

辽东地区硼矿床成因探讨与硼矿远景区预测

曲洪祥¹, 郭伟静¹, 张 永¹, 谭文刚¹, 陈树良¹, 李全林¹, 卞雄飞²

(1. 辽宁省地质勘查院, 辽宁 大连 116100; 2. 沈阳地质矿产研究所, 辽宁 沈阳 110033)

摘 要: 辽东地区硼矿赋存于以“含硼岩系”而著称的辽河群里尔峪(岩)组中,表现出明显的地层岩性控矿性。在广泛搜集前人有关硼矿研究成果的基础上,结合丹东市 1/25 万区调,对本区硼矿成因进行了较深入的研究,认为本区硼矿是混合岩化成矿—构造再次富集的层控型矿床。进而对硼矿成矿远景区进行了预测,共划分 A、B、C 三级预测区, A 级 1 处, B 级 3 处, C 级 3 处,为今后硼矿找矿、立项提供了科学的依据。

关键词: 辽东地区;含硼岩系;条痕状花岗杂岩;混合岩化作用

辽东地区硼矿资源极为丰富,是我国硼矿资源的主要分布区,硼矿床(点)均产于以“含硼岩系”而著称的辽河群里尔峪(岩)组中。曾先后有 20 余家科研、教学和生产单位在本区从事硼矿地质普查、勘探及专题研究等工作。矿床成因观点较多,主要有“镁质夕卡岩成因”^[1]、“混合岩化热液成因”^[2]、“沉积—火山—变质改造的层控矿床”^[3]、“层控火山沉积变质矿床”^[4]、“叠生层控变质火山沉积矿床”^[5]、“沉积变质再造型矿床”^[6]等。以上各家成因观点,可以概括为:火山作用→沉积作用→变质作用→混合岩化(夕卡岩化)作用→构造作用→形成硼矿,均从不同角度反映了本区硼矿极为复杂的成因特点。其中,火山作用→沉积作用仅代表成矿物质的来源,具有层控之意,无矿可言;变质作用是混合岩化作用^[2]的必经过程,而混合岩化作用才是成矿作用的根本。所谓的再造,是指已成矿体再经构造作用,使矿体矿量增大、矿石品位增多的过程。笔者在前人研究成果^[1~6]的基础上进行了全面的总结和较深入的研究,认为辽东地区古元古代硼矿为“混合岩化成矿—构造再次富集的层控型矿床”。本文着重对成矿作用,尤其是在成矿模式及找矿标志方面作了较深入的研究和探讨,意在拓宽找矿工作的新思路。

1 区域成矿地质背景

本区近百个硼矿床(点),分布于东西长近 300 km,南北宽 50~60 km 的狭长地带。每个硼矿床(点)的空间展布,均受以古元古代条痕状花岗杂岩(张秋生,1985)为核的穹状构造、短轴背斜构造控制,且无一例外地产于以“含硼岩系”而著称的里尔峪(岩)组内,表现出明显的层控矿床特点(图 1)。里尔峪(岩)组是一套以富钠、铁、镁、硼为特征的变质火山—沉积岩建造,其底部与条痕状花岗杂岩多呈混合交代接触,少数呈侵入接触,或切变带接触关系,顶部与高家峪(岩)组呈整合接触。

2 矿床地质特征

2.1 矿体分布、形态、产状及规模

产于“含硼岩系”中的所有硼矿床(点),均赋存于富镁质大理岩中,反映本区硼矿具有层控与岩控的特点。硼矿体与容矿岩石具有固定的层位,往往分布于里尔峪(岩)组的下部且与条痕状花岗杂岩体垂直距离小于 200 m 的范围内,矿体与顶、底板围岩多为构造接触(接触带为构造蚀变岩)。另外,于二台子、高台子等地可见硼矿体的下部围岩中分布有硬石膏层,反映了硼质形成时为蒸发环境。

矿体往往呈似层状、透镜状,一般延长数十米至数百米,个别达数千米,厚度数米至数十米,最大厚度达 156 m(翁泉沟硼矿)。一般规律是容矿岩石厚度、矿体厚度及矿床规模均与含硼岩系厚度等呈正相关关系。据区域上 72 个硼矿床(点)的统计,大中型以上矿床容矿岩石的厚度均大于 50 m,矿体分布于含硼岩系及容矿岩石厚度最大的部位(膨胀部位),如翁泉沟特大型硼矿床容矿岩石的厚度达 356 m。

矿体厚度最大部位即为矿体在塑性变形过程中造成的膨胀带,说明在构造变形作用中,有用组分再次富集成矿,同时说明矿体发生了异地的物理迁移,而化学迁移居于次要地位。容矿岩石与矿体的关系,无论沿走向或倾向,均表现为明显的膨缩、分支复合,甚至与围岩同步褶曲等现象,并在膨胀处或向斜转折部位造成矿体厚度明显增大、矿量增多,并相伴出现一系列新的矿石组构。说明矿体与容矿岩石具有同生性与后期构造改造的双重特征。矿化与镁橄榄石化、蛇纹石化关系密切。

2.2 矿石的矿物成分

矿石含硼矿物有遂安石、板状硼镁石、柱状硼镁石、纤维状硼镁石及硼镁铁矿。以遂安石、硼镁石工业意义最大。

脉石矿物由镁橄榄石、蛇纹石、金云母、透闪石、菱铁矿、白云石、方解石及磁铁矿等组成。其中镁橄榄石同蛇纹石一起构

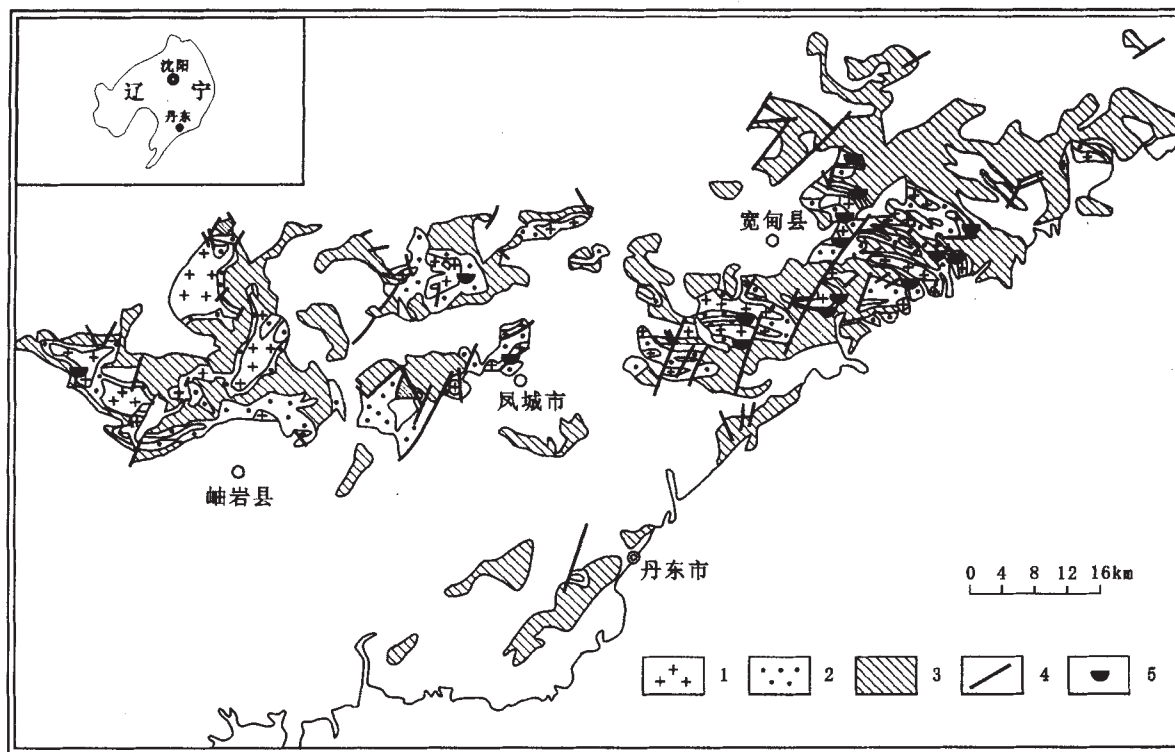


图1 辽东地区硼矿分布及其地质背景

Fig. 1 The distribution of boron deposits and geologic background in Eastern Liaoning

1—条痕状花岗岩 (streaky granitic complex) 2—里尔峪岩组 (Lieryu formation) 3—高家峪岩组和大石桥岩组 (Gaojiayu and Dashiqiao formations) 4—断层 (fault) 5—硼矿产地 (locality of boron deposits)

成多数硼矿床容矿岩石的主体。

2.3 矿石的结构与构造

2.3.1 矿石结构

矿石主要为变晶结构和交代结构。变晶结构是变质—混合岩化作用早期形成的特征结构,主要有柱状、板状—柱状、粒状变晶结构。交代结构主要是混合岩化后期形成的在各类型硼矿床中广泛分布的结构,可分为交代残余结构和交代假象结构。从矿体中心向两侧,或从深部向浅部,交代结构具有逐渐增强的规律。本区交代结构为明显叠加于变晶结构之上的逆变质结构,是混合岩化热液活动的重要标志。

2.3.2 矿石构造

矿石构造的多样性和复杂性是本区硼矿床重要的地质特征之一。

同一矿区,甚至同一矿体内常常出现不同类型的矿石构造,不同类型的矿石构造往往分布于矿体中特定的部位。矿石构造按成因划分为变质、交代形成的构造和变形作用形成的构造。如束状构造、放射状构造、菊花状构造、三角格架构造,是原生硼酸盐矿物在比较平静的物化(温度 T 、压力 P 、介质 pH 值)条件下经变质、交代重结晶形成的矿石构造。矿石在挤压应力(高压区、低压区)作用下形成的矿石构造具有多样性和复杂性。

低压区——膨胀带的矿石构造,是矿液沿裂隙生长或充填的矿石构造。如反角砾状构造(后仙峪硼矿床 V 号矿体广泛分

布)、斑花状构造(如杨木杆硼矿床)、团块状构造(二人沟硼矿床)、脉状和网脉状构造普遍存在。而高压区——狭缩带的矿石构造,是在挤压应力机制下形成的一种典型的剪切流动构造,如似条纹状构造、似条带状构造等。如果同时伴有层间滑动,则形成磨砾状构造。

2.4 矿石化学成分及其变化规律

辽东地区硼矿石主要由硼镁石型与硼镁铁矿型组成。其化学成分见表 1、2^[3]。

由表中可看出,硼镁石矿石以富 MgO 、少 TFe 为特点,而硼镁铁矿型矿石却以富 TFe 、少 MgO 为特点。硼镁石型矿石 B_2O_3 的含量远远高于硼镁铁矿型,说明硼镁石型矿石工业意义较硼镁铁矿型为大。两类型矿石共性是 B_2O_3 与 MgO 具有正相关特点,且均贫 Al_2O_3 、 CaO 。

以翁泉沟特大型、后仙峪大型硼矿床为例,可以看出矿石化学成分及其变化规律:①矿体中 B_2O_3 与 MgO 含量呈正相关,反映了硼矿成矿条件需要富镁的环境,这与镁是硼酸盐最好的沉淀剂结论是一致的;② B_2O_3 在同一矿床内不同矿体中矿石的平均品位近于一致,且 MgO 含量亦较稳定,反映了硼矿原始“容矿层”的形成,以及混合岩化成矿过程中,其矿体、矿石形成的物化 (P 、 T 、 pH) 场的均匀性。

3 成矿作用及成矿模式

表 1 硼镁石型矿石的化学成分

Table 1 Chemical compositions of szaibelyite type of ore

矿石类型	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	B ₂ O ₃	LOS	总计
硼镁石矿	26.89	0.00	0.48	9.90	0.00	0.104	44.26	1.61	0.16	1.16	0.009	11.31	4.873	100.75
硼镁石矿	22.06	0.00	1.19	6.15	0.00	0.048	40.77	2.49	0.16	1.22	0.011	15.44	11.303	100.84
硼镁石矿	17.29	0.09	1.39	0.96	2.95	0.06	43.65	0.54	0.13	1.19	0.04	20.93	11.21	100.43
硼镁石遂安石矿	3.05	-	0.42	0.02	3.01	0.06	49.87	0.39	0.07	0.50	-	39.11	3.14	99.64
硼镁石矿	4.82	-	0.39	0.14	2.87	0.06	45.01	0.36	0.07	0.38	-	34.20	12.17	100.47
平均	14.822	0.018	0.774	3.434	1.766	0.066	44.712	1.078	0.118	0.89	0.012	24.198	8.54	100.43

据张秋生等,1988.

表 2 硼镁铁矿型矿石的化学成分

Table 2 Chemical compositions of ludwigite type of ore

矿石类型	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	B ₂ O ₃	LOS	总计
磁铁矿-硼镁铁矿型	14.24	0.05	1.33	28.47	13.12	0.10	24.64	0.28	0.16	0.28	0.10	7.23	9.01	99.01
磁铁矿-硼镁铁矿型	15.38	0.06	1.65	28.48	12.10	0.08	26.74	0.40	0.15	0.23	0.08	5.58	9.10	100.03
磁铁矿-硼镁铁矿型	14.67	0.06	1.65	27.56	14.75	0.01	24.70	0.59	0.16	0.23	0.10	6.84	7.75	99.07
磁铁矿-硼镁铁矿型	12.67	0.08	2.05	32.67	13.19	0.10	21.74	0.87	0.17	0.20	0.07	6.84	8.50	99.15
硼镁石-磁铁矿型	14.10	0.11	2.74	25.51	15.94	0.08	23.69	0.55	0.23	0.76	0.07	7.66	8.00	99.44
平均	14.212	0.072	1.884	28.538	13.82	0.074	24.302	0.538	0.174	0.34	0.084	6.83	8.472	99.34

据张秋生等,1988.

3.1 成矿作用

3.1.1 成矿物质的来源

成矿物质(硼)均来源于里尔峪(岩)组——“含硼岩系”。主要依据:①含硼岩系中 B₂O₃ 的含量高于克拉克值的几倍到几百倍(表 3)。②硼矿体规模与“含硼岩系”厚度呈正相关,且无一例外地分布于“含硼岩系”内呈夹层产出的富镁质大理岩中,矿体、容矿岩石与“含硼岩系”共同卷入后期变形构造。③矿体与“含硼岩系”同源,经过 12 个硼矿床的矿石及“含硼岩系”中有代表性岩石(计 63 个样品)进行岩石化学分析,通过有关相图图解处理,其原岩均为火山岩、黏土岩和碳酸盐岩,并以钙碱性火山岩为主,反映了二者的同源性。

3.1.2 原始容矿岩石的形成

前已叙述,“含硼岩系”中硼质是由海底火山间歇期火山喷气或火山温泉带出,即来自火山源,当海水中硼酸盐矿物达到一

定浓度时发生沉淀,分散于“含硼岩系”中。当全球海平面下降致使沉积盆地(或称海底火山洼地)处于封闭-半封闭环境时,并且气候异常干燥炎热(盆地中海水的蒸发量大于补给量),海水不断地浓缩-沉淀,形成含硬石膏、钠硼解石、柱硼镁石、水方硼石等矿物的富镁质碳酸盐岩——初始容矿岩石。初始容矿岩石只是成矿的母体,并非是矿石或矿体。这可由后期在无条痕状花岗杂岩出现的地区广泛分布的“含硼岩系”中富镁质大理岩无硼矿体产出的事实得以验证。

3.1.3 混合岩化成矿阶段

大约距今 2100 Ma 左右,辽东裂谷^[7]中辽河群沉积以后,由于地幔物质上涌,热流沿裂谷底部上升,致使辽河群原岩发生区域变质作用,同时伴随吕梁构造旋回第一期的变形作用。地下热流上升过程中,其分布是不均匀的,相当于原火山(指里尔峪期火山)活动中心附近热流最高,致使该地带早于里尔峪期形成

表 3 “含硼岩系”中主要岩石 B₂O₃ 的含量Table 3 B₂O₃ in major rocks of the “boron-bearing rock series”

岩石名称	白云质大理岩	斜长角闪岩	电气石变粒岩	黑云斜长变粒岩	角闪变粒岩	钠长微斜二长浅粒岩	含磁铁浅粒岩	含黑云浅粒岩	含电气浅粒岩	含角闪浅粒岩
样品数	6	28	14	8	8	3	4	4	1	2
B ₂ O ₃ /10 ⁻⁶	3670	1790	21890	1590	530	2170	475	5100	3800	1085

据张景山. 辽东硼镁石型矿床地质特征及成矿作用.

的地质体^[16]发生混合岩化作用,形成混熔岩浆,其混浆并不地上侵顶板围岩,当上侵至“含硼岩系”时,“含硼岩系”整体温度随之升高,局部发生混熔,其中的部分硼质开始活化(汽化)、单向迁移进入围岩(指含硼岩系),未参与混熔的“含硼岩系”的

中上部层位,其中的硼质在较高的温度条件下,开始活化(液化)并发生多向迁移(图2)。由汽化、液化了的硼酸盐矿物在一定的条件(450~650℃, P_{H_2O} 500 MPa, pH值8~9.6)下,与富镁质大理岩发生交代作用,形成硼镁石型、硼镁铁型矿体。

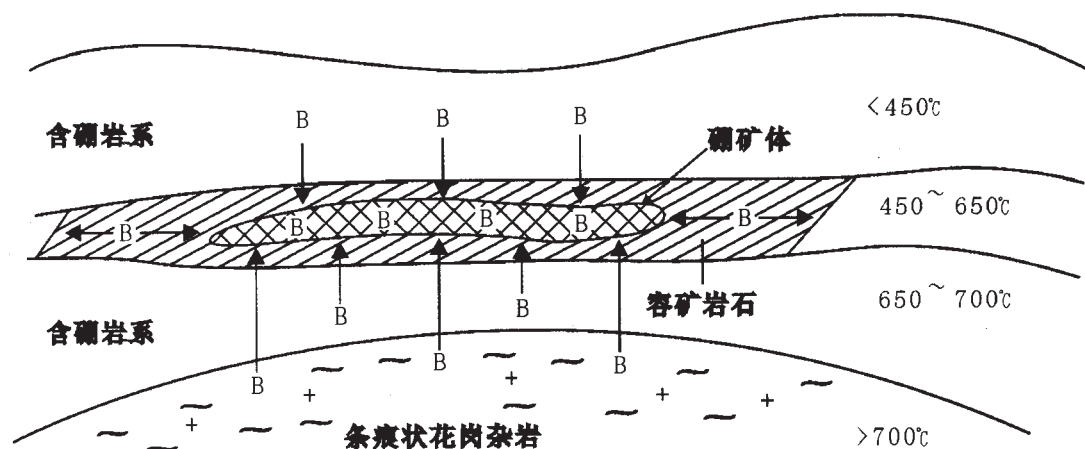


图2 混合岩化导致矿化示意图

Fig. 2 Illustration for B mineralization by migmatization

本区硼矿床(点)均产于“含硼岩系”富镁质大理岩中。然而,“含硼岩系”中富镁质大理岩并非全有硼矿床分布。因此,本区硼矿的“沉积变质成因矿床”的观点至少是不够确切的。

区内硼矿床无一例外地分布于条痕状花岗杂岩体附近,并且与条痕状花岗杂岩体垂直距离小于200 m,如翁泉沟特大型硼矿床与条痕状花岗杂岩体距离为20~150 m,而后仙峪大型硼矿床为10~120 m。说明硼矿床与条痕状花岗杂岩体具有极为密切的成因联系,该杂岩是由原始地壳经超变质-混合岩化作用形成的原地-半原地岩基型壳幔混合杂岩^[8]。

至今尚未见到一例硼矿体或容矿岩石直接与条痕状花岗杂岩体接触的现象,最近距离也在2~5 m。所以,排除了本区硼矿床为“镁质夕卡岩成因”的可能。另据区域资料,辽东地区硼矿床与条痕状花岗杂岩体最佳成矿距离为40~60 m,进一步说明与镁质夕卡岩的关系不甚密切。

需要指出,混合岩化作用也要有个度。若较强烈时,可以将“含硼岩系”几乎或全部混熔,而原始容矿岩石仅存较少或无。即使有很多的硼质也难以找到存身之所——容矿岩石,成矿机会也就越少,如岫岩老学堂一带条痕状花岗杂岩体中残存的“含硼岩系”至今尚未发现硼矿床。若较弱时,由于“含硼岩系”整体温度不高,其硼质活化、迁移的程度就越弱,硼酸盐与富镁质大理岩发生交代作用的机会就越少,成矿的机率自然就小了。同理,变质作用更难以成矿。所以,只有混合岩化作用时的温度刚好能使“含硼岩系”整体“活化起来”,才能有形成大矿的潜力。

通过以上分析,硼矿是由“含硼岩系”提供物源,经混合岩化作用致使“含硼岩系”中硼酸盐矿物活化、迁移,在一定的条件下与富镁质大理岩发生交代作用形成的。

3.1.4 构造富集成矿阶段

辽东地区硼矿床(点)形成后,已成矿体与“含硼岩系”一起又经历了多期变质、变形作用的改造。对已成矿体有重大改造意义的地质作用,当属吕梁构造旋回第二期变形作用(为挤压机制下的变形),它使矿体的矿量及矿石有用组分再次富集。原矿体在塑性变形中就位于成矿有利的部位,如翁泉沟硼矿床位于以四门子-刘家河的条痕状花岗杂岩体为核、“含硼岩系”为两翼的刘家河背斜构造的次一级翁泉沟向斜构造中,而后仙峪硼矿床则分布于虎皮峪倒转背斜构造的倒转翼(南翼)的下部,使二矿床矿量有较大的增加。“含硼岩系”中硼质在构造变质变形过程中再次活化、迁移,与含矿体的镁质大理岩再次交代富集成矿,或者是“矿液”充填于矿石的构造裂隙中,使矿石品位增高,反映了先变形、后成矿的特点。由于本期成矿阶段“含硼岩系”中硼质相对主期成矿时贫,并且变质温度也不高,硼质活化、迁移程度均较弱。因此,构造富集成矿阶段的化学成矿过程远不及物理成矿过程强烈。

3.1.5 硼矿床成矿时代

混合岩化成矿时间与条痕状花岗杂岩成岩年龄相近,但却明显晚于“含硼岩系”变质重结晶时间,而构造富集成矿时间应与矿体最终定位时间相同或相近。

依据“含硼岩系”中电气石浅粒岩锆石 U-Pb 同位素年龄 1997 Ma(宽甸县永甸,辽宁区调队,1974)、条痕状花岗杂岩 Rb-Sr 同位素年龄 1953 ± 51 Ma(凤城四门子,辽宁省地调院大连分院,2000)和翁泉沟硼矿中矿化碳酸盐岩同位素年龄 1803 Ma(金云母 K-Ar 法),认为混合岩化成矿时间应在 1997~1953 Ma 之间。而构造再次富集成矿应不晚于 1803 Ma,因此推测本

区两次成矿作用时间间隔约小于 194 Ma.

综上所述,硼矿成矿物质来源于“含硼岩系”,在混合岩化作用下成矿,构造作用再次富集.成矿时期属古元古代,成矿作用时间间隔推测为 194 Ma. 本区硼矿床成因为混合岩化成矿—构造作用再次富集的层控型矿床.

3.2 成矿模式

辽东地区古元古代硼矿床成矿作用主要划分 4 个阶段:矿源层形成阶段、初始容矿岩石浓缩阶段、混合岩化成矿阶段、构造作用再富集成矿阶段.

(1)矿源层形成阶段. 大约距今 2500 Ma 左右,地幔物质上涌导致太古宙克拉通发生近南北向裂开,形成辽东裂谷. 当同生断裂切至下地壳附近时,海底火山活动频繁发生. 在火山间歇期,火山喷气或喷泉带出的硼质分布于海水中,在一定的物化条件下沉淀. 由于火山活动具有多期性,此硼质也是周期性地呈夹层产于火山—沉积岩建造中,形成“含硼岩系”——硼矿源层. 硼矿源层中的硼质来源于火山源(图 3a).

(2)初始容矿岩石浓缩阶段. 当全球海平面下降时,沉积盆地(或称火山洼地)处于封闭—半封闭环境,并且气候异常地干燥炎热(盆地中海水的蒸发量大于补给量),海水不断地浓缩,形成含硬石膏、钠硼解石、柱硼镁石、水方硼石等矿物的富镁质碳酸盐岩. 这种含硼质很高的富镁质碳酸盐岩便是初始的容矿岩石(图 3b). 此时的容矿岩石硼矿物质含量不高,未能达到工业品位.

(3)混合岩化成矿阶段. 大约距今 2100 Ma 左右,辽河群沉积以后,地幔物质再次上涌,由其产生的地下热流沿原形成辽东裂谷壳幔源断裂上升,致使辽河群原岩发生了区域变质作用,且伴随变形作用. 其地下热流空间分布是极不均匀的,在原火山活动中心(指里尔峪期火山)附近,热流值最高. 热流值高的地带发生混合岩化作用,形成混熔岩浆,并不断上熔围岩. 当上熔至“含硼岩系”的中上部层位,受热流作用产生较高的温度,其中硼酸盐等矿物开始液化,呈多向在“含硼岩系”中迁移. 被汽化、液化的硼酸盐矿物,在迁移过程中与富镁质大理岩发生交代并富集成矿(图 3c).

(4)构造作用再富集成矿阶段. 在混合岩化作用成矿以后,已成矿体在吕梁构造旋回挤压机制作用下变质、变形,变形作用将矿体就位于有利的储矿构造部位(图 3d),矿体的矿量增大. 由“含硼岩系”中产生的含硼变质热液再次交代矿石或充填于矿石构造裂隙中,使矿石品位增高. 本次成矿阶段以物理成矿作用为主,而化学成矿作用则居于次要地位.

4 区域找矿标志

4.1 矿源层标志

辽东地区古元古代硼矿成矿物质均来自“含硼岩系”,矿体无一例外地赋存于富镁质大理岩中,并且矿床和矿体与“含硼岩系”及富镁质大理岩的厚度、规模等均呈正相关关系. 据区域资料,本区大中型以上的硼矿床均分布于厚度大于 600 m 的含硼岩系中,矿体均产于厚度大于 50 m 的富镁质大理岩中. 因此,

二者的厚度及规模是找寻硼矿的首要标志.

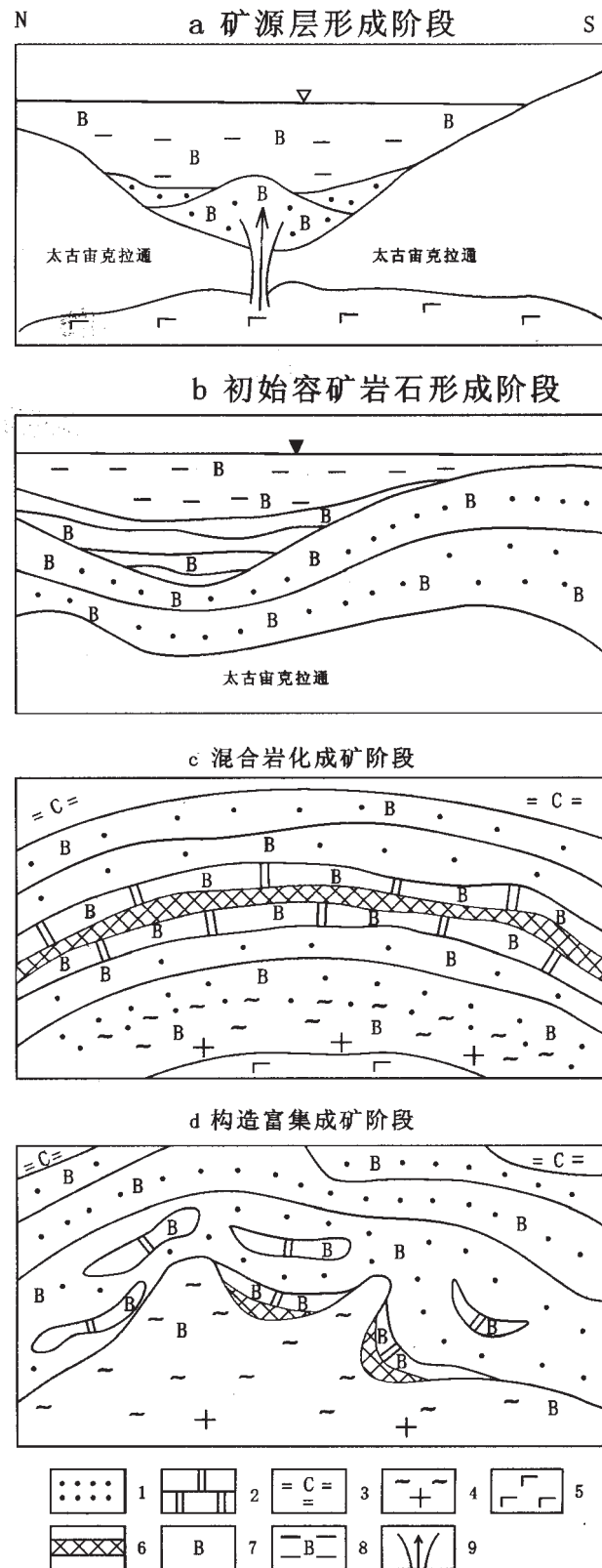


图 3 硼矿成矿作用演化模式

Fig. 3 Evolution model for boron mineralization

4.2 条痕状花岗杂岩

前已叙述,硼矿床(点)无一例外地分布于“含硼岩系”内富镁质大理岩中,并且其附近还有条痕状花岗杂岩体的存在。因此,“含硼岩系”是成矿的物质基础,富镁质大理岩是成矿物质的容纳场所,而条痕状花岗杂岩体则是成矿的必要条件。因此,查清“含硼岩系”与条痕状花岗杂岩的时空分布规律,是寻找硼矿的最根本的标志。

4.3 构造标志

辽东地区硼矿经混合岩化成矿阶段以后,吕梁构造旋回第二期变形作用对已成矿体产生进一步富集和最后定位的作用。该期变形是在挤压机制下形成的,基本构筑了本区呈近东西向展布的构造格架,主要表现为褶皱构造。在矿源层标志、条痕状花岗杂岩标志的前提下,应在以条痕状花岗杂岩体为核、“含硼岩系”为两翼的背斜构造的次一级向斜构造或其倒转背斜的倒转翼的下部寻找硼矿。

4.4 物化探信息标志

以上找矿标志均为地表的地质标志。要想在找寻盲矿或隐伏矿体方面有突破就必须充分利用物化探综合信息方法找矿。

(1)要在“含硼岩系”高 B 背景下,寻找 B 与 Mg、Fe 的组合异常区。

(2)由于“含硼岩系”多是富含 Fe、Mg 质的火山岩,因此充分利用航磁资料显得极为重要。应验证那些呈正异常的跳跃场的地区,来确定“含硼岩系”的倾、侧伏方向,以达寻找隐伏硼矿体的目的。

(3)由于本区硼矿与条痕状花岗杂岩有直接关系,因此确定条痕状花岗杂岩体的产状是找矿的前提。条痕状花岗杂岩相对围岩(含硼岩系)具有低密度的特点,并且硼矿均分布于条痕状花岗杂岩体附近(< 200 m)。因此,利用重力资料在确定条痕状花岗杂岩体产状的基础上,应注重高密度值与低密度值之间的梯度带的展布范围。梯度带呈“凸”或“凹”形处,是赋矿的有利部位。

5 硼矿远景区预测

根据以上地质找矿标志,将硼矿成矿远景区(图 4)划分为 A、B、C 三类。

A 类远景区:成矿条件最好的地区,有可能找到大、中型硼

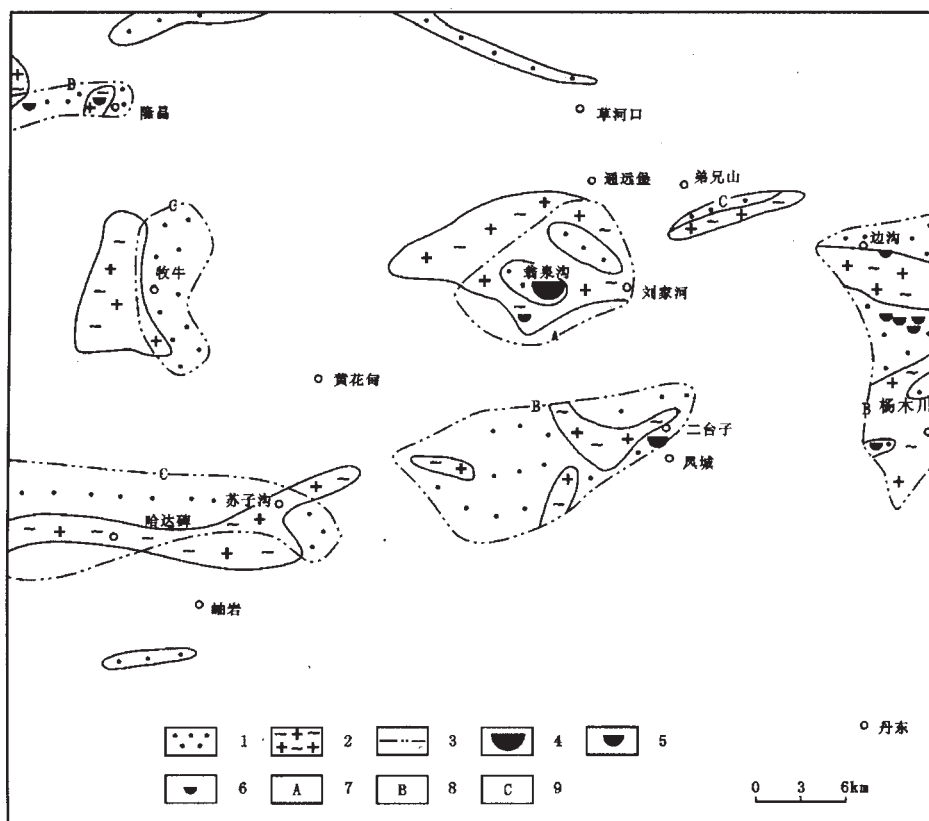


图 4 硼矿成矿预测图

Fig. 4 Prognostic map of boron mineralization

1—里尔峪岩组(Lieryu formation); 2—条痕状花岗杂岩(streaky granite complex); 3—硼矿远景区界线(potential area); 4—特大型硼矿(super large boron deposit); 5—大型硼矿(large boron deposit); 6—小型硼矿(small boron deposit); 7—A 类远景区(A type of potential area); 8—B 类远景区(B type of potential area); 9—C 类远景区(C type of potential area)

矿床的地区。其特征为①里尔峪(岩)组厚度大,分布广;②古元古代条痕状花岗杂岩有广泛的分布;③有已知大、中型硼矿床。区内仅分布有1处A类远景区。

B类远景区:成矿条件较好,预测可找到中、小型硼矿产地。其特征为①里尔峪(岩)组厚度不大,分布小,且呈条带状分布;②古元古代条痕状花岗杂岩有分布;③有已知中、小型硼矿床

(点),计3处B类远景区。

C类远景区:成矿条件不佳,或研究程度较低,具有一定潜在的硼矿资源的区域。其特征为①里尔峪(岩)组呈狭窄的条带状分布;②古元古代条痕状花岗杂岩不发育或无;③无已知硼矿点。计3处C类远景区。

本区硼矿远景区特征见表4。

表4 硼矿远景区特征

Table 4 The characteristics of prospective area for boron deposits

远景区类型	远景区名称	面积/km ²	里尔峪(岩)组面积/km ²	条痕状花岗杂岩面积/km ²	已知矿床(点)数		
					大	中	小
A	翁泉沟远景区	312	107	127	1(特大型)		1
B-1	二台子远景区	468	147	55	1		
B-2	杨木川远景区	428	160	45			6
B-3	隆昌远景区	67	11	13			2
C-1	苏子沟-哈达碑远景区	406	177	98			
C-2	牧牛远景区	187	33	112			
C-3	弟兄山远景区	56	16	26			

6 结论

(1)硼矿成矿的物质来源是含硼岩系,而含硼岩系中的硼质均来自火山源。

(2)本区硼矿由两期成矿作用组成,即混合岩化成矿和构造再次富集成矿,以前者成矿期为最重要成矿时期(1997~1803 Ma),属古元古代,成矿作用时间为194 Ma。

(3)辽东地区古元古代硼矿属“混合岩化成矿—构造再次富集的层控型矿床”。

(4)本区硼矿找矿远景区划分为A、B、C三级。A级1处、B级3处、C级3处。

致谢:在成文过程中得到辽宁省地质勘查院总工程师张国仁教授级高工的指导,在此深表谢意!

参考文献:

- [1]王秀章,徐学炎.板状硼镁石砂卡岩矿床的形成条件[J].地质科学,1964,(2):1—10.
- [2]张秋生.混合岩化成矿作用的几个问题[M].长春:吉林科学技术出版社,1988.60—66.
- [3]张秋生等.辽东半岛早期地壳与矿床[M].北京:地质出版社,1988.
- [4]李东明.翁泉沟硼铁矿床地质特征[J].辽宁地质,1988,(1):1—9.
- [5]张景山.辽东硼镁石型硼矿床地质特征[J].辽宁地质,1994,(4):

289—324.

- [6]刘敬尧,孙淑华.辽东—吉南早元古宙硼矿地质特征及矿床成因——以砖庙矿区为例[J].辽宁地质,1995,(1):47—57.
- [7]陈荣度.辽东裂谷的地质构造演化[J].中国区域地质,1990,(4):306—314.
- [8]曲洪祥,张永,雷广新等.试论辽东地区古元古代壳幔混合杂岩[J].辽宁地质,2000,(3):199—205.
- [9]辽宁省地质矿产局.辽宁省地质矿产志.沈阳:辽宁科学技术出版社,1997.
- [10]李庆森.辽东—吉南沉积变质硼矿床成矿地质特征及其远景[J].辽宁地质科技情报,1980,(2):1—26.
- [11]黄作良,王濮,冯本智等.辽吉硼矿床矿物学[M].北京:地质出版社,1999.
- [12]辽宁省地质矿产局.辽宁省区域地质志.北京:地质出版社,1989.
- [13]姜春潮.辽吉东部前寒武纪地质[M].沈阳:辽宁科学技术出版社,1987.
- [14]彭文世,谢鸿森,张月明等.硼镁铁矿系列振动光谱的理论分析[J].矿物学报,1985,5(1):43—47.
- [15]王培君.辽宁砖庙硼镁石矿的成因问题[J].化工地质,1980,(2):17—23.
- [16]Qu Hong-xiang, Zhang Guo-ren, Li Xian-dong. Metallogenic Model and prospecting indicators of the boron deposits in East Liaoning area[J]. Journal of Geoscientific Research in Northeast Asia, 2001, 4(1): 81—89.

(下转第131页)

GEOLOGICAL CHARACTERISTICS AND EXPLORATION OF ZHUANMIAO BORATE DEPOSIT LIAONING PROVINCE

LIU Jing-dang^{1,2}, XIAO Rong-ge¹, WANG Sheng-zhi², WANG Cui-zhi¹

(1. Faculty of Earth Science and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Liaoning Geological Survey for Chemical Industry, Jinzhou 121000, China)

Abstract: With study on field geology, geochemistry and geomathematics for the Zhuanmiao borate deposit, it is concluded that the borate mineralization within the studied area underwent two epochs, i. e. sedimentation and metamorphic migmatization, implying its sedimentary-metamorphic type of deposit. The ore bodies in general dip to west. The NNE-orientated faults in the ore field are reverse occurrence with dip angles less than 40°. Consequently, three large-sized concealed deposits were discovered within the lower walls of the faults, marking a breakthrough in the exploration for borate deposits in the area.

Key Words: Zhuanmiao borate deposit; minerogenetic characteristics; NNE-orientated structure sedimentary-metamorphic type; large-sized borate deposit

作者简介:刘敬党(1959—),男,教授级高级工程师,中国地质大学(北京)在职博士研究生,从事矿产勘查工作,通讯地址 辽宁省锦州市凌河区文兴里 34 号,邮政编码 121000, E-mail//liu@lnhk.com

(上接第 138页)

GENESIS STUDY AND PROSPECTIVE PREDICTION FOR BORON DEPOSITS IN EASTERN LIAONING

QU Hong-xiang¹, GUO Wei-jing¹, ZHANG Yong¹, TAN Wen-gang¹, CHEN Shu-liang¹, LI Quan-lin¹, BIAN Xiong-fei²

(1. Liaoning Institute of Geological Exploration, Dalian 116110, China; 2. Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, Shenyang 110033, China)

Abstract: The boron deposits in Eastern Liaoning Province occur in Liaohe Group Lieryu formation, which is famous as the "boron-bearing rock series", showing obvious control by stratic lithology. Based on previous researches, combining with the data from regional geological surveying of 1: 250 000 in Dandong area, the origin of the boron deposits is studied. The deposits in this area are migmatized origin and enriched in later tectonic-metallogenic epoch, forming stratabound deposits. The potential area for boron deposits are divided into three classes. It will provide scientific basis for boron deposit searching in the area.

Key words: Eastern Liaoning Province; boron-bearing rock series; streaky granitic complex; migmatization

作者简介:曲洪祥(1960—),男,高级工程师,1983年毕业于长春地质学院,现从事区域地质调查工作,通讯地址 大连金州龙王庙 辽宁省地质勘察院,邮政编码 116110.