

甘孜—理塘结合带锰结核的发现及其地质意义

彭 东¹ 林 丽² 王全伟³ 阚泽忠³ 付小方³ 彭 波¹

(1.四川省地矿局区域地质调查队,四川 双流 610213;2.成都理工大学沉积地质研究院,四川 成都 610059;
3.四川省地质调查院,四川 成都 610081)

摘要:在甘孜—理塘结合带内理塘县中木拉乡附近发现锰结核。通过地质填图和综合研究,该锰结核产于结合带内瓦能蛇绿混杂岩组中的黑色粉砂质板岩中。其沉积层序为玄武岩→硅质岩→含锰结核粉砂质板岩。锰结核主量元素具有高 Mn、低 Fe、Si、Ca 的特点,其中 Mn 含量为 42.19%,高出大洋锰结核平均值 1.83 倍,Mn/Fe 值较高,达 8.1。锰结核中除 Cr 高于大洋锰结核平均值 2~7 倍外,多数微量元素低于大洋锰结核平均值。稀土元素具有较明显的 Ce 正异常,稀土总量、轻重稀土分异程度、Eu 异常特征与混杂岩中的砂岩、硅质岩近似,而与玄武岩差别较大。该锰结核产于大陆边缘构造环境,火山活动微弱,代表甘孜—理塘洋扩张到最大程度时的沉积。其时甘孜—理塘洋规模仍是有限的。

关键词:甘孜;理塘;结合带;锰结核;瓦能蛇绿岩组

中图分类号:P618.32 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2011)02-0442-09

甘孜—理塘结合带是青藏高原东部一条重要的板块缝合线,20 世纪 70 年代始由四川省区域地质调查工作者系统调查后界定为深大断裂^[1],20 世纪 80 年代以来多数研究者认为其具板块缝合线性质^[2,3]或洋壳、蛇绿岩组合^[4-8]。当然也有部分学者坚持认为其构造属性仅达大陆裂谷^[1]。虽然认识各异,但对其重要地位均高度重视。笔者等在理塘木拉一带针对本结合带开展的专题工作中,发现了三叠纪锰结核,为这一重要构造带的研究提供了新资料。

1 基本特征

1.1 锰结核形态

本次工作新发现的锰结核地理位置在理塘县中木拉乡无量河西岸穷呷村南去牧场的牧道边,地理坐标:东经 100°37′34″,北纬 29°37′18″。产出地层为瓦能蛇绿混杂岩组的黑色变质粉砂岩。该锰结核为灰黑色、黑色的扁椭球体,扁率较大形似杏仁,在岩石中的发育密度为每 10 cm 内 3~5 个,大小混杂。局部锰结核较密集,形成葡萄状锰结核(图 1 左上部)。锰结核表面常见锰质结核特有的亮黑色、钢灰

色色调,较光滑,轻微污手。平面形态圆度较高,扁圆直径一般 5~30 mm,个别可达 40 mm 左右。单颗锰结核的厚度/扁圆直径值一般为 0.3~0.5(图 1)。将锰结核劈开在磨光片上观察其内部结构,至少可分为外圈致密层(电子探针薄片上不透明)和内核(电子探针片上半透明)两部分(图 2),致密层厚度/内核直径比为 0.2~0.5。风化后可呈皮壳状逐层剥离。

结合磨光片特征对锰结核薄片进行观察。偏光显微镜下,薄片上成型的锰结核主要为不透明金属矿物,一般在核心部分有零星的呈半透明状的胶状结合体。其光性特征是突起高、干涉色极低,近于均质体,显然不是常见的碳酸盐类菱锰矿,从结核与其围岩的共生组合看,也不太可能是菱锰矿变化而来,而是原生沉积。从其光性特征和结构构造特征看,不具水锰矿的较强多色性和纤状、叶状晶形。结合其在光片上和手标本上的条痕、颜色(局部微现蓝色)等特征,可能为软锰矿—硬锰矿。

1.2 锰结核产出的地层层位

该锰结核产于甘孜—理塘结合带内的一套特殊构造地层单位——瓦能蛇绿混杂岩组内。该岩组

收稿日期:2010-05-09;改回日期:2010-07-21

基金项目:教育部高等学校博士学科点专项科研基金(20070616014)和国土资源大调查项目(1212010610206)联合资助。

作者简介:彭东,男,1969 年生,博士,高级工程师,从事区域地质矿产、环境地质工作;E-mail:peng_dongxin@163.com。

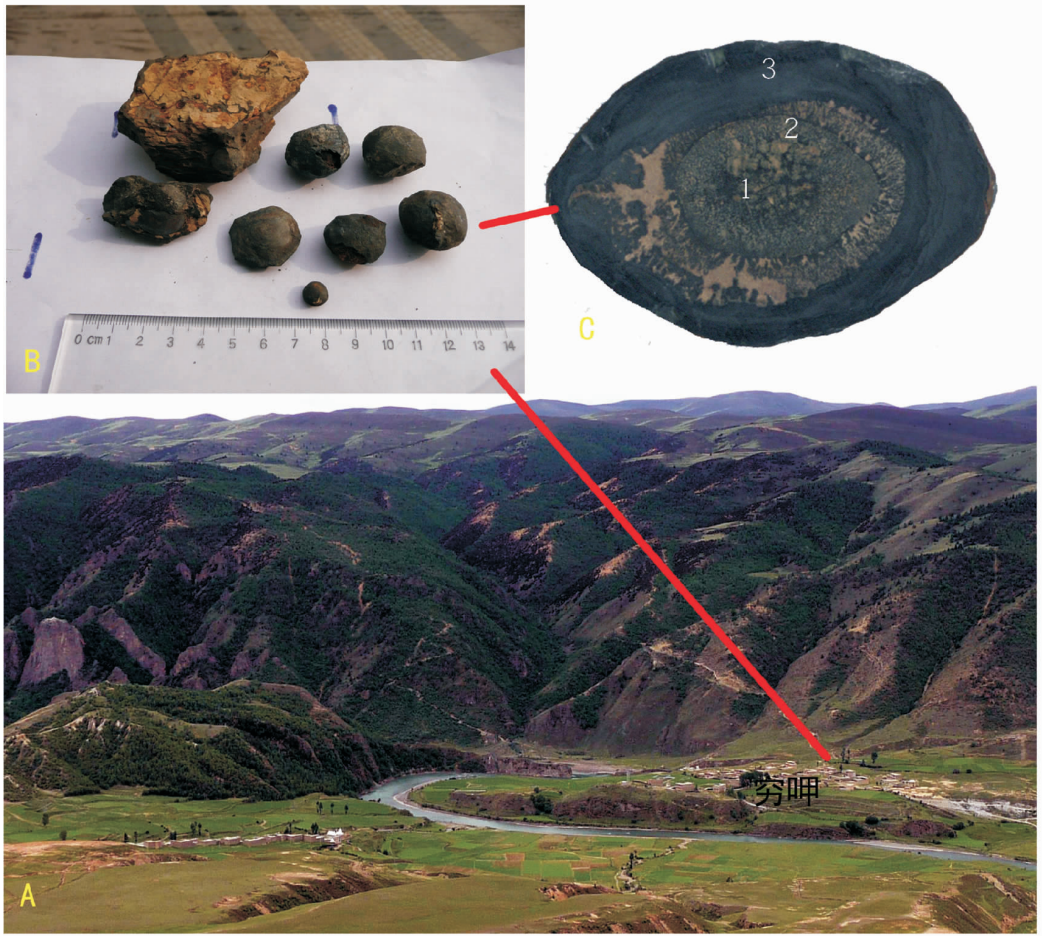


图 1 锰结核产地及特征

A—结核产地——穷呷村牧道起点; B—单颗锰结核及集合体形态; C—锰结核内部特征(长径 26 mm。图中序号对应表 2 中电子探针分析区域)

Fig.1 Location and characteristics of manganese nodules

A—Location of manganese nodules: the starting point from Qionga Village to the pasture; B—Shape of single and botryoidal manganese nodules; C— Inner structure of manganese nodules (original sample width is 26 mm; the number in the figure shows analytical area of EPM in Table 2.)

为四川省岩石地层清理时新建^[9],原定义为甘孜—理塘结合带内的一套晚三叠世蛇绿岩组合。但其层型剖面——瓦能—劳玛剖面上并未见典型的蛇绿岩层序(甚至残片都不典型)。根据本次工作研究^①,瓦能蛇绿混杂岩组实质为一套板块结合带的增生楔,是在扩张脊、裂谷型盆地等复杂的沉积环境内建造,板块俯冲闭合动力环境下改造的混杂体,其内包含蛇绿岩残片、细粒沉积物基质及洋岛、海山等复杂的玄武岩和裂谷边缘浅水沉积等构造混杂的地层体。王连城等^[9]曾认为,这套蛇绿岩组合是一套异于其

他地区的以砂板岩(而非玄武岩)为基质的蛇绿岩。通过本次开展的 1:50 000 详细地质填图,证实以玄武岩为基质的蛇绿混杂岩的确存在于木拉—上马岩断裂带一些地段,但研究区的中木拉乡—德巫乡一带主体是以沉积岩为主的陆缘增生楔部分。同时,德巫乡交德一带这套增生楔的西缘受高温低压变质,产生了一套特殊的片岩,迥异于结合带其他岩石。

图 2 为锰结核出露点的地质剖面图,含锰结核层出露宽度约 2 m,锰结核在层的中部最富,外观上易误认作腕足的介壳层。根据野外地质剖面观察及

①中华人民共和国区域地质调查报告.1:50 000 木拉乡、吕村、德巫乡、上马岩幅区域地质调查报告.中国地质调查局地质调查专报,2009.

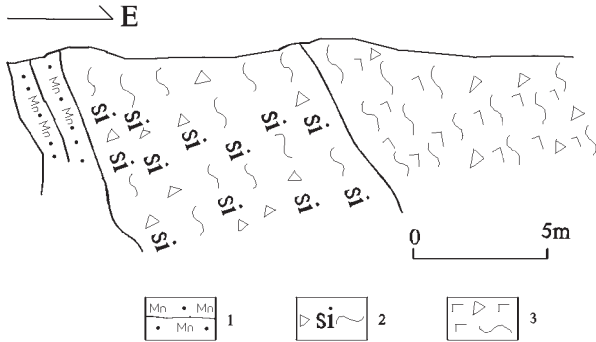


图2 含锰结核地层地质剖面图

1—含锰结核黑色粉砂质板岩;2—破碎硅质岩;3—破碎玄武岩

Fig.2 Geological section of manganese nodules-bearing strata

1—Black manganese nodules-bearing silt slate; 2—Shattered silicite;

3—Shattered basalt

走向上追索,虽然剖面上玄武岩北东侧与其他地层为断层接触,玄武岩、硅质岩也较破碎,但含锰结核岩层与玄武岩、硅质岩的原始接触关系为过渡的整合接触关系,接触面既不见滑动、剪切现象,也无明显的岩性、岩相突变。走向上离开断层后玄武岩与硅质岩直接接触,玄武岩中未见破碎蚀变,硅质岩中薄层层理保存完好,平直延伸,岩石均致密均匀无蚀变,同时玄武岩表面轻微凹凸不平(图3)。因此接触关系为假整合接触,图2中为一倒转层序。这就提示硅质岩可能沉积于玄武岩喷发后,其间有一风化剥蚀阶段。

因此,瓦能蛇绿混杂岩组这套由下向上,由玄武岩(含火山碎屑岩)→硅质岩→含锰结核的黑色粉砂岩组成的地层沉积序列是确实存在的。

1.3 横向变化

该含锰结核层走向 330° ,与区域构造线方向一致。顺走向追索,其南东为无量河掩盖,北西为残坡积物覆盖。通过1:50 000填图,在研究区内也未发现其余露头点。是否呈透镜体状断续产出尚属疑问。同时,锰结核产出地点的玄武岩均为致密块状蚀变玄武岩,断裂通过处则为碎裂蚀变玄武岩,未见有剪切破碎及与变质砂岩、板岩基质的混杂现象。而锰结核产出点南东相距约5 km的理塘县下木拉乡擦嘎一带瓦能蛇绿混杂岩组内却发现枕状玄武岩,同时该处玄武岩明显具有剪切混杂特征。



图3 硅质岩与玄武岩接触关系

(照片左侧人坐处是玄武岩,右侧为硅质岩)

Fig.3 Stratigraphic sequence of silicate and basalt

(The left where the man sits is basalt; the right is silicate.)

2 主量元素特征

2.1 主量元素化学特征

分别对单颗锰结核和葡萄状锰结核进行了采样分析。对单颗锰结核,从岩石中小心掏出,用棕毛刷子蘸水轻刷洗去表面尘粒及光滑外层上附着的泥土、褐铁矿铁染成分,露出灰黑、黑、钢灰色调后晾干水分,包装送样。对于葡萄状锰结核,直接从锰结核层中敲击取出后刷洗去浮尘,晾干后全岩送样。

表1为单颗锰结核和葡萄状锰结核的常量元素化学分析结果。表2为电子探针分析的锰结核内点状区域的化学成分。电子探针片由笔者在薄片上圈定分析区域后送样分析。

对比表1和表2中不同分析方法的两组数据可见,两种分析方法得出的锰结核的Mn含量基本一致。而根据电子探针的微区分析,锰结核内核主要元素为Mn,含Si、Fe均较低。分析的元素总量仅为65%左右。

电子探针不能分析 H_2O ,根据化学成分分析,结合矿物学分析,其化学式属于 $mMnO \cdot MnO_2 \cdot nH_2O$ 型的硬锰矿类。而锰结核内核Mn含量仍高于大洋锰结核平均值的23%^[10],含Si、Fe均较低,总量更低。根据薄片观察,不是碳酸盐类。根据以上特征,为含水更多的硬锰矿类,与含Si、Fe较高的外壳相对照,其成因上可能是首先生成核心后,环境持续

表 1 锰结核主量元素含量

Table 1 Major element analyses of manganese nodules

样品名称	单颗锰结核	葡萄状锰结核
SiO ₂ /10 ⁻²	15.65	56.16
Al ₂ O ₃	3.67	11.42
Fe ₂ O ₃	7.42	11.12
FeO	<0.001	0.0016
CaO	0.488	0.186
MgO	0.184	1.26
K ₂ O	1.04	2.55
Na ₂ O	0.052	0.047
P ₂ O ₅	0.176	0.200
MnO	54.48	7.92
TiO ₂	0.21	0.529
Cr ₂ O ₃	-	-
H ₂ O ⁺	6.52	6.33
H ₂ O ⁻	5.44	1.91
灼失	12.62	6.98
总量	-	-

注:化学分析由国土资源部中南矿产资源监督检测中心完成。分析方法分别为 MnO、K₂O、Na₂O、CaO、MgO、Fe₂O₃、Al₂O₃;XFS;FeO;VOL;H₂O⁺、H₂O⁻、Loss、SiO₂;GR;TiO₂、P₂O₅;COL。精度优于 5%。

处于氧化界面,不断使 Mn²⁺转化为 Mn⁴⁺故锰含量较高,且氧化铁连续堆积,故外圈层 Fe 含量明显高于内核,与锰结核生成模式中的化学沉淀过程有关^[1]。从其与硅质岩共生及缺乏碳酸盐的特点,其富氧性可能是来自富氧洋流,而非浅水环境。

对比刘英俊等^[10]的资料,研究区锰结核具有高 Mn、低 Fe 的典型特点,Mn 高出大洋锰结核平均值 1.83 倍,Mn/Fe 值为 8.1。

3 微量元素、稀土元素特征

表 3 为锰结核微量元素含量。微量元素含量上,除 Cr 高于大洋锰结核平均值的 2~7 倍,Cu 高于淡水湖锰结核含量,低于大洋锰结核平均值外,其他元素含量均低于大洋锰结核平均值^[10]。

对比近年来发现的贵州官岭新铺地区风化淋滤

表 2 电子探针分析的锰结核主量元素含量

Table 2 EPM analyses of major elements in manganese nodules

样品名称	电子探针点 1	电子探针点 2	电子探针点 3
SiO ₂ /10 ⁻²	3.82	5.607	17.606
Al ₂ O ₃	1.303	1.018	1.35
Fe ₂ O ₃	-	-	-
FeO	2.677	1.373	4.987
CaO	0.262	0.323	0.245
MgO	0.075	0.076	0.083
K ₂ O	1.18	0.776	0.576
Na ₂ O	0.076	0.009	0.026
P ₂ O ₅	-	-	-
MnO	55.798	55.751	29.332
TiO ₂	0.099	0.048	0.17
Cr ₂ O ₃	0	0.141	0.112
H ₂ O ⁺	-	-	-
H ₂ O ⁻	-	-	-
灼失	-	-	-
总量	65.291	65.122	54.487

注:探针测试点位置与图 2 中序号对应。测试点均选择不透明区域。测试单位:国土资源部西南矿产资源监督检测中心。

晚三叠世卡尼期外陆棚较深水域热水沉积铁锰质泥灰岩或钙质泥岩形成的锰结核^[12]也具有 Cr 接近,其他微量元素如 Cu、Co、Zn 等远低于大洋锰结核平均含量的特征,但是其 Mn 最高也仅有 23.55×10⁻²,且 Fe₂O₃ 也较高,平均 17.5×10⁻²。同时最大区别是研究区内的锰结核在沉积组合上具有排斥碳酸盐的鲜明特征。研究表明,物质来源是影响锰结核化学成分的重要因素。不少研究者认为,化学组分十分复杂的锰结核其物质来自火山喷发物。而研究区锰结核的高 Mn、低 Fe、高的 Mn/Fe 比值,提示其形成环境可能火山活动不足^[11]。因为甘孜—理塘结合带构造背景上火山活动广布,地层中火山碎屑岩或远源火山凝灰物质遍及结合带内各地层单位,因此用局部地区特殊的构造背景和沉积环境(横向变化)来解释这一现象不十分令人信服。依据前述产锰结核地层的层序关系,解释为火山活动在结合带演化上的

表 3 单颗锰结核和葡萄状锰结核的微量元素含量(Au 10⁻⁹,其他 10⁻⁶)Table 3 Trace element analyses of single and botryoidal manganese nodules (Au 10⁻⁹, other elements 10⁻⁶)

样号	样品	Cu	Cr	Li	Rb	W	Sr	V	Sc	Nb	Ta
MD8021-1	单颗锰结核	256	24	5.36	22.8	5.84	210	29.0	13.4	0.70	<0.05
MD8021-2	葡萄状结核	27.1	71	27.7	106	8.60	45.6	63.7	12.9	13.5	0.97
		Zr	Hf	Be	B	Sn	Au	Th	F		
MD8021-1	单颗锰结核	114	1.82	4.02	12.2	1.40	1.18	5.04	1340		
MD8021-2	葡萄状结核	102	3.14	2.66	62.0	2.00	7.52	14.7	1180		

注:数据由国土资源部中南矿产资源监督检测中心测试分析。分析方法为 ICP-MS,精度优于 10%。

非连续性(地史上的纵向变化)似更合理。

锰结核的微量元素经洋脊玄武岩标准化后的蛛网图上(图4),单颗锰结核和葡萄状锰结核形态相似,仅元素丰度有较大差异。可能的解释是锰结核形成速率较快,且主要是Mn沉积,而其余元素未参予分异和沉淀,从而形成结核与围岩的微量元素相对比率不变(除Mn外),而微量元素丰度低于围岩的现象。通常在基性岩中富集的Ti、Cr元素在锰结核中的含量远低于洋脊玄武岩,原因可能是锰结核形成过程中缺乏火山物质的参予。

值得注意的是,Nb在葡萄状结核中的含量与深海软泥中含量(14×10^{-6})^[10]相当,而在单颗锰结核中的含量远远低于大西洋 41×10^{-6} 、印度洋 32×10^{-6} 、太平洋 38×10^{-6} 的水平。Nb、Ta在葡萄状锰结核中的含量高于单颗锰结核含量的近20倍,进一步说明该锰结核可能是迅速从海水中沉淀,且成核物质主要来自溶液,少有沉积底质参与。

表4为锰结核及产出锰结核的瓦能蛇绿混杂岩组内玄武岩和其他沉积岩的稀土元素含量以及主要参数。图5为其稀土配分模式。

锰结核具有较明显的Ce正异常,这是海洋锰

结核的典型特征^[10],原因是Ce可在pH值为8、Eh值为3.4V的较强氧化还原条件下发生反应,结核和结壳中的Ce与水羟锰矿伴生或以CeO₂的形式存在于一些结晶相中^[13]。研究区锰结核为轻稀土富集型,Eu弱负异常。对比研究区瓦能蛇绿混杂岩组内其他岩石的稀土配分模式,其与硅质岩、砂岩在稀土总量、轻、重稀土分异程度、Eu异常等各项特征上均十分近似,而与玄武岩差别较大,也与紧邻玄武岩层的含火山碎屑板岩不一致(图5)。后者的稀土配分模式更接近玄武岩。这与上述微量元素揭示的该锰结核发育环境火山活动可能较弱的结论是相符合的。结合地质剖面上含锰结核地层与玄武岩在层序上不相接,而与硅质岩呈连续沉积,其结论依据更为充分。

研究区锰结核稀土总量不但远低于南海锰结核^[14]的 $2\ 166.90 \times 10^{-6}$,中太平洋海山区富钴锰结壳^[15]的 $1\ 764.8 \times 10^{-6}$,也低于贵州官岭新铺锰结核的平均值^[2] 407.81×10^{-6} ,而接近一般沉积岩的水平,略高于研究区的玄武岩稀土总量水平。

与东太平洋中国开辟区(C-C区)南部的锰结核样品^[4]之 $304.5 \times 10^{-6} \sim 626.7 \times 10^{-6}$ 稀土总量比较,研究

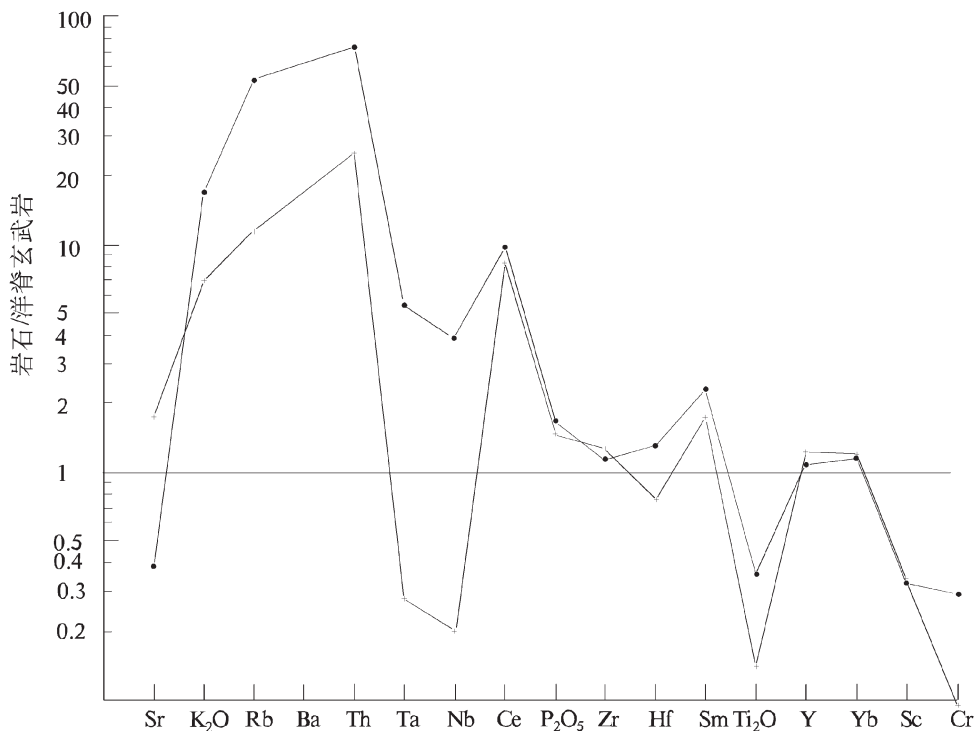


图4 锰结核的微量元素蛛网图

Fig.4 Spider diagram of trace elements in manganese nodules

表 4 锰结核与瓦能蛇绿混杂岩组其他岩石的稀土元素含量(10⁻⁶)和主要参数
Table 4 REE analyses of manganese nodules and other rocks in Waneng mélange (10⁻⁶)

样号	样品	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb
8021-1	单颗锰结核	29.2	83.2	7.2	27.7	5.78	1.4	6.49	1.04	6.32	1.24	3.66	0.62	4.08
8021-2	葡萄状结核	40.6	96.9	9.72	37.2	7.66	1.62	8.12	1.17	6.54	1.25	3.7	0.6	3.9
日 P14	硅质岩	37.8	70.6	8.46	32.4	6	1.09	5.36	0.79	4.18	0.82	2.31	0.39	2.46
日 P26	硅质岩	26.3	49.9	6.11	24	4.76	0.97	4.19	0.64	3.53	0.68	1.88	0.32	2.07
日 P1	板岩	44.2	92.6	11.8	49.1	9.44	2.72	7.87	1.21	6.3	1.16	3.04	0.48	2.92
日 P53	砂岩	52.3	97.9	11.2	42.7	7.89	1.61	7.07	1.05	5.73	1.12	3.14	0.53	3.36
M2024	玄武岩	29.0	60.8	8.25	36.0	7.47	2.25	6.38	1.04	5.54	1.04	2.71	0.44	2.66
德 P23	玄武岩	15.7	32	3.52	14.6	3.43	1.14	3.38	0.64	4.1	0.85	2.34	0.4	2.63

样号	样品	Lu	Y	ΣREE	LREE	HREE	ΣCe/ ΣY	δEu	(La/ Yb)N	(Ce/ Yb)N	δCe	(La/ Sm)N
8021-1	单颗锰结核	0.58	36.7	178.51	154.48	17.54	8.81	0.70	4.83	5.27	1.34	3.18
8021-2	葡萄状结核	0.56	32.3	219.54	193.70	17.72	10.93	0.62	7.02	6.43	1.14	3.33
日 P14	硅质岩	0.36	21.3	173.02	156.35	11.31	13.82	0.58	10.36	7.42	0.91	3.96
日 P26	硅质岩	0.29	18.3	125.64	112.04	9.41	11.91	0.65	8.57	6.24	0.92	3.48
日 P1	板岩	0.4	29.1	184.51	166.50	12.35	13.48	0.94	10.21	8.20	0.96	2.95
日 P53	砂岩	0.48	29.1	236.08	213.60	15.41	13.86	0.65	10.49	7.54	0.93	4.17
2024	玄武岩	0.37	26.5	163.95	143.77	13.80	10.42	0.97	1.73	1.39	0.23	1.24
2024	玄武岩	0.39	23.1	85.12	70.39	11.35	6.20	1.01	0.94	0.73	0.25	1.28

注:数据由国土资源部中南矿产资源监督检测中心测试分析。分析方法为 ICP-MS,精度优于 10%。

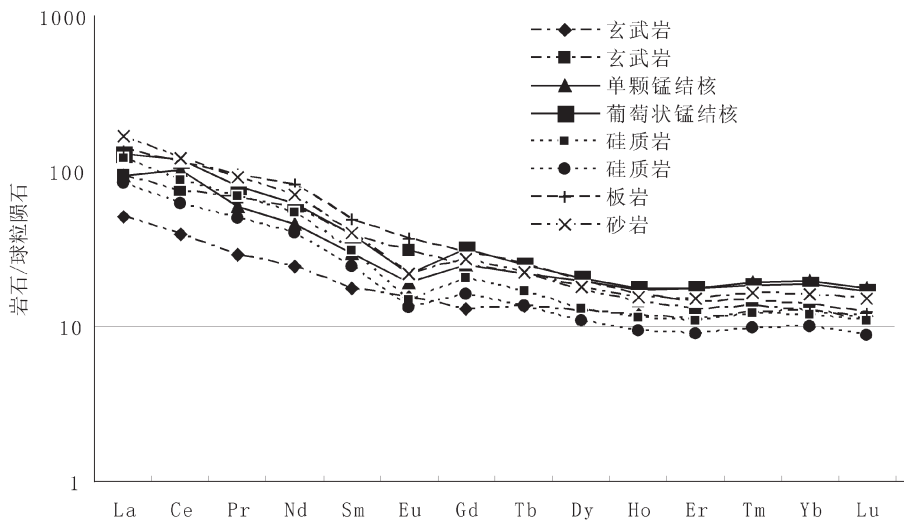


图 5 锰结核及共生的其他岩石稀土配分模式

Fig.5 REE partitioning model of manganese nodules and other associated rocks

区锰结核 Σ REE 也明显偏低,但相对来说是最接近的。C-C 区南部的锰结核样品 Ce 具弱负异常、Eu 弱正异常,与研究区恰恰相反。可见,研究区较低的稀土总量不能用氧化还原条件的差异来解释,因为同样的 Ce 异常特征制约下,稀土总量可高可低;而相反的 Ce 异常特征却具有相对接近的稀土总量。研究区锰结核较低的稀土总量应主要与物源有关。

近年来对西藏西南部达巴—休古嘎布蛇绿岩带中的硅质岩稀土研究表明^[7],该硅质岩稀土总量较低,平均为 51.68×10^{-6} ,仅为北美页岩(160×10^{-6})的三分之一,其沉积序列为石英砂岩→含岩屑石英砂岩、杂砂岩→放射虫硅质岩,与研究区硅质岩的覆于玄武岩之上,且玄武岩具风化剥蚀顶面,而稀土总量接近北美页岩的特征形成鲜明对比。该硅质岩的低稀土总量被认为源于其沉积环境处于大陆边缘。而研究区硅质岩稀土总量较高,结合其沉积层序特点,可能沉积速率较慢,有玄武岩稀土的贡献。

4 锰结核的形成时代

锰结核露头点北西沿走向约 20 km 处硅质岩中前人曾采获有早三叠世—晚三叠世早期放射虫化石^[4](冯庆来教授鉴定):*Yanagia chinensis* Feng, *Paurinella sinensis* Feng, *Triassocampe cf. nova* Yao, *Pseudostylosphaera nazarovi* Kozur, *Squinabolella?* sp., *Hinedorcks* sp.等。从区域上看,目前甘孜—理塘结合带尚未发现过可靠的晚三叠世放射虫化石,因此结合剖面层序,将锰结核的地质年代下限定为晚三叠世早期。

本次工作在甘孜—理塘结合带东缘边界断裂的一套蚀变玄武岩(与产锰结核的剖面上玄武岩不是同一套玄武岩)中新获得单颗粒锆石激光剥蚀等离子质谱(LA-ICP-MS)年龄(217 ± 11)Ma(95%置信度,MSWD=2.4)。采样、锆石分离和挑纯由笔者完成,其后的分析在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成。锆石制靶、阴极发光观察和照相由弓虎军博士指导,笔者在英国 Gatan 公司生产的 Mono CL3+ 阴极发光装置系统上完成。激光剥蚀定年由第五春荣博士指导,ICP-MS 在 Agilent 公司最新一代带有 Shield Torch 的 Agilent 7500a 上完成。采用的激光剥蚀系统为德国 MicroLas 公司生产的 GeoLas200M。该系统由德国 Lambda Physik 公司的 ComPex102 Excimer 激光器(工作物质 ArF, 波长

193 μ m)与 MicroLas 公司的光学系统组成。激光剥蚀采样方式为单点剥蚀。标准参考物质为 NIST610 和锆石 91500。数据处理采用 GLITTER (Ver 4.0)程序,年龄计算以标准锆石 91500 为外标进行同位素比值分馏校正。锆石谐和图用 Isoplot 程序(Ver 3.0)获得。根据玄武岩同位素年龄,瓦能蛇绿混杂岩组的最终形成时间界定为最迟不晚于晚三叠世早期。

因此,根据上、下时限和沉积序列、接触关系,将该锰结核形成时代定为晚三叠世早期较妥。

5 讨论

5.1 研究区锰结核的分类

锰结核的分类方案较多,成分上,研究区锰结核属于锰质结核。其余分类方案基本上都是基于外形—大小和内部构造—表面结构两方面^[18-20],且均重视锰结核表面结构是光滑还是粗糙,因其与成因的关系较密切。本次新发现的锰结核无论是呈单颗状产出还是葡萄状集合体产出均具有较光滑的表面,可能跟洋流的冲刷有关,至少沉积时出露于海底沉积物之上。

5.2 沉积构造背景及地质意义

根据研究区锰结核相对来说极高的 Mn 含量,很低的稀土总量,以及较高的 Cr 含量,显示其一部分元素来源可能是已经成岩的玄武岩、超基性岩等早期火山活动物质在海水中的溶解态物质。结合剖面层序分析,锰结核是在玄武岩喷发后,甘孜—理塘初始洋壳进一步发展,玄武岩喷发中心转移,海水更深,依次出现了杂砂岩、硅质岩和锰结核沉积。杂砂岩、硅质岩、锰结核生成环境近似,故稀土元素配分模式也一致。而与玄武岩层位连续的含火山碎屑板岩则因含大量火山物质故也与玄武岩有相似的稀土配分模式。研究区内本次工作中在理塘县下木拉乡一带新发现有枕状玄武岩,但锰结核发育区则未发现枕状玄武岩,枕状玄武岩与锰结核具有“互不相容”的特点。这是这一锰结核成因解释的另一证据(锰结核所处的深水沉积区无火山活动)。

至晚三叠世早期,甘孜—理塘洋盆扩张到了最大程度,局部地区沉积了锰结核。但从上述锰结核的特征来看,洋盆的规模仍是有限的,大地构造背景上接近大陆边缘(非水深概念)。晚三叠世中期即开始了俯冲闭合。

因此,研究区的锰结核特征揭示了甘孜—理塘

洋盆的较特殊的大地构造特征,是古大洋盆地的一个独特类型。锰结核自身也是一个新的类型。

研究区锰结核中 Au 丰度相对较高,葡萄状锰结核为 7.52×10^{-9} ,而全研究区平均值^①为 1.75×10^{-9} (据 1:200 000 理塘幅第二代区域化探资料,1:100 000 木拉幅全幅),且变异系数较大。单颗锰结核仅为 1.12×10^{-9} 。这也可能反映的是甘孜—理塘洋中沉积物的一个重要地球化学特征:富 Au 而贫 Cu,可以印证目前甘孜—理塘结合带上发现众多金矿,而铜矿基本上位于结合带以外的岛弧带的地质事实。

致谢:参加野外工作的还有廖炳勇、王学通、罗涛、冷静、鲁岩先生。张能德先生提供了重要线索,李庆祥先生给予了宝贵的建议,在此一并致以诚挚谢意!

参考文献 (References):

- [1] 张能德,曹亚文,廖远安,等.四川甘孜—理塘裂谷带地质与成矿[M].北京:地质出版社,1998:1-119.
Zhang Nengde, Cao Yawen, Liao Yuan'an, et al. Geology and Metallogeny in Garze-Litang Rift Zone [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1998:1-119(in Chinese with English abstract).
- [2] 郝子文,俞如龙,等.论昆仑—巴颜喀拉海及其与特提斯演化关系[C]//青藏高原地质文集(12).北京:地质出版社,1983:25-42.
Hao Ziwen, Yu Rulong, et al. The Kunlun-Bayan Har Sea and its relation of Tethy[C]//Contribution to the Geology of the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau (12). Beijing: Geological Publishing House, 1983:25-42(in Chinese with English abstract).
- [3] 许志琴,侯立玮,王宗秀,等.中国松潘—甘孜造山带的造山过程[M].北京:地质出版社,1992:1-190.
Xu Zhiqin, Hou Liwei, Wang Zongxiu, et al. The Evolution of Songpan-Ganzi Orogenic Belt in China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1992:1-190(in Chinese with English abstract).
- [4] 刘宝田,江耀明,曲景川.四川理塘—甘孜一带古洋壳的发现及其对板块构造的意义[C]//青藏高原地质文集(12).北京:地质出版社,1983:119-128.
Liu Baotian, Jiang Yaoming, Qu Jingchuan. The Discovery of A Palaeoceanic Crust Strip along the Line from Liangtang to Ganzi in Sichuan and its Significance on Plate Tectonics [C]// Contribution to the Geology of the Qinghai-Xizang(Tibet) Plateau(12). Beijing: Geological Publishing House, 1983:119-128 (in Chinese with English abstract).
- [5] 江耀明.至多—理塘玄武岩地球化学特征及其地质构造意义[C]//青藏高原地质文集(14).北京:地质出版社,1984:235-252.
Jiang Yaoming. Geochemical Characteristics of Basalt at Zhidoi-Litang and Their meaning in Geologic Structure[C]// Contribution to the Geology of the Qinghai-Xizang(Tibet) Plateau(14). Beijing: Geological Publishing House, 1984:235-252 (in Chinese with English abstract).
- [6] 王连城,李达周,张旗,等.四川理塘蛇绿混杂岩——一个以火山岩为基质的蛇绿混杂岩[J].岩石学报,1985,1(2):17-28.
Wang Liancheng, Li Dazhou, Zhang Qi, et al. Ophiolitic Melange in Litang, Sichuan Province [J]. Acta Petrologica Sinica, 1985, 1(2): 17-28(in Chinese with English abstract).
- [7] 俞如龙,郝子文,侯立玮.川西高原中生代碰撞造山带的大地构造演化[J].四川地质学报,1989,9(1):27-38.
Yu Rulong, Hao Ziwen, Hou Liwei. Tectonic evolution of Mesozoic collision orogenic belt in Western Sichuan Plateau[J]. Acta Geologica Sichuan, 1989, 9(1):27-38(in Chinese).
- [8] 莫宣学,路凤香,沈上越,等.三江特提斯火山作用与成矿[M].北京:地质出版社,1993:1-267.
MO Xuanxue, LU Fengxiang, Shen Shangyue, et al. Sanjiang Tethyan Volcanism and Related Mineralization [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993:1-267(in Chinese with English abstract).
- [9] 辜学达.全国地层多重划分对比研究(51)四川省岩石地层[M].武汉:中国地质大学出版社,1997:343-345.
Gu Xueda. Multiple Classification and Correlation of the Stratigraphy of China (51)Stratigraphy (Lithostratic) of Sichuan Province[M].Wuhan:China University of Geosciences Press, 1997: 343-345(in Chinese).
- [10] 刘英俊,曹励明,李兆麟,等.元素地球化学[M].北京:科学出版社,1986:50-215(in Chinese).
Liu Yingjun, Cao Liming, Li Zhaolin, et al. Geochemistry of the Elements[M]. Beijing: Science Press, 1986:50-215(in Chinese).
- [11] 严钦尚.海洋地质学[M].北京:地质出版社,1982:300-307.
Yan Qinshang. Marine Geology[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1982:300-307(in Chinese).
- [12] 王砚耕,王立亭,程国繁.贵州关岭新铺地区铁锰结核的初步研究[J].贵州地质,2001,66(1):7-11.
Wang Yangen, Wang Liting, Cheng Guofan. Preliminary study on ferromanganese nodule in Xinpu district of Guanlin, Guizhou[J]. Guizhou Geology, 2001, 18 (1):7-11 (in Chinese with English abstract).
- [13] 许东禹,金庆焕,梁德华,等.太平洋中部多金属结核及其形成环境[M].北京:地质出版社,1994:1-450.
Xu Dongyu, Jin Qinghuan, Liang Dehua, et al. The Ferromanganese Nodules (Crusts) and Its Genesis Environment[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994(in Chinese with English abstract).
- [14] 鲍根德,李全兴.南海铁锰结核(壳)的稀土元素地球化学[J].海洋与湖沼,1993,24(3):304-313.
Bao gende, Li Xingquan. Rare earth element geochemistry of Ferromanganese Nodules (Crusts) from the South China Sea [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1993, 24 (3):304-313 (in

① 1:200 000 万理塘幅地球化学图说明书[R].四川省地质矿产局,1989.

Chinese with English abstract).

- [15] 韩杰, 叶瑛, 张维睿. 大洋锰结核(壳)中南极底流活动的矿物学与地球化学记录[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2006, 25(2):154-159.

Han Jie, Ye Ying, Zhang Weirui. Mineralogical and geochemical features of the AABW activity recorded in manganese nodules (crusts) from the central Pacific seamounts [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2006, 25(2):154-159 (in Chinese with English abstract).

- [16] 李志昌, 崔汝勇, 刘文贵. 太平洋中国开辟区铁锰结核稀土元素和铈钕同位素特征[J]. 地质论评, 2001, 47(3):309-315.

Li Zhichang, Cui Ruyong, Liu Wengui. REE and Ce,Nd isotopic characteristics of the ferromanganese nodules from the Chinese Pioneer Area in Eastern Pacific Ocean [J]. Geological Review, 2001, 47(3):309-315(in Chinese with English abstract).

- [17] 黄圭成, 徐德明, 雷义均, 等. 西藏西南部与蛇绿岩伴生的硅质岩特征及地质意义[J]. 中国地质, 2010, 37(1):101-109.

Huang Guicheng, Xu Deming, Lei Yijun, et al. Characteristics and geological implication of chert associated with ophiolite in southwestern Tibet [J]. Geology in China, 2010, 37 (1):101-109 (in Chinese with English abstract).

- [18] 程广芬等编译. 大洋底锰结核[M]. 北京:地质出版社, 1981:1-129.

Edited and Translated by Cheng Guangfen et al. Manganese Nodules of Ocean Floor[M]. Beijing:Geological Publishing House, 1981:1-129(in Chinese with English abstract).

- [19] 王成厚. 大洋锰结核[M]. 北京:海洋出版社, 1982:1-244.

Wang Chenghou. Manganese Nodules of Ocean [M]. Beijing: Ocean Press, 1982:1-244(in Chinese).

- [20] 潘燕宁, 陈逸君, 戴乐美, 等. 深海锰结核的分类及两类锰结核的特征[J]. 自然科学进展, 2001, 11(1):76-80.

Pan Yanning, Chen Yijun, Dai Lemei, et al. Classification of deep-Sea manganese nodules and characteristics on two types of manganese nodules [J]. Progress in Natural Science, 2001, 11(1):76-80(in Chinese).

The discovery of manganese nodules in Garze-Litang suture zone

PENG Dong¹, LIN Li², WANG Quan-wei³, KAN Ze-zhong³, FU Xiao-fang³, PENG Bo¹

(1. Regional Geological Survey Party, Sichuan Bureau of Geology and Mineral Resources, Shuangliu 610213, Sichuan, China;

2. Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 3. Sichuan Institute of Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China)

Abstract: Manganese nodules were found for the first time near Zhongmulla Village of Litang County in Sichuan Province, along the Garze-Litang suture zone. Based on geological mapping and integrated investigation, it is found that the manganese nodules are distributed in the black silt slate of Waneng Mélange belonging to the suture zone, and its sedimentary sequence is basalt→silicite→black manganese nodules-bearing silt slate. The major chemical compositions of the manganese nodules are characterized by high Mn and low Fe, Si, Ca. The Mn content is 42.19% which is 1.83 times higher than average Mn content of oceanic nodules; Mn/Fe ratios are relatively high, reaching 8.1. The content of most of the trace elements in the manganese nodules is lower than that of ocean nodules except for Cr whose content is 2~7 times higher than that of ocean ones. Rare elements have distinct Ce positive anomalies, and Σ REE, LREE/HREE, δ Eu are similar to things of sandstone and siliceous rocks but are very different from things of the basalt. The tectonic environment of the manganese nodules is a continental margin with weak volcanic activity, indicating that sedimentation occurred in an environment of the most strong expansion of the Ganze-Litang Ocean, during which the width of ocean was still limited in comparison with modern oceans.

Key words: Garze; Litang; suture zone; manganese nodules; Waneng Mélange

About the first author: PENG Dong, male, born in 1969, doctor and senior engineer, majors in regional geology, mineral resources and environment geology; E-mail: peng_dongxin@163.com.