

20-24 塔里木—华北板块的地壳和岩石圈元素丰度

黎 彤

(北京科技大学·北京·100083)

倪守斌

(中国科技大学·合肥·230026)

塔里木—华北板块是我国境内最大的岩石圈板块,也是我国最重要的成矿区域之一。给出了本板块的地壳模型和岩石圈模型,并分别计算出本板块的地壳和岩石圈的元素丰度,讨论了本板块的主要丰度特征。

关键词 塔里木—华北板块, 地壳, 岩石圈, 化学元素丰度



岩石·矿物

1 引言

塔里木—华北板块是我国境内面积最大的显生宙古板块^[1]。它位于我国大陆北部,北邻西伯利亚板块,南邻华南海域。它的北界为伊林哈别尔朵—西拉木伦断裂带,南界为地面积为 384 万 km², 占我国陆地总面积的 40%。

塔里木—华北板块不仅是我国最大的板块,而且还是我国最重要的成矿区域之一。在本板块的岩石圈内,蕴藏着丰富的矿产资源。如铁矿、镍矿、金矿、钨矿、稀土矿、菱镁矿、铝土矿、煤矿、石油和天然气等等。其中有些矿床(或矿田)达到大型、巨型,甚至超巨型的储量规模^[3]。因此,本文试图以塔里木—华北板块为例,开展区域地球化学背景的探索性研究^[4~8,10~11]。

2 板块模型

塔里木—华北板块的地壳和岩石圈模型,为采用模型质量法计算本板块的化学元素丰度提供必要的参数。地壳模型用来计算本板块及其次级构造单元的地壳元素丰度;岩石圈模型则用来计算本板块的岩石圈元素丰度。模型设计的依据,是有关区域地质、地

球物理测深和区域地球化学等实际资料的综合研究成果。

2.1 地壳模型

地球物理学定义的地壳,就是莫霍界面以上的岩石圈,可称之为上岩石圈或地壳岩石圈。

塔里木—华北板块的内部,由两个陆块(塔里木陆块和华北陆块)和两条陆缘活动带(天山—赤峰陆缘活动带和昆仑—秦岭陆缘活动带)构成。华北陆块形成于早元古代的吕梁期(2500 Ma~1800 Ma);塔里木陆块形成于晚元古代的晋宁期(1000 Ma~800 Ma),并与华北陆块对接,连成一个相对稳定的陆块区。在这个陆块区的北缘,为天山—赤峰陆缘活动带;其南缘则为昆仑—秦岭陆缘活动带^[1]。

本板块的地壳一般具有如下三个结构层:

1) 沉积层,主要由沉积岩组成。按照本板块内沉积岩(含浅变质岩)的质量统计,硅质岩类占 38%,碳酸盐岩类占 33%,泥质岩类占 29%。

2) 硅铝层,上部主要由花岗岩类组成,下部主要由闪长岩类组成。本层具有最大的结构层质量。

3) 硅镁层,陆块区内以麻粒岩相岩类成

本文 1997 年 6 月收到,李翠华编辑。

分为主;陆缘活动带内以玄武质岩类成分为主。局部地区有缺失硅镁层的报导,如东秦岭地区^[9]

本板块地壳模型的基本参数列于表1。全板块的地壳质量为 $482 \times 10^{15} \text{t}$, 占我国大陆地壳总质量的 38.74%^[10]。

表1 地壳模型参数

参 数	塔里木— 华北陆块区	天山—赤峰 陆缘活动带	昆仑—秦岭 陆缘活动带	全板块 地壳
面积(万 km ²)	207.8	90.5	85.7	384.0
厚度(km)	42.2	43.4	54.0	45.1
体积(Mkm ³)	87.7	39.3	46.3	173.3
密度(g/cm ³)	2.788	2.738	2.801	2.780
质量($\times 10^{15} \text{t}$)	244.5	107.6	129.7	481.8
其中:沉积层	46	33	21	100
硅铝层	102.5	64	88	254.5
硅镁层	96	10.6	20.7	127.3

全国陆壳平均厚度为 47 km, 本板块的地壳稍薄。但是昆仑—秦岭陆缘活动带的平均地壳厚度大于全国陆壳平均值。

塔里木—华北陆块区的地壳质量共占 50.75%, 南北两条陆缘活动带的地壳质量共占 49.25%, 陆块区和陆缘带的质量大体相等。

2.2 岩石圈模型

本板块的岩石圈模型是在上述地壳模型的基础上进行设计的。综合我国现有的岩石圈厚度资料,求得全板块的岩石圈平均厚度为 106 km。其中塔里木—华北陆块区较薄,天山—赤峰陆缘活动带稍厚,昆仑—秦岭陆缘活动带最厚。我国大陆岩石圈的平均厚度为 110 km,^[11]本岩石圈板块稍薄。综合地壳岩石密度资料和上地幔密度分布资料^[4,12],求得本板块的岩石平均密度为 3.039 g/cm^3 , 与我国大陆岩石圈的平均密度比较接近。

表2列出本板块岩石圈模型的基本参数。全板块的岩石圈总质量为 1.237 Et ($1 \text{ Et} = 10^{18} \text{t}$), 占我国大陆岩石圈总质量的 38.12%, 相当于本板块地壳质量的 2.57 倍。

陆块区的岩石圈质量比两条陆缘活动带的质量总和稍大,南北两条陆缘活动带的岩石圈质量则大体相当。

位于莫霍界面以下的岩石圈,属下岩石圈或上地幔岩石圈,本板块上、下岩石圈的质量比值介于 1:1.32 至 1:1.74 之间,平均为 1:1.57。

下岩石圈的结构层属超硅镁层。本板块的超硅镁层主要由二辉橄榄岩构成。上部以尖晶石二辉橄榄岩为主,下部则以石榴石二辉橄榄岩为主^[13,14]。目前,我国上地幔岩石圈化学成分资料,主要分布在东部地区,西部还很少。

表2 岩石圈模型参数

参 数	塔里木— 华北陆块区	天山—赤峰 陆缘活动带	昆仑—秦岭 陆缘活动带	全板块 岩石圈
面积(万 km ²)	207.8	90.5	85.7	384
厚度(km)	100	108	118	106
体积(Mkm ³)	207.8	97.7	101.5	407
密度(g/cm ³)	3.084	3.019	2.967	3.039
质量($\times 10^{15} \text{t}$)	640.9	295	301.1	1237
其中:上岩石圈	244.5	107.6	129.7	481.8
下岩石圈	396.4	187.4	171.4	755.2

3 板块元素丰度

3.1 元素丰度值

根据上述地壳模型和岩石圈模型,以及有关的各类岩石化学资料,采用结构层的质量加权平均法,可分别求出塔里木—华北板块的地壳和岩石圈元素丰度值,如表3。

在表3的岩石圈元素丰度中,由于岩石圈模型和本板块内二辉橄榄岩研究资料不足,只给出全板块的岩石圈元素丰度值,并分别以质量丰度、原子丰度和相对丰度表示,以便应用^[15]。

3.2 丰度对比和分析

根据表3所列的塔里木—华北板块岩石圈元素丰度值和地壳元素丰度值,以及次级构造单元的地壳元素丰度值,可以进行多层次多方面的丰度对比和分析。如:

表 3 塔里木—华北板块的地壳和岩石圈元素丰度

原子序数	元素名称	元素符号	地壳 ($\mu\text{g/g}$)				岩石圈		
			塔里木—华北陆块区	天山—赤峰陆缘活动带	昆仑—秦岭陆缘活动带	全板块地壳平均	质量丰度 ($\mu\text{g/g}$)	原子丰度 (原子%)	相对丰度 ($\text{Si}=10^6$ 原子)
1	氢	H	1.11×10^3	1.04×10^3	1.18×10^3	1.10×10^3	9.23×10^2	1.89	1.11×10^5
2	氦	He	—	—	—	—	—	—	—
3	锂	Li	24.1	26.1	34.8	26.9	12.6	3.74×10^{-3}	2.21×10^2
4	铍	Be	1.78	2.05	2.79	2.09	1.78	4.07×10^{-4}	24.0
5	硼	B	18.4	20.3	19.5	19.3	10.2	1.94×10^{-3}	1.15×10^2
6	碳	C	1.09×10^4	4.78×10^3	3.19×10^3	7.12×10^3	3.38×10^3	0.58	3.42×10^4
7	氮	N	77.7	81.2	56.3	70.7	32.2	4.74×10^{-3}	2.80×10^2
8	氧	O	4.67×10^5	4.59×10^5	4.76×10^5	4.62×10^5	4.50×10^5	57.9	3.42×10^6
9	氟	F	6.11×10^2	6.95×10^2	8.95×10^2	6.94×10^2	3.79×10^2	4.11×10^{-2}	2.43×10^2
10	氖	Ne	—	—	—	—	—	—	—
11	钠	Na	2.37×10^4	2.46×10^4	2.50×10^4	2.43×10^4	1.29×10^4	1.16	6.82×10^4
12	镁	Mg	2.64×10^4	3.09×10^4	2.32×10^4	2.71×10^4	1.45×10^4	12.3	7.25×10^4
13	铝	Al	7.60×10^4	7.65×10^4	7.74×10^4	7.65×10^4	4.03×10^4	3.08	1.82×10^5
14	硅	Si	2.67×10^5	2.59×10^5	2.68×10^5	2.65×10^5	2.31×10^5	16.9	1.00×10^6
15	磷	P	9.57×10^2	5.24×10^2	1.05×10^3	9.60×10^2	6.67×10^2	4.44×10^{-2}	2.62×10^3
16	硫	S	1.98×10^2	1.91×10^2	2.44×10^2	2.02×10^2	1.44×10^2	9.25×10^{-3}	5.64×10^2
17	氯	Cl	56.0	57.4	77.2	60.6	32.9	1.91×10^{-3}	1.13×10^2
18	氩	Ar	—	—	—	—	—	—	—
19	钾	K	1.33×10^4	1.67×10^4	1.78×10^4	1.55×10^4	9.21×10^3	0.49	2.86×10^4
20	钙	Ca	5.02×10^4	5.59×10^4	4.91×10^4	5.17×10^4	3.39×10^4	2.87	1.70×10^5
21	钪	Sc	14.0	14.3	10.2	13.2	12.5	5.73×10^{-4}	33.8
22	钛	Ti	4.44×10^3	7.26×10^3	6.89×10^3	5.94×10^3	3.15×10^3	0.14	8.00×10^3
23	钒	V	80.6	82.3	53.9	75.0	52.6	2.13×10^{-3}	1.26×10^2
24	铬	Cr	1.02×10^2	1.14×10^2	59.6	99.4	1.58×10^3	6.26×10^{-2}	3.69×10^3
25	锰	Mn	9.29×10^2	1.08×10^3	1.01×10^3	1.01×10^3	1.09×10^3	4.09×10^{-2}	2.41×10^3
26	铁	Fe	5.58×10^4	6.06×10^4	4.82×10^4	5.56×10^4	6.43×10^4	2.37	1.40×10^5
27	钴	Co	23.7	24.5	14.5	21.9	45.0	1.57×10^{-3}	92.8
28	镍	Ni	93.6	1.02×10^2	44.7	85.6	1.14×10^3	4.00×10^{-2}	2.36×10^3
29	铜	Cu	53.6	51.9	37.2	49.3	43.7	1.42×10^{-3}	83.6
30	锌	Zn	75.5	73.2	55.2	69.8	66.6	2.10×10^{-3}	1.24×10^2
31	镓	Ga	19.8	19.9	16.5	19.0	14.2	4.20×10^{-4}	24.8
32	锗	Ge	1.22	1.31	1.38	1.28	1.08	3.06×10^{-5}	1.81
33	砷	As	2.29	2.52	3.34	2.65	1.56	4.29×10^{-5}	2.53
34	硒	Se	7.81×10^{-2}	7.81×10^{-2}	6.74×10^{-2}	7.55×10^{-2}	8.03×10^{-2}	2.09×10^{-6}	0.12
35	溴	Br	2.93	1.55	1.93	1.85	0.90	2.32×10^{-5}	1.37
36	氪	Kr	—	—	—	—	—	—	—
37	铷	Rb	1.10×10^2	1.16×10^2	1.48×10^2	1.20×10^2	55.9	1.35×10^{-3}	79.5
38	锶	Sr	2.40×10^2	1.74×10^2	2.29×10^2	2.16×10^2	78.6	1.85×10^{-3}	1.09×10^2
39	钇	Y	18.0	20.1	19.4	19.2	9.38	2.17×10^{-4}	12.8
40	锆	Zr	2.04×10^2	2.14×10^2	1.81×10^2	2.05×10^2	1.05×10^2	2.37×10^{-3}	1.40×10^2
41	铌	Nb	41.7	45.0	32.7	40.9	20.2	4.48×10^{-4}	26.4
42	钼	Mo	1.93	2.24	2.10	2.08	0.98	2.10×10^{-5}	1.24
43	锝	Tc	—	—	—	—	—	—	—
44	钌	Ru	3.96×10^{-4}	4.40×10^{-4}	1.60×10^{-4}	3.60×10^{-4}	2.94×10^{-3}	5.59×10^{-8}	3.54×10^{-3}
45	铑	Rh	1.69×10^{-4}	1.88×10^{-4}	6.85×10^{-5}	1.54×10^{-4}	5.48×10^{-4}	1.10×10^{-8}	6.50×10^{-4}
46	钯	Pd	3.56×10^{-3}	3.96×10^{-3}	1.44×10^{-3}	3.24×10^{-3}	6.05×10^{-3}	1.17×10^{-7}	6.91×10^{-3}
47	银	Ag	5.16×10^{-2}	5.01×10^{-2}	5.50×10^{-2}	5.20×10^{-2}	4.53×10^{-2}	8.65×10^{-7}	5.11×10^{-2}
48	镉	Cd	5.84×10^{-2}	5.60×10^{-2}	4.76×10^{-2}	5.50×10^{-2}	6.09×10^{-2}	1.16×10^{-6}	6.59×10^{-2}
49	铟	In	4.78×10^{-2}	4.75×10^{-2}	3.32×10^{-2}	4.40×10^{-2}	5.39×10^{-2}	9.67×10^{-7}	5.71×10^{-2}
50	锡	Sn	5.86	6.23	9.51	6.80	4.09	7.10×10^{-5}	4.19
51	锑	Sb	0.163	0.168	0.188	0.171	0.12	2.05×10^{-6}	0.12
52	碲	Te	2.14×10^{-2}	2.24×10^{-2}	2.10×10^{-2}	2.17×10^{-2}	2.16×10^{-2}	3.49×10^{-7}	2.06×10^{-2}
53	碘	I	—	—	—	—	—	—	—

续表 3

原子序数	元素名称	元素符号	地壳 ($\mu\text{g/g}$)				岩石圈		
			塔里木—华北 陆块区	天山—赤峰 陆缘活动带	昆仑—秦岭 陆缘活动带	全板块 地壳平均	质量丰度 ($\mu\text{g/g}$)	原子丰度 (原子%)	相对丰度 ($\text{Si}=10^6$ 原子)
54	氙	Xe	—	—	—	—	—	—	—
55	铯	Cs	7.44	9.13	13.7	9.33	4.23	6.56×10^{-5}	3.87
56	钡	Ba	4.49×10^2	4.69×10^2	4.39×10^2	4.54×10^2	2.10×10^2	3.15×10^{-3}	1.86×10^2
57	镧	La	34.1	37.0	37.4	35.7	16.1	2.39×10^{-4}	14.1
58	铈	Ce	65.7	72.4	73.7	69.7	31.4	4.62×10^{-4}	27.2
59	镨	Pr	7.86	8.59	8.72	8.28	3.71	5.42×10^{-5}	3.20
60	钕	Nd	31.6	34.6	33.5	33.0	14.8	2.11×10^{-4}	12.5
61	铈	Pm	—	—	—	—	—	—	—
62	钐	Sm	5.99	6.64	6.64	6.36	2.87	3.93×10^{-5}	2.32
63	铕	Eu	1.35	1.40	1.07	1.30	0.60	8.08×10^{-6}	0.48
64	钆	Gd	5.17	5.84	6.04	5.60	2.56	3.35×10^{-5}	1.98
65	铽	Tb	0.833	0.951	1.14	0.918	0.42	5.47×10^{-6}	0.32
66	镝	Dy	4.34	5.09	5.84	4.94	2.31	2.93×10^{-5}	1.73
67	钬	Ho	0.827	0.736	1.14	0.920	0.44	5.48×10^{-6}	0.32
68	铒	Er	2.27	2.71	3.44	2.68	1.23	1.51×10^{-5}	0.89
69	铥	Tm	0.357	0.426	0.557	0.425	0.20	2.45×10^{-6}	0.15
70	镱	Yb	2.29	2.78	3.76	2.79	1.34	1.60×10^{-5}	0.94
71	镱	Lu	0.338	0.415	0.526	0.417	0.20	2.38×10^{-6}	0.14
72	铪	Hf	5.03	5.62	5.09	5.30	2.52	2.91×10^{-5}	1.72
73	钽	Ta	5.10	5.08	6.14	5.34	2.84	3.23×10^{-5}	1.91
74	钨	W	1.08	1.31	1.86	1.34	0.83	9.34×10^{-6}	0.55
75	铼	Re	—	—	—	—	—	—	—
76	锇	Os	1.48×10^{-4}	1.65×10^{-4}	6.0×10^{-5}	1.32×10^{-4}	1.89×10^{-3}	2.05×10^{-8}	1.21×10^{-3}
77	铱	Ir	2.97×10^{-4}	3.30×10^{-4}	1.20×10^{-4}	2.65×10^{-4}	6.79×10^{-4}	7.28×10^{-9}	4.30×10^{-4}
78	铂	Pt	2.81×10^{-3}	3.13×10^{-3}	1.14×10^{-3}	2.51×10^{-3}	6.44×10^{-3}	6.80×10^{-8}	4.01×10^{-3}
79	金	Au	1.42×10^{-3}	1.62×10^{-3}	2.12×10^{-3}	1.65×10^{-3}	1.54×10^{-3}	1.61×10^{-8}	9.50×10^{-4}
80	汞	Hg	8.71×10^{-3}	7.43×10^{-3}	7.32×10^{-3}	7.80×10^{-3}	6.94×10^{-3}	7.13×10^{-8}	4.21×10^{-3}
81	铊	Tl	0.515	0.627	0.925	0.641	0.32	3.17×10^{-6}	0.19
82	铅	Pb	14.2	14.9	19.6	15.5	6.86	6.82×10^{-5}	4.03
83	铋	Bi	0.238	0.29	0.449	0.303	0.14	1.39×10^{-6}	8.20×10^{-2}
84	钋	Po	—	—	—	—	—	—	—
85	砹	At	—	—	—	—	—	—	—
86	氡	Rn	—	—	—	—	—	—	—
87	钫	Fr	—	—	—	—	—	—	—
88	镭	Ra	—	—	—	—	—	—	—
89	锕	Ac	—	—	—	—	—	—	—
90	钍	Th	8.87	10.6	13.1	10.4	5.20	4.62×10^{-5}	2.72
91	镤	Pa	—	—	—	—	—	—	—
92	铀	U	2.48	2.95	3.93	2.96	1.57	1.36×10^{-5}	0.80

注:表中符号“—”表示其丰度值尚未求出。

1)本板块岩石圈元素丰度与中国大陆岩石圈元素丰度的对比分析。通过对比得知,塔里木—华北板块具有如下的总体丰度特征:富 Fe, Mn, Al 而贫 P; 富 Mo, Sn 而贫 W; 富 Cu, Pb 而贫 Zn; 富 Sb, Bi 而贫 Hg; 富 Nb, Ta 而贫 Li, Be 等等。

2)本板块地壳元素丰度可与中国大陆地壳元素丰度对比,分析本板块的地壳元素丰

度特征。

3)本板块地壳元素丰度与本板块岩石圈元素丰度的对比分析。以稀土元素为例,在本板块的岩石圈内, $\Sigma\text{REE} = 87.56 \mu\text{g/g}$; 在其地壳内, $\Sigma\text{REE} = 192.23 \mu\text{g/g}$, 为岩石圈稀土总丰度值的 2.2 倍。

4)本板块二级构造单元的地壳元素丰度与全板块地壳元素丰度的对比分析。通过对

比得知,Fe 和 Mn 都富集在天山—赤峰陆缘活动带;P 在全板地壳中呈贫化,但是在昆仑—秦岭陆缘活动带的地壳中则相对富集,其丰度系数为 1.09。

5) 本板块二级构造单元的地壳元素丰度相互对比分析。如稀土元素地壳丰度,在塔里木—华北陆块区内, $\Sigma\text{REE} = 181 \mu\text{g/g}$; 在天山—赤峰陆缘活动带内, $\Sigma\text{REE} = 200 \mu\text{g/g}$; 在昆仑—秦岭陆缘活动带内, $\Sigma\text{REE} = 203 \mu\text{g/g}$ 。由此可知,两条活动带的稀土总丰度值均大于陆块区的稀土总丰度值,而且两条活动带的稀土总丰度值近于相等。又如,热源元素(K、Th 和 U)在塔里木—华北陆块区呈贫化,而在昆仑—秦岭陆缘活动带相对富集,其丰度系数分别为: $K = 1.16$; $\text{Th} = 1.23$; $\text{U} = 1.33$ 。

总之,板块元素丰度的对比分析是多层次多方面的。建立板块元素丰度的多级体系,还有许多工作要做。板块元素丰度体系的内在规律和实际应用,尚有待深入研究和开发。

参考文献

- 程海琪主编. 中国区域地质概论. 北京: 地质出版社, 1994
- 黎彤, 李峰. 试论我国的大地化学背景. 地质与勘探, 1991(12): 1~7
- 黎彤. 巨型和超巨型金属矿床储量规模的国际参考标准. 地质与勘探, 1995(3): 5~9
- 黎彤, 袁不雨. 华北陆壳的岩石化学模型. 北京: 科技大学学报, 1991(3): 195~201
- 黎彤, 梅致文. 华北三重构造层的沉积演变和岩石化学特征. 大地构造与成矿学, 1990(4): 275~282
- 黎彤. 华北元古界沉积演变和成矿背景问题. 矿床地质, 1991(1): 52~58
- 黎彤, 张西繁. 华北花岗岩类的大地构造岩石化学特征. 大地构造与成矿学, 1992(4): 315~324
- 黎彤, 李峰, 满发胜, 等. 新疆地壳的化学成分. 中国科学技术大学学报, 1991(3): 37~46
- 张本仁等. 秦巴区域地球化学文集. 武汉: 中国地质大学出版社, 1990
- 黎彤. 中国陆壳及其沉积层和上陆壳的化学元素丰度. 地球化学, 1994(2): 140~145. (英文版, 1995(1): 26~32)
- 黎彤, 倪守斌. 中国大陆岩石圈的化学元素丰度. 地质与勘探, 1997(1): 31~37
- 冯锐. 中国地壳厚度及上地幔密度分布. 地震学报, 1985(2)
- 郝复斌, 赵大升主编. 中国东部新生代玄武岩及辉石岩包体. 北京: 科学出版社, 1987
- 白文吉等. 华北地块岩石圈构造演化与镁铁超镁铁杂岩及矿化特征. 北京: 地震出版社, 1993
- 黎彤, 倪守斌. 地球和地壳的化学元素丰度. 北京: 地质出版社, 1990

ELEMENT ABUNDANCES OF THE CRUST AND LITHOSPHERE IN TARIM - N. CHINA PLATE

Li Tong, Ni Shoubin

The Tarim - Northern China Plate is the largest lithospheric plate in the territory of China, and one of the most important metallogenic provinces of China. The data of the crustal model and lithospheric model were proposed. Based on these data, the element abundances of the crust and lithosphere of the plate were calculated respectively and main characteristics of this plate was discussed with some of these values of element abundances.

Key words Tarim - Northern China plate, crust, lithosphere, abundance, chemical element



第一作者简介:

黎彤 男, 1949 年毕业于北京大学地质系, 获理学学士学位。1957 年进中国科学院攻读矿床学副博士(四年级)研究生, 1960 年毕业。先后在中国科技大学和北京科技大学任教, 长期从事元素丰度研究。

通讯地址: 北京市海淀区学院路 30 号 北京科技大学资源工程学院 邮政编码: 100083