

青海柴北缘新元古代超大陆裂解的地质记录——全吉群

李怀坤¹, 陆松年¹, 王惠初¹, 相振群¹, 郑建康²

(1. 天津地质矿产研究所, 天津 300170; 2. 青海省地质科学研究所, 西宁 810012)

摘 要: 研究表明, 青海省柴达木盆地北缘南带是一个早古生代超高压造山带, 其中残留有新元古代早期岩浆弧根部带的产物——俯冲—碰撞型花岗岩类岩带; 柴北缘北带则是一个具有古元古代基底的古老陆块残块——欧龙布鲁克陆块。在欧龙布鲁克陆块上发育了一套典型的边缘裂陷槽型沉积序列——全吉群, 它包括从河流相开始, 随着裂陷和海水侵入而出现海相, 随着岩石圈进一步减薄、地幔上涌而出现幔源岩浆火山活动等的地质记录。地球化学研究表明, 全吉群中火山岩为钙碱性—碱性大陆板内玄武岩、玄武质安山岩。初步获得火山岩铀 U—Pb 年龄为 800 Ma 左右。全吉群沉积序列是 Rodinia 超大陆在新元古代早期解体阶段的产物。

关键词: 柴达木北缘; 全吉群; 边缘裂陷槽; Rodinia 超大陆

中图分类号: P541, P534.1 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-4135(2003)01-27-11

1 区域地质概况

柴达木北缘位于中朝构造域的西南缘祁连加里东造山带和柴达木地块之间^[1]。其西端被阿尔金断裂带所截, 隔阿尔金与敦煌地块(塔里木构造域的塔里木地台的组成部分之一)相望; 往东延至鄂拉山与秦岭造山带交汇, 呈 NW—SE 向的之字型延伸 800 余千米(图 1)。自西至东绵延布着阿卡腾山、青新界山、俄博梁山、塞什腾山、达肯大坂山、绿梁山、锡铁山、全吉山、欧龙布鲁克和布赫特山等。柴达木北缘以一组与构造带平行、向柴达木地块逆冲的断裂带将柴达木地块和祁连造山带分开^[2,3]。

柴达木北缘是我国西北地区地质研究程度较高的地区之一, 传统上将其看作是柴达木地块古老的稳定基底的出露区。但是, 经过 20 世纪 90 年代末期的研究发现, 柴达木盆地北缘实际上是一个早古生代早期的造山带, 而且其中还保留着新元古代早期的板块汇聚的证据——碰撞型花岗岩片麻岩带^[4]。自从杨建军等^[5]报道石榴橄榄岩、特别是杨经绥等^[6]报道榴辉岩以来, 柴达木盆地北缘地质研究受到了越来越高的重视, 取得了一系列重要研究成果。早古生代早期超高压变质作用的研究进展很大^[6,7-12]; 另一个方面的重要进展

是从前人所定义的古元古代“达肯大坂群”中识别出一条自东往西沿沙柳河、鱼卡河、六五沟一线断续分布的长达 700 km 的新元古代早期花岗岩片麻岩带^[4,13,14,15], 代表古老造山带根部带的残留, 标志着新元古代早期柴达木盆地北缘曾经发生过板块汇聚作用。经过近年来的研究, 我们将柴北缘划分为南带和北带, 南带为早古生代的超高压造山带, 其中有新元古代早期的岩浆弧的残留; 北带为古老陆块的残块, 我们称其为欧龙布鲁克陆块^[13,14]。全吉群即发育在欧龙布鲁克陆块上的全吉山等地区(图 1)。

2 全吉群研究简史

全吉群原称全吉岩系, 由地质部 632 队于 1956 年建立, 时代归属震旦纪。朱夏^[16]将全吉岩系二分: “下部为紫红色碎屑岩, 上部硅质夹燧石条带灰岩”。孙殿卿等^[17]认为上与寒武系为整合关系, 下与变质岩系为不整合接触, 并指出“石英岩和灰岩之间尚有一层厚约十余米的泥积物, 其中掺杂了大小不等的砾石, 很可能为冰碛层”。中国科学院地质研究所等单位组成的祁连山队首次在全吉山采到圆藻(Collemia)化石, 认为“全吉岩系是典型的陆台盖层沉积, 无变质现象, 并少褶皱,

收稿日期: 2003-02-17

基金项目: 国家自然科学基金项目(40032010)和国土资源大调查综合研究项目(2001390070)

作者简介: 李怀坤(1963), 博士, 研究员, 主要从事前寒武纪地质和同位素地质研究工作。

可与华北震旦系对比”^[18]。1971 年青海省区测队在编制 1:100 万地质图时,对震旦系进行了系统研究,提出全吉群的沉积型相很难与华北震旦系对比,倒似南方震旦系(当时所指的“华北震旦系”,相当于现在蓟县剖面的长城-蓟县系),也有人怀疑它是早寒武世地层。

70 年代末期青海省地质科学研究所对全吉群开展了专门和系统的研究^[9],之后则少有人对全吉群进行过专门的研究工作。从 1997 年至今,作者曾多次对全吉群进行过野外地质考察,并做了系统的室内岩石学、地球化学和同位素地质年代学等实验研究工作。

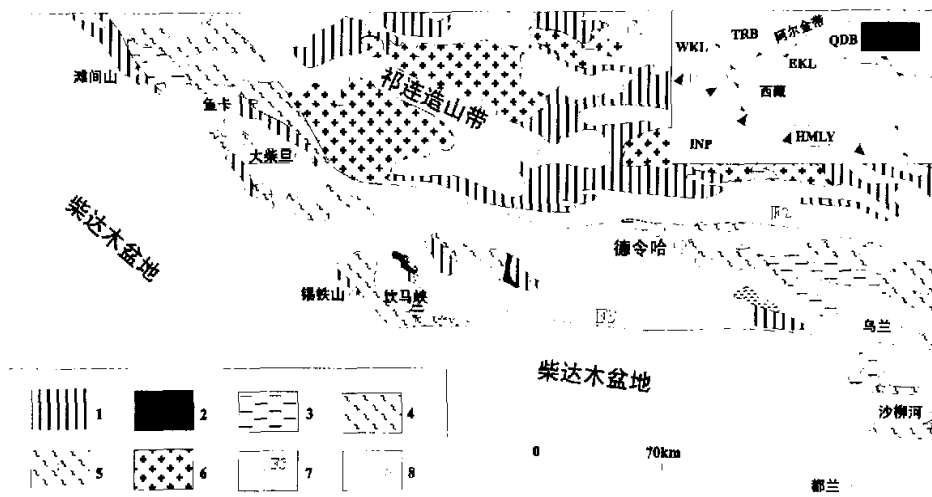


图 1 柴达木盆地北缘地质构造略图

Fig.1 Tectono-geological sketch map of the northern Qaidam margin

1. 晚古生代地层; 2. 全吉群; 3. 中元古代万洞沟群; 4. 达肯大坂岩群; 5. 榴辉岩-花岗片麻岩组合;
6. 古生代花岗岩; 7. 主要断裂; 8. 榴辉岩出露点; TRB. 塔里木盆地; QDB. 柴达木盆地; HMLY. 喜马拉雅山脉;
INP. 印度板块; WKL. 西昆仑山脉; EKL. 东昆仑山脉

3 全吉群地层划分与组成

全吉群分布于柴达木北缘的全吉山、欧龙布鲁克、石灰沟和大头羊沟等地,呈 NW-SE 向展布。剖面完整,构造简单,顶底界限清楚,出露良好,尤以全吉山和欧龙布鲁克保存得最好。区域上,在阿尔金山东段安南坝地区发育有和全吉群层位相当的安南坝群,前人曾把安南坝群也作为全吉群处理^[19]。

3.1 全吉群地层划分

全吉群地层划分见表 1。前人对全吉群的划分主要依据两种要求:一是以地名为基础,二是以岩性为基础。以地名为基础的划分,如“青海柴达木北缘的全吉群”(1979)^①(将全吉群自下而上划分为麻黄沟组、苦柏木组、石英梁组、红藻山组、黑土坡组、红铁沟组和皱节山组;以岩性为基础的划

分,如朱夏^[16]划分为下部紫红色砂岩和上部硅质灰岩,“青海震旦界划分与对比”(1978)则自下而上划分出砂砾岩组、石英梁组、砂页岩组和白云岩组。另一方面,前人对全吉群的时代归属的认识也是在不断地变化的。本文中笔者主要采用“青海省柴达木北缘的全吉群”(1979)的划分方案,对全吉群进行讨论。

3.2 全吉群地层剖面

全吉群在区域分布上,以全吉山和欧龙布鲁克发育得最好,尤以全吉山为佳。这里以全吉山剖面为主,结合欧龙布鲁克剖面,对全吉群地层发育情况予以简述。前人将全吉山全吉群剖面由上而下划分为 23 层(图 2)。

(1)麻黄沟组(Zm)全吉群最下部的一个组为麻黄沟组,以欧龙布鲁克东大沟口麻黄沟出露最佳而命名。该组与下覆的早元古代达肯大坂岩群

①青海省地质科学研究所,青海柴达木北缘的全吉群(科研报告),1979。

表1 全吉群地层划分沿革表
Table 1 Subdivision of Quanji Group

青海柴达木北缘的全吉群(1979)			青海震旦亚界划分与对比(1978)			青海省地层表(1977)		祁连山地质志(穆恩之,1963)		朱夏(1957)			
寒武系	中统	含磷盐假晶粉砂质页岩、粉砂岩	下高炉群	含岩盐假晶粉砂质页岩、粉砂岩组	中统	下欧龙布鲁克群	震旦系	全吉群	上全吉统(上震旦系)	震旦系	上部硅质灰岩		
	下统	含磷砂砾岩、豹皮状白云岩		含磷砂砾岩、豹皮状白云岩组		下统						硅质白云岩夹薄层细砂岩、砂质页岩	
	全吉群	皱节山组		石英砂岩组	全吉群							碳酸盐岩组	
		红铁沟组		红铁沟冰磧层		全吉群							砂页岩组
震旦系	全吉群	黑土坡组	页岩组	全吉群	全吉群		全吉群	全吉群	全吉群	全吉群	全吉群	下部紫红色碎屑岩	
		红藻山组	白云岩组			全吉群							石英梁组
		石英梁组	砂页岩组										
		枯柏木组	石英梁组			全吉群							砂砾岩组
麻黄沟组	砂砾岩组	全吉群	砂砾岩组										
下伏地层	达肯大板岩群												

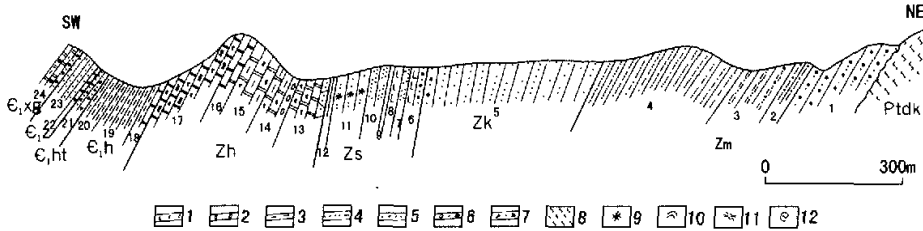


图2 全吉山全吉群剖面图(据青海省区域地质志,1991)

Fig.2 Section of Quanji Group in Quanji Mt.

- 1. 火山岩; 2. 白云岩; 3. 泥质岩; 4. 粉砂岩; 5. 砂岩; 6. 砂砾岩; 7. 冰磧岩;
- 8. 角闪斜长片岩; 9. 海绿石; 10. 叠层石; 11. 砾石条带; 12. 化石

灰绿色角闪斜长片岩呈高角度不整合接触。麻黄沟组包括图2中的第1~4层。底部为砾岩,下部为紫灰和灰绿色相间巨层含细至中砾粗粒长石石英砂岩夹含砾粗粒石英砂岩、细砂岩及粉砂质泥岩,具有下细上粗反向韵律,砾石往上增加,砾径增大。中部为灰、黄绿色巨层中-粗砾岩、细砾岩夹含砾长石石英砂岩,可见两次由粗砾到细砾的次级韵律。上部为紫灰夹黄绿、灰白色厚层粗粒长石石英砂岩、含砾不等粒长石砂岩、长石石英砂岩,夹砾岩和砂质粘土岩。总体为由砂砾岩向含砾砂岩、砂岩有规律变化的沉积韵律。

砾岩中砾石成分主要为石英岩和石英脉,少量为火山岩、紫色钾质花岗岩和片麻岩,石英岩和石英脉砾石磨圆度极好,而砂级碎屑呈次圆-次棱角状,分选较差。普遍含有钾长石碎屑,一般含量15%~30%,近顶部高达40%~50%。

麻黄沟组在横向上岩性、岩相相对稳定,但自东往西砾径变小,沉积厚度增大,欧龙布鲁克厚

431 m、全吉山厚458 m,到安南坝与之相当的地层增厚至668 m。

(2) 枯柏木组(Zk) 命名于欧龙布鲁克石英梁南坡。相当于图2中的第5层。本组可分为三部分,自下而上构成一个由粗到细的沉积韵律。下部砾岩夹石英砂岩,砾石成分主要为石英岩屑,次为变酸性晶屑玻屑凝灰岩、花岗斑岩及少量石英砂岩,砾径多为6~35 cm,圆度及球度较好,有泥质中-细粒石英砂岩,发育斜层理和干裂构造。中部为浅肉红色含细砾石英砂岩。上部为中-细粒石英砂岩夹含铁石英岩,石英含量达95%~99%。砂粒磨圆度较好,但分选较差,发育斜层理及对称、不对称波痕构造。

本组岩性、岩相变化相当显著,在欧龙布鲁克为巨砾岩和石英砂岩,到全吉山则为粗粒石英砂岩,其中夹深灰、紫灰色含磷粗粒石英砂岩。沉积厚度由欧龙布鲁克的129 m向西到全吉山则变为355 m,但由全吉山到安南坝厚度相对稳定。

(3) 石英梁组(Zs) 命名于欧龙布鲁克石英梁。在全吉山剖面上相当于第6~12层(图2)。它假整合在枯柏木组之上,具有清晰的间断面。底部砾岩呈不稳定层,砾石主要为下伏枯柏木组的灰色、肉红色石英砂岩,砾径2~25 cm,次棱角-次圆状,胶结物为紫红色粉砂质、泥质及铁质。在全吉山石英梁组底部也发现有5~15 cm厚的黄绿色中-粗砾岩。

本组下部为紫红色含铁质凝灰质粉砂岩、粉砂质铁质粘土岩夹不稳定砾岩层;中部为白色、灰白色巨层石英岩;上部为灰绿色玄武岩,灰、灰黑色粉砂质页岩,含海绿石粉砂岩及石英岩状砂岩,构成两个明显的由细到粗的反向沉积韵律,其中夹有两层火山岩或火山碎屑岩,并数次出现海绿石及鲕状赤铁矿夹层。

在全吉山,石英梁组底部为灰绿色具豆状结构凝灰岩、集块岩及含燧石团块玄武岩,而在欧龙布鲁克仅出露有火山碎屑岩,其上的石英岩发育厚度较大、质地较纯。总的来讲,沉积厚度东厚西薄,欧龙布鲁克厚394.8 m,全吉山仅有203 m。

(4) 红藻山组(Zh) 建组于全吉山红铁沟东侧的红藻山,在图2中包括第13~17层。在全吉山、石灰沟一带发育较全,欧龙布鲁克仅发育中下部,上部已遭剥蚀。主要由白云岩组成,下部为灰色、紫灰色薄-中厚层凝灰质粉砂岩与粉砂质泥晶白云岩,夹豆状凝灰岩及绿色碧玉岩;中部为深灰色含硅质条带泥晶白云岩,散布有内碎屑角砾,近底部见内碎屑角砾岩,砾石主要为硅质岩,少量白云岩;上部为块层状藻粒亮晶白云岩,富含藻类。

红藻山组沉积总的特点是,由下部的薄-中厚层,向上渐变为中厚层、厚层至块状层;下部多含砂砾质、凝灰质,中部多含硅质,上部则为较纯的白云岩。

(5) 黑土坡组($\in 1h$) 命名于红铁沟的黑土坡,与下伏地层为渐变过渡。在全吉山剖面包括第18~20层(图2)。下部岩性为中厚-薄层泥晶白云岩、泥质白云岩、粘土板岩内夹赤铁矿层;中部为灰色、灰黑色含铁质结核炭质页岩及炭质粉砂质粘土岩;上部为黄绿色、浅灰色泥质粉砂岩,含少量赤铁矿结核。

本层炭质页岩中炭质含量高达10%~30%,纹层理十分发育。富含微古植物,并产虫牙化石,出露厚度125 m。

(6) 红铁沟组($\in 1ht$)冰碛层首先发现于全吉山红铁沟,故命名为红铁沟组,但以石灰沟发育较好。冰碛砾岩的砾石主要来源于红藻山组含藻、含叠层石白云岩、含硅质条带白云岩、硅质岩,含有少量黑土坡组粉砂质粘土岩以及下伏层的硬砂质石英砂岩及硬砂质砾岩的砾石。说明黑土坡组和红铁沟组沉积之后,部分地区隆起,并遭受冰川刨蚀。

红铁沟组冰碛岩分上、下两部分,下部为黄绿、灰绿、灰色冰碛砾岩,5~75 m厚;上部为紫红色冰碛砾岩、含砾粉砂岩夹纹泥岩,12.5~35 m。冰碛砾岩堆积杂乱,无分选、无方向性。砾石大小悬殊,小的在1 cm以下,以1~4 cm者居多,少量大于25 cm,最大见2.0 m的漂砾。砾石以棱角状-次棱角状为主,个别磨圆。胶结物为白云质、铁质、粘土质。在纹层状泥质白云岩夹层中有冰筏坠石。

(7) 皱节山组($\in 1z$)是全吉群的最顶部的一个组,建组于红铁沟西侧皱节山,下与冰碛岩为渐变过渡,上与下寒武统上部小高炉群含砾含磷石英岩状砂岩呈假整合关系。皱节山组底部为近1 m厚的含砾白云岩,向上渐变为砂质白云岩,砂粒呈浑圆状;下部和上部为紫红色石英粉砂岩,中部为灰绿色细粒石英砂岩,砂粒分选较好,但圆度较差,纹层理发育。本组在全吉山为两紫夹一绿的粉砂岩及细砂岩,向东到石灰沟变为紫色细砂岩,厚度变小。

4 全吉群层序地层划分、沉积环境和盆地演化

4.1 层序地层学概述

尽管Stoss^[20]把层序地层学的历史向前推进了40年^[21],但是真正现代意义的层序地层学是1988年由Haq、Hardenbol和Vail在一篇题为“三叠纪以来的海平面变化”的文章中公开提出来的。系统的层序地层学论著是一本名为“Sea - Level Changes - An Integrated Approach”(1988)(中译本名为“层序地层学原理”——海平面综合分析,1992)的文集,该书全面系统地阐述了层序地层学的理论、方法,厘定了名词和术语。从此掀起了全球性层序地层学热潮。1988年至今,它越来越成为全世界地学界研究和争论的热点之一。

我国层序地层学工作始于80年代末期。最初是引进和介绍了一系列有关层序地层学的概

念、名词和术语(李文汉,1989),同时有少数石油单位进行过简单的层序划分、体系域的识别及海平面变化曲线对比等工作,而且这些工作多是结合地震剖面进行的。90年代起,先后有李思田(1992)对鄂尔多斯下侏罗统含煤层序的划分;刘宝君、许效松等(1993)对扬子地区震旦纪至三叠纪地层的层序地层研究;乔秀夫等(1992,1995)对华北北部中、新元古代及早古生代地层的层序地层学研究;魏家镛等(1993)对贵州三叠系的层序地层学研究。尤其是“八五”期间,王鸿祯教授主持的国家基础性研究重大关键项目“中国古大陆及其边缘层序地层和海平面变化研究”,比较全面系统地研究了我国古大陆及其边缘中、新元古代至早古生代的层序地层和海平面变化。上述研究不仅都已进入了露头层序地层学研究范畴,而且在地质时代方面也扩展到了早古生代甚至中元古代,使我国的层序地层学研究水平逐渐提高,在某些方面不断有自己的创见。

许效松等^[22]在对我国南方碳酸岩进行露头层序地层学研究时,定义了第Ⅲ类层序界面不整合面。其特征是,层序界面以下的地层有明显的向上变浅的暴露标志,靠近顶部附近则出现古溶喀斯特和溶蚀垮塌现象。界面之上既无河流回春的表现也无陆源碎屑岩退覆,而是具海岸上超的海侵体系域,或者是海侵体系域与凝缩层的复合体,直接超覆在古溶喀斯特面之上,也有充填孔洞的特征。在大陆边缘部位则是饥饿环境中的凝缩层沉积,两者之间找不到可确认的低水位沉积体系域。该类型层序界面不整合面与Ⅰ、Ⅱ类的特征以及形成机制有很大不同,它是盆地及周边构造活动相对稳定阶段中,海平面缓慢下降后又发生海平面快速上升的结果。此时陆架区的大部分海域处于饥饿状态,而盆内物质被上升洋流推进到滨岸带,海进对海底侵蚀、冲刷作用强烈,改造了古溶蚀风化面。

王鸿祯、史晓颖^[23]在分析国外众多学者有关层序地层级别划分的成就和存在问题的基础上,结合我国层序地层学研究的丰富实际资料,提出了一个系统的、操作性好的层序级别划分方案。比较科学地定义了各级别旋回的时限,所选用的各级别旋回时限变化小,这有利于在实际工作中应用。另外在成因机制上,将各级层序与宇宙旋回相对应,认为层序级别主要受控于各级宇宙旋回。

4.2 全吉群层序地层划分和沉积环境

根据沉积演化特征,可以粗略地将全吉群地层划分为两个层序。自下而上,第一个层序(DS1)包括由麻黄沟组-红藻山组四个组;第二个层序(DS2)由黑土坡组-皱节山组三个组构成(图3)。

(1) 第一层序(DS1)底界为Ⅰ类层序界面,为Ⅰ型层序(Posamentier等,1988; Posamentier和Vail,1988)。

DS1的低水位体系域由麻黄沟组构成。麻黄沟组底部砂砾岩为冲积成因。在欧龙布鲁克保存着古冲积平原的完整垂向剖面,底部不整合面即是河流冲刷面,底砾岩含有大量从远源搬运来的圆度很好的石英岩、火山岩砾石,发育斜层理。底砾岩之上为灰紫色、黄绿色相间的含砾粗砂岩、粉砂岩,砂岩中发育向下游稳定倾斜的平板状及楔状斜层理,斜层倾角在 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 。该组顶部的紫红色、黄绿色硬砂岩、粉砂质粘土岩,富含铁质,砂岩层内多含泥片或泥块,层面附着泥质物和云母片,横向上粗细物质交替频繁,呈薄而不稳定层,发育小型斜层理、微波状层理及交错层,是典型的河流沉积的顶积带。麻黄沟组底部含砾粗砂岩,具有扇砾岩的特征;向上含细砾粗砂岩属河床相沉积。

DS1的海侵体系域由枯柏木组、石英梁组和红藻山组底部组成。枯柏木组沉积开始,海水侵漫达到麻黄沟组河流相沉积区。岸边激浪强烈侵蚀麻黄沟组砂砾质沉积物,提供粗大的碎屑物,即淘选出麻黄沟组的圆球状及卵型石英岩粗-巨砾石和形成初具磨圆的含砾中粗粒石英砂岩的砾石,堆积成海滩岩,与发育干裂和波痕构造的砂泥岩呈互层。海水不断向陆地侵进,海陆交互的沉积逐渐转变为砾砂质海滩沉积。在垂向剖面上碎屑粒度明显分异,交互的砂泥岩、巨砾岩渐变为含砾石英砂岩、石英砂岩。发育大量对称波痕和不对称波痕及斜层理。

枯柏木组沉积以后,曾发生短暂的地壳抬升并遭受剥蚀,形成了石英梁组底部一层砾岩,砾石主要来源于枯柏木组石英砂岩,砾石和砂粒呈次棱角状,分选很差,它是经过短途搬运,在潮上-潮间带迅速堆积而成的陆源碎屑物,具有干裂及波痕构造。之后继续发生海侵,并发生火山活动,产生玄武熔岩及中基性凝灰岩。石英梁组的下部石英岩碎屑的圆度和分选性均很好,上部出现球状赤铁矿结核。同时具有大量的对称和不对称的

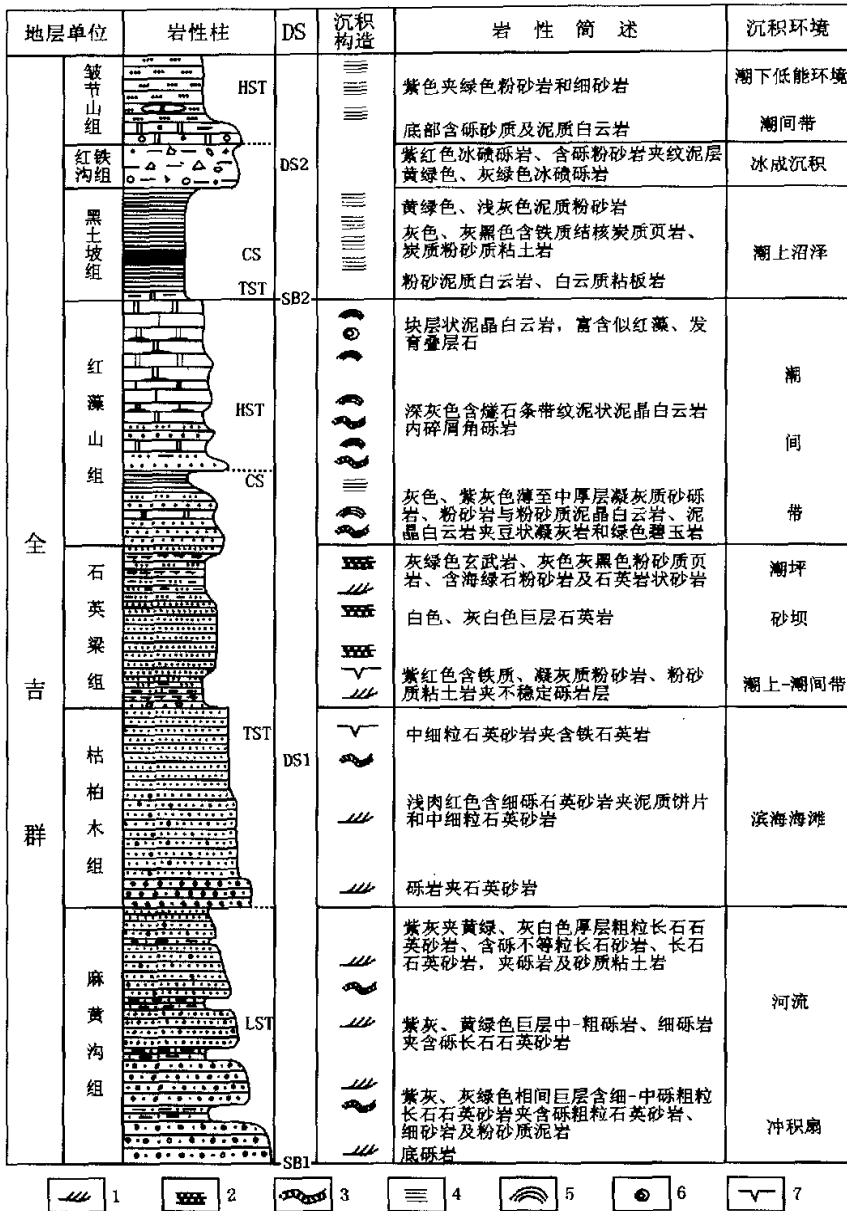


图 3 全吉群层序地层柱状图

Fig. 3 Histogram of the Quanji Group sequence

1. 交错层; 2. 平行层理; 3. 波状层理; 4. 水平层理; 5. 叠层石; 6. 藻屑; 7. 泥裂构造;
HST, 高水位体系; CS, 凝缩段; TST, 海侵体系域; LST, 低水位体系

波痕构造,代表潮间沙滩沉积。石英梁组的上部由于海平面间歇性升降,页岩和石英砂岩构成两个明显的由细到粗的反向沉积韵律,其下部页岩和粉砂质页岩形成于相对宁静的水体,其上部砂岩是高能如潮间沉积物,含有滚圆的砾石及竹叶状碎屑和鲕状赤铁矿。另外,石英梁组上部亦有

火山岩夹层。波痕,斜层理及波状层理普遍,反映潮间沙滩沉积特征。其间,火山活动为砂级-粗砂级海绿石的形成提供了物质基础,圆度良好的海绿石豆状体赋存于细砂岩和粉砂岩中。由于沉积物间歇性露出水面,形成干裂和雨痕。石英梁组中玄武岩类火山岩的发育,标志着盆地达到了

最大拉张期。

红藻山组沉积初期,由于邻区的火山活动使其下部形成富含安山质、凝灰质、玻屑等岩屑的白云质砂砾岩、白云质粉砂岩、粉砂质泥晶白云岩,并夹豆状凝灰岩及由火山喷发物中带来的硅质沉积而成的鲜绿色碧玉岩。泥晶白云岩、碧玉岩基本可以代表 DS1 的密集段(CS)。泥晶白云岩以上的红藻山组为 DS1 的高水位体系域(HST)。红藻山组中部发育内碎屑角砾岩、鲕状泥晶灰质白云岩及藻团粒泥晶白云岩,叠层藻泥晶白云岩,富含硅质条带。发育大量内碎屑角砾岩,弱固结的白云岩及硅质岩在强烈动荡的水流和波浪的作用下,破碎成角砾,砾径 0.5 ~ 10 cm 不等,最大达 30 cm。灰紫色泥晶白云岩夹层,具有波痕、小型槽状交错层理、干裂和岩盐假晶构造,表明沉积物时常暴露于水面之上,反映潮间带环境。红藻山组的上部层位,主要有藻团粒亮晶白云岩,砾屑消失,岩层增厚,呈块状层,分布广泛,代表比较稳定的潮下带沉积环境。

(2) 第二层序(DS2) 底界为 II 类层序界面,为 II 型层序。

黑土坡组为 DS2 的海侵体系域(TST)。红藻山组沉积结束之后,发生迅速海侵,发育由薄层泥晶白云岩、泥质白云岩向黑色炭质页岩、粉砂岩和砂岩过渡的沉积。黑色炭质页岩具有水平纹理,黑色纹层与灰色纹层相间,分布有粉砂条带。黑色炭质页岩相当于密集段(CS)。页岩层中保存有丰富的古藻类和浮游动物虫牙化石。黑土坡组上部层位为浅色粉砂质页岩和含赤铁矿结核粉砂岩,反映水体变浅,陆源物质注入增多。

红铁沟组为冰川事件沉积。当时由于冰期来临,形成大陆冰川,刨蚀到红藻山组及石英梁组地层。红铁沟组是在气候转暖时,泻入海水的冰川开始消融而堆积的冰碛砾岩。砾石表面常附着白色白云质薄膜,是典型的冰海相沉积。冰碛砾石的单一性,反映冰川仅有不大的刨蚀深度和运移距离。

皱节山组下部有浑圆状石英和白云石粗砂,

由白云质胶结为砂状白云岩,是动荡环境的产物。上部细砂质粉砂岩和粘土质粉砂岩,砂粒圆度较差,具有薄的水平纹层,层面上出现小的瘤状构造,产大量的生物遗迹化石,呈平直交叉或蜿蜒弯曲的爬迹,表明是受水流和波浪影响微弱的潮间环境。皱节山组碎屑岩反映出较黑土坡组、红铁沟组为浅的水体环境,表明相对发生了海退。因此,可以作为 DS2 的高水位体系域(HST)看待。

应该指出,由于野外针对全吉群的工作时间很短,对全吉群层序地层的研究是很粗浅的。因此,层序地层划分难免存有粗略和不精确之处。

4.3 全吉群沉积盆地构造属性

综合分析上述沉积岩石组合、沉积环境并结合下述火山岩地球化学特征分析,全吉群地层具有典型的裂陷槽沉积特点。裂陷槽(Aulacogen)是指向大陆内部逐渐消失的裂谷系统,很多是在超大陆裂解过程中的三联点的位置上发育起来的,代表三叉裂谷系夭折的一支^[24]。王鸿祯等^[25](1994)指出,裂陷槽可以与古大陆边缘呈钝角相交,而成为三叉裂谷系的一支,也可与古大陆边缘平行成为边缘裂陷槽。根据其空间展布特点,全吉群沉积是边缘裂陷槽的产物,发育标准的裂陷槽沉积序列:从陆上河流相开始,随裂陷和海水侵入而出现海相,随岩圈减薄、地幔上涌而出现幔源岩浆火山活动^[25]。全吉群之上为下寒武统小高炉群海相沉积所覆盖,二者之间没有明显的不整合间断,整个全吉群沉积基本没有发生褶皱变质作用,所有这些均是典型裂陷槽的特征。

5 全吉群火山岩地球化学特征及构造环境

全吉山全吉群石英梁组中发育三套火山岩,中下部两套火山岩呈粉砂岩、粉砂质泥岩、石英砂岩中的夹层形式产出,层厚 10 ~ 25 m;上部的一套火山岩则和泥质白云岩互层产出,层厚 35 m 左右。与火山岩密切共生的岩石有凝灰质粉砂岩、碧玉岩等。

表 2 全吉群火山岩常量元素分析结果(wt%)

Table 2 Major elements data of the volcanic rocks in Quanji Group

氧化物	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O*	烧失量
19731	54.06	0.94	14.29	3.19	5.32	0.086	6.86	5.18	1.94	1.34	0.12	4.84	6.26
BQ97169	44.04	1.27	13.70	3.56	7.32	0.18	6.49	8.24	0.058	2.39	0.16	6.77	12.00
BQ97212	48.68	1.15	13.78	3.47	9.23	0.12	7.07	9.17	2.15	1.83	0.20	3.00	3.09

注:化学实验工作由天津地质矿产研究所测试室完成

全吉群火山岩具有如下常量元素地球化学特征(表 2): 为非高镁岩石 ($MgO < 18\%$), 低 Al_2O_3 ($13.70\% \sim 14.29\%$), TiO_2 含量较低 ($0.94\% \sim 1.27\%$), 富 FeO^* ($8.51\% \sim 12.70\%$), 含较高的 $K_2O + Na_2O$ ($2.45\% \sim 3.98\%$)。在 Irvine 和 Baragar(1971)的 $Na_2O + K_2O - SiO_2$ 图解中(图 4)两个样品(BQ97169, BQ97212)落在钙碱性

岩的交界处, 另一个样品(19731)落在钙碱性玄武岩区内。在 TAS 图解中(图 5), 全吉群火山岩落在苦橄玄武岩(BQ97169)、玄武岩(BQ97212)和玄武安山岩(19731)区域。另外, 根据 $FeO^* - MgO - Al_2O_3$ 图解(图 6A)和 A - T - K 图解(图 6B), 结合地质产状分析, 全吉群火山岩为大陆玄武岩系列。

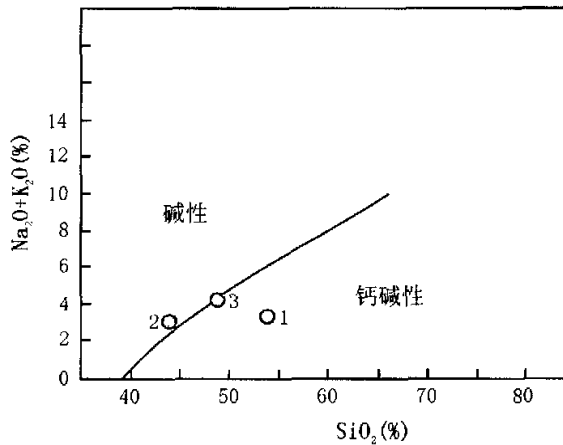


图 4 基性火山岩 $Na_2O + K_2O - SiO_2$ 图解(据 Irvine and Baragar, 1971)

Fig. 4 Diagram of the mafic volcanic rocks in Quanji Group

1. 19731; 2. BQ97169; 3. BQ97212

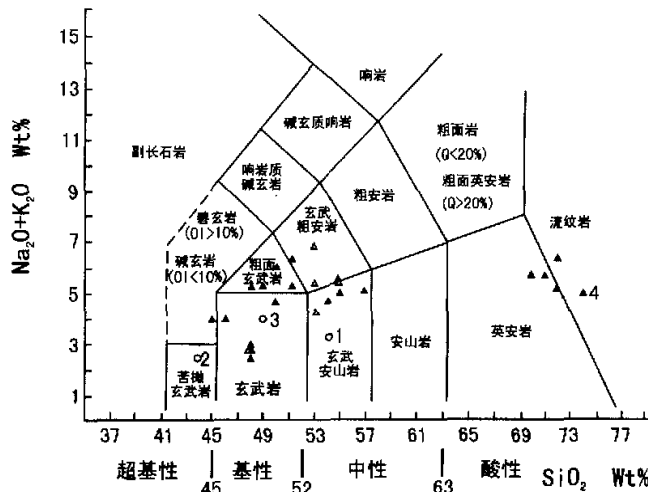


图 5 全碱 - 二氧化硅(TAS)图解

Fig. 5 TAS diagram of the mafic volcanic rocks

(据王碧香编译, 1990, 国际地科联火成岩分类学委员会推荐, 国际火成岩分类图表^[26])

1. 19731; 2. BQ97169; 3. BQ97212; 图中用黑三角表示的数据点为区内漳间山群火山岩

稀土元素分析结果表明(表 3), 全吉群火山岩轻重稀土元素分异不明显, 或略有分异, 球粒陨

石标准化图谱表现为平坦型或稍微向右下倾(图 7), 而且轻重稀土分异程度随着火山岩的形成先

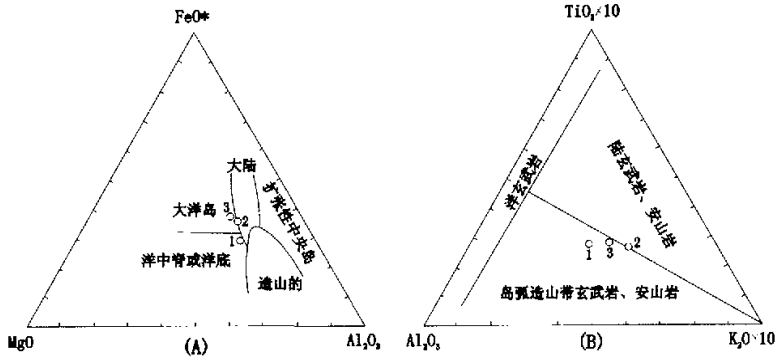


图 6 (A) $FeO^* - MgO - Al_2O_3$ 图解(据 T. H. 皮尔斯等,1977) ($FeO^* = FeO + 0.899 \times Fe_2O_3$);
(B) $A(Al_2O_3) - T(TiO_2 \times 10) - K(K_2O \times 10)$ 图解(据赵崇贺,1989)

Fig. 6 (A) $FeO^* - MgO - Al_2O_3$ diagram; (B) $A(Al_2O_3) - T(TiO_2 \times 10) - K(K_2O \times 10)$ diagram

表 3 全吉群火山岩稀土元素分析结果 ($\times 10^{-6}$)
Table 3 REE data of the volcanic rocks in Quanjì Group

	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
19731	12.81	23.00	2.98	12.36	3.20	0.95	3.20	0.43	2.67	0.58	1.48	0.21	1.35	0.20
BQ97169	9.30	17.85	2.33	11.00	3.00	0.91	3.06	0.47	2.83	0.58	1.64	0.24	1.54	0.24
BQ97212	4.05	9.38	1.33	7.04	2.49	0.84	3.58	0.46	3.09	0.68	1.97	0.28	1.83	0.30

注:化学分析由国家地质实验中心完成

后(19731号样品采自下部火山岩层位, BQ97169号样品采自稍上部层位, BQ97212为最上部的火山岩)而有规律地变化:即分异程度减弱。这反映了随着盆地的

扩张,地壳的厚度逐渐减薄,因而所形成的玄武岩越来越接近地幔的组分特征。或者说,随着盆地的发展演化,所产生的火山岩受陆壳物质混染的程度越来越低

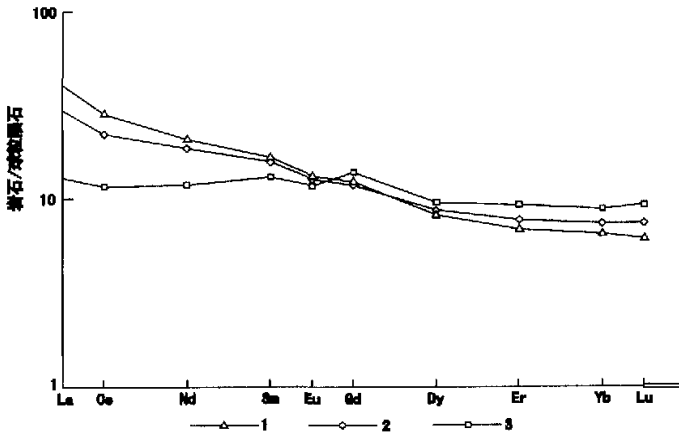


图 7 全吉群火山岩球粒陨石标准化稀土图谱

Fig. 7 Chondrite - normalised REE patterns

1. 19731; 2. BQ97169; 3. BQ97212

全吉群火山岩微量元素分析结果列于表 4, 它们具有非常一致的不相容元素图谱(图 8), 反映统一的岩浆源区特征。从不相容元素图谱分析, 全

吉群火山岩和钙碱性火山弧玄武岩类似, 表现为 K、Rb、Ba、Th 强烈富集和高场强元素的亏损。所不同的是大离子亲石元素选择性富集更为强烈,

不具有 Ce、P 正异常或正异常不明显。这里应该强调指出的是,不相容元素 MORB 标准化图谱

线的形态显得有点乱,说明分析数据的质量可能存在问题。

表 4 全吉群火山岩微量元素分析结果 ($\times 10^{-6}$)

Table 4 Incompatible element data of the volcanic rocks in Quanji Group

	Sr	Rb	Ba	Th	Ta	Nb	Ce	P	Zr	Hf	Sm	Y	Yb	Sc	Cr
19731	294	43	203	2	2	12	23	0.12	52	2	3.2	14.77	1.35	24.91	127
BQ97169	130	60	156	1	1	14	17.85	0.16	64	2	3	15.44	1.54	26.77	156
BQ97212	206	35	200	0.9	1	10	9.38	0.2	50	1	2.49	17.86	1.83	33.69	261

注:化学分析由国家地质实验中心完成

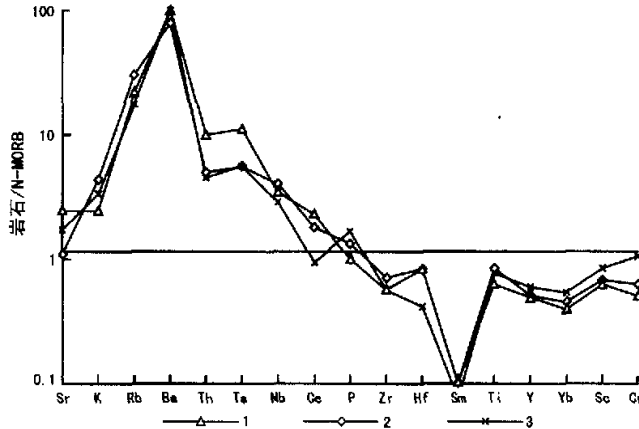


图 8 全吉群火山岩不相容元素 NMORB 标准化图谱

Fig. 8 NMORB - normalised incompatible element diagram

图例说明同图 7

6 全吉群形成时代讨论

前人根据全吉群石英梁组中玄武岩 K - Ar 年龄 700 Ma、海绿石 K - Ar 年龄 698 Ma 和板岩 Rb - Sr 等时线年龄 750 Ma, 将全吉群的下部 4 个岩组(麻黄沟组 - 红藻山组)划归震旦系, 并认为区域上和南方震旦系可以对比^[19, 27]。而对黑土坡组、红铁沟组和皱节山组三个组的归属则有不同的认识, 有的根据其含冰碛岩而主张划归震旦系并和南沱冰碛层对比(赵祥生等, 1980), 有的则将其和震旦系的罗圈冰碛层相对比; 但是目前多数人的意见是根据其中含有虫牙化石 *Scolecodonta*^[19], 以及已经获得的碳质板岩和冰碛岩的 Rb - Sr 等时线年龄 (590 ± 20) Ma 和 519 Ma 等资料, 将其划归寒武系^[27, 28]。

应该指出, 前人所获得的有关全吉群的年龄数据尽管具有重要的参考价值, 但是由于测年方法的历史局限性, 这些数据的可信程度是应该谨慎对待的。

本次研究获得了比较详细的全吉群火山岩的

锆石 U - Pb 同位素年龄资料。全吉群石英梁组玄武安山岩的重要参考年龄约为 800 Ma。结合考虑全吉群和达肯大坂杂岩之间存在明显的角度不整合界面, 必然有一定的沉积间断, 因此将全吉群的下限年龄定为 800 Ma 应该是可信的。

全吉群的上限年龄则缺乏依据。前已述及, 全吉群上部黑土坡组等三个组是属于下寒武系, 还是划归震旦系上部还存有争议。前人有的根据虫牙化石和微刺藻的存在划归寒武系, 但这是值得商榷的。因为, 微刺藻在震旦系亦有出现, 而虫牙化石在我国出现较少, 其层位归属值得深入研究。作者认为, 虫牙这种后生动物未必一定是在寒武纪以后才出现。近年来, 古生物学的研究不断有惊人的、出乎预料的突破。例如, 朱士兴等的研究就将有性生殖的地质记录从 570 ~ 580 Ma^[29, 30]提前到 1 800 Ma 左右^[31]。因此, 作者认为将全吉群上部的三个组划归震旦系的上部层位, 似乎更为合适。另外, 前人一直即把全吉群上覆地层小高炉群定为下寒武统。当然, 目前尚没有

充分的资料来确定全吉群上部三个组的年代地层位置,还需要进一步研究。

7 结语

青海省柴达木盆地北缘全吉群为典型的边缘裂陷槽型沉积序列,时代上可能属于南华—震旦纪,其中玄武质安山岩的锆石 U—Pb 年龄为 800 Ma 左右。这套地层的发育,标志着中元古代末期形成的 Rodinia 超大陆的解体,是超大陆在新元古代早期解体的初期阶段的地质记录。目前对这套地层的年代学、对其中的火山岩的地球化学研究程度还很低,有待进一步深入研究。

参考文献

- [1] 王鸿祯,黄宜学. 中国地质构造述要[J]. 中国地质, 1996, 8: 4-9.
- [2] 冯益民,何世平. 祁连山大地构造与造山作用[M]. 北京:地质出版社, 1995, 1-135.
- [3] 冯益民,何世平. 祁连山及其邻区大地构造基本特征—兼论早古生代海相火山岩的成因环境[J]. 西北地质科学, 1995, 16(1): 92-103.
- [4] 李怀坤,陆松年,赵凤清,等. 柴达木北缘新元古代重大地质事件年代格架[J]. 现代地质, 1999a, 13(2): 224-225.
- [5] 杨建军,朱红,邓晋福,等. 柴达木北缘石榴石橄榄岩的发现及其意义[J]. 岩石矿物学杂志, 1994, 25(2): 97-105.
- [6] 杨经纶,许志琴,李海兵,等. 我国西部柴达木北缘地区发现榴辉岩[J]. 科学通报, 1998, 43(14): 1544-1549.
- [7] 李怀坤,陆松年,赵凤清,等. 柴达木北缘鱼卡河含柯石英榴辉岩的确定及其意义[J]. 现代地质, 1999b, 13(1): 43-50.
- [8] 张雪亭,吕惠庆,陈正兴,张宝华,李福祥,朱跃升. 柴北缘造山带沙柳河地区榴辉岩相高压变质岩石的发现及初步研究[J]. 青海地质, 1999, 8(2): 1-13.
- [9] 杨经纶,许志琴,宋述光,吴才来,史仁灯,张建新. 青海都兰榴辉岩的发现及对中央造山带内高压—超高压变质带研究的意义[J]. 地质学报, 2000, 74(2): 156-168.
- [10] 张建新,杨经纶,许志琴,张泽明,陈文,李海兵. 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[J]. 地球化学, 2000, 29(3): 217-222.
- [11] 宋述光,杨经纶. 达木盆地北缘都兰地区榴辉岩中透长石+石英包裹体:超高压变质作用的证据[J]. 地质学报, 2001, 75(2): 180-185.
- [12] 杨经纶,宋述光,许志琴,吴才来,史仁灯,张建新. 柴达木盆地北缘早古生代高压—超高压变质带中发现典型超高压矿物——柯石英[J]. 地质学报, 2001, 75(2): 175-179.
- [13] 陆松年,王惠初,李怀坤,袁桂邦,辛后田,郑建康. 柴达木盆地北缘“达肯大坂群”的再厘定[J]. 地质通报, 2002, 21(1): 19-23.
- [14] 陆松年,于海峰,金巍,李怀坤,郑建康. 塔里木古大陆东缘的微小大陆块体群[J]. 岩石矿物学杂志, 2002, 21(4): 317-326.
- [15] Lu Songnian, Zhao Fengqing, Mei Hualin, et al. Discovery and significance of eclogite-granitoid belts in northwest China[J]. Gondwana Research, 1999, 2(1): 137-138.
- [16] 朱夏. 关于柴达木盆地的几个主要地质问题[J]. 地质知识, 1957, 6-7 期.
- [17] 孙殿卿,等. 柴达木盆地北部第三纪地层与地质构造特征[M]. 北京:科学出版社, 1959.
- [18] 祁连山地质志. 第二卷, 第一分册[M]. 北京:科学出版社, 1963.
- [19] 王云山,庄庆兴,史从彦,等. 柴达木北缘的全吉群[A]. 中国震旦亚界[C]. 天津:天津科学技术出版社, 1980, 214-229.
- [20] Sloss L L. Sequences in the Cratonic Interior of North America[J]. Geol Soc Am Bull, 1963, 74: 93-114.
- [21] Sloss L L. Forty Years of Sequence Stratigraphy[J]. Geol Soc Am Bull, 1988, 100: 1661-1665.
- [22] 许效松,等. 露头层序地层与华南泥盆纪古地理[M]. 成都:成都科技大学出版社, 1993.
- [23] Wang Hongzhen, Shi Xiaoying. A scheme of the hierarchy for sequence stratigraphy[J]. Journal of China University of Geosciences, 1996, 7(1): 1-12.
- [24] Condie Kent C. Plate Tectonics and Crustal Evolution (Fourth edition)[M]. 1997, 38.
- [25] 王鸿祯,王自强,张玲华. 中国元古宙古大陆边缘的发展[A]. 王鸿祯,王自强,张玲华,等. 中国古大陆边缘中-新元古代及古生代构造演化[C]. 北京:地质出版社, 1994, 15-37.
- [26] 王碧香编译. 国际地科联火成岩分类学分会委员会推荐. 国际火成岩分类图表[M]. 北京:地质出版社, 1990.
- [27] 王云山,陈基娘. 青海省及毗邻地区变质地带与变质作用[M]. 北京:地质出版社, 1987.
- [28] 赵祥生,张录易,邹湘华,等. 西北地区震旦纪冰碛层及其地层意义[C]. 中国震旦亚界[A]. 天津:天津科学技术出版社, 1980, 164-185.
- [29] 青海省地质矿产局. 青海省区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 1991.
- [30] Zhang Y. Histological study on the Neoproterozoic organism's fossil remains: implication for origin of multicellularity and sexuality[A]. Proc. 30th Intern. Geol. Congr.[C]. 1997, 1: 187-199.
- [31] Xiao S, Zhang Y and Knoll H. Three-dimensional preservation of algae and animal embryos in a Neoproterozoic phosphorite[J]. Nature, 1998, 391: 553-558.
- [32] 朱士兴,孙淑芬,黄学光,等. 燕山常州沟组(约 1800Ma)碳质压型化石及其多细胞组织的发现[J]. 科学通报, 1999, 43(14): 1552-1557.

Re - study on the Lower Boundary of Quaternary System in the North China Plain

WANG Qiang¹, LIU Li - jun², XU Hai - zhen², MA Zhen³, ZHI Tai - ping⁴,
LAN Zi - ting⁴, WANG Ya - bin⁵, LIU Xue - song⁵, LIN Pei⁶, DONG Dian - wei⁶

(1. Tianjin Institute of Geology & Mineral Resources, Tianjin 300170; 2. Hebei Exploration Institute of Hydrology and
Engineering Geology, Shijiazhuang 050021; 3. 2nd Hydrogeological Team of Shandong Geological Exploration
Bureau Dezhou 253015; 4. 1st Hydrogeological and Engineering Team of Henan Geological Exploration Bureau,
Xinxiang 453002; 5. Tianjin Bureau of Geological Survey, Tianjin 300191; 6. Beijing Bureau of Geological Survey, Beijing 100037)

Abstract: The different time - scales had been used to determining the lower boundary of Quaternary system and in the subdivision of Quaternary in North China Plain, so there is no uniform language in relative research. According to the *Guide of China Stratigraphy*, the authors re - studied the subdivision of Quaternary system. Because the Gu'an Formation in the Hebei Plain determined Early Pleistocene formerly belongs to the stratum before 2.60Ma, this unit should to be placed in Upper Pliocene series. Owing to the principle of the *Guide of China Stratigraphy* also has been used by petroleum system, so the term of Gu'an formation is the synonym of Minghuazhen formation and the former should be abandoned. The boundary of Neogene/Quaternary system is located less than 500 m depth in the North China Plain.

Key words: North China Plain; Quaternary System; geological age

Quanji Group - the Geological Record of the Rodinia Supercontinent Break - up in the Early Neoproterozoic Preserved in the Northern Qaidam Margin, Qinghai, Northwest China

LI Huai - kun¹, LU Song - nian¹, WANG Hui - chu¹, XIANG Zhen - qun¹, ZHENG Jian - kang²

(1. Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources, Tianjin 300170; 2. Qinghai Institute of Geological Sciences, Xining 810012)

Abstract: The southern belt of the Northern Qaidam Margin, northwest China is an early Paleozoic ultrahigh pressure orogen with residues of the root part, granitoid belt of subduction - collision origin, of an early Neo - Proterozoic magmatic arc; while the northern belt of the northern Qaidam margin is the Oulongbuluke block, the residue of ancient block with Paleo - Proterozoic basement. Quanjin Group, discussed in this paper, is a typical margin aulacogen sedimentary sequence, including the fluvial facies rocks at the bottom, marine facies of further rifting period and volcanics of mantle origin. Geochemically the volcanics in the Quanjin Group are calc - alkaline and alkaline basalts and basaltic andesites emplaced in within - plate setting. A 800 Ma U - Pb zircon age was obtained from the the volcanics. The Quanji Group was formed during the early stage of the break - up of the Rodinia supercontinent in the early Neo - Proterozoic.

Key words: the northern Qaidam margin, Quanji Group, Marginal aulacogen, Rodinia supercontinent