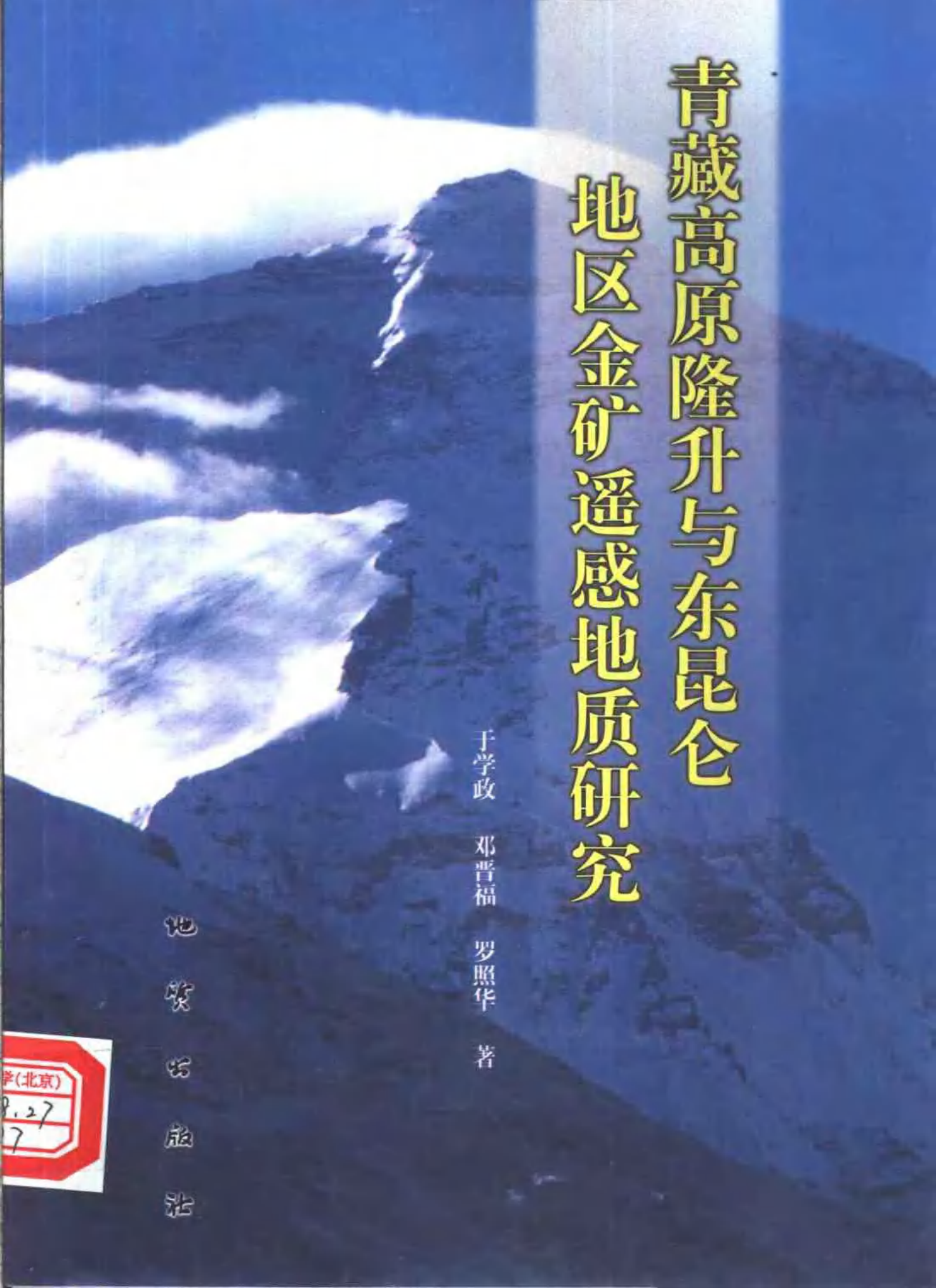




青藏高原隆升与东昆仑 地区金矿遥感地质研究

于学政 邓晋福 罗照华 著

地质出版社

学(北京)

8.27

7

青藏高原隆升与东昆仑地区金矿 遥感地质研究

于学政 邓晋福 罗照华 著

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书以遥感信息解译研究入手,结合岩石构造组合分析,深入讨论了青藏高原的形成、演化、动态过程及其发展趋势。在大地域范围内,应用遥感地质信息对高原周缘山系的水平行走、大地构造格架、构造单元划分作出了详细的解释和论证,揭示了高原不同方位受力的作用方式、受力差异和相互联系。利用遥感与区域岩石构造组合的结合,对晚近地质时期组成高原断块间的差异隆升、浅层扇形开裂等建立了较完整的受力体系。利用高原岩石构造组合记录信息,阐述了高原的形成过程和演化轨迹,建立了高原隆升模式。

本书总结出一套系列尺度,遥感-岩石构造组合综合金矿找矿方法,应用该方法对东(西)昆仑地区金矿成矿条件与成矿环境作出了评估,提出开荒北、马尔争等五个具有大一超大型金矿找矿远景的重要成矿有利区段,其中开荒北金矿已在金矿找矿实践中得到证实。

本书立论思路新颖、认识上有创新、内容丰富、资料翔实,阐述充分。本书可供从事地球科学工作的专业人员和研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

青藏高原隆升与东昆仑地区金矿遥感地质研究/于学政等著. -北京:地质出版社, 1999. 11

ISBN 7-116-02942-7

I. 青… II. 于… III. ①青藏高原-造陆运动-研究②金矿床-地质构造-研究 N.P548.24

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 65097 号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路 29 号)

责任编辑:赵俊磊 陈军中

责任校对:范 义

*

北京印刷学院实习工厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本:787×1092¹/₁₆ 印张:8 字数:180 千字

1999 年 11 月北京第一版·1999 年 11 月北京第一次印刷

印数:1—600 册 定价:16.00 元

ISBN 7-116-02942-7

P·2079

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

前 言

青藏高原海拔在 4 500 m 以上,有“世界屋脊”之称;其制高点珠穆朗玛峰,海拔高度为 8 848m,被誉为地球第三极之极点。

青藏高原位于横跨全球的特提斯-喜马拉雅巨型构造域的中段偏东部位,夹持于塔里木-中朝板块、扬子板块和印度板块之间。自新生代初开始,青藏高原隆升成为时代最新,幅度最大,整体性最完整,隆升和演化信息记录最为齐全和地貌最为年轻的高原。青藏高原丰富多采的地质现象和极其特殊的构造群体组合,举世罕见。高原的崛起,堪称我们这个星球晚近地质时代最重大的地质事件之一。因此,研究和查明青藏高原地质构造特征和地壳、上地幔形成演化规律,查明高原隆升机制及其对环境的影响,对于矿产资源的勘查、开发、国土整治和环境预测以及发展地壳地球科学理论,都具有不可忽视的意义和作用(肖序常,1992)。

青藏高原地旷域雪、高寒缺氧、生活工作条件极其艰苦。自 20 世纪 60 年代以来,中外地质学家克服了重重困难,开展了大量的科学调查和研究,取得了丰富的科研资料,为高原以及全球地学科学研究作出了重大的贡献,一些卓越的成果和认识为后来的高原研究奠定了基础。自 1977 年起,作者有幸参加了高原及其周缘地区(国内部分)部分生产和科研项目,从此对高原研究产生了浓厚的兴趣,为博士论文研究打下了一定的基础(见下表)。

作者在青藏及昆仑地区参加生产和科研工作表

成 果 名 称	参与形式	年 份	发表形式
1:150 万青藏高原地质图	遥感解译与编图	1977~1979	公开
1:150 万高原第四纪地质地貌新构造研究	遥感解译与野外验证	1978~1980	公开
西藏自治区国土资源规划(矿产部分)	深层次咨询首席专家	1994~1995	公开
柴达木盆南北缘金矿遥感找矿	第一负责人	1994~1996	内部
东昆仑地区金矿遥感找矿	项目顾问	1995~1996	内部
西天山西昆仑地区境内外对比解译编图	第二负责人	1995~1996	内部
西昆仑地区遥感编图与金矿预测	解译编图	1996~1997	内部

从上表上可以看出,作者在青藏高原及东西昆仑地区共完成生产科研项目 7 项,特别是利用遥感与区域岩石学相结合的找矿方法为青海省遴选的开荒北金矿找矿靶区,经 3 年勘探及开发已成为具有 10 t 规模和 20 t 以上远景规模的中型金矿。自 1995 年开始完成的主要工作量如下。

(1)考察了新藏公路(叶城—大红柳滩 510 km)、中巴公路(喀什—红其拉甫山口)、青藏公路(敦煌—格尔木—拉萨—亚东)三条主干路线剖面以及数十条地质勘查路线剖面。

(2)编制系列金矿找矿地质图,东昆仑及塞什腾山、阿尔金山三个地区 1:10 万地质找矿图(3 万 km² 三幅),西昆仑、西天山地区两个工作阶段 1:50 万地质及找矿图两幅(各 50

万 km²)。

(3)野外工作三个夏季,约6个月。

(4)采集岩矿标本200余块;Au化验分样样品200余个;分析全岩、微量、稀土样品16件;磨制鉴定薄片21片。

(5)反复解译卫星遥感图像200余景、彩红外航空像片1000余张。

本书阐述了以下几方面的一些认识和成果。

(1)广义青藏高原以喜马拉雅、昆仑山、龙门山等山脉及与其相耦合的三条逆冲推覆构造带为高原的三条边界带,帕米尔、三江、太白山为三个推覆构造系统构成固定高原的三个构造结;高原主体因青藏扁豆体、巴颜喀拉大三角拼合而成,它们记录了印度、塔里木—中朝、扬子三大板块汇聚形式与作用结果。

(2)三大板块汇聚、地壳缩短与高原隆升方式为:印度板块向北俯冲,喜马拉雅双重地壳叠置,高原隆升(陆内俯冲);塔里木—中朝板块向SSW方向压入,造成高原北部推土机式地壳缩短与加厚;扬子板块被动式俯冲,巴颜喀拉大三角向四川盆地方向逆冲推覆,高原浅层有挤出特征,故高原在此部位隆升相对较弱。

(3)晚近时期以来,高原隆升的动态信息表现出,在东西方向上断块构造差异隆升,在南北方向上构造地块相间隆升,高度由西向东逐级递降,高原周缘山系水平行走、地壳浅部扇形开裂。

(4)渐新世以来,高原在水平方向上的生长轨迹为以冈底斯—念青唐古拉地块为中央构造带,火山岩与白云母/二云母花岗岩对分别向南和向北两侧,相背同步生长。磨拉石也记录了由中央带向外围双向扩展的信息。

(5)建立了高原隆升立体模型。

(6)完善了系列尺度遥感-区域岩石学综合金矿找矿方法体系。

(7)利用遥感-岩石学筛选金化探异常方法,圈定了开荒北金矿找矿靶区,为青海探明中大型破碎带蚀变岩型金矿床——开荒北金矿床作出了贡献。

(8)评估了东昆仑国家级金矿勘查基地,预测马尔争、西藏大沟等具大型远景的金矿找矿远景区5处,同时概略评估了西昆仑地区的金矿远景。

本书是在作者博士论文的基础上编写而成的。本书成文期间,先后还得到青海地矿局刘照祥高级工程师、郑建康高级工程师,西北大学张国伟教授,中科院地球物理所孟庆仁研究员,新疆地矿局胡金庆高级工程师,西藏地矿局易绍先高级工程师,中国地质科学院姜春发研究员,中国地质大学赵海玲教授、李述靖教授、邝生爱教授,北京大学成继承教授等的辅导和帮助。同时得到贲卫平、李玉龙、梁月明、曹永清等同志的大力协助。

本书的出版与上述导师和同仁的指导与帮助是分不开的,在此一并表示感谢。

作 者

1998年12月

目 录

前 言

第一篇 青藏高原隆升遥感地质研究	(1)
一、科学问题、科研思路与方法	(1)
1. 前人研究概述	(1)
2. 引起上述认识存在不足的原因	(2)
3. 科学问题的提出	(3)
4. 基本思路与研究方法	(3)
二、青藏高原周缘山系晚近时期以来水平行走运动学特征	(4)
1. 喜马拉雅山脉水平行走	(5)
2. 阿尔金山—西昆仑山行走构造系统	(7)
3. 东昆仑山系行走遗迹	(10)
4. 高原周缘及其邻区其它山系的行走特征	(10)
三、青藏高原大地构造格架中遥感记录的信息	(12)
1. 青藏高原大地构造单元	(12)
2. 青藏高原周边断裂体系	(13)
3. 青藏高原三结点构造系	(16)
4. 小结	(23)
四、晚近时期以来高原断块间的差异隆升和浅层扇形开裂	(24)
1. 青藏高原东西向断块在垂直方向上的差异隆升	(25)
2. 青藏高原南北走向的地块记录的差异隆升信息	(29)
3. 青藏高原活动构造系特征	(33)
4. 小结	(36)
五、青藏高原岩石构造组合记录的高原形成与演化信息	(37)
1. 青藏高原及其周边地区的新生代磨拉石	(37)
2. 火山岩岩石构造组合——高原造山带水平生长之岩石学记录	(41)
3. 青藏高原新生代花岗岩记录的高原形成与演化信息	(47)
4. 火成岩构造组合与高原隆升	(59)
5. 小结	(61)
六、青藏高原形成、演化与发展趋势	(62)
1. 高原隆升(机制)模型	(62)
2. 青藏高原锥体形成前期地质历史溯源	(64)
3. 青藏高原隆升过程	(64)
4. 青藏高原持续隆升现状及其演化趋势	(66)
5. 青藏高原持续隆升和高原范围扩大对我国生态环境的影响及其对策	(67)
6. 专题讨论	(67)

第二篇 东昆仑金矿成矿远景遥感地质研究	(70)
一、国家目标与科学问题	(70)
1. 东昆仑地区金矿简史	(70)
2. 国家目标与科学问题	(71)
3. 科研思路与方法	(71)
二、系列尺度遥感岩石学金矿资源预测	(72)
1. 大区域尺度遥感岩石学解译走廊成矿环境分析	(72)
2. 1:20万、1:25万尺度遥感解译编图研究	(73)
3. 成矿区带尺度遥感找矿五要素研究	(73)
4. 遥感金矿预测实例	(75)
三、地层与金矿关系	(80)
1. 地层与岩石学特征	(80)
2. 地层与金矿的成矿控矿关系分析	(82)
四、火山作用、火山岩与金矿产关系	(85)
1. 火山岩带、岩性组合及分布	(85)
2. 火山岩的岩石化学特征与形成环境分析	(85)
3. 火山作用、火山岩与金矿的关系	(86)
五、东昆仑花岗岩类与金矿成矿作用	(91)
1. 东昆仑花岗岩类的时空分布特征	(91)
2. 岩石学与岩石化学特征	(92)
3. 花岗岩类与金矿的关系	(98)
六、构造与金矿关系	(99)
1. 板块构造环境与金矿的形成	(99)
2. 断裂构造与金矿关系	(101)
七、东昆仑金矿地质特征	(101)
1. 金矿床的主要类型	(101)
2. 剖面上的四层楼模式之金矿成矿模型	(102)
3. 金矿床实例	(102)
八、东(西)昆仑地区金矿资源评价与找矿方向	(105)
1. 东昆仑国家级金矿资源勘查找矿基地	(105)
2. 西昆仑国家级金矿勘查找矿基地	(110)
结论	(114)
参考文献	(116)
英文摘要	(118)

第一篇 青藏高原隆升遥感地质研究

多数地质学家认为,青藏高原的范围,在南北方向上,从阿尔金山和祁连山以南,包括柴达木盆地在内,直到西瓦力克山脉;在东西方向上,西起兴都库什山脉东侧,东至龙门山脉。根据板块构造和现代地貌特征,崔作舟(1992)认为高原的北界应该是东西昆仑山脉;刘照祥(1987)认为塔里木盆地、柴达木盆地同属于塔里木—中朝板块,姜春发(1995)将昆仑山—秦岭—大别山统划为中央构造带之范畴,后两者的意见显然支持前者方案。作者赞同将青藏高原北缘定为东西昆仑山。

一、科学问题、科研思路与方法

1. 前人研究概述

青藏高原研究的核心问题可以概括为两方面内容,即特提斯存亡与青藏高原隆升(莫宣学),后者的精髓在于地壳缩短与高原隆升机制研究。为此,中外地质专家耗费了半个世纪的精力,在全方位研究的基础上形成了以下有代表性的认识,现概述如下。

(1) 印度大陆俯冲到亚洲大陆之下,由于地壳经历了长距离俯冲,产生水平方向的缩短和垂直方向的碰撞叠积致使高原抬升。持有这一观点的代表学者为 Argand E (1924, 1965), 此外还有 Gansser A (1966) 和 Bara Zangi (1982) 等。这一认识的不足之处在于,印度大陆长达一二千公里的远距离俯冲,直至插到东西昆仑山脉之下的论断,实难令人置信。近年来的地震和壳幔层析研究结果证明,双重地壳仅存在于喜马拉雅山脉一带。

(2) 印度板块单方向压入亚洲大陆,东亚大陆形成一系列向东挤出的大构造块体,高原地壳产生水平缩短和垂直隆升。持这种认识的代表学者为 P·塔帕尼耶和 P·莫纳(Tapponnier P., 1986; Molnar P., 1978) 等,他们以青藏高原及东亚地区构造形貌特点和利用蜡泥塑料所做的二维平面压入实验为依据,基于印度板块不断向北压入,类似于一个“包容流体”的青藏高原之后,高原地壳急剧缩短势必引发“液面”隆升,东侧发生有阻尼挤出作用。基于这一认识,较合理地解释了东亚大构造框架以及中国南海的成因。但他也有许多不足之处。首先, P·塔帕尼耶基于印度向北压入为主调的认识是正确的,而忽略亚洲大陆相对向南的压入,显然是一个重大的失误。Willett 等(1994)曾提出亚洲岩石圈地幔向西藏下面俯冲的模型,从另一极端提出针锋相对的认识;据 England (1985) 挤压和拉伸板块边界变形实验证明,变形向板内影响的距离约等于板块边界的长度,因此印度、亚洲大陆碰撞很难影响到西伯利亚;缺乏历史分析,没有明确地交代时代概念,因为东亚挤出构造在时代上具有较宽的跨度,而印度板块与亚洲板块的碰撞发生在始新世—渐新世。在此之前东亚构造影响以及碰撞后由于印度板块俯冲减弱造成的效应等均未交代。

(3) 印度根块单方向推土机式推进造成高原地壳加厚并产生垂直隆升。这一认识的代表人物有杜威、伯克(Dewey J 和 Burke F, 1973) 等,他们的基本论点是印度板块在不断

地向北推压的过程中, 欧亚大陆处于稳固不动状态, 青藏高原地壳是两者在聚合挤压过程中水平缩短, 在垂向上分别向上隆升和向下生长山根, 高原内部及其边缘地区形成大规模的走滑断层等以消减和释放压入能量, 疏通过剩物质。该认识对高原范围内的非史密斯地层系统生成的合理解释提供了很多方便, 但不足之处在于缺少其它学科, 如地磁、古生物、地壳深部结构特征等的支持。

(4) 中国学者的认识。概括地讲, 中国学者的认识基于国内和亚洲部分地区的基本资料较多, 其共同特点是, 在充分考虑印度板块的主动力的同时, 强调西伯利亚大陆向南压入的动力, 因此可以概括为青藏高原地壳缩短和高原隆升机制源于印度—西伯利亚大陆的双向压入, 其作用的结果造成青藏高原隆升和东亚大陆向东挤出。例如, 常承法(1982)认为两大陆碰撞后, 陆内产生一系列低角度逆掩岩片或叠瓦状构造, 造成高原隆升。沈显杰等认为高原隆升可分两种机理: 一为前期板块汇聚, 地壳缩短增厚引起高原垂直隆升; 二为后期岩石圈出现底熔减薄热流增高的均衡调整隆升作用。肖序常、李廷栋(1985)等认为高原隆升过程和机理分为两个阶段, 前期地壳挤压缩短, 高原发生“构造抬升”, 高原山根形成; 后期地壳松弛, 均衡补偿快速隆升。邓晋福等(1995)则认为, 青藏—喜马拉雅的双倍陆壳与山根的形成是陆内造山过程中陆壳汇聚的结果, 是双陆壳叠置(即陆内俯冲作用)与水平缩短或增厚两种机制联合的产物; 青藏高原岩石圈根拆沉、软流层物质进入岩石圈根的位置, 使那里的地幔密度突然降低, 由此产生一个巨大的浮力诱发岩石圈的快速隆升。源于挤压力与山根浮力的抬升动力也是造成青藏隆升的双重动力之一。

2. 引起上述认识存在不足的原因

青藏高原地壳增厚与隆升机制问题十分复杂, 不同的理论, 不同的观点, 不同的信息来源和不同方法技术手段都左右研究者的认识和结论。特别是 20 世纪早中期间, 科学技术还不甚发达, 得出的认识难免要经历现代理论和认识的考验。归纳起来讲, 引起上述认识不足的主要原因来自于以下几个方面。

1) 受制于各自理论体系和方法体系, 缺乏学科间的相互渗透和有效交流, 这一点在国内学派间更为突出, 在与国外同行协作方面亦存在诸多问题。当然, 这也与国内和国际对高原科学研究的经费投入不足有关。

2) 缺乏宏观综合研究的支持。其具体表现在:

①研究区域过分集中于三纵两横交通干线剖面(新藏、青藏、川藏公路等)以及喜马拉雅山脉、雅鲁藏布江、冈底斯山脉、班公错等重点区域; ②国外学者主要依据对喜马拉雅山脉和高原南部部分帕米尔地区以及印度大陆地区科研成果, 国内学者主要依据青藏公路沿线以及高原周缘省区的科研成果, 常常单独研究和强调自身形成的过程较多, 讨论它们之间的联系则较少; ③以高原整体作为科研对象的项目少而又少, 且大多不包括或涵盖重要的边缘地区, 将帕米尔、三江等均置于科研范围之外, 故而很难形成整体宏观认识。

3) 薄弱的高原基础地质调查现状极大程度地制约了高原科研的向纵深领域扩展。据不完全统计, 高原 1:20 万区调空白面积达 90% 以上, 1:50 万区调空白面积在 60% 左右, 较短时期内, 高原区调亦难有较大起色, 制约科研的作用还将继续。

4) 缺乏完整、系统的有关新生代以来高原形体演化的研究, 特别是对高原本体、周缘地带动态变化和趋势监测等研究更是不足。同样, 高原表层形体与深层构造乃至岩石圈特

征存在着的内在联系研究也很少。

3. 科学问题的提出

鉴于上述,我们提出如下5个科学问题:①青藏高原周缘山系行走构造动力学原理;②青藏高原板块汇聚机制;③青藏高原构造地块差异隆升与高原表层张裂特征;④青藏高原岩石构造组合记录的高原形成—演化与隆升信息;⑤青藏高原形成与演化模型。

4. 基本思路与研究方法

青藏高原作为世界地球科学研究热门的地区之一,历来为国际地学界瞩目,其相关论题及成果在历届国际地质大会上均是专家学者注目之焦点。作者试图以遥感地质解译提取有关高原形成与演化的动态信息,从岩石构造组合分析角度,探索高原形成与演化及其发展趋势。

1) 青藏高原恶劣的自然和工作环境,限制了常规科研手段的使用,而航空和航天遥感技术,恰好可在高原高山和僻远区域施展准实地、准三维空间地质科研之本领。遥感图像不但可以记录岩石构造等地质信息,还可记录有高原演化的动态信息。遥感具有的宏观性是其它任何常规方法所不及的。遥感技术的另一特点是越是时代年轻的地质体,或地质作用,记录的信息越清楚,易于辨别。青藏高原正好是最年轻的喜马拉雅造山运动之产物,在这里开展遥感地学研究大有作为。当然,遥感也存在着明显的不足之处,那就是对地质问题认识的多解性和不确定性,因此可通过岩石构造组合的方法克服。

2) 新生代岩石构造组合记录高原形成与演化信息

- (1) 磨拉石标志高原边界、范围和隆升幅度;
- (2) 白云母花岗岩/二云母花岗岩记录陆内俯冲和边界的变化;
- (3) 火山岩组合记录着隆升高原、动态边界;
- (4) 碱性花岗岩和钾玄岩组合的出现,暗示高原岩石圈根开始拆沉;
- (5) 高原地貌形体与格架记录着高原隆升与演化过程信息。

3) 遥感技术与岩石构造组合分析相结合,基于区域岩石学角度,识别、解译和利用遥感图像记录的高原隆升与演化信息,正确分析现代地貌景观与高原深部构造之内在关系,对高原地壳缩短和垂直隆升这一动态过程进行追踪和溯深,同时探索其隆升机制,建立立体演化模型,预测其发展趋势。

研究方法如下。

1) 遥感信息地质解译

资料来源:美国陆地卫星 TM 与 MSS 图像、加拿大雷达卫星 SAR 图像、部分彩红外航空照片等。

解译方法:目视解译、徒手转绘、计算机图像图形处理、机助解译。

解译内容:与高原隆升相关的地质体、地质现象及隆升动态过程信息。

(1) 地质构造形迹信息:未经历重大形变或形变不十分严重的地质体、地质现象信息,主要指晚近时期以来的地质构造信息。

(2) 地质构造遗迹信息:地质体或地质现象经历较严重的构造改变,形变比较强烈的信息,主要指第三纪以来发生在板块缝合带、高原周缘山系、帕米尔、三江、太白山三结点等部位的地质构造信息,如逆冲推覆体等。

(3) 轨迹与动态信息:渐新世以来,伴随高原强烈的隆升,组成高原的各种地质体,随

着地质时代的演替,形迹和面貌在三维空间上发生着潜移默化地变化,这些反映地质构造形体上的四维动态信息,可作为追踪高原隆升轨迹,反演高原隆升过程的主要参考资料。

(4) 隆升过程反演:利用上述资料,结合岩石构造组合分析认识,建立高原隆升立体模型、预测高原发展及演化趋势。

2) 岩石构造组合分析,特别着重对记录高原边界变化和垂向隆升,以及陆内俯冲、岩石圈根拆沉等信息的新生代磨拉石、白云母花岗岩/二云母花岗岩、碱性花岗岩/钾玄质玄武岩等进行岩石学、岩石化学以及构造环境辨别分析。同时结合遥感获取高原形体形貌及其隆升演化信息进行岩石构造组合分析,进而增强遥感解释的可信程度,提高区域岩石学研究的深度和广度,达到两个学科间的交叉渗透,互补短长之目的。

3) 与高原隆升相关的地质信息在遥感图像上的解译标志

磨拉石、火山岩/火山机构、花岗岩类、差异隆升地块、行走山系或地块、板块缝合带/蛇绿岩带、断陷岩/断隆带、推覆体/构造窗、断层/褶皱(略)。

二、青藏高原周缘山系晚近时期以来水平行走运动学特征

渐新世末—中新世,高原地壳缩短加剧,造山运动强烈,喜马拉雅、昆仑、龙门、帕米尔等迅速成山(高原),雅鲁藏布、印度河等江河水系形成,高原摆脱了雏体格局,开始了全方位的抬升。高原隆升最敏感的部位为周缘地区,喜马拉雅等巨型山系的快速抬升,造成与参照系(印度平原)的截然反差,形成青藏高原这一重要的地质结果。因此,在周缘山系的形体与框架之中记录丰富而又关键的有关高原地壳缩短与隆升以及几何运动学方面的动态信息,这些信息正是如Tapponnier的东亚大陆向东挤出、杜威的推土机推进式升高、Argand的碰撞造山和邓晋福的印度、亚洲大陆双向压入等认识和解释青藏高原的重要依据。作者从遥感图像解译出大量有关高原周缘山系水平行走(图1)的几何运动学动态信息,为分析高原形成与演化的力学机制提供了新的认识切入点。

每当人们提起雅鲁藏布江大拐弯,一种神秘之感油然而生,是什么力量造就如此雄伟苍劲的地貌景观呢,它们与喜马拉雅山系在形成和演化过程中有着什么样的内在联系呢。我们知道,高原山系形体中记录的动力学信息,经构造水系的变迁而动态化和半定量化了。由于喜马拉雅山系的弧形伸展,各组成断块、地块必定在水平方向上产生位移,众多的切穿周缘山系的河流如印度河、叶尔羌河、车尔臣河(图2)、喷赤河、西巴霞曲等必然伴随山体的位移不断地改变河道的走向和位置,在这循序渐进的过程中,形成了诸如“コ”形大拐弯这样特殊的水系构造型式(图3),通过半定量地计算“コ”形拐弯的位移量,可以概略地确定山体在该段的伸展或收缩距离。这种方法我们称之为山系水平行走研究方法。

所谓的“行走”一词,系“行走构造”的简称。它借用太空行走词组中行走一词的含义,意指空间飞行器在太空飞行的动态环境下,宇航员走出太空仓,依附在飞行器外围进行太空漫步等各种科学实验活动。引用到青藏高原周缘山系动态构造形迹研究中,转意指在高原整体隆升的动态环境中,周缘山系作为高原主体组成部分中的一部分,对高原塑造营力的感应最为敏感,记录并反馈着几何运动学方面的动态信息。这些信息泛指周缘山系在水平方向上弧形拉伸、相对挤压,水平位移或山系同步行走等,以及各断块在相对错移过程中表现在相对快慢差别方面的信息。显然,这里不强调断块在垂直方向的运动。

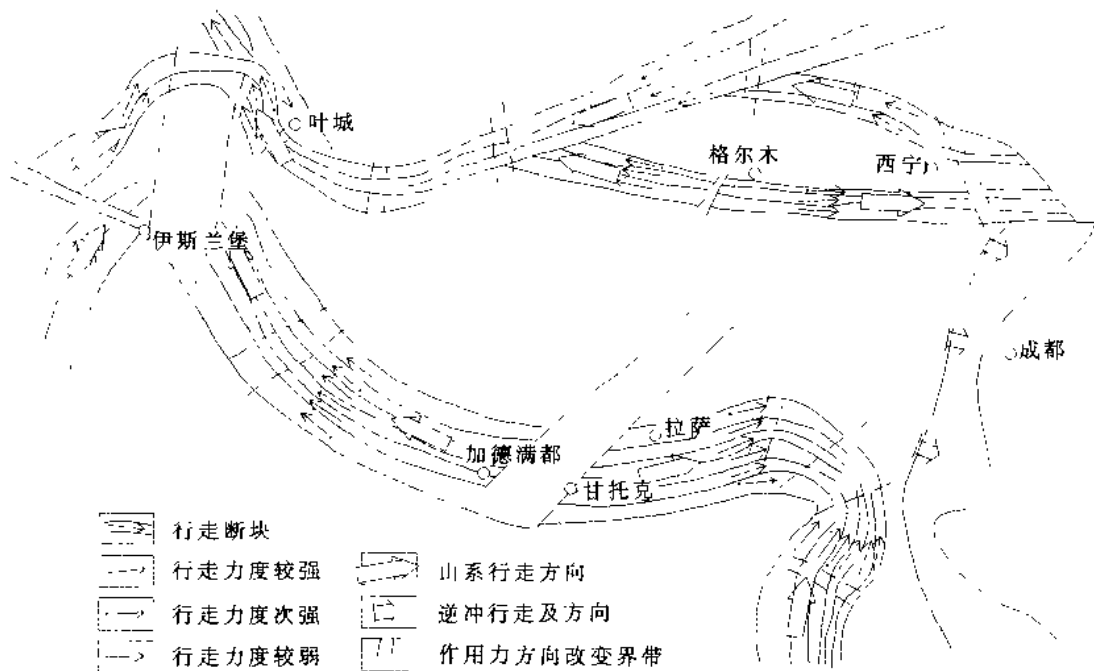


图1 青藏高原周缘山行走方向及力度解译图

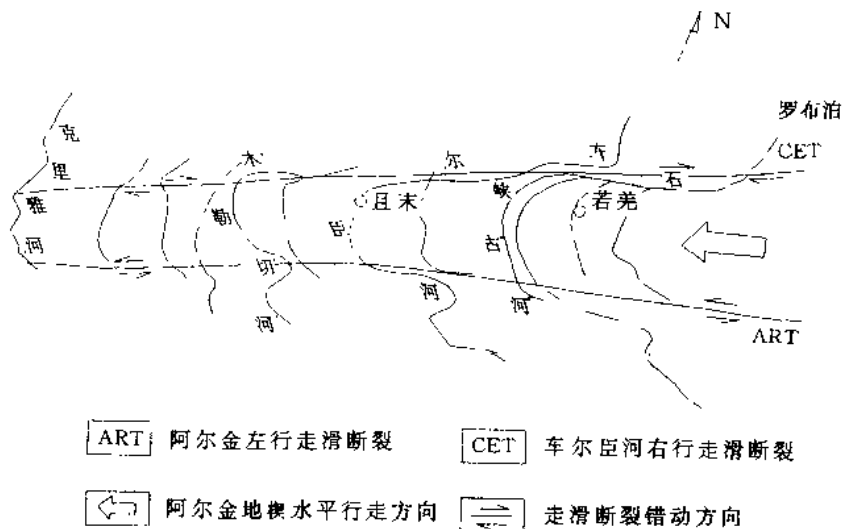


图2 阿尔金地楔水平行走与车尔臣河大拐弯形成机制

1. 喜马拉雅山脉水平行走

喜马拉雅山脉东西全长 2 400 km, 整体呈向南突出的弧形山系, 蜿蜒在青藏高原的南缘, 它的东西两侧分别为帕米尔、三江反射弧形山系。横穿喜马拉雅山脉的水系有雅鲁藏布江、印度河、朋曲等, 它们伴随喜马拉雅山脉的水平伸展而一直处于“コ”形拐弯运动过程中, 它们代表着喜马拉雅山脉行走的动态过程。

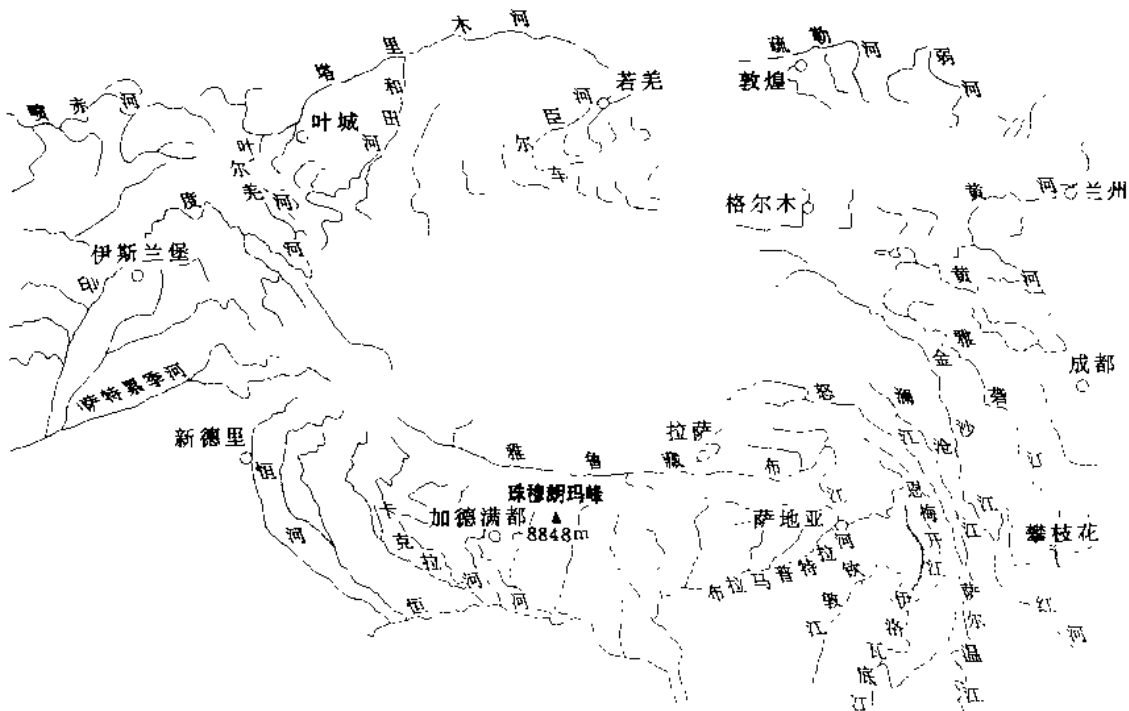


图3 青藏高原周围山系构造水系图

1) 从构造角度, 南以主边界断裂, 北以雅鲁藏布江—印度河缝合带为界, 喜马拉雅山脉可划分为六个水平行走山系岩片, 它们由北向南依次排列, 大约以六等分状态平分, 整体呈弧形展布, 与喜马拉雅山脉地貌形态相一致。西端伊斯兰堡一带和东端萨地亚一带分别形成两个反射反转弧形山系。

2) 喜马拉雅山脉在晚近时期的水平行走的主体特征是分别向东和向西两个方向相背行走, 中央分界带为珠穆朗玛—念青唐古拉断块, 断块以东向东, 以西向西水平行走。

(1) 东段地块由西向东、呈向SE突出的弧形, 在向东行走过程中, 行走距离由中央分界带向东逐级加大。定性测量结果认为, 晚近时期以来各水系所代表的岩块的行走距离分别为, 摩河 50 km, 库尔河 250 km, 西巴霞曲大拐弯 400 km, 雅鲁藏布江大拐弯 500 km。塑造了雅鲁藏布江、西巴霞曲等系列大拐弯奇观。

(2) 西段地块大致范围东起甘托克, 西至斯利那加附近。地块沿高原边界弧形行走, 印度河、奇纳尔布河和西奇纳尔布河、萨特累季河、象泉河、恒河上游诸支流水系等随山体同步行走, 形成一系列“コ”形大拐弯构造。依据它们行走距离统计结果, 印度河为 500 km、西奇纳布尔河为 350 km、奇纳布尔河为 250 km、萨特累季河为 200 km、象泉河为 100 km; 卡那里河为 200 km、特里西利河为 100 km。朋曲/阿龙河相对静止。西段山系塑造了印度河、奇纳尔布河“コ”形大拐弯奇观。其中印度河在穿越帕米尔高原时对地形的切割作用决不亚于雅鲁藏布江。

值得注意的是, 喜马拉雅山脉西段行走地块在狮泉河—冈仁波齐峰一带形成一个弧形行走山系之拐点构造, 此部位西、东两段在同步行走同时, 发生间歇与停顿。

3) 喜马拉雅山脉东端反射弧形山系的山体行走轨迹

以三江峰腰构造轴部为中分线的横断山脉,在印度板块东端犄角构造压入和上地壳水平行走双重作用影响下,喜马拉雅山脉东端山体呈现出弧形转弯,弧顶面向 NE 方向的构造形迹。同时,组成山体的六个岩片发生了由两侧向中分线方向的对挤行走运动,其北侧的雅鲁藏布江大拐弯正是在这种背景下形成的特例,而南侧的萨尔温江以西诸条河流,如:伊洛瓦底江、恩梅开江、瑞丽江、亲敦江等都显示出被地块行走背驮改造河道形态之遗迹。

4) 喜马拉雅山脉西端南帕米尔反射弧形山体行走轨迹

位于帕米尔高原南侧的喜马拉雅山脉与苏莱曼山交汇部部位,在地理上形成联合反射弧形山体,其中央中分线位于帕米尔中轴线附近。受印度板块西侧犄角构造顶入和山体响应作用影响,此部位形成了双向相向行走,对挤于中分线附近的山体运动格局。由于印度河位于喜马拉雅山体内,故形成向 NW 行走的大拐弯构造;而位于苏莱曼的诸多水系多形成相对向 NNE 方向行走之迹象,属于印度河西岸地区的支流水系古马勒河、班努河、喀布尔河等,均反映了苏莱曼山地块相对向 NNE 方向行走的运动迹象。

5) 小结

喜马拉雅山脉主体构造被 NNE 向甘托克—珠穆朗玛—念青唐古拉地块隔断后,分别向东西两个方向行走,六个岩片之间亦发生强度各异、距离大小有别的差异同步行走特性。宏观看,喜马拉雅外围岩片行走强度大,距离略长;而内侧岩片相对较弱;两端反射弧构造则表现为内弧较弱,外弧较强。存在于喜马拉雅山脉之中的甘托克—珠峰中分地块表现为拉伸环境下的垂直隆升特点;昌迪加尔—冈仁波齐地块则表现为 NW—NW 单向剪切、间歇式隆升特点;而东、西两个反射弧中分地块则表现为剪切对挤、水平缩短,垂直隆升之特征。从力学角度分析,造成这种现象的原因有二,一是南北方向的对压应力以及由南向北单向挤压造成喜马拉雅山脉弧形南突的同时,于中分地块附近产生张裂应力,即东西方向的张应力起始线位于中分地块附近;二是弧形山体形成的力学机制表明外弧较内弧伸展充分(挤压则相反),位移量是外弧大于内弧。概括起来,喜马拉雅山系及其两端反射弧形山体的行走构造特征说明这样几个事实:①印度板块由南向北的压入是造成喜马拉雅山脉和青藏高原抬升的主要动力;②印度板块东西两个犄角状突出部位,分别向东北方向(三江高原)的插入和向北北西方向(帕米尔高原)的逆冲是引张喜马拉雅弧形山系、以甘托克—珠穆朗玛峰—念青唐古拉为中分地块,分别向东和向西进行水平行走的主要动力之一;③三江和帕米尔两处反射弧形山系沿中分轴部水平对挤行走的力源,来自于两犄角构造的分别向东北和向北的挤压。

2. 阿尔金山—西昆仑山行走构造系统

青藏高原北缘地区的行走构造主要由西昆仑山和阿尔金山地楔两部分组成。

1) 阿尔金山行走体系

横亘于高原北缘的阿尔金山脉,在地理上虽可称得上独有其名的大山,但在地质构造上名分却极小,以致于其组成成分往往被归并到天山—祁连山地槽系之中(刘照祥,1990),因此常被称之为北山—两尔金山地楔。从地质构造角度讲,该地楔近高原部分横穿天山褶皱系、塔里木地台与柴达木地块;远离高原部分切割阿拉善台隆的西延部分,并波及到兴-蒙地槽。该地楔整体呈 NEE—SWW 走向,楔尖指向塔里木盆地南缘的和田—于田一带;楔体向 NEE 方向撒开。围限楔体的两条边界断裂分别为,北西边界,车尔臣河—星星峡右行走滑断裂带;南东边界,阿尔金右行走滑大断裂。北山—阿尔金山地楔在两条边

界断裂的控制下,由 NEE—SWW 移动插入于西昆仑山系之中,使得两侧原本属于:①一个完整协调、并具有统一地质特征的东西走向的昆仑山系;②一个统一地块的塔里木和柴达木盆地;③同一裂陷槽形成的褶皱系天山系和祁连系或被一分为二,或被解体或使其连续性遭到破坏。依照对比地质体错动距离,经刘照祥计算,地楔的原始位置在塔里木—柴达木盆地以北,移动到现在昆仑山北坡山前,其移动距离约 800 km,阿尔金山段约 600 km,敦煌段约 400 km,山北一带约 200 km。从现代地貌学观点出发,当阿尔金山地楔由北东向南西插入过程中,发源于阿尔金断裂南东部位昆仑山系的河流在穿越地楔的同时,随地楔不断向南西方向移动,使原本直接流入塔里木盆地的河流发生系列“コ”形演化事件,它们大致以每 50 km 一条较大河流的密度整齐排列于阿尔金山及其山前地带。其中最为著名的当属车尔臣河及瓦石峡古河两个大拐弯形迹,两者相互平行,同步前进,只是后者在晚近时期水源枯竭,失去了直接汇入罗布泊的机会。若以塔他让—罗布庄联线(大拐弯“コ”长度)水平行走距离,并参照瓦石峡口—罗布泊古河道轨迹计算,可以认为阿尔金山及其山前地带晚近时期的水平行走距离约为 300 km。根据遥感解译结果,阿尔金地楔作为一个整体,分由三个岩片组成,三者之间在共同向 SW 行走过程中,相互之间亦存在着行走速率和位移距离上的差异,这些都反映在水系构造拐弯的形迹之中。概略计算得知,中央岩片相对行走较快,两侧岩片相对较慢,我们认为这种差异是阿尔金左行走滑断裂系和车尔臣河右行走滑断裂外盘阻力增大之故。特别是南东岩片,个别部位有相反折弯现象出现。

阿尔金行走山体在水平方向上分别于且末和于田两处形成间歇驿站和变速点,其中前者发生矢力转向事件,后者行走速率由大突变趋小。

2) 西昆仑行走山系

横亘于铁克力克—喀拉湖一带呈 NW 走向的西昆仑山系,在地质和地理上依据不同科研出发点,分别被冠以西昆仑造山带,塔里木盆地南缘、帕米尔北东侧外弧,青藏高原/帕米尔蜂腰构造北带,以及青藏高原北缘山系等称谓,可见几大构造单元分别从不同侧面对西昆仑的形成和演化进行雕塑和加工。因此,古老而又年轻的西昆仑山系记录了丰富的地质和地理作用力信息,特别是有关新生代以来高原隆升和与其相协调应力结果,为高原晚近时期动力学研究提供直接证据。

上新世以来,在青藏高原发生强烈隆升的同时,处于印度板块西部犄角部位的帕米尔迅速北移,形成了巨型逆冲推覆构造。作为高原北界带的西昆仑山体,在强大的印度板块犄角向北推挤力的作用下,改变了原始向南对齐的状态,参与到由南向北的水平移动之中。此时,阿尔金山—北山地楔强大的由 NE 向 SW 的插入力并没有抵挡住来自印度方面的压力,在于田一带被西昆仑北移作用力吸收,产生了由南东向北西作用的合力,加速了西昆仑山体的行走速度。

从大地构造角度上看,西昆仑行走山系的北界带为费尔干纳断裂带的南延部分——西昆仑山前断裂;南界带为康席瓦断裂,其前者具左行剪切性质,后者兼具左行剪切特征。两断裂间夹山系可划分为西昆仑山前地块、北带、中带和南带四个岩片,它们在水平弧形行走方式和速度上,在宏观一致的同时,各岩片亦保持着各自的差异特征。在 NNW—SEE 方向上,行走山系可划分为两个断带,西带位于叶城—乔戈里峰—伊斯兰堡峰腰构造中轴线上,断带控制和改变行走山体的行走速度和方向,以西段呈 NNW 走向行走速度更快。东

段呈 NEE 走向,行速略慢;东带位于于田—托马尔弧形构造中轴线附近,系分离阿尔金地楔和西昆仑地块的界带。此带使 NE 向 SW 间移动插入的阿尔金山地楔作用力,转移折向 NW 向移动。值得指出的是,该断带以西地段在宏观向 NW 行走的同时,近期有向 SE 逆向行走迹象存在,这是由于塔里木地块和费尔干纳、阿尔金山两条巨型构造带相对交汇并向南挤压作用的结果。同时我们还可以看到,阿尔金山地楔携带祁连山、北山的地质成分占据了原属昆仑山脉成分位置。可以清楚地反映西昆仑山系弧形行走方向、强度和距离的水系主要有,玉龙喀什河、喀拉喀什河、提孜那甫河、叶尔羌河和盖孜河等山区水系中的“コ”形大拐弯构造。其中后二者既不但标示出西昆仑山脉在晚近时期的行走特征,还对青藏高原西部,包括喀喇昆仑山脉在内的北缘地带的水平移动方位与强度有着极为有利的指示作用。下面简要介绍几个干流水系的大拐弯构造与指示意义。

(1) 玉龙喀什河发源于喀拉喀什山南侧,沿康席瓦断裂带西流至慕士山(6 638 m)附近折向北流,并在乌库以西部位,袭夺了原克里雅河干道,穿越铁克里克向北流出。从克里雅河巨大河道和微量汇水面积、小流量等特征看,玉龙喀什河的袭夺事件发生在晚近时期,它的行走距离大致在 150 km 左右。

(2) 喀拉喀什河起源于河尾滩附近,沿康席瓦断裂带西流至谢依拉附近折向北流变为东流形成大拐弯构造,当流至石炭系岩层出露区域时,与原属于喀什玉龙河水系的上游支流汇合,这里遗留下喀什玉龙河大拐弯故道。从该河流两个大拐弯前移距离推测,西昆仑山系在此地段向 NW 方向移动约 100 km。

(3) 叶尔羌河源于喀喇昆仑山主峰乔戈里峰东部,西流塔吐鲁沟附近,折向北流形成大拐弯构造,在喀群附近出山,流入盆地。叶尔羌河中游大拐弯部位,垂直宽度达 120 km,其主体位于西昆仑山系之中,包括南部喀喇昆仑部分山区。该拐弯在构造上处于叶城—伊斯兰堡蜂腰构造中轴线部位,水平位移距离最大,若以出山口原位于柯克亚附近,被袭夺水系提孜那甫河和源区塔吐鲁沟—麻扎一带为行走距离计算的话,西昆仑该段的行走距离分别是北界行走约 100 km,南界约 200 km。其内弧行走距离较短,可以归入蜂腰构造中轴线内弧部位水平缩短作用强烈之因由。

(4) 盖孜河分别源于慕士塔格和乌孜别里山口。古源头在红其拉甫一带,经塔什库尔干谷地北流,于布伦口附近穿越西昆仑入盆地。晚近时期,由于慕士塔格推覆体强大的由东向西推覆作用,在卡拉苏一带古河床形成分水岭,强烈的地形抬高,致使卡拉苏—塔什库尔干河段、斯特古孜—其如克同河段河水倒流,在其如克同一比勒吉依附近形成袭夺点。

依据盖孜河流域在卡拉其古—布伦口—乌帕米形成的“コ”型大拐弯代表以水平行走距离计算,西昆仑此段的行走距离分别是山前部位约 50 km,塔什库尔干断陷谷地段约 150 km。

3) 小结

阿尔金地楔和西昆仑山系的行走构造特征告诉我们,当印度板块快速强烈向北推进塑造青藏高原的同时,塔里木板块的向南对挤压入作用亦不能忽略。从阿尔金地楔大规模地向 SW 方向水平行走与向(高原)下方插入以及费尔干纳断裂东侧,塔里木板块向 SW 方向压入,西昆仑山前断裂向 SW 方向倾斜等证据来看,塔里木板块向南的压入是主动性的。显然 Tapponnier 的实验未能证实这一点。那么,塔里木板块向南对挤达到什么样的程度呢,从康席瓦断裂向北倾斜的产状上可以分析出,塔里木板块的压入没有超越康席瓦构造的界

带。因此,在西昆仑区域的高原地壳缩短方式可推测为具有推土机式的水平缩短方式,与地球物理的解释十分接近。

3. 东昆仑山系行走遗迹

相比较而言,东昆仑山系在水平方向上的山体行走类型比较简单,距离较短。在大地构造上,东昆仑地块的南北界分别为昆南断裂和山前倾斜平原溢出带断裂。中间又为昆北、昆中两断裂劈分为三个岩片,它们之间在整体行走过程中,自身亦保持有速率、距离等方面的差异。

东昆仑行走山系在格尔木一带形成具张裂拉分性质的断块,由此分离出两个相背面驰的行走山体。东昆仑西段西行山体,它的行走力源主要受制于阿尔金—北山地楔由北东向南西移动楔入之牵引力,因此,在木孜塔格附近两大构造带以低角度斜接方式交汇,两者之间的交接关系是阿尔金地楔为主体,东昆仑西段为次级构造形迹。东昆仑东段东行山山体大致从格尔木至秦、祁、昆交汇部位,山体晚近时期各段东移距离分别为:诺木洪为 25 km、都兰为 50 km、同仁为 50 km、洮河为 100 km。根据分段判译结果,东昆仑东段三个子岩片间的行走差异表现为中间岩片行速较慢,而两侧岩片行移快些,致使垂直于东昆仑山脉的非等间距排列水系出现蛇形折弯特征。

值得指出的是,黄河在绕过阿尼玛卿山时发生的巨大的近乎于倒流的折弯地貌,并非全因阿尼玛卿山由 NWW 向 SEE 快速滑移所致。遥感解译结果告诉我们,黄河上游原本为两条由阿尼玛卿山隔离的内流水系,其南部水系暂称之为“鄂陵—扎陵河”,北部为玛曲,它们同时汇入新第三纪时期特提斯残留湖——毛儿盖湖等。当高原急剧隆升时,毛儿盖古湖亦强烈抬升,并高出玛曲河床,致使湖体退缩,湖水经玛曲外泄流入柴达木盆地,鄂陵—扎陵河顺势衔接玛曲共同构成黄河上游,这一点从玛曲河沿途的支流水系的倒流汇聚方式中得到证据。因此,黄河大拐弯不能简单地代表晚近时期阿尼玛卿在水平方向上的行走距离。当然,我们也发现阿尼玛卿山体头部的巨大山体滑移,也是造成使黄河河道向东推移了约 75 km 左右的距离的主要原因之一。

东昆仑山系水平行走所表现的特点说明,它的两段向西行走,交汇于两阿尔金断裂带。按照行走块体标示的运动方向,阿尔金断裂两侧块体均呈现出准同步、小角度差异行走特征,与传统的左行走滑和 Tapponnier 的挤出构造认识存在着较大的区别,这至少说明晚近时期以来,阿尔金断裂表现一定的转换断层的性质,也间接地说明塔里木/柴达木地块向南挤压作用的存在。若结合祁连山系水平行走所得出的受力形式,更加加强对塔里木—中朝板块的向南挤压的证实,只不过塔里木板块比柴达木/阿拉善板块挤压更为强烈。

4. 高原周缘及其邻区其它山系的行走特征

1) 祁连山系的水平行走特征

高原近邻祁连山脉,位于阿尔金山—北山地楔之东侧,总体受地楔水平行走牵引,表现出由 SEE 向 NWW 方向的行走趋势。其较大河流弱水、黑水河、疏勒河等表现出移动距高较东昆仑山系更为强烈。据估计疏勒两移距为 120 km,黑水河为 100 km,弱水为 50 km,呈现出愈靠近阿尔金断裂,水平行走距离愈大的特点。

2) 西帕米尔山系的水平行走特征

与西昆仑山系一样,西帕米尔外缘山系在遭受到来自于印度板块西部犄角的单向挤压后,于晚近时期仍发生着大规模的山体水平行走事件。从喷赤河上游诸多支脉水系遗留下