

文章编号: 1007-4619 (2001) 06-454-06

阴山中-西段横向构造及其控矿意义的遥感-航磁复合分析

燕守勋¹, 朱振海¹, 黄晓霞¹, 郝天瑶², 张明华³

(1. 中国科学院 遥感应用研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院 地质与地球物理研究所, 北京 100101;
3. 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100083)

摘要: 在调整构造学术思想先导下, 运用遥感-航磁复合分析技术实证东西向古亚洲构造系中南北向横向构造普遍存在的设想, 以阴山中-西段为研究区, 发现了多条横向构造带, 它们在既有的区域构造格局分析与地质图件上少有反映或没有反映。新发现的典型横向构造分析表明, 控制花岗岩等岩浆活动的横向构造带是“诊断性”控矿构造, 在走向构造控制矿带展布的情况下, 其控制矿床的就位, 具有矿产勘查意义。

关键词: 横向构造; 遥感; 航磁; 复合分析; 控矿构造

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A

阴山是典型的東西向构造带, 其中-东段叠加北东-北北东向滨太平洋构造^[1,2]。学者认为东西向构造成“行”, 北东向构造成“列”, 两者交汇控制金等矿产形成分布^[3,4]。提出该带广泛分布近南北向横向构造并控制金等矿产形成分布是崭新的认识。在横向构造概念模型先导下, 运用遥感-航磁复合分析技术, 分析了阴山中-西段横向构造及其控矿特征。

1 横向构造存在于阴山的地质分析

横向构造是纯描述性词汇, 指横切造山带或沉积盆地走向的构造, 适合遥感构造描述。调整构造 (adjustment structure)^[5]是横向构造的概念模型。调整构造因岩石圈“开-合”旋回中伸展或挤压断层运动学的或应变的横向差异而形成 (如伸展体制下的 Transfer, 挤压体制下的 sideramp 和岩石圈挤压收缩体制下横切造山带的伸展-走滑构造, 都是调整构造的在单一动力学体制中的称谓), 在“开-合”动力学体制转换后仍被反复利用、“长寿”发展演化, 持续调节岩石圈的运动。

燕守勋等^[5,10]已系统论述了调整构造的地质特征及其控矿特征, 不再赘述。但需要强调, 存在于古亚洲构造系等地的具有调整构造性质的横向构造往往具有“弥散”分布的特点, 这是一类遥感弱信息。

马建文^[7,8]等系统研究了遥感弱信息的分离提取方法。本文运用航磁-遥感复合分析技术方法对横向构造这类遥感弱信息进行了探测与分析。

阴山中-西段大富矿集区 (东经: 107°-116°, 北纬: 40°00'-41°20', 包括河北-内蒙金矿集中区, 自早先寒武纪花岗-绿岩地体形成以来一中侏罗世经历了4个旋回的南北向反复“开-合”(表1), 造山带收缩量达50%-30%^[9], 垂直东西向造山带调节岩石圈南北向“开-合”的横向构造当普遍存在。中侏罗世以后, 北东-北北东向滨太平洋构造系取代了东西走向的古亚洲构造系。滨太平洋构造系又经历了两个旋回的北西-南东向的“开-合”, 又形成了该构造系的横向构造。基于区域构造“开-合”演化历史中调整构造必然产生的认识, 推断横向构造当普遍存在于阴山中西段。运用遥感-航磁复合分析技术率先去发现横向构造, 为后继横向构造的调整构造性质地质鉴定奠定构造形迹基础。

2 横向构造遥感-航磁复合分析

2.1 横向构造遥感解译

率先对研究区10余景 Landsat TM 数据 (30 m 分辨率) 进行几何校正和镶嵌处理, 发现需将镶嵌图像放大为比例尺为1:10万-1:5万的图片才能清晰

表 1 华北北缘地质演化序列 (据王渝, 1996^[9], 改编)

Table 1 Sequence of geological evolution in northern margin of northern China plate

时间(Ma)	开一合旋回	构造样式	构造环境	岩浆活动	备注
前 2500		花岗-绿岩地体			太古代
2500-1800	南北向开/合	拗槽沉积变质为花岗绿岩地体	拗槽		古元古代
1800-1400	南北向开/合	盆地、推覆构造	裂谷		中元古代
1400-280	南北向开	洋盆、岛弧	中亚-蒙古洋		晚元古-古生代
280-250	南北向合	蛇绿岩叠置, 推覆	中亚-蒙古洋俯冲结束, 碰撞开始	花岗岩, 安山岩	P ₁ -P ₂
250-200	南北向合	韧性剪切, 褶皱	陆内、陆缘造山	二云母、二长、白云母花岗岩	P ₂
190-175	南北向开	断陷、上叠盆地	抬升、成盆	玄武岩、安山岩	T
175-165	南北向合	冲断、推覆	陆内缩短	花岗岩	J ₁
165-140	北西南东向合	韧性剪切、冲断	旋转	安山岩、碱性花岗岩	J ₂
140-120	北西南东向开	断陷、火山盆地	成盆	安山岩、玄武岩、花岗岩	J ₃ -K ₁
110-90	北东西南剪切	左行走滑	西太平洋板块俯冲		K ₁ -K ₂
90-40	北西南东向开	伸展断层	西太平洋板块俯冲		K ₂ -E

反映出横向构造; 航空成像光谱 MAIS 数据(9 m 分辨率)对横向构造也难以获得宏观整体概念。当采用 NOAA 卫星 AVHRR(甚高分辨率辐射计)数据后, 由于分辨率略粗对弥散破碎带有特殊的综合效果; 并选用 0.58-0.68 μm(可见光), 0.725-1.10 μm(近红外)和 3.55-3.93 μm(中红外)三个波段的数据, 特别是使用了中红外波段增强了横向构造的显示效果(图 1, 见图版 I)。在参考不同分辨率遥感图像的基础上, 将 NOAA 卫星 AVHRR 数据放大为 1:100 万后, 对阴山中-西段进行了线性构造解译(图 2), 解译出 11 条横向构造。解译出的 11 条横向构造基本上都垂直走向构造发育, 近南北走向; 大部分横向构造都穿过大地构造单元界限; 大致呈等间距(平均间距约 110 km, 最大间距为 140 km, 最小间距为 100 km)发育。

2.2 横向构造的航磁判别

20 世纪 90 年代以来, 国内外先后开展了“总梯度模方法”作为磁异常解释的辅助手段, 用于圈定磁性岩层或单元边界。由于均匀磁化二度体异常解析信号具有与磁化方向无关、受叠加异常影响小、不受正常场选择的影响、对磁性块体边界和线性构造反映明显等特点, 对隐伏线性构造、磁性岩脉的定量解释具有较大的应用价值。张明华^[10]研究了反演薄板参数的非线性计算方法, 使这一技术进入到实用化水平。利用该方法对 111°-120.5°区内横向构造进行了航磁解释研究(图 3), 横向构造发育十分明显。解释出的主要横向构造有 13 条。在 111°以西的乌拉山地区作了专门处理, 解译出了大桦背航磁梯度带, 后将述及。

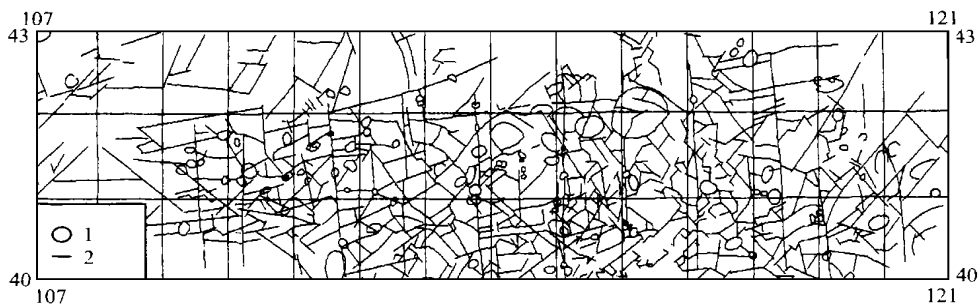


图 2 阴山中-西段横向构造遥感解译图

1- 环形影像; 2- 线性构造

Fig. 2 Remote sensing interpretation of transverse structures in the middle to western segment of the Yinshan mountains

2.3 横向构造的遥感与航磁复合分析

遥感与航磁数据的复合方法目前有两种: 简单的叠合, 将两种方法的解译结果按经纬度套合, 方便易行; 融合, 将遥感和航磁信息统一进行计算

3.1 大桦背横向构造带及哈达门金矿成矿构造模型

大桦背横向构造带近南北向展布, 隐蔽性强、地面难识别。研究结果证实, 该横向构造带有以下几个特点:

(1) 规模大: 在西自乌拉山大桦背岩体东界梅力更沟, 东至哈达门沟, 东西宽达 14 km 范围内, 左行雁列式分布多条线性影像构造(图 4, 图版 I); 南北向切过乌拉山, 色尔腾山, 渣尔泰山, 控制长度约 132 km, 切穿内蒙地轴, 兴一蒙地槽系等不同地质构造单元。

(2) 航磁异常: 在乌拉山—色尔腾山地段航磁异常平面图与不同深度的上、下延拓图上, 表现为密集梯级带, 分开西部高磁异常区与东部低磁异常区, 具有明显的不同磁性块体间的构造调整性质。

(3) 隐蔽性强: 常规地质方法难予识别。因此, 各种比例尺的地质图件上少有反映, 仅在哈达门沟金矿地质图^[11]反映为几条被暗色脉岩或金矿脉充填的断裂构造; 遥感影像上该构造带呈断续, 具有南北向为主“弥散”分布的次级断裂构成; 地表为常流或断流冲沟或岩性错位带。

(4) 控岩控矿: 自南向北沿该带分布海西—印支期大桦背和沙德盖花岗岩基、南北向暗色脉岩普遍发育(南部); 中元古代变质闪长岩体、二长岩体; 加里东期闪长岩体; 印支期和海西期和燕山期花岗岩体及流纹岩、玄武岩, 数条南北向暗色脉岩(中—北部); 南北向片理、片麻理、破劈理带和元古代石英岩; 南北向冲沟分开两侧深、浅色调岩石。相应的南部有哈达门沟大型金矿; 中—北部有十八顷壕小型金矿, 小余太铁矿及民采金矿。于 1997 年 10 月野外工作时, 新发现了多条南北向 Pb—Cu—Au 矿化石英—钾长石脉; 小余太北东九分子沟、西九分子沟、羊素壕、哈不气沟、石哈河等南北向冲沟中大规模砂金采矿, 并且这些矿点大都与南北向矿化石英脉及暗色脉岩相伴。

综合上述特征, 以“规模宏大, 长寿演化, 隐蔽性强, 控岩控矿”为特色。

根据大桦背横向构造的新发现及前人研究成果, 形成哈达门沟大型金矿床的成矿构造模型。

(1) 哈达门沟大型金矿的矿床地质研究程度较高, 前人已开展了大量地质研究和地球化学分析。认为乌拉山群矿源层(角闪质岩石中金含量达 119×10^{-9})、海西期(印支期?)花岗岩体、东西向断裂带共同控矿^[12]。但是, 没有注重横向构造的存在及其

控岩、控矿作用, 未注重沙德盖花岗岩基的辅助控矿作用, 尚不能很好的解释哈达门沟大型金矿床矿体分布格局的根源及其为何产在目前所在位置的必然等关键问题。

(2) 哈达门沟大型金矿床形成在中偏深环境; S、C 等同位素表明成矿物质来源为上地幔源(乌拉山群矿源层中的角闪质岩石原岩为幔源基性火山岩); 氢、氧同位素表明成矿流体为岩浆热液; 大桦背岩体成岩年龄为 322 Ma 前后; 含金石英脉形成年龄为 287 Ma 前后^[14]; 成矿前存在浅层次东西向走向构造带和切达上地幔南北向大桦背横向构造带(带内南北向、全岩 K—Ar 年龄为 3.11 和 4.55 Ma 的辉绿岩岩墙金矿化或被金矿脉切穿, 并有燕山期幔源火山岩)。

概括的成矿模型(图 5, 见图版 I): 西侧为大桦背重熔花岗岩体, 岩体的根部向东延伸约 8 km, 基本上是从大桦背横向构造入侵, 岩体为东西走向^[13]; 北侧为沙德盖重熔花岗岩体, 两者地面最近距离约 1.3 km。两岩体上侵释出成矿物质的同时, 分别提供水平分力, 合力为南东向, 驱使矿液向南东运移; 大桦背重熔花岗岩体上拱使东西向断裂从西向东张开并逐渐收敛, 提供聚矿空间, 矿脉主要沿东西向构造分布; 矿体与伟晶岩脉一起集群分布在大桦背横向构造线两侧(图中 1 为横向构造, 2 为花岗岩基, 3 为金矿脉, 4 为暗色脉岩, 5 为乌拉山群)。

该模型解释了哈达门沟大型金矿床矿体分布格局的根源及其为何产在目前所在位置的必然等关键问题, 也表明大桦背式横向构造带(大型矿化横向构造岩浆带)为大型矿床的诊断性控矿标志。在其与大型走向构造交汇处, 矿源层及重熔花岗岩体共存处等系统综合因素, 是寻找金矿靶区的有利部位。矿源岩也是成矿的重要条件之一, 乌拉山群为矿源层中的角闪质岩石原岩为幔源基性火山岩是金元素的主要析出源。岩浆的构造动力源分析将有助于缩小靶区范围。

3.2 闪电河—延庆横向构造带和宣化横向构造带及其控矿特征

闪电河横向构造带南北延长达 230 km, 与矿化具有密切的空间关系。北段经主成分分析(PCA)后马丁—泰勒(Martin—Taylor)增强(MTE)处理才可在 TM 影像图上清晰反映(图 6(图版 I))。图 6 中 J 为侏罗系火山岩; K 为燕山期花岗岩; 箭头为横向构造; 黑点标 Pb—Zn 为骆驼山 Pb—Zn—Ag 矿化区位置。

构造带由多条南北向线性影像组成,闪电河谷沿断裂分布。断裂带发育在侏罗系火山岩系中,向北切割兴蒙地槽与华北地台的分界东西向大断裂带。燕山期花岗岩沿横向构造分布。正祥查勘探的太仆寺旗骆驼山铅-锌-银矿产出在切穿花岗岩体的横向断裂带中,矿体沿断裂带南北延伸,以花岗岩为围岩。

闪电河横向构造带南段也由多条线性影像组成(图 7,东部横向构造带,见图版 I),切过东西向大断裂。图 7 中 1 为金矿床及其编号;2 为南北向横向构造位置指示标志;TW 为宣化横向构造带东坪段;TE 为延庆-闪电河横向构造带;3 为东西向走向构造位置指示标志;4 为北东向构造位置指示标志;Ar 为太古代;G 为碱性花岗岩体。这里当是金矿进一步找矿远景区;在宣化横向构造东坪段(西部横向构造带)与东西向和北东向断裂交汇处控制金矿化集中区的产出(表 3)。18 个大-中-小型金矿床产出在三组断裂交汇处碱性花岗岩和太古代地层分布区。例如,规模最大的东坪金矿,矿体受横向构造控制,总体近南北向展布。在东坪金矿区域地质图上,两条横向构造被清晰反映^[14]:一条在东坪金矿东侧,沿红花梁-上水泉一线东侧展布,正长岩脉沿之分布;另一条在东坪金矿西部,沿中山沟-水晶屯一线东侧展布,控制角闪石岩体西界,切过碱性岩体。以往的成矿条件分析没有考虑该巨大横向构造带的控矿作用。此外,宣化横向构造带在蔡家营子地段与正蓝旗-张北走向断裂交汇,产出铅锌银矿。

表 3 宣化横向构造带东坪段金矿表^[15]

Table 3 Ore deposits along the Dongping segment of the Xuanhua transverse structure

序号	矿床名称	规模	类型	平均品位(g/t)
1	东坪	大	石英脉	11.8
2	何阳沟	小	石英脉	
3	金家庄	小	石英脉	21.11
4	后沟	中	石英脉	5.5
5	赵家沟	小	石英脉	10.66
6	黄土梁	中	石英脉	6
7	杨木洼	小	石英脉	13.79
8	下双台	小	石英脉	16.7
9	中山沟	小	石英脉	6.27
10	水晶屯	中	石英脉	9.24
11	南冷沟	小	石英脉	6.6
12	谷咀子	中	石英脉	6.07
13	韩家沟	小	石英脉	7.73
14	大白阳	小	石英脉	6.00
15	张全庄	中	石英脉	14.24
16	张全庄	中	石英脉	
17	葛峪堡	小	石英脉	6.84
18	小营盘	大	石英脉	7.74

横向构造控制铅锌银矿体的近南北向分布和加里东期混合花岗岩脉的近南北向产出。

4 结语

(1) 阴山中-西段是公认的东西向构造带,并叠加有北东-北北东向滨太平洋构造系。在调整构造学术思想先导下,通过遥感-航磁复合分析,揭示了 10 余条近南北走向的横向构造带。这些横向构造在既有的区域构造理论和地质图件中少有反映或没有反映。对它们的区域构造意义及发展演化历史需要深化研究。

(2) 前人认为东西向构造成“行”,北东向构造成“列”,两者交汇控制金矿分布的认识是不全面的。大桦背横向构造带和闪电河-延庆横向构造带和宣化横向构造带的典型分析表明,控制花岗岩等岩浆活动的横向构造带是“诊断性”控矿构造,在其与走向构造交汇处,在具备矿源、岩浆热动力等条件下,产出矿床。亦即在走向构造控制矿带展布的前提下,控制岩浆活动的横向构造控制矿床的就位,具有矿产勘察意义。

(3) 不同分辨率的遥感数据可用于揭示不同尺度的构造。NOAA 卫星 AVHRR 数据能够揭示横向构造的区域整体特征;TM 数据利于揭示横向构造细部特征。

参 考 文 献 (References)

- [1] LI Siguang. Introduction to geomechanics [C]. Beijing, Science press, 1976. [李四光, 地质力学概论[C], 北京: 科学出版社, 1976.]
- [2] Cheng Yiqi, Introduction to Chinese regional geology [C]. Beijing, Geological press, 1994. [程裕琪, 中国区域地质概论[4], 北京: 地质出版社, 1994.]
- [3] Pei Rongfu et al. Metaogenic preferentiality and exceptional metalotectonvergence of giant deposits in China [C]. Beijing, Geological press, 1998. [裴荣富等, 中国特大型矿床成矿偏在性与异常成矿构造聚敛场[C], 北京: 地质出版社, 1998.]
- [4] Chen Jiming, Cun Gui. Introduction to Chinese gold ore deposits [C]. Beijing, Geological press, 1997. [陈纪明, 寸端等, 中国金矿概论[C], 北京: 地质出版社, 1997.]
- [5] Yan Shouxun, Lin Qizhong, Huang Xiaoxia, et al. On adjustment structure [J]. Scientia geologica sinica, 1997, 32(2): 147-154. [燕守勋, 蔺启忠, 黄晓霞, 等, 谈调整构造[J]. 地质科学, 1997, 32(2): 146-154.]
- [6] Yan Shouxun, Wang Chuliang, Shao Zhengjie, et al. Extensional tectonic model of uplifting, Western Shandong, China [J]. ACTA Geologic Sinica, 1996, 70(1): 1-11. [燕守勋, 王桂梁, 邵振

- 杰等. 鲁西隆升的伸展构造模式[J]. 地质学报, 1996, 70(1): 1-11.]
- [7] Ma Jianwen, Lin Qizhong, Liu Shuhong, *et al.* Separation of weak information of multiple bands remote sensing data based on remote sensing information fields-concept, methods and application [4]. Collection on the knowledge innovation of remote sensing [C]. Chinese Science and Technology Press. 1999, 73-77. [马建文, 蔺启忠, 刘素红等, 基于遥感信息常的多波段遥感数据弱信息分离-概念、方法和应用[A]. 遥感知识创新论文集[C], 北京: 中国科学技术出版社, 1999, 73-77.]
- [8] Ma Jianwen, Slaney V R, Harris J. Use of Landsat TM data for the mapping of Limonitic and altered rocks in the Sulphurets area, Central British Columbia [A]. Proceedings of 14th Canadian Symposium on Remote Sensing [C]. Calgary, Alberta, 1991, 419-422.
- [9] Wang Yu. Tectonic evolutional processes of Inner Mongolia-Yanshan orogenic belt in eastern China during the late of late Paleozoic-Mesozoic [C]. Beijing, Geological press. 1996. [王渝, 中国东部内蒙古-燕山造山带晚古生代-中生代的造山作用过程[C], 北京: 地质出版社, 1996.]
- [10] Zhang Minghua. A research of the geophysical new method of regional mineral and oil and gas prospect and GIS technique [R]. 1998. [张明华, 区域矿产和油气预测的地球物理新方法 with GIS 技术研究[R], 博士后研究报告, 1998.]
- [11] The Fifth Team of Mineral and Geology Exploration. Inner Mongolia. Geological map of Wulashan gold mineralized region [R]. 1: 10000 1995. [内蒙古自治区第五地质矿产勘察院, 1995, 内蒙古自治区包头市郊区乌拉山金矿区地质图[R]. 1: 10000.]
- [12] The Gold Headquarters of the Chinese People Armed Police Force. Geology of Hadamenggou pegmatite gold deposit in Inner Mongol Autonomous [C]. Beijing, Seismic press. 1995. [中国人民武装警察部队黄金指挥部, 内蒙古自治区哈达门沟伟晶岩金矿地质[C]. 北京: 地震出版社, 1995.]
- [13] Liu Anzhou *et al.* A research of prospect of ore-controlling conditions and ore-forming regularity in Wulashan gold deposit, Inner Mongolia [R]. 1995. 刘安洲等, 1995, [内蒙古乌拉山金矿带控矿条件成矿规律预测研究[R]. 1995.]
- [14] Chen Yuchuan *et al.* Mineral resources assessment of major metallogenic province in China [C]. Geological press. 1999. [陈毓川等, 中国主要成矿区带矿产资源远景评价[C]. 北京: 地质出版社, 1999.]
- [15] Chinese National Gold Manage Bureau, Institute of Gold Geology of the Chinese Peoples Armed Police Force. Atlas of gold resources in China [C]. 1992. [国家黄金管理局, 武警黄金地质研究所, 中华人民共和国黄金矿产图集[C]. 1992.]

Remote Sensing and Aeromagnetic Anomaly Integration Analysis of Transverse Structure and its Ore-controlling Significance

YAN Shou-xun¹, ZHU Zhen-hai¹, HUANG Xiao-xia¹, HAO Tian-yao², ZHANG Ming-hua³

(1. Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

2. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

3. Development Research Centre, Chinese Geological Investigation Bureau, Beijing 100083, China)

Abstract: Under the theory of adjustment structure, the deduction about south-north-trending transverse confirmed commonly occurring in the east-west-trending paleo-asiatic tectonic system has been certificated through integrated analysis of remote sensing and aeromagnetic data in the paper. More than 10 transverse structures have been found in the middle-west segment of Yinshan mountains. Few of them are known in the existing geological maps, and few of them had been considered in some regional geological theories. Analysis to the typical new discovered transverse structures demonstrates that the transverse structure controlling the granitic magma activities is “diagnosis” ore-controlling structure. In the case of strike structure controlled distribution of mineralized belt, the transverse structure controlling the granitic magma activities determines the location of ore deposit, which has very obvious significance for exploration of mineral deposits.

Key words: transverse structure; remote sensing; aeromagnetic anomaly; integration analysis; ore-controlling structure



图1 阴山-燕辽金矿成矿带 AVHRR 遥感影像图 (1, 2, 4 波段合成, 经有损压缩)



图4 大桦背横向构造 TM 影像图
 (4, 3, 2 波段合成)

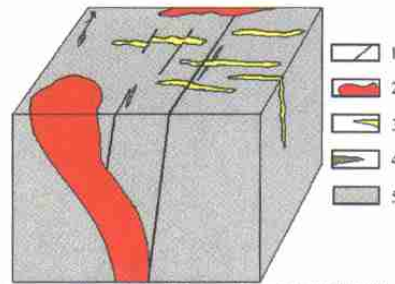


图5 哈达门沟大型金矿床的成矿构造模型图



图6 闪电河-延庆横向构造带 TM 影像图

1, 2, 3 主成分合成 Martin-Taylor 增强图像

114°50'26.4"E
 40°07'08.4"N



图7 闪电河-延庆横向构造带南段及其西部宣化横向构造带东坪段 TM 遥感影像 (镶嵌后几何校正, 2, 4, 7 合成, 然后与金矿信息系统复合) 及金矿分布图

40°36'41.8"N
 114°49'35.8"E
 1 12 2. TW,TE 3 S 4 NE
 40°34'58.0"N
 116°09'27.0"E