅，无机CO_2、S总量不多，经蒸发逸出和CO_2用于与Ca化合成方解石的沉积，在没有充分补给的情况下，剩余的CO_2、S总量要比正常海水低得更多，故不足以成为成矿物质的主要来源。显然，成矿物质所需的CO_2、S主要来源于沉积物中礁生物的腐化及细菌硫。

矿床的这一生物化学成因关系，本文试图从CO_2及H_2S的供求量的粗略估算来判别。

①生物所产生的CO_2（C）和H_2S（S）量估算如下：

设生物比重为2， 生物体积=1:2礁体积，生物C含量为18，生物S含量为0.05～0.5%[据А.П.维诺格拉多夫（1949）及H.J.M.Bowen（1966）]。

$$\text{则}C_{\text{礁生物}}=2\times(10,000\times1,200\times30)\times\frac{1}{2}\times18\%$$

$$=6480\text{万吨}$$

$$S_{\text{礁生物}}=2\times(10,000\times1,200\times30)\times\frac{1}{2}\times\left(\frac{0.05}{0.5}\right)\%$$

$$=18\sim180\text{万吨}$$

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

在非礁生物硫中，细菌硫量是可观的，布特凯维奇计算巴伦支海底表层土细菌量为50万吨/公里[3]。

②Ⅱ矿体所需的CO_2（C）和H_2S（S）量估算如下：

已知Ⅱ矿体金属Fe + Mn = 3000（万吨，矿石量）× 45%（Fe + Mn品位）=1350万吨，Fe：Mn=3：1

则 $Fe = 1350 \times \frac{3}{4} = 1012.5$万吨

$Mn = 1350 \times \frac{1}{4} = 337.5$ 万吨

Fe	CO_3
56	60
1012.5	x

$x = \frac{1012.5 \times 60}{56} = 1084.82$万吨

（形成$FeCO_3$所需的CO_3量）

Mn	CO_3
55	60
337.5	y

$y = \frac{337.5 \times 60}{55} = 368.18$万吨

（形成$MnCO_3$所需的CO_3量）

$\therefore CO_{3(Fe+Mn)} = 1453$万吨

$C_{(Fe+Mn)}$总量 $= \frac{12}{60} \times 1453 = 290.6$万吨

已知Ⅱ矿体金属Pb+Zn=50万吨，Zn：Pb=3：1

则

Pb	S
207	32
$\frac{50}{4}$	x

$x = \frac{32 \times 12.5}{207} = 1.93$万吨

（形成PbS所需的S量）

Zn	S
65.4	32
50～12.5	y

$y = \frac{32 \times 37.5}{65.4} = 18.19$ 万吨

（形成ZnS 所需的S量）

$\therefore S_{(Pb+Zn)}$ =总量 = 20.12 万吨

从①得知C、S供应量能粗略满足②需求量，故矿床的生物化学成因判别成立。

（2）改造阶段　沉积型铁锰铅锌矿床形成以后，在漫长的地史年代中经多次地质构造变动，发生破碎与变形，为热水、地下水活动创造了良好条件，形成矿区的改造矿石。经热水改造作用，首先使碱土金属及Fe、Mn、Pb、Zn等不断转入溶液，发生酸性淋滤作用。当溶液碱性不断增强时，相继产生碱性沉淀作用，其晶出顺序大致按各种矿物的近似电离势能（千卡/克分子）的大小进行（表4）。

矿物的近似电离势能常数（Y）　表4

矿　物	Y	矿　物	Y
菱铁矿	221.0	闪锌矿	208.0
黄铁矿	218.0	黄铜矿	199.8
菱锰矿	216.0	方铅矿	178.5

这一作用的结果，不仅使早已形成的矿物晶体加大，与其伴生的有机质消失，矿化趋于富集，同时在有利围岩与构造中发生新的矿化，以至富集成新矿体（I_1、I_2等）。正如周圣生等[4]所指出的那样，后期改造作用不是大而富的菱铁矿形成的必备条件，本区I_1、I_2脉状矿体是以铅锌为主的小矿体。

地下水的改造作用主要发生于表生期，因碳酸盐在氧化条件和含CO_2的地下水长期作用下遭到破坏，其中低价的Fe、Mn转变为高价的Fe、Mn氧化物和含水氧化物得到富集，Pb、Zn氧化成次生矿物和呈吸附状态。这一改造作用在Ⅱ矿体北段进行得彻底，矿石全为褐黑色土状物，而在Ⅱ矿体南段改造作用不甚彻底，出现原生锰菱铁硫铅锌矿层，有时往上部还逐渐过渡为褐黑色土状物（ZK149、152、155）。

3.矿床成因　根据前述四马桥向斜D_3，沉积相、礁特征及后江桥矿床地质特征和生物数学地质的判别，本矿区矿床成因属于礁控泻湖沉积—改造矿床[5]。

本矿床的形成机理，很可能与白云石近似，可概括为沉积—渗滤回流成矿模式。

在一个被生物环礁与局限浅海隔开的泻湖盆地中，最初沉积了较单一的碳酸钙矿物，随着气候干燥，蒸发量大于补给量时，湖水逐发生咸化，

4）周圣生，三论地层与找矿，1980，打印稿。

5）杨开济，礁控泻湖沉积矿床成矿机制及其实例，《湖南地质科技动态》，1979，6期，《湖南地质科技情报》，1981，1期。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

水体中的Ca^{2+}逐渐减少，Mg、Fe、Mn、Zn、Pb（按含量多少顺序排列）等的浓度逐渐增大。当$Mg^{2+}/Ca^{2+}>8.4$时，即形成富Mg的重卤水，由于重力而沿湖盆底坡流动，遇阻（礁等）回流下渗，到达$CaCO_3$沉积物内，Mg^{2+}置换Ca^{2+}，于是发生白云石化。

这时，由风化作用剥蚀而来的高价铁锰等氧化物胶凝体，也不断沉降聚集于湖底，而湖底表水及沉积物中充满了由下伏生物遗体分解和湖盆边缘礁核以及沉积物表面含有的细菌所产生的大量CO_2、H_2S、NH_3、H_2等还原性气体，于是胶凝体不仅被还原为锰菱铁矿、硫化锌铅矿沉积层，而且可转变为很容易流动的重碳酸盐溶液沿重力方向下渗，下渗途中又不断被还原，使混入的胶凝体改造得更彻底。同时，由于重碳酸盐交代白云石、方解石及生物遗体和CO_2的逸出等化学反应，相继形成成岩及成岩交代的锰菱铁矿、闪锌矿、方铅矿等。

在矿床形成过程中，生物始终起着两大重要作用，即造成还原环境，将高价金属化合物或离子改造为低价的，并且直接参与成矿的化学反应，为反应所需的CO_2和S的主要来源。

这一成矿模式的理想沉积地质环境应具备以下四个主要条件：①沉积盆地为一脉动式缓慢下沉的热带泻湖。海水韵律式的进退造成含矿海水的补给与湖水的强烈蒸发呈周期性相互更替，使矿质不断浓集沉淀；而湖盆垂直运动总的趋势是缓慢下沉，以利沉积矿质的增厚。②泻湖周边应具有环礁障壁。其作用不但能圈闭水体、创造蒸发环境和还原环境、调节Eh值和pH值、提供礁源成矿物质，而且广延的障壁有利于沉积—渗滤回流成矿作用的进行。③湖底具有原始斜坡，在斜坡的低区主礁高大，湖岸曲折、湖湾或/和斑点礁等隆起发育，这个低区相对低凹，湖水比较深的沉积区是最理想的场所，其沉积物为泥晶灰岩，呈层厚，具鸟眼、雪花构造，白云石化普遍。④具有充裕的陆海源成矿物质供应以及较大的容纳盆地。

成矿规律

1.矿带分布在四马桥礁控泻湖边部，而厚大的工业矿体聚集在礁体高大、盆底地形低凹、湖水较深的湖湾沉积区。即礁控泻湖西部北段边缘较西部南段及东部南部边缘成矿有利。

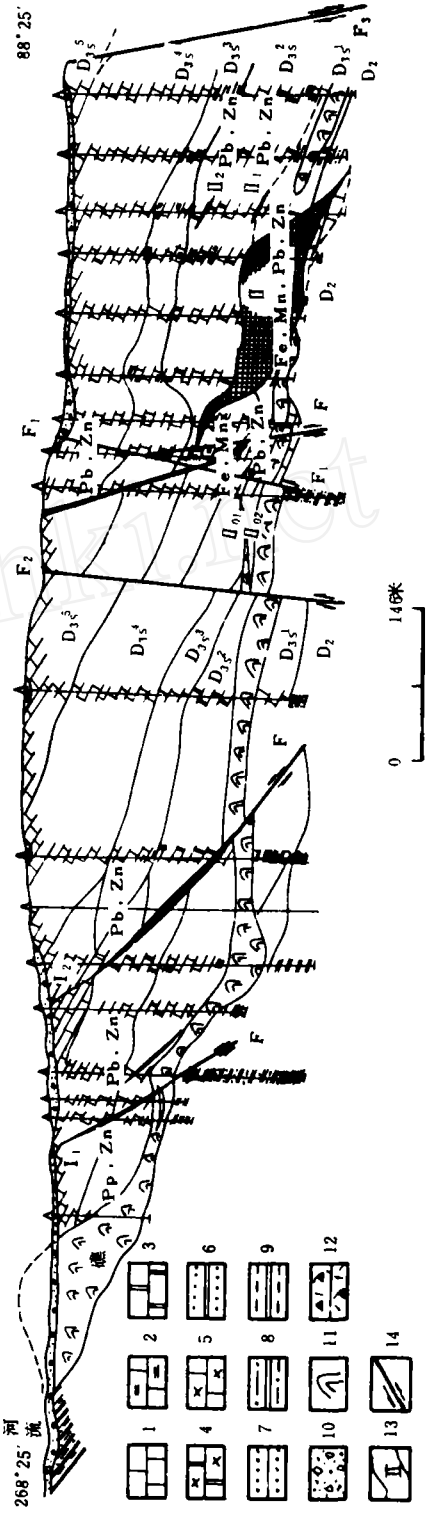

图9　后江桥矿区礁—勘探线剖面图

1—灰岩；2—白云质灰岩；3—白云岩；4—铁质白云岩；5—铁质灰岩；6—砂页岩；7—石英砂岩；8—砂质板岩；9—板岩；10—砂砾；11—生物礁；12—角砾岩；13—矿体；14—断层

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2.矿床形成于礁控泻湖形成以后蒸发浓缩阶段，矿层赋存的岩相常表现为灰岩相过渡为白云岩岩相中。矿层产出部位在层礁之上0～30米垂距内。

3.礁间洼地由于地形低凹，接受矿汁及两侧礁体排气（CO_2、H_2S）量较多，常常聚集了较大的透镜状矿体（图9）。

4.断裂构造带控制后生热水、地下水改造矿体。

5.据沉积地质环境分析及生物数学地质对礁源成矿物质（CO_2、H_2S）供应量的推测，认为四马桥礁控泻湖在已勘探的后江桥矿区以外寻找同类型矿床远景规模不大，其中以矿区以南的大坪岭—老屋地一带稍好。

作者在野外工作期间得到湖南省地质局409队大力支持，文成之后又承该队罗仲文、陆延廷、谢福俊等工程师提了细致意见，特此致谢。

参考文献

［1］吴延之，层控铅锌矿床的形成条件及评价方法，湖南冶金地质，1980，1期

［2］曾永孚等，对峨眉山震旦纪晚期及寒武纪早期的沉积环境的初步认识，成都地院学报，1979，1期

［3］叶连俊，近代沉积学的一些理论问题，1974，（打印稿）

［4］刘宝珺等，初论层控菱铁矿矿床的沉积环境和形成作用，成都地院学报，1980，2期

［5］杨开济，道县后江桥泥盆纪沉积相—礁与矿床成因，1980，湖南地质学会矿床学组会议文件

中国的一种新锰矿类型

——陕西省宁强县黎家营锰矿

西北冶金地质勘探公司职工大学　杨可法

黎家营锰矿是陕西省最早探明的一个中型锰矿。矿床位于南秦岭东西向巨型复杂构造带和龙门山北东向复杂构造带的斜接部位。区内出露的震旦系勉略群地层有以下特点：

1.地层两分性明显。中上震旦系断头崖组为一套碳酸岩、碎屑岩、砾岩沉积，为一完整的沉积旋回。内含磷矿和锰矿。变质轻微。以不含火山岩为特征。厚1000～2000米。中下震旦系郭家沟组为一套由海底火山岩间陆源碎屑沉积岩和钙镁质碳酸岩组成的火山沉积岩。见多期多种岩浆活动，产多种矿产，黎家营锰矿产于其中。岩石变质稍深。厚7000～10000米。

这两组地层系交角不整合接触。该不整合面暂命名为“勉略运动”。

2.中下震旦系地层中基性—酸性海底火山喷发岩系（细碧—角斑岩系）大面积出露。基性熔岩枕状构造发育。岩石均受低—中级变质。

3.基性—超基性岩侵入体经常与细碧—角斑岩系密切影随。侵入岩包括辉长岩、辉长辉绿岩、强蛇纹石化辉橄岩、橄榄岩及纯橄榄岩、角砾状蛇纹岩等。基性—超基性岩体具带状分布特征。内已找到大型镍（钴）矿床和热液变质磁铁矿床。

4.蛇纹岩体、闪长岩体及斜长花岗岩体经常伴生，侵入于细碧—角斑岩和碳酸岩系中。有人把这样的侵入体和围岩组合称为特殊的岩石组合。其中已找到大中型铁镍钴矿。故认为这种岩石组合是铁镍钴矿床的综合找矿标志。这组岩石中镁铁系列蛇纹岩体和钙碱系列闪长岩、斜长花岗岩体共生最为特征。闪长岩、斜长花岗岩具富钠贫钾的特点。

5.岩浆活动具多旋回性、复杂性。火山爆发—喷溢阶段主要是在中下震旦纪地槽下沉阶段，喷发顺序是从基性岩到酸性岩。岩浆侵入活动和与其有关的成矿作用发生在地槽回返以后的断褶期。超基性岩侵入年代为590～317百万年，属加里东—海西旋回。闪长岩—斜长花岗岩侵入年代为245～194百万年。属印支—燕山旋回。

6.碳酸岩层常与火山岩层、沉积岩层交互成

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net