

# 青藏高原北部的碰撞造山及深部动力学 ——中法地学合作研究新进展

许志琴 杨经绥 姜 枚

(中国地质科学院地质研究所,北京)

**摘 要** 本文展示了中法 1995 ~ 2000 年青藏高原北部地学研究的如下主要新进展: 完成 8000km 长的青藏高原北部及中部天然地震岩石圈探测剖面,确定若干条岩石圈断裂,发现与新生代火山喷发有关的青藏高原中部深处的低速、低密度体,塔里木地块俯冲于阿尔金山之下; 提出阿尔金断裂形成于 220 ~ 240Ma 和左行平移 400km 的科学依据及确定其新生代变形量; 确定祁连南缘 350km 长的高压-超高压变质带,提出其可能代表早古生代时期北中国板块与扬子板块之间西部界限的新认识; 根据加里东期蛇绿岩、花岗岩及俯冲杂岩带的新发现,初步建立了古碰撞造山格架; 提出高原隆升的“地幔底辟和内向陆内俯冲”的新假设。

**关键词** 青藏高原北部 岩石圈结构 碰撞造山 深部动力学

近 20 年来,青藏高原一直作为固体地球科学领域的“重头戏”受到国内外地学家高度重视,并取得众所瞩目的研究成果。如果说八十年代人们把注意力集中在青藏高原南部印度板块与欧亚板块碰撞造成的近程效应的话,那么九十年代,青藏高原的研究已向北部转移,把研究和探索两大板块碰撞的远程效应作为主要目标。一些地质学家认为,青藏高原北部的研究已成为解决青藏整体隆升问题的最后关键。实际上青藏高原北部研究意义远非如此,因为青藏高原作为亚洲大陆最后拼合体,是在一系列地体从早古生代开始自北往南会聚拼合直至 55Ma 与印度板块的碰撞,然后经历了地球历史最壮观的隆升事件而成为今天之景观。研究青藏北部还面临重塑中国西部古亚洲构造体制的困难,因为古老构造体系受到后期强烈的改造及错位。研究表明,青藏高原北部隆升及其所引起的三维变形还对先存的基础及构造有很大的依附性及继承性,因此要了解高原北部的今天,必须认识它的过去。中法地质及

地球物理探测的最新成果还为我们考虑青藏高原周围克拉通对高原的影响以及高原腹地大量新生代碱性火山岩的喷发与深部热驱动有关的可能性。可以认为来自高原南部印度板块与欧亚板块的碰撞已并非高原隆升的唯一驱动力。因此,采用多学科研究青藏高原北部物质组成、构造演化及岩石圈尺度的结构及动力学成为中法青藏高原北部合作研究(1995 年至今)的科学目标。

## 1 青藏高原北部岩石圈三维结构的初步揭示

中法地球物理学家在青藏高原北部及相邻地域共同开展的新的天然地震岩石圈探测剖面,共 8000 km,先后完成西藏定日—唐古拉(青藏南部),唐古拉山口—青海格尔木(青藏北部西段),青海若羌—新疆茫崖(穿越阿尔金山),新疆克拉玛依—库车(穿越天山)和青海共和—玉树(青藏北部东段)剖面(Jian getal.,1995,1996;Wittlin geretal.,1996;

责任编辑:宫月萱

第一作者:许志琴,女,构造地质专业,中国科学院院士,留法博士,中国地质科学院地质研究所所长,长期从事青藏高原地学研究,“九五”期间为青藏北部中法地学合作项目、国家基金重点项目“祁连造山带的组成及造山过程”(49732020)及国土资源部重点基础项目“阿尔金山-祁连山构造演化及岩石圈剪切作用”(9501106)的首席科学家

Xue et al., 1999; Qian et al., 2000), 布置便携式地震台站超过 300 台次 (图 1)。其主要成果: 揭示了高原北部和中部东昆仑-羌塘地区地壳厚度自南往北由 70 ~ 75 km, 减小为 60 ~ 55 km, 西部厚度变化

幅度较东部小, 各地体岩石圈的物理状态表现为高速体与低速体相间的结构特征, 岩石圈具“多明治”层圈结构并存在中地壳透镜状低速层; 发现岩石圈的不连续性及岩石圈剪切断层的存在, 确定了阿

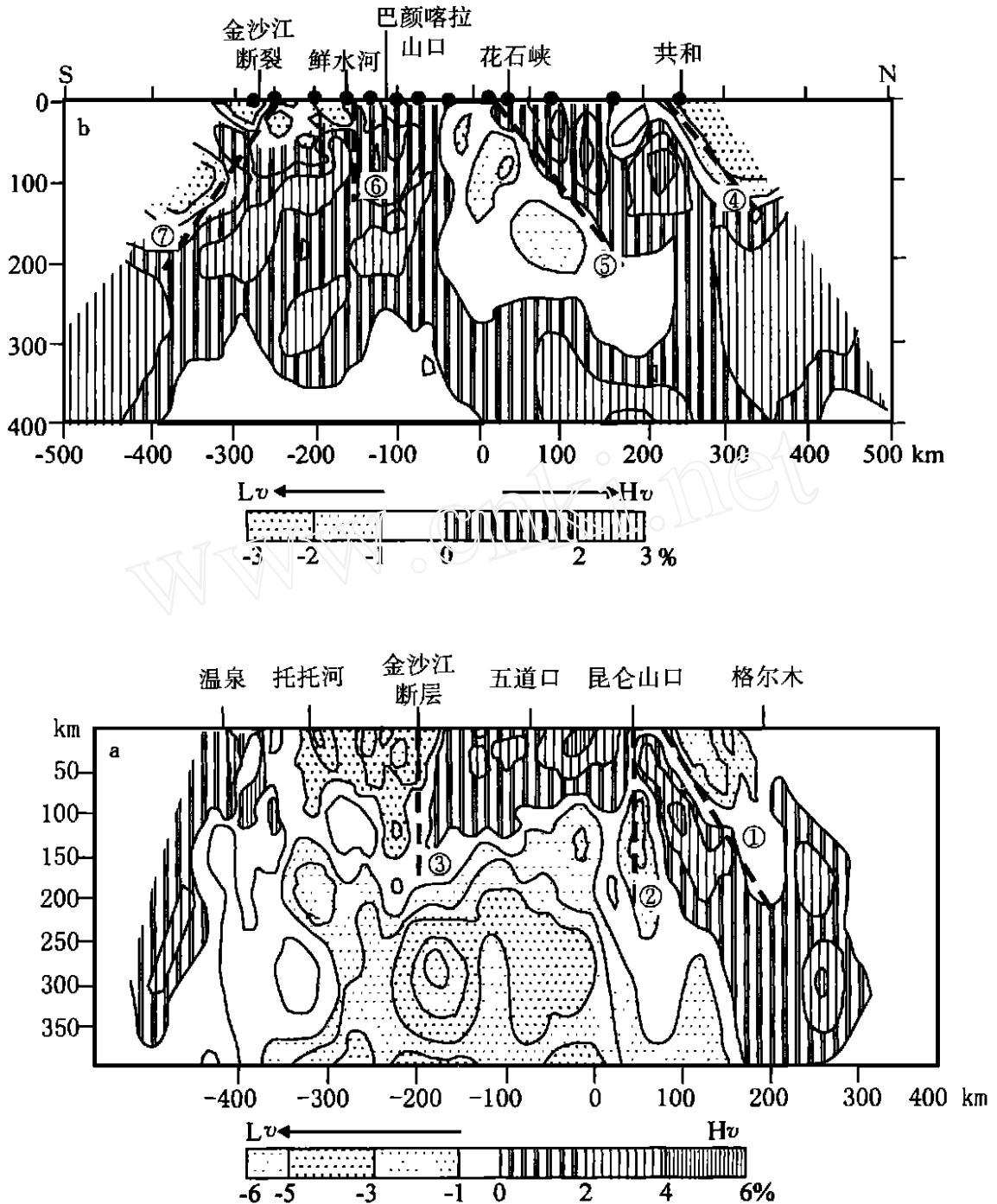


图 1 穿越青藏高原北部及中部的地震层析剖面

Fig.1 Seismotomo graphic cross-sections of the Northern Qinghai-Tibet Plateau

a-格尔木-唐古拉山地震层析剖面; b-共和-玉树地震层析剖面. Hv-高速体, Lv-低速体

-昆中岩石圈逆冲断裂; -昆南岩石圈走滑断裂; -玉树岩石圈走滑断裂; -祁连南缘岩石圈逆冲断裂;

-阿尼玛卿岩石圈逆冲断裂; -鲜水河岩石圈走滑断裂; -金沙江岩石圈逆冲断裂

尔金左行走滑断层,昆南左行走滑断层,阿尼玛卿缝合带及金沙江缝合带等均为深入地下 150 ~ 200km 的岩石圈剪切断层,按类型又分为岩石圈平移断层及岩石圈逆冲断层; 发现了与可可西里新生代火山活动有成因联系的深部 200 ~ 360km 的大型低速低密度异常体; 印度板块岩石圈地幔往北以中等倾角插入喜马拉雅山下部,不超过雅鲁藏布江缝合带; 塔里木地体以低缓角度往南俯冲于由高速体组成的阿尔金山之下。

2 确定青藏北部祁连南缘 350km 长的高压-超高压变质带

在青藏高原北部祁连山南缘发现一条 350km

长(大柴旦—锡铁山—都兰)的高压-超高压榴辉岩带,研究表明,榴辉岩形成的压力大于 2.5GPa, 温度大于 700 ,形成及折返时代为 500 ~ 400Ma (杨经绥等,1998; 张建新等,1999; 许志琴等,1999),并与石榴石橄榄岩(杨建军等,1994)、蛇绿岩共生。提出 400 ~ 500Ma 期间北中国板块与扬子板块之间可能存在一条长 4000km 的巨型中央高压-超高压变质带(苏鲁—大别—秦岭—祁连南缘—阿尔金山),(杨经绥,2000),这些重要发现及认识不仅有利于青藏高原北部构造格架的建立及中国西部古亚洲体系的重塑,对解决早古生代中国南北板块汇聚动力学有重要意义(图 2)。

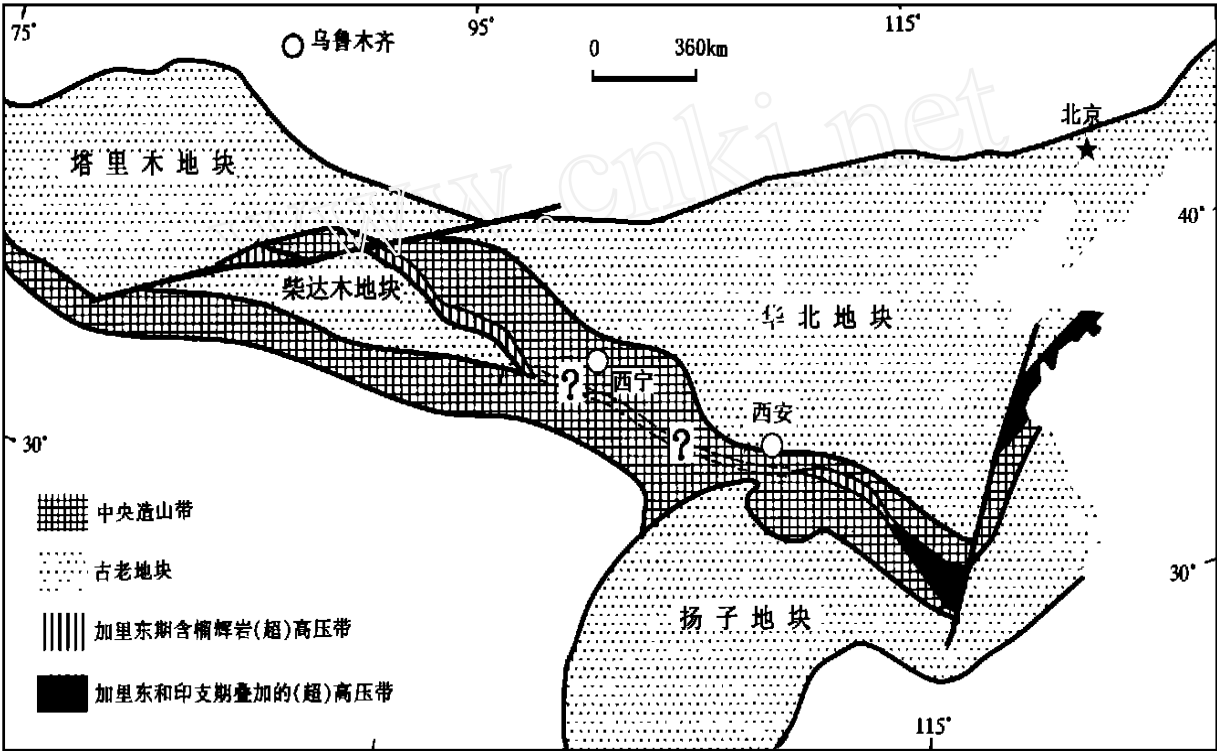


图 2 横贯中国中部巨型高压超高压变质带位置图

Fig.2 Distribution of the high-pressure and ultra-high-pressure metamorphic belt in the Central China Orogenic Belt

3 祁连山的西延及阿尔金断裂巨大平移

阿尔金断裂位于青藏高原西北部边界,也是中亚最大的平移断层,其平移量及形成时代问题在地

学界争议已久。由于祁连山西段被阿尔金断裂所截,祁连山西延问题成了重塑中国西部古亚洲体制的关键。在前人研究基础上,通过阿尔金断裂两侧祁连山与阿尔金山前寒武系变质基底,下古生代盖层、缝合带及碰撞花岗岩的对比,特别是祁连南缘超

高压变质带与南阿尔金超高压变质带(刘良等, 1996; 张建新等, 1999)在榴辉岩产出、围岩、地球化学特征、原岩恢复、形成温压条件及形成折返时代的对比,表明阿尔金山与祁连山一样为加里东造山带,阿尔金山是祁连山的西延部分;获得阿尔金主断裂两侧左行平移 400km 的科学依据(许志琴等,

2000)(图 3)。

发现了沿阿尔金断裂中段(索尔库里)及东段(当今山口)的糜棱岩带,并应用离子探针及 Ar-Ar 测年手段,判断断裂形成时代为 220 ~ 240Ma, 与法国科学家认为断裂形成于新生代显然不同(李海兵, 2000)<sup>①</sup>。

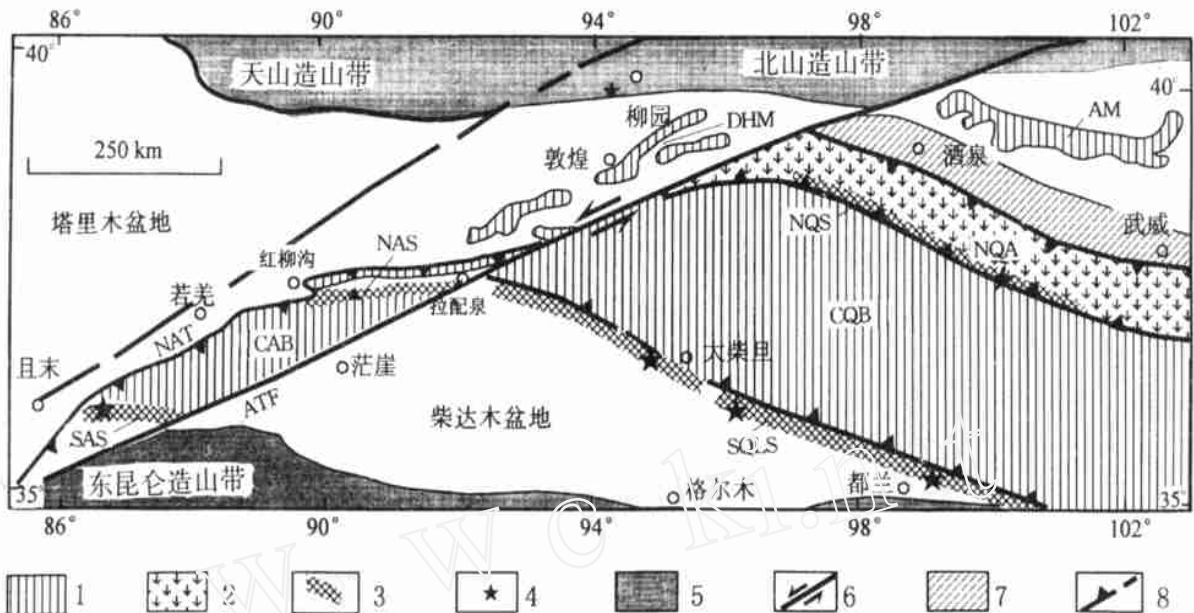


图 3 阿尔金断裂两侧构造单元对比图

Fig.3 Comparison between tectonic units of both sides along the Altun Tagh fault

1-前寒武变质基底;2-加里东火山岛弧带;3-俯冲杂岩带;4-榴辉岩;5-相邻造山带;

6-左行走滑断裂;7-弧后盆地及被动大陆边缘;8-逆冲断裂;

AM-阿拉善地块;DHM-敦煌地块;NQA-北祁连火山岛弧带;NQS-北祁连缝合带;

CQB-祁连地块;SQLS-南祁连缝合带;NAS-北阿尔金缝合带;CAB-阿尔金地块;SAS-南阿尔金缝合带;

NAT-北阿尔金逆冲断裂;ATF-阿尔金断裂

#### 4 青藏高原北部的古碰撞造山的基本格架与模式

青藏高原北部基本构造格架为“三山一盆”,即阿尔金山、祁连山、东昆仑山与柴达木盆地。

(1) 基本地体单元的划分:阿拉善-敦煌地体、北祁连-北阿尔金下古生代缝合带、祁连-阿尔金地体、南祁连-南阿尔金下古生代缝合带、柴达木-东昆仑

地体、东昆仑南缘古特提斯缝合带及走滑断裂。

(2) 测定了阿尔金山-祁连山中大量加里东碰撞花岗岩(420 ~ 490Ma)<sup>②</sup>及前震旦纪变质基底加里东期再活化事件的年代。

(3) 确定了东昆仑加里东-印支叠复造山带性质及大量印支期花岗岩存在<sup>③</sup>。

(4) 确定了印支期以来形成的新的“挤压转换型”<sup>④</sup>及“伸展转换型”的造山构造造型。

① LiHaibin g,Yan gJin gsui,XuZhi qin,WuCailai,WanYushen g,ShiRenden g,JuhnG.,LiouP.Ta pponnier,TrevorR.Ireland.2000.Abstract. International Symposium on Geoscience of the Northern Qinghai-Tibet Plateau.52 ~ 57

② 吴才来等.2001. 祁连南缘喇嘛山花岗岩 SHRIMP 锆石年龄及其地质意义. 岩石学报,待刊

③ 许志琴,姜 枚,杨经绥等.1997. 东昆仑-唐古拉地区地壳演化、深部构造及大陆动力学(研究报告)

④ 许志琴,李海兵,杨经绥,陈 文.2001. 青藏高原北部“东昆仑南缘”印支转换挤压构造带及其动力学. 地质学报,待刊

(5)厘定了华力西期右行平移作用及印支期左行平移作用形成的大型韧性走滑剪切带,表明地体或块体之间的相对运动与斜向碰撞、俯冲作用有关。

(6)初步建立了青藏高原北部碰撞造山模式。

## 5 新生代三维变形的定量研究

中法科学家运用新的测量技术,获得青藏高原北部新生代以来某些的汇聚及走滑速率。

(1)阿尔金断裂西段走滑速率为每年 20mm,中段走滑速率为每年 30mm,东段肃北以西走滑量 22.5mm/a,肃北以东为 17mm/a,其中被党河南北逆冲断层吸收的逆冲量 5mm/a,被肃北盆地吸收的伸展量为 3mm/a,中段索尔库里走滑断陷谷地(长宽比大于 50)的形成表明了走滑量转换为伸展量。

(2)东昆仑南缘断层自印支期以来总走滑断裂距 110km,走滑速率为 11 ~ 16mm/a (Lietal., 1996);海原断裂走滑速率为 8 ~ 16mm/a。

## 6 可可西里火山岩及其深源包体研究

可可西里地区新生代鲸鱼湖火山群、雄鹰台火山群和双泉子火山群属橄榄安粗岩系列;辉石岩包体被岩浆捕获,是地幔低度部分熔融的辉石岩浆形成。可可西里地区的火山活动时间从中新世到更新世(15.47 ~ 0.69Ma)。通过计算 122 个辉石温度、压力,结果表明,辉石形成的压力为 3 ~ 6GPa (平均 4.6GPa),温度为 1100 ~ 1400 (平均约 1250),推测岩浆的来源深度大于 150km。

## 7 探索高原隆升新机制

综合新的地质与地球物理成果,认为印度板块俯冲并非高原隆升的唯一驱动,高原周缘克拉通作用及深部热驱动是高原隆升不可忽视的地内因素。提出探讨青藏高原隆升的“周缘内向的陆内俯冲及腹地地幔底辟”的新机制(许志琴等,1996, 1999;Xu et al., 1999),目前对此机制正在不断验证。

## 参考文献

- 许志琴,姜 枚,杨经绥等.1996. 青藏高原北部隆升的深部构造物理作用. 地质学报, 70 (3): 195 ~ 206.
- 许志琴,杨经绥,姜 枚等.1999. 大陆俯冲作用及青藏高原周缘造山带的崛起. 地学前缘, 6 (3): 139 ~ 151.
- 许志琴,杨经绥,张建新等.1999. 阿尔金断裂两侧构造单元的对比及岩石圈剪切机制. 地质学报, 73 (3): 193 ~ 205.
- 刘 良,车自成,罗金海等.1996. 阿尔金山西段榴辉岩的确定及地质意义. 科学通报, 41 (14): 1485 ~ 1488.
- 吴才来等.2001. 青藏高原北缘火山岩中辉石岩包体研究. 地球学报, 22 (1): 61 ~ 66.
- 杨建军,朱 红,邓晋福,周天祯,赖绍聪.1994. 柴达木北缘石榴石橄榄岩的发现及其意义. 岩石矿物学杂志, 13 (2): 97 ~ 105.
- 杨经绥,许志琴,李海兵等.1998. 我国西部柴北缘地区发现榴辉岩. 科学通报, 43: 1544 ~ 1548.
- 杨经绥,许志琴,宋述光等.2000. 青海都兰榴辉岩的发现及对中国中央造山带内高压-超高压变质带研究的意义. 地质学报, 74: 156 ~ 168.
- 张建新,张泽明,许志琴等.1999. 阿尔金构造带西段榴辉岩的 Sm-Nd 及 U-Pb 年龄. 科学通报, 44: 1109 ~ 1112.
- 张建新,杨经绥,许志琴等.2000. 柴北缘榴辉岩的峰期和退变质年龄:来自 U-Pb 及 Ar-Ar 同位素测定的证据. 地球化学, 29 (3): 217 ~ 222.
- GWittlin geretal..1996. Seismictomography of northern Tibet and Kunlun: Evidence for crustal blocks and mantle velocity contrasts. EPSL, 139: 263 ~ 279.
- Jiang M, Hirn A, Poupinet G. 1995. Tibetan Plateau Seismic Experiment: Design and Preliminary Results. Global Tectonics and Metallogeny, (4): 199 ~ 201.
- Jiang M, et al.. 1996. The Study on the structure of crust and upper mantle with natural earthquakes in central Tibetan plateau. Chinese journal of geophysics, 39 (4).
- Li Haibin g, Xu Zhi qin and Chen Wen. 1996. Southern Margin Strike-Slip Fault Zone of East Kunlun Mountains: an Important consequence of Intracontinental Deformation. Continental Dynamics, 1 (2): 146 ~ 155.
- Qian Hui et al.. 2000. The Crust structure in the eastern Tibet inferred from teleseismic receiver function. Acta, Seism. Sinica.

- XueGuan gqietal..1999.Studiesonthevelocit ystructureofcrust - TibetPlateau.InMacfarlane,A.,Sorkabi,R.B.,andQuade, J.,eds;Himala yaandTibet:MountainRootstoMountainTops: Boulder,Colorado,Geolo gicalScociet yofAmericaS pecialPa per seismictomography.continentalD ynamics.4 (2) :79 ~ 85.
- XuZhi qinetal..1999.Mantledia pirandinwardintracontinental 328,19 ~ 31.
- subduction:Adiscussiononthemechanismofu pltofttheQin ghai-

## Collision-OrogenyoftheNorthern Qinghai-TibetPlateau andItsDee pD ynamics

XuZhi qin YangJin gsui Jian gMei

( Institute of Geology , CAGS , Beijin g)

**Abstract** The paperreportedthemainnew progressesonthenorthernQin ghai-Tibet plateaumadeb ythe Sino-Franceteamdurin g1995 ~ 2000.The yare: completedtotal8000kmlon gnaturalseismic profilescross thenorthernboundar yandcentral partofthe plateau,identifiedseveraldee p-cutlithosphericfaultsandlow velocityandlowdensit ybodiesunderthecentral partofthe plateaurelatedtoCenozoicvolcaniceru ption,the TarimblocksubductedbeneaththeAltunMts; foundtheevidencethattheAlt ynTa ghfaultformedin220 ~ 240Maandatleast400kmsinistraloffsetsince,anddetermined quantitativel ydeformationinCenozoic; discovered350kmlon ghi gh-ultrahigh pressuremetamorphicbeltinthesouthborderoftheQilianterrene, whichbrobablyre presentedtheEarl yPaleozoicboundar ybetweentheNorthChinaandYan gtze plates; accordingtonewdiscoveriesofcaledoniano phiolite, granitearesubductedcom plexestablished paleo-collision orogenicframeworkofnorthernQin ghai-Tibet plateau; proposedanewmodel. “ Mantledia pirandinward intracontinentalsubduction ”,toexplaintheu pltofttheQin ghai-TibetPlateau.

**Key words** NorthernQilian - Tibet plateau lithospherestructure collisionorogenic dee pD ynamics