

巴基斯坦及中国邻区构造单元划分及其演化

吕鹏瑞,姚文光,张辉善,孟广路,张海迪

(中国地质调查局西安地质调查中心,陕西 西安 710054)

摘要:巴基斯坦位于特提斯构造域中部,处于印度板块、欧亚板块、阿拉伯板块的拼合部位,是研究喜马拉雅造山运动和特提斯构造域的热点地区之一。笔者结合前人研究成果,以巴米扬-康西瓦缝合带和北羌塘断裂、科希斯坦-拉达克缝合带和雅鲁藏布江缝合带为界,将研究区划分为卡拉库姆-塔里木板块、土耳其-中伊朗-冈底斯中间板块和印度板块3个一级构造单元,以及13个二级构造单元,11个三级构造单元,并论述了各构造单元的地质特征。在此基础上,分别从古、新特提斯洋的形成与闭合,以及印度板块与欧亚板块碰撞等3个方面讨论了研究区的演化过程。古、新特提斯构造演化时期,南帕米尔、羌塘、拉萨地块等逐渐从冈瓦纳大陆北缘裂解,先后形成了巴米扬-康西瓦、科希斯坦-拉达克和雅鲁藏布江等缝合带,以及主喀喇昆仑、主地幔等深大断裂,构成了研究区的主体大地构造格架。陆-陆碰撞造山过程,地壳伸展和裂陷作用形成了一系列断裂系统及其围陷的裂谷系和裂陷盆地,改造了原始沉积盆地的边缘和形态,控制着岩体的侵位和空间分布。

关键词:构造单元;地质特征;演化;巴基斯坦

中图分类号:P544

文献标志码:A

文章编号:1009-6248(2017)03-0126-14

Tectonic Unit Division and Geological Evolution of Pakistan and Its Adjacent Regions

LÜ Pengrui, YAO Wenguang, ZHANG Huishan, MENG Guanglu, ZHANG Haidi

(Xi'an Center of Geological Survey, China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: Pakistan is located in the middle section of the Tethyan tectonic domain, where is the junction of India plate, Eurasian plate and Arabian plate, thus it serves as one of the hot spots for studying the Himalayan orogeny and Tethys tectonic domain. Based on the previous studies, the tectonic units of Pakistan and its adjacent regions has been divided, and their geological evolution has been discussed, which provide some basic data for the geosciences comparative study of the border region in China and Pakistan. This studying area has been divided into 3 first-order tectonic units (Karakum-Tarim plate, Middle Iran-Gangdese intermediate plate and Indian plate), 13 secondary tectonic units and 11 third-grade tectonic units by taking Bamiyan-Kangxiwa suture and Kohistan-Ladakh suture as the boundaries, and then the geological characteristics of these tectonic units have been introduced. Finally, the evolution of this studying area has been discussed from the formation and evolution of Paleo-and Neo-Tethys Oceans, as well as the continent-continent collision. During the evolution process of Paleo-and Neo-Tethys Oceans, South Pamir, Qiangtang and Lhasa blocks were separated from the north margin of Gondwana supercontinent, and then the Bamiyan-Kangxi-

收稿日期:2016-12-09;**修回日期:**2017-05-11

基金项目:中国地质调查局“乌兹别克斯坦、塔吉克斯坦及邻区矿产资源潜力评价”(121201011000150010)、“苏莱曼山-喀喇昆仑成矿地质背景和成矿规律对比研究”(1212011120336)和“中亚南亚资源潜力综合分析成果应用”(12120115066601)国际地质对比计划(ICGP/SIDA-600)联合资助

作者简介:吕鹏瑞(1984-),男,硕士,工程师,从事境外地质矿产调查研究。E-mail:lvpengrui0910@163.com

wa, Kohistan-Ladakh, Yarlungzangbo sutures, Main Karakorum and Main Mantle faults were formed successively, which constitute the main tectonic framework of this studying area. During the continent-continent collision orogeny process, a series of fault systems and related rifting systems or rifting basins were formed by the crustal extension and rifting, which reconstruct the edge and shape of original sedimentary basin and control the emplacement and spatial distribution of various rocks.

Keywords: tectonic unit; geological characteristics; evolution; Pakistan

研究区地处特提斯构造域中部,夹持于印度板块与欧亚板块之间,其西部处于阿拉伯板块与印度板块的拼合部位(吴良士,2010;吕鹏瑞等,2016a)。区内大地构造背景极其复杂,特别是其西北部的喜马拉雅构造结(西构造结),是喜马拉雅山脉构造应力作用、新生代变质和深熔作用最强,隆升、剥蚀速率最快的地区之一(郑来林等,2004)。研究区所处的特提斯构造域是地球上最年轻的碰撞造山带,完好地记录了特提斯洋裂解、扩张、沉积和闭合过程(潘桂棠,1994;张洪瑞等,2010),是研究欧亚大陆形成、造山带及其成矿特征最理想的场所。

然而,由于地缘关系、区域研究程度及研究水平的差异,境内外特提斯研究相比还是存在很大差异。前人对中国境内特提斯构造域进行了相当深入的研究(潘桂棠等,1997;莫宣学等,2003;李才等,2006;张洪瑞等,2009,2010;程文斌等,2010;HOU et al.,2011),但巴基斯坦地区的相关研究多局限于特定地区或单一地质事件(TRELOAR et al.,1991;SCHNEIDER et al.,1999;SIDDIQUI,2004;ROLLAND et al.,2006;DOEBRICH et al.,2007;HEUBERGER et al.,2007;SIDDIQUI et al.,2007,2009;PERELLOÓ et al.,2008;JAGOUTZ et al.,2009;SHAH et al.,2010;NICHOLSON et al.,2010;MALKANI,2011;RICHARDS et al.,2012;RAZIQUE,2013;吕鹏瑞等,2015a,2015b),更无从谈及系统宏观地总结和把握整个特提斯的区域构造演化,从而制约了对区域成矿规律的认识。笔者依托近年来参与的“苏莱曼山-喀喇昆仑山成矿地质背景和成矿规律对比研究”项目成果,结合前人对该区的相关基础地质资料,对巴基斯坦及其邻区的主要大地构造单元进行统一划分、对比、总结,并探讨该区的构造演化过程,以期为中巴经济走廊资源潜力调查评价提供基础地质资料。

1 大地构造单元划分

构造单元既反映大地构造环境(或大地构造相)

的时空属性,又因不同的构造阶段而赋予不同的时空层次属性(潘桂棠等,2009)。对于大地构造形成演化与大地构造单元划分而言,不同学派具有不同的划分思路和方法。其中,黄汲清、任纪舜等先后利用多旋回的构造观点,从全球构造角度将古生代以来的中国大地构造划分为古亚洲、特特斯和环太平洋三大构造域(黄汲清等,1977;任纪舜等,1999;REN,1996)。李春昱等则强调大陆及其边缘海、大洋盆地在地质时期均会出现大规模的漂移(李春昱,1980;李春昱等,1982,1983)。王鸿祯等将地质历史和时空结合,认为一个古大陆岩石圈板块由一个或几个古老的大陆及其周围的陆缘区构成,从而提出了历史大地构造的观点(王鸿祯等,1990;WANG et al.,1995)。

笔者主要采用李宝强等(2013)、邱瑞照等(2013)划分兴都库什-西昆仑的划分方案,根据大陆边缘构造发展历史,以碰撞前的位置和拼合碰撞边界为依据,划分一级构造单元。构成古大陆板块的大陆区及其边缘区在不同时期具有不同的板块边界,因此这些大陆区及其边缘区分别构成了板块构造的二级单元。由于陆缘区可以分为被动陆缘和活动陆缘,板块俯冲可以发育不同时代的边缘海、岛弧等,拉张作用可以形成裂谷、裂陷槽和上叠盆地等,因此这些可以作为三级构造单元。

根据上述划分原则,结合区域地质构造演化特征,分别以巴米扬-康西瓦缝合带(BKT)和北羌塘断裂(NQZ)、科希斯坦-拉达克缝合带(KLT)和雅鲁藏布江缝合带(YZZ)为界,将研究区划分为卡拉库姆-塔里木板块、土耳其-中伊朗-冈底斯中间板块和印度板块3个一级构造单元。随后,根据沉积建造和岩浆活动等特点,以深大断裂、盆地边缘为界,进一步将其细分为13个二级构造单元,11个三级构造单元(图1、表1)。

2 各构造单元地质特征

2.1 卡拉库姆-塔里木板块(I)

卡拉库姆-塔里木板块(I)由塔里木-卡拉库姆

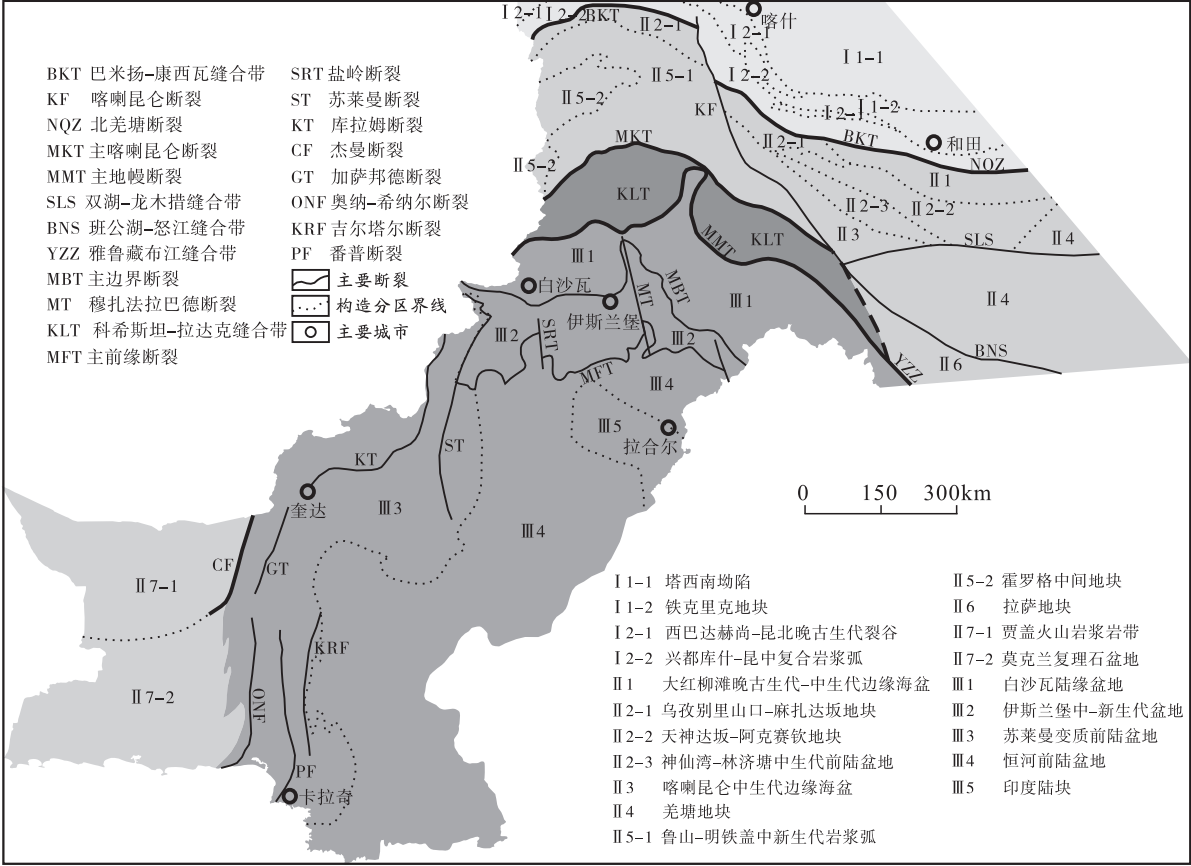


图 1 巴基斯坦及其邻区构造单元划分简图(据 KAZMI et al. ,1982;邱瑞照等,2013;吕鹏瑞等,2016a 修改)

Fig. 1 Simplified tectonic framework of Pakistan and its adjacent region

陆块(I 1)、塔里木-卡拉库姆南部陆缘区(I 2)2 个次级构造单元组成,分别可进一步细分为塔西南坳陷(I 1-1)、铁克里克地块(I 1-2)、西巴达赫尚-昆北晚古生代裂谷(I 2-1)、兴都库什-昆中复合岩浆弧(I 2-2)4 个三级构造单元(图 1)。

塔西南坳陷(I 1-1):位于西昆仑北侧的恰尔隆-库尔良一带,以柯岗-库斯拉普断裂为界,与铁克里克地块(I 1-2)相邻。奥陶纪末,在区内的南、北断裂之间,形成了可能具有洋壳性质基底的裂陷槽,其基底属于塔里木古陆的一部分。志留纪至石炭纪期间,经历多次拉张-闭合作用,志留纪-泥盆纪为裂陷槽的发展初期,早石炭世为裂陷槽发展的鼎盛期,中-晚石炭世及二叠纪为其封闭期(李宝强等,2013)。区内出露的最老地层为元古宇变质岩系,下一中奥陶统为稳定的台地沉积,志留系、中泥盆统具有类复理石建造的特征,上泥盆统为类磨拉石建造的海陆交互相复陆屑建造,下石炭统为碳酸盐岩、碎屑岩和中基性火山岩,二叠系下部为陆相磨拉石建造,不整合与石炭系之上,三叠统下部为陆相

含煤建造,上部为陆相火山岩。该区岩浆活动以石炭纪最为强烈,其中早石炭世为拉张期的玄武岩,中石炭世以钙碱性系列花岗岩为主,晚石炭世则以碱性系列岩石为主。

铁克里克地块(I 1-2):位于达木斯-康克尔以南,其南北两侧均被断裂截断,属于塔里木古陆的组成部分,先后经历了多次构造运动,在阿尔金、塔里木运动之后一直处于稳定的剥蚀状态。受南侧的陆缘活动带及特提斯洋的影响,铁克里克地块在古生代和中新生代仍有一定的活动性,并沿着其南北两侧的局部下沉,同时向塔里木陆内挤压推覆,成为塔西南坳陷(I 1-1)的重要控制因素(邱瑞照等,2013)。前震旦系构成了铁克里克地块的主体,其边缘有少量震旦系和古生界分布,属于陈定的盖层沉积。区内出露的最老地层为元古界,下部为喀拉喀什群片岩、片麻岩和混合岩,上部为埃连卡特群绿片岩相变质岩系,其上与中元古界呈不整合接触。蓟县系和青白口系为富硅质碳酸盐岩,夹火山岩、碎屑岩组合,震旦系为未变质的白云质硅质碳酸盐岩

表 1 巴基斯坦及其邻区构造单元划分表

Tab. 1 Tectonic units division of Pakistan and its adjacent region

一级构造单元	二级构造单元	三级构造单元
I 卡拉库姆-塔里木板块	I 1 塔里木-卡拉库姆陆块	I 1-1 塔西南坳陷 I 1-2 铁克里克地块
	I 2 塔里木-卡拉库姆南部陆缘区	I 2-1 西巴达赫尚-昆北晚古生代裂谷 I 2-2 兴都库什-昆中复合岩浆弧
BKT 巴米扬-康西瓦缝合带		
II 土耳其-中伊朗-冈底斯中间板块	II 1 大红柳滩晚古生代—中生代边缘海盆	
	II 2 塔尼玛西山-阿克赛钦陆块	II 2-1 乌孜别里山口-麻扎达坂地块 II 2-2 天神达坂-阿克赛钦地块 II 2-3 神仙湾-林济塘中生代前陆盆地
	II 3 喀喇昆仑中生代边缘海盆 II 4 羌塘地块	
	II 5 米特拉姆-红其拉甫陆块	II 5-1 鲁山-明铁盖中新世代岩浆弧 II 5-2 霍罗格中间地块
	II 6 拉萨地块	
	II 7 贾盖-莫克兰陆缘区	II 7-1 贾盖火山岩岩浆带 II 7-2 莫克兰复理石盆地
KLT 科希斯坦-拉达克缝合带		
III 印度板块	III 1 白沙瓦陆缘盆地	
	III 2 伊斯兰堡中—新生代盆地	
	III 3 苏莱曼变质前陆盆地	
	III 4 恒河前陆盆地	
	III 5 印度陆块	

夹碎屑岩。区内岩浆活动微弱,仅见少量元古宙花岗岩和花岗闪长岩。

西巴达赫尚-昆北晚古生代裂谷(I 2-1):位于阿富汗—塔吉克斯坦的外阿赖—巴达赫尚、帕米尔,以及西昆仑北侧的恰尔隆—库尔良一带,以卡拉克-布龙口断裂、柯岗-库斯拉普断裂为南、北边界,分别与铁克里克地块(I 1-2)、兴都库什-昆中复合岩浆弧(I 2-2)相邻。该裂谷的基底属于塔里木古陆的一部分,区内出露的地层特征与塔西南坳陷(I 1-1)相似,岩浆活动以石炭纪最为强烈。

兴都库什-昆中复合岩浆弧(I 2-2):位于西巴达赫尚-昆北晚古生代裂谷(I 2-1)以南,巴米扬-康西瓦缝合带(BKT)以北的地区。区内出露的最老地层为古元古界变质岩系;中元古界为褶皱紧闭的基底隆起,由中压低角闪岩相-角闪岩相变质岩组成;中奥陶统及志留系为陆缘型海相变质碎屑岩及碳酸盐岩,不整合于元古宇之上;上古生界仅见上泥盆统的陆相-海陆交互相碎屑磨拉石建造。区内岩

浆活动十分强烈,以元古宙片麻状花岗岩类和华力西期二长花岗岩、钾长花岗岩、斜长花岗岩为主。此外,众多学者也证实了西昆仑加里东期花岗岩极为发育(方锡廉等,1990;王元龙等,1997;王超等,2013)。王元龙等(1997)认为,以库地蛇绿岩为代表的库地洋盆向南俯冲消减形成了活动陆缘岩浆弧。库地洋盆的消减使昆中岩浆弧拼贴于铁克里克地块(I 1-2)的南缘,构成塔里木板块的一部分(邱瑞照等,2013)。

2.2 巴米扬-康西瓦缝合带(BKT)

巴米扬-康西瓦缝合带(BKT)是在晚三叠世古特提斯洋消亡阶段,由青藏板块与塔里木板块碰撞而形成的复杂构造带。该缝合带向西经过帕米尔,与阿富汗的赫拉特断裂相接,向东与北羌塘断裂(NQZ)相连,继续向东被阿尔金左旋平移断裂阶段后,与东昆仑中央大断裂(阿尔金断裂)相接,东西延伸长达 5 000 km,代表了中—新元古代秦昆洋的缝合带(李宝强等,2013;邱瑞照等,2013)。

巴米扬-康西瓦缝合带(BKT)整体上洋壳残片保存极少,大多数地段表现为长期活动的断裂带,形成各种岩片堆叠的混杂带。该缝合带同时也是重力和磁力的梯度带,沿断裂两侧分布有超美铁岩,沿走向见有蛇绿岩残块。沿扬子地块北侧发育有蓝片岩、榴辉岩带,它们为多期构造活动的产物,与木孜塔格-鲸鱼湖断裂共同构成了该缝合带的东段(李宝强等,2013)。该缝合带西段具有压扭性质,是划分西昆仑、喀喇昆仑的重要界限,对两侧的沉积建造、岩浆活动、变质作用等均有明显的控制作用;其东段则构成了青藏板块的松潘-甘孜微板块的北界。

2.3 土耳其-中伊朗-冈底斯中间板块(Ⅱ)

土耳其-中伊朗-冈底斯中间板块(Ⅱ)由大红柳滩晚古生代—中生代边缘海盆(Ⅱ1)、塔尼玛西山-阿克赛钦陆块(Ⅱ2)、喀喇昆仑中生代边缘海盆(Ⅱ3)、羌塘地块(Ⅱ4)、米特拉姆-红其拉甫陆块(Ⅱ5)、拉萨地块(Ⅱ6)、贾盖-莫克兰陆缘区(Ⅱ7)7个次级构造单元组成,可进一步细分为乌孜别里山口-麻扎达坂地块(Ⅱ2-1)、天神达坂-阿克赛钦地块(Ⅱ2-2)、神仙湾-林济塘中生代前陆盆地(Ⅱ2-3)、鲁山-明铁盖中生代岩浆弧(Ⅱ5-1)、霍罗格中间地块(Ⅱ5-2)、贾盖火山岩浆岩带(Ⅱ7-1)、莫克兰复理石盆地(Ⅱ7-2)7个三级构造单元(图1)。

大红柳滩晚古生代—中生代边缘海盆(Ⅱ1):位于巴米扬-康西瓦缝合带(BKT)以南,北邻兴都库什-昆中复合岩浆弧(Ⅰ2-2),南接天神达坂-阿克赛钦地块(Ⅱ2-2)。该区仅出露西部的边缘海盆,基底主要由古元古界片岩、变粒岩、石英岩组成,夹少量大理岩。二叠系为一套滨浅海相碎屑岩夹斑岩、灰岩,局部夹凝灰岩;三叠系为一套中深水环境的灰色砂页岩复理石建造,局部夹灰岩透镜体及基性-中基性火山岩,变形强烈;侏罗纪—白垩纪以陆源碎屑岩、碳酸盐岩为主,属古陆边缘海盆沉积;新生界发育大陆型中基性火山岩及古近纪—新近纪断陷盆地。该区发育印支期—燕山期花岗岩、花岗闪长岩和基性岩体。

乌孜别里山口-麻扎达坂地块(Ⅱ2-1):位于西昆仑北侧的恰尔隆—库尔良一带,以深大断裂、巴米扬-康西瓦缝合带(BKT)为其南、北边界,分别与兴都库什-昆中复合岩浆弧(Ⅰ2-2)、鲁山-明铁盖中生代岩浆弧(Ⅱ5-1)相邻。区内出露的最老地层为元古宇变质岩系;下一中奥陶统为稳定的台型沉积;志留系、中泥盆统为类复理石建造;上泥盆统为

海陆交互相复陆屑建造、类磨拉石建造;下石炭统由碳酸盐岩、碎屑岩、中基性火山岩组成,中—上石炭统为滨—浅海相碎屑岩、碳酸盐岩层,含蛭(*Triticites*, *Schwagerina*, *Pseudoschwagerina*等);二叠系中部为陆相磨拉石,不整合于石炭系之上;三叠统下部为陆相含煤建造,上部为陆相火山岩(邱瑞照等,2013)。该区基底主要由古元古代结晶基底构成,区内见有喜马拉雅期花岗岩侵入。

天神达坂-阿克赛钦地块(Ⅱ2-2):位于乌孜别里山口-麻扎达坂地块(Ⅱ2-1)南侧。区内出露的最老地层为中元古代长城系,主要由浅变质的石英砂岩、粉砂岩和硅质条带状大理岩等组成,属于浅海陆棚环境的陆源碎屑沉积;长城系之上不整合覆盖奥陶系碳酸盐岩。特别是晚古生代以来多发育连续的陆表海沉积,以砂岩、粉砂岩和生物灰岩为主。

神仙湾-林济塘中生代前陆盆地(Ⅱ2-3):位于天神达坂-阿克赛钦地块(Ⅱ2-2)南侧。该区具有古特提斯洋封闭后的前陆盆地沉积的特点。中—晚三叠世发育复理石沉积,其下部见有二叠纪灰岩的外来岩块,含冷水动物群;三叠纪末,古特提斯洋向北消减,导致三叠系及其更老的地层褶皱隆起;侏罗纪主要由碳酸盐岩、砂岩组成,角度不整合于三叠纪砂板岩之上,其上又被上白垩统碳酸盐岩、碎屑岩不整合覆盖。

喀喇昆仑中生代边缘海盆(Ⅱ3):位于研究区东侧,其北侧与乌孜别里山口-麻扎达坂地块(Ⅱ2-1)、神仙湾-林济塘中生代前陆盆地(Ⅱ2-3)相接,其西、南两侧以喀喇昆仑断裂(KF)、双湖-龙木措断裂(SLS)为界,分别与鲁山-明铁盖中生代岩浆弧(Ⅱ5-1)、羌塘地块(Ⅱ4)相邻。区内出露的最老地层为前寒武系。中生代发生海侵超覆,在藏北巴青县江绵一带发现与滇西他念他翁山、藏东昌都地区相似的上三叠统东达村组和甲不拉组,总体上构成一套向上变深的海侵沉积序列(李尚林等,2005)。侏罗纪—白垩纪以陆源碎屑岩、碳酸盐岩为主,属古陆边缘海盆沉积。新生界发育大陆型中—基性火山岩及第三纪断陷盆地。该区发育印支期—燕山期花岗岩和花岗闪长岩,基性岩时有分布。

羌塘地块(Ⅱ4):位于青藏高原北部,以班公湖—怒江缝合带(BNS)为南界,北接天神达坂-阿克赛钦地块(Ⅱ2-2)、喀喇昆仑中生代边缘海盆(Ⅱ3),南邻拉萨地块(Ⅱ6)。羌塘地块的基底主要由板岩、千枚岩、大理岩、变质砂岩、变质火山岩、硅质岩、花岗

片麻岩和石榴云母片麻岩等组成,上覆最老层位为中泥盆统浅海碳酸岩(纪云龙,2000)。以羌塘中央隆起为界,可将羌塘地块分为南羌塘、北羌塘2个盆地(刘国成,2014)。北羌塘盆地主体为中生代海相沉积,主要出露晚三叠系和雁石坪群,古生代地层仅在局部出露;南羌塘石炭纪、二叠纪时期主要为被动边缘和裂隙环境,主要由浅变质砂板岩、冰海碎屑岩、碳酸盐岩等组成,夹变玄武岩层,南羌塘主体为侏罗纪海相盆地(耿全如等,2011)。

鲁山-明铁盖中生代岩浆弧(Ⅱ5-1):位于塔吉克斯坦帕米尔地区,其西侧紧挨霍罗格中间地块(Ⅱ5-2),东侧以喀喇昆仑断裂(KF)为界与喀喇昆仑中生代边缘海盆(Ⅱ3)相邻,北侧乌孜别里山口-麻扎达坂地块(Ⅱ2-1)相接,南侧以主喀喇昆仑断裂为界与科希斯坦-拉达克缝合带(KLT)相邻。该区发育古生代和中生代地层,偶见海相古近系,晚三叠世以前为相对平静的大陆边缘,堆积了陆棚碳酸盐岩建造(寒武系—奥陶系、志留系—下泥盆统、上石炭统一—中三叠统)或较厚的陆源碎屑沉积(上—中奥陶统、中—下石炭统)(李宝强等,2013;邱瑞照等,2013)。二叠纪喷出大量基性熔岩;早—中三叠世出现岩相差异,晚三叠世发育较厚的类复理石陆源层;侏罗纪末,中帕米尔地区发生褶皱隆起;白垩系大多不整合于侏罗系之上,其下部为陆源粗碎屑岩,其上为由潟湖或浅海陆源碳酸盐岩建造组成的上白垩统的下部层位,晚白垩世晚期,该区海侵规模最大;古新统一始新统为浅海或陆相沉积,以中酸性火山岩及粗碎屑岩为主,夹少量灰岩;渐新统和中新统为湖相火山岩—沉积岩。

霍罗格中间地块(Ⅱ5-2):位于塔吉克斯坦帕米尔地区的西南部,为太古宙结晶基底的隆起部分。该区主要由角闪岩相和变粒岩相区域深变质岩组成,并受后期侵入岩的叠加改造,发育有白云母花斑大理岩、各类深成岩,包括片麻岩、花岗正长岩、斜长花岗岩、紫苏花岗岩、辉长岩和超基性岩等。该区周边分布有元古宙地层,与太古宙多为构造接触关系,为一套含较多石英岩的绿片岩相岩系(何国琦,2004)。

拉萨地块(Ⅱ6):位于班公湖—怒江缝合带(BNS)与雅鲁藏布江缝合带(YZZ)之间,以狮泉河—纳木措蛇绿混杂岩带和洛巴堆—米拉山断裂带为界,由北向南可将其分为北部、中部和南部3部分(ZHU et al., 2013)。拉萨地体是由角闪岩相至麻粒岩相的变质岩系、古生代—中生代沉积地层,以及

中生代和新生代岩浆岩构成(董昕等,2012)。拉萨地体在中生代经历了与新特提斯洋俯冲有关的安第斯型造山作用,在新生代经历了印度板块与欧亚大陆的碰撞造山作用(HÉBERT et al., 2012; XU et al., 2012)。北部拉萨地体上覆中三叠统一侏罗系沉积岩和富含火山岩的下白垩统火山沉积地层,其中被大量花岗岩类侵入(ZHU et al., 2013)。南部拉萨地体以白垩纪—第三纪冈底斯岩基和古新世林子宗火山岩为主(ZHU et al., 2011),出露少量三叠纪—白垩纪火山沉积地层(朱弟成等,2008),经历了强烈的中生代、新生代造山作用(王金丽等,2008; GUO et al., 2012)。中部拉萨地体是具有古元古代甚至太古宙结晶基底的条带状微陆块(朱弟成等,2012),经历了多期变质作用(林彦嵩等,2013),其上被石炭纪—二叠纪变质沉积岩和侏罗纪—白垩纪火山沉积地层覆盖(ZHU et al., 2013)。

贾盖火山岩浆岩带(Ⅱ7-1):位于巴基斯坦俾路支省西部,南邻莫克兰复理石盆地(Ⅱ7-2),北接阿富汗地块,西以杰曼断裂(CF)为界与苏莱曼前陆盆地(Ⅲ3)相接,是一条由钙碱性深成岩、火山岩组成的东西向岩浆岩带。该区出露的最老地层是早白垩世辛贾拉尼群,主要为块状熔岩流、火山砾岩、凝灰岩、碎屑火山岩,其次为硅质页岩、泥质灰岩、页岩和砂岩,局部含少量的长英质火山岩层(MALKANI, 2011; RAZIQUE, 2013)。此外,早白垩世胡迈组、古新世朱扎克/拉克萨尼组、始新世萨因达克组、渐新世阿玛拉夫组、晚渐新世达尔本丁组、晚渐新世—早中新世雷克迪克组,以及上新世—更新世地层单元在该区均有出露。该区侵入岩可统称为贾盖侵入岩和索尔科侵入岩,前者是主要分为2期。早期侵入岩以闪长岩、花岗闪长岩为主,晚期为花岗闪长岩、石英二长岩和花岗岩(PERELLÓ et al., 2008);后者主要由岩株、岩床、岩墙、岩穹和岩盆组成,岩性主要为英安岩,及少量玄武安山岩和流纹英安岩(PERELLÓ et al., 2008; 吕鹏瑞等, 2015b, 2016b)。

莫克兰复理石盆地(Ⅱ7-2):位于巴基斯坦西南部,北邻贾盖火山岩浆岩带(Ⅱ7-1),南接阿曼海湾的活动俯冲海沟,东侧为贝拉—瓦济里斯坦蛇绿岩带,西部与伊朗接壤。复理石沉积物的年代范围从北部的晚白垩纪到阿曼海湾的全新世,其中包括中生代和古近纪沉积物。莫克兰复理石盆地的大部分沉积物由浊流砂岩、粉砂岩和页岩组成,其北部和中

部地区主要为渐新世—中新世深海沉积物;其南部地区主要为中新世—更新世海进作用形成的斜坡和大陆架沉积物。此外,莫克兰盆地部分增生楔在新近纪和第四纪较为发育,产生了大量的推覆构造和叠瓦构造。

2.4 科希斯坦-拉达克缝合带(KLT)

科希斯坦-拉达克缝合带(KLT)西起瓦济里斯坦蛇绿岩带,向东北方向延伸,经科希斯坦岛弧再转向东南方向,经过拉达克花岗岩带后,与西藏的雅鲁藏布江缝合带相连。该缝合带以北为土耳其-中伊朗-冈底斯中间板块(Ⅱ)(李春昱等,1982),以南为印度板块(Ⅲ)。

印度板块与欧亚大陆之间的缝合带在巴基斯坦北部以主喀喇昆仑断裂(MKT)和主地幔断裂(MMT)为界,发育科希斯坦岩基、拉达克花岗岩带、蛇绿混杂岩等(邱瑞照等,2013)。主喀喇昆仑断裂(MKT)是由科希斯坦地区的 Shyok 缝合带再次活化形成的,构成了科希斯坦和喀喇昆仑的边界(COWARD et al., 1986);主地幔断裂(MMT)是雅鲁藏布江缝合带(YZZ)向西延伸的部分(吕鹏瑞等, 2015a)。在欧亚大陆与印度板块碰撞期间,科希斯坦岩基和拉达克花岗岩带沿着主地幔断裂(MMT)南段向南逆冲,与由北向南的褶皱一起构成了喜马拉雅造山带(TRELOAR et al., 1990)。

2.5 印度板块(Ⅲ)

印度板块(Ⅲ)由白沙瓦陆缘盆地(Ⅲ1)、伊斯兰堡中—新生代盆地(Ⅲ2)、苏莱曼前陆盆地(Ⅲ3)、恒河前陆盆地(Ⅲ4)、印度陆块(Ⅲ5)5个次级构造单元组成(图1)。

白沙瓦陆缘盆地(Ⅲ1):位于塔吉克斯坦帕米尔地区以南,以主边界断裂(MBT)、主地幔断裂(MMT)为南、北界线,分别与伊斯兰堡中—新生代盆地(Ⅲ2)、科希斯坦-拉达克缝合带(KLT)相邻。前寒武系主要在盐岭地区出露,其下部以基拉那群千枚岩、板岩、石英岩为主,夹安山岩及其凝灰岩;其上部为盐岭组含石膏黏土岩,含厚盐层及石膏白云岩、页岩、砂岩及油页岩等(李宝强等,2013)。寒武系为浅海相砂岩、页岩、海绿石页岩,含早寒武世三叶虫化石,其上部为潟湖相板状砂岩、页岩、白云质页岩,含石膏及盐岩假晶。奥陶系—志留系为浅海相石英砂岩、泥板岩、千枚岩、灰岩、白云质灰岩等。泥盆系以浅海相碎屑岩为主。石炭系—二叠系中见冰碛砾岩,多被新生界所覆盖。该区的基底岩系主

要由砂质斑岩、会云门片岩等组成,除东部地区较为连续外,其余地区均零星分布。区域上,古生代、中—新生代碎屑岩及碳酸盐岩等均为盖层沉积,并有大量花岗岩、伟晶岩侵入。

伊斯兰堡中—新生代盆地(Ⅲ2):位于巴基斯坦中部,北以主边界断裂(MBT)为界,与白沙瓦陆缘盆地(Ⅲ1)相邻,西以苏莱曼断裂为界,与苏莱曼前陆盆地(Ⅲ3)相接,南与主前缘断裂(MFT)与恒河前陆盆地(Ⅲ4)相邻。石炭系—二叠系中见冰碛砾岩。侏罗系为海相灰岩、碎屑岩。白垩系为超基性岩、辉长岩、火山岩组成的洋壳和幔源岩残片。古近系—新近系由海相灰岩、页岩向陆相红层过渡,覆盖于不同地层之上。第四系为河湖相砂、砾、泥、粉砂及冰川形成的冰碛物。

苏莱曼变质前陆盆地(Ⅲ3):位于巴基斯坦北部地区,其东侧与伊斯兰堡中—新生代盆地(Ⅲ2)、恒河前陆盆地(Ⅲ4)相邻,其西侧与贾盖火山岩岩带(Ⅱ7-1)、莫克兰复理石盆地(Ⅱ7-2)相接。该区为褶皱带与山间盆地相间的地带,以褶皱带为主,因其在巴基斯坦境内主要呈南北向分布,又被称为轴向带。该区的褶皱带位于印度板块之上,是在碰撞过程中褶皱的,当时印-巴次大陆正在经历基底分裂过程。基底上覆的地层主要为中生代和第三纪地层,中生代地层主要为海相沉积物,部分起源于深海沉积。该褶皱带从南到北分布有贝拉、穆斯林巴赫、瓦济里斯坦等蛇绿岩复合体。因此,被称为贝拉-瓦济里斯坦蛇绿岩带,代表了印度板块边缘的洋壳部分。该蛇绿岩带出露有白垩纪、侏罗纪和三叠纪地层。印度板块与欧亚板块的碰撞导致上覆沉积物抬升、褶皱和逆冲。因此,中生代和第三纪的磨拉石沉积物仅在褶皱带的山谷中出露。

恒河前陆盆地(Ⅲ4):位于巴基斯坦东部,印度地盾西部,北以主前缘断裂(MFT)与伊斯兰堡中—新生代盆地(Ⅲ2)相邻,西与苏莱曼变质前陆盆地(Ⅲ3)相接。该区域以巨厚的未变质前寒武纪地层和寒武纪地层为特点,这些地层以区域性大断裂为界与二叠纪地层分隔。中生代包括下侏罗统(赫唐阶)、上侏罗统(牛津阶)、上白垩统(森诺曼阶)3个主要的海进不整合面。自渐新世以来,该区域以泥质和碎屑沉积物为主,随着北部地区逐渐隆起,海洋沉积退缩至南部地区,直到更新世早期,整个区域变成了陆生条件下泥质岩和碎屑物堆积。

印度陆块(Ⅲ5):位于巴基斯坦东部,主要为前

寒武纪印度基底杂岩区,出露新元古界古老变质岩和侵入岩。变质岩主要包括片麻岩、长英质片麻岩、钠长石片麻岩、黑云母片岩、角闪片麻岩、斜长角闪岩、碳质片岩、绢云母片岩、石英岩、大理岩和少量砾岩等。侵入岩主要包括花岗岩、花岗闪长岩、正长岩和闪长岩,含安山岩、流纹岩和凝灰岩夹层,被基性火成岩(辉绿岩)侵入。

3 区域构造演化

研究区主体位于特提斯构造域中部,夹持于印度板块与欧亚板块之间,其西部处于阿拉伯板块与印度板块的拼合部位,伴随着特提斯构造域的演化,先后经历古特提斯洋的形成与闭合、新特提斯洋的形成与闭合、陆-陆碰撞等地质演化过程(SENGÖR, 1979, 1987; 张洪瑞等, 2009),发育了众多的金属矿床,特别是新生代以来的成矿作用在巴基斯坦形成了斑岩型铜金矿、岩浆型铬铁矿、密西西比河谷型和喷流沉积型铅锌矿、沉积型铁矿等优势矿产(吕鹏瑞等, 2016a)。

3.1 古特提斯时期

早石炭世,古特提斯洋开始俯冲消减。二叠纪期间,特提斯北侧的羌塘-三江、双湖-龙木措多岛弧盆系统大规模消减、萎缩,并在三叠纪逐渐闭合(耿全如等, 2011)。二叠纪—三叠纪期间,随着新特提斯洋的打开,喜马拉雅造山运动随即开始(RICOU, 1994)。晚二叠世—晚三叠世中期,古特提斯洋沿着康西瓦断裂向北俯冲消减到劳亚古陆南缘之下,发育大量蛇绿岩和晚古生代—早中生代火山岩、中酸性侵入岩。晚三叠世,古特提斯洋俯冲消减与塔里木板块拼接,形成巴米扬-康西瓦缝合带(潘裕生等, 1994; 成守德等, 1998; 刘强等, 2003; 刘成军, 2015)。晚三叠世发生大规模的印支运动,导致羌塘地块与塔里木地块之间的闭合、造山,形成印支期高压变质带(ROGER et al., 2008)。三叠纪末,基梅里陆块群与劳亚大陆拼合,古特提斯洋全面闭合,在特提斯成矿域东段,板块拼合形成了双湖-龙木措缝合带、金沙江-哀牢山缝合带(潘桂棠等, 1997, 李才等, 2006)等。

3.2 新特提斯时期

晚石炭世—早二叠世,冈瓦纳大陆北缘自西向东裂解形成基梅里陆块群(包括伊朗中部、南阿富汗、南帕米尔、羌塘和拉萨地块等),新特提斯洋逐渐形成(METCALFE, 1996; UENO, 2003),冈瓦纳大

陆北缘则形成了被动大陆边缘,成矿流体在对流循环中发生喷流-沉积作用,在巴基斯坦形成杜达、贡加、顿格等喷流-沉积型铅锌矿床(SANGSTER, 1990; MALKANI, 2011)。晚三叠世—中侏罗世,冈瓦纳大陆岩群与欧亚大陆在巴基斯坦北部缝合形成了主喀喇昆仑逆断裂(FARAH et al., 1984)。三叠纪—中白垩世之间,印度大陆开始快速向北漂移(ROLLAND et al., 2002)。印度板块的向北漂移,导致新特提斯洋向欧亚大陆之下俯冲,在巴基斯坦的西北部形成了科希斯坦岛弧带,向东与冈底斯南带岩浆弧相连(PIVNIK et al., 1996; 潘桂棠等, 2006)。侏罗纪初,潘吉亚大陆全面裂解(VEEV-ERS, 2004),印度板块和澳大利亚板块向北漂移,与欧亚大陆俯冲拼贴,导致新特提斯洋的消减(张洪瑞等, 2009, 2010)。早侏罗世,班公湖-怒江洋、雅鲁藏布江洋同时打开,班公湖-怒江洋壳在中侏罗世—早白垩世期间的俯冲消减作用形成了冈底斯北带、中带与大洋俯冲/碰撞有关的弧火成岩和SSZ型蛇绿岩;雅鲁藏布江洋在中侏罗世—晚白垩世期间的俯冲消减作用形成了冈底斯南带花岗岩和SSZ型蛇绿岩(邱瑞照等, 2013)。晚侏罗世—早白垩世,班公湖-怒江洋闭合,形成了冈底斯北带弧陆碰撞花岗岩,完成了拉萨地块与羌塘地块的碰撞拼合,冈底斯地块向欧亚大陆碰撞拼贴(莫宣学等, 2006; 邱瑞照等, 2013)。早白垩世,印度-巴基斯坦次大陆开始从冈瓦纳大陆分离出来(FARAH et al., 1984)。早白垩世末期,冈底斯北带岛弧与羌塘地块碰撞,羌塘地块与冈底斯焊接在一起,形成了冈底斯北带弧陆碰撞花岗岩(邱瑞照等, 2013)。中白垩世期间,新特提斯洋向南俯冲,它与喀喇昆仑的洋内俯冲作用形成了科希斯坦-拉达克地体(COWARD et al., 1986; ROLFO et al., 1997; ROLLAND et al., 2000)。白垩纪—始新世,随着新特提斯洋盆的俯冲闭合,俯冲带上盘因洋壳拉伸形成一些伸展性小洋盆,在随后的挤压事件作用下就位形成瓦济里斯坦、穆斯林巴格、贝拉等SSZ型蛇绿岩带(SILLITOE, 1978; 沈百花等, 2008)。晚白垩世,印度-巴基斯坦次大陆开始向北运动,与巴基斯坦俾路支盆地相连,导致印度缝合带的形成,在该缝合带的西部形成了杰曼-奥纳希纳尔转换断层(MALKANI, 2011),帕米尔-喀喇昆仑地区形成了双向分布的岛弧岩浆带(邱瑞照等, 2013)。晚白垩世末期,雅鲁藏布江洋开始闭合,形成了冈底斯南带的陆-陆碰撞花岗岩,印度板块与欧

亚板块开始碰撞(莫宣学等,2006;邱瑞照等,2013)。

3.3 陆-陆碰撞时期

随着新特提斯洋的闭合,特提斯构造域进入碰撞造山阶段,印度板块、阿拉伯板块逐渐与欧亚大陆碰撞,先后经历了主碰撞陆-陆汇聚阶段(65~41Ma)、晚碰撞构造转换阶段(40~26 Ma)和后碰撞地壳伸展阶段(25~0 Ma)(张洪瑞等,2010;吕鹏瑞等,2016b)。

主碰撞陆-陆汇聚阶段,大规模的强烈逆冲和褶皱作用在巴基斯坦及相邻地区形成冲断带、扎格罗斯逆冲推覆系统等(GOLONKA,2004;RAMSEY et al.,2008)。早渐新世,印度板块和欧亚板块沿着科希斯坦地区的 Shyok 缝合带最终碰撞(SHARMA,1987)。渐新世初,巴基斯坦及邻区开始受到印度板块与欧亚大陆碰撞的强烈影响(张洪瑞等,2009)。渐新世,碰撞过程导致的变质作用和地壳缩短,在巴基斯坦北部地区达到顶峰,随后向南逐渐扩展(SEARLE,1996)。喜马拉雅地区形成了同碰撞的林子宗火山岩和冈底斯花岗岩基(莫宣学等,2003),同时碰撞带附近放生了强烈的逆冲和褶皱作用(YIN et al.,2000)。

晚碰撞构造转换阶段,沿碰撞缝合带或早期岩石圈不连续带发生大规模走滑活动,形成杰曼、扎格罗斯等大型走滑系统(SILLITOE,1978;张洪瑞等,2009)。晚渐新世—中新世期间,随着新特提斯洋的闭合,阿拉伯板块、印度板块与欧亚板块连续碰撞,在持续的挤压条件下,贾盖火山岩浆岩带发生了一系列的构造形变,发育了大量的逆冲断裂系统和褶皱构造。贾盖火山岩浆岩带先后经历了多期构造改造,晚中新世以来沿着主要断层发生逆冲运动,同时伴随着地块收缩(ARTHURTON et al.,1982;吕鹏瑞等,2016c),区域上形成了杰曼断层、托兹吉科断层、大恰帕尔断层等众多的区域性断层(PERELLÓ et al.,2008),向斜构造(弥尔加瓦复向斜和萨因达克向斜)以及具有褶皱、逆冲变形特征的强烈褶皱变形的复理石序列,改造了原始沉积盆地的边缘和形态,控制着斑岩体的侵位和空间分布。

后碰撞地壳伸展阶段,碰撞带附近块体大多发生伸展、拆离作用,壳源或壳幔混源岩浆活动极其发育(张洪瑞等,2009)。从渐新世开始,青藏高原碰撞造山进入了后碰撞阶段,下地壳流动与上地壳缩短作用形成了藏南拆离系,拉萨地块发育逆冲断裂系;地壳伸展和裂陷作用形成了一系列断裂系统及其围陷的裂谷系和裂陷盆地(侯增谦等,2006)。中新世

以来,伴随着后碰撞地壳伸展作用,汇聚带两侧各构造-地层单元处于松弛状态,为岩浆活动和含矿流体上侵定位创造了有力条件。阿拉伯板块向北俯冲到伊朗东南部和巴基斯坦西部的过程中,贾盖火山岩浆岩带经历了多期次的岩浆-热液活动、区域隆升事件,形成了一系列的火山中心,并产生了以这些火山中心为主的花岗闪长岩、石英闪长岩等浅成-超浅成侵入体(斑岩或相关的岩墙)(DYKSTRA et al.,1979;JACOB et al.,1979;RAZIQUE,2013)。在印度板块与欧亚板块最初碰撞发生之后,受区域性后碰撞作用控制,贾盖火山岩浆岩带中的斑岩铜矿化迅速开始,在低度-中度区域隆起条件下形成众多斑岩型铜(-金)矿床(点)(PERELLÓ et al.,2008;HOU et al.,2011)。

4 结论

(1)结合区域地质构造演化特征,分别以巴米扬-康西瓦缝合带(BKT)与科希斯坦-拉达克缝合带(KLT)为界,将研究区划分为卡拉库姆-塔里木板块、土耳其-中伊朗-冈底斯中间板块和印度板块3个一级构造单元。随后,根据沉积建造、岩浆活动等特点,以深大断裂、盆地边缘为界,进一步将其细分为13个二级构造单元,11个三级构造单元。

(2)研究区主体位于特提斯构造域中部,先后经历古特提斯洋的形成与闭合、新特提斯洋的形成与闭合、主碰撞陆-陆汇聚等3个阶段。古、新特提斯构造演化时期,南帕米尔、羌塘和拉萨地块等从冈瓦纳大陆北缘裂解,随后在古特提斯时期形成了巴米扬-康西瓦缝合带、双湖-龙木措缝合带和金沙江-哀牢山缝合带等,在新特提斯时期形成了主喀喇昆仑逆断裂、班公湖-怒江洋缝合带、科希斯坦-拉达克缝合带、印度缝合带、雅鲁藏布江洋缝合带等。这些缝合带、断裂构成了研究区的主体大地构造格架。陆-陆碰撞造山过程,地壳伸展和裂陷作用形成了一系列断裂系统及其围陷的裂谷系和裂陷盆地,改造了原始沉积盆地的边缘和形态,控制着岩体的侵位和空间分布。

致谢:在审稿过程中,相关专家提出了宝贵的意见和建议,在此表示感谢。

参考文献(References):

成守德,王元龙. 新疆大地构造演化基本特征[J]. 新疆地

- 质, 1998, 16(2): 97-107.
- CHENG Shoude, WANG Yuanlong. Basic characteristics of geotectonic evolution of Xinjiang[J]. Xinjiang Geology, 1998, 16(2): 97-107(in Chinese with English abstract).
- 程文斌, 顾雪祥, 唐菊兴, 等. 西藏冈底斯-念青唐古拉成矿带典型矿床硫化物 Pb 同位素特征-对成矿元素组合分带性的指示[J]. 岩石学报, 2010, 26(11): 3350-3362.
- CHENG Wengbin, GU Xuexiang, TANG Juxing, et al. Lead isotope characteristics of ore sulfides from typical deposits in the Gangdese-Nyainqentanglha metallogenic belt: Implications for the zonation of ore-forming elements[J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26(11): 3350-3362(in Chinese with English abstract).
- 董昕, 张泽明, 刘峰, 等. 拉萨地体东南部变质岩的成因与中-新生代造山作用[J]. 岩石学报, 2012, 28(6): 1765-1784.
- DONG Xin, ZHANG Zeming, LIU Feng, et al. Genesis of the metamorphic rock from southeastern Lhasa terrane and the Mesozoic-Cenozoic orogenesis[J]. Acta Petrologica Sinica, 2012, 28(6): 1765-1784(in Chinese with English abstract).
- 方锡廉, 汪玉珍. 西昆仑山加里东期花岗岩类浅识[J]. 新疆地质, 1990, 8(2): 153-158.
- FANG Xilian, WANG Yuzhen. Preliminary discussion on Caledonian granites in western Kunlun Mountains[J]. Xinjiang Geology, 1990, 8(2): 153-158(in Chinese with English abstract).
- 耿全如, 潘桂棠, 王立全, 等. 班公湖-怒江带、羌塘地块特提斯演化与成矿地质背景[J]. 地质通报, 2011, 30(8): 1261-1274.
- GENG Quanrui, PAN Guitang, WANG Liquan, et al. Tethyan evolution and metallogenic geological background of the Bangong Co - Nujiang belt and the Qiangtang massif in Tibet[J]. Geological Bulletin of China, 2011, 30(8): 1261-1274(in Chinese with English abstract).
- 何国琦. 中国新疆及邻区大地构造图[M]. 北京: 地质出版社, 2004.
- HE Guoqi. Geotectonic map of Xinjiang in China and its adjacent area[M]. Beijing: Geology Publishing House(in Chinese), 2004.
- 侯增谦, 曲晓明, 杨竹森, 等. 青藏高原碰撞造山带: III. 后碰撞伸展成矿作用[J]. 矿床地质, 2006, 25(6): 629-651.
- HOU Zengqian, QU Xiaoming, YANG Zhusen, et al. Metallogenesis in Tibetan collisional orogenic belt: III. Mineralization in post-collisional extension setting[J]. Mineral Deposits, 2006, 25(6): 629-651(in Chinese with English abstract).
- 黄汲清, 任纪舜, 姜春发, 等. 中国大地构造基本轮廓[J]. 地质学报, 1977, 2: 117-135.
- HUANG Jiqing, REN Jishun, JIANG Chunfa, et al. An outline of the tectonic characteristics of China[J]. Acta Geologica Sinica, 1977, 2: 117-135(in Chinese with English abstract).
- 纪云龙. 藏北羌塘地块的归属问题[J]. 地学前缘, 2000, 7(4): 370.
- Ji Yunlong. Ascription problem of Qiangtang massif in North Tibet[J]. Earth Science Frontiers, 2000, 7(4): 370(in Chinese).
- 李宝强, 孟广路, 祁世军, 等. 兴都库什-西昆仑成矿带地质矿产概论[M]. 北京: 地质出版社, 2013: 1-53.
- LI Baoqiang, MENG Guanglu, QI Shijun, et al. Introduction to geology and mineral resources of Hindu Kush-west Kunlun metallogenic belt[M]. Beijing: Geology Publishing House, 2013: 1-53(in Chinese).
- 李才, 黄小鹏, 翟庆国, 等. 龙木措-双湖-吉塘板块缝合带与青藏高原冈瓦纳北界[J]. 地学前缘, 2006, 13(4): 136-147.
- LI Cai, HUANG Xiaopeng, ZHAI Qingguo, et al. The Longmu Co-Shuanghu-Jitang plate suture and the northern boundary of Gondwanaland in the Qinghai-Tibet plateau[J]. Earth Science Frontiers, 2006, 13(4): 136-147(in Chinese with English abstract).
- 李春昱, 汤耀庆. 亚洲古板块划分以及有关问题[J]. 地质学报, 1983, (1): 1-10.
- LI Chunyu, TANG Yaoqing. Some problems on subdivision of paleo-plates in Asia[J]. Acta Geologica Sinica, 1983, (1): 1-10(in Chinese with English abstract).
- 李春昱. 1:800 万亚洲大地构造图及说明书[M]. 北京: 地质出版社, 1982.
- LI Chunyu. 1:8000000 Asian geotectonic map and its manual[M]. Beijing: Geology Publishing House, 1982(in Chinese).
- 李春昱, 王荃, 张之孟, 等. 中国板块构造的轮廓[J]. 地球学报, 1980, 2(1): 11-22.
- LI Chunyu, WANG Quan, ZHANG Zhimeng, et al. A Preliminary study of plate tectonics of China[J]. Acta Geoscientifica Sinica, 1980, 2(1): 11-22(in Chinese with English abstract).
- 李尚林, 王根厚, 马伯永, 等. 藏东北巴青县江绵乡上三叠统东达村组和“甲丕拉组”沉积特征及其意义[J]. 地质通报, 2005, 24(1): 58-64.
- LI Shanglin, WANG Genhou, MA Boyong, et al. Sedimentary characteristics of the Upper Triassic Dongdacun Formation and “Jiapila Formation” in the Jiangmianxiang area, Baqên County, northern Tibet, and their significance[J]. Geological Bulletin of China, 2005, 24(1): 58-64(in Chinese with English abstract).
- 林彦斋, 张泽明, 董昕. 拉萨地体东南缘始新世早期变质作用及其构造意义[J]. 岩石学报, 2013, 29(6):

1962-1976.

LIN Yanhao, ZHANG Zeming, DONG Xin. The Paleocene metamorphism of the southeastern margin of Lhasa terrane and its tectonic significance[J]. Acta Petrologica Sinica, 2013, 29(6): 1962-1976 (in Chinese with English abstract).

刘成军. 西昆仑造山带(段)及周缘早古生代-早中生代物质组成与构造演化[A]. 西安: 长安大学博士学位论文[D]. 2015: 19-170.

LIU Chengjun. Composition and tectonic evolution of West Kunlun orogenic belt and its periphery in the early Paleozoic-early Mesozoic [A]. PhD. Thesis, Xi'an: Chang'an University, 2015: 19-170 (in Chinese with English abstract).

刘国成. 羌塘地块壳幔结构及其相互作用模式[D]. 长春: 吉林大学博士学位论文, 2014: 7-10.

LIU Guocheng. Structure of Crust-mantle Beneath Qiangtang Terrane and Interaction Model[D]. PhD. Thesis, Changchun: Jilin University, 2014: 7-10 (in Chinese with English abstract).

刘强, 杨坤光, 张传林, 等. 西昆仑康西瓦断裂显微构造特征及其地质意义[J]. 矿物岩石, 2003, 23(3): 26-30.

LIU Qiang, YANG Kunguang, ZHANG Chuanlin, et al. The microstructure feature and its geological significance of Kangxiwa fracture zone, west Kunlun[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2003, 23(3): 26-30 (in Chinese with English abstract).

吕鹏瑞, 姚文光, 吴亮, 等. 巴基斯坦西北喜马拉雅构造结希斯坦-拉达克地体铅同位素组成特征及其示踪意义[J]. 西北地质, 2015a, 48(1): 56-62.

LÜ Pengrui, YAO Wenguang, WU Liang, et al. Lead Isotopic Compositions of the Kohistan-Ladakh Terrane in NW Himalayan Syntaxi, NW Pakistan & their Tracer Significances [J]. Northwestern Geology, 2015a, 48(1): 56-62 (in Chinese with English abstract).

吕鹏瑞, 姚文光, 张海迪, 等. 巴基斯坦成矿地质背景、主要金属矿产类型及其特征[J]. 地质科技情报, 2016a, 35(4): 150-157.

LÜ Pengrui, YAO Wenguang, ZHANG Haidi, et al. Met-allogenic setting, Genetic types and geological features of main metallic deposits in Pakistan[J]. Geological Science and Technology Information, 2016a, 35(4): 150-157 (in Chinese with English abstract).

吕鹏瑞, 姚文光, 张海迪, 等. 巴基斯坦雷克迪克矿集区斑岩 Cu-Au 矿床(点)地质及动力学研究进展[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2016b, 35(4): 769-780.

LÜ Pengrui, YAO Wenguang, ZHANG Haidi, et al. Research progress on geology and geodynamics of porphyry Cu-Au deposits (occurrences) in Reko Diq ore-concentrated, Pakistan[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2016b, 35(4): 769-780 (in Chinese with English abstract).

吕鹏瑞, 姚文光, 张海迪, 等. 巴基斯坦贾盖火山岩浆岩带斑岩型铜-金矿床地质特征、成矿作用及找矿潜力[J]. 地质学报, 2015b, 89(9): 1629-1642.

LÜ Pengrui, YAO Wenguang, ZHANG Haidi, et al. Geological Features, Mineralization and Ore-prospecting Potential of Porphyry Cu-Au Deposits in Chagai Volcanoplutonic Belt, Pakistan[J]. Acta Geologica Sinica, 2015b, 89(9): 1629-1642 (in Chinese with English abstract).

吕鹏瑞, 姚文光, 张海迪, 等. 巴基斯坦雷克迪克斑岩型 Cu-Au 矿集区典型矿床闪长岩 Pb、Sr、Nd 同位素组成特征及其示踪意义[J]. 地质学报, 2016c, 90(10): 2803-2817.

LÜ Pengrui, YAO Wenguang, ZHANG Haidi, et al. Pb, Sr, Nd isotopic compositions of the diorites from the typical deposits in Reko Diq porphyry Cu-Au ore-concentrated area, Pakistan and their tracer significance [J]. Acta Geologica Sinica, 2016c, 90(10): 2803-2817 (in Chinese with English abstract).

莫宣学, 潘桂棠. 从特提斯到青藏高原形成: 构造-岩浆事件的约束[J]. 地学前缘, 2006, 13(6): 43-51.

MO Xuanxue, PAN Guitang. From the Tethys to the formation of the Qinghai-Tibet Plateau: constrained by tectono-magmatic events[J]. Earth Science Frontiers, 2006, 13(6): 43-51 (in Chinese with English abstract).

莫宣学, 赵志丹, 邓晋福, 等. 印度-亚洲大陆主碰撞过程与火山作用响应[J]. 地学前缘, 2003, 10(3): 135-148.

MO Xuanxue, ZHAO Zhidan, DENG Jinfu, et al. Response of volcanism to the India-Asia collision[J]. Earth Science Frontiers, 2003, 10(3): 135-148 (in Chinese with English abstract).

潘桂棠, 陈智梁, 李兴振, 等. 东特提斯地质构造形成演化[M]. 北京: 地质出版社, 1997: 218.

PAN Guitang, CHEN Zhiliang, LI Xingzhen, et al. Geology, tectonic, formation and evolution of eastern Tethys [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997: 218 (in Chinese).

潘桂棠, 莫宣学, 侯增谦, 等. 冈底斯造山带的时空结构及演化[J]. 岩石学报, 2006, 22(3): 521-533.

PAN Guitang, MO Xuanxue, HOU Zengqian, et al. Spatial-temporal framework of the Gangdese Orogenic Belt and its evolution[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(3): 521-533 (in Chinese with English abstract).

潘桂棠, 肖庆辉, 陆松年, 等. 中国大地构造单元划分[J]. 中国地质, 2009, 36(1): 1-28.

PAN Guitang, XIAO Qinghui, LU Songnian, et al. Subdivision of tectonic units in China[J]. Geology in China, 2009, 36(1): 1-28 (in Chinese with English abstract).

- 潘桂棠. 全球洋-陆转换中的特提斯演化[J]. 特提斯地质, 1994, 18: 23-40.
- PAN Guitang. An evolution of Tethys in global ocean-continent transformation[J]. Tethyan Geology, 1994, 18: 23-40(in Chinese with English abstract).
- 潘裕生, 王毅, MATTE Ph., 等. 青藏高原叶城-狮泉河路线地质特征及区域构造演化[J]. 地质学报, 1994, 68(4): 295-307.
- PAN Yusheng, WANG Yi, MATTE Ph., et al. Tectonic evolution along the geotraverse from Yecheng to Shiquanhe[J]. Acta Geologica Sinica, 1994, 68(4): 295-307(in Chinese with English abstract).
- 邱瑞照, 谭永杰, 朱群, 等. 中国及邻区重要成矿带成矿规律对比研究[M]. 北京: 地质出版社, 2013: 198-282.
- QIU Ruizhao, TIAN Yongjie, ZHU Qun, et al. Metallogenic regularity of important metallogenic belts in China and adjacent areas[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2013: 198-282(in Chinese).
- 任纪舜, 王作勋, 陈炳蔚, 等. 从全球看中国大地构造: 中国及邻区大地构造图(1:500 万)及简要说明书[M]. 北京: 地质出版社, 1999: 1-50.
- REN Jishun, WANG Zuoxun, CHEN Bingwei, et al. Tectonic map and its manual of China and adjacent regions (1:500 000): from global to view the tectonic of China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999: 1-50 (in Chinese).
- 沈百花, 王立新. 巴基斯坦蛇绿岩及铬铁矿分布[J]. 新疆地质, 2008, 26(2): 195-197.
- SHEN Baihua, WANG Lixin. The distribution of Ophiolite and Chronite in Pakistan[J]. Xinjiang Geology, 2008, 26(2): 195-197(in Chinese with English abstract).
- 王超, 刘良, 何世平, 等. 西昆仑早古生代岩浆作用过程: 布隆花岗岩地球化学和锆石 U-Pb-Hf 同位素组成研究[J]. 地质科学, 2013, 48(4): 997-1014.
- WANG Chao, LIU Liang, HE Shiping, et al. Early Paleozoic magmatism in west Kunlun: Constraints from geochemical and zircon U-Pb-Hf isotopic studies of the Bulong granite[J]. Chinese Journal of Geology, 2013, 48(4): 997-1014(in Chinese with English abstract).
- 王鸿祯, 杨森楠, 刘本培, 等. 中国及邻区构造古地理及生物古地理[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1990: 1-88.
- WANG Hongzhen, YANG Sennan, LIU Benpei, et al. tectonic paleogeographic and biological paleogeographic of China and adjacent regions[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1990: 1-88(in Chinese).
- 王金丽, 张泽明, 石超. 拉萨地块东南缘的多期深熔作用及动力学[J]. 岩石学报, 2008, 24(7): 1539-1551.
- WANG Jinli, ZHANG Zeming, SHI Chao. Anatexis and dynamics of the southeastern Lhasa terrane[J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24(7): 1539-1551(in Chinese with English abstract).
- 王元龙, 李向东, 毕华, 等. 西昆仑库地北构造带两侧地质特征对比及其大地构造意义[J]. 地质地球化学, 1997, 2: 53-59.
- WANG Yuanlong, LI Xiangdong, BI Hua, et al. Geological characteristics of north Kudi structure belt, western Kunlun and their geotectonic implications[J]. Geology-Geochemistry, 1997, 2: 53-59(in Chinese with English abstract).
- 吴良士. 巴基斯坦伊斯兰共和国地质构造与区域成矿[J]. 矿床地质, 2010, 29(1): 192-194.
- WU Liangshi. Tectonic and regional mineralization of the Islamic Republic of Pakistan[J]. Mineral Deposits, 2010, 29(1): 192-194(in Chinese).
- 张洪瑞, 侯增谦, 宋玉财, 等. 斑岩铜矿床在东特提斯成矿域中的时空分布特征[J]. 地质学报, 2009, 83(12): 1818-1837.
- ZHANG Hongrui, HOU Zengqian, SONG Yucai, et al. The temporal and spatical distribution of porphyry copper deposits in the eastern Tethyan metallogenic domain: a review[J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83(12): 1818-1837(in Chinese with English abstract).
- 张洪瑞, 侯增谦, 杨志明. 特提斯成矿域主要金属矿床类型与成矿过程[J]. 矿床地质, 2010, 29(1): 113-133.
- ZHANG Hongrui, HOU Zengqian, YANG Zhiming. Metallogenesis and geodynamics of Tethyan metallogenic domain: A review[J]. Mineral Deposits, 2010, 29(1): 113-133(in Chinese with English abstract).
- 郑来林, 金振民, 潘桂棠, 等. 喜马拉雅造山带东、西构造结的地质特征与对比[J]. 地球科学-中国地质大学学报, 2004, 29(3): 269-277.
- ZHENG Lailin, JIN Zhenmin, PAN Guitang, et al. A geological comparison between eastern and western Himalayan syntaxes[J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 2004, 29(3): 269-277(in Chinese with English abstract).
- 朱弟成, 潘桂棠, 王立全, 等. 西藏冈底斯带中生代岩浆岩的时空分布和相关问题的讨论[J]. 地质通报, 2008, 27(9): 1535-1550.
- ZHU Dicheng, PAN Guitang, WANG Liquan, et al. Tempo-spatial variations of Mesozoic magmatic rocks in the Gangdise belt, Tibet, China, with a discussion of geodynamic setting-related issues[J]. Geological Bulletin of China, 2008, 27(9): 1535-1550(in Chinese with English abstract).
- 朱弟成, 赵志丹, 牛耀龄, 等. 拉萨地体的起源和古生代构造演化[J]. 高校地质学报, 2012, 18(1): 1-45.
- ZHU Dicheng, ZHAO Zhidan, NIU Yaoling, et al. Origin and Paleozoic tectonic evolution of the Lhasa terrane [J]. Geological Journal of China Universities, 2012, 18(1): 1-45(in Chinese with English abstract).

- ARTHURTON, RS, FARAH A, AHMED W. The Late Cretaceous-Cenozoic history of western Baluchistan Pakistan-the northern margin of the Makransubduction-complex[J]. Geological Society of London Special Publication, 1982, 10:373-386.
- COWARD MP, WINDLEY BF, BROUGHTON IW, Luff et al. Collision tectonics in the NW Himalayas. In: Coward MP, Ries AC (eds.), Collision Tectonics Geological Society of London Special Publications, 1986, 19: 203-219.
- DOEBRICH JL, LUDINGTON S, PETERS SG, et al. Porphyry copper potential of Tethyan magmatic arcs of Afghanistan[A]. Ninth Biennial SGA Meeting, 9th, Dublin, Proceedings: Irish Association for Economic Geology, 2007, 1:129-132.
- DYKSTRA JD, BIRNIE RW. Segmentation of the Quaternary subduction zone under the Baluchistan region of Pakistan and Iran[J]. In Farah A, De Jong KA, eds. Geodynamics of Pakistan[M]. Quetta, Geological Survey of Pakistan, 1979:319-323.
- GOLONKA J. Plate tectonic evolution of the southern margin of Eurasia in the Mesozoic and Cenozoic[J]. Tectonophysics, 2004, 381(1-4):235-273.
- GUO L, ZHANG HF, HARRIS N, et al. Paleogene crustal anatexis and metamorphism in Lhasa terrane, eastern Himalayan syntaxis: Evidence from U - Pb zircon ages and Hf isotopic compositions of the Nyingchi Complex [J]. Gondwana Research, 2012, 21(1):100-111.
- HÉBERT R, BEZARD R, GUILMETTE C, et al. The Indus-Yarlung Zangbo ophiolites from Nanga Parbat to Namche Barwa syntaxes, southern Tibet: First synthesis of petrology, geochemistry, and geochronology with incidences on geodynamic reconstructions of Neo-Tethys [J]. Gondwana Research, 2012, 22(2): 377-397.
- HEUBERGERS, SCHALTEGGER U, BURG JP, et al. Age and isotopic constraints on magmatism along the Karakoram-Kohistan Suture Zone, NW Pakistan: evidence for subduction and continued convergence after India-Asia collision [J]. Swiss Journal of Geosciences, 2007, 100:85-107.
- HOUZQ, ZHANG HR, PAN XF, et al. Porphyry Cu (- Mo - Au) deposits related to melting of thickened mafic lower crust: Examples from the eastern Tethyan metallogenic domain[J]. Ore Geology Reviews, 2011, 29: 31-45.
- JACOB KH, QUITTMEYER R L. The Makran region of Pakistan and Iran: Trench-arc system with active plate subduction[J]. In Farah A, De Jong K A, eds., Geodynamics of Pakistan[M]. Quetta, Geological Survey of Pakistan, 1979:305-317.
- JAGOUTZ OE, BURG JP, HUSSAIN S, et al. Construction of the granitoid crust of an island arc part I: geochronological and geochemical constraints from the plutonic Kohistan (NW Pakistan) [J]. Contrib Mineral Petrol, 2009, 158:739-755.
- KAZMIAH, RANA RA. Tectonic map of Pakistan[M]. Geological Survey of Pakistan, 1982.
- MALKANI MS. Stratigraphy, mineral potential, geological history and paleobiogeography of Balochistan Province, Pakistan[J]. Sindh University Research Journal (Science Series), 2011, 43(2): 269-290.
- METCALFE I. Gondwanaland dispersion, Asian accretion and evolution of eastern Tethys[J]. Australian Journal of Earth Sciences, 1996, 43(6):605-623.
- NICHOLSON KN, KHAN M, MAHMOOD K. Geochemistry of the Chagai - Raskoh arc, Pakistan: Complex arc dynamics spanning the Cretaceous to the Quaternary [J]. Lithos, 2010, 118:338-348.
- PERELLÓ J, RAZIQUE A, SCHLODERER J, et al. The Chagai Porphyry Copper Belt, Baluchistan Province, Pakistan[J]. Economic Geology, 2008, 103:1583-1612.
- PIVNIK DA, WELLS NA. The transition from Tethys to the Himalaya as recorded in the northwest Pakistan [J]. Geological Society of America Bulletin, 1996, 108(10): 1295-1313.
- RAMSEY LA, WALKER RT, JACKSON J. Fold evolution and drainage development in the Zagros mountains of Fars province, SE Iran[J]. Basin Research, 2008, 20(1):23-48.
- RAZIQUE A. Magmatic evolution and genesis of the RekoDiq H14-H15 porphyry copper-gold deposit, district Chagai, Baluchistan-Pakistan[D]. Ph.D. thesis, The Faculty of Graduate Studies and The University of British Columbia, 2013:27-30.
- REN JX. The continental tectonics of China[J]. Journal of Southeast Asian Earth Sciences, 1996, 13(3-5): 197-204.
- RICHARDS JP, SPELL T, RAMEH E, et al. High Sr/Y magmas reflect arc maturity, high magmatic water content, and porphyry Cu ± Mo ± Au potential: examples from the Tethyan arcs of Central and Eastern Iran and Western Pakistan[J]. Economic Geology, 2012, 107: 295-332.
- RICOU LE. Tethys reconstructed: plates, continental fragments and their boundaries since 260 Ma from central America to south-eastern Asia[J]. Geodinamica Acta, 1994, 7:169-218.
- ROGER F, JOLIVET M, MALAVIEILLE J. Tectonic evolution of the Triassic fold belts of Tibet[J]. Comptes Rendus Geosciences, 2008, 340(2-3): 180-189.

- ROLFO F, LOMBARDO B, COMPAGNONI R, et al. Geology and metamorphism of the Ladakh Terrane and Shyok Suture Zone in the Chogo Lungma-Turmik area (northern Pakistan)[J]. *Geodinamica Acta*, 1997, 10: 251-270.
- ROLLAND Y, PÉCHER A, PICARD C. Middle Cretaceous Back-arc formation and Arc evolution along the Asian margin: the Shyok Suture Zone in northern Ladakh (NW Himalaya)[J]. *Tectonophysics*, 2000, 325: 145-173.
- ROLLAND Y, PICARD C, PÉCHER A, et al. The cretaceous Ladakh arc of NW Himalaya-slab melting and melt-mantle interaction during fast northward drift of Indian Plate [J]. *Chemical Geology*, 2002, 182: 139-178.
- ROLLAND Y, VILLA IM, GUILLOT S, et al. Evidence for pre-Cretaceous history and partial Neogene (19-9Ma) reequilibration in the Karakorum (NW Himalayan Syntaxis) from ^{40}Ar - ^{39}Ar amphibole dating[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2006, 27: 371-391.
- SANGSTER DF. Mississippi Valley-type and SEDEX lead-zinc deposits: A comparative examination[J]. *Transactions of Institution of Mining and Metallurgy (Section B: Applied Earth Sciences)*, 1990, 99: 21-42.
- SCHNEIDER DA, EDWARDS MA, KIDD WSF, et al. Early Miocene anatexis identified in the western syntaxis, Pakistan Himalaya[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1999, 167: 121-129.
- SEARLE MP. Cooling history, exhumation and kinematics of the Himalaya-Karakorum-Tibet orogenic belt [A]. In: Yin A, Harrison TM, eds. *The tectonic evolution of Asia*[M]. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1996: 110-137.
- SENGÖR AMC, KIDD WSF. Post-collisional tectonics of the Turkish-Iranian plateau and a comparison with Tibet [J]. *Tectonophysics*, 1979, 55: 361-376.
- SENGÖR AMC. Tectonics of the tethy sides: Orogenic collage development in collisional setting[J]. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 1987, 15: 213-244.
- SHAH MT, TAZEEM K, AHAMD. Lead isotope signatures of Pb-Zn sulfide mineralization in the Reshian-Lamian area of Azad Jammu and Kashmir, Pakistan [J]. *Chin. J. Geochem*, 2010, 29: 065-074.
- SHARMA KS. Crustal growth and two-stage India-Eurasia collision in Ladakh[J]. *Tectonophysics*, 1987, 134 (1-3): 17-28.
- SIDDIQUI RH, ASIF MK, QASIM MJ, et al. Petrogenesis of Plio-Pleistocene volcanic rocks from the Chagai arc, Balochistan, Pakistan[J]. *Journal of Himalayan Earth Sciences*, 2009, 42: 1-24.
- SIDDIQUI RH, KHAN MA, JAN MQ. Geochemistry and petrogenesis of the Miocene alkaline and sub-alkaline volcanic rocks from the Chagai arc, Baluchistan, Pakistan: implications for porphyry Cu-Mo-Au deposits[J]. *Journal of Himalayan Earth Sciences*, 2007, 40: 1-23.
- SIDDIQUI RH. Crustal evolution of Chagai-Raskoh arc terrane, Balochistan, Pakistan[D]. Unpublished Ph.D. thesis, Peshawar, Pakistan, University of Peshawar, 2004: 353.
- SILLITOE RH. Metallogenic evolution of a collisional mountain belt in Pakistan: A preliminary analysis[J]. *Journal of the Geological Society of London*, 1978, 135: 377-387.
- TRELOAR PJ, POTTS GJ, Wheeler J. Structural evolution and asymmetric uplift of the Nanga Parbat syntaxis, Pakistan Himalaya [J]. *Geologische Rundschau*, 1991, 80 (2): 1411-1428.
- TRELOAR PJ, REX DC. Cooling and uplift histories of the crystalline thrust stack of the Indian Plate internal zones west of Nanga Parbat, Pakistan Himalaya[J]. *Tectonophysics*, 1990, 180: 323-349.
- UENO K. The Permian fusulinoid faunas of the Sibumasu and Baoshan blocks: their implications for the paleogeographic and paleoclimatologic reconstruction of the Cimmerian Continent[J]. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 2003, 193(1): 1-24.
- VEEVERS JJ. Gondwanaland from 650-500Ma assembly through 320Ma merger in Pangea to 185-100Ma breakup: supercontinental tectonics via stratigraphy and radiometric dating[J]. *Earth-Science Reviews*, 2004, 68: 1-132.
- WANG HZ, MO XX. An outline of the tectonic evolution of China[J]. *Episodes*, 1995, 19(5): 6-16.
- XU ZQ, JI SC, CAI ZH, et al. Kinematics and dynamics of the Namche Barwa Syntaxis, eastern Himalaya: Constraints from deformation, fabrics and geochronology [J]. *Gondwana Research*, 2012, 21(1): 19-36.
- YIN A, HARRISON MT. Geologic Evolution of the Himalayan-Tibetan Orogen[J]. *Annual Review of Earth & Planetary Sciences*, 2000, 28: 211-280.
- ZHU DC, ZHAO ZD, NIU YL, et al. The Lhasa Terrane: Record of a microcontinent and its histories of drift and growth[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2011, 301(1-2): 241-255.
- ZHU DC, ZHAO ZD, NIU, et al. The origin and pre-Cenozoic evolution of the Tibetan Plateau[J]. *Gondwana Research*, 2013, 23(4): 1429-1454.