

doi: 10.6053/j.issn.1001-1412.2024.04.004

天津蓟州锰方硼石矿床地质特征及资源潜力

朵兴芳, 屠立鹏, 胡海博, 王林海, 杨圣坤, 郭立君

(天津市地质调查研究院, 天津 300191)

摘要: 蓟州锰方硼石矿床分布在天津市蓟州区东北部, 共发现东水厂、前干涧、坝尺峪、大安平等 4 个矿产地。矿床均产于蓟县纪高于庄组二段, 受地层控制, 为沉积改造型矿床, 成矿期为高于庄期。矿体多呈透镜状、扁豆状、饼状、串珠状、不规则团块状。矿石矿物主要有锰方硼石、菱锰矿、黄铁矿、赤铁矿、黄铜矿、硬锰矿、软锰矿、褐铁矿等, 脉石矿物主要有铁白云岩, 次为石英、长石、黏土矿物等。围岩蚀变主要为碳酸盐化、电气石化、弱硅化等。通过 1:5 万水系沉积物地球化学测量, 共圈定出编号为 Ht-1、Ht-2 的 2 个矿致综合异常区, 并发现了对应的矿化点。通过研究典型矿床, 得出该地区“含锰页岩”是直接找矿标志, Mn、B、As 单元素地球化学异常及 Mn-B-As 综合异常是有效的化探标志。通过对锰方硼石成矿地质特征和典型矿床剖析, 总结锰方硼石资源潜力预测要素, 结合地质、化探信息建立预测模型, 运用综合信息地质单元法圈定 5 个预测区, 采用含矿地质体体积法估算锰方硼石的潜在矿产资源量为 295×10^4 t。

关键词: 锰方硼石矿床; 地质特征; 找矿标志; 资源潜力; 天津蓟州

中图分类号: P618.32; P612 **文献标识码:** A

0 引言

天津蓟州锰方硼石矿床首次发现于东水厂矿区, 是世界上罕见、中国唯一能开发利用的锰方硼石矿床^[1]。蓟州的硼矿是唯一由锰方硼石矿物组成的硼矿床^[2], 本文通过开展本地区锰方硼石矿成矿地质特征研究, 充分利用地质、化探、矿产勘查等综合信息, 以东水厂锰方硼石矿床为典型矿床, 对锰方硼石矿成矿条件进行综合分析, 总结矿床成因和找矿标志, 以硼元素为目标元素, 圈定锰方硼石最小预测区, 进行资源潜力预测, 为后续锰方硼石矿产勘查工作部署提供依据。

1 区域地质概况

研究区所处的大地构造位置为华北陆块燕山一

辽西裂陷带($Pt_2 - T_2$)(III-5B-3)、蓟州—唐山裂谷($Pt_2 - T_2$)(III-5B-3-1)^[3]。三级成矿区带属 III-57 华北陆块北缘东段铁铜铅锌银锰磷煤膨润土成矿带^[4]。区域内经历了新太古代—古元古代阶段结晶基底与岩石圈形成阶段、中元古代—中三叠世盖层形成与岩石圈稳定发展阶段、晚三叠世—晚白垩世早期强烈活动等 3 个大的构造演化阶段^[5]。其中第二阶段前期, 中新元古代随着裂谷环境到陆表海盆地的稳定发展, 成为本区重要的沉积矿产形成时期, 形成了一大批以海相沉积型矿产为主的锰矿、泥页岩、含钾泥岩、白云岩、海泡石、水泥用灰岩等海相沉积矿产^[6]。

区域内出露的最古老的地层为新太古代遵化岩群马兰峪岩组变质岩系(图 1), 岩性以角闪斜长片麻岩、二长花岗质片麻岩、斜长角闪岩、黑云斜长变粒岩为主, 前人在角闪斜长片麻岩测得 SHRIMP 锆

收稿日期: 2024-06-21; **责任编辑:** 沈名星

基金项目: 天津市矿产资源国情调查项目(津地矿任[2024]6号)、中国地质调查局地质调查项目“中国矿产地志”(编号:DD20221695; DD2019037; DD20160346)联合资助。

作者简介: 朵兴芳(1987—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事地质矿产勘查及评价工作。通信地址: 天津市南开区迎水道 20 号, 天津市地质调查研究院。邮政编码: 300191。E-mail: xingfangduo@163.com

通信作者: 杨圣坤(1987—), 男, 学士, 工程师, 从事地质矿产勘查、地质遗迹调查保护工作。通信地址: 天津市南开区迎水道 20 号, 天津市地质调查研究院。邮政编码: 300191。E-mail: 569590820@qq.com

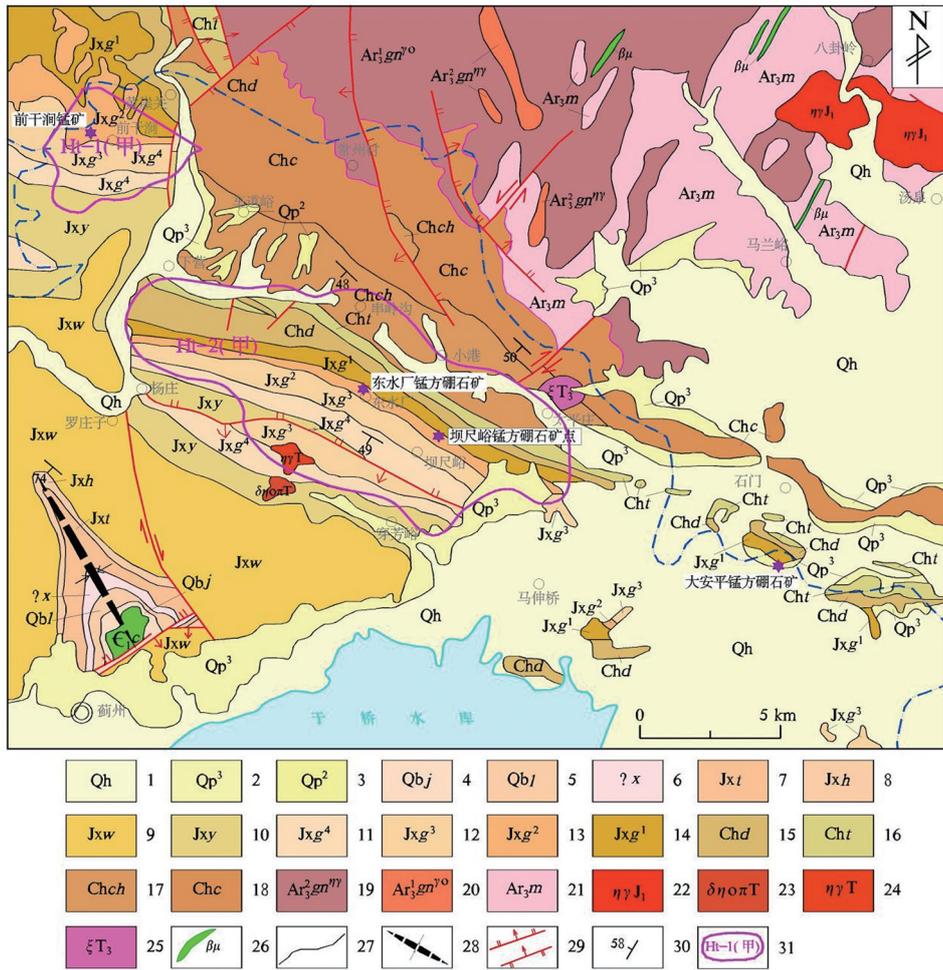


图 1 蓟州锰方硼石矿床区域地质图(底图据文献[8]修改)

Fig. 1 Regional geological map of chambersite-bearing area in Jizhou district

1. 全新统冲洪积、坡积; 2. 上更新统坡洪积; 3. 中更新统洪积; 4. 青白口系景儿峪组;
5. 青白口系龙山组; 6. 待建系下马岭组; 7. 蓟县系铁岭组; 8. 蓟县系洪水庄组; 9. 蓟县系雾迷山组;
10. 蓟县系杨庄组; 11. 蓟县系高于庄组四段; 12. 蓟县系高于庄组三段; 13. 蓟县系高于庄组二段;
14. 蓟县系高于庄组一段; 15. 长城系大红峪组; 16. 长城系团山子组; 17. 长城系串岭沟组; 18. 长城系常州沟组;
19. 二长花岗质片麻岩; 20. 角闪斜长片麻岩; 21. 黑云斜长变粒岩; 22. 燕山期二长花岗岩;
23. 印支期石英二长闪长斑岩; 24. 印支期二长花岗岩; 25. 印支期正长岩; 26. 辉绿岩脉;
27. 地质界线; 28. 向斜轴; 29. 实测断层; 30. 地层产状; 31. 锰-硼-神综合异常范围及编号

石 U-Pb 年龄为 $2562 \text{ Ma} \pm 9 \text{ Ma}^{[7]}$ 。中-新元古代地层由长城系(包括常州沟组、串岭沟组、团山子组、大红峪组、高于庄组)、蓟县系(包括高于庄组、杨庄组、雾迷山组、洪水庄组、铁岭组)、待建系(下马岭组)、青白口系(包括龙山组、景儿峪组)组成,为一套未变质或轻微变质的稳定陆块型富镁碳酸盐岩及碎屑岩、黏土岩夹少量富钾火山岩,锰方硼石矿床赋存于蓟县系高于庄组中。下古生代寒武纪地层仅在蓟州城北府君山向斜核部出露,为昌平组碳酸盐岩。第四纪地层主要为更新统和全新统,更新统分布于山区阶地,全新统分布于山间河床、洪积扇以及山前平原。

区内褶皱构造多呈宽缓的短轴背向斜,主要包括马兰峪背斜、翟庄向斜、府君山向斜等;断裂主要有黄七子断裂、黄崖关断裂、杨庄断层、孙各庄断裂和蓟县断裂等。

区内发育侵入岩主要为印支晚期和燕山期两类。前者包括石白花岗岩、朱耳峪正长岩,石白花岗岩属中酸性钙碱系列,岩性为浅色花岗岩、斑状花岗闪长岩、石英闪长玢岩和花岗斑岩等;朱耳峪正长岩为中基性偏碱系列,岩性主要为正长岩和正长辉石岩。后者为燕山期汤泉二长花岗岩,属钙碱系列^[3,8]。

区内火山岩主要为长城纪团山子期橄榄玄武质火山角砾岩、橄榄玄武岩；大红峪期富钾基性碱性岩，主要岩性为富钾的粗玄岩、粗面岩、火山角砾岩、凝灰岩、集块岩等。根据光谱全分析资料显示，大红峪期火山活动形成的岩石中富含 Mn(0.5%)、B(0.1%)，对本区锰方硼石矿床的形成提供了物质基础^①。

2 锰方硼石矿成矿特征

天津市蓟州锰方硼石矿床均分布在蓟县系高于庄组二段底部，区内含矿层位稳定，矿化连续，在天津市境内横贯 30 多千米。共发现东水厂、前干涧、坝尺峪、大安平等 4 个矿产地。其中，东水厂为小型锰方硼石矿床，坝尺峪、大安平为锰方硼石矿化点，前干涧为锰矿小型矿床，前人未评价锰方硼石，但在 1:5 万水系沉积物地球化学测量分析结果中发现前干涧地区有硼元素异常^[9]。

成矿构造环境主要为长城纪裂谷消亡到陆表海拉张盆地，是以伸展裂陷作用为主的构造环境^[3]。地质环境的演化为从长城纪初期陆相环境过渡到滨海浅滩以至浅海拉张盆地，同时伴随强烈伸展裂陷，形成裂谷，在串岭沟期发生幔源富钠浅成超浅成基性岩墙的大规模侵入和大红峪期富钾碱性火山岩大规模喷发，后裂谷消亡，经过短暂的沉积间断过渡到内陆盆地陆表海发展阶段^[6]。在陆表海阶段初期的拉张盆地中发生锰方硼石沉积成矿作用。

本区锰方硼石矿床严格受地层控制，主要含矿建造下部为灰色、黑灰色薄层含锰白云质粉砂岩，含锰粉砂白云质页岩和含泥含锰粉砂白云岩；中部为灰黑色、褐黑色薄层中厚层含锰粉砂白云岩、含锰粉砂泥质白云岩；次要含矿建造上部底为黑灰色、黑色含锰粉砂白云质页岩、含锰白云质页岩，夹薄层含锰粉砂岩和含锰含泥白云岩，向上变为含锰泥质白云岩、含锰粉砂质白云岩，夹含锰白云质页岩；底部为页岩，分布稳定，为标志层^[10]。

区内依据 1:5 万水系沉积物化探分析结果，圈定出 Mn-B-As 综合异常 2 处，均为甲类异常，编号分别为 Ht-1、Ht-2(图 1)。Ht-1 异常位于蓟县西北角，处于天津市蓟县与北京市平谷区及河北省兴隆县三省市交接，异常在天津市省界处没有封闭，延伸到省界以外，Mn、B、As 元素均具有三级浓度分带。前干涧锰矿位于异常区内。该异常面积约 14.71

km²，锰异常平均值为 11721.74×10^{-6} ，最大值为 42900×10^{-6} ，硼异常平均值为 202.0625×10^{-6} ，最大值为 301×10^{-6} ，砷异常平均值为 21.0972×10^{-6} ，最大值为 109.50×10^{-6} 。Ht-2 异常位于穿芳峪乡北部，呈北西向带状分布，Mn、B、As 元素均具有三级浓度分带。异常区中部发现东水厂锰方硼石矿、坝尺峪锰方硼石矿。该异常面积约 80.31 km²，锰异常平均值为 2504.478×10^{-6} ，最大值为 12800×10^{-6} ，硼异常平均值为 166.6237×10^{-6} ，最大值为 490×10^{-6} ，砷异常平均值为 16.36×10^{-6} ，最大值为 34.10×10^{-6} ^[10]。

3 典型矿床地质特征

本文选择研究程度较高的东水厂锰方硼石矿床为典型矿床进行剖析。该矿床位于蓟州城北约 15 km 的东水厂村一带，为小型规模矿床，曾在 20 世纪 50 年代小规模开采过。

3.1 矿区地质特征

矿区地层主要为蓟县系高于庄组二段，部分为高于庄组一段和三段(图 2)。高于庄组一段分布在矿区北部，岩性为灰色、灰黑色薄层至中厚层含锰燧石条带白云岩，夹少量含锰粉砂白云岩和砂岩薄层。高于庄组二段分布在矿区中部，为一套粉砂岩、页岩、白云岩组成的完整的沉积旋回，该段分为 4 带：一带下部岩性为黑灰色薄层白云质粉砂岩，含锰粉砂白云质页岩，含锰粉砂白云岩，向上变为页岩与白云岩互层，该带为锰方硼石赋矿层位；二带为深灰色，略带紫红色，厚层、中厚层微粒白云岩，局部夹少量白云质页岩和燧石条带，偶见叠层石化石；三带为灰色薄层，次为中厚层隐晶质或微粒白云岩，夹少量薄层钙质白云岩、浅灰色、黑色白云质页岩和钙质页岩；四带为灰色、深灰色中厚层为厚层微粒或隐晶质白云岩。高于庄组三段分布在矿区南部，岩性下部为钙质页岩、白云质页岩夹灰色、深灰色薄层含泥微粒白云岩、钙质白云岩、含白云质灰岩和少量的粉砂岩；上部为灰色、深灰色、微带玫瑰红色薄层至厚层石灰岩，含白云质灰岩，夹少量钙质页岩及微粒白云岩^①。

矿区构造为一单斜，走向 $280^\circ \sim 310^\circ$ ，倾向 SW，倾角 $42^\circ \sim 65^\circ$ 。区内断裂构造以 NNE 向为主，被后期闪长岩脉侵入充填，截断了锰(硼)矿层，矿层附近水平错距 40 余米。

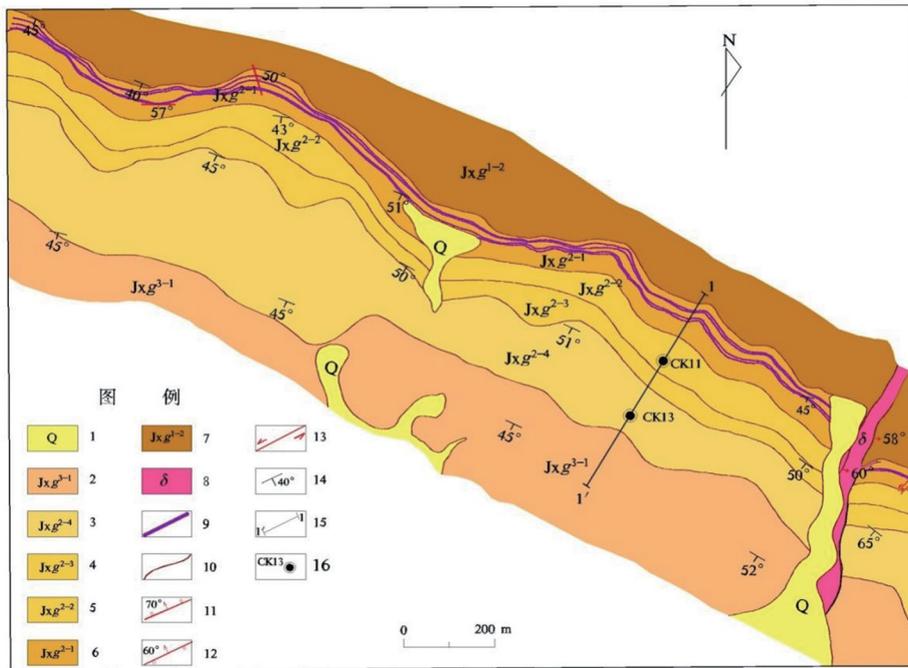


图 2 东水厂锰方硼石矿区地质图(底图据注释①修改)

Fig. 2 Geological map of Dongshuichang chambersite occurrence

- 1. 第四系; 2. 高于庄组三段一层; 3. 高于庄组二段四层; 4. 高于庄组二段三层; 5. 高于庄组二段二层;
- 6. 高于庄组二段一层; 7. 高于庄组一段二层; 8. 闪长岩; 9. 锰硼矿体; 10. 地质界线; 11. 正断层;
- 12. 逆断层; 13. 平移断层; 14. 地层产状; 15. 勘探线及其编号; 16. 钻孔及其编号

区内岩浆活动较弱, 仅见一条闪长岩脉沿 F_1 断裂侵入, 岩脉宽 30~40 m, 走向 $10^\circ \sim 15^\circ$, 倾向 SE, 倾角 $60^\circ \sim 85^\circ$, 出露长度约 550 m。

矿区围岩蚀变不明显, 仅在局部岩脉出露部位见有碳酸盐化、电气石化、弱硅化等。

3.2 矿床地质特征

3.2.1 矿体特征

锰硼矿体均赋存于高于庄组二段第一带的含锰粉砂微晶白云岩中(图 3), 上覆围岩为页岩与薄层白云岩。矿体总体走向 $280^\circ \sim 310^\circ$, 倾向 SW, 倾角 $42^\circ \sim 65^\circ$, 东陡西缓。矿区内发育四层矿, 上部第一、二层矿为主矿层, 下部第三、四层矿厚度小, 连续性差, 无工业价值。矿体沿矿层断续排列, 富矿体呈透镜状、扁豆状、饼状、串珠状、不规则团块状和沿倾斜方向延深的筒状, 矿体品位 $w(\text{Mn})_{\text{平均}} = 16.37\%$, $w(\text{B}_2\text{O}_3)_{\text{平均}} = 9.29\%$ ①。

第一层矿: 富矿扁豆体最大长度 14.5 m, 一般 1~4 m, 平均 2.86 m; 短轴厚度最大 0.69 m, 一般 0.13 m, 平均 0.25 m; 扁豆体间距最大 27.7 m, 一般大于 0.6 m, 平均 2.83 m, 线含矿系数 51.33%。

第二层矿: 连续性较第一层矿差, 富矿扁豆体最长 2.20 m, 一般 0.5~1.0 m; 短轴厚度最大 0.57

m, 一般 0.10~0.30 m; 扁豆体间距最大超过 20 m, 一般 3~7 m。

3.2.2 矿石特征

矿石矿物组成: 主要为锰方硼石、菱锰矿, 其次为黄铁矿及微量赤铁矿、黄铜矿; 次要矿物有硬锰矿、软锰矿、褐铁矿等。脉石矿物主要为铁白云岩, 次为石英、长石、黏土矿物。锰方硼石: 集合体为白色或灰白色, 油脂-玻璃光泽, 无解理, 贝壳状断口, 硬度 7, 比重 3.48 ± 0.01 [11], 呈粒状集合体、星点状, 在透射电子显微镜(TEM)显示为长条状 [12], 属于斜方晶系, 空间群 $C_{2v}^5 - Pca$, 硼氧骨架结构 [13]。菱锰矿: 肉红、灰白色, 呈不规则粒状、柱状, 半自形-自形晶, 硬度 3.5~4.0, 比重 3.4~3.7。

矿石结构: 原生带矿石主要为半自形-自形粒状结构、他形粒状变晶结构、隐晶质结构、溶蚀交代残余结构等; 氧化带矿石主要为次生交代残余结构、网状结构、晶架状结构等。原生带主要有变鲕状构造、变豆状构造、致密块状构造等; 氧化带主要有蜂窝状、孔穴状、网脉状构造等①。

3.3 矿床地球化学特征

据河北省地质局第十地质大队采样分析结果可知(表 1), 在矿体不同的部位, 各类化学成分呈现不

同的特点： B_2O_3 越近地表含量越低，在氧化带内小于 0.39%，由过渡带到原生带，含量逐渐增高，Cl 的含量变化与 B_2O_3 相似，Cl 与 B_2O_3 的含量呈正变关系；锰含量向深部降低，表明在氧化带内有次生富集现象；TFe 含量向深部降低，但其变化幅度不大； SiO_2 、P、 Al_2O_3 、 TiO_2 、 K_2O 由氧化带到原生带含量降低，而 CaO、MgO、S、I 恰恰相反，有增高趋势。 B_2O_3 与 Mn 含量呈正相关关系， B_2O_3 高，Mn 也高，但 Mn 高时， B_2O_3 不一定高，这是因为 B_2O_3 只

存在于锰方硼石中，Mn 则以锰方硼石、菱锰矿等多种形式存在^①。

3.4 成矿物理化学条件分析

天津市地质矿产局(1994)根据矿物主矿层及顶底板样品分析，分别计算了铁锰钛铝特征值，并将分析数据投入 $Fe-Mn-(Cu+Ni+Co) \times 10$ 图解时，样品均分布在热水沉积线附近，得出热水沉积的成矿特征^[14]。肖荣阁等发现蓟县锰方硼石中 $\delta^{11}B$ 的值低于正常海相沉积硼矿物的硼同位素组成，且 K_2O 、

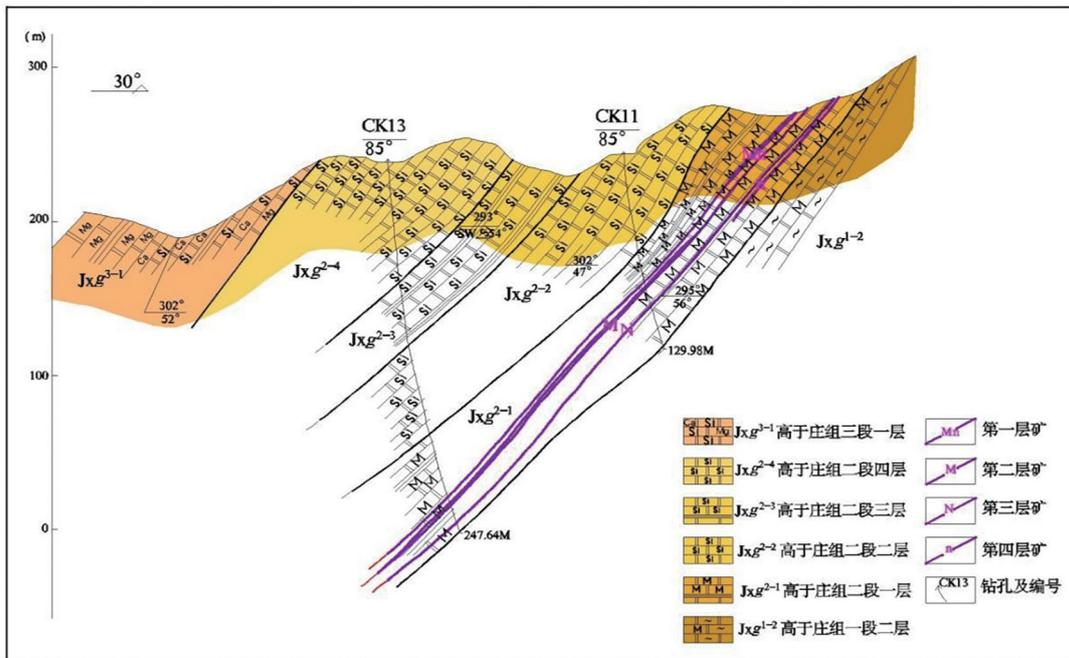


图 3 东水厂矿区 I 号勘探线剖面图(底图据注释①修改)

Fig. 3 Cross section of line1 in Dongshuichang area

表 1 蓟州东水厂锰方硼石矿床矿体化学成分

Table 1 Schedule of analysis of chambersite ore bodies and mineralized bodies

项目	地表氧化带		坑道氧化带		坑道过渡带		坑道原生带		钻孔原生带		矿床 贫富混合
	富矿	贫矿									
Mn	22.24	13.41	22.78	11.36	17.75	10.32	28.95	9.65	17.00	10.24	16.37
B_2O_3	0.15	0.08	0.15	0.14	4.47	2.60	25.74	3.46	17.23	2.26	9.29
TFe	3.42	2.90	3.09	2.79	2.90	1.00	2.06	2.27	2.67	2.60	2.67
SiO_2	33.89	39.90	30.65	38.24	24.30	26.98	9.52	25.15	19.85	26.43	27.49
P	0.20	0.14	0.64	0.13	0.12	0.08	0.06	0.06	0.06	0.08	0.16
CaO	5.82	8.76	7.94	11.17	10.08	14.69	3.31	14.78	7.89	13.32	9.78
MgO	2.25	3.72	2.40	4.37	4.62	7.04	1.88	7.41	4.69	7.79	4.62
Al_2O_3	4.37	4.92	3.61	4.61	2.86	3.22	1.26	2.84	2.81	3.49	3.40
TiO_2	0.17	0.19	0.15	0.17	0.10	0.11	0.06	0.10	0.12	0.15	0.13
Na_2O	0.25	0.25	0.26	0.22	0.21	0.34	0.10	0.23	0.18	0.27	0.23
K_2O	2.54	3.02	2.24	2.89	1.66	1.98	0.56	1.71	1.68	2.18	2.05
S	0.02	0.01	0.03	0.04	0.67	0.25	0.52	0.44	0.97	0.48	0.34
Cl	0.035	0.043	0.072	0.114	0.787	0.457	3.906	0.732	2.515	0.322	0.898
I	5	3.3	8	7	4	1	8	38	3	2	11

注：量单位： $w_B/\%$ ； $w(I)/10^{-5}$ ；据注释①修编。

Fe_2O_3 含量较高,认为锰方硼石应为海底热水沉积的产物^[2]。根据锰方硼石矿物合成实验,锰方硼石合成温度 $200\sim 500^\circ\text{C}$, pH 值为 $5.2\sim 7.5$,高氯环境下合成了该矿物^[12,15]。中国地质大学(北京)通过研究锰方硼石矿体及其上下盘围岩微晶白云岩中有有机质和亚铁含量高低、稀土元素配分曲线显示 δCe 异常、晶体化学特征研究显示锰方硼石矿物中锰的价态,认为锰方硼石形成于厌氧沉积环境^[16]。

3.5 矿床成因和找矿标志

3.5.1 矿床成因

东水厂锰硼矿赋存于高于庄组二段特定的层位中,成矿受地壳演化和发展的特定阶段控制^[17],锰为典型的沉积型成矿,通过研究认为硼的聚集成矿与火山活动有关^[12,18]。华北陆块发展的初始阶段,地壳活动性仍然较大,地壳强烈拉张,基底断裂发育,钾质火山岩强烈地喷发,属裂陷槽构造环境,此时造成了成矿物质多种来源渠道,既有古陆沉积,也有地壳深部或上地幔,为形成成矿物质的初步富集并形成初始矿源层奠定了基础。而在其后的裂陷槽消亡和消亡之后的拉张盆地后裂谷热沉降阶段,沿着基底断裂或同生断裂的热水循环系统,由下部矿源层中携带硼元素,运移至海底处时,在改造贫锰矿的基础上,使锰进一步富集,在高温、高氯、弱酸、厌氧的沉积环境下形成了锰方硼石矿床。

3.5.2 成矿机制

蓟县式锰硼矿的成矿机制,就锰元素来说,高于庄组二段的“含锰页岩”,为其矿源层,它是在贫锰层的基础上,在成岩阶段由海底热水循环改造,成矿物质活化迁移富集而成矿,成因属热水沉积矿床—SEDEX 矿床^[19]。

根据王培君提出的沉积型硼矿床的二元结构模型认为含矿层下部是火山岩,上部是含硼沉积岩,硼的来源可能与火山喷发有关^[18]。本区硼的成矿物质来源于下伏的地层,主要来源于大红峪组火山岩,和锰比较,硼元素的迁移距离较远,其成矿经历了矿质受热水淋滤带出、迁移,最后在热水循环的控制下富集的过程,属沉积改造型矿床^[21]。

3.5.3 找矿标志

通过分析东水厂锰方硼石矿床的地质特征和地球化学特征,可总结出以下找矿标志:

(1)地层岩性标志:本地区锰方硼石矿严格受高于庄组二段地层控制,其中的“含锰页岩”是直接的找矿标志,即在高于庄组二段地层下部贫锰层发育情况下,其顶部黑色页岩、白云质页岩等具有相对隔水条件的岩层发育时,则该地区对成矿有利。

(2)矿源层标志:高于庄组二段贫锰层发育,其中含锰较高且稳定;高于庄组下部大红峪组火山岩、串岭沟组、常州沟组等含 B 元素较高的地层发育时对成矿有利。

(3)Mn、B、As 单元素地球化学异常及 Mn-B-As 综合异常,与发现的矿体、矿化点均有较好的套合性,是找矿的有效化探标志。

4 资源潜力预测

4.1 预测方法

蓟州锰方硼石矿床类型为沉积改造型,矿床严格受高于庄组二段地层层位和岩性控制,按全国潜力评价矿产预测类型划分原则^[20],本区锰方硼石矿产预测方法类型为沉积型,定量预测方法采用地质体积分法。

4.2 预测要素

根据本地区锰方硼石成矿地质特征研究和典型矿床剖析,总结出蓟州沉积改造型锰方硼石矿床预测要素为:长城纪高于庄组成矿时代、拉张盆地海槽内沉积和热水改造成矿环境、长城纪裂陷槽消亡和以后的拉张盆地构造背景、高于庄组第二段第一带成矿层位、含锰页岩—碳酸盐岩赋矿建造是必要要素;Mn、B 单元素地球化学异常及 Mn-B-As 综合地球化学异常是重要要素,在其基础上建立预测模型(表 2、图 4)。

4.3 预测区圈定

根据本研究区沉积(改造)型锰方硼石矿资源潜力预测要素及其要素组合特征,采用综合信息地质单元法进行最小预测区的圈定。最小预测区圈定图层:高于庄二段含锰页岩—碳酸盐岩建造、矿床点、地球化学 Mn、B、As 单元素及元素综合异常范围。应用 GIS 技术,对上述预测要素图层进行叠加,进一步综合分析,优选最小预测区,共圈定大安平、坝尺峪、东水厂、苦梨峪、前干涧等 5 处最小预测区。

表 2 沉积改造型锰方硼石矿资源潜力预测要素

Table 2 Prediction elements for sedimentary-reworked chambersite ore resources potential

预测要素	特征描述	要素类别	
地质环境	沉积建造	含锰页岩-碳酸盐岩建造	必要
	成矿时代	长城纪高于庄期	必要
	成矿层位	高于庄组第二段第一带	必要
	成矿环境	拉张盆地海槽内沉积和热水改造	必要
	构造背景	形成于长城纪裂陷槽消亡和以后的拉张盆地	必要
矿床特征	岩性组合	灰色、黑灰色薄层含锰白云质粉砂岩,含锰粉砂白云质页岩,页岩夹粉砂岩和含泥含锰粉砂白云岩	重要
	矿体特征	为沉积型锰矿,含矿层产状与围岩一致,形态复杂,主要有透镜状、扁豆状	重要
	矿石矿物组合	矿石矿物主要有菱锰矿(钙菱锰矿)、锰方硼石,次为黄铁矿,再次为微量的赤铁矿、磁铁矿、黄铜矿;次生矿物为硬锰矿、软锰矿、褐铁矿	必要
	结构	半自形-自形晶粒状结构,他形粒状变晶结构,隐晶质结构,溶蚀交代残余结构	次要
	构造	变鲕状、变豆状、致密块状、团块状、条带状、星散状、蜂窝状、孔穴状、似炉渣状、网脉状构造	次要
	围岩蚀变	在成岩阶段伴有低温-超低温热液蚀变作用,可能有碳酸盐化、硅化、绿泥石化及高岭土化等	重要
控矿条件	锰严格受高于庄组地层控制,硼受同生断裂和热水循环改造控制	必要	
化探	水系沉积物	综合异常出现高值异常中心,锰、硼单元素异常	重要

注:据王丽瑛等,2018,有修改。

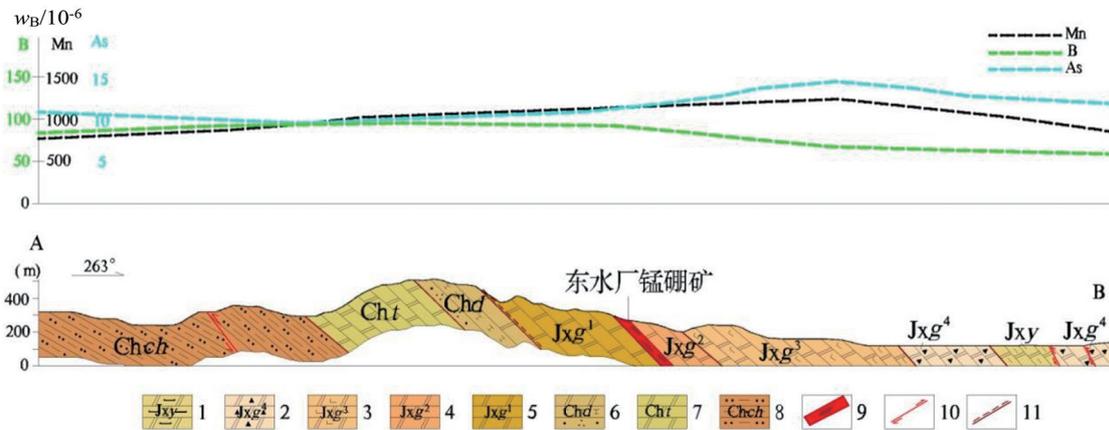


图 4 沉积改造型锰方硼石矿预测模型图(据王丽瑛等,2018,修改)

Fig. 4 Prediction model of sedimentary-reworked chambersite resources

1. 蓟县系杨庄组; 2. 蓟县系高于庄组四段; 3. 蓟县系高于庄组三段; 4. 蓟县系高于庄组二段;
5. 蓟县系高于庄组一段; 6. 长城系大红峪组; 7. 长城系团山子组; 8. 长城系申岭沟组;
9. 锰硼矿体; 10. 逆断层; 11. 平行不整合

4.3.1 大安平预测区

位于天津市蓟州区与河北省遵化市交界处大安平村北,呈 NW-SE 向展布,预测区面积 5 km²。区内发育高于庄组二段地层,含矿建造发育,发现有锰方硼石矿点,工作程度低,勘查深度 302 m^②,勘探深度较浅。该区第四系覆盖严重,化探异常虽未显示,但施工钻孔钻遇锰方硼石矿体,笔者认为该区有较大找矿潜力。

4.3.2 坝尺峪预测区

位于坝尺峪村北,呈 NW-SE 向分布,预测区面

积 8.5 km²。区内高于庄组二段含矿地层出露,含矿建造发育,东南部含矿地层隐伏于第四系之下,区内有坝尺峪锰方硼石矿点。1:5 万水系沉积物数据分析结果显示^[10],该区处于 Mn-B-As 元素综合异常(甲类)范围内,Mn 元素有 2 个异常区,异常中心与含矿地层位置吻合,最大值 > 918 × 10⁻⁶,B 元素具有二级浓度分带,最大值 > 125 × 10⁻⁶,As 元素具有三级浓度分带,在坝尺峪矿床南东方向形成一个异常中心,中心位置偏离矿床近 1 km,As 平均值为 16.36 × 10⁻⁶,最大值为 34.10 × 10⁻⁶。该区有较

大找矿潜力。

4.3.3 东水厂预测区

位于东水厂村北,呈NW-SE向分布,预测区面积 6.0 km^2 。区内高于庄组二段含矿地层稳定连续,有东水厂锰硼矿床一处,前人仅在局部和350 m以浅投入勘查工作^①。1:5万水系沉积物数据分析结果显示^[10],该区处于Mn-B-As元素综合异常(甲类)范围内,Mn元素具有二级浓度分带,最大值 $>2104\times 10^{-6}$,异常中心与矿床位置吻合,B元素具有三级浓度分带,最大值 $>163\times 10^{-6}$,异常中心偏离东水厂矿床,在其北西方向近1 km处,As元素具有二级浓度分带,有3个异常区,最大值 $>15.62\times 10^{-6}$ 。该区深部和外围有较大找矿潜力。

4.3.4 苦梨峪预测区

位于苦梨峪村南,呈NW-SE向延展,预测区面积 7.36 km^2 。区内高于庄组二段含矿地层出露。1:5万水系沉积物数据分析结果显示^[10],该区与东水厂、坝尺峪合圈定成一个大范围的甲类异常,为Mn-B-As元素综合异常,Mn元素具有二级浓度分带,最大值 $>2104\times 10^{-6}$,B元素均具有三级浓度分带,最大值 $>163\times 10^{-6}$,As元素具有二级浓度分带,最大值 $>15.62\times 10^{-6}$ 。该区有较大找矿潜力。

4.3.5 前干涧预测区

预测区位于蓟州区与兴隆县交接处,预测区面积 4.67 km^2 。该区内有前干涧锰矿一处。区内高于庄组二段含矿地层出露,含矿建造发育,由于受区域褶皱构造的影响,在此处形成一小范围的向斜构造,含锰地层呈NW向弧形展布,局部形成一封闭的弧形区域^②。1:5万水系沉积物数据分析结果显示^[10],该区Mn、B、As单元元素异常明显,均具有三级浓度分带,Mn元素异常平均值为 11721.74×10^{-6} ,最大值为 42900×10^{-6} ,B元素异常平均值为 202.0625×10^{-6} ,最大值为 301×10^{-6} ,As异常平均值为 21.0972×10^{-6} ,最大值为 109.50×10^{-6} 。该区有较大找矿潜力。

5 潜在矿产资源估算

锰方硼石是一种无水氯硼酸锰矿物,Honea(1962)将化学式定为 $\text{Mn}_3\text{B}_7\text{O}_{13}\text{Cl}$,并以产地命名为Chambersit,该矿物中主要含 $w(\text{B}_2\text{O}_3)=49.1\%$, $w(\text{MnO})=41.8\%$, $w(\text{Cl})=6.8\%$, $w(\text{FeO})=1.1\%$ ^①。本地区锰方硼石是硼元素的唯一载体,故

本文将东水厂典型矿床做为模型区,先估算各预测区 B_2O_3 潜在矿产资源,然后换算为锰方硼石潜在矿产资源,估算程序为:①估算模型区含矿地质体含矿系数,将其做为各个预测区含矿系数;②厘定最小预测区含矿地质体面积,各预测区含矿面积主要以高于庄组二段底部地层界限为依据,被第四系地层覆盖部分以地层展布方向进行推测;③确定含矿地质体延深,各最小预测区含矿地质体延深主要以深部工程为依据,无深部工程的以含矿地层产状确定;④确定相似系数,将预测区与模型区各预测要素进行逐一对比,将前人采矿时矿体情况综合考虑在内,确定预测区与模型区B相似系数;⑤根据各预测区含矿系数,含矿地质体面积、延深、相似系数,进行 B_2O_3 潜在矿产资源估算后,换算为锰方硼石的潜在矿产资源。

研究区共圈定5个预测区,采用含矿地质体体积法估算 B_2O_3 潜在矿产资源 $145\times 10^4\text{ t}$,锰方硼石的潜在矿产资源 $295\times 10^4\text{ t}$ 。

6 结语

(1)蓟州锰方硼石矿成矿受高于庄组二段地层控制,为沉积改造型矿床,成矿时代为高于庄期,成矿环境为拉张盆地海槽内沉积和热水改造。锰为典型的沉积型成矿,物源为高于庄组二段贫锰层,受高于庄组地层控制;硼的聚集成矿与火山活动有关,物源为大红峪组火山岩、串岭沟组、常州沟组等含B元素较高的地层,受同生断裂和热水循环改造控制。

(2)蓟州地区“含锰页岩”是直接的找矿标志,1:5万水系沉积物地球化学测量圈定的Mn-B-As元素综合异常是十分有效的化探标志。本次预测要素运用本地区含矿地层和化探异常数据确定,采用含矿地质体体积法估算锰方硼石潜在矿产资源 $295\times 10^4\text{ t}$,为本地区锰方硼石矿进一步勘查提供依据。

致谢:本文是在天津市矿产资源潜力评价、天津市矿产资源国情调查项目成果基础上归纳总结完成的,成文过程中得到天津市地质调查研究院王丽瑛教授级高级工程师、张永义高级工程师的悉心指导,同时项目组成员提供了丰富的数据,笔者在此一并致谢!

注释:

① 河北省地质局第十地质队,天津市蓟县东水厂锰硼矿区详细地

质普查评价报告[R]. 石家庄:河北省地质局,1975.

- ② 河北省地质局第十地质队. 河北省遵化县大安平矿区锰硼矿普查评价地质报告[R]. 石家庄:河北省地质局,1979.
- ③ 河北省地质局天津综合地质大队第三中队. 河北省蓟县兴隆前干洞锰矿普查评价报告[R]. 石家庄:河北省地质局,1962.

参考文献:

- [1] 王丽瑛,屠立鹏,沈键,等. 中国矿产地质志·天津卷·普及本·天津矿产地质[M]. 北京:地质出版社,2020:66-67.
- [2] 肖荣阁,大井隆夫,侯万荣,等. 天津蓟县硼矿床锰方硼石矿物的硼同位素研究[J]. 现代地质,2002,16(3):270-274.
- [3] 天津市地质调查研究院. 中华人民共和国天津市区域地质志[M]. 北京:地质出版社,2018:608-630.
- [4] 王丽瑛,陈一笠. 天津市成矿区带和成矿系列[J]. 地质找矿论丛,2009,24(1):23-27.
- [5] 王丽瑛,陈一笠,王家兵,等. 天津市矿产资源潜力评价[M]. 地质出版社,2018:1-551.
- [6] 王丽瑛,黄凡,朵兴芳,等. 天津矿产资源特征及其成矿规律[J]. 地质学报,2020,94(1):50-64.
- [7] 万渝生,刘敦一,王世进,等. 华北克拉通鲁西地区早前寒武纪表壳岩系重新划分和BIF形成时代[J]. 岩石学报,2012,28(11):3457-3475.
- [8] 河北省区域地质矿产调查研究所. 中华人民共和国河北省北京市天津市区域地质志[M]. 北京:地质出版社,2013.
- [9] 王卫星,曹淑萍,程绪江,等. 蓟县地区锰硼矿地质地球化学特征及其找矿方向[J]. 矿产与地质,2013,27(3):246-264.
- [10] 王丽瑛,朵兴芳,屠立鹏,等. 天津市蓟县地区钨成矿规律及资源潜力[J]. 地质找矿论丛,2013,28(3):371-377.
- [11] 肖成东,张静,张宝华,等. 天津蓟县锰方硼石矿床[J]. 地质调查与研究,2007,30(3):186-191.
- [12] 王秋舒,许虹,高桑,等. 稀有矿物锰方硼石的合成及其矿床地质意义[J]. 地学前缘,2013,20(3):123-130.
- [13] Honea R M, Beck F R. Chambersite, a new mineral [J]. American Mineral, 1962, 47: 665-671.
- [14] 天津市地质矿产局. 中华人民共和国天津市区域矿产总结[R]. 1994.
- [15] 曾贻善. 锰方硼石合成及地球化学意义[J]. 地质学报, 1983(4):401-409.
- [16] 中国地质大学(北京). 稀有矿物锰方硼石矿物学、材料物理化学和应用研究报告[R]. 2011.
- [17] 靳松,郭华,余文超,等. 燕辽拗拉槽古一中元古代裂谷盆地演化及其对锰矿沉积的控制作用[J]. 古地理学报,2020,22(5):841-854.
- [18] 王培军. 硼矿床含硼地层的二元结构模式[J]. 化工矿产地质, 1996,18(3):201-206.
- [19] 高兆富,宋祥坤. 冀东高板河矿床硫同位素特征及其对高于庄组硫化物及锰矿石成矿机制的约束[J]. 岩石学报,2024,40(1):267-281.
- [20] 陈毓川,王登红,等. 重要矿产预测类型划分方案[M]. 北京:地质出版社,2010:25-215.
- [21] 王丽瑛,屠立鹏,朵兴芳,等. 中国矿产地质志·天津卷[M]. 北京:地质出版社,2022:66-67.

Geological characteristics and resources potential of chambersite deposit in Jizhou district, Tianjin city

DUO Xingfang, TU Lipeng, HU Haibo, WANG Linhai, YANG Shengkun, GUO Lijun

(Tianjin Institute of Geological Survey, Tianjin 300191, China)

Abstract: Chambersite occurs in Jizhou district and the ore occurrences have found at Dongshuichang, Qianganjian, Baqianyu and Daanping etc. Chambersite ore occur in Member 2 of Gaoyuzhuang formation of Jixian Period. The body is controlled by strata. Genetically the ore is sedimentary-reworked type formed in Gaoyuzhuang Stage. Ore bodies occur in lense, lenticle, cake, string of beads and irregular mass. Chambersite, rhodochrosite, pyrite, hematite, chalcopyrite, psilomelane, pyrolusite and limonite are the ore minerals, Fe-dolomite, quartz, feldspar and clay minerals gangue mineral. Carbonization, tourmalinization and weak silicification are the wall rock alteration. River sedimentation geochemical survey at scale 1:50000 shows the ore-caused anomaly Ht-1 and Ht-2 and two ore occurrence corresponding to the above anomalies are found. Compared with typical chambersite deposit we consider that manganeseiferous shale is direct mark, single element anomaly of Mn, B and As, the Mn-B-As comprehensive anomaly, the effective geochemical mark for prospecting chambersite deposit in the area. Based on metallogenic geological characteristics of the chambersite deposit and analysis of typical Chambersite deposit this paper summarizes prediction elements of the mineral resources and uses geological and geochemical information to build the prediction model. Five targets are outlined with comprehensive information geological unit method. The potential chambersite mineral resources in the area is estimated to be 295×10^4 t with the method of volume of the ore-bearing geological body.

Key Words: Chambersite deposit; geological characteristics; prospecting mark; resources potential; Jizhou district of Tianjin city