羌塘地块中生代时期的漂移演化及其成钾条件

任海东^{1,2)},颜茂都^{2,3)},陈毅²⁾,张大文²⁾,栗兵帅²⁾

1) 中国地质科学院地质研究所,北京,100037;2) 中国科学院青藏高原研究所大陆碰撞和高原 降升重点实验室,北京,100101;3) 中国科学院青藏高原地球科学卓越创新中心,北京,100101;

内容提要:通过研究地块的古纬度,可以为我们认识该地块在地质历史时期的古地理位置和南北向漂移演化 提供定量约束。本文通过收集、整理、评判中生代时期羌塘地块已发表的古地磁数据,建立了该地块在中生代时期 的漂移演化历史。羌塘地块在中一晚三叠世期间,可能发生大规模快速北向漂移,并与羌塘北部的构造单元体发 生碰撞;中侏罗世时期位于北半球 21.4°N,晚侏罗世期间已北向到达 31.8°N。中晚侏罗纪期间,羌塘地块古纬度 值逐步升高,发生约 1154±223km($\triangle \lambda = 10.4^{\circ} \pm 2.1^{\circ}$)的北向漂移。白垩世期间羌塘地块相对稳定,在古纬度 30°N 左右。综合上述羌塘地块的漂移演化历史,结合其它地质证据,如古气候、构造和从古地理位置等,中晚侏罗世夏 里组时期羌塘地块具备较好的成钾条件。

关键词: 羌塘地块;中生代;古纬度;北向漂移

作为一个农业大国,中国钾盐储量和基础储量 仅分别占世界 1.024% 和 1.015%, 严重依赖国外钾 盐资源的供应(郑绵平等,2010)。目前我国第四纪 陆相钾盐资源与成钾规律已基本查清且钾盐储量非 常低(曲懿华等,1998;袁见齐,1985,1995;郑绵平 等,1989;2006),而对于中国古代海相钾盐找矿至今 还没有取得重大进展。羌塘盆地位于特提斯域东段 (邱东洲等,2007),三叠纪时期北向漂移与松潘一甘 孜地块发生拼贴碰撞,并在侏罗纪以来古(中)特提 斯洋逐渐关闭的过程中形成了局限海(Dewey et al., 1988; Tapponnier et al., 2001; Yin and Harrison, 2000; 许志琴等, 2006)。最近在该盆地 内已发现大量中侏罗世膏丘和盐泉及古近纪盐丘 群,虽然目前还没有发现钾盐矿,但在其西边同列于 特提斯海北缘,具有相同构造背景、干旱条件和成盐 时代的中亚卡拉库姆盆地发现晚侏罗世巨型钾盐矿 床(钱自强等, 1994)(图 1)。羌塘盆地具有较好的 成盐地质条件(牛新生等,2013,2014;郑绵平等, 2012),可能具有与中亚卡拉库姆盆地相似的成钾机 制和潜力,是创立适合中国海相成钾理论框架和实 现海相找钾突破的重要场所之一。

目前研究表明,钾盐矿床的形成与特定古地理 位置及古气候条件紧密相关。统计分析表明,全球 地质史上各时代的巨型钾盐矿床基本分布在南北纬 副热带高压带内(5°~30°内)(Borchert et al., 1964;Warren,2010;吴必豪等,1995),并且是在极 端的干旱气候条件和特定的构造环境下形成 (Warren,2010)。羌塘地块自古生代以来从南方冈 瓦纳大陆裂离、北向漂移的演化中,涉及到该地块中 生代时期与欧亚大陆南缘拼贴碰撞的过程和南侧拉 萨地块北向运动与其拼贴碰撞等历史(Dewey et al.,1988;Tapponnier et al.,2001;Yin et al., 2000;许志琴等,2006),因此,如何建立羌塘地块的 漂移演化历史,尤其是精确厘定该地块中生代的古 地理位置是否在副热带高压带之内,是评判羌塘盆 地是否具备很好成钾条件的关键之一。

古地磁学是研究地块古地理位置最有效的手段 之一。自上个世纪80年代以来,前人对差塘地块已 开展一些古地磁研究,如中法联合考察项目 (Achache et al., 1984)、中英联合考察项目(Lin and Watts, 1988)、中国地学大断面项(董学斌等, 1991)、中德联合考察项目(Patzelt et al., 1996;吴

注:本文为国家重点基础研究发展计划"973"项目(编号:2011CB403006,2013CB956402)、中国科学院战略性先导科技专项(B类)(编号: XDB03020400)、国家自然科学基金项目(编号:41272185,41021001)和中国科学院"百人计划"国外杰出引进人才计划择优支持项目联合 资助的成果。

收稿日期:2015-06-30;改回日期:2015-08-25;责任编辑:黄敏。

作者简介:任海东,男,1986年生。博士研究生,构造地质学专业,主要从事构造古地磁学和花岗岩研究工作。通讯地址:中国地质科学院 地质研究所。Email:mingqiangren@163.com。通讯作者:颜茂都,男,1973年生,博士,研究员(博导)。Email:maoduyan@itpcas.ac.cn。



图 1 特提斯构造域分区特征(据王釉山,1998和南征兵,2013;修改)

Fig. 1 Simplified map of the Tethys tectonic domain showing the location of the Qiangtang Basin (modified from Wang et al. , 1998 and Nan et al. , 2013)

汉宁等,1997)等。这些研究工作,已初步建立了羌 塘地块自古生代以来构造演化框架,但这些研究并 不是针对找钾意义上的古纬度研究。由于羌塘地区 高海拔条件下工作难度大,已有的古地磁数据量相 对较小目部分数据是在上世纪八九十年代获得,基 于当时仪器设备等条件,部分样品退磁并不充分,数 据并不十分可靠,存在部分重磁化现象(Lin and Watts,1988)。同时,一些数据,即使是属于同一地 质时代,不同研究者结果具有较大差异性(见表1)。 此外,上述古地磁数据主要集中在羌塘东部的昌都 地区(Otofuji et al., 2012;李朋武等, 2005, 2009)。 以上问题,造成目前中生代羌塘地块的古地理位置 的已有认识,不能很好的满足评判羌塘盆地是否具 有很好成钾潜力的高精度需求。考虑到羌塘地区中 生代特殊地质背景及最近几年该地区古地磁研究的 一些新进展(程鑫等,2011,2012;任海东等,2013), 有必要对该地区已有的中生代古地磁数据进行评判

和总结。

因此,本文综合集成差塘地块中生代时期已发 表的古地磁数据,在开展全面的质量评判基础上,重 新建立该地块中生代时期较高质量的古纬度演化轨 迹,为探讨该地区成钾潜力提供古纬度的限定。

1 地质背景

差塘地块北以可可西里一金沙江缝合带与松潘 一甘孜地块为界,南以班公湖一怒江缝合带与拉萨 地块为界(Allègre et al., 1984; Chang et al., 1973; Dewey et al., 1988; Piere et al., 1988),自 北而南依次划分为北羌塘凹陷、羌中隆起和南羌塘 凹陷(王剑等,2004;赵政璋等,2002)。前人研究表 明,羌塘盆地的形成与北部金沙江缝合带和南部班 公湖一怒江缝合带的碰撞闭合相关,是在中三叠世 拉张背景下被动大陆边缘盆地沉积的基础上,于中 生代晚三叠世形成的沉积盆地,并持续发育至早白 垩世(李勇等,2002),其中三叠系、侏罗系、下白垩统 沉积地层之间呈整合接触或平行不整合接触关系 (王剑等,2004;吴珍汉等,2014;赵政璋,2002)。盆 地内发育有巨厚的中生界海相沉积地层,充填的主 要地层自下而上依次为上三叠统肖茶卡组碳酸盐岩 与碎屑岩、下侏罗统曲色组复理石建造、中侏罗统雀 莫错组与色哇组碎屑岩、中侏罗统布曲组台地相碳 酸盐岩、中侏罗统夏里组杂色碎屑岩夹灰岩、上侏罗 统索瓦组碳酸盐岩、上侏罗统雪山组粉砂岩、泥岩 (王剑等,2004;吴珍汉等,2014;杨桂芳等,2003;赵 政璋,2002),晚白垩世期间广泛分布有河湖相红色 砾岩、砂岩、粉砂岩和泥质红层(吴珍汉等,2014)。 在中生代盆地形成演化阶段,羌塘盆地内发育有广 泛的膏盐岩沉积,主要分布于中央隆起和盆地北部 的中侏罗统雀莫错组、布曲组、夏里组和上侏罗统索 瓦组海相沉积层序中,其中以夏里组膏盐岩分布最 为广泛(李亚林等, 2008)。作为盆地内特殊的沉积 岩系,膏盐岩一般生成于含盐度较高的水体,主要发 育在干旱气候条件下的封闭一半封闭沉积环境中 (李亚林等,2008)。目前在北羌塘盆地多格错仁周 缘地区海相侏罗系中发现有一系列氯化钙型的盐 泉,其地球化学指标具有良好的含钾显示(牛新生 等,2013),可能表明羌塘盆地侏罗纪海相地层夏里 组和索瓦组具备成钾的潜力(牛新生等,2014)。

2 中生代羌塘地块古地磁评判

本次研究汇总了中生代时期羌塘地块自上世纪 八十年代以来已发表的所有古地磁数据,以羌塘地 块东北部雁石坪地区(33.6°N,92.4°)为地理参考点 进行评判和总结,获得羌塘地块在中生代时期古纬 度演化历史如表1、图2所示。





中生代时期羌塘地块已发表的古地磁数据以白 垩纪和侏罗纪居多(表 1),三叠纪数据较少且主要 集中在晚三叠世,并且古纬度变化极大,介于南半球 27.5°S~北半球 32.2°N之间。侏罗纪数据以中侏 罗世和中晚侏罗世为主,处于北纬 1.9°N~ 38.7°N 之间。白垩纪数据较为均衡,古纬度变化范围为北 纬 6.9°N~ 32.6°N。从图 2 可以直观的看出,羌塘 地块古纬度值在三叠纪差异极大,侏罗纪时期已北 向漂移到达北半球呈逐步升高趋势,在白垩纪期间 处于北半球地理位置。

通过表1和图2,我们发现羌塘地块中生代时 期已发表古地磁数据主要存在以下问题:①在同一 地质时期,不同研究者得出的古纬度差别极大,不能 为我们提供羌塘地块在该地质时期准确的古纬度值 (如晚三叠世);②同一采点同样的岩石类型(同为碎 屑岩、灰岩),不同研究者得出的古地磁数据之间差 异性较大(如中晚侏罗世);③部分古地磁数据之间差 异性较大(如中晚侏罗世);③部分古地磁数据的地 层年代不精确,如部分来自白垩纪的数据,跨越年代 79Ma,导致该地质年代获得的古纬度参考价值较 低;④部分上世纪八九十年代数据未能准确获得原 生剩磁的方向,获得的古纬度值可靠性较低。

为解决以上问题,本文首先根据 Van Der Voo 于 1990 年提出的古地磁数据评判标准(Q 值),将羌 塘地块已发表的古地磁数据逐一进行数据质量评判 (表 1), 选择 Q 值相对较高的数据(Q \geq 3) 进行古纬 度计算。在评判过程中,我们尽量选择来自构造活 动稳定地区的样品,经过系统退磁方法(热退磁、交 变退磁、化学退磁)处理,低强度粘滞剩磁清洗干净 的、已明显获得特征剩磁方向的古地磁数据来计算 羌塘地块在中生代时期的古纬度值。同时,通过野 外检验(褶皱检验、地层校正、烘烤检验),极性倒转 检验的古地磁数据,其可靠性更高。此外考虑到目 前中亚地区碎屑岩记录的古地磁磁倾角普遍存在浅 化现象(Conge et al., 1999; Dupont-Nivet et al., 2010; Tauxe et al., 1998; Yan et al., 2005; 颜茂都 等,2012),本文认为沉积岩记录的古地磁数据,经过 磁倾角浅化校正后一如中侏罗世古地磁数据(任海 东等,2013),或者与同期火山岩磁倾角数据对比矫 正后一如早白垩世古地磁数据(谌薇薇等,2014),其 可靠性更高。

在羌塘地块已发表的三叠纪古地磁数据中,束 沛镒等(2000)古地磁结果中样品地层年代未确定, 因此在做进一步古纬度的平均分析中剔除了该数 据。程鑫等(2011)发表早三叠古地磁研究结果中, 样品退磁曲线良好,经过极性倒转检验,Q值较高 (Q=5),但考虑到样品量小未足以平均地磁场长期

,发表古地磁数据表
#
Ψ
#
抉
茗
塘
羌
表 1

Table 1 The published Mesozoic paleomagnetic datum of the Qiangtang block

参考文献		董学斌 等,1991	李永安 等,1995	董学斌 等,1990	董学斌 等,1992	東沛镒 等,2000	東沛镒 等,2000	Otofuji et al. , 1989	Otofuji et al. , 1989	Chen et al. , 1993	Chen et al. , 1993	Chen et al. , 1993	Huang et al. , 1992	谌薇薇, 2014	谌薇薇, 2014	Otofuji et al. , 1990	Huang et al. , 1992	Otofuji et al. , 1989
数据质量	井竹(2)	1,3,5(3)	1,5(2)	1,5(2)	1,2,3,5(4)	1, 3, 5(3)	1, 3, 5(3)	1, 2, 3, 5(4)	1,2,3,5(4)	1, 3, 5(3)	1, 3, 5(3)	1,3,F, 5,6(5)	1,2,3,F, 5,6(5)	1,2,3,F, 5,7(6)	1, 2, 3, F, 5, 7, 8(7)	1, 2, 3, 5(4)	1, 2, 3, F, 5(5)	1, 3, 5(3)
古纬度(°)		19.96°	$31.2^\circ + 3.98^\circ$ /-3.61°	22. 04°+15. 34° /-11. 07°	19. $83^{\circ}+8.79^{\circ}$ /-7. 22°	6.9°	1.62°	$18.64^\circ + 2.21^\circ$ $/ - 2.10^\circ$	7.21°+6.55° $/-6.06^{\circ}$	13. 18°°	15.31°	10. 64° +3. 77° /-3. 54°	32. 62°+8. 85° /-7. 23°	28. 96°+5. 09° $/-4.49^{\circ}$	28. 87°+2. 82° /-2. 63°	28. 12°+8. 12° /-6. 71°	29.39°+10.71° $/-8.40^{\circ}$	$18.90^{\circ}+19.23^{\circ}$ /-13.19°
令 令	a_{95}	I	4.2	17.8	11.7			3.3	11.9			6.6	8.5	5.6	3.2	8.8	10.9	23.1
坪地理 剩磁方 I	$I_{\rm S}(^{\circ})$	35.2	-50.4	39	35.8	13.6	3. 3	34	-14.2	25.1	28.7	20.6	52	47.9	43	46.9	48.4	34.4
) 上上	$D_{\mathbf{S}}(^{\circ})$	340.2	200.8	6.5	12.5	17	356. 5	34.7	359. 5	17.0	14.1	6.4	40.0	348.7	314.2	49.6	58.5	21.7
极性		남,표	北,魚	남.표	北,正	北,正	1, 표	北,正	北,正	北,正	北,正	1, 표	北,正	北,正	바.바	北,正	北,正	北,魚
	dm(°)	12.0	ນ. 2	21.5	13.8			3. U	12	13. 5	24.5	2				9. J		25.3
汲位置	(°)qb	168	3.6	13	8.2	ļ	I	1.9	6.1	7.2	13. 1	3.7	I	5.7	3.6	9.5	I	13.9
古地磁	$\log(^{\circ})$	328.5	184.7	244.2	230.2	238.1	278.9	199.4	273.1	231.3	234.2	256.5	172.7	339.8	2.6	175.9	170.5	214.1
	lat(°)	67.4	72.3	77.1	72.3	59	57.9	55.7	49.2	64.4	67.7	66.3	56.7	79.3	49.5	47.5	40.6	65.7
	α95(°)	I	4.2	17.8	11.7			3.3	11.9			6.6	8.5	5.6	3. 2	% %	10.9	23.1
磁方向	$K(^{\circ})$	I	371.7	8.8	5.3	ļ	l	221.0	26.6			83.6	l	51	92.5		I	11.9
平均剩	$I_{\rm S}(^{\circ})$	36	-47.7	40.6	38. 2	10.7	8.7	24.3	-10.4	22. 2	23.5	21.8	51.6	47.3	47.8	49.0	50. 2	-28.2
	$D_{\mathbf{S}}(^{\circ})$	340.2	199.5	6.7	12.4	11.1	349.6	30. 1	351.5	12.4	9.8	1.3	39.7	348.0	312.6	48.2	57.7	163.0
N/u			3/121	1\7	5\27			2J	2J	4	ŝ	2	11/79	14/91	22/174	5\30	12\68	4
指性		碎屑岩	辉绿岩、 凝灰岩	杂砂岩	砂岩	碎屑岩	I	花岗岩	粉砂岩	红层	红层	碎屑岩	砂岩	火山岩	紅房	碎屑岩	砂岩	页岩
地层		I								l			芒康组			laoran 组	措瓦组	
时代		K_2	${ m K}_2$	К	К	K	K	K	K	К	K	К	$\begin{array}{l} K_{m}(Aptian \\ \sim Turonian) \end{array}$	$K_1 \not\mp (103.8 \pm 0.46)$	${ m K}_2(103.8) \ \sim 83.5)$	$\begin{array}{l} K_1 (Barremian \\ \sim Albian) \end{array}$	$\begin{array}{l} K_1(Berriasian\\ \sim Barremian) \end{array}$	$J\!\sim\!K$
位置	lat(°)	34.2	35.2	34.7	34.7	34.6	35	33. 3	34.8	34.5	32.7	35	29.7	32.5	32.5	29.7	29.7	33. 5
采点1	Log(°)	92.4	78.8	92.9	92.9	80	80	79.7	80.1	80.4	80.2	79.7	98.7	84.3	84.3	98.6	98.4	79.9
志名		沱沱河	岔沟口	风火口	风火口	戎 北 七	阿克寨 钦南	日十	泉水湖	龙母错	狮泉河	<u></u> 憲 数	芒康	政则	政则	古康	艺康	班公湖

I	ŀ																			续表 1
星时代	时代		地层	岩 在	N/n		平均剩	磁方向			古地磁	极位置		极性	雁	「坪地理 「剩磁方	鱼杨	古纬度(°)	数据质量	参考文献
()						$Ds(^{\circ})$	$I_{\rm S}(^{\circ})$	$K(^{\circ})$	α95(°)	$lat(^{\circ})$	$\log(^{\circ})$	(°)db	$dm(^{\circ})$		$Ds(^{\circ})$	$I_{\rm S}(^{\circ})$	a_{95}		H M (U)	
5. 3 J ₃	J_3		红其拉 普组	灰岩	N=3	186.8	36.1	18	19.1	34.3	251.7	12.9	22.1	南,负	198	-35.1	19.1	19. 36° +15. 37° /-11. 20°	1,5(2)	李永安 等,1995
$\frac{J_2 \sim 3 (Bajocian \sim Kimmeridgian)}{Kimmeridgian}$	∼₃(Bajocian∽ ζimmeridgian))	革 革	红层、 灰岩	20	339.0	58.0	21.3	7.2	72.0	25.0	7.8	10.6	남,표	338.6	58	7.2	38. 67°+8. 59° /-7. 15°	1,2,3,5(4)	Lin and Watts, 1988
$\frac{J_2 \sim 3 (Bajocian)}{Kimmeridgian}$	∼₃(Bajocian∽ ζimmeridgian))	革 杜	碎屑岩	18\ 100	338.6	56.3	25.0	7.1	77.8	312.9	6.1	10.0	北,正	351.4	41.7	7.1	24. 01° +5. 72° /-4. 98°	1, 2, 3, F, 5(5)	林金录 等,1990
$\frac{J_2 \sim 3(Bajocian \sim)}{Kimmeridgian}$	∼₃(Bajocian∼ <immeridgian)< td=""><td></td><th>革 相</th><td>碎屑岩</td><td>6\26</td><td>351.3</td><td>41.8</td><td>67.8</td><td>8.2</td><td>77.9</td><td>314.6</td><td></td><td></td><td>北,正</td><td>351.1</td><td>42.1</td><td>8.2</td><td>24. $31^{\circ} + 6.75^{\circ}$ /-5.74°</td><td>1, 2, 3, F, 5(5)</td><td>林金录 等,1990</td></immeridgian)<>		革 相	碎屑岩	6\26	351.3	41.8	67.8	8.2	77.9	314.6			北,正	351.1	42.1	8.2	24. $31^{\circ} + 6.75^{\circ}$ /-5.74°	1, 2, 3, F, 5(5)	林金录 等,1990
$\cdot 27 \left \begin{array}{c} J_2 \sim {}_3(\text{Bajocian} \sim \\ \text{Kimmeridgian}) \end{array} \right $	∼₃(Bajocian∽ <immeridgian)< td=""><td>)</td><th>革 相</th><td>细砂岩</td><td>3\8</td><td>7.8</td><td>40.0</td><td>4.6</td><td>22.9</td><td>77.3</td><td>237.2</td><td>16.6</td><td>27.5</td><td>北,正</td><td>7.9</td><td>40.3</td><td>22.9</td><td>22. 98°+21. 73° / -14.07°</td><td>1,5(2)</td><td>董学斌 等,1990</td></immeridgian)<>)	革 相	细砂岩	3\8	7.8	40.0	4.6	22.9	77.3	237.2	16.6	27.5	北,正	7.9	40.3	22.9	22. 98°+21. 73° / -14.07°	1,5(2)	董学斌 等,1990
.57 J ₃ s素瓦组	J3s素瓦组		革 相	灰岩	6/70	0.5	45.4	81.1	7.5					北,正	0.5	45.4	7.5	$26.89^{\circ}+6.58^{\circ}$ /-5.62°	1,2,3,F, 5(5)	程鑫 等,2012
.57 J ₂ b夏里组	J2b夏里组		唐 本	灰绿色 砂岩	5/52	354. 2	29.6	53. 6	10.5					北,正	354.2	29.6	10.5	15. $86^{\circ} + 6. 98^{\circ}$ / - 6. 0°3	1,2,3,F, 5,R(6)	程鑫 等,2012
3.6] ₃ 6 布曲组	J_2b 布曲组		革 相	灰岩	N = 106	339.0	36. 6		7.8	65.5	327.4			北,正	339.0	36.6	7.8	20. $37^{\circ}+5.72^{\circ}$ / -5. 00°	1, 2, 3, 5, 8(5)	任海东 等,2013
.56 J ₂ b布曲组	J2b 布曲组		革 相	灰岩	5/48	350.6	37.9	61.7	9.8					北,正	350.6	37.9	9.8	21. 27°+7. 52° /—6. 32°	1,2,3, F,5(5)	程鑫 等,2012
.56 J ₂ q雀莫错组	l2q雀莫错组		革 革	灰红色 砂岩	5/47	12. 2	27.2	32. 3	13.7					北,正	12.2	27.2	13.7	14. 41°+9. 01° $/-7.57^{\circ}$	1,2,3, F,5,R(6)	程鑫 等,2012
3.6 J ₂ q雀莫错组	I_2q 雀莫错组		雁石 坪群	碎屑岩	V=171	336.9	32. 9		18.3	65.6	335.0			北,正	336.9	32. 9	18.3	$17.92^{\circ}+13.95^{\circ}$ /-10.50°	1, 2, 3, 5, 8(5)	任海东 等,2013
.75 J	Ţ			碎屑岩		45.7	1.7			36.1	197.7			北,正	52.0	16.7	I	8. 53°	1, 3, 5(3)	束沛镒 等,2000
3. 6 J ₂	J_2		革 革	粉砂岩	N=21	327.0	24.7	29.7	5.6	53.6	335. 5	3.2	6.0	北,正	327.1	24.5	5.6	12. 84° +3. 33° /-3. 12°	1,5(2)	董学斌 等,1991
3.6 J ₂	J_2		雁 存 群	碎屑岩	5\33	345.7	42. 1	50.7	8.6	74.4	329.2	ļ		北,正	345.7	42.0	8.6	$24.24^{\circ}+7.09^{\circ}$ /-5.99°	1,5(2)	张文治, 1997
$\cdot 37$ J ₂	J_2		雁 石 群	碎屑岩	4\25	321.2	32. 2	12.4	~	51.8	347	5.1	9.0	北,正	321.3	32.0	8	17. $35^{\circ}+5.41^{\circ}$ / - 4. 80°	1,5(2)	董学斌 等,1990
3.7 J	ſ			碎屑岩	9	335.1	11.5	10.7	21.5	53.2	307.0	I	I	北,正	340.1	3. 7	21.5	$1.85^{\circ}+11.39^{\circ}$ $/-10.97^{\circ}$	1, 3, 5(3)	Otofuji et al. , 1989
.51 J	Ĺ		I	石英岩	2\5	346.2	44. 1	23. 4	13.0	76.1	335. 2	10.2	16.3	北,正	346.2	44.9	13	26. 49°+12. 07° $/-9. 20^{\circ}$	1,5(2)	董学斌 等,1990
3.8 J	ſ			灰岩	N=14	18.8	37.7	4.0	23.0	69.1	202.9			北,正	21.5	42.2	23	$24.39^\circ + 22.87^\circ$ /-14.51°	1, 2, 3, 5(4)	Chen Y et al. , 1993
. 63 J	ſ			碎屑岩		4.0	7.1			58.7	252. 3			北,正	10.3	7.6	I	3.82°	1, 3, 5(3)	東沛镒 等,2000

参考文献		朱志文 等,1980	朱志文 等,1980	李永安 等,1995	李永安 等,1995	朱志文 等,1980	朱志文 等,1980	朱志文 等,1980	朱志文 等,1980	宋春彦 等,2012	宋春彦 等,2012	程鑫,2012, 博士论文	Lin and Watts, 1988	林金录 等,1990	李永安 等,1995	程鑫 等,2011	東沛螢 等,2000	束沛镒 等,2000
数据质量	HT TU (C)	1,5,7(3)	1, 5, 7(3)	1,5(2)	1, 3, 5(3)	1,5(2)	1,5(2)	1,5(2)	1,5(2)	1,2,3,5,R(5)	1, 2, 3, 5, R(5)	1, 2, 5(3)	1, 2, 3, 5(4)	1, 2, 3, 5(4)	1, 3, 5(3)	1, 2, 3, 5, R(5)	3,5(2)	3,5(2)
古纬度(°)		$14.83^{\circ}+3.48^{\circ}$ /-3.24°	11. $81^{\circ}+7.22^{\circ}$ /-6. 36°	$-18.31^{\circ}+7.00^{\circ}$ /-8.41°	$-19.23^\circ+13.47^\circ$ $/-19.87^\circ$	$-24.31^{\circ}+15.89^{\circ}$ /-26.33°	—25.07°	$-18.90^{\circ}+3.77^{\circ}$ /-4.15°	$-25^{\circ}+15.77^{\circ}$ /-26.06°	29. 91°+3. 66° $/-3. 34^{\circ}$	29. $30^{\circ}+3. 22^{\circ}$ / - 2. 97°	$17.54^{\circ}+11.67^{\circ}$ / -9.17°	$27.54^{\circ}+16.19^{\circ}$ /-11.44°	25. 00°+8. 47° $/-6.94^{\circ}$	$-24.69^{\circ}+5.86^{\circ}$ /-6.91°	$-6.5^{\circ}+6.1^{\circ}$ /-6.6°	4.12°	32. 25°
坐标 句	a_{95}	5.6	11.9	11.7	23. 5	25.6		6.0	25.0	4.0	3.6	15.9	16.2	9.9	8.3	12.1	I	I
坪地理(剩磁方	$I_{\rm S}(^{\circ})$	-27.9	-22.7	- 33. 5	-34.9	-42.1	-43.1	-34.4	-43.0	49.0	48.3	32. 3	-46.2	-43.0	-42.6	37.0	8.2	51.6
単 上 上	$Ds(^{\circ})$	153	168.7	38.4	40.6	353. 3	353. 3	65.8	347.9	36. 2	28.9	1.0	215.5	229.6	313.6	231.5	349.7	55.5
极性		北,负	北,负	南,正	南,正	南,正	南,正	南,正	南,正	北,正	北,正	北,正	北,负	北,负	南,正	南,负	분.표	北,正
	dm(°)	5.9	12. 3	13.9	28.6	32. 0	32		I			10.2	21.2	12.5	9.2	4.9		
及位置	(°)qb	2.9	6.0	8.4	17.4	15.0	15.2	51.0	58. 2			18	13.8	7.8	5.1	9.2		I
古地磁机	log(°)	151.4	120.3	51.2	-24.5	279.6	279.5	211.7	285.1	179.2	184.4	268.9	184	180.1	315.9	22.5	292.6	168.0
	lat(°)	-59.0	-66.0	-27	49.9	31.7	31.0	°. S	30. 3	59.2	65.1	73.9	26	46.3	16.9	- 16. 9	59.0	44.0
	α95(°)	5.6	11.9	11.7	23.5	25.6		6.0	25.0	4.0	3.6	15.9	16.2	9.9	% 3	% %		I
篮方向	$K(^{\circ})$	100.0	23. 0	23. 9	3.9	5.0		32. 5	5.0	145.7	162.4	34. 5	23. 0	60.2	93. 9	20		I
平均剩	$Is(^{\circ})$	-21.0	-17.0	-39.4	-41.1	-45.5	-42.3	-37.8	-47.0	46. 5	45.5	32.9	-48.0	-44.5	-28.9	-20.6	13.0	41.2
	$Ds(^{\circ})$	195.0	221.0	27.3	29.4	358.0	353. 3	66.4	346.0	35. 3	28. 0	0.9	215.0	230.2	303. 7	241.2	343.6	51.7
N/n	1			N=6	N=9					11/105	10/105	4/26	9	5\30	N=3	2\15		
者		碎屑岩	砂岩	砂岩	砂岩	砂岩	碎屑岩	碎屑岩	碎屑岩	碎屑岩	碎屑岩	碎屑岩	安山岩、 玄武岩	安山岩	砂岩	交山岩、灰 昌、碎屑岩	碎屑岩	碎屑岩
地层			I	克勒青 河群	克勒青 河群	ļ				门格 拉组	扎拉组	结扎群	巴塘群	巴塘群	上河尾 灌群			I
时代		$J_1 \sim 2$	$J_1 \sim 2$	T_{3}	T_{3}	T_3	T_3	T_3	T_{3}	T_3	T_3	T_3	$T_3(Norian)$	$T_3(Norian)$	T_2	T_{1}	T?	τ?
位置	$\operatorname{lat}(^{\circ})$	31.3	31.3	35.7	35.7	31.3	34. 2	29.7	30	33. 73	. 33. 08	34.1	34. 3	34.3	34.4	33. 7	33.6	33.6
采点(Log(°)	97.3	97.3	79.5	79.5	97.5	92.4	91.4	90.8	87.75	87.6	92.4	93.5	93.5	79	86.8	79.6	79.6
地名		昌都	昌都	奇 坂 白 坂	奇台坂	爱坝	沱沱河			沃若山 剖面	追茶卡 割画	沱沱河	雅西错	雅西错	空 山略 日	热觉察 卡西		I

续表 1

2010

2015 年

磁倾角校正。这 8 个标准,前 7 个来自于 V an der Voo(1990),第 8 条为我们根据最近沉积岩的磁倾角浅化问题新增的。Q 值范围为 1~8.→ 般要求 Q >3.4 值值越大越好。古纬度误差值:++.Δλ=(1/

 $2 \arctan[\tan(\ln c + a_{95})] - 1/2 \arctan[\tan(\ln c)]; \cdot, \Delta \lambda = \{1/2 \arctan[\tan(\ln c)] - 1/2 \arctan[\tan(\ln c)] - 1/2 \arctan[\tan(\ln c - a_{95})]\}$

变,数据质量仅能做参考。中三叠世空喀山口上河 尾滩群碎屑岩经过热退磁处理(李永安等,1995),但 参与计算的样品量较少(N=3),数据质量需要进一 步考虑。晚三叠世羌塘地块已发表的古地磁数据较 多。如沱沱河地区上三叠统结扎群结果中(程鑫, 2012),载磁矿物为赤铁矿和磁铁矿,在系统热退磁 和交变退磁过程中退磁方向紊乱,未获得有效的特 征剩磁方向;宋春彦等(2012)发表的南羌塘肖茶卡 剖面扎拉组和北羌塘沃若山剖面门格拉组碎屑岩的 古地磁结果中,古地磁样品量足够多,能够平均地磁 场长期变,样品退磁曲线准确获得特征剩磁的方向, 2个剖面中都包含正、反双极性数据,经过了倒转检 验,且碎屑岩磁倾角值与 Lin 和 Watts(1988)、林金 录和 Watts(1990) 雅西错地区上三叠统巴塘群安山 岩磁倾角值类似,表明晚三叠世羌塘地块碎屑岩磁 倾角在三叠世时期不存在压实浅化现象。而朱志文 等(1980)的晚三叠数据没有提供具体的样品数和退 磁曲线,李永安等(1995)晚三叠数据中样品退磁曲 线未能走向原点且只有6个样品,二者的结果只能 参考。

侏罗纪羌塘地块已发表大量的古地磁数据(表 1),其中,Chen 等(1993b)、Otofuji 等(1989)、董学 斌等(1990)以及東沛镒等(2000)的古地磁结果缺乏 精确地层年代控制。早中侏罗世数据只有朱志文等 (1980)年的结果,但该结果中未提供样品量和退磁 曲线。中侏罗世羌塘地块已发表有大量的古地磁数 据,其中张文治等(1997)的古地磁结果,由于未列出 具体的样品量、岩石磁学特征和特征剩磁方向,数据 仅供参考:李永安等(1995)上侏罗统红其拉普组灰 岩古地磁结果,仅有3个样品的特征剩磁方向,且未 提供退磁曲线;Lin 和 Watts(1988)中晚侏罗世雁 石坪群灰岩和碎屑岩结果,认为是地层同褶皱期的 特征剩磁方向,即重磁化结果。但同一作者在1990 年发表的雁石坪群灰岩和碎屑岩研究结果中,经过 系统的热退磁分析,认为来自西南翼4个采点和东 北翼两个采点的样品为通过褶皱检验的特征剩磁方 向(林金录等,1990)。董学斌等(1990)发表的雁石 坪群中晚侏罗世结果与林金录等(1990)相似,但样 品量较小(N=3)目未提供退磁曲线。因此,上述数 据仅做参考。另外,程鑫等(2012)的结果包括羌塘 地块东北缘雁石坪群中上侏罗统雀莫错组、布曲组、 夏里组和索瓦组,样品量大,有详细的岩石磁学分析 (磁铁矿、赤铁矿为主要载磁矿物),高温特征剩磁分 量通过褶皱检验,并且雀莫错组和夏里组碎屑岩特 征剩磁分量还通过倒转检验,因此这些古地磁数据 质量高。此外,任海东等(2013)发表的中晚侏罗世 雀莫错组碎屑岩和布曲组灰岩古地磁研究结果中, 开展了详细的退磁分析和野外地层校正检验外等工 作,数据质量高。同时,他们还进一步对所获得的沉 积岩的磁倾角进行了分析,发现中晚侏罗世雁石坪 地区沉积岩存在磁倾角浅化现象,并通过"E/I"法 行校正,分别恢复碎屑岩 8.5°和灰岩 5.7°的浅化磁 倾角。

羌塘地块白垩纪古地磁研究结果中, Chen 等 (1993a)、Otofuji 等(1989)、Huang 等(1992b)、董学 斌等(1990)和束沛镒等(2000)的古地磁数据缺乏精 细的地层年代控制(66~145Ma),数据仅能作参考。 在早白垩世古地磁研究结果中,Huang 等(1992a) 发表羌塘地块东部芒康地区 Berriasian~Barremian 期措瓦组和 Aptian~Turonian 期芒康组红层古地 磁研究结果,该研究中数据量足够平均地磁场长期 变,退磁曲线稳定走向原点,其中措瓦组特征剩磁通 过了褶皱检验,芒康组特征剩磁通过了褶皱检验和 极性反转检验,二者都能准确代表该时期的古纬度 值。Otofuji 等(1990)研究获得羌塘地块东部芒康 地区 laoran 组红层砂岩的古地磁结果,5 个采点 60 块样品获得的特征剩磁方向通过了极性反转检验, 数据质量高。谌薇薇 2014 年博士论文中有羌塘改 则地区火山岩和红层的古地磁数据,其中火山岩锆 石 U-Pb 精确测年值为 103.8 ± 0.46 Ma,考虑到 该地区红层磁倾角结果与同期火山岩磁倾角结果对 比存在浅化现象,该作者经过沉积岩磁倾角"E/I" 浅化校正(ΔI =13.6°)后获得与同期火山岩磁倾角 较为一致的磁倾角数据(表1)。该研究中,红层的 主要携磁矿物可能是赤铁矿和磁铁矿,获得稳定走 向原点的特征剩磁方向,且红层和火山岩特征剩磁 方向均通过野外褶皱检验,为原剩磁方向,具有较高 的质量。同时, 谌薇薇(2014) 获得的羌塘地块改则 地区火山岩和红层"E/I"校正后的磁倾角数据与东 部芒康地区相近时代内碎屑岩的磁倾角值较为一致 (表 2),表明羌塘地块东部芒康地区早白垩世沉积 岩磁倾角不存在浅化现象。李永安等(1995)在岔沟 口地区辉绿岩、凝灰岩中获得晚白垩羌塘地块的古 地磁研究结果中,样品天然剩磁强度较高,特征剩磁 方向较稳定,获得的古地磁数据质量较高。

根据上述评判的可靠古地磁数据,进行费歇尔平 均计算,并计算古纬度。在计算平均古地磁方向前, 考虑到侏罗纪沉积地层记录的古地磁方向存在浅化

2015 年

现象,将中晚侏罗世数据根据不同岩性,按照任海东 等(2013)的校正值(碎屑岩 8.5°和灰岩 5.7°)进行校 正,然后再进行费歇尔平均,并计算古纬度(表 2)。

3 羌塘地块中生代的古纬度演化历史

综合以上古地磁数据评判和整理结果(表 2), 我们建立羌塘地块在中生代时期的古纬度演化历史 (图 3)。如图 3 所示,在早、中三叠世期间,羌塘地 块基本位于南半球副热带高压带内。但是通过对这 些古地磁据的评判分析表明,这些早、中三叠世古地 磁数据质量不高,且数据量较少,可能不足以很好的 平均地磁场长期变(表 1,2),仅作为参考。晚三叠 世,羌塘已有古地磁数据经过极点平均值计算,出现 两组较大差异的古纬度结果:一组数据揭示羌塘地 块在晚三叠世期间可能已经位于北纬 28°附近(Lin et al., 1988; 林金录和 Watts, 1990; 宋春彦等, 2012);而另一组则显示羌塘地块在该时段还处于南 纬 24°附近(李永安等,1995;朱志文等 1980)(图 3)。 通过前面对发表数据的详细分析和评判分析,总体 来说,除了宋春彦等(2012)古地磁数据外,上述两组 数据的质量都不高,仅供参考,函待进一步的更为可



图 3 羌塘地块中生代古纬度演化图



靠地古地磁研究。但宋春彦等(2012)古地磁的数据,在碎屑岩样品获得特征剩磁方向的过程中,无论 是退磁曲线还是采点平均(地层校正前、后的分布) 后获得的古地磁数据结果,均优于晚新生代的古地 磁结果,数据质量有待检验。总之,上述古地磁结果 显示了羌塘地块的两种漂移演化可能,一为大致在 早、中三叠世时期开始快速北向漂移,到晚三叠世时 期已经位于北纬副热带高压带内;二是晚三叠世后 才开始快速北向漂移到侏罗纪期间地达北纬副热带 高压带内(图 3)。最近的一些研究显示(蔡雄飞等, 2004;Xiao et al., 2005;李朋武等,2009),在西昆仑 山地区,康西瓦断裂以北地区大量分布与洋壳俯冲 相关的花岗侵入岩,如与康西瓦断裂早期右旋剪切 作用同期的片麻状花岗岩 Rb-Sr 年代为 215 Ma(王 元龙等,1996),在库地缝合带和麻扎缝合带之间, 花岗岩带年代为 278~200 Ma(汪玉珍等, 1987); 阿卡孜地区与俯冲相关的花岗岩,锆石结晶年龄 214±1Ma 段(Xiao et al., 2005)等,表明了三叠纪 末羌塘地块与塔里木南缘的岛弧碰撞(Chen et al., 2000)。同时地层分析表明,在昆仑沉积区,中三叠 世海相沉积在晚三叠世变化为陆相沉积,指示该时 期的碰撞隆升,并导致了侏罗纪沉积的缺失(蔡雄飞 等,2004)。另外,羌塘地块北部三叠纪末~早侏罗 世强烈的逆冲、褶皱变形等证据,也指示了碰撞时代 的上限为三叠纪末(赵冬冬等,2000)。因此,结合上 述地质证据,羌塘地块可能在早、中三叠世时期开始 快速北向漂移,到晚三叠世时期已经位于北纬副热 带高压带内。羌塘地块在三叠纪末期约为北纬 28.1°N,沿金沙江缝合带与北部的松潘~甘孜地块 发生碰撞(Allegre et al., 1984; Chang et al., 1973; Pierce et al., 1988; 吴功建等, 1996), 在晚三 叠纪形成了大量的花岗岩(玉珍等, 1987; 王元龙 等,1996;蔡雄飞等,2004;Xiao et al., 2005),海相 沉积环境变成陆相沉积环境(蔡雄飞等,2004),羌塘 地块北部三叠纪末~早侏罗世强烈逆冲、褶皱变形 (赵冬冬等,2000)并隆升成陆,与中央隆起带共同作 为物源区(张忠民等,2000),最终奠定了晚三叠世时 期羌塘盆地东部"两坳夹已隆"的古地理格局(贾建 称,2008)。同时,作为东特提斯域基默里大陆 (Cimmerian continent)的一部分,三叠纪时期羌塘 地块北向拼合到亚洲大陆的过程,伴随着其北侧代 表古特提斯洋盆的金沙江缝合带消减闭合和南侧班 公湖~怒江为代表的中(新)特提斯洋盆的开启、扩 张(Sengoret al., 1996; 李才等, 2007; 李德威, 2003;谭富文等,2009)。

到侏罗纪时期,羌塘地块的古纬度从早中侏罗 世 18.6°N→中侏罗世 21.4°N→晚侏罗世的 31.8° N,表明在侏罗纪期间,羌塘地块发生了明显的北向 漂移,漂移距离达 1465 ± 455km ($\Delta \lambda = 13.2° \pm$ 4.1°)。在早白垩世,羌塘地块的古纬度值从贝里阿 斯期一巴雷姆期(145~125 Ma)的 29.4°N 变化至 巴雷姆期一阿尔布期(129.4~100.5Ma)的 28.1°N 及阿尔布期末(103.8±0.46 Ma)的 29.0°N,以及到 晚白垩世羌塘地块古纬度值为 31.2°N,表明羌塘块 体自早白垩世以来处于稳定状态,古地理位置基本 未发生显著变化。

ıΠ
資
Ť
4
断
石
1
₩ Ű
711
揌
数
度
虶
ц
4.2
¥
₩
⊕
趹
-1
표
塘
Ψ
חיר
2
表

Table 2 The Mesozoic paleomagnetic datum of the Qiangtang block(afer analysis and calculation)

					平均剩6	簽方向			古 地 磯 枳	3 位置			雁石J	平地理生	杨		物 抿	
时代	地层	样品岩性	N/u		-	, .						极性	μ	創磁方向		Plat(°)	<u>你</u> 加 后是证价	参考文献
				$D_{\mathbf{s}}(^{\circ})$	$I_{\rm S}(^{\circ})$	$K(^{\circ})$	x ₉₅ (°).	lat(°) j	log(°)	dp(°) d	(°)ml		$D_{\mathbf{s}}(^{\circ})$	$I_{\rm S}(^{\circ})$	a_{95}	-	(火里 H D)	
${ m K_2(100.5Ma}$ \sim 66Ma)	I	辉绿岩、 凝灰岩	3\12	199.5	-47.7	371.7	4.2	72.3	184.7	3.6	5.5	北,负	200.8	-50.4	4.2	$31.2^{\circ}+4.0^{\circ}$ /-3.6°	135(3)	李永安 等,1995
$K_2(103.8Ma$		红层	22\174	312.6	47.8	92.5	3.2	49.5	2.6	4.2	2.7	년. 王	314.2	43	3.2	$25.0^{\circ}+2.5^{\circ}$	123F578	谌薇薇 "
$\sim 83.5 \text{Ma})$																/ - 2.4	(2)	寺,2014
K ₁ (103. 8 \pm 0. 46 Ma)		火山岩	$14 \setminus 91$	348	47.3	51	5.6	79.3	339.8	7.3	4.7	분,표	348.7	47.9	5.6	$29.0^{\circ}+5.1^{\circ}$ /-4.5°	123F57 (6)	谌薇薇 等,2014
$K_1(129.4Ma)$									_									
$\sim 100.5 Ma)$	laoran 组	碎屑岩	5\30	48.2	49		8.8	47.5	175.9	9.5	9.5	남,표	49.6	46.9	8.8	$28.1^{\circ}+8.1^{\circ}$	1235	Otofuji et el 1000
\sim Albian)																	(1)	ar. • 1000
$K_1(145 \sim 125 Ma)$																00 4° - 10 7°	100.01	11
$(Berriasian \sim$	措瓦组	砂岩	$12 \setminus 68$	57.7	50.2		10.9	40.6	170.5	11.6	7.7	北,正	58.5	48.4	10.9	29.4 ± 10.7	123F5 (5)	Huang et al 1002
Barremian)																۳. 0	(0)	al. • 1002
J ₃ (163. 5Ma	雁石坪群	# 1	6170	بر ح	R L L	01 1	ц г	- 00	950.9			بر بر ج	ц С		Lí Lí	$31.8^{\circ}+7.5^{\circ}$	123F5	程鑫等,
\sim 145Ma)	素瓦组	<u>М</u>	0110	· ·	+ ··+	1.10	·	1.00	4.00.4	7.01	n n	чг, н	? ;	1.10	·.	$/-6.3^{\circ}$	(2)	2012
J ₂ (174. 1Ma	雁石坪群(雀莫错组、	碎屑岩、	17 1 2 1	350 S	28		2 2	75.9	300 4		ر م م	년 수	350 5	38 1	21 X	$21.4^{\circ} + 9.3^{\circ}$	123F56	程鑫等,2012;
\sim 163. 5 Ma)	布曲组、夏里组)	灰岩	171/1		1.00		0.11	a 2	H			1.1		1.00	0.11	/-7.5°	78(8)	任海东等,2013
$J_1 \sim 2$	I	碎屑岩	I	195	-21	100	5.6	- 29	151.4	2.9	2.9	년. 王	341	34	9.9	$18.6^{\circ}+7.1^{\circ}$ /-6.0°	157(3)	朱志文 等,1980
$T_3(237Ma\sim 201.3Ma)$	巴塘群、门格拉组	安山岩、碎屑 岩、玄武岩	32\240					57.3	181.7	5. 8	3. 7	北,正	37.8	46.9	7.5	28.1°+6.8° $/-5.8^{\circ}$	123456 (6)	Lin et al. ,1988; 林金录等,1990; 宋春彦等,2012
T_{2}	上河尾滩群	砂岩	N=3	303.7	- 28. 9	93.9	8.3	16.9	315.9	5.1	9.2	蕭,正	313.6	-42.6	8.3	$-24.7^{\circ}+5.9^{\circ}$ /-6.9°	135(3)	李永安等,1995
T_{1}	I	安山岩、灰岩、 碎屑岩	2\15	241.2	20.6	20	8.8	-16.9	22.5	9.2	4.9	南,负	244.7	12.8	12.1	$-6.5^{\circ}+6.1^{\circ}$ /-6.6°	13F56(5)	程鑫等,2011
注: n/N :用-	于古纬度计算中特征测	剩磁方向的采点	数和样品	寻数 。评	判值(Q):Q値)	り评判古	「地磁数	[据可靠]	性指(V	an der '	Voo, 199	90),包}	毛帯①君	有较好	<的年龄;③足够1	的样品数量	(n>24,k(或 K))
$10, \alpha_{95} \leqslant 16.0^{\circ};$	3足够的退磁步骤;④)野外检验;⑤构	造稳定可	发地块活	动与克1	位通连我	蓬在 一起	1;6通达	寸倒转检	验或存	在翻转	极性;①)与较年	轻古地(厳极的 7	方向不一样(至少	多于一个地	1质时代);⑧沉积岩
磁倾角校正。这	8 个标准,前7个来自	∃∓ Van der Vo	o(1990),	,第8条	为我们材	良据最近	5.沉积岩	計的磁倾	页角浅化	问题新	增的。	Q値范	围为 1-	- 8,一 憩	没要求 (2>3,但值越大捷	彧好。古纬	度误差值:+, Δλ=

 $\{1/2 \operatorname{arctan}[\operatorname{tan}(\operatorname{Inc}+a_{35})] - 1/2 \operatorname{arctan}[\operatorname{tan}(\operatorname{Inc})] \}; -, \Delta \lambda = \{1/2 \operatorname{arctan}[\operatorname{tan}(\operatorname{Inc})] - 1/2 \operatorname{arctan}[\operatorname{tan}(\operatorname{Inc}-a_{35})] \}$

在中侏罗世和晚侏罗世时期,羌塘地块古纬度 值分别为北纬 21.4°+9.3°/-7.5°和 31.8°N + 7.5°/-6.3°,处于北半球副热带高压带干旱炎热的 气候条件之下(图 3)。中侏罗世和晚侏罗世期间, 羌塘地块北向移动约 $1154 \pm 223 \text{km}$ ($\triangle \lambda = 10.4^{\circ} \pm$ 2.1°),相对漂移速度较快。在早侏罗世期间,班公 湖一怒江大洋再度扩张(贾建称等,2006;王冠民和 钟建华,2002),推动羌塘地块持续北向漂移(图3)。 该时期南羌塘地块已发展成被动大陆边缘坳陷盆地 (陈文西等,2009),双湖以南的羌南地区发育有一套 滨浅海一半深海相碳酸盐岩沉积的曲色组(和钟铧 等,2000),其沉积中心与沉降中心均位于盆地南部 地区(张忠民等,2000),双湖以北的羌北地区充填陆 相火山岩相区(张忠民等,2000;谭富文等,2004),发 育以火山碎屑岩和火山岩为特征的那底冈日组(李 勇等,2002)。中晚侏罗世时期,盆地内广泛分布一 套总体向上变粗变浅的雁石坪群地层,分别为中侏 罗统雀莫错组、布曲组、夏里组和上侏罗统索瓦组和 雪山组(李勇等,2002)。在海相沉积层序雀莫错组、 布曲组、夏里组和索瓦组中均分布有膏盐岩(李亚林 等,2008),其中以夏里组膏盐层在盆地内分布最为 广泛,其上部普遍发育石膏层和钙质结核,沉积物颜 色以紫红色为主,表明夏里组时期羌塘地块的古气 候向干旱炎热转变(贾建称,2008;张忠民,1998)。 据碳、氧同位素研究表明,雀莫错组晚期羌塘盆地内 发生的海侵作用导致海平面快速上升,干热气候造 成了区域海水盐度的增高(谭富文等,2004),布曲组 时期为该次海侵的高峰期,造成羌塘盆地普遍形成 超覆(贾建称等,2006;谭富文等,2004)。羌塘盆地 在布曲组进入全面断坳、深陷的主发育期(贾建称 等,2006;杨日红等,2000),随着海平面的快速上升, 南北拗陷连接成了一个统一的被动陆缘裂陷盆地, 整体上呈北浅南深的古地理格局(王剑等,2010)。 整个差塘盆地除中央隆起西段外几乎均被海水淹 没,发育有一套广海型碳酸盐台地沉积,沉积环境也 相应由陆缘近海湖泊向正常广海过渡(贾建称, 2006;南征兵等,2013;谭富文等,2004)。中侏罗统 夏里组下部地层中含丰富的膏盐晶洞,生成于干旱 气候条件下封闭、半封闭的沉积环境中(罗建宁等, 2003),标志着区内发生了一次明显的海平面下降过 程(谭富文等,2004),盆地内发生大规模海退(贾建 称,2008;李永铁等,2006;张忠民,1998),唐古拉山 隆起带将两侧广海有限分隔,南北羌塘成为两个相 对局限的海湾环境(李永铁等,2006),形成了北羌塘

盆地以碎屑岩充填为主、南羌塘盆地以碳酸盐岩沉 积为主的沉积特点(张忠民,1998)。上侏罗统索瓦 期是羌塘盆地侏罗纪时期的又一次海侵期,规模仅 小于布曲期(王兴涛等,2005;张忠民等,2000),盆地 内碳酸盐岩与碎屑岩混合沉积,但以碳酸盐沉积为 主,沉降中心与沉积中心已移至北羌塘盆地(王兴涛 等,2005;张忠民等,2000),呈现北东部较高,向西南 部倾斜的古地理面貌(南征兵等,2013;谭富文等, 2009)。雪山组时期盆地东部地区大幅度抬升,发生 大规模北西向海退,沉积中心位于北羌塘盆地西部 (张忠民等,2000),海域自东向西缩小(杨日红等, 2000),上侏罗统及前期地层发生陆内褶皱变形(贾 建称,2008;谭富文等,2009)。

羌塘南部班公湖一怒江带在早中侏罗世扩张形 成小洋盆后,于晚侏罗世闭合(陈智梁,1994;黄继 钧,2001;黄汲清等,1987;罗金海等,2000),拉萨地 块与羌塘地块发生碰撞(李勇等,2002;王兴涛等, 2005;杨日红等,2000),推动羌塘地块北向漂移,古 纬度值逐步升高(图3)。自晚侏罗世开始,羌塘地 块出现东浅西深的古地理格局和东高西低的古地貌 特征(李勇等,2002),东部为抬升剥蚀区,西部为汇 水区,盆地内海退方向和沉积物搬运方向为自东向 西,古流向总体具有偏西的特点,出现自东向西迁移 的趋势(谭富文等,2009),表明班公湖-怒江带碰撞 的时间东早西晚,具有典型斜向碰撞的特征(李勇 等,2002),与中侏罗世末夏里组时期羌塘地块发生 旋转的磁偏角研究结果一致(颜茂都等,2014)。白 垩纪期间,羌塘地块古纬度变化幅度较小,整体处于 稳定状态(图 3),海水已完全退出,盆地彻底结束了 中生代海相沉积历史(贾建称,2008;谭富文等, 2009),在南北向强烈挤压一抬升环境下(黄继钧, 2001),充填有冲积扇相和干盐湖沉积为特征的磨拉 石建造(李勇等,2002)。

综上所述,在中生代时期,羌塘块体北向漂移拼 合到欧亚大陆南缘的构造演化过程,与其北部以金 沙江缝合带为代表的古特提斯洋盆的闭合和南侧班 公湖一怒江洋盆为代表的中(新)特提斯洋盆的开 启、扩张、闭合密切相关。自侏罗纪以来,在中(新) 特提斯洋逐渐关闭成为局限海的过程中(Dewey et al., 1988; Tapponnier et al., 2001; Yin and Harrison, 2000; 许志琴等,2006;郑绵平等,2012), 处于中特提斯海域东段的羌塘盆地(邱东洲等, 2007)中充填有巨厚的海相地层。在中晚侏罗世海 侵一海退一海侵导致的海平面升降过程中,夏里组 时期发育有大量的中侏罗世膏丘、盐泉(郑绵平等, 2012)和海相、海陆交互相的膏盐层。该时期羌塘地 块处于北半球副热带高压带干旱一极端干旱古气候 条件下,在拉萨地块与羌塘地块碰撞的构造背景下 (颜茂都等,2014),具有东高西低的古地貌特征和海 水西退的古地理格局(李勇等,2002)等,形成有利于 成盐成钾的古气候、古构造和古地理环境(郑绵平 等,2012)。结合目前羌北多格错仁地区夏里组盐泉 地球化学指标显示的良好条件(牛新生等,2013, 2014),表明羌塘地区在中侏罗世夏里组末期具有较 好的成钾条件,是中国海相找钾理论取得突破的关 键区域之一。

4 结论

通过对羌塘地区以往发表的中生代古地磁结果 的重新评判总结,结合该地区的区域地质、气候背 景,我们获得了以下认识:

(1)重新厘定了羌塘地块中生代时期的古纬度 演化历史,为该地块在中生代时期的古地理重建提 供古纬度方面的约束;

(2)羌塘地块在侏罗纪期间,其古纬度逐步升高存在约1154±223km(△λ=10.4°±2.1°)的北向漂移量。白垩世期间,羌塘块体古纬度基本稳定在30°N左右。

(3)自晚三叠世以来,羌塘地块已位于北半球副 热带高压带之内,在侏罗纪期间,古纬度变化范围为 18.6°N~31.8°N。结合构造、古气候和古地理条 件,中侏罗世夏里组晚期羌塘地块具备较高的成盐 成钾条件。

致谢:本次研究得到了国家重点基础研究发展 规划项目(973项目)(批准号:2011CB403006、 2013CB956402),中国科学院战略性先导科技专项 (B类)(XDB03020400)、国家自然科学基金项目 (41272185,41021001)以及中国科学院院"百人计 划"择优支持项目的联合资助。同时极为感谢宋春 晖教授对本文的认真审核和宝贵的修改意见,使本 文得以完善,在此表示由衷的感谢!

参考文献

- 蔡雄飞,王国烛,李德威. 2004. 印支运动在昆仑地区的表现特征. 地学前缘 11(03):51.
- 陈文西和王剑. 2009. 晚三叠世一中侏罗世羌塘盆地的形成与演 化. 中国地质(03):682~693.
- 陈智梁. 1994. 特提斯地质一百年. 特提斯地质(00):1~22.
- 谌薇薇. 2014. 羌塘地块白垩纪火山岩和红层古地磁学和年代学新

结果及其大地构造意义.博士论文,中国地质大学(北京).

- 程鑫,吴汉宁,郭强,侯宝宁,夏玲燕,王海军,刁宗宝,霍斐斐,计文 化,李荣社,陈守建,赵振明,刘晓吉. 2011. 青藏高原羌北地块 晚古生代古地磁研究的初步结果. 中国科学:地球科学(08): 1100~1108.
- 程鑫,吴汉宁,刁宗宝,王海军,张晓东,马轮,周亚楠,康伟伟,计文 化,李荣社,陈守建,赵振明. 2012. 羌北陆块中一晚侏罗世雁 石坪群古地磁新结果.地球物理学报,55(10):3399~3409.
- 董学斌,王忠民,谭承泽,杨惠心,程立人,周姚秀. 1990. 亚东一格 尔木地学断面古地磁新数据与青藏高原地体演化模式的初步 研究. 中国地质科学院院报,21:139~148.
- 董学斌,王忠民,谭承泽,杨惠心,程立人和周姚秀. 1991. 青藏高原 古地磁研究新结果. 地质论评 37(02):160~164.
- 董学斌,杨惠心,程立人,李鹏武. 1992. 青藏高原风火山砂岩的磁 性特征及其意义. 长春地质学院院报. 22(3):330~335.
- 和钟铧,李才,杨德明,陈光权. 2000. 西藏羌塘盆地的构造沉积特 征及演化. 长春科技大学学报(04):347~352.
- 黄汲清. 1987. 鸿书往还论盐丘——塔里木盆地有无盐丘构造.石 油与天然气地质(01):55.
- 黄继钧. 2001. 藏北羌塘盆地构造特征及演化. 中国区域地质(02): 178~186.
- 贾建称. 2008. 古地理学报西藏羌塘盆地东部中生代构造古地理特 征及演化. 古地理学报,10(6):613~625.
- 贾建称,吴新国,王根厚,张妙逢,张维杰. 2006. 羌塘盆地东部中生 代沉积特征与构造演化. 中国地质,33(5):999~1004.
- 李才,翟庆国,董永胜,曾庆高,黄小鹏.2007. 青藏高原龙木错一双 湖板块缝合带与羌塘古特提斯洋演化记录. 地质通报,26(1): 13~21.
- 李德威. 2003. 青藏高原及邻区大地构造单元划分新方案. 地学前 缘(02):291~292.
- 李朋武,高锐,崔军文,管烨.2005. 西藏和云南三江地区特提斯洋盆 演化历史的古地磁分析. 地球学报,26(5):387~404.
- 李朋武,高锐,管烨,李秋生. 2009. 古亚洲洋和古特提斯洋的闭合时代──-论二叠纪末生物灭绝事件的构造起因. 吉林大学学报(地球科学版)(03):521~527.
- 李亚林,王成善,李永铁. 2008. 西藏羌塘盆地侏罗系膏盐岩与油气 成藏. 石油学报(02):173~178.
- 李永安,李强,张惠,孙东江,曹运动,吴绍祖. 1995. 塔里木及其周 边古地磁研究与盆地形成演化. 新疆地质,13(4):293~376.
- 李永铁,谭富文,王剑,郭祖军,2006. 西藏羌塘盆地中侏罗世布曲期 及夏里期岩相古地理与油气远景. 古地理学报(04):499~508.
- 李勇,王成善,伊海生. 2002. 中生代羌塘前陆盆地充填序列及演化 过程. 地层学杂志(01):62~67+79.
- 林金录,WattsDR,中英青藏高原综合地质考察队. 1990. 青藏高原 的古地磁研究. 1985 年青藏高原综合地质考察报告. 北京:科 学出版社:242~283.
- 刘训.2001.天山一西昆仑地区沉积一构造演化史一新疆地学断面 走廊域及邻区不同地体的沉积一构造演化.古地理学报,3(3): 21~31.
- 罗建宁,朱忠发,谢渊,叶和飞,童箴言和沈启明. 2003. 羌塘盆地膏 盐岩及其与油气勘探的关系. 沉积与特提斯地质(02):1~8.
- 罗金海,车自成,李继亮. 2000. 中亚及中国西部侏罗纪沉积盆地的

构造特征. 地质科学(04):404~413.

- 南征兵,张艳玲,李永铁,谭富文. 2013. 羌塘中生代盆地演化特征. 天然气地球科学(03):534~540.
- 牛新生,刘喜方,陈文西. 2014. 西藏北羌塘盆地多格错仁地区盐泉 水化学特征及其物质来源. 地质学报(06):1003~1010.
- 牛新生,陈文西,刘喜方. 2013. 羌塘盆地多格错仁地区盐泉地球化 学特征及成钾预测. 现代地质,27(3):620~627.
- 钱自强,曲懿华,刘群. 1994. 钾盐矿床. 北京:地质出版社. 1 ~273.
- 丘东洲,乃东专,李晓清,陈明. 2007. 羌塘盆地与特提斯域油气盆 地类比及其含油气远景. 沉积与特提斯地质(03):1~13.
- 曲懿华,蔡克勤. 1998. 兰坪一思茅盆地钾盐成矿规律及预测. 地质 出版社. 1~120.
- 任海东,颜茂都,孟庆泉,宋春晖,方小敏. 2013. 羌塘盆地磁倾角浅 化校正及其在构造上的应用. 地质科学 48(2):543~556.
- 束沛镒,李幼铭,李立敏. 2000. 喀喇昆仑山地区地质演化. 北京:科 学出版社. 502~508.
- 宋春彦,王剑,付修根,冯兴雷,陈明,何利. 2012. 青藏高原羌塘盆 地晚三叠世古地磁数据及其构造意义. 吉林大学学报(地球科 学版),42(2):526~535.
- 谭富文,王剑,李永铁,杜佰伟,朱忠发. 2004. 羌塘盆地侏罗纪末一 早白垩世沉积特征与地层问题. 中国地质(04):400~405.
- 谭富文,王剑,王小龙,杜佰伟. 2004. 羌塘盆地雁石坪地区中_晚侏 罗世碳_氧同位素特征与沉积环境分析. 地球学报,25(2):119 ~126.
- 谭富文,王剑,陈明。2009。第四届全国沉积学大会。184~186.
- 王冠民,钟建华. 2002. 班公湖一怒江构造带西段三叠纪一侏罗纪 构造一沉积演化.地质论评(03):297~303.
- 王剑,付修根,谭富文,陈明,何江林. 2010. 羌塘中生代(T₃-K₁)盆 地演化新模式. 沉积学报(05):884~893.
- 王剑,谭富文,王小龙,杜佰伟,陈明. 2004. 藏北羌塘盆地早侏罗世 中侏罗世早期沉积构造特征. 沉积学报(02):198~205.
- 王兴涛,翟世奎,柳彬德,薛刚,孙革,周书欣. 2005. 青藏高原羌塘 盆地晚侏罗世索瓦期沉积特征研究. 中国海洋大学学报(自然 科学版)(01):49~56.
- 汪玉珍,方锡廉,1987. 西昆仑山、喀喇昆仑山花岗岩类时空分布规 律的初步探讨. 新疆地质,5(1):9~24.
- 王元龙,李向东,黄智龙. 1996. 新疆西昆仑康西瓦构造带地质特征 及演化. 地质地球化学,(2):48~54.
- 吴必豪. 1995. 中国钾盐成矿条件与国外典型矿床的对比研究[R]. 北京:中国地质科学院矿产资源研究所.
- 吴功建,肖序常和李廷栋. 1996. 揭示青藏高原的隆升——青藏高 原亚东一格尔木地学断面. 地球科学(01):37~38+40~43.
- 吴汉宁,刘池阳,张小会,任战利. 1997. 用古地磁资料探讨柴达木 陆块构造演化. 中国科学(D辑:地球科学)(01):9~14.
- 吴珍汉,高锐,卢占武,叶培盛,陆露,殷裁云. 2014. 羌塘盆地结构 构造与油气勘探方向. 地质学报(06):1130~1144.
- 许志琴,杨经绥,李海兵,张建新,曾令森,姜枚.2006. 青藏高原与 大陆动力学一地体拼合、碰撞造山及高原隆升的深部驱动力. 中国地质(02):221~238.
- 颜茂都,方小敏,张伟林,宋春晖. 2012. 青藏高原东北部沉积物磁 倾角浅化之成因探究. 第四纪研究,32:1~10.

- 颜茂都,任海东,方小敏,宋春晖. 2014. 中晚侏罗世拉萨块体与羌 塘块体碰撞演化的古地磁制约. 第七届构造地质与地球动力学 学术研讨会.
- 杨桂芳,藤玉洪,卓胜广,鲁兵. 2003. 藏北羌塘盆地双湖地区油气 成藏条件. 地质通报(04):285~289.
- 杨日红,李才,杨德明,和钟铧,任云生,刘焱木. 2000. 西藏羌塘盆 地中生代构造岩相演化及油气远景. 长春科技大学学报(03): 237~242.
- 袁见齐,霍承禹,蔡克勤. 1985. 干盐湖阶段的沉积特征兼论钾盐矿 层的形成. 地球科学(04):1~9.
- 袁见齐,杨谦,孙大鹏,霍承禹,蔡克勤. 1995. 察尔汗盐湖钾盐矿床 的形成条件. 北京:地质出版社. 227.
- 张文治. 1997. 地矿部中法地质与地球物理科考队. 东昆仑-唐古 拉地区地壳演化、深部构造及大陆动力学. 133~155.
- 张忠民. 1998. 羌塘盆地侏罗系夏里组沉积相及模式. 大庆石油学 院院报,22(4):13~17.
- 张忠民,柳彬德,周书欣. 2000. 青藏高原羌塘盆地侏罗系沉积特征 研究. 世界地质(03):230~234.
- 赵冬冬,陈汉林,杨树锋,沈晓华,竺国强,李继亮,张围成,肖文交. 2000. 西昆仑甜水海地区前陆褶皱冲断带的构造样式及其演 化. 地质学报,74(2):134~141.
- 赵政璋,李永铁,王岫岩,滕玉洪,单光华,张宽忠,郭祖军. 2002. 羌 塘盆地南部海相侏罗系古油藏例析. 海相油气地质(03):34~ 36+5.
- 郑绵平. 1989. 全球盐湖地质研究与展望. 国外矿床地质,(3):1 ~34.
- 郑绵平,齐文. 2006. 我国盐湖资源及其开发利用. 矿产保护与利用,(5):45~50.
- 郑绵平,袁鹤然,张永生,刘喜方,陈文西,李金锁. 2010. 中国钾盐 区域分布与找钾远景. 地质学报(11):1523~1553.
- 郑绵平,张震,张永生,刘喜芳,伊宏伟. 2012. 我国钾盐找矿规律新 认识和进展地球学报,33(3):280~294.
- 朱志文等.冈瓦纳大陆解体后印度板块分块北移并与政亚板块碰撞 的古地磁证据,中法喜马拉雅考察成果.地质出版社 1980.
- Allegre C J. Courtillot V. Tapponnier P. Hirn A. Mattauer M. Coulon C. Jaeger J J. Achache J. Sch? rer U. Marcoux J. Burg J P. Girardeau J. Armijo R. Gariépy C. Li T D. Xiao X C. Chang CH F. Li G Q. Lin B Y. Teng J W. Wang X B. Den W M. Sheng H B. Cao Y G. Zhou J. Qiu H G. Bao P SH. Wang B X. Zhou Y X and Rong H X. 1984. Structure and evolution of the Himalaya-Tibet orogenic belt. Nature, 307: 17~22.
- Borchert H and Muir R O. 1964. Salt deposits: the origin, metamorphism and deformation of evaporates. Van Nostrand.
- Butler R F. 1992. Paleomagnetism: Magnetic Domains to Geologic Terranes. Tucson, Arizona: Department of Geosciences University of Arizona.
- Chang C Fand Cheng H L. 1973. Some tectonic features of the Mt. Jolmo Lungma area, Southern Tibet. China. Sci. Sin. ,16,257 \sim 265.
- Chen H L, Zeng H S, Shen X H, Yang S F, Xiao W J, Zhao D D, Zhang G C and Li J L. 2000. Characteristics and evolution of Mesozoic foreland fold and thrust belt in western Kunlun Shan,

china. Journal of Zhejiang University Science 1(4):431~436.

- Chen Y, Cogné J P, Courtillot V, Tapponnier P and Zhu X Y. 1993. Cretaceous paleomagnetic results from western Tibet and tectonic implications. Journal of Geophysical Research, 98 (B10): 17981~17999.
- Cogne JP, Halim N, Chen Y and Courtillot V. 1999. Resolving the problem of shallow magnetizations of Tertiary age in Asia: Insights from paleomagnetic data from the Qiangtang, Kunlun, and Qaidam blocks (Tibet, china), and a new hypothesis. J Geophys Res-Solid Earth, 104(B8): 17715~17734.
- Dewey, JF., ShackletonRM., ChangCF. and SunYY. 1988. The tectonic evolution of the Tibetanplateau. Philosophical Transactions of the Royal Society of London (Series A): Mathematical and Physical Science, 327(1594): 379~413.
- Dupont-Nivet G, Hoorn C and Konert M. 2008. Tibetan uplift prior to the Eocene-Oligocene climate transition: Evidence from pollen analysis of the Xining basin. Geology, 36 (12): 987 ~990.
- Dupont-Nivet G, van Hinsbergen D J J and Torsvik T H. 2010b. Persistently low Asian paleolatitudes: Implications for the India-Asia collision history. Tectonics, 29(5).
- Huang K N, Opdyke ND, Li J G and Peng X J. 1992. Paleomagnetism of Cretaceous rocks from easternQiangtang terrane of Tibet, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 97(2),1789~1799.
- Lin J L and Watts D R. 1988. Palaeomagnetic Constraints on Himalayan-Tibetan Tectonic Evolution. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences, 326(1589): 177~188.
- Otofuji Y I,Funahara S,Matsuo J,Murata F,Nishiyama T,Zheng X and Yaskawa K. 1989. Paleomagnetic study of western Tibet: deformation of a narrow zone along the Indus Zangbo suture between India and Asia. Earth and planetary science letters,92 (3):307~316.
- Otofuji Y, I. Y., Funahara S, Murata F and Zheng X. 1990. Palaeomagnetic study of eastern Tibet-deformation of the Three Rivers region Geophys. J. Int., 103: 85~94.

- Otofuji Y I, Tung V D, Fujihara M, Tanaka M, Yokoyama M, Kitada K, Zaman H. 2012. Tectonic deformation of the southeastern tip of the Indochina Peninsula during its southward displacement in the Cenozoic time. Gondwana Research, 22(2): 615~627.
- Patriat P and Achache J. 1984. India-Eurasia collision chronology has implications for crustal shortening and driving mechanism of plates. Nature, 311(5987) : 615~621.
- Patzelt A, Li H M, Wang J D and Appel E. 1996. Palaeomagnetism of Cretaceous to Tertiary sediments from southern Tibet: Evidence for the extent of the northern margin of India prior to the collision with Eurasia. Tectonophysics, 259(4): 259~284.
- Tapponnier P,Xu Z Q,Roger F,Meyer B, Arnaud N, Wittlinger G and Yang J S. 2001. Oblique stepwise rise and growth of the Tibet plateau. Science, 294(5547): 1671~1677.
- Pierce J A and Deng W M. 1988. The ophiolites of the Tibetan geotraverse, Lhasa-Golmud (1985) and Lhasa to Kathmandu (1986). PhilTrans R Soc Lond, 327: 215~238.
- Sengor A M C. 1996. Paleotectonics of asia: Fragments of a synthesis. New York: Cambridge Univ. Press.
- Tauxe L. 1998. Paleomagnetic priciples and practice. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Warren J. 2010. Evaporites Across Deep Time: Tectonic, Climatic and Rustatic Controls in Marine and Nonmarine Deposits. InGEO 2010.
- Xiao W J, Windley B F, Liu D Y, Jian P, Liu C Z, Yuan C and Sun M. 2005. Accretionary Tectonics of the Western Kunlun Orogen, China: A Paleozoic Early Mesozoic, Long-Lived Active Continental Margin with Implications for the Growth of Southern Eurasia. The Journal of Geology 113(6):687~705.
- Yan M D, Van der Voo R, Tauxe L, Fang X D and M Parés J. 2005. Shallow bias in Neogene palaeomagnetic directions from the Guide Basin, NE Tibet, caused by inclination error. Geophysical Journal International, 163: 944~948.
- Yin A and Harrison T M. 2000. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan orogen. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 28: 211~280.

The Mesozoic Evolution History of the Qiangtang Block and Its Potential in Potash Formation

REN Haidong^{1, 2)}, YAN Maodu^{2, 3)}, CHEN Yi²⁾, ZHANG Dawen²⁾, LI Bingshuai²⁾

1) Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037;

2) Key Laboratory of Continental Collisition and Plateau Uplift, Institute of Tibetan Plateau Research,

Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100101;

3) CAS Center for Excellence and Innovation in Tibetan Plateau Earth System Sciences, Beijing, 100101

Abstract

Palaeolatitude study can provide quantitative constraints in paleogeographic reconstruction for latitudinal drift of the block during the geological time. This study reappraised the Mesozoic evolution history of the Qiangtang Block, through reevaluating the published paleomagnetic data. The results show that the Qiangtang Block has been in the northern hemisphere subtropical high pressure zone during the Middle to Late Triassic, and collided with its northern tectonic unit. It reached a latitude of 21. 4°N in the Middle Jurassic, with continuous northward drift to 31. 8°N in the Late Jurassic. The magnitude of this drift reached 1154 ± 223 km($\triangle \lambda = 10.4^{\circ}\pm2.1^{\circ}$) during the Jurassic period. The block had kept a relatively stable paleolatitude during Cretaceous. Combined this tectonic drift history with other geological evidences, such as paleoclimate, tectonic and paleogeography evidences, we believe that the period of the Xiali Formation in the Middle-Late Jurassic has had high potential in potash formation.

Key words: Qiangtang block; Mesozoic; Paleolatitude; Northward Drift