

张雪峰, 张世红, 孟宪刚, 等. 太平洋板块中生代俯冲构造事件的响应: 来自黑龙江东部饶河三叠纪层状燧石的古地磁证据[J]. 中国地质, 2014, 41(6): 2019–2027.

Zhang Xuefeng, Zhang Shihong, Meng Xiangang, et al. The identification of Mesozoic Pacific plate subduction: Evidence from paleomagnetism of the Late Triassic bedded cherts in Raohe area, eastern Heilongjiang Province[J]. Geology in China, 2014, 41(6): 2019–2027(in Chinese with English abstract).

太平洋板块中生代俯冲构造事件的响应： 来自黑龙江东部饶河三叠纪层状燧石的古地磁证据

张雪峰^{1,2,3} 张世红² 孟宪刚¹ 李 超⁴ 王彦明⁴

(1. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081; 2. 中国地质大学地球与资源学院, 北京 100083;
3. 黄河水利职业技术学院, 河南 开封 475004; 4. 辽宁省地质矿产研究院, 辽宁 沈阳 110032)

摘要:黑龙江东部饶河境内的层状燧石是中生代完达山造山带蛇绿混杂岩的重要组成部分, 这些层状燧石的构造意义成为人们关注的热点。对完达山造山带饶河三叠纪大佳河组层状燧石 280 余块定向手标本开展深入的古地磁研究, 结果表明这些层状燧石遭受不同程度的重磁化, 重磁化的时间推测为晚侏罗世中期—早白垩世之间。说明对黑龙江东部晚侏罗世—早白垩世存在太平洋板块俯冲的响应。本区重磁化的机制是太平洋板块向西俯冲导致的地体增生、拼贴过程中的造山带流体造成的区域性重磁化现象。

关键词:中生代; 层状燧石; 重磁化; 黑龙江东部; 完达山造山带; 太平洋板块

中图分类号: P534.51 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2014)06-2019-09

中国东北地区位于华北板块、西伯利亚板块和太平洋板块之间, 该区涉及古亚洲洋构造域的小陆块的拼合、环太平洋构造域地体的增生以及两大构造域转换过程的机制及其时代等重大地质问题, 是研究板块构造俯冲过程与机制的典型地区^[1]。

完达山造山带位于东北地区东部, 为典型的由太平洋板块俯冲拼贴而形成的增生杂岩带, 与那丹哈达地体或完达山地体相当^[2]。区内发育完整的中生代深海沉积地层, 主要由晚三叠世—中侏罗世含放射虫的层状燧石组成, 并夹有镁铁—超镁铁质杂岩层和晚古生代的浅海相沉积岩, 为一套典型的构造混杂岩系^[3, 4]。其特殊的岩石构造特征和构造位置引起众多地质学家的关注, 开展了岩石、构造、地层、古生物、古地磁等各方面的研究, 取得了很多有意义的成果, 然而有关完达山造山带的构造演化以

及中生代太平洋板块的运动历史仍存在较大争议, 如早期的观点认为太平洋板块俯冲的时间发生在三叠纪^[5-7]。赵越等^[8]、刘德来等^[9]则认为俯冲事件发生在中侏罗世末; Vander Voo^[10]研究表明太平洋板块向东亚俯冲的时间为晚侏罗世; 邵济安等^[11]、李朋武等^[12]认为俯冲的时间始于晚白垩世; 肖庆辉等^[13, 14]从岩石圈—软流层深部地质过程的角度提出新的认识, 认为中国东部中生代早期岩石圈演化与太平洋板块向欧亚板块俯冲消减没有直接的关系, 是东亚洋盆系的洋盆向中国东部大陆俯冲、消减碰撞造山以及它们引发的软流层上涌联合作用的结果。最近对饶河杂岩的就位时间 150~131 Ma^[15]、饶河蛇绿岩年龄的研究^[16], 表明中国东部在晚侏罗世—早白垩世存在太平洋板块的俯冲—走滑作用。孙晓猛等^[17, 18]通过对敦密断裂年代学的研究认为太平

收稿日期: 2013-10-23; 改回日期: 2014-02-25

基金项目: 国家深部探测专项 SinoProbe-02 项目资助。

作者简介: 张雪峰, 男, 1982 年生, 博士生, 从事区域地质、构造古地磁研究; E-mail: xuefengzhang1982@163.com。

洋板块的俯冲发生在中侏罗世末。上述可以看出,关于太平洋板块俯冲的时间远未定论,仍需更深入的研究。中生代东亚大陆与太平洋板块之间的运动学关系就记录在中生代形成的岩石及构造形迹之中^[9]。上述区内中生代海相地层的构造形迹、构造物理场能够很好地反映区域构造事件。为此,本文将通过古地磁测试,厘定这些海相层状燧石的重磁化,为揭示完达山地体增生拼贴以及太平洋板块俯冲的响应提供重要的信息。

1 地质构造背景

完达山造山带位于东北地区东部,因发育的增生杂岩具有外来的属性而被称为完达山地体。其西侧为佳木斯地块,南面是兴凯地块,东面是锡霍特—阿林地块和北面与俄罗斯接壤(图1-a)。区内构造复

杂,断裂发育,以一组南北走向、略向西突出的断裂构造系统为主。大的断裂有西侧的跃进山断裂和南侧的敦密断裂。研究表明,敦密断裂具有多期运动的特点,中生代时大规模的左旋平移反映出太平洋板块向欧亚板块的俯冲^[17-19]。跃进山断裂是敦密断裂的北延部分,中生代时它曾是完达山地体与佳木斯地块的缝合带。研究表明跃进山断裂带附近的基性岩类代表了太平洋板块的上部洋壳,而石炭—二叠纪石灰岩,三叠纪层状燧石,中侏罗世硅质页岩和晚侏罗—早白垩世砂岩、页岩等代表了太平洋板块的表层沉积物及其沉积岩石,它们共同构成了俯冲拼贴带的主体——板块俯冲的增生杂岩^[1]。

2 样品采集

为了厘清该区层状燧石的构造意义,本次研究

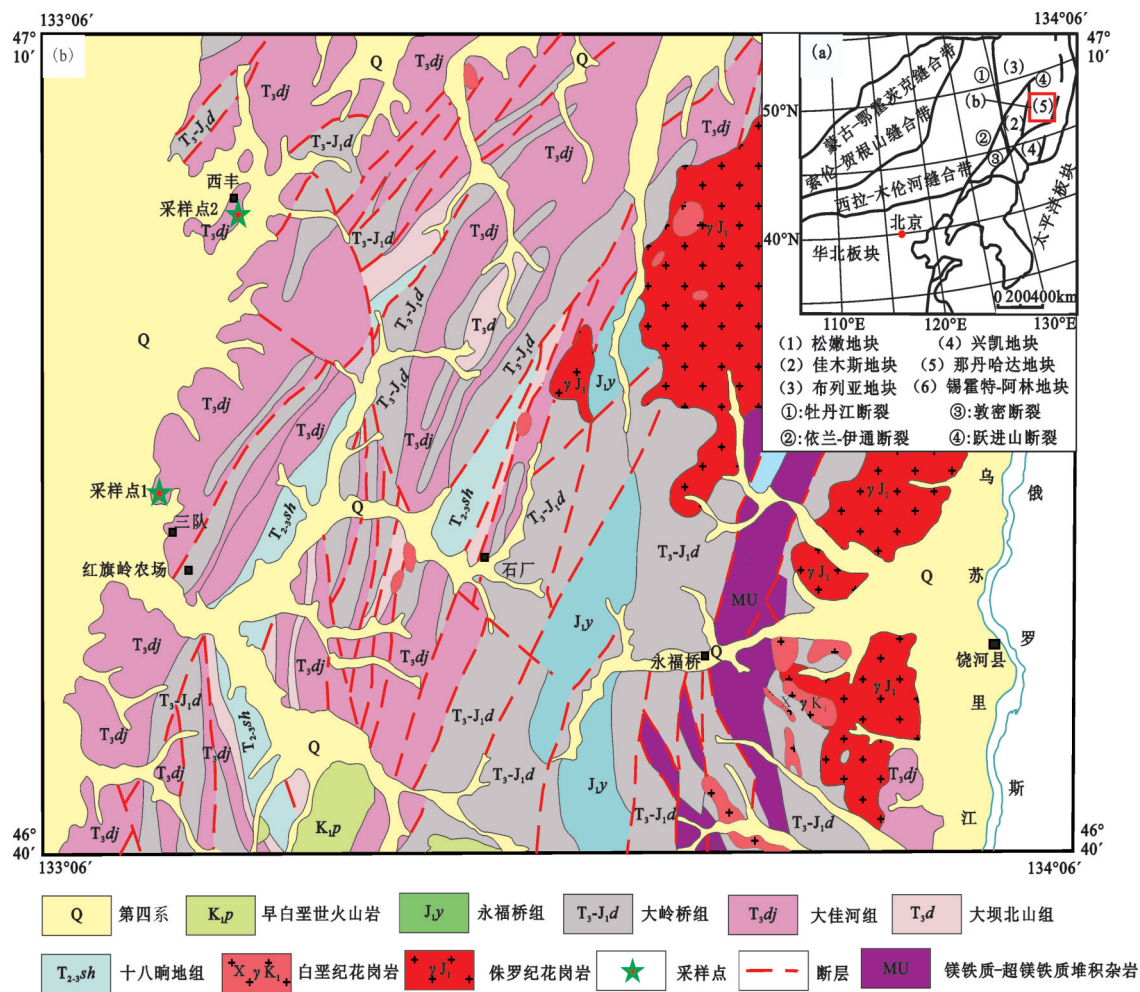


图1 黑龙江东部饶河地区地质简图及采点分布图

Fig.1 Simplified geological map of eastern Heilongjiang Province, showing distribution of paleomagnetic sampling sites

在区域地质调查的基础上,选择跃进山断裂东侧盆地岭结合带处进行采样。具体为:北面的红旗岭农场剖面(采样点1)和南面的西丰剖面(采样点2)。两采样点相距35 km,且产状不一致,可进行区域褶皱检验(图1-b)。采样点1位于饶河县红旗岭农场(46°52.829'N, 133°12.263'E)(下文简称为红旗岭剖面),剖面主体北西倾,厚约9 m,由层厚数厘米至数十厘米的薄层状硅质岩和薄层硅质页岩互层组成,为晚三叠世大佳河组。硅质岩呈紫红色、灰绿色,逐层采集定向手标本200余块,在大剖面的基础上分了5个小剖面,自下到上分别为B、D、F、A、C。为更好地控制整个剖面,采样时选用一些较厚的硅质岩层作为标志层,共建立20层标志层(L1-L20)(图2)。剖面G为红旗岭剖面附近一紧闭褶皱,取手标本80余块。采样点2位于饶河县西丰镇南采石场(47°03.319'N, 133°17.098'E)(下文简称为XF剖面),出露青灰色薄层硅质岩夹紫红色硅质岩薄层,时代为晚三叠世大佳河组。采集定向手标本15块。

3 古地磁结果分析

样品的系统热退磁在美制TD-48热退磁炉上进行,大部分样品的加热步骤约为13~24步,加热间隔低温段为50~100℃,高温段(550℃后)为10~30℃,接近磁铁矿和赤铁矿的居里点附近加密至5℃。剩磁测量在JR-6A旋转磁力仪和2G-755-4K型超导磁力仪上完成。在所有完成测量的样品中,有108块样品使用2G-755-4K型超导磁力仪完成测试。所有样品的测试在中国地质大学(北京)古地磁实验室完成。剩磁分析和磁成分分离采用主成分分析法^[21],数据平均统计采用Fisher法完成^[22]。数据分析使用Enkin的Windows版(2000)古地磁数据分析软件包。

3.1 剖面C

剖面C样品经过逐步热退磁,大部分在0~200℃清除粘滞剩磁,表现为单分量且逐渐趋向原点,可分离出一个高温分量B方向为北北西向,正中、高倾角(图3-a),其平均方向在产状校正前为: $D=327.4^\circ, I=57.3^\circ, \kappa=95.3, \alpha_{95}=1.8^\circ$,产状校正后为 $D=313.7^\circ, I=-2.3^\circ, \kappa=71.3, \alpha_{95}=1.7^\circ, n=154$ 个样品(图4-a,表1)。其中C4层剩磁分量C分为明显对蹠的两组,为双极性现象。其中一组分量在地理坐标系为北北西向,正中、高倾角,构造校正后方向为

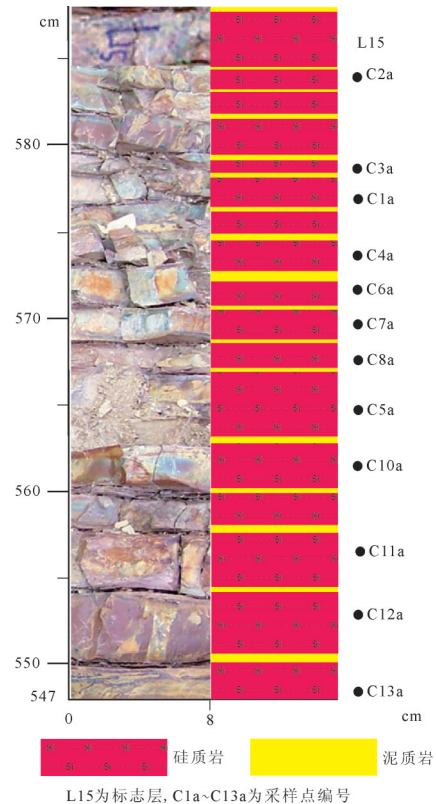
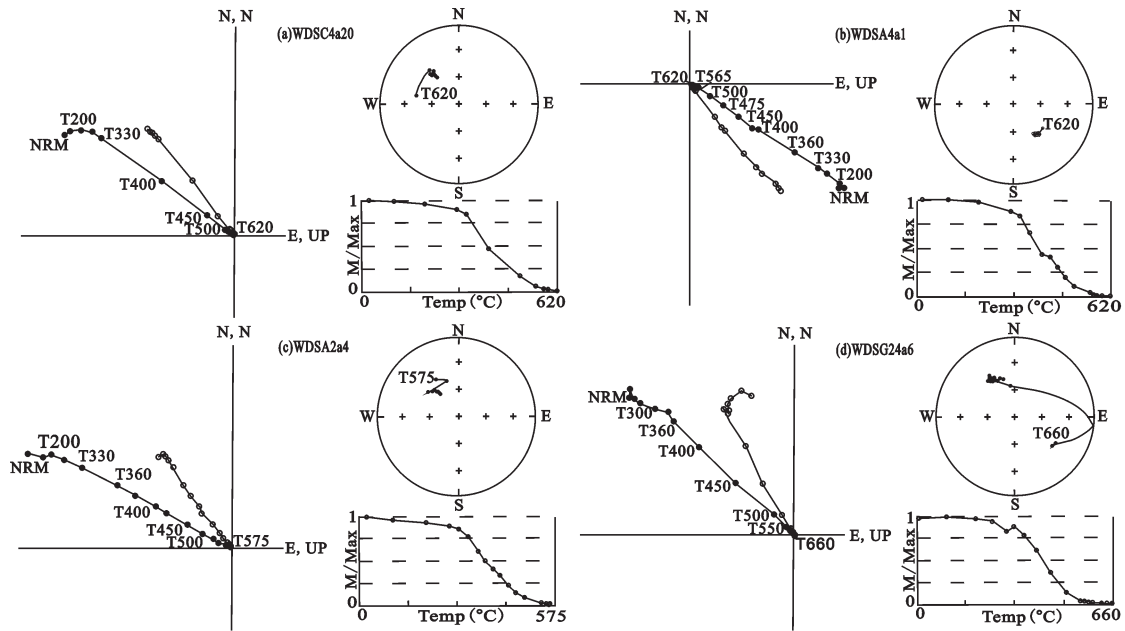


图2 红旗岭剖面C岩性柱状图及采点位置(其他剖面同剖面C)
Fig.2 Columnar section of C lithology along Hongqiling profile, showing sampling sites (same for other profiles)

北西西向、低负倾角(图4-a)。剖面A、B、D、F退磁结果与剖面C一致。

3.2 剖面G

剖面G样品经过逐步热退磁,退磁曲线主要表现两类:一部分样品在0~250℃清除粘滞剩磁,表现为单分量且逐渐趋向原点;另一部分样品在低温阶段分离出一偏角近北向,中、高倾角,向下的剩磁分量A,其平均方向在产状校正前为: $D=356.9^\circ, I=61.9^\circ, \kappa=117.4, \alpha_{95}=1.8^\circ$,产状校正后为 $D=345.7^\circ, I=44.1^\circ, \kappa=10.7, \alpha_{95}=6.4^\circ, n=51$ 个样品。低温分量A在地理坐标系下的平均方向与采样区现代地磁场方向一致(偶极子场方向: $D=0^\circ, I=64.2^\circ$; IGRF方向: $D=351.9^\circ, I=61.5^\circ$),应为现代地磁场重磁化的结果。大部分样品可分离出高温分量B方向为北北西向,正中倾角(图3-d),其平均方向在产状校正前为: $D=331.2^\circ, I=49.0^\circ, \kappa=62.1, \alpha_{95}=2.3^\circ$,产状校正后为 $D=326.1^\circ, I=24.5^\circ, \kappa=64.3, \alpha_{95}=2.3^\circ, n=71$ 个样品(图4-b,表1)。



Z氏图中实心(空心)圆分别代表剩磁方向在水平面(铅直面)上的投影;等面积投影图中的实心(空心)圆分别代表上半球(下半球)投影。
(全部结果均为现代地理坐标系下)

图3 红旗岭剖面典型样品的Z氏图、天然剩磁强度(NRM)衰减图和退磁矢量方向等面积投影图
Fig.3 Orthogonal vector demagnetization diagram for representative specimens in the Hongqiling section. Intensities are plotted versus temperature, magnetic directions are potted on equal-area projection (in situ)

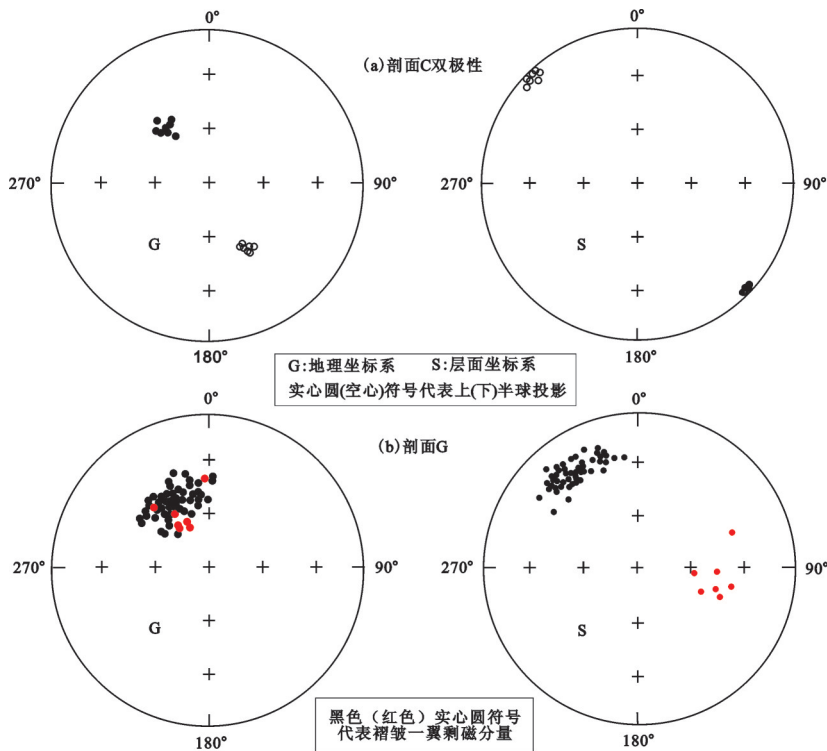


图4 红旗岭剖面晚三叠世大佳河组各剖面剩磁分量B等面积投影图
Fig.4 Equal-area projections of directions of characteristic remnant B

表1 红旗岭剖面晚三叠世大佳河组剩磁分量B古地磁结果

Table 1 Site-mean characteristic remnant B for Late Triassic Dajiahe Formation from Hongqiling

采点	地层产状		剩磁方向 (G)				剩磁方向 (S)		视磁极位置			
	倾向(°)/ 倾角(°)	<i>n/N</i>	<i>D</i> (°)	<i>I</i> (°)	κ	α_{95} (°)	<i>D</i> (°)	<i>I</i> (°)	Lat. (°N)	Long. (°E)	<i>dp</i> (°)	<i>dm</i> (°)
剖面 C	131.8/60	154/196	326.5	55.2	105	1.1	314.0	-0.1	62.9	31.7	1.6	1.1
剖面 A	116.8/58	27/29	333.5	57.1	305	1.7	323.5	0.3	68.7	29.5	2.5	1.8
剖面 B	141.8/46	12/18	330.8	53.1	139	3.7	326.8	7.6	64.6	24.3	5.1	3.6
剖面 D-F	128.8/50	23/24	331.5	53.1	101	3.0	322.4	3.7	65.3	24.2	4.2	2.9
剖面 G	138.8/30	71/97	331.2	49.0	62.1	2.3	326.1	24.5	62.1	17.0	3.0	2.0

注:*n/N*-有效样品数/完成退磁实验样品数;*D_g, I_g (D_s, I_s)*-地理坐标系下(层面坐标系下)特征剩磁方向的磁偏角,磁倾角;*k*-Fishe统计精度参数; α_{95} -95%置信圆锥半顶角;Lat/Long-视磁极位置(北纬,东经);*dp/dm*-视磁极的置信椭圆半长轴/半短轴。

3.3 XF剖面

XF剖面经过逐步热退磁,大部分样品在0~200℃清除粘滞剩磁,表现为单分量且逐渐趋向原点,且可分离出一个中、高温分量A,分量A在地理坐标系下的平均方向与采样地区现代地磁场反方向一致(偶极子场方向: $D=0^\circ, I=64.2^\circ$; IGRF方向: $D=351.9^\circ, I=61.5^\circ$),应为现代地磁场重磁化的结果。高温分量因剩磁强度较弱而无法分离。

从各剖面中分离出的高温分量B的统计结果看,平均方向集中在北北西向,中、高倾角。高温分量B在地理坐标下剩磁方向集中,倾斜校正后趋于分散,显然它是一组褶皱后的叠加剩磁。逐步倾斜校正表明其最大集中程度在产状展平至0.4%时获得,表明该分量为褶皱后获得的重磁化分量。高温分量B逐步展平最大值为: $D=329.9^\circ, I=53.7^\circ, \kappa=78.0, \alpha_{95}=0.9^\circ$,对应虚磁极为: $64.1^\circ\text{N}, 24.8^\circ\text{E}, \alpha_{95}=1.1^\circ (dp=1.3, dm=0.9)$ 。

根据以上的分析,饶河境内晚三叠世大佳河组红色层状燧石都受到后期构造影响,遭受不同程度的重磁化。

4 讨论

对黑龙江东部饶河境内晚三叠世大佳河组层状燧石的构造古地磁研究表明:这些层状燧石都受到后期构造影响,遭受不同程度的重磁化。红旗岭剖面经系统热退磁获得的高温分量B,与李朋武等^[12]报道的那丹哈达地体晚三叠世红色层状燧石结果相似,只是磁偏角不同。推测其也为重磁化结

果,偏角的不同可能为构造旋转所致。如此大规模的重磁化很可能对应本区的一次重大的构造事件,比如中生代时期太平洋板块向欧亚板块的俯冲。

4.1 重磁化的时代

重磁化时代的确定可以通过与研究区内或邻区的磁极相比较获得,由于区内古地磁研究程度较低,至今未有高质量的古地磁数据报道。幸运的是与研究区相邻的佳木斯地块,古地磁研究程度相对较高,取得了可靠的古地磁数据^[20,23-24]。研究表明晚侏罗世完达山地体拼贴于佳木斯地块的东缘,随后二者接受统一沉积^[3,25]。因此本文采用与佳木斯地块高质量的年轻古地磁结果进行对比。

晚三叠世大佳河组红色燧石的重磁化极与佳木斯地块白垩纪磁极明显区分,且佳木斯地块磁极随着年龄的增加有向本次研究的重磁化极移动的趋势。因此,重磁化获得的时间应在早白垩世之前(图5)。层状燧石放射虫化石时代的研究表明,到中侏罗世这些地体还处于水下沉积状态,晚侏罗世开始与陆源碎屑结合形成与板块俯冲有关的构造混杂岩^[3,9,26]。由此可以得出结论:饶河境内三叠纪层状燧石重磁化的时间为晚侏罗世—早白垩世。这与饶河杂岩就位的时间一致,从而表明中国东部在晚侏罗世—早白垩世存在太平洋板块的俯冲—走滑作用^[15,16,27](图6)。

4.2 重磁化的机制

由电性结构反映,完达山地体拼贴的构造性质,除外来高阻杂岩体外,还包括软流圈物质热上涌所形成的高导带;表明完达山地体构造成因包括

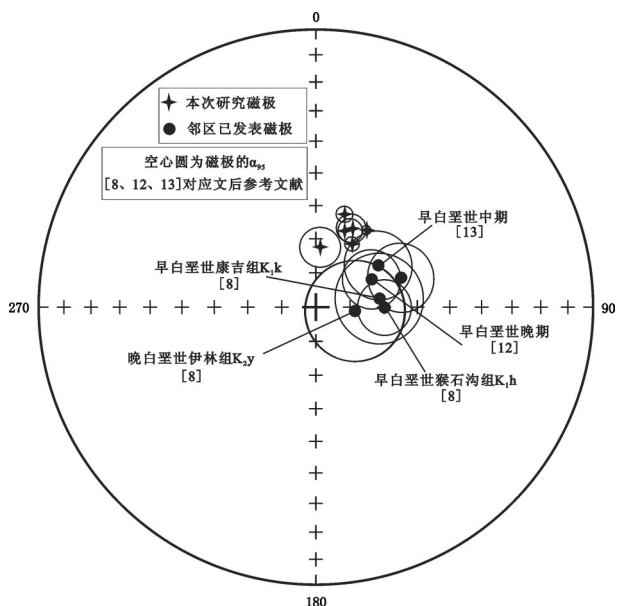


图5 完达山造山带及邻区佳木斯地块古地磁极等面积投影图
Fig.5 Equal-area projections of poles for WOB and Jiamusi terrane

两部分,一是俯冲引起的拼贴,二是软流圈物质的热上涌^[28]。从上面层状燧石的古地磁结果的分析可知,俯冲拼贴并没有使其发生重磁化(褶皱检验为负),因此很可能为软流圈物质的热上涌的流体导致。研究表明,造山运动会形成大量流体,这些流体在通过沉积盆地的运移过程中,能够与原岩发生热或水岩化学作用,造成岩石的区域性重磁化现象^[29-31]。另外,剖面C古地磁结果显示,C4和C7层的燧石样品在同一层中出现对蹻的正、反极性,也说明构造流体的作用。因此,可以确认本次研究的燧石的重磁化属太平洋板块向西俯冲导致的地体增生、拼贴过程中的造山带流体有关造成的区域性

化学重磁化现象。

4.3 俯冲构造事件的响应

完达山造山带内区内多处可见受挤压变形的硅质岩,产状基本呈SN向,反映经历了近EW向的挤压过程^[9]。这些层状燧石由微晶的和隐晶质的石英组成,岩石致密坚硬,剩磁方向很难被构造影响。本次的研究结果也证实了这一点。如前所述,俯冲拼贴并没有使其发生重磁化(褶皱检验为负),因此很可能为软流圈物质的热上涌的流体导致。另外,这些层状燧石重磁化的时间与饶河杂岩就位以及区内大规模火山的活动时间一致;其次,区域变质事件也可佐证这一事件,杨金中等^[32]、孙晓猛等^[17]分别对跃进山断裂和敦密断裂变质岩的研究表明变质时代为晚侏罗世。因此,饶河地区层状燧石的重磁化是太平洋板块俯冲-碰撞的产物,是对太平洋板块俯冲事件的直接反映。完达山造山带内层状燧石的重磁化的发现,为揭示太平洋板块俯冲事件的存在打开了一个窗口,相信随着研究工作的深入,会有更多反映这一事件的地质现象,为研究完达山造山带的构造演化以及太平洋板块俯冲提供重要的依据。

5 结论

(1)黑龙江东部饶河境内晚三叠世大佳河组层状燧石的古地磁研究表明,这些层状燧石遭受不同程度的重磁化。通过区域对比,重磁化时间可以确定为晚三叠世—早白垩纪之间,重磁化事件是对黑龙江东部晚侏罗世—早白垩世存在太平洋板块向欧亚板块俯冲的响应。

(2)重磁化的机制为太平洋板块向西俯冲导致的地体增生、拼贴过程中产生的造山带流体造成的

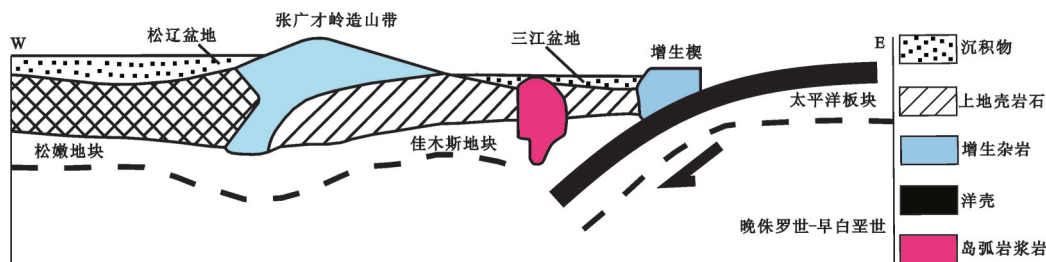


图6 完达山造山带大地构造演化图(据文献[16]修改)

Fig.6 Mesozoic tectonic development in Wandanshan orogenic belt(modified after reference [16])

区域性重磁化现象。

(3)对于该区俯冲构造事件是否发生及其时代的确定,可以通过区域性大规模重磁化现象来判断。

致谢:感谢中国地质大学(北京)硕士生张均红、严利伟等在野外工作期间的热情帮助和支持,感谢朱大岗研究员、邵兆刚研究员在室内工作中的指导与帮助,感谢审稿人和《中国地质》编辑部李亚萍博士在论文修改过程中提供的建设性意见。

参考文献(References):

- [1] 田东江,周建波,郑常青,等.完达山造山带蛇绿混杂岩中变质基性岩的地球化学特征及其地质意义[J].矿物岩石,2006,26(3):64-70.
Tian Dongjiang, Zhou Jianbo, Zheng Changqing, et al. Geochemical characteristics and tectonics mechanism of the meta-basic rocks for ophiolite complex in Wandashan orogenic belt[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2006, 26(3): 64-70(in Chinese with English abstract).
- [2] 张世红,施央申,孙岩,等.黑龙江完达山造山带及其与那丹哈达地体的关系[J].南京大学学报(地球科学),1991,3(3):287-294.
Zhang Shihong, Shi Yangshen, Sun Yan, et al. The relation between Wandashan orogenic belt and Nadanhada terrane in Heilongjiang Province[J]. J.Nanjing Uni. (Earth Sci.), 1991, 3(3): 287-294(in Chinese with English abstract).
- [3] 邵济安,唐克东,王成源,等.那丹哈达地体的构造特征及演化[J].中国科学(B辑),1991,21(7):744-751.
Shao Ji'an, Tang Kedong, Wang Chengyuan, et al. The tectonic characteristics and evolution of Nadanhada Terrane[J]. Sci.China (B), 1991, 21(7): 744-751(in Chinese with English abstract).
- [4] 水谷伸治郎,邵济安,张庆龙.那丹哈达地体与东亚大陆边缘中生代构造的关系[J].地质学报,1989,63(3):204-216.
Mizutani S, Shao Ji'an, Zhang Qinglong. The Nadanhada terrane in relation to Mesozoic tectonics on continental margins of east Asia[J]. Acta Geologica Sinica, 1989, 63(3): 204-216(in Chinese with English abstract).
- [5] 郭令智,施央申,马瑞士.西太平洋中、新生代活动大陆边缘和岛弧构造的形成及演化[J].地质学报,1983,57(1):11-21.
Guo Lingzhi, Shi Yangshen, Ma Ruishi. On the formation and evolution of the Mesozoic-Cenozoic active continental margin and island arc tectonics of the western Pacific ocean[J]. Acta Geologica Sinica, 1983, 57(1): 11-21(in Chinese with English abstract).
- [6] 崔盛芹,李锦蓉.试论中国滨太平洋带的印支运动[J].地质学报,1983,57(1):51-61.
Cui Shengqin, Li Jinrong. On the Indosinian Movement of China's Peri-Pacific tectonic belt [J]. Acta Geologica Sinica, 1983, 57(1): 51-61 (in Chinese with English abstract).
- [7] 王鸿祯,杨森楠,李思田.中国东部及邻区中、新生代盆地发育及大陆边缘区的构造发展[J].地质学报,1983,57(3):213-223.
Wang Hongzhen, Yang Sennan, Li Sitian. Mesozoic and Cenozoic basin formation in east China and adjacent regions and development of the continental margin[J]. Acta Geologica Sinica, 1983, 57(3): 213-223 (in Chinese with English abstract).
- [8] 赵越,杨振宇,马醒华.东亚大地构造发展的重要转折[J].地质科学,1994,29(2):105-119.
Zhao Yue, Yang Zhenyu, Ma Xinghua. Geotectonic transition from Paleasian system and Paleotethyan system to Paleopacific active continental margin in eastern Asia[J]. Scientia Geological Sinica, 1994, 29(2): 105-119 (in Chinese with English abstract).
- [9] 刘德来,马莉.中生代东亚大陆边缘构造演化[J].现代地质,1997,11(4):444-451.
Liu Delai, Ma Li. Mesozoic tectonic evolution of continental margin in East Asia[J]. Geoscience, 1997, 11(4): 444-451 (in Chinese with English abstract).
- [10] Van der Voo R, Spakman W, Bijwaard H. Mesozoic subducted slabs under Siberia[J]. Nature, 1999, 397(6716): 246-249.
- [11] 邵济安,唐克东.中国东北地体与东北亚大陆边缘演化[M].北京:地震出版社,1995:1-185.
Shao Ji'an, Tang Kedong. Terranes in Northeast China and Evolution of Northeast Asia Continental Margin[M]. Beijing: Seismological Press, 1995:1-185 (in Chinese).
- [12] 李朋武,张世红,申宁华.黑龙江省那丹哈达与日本美浓地区古地磁结果对比及意义[J].长春地质学院学报,1997,27(1):62-66.
Li Pengwu, Zhang Shihong, Shen Ninghua. The contrast of palaeomagnetic results between Nadanhada area, Heilongjiang Province and Mino area, Japan, and its significance. [J]. Changchun Geol. Geoll, 1997, 27(1): 62-66 (in Chinese with English abstract).
- [13] 肖庆辉,邱瑞照,伍光英,等.中国东部中生代软流层上涌造山作用[J].中国地质,2006,33(4):730-750.
Xiao Qinghui, Qiu Ruizhao, Wu Guangying, et al. Mesozoic asthenospheric upwelling orogeny in eastern China[J]. Geology in China, 2006, 33(4): 730-750 (in Chinese with English abstract).
- [14] 肖庆辉,刘勇,冯艳芳,等.中国东部中生代岩石圈演化与太平洋板块俯冲消减关系的讨论[J].中国地质,2010,37(4):1092-1101.
Xiao Qinghui, Liu Yong, Feng Yanfang, et al. A preliminary study of the relationship between Mesozoic lithosphere evolution in eastern China and the subduction of the Pacific plate[J]. Geology in China, 2010, 37(4): 1092-1101 (in Chinese with English abstract).
- [15] 程瑞玉,吴福元,葛文春,等.黑龙江省东部饶河杂岩的就位时代与东北东部中生代构造演化[J].岩石学报,2006,22(2):353-376.
Cheng Ruiyu, Wu Fuyuan, Ge Wenchun, et al. Emplacement age of the Raohe Complex in eastern Heilongjiang Province and the

- tectonic evolution of the eastern part of Northeastern China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2006, 22(2): 353–376(in Chinese with English abstract).
- [16] 田东江. 完达山造山带的地质-地球化学组成及其演化[D]. 吉林大学, 2007.
Tian Dongjiang. The Geological-geochemical Composition and Evolution of the Wandanshan Orogenic Belt[D]. Jilin University, 2007
- [17] 孙晓猛, 刘永江, 孙庆春, 等. 敦密断裂带走滑运动的⁴⁰Ar/³⁹Ar年代学证据[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2008, 38(6): 965–972.
Sun Xiaomeng, Liu Yongjiang, Sun Qingchun, et al. ⁴⁰Ar/³⁹Ar Geochronology evidence of strike-slip movement in Dunhua-Mishan fault zone[J]. *Journal of Jilin University(Earth Science Edition)*, 2008, 38(6): 965–972(in Chinese with English abstract).
- [18] 孙晓猛, 王书琴, 王英德, 等. 郯庐断裂带北段构造特征及构造演化序列[J]. *岩石学报*, 2010, 26(1): 165–176.
Sun Xiaomeng, Wang Shuqin, Wang Yingde, et al. The structural feature and evolutionary series in the northern segment of Tancheng-Lujiang fault zone[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2010, 26(1): 165–176(in Chinese with English abstract).
- [19] 李碧乐, 孙丰月, 姚凤良. 中生代敦化-密山断裂大规模左旋平移及其对金矿床形成的控制作用[J]. *大地构造与成矿学*, 2002, 26(4): 390–395.
Li Bile, Sun Fengyue, Yao Fengliang. Large scales inistral strike-slip movement of Dunhua-Mishan fracture zone and its control on gold metallogeny in the Mesozoic[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2002, 26(4): 390–395(in Chinese with English abstract).
- [20] 王海龙, 黄宝春, 乔庆庆, 等. 黑龙江东部白垩纪-古近纪古地磁初步结果及其构造意义[J]. *地球物理学报*, 2011, 54(3): 793–806.
Wang Hailong, Huang Baochun, Qiao Qingqing, et al. Paleomagnetic study on Cretaceous and Paleogene rocks from eastern Heilongjiang, NE China and its tectonic implications[J]. *Chinese J. Geophys.*, 2011, 54(3): 793–806(in Chinese with English abstract).
- [21] Kirschvink J L. The least-squares line and plane and the analysis of palaeomagnetic data[J]. *Geophysical Journal International*, 1980, 62(3): 699–718.
- [22] Fisher R. Dispersion on a sphere[J]. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences*, 1953, 217(1130): 295–305.
- [23] 张世红, 杨惠心. 佳木斯地体晚侏罗世-白垩纪古地磁研究及其构造意义[J]. *长春地质学院学报*, 1996, 26(2): 206–210.
Zhang Shihong, Yang Huixin. Paleomagnetism of the Jiamusi terrane in the Late Jurassic epoch and Cretaceous period and its tectonic significance, NE China[J]. *Changchun University of Earth Sci.*, 1996, 26(2): 206–210(in Chinese with English abstract).
- [24] Uchimura H, Kono M, Tsunakawa H, et al. Paleomagnetism of late Mesozoic rocks from northeastern China: the role of the Tan-Lu fault in the North China Block[J]. *Tectonophysics*, 1996, 262(1): 301–319.
- [25] 张兴洲, 马志红. 黑龙江东部中-新生代盆地演化[J]. *地质与资源*, 2010, 19(3): 191–196.
Zhang Xingzhou, Ma Zhihong. The evolution of Mesozoic-Cenozoic basins in Eastern Heilongjiang Province[J]. *Geology and Resources*, 2010, 19(3): 191–196(in Chinese with English abstract).
- [26] 邵济安, 王成源, 唐克东. 乌苏里地区构造新探索[J]. *地质论评*, 1992, 38(1): 33–39.
Shao Ji'an, Wang Chengyuan, Tang Kedong. A new approach to the tectonics in the Ussuri(Wusuli) Region[J]. *Geol. Res.*, 1992, 38(1): 33–39(in Chinese with English abstract).
- [27] 葛肖虹, 刘俊来, 任收麦, 等. 中国东部中-新生代大陆构造的形成与演化[J]. *中国地质*, 2014, (1): 19–32.
Ge Xiaohong, Liu Junlai, Ren Shoumai, et al. The formation and evolution of the Mesozoic-Cenozoic continental tectonics in eastern China[J]. *Geology in China*, 2014, (1): 19–32 (in Chinese with English abstract).
- [28] 刘财, 张兴洲, 刘洋, 等. 东北亚跃进山拼贴带及邻域岩石圈结构特征的地电学证据[J]. *地球物理学报*, 2009, 52(4): 958–965.
Liu Cai, Zhang Xingzhou, Liu Yang, et al. Geoelectrical evidence for characteristics of lithospheric structure beneath the Yuejinshan collage zone and its vicinity in Northeast Asia[J]. *Chinese J. Geophys.*, 2009, 52(4): 958–965(in Chinese with English abstract).
- [29] 刘成英, 李仕虎, 邓成龙, 等. 扬子地块奥陶系碳酸盐岩重磁化机制探讨[J]. *地球物理学报*, 2013, 56(2): 579–591.
Liu Chengying, Li Shihu, Deng Chenglong, et al. On the mechanism of remagnetization of Ordovician carbonates from the Yangtze Block, southwestern China[J]. *Chinese J. Geophys.*, 2013, 56(2): 579–591(in Chinese with English abstract).
- [30] McCabe C, Elmore R D. The occurrence and origin of Late Paleozoic remagnetization in the sedimentary rocks of North America[J]. *Reviews of Geophysics*, 1989, 27(4): 471–494.
- [31] 邓军, 张世红, 孙忠实, 等. 岩石磁性与低温流体成矿作用关系探讨[J]. *地学前缘*, 2002, 9(4): 313–318.
Deng Jun, Zhang Shihong, Sun Zhongshi, et al. A preliminary study on the relationship between rock magnetic properties and mineralization of low temperature fluids[J]. *Earth Science Frontiers*, 2002, 9(4): 313–318(in Chinese with English abstract).
- [32] 杨金中, 邱海峻. 跃进山岩系及其构造意义[J]. *长春科技大学学报*, 1998, 28(4): 380–385.
Yang Jinzhong, Qiu Haijun. Yuejinshan complex and its tectonic significance[J]. *Changchun University of Earth Sci.*, 1998, 28(4): 380–385(in Chinese with English abstract).

The identification of Mesozoic Pacific plate subduction: Evidence from paleomagnetism of the Late Triassic bedded cherts in Raohe area, eastern Heilongjiang Province

ZHANG Xue-feng^{1,2,3}, ZHANG Shi-hong², MENG Xian-gang¹, LI Chao⁴, WANG Yan-ming⁴

(1. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081 China;

2. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

3. Yellow River Conservancy Technical Institute, Kaifeng 475004, Henan, China; 4. Institute of Geology and Mineral Resources of Liaoning Province, Shenyang 110032, Liaoning, China)

Abstract: The bedded cherts in Raohe area of eastern Heilongjiang Province constitute a significant component of Mesozoic Wandashan orogenic ophiolitic melange. A new paleomagnetic investigation was carried out for a Triassic red chert sequence in the western part of the WOB, with totally 200 samples collected. The bedded cherts of Lower Triassic Dajiahe Formation in Wandashan Orogenic Belt (WOB) in eastern Heilongjiang Province have been partially or completely subjected to remagnetization. In combination with the data of tectonic evolution of Wandashan Orogenic Belt and micropaleontology, the authors hold that the time of remagnetization was Late Jurassic–Early Cretaceous, caused by the orogenic fluid related to the westward subduction of the Pacific Plate.

Key words: Mesozoic; bedded cherts; remagnetization; eastern Heilongjiang Province; Wandashan Orogenic Belt; Pacific Plate

About the first author: ZHANG Xue-feng, male, born in 1982, doctor candidate, majors in structural geology; E-mail: xuefengzhang1982@163.com.