

内蒙古太仆寺旗地区构造应力场及构造演化

杨秀俊^{1,2}, 王蕊³, 赵国春¹, 田麒², 贾超²,
曹健², 马超², 江胜国²

(1. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083;

2. 天津华北地质勘查局地质研究所, 天津 300170;

3. 河北省区域地质矿产调查研究所, 河北 廊坊 065000)

摘要: 通过观测、统计太仆寺旗地区不同岩性地层中节理的产状、性质及彼此相互切割的特征, 用构造解析法对观测的节理进行分期配套, 选出多组共轭节理, 并通过投图分析计算出各组共轭节理的最大主应力值(σ_1)、中间应力值(σ_2)和最小应力值(σ_3), 在太仆寺旗地区内恢复了 3 期构造应力。结合区域资料及野外观测数据分析, 将区域构造演化划分为 5 个阶段。

关键词: 太仆寺旗地区; 共轭剪节理; 构造应力场; 构造演化; 内蒙古

中图分类号: P548 **文献标识码:** A

0 引言

太仆寺旗地区位于内蒙古自治区中部锡林郭勒盟的最南端, 与河北省的交界处。近十几年来, 区内及外围先后发现多个多金属及铀钼矿(点)床, 有力地推动了该地区的地质找矿研究工作。前人的研究多侧重于区内某些具体的矿(床)点(郭崑, 2008; 孟玉明, 2009; 欧阳海松, 2009; 鲁玉龙, 2011; 陈建国, 2011; 雷志兰, 2011; 郭方方, 2012 等), 而区域性综合研究相对较少。本文以内蒙古太仆寺旗地区 1:5 万区域矿产地质调查项目为依托, 通过研究太仆寺旗地区的节理、褶皱等构造形迹, 以期恢复该地区的古构造应力场及其演化过程。

1 区域地质特征

太仆寺旗位于华北地台北缘的铅、锌、银、铜等多金属成矿带上。区内地层主要有太古界乌拉山岩

群、中新元古界白云鄂博群和中生界中酸性火山岩。侵入岩主要为二叠纪中粗粒二长花岗岩、中粗粒斑状二长花岗岩、细粒正长花岗岩, 以及晚侏罗世花岗斑岩、石英斑岩和石英正长斑岩。区内发育多种断裂, 主要有 NE 向、NNE 向、NEE 向和 NW 向断裂。区域性大断裂张北—沽源大断裂和骆驼山—沽源断裂从研究区东南部穿过(图 1)。

2 区域构造应力场分析

应力场是指物体内部各点的应力状态在物体占据的空间内组成的整体, 是受力介质内部应力分布的物理空间^[1]。在构造演化过程中, 一定边界条件的地质体, 在特定方式的外力作用下将产生一系列错综复杂而又有成生联系的各种构造形迹, 与地块内部各点产生的变形和位移相对应, 每一点都有确定大小、性质和方向的应力, 在一个空间范围内构造应力的分布称为构造应力场。构造应力场的研究是系统分析从地质体结构要素到地质体的过程^[1-3]。区域构造活动往往会产生不同规模和类型的构造变形

收稿日期: 2016-01-27; 改回日期: 2017-02-21; 责任编辑: 赵庆

作者简介: 杨秀俊(1982—), 男, 工程师, 2009 年毕业于中国地质大学(北京)构造地质学专业, 主要从事地质矿产勘查工作。通信地址: 天津市河东区广瑞西路 67 号, 天津华北地质勘查局地质研究所; 邮政编码: 300170; E-mail: yangxiujun521@126.com

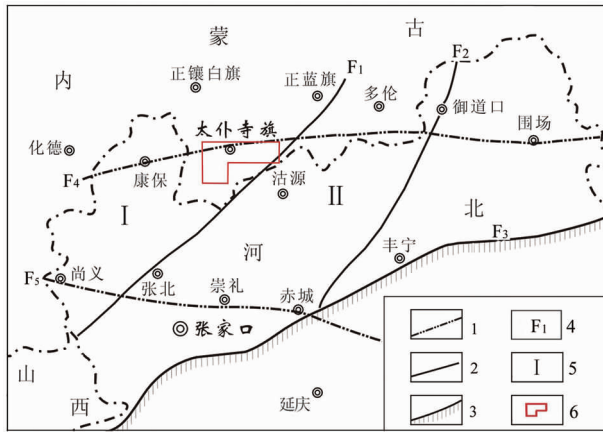


图 1 太仆寺旗地区构造单元简图(据注释①,略有修改)

Fig. 1 Sketch showing structural units in Taipusiqi area

1. 基底构造线; 2. I 级火山构造界限; 3. II 级火山构造界限;
4. 断裂构造及编号; 5. 火山构造分区及编号; 6. 研究区位置
- F₁. 张北—沽源大断裂(察北牧场—骆驼山大断裂);
- F₂. 黄旗—乌龙沟深大断裂; F₃. 丰宁—隆化断裂;
- F₄. 康保—围场断裂; F₅. 尚义—赤城断裂
- I. 太仆寺旗—正蓝旗晚侏罗世—早白垩世火山喷发带;
- II. 张家口—多伦晚侏罗世—早白垩世火山喷发带

形迹,这些构造形迹是研究区域构造应力场及构造演化的基础。研究时首先要用各种方法筛分不同时期的构造形迹,划分不同的变形期,利用不同地质时期变形场中的不同性质、不同方向、不同序次、不同等级但具生成联系的构造形迹建立构造型式,由此分析所反映的应力状态和应力分布规律^[2-4]。区域构造应力场是有规律的应力状态的组合,应力的分布和变化连续有序,并与构造演变有明显的制约关系。构造形迹的发生、发展和组合均受到构造应力场的控制。因此,多个观测点的点应力状态可反映一个地区(局部)的构造应力场,处在同一构造带内若干个局部应力场的综合可显示区域构造应力场的总貌^[5-6]。太仆寺旗地区构造形迹以断裂、褶皱和节理为主,本文主要从区内变形褶皱与共轭节理着手,探讨该地区构造应力场的应力状态及构造演化过程。

2.1 褶皱所指示的应力场

研究区内褶皱主要发育于中新元古界的白云鄂博群中,呈紧闭线型复式褶皱,以白石村复向斜为代表。

该褶皱轴位于太仆寺旗白石村,由一系列轴面走向 $60^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 的背斜和向斜组成。复式向斜转折端总体向 NE 倾伏 SW 仰起,两翼倾角 $15^{\circ}\sim 20^{\circ}$;两翼地层走向 $60^{\circ}\sim 70^{\circ}$,倾向 NNW 或 SSE,倾角 $50^{\circ}\sim 70^{\circ}$,伴随有 NE 向的石英脉发育,为海西期花岗岩

所侵入。据褶皱轴面总体 $60^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 的走向,可推知褶皱形成时的构造应力方向为 NW-SE 向。

2.2 节理统计与应力分析

在构造应力作用下,岩石常发生破裂变形,破裂形迹以剪节理为主^[1]。多次构造变动可产生多组剪节理。同一构造应力期次下形成的“X”型的 2 组剪节理为共轭节理。利用共轭剪节理的交切关系,统计节理产状,并将节理在野外进行分期配套,确定应力轴的方位,则可恢复区内的古构造应力场^[5-6]。判定共轭节理的依据:① 2 组“X”型节理基本同时形成,相互切割,而非总是一组切割另一组;② 2 组节理具微小距离的错动,剪切滑动方向相反,表现为一组左行、另一组右行;③ 2 组节理具有近似的分布密度、延伸长度,具有相同的充填物或均无充填物;④ 共轭节理的尾端常见折尾,在节理交叉处常见菱形结环;⑤ 共轭节理相向运动的两象限尖端常见钝化现象;⑥ 共轭节理常有被后期张节理所追踪的现象。

野外调查工作发现,节理在太仆寺旗地区分布广泛,各岩石地层单元中都十分发育,但不同岩石地层单元中的节理特征有所不同:① 太古界老地层发育的节理以剪性节理为主,其次为张节理,节理走向主要为 NE 向和 NW 向,倾角均较陡,少数伴有小距离的平移,未见矿化蚀变现象;② 侏罗系火山岩中张节理和剪节理同时发育,节理走向以 NE 向、NW 向和近 SN 向为主,多数倾角较陡,少数具有小距离平移现象,节理面多见铁锰矿化和褐铁矿化。

太仆寺旗地区构造活动频繁,后期构造活动叠加于前期构造活动形迹之上,构造形迹相对较复杂。后期构造形迹在老地层中必有显示,而早期构造形迹在新地层中不会存在。因此,对不同期次构造形迹的正确识别和厘定,是本次研究的重要前提。野外研究工作中,选择露头好,且在三维空间上能较好观测节理产状的点作为节理观察统计点。

依据上述条件对共轭节理进行配套,依据节理的切割、限制关系以及节理与岩层产状的关系对所观测的节理进行期次划分,然后按节理的羽列、共轭剪裂面岩块的压缩及伸长特征,定性地确定应力轴方位(通常共轭剪节理的锐夹角指向主压应力方向^[5-6])。将实测数据用赤平投影网(Wulff 网,下半球投影)和构造节理统计软件 SrereoNett2.4^[7] 投影编制节理倾向玫瑰花图(图 2),分别求出各期次共轭节理的优选产状及点应力状态,即最大(σ_1)、中间(σ_2)和最小(σ_3)主应力轴产状(表 1)。

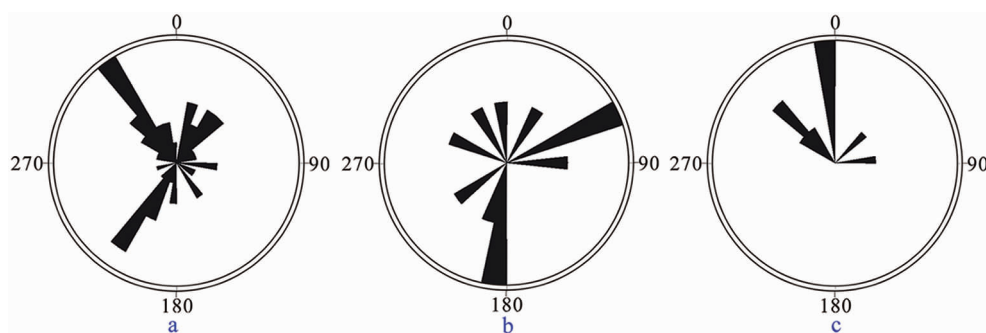


图 2 太仆寺旗地区节理倾向玫瑰花图

Fig. 2 Rose diagram of joint dip in Taipusi area

a. 东马场节理统计点; b. 缸瓦房营子统计点; c. 席家营子统计点

表 1 太仆寺旗地区共轭节理及主应力值统计结果

Table 1 Statistics of conjugated joins data and the principal stress value

观测点	岩性	共轭节理产状/(°)	主应力轴产状/(°)	变形期次
D1031 潘家围子北	J ₃ b ₁ 熔结角砾凝灰岩	350/72, 260/75	σ_1 : 124/22; σ_2 : 310/67; σ_3 : 216/1	第 II 期
D1034 潘家围子北	J ₃ b ₁ 熔结角砾凝灰岩	290/25, 120/43	σ_1 : 312/79; σ_2 : 207/4; σ_3 : 106/10	第 II 期
宋家营子石人山	J ₃ b ₁ 熔结角砾凝灰岩	300/78, 140/57	σ_1 : 63.5/65; σ_2 : 216/21; σ_3 : 319/8	第 III 期
D1066 窝地大井营子	P 中细粒二长花岗岩	255/72, 54/75	σ_1 : 155/58; σ_2 : 332/32; σ_3 : 64/1	第 II 期
石灰窑北 1510 高地南坡	Qnby 新元古界二云母石英片麻岩	290/60, 20/85	σ_1 : 160/16; σ_2 : 282/60; σ_3 : 61/23	第 II 期
D1179 七号缸房营子西山头	J ₃ b 钾质流纹岩	10/75, 280/65	σ_1 : 146/27; σ_2 : 309/62; σ_3 : 53/6	第 II 期
D1179 七号缸房营子西山头	J ₃ b 钾质流纹岩	13/80, 95/75	σ_1 : 325/4; σ_2 : 69/73; σ_3 : 234/16	第 II 期
D0546	J ₃ 泡沫熔岩	274/84, 161/81	σ_1 : 39/13; σ_2 : 210/77; σ_3 : 308/1	第 III 期
D0678	J ₃ mn 石英粗面岩	280/64, 185/60	σ_1 : 53/38; σ_2 : 229/52; σ_3 : 321/2	第 III 期
太旗西沟北山	J ₃ b ₂ 流纹岩	230/85, 325/86	σ_1 : 97/6; σ_2 : 271/84; σ_3 : 7.5/1	第 II 期
石匠沟西	二叠纪二长花岗岩	40/46, 310/80	σ_1 : 167/35; σ_2 : 30/46; σ_3 : 274/23	第 II 期
馒头山北东采石坑	Jxb 中新元古界, 石英透辉岩夹大理岩	160/55, 300/68	σ_1 : 319/7; σ_2 : 226/31; σ_3 : 62/58	第 II 期
五面井东马场公路边	Arwl 花岗质片麻岩	215/52, 45/49	σ_1 : 317/83; σ_2 : 128/6; σ_3 : 220/1	第 II 期
五面井东马场公路边	Arwl 花岗质片麻岩	255/52, 30/65	σ_1 : 152/67; σ_2 : 315/32; σ_3 : 50.5/7	第 II 期
Tc6 席家营子东	J ₃ 花岗斑岩	205/70, 115/80	σ_1 : 339/21; σ_2 : 180/68; σ_3 : 74/7	第 II 期
Tc12 太旗红石砬东	J ₃ 石英正长斑岩	315/65, 60/70	σ_1 : 189/34; σ_2 : 1.5/56; σ_3 : 96/3	第 II 期
D0619	J ₃ b ¹ 熔结凝灰岩	180/80, 225/60	σ_1 : 121/22; σ_2 : 255/56; σ_3 : 20/20	第 II 期
五面井东马场公路边	Arwl 花岗质片麻岩	210/55, 205/84	σ_1 : 184/68; σ_2 : 294/8; σ_3 : 27/18	第 I 期
五面井东马场公路边	Arwl 花岗质片麻岩	210/85, 145/80	σ_1 : 358/9; σ_2 : 141/80; σ_3 : 266/5	第 I 期
TC8 席家营子西	J ₃ 花岗斑岩	325/74, 305/70	σ_1 : 43/9; σ_2 : 287/69; σ_3 : 136/18	第 III 期
TC8 席家营子西	J ₃ 花岗斑岩	355/70, 310/37	σ_1 : 46/21; σ_2 : 273/30; σ_3 : 144/19	第 III 期
TC8 席家营子西	J ₃ 花岗斑岩	350/80, 310/74	σ_1 : 58/8; σ_2 : 295/74; σ_3 : 151/13	第 III 期
缸瓦房西山头	J ₃ 花岗斑岩	43/82, 292/82	σ_1 : 166/12; σ_2 : 348/78; σ_3 : 257/1	第 II 期

通过对太仆寺旗地区内晚侏罗系火山岩、中新元古界白云鄂博群、太古界乌拉山群及二叠纪花岗岩中的节理进行统计分析配套,依据节理的切割限制关系及其所在地层的新老关系判断节理发育的先后期次,采用从新到老逐步筛选的方法,区内恢复了 3 期古构造主应力(表 2)。

第 I 期构造主应力场最大主应力 σ_1 方向近 SN 向(图 3a, 图 4),倾角 $9^\circ \sim 68^\circ$ 。第 I 期主动力主要来自北方,应力场主要表现为 SN 向挤压作用及 EW 向的拉张作用,区内构造变形形迹以近 EW 向的深大断裂为主,同时在区内太古代乌拉山岩群中

形成近 EW 向的片麻理、SN 向的石英脉。

第 II 期构造主应力方向为 NW-SE 向(图 3b, 图 4),主动力主要来自东南方向,构造应力场强度大,持续时间长,是太仆寺旗地区最主要的一期构造应力场。最大主应力(σ_1)倾角较小,以 NW-SE 向的水平挤压为主。在研究区西部白石头洼地区中新元古界的塑性老地层中产生大量 NE 向的逆断层及复式褶皱,而在区内燕山期火山岩中形成大量的 NW 向张性含矿构造和 NE 向的压性断裂。

第 III 期构造主应力主要表现为 NE-SW 向区域水平挤压(图 3c, 图 4),为太仆寺旗地区相对较晚的

表 2 太仆寺旗地区最大主应力与期次

Table 2 The maximum principal stress value (σ_1) and stages of the stress in Taipusiqi area

发育地层岩性	第Ⅰ期 $\sigma_1/(^\circ)$	第Ⅱ期 $\sigma_1/(^\circ)$	第Ⅲ期 $\sigma_1/(^\circ)$
太古界片麻岩	358 $\angle$ 9,184 $\angle$ 68	317 $\angle$ 83,152 $\angle$ 67	
元古界变质砂岩		160 $\angle$ 16,319 $\angle$ 7	
二叠系花岗岩		155 $\angle$ 58,167 $\angle$ 35	
		143 $\angle$ 15,339 $\angle$ 21	
		124 $\angle$ 22,132 $\angle$ 7	63.5 $\angle$ 65,39 $\angle$ 13,
晚侏罗世		146 $\angle$ 27,325 $\angle$ 4	53 $\angle$ 38,43 $\angle$ 9,
火山岩		97 $\angle$ 6,189 $\angle$ 34	46 $\angle$ 21,58 $\angle$ 8
		121 $\angle$ 22,166 $\angle$ 12	

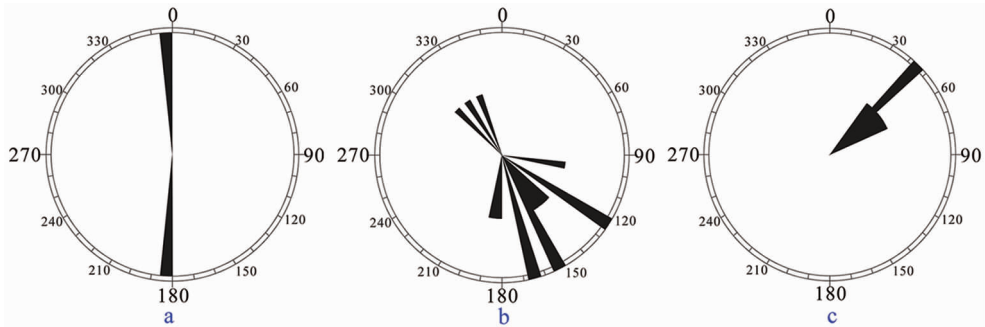


图 3 第Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ期主应力玫瑰花图

Fig. 3 Rose diagram of the principal stress stage I、II、III

a. 第Ⅰ期; b. 第Ⅱ期; c. 第Ⅲ期

一期主应力,作用强度相对较弱,其对应的构造形迹主要出现在中生代脆性火山岩中,在塑性较大的元古代变质岩中则很少出现。本期应力的主动力主要来自西南方向,应力对早期形成的 NW 向、NE 向断裂具有重要的改造作用,早期 NW 向的张性含矿构造在其作用下又表现为一定的挤压特征,有利于含矿构造形成一个封闭的储矿场所。而 NE 向的压性断裂则向张性转变,有利于扩大容矿空间,但对含矿热液的储集和保存不利。

4 区域构造演化

太仆寺旗位于华北地台北缘中段,结晶基底形成并变形于新太古代和古元古代,中元古代发生被动陆缘裂陷槽裂解^[8-9],新元古代晚期开始形成活动陆缘^[10],海西期—中生代产生挤压造山并伴有大量中酸性岩浆侵入,经历了漫长的构造演化与发展过程^[11]。据太仆寺旗地区的岩石组合、地层、侵入岩及各种构造的形态特征和空间展布规律,结合前人^[5-6,8-9,11-12,14,16-17]研究成果,将太仆寺旗地区的构造演化发展分为乌拉山期、白云鄂博期、海西期、燕山期和喜山期 5 个阶段。

一期主应力,作用强度相对较弱,其对应的构造形迹主要出现在中生代脆性火山岩中,在塑性较大的元古代变质岩中则很少出现。本期应力的主动力主要来自西南方向,应力对早期形成的 NW 向、NE 向断裂具有重要的改造作用,早期 NW 向的张性含矿构造在其作用下又表现为一定的挤压特征,有利于含矿构造形成一个封闭的储矿场所。而 NE 向的压性断裂则向张性转变,有利于扩大容矿空间,但对含矿热液的储集和保存不利。

(1) 乌拉山期(太古宙—古元古代)
太古代为太仆寺旗结晶基底形成及变形阶段,该阶段的太仆寺旗地区广泛发生海底火山喷发—沉积作用,形成太古宙乌拉山群。在太古宙晚期发生五台运动,形成华北原地台^[12-14]。与此同时,第Ⅰ期南北挤压作用为主的构造主应力场的产生,也使华北地台北缘中部太仆寺旗地区乌拉山群发生变形、变质作用,并形成角闪岩相变质岩系,主要表现为片麻理和韧性变形,片麻理总体近 EW 向。随着南北向挤压应力的逐渐加大,地壳岩石开始产生破裂,进而在本地区形成近 EW 向的线状断裂(张北—沽源大断裂)。乌拉山群是太仆寺旗地区出露的最古老地层。

(2) 白云鄂博期(中—新元古代)
在古元古代时,华北陆块结晶基底形成,受华北克拉通超大陆裂解事件的影响,华北地台北缘逐渐转变为拉张环境,地壳减薄^[8]。中元古代时,拉张作用仍继续进行,华北地壳总体稳定下降,接受海相沉积,并伴有海底火山喷发,在太仆寺旗地区形成火山碎屑岩和少量碳酸盐岩的地层^①。从新元古代开始,华北地台逐渐步入稳定克拉通的发展阶段。此时,由

于西伯利亚板块向南运动俯冲,华北板块北缘由此逐渐转向活动陆缘发展^[5,8,13]。白云鄂博期在太仆寺旗地区形成了浅变质的火山岩及沉积火山岩碎屑岩结晶基底。

(3)海西期(晚古生代)

自晚古生代开始,华北板块北缘总体处于挤压作用下的造山变形改造阶段。海西运动期间太仆寺旗地区未接受沉积,但发育有大量侵入岩。该阶段西伯利亚板块向南俯冲运动,华北地台北缘地壳受到南北方向的挤压,中酸性岩浆大量上侵,形成了太仆寺旗区内窝地和炮台营子地区的海西期高钾花岗岩。由于构造运动的波动性,海西期花岗岩也随之形成多期活动的特征。该阶段太仆寺旗地区岩浆侵入活动可分为 3 期,早期主要为中粗粒的二长花岗岩,第二期以中粗粒的斑状花岗岩为主,晚期为细粒正长花岗岩。

(4)燕山期(中生代)

燕山期是中国北方构造活动非常强烈的时期,该阶段西伯利亚板块向南、华南板块向北对华北板块的作用已减弱且退居次要地位,而此时的滨太平洋板块向西对华北板块的构造作用则逐渐加强。应力场主应力方向随时间而变化,早侏罗世末期为 NEE 向,中侏罗世末期为 NE 向,到晚侏罗世转为 NNE 向。从早侏罗世到晚侏罗世,应力方向呈逆时针转动^[15]。燕山期是太仆寺旗地区主要的火山活动时期,形成中酸性、中基性火山岩建造。强烈的火山喷发作用,形成太仆寺旗、七号等破火山口,火山喷发有从南东向北西移动的趋势^①,这可能与这一时期西伯利亚板块对华北板块作用的减弱,而太平洋板块的作用却加强有关联。这一时期,太仆寺旗地区经受第Ⅱ期构造应力的作用,即太平洋板块总

体 NW-SE 向挤压应力作用,在区内燕山期火山岩中形成了大量的 NW 向张性含矿构造和 NE 向压性断裂。

(5)喜山期(新生代)

喜山期时华北板块受滨太平洋板块的俯冲作用逐渐减弱,而来自印度—澳大利亚板块的俯冲作用则逐渐加强。第Ⅲ期构造主应力是这一时期的主要应力,在该应力场的作用下相继产生 NW-SE 向的引张作用和 NE-SW 向的挤压作用,早期形成的 NE 向、NW 向断裂在这一时期又活化再活动,伴有大量次级断裂产生。在各大板块的联合作用下,太仆寺旗地区以差异升降、断陷为主,区内西南炮台营子的高原湖泊出现 3~4 级更新统、全新统的湖泊阶地(图 5),表明喜山期内蒙古高原的隆升在本地区主要发生在第四纪,且为阶段性的抬升,区内湖泊面积逐渐缩小。

5 结论

(1)通过野外节理的观测、统计分析,在太仆寺旗地区恢复了 3 期主要的构造应力场。第Ⅰ期主应力方向为近 SN 向,主动力主要来自北方,太古代乌拉山岩群的构造形迹多为该期应力所形成;第Ⅱ期主应力为 NW-SE 向,主动力来自东南方向,应力场强度大,持续时间长,是本区最主要的一期构造应力场;第Ⅲ期主应力方向为 NE-SW 向,主动力主要来自西南方向,该期应力场使早期形成的 NW 向断裂受到挤压变得紧闭,而 NE 向断裂受到拉张变得开放。

(2)太仆寺旗地区的构造演化与华北地台北缘构造演化历史基本一致。

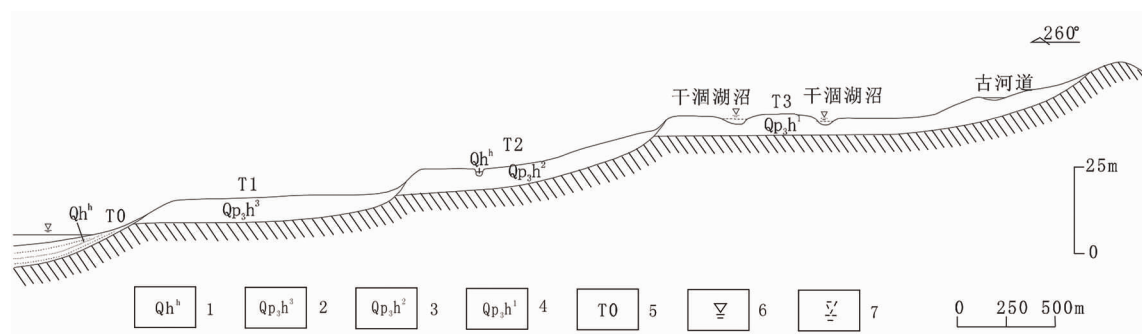


图 5 太仆寺旗花诺尔湖积阶地剖面示意图(项目组提供)

Fig. 5 Section sketch of sedimentation terrace of Huanuoer Lake in Taipusiqi area

1. 现代湖岸; 2. 晚更新世三级阶地; 3. 晚更新世二级阶地; 4. 晚更新世一级阶地;
5. 阶地编号; 6. 现代湖泊; 7. 干涸湖泊

致谢:编写本文所需的野外和室内工作得到中国地质大学(北京)赵国春、白志达、徐德斌等多位老师的指导,编辑部老师对稿件也提出了宝贵的意见,在此一并表示感谢。

注释:

① 河北省地矿局区调队, 1:20 万太仆寺旗幅区调报告, 1990.

参考文献:

- [1] 朱志澄. 构造地质学[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1999: 1-262.
- [2] 王仁. 构造应力场的反演[M]. 地质研究论文集. 北京:北京大学出版社, 1982: 1-203.
- [3] 陈子光. 岩石力学性质与构造应力场[M]. 北京:地质出版社, 1986.
- [4] 万天丰. 古构造应力场[M]. 北京:地质出版社, 1988: 1-156.
- [5] 胡晓, 许传诗, 牛树银. 华北地台北缘早古生代大陆边缘演化[M]. 北京:北京大学出版社, 1990.
- [6] 毛德宝, 钟长汀, 陈志宏, 等. 华北地块北缘中段铅锌银矿床成矿作用讨论[J]. 前寒武纪研究进展, 2002, 25(2): 105-112.
- [7] 任收麦, 葛肖虹, 刘永江, 等. 柴达木盆地北缘晚中生代一新生代构造应力场:来自构造节理分析的证据[J]. 地质通报, 2009, 28(7): 877-887.
- [8] 翟明国, 卞爱国. 华北克拉通新太古代末超大陆拼合及古元古代末—中元古代裂解[J]. 中国科学: D 辑, 2000, 30(S1): 129-137.
- [9] 赵国春, 孙敏, Wilde S A. 早—中元古代 Columbia 超级大陆研究进展[J]. 科学通报, 2002, 47(18): 1361-1364.
- [10] 翟裕生. 成矿构造研究的回顾和展望[J]. 地质论评, 2002, 48(2): 140-146.
- [11] 彭润民, 翟裕生, 郭雪峰, 等. 内蒙古狼山造山带构造演化与成矿响应[J]. 岩石学报, 2007, 23(3): 679-688.
- [12] 朱卫平. 内蒙古中部白音希勒地区构造特征及其演化[D]. 北京:中国地质大学(北京), 2007.
- [13] 邵济安. 中朝板块北缘中段地壳演化[M]. 北京:北京大学出版社, 1991: 1-139.
- [14] 李俊建, 罗镇宽, 燕长海, 等. 华北陆块的构造格局及其演化[J]. 地质找矿论丛, 2010, 25(2): 89-100.
- [15] 万天丰. 中国大地构造学纲要[M]. 北京:地质出版社, 2004: 1-187.
- [16] 方曙, 王永祥, 李立新. 大兴安岭东南部太平山地区断裂控矿作用及控矿应力场[J]. 矿床地质, 2004, 23(1): 107-114.
- [17] 方曙, 鞠文信, 张亚盾. 内蒙古东南部中生代构造应力场的多次转换及动力机制探讨[J]. 地质力学学报, 2002, 8(1): 26-34.

Stress field and evolution of structure in Taipusiqi area, Inner Mongolia

YANG Xiujun^{1,2}, WANG Ru³, ZHAO Guochun¹, TIAN Qi²,
JIA Chao², CAO Jian², MA Chao², JIANG Guosheng²

(1. Earth Science and Resources Institute of China University of Geo-sciences Beijing 100083, China;
2. Geological Institute of Tianjin North China Geological Exploration Bureau, Tianjin 300170, China;
3. Regional Geology and Mineral Resources Institute of Hebei province, Langfang 065000, Hebei China)

Abstract: On the basis of observation and statistics of occurrence, property and cutting relation of joints in different lithologic stratum in Taipusiqi area, Inner Mongolia the authors divided formation stages of the joints and fit the joints in systems. Multi-groups of conjugate joints are picked up. Projection of joint occurrence was used to calculate maximum principal stress value (σ_1), medium value (σ_2) and minimum value (σ_3). Three stages of structural stress are reconstructed in Taipusiqi area. 5 stage division of regional structural evolution is based on the collection of regional data and analysis of the field observation data.

Key Words: Taipusiqi area; conjugate joints; structural stress field; structural evolution; Inner Mongolia