

西秦岭中—新生代红层的构造层划分及其构造意义

郭进京¹⁾, 韩文峰¹⁾, 赵海涛¹⁾, 张帆宇²⁾, 梁收运²⁾

1) 天津城建大学地质与测绘学院, 天津, 300384;

2) 兰州大学土木工程与力学学院, 兰州, 730000

内容提要: 西秦岭及其邻区中—新生代红层地层包括白垩系、古近系和新近系。这些红层地层的沉积组合、构造变形、空间分布及相互关系等是西秦岭中—新生代陆内地质过程的客观记录, 对其系统研究是重建西秦岭及其邻区中—新生代构造演化过程之基础。依据这些红层地层之间的角度不整合、沉积序列与沉积环境、空间分布型式和构造线方向及构造样式, 西秦岭及邻区中—新生代红层地层可分为早白垩世、晚白垩世、古近纪—新近纪三个构造层。三个构造层对应于西秦岭中—新生代陆内构造演化的三个不同阶段, 即早白垩世北东向盆—山构造、晚白垩世区域左旋走滑拉分构造和渐新世—上新世区域伸展泛盆地阶段。结合印支期多块体拼贴形成的中国大陆中—新生代陆内构造格局与岩石圈动力学过程分析, 认为西秦岭早白垩世北东向盆山构造格局是中生代以来西太平洋板块向西俯冲导致的东亚区域性伸展构造的组成部分; 晚白垩世走滑拉分盆地则是白垩纪拉萨地块与羌塘—昌都地块汇聚碰撞背景下中国西北大陆区域性左旋走滑作用的结果; 而渐新世—上新世的泛盆地阶段则指示了印度板块与欧亚板块碰撞的远程构造—地貌响应之前经历了漫长区域伸展均衡拗陷和侵蚀夷平期, 这说明上新世, 西秦岭尚未成为现今青藏高原的组成部分, 也就是说新生代以来印度板块与欧亚板块碰撞汇聚的构造响应起始于上新世末期。

关键词: 青藏高原东北缘; 西秦岭; 中—新生代; 红层地层; 构造层划分; 构造演化

西秦岭既是青藏高原东北缘重要组成部分, 也是我国东西向中央造山系和南北向贺兰—川滇地震构造带交汇、东西构造地貌转换过渡和岩石圈尺度的“立交桥”结点区域(张国伟等, 2004a)。古特提斯洋盆的闭合导致了诸多的微块体于晚三叠世至中侏罗世碰撞拼贴, 形成了东亚大陆南部巨型印支造山系(许志琴等, 2012), 完成了中国大陆主体的拼贴(张国伟等, 2003, 2004b)。作为印支期巨型印支造山系的重要组成部分的西秦岭, 白垩纪以来进入了不同于印支期板块汇聚的碰撞造山过程作用的陆内构造演化阶段(张国伟等, 2001, 2004a; 冯益民等, 2002)。特别是西秦岭作为青藏高原东北缘重要组成部分, 新生代以来印度板块与欧亚板块汇聚碰撞汇聚而导致的青藏高原崛起(李吉均等, 1979, 1996, 1998, 2001; 李廷栋, 1995; 施雅风等, 1998; 肖序常等, 1998, 2008; 郑度等, 2004; 葛肖虹等, 2006; 吴珍汉等, 2001, 2007; 王成善等, 2009; Xiao Xuchang and Li Tingdong, 1995; Li Jijun et al., 1996)、大规模地壳收缩变形与走滑—伸展变形(许志琴等, 1999,

2007, 2011; 尹安等, 2002; 肖序常等, 2008, 2010; 吴珍汉等, 2009; Dewey et al., 1988, 1989; Molnar et al., 1975, 1993; Yin An et al., 2000; Tapponnier et al., 1976, 1982, 1986, 2001; Duvall et al., 2010)等对中—新生代构造过程的地质记录产生了改造破坏, 如沉积地层连续性和完整性被破坏、构造变形叠加和构造方位的畸变扭曲等; 同时新生代以来沉积记录和构造格局与地貌演变又是高原隆升时空过程(李吉均等, 1979, 1996; 方小敏等, 2007; 宋春晖, 2003, 2001, 2006; 张勇, 2006; 张军, 2008; Garzzone et al., 2005; Guo Zhengtang et al., 2002; Fang Xiaomin et al., 2003, 2005; Hough et al., 2011; Lease et al., 2007, 2011, 2012; Wang Weitao et al., 2011, 2012; Wang Zhicai et al., 2012)、变形扩展过程(袁道阳等, 2007; 王志才等, 2006; 姜晓玮等, 2003; 张岳桥等, 2005; 张培震等, 2007)地质约束。因此, 对西秦岭及其邻区中—新生代红层沉积类型、空间分布、构造格局与变形特征以及古地貌格局演变等的深入研究, 不仅有助于揭示西秦岭印支期主

注: 本文为国家自然科学基金项目资助(编号:41072149, 41340002)。

收稿日期: 2013-07-02; 改回日期: 2014-07-15; 责任编辑: 黄敏。

作者简介: 郭进京, 男, 1962年生。博士, 教授。主要从事青藏高原东北缘断裂构造和中新生代沉积盆地研究。Email: gjj@tcu.edu.cn。

碰撞造山后晚中生代以来陆内构造格局演变的地质过程特征,而且可以为印度板块与亚洲板块碰撞汇聚远程构造—地貌响应方式与过程、高原隆升与变形的时空过程等重大地质问题研究与探索提供重要的地质依据与约束。本文以作者近十年来对西秦岭及邻区中—新生代红层的沉积序列对比、不同红层地层单元之间的接触关系与构造变形样式及几何学特征和红层地层空间分布特征及其与区域断裂带的关系观测研究为基础,结合前人对该区域红层地层的地质调查和研究成果,从构造层分析的观点,对西秦岭及邻区晚中生代—新生代红层进行了构造层划分,并探讨了西秦岭及邻区的不同时代红层盆地的构造属性和陆内构造演化过程。

1 晚中生代以来红层的构造层划分与空间分布

西秦岭地区中—新生代红层地层包括白垩系、古近系、新近系等不同时代的地层。由于这些红层空间分布的不连续性、沉积岩石类型与沉积序列的某些相似性和部分红层尚缺乏可靠的化石资料和准确测年数据的约束,因此,其时代一直存在不同认识,如徽成盆地、车拉盆地、哈达铺盆地、南阳盆地、牛顶山盆地、西和一礼县盆地、滩歌盆地、临潭盆地、合作盆地、郎木寺盆地等红层地层,从早期的 1: 20 万地质图^[10],到后来的 1: 5 万地质图^[9],以及近年来新修编的 1: 25 万地质图(甘肃省地质调查院,2007)和不同时期的区域性或全国地质编图等(甘肃省地质矿产局,1989;张二朋,1992;中国地质图编辑委员会,2002;程裕淇,2004;中国地质调查局,2004;李廷栋等,2010),对同一套红层厘定为不同的时代,特别是西秦岭内部的白垩纪红层地层是下白垩统,还是上白垩统,一直没有统一认识。笔者等认为西秦岭及邻区的中—新生代红层地层格架的确定,应该以区域性角度不整合面为构造层划分的基本依据,同时结合沉积岩石沉积序列及其所反映的沉积环境演变、构造线方位及构造变形样式和区域空间分布特征等综合分析与对比,来建立新生代以来红层盆地的构造格架和演化过程。本文以已有大量区域地质调查和专题研究成果为基础,结合作者近年来对西秦岭及邻区红层盆地的特征性岩石类型与沉积序列、构造变形样式与构造线方向的差异以及空间分布规律的对比研究,将西秦岭及邻区中生代以来的红层自下而上分为早白垩世、晚白垩世、古近纪—新近纪三个构造层(图 1)。

1.1 早白垩世构造层

该构造层以东秦岭与西秦岭衔接部位的徽县—成县盆地的下白垩统东河群为代表。东河群自下而上可分为田家坝组、周家湾组和化垭组,其中田家坝组由深紫红色为特征的砾岩、砂岩、粉砂岩互层,夹泥质粉砂岩组成,底部以分选不好的砾岩角度不整合在中—上志留统变质地层之上,顶部以紫红色、蓝灰色粉砂岩与上覆周家湾组绿色巨厚层块状砂岩相区分,厚度约 2125 m,为山麓—河流相沉积;周家湾组为以紫红或黄绿或灰绿色为主的杂色泥岩、粉砂岩夹砂岩、砂砾岩和砾岩,底部以黄绿色巨厚层块状砂岩与下伏田家坝组的紫红色粉砂岩为界,顶部以紫红色或黄绿色粉砂岩、粉砂质泥岩与化垭组的灰黑色砾岩相区分,为河流—湖泊相沉积,厚度约 1428 m,甘肃成县毛坝一带,该组下部含中基性火山岩;化垭组以灰绿或灰黑色为主的泥岩、粉砂岩夹砂岩、砂砾岩、砾岩及煤线,底部以灰黑色砾岩与下伏周家湾组蓝灰、黄绿色泥质粉砂岩相区分,顶部为灰黑色中厚层状砾岩,为湖泊相—沼泽相沉积,厚度约 1202 m(图 2)(甘肃省地质矿产局,1989;李玮等,2013)。西部迭部多儿沟、郎木寺,北部渭源—会川一带和兰州盆地等地出露的下白垩统河口群红层地层(梅冥相等,2014)具有与东河群下部和中部相近的沉积序列,由紫红或灰绿色砾岩、砂岩、泥岩夹泥质粉砂岩组成,厚度大于 520 m。东河群含双壳类、腹足类、介形虫、植物化石等早白垩化石分子(甘肃省地质矿产局,1989)。东河群砂岩中碎屑锆石 LA-ICP-MSU-Pb 测年资料指示了东河群的物源区主要来之东南部的早中生代、古生代、元古宙岩体或变质地体(张英利等,2011a,2011b)。

该构造层的沉积岩石序列以深紫红色、灰色、蓝灰色、灰绿色、灰黄色、灰黑色等为特征性颜色,特别是上部化垭组的灰色—灰黑色页岩、泥岩、砂岩、砾岩夹劣质煤层(图 3a,b),指示了其西秦岭上白垩统以紫红色—砖红色为主色调的红层沉积序列显著不同,说明东河群总体沉积环境为以还原性为主的沉积环境。

东河群以区域性角度不整合在下伏的构造线呈近东西向的中—上志留统变质变形的地层之上。构造样式为北东向展布的单斜或向斜构造,其构造线方向与下伏印支期造山带变形变质地层近东西向构造线呈大角度斜交;同时也与西秦岭内部下白垩统北西向宽缓褶皱显著不同。这说明,东河群为代表的沉积盆地既不是印支造山期构造系统的延续,也

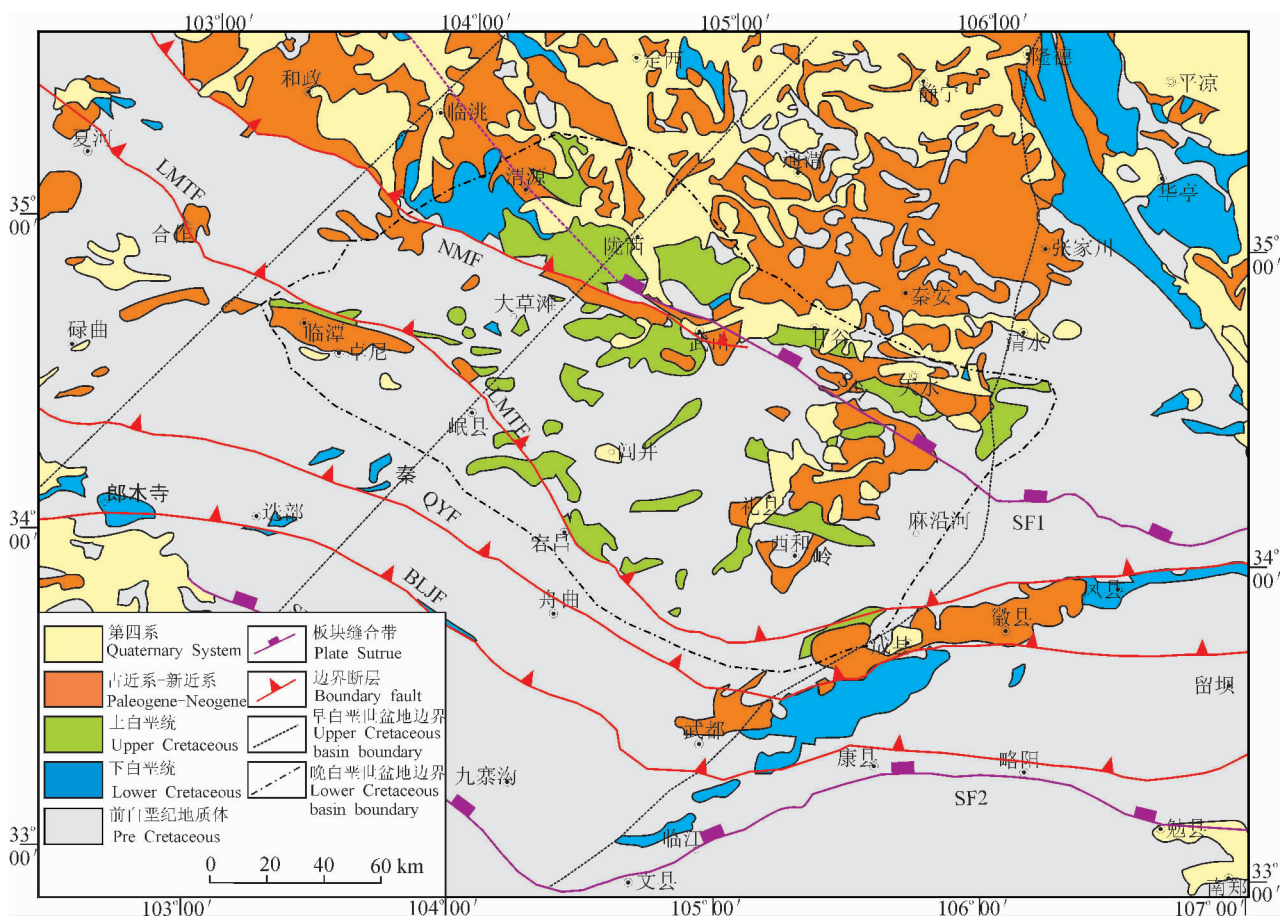


图 1 西秦岭及其邻区中—新生代红层分布简图(据张二朋,1992 修改补充简化)

Fig. 1 Simplified distribution map of Mesozoic—Cenozoic red bed strata in the Western Qinling Mountains and its adjacent areas (after Zhang Erpeng, 1992)

SF1—商南—丹凤缝合带;SF2—勉县—略阳缝合带;NMF—西秦岭北缘断裂;LMTF—临潭—岷县—宕昌断裂;
QUF—秦峪断裂;BLJF—白龙江断裂

SF1—Shangnan—Danfeng Suture Zone; SF2—Mianxian—Lüeyang Suture Zone; NMF—the Western Qinling North margin fault;
LMTF—Lintan—Minxian—Tanchang Fault; QUF—Qinyu Fault; BLJF—Bailongjiang Fault

与晚白垩世北西向构造系统不同,而是独立构造系统。东河群之上为近水平的新近系甘肃群红色砂砾岩、粘土岩夹淡水灰岩等角度不整合覆盖。

徽成盆地南部沿武都—文县一线分布的北东向磨坝盆地和桥头盆地与上述东河群具有基本相同的岩石组合和构造线方向及构造型式,如磨坝盆地的下部主要为紫色巨厚层砾岩、砂砾岩、含砾砂岩,夹紫红色钙质粉砂岩组成;上部为灰紫色、灰色中厚层—薄层砾岩、含砾砂岩、钙质粉砂岩夹浅黄色、灰绿色砂质页岩、灰白色钙质粉砂岩组成,含黑色炭质页岩和煤层,构造形态为北东向的向斜构造,指示了它们与东河群是同一沉积盆地,只是后期构造挤压隆升与剥蚀改造才呈现出现今独立盆地的状态。

1.2 晚白垩世构造层

该构造层在西秦岭分布广,但不连续,主要包括西和一礼县盆地、车拉盆地、南阳盆地、牛顶山盆地、哈达铺盆地、武山盆地、临潭盆地等(图 1)。这套红层的时代一直有不同认识,早期的 1: 20 万地质图将该套红层大部分多厘定为古近系(E)^[10];而甘肃省地质矿产局(1989)和 1: 100 万秦岭—大巴山地质编图(张二朋,1992)却将其时代厘定为上白垩统(K1);1: 50 万甘肃省地质图将其上部定为老第三系(E),下部定为上白垩统(K1);之后的 1: 5 万区调多依据在宕昌县车拉沟剖面中发现早白垩世孢粉组合和瓣鳃类化石(甘肃省地质矿产局,1988)^[6],而统一划为下白垩统,且自下而上分为磨沟组和车拉组两个岩组(图 4)。磨沟组为紫红色、砖红色厚

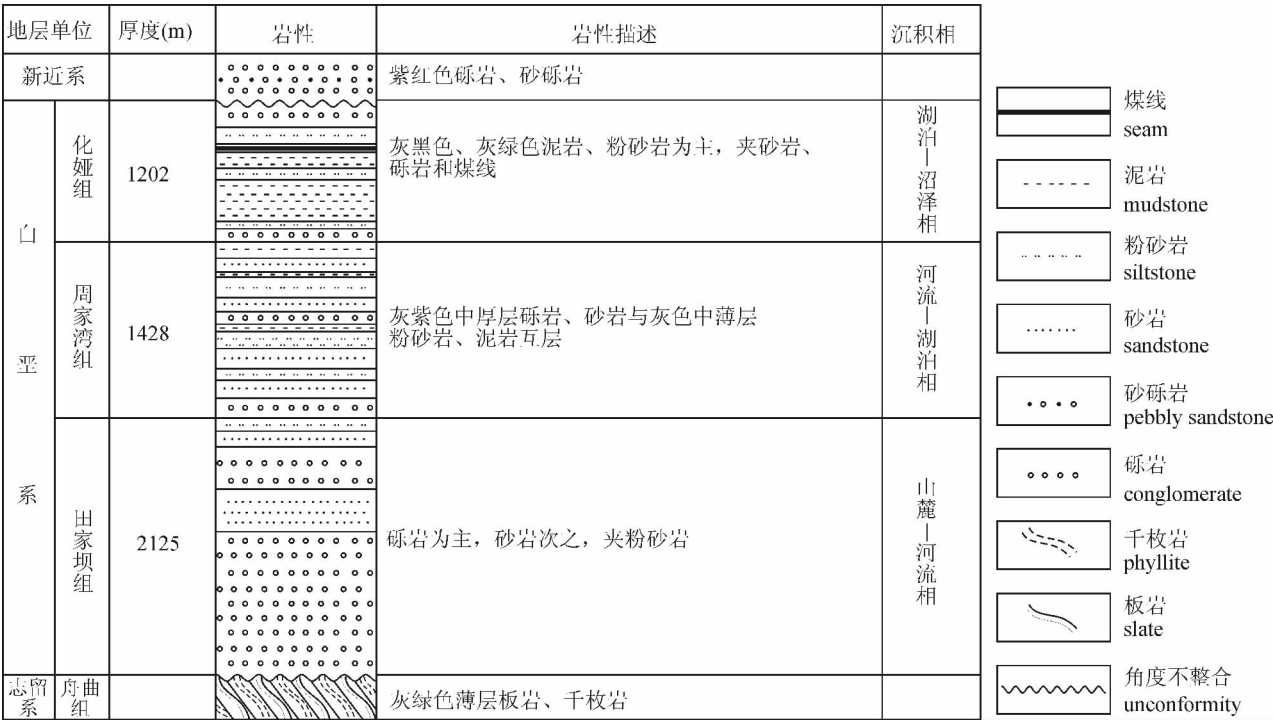


图 2 西秦岭徽县—成县盆地下白垩统综合地层柱状图(据甘肃地质矿产局,1989 编绘)

Fig. 2 Integrated stratigraphic column of Lower Cretaceous Series in the Huixian—chengxian Basin, Western Qiling Mountains (after Gansu Bureau of Geology and Mineral Resources, 1989)

层一块状砾岩、砂岩互层(图 4c),夹红色粉砂质泥岩、泥岩;车拉组下部为紫红色厚层—巨厚层状砾岩夹含砾砂岩,上部为紫红色—灰白色中层状砂岩与砂质泥岩互层,夹少量砾岩(图 3d)。这套红层地层以清晰的角度不整合上覆在前白垩纪地层之上。该构造层红层沉积序列在不同盆地基本可以对比,如宕昌盆地、南阳盆地、哈达铺盆地、武山盆地等,但不同盆地底部层位岩性有所差异,指示了区域性角度不整合面可能具有穿时性,存在超覆型角度不整合现象。但保存较完整的盆地的上部沉积岩石序列基本一致,都为细碎屑沉积(红色或紫红色泥岩、页岩夹砂岩、砾岩),说明晚白垩末期这些现今孤立分布的红层盆地可能联合形成了一个统一的红层盆地。从现今空间分布特征分析,统一盆底形态为长轴为北西向、长宽比约为 1: 2 的四边形(图 1)。

西秦岭及其邻区的晚白垩世构造层的红层地层总体产状平缓,地层倾角多在 10°~20°之间,局部底部地层产状达 30°,构造线方向为北西向,构造形态多为宽缓向斜褶皱为主。从现今空间分布看,主要出露在平缓的山顶面上,且往往构成不同水系的分水岭。

西秦岭及其邻区的晚白垩世构造层的红层地层以固结成岩程度高、稳定的北西向构造线和宽缓的褶皱形态与其上覆的古近纪—新近纪构造层相区分,而其特征的紫红色—砖红色和北西向构造线与早白垩东河群特征性的深紫红色、灰紫色、灰色—灰黑色和北东向构造线相区分。综合考虑,该构造层角度不整合在与东河群相当的河口群之上,按照构造层划分原则,其可作为一个独立构造层处理,其时代应晚于早白垩世构造层,所以厘定为晚白垩世构造层。

另外,从该构造层的红层地层分布看,并非严格受区域性断裂带控制,相反却显示出不连续的面状分布的特征(图 1),该构造层的岩石多构成的山顶面平缓,从西到东逐渐降低,如果考虑到在西秦岭内部该构造层之上局部残留有水平新近纪红色砾岩、粘土层和碳酸岩沉积不整合盖层(图 4e),可以肯定在该构造层地层沉积形成之后,经历了一次有限的地壳缩短,导致该构造层形成北西向的褶皱,之后经历了一个相当长时间的稳定侵蚀夷平时期,形成了广泛的红层夷平面,还接受了古近纪渐新世—新近纪红层沉积。



图 3 西秦岭下白垩统、上白垩统和新近系典型岩石特征

Fig. 3 Typical rock characteristics of the Lower Cretaceous, Upper Cretaceous and Neogene in Western Qinling Mountains

(a) Lower Cretaceous Huaya Fm. of Donghe Group: grey-black shale interbedded with yellow-grey siltstone and sandstone (location: west to the intersection between the Xiniu River and Xiaoxiniu River, Huixian—Chengxian Basin); (b) Lower Cretaceous Huaya Fm. of Donghe Group: grey sandstone and siltstone (upper), purple shale and mudstone interbedded with grey-yellow siltstone (lower) (location: west to the intersection between the Xiniu River and Xiaoxiniu River, Huixian—Chengxian Basin); (c) Lower Cretaceous Mogou Fm: grey-red interbedded conglomerate and sandstones (location: Jianzigou, Xinchengzi, Tanchang county, Gansu province); (d) Lower Cretaceous Chela Fm: purple mudstone, silty mudstone (lower), grey-white sandstones (upper) (location: north to Chela, Tanchang county, Gansu province); (e) Angular unconformity between Neogene Gansu Group(N) and Triassic System(T): Neogene is red clay rock intercalated with grey carbonate bed; Triassic is metamorphic sandstone, siltstone, plate. (location: Niyang, Chengxian); (f) red clay rock intercalated with grey carbonate bed in the upper of Neogene Gansu Group (location: Sanshilipu, Linxia city)

西秦岭及邻区古近纪—新近纪构造层现今分布范围更广,甘肃省区域地质志曾把该区域古近系—新近系统一划分为渐新统固原群和新近系甘肃群(甘肃省地质矿产局,1989)。该构造层包括陇西的天水盆地、临夏盆地和青海境内的贵德盆地等,对这些盆地的沉积序列、古生物化石、磁性年代学、热年代学等开展了较为详细的研究,并探讨了沉积盆地演化与气候环境演变、青藏高原隆升过程的关系(李吉均等,1979,1996;方小敏等,1997,2007;宋春晖,2001,2003,2006;张勇,2006;王修喜等,2006,2007;袁道阳等,2007;张军,2008;骆满生等,2010;Zheng Dewen et al.,2003;Horton et al.,2004;Fang Xiaomin et al.,2003,2005;Garziona et al.,2005;Liu Shaofeng et al.,2007;Dupont-Nivet et al.,2008;Lease et al.,2012;Wang Weitao et al.,2012),但对分布在西秦岭内部的古近系—新近系,如徽成盆地、西和一礼县盆地、临潭盆地、合作盆地以及岷县、碌曲等地出露的古近系—新近系本身的特征及其与上述新生代盆地的时空地质关系尚缺乏系统研究,因此,对西秦岭及其北部的新生代红层盆地的构造属性和西秦岭新生代古构造地貌状态的认识尚缺乏地质约束。该构造层所包括的新生代沉积盆地研究中,临夏盆地和天水盆地研究最为详细。

临夏盆地新生代地层的岩石地层学、古生物地层学和综合年代地层学(古地磁、裂变径迹、热释光、 ^{14}C 测年等)研究表明,盆地中的新生代地层开始于距今 30 Ma 前,几乎连续沉积至今。以临夏盆地毛毛沟剖面为例,依据岩性变化自下而上划分 13 个组,其中古近系—新近系临夏群,包括他拉组(30.18 ~ 21.71Ma)、中庄组(21.71 ~ 14.7Ma)、上庄组(14.7 ~ 11.86Ma)、东乡组(11.86 ~ 7Ma)、柳树组(7 ~ 5.4Ma)、何王家组(5.4 ~ 3.4Ma)和积石组(3.4 ~ 2.48Ma)。除顶部积石组为厚层(30 ~ 60m)巨砾岩沉积外,其余各组均以褐红色—紫红色湖相泥岩为主,仅在各组底部有少量河流相砂岩或砂砾岩,形成以河流相砂和细砾开始,经河湖三角洲相粉砂、泥岩纹层迅速转化为半深水湖相泥岩的完整的沉积旋回(图 5),指示了 30 Ma 以来长期稳定的沉积环境(李吉均等,1979,1996;方小敏等,1997,2007)。

天水盆地古近系固原群主要分布在盆地南部一带,由一套紫红色、砖红色、灰白色和棕红色的砾岩和砂岩互层组成,总厚度数十米到 200 ~ 300m,与下部基岩呈角度不整合接触(彭廷江,2012)。其底部

厚约 90 m 的浅砖红色砂质砾岩中的砾石成分复杂,主要为花岗片麻岩、花岗岩、石英岩和黑云母片岩,砾石呈棱角一次棱角状、大小混杂(最大粒径 30cm,一般 0.5 ~ 6 cm)、分选极差、砂泥质支撑,具粗糙粒序韵律(韵律厚 1 ~ 2m),应属山麓洪积产物。尽管砾岩中砂质层的磷灰石热年代学研究给出 24.8 Ma 下界年龄(王修喜等,2007),但考虑到区域岩石地层和构造对比,特别是典型的新近纪沉积与其的角度不整合关系,暂不把这套组碎屑沉积为主的红层作为古近纪—新近纪构造层的组成部分。那么天水盆地的新近系地层近之角度不整合在基岩或麦积山组之上的一套细碎屑岩和碳酸盐沉积为主体,间夹砂岩的地层,厚度在 300 ~ 400m 之间(Guo Zhengtang et al.,2002;Wang Xiuxi et al.,2012)。喇嘛山剖面出露较完整(出露厚度 393m),根据岩性特征其沉积序列自下而上划分四段:第一段为褐红色、棕红色砂岩、砾岩夹泥岩或褐红色泥岩与钙质泥岩互层(又称下红层);第二段为灰绿或蓝灰色泥灰岩(钙质泥岩)与褐红色泥岩或粉砂岩互层,夹具大型斜层理的砂岩和含砾砂岩透镜体(又称下绿层);第三段为灰绿色—灰白色泥灰岩和棕红色泥岩互层(又称斑马层);第四段主要有大套灰绿色钙质泥岩与泥灰岩互层组成,底部含有大量石膏(又称上绿层)(图 5)(王修喜等,2006;张勇,2006;张军,2008;彭廷江,2012)。

西秦岭徽成盆地新近系总体为陆相红色碎屑岩沉积,下部以红色砾岩为主夹砂岩,粉砂岩及砂质粘土岩;上部为红色—浅棕色泥质岩、砂质粘土岩夹粉砂岩及少量砾岩,呈近水平产状,角度不整合在前新生代地层之上,厚度约 100 ~ 410m。成县北泥阳村可见红色粘土岩夹灰岩条带直接角度不整合超覆在三叠纪地层之上(图 3e),不整合面高程为 1400m。

西秦岭内部新近系地层分布虽然零星,但沉积岩石序列却具有一致性,如西和一礼县盆地的新近系(不整合面海拔 2000m),武都北部马云—曹营—池坝一带的新近系(不整合面海拔 2400m),岷县茶埠乡新近系(不整合面海拔高度 2600m),临潭盆地和合作盆地新近系(不整合面海拔高度 3200m)等,虽然现今出露高度不同,出露和保存的层位也不尽相同,但沉积序列都以下部砖红色疏松状砾岩、砂砾岩,上部紫红色含砾粘土岩、砂质粘土岩夹少量砾岩及青灰色条带状泥岩为特征,特别是顶部层位的红色粘土岩常夹有灰白色淡水灰岩条带(图 3e,f)具有统一的标志性。在西秦岭及其邻区新近系与下伏

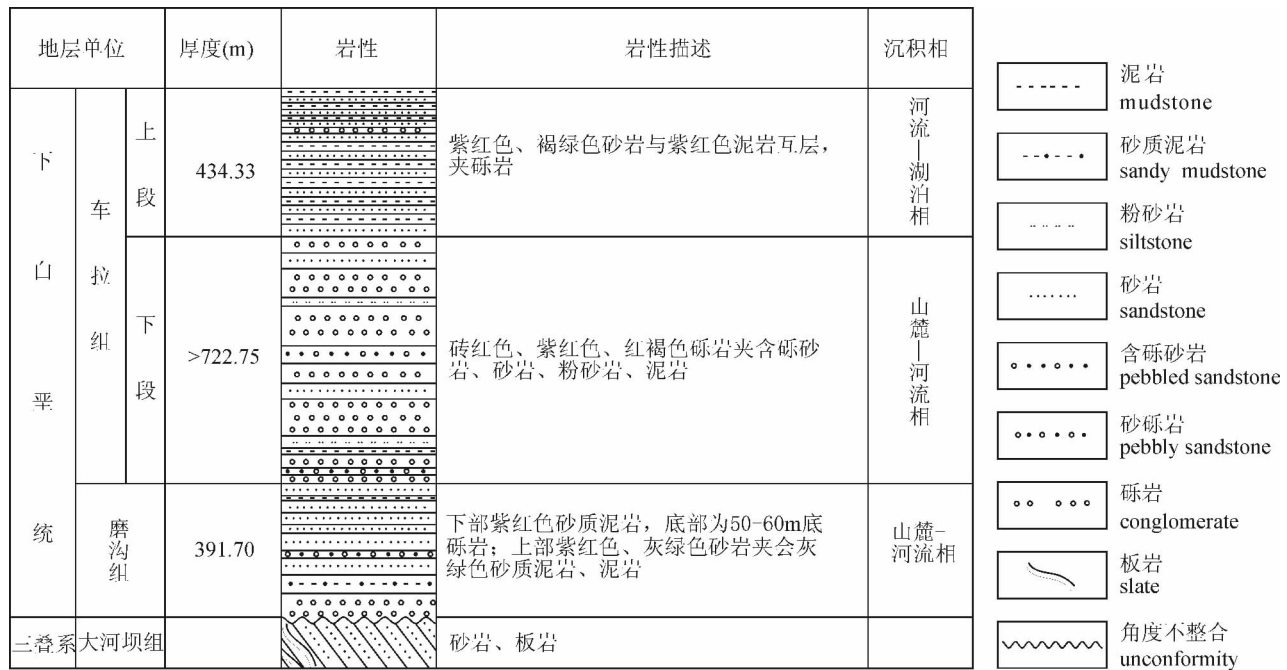


图 4 西秦岭宕昌车拉盆地上白垩统红层地层综合柱状图

Fig. 4 Integrated stratigraphic column of Upper Cretaceous Series of Chela Basin in Dangchang, Western Qiling Mountains

地层的角度不整合面初始高程应该具有相对统一的海拔高度,现今保存出露的高度从西到东、从南到北的逐渐降低无疑指示作为青藏高原东北缘的西秦岭在印度—欧亚板块碰撞汇聚的动力学背景的高原隆升扩展的时间约束和空间不均匀性(郭进京等, 2009)。

2 晚中生代以来红层盆地构造层划分与西秦岭陆内构造过程讨论

在讨论西秦岭及其邻区中生代以来陆内构造过程及其动力学背景时,科学的思路应该是根据沉积盆地记录和区域构造格局进行逆向反推,特别是要考虑到最新地壳隆升和剥蚀作用以及断裂带活动对早期地质记录的破坏和改造,构造层划分是分析不同构造阶段的地质过程与状态的基础(万天丰, 2004)。西秦岭及其邻区的上述三个构造层现今分布尽管受到最新高原隆升和侵蚀的改造,但从空间分布的总体特征看仍可辨别出西秦岭及其邻区的中—新生代构造格局与盆地发育的演变过程。

2.1 古近纪—新近纪构造层与构造过程分析

如前所述,西秦岭及其邻区古近纪—新近纪构造层的沉积记录以东部的天水盆地和西部的临夏盆地为代表,临夏盆地沉积起始于 30 Ma(李吉均等, 1996;方小敏等, 1997),天水盆地沉积起始于 24.8

Ma(王修喜等, 2006),结束于 3.4~2.48 Ma 的积石组砾岩(李吉均等 1996;方小敏等, 1997)。尽管两个盆地接受沉积时间和沉积地层厚度有差异,但总体沉积序列却显示出惊人的一致性,即下部以红色砾岩、砂岩为主,中部为红色粉砂岩、泥岩夹灰白色淡水灰岩条带为主,上部为红色泥岩与灰白色淡水灰岩互层(也称斑马层)为主,特别是中上部沉积序列的可比性指示了新近纪两个盆地已经联合成为一个统一的盆地,这个统一盆地以细碎屑沉积为主的特征指示了区域构造相对稳定的地壳均衡拗陷状态。不仅如此,临夏盆地以西的贵德盆地、西宁盆地等的古近纪—新近纪沉积序列与临夏盆地的一致性(骆满生等, 2010;Liu Shaofeng et al., 2007),可能指示了这些新生代盆地演化中后期一个范围更广的泛盆地存在。这些盆地的性质一般被认为是西秦岭造山带向北逆冲形成的前陆压陷或拗陷盆地,其物源来自南部西秦岭造山带,但问题是西秦岭造山带内部同样分布着新近纪红层,如徽县—成县盆地、西和一礼县盆地、临潭盆地、合作盆地、夏河盆地等地区残留的新近纪红层地层,尽管这些红层层序不完整,但该构造层标志性的红粘土沉积、淡水灰岩条带、钙质结核、甚至三趾马化石等存在,说明这些红层沉积与天水—临夏—贵德泛盆地存在内在联系,不可能是孤立的山间盆地。西秦岭及邻区古近纪—

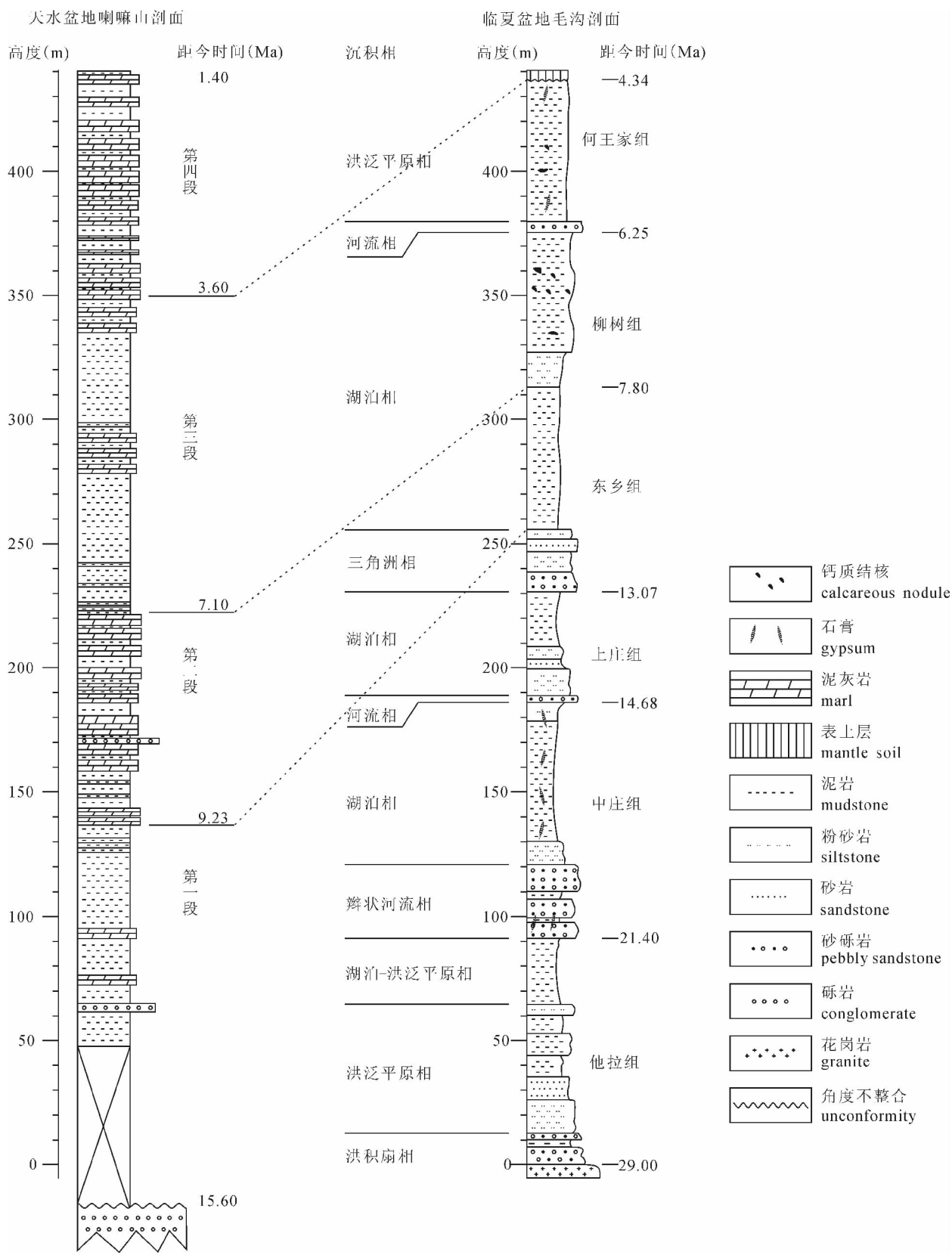


图5 临夏盆地和天水盆地新近系综合地层柱状图(据李吉均等,1996;方小敏等,2007;张勇,2006 修改简化)

Fig. 5 Integrated Stratigraphic column of Neogene System in Linxia Basin and Tianshui Basin ,Gansu Province

(after Li Jijun et al. , 1996; Fang Xiaomin et al. , 2007; Zhang Yong, 2006)

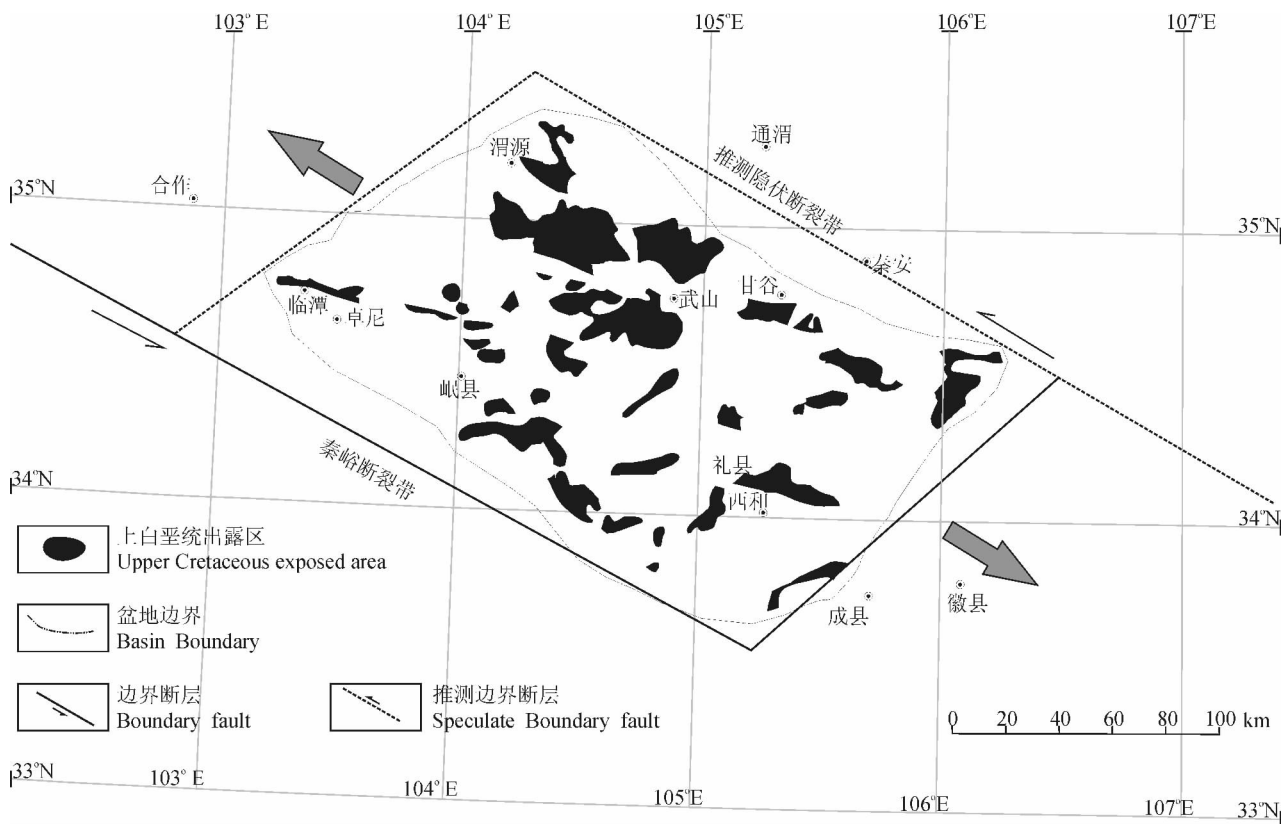


图 6 西秦岭晚白垩世拉分盆地模式图
Fig. 6 Model of Late Cretaceous strike-sliping pull-part basin in the Western Qinling Mountains

新近纪红层大多以近水平状态角度不整合覆盖在前新生代不同地层之上,说明其形成之后未经历大规模地壳缩短变形。通过以上分析,我们认为:西秦岭及邻区古近纪—新近纪曾经存在一个包括天水盆地、临夏盆地、贵德盆地以及勉略缝合带以北的西秦岭区域等在内陆相红层沉积盆地,古近纪渐新世开始接受沉积,尽管区域上不同部位接受沉积的起始时间不同,也就说古近纪—新近纪构造层与下伏地层的角度不整合面具有穿时性,但到盆地演化的中后期沉积岩石序列的相似性指示了盆地之间已经联合成为一个所谓的泛盆地,至新近纪末期 3.6Ma 积石山砾岩出现(李吉均等,1996;方小敏等,1997),预示了泛盆地沉积结束进入地壳隆升和遭受侵蚀破坏阶段。该构造层现今分布自西向东海拔高程降低和不连续性以及岩石组合的差异是新近纪末期以来西秦岭及邻区在青藏高原向北、向东扩展不均匀隆升和相伴随的侵蚀作用的结果(郭进京等,2009)。另外,从该构造层区域空间分布看,西秦岭及其邻区的区域性断裂带并未显示出对该套红层地层的控制

作用,也就是说,该构造阶段整个西秦岭处于构造相对稳定的均衡下沉状态。

2.2 晚白垩世构造层与构造过程分析

西秦岭晚白垩世构造层分布虽不连续但广泛(图 1),以角度不整合覆盖下伏不同时代的地层或花岗岩体之下,下部以紫红色、砖红色砾岩、砂岩为主,上部以紫红色、砖红色的砂岩、粉砂岩、泥岩、页岩为主,间夹有灰色、灰黄色、灰绿色泥岩和页岩层;构造线方向以北西向为主,构造形态以宽缓向斜为特征,总体产状平缓,地层倾角多小于 20°。从现今空间分布看,多分布在平缓的山顶面之上,并且往往构成不同水系的分水岭。西秦岭区域北西向断裂带(如宕昌—岷县—临潭断裂带、西秦岭北缘断裂带)对该构造层分布也不具有控制作用。从其上部以砂岩、粉砂岩、泥岩等细碎屑沉积为主的特征分析,这些不连续分布的晚白垩世红层沉积,虽然初期有可能是孤立的小型盆地,但到了晚期应该演化为彼此相联的统一沉积盆地。如果考虑到古近纪—新近纪构造层呈近水平角度不整合覆盖其上,说明白垩纪

末期到渐新世的隆升剥蚀作用有限,而新近纪末期以来高原隆升和剥蚀作用对其现今空间不连续分布起到了决定性作用。非常有趣的是该构造层现今的空间分布呈现出北西长、南西短的四边形形态,南以秦峪断裂带为界,而北并未以现今的西秦岭北缘断裂带为界,东西边界虽然有截切北西向断层的北东向断层分布,但这些断层活动时代和活动方式尚有待研究。问题是上白垩统红层分布为什么会出现这种类似走滑拉分盆地的形态呢?我们从区域构造格局分析,认为西秦岭晚白垩世红层盆地很有可能是在燕山期拉萨地块沿班公湖—怒江缝合带与羌塘—昌都地块的汇聚碰撞背景下(许志琴等,2007),中国西北大陆沿北西向先存边界断裂带左旋走滑作用的结果,即南部松潘地块沿白龙江断裂带、秦峪断裂带和北部祁连地块沿古近纪—新近纪红层之下北西向隐伏断裂带左旋走滑拉分作用形成了西秦岭晚白垩世的拉分盆地(图6),而不是所谓的断陷盆地或前陆盆地。当然,我们提出的西秦岭晚白垩世拉分盆地模式还有待对盆地沉积特征区域变化规律详细研究以及区域构造边界断裂带运动学研究的地质约束。

2.3 早白垩世构造层与构造过程分析

如前所述,早白垩世构造层的特征可以概括为:
① 以区域性角度不整合在下伏的构造线呈近东西向的中—上志留统变质变形的地层之上,空间上呈北东向带状分布,之上为近水平的新近系甘肃群红色砂砾岩、粘土岩夹淡水灰岩等角度不整合覆盖;
② 该构造层的沉积岩石序列以深紫红色、灰色、蓝灰色、灰绿色、灰黄色、灰黑色等为特征性颜色,特别是上部化娅组的灰色—灰黑色页岩、泥岩、砂岩、砾岩夹劣质煤层,说明东河群总体沉积环境为以还原性为主的沉积环境;
③ 构造样式为北东向展布的单斜或向斜构造,其构造线方向与下伏印支期造山带变形变质地层近东西向构造线呈大角度斜交;同时也

与西秦岭内部下白垩统北西向宽缓褶皱显著不同。这些特征说明该构造层既不是印支造山期构造系统的延续,也与晚白垩世北西向构造系统不同,而是独立构造系统。基于上述,提出了西秦岭早白垩世的北东向盆—山构造模型(图7)。这种完全不同于西秦岭印支期造山作用形成的北西向构造格局的北东向盆—山构造发育的岩石圈动力学背景是什么是一个值得探讨的问题。如果把西秦岭及其邻区的早白垩世构造层置于中国大陆东部中生代以来北东向盆—山构造格局(任纪舜等,1990;舒良树,2012)分析,就会发现西秦岭残存的早白垩世北东向盆—山构造可能不是孤立的现象。从更大区域地质分析,
① 徽县—成县盆地的东河群与鄂尔多斯盆地西缘下白垩统六盘山群的沉积岩石序列基本一致,但由于晚新生代以来印度—欧亚板块碰撞汇聚引起的青藏高原隆升扩展和祁连地块向东推挤致使其构造线发生了扭曲偏转,并非原始方位;
② 西秦岭西延的青海同仁地区不仅残存有早白垩世大陆裂谷型火山岩(祁生胜等,2011),而且还出现南北向褶皱和区域断裂带;
③ 阿尔金断裂带东南侧的白垩纪酒泉盆地具有北东向不对称裂陷构造特征,而且还存在大陆裂谷型火山岩(汤文豪等,2012;苏建平,2002;潘良云等,2012;杨林等,2011;肖序常等,2010)。这些地质现象说明西秦岭早白垩世构造层所反映的北东向盆—山构造可能不是孤立的局部现象,而可能是受西太平洋构造动力学系统控制的中国东部侏罗纪—白垩纪伸展裂陷作用形成的北北东向盆—山构造自然延伸,与华北克拉通破坏时间相吻合(朱日祥等,2011;林伟等,2011;刘俊来等,2011)。但这种早白垩世的盆山构造的沉积记录 and 构造记录由于受到印度—欧亚板块碰撞汇聚引起的高原强烈隆升和构造改造而破坏了其物质记录完整性,扭曲移位了原始构造记录。如果如此,那么西太平洋板块中生代俯冲导致的东亚区域性伸展作用可能不仅仅限于

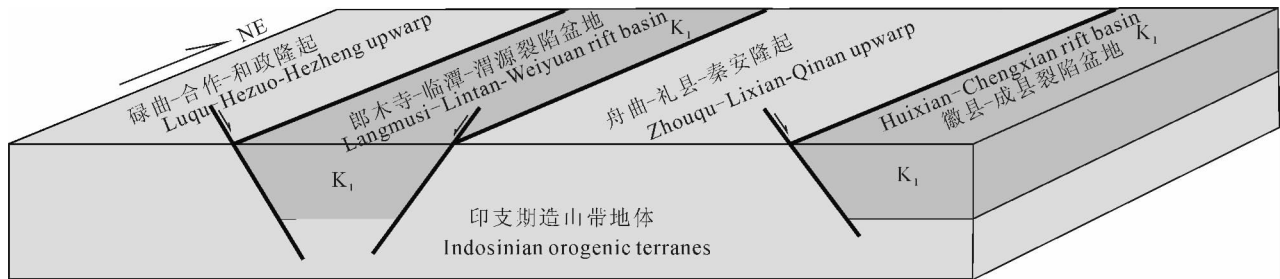


图 7 西秦岭早白垩世盆—山构造模式图

Fig. 7 Continental rifting model during Early Cretaceous in Western Qinling Mountains and adjacent areas

大兴安岭—太行山—雪峰山以东区域(任纪舜等, 1990),而是至少扩展到西秦岭,甚至可达阿尔金断裂带。

3 结论

(1)西秦岭及其邻区中—新生代红层地层包括白垩系、古近系和新近系。依据这些红层地层之间的角度不整合、沉积序列与沉积环境、构造样式与构造线方向以及空间分布特征,可分为早白垩世、晚白垩世、古近纪—新近纪三个构造层。

(2)上述三个构造层,尽管受青藏高原隆升导致的侵蚀破坏和高原变形扩展导致的构造线扭曲畸变,但仍可辨别出西秦岭中—新生代三个不同性质的构造演化阶段,即早白垩世北东向盆—山构造、晚白垩世区域左旋走滑拉分构造和渐新世—上新世区域伸展泛盆地阶段。

(3)结合印支期多块体拼贴形成的中国大陆东部中—新生代陆内构造格局与岩石圈动力学过程分析,西秦岭早白垩世北东向盆—山构造可能是受西太平洋构造动力学系统控制的中国东部侏罗纪—白垩纪伸展裂陷作用形成的北北东向盆—山构造自然延伸,与华北克拉通破坏时间相吻合。

(4)西秦岭晚白垩世红层盆地则可能是在燕山期拉萨地块沿班公湖—怒江缝合带与羌塘—昌都地块的汇聚碰撞背景下,中国西北大陆沿北西向先存边界断裂带左旋走滑作用的结果,即西秦岭晚白垩世红层盆地是走滑拉分盆地,而不是所谓的断陷盆地或前陆盆地。

(5)西秦岭及其邻区渐新世—上新世的泛盆地指示了印度板块与欧亚板块碰撞的远程构造—地貌响应之前经历了漫长区域伸展均衡拗陷和侵蚀夷平期,这说明上新世,西秦岭尚未成为现今青藏高原的组成部分,也就是说新生代以来印度板块与欧亚板块碰撞汇聚的构造响应起始于上新世末期。

尽管我们从西秦岭及其邻区白垩纪以来的红层盆地地层之间的角度不整合关系入手,结合沉积序列对比和构造变形样式及构造线方位分析,提出了构造层划分的方案,并提出每一个构造层可能的构造演化模式,但仍有很多问题需要进一步深入研究,如早白垩世北东向断陷盆地的边界断裂及其后期构造方位的扭曲、晚白垩世红层盆地的确切年代以及发育的构造动力学背景、古近纪—新近纪构造层众多现今表现为孤立盆地的沉积年代学序列对比和最新高原隆升和构造逆冲—走滑作用对这些红层盆地

初始构造地貌格局的破坏等问题。因此,与其说本文提出了一些认识,毋宁说是提出了一个有待研究的科学问题。

致谢:天津城建大学李雪峰副教授、刘寒鹏副教授、王志恒博士,兰州大学谌文武教授、刘高副教授参加了部分野外考察工作。感谢论文评审专家提出的建设性意见。

注 释 / Notes

- ① 陕西地质局区测队. 1970. 1: 20 万岷县(I-48-XV)、陇西(I-48-IX)、武都(I-48-XXI)幅地质图及说明书(1: 20 万)。
- ② 甘肃地质局第一区域地质测量大队. 1971. 9-48-(8)(临潭)幅地质图及说明书。
- ③ 甘肃省地质矿产局第一地质大队. 1988. 1: 5 万宕昌幅(I-48-65-D)、兴化幅(I-48-66-C)、大河坝幅(I-48-77-B)、良恭镇幅(I-48-78-A)地质图及区域地质调查报告。
- ④ 甘肃省地质调查院. 2001. 1: 5 万岷县幅(I48 E 010009)地质图及说明书。

参 考 文 献 / References

- 程裕淇. 2004. 中国地质图(1: 4 000 000)(第二版). 北京: 地质出版社.
- 方小敏, 李吉均, 朱俊杰, 陈怀录, 曹继秀. 1997. 甘肃临夏盆地新生代地层绝对年代测定与划分. 科学通报, 42(14): 1457 ~ 1471.
- 方小敏, 徐先海, 宋春晖, 韩文霞, 孟庆泉, 鸟居雅芝. 2007. 临夏盆地新生代沉积物高分辨率岩石磁学记录与亚洲内陆干旱化过程及原因. 第四纪研究, 27(6): 989 ~ 1000.
- 冯益民, 曹萱泽, 张二朋, 胡云绪, 潘晓萍, 杨军录, 贾群子, 李文明. 2002. 西秦岭造山带构造造山过程及动力学. 西安: 西安地图出版社, 1 ~ 263.
- 甘肃省地质矿产局. 1989. 甘肃省区域地质志. 北京: 地质出版社, 244 ~ 320.
- 甘肃省地质调查院. 2007. 合作幅、岷县幅1: 250000 区域地质调查报告. 兰州: 甘肃省地质调查院.
- 葛肖虹, 任收麦, 马立祥, 吴光大, 刘永江, 袁四化. 2006. 青藏高原多期次隆升的环境效应. 地学前缘, 13(6): 118 ~ 130.
- 郭进京, 韩文峰, 李雪峰. 2009. 西秦岭新生代以来地质构造过程对青藏高原隆升和变形的约束. 地学前缘, 16(6): 215 ~ 225.
- 姜晓玮, 王江海, 张会华. 2003. 西秦岭断裂走滑与盆地的耦合——西秦岭—松甘块体新生代向东走滑挤出的证据. 地学前缘, 10(2): 201 ~ 207.
- 李吉均, 方小敏, 潘保田, 赵志军, 宋友桂. 2001. 新生代晚期青藏高原强烈隆升及其对周边环境的影响. 第四纪研究, 21(5): 381 ~ 391.
- 李吉均, 方晓敏, 马海洲, 朱俊杰, 潘保田, 陈怀录. 1996. 晚新生代黄河上游地貌演化与青藏高原隆起. 中国科学(D辑), 26(4): 316 ~ 322.
- 李吉均, 方晓敏. 1998. 青藏高原隆起与环境变化研究. 科学通报, 43(15): 1569 ~ 1574.
- 李吉均, 文世宣, 张青松, 王富葆, 郑本兴, 李炳元. 1979. 青藏高原隆起的时代、幅度和形式的探讨. 中国科学(A辑), 9(6): 608 ~ 616.
- 李廷栋. 2010. 青藏高原及其邻区地质图(1: 3 000 000). 广州: 广东科技出版社.
- 李廷栋. 1995. 青藏高原隆升过程和机制. 地球学报, 16(1): 1 ~ 9.

李玮,董云鹏,郭安林,柳小明,柳益群,查显锋,张快乐. 2013. 西秦岭徽成盆地沉积充填过程及其对中生代陆内构造演化的制约. 中国科学(D辑), 43(5): 730~744.

林伟,王清晨,王军,王非,褚杨,陈科. 2011. 辽东半岛晚中生代伸展构造——华北克拉通破坏的地壳响应. 中国科学(D辑), 41(5): 638~653.

刘俊来,纪沫,申亮,关会梅, Davis G A. 2011. 辽东半岛早白垩世伸展构造组合、形成时代及区域构造内涵. 中国科学(D辑), 41(5): 618~637.

骆满生,张克信,林启祥,张隹钰,陈奋宁,徐亚东,陈锐明. 2010. 青藏高原东北缘循化—化隆地区新生代沉积古地理演化. 地质科技情报, 29(3): 23~31.

梅冥相,苏德辰. 2014. 甘肃古浪河口群碎屑岩系的层序地层序列:祁连山白垩纪隆升的沉积学响应. 地质论评, 60(3): 541~554.

潘良云,曾佐勋,李明杰,张宏伟,郑孟林,张军勇. 2012. 酒泉中新生代断拗叠合盆地及控油作用. 地质学报, 86(4): 535~547.

彭廷江. 2012. 天水盆地新近纪沉积物生物标志化合物与环境演变. 导师:李吉均. 兰州:兰州大学博士论文.

祁生胜,邓晋福,赵呈祥,胡旭丽,史连昌,陈健. 2011. 西秦岭造山带早白垩世大陆裂谷存在的依据——青海同仁地区麦秀山群新建的意义. 地质通报, 30(11): 1706~1715.

任纪舜,陈廷愚,牛宝贵,刘志刚,刘凤仁. 1990. 中国东部构造岩浆演化及成矿规律:中国东部及邻区大陆岩石圈的构造演化与成矿. 北京:科学出版社, 1~205.

施雅凤,李吉均,李炳元. 1998. 青藏高原晚新生代隆升与环境变化. 广州:广州科技出版社, 1~463.

舒良树. 2012. 华南构造演化的基本特征. 地质通报, 31(7): 1035~1053.

宋春晖,方小敏,高军平,孙东,范马洁. 2001. 青藏高原东北部贵德盆地新生代沉积演化与构造隆升. 沉积学报, 19(4): 4493~502.

宋春晖,方小敏,李吉均,高军平,孙东,聂军胜,颜茂都. 2003. 青海贵德盆地晚新生代沉积演化与青藏高原北部隆升. 地质论评, 49(4): 337~346.

宋春晖. 2006. 青藏高原北缘新生代沉积演化与高原构造隆升过程. 导师:李吉均,兰州:兰州大学博士学位论文.

苏建平,吴保祥,雷怀彦,付国民. 2002. 甘肃酒西白垩纪盆地沉积构成及盆地演化动力学分析. 沉积学报, 20(4): 568~573.

汤文豪,张志诚,李建锋,晨辰,李可. 2012. 阿尔金断裂带白垩纪火山岩地球化学特征及其地质意义. 地学前缘, 19(4): 51~62.

万天丰. 2004. 中国大地构造纲要. 北京:地质出版社, 387.

王成善,戴紧根,刘志飞,朱利东,李亚林,贾国东. 2009. 西藏高原与喜马拉雅的隆升历史和研究方法:回顾与进展. 地学前缘, 16(3): 1~30.

王修喜,李吉均,宋春晖,张军,赵志军,高军平,潘美慧. 2006. 青藏高原东北缘西秦岭新生代抬升——天水盆地碎屑颗粒磷灰石裂变径迹记录. 沉积学报, 24(6): 783~789.

王修喜,李吉均,宋春晖,赵志军,高军平,张军. 2007. 天水盆地古近纪地层年代及其意义. 兰州大学学报(自然科学版), 43(5): 1~6.

王志才,张培震,张广良,李传友,郑德文,袁道阳. 2006. 西秦岭北缘构造带的新生代构造活动——兼论青藏高原东北缘形成过程的指示意义. 地学前缘, 13(4): 119~135.

吴珍汉,吴中海,江万,周继荣. 2001. 中国大陆及邻区新生代构造—地貌演化过程与机理. 北京:地质出版社, 1~274.

吴珍汉,吴中海,胡道功,叶培盛,周春景. 2007. 青藏高原渐新世晚期隆升的地质证据. 地质学报, 81(5): 1~11.

吴珍汉,吴中海,胡道功,赵逊,赵希涛,叶培盛. 2009. 青藏高原新生代构造演化与隆升过程. 北京:地质出版社, 1~333.

肖序常,王军. 1998. 青藏高原构造演化及隆升的简要评述. 地质论评, 44(4): 372~381.

肖序常,姜枚,等. 2008. 中国西部岩石圈三维结构及演化. 北京:地质出版社, 237.

肖序常,等. 2010. 青藏高原的碰撞造山作用及效应. 北京:地质出版社, 603.

许志琴,杨经绥,李化启,王瑞瑞,蔡志慧. 2012. 中国大陆印支碰撞造山系及其造山机制. 岩石学报, 28(6): 1697~1709.

许志琴,杨经绥,李海兵,嵇少丞,张泽明,刘焰. 2011. 印度—亚洲碰撞大地构造. 地质学报, 85(1): 1~33.

许志琴,杨经绥,李海兵,张建新,吴才来,等. 2007. 造山的高原——青藏高原的地体拼合、碰撞造山及隆升机制. 北京:地质出版社, 458.

杨林,朱利东,郑荣才,杨文光,王成善. 2011. 酒西盆地下白垩统沉积特征及构造背景讨论. 西北地质, 44(1): 112~118.

尹安,彭聪,冯锐. 2002. 喜马拉雅—青藏高原造山带地质演化——显生宙亚洲大陆增生. 见:张有学,尹安. 主编. 地球结构、演化和动力学. 北京:高等教育出版社, 208~282.

袁道阳,张培震,方小敏,王志才,宋春晖,郑德文. 2007. 青藏高原东北缘临夏盆地晚新生代构造变形及过程. 地学前缘, 14(1): 243~250.

张二朋. 1992. 秦岭—大巴山及临区地质图(1: 1000000). 北京:地质出版社.

张国伟,郭安林,姚安平. 2004a. 中国大陆构造中西秦岭—松潘大陆构造结. 地学前缘, 11(3): 23~32.

张国伟,程顺有,郭安林,董云鹏,赖绍聪,姚安平. 2004b. 秦岭—大别中央造山系南缘勉略古缝合带的再认识——兼论中国大陆主体的拼合. 地质通报, 23(9~10): 846~853.

张国伟,董云鹏,赖绍聪,郭安林,孟庆任,刘少峰,程顺有,姚安平,张宗清,裴先治,李三忠. 2003. 秦岭—大别造山带南缘勉略构造带与勉略缝合带. 中国科学(D辑), 33(12): 1121~1135.

张国伟,张本仁,袁学诚,肖庆辉,等. 2001. 秦岭造山带与大陆动力学. 北京:科学出版社, 1~855.

张军. 2008. 陇中盆地秦安—天水地区新近纪沉积物成因与环境变化. 导师:李吉均. 兰州:兰州大学博士学位论文.

张培震,郑德文,尹功明,袁道阳,张广良,李传友,王志才. 2007. 有关青藏高原东北缘晚新生代扩展与隆升的讨论. 第四纪研究, 26(1): 5~13.

张英利,王宗起. 2011a. 西秦岭造山带徽县—成县盆地早白垩世沉积物源分析——锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学的约束. 地质通报, 30(1): 37~50.

张英利,王宗起. 2011b. 西秦岭造山带徽成盆地早白垩世地层物源综合分析. 地质学报, 85(12): 2014~2030.

张勇. 2006. 陇西盆地东南隅新近纪沉积与环境演变. 导师:李吉均. 兰州:兰州大学博士学位论文.

张岳桥,马寅生,杨农,张会平,施炜. 2005. 西秦岭地区东昆仑—秦岭断裂系晚新生代左旋走滑历史及其向东扩展. 地球学报, 26(1): 1~8.

郑度,姚檀栋,等. 2004. 青藏高原隆升与环境效应. 北京:科学出版社. 1~564.

中国地质调查局. 2004. 中华人民共和国地质图(1: 2500000)说明书. 北京:地质出版社.

中国地质图集编委会. 2002. 中国地质图集. 北京:地质出版社.

朱日祥,陈凌,吴福元,刘俊来. 2011. 华北克拉通破坏的时间、范

- 围与机制. 中国科学(D辑), 41(5): 789~797.
- Dewey J F, Cande S, Pitman W C. 1989. Tectonic evolution of the India—Eurasian Collision Zone. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 82(3): 717~734.
- Dewey J F, Shackleton R M, Chang Chengfa, Sun Yiyin. 1988. The tectonic evolution of the Tibetan Plateau. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 327(1594): 379~413.
- Dupont-Nivet G, Hoorn C, and Konert M. 2008. Tibetan uplift prior to the Eocene—Oligocene climate transition: Evidence from pollen analysis of the Xining Basin. *Geology*, 36: 987~990, doi:10.1130/G25063A.1.
- Duvall R A, and Clark M K. 2010. Dissipation of fast strike-slip faulting within and beyond northeastern Tibet. *Geology*, 38(3): 223~226, doi:10.1130/G30711.1.
- Fang Xiaomin, Garzione C, Van der Voo R, Li Jijun, Fan Minggu. 2003. Flexural subsidence by 29 Ma on the NE edge of Tibet from the magnetostratigraphy of Linxia Basin, China. *Earth and Planetary Science Letters*, 210(3): 545~560.
- Fang Xiaomin, Yan M, Van der Voo Rob, Rea, David K R, Song Chunhui, Josep M. P, Gao Junping, Nie J, Dai Shuang. 2005. Late Cenozoic deformation and uplift of the NE Tibetan Plateau: Evidence from high-resolution magnetostratigraphy of the Guide Basin, Qinghai Province, China. *Bulletin of the Geological Society of America*, 117(9~10): 1208~1225.
- Guo Zhengtang, Ruddiman W F, Hao Qingzhen, Wu H B, Qiao Yansong, Zhu Rixiang, Peng S Z, Wei J J, Yuan Baoyin, Liu T S. 2002. Onset of Asian desertification by 22 Myr ago inferred from loess deposits in China. *Nature*, 416: 159~163.
- Garzione C N, Ikari M J, Basu A R. 2005. Source of Oligocene to Pliocene sedimentary rocks in the Linxia basin in northeastern Tibet from Nd isotopes: Implications for tectonic forcing of climate. *Geological Society of America Bulletin*, 117(9~10): 1156~1166.
- Horton B K, Dupont-Nivet G, Zhou J, Waanders G L, Butler R F, and Wang J. 2004. Mesozoic—Cenozoic evolution of the Xining—Minhe and Dangchang basins, northeastern Tibetan Plateau: Magnetostratigraphic and biostratigraphic results. *Journal of Geophysical Research*, 109, B04402, doi: 10.1029/2003JB002913.
- Hough B G, Garzione C N, Wang Zhicai, Lease R O, Burbank D W, and Yuan Daoyang. 2011. Stable isotope evidence for topographic growth and basin segmentation: Implications for the evolution of the NE Tibetan Plateau. *Geological Society of America Bulletin*, 123(1~2): 168~185, doi:10.1130/B30090.1.
- Lease R O, Burbank D W, Gehrels G E, Wang Zhicai, and Yuan Daoyang. 2007. Signatures of mountain building: Detrital zircon U/Pb ages from northeastern Tibet. *Geology*, 35(3): 239~242, doi: 10.1130/G23057A.1.
- Lease R O, Burbank D W, Clark M K, Farley K A, Zheng Dewen, and Zhang Huiping. 2011. Middle Miocene reorganization of deformation along the northeastern Tibetan Plateau. *Geology*, 39: 359~362, doi:10.1130/G31356.1.
- Lease R O, Burbank D W, Hough B, Wang Zhicai, and Yuan Daoyang. 2012. Pulsed Miocene range growth in northeastern Tibet: Insights from Xunhua Basin magnetostratigraphy and provenance. *Geological Society of America Bulletin* 124: 657~677, doi: 10.1130/B30524.1.
- Liu Shaofeng, Zhang Guowei, Heller P L. 2007. Cenozoic basin development and its indication of plateau growth in the Xunhua—Guide district. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 50(2): 277~291.
- Molnar P, Tapponnier P. 1975. Cenozoic tectonics of Asia: Effects of a continental collision. *Science*, 189(4201): 419~426.
- Molnar P, England P, Martinod J. 1993. Mantle dynamics, uplift of the Tibetan Plateau, and the Indian monsoon. *Reviews of Geophysics*, 31(4): 357~396.
- Tapponnier P, Peltzer G, LeDain A Y, Armijo R, Cobbold P. 1982. Propagating extrusion tectonics in Asia: new insights from simple experiments with plasticine. *Geology* 10: 611~616.
- Tapponnier P, Peltzer G, Armijo R. 1986. On the mechanics of the collision between India and Asia. *Geological Society, London, Special Publications*, 19(1): 113~157.
- Tapponnier P, Xu Zhiqin, Roger F, Meyer B, Arnaud N, Wittlinger G, Yang Jingsui. 2001. Oblique stepwise rise and growth of the Tibet Plateau. *science*, 294(5547): 1671~1677.
- Wang Weitao, Kirby E, Zhang Peizhen, Zheng Dewen, Zhang Guangliang, Zhang Huiping, Zheng Wenjun, Chai Chizhang. 2012. Tertiary basin evolution along the northeastern margin of the Tibetan Plateau: Evidence for basin formation during Oligocene transtension. *Geological Society of America Bulletin*, 125(3~4): 377~400.
- Wang Weitao, Zhang Peizhen, Kirby E, Wang L H, Zhang Guangliang, Zheng Dewen, and Chai Zhizhang. 2011. A revised chronology for Tertiary sedimentation in the Sikouzi basin: Implications for the tectonic evolution of the northeastern corner of the Tibetan Plateau. *Tectonophysics*, 505: 100~114. doi:10.1016/j.tecto.2011.04.006.
- Wang Zhicai, Zhang Peizhen, Garmala N C, Lease O R, Zhang Guangliang, Zheng Dewen, Hough B, Yuan Daoyang, Li Chuanyou, Liu Jianhui, and Wu Qinglong. 2012. Magnetostratigraphy and depositional history of the Miocene Wushan basin on the NE Tibetan Plateau, China: Implications for middle Miocene tectonics of the Western Qinling fault zone. *Journal of Asian Earth Sciences*, 44: 189~202, doi: 10.1016/j.jseaes.2011.06.009.
- Wang Xiuxi, Li Jijun, Song Chunhui, Zattin Massimiliano, Zhao Zhijun Zhao, Zhang Jun, Zhang Yong, and He Kuang. 2012. Late Cenozoic orogenic history of Western Qinling inferred from sedimentation of Tianshui Basin, northeastern margin of the Tibetan Plateau. *International Journal of Earth Sciences*, 101: 1345~1356.
- Xiao Xuchang and Li Tingdong. 1995. Tectonic evolution and uplift of Qinghai—Tibet Plateau. *Episode*, 18(1~2): 31~35.
- Yin An, Harrison T M. 2000. Geologic evolution of the Himalayan—Tibetan orogen. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 28(1): 211~280.
- Zheng Dewen, Zhang Peizhen, Wan Jingliang, Li Chuanyou, Cao Jixiu. 2003. Late Cenozoic deformation subsequence in northeastern margin of Tibet—Detrital AFT records from Linxia Basin. *Science in China (Series D)*, 46(2): 266~275.

Tectonic Layer Division of Mesozoic—Cenozoic Red Bed Basins in the Western Qinling Mountains and Its Tectonic Significance

GUO Jinjing¹⁾, HAN Wenfeng¹⁾, ZHAO Haitao¹⁾, ZHANG Fanyu²⁾, LIANG Shouyun²⁾

1) School of Geology and Geomatics, Tianjin Chengjian University, Tianjin, 300384;

2) College of Civil Engineering and Mechanics, Lanzhou University, Lanzhou, 730000

Abstract: The Mesozoic—Cenozoic red bed strata in the Western Qinling Mountains and its adjacent area include the Cretaceous, Paleogene, Neogene. These different age red bed strata have different characteristics in sedimentary sequences, tectonic deformation, spatial distribution and geological relations, which are the objective records of the Mesozoic—Cenozoic intracontinental tectonic process of the Western Qinling Mountains. Therefore, regionally systematical study for those different age red bed strata is foundation for understanding Mesozoic—Cenozoic tectonic evolution of the Western Qinling Mountains and its adjacent areas. Based upon the unconformities between different red bed strata and underlying strata, distinct characteristics of those different red bed strata in sedimentary sequence, tectonic line and structural form, spatial distribution, Mesozoic—Cenozoic red bed strata in Western Qinling Mountains and its adjacent areas can be divided into three tectonic layers, that is, the early Cretaceous, late Cretaceous and Paleogene—Neogene. Although the nowadays spatially distribution of the three tectonic layers has been separated and dissected by the latest plateau uplift and erosion, the three different tectonic evolution stages of Mesozoic—Cenozoic tectonic evolution in the Western Qinling Mountains and adjacent regions can still be determined. Three tectonic layers correspond to Early Cretaceous extensional rifting basin development stage, Late Cretaceous strike-slipping pull-apart depression stage and Oligocene—Pliocene regional depression basin development stage. In consideration of tectonic framework and lithosphere Dynamics process of Chinese continent after Indosinian collision-orogeny, it is suggested that Early Cretaceous Northeast extensional rifting basin should be the part of Eastern Asian regional extension tectonic system formed by the westward subduction of Western Pacific plate to Eurasian plate since Mesozoic, Late Cretaceous strike-slipping pull-apart depression basin may be the result of left strike-slipping of Northwest Chinese continent lead by collision between Lhasa block and Qiangtang—Changdu block during Cretaceous, and Oligocene—Pliocene extensive basin development probably indicates a long period of uniformly depression and plantation in which the remote tectono-geomorphic response of the collision between Indian plate and Eurasian plate tectonic plate had not appeared. This shows that the Western Qinling Mountains had not become part of the Qinghai—Tibet Plateau before Pliocene era.

Key words: northeast margin of Tibetan plateau, Western Qinling Mountains; Mesozoic—Cenozoic; red bed strata; division of tectonic layer; tectonic evolution