

塔里木盆地北缘上石炭统砂岩碎屑组分及其对物源类型和构造属性的指示

杨栋栋 李双应 王松 万秋 赵大千 徐锦龙

(合肥工业大学 资源与环境工程学院 安徽 合肥 230009)

摘要:南天山在晚古生代以来经历的一系列碰撞和微板块的拼合事件在塔里木盆地北缘的沉积作用和构造演化中都有明显的反映,而沉积物物源分析是认识盆地演化、解释构造背景的重要途径和方法。根据对塔里木盆地北缘地区多个剖面的研究,上石炭统阿依里河组砂岩碎屑组分以石英为主,其次是长石及各种岩屑,有时含有机质杂基及云母。其中石英平均含量为70.7%(53%~86%),长石平均含量7.1%(5%~17%),岩屑平均含量为22.5%(20%~30%)。物源分析结果表明,砂岩物源主要来自再旋回造山带,并且主要具俯冲消减的缝合带和碰撞造山属性,少量具弧造山属性。结合塔里木北缘晚石炭世的岩相古地理特征,认为物源可能来自于北侧的古天山造山带。

关键词:塔里木盆地;上石炭统;砂岩碎屑组分;物源分析

中图分类号:P588.21⁺2.3;P512.2

文献标识码:A

文章编号:1000-6524(2011)04-0645-09

Detrital composition of Upper Carboniferous sandstone in northern Tarim basin and its implications for provenance and tectonic attributes

YANG Dong-dong, LI Shuang-ying, WANG Song, WAN Qiu, ZHAO Da-qian and XU Jin-long

(College of Resources and Environment, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: Since the late Paleozoic, the south Tianshan Mountain has gone through a series of collision and micro-plate collage events, which have had obvious reflection in the sedimentation and tectonic evolution of northern Tarim basin. The analysis of depositional provenance is an important method for understanding basin evolution and interpreting tectonic background, and is also the first prerequisite for confirming the evolution of the basin. The variation in the composition of depositional provenances reflects the relationship between the uplift of basin margin orogen and the basin subsidence. With the improvement of modern analytical techniques, the provenance analytical methods have increased in number, become gradually perfected in quality and complemented each other. Based on Dickinson's provenance analytical method, the authors studied and analyzed sandstone detrital composition and source rocks of Upper Carboniferous sandstone along different geological sections in northern Tarim basin. The results show that the major types of the Upper Carboniferous sandstone are quartz sandstone and lithic quartz sandstone, with low compositional maturity, and the average $Q/(F+L)$ in Cedaya, Dashankou hydropower station and Bayinbuluke geological section are respectively 1.80, 3.11, 3.32. The detrital composition is mainly quartz and subordinately feldspar and some rock debris, with minor organic matrix or biotite. According to the study of sandstone detrital compositions, sandstone of Upper Carboniferous Ayilihe Formation in northern Tarim basin is composed averagely of 70.7% quartz (53%~86%), 7.1% feldspar (5%~17%), and

收稿日期:2010-08-21;修订日期:2011-02-25

基金项目:中石化海相前瞻性研究项目(塔里木区块周缘造山带石炭纪-新近纪构造-岩相古地理研究与编图),国家自然科学基金资助项目(40972082)

作者简介:杨栋栋(1986-)男,汉,博士研究生,沉积地质学专业,E-mail:yangdongdong4180@163.com

22.5% rock debris (20% ~ 30%). Metamorphic debris and sedimentary debris are mainly existent in this area, while in Cedaya, volcanic debris possesses 42%. On the basis of Dickinson's triangular plot and the characteristics of rock debris, the Upper Carboniferous provenance in northern Tarim basin is characterized by the recycled orogen type, and the primary attribute is the suture zone for subduction and collision orogeny, with minor arc orogenic attributes. In combination with the late Carboniferous lithofacies-paleogeography of northern Tarim, it is held that the source of the northern Tarim basin might have been derived from the ancient Tianshan orogenic belt in the north.

Key words: Tarim basin; Upper Carboniferous; detrital composition; provenance analysis

受北天山-准噶尔洋向南俯冲作用的影响,塔里木板块与中天山岛弧在晚泥盆世—早石炭世发生拼合,而塔里木-中天山板块与准噶尔板块的拼合完成于晚石炭世—早二叠世(马瑞士等,1990; Allen *et al.*, 1993; Carroll *et al.*, 1995; 高俊等, 1997),天山及其邻近地区在晚古生代发生了复杂的块体拼合和陆内叠加构造变形(Coleman, 1989)。中天山北部在石炭纪形成岩浆弧,南天山残留洋盆发生弧后扩张,沉积了4000 m以上巨厚的碳酸盐岩、蒸发岩和碎屑岩建造。南天山石炭纪再生洋盆于二叠纪末隆起,导致了天山山前的前陆盆地形成(刘训等, 1994)。

目前,对于塔里木北缘地区及其邻近天山沉积盆地的研究已经取得了多方面的进展,已有较多成果及文献发表。曹守连等(1994)曾对塔里木盆地东北部地区志留纪—泥盆纪充填序列进行了初步的物源分析,认为库车坳陷可能是位于裂谷沉积物之上的前陆盆地。张希明等(1996)对塔里木盆地北部地区三叠纪—侏罗纪的板块构造背景进行了判别分析,认为库车坳陷的物源区为“再旋回造山带物源区”,其中库车坳陷属前陆盆地。李曰俊等(2002)在库尔干地区三叠纪砾岩的硅岩砾石中发现了石炭纪—二叠纪放射虫化石,并提出物源可能来自南天山造山带。李双建等(2005, 2006)通过对库车坳陷中生代砂岩岩屑组分和重矿物研究,认为库车坳陷中生代沉积物源始终为再造山旋回带。李忠等(2004)通过对中生代砾石碎屑、砂岩骨架颗粒、碎屑重矿物组分分析,认为天山物源总体以“再旋回造山带”类型为特征,自中生代以来其演变历史包括5个阶段,并指出库车坳陷中生代沉积物源始终是再造山旋回带。刘景彦等(2008)对库车坳陷古近系库姆格列木群砂岩段的物源分析表明,库车坳陷碎屑物基本上来自于南天山和温宿凸起再循环造山带,坳陷北缘的逆冲造山和隆升作用形成了长期的物源

供给区,沿坳陷东北缘发育了巨厚的冲积扇。王家生等(1999)在该区野云沟石炭系上部碎屑岩中发现典型的鲍玛序列,确定其为浊流沉积,并通过古流向分析表明该套浊积岩的物源来自南侧。综上所述,目前塔里木北缘的物源分析主要集中在中新代的物源研究上,尤其对天山南麓库车坳陷中生代物源做了比较深入的研究。本文欲通过对塔里木盆地北缘地区上石炭统砂岩碎屑中石英、长石和岩屑的成分和含量分析,确定砂岩的碎屑组分特征,并结合研究区石炭系的沉积环境,探讨物源区的物质组成以及构造环境,其成果将有助于揭示晚古生代南天山与盆地之间的耦合关系及构造演化,也将有益于研究区的油气资源勘探。

1 区域地质背景

塔里木盆地是在前震旦纪的陆壳基底之上形成发展起来的大型多旋回叠合盆地(图1),震旦纪以来经历了震旦纪—中泥盆世、晚泥盆世—三叠纪和侏罗纪—第四纪这3次大的伸展—聚敛旋回的演化,分别与古亚洲洋、古特提斯洋、新特提斯洋的3个发展阶段相对应(贾承造, 1997; 何登发等, 2005)。晚泥盆世—石炭纪,构造格局发生了根本改变,出现了北压南张的构造环境,在塔里木北部,南天山洋盆向北俯冲,形成中天山岛弧,并在晚石炭世时期发生了弧陆碰撞,而在塔里木板块南缘,古特提斯形成,于早二叠世开始向塔里木板块发生俯冲,形成了塔西南弧后盆地。

受海西早期南天山早古生代俯冲碰撞造山带的影响,塔里木陆块在泥盆纪晚期海水完全退出,在遭受侵蚀和间断之后,从石炭纪开始,随着西部、西南部古特提斯洋的形成扩张,塔里木陆块再次发生陆壳伸展活动,在晚加里东—早海西期早古生代天山褶皱造山带的褶皱变形基底之上,叠加了伸展型盆

地(郑和荣等,2007)。晚古生代—早中生代南天山消减,海西晚期—印支期天山复合造山带形成,在此

基础之上发育的塔北弧后盆地也就是现今的库车前陆盆地。

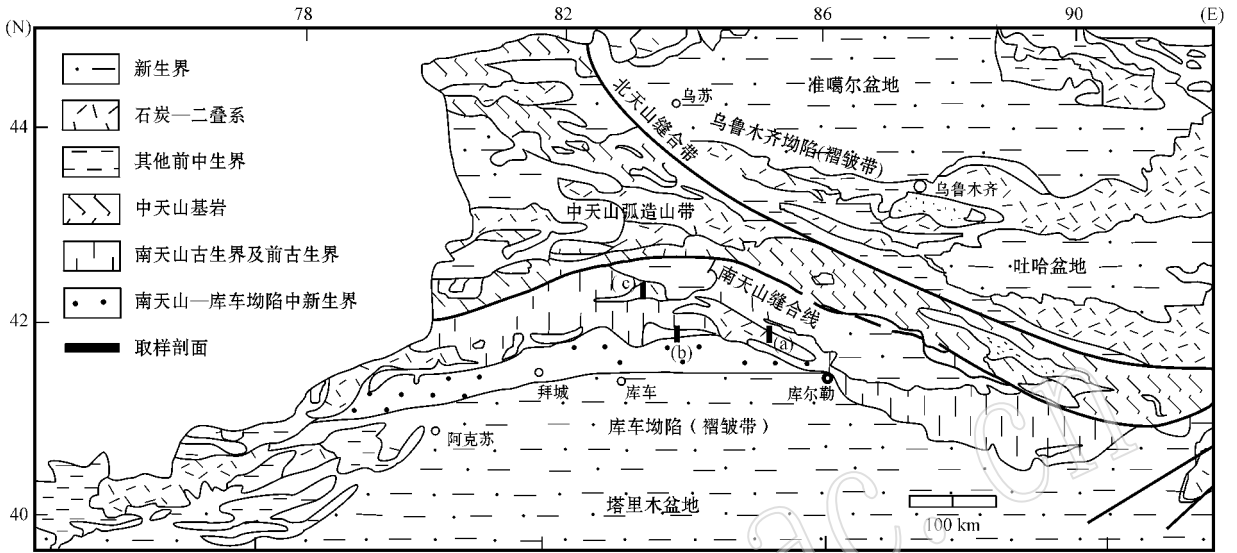


图 1 南天山及邻区构造格架与取样剖面位置图(据李忠等,2004)

Fig. 1 Geological map showing tectonic units in South Tianshan Mountain and adjacent regions and locations of the sampling profiles (after Li Zhong et al., 2004)

石炭纪—二叠纪是研究区地质演化史上的一个最重要的时期。这不仅表现在石炭纪—二叠纪沉积类型多样,如深水硅质岩、深水浊积岩、蒸发相的石膏以及浅海台地碳酸盐岩以及礁体沉积、内陆河湖相碎屑岩等,而且有大量玄武岩喷发,显示了塔里木盆地及周缘造山带构造变动极为活跃,塔里木盆地北缘沉积环境也发生着剧烈的变化。塔里木盆地北缘石炭纪晚期南天山残留洋盆开始向南俯冲消减,至早二叠世闭合。早石炭世,塔里木盆地北缘主要发育浅海相的碳酸盐岩,晚石炭世为海相碎屑岩。在南天山与塔里木盆地交界部位发育早二叠世安山岩、安山玢岩、凝灰岩和同碰撞期花岗岩。

2 碎屑沉积记录

塔里木盆地北缘的石炭系在轮台策达雅(图 1 中剖面 b)、焉耆县大山水电站峡口(图 1 中剖面 a)、巴音布鲁克(图 1 中剖面 c)等地地层发育厚度较大。在该地区,石炭系主要岩石地层单元自下而上发育下石炭统的野云沟组和上石炭统的阿依里河组。野云沟组分为上、下两部分,下部为变质中酸性

火山岩,厚度约为 400 m;上部为砂岩、板岩、条带状灰岩和厚层灰岩,含石膏层或者透镜体。阿依里河组厚度较大,2 100~3 800 m,主要为碳酸盐岩建造和灰黑色板岩、细粒石英长石砂岩组成的类复理石建造。

通过对轮台策达雅、焉耆县大山水电站峡口、巴音布鲁克 3 条剖面的野外实测和观察,发现其岩石类型多为砂岩、砾岩、泥岩、页岩、硅质岩、石膏、灰岩及部分浊积岩,粒序层理和滑塌构造发育。其中,轮台策达雅剖面多以砂岩和灰岩为主,砂岩主要出现于野云沟组,多呈黄褐色粗粒—中粒,多与黑灰色泥岩组成旋回层(图 2a),且粒序层理发育(图 2b),并见有砂岩中黑色包卷层理和交错层理,泥岩中夹有透镜体和部分滑塌构造(图 2c)。砾石大小为 1~7 cm,大的为椭球状,长轴平行于层面排列,砾石成分主要为灰岩、白云岩,含量约为 30%(图 2d)。巴音布鲁克剖面多以砾岩、泥岩、砂岩和灰岩为主,泥岩和砂岩组成旋回,并见有卷石为瘤状灰岩类、硅质岩类,呈不规则条带状扭结在一起,顺走向排列,沿途见硅质岩和泥灰岩薄层形成滑塌扰曲等,见鲍玛序列(图 2e)。

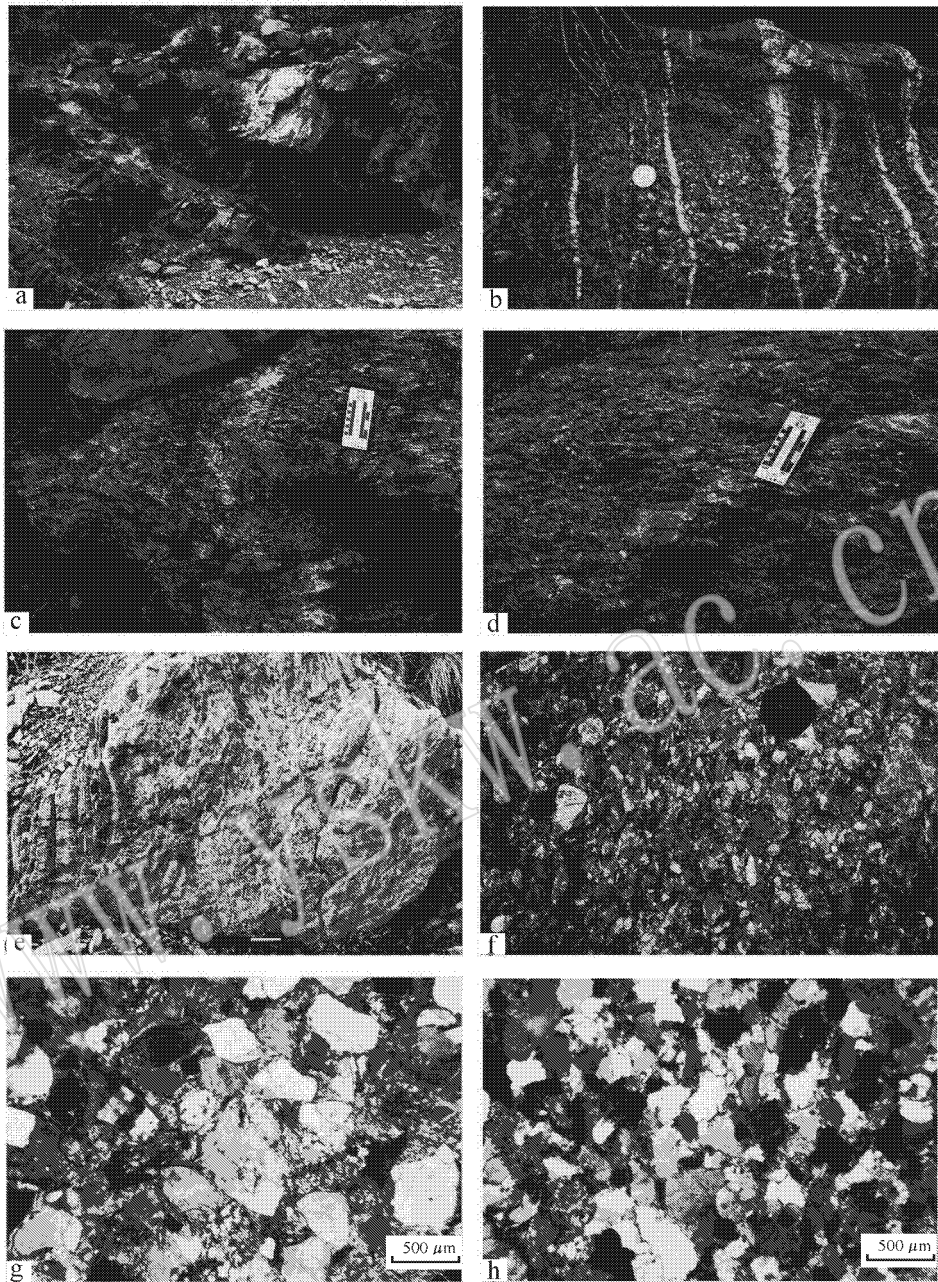


图2 塔里木北缘上石炭统阿依里河组岩石特征

Fig. 2 Rock characteristics of the Upper Carboniferous Ayilihe Formation in northern Tarim basin

a—砂岩和页岩组成的旋回层, 锤长 30 cm, 轮台策达雅; b—砾岩, 正粒序发育, 硬币直径 2.5 cm, 轮台策达雅; c—泥岩中夹透镜体和滑塌沉积, 轮台策达雅; d—砾状灰岩, 轮台策达雅; e—瘤状灰岩和硅质岩形成的滑塌沉积, 锤长 30 cm, 巴音布鲁克; f—复成分砾岩, 巴音布鲁克; g—岩屑石英砂岩, 正交偏光, 大山水水电站; h—石英砂岩, 颗粒支撑, 正交偏光, 大山水水电站

a—cyclothem of sandstone and shale in Cedaya of Luntai, with the length of the hammer being 30 cm; b—normally graded conglomerate in Cedaya of Luntai, with the diameter of the coin being 2.5 cm; c—mudstone intercalated with lens and slump structure in Cedaya of Luntai; d—rudstone, in Cedaya of Luntai; e—nodular limestone and silicites, forming olistostrome, in Bayinbuluke, with the length of the hammer being 30 cm; f—polymictic conglomerate in Bayinbuluke; g—lithic quartz sandstone in Dashankou hydropower station, crossed nicols; h—quartz sandstone, grain-supported, in Dashankou hydropower station, crossed nicols

在以往的物源分析中, 砾石作为碎屑组分, 砾岩和砾石是可疑地质体沉积和构造演化的重要标志,

一般可作为迅速演化沉积盆地内沉积源区和构造作用最清楚、最直接的记录(Colombo, 1994), 是确定

母岩性质及物源方向的基本手段。为此对该剖面砾岩中砾石大小做了详细的统计,粒径分别为3、6、7、4、4、5、5、3.5、4、5.5、4、5、7、6.5、12、7、8、3、7、18、5、5 mm,砾石成分复杂,有石英岩、灰岩、泥岩、硅质岩、火山岩等,棱角到次棱角状,分选一般,砾石长轴方向具有优选方位(图2f)。测量统计表明,砾石大小不一,成分复杂,且棱角到次棱角状多反映其构造活动强烈,砾石中出现的硅质岩、石英岩、灰岩表明古天山造山带开始遭受大规模剥蚀,剥蚀程度可能切割至变质基底。

利用 Leica DFC 280 显微镜对薄片进行了镜下观察,21块砂岩薄片碎屑成分的百分含量统计表明,石英含量偏高,大部分砂岩的石英含量在70%左右,最低为58%,最高为86%,且多数具有波状消光,部分多晶石英含量较高。长石含量变化不大,在18%~23%之间。岩屑成分主要为火山岩岩屑和变质岩屑。砂岩结构不一,通常为杂基支撑(图2g),另有部分为颗粒支撑(图2h)。砂岩类型以中细粒石英砂岩为主,部分为岩屑石英砂岩,少量为含砾结构,分选性中等,磨圆度较差,杂基含量偏高。

本文对轮台策达雅、大山水电站和巴音布鲁

克3条相对完整的石炭系剖面的21个砂岩样品进行了碎屑组分分析,统计方法参照 Dickinson 和 Suczek(1979)和李忠等(1999)。在分析过程中将列入统计和作图的砂岩碎屑颗粒平均粒径限定为中-粗粒(0.2~2 mm),并且将杂基含量大于25%的杂砂岩样品排除在外,灰岩岩屑被计入沉积岩岩屑,因为它是研究区有意义的陆源标志,每个薄片中统计颗粒数量为400~500个。

上述3条剖面砂岩碎屑组分统计结果(表1)表明,轮台策达雅剖面中砂岩石英含量为53%~71%,平均含量约63%,其中单晶石英含量明显多于多晶石英,单晶石英占石英颗粒总量的70%。岩屑平均含量为24%,其中变质岩岩屑、火山岩岩屑和沉积岩岩屑分别为35%、42%和23%。长石含量一般为11%~17%,平均含量为12.9%。大山水电站剖面中的砂岩样品石英含量为62%~82%,平均含量75%。岩屑平均含量为23%,其中,变质岩岩屑含量丰富,为72%,火山岩岩屑和沉积岩岩屑分别为12%和16%。长石含量较少,一般低于5%。巴音布鲁克剖面中砂岩样品的石英含量为62%~86%,平均含量74%。岩屑含量较低,平均含量为17%,

表1 塔里木北缘上石炭统阿依里河组砂岩碎屑组分统计

Table 1 Debris composition of Upper Carboniferous sandstones in northern Tarim basin

样号	位置	Qm	Qp	P	K	Lm	Lv	Ls	Mis	总量
T022		255	71	7	47	26	25	27	16	474
T023		223	44	25	99	7	27	20	6	451
T025		213	54	13	25	44	35	33	26	443
T027	库车策达雅	192	104	45	5	8	46	10	48	458
T028		193	76	22	21	41	45	25	38	461
T029		163	51	29	12	79	48	23	40	445
T031		210	70	34	10	62	71	29	15	501
T578		239	35	20	0	19	0	47	42	402
T655		128	217	0	0	92	10	15	27	489
T656		333	31	6	4	50	5	25	78	532
T658		282	7	5	0	86	28	7	89	504
T660		265	15	1	0	65	6	5	45	402
T661	大山水电站	259	33	2	0	105	2	15	53	469
T666		233	80	0	0	17	25	50	7	412
T666		108	263	0	0	138	11	4	30	554
T671		128	243	0	0	98	20	15	17	521
T678		238	108	26	6	65	22	9	14	488
T678		231	109	27	4	40	9	20	7	447
T689		195	62	46	7	92	4	10	42	458
T690	巴音布鲁克	274	34	21	6	55	23	10	54	477
T705		261	50	40	4	44	12	6	21	438
T706		274	52	21	2	24	5	2	68	448
T346	乌恰县康苏镇铅锌矿	183	108	8	4	47	32	56	27	465

其中变质岩岩屑含量丰富,占岩屑总量75%,火山岩岩屑和沉积岩岩屑含量较低,分别为15%和10%。长石含量较少,一般为5%~9%。图3显示轮台策达雅剖面中变质岩、火山岩和沉积岩岩屑的含量大

致相等,而在大山口水电站剖面和大山口水电站剖面中,变质岩岩屑含量明显高于火山岩和沉积岩岩屑含量。大量变质岩岩屑的出现,并结合南天山区域构造背景,说明这些物源主要来自再旋回的造山带。

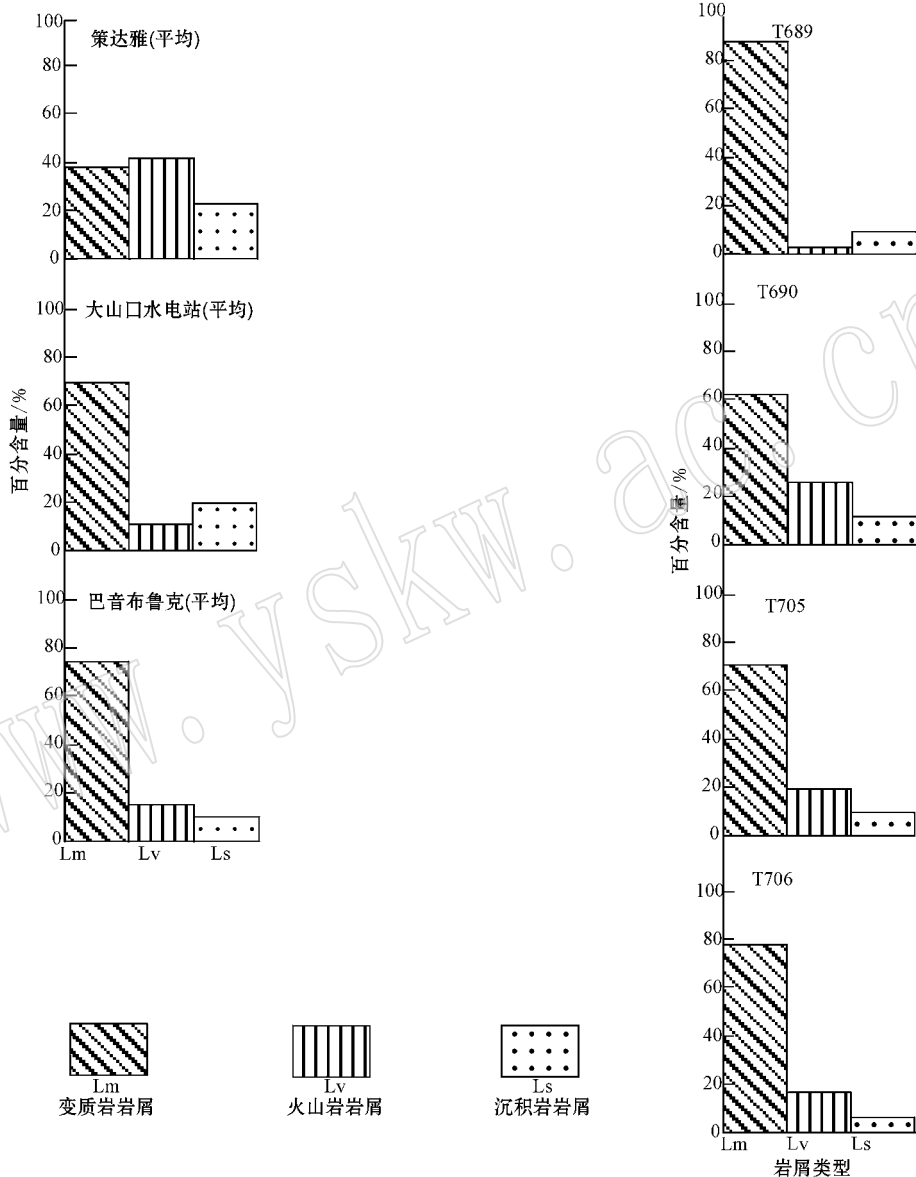


图3 塔里木北缘上石炭统阿依里河组砂岩岩屑含量直方图

Fig. 3 Histogram showing sandstone debris content of the Upper Carboniferous strata in northern Tarim basin

3 物源分析

图4中的Q-F-L图解分析表明,塔里木北缘上石炭统阿依里河组碎屑物几乎全部来源于再旋回造山带。海洋/大陆成分比值可反映构造的复杂性,

海洋成分明显多于大陆成分表明其构造属性可能为再旋回造山。研究的3条剖面的海洋/大陆成分比值变化较大,其中巴音布鲁克剖面和大山口水电站剖面砂岩组分中的海洋/大陆成分比值偏低,说明来自陆地的物质较多,而轮台策达雅剖面的海洋/大陆成分比值偏高,说明其来自海洋的物质偏高,可能来自

俯冲的洋壳,充分反映出其再旋回的特性。在图 4 中的 $Q_m - F - L_t$ 图解中可以看出,就整体而言,各剖面的燧石/石英比值变化较大,其中巴音布鲁克剖面 and 轮台策达雅剖面样品的燧石/石英比值偏低,且分布较为集中,而大山口水电站剖面燧石/石英比值变化较大,显示了各自不同的物源构造属性。大山口水电站剖面中较高的燧石含量还指示了缝合带本身是其来源。

在图 4 的 $Q_p - L_v - L_s$ 图解中,样品点分布比较离散说明了物源区构造属性比较复杂,总体上,物源类型以消减杂岩为主,并有部分为碰撞造山带来源。说明物源主要来自俯冲消减缝合和碰撞造山带。其中轮台策达雅剖面样品点分布较为集中,表明物源

区比较单一,主要为消减杂岩来源,反映物源主要来自俯冲消减缝合带;而大山口水电站剖面样品点分布较离散,反映了其物源构造属性较为复杂,且 L_s 含量变化范围较大,物源类型有消减杂岩和碰撞造山带来源,并有一个样品点表现为弧造山带来源,说明其构造背景为俯冲消减和碰撞造山并伴有少量的岩浆活动;巴音布鲁克剖面介于消减杂岩和碰撞造山带之间,分布相对集中, L_s 的含量偏低,反映物源比较稳定,但是来源可能相对复杂,介于大山口水电站和策达雅之间。

综上所述,塔里木北缘上石炭统阿依里河组砂岩碎屑物源主要来自再旋回造山带,构造属性稍显复杂,有俯冲消减和碰撞造山。轮台策达雅地区具

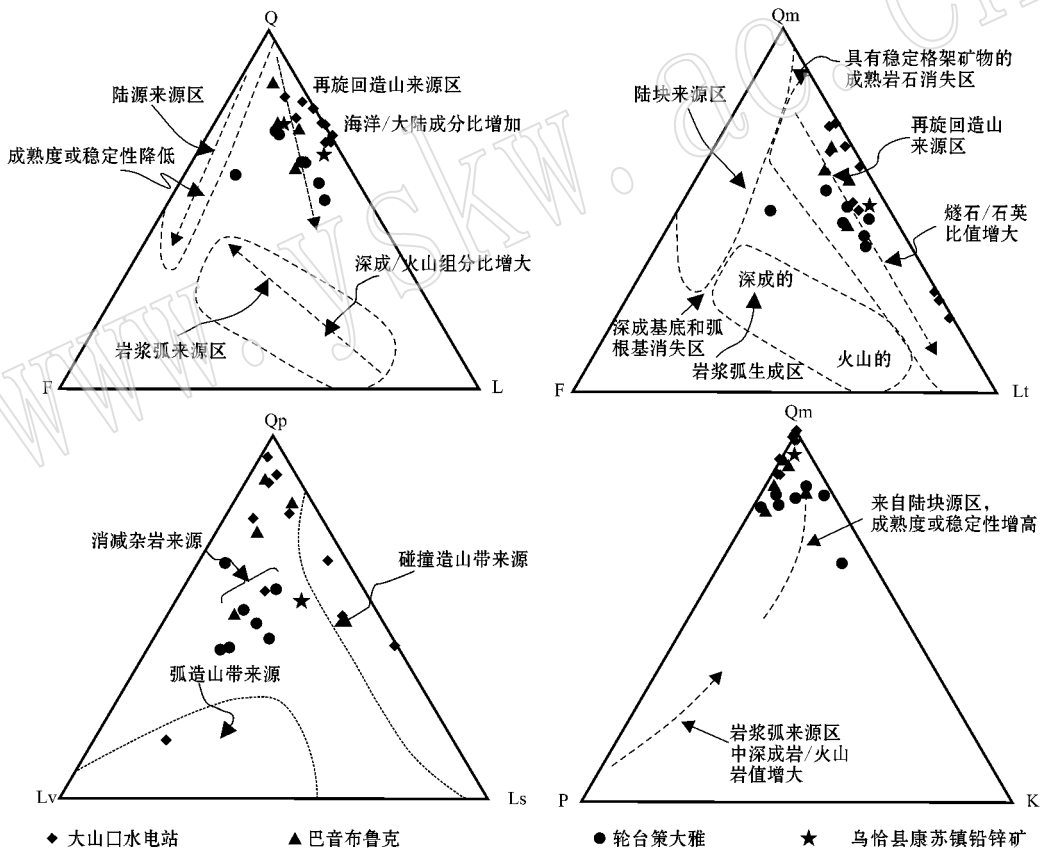


图 4 塔里木北缘上石炭统阿依里河组砂岩碎屑成分三角图解

Fig. 4 Triangular plots showing debris composition of sandstone from the Upper Carboniferous Ayilihe Formation in northern Tarim basin

Q_m —单晶石英; Q_p —多晶石英,包括燧石; Q —石英 ($Q = Q_m + Q_p$); P —斜长石; K —钾长石; F —长石 ($F = P + K$); L_v —火山岩与变火山岩岩屑; L_s —沉积岩与变质岩岩屑; L —不稳定多晶岩屑 ($L = L_v + L_s$); L_t — $L + Q_p$

Q_m —monocrystalline quartz grains, Q_p —polycrystalline quartz grains, including chert; Q —quartz grains ($Q = Q_m + Q_p$); P —plagioclase; K —K-feldspar; F —monocrystalline feldspar grains ($F = P + K$); L_v —volcanic and metavolcanic lithic fragments; L_s —sedimentary metamorphic lithic fragments; L —unstable polycrystalline lithic fragments ($L = L_v + L_s$); L_t — $L + Q_p$

俯冲消减的构造属性,而大山口水电站剖面的构造属性包含俯冲消减和碰撞造山两种情况,说明由大山口水电站—轮台策达雅—巴音布鲁克一线由东向西,沿古天山缝合带,其物源的构造背景为由俯冲消减到碰撞造山。而在时间上与李忠等(2004)提出的库车坳陷中新世沉积物源始终是再旋回造山带相一致,由此可见,从晚古生代开始古天山就开始作为塔里木北缘的物源区。

4 结论

砂岩碎屑组分统计显示塔里木盆地北缘上石炭统砂岩主要以石英砂岩和岩屑石英砂岩为主,具有低的成熟度,其中策达雅、大山口水电站和巴音布鲁克剖面的 $Q/(F+L)$ 平均值分别为 1.80、3.11 和 3.32。砂岩碎屑组分以石英为主,其次是长石及各种岩屑,有时含有有机质杂基及云母。其中石英含量 53%~86%,长石含量一般不到 10%,岩屑含量 20%~30%。岩屑以变质岩岩屑和沉积岩岩屑为主,在轮台策达雅剖面中有一定的火山岩岩屑。岩屑所反映出的物源信息多来自再旋回造山带,且剥蚀深度可能到达变质岩基底和岩浆岩基底。

通过对塔里木北部周边地区石炭系砂岩碎屑组分进行的物源分析表明,塔里木北缘上石炭统阿依里河组砂岩碎屑物源主要来自再旋回造山带,构造属性稍显复杂,有俯冲消减和碰撞造山。在轮台策达雅地区,其构造属性为俯冲消减,而大山口水电站剖面的构造属性包含俯冲消减和碰撞造山两种情况,说明由轮台策达雅到大山口水电站一线其物源的构造背景为由俯冲消减到碰撞造山。研究区主要介于塔北隆起和古天山造山带之间,由此可以判断出其物质来源应该主要来自于北侧的古天山造山带。

References

- Allen M B, Windley B F and Chi Z. 1993. Paleozoic collisional tectonics and magmatism, Chinese Tian Shan, central Asia [J]. *Tectonophysics*, 220: 89~115.
- Cao Shoulian and Chen Fajing. 1994. Provenance analysis on sediment filled sequences in northeastern Tarim basin [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 5(2): 126~131 (in Chinese).
- Carroll A R, Graham S A, Hendrix M S, *et al.* 1995. Late Paleozoic tectonic amalgamation of northwestern China: sedimentary record of the northern Tarim, northwestern Turpan, and southern Junggar basin [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 107: 571~594.
- Coleman R G. 1989. Continental growth of northwest China [J]. *Tectonics*, 8: 621~636.
- Colombo F. 1994. Normal and reverse unroofing sequences in syntectonic conglomerates as evidence of progressive basinward deformations [J]. *Geology*, 22: 235~238.
- Dickinson W R and Suzeck C A. 1979. Plate tectonics and sandstone compositions [J]. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 63(12): 2164~2182.
- Gao Jun, He Guoqi and Li Maosong. 1997. Paleozoic orogenic processes of Western Tianshan Orogen [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 22(1): 27~23 (in Chinese with English abstract).
- He Dengfa, Jia Chengzao, Li Desheng, *et al.* 2005. Formation and evolution of polycyclic superimposed Tarim Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 26(1): 64~76 (in Chinese).
- Jia Chengzao. 1997. Structure Characteristics and Oil and Gas in Tarim Basin of China [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2~4 (in Chinese).
- Li Shuangjian, Wang Qingchen and Li Zhong. 2005. Characteristics of Mesozoic and Cenozoic heavy minerals from Kuche River section in Kuche depression and their geological implications [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 24(1): 53~61 (in Chinese with English abstract).
- Li Shuangjian, Wang Qingchen, Li Zhong, *et al.* 2006. Detrital modes of sandstones and their implications for basin-mountain evolution between the Kuqe depression and south Tianshan Mountains [J]. *Chinese Journal of Geology (Scientia Geologica Sinica)*, 41(3): 465~478 (in Chinese with English abstract).
- Li Yuejun, Wang Zhaoming, Mai Guangrong, *et al.* 2002. New discovery of radiolarian fossils from Aiktik Group in Tarim basin and its significance [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 23(6): 496~500 (in Chinese).
- Li Zhong, Li Renwei, Sun Shu, *et al.* 1999. Detrital composition and provenance tectonic attributes of Jurassic sandstones, south Hefei basin [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 15(3): 438~445 (in Chinese with English abstract).
- Li Zhong, Wang Daoxuan, Lin Wei, *et al.* 2004. Mesozoic-Cenozoic clastic composition in Kuqa depression, northwest China: Implication for provenance types and tectonic attributes [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 20(3): 655~666 (in Chinese with English abstract).
- Liu Jingyan, Lin Changsong and Lai Xingyun. 2008. Depositional paleogeography and source rock analysis of the lower sandstone part of Eogene Kumugeliemu Group in Kuqa depression [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 27(6): 538~546 (in Chinese with English abstract).
- Liu Xun, Graham S, Chang E, *et al.* 1994. Tectonic evolution of Tarim plate and its surrounding area since Late Paleozoic [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 19(6): 715~725 (in Chinese).
- Ma Ruishi, Ye Shangfu, Wang Ciyin, *et al.* 1990. Tectonic framework and evolution of eastern Tianshan [J]. *Geological Science of Xinjiang*,

(2):21~36(in Chinese).

Wang Jiasheng and Liu Benpei. 1999. Discovery of submarine fan in the Carboniferous in the Yeyungou area of South Tianshan[J]. Journal of Palaeogeography, 1(3):73~82(in Chinese).

Zhang Ximing, Liu Qingfang and Wang Guiquan. 1996. Plate structural setting of the Triassic-Jurassic provenance and its relationship with sedimentary basin type in the north of the Tarim basin[J]. Experimental Petroleum Geology, 18(3):252~258(in Chinese with English abstract).

Zheng Herong, Cai Liguang, Li Tiejun, et al. 2007. The Evolution of Foreland Basins in the South and North of the Tianshan Mountains and the Structural Styles of Fold-Thrust Belt[M]. Beijing: Geological Publishing House, 29~57(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

曹守连,陈发景. 1994. 塔里木盆地东北部沉积充填序列的物源分析[J]. 新疆石油地质, 5(2):126~131.

高俊,何国琦,李茂松. 1997. 西天山造山带的古生代造山过程[J]. 地球科学, 22(1):27~32.

何登发,贾承造,李德生,等. 2005. 塔里木多旋回叠合盆地的形成与演化[J]. 石油与天然气地质, 26(1):64~76.

贾承造. 1997. 中国塔里木盆地构造特征与油气[M]. 北京:石油工业出版社, 2~4.

李双建,王清晨,李忠. 2005. 库车坳陷库车河剖面重矿物分布特

征及其地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 24(1):53~61.

李双建,王清晨,李忠,等. 2006. 砂岩碎屑组份变化对库车坳陷和南天山盆山演化的指示[J]. 地质科学, 41(3):465~478.

李曰俊,王招明,买光荣,等. 2002. 塔里木盆地艾克提克群中放射虫化石及其意义[J]. 新疆石油地质, 23(6):496~500.

李忠,李任伟,孙枢,等. 1999. 合肥盆地南部侏罗系砂岩碎屑组分及其物源构造属性[J]. 岩石学报, 15(3):438~445.

李忠,王道轩,林伟,等. 2004. 库车坳陷中-新生界碎屑组分对物源类型及其构造属性的指示[J]. 岩石学报, 20(3):655~666.

刘景彦,林畅松,赖兴运. 2008. 塔里木盆地库车坳陷古近系库姆格列木群底砂岩段沉积古地理和物源体系[J]. 岩石矿物学杂志, 27(6):538~546.

刘训, Graham S, Chang E, 等. 1994. 塔里木板块周缘晚古生代以来的构造演化[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 19(6):715~725.

马瑞士,叶尚夫,王赐银,等. 1990. 东天山造山带构造格架和演化[J]. 新疆地质科学, (2):21~36.

王家生,刘本培. 1999. 南天山野云沟石炭系海底扇沉积新发现[J]. 古地理学报, (3):73~82.

张希明,刘青芳,王贵全. 1996. 塔里木盆地北部三叠-侏罗纪物源区板块构造背景与沉积盆地类型关系的研究[J]. 石油实验地质, 18(3):252~258.

郑和荣,蔡立国,李铁军,等. 2007. 天山南北前陆盆地演化及褶皱-冲断带构造样式[M]. 北京:地质出版社, 29~57.