中国南北构造带北部中生代地质事件及其演化序列

赵晓辰[1)],刘池洋[2)],王建强[2)],赵岩[2)]

1)西安科技大学地质与环境学院,西安,710054;

2)大陆动力学国家重点实验室,西北大学地质学系,西安,710069

内容提要:南北构造带是中国大陆中部地表系统、地质构造及地球物理场的重要分界线,也是一条强震多发地带,长期以来被诸多学者所关注。但目前对该带中生代期间所经历的重要地质事件及其演化序列的研究较为薄弱,限制了对该带演化过程的认识。本文以南北构造带北部(宁南—六盘山地区)为研究对象,收集整理了大量低温热年代学数据、火山事件、构造事件及其它事件沉积的时空分布,分析和探讨了南北构造带北部中生代构造事件的演化序列。裂变径迹年龄统计结果表明,南北构造带北部中生代期间经历了晚三叠世—早侏罗世(220~180 Ma)、晚侏罗世—早白垩世早期(160~135 Ma)和晚白垩世—古新世中期(100~60 Ma)等多期的构造抬升事件。这些构造抬升事件在研究区均具有明显的地质响应,且其形成与中生代期间研究区及周邻的地球动力学环境变迁密切相关。而在构造变动的间歇期内,研究区大量接受沉积,并伴随着区域气候的变化,发生了诸多事件沉积,这一时期也往往是研究区油、气、煤、膏岩等能源矿产的富集时期。

关键词:南北构造带北部;中生代;地质事件;隆升期次;演化序列

贺兰—川滇南北构造带,简称南北构造带,北起鄂尔多斯西缘构造带,穿西秦岭,经六盘山、龙门山,沿青藏高原东南边缘向南进一步延伸(图1a),可分为北部贺兰—六盘山南北向构造带、中部龙门山逆冲推覆构造带和南部鲜水河—小江断裂带(王椿镛等,2015)。因其构造活动强烈,强震频发,也被广大地震学家称之为"南北地震带"(张培震等,2013;王椿镛等,2015)。该带整体具有从深部到浅表的地质、地球物理、地表系统的综合分界性,是中国大陆东、西部的重要构造分界线,对其进行解剖研究也是进一步探讨中国大陆中新生代以来东西部构造差异演化的关键(张国伟等,2005;李绪善和李百祥,2012;江为为等,2014)。南北构造带的存在和其特征很早便引起了广大地质学家的关注,并从多个角度对其进行了详细的命名和阐述,无论是"东亚镜像反映中轴"(张伯声,1966;张伯声和王战,1974,1993;张伯声和汤锡元,1975),"南北地洼区"/"南北过渡带"(陈国达等,2005),还是"中蒙大陆中轴构造带"(马宗晋和郑大林,1981;马宗晋等,2010),无不体现了南北构造带对中国大陆所起的明显的分区作用,甚至有学者推测南北构造带可能是贝加尔—印度洋90°线全球性南北构造的组成部分(张国伟等,2008;王椿镛等,2015)。因此,该构造带是开展中国大陆构造演化、地震分布、地表系统及深部过程研究的关键地带之一,具有重要的科学意义。近年来,随着研究方法的不断进步,尤其是地球物理学方面的深入研究,极大地丰富和提高了人们对于南北构造带的认识和理解(陈虹等,2011;喻学惠等,2011;Cheng Bin et al., 2014;江为为等,2014)。但遗憾的是,目前关于南北构造带中生代各区段所经历的重要地质事件及其演化序列的讨论很少,大大限制了对其构造属性、演化阶段及形成机制的认识,导致对南北构造带的研究仍有不足。

鉴于此,本文拟对南北构造带北部(宁南—六盘山地区)中生代地质事件及其演化序列进行研究,系统搜集了该带大量的低温热年代学数据、火山事件、构造事件及其他事件沉积的时空分布,分析和探讨了南北构造带北部中生代构造事件的活动期

注:本文为国家自然科学基金资助项目(编号:41802119,41330315)、中国地质调查局专项项目(编号:12120113039900, 12120114009201)和西安科技大学博士启动金资助项目(编号:6310117052)的成果。

收稿日期:2018-01-21;改回日期:2018-09-25;责任编辑:刘志强。Doi: 10.16509/j.georeview.2018.06.002

作者简介:赵晓辰,男,1989年生,博士,讲师,主要从事沉积盆地分析的研究和教学工作。Email:zxcnwu@126.com。通讯作者:刘池阳,笔名刘池洋,男,1953年生,教授,博士生导师,主要从事沉积盆地分析、油气地质等研究与教学工作。Email:lcy@nwu.edu.cn。

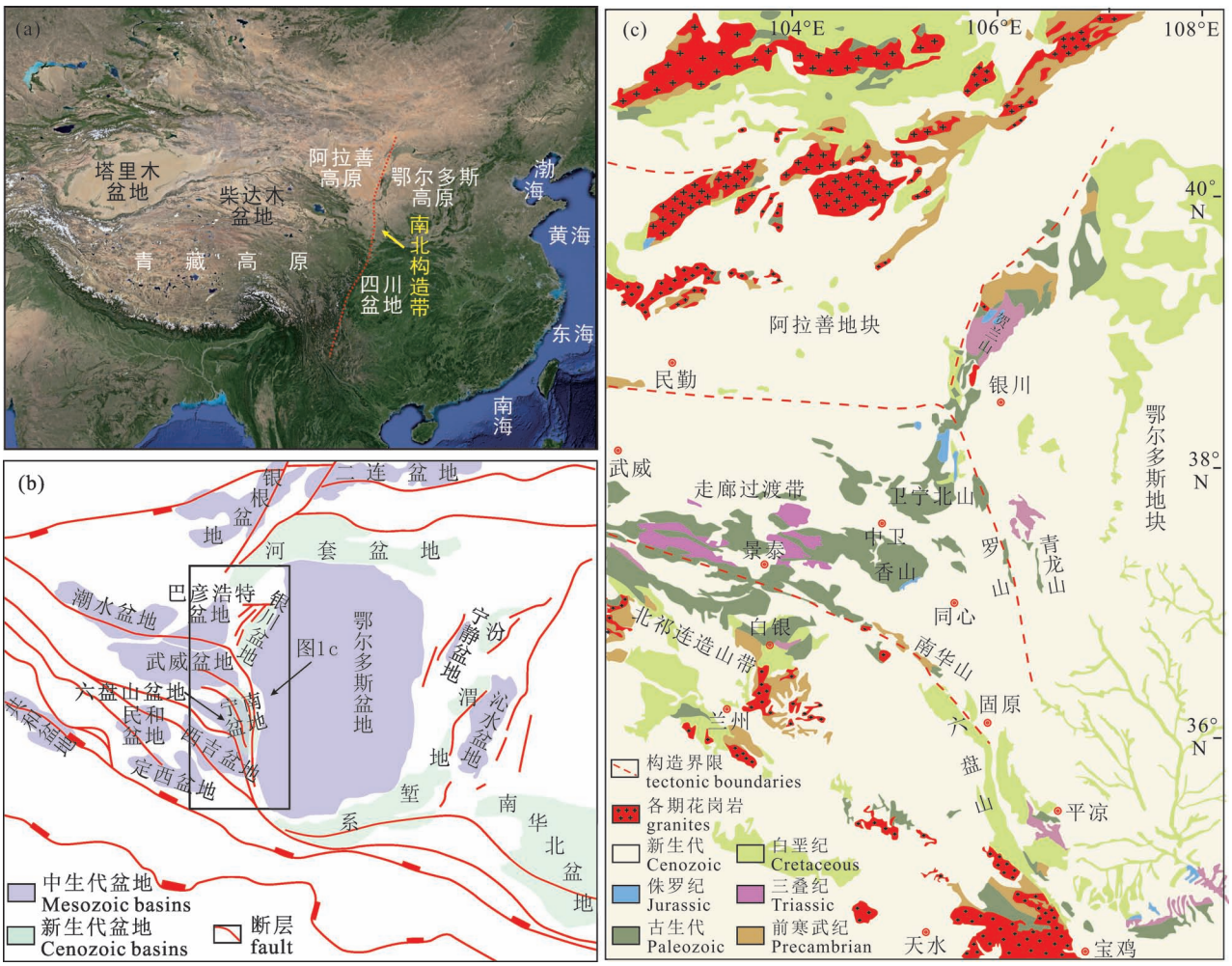


图 1 南北构造带位置图(a)、南北构造带北部及邻区沉积盆地分布图(b)及南北构造带北部地质图(c)

Fig. 1 Tectonic sketch map of the North—South Tectonic Belt (a), distribution of sedimentary basin in the northern N—S tectonic belt and adjacent area (b), simplified geological map of the study area(c)

次、分布特征、沉积响应及其演化序列,以期为全面、深入了解南北构造带北部中生代演化过程和动力学背景提供重要线索。

1　地质背景

南北构造带北部,位于鄂尔多斯地块(盆地)西部,阿拉善地块—走廊过渡带之东,南接秦岭—祁连造山带结合部,北邻兴蒙造山带(图 1c)。南北构造带北部发育下古生界—中上元古界及下伏结晶岩系双重基底,上覆地层主要为志留系滨浅海相沉积、泥盆系磨拉石建造、石炭系海陆过渡相碎屑岩和碳酸盐岩沉积、二叠系至第四系陆源碎屑岩沉积(图 2)。长期以来,南北构造带北部具有基底薄弱,活动性强和构造样式复杂多变等特点,尤其是晚古生代以来,南北构造带北部便一直以隆起和不连续的中小型断陷的形式存在,并且在石炭纪已具备了明显的构造沉积分区作用(郭佩等,2015)。

区域古沉积—构造演化表明,南北构造带北部在古生代经历了复杂的洋—陆演化过程(王振涛等,2015;Zhao Xiaochen et al., 2016,2017);中生代以来又经历了多期构造作用的改造,导致研究区存在多期区域性不整合及地层缺失(图 2),而新生代晚期又受到青藏高原隆升及其扩展作用的影响使得该区构造格架逐渐定型。地质历史上多期、复杂的构造作用使得南北构造带北部形成了现今现象丰富、特征复杂、集挤压—伸展—走滑于一地共存的地质—地貌景观。根据其构造特征的不同,可进一步将南北构造带北部分为鄂尔多斯盆地西缘逆冲带和六盘山弧形构造带两大构造单元,其中前者多以南北向和北西向构造为主,主体形成于中生代;而后者

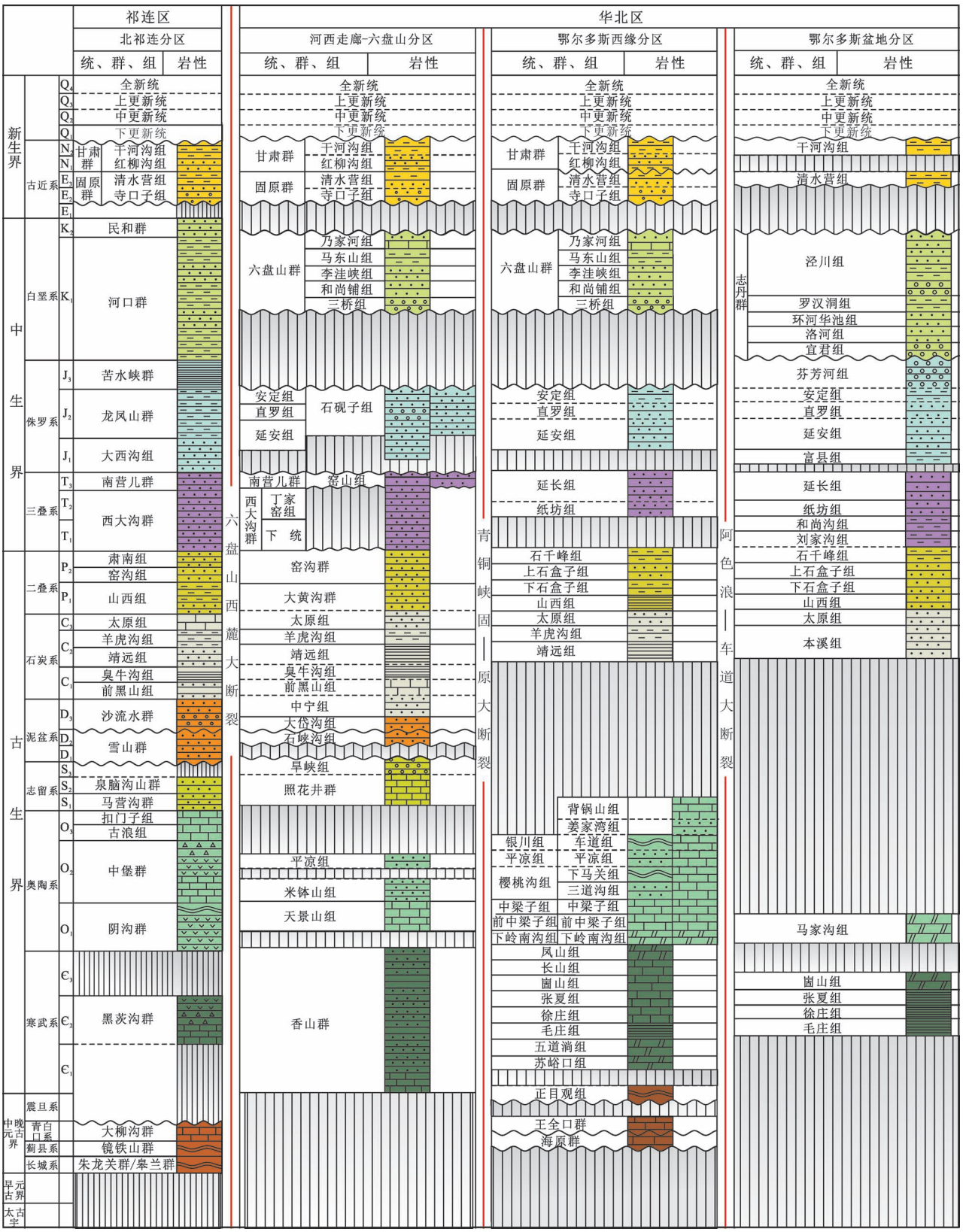


图 2 中国南北构造带及邻区地层柱状对比图(据霍福臣,1993;汪啸风和陈孝红,2005;白云来等,2006 修改)

Fig. 2 Stratigraphic division and comparison in the study and adjacent area (modified after Huo Fuchen, 1993#; Wang Xiaofeng and Chen Xiaohong, 2005#; Bai Yunlai et al., 2006&)

多以北东向构造为主,主体形成于新生代(汤锡元等,1992)。

2　南北构造带北部中生代主要地质事件

2.1　构造隆升事件

通过分析或统计某一地区裂变径迹年代学资料,结合沉积记录和构造变形等资料对该区隆升过程的时空格局进行分析,已成为构造演化研究中一种较为成熟可靠的方法(陈刚等,2007a,b;赵红格等,2007a,b;王国灿等,2010,2011;张克信等,2013;Ren Zhanli et al., 2015;祁凯等,2017)。前人已在南北构造带北部开展了大量的低温热年代学工作(任战利,1995;王世成等,1997;高峰等,2000;郑德文等,2005;Zheng Dewen et al., 2006;赵红格,2003;赵红格等,2007a,2007b;陈刚等,2007a,2007b;刘武生等,2008;宋立军等,2009,2013;刘建辉,2009;林秀斌,2009;刘建辉等,2010;王伟涛等,2014;赵晓辰等,2016),为探讨南北构造带北部中生代构造隆升过程提供了重要的资料。本文系统收集了南北构造带北部大量的低温热年代学数据(图 3),在此基础上结合区域地质背景,探讨该带中生代的演化过程。

在收集整理上述低温热年代学数据时依据如下几条原则:①结合 P(χ^2)检验值,选择 250 Ma 以来的年龄数据讨论,剔除可能代表了源区抬升冷却历史的年龄数据;②为了明确该带各区段隆升历史,对于一些没有提供具体样品位置的数据,暂不采用其提供的年龄;③P(χ^2)检验值大于 5%时,选取池年龄进行讨论,P(χ^2)检验值小于 5%时,优先选取分解得出的高斯拟合峰值年龄,其次选取中值年龄进行讨论。本次共收集 165 个裂变径迹年龄,并依据上述原则,选取其中 150 个裂变径迹年龄及高斯拟合峰值年龄进行讨论。

统计结果表明,南北构造带北部主要存在以下几期年龄集中分布区:晚三叠世—早侏罗世(220~180 Ma);晚侏罗世—早白垩世早期(160~135 Ma);早白垩世(120~110 Ma);晚白垩世—古新世中期(100~60 Ma);始新世(40~35 Ma)以及中新世晚期(10~8 Ma)(图 3)。结合区域热演化史及地层资料,认为早白垩世的裂变径迹年龄集中分布区应与区域地温场开始降温有关(刘池洋等,2006),而其余几期裂变径迹年龄集中分布区均具有明显的地质响应。

晚三叠世—早侏罗世期间,南北构造带北部多地发育了多套粗碎屑沉积,包括南部崆峒山砾岩、中部石沟驿含砾砂岩以及北部汝箕沟砾岩和含砾砂岩层(图 4a,b)。近年来对构造带东部(鄂尔多斯西缘)延长组岩心的研究结果也表明,在其沉积中晚期碎屑组分发生了明显变化,出现了大量的碳酸盐岩碎屑,表明南北构造带北部以寒武—奥陶系灰岩为主的老地层发生了明显的抬升剥蚀。此外,该构造带及邻区普遍存在上三叠统延长组与早—中侏罗

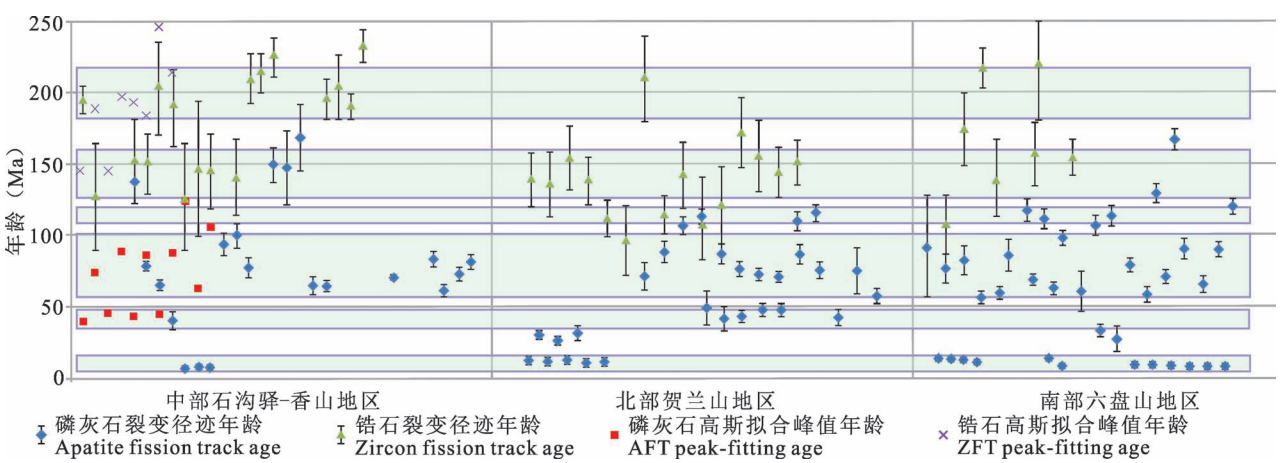


图 3 研究区裂变径迹年龄分布图(数据引自任战利,1995;王世成等,1997;高峰等,2000;郑德文等,2005;Zheng Dewen et al., 2006;赵红格,2003;赵红格等,2007a,2007b;陈刚等,2007a,2007b;宋立军等,2009,2013;刘建辉,2009;林秀斌,2009;刘建辉等,2010;王伟涛等,2014;赵晓辰等,2016)

Fig. 3 Distribution of fission track ages in the study area (Ren Zhanli, 1995&; Wang Shicheng et al., 1997&; Gao Feng et al., 2000&; Zheng Dewen et al., 2005&, 2006; Zhao Hongge, 2003&; 2007a&, 2007b&; Chen Gang et al., 2007a&, 2007b&; Song Lijun et al., 2009&, 2013&; Liu Jianhui, 2009; Lin Xiubin, 2009&; Liu Jianhui et al., 2010&; Wang Weitao et al., 2014&; Zhao Xiaochen et al., 2016&)

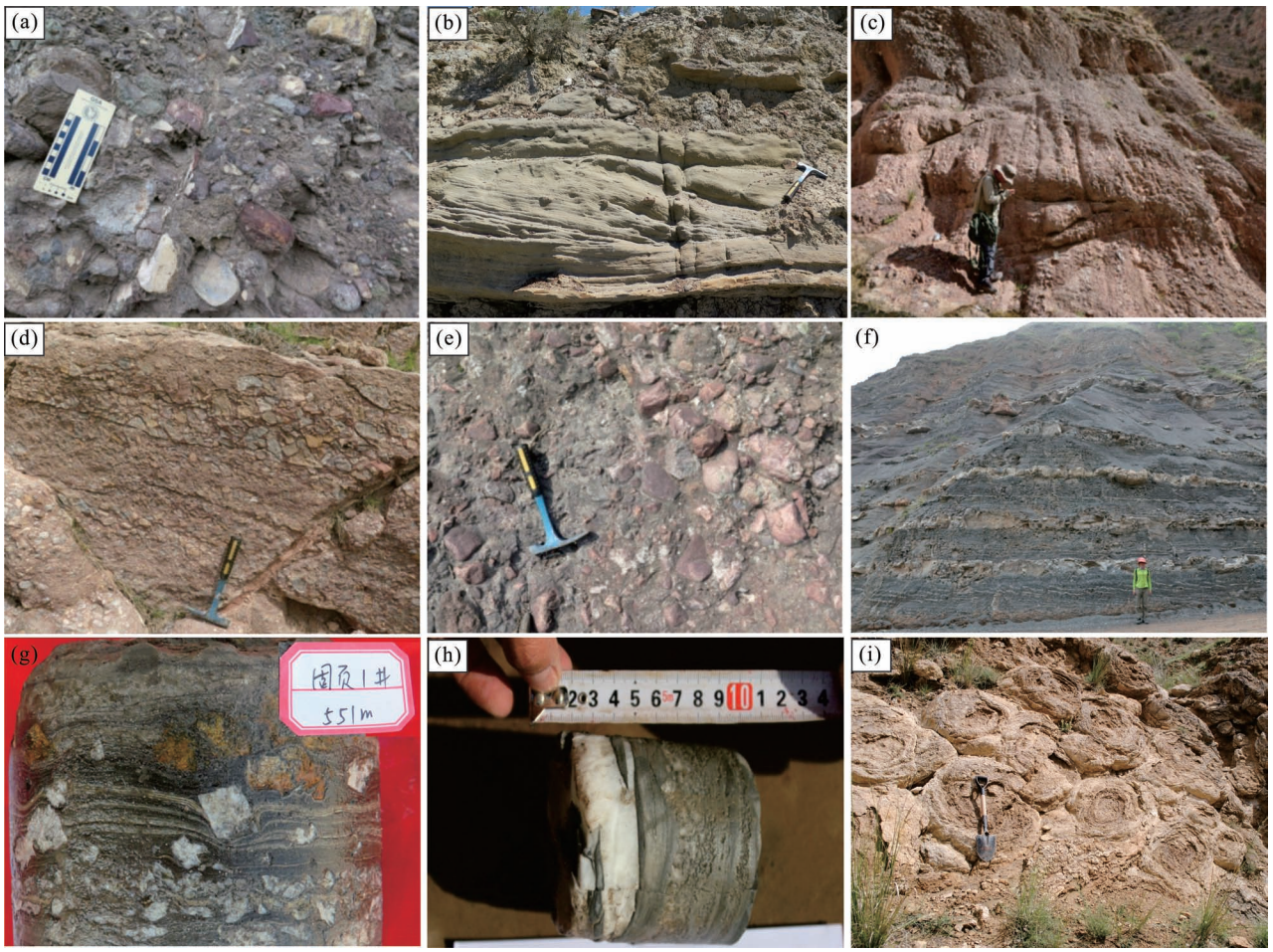


图 4 研究区地层发育特征

Fig. 4 The field rock characteristics of the study area

(a) 崆峒山组砾岩(T_3); (b)石沟驿含砾砂岩(T_3y); (c)芬芳河组砾岩(J_3f); (d)庙山湖组砾岩(K_1m); (e)三桥组砾岩(K_1s); (f)马东山组暗色泥岩(K_1m); (g)马东山—乃家河组石膏; (h)马东山—乃家河组层状石膏; (i)石蚕巢化石

(a) The conglomerate of Kongtongshan Formation (T_3); (b) the pebbly sandstone of Shidongyi area (T_3y); (c) the conglomerate of Fenfanghe Formation (J_3f); (d) the conglomerate of Miaoshanhu Formation (K_1m); (e) the conglomerate of Sanqiao Formation (K_1s); (f) the dark mudstone of Madongshan Formation (K_1m); (g) the gypsum of Madongshan—Naihe Formation; (h) the layered gypsum of Madongshan—Naihe Formation; (i) the Fossil Caddisfly

世富县—延安组的区域假整合—不整合接触关系和沉积间断,在石沟驿地区即有发现(图 5a)。需要强调的是,该期裂变径迹年龄主要集中于南北构造带中部,而北部和南部则仅有零星记录(图 3)。经分析认为,测试方法和所选样品层位可能是造成该现象的主要原因。由于矿物退火性质的差异,磷灰石裂变径迹可能无法反映较老的冷却事件。中部香山地区年龄主要来自锆石裂变径迹测年,而南部和北部地区主要还是以磷灰石裂变径迹测年居多;此外南部和北部仅有的锆石裂变径迹测年样品层位也主要是中生代晚期地层,因此可能无法记录该期冷却事件。

晚侏罗世—早白垩世初,南北构造带北部受到强烈的挤压作用,造成地层中断裂、褶皱发育,产状变陡,并且呈残留断块状产出,局部冲断体(席)上的早期地层遭受了较为强烈的剥蚀改造。同时该事件造成了白垩系与下伏不同时代地层间广泛的角度不整合接触关系,在石砚子、崆峒山、草碧河和马坊沟等地均有发现(图 5)。受该事件影响,沉积了呈南北向带状展布的上侏罗统芬芳河组边缘相堆积(图 4c),且表现出西厚东薄的特征。根据砾石成分可以判定,南部千阳一带芬芳河组砾石主要由宝鸡—关山岩体和陇山群剥蚀而来;盐池县马坊沟芬芳河组砾石主要来自该区下古生界碳酸盐岩,北部

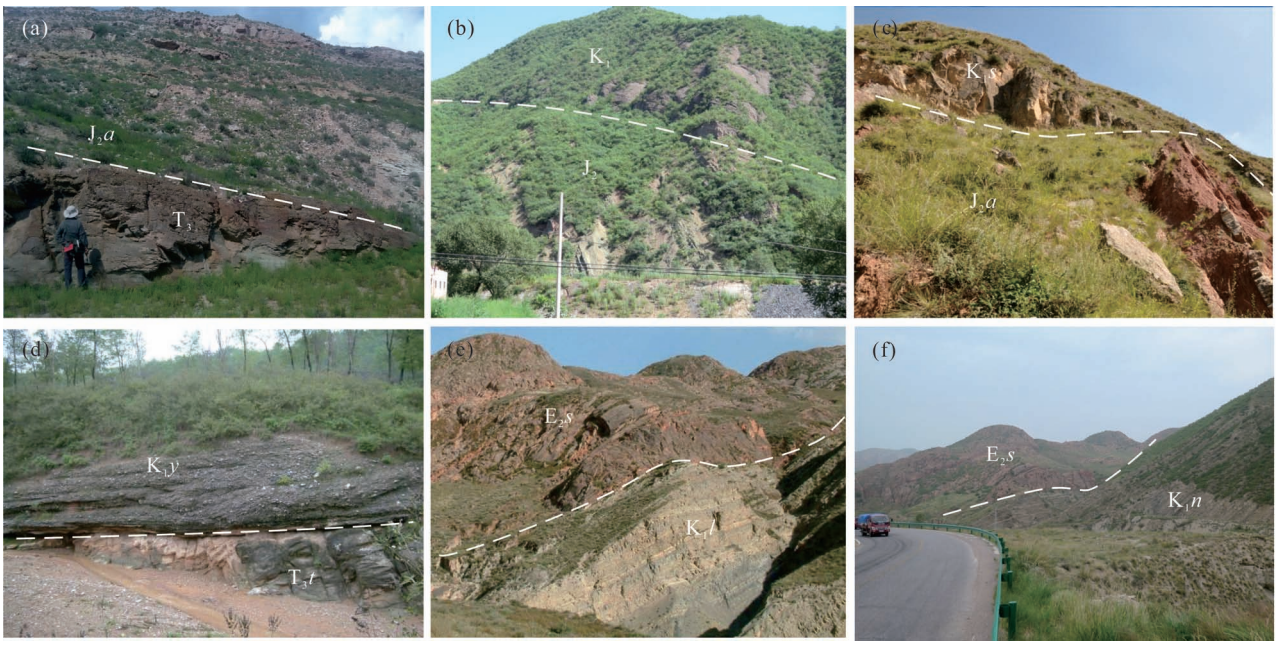


图 5 研究区地层不整合露头特征

Fig. 5 The correlation of unconformity in the study area

新井煤矿芬芳河组砾石则可能来自于侏罗纪末期开始隆起的银川古复背斜,具有因地而异、多物源区的特征。可见,在晚侏罗世,南北构造带北部整体发生了强烈的隆升作用,使得鄂尔多斯盆地西缘局部初显前陆坳陷结构(刘池洋等,2005)。虽然下白垩统在南北构造带北部不同地区的命名有所不同,但其底部也普遍存在一套砾岩层,如三桥组、庙山湖组底部(图 4d,e),且以不整合覆于侏罗系或更老地层之上(图 5b,c,d)。

晚白垩世,鄂尔多斯盆地西邻河西走廊—阿拉善地区诸盆地及西南部六盘山盆地由早白垩世期间的伸展断陷盆地发生构造反转,形成明显的逆冲褶皱兼走滑变形构造(刘池洋等,2006)。该期冷却抬升事件造成南北构造带北部普遍缺失晚白垩世—古新世沉积,体现出该期构造事件整体抬升的特征。除同期地层广泛缺失外,也造成了对早期地层的强烈剥蚀,如研究区中北段马家滩—惠安堡一带,其下白垩统剥蚀厚度为可达 900 m(汤锡元等,1992)。六盘山地区的古应力场恢复结果也显示出盆地在早白垩世晚期发生了构造反转,由近 E—W 向拉张转为 NW—SE 向挤压环境(施炜等,2006)。受此影响,构造带内下白垩统大多发育宽缓褶皱和规模不大的断裂,并造成下白垩统与始新统间普遍的角度不整合接触(图 5e,f)。

综上所述,通过本次对研究区不同时期构造活动和沉积响应的研究,并结合大量锆石和磷灰石裂变径迹年龄数据,初步建立了南北构造带北部中生代期间的构造隆升格架,即经历了晚三叠世—早侏罗世、晚侏罗世—早白垩世早期、晚白垩世—古新世中期共三期主要的构造变动事件。上述事件均对研究区的构造格局产生了广泛而深刻的影响。

2.2　火山喷发事件与凝灰岩沉积

凝灰岩属于火山碎屑岩类,指火山喷发产生的火山灰(粒径小于 2 mm),经搬运形成的具有凝灰或尘屑结构的岩石,已成为地层划分对比和重要地质事件发生的重要依据(黄虎等,2012;Yang Hua and Deng Xiuqin, 2013;辛补社等,2013a, 2013b;李振宏等,2014;王多云等,2014;张辉等,2014)。前人研究表明,鄂尔多斯盆地延长组长 7 油层组底部的凝灰岩最为发育,分布稳定,且与长 7 优质烃源岩的发育有着密切的关系(邓秀芹等,2009;邱欣卫等,2011;王多云等,2014;张辉等,2014)。而近年来,在与鄂尔多斯盆地相邻的南北构造带北部也陆续报道了多期中生代的火山事件(辛补社等,2013a,2013b;李振宏等,2014),为该带中生代地层的划分与对比、大地构造背景的探讨及构造热流体的发育时限提供了重要的依据。

通过对南北构造带北部中生代凝灰岩年龄的统

计,该带中生代火山喷发事件集中于中三叠世(244.9±2.8 Ma~244.1±3.8 Ma)和中侏罗世(175.2±2.4 Ma~168.4±1.3 Ma)。甘肃靖远王家山、宝积山等地南营儿组底部的凝灰岩为同一期火山喷发的产物(辛补社等,2013b)。该套凝灰岩共有三层,展布稳定,呈现特有的砖红色,性脆且多裂隙具有明显的水平层理,与正常沉积岩的界限明显,呈平行接触(佟再三等,1987;辛补社等,2013a)。从发育时代上,该套凝灰岩与盆地内长 7 油层组底部凝灰岩(罗 36 井和庄 211 井,239.7±1.7 Ma~241.3±2.4 Ma)具有很好的一致性,为同一期火山喷发事件的产物(辛补社等,2013a)。关于南北构造带内发育的晚三叠世窑山组、南营儿群(组)是否可与盆地内延长组对比的问题,长期以来争论不休,且一直缺乏高精度的同位素年代学支持,而该套凝灰岩的发现为解决上述问题提供了新的证据(辛补社等,2013a)。但关于该套凝灰岩的地球化学特征,目前并未进行深入研究,而该项工作对于进一步确认其与盆地内凝灰岩的可对比性以及该套凝灰岩发育的构造背景和火山灰来源有着重要意义,值得继续开展工作。南北构造带北部中侏罗世的火山事件,主要集中分布于平凉、安口一带,且认为与秦岭造山带的构造活动密切相关(李振宏等,2014)。该套凝灰岩的地球化学特征反映了研究区在早侏罗世晚期至中侏罗世早期整体上处于区域拉张的构造背景之中(李振宏等,2014)。此外,我们在南北构造带北部腾格里地区也发现了石英闪长岩岩体,经锆石 U-Pb 定年分析结果为 123.9±1.2 Ma(赵晓辰,待刊),显示在该带同样存在早白垩世的构造热事件。

由此可见,南北构造带北部中生代期间发育了多套凝灰岩沉积,且集中分布于研究区西南部,应与南部秦岭造山带同时期的岩浆热事件密切相关,这些火山喷发事件与凝灰岩沉积为该带及周邻地区中生代构造演化框架的建立提供了重要依据。

2.3 其他事件沉积

大洋缺氧事件是一个区域性甚至洲际性地质事件,以沉积细粒、薄层和富有机质的黑色页岩为特征(辛建荣,1986),最早由 Schlanger 和 Jenkyns 于 1976 年提出,用于解释在大西洋、加勒比海、印度洋和太平洋广泛分布的白垩纪“黑色页岩”(戴霜等,2012)。白垩纪期间发生过多期古海洋缺氧事件(Oceanic Anoxic Events,OAEs),造成富有机质的黑色页岩广泛分布于全球各个大洋盆地中(Schlanger and Jenkyns, 1976; Jenkyns, 1980,2010;Bralower et al., 1999)。南北构造带北部六盘山地区大范围出露一套早白垩世六盘山群河流—湖泊相沉积地层,自下而上划分为三桥组、和尚铺组、李洼峡组、马东山组和乃家河组(图 2),其中尤以马东山组黑色页岩最为发育。戴霜等(2012)对该套黑色页岩进行了详细的地球化学分析,发现其与早白垩世特提斯海典型缺氧环境的黑色页岩具有一致的地化特征,两者的沉积环境基本类似,表明六盘山地区黑色页岩的形成可能是 OAE1 缺氧事件在该区的响应。此外,中国北方地区陆相侏罗系对早侏罗世 Toarcian 期大洋缺氧事件同样存在明显的响应,其特征包括聚煤作用的明显减弱或中断,出现红色沉积或湖相黑色页岩;植物群的明显衰退;和气温升高、趋干等(邓胜徽等,2012)。南北构造带北部沉积了较厚的侏罗系,也是该区具有生烃潜力的层位之一(如早—中侏罗世延安组),而在侏罗纪期间是否也存在陆地沉积物对同期大洋缺氧事件的响应,值得进一步关注。

关于陆相盆地膏岩层与烃源岩共存的现象,很早便引起了众多学者的关注(朱光友等,2004;金强和朱光有,2006;金强等,2008;袁文芳等,2006;赵振宇等,2007;刘池洋等,2014),但目前仍存在多种不同的认识或解释。六盘山地区也同样存在上述现象,马东山—乃家河组内出现大量层状、脉状及团块状石膏,另外在两个组同时发现大量大小不一、团块状或是菱形状石膏颗粒,其与纹层接触关系类似于“冰坠石”(图 4g)。而马东山—乃家河组形成于湖相—半深湖相环境,又属于六盘山盆地一套较好的烃源岩(贺国庆等,2007;关宝文等,2015)。因此,与之相伴而生的深湖区膏岩层的成因及两者间的内在联系、形成条件和机理以及主控因素等,仍有诸多疑问需进一步探究和揭示(刘池洋等,2014)。

除此之外,六盘山地区早白垩世地层中富含各类具有重要指示意义的生物沉积。钟福平等(2010,2014)在六盘山地区下白垩统乃家河组发现了核形石及叠层石,并认为该化石是在高盐度、高温炎热、蒸发量大的干旱气候条件下形成的,反映出南北构造带北部六盘山地区该期地壳整体抬升,湖盆萎缩的背景。在野外调查中,我们于宁夏同心县东约 20 km 的窑山地区的下白垩统中还发现了大量的石蚕巢化石(图 4i)。该化石赋存于六盘山地区早白垩世马东山组、乃家河组底部,分原地埋藏和异地埋藏两种,反映了六盘山地区此时处于矿化度较高的盐湖环境(何欣等,2014)。这些具有特殊指示意

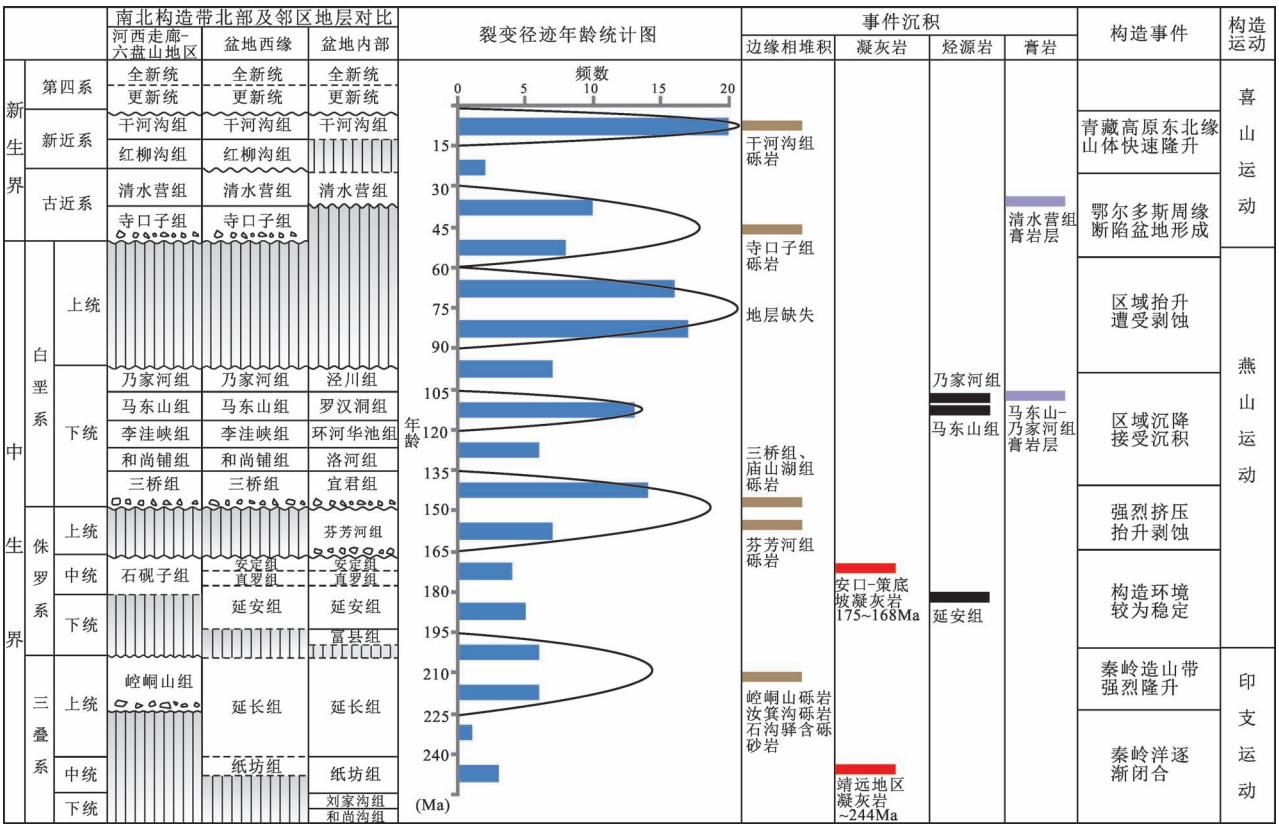


图 6 南北构造带北部地质事件时空序列

Fig. 6 The scale and time serious of the geological events in the northern North—South Tectonic Belt

义的化石,均表明六盘山地区在早白垩世处于高温炎热、盐度较高的盐湖环境。近年来,在六盘山盆地中部硝口地区又发现了大型石盐矿床,预计岩盐资源量为 20 亿吨以上(曾建平,2012),所含盐类矿物主要为石盐、钙芒硝、无水芒硝、硬石膏和脉石等(曾建平,2012;郑毅等,2012),该大型岩盐矿床的形成也与该区早白垩世所处的沉积环境密切相关。

上述特征表明,在南北构造带北部中生代构造变动事件的间歇期内,研究区构造活动较为微弱,并伴随着区域性气候的变化,广泛接受沉积,如大量烃源岩和膏岩即于此时形成。故该时期也往往是南北构造带北部油、气、煤、膏盐等多种能源矿产的大规模成矿期。

3　各地质事件的演化序列

火山活动是构造运动的一种重要的表现形式,常与大规模的构造活动相伴而生(刘嘉麒等,1998)。南北构造带北部多套凝灰岩的发育表明在这一时期发生过多期大规模的火山喷发事件(图 6)。三叠纪期间,研究区南部秦岭地区的岩浆活动较为强烈,尤其是分布于西秦岭地区多个集中于 235~250 Ma 期间的岩体(金维浚等,2005;秦江锋,2010;王晓霞等,2015),可能与南北构造带北部中—晚三叠世凝灰岩的发育密切相关(图 6),平面展布及厚度变化特征也显示火山灰沉积物来自于西南部和南部(邱欣卫等,2011)。晚三叠世,南北构造带北部分布的多套砾岩(崆峒山砾岩、石沟驿含砾砂岩以及汝箕沟砾岩和含砾砂岩层)、区域性角度不整合(图 6)以及大量的同期裂变径迹年龄记录,均表明此时研究区发生了强烈的构造活动。但值得注意的是,对石沟驿、崆峒山等地晚三叠世碎屑岩的地球化学分析结果反映出明显的陆内挤压环境的特征(李向平,2006),因此上述地区晚三叠世砾岩的形成应与同期秦祁造山带的强烈隆升、挤压密切相关;而对贺兰山地区汝箕沟玄武岩(晚三叠世晚期—早侏罗世)的分析则表明其主要形成于伸展裂陷环境之中(王锋等,2005;刘池洋等,2006;杨华等,2010),故汝箕沟砾岩的形成应与拉张裂陷环境下形成的较大地貌高差有关(刘池洋等,2005)。这些特征表明,南北构造带北部在晚三叠世发生了大规

模的构造隆升事件,但各区段的成因机制并不相同,中南部可能主要受秦祁造山带影响所致,而北部可能主要为拉张裂陷环境下边部地层发生的相对隆升。

经历了晚三叠世—早侏罗世的构造事件之后,南北构造带北部的挤压应力作用逐渐减弱,构造环境趋于平静,并在前期古地貌的基础上开始了填平补齐式的沉积。但至晚侏罗世,研究区各处又开始发生了强烈的构造运动。在此期间,华北板块受北部西伯利亚板块和南部特提斯构造域诸板块分别从南、北相向挤压的影响,使得西窄东宽的阿拉善地块向东运动(刘池洋等,2006),导致南北构造带北部普遍隆升,并伴随强烈的构造变形。相应的,在南北构造带北部也沉积了南北向展布的芬芳河组、三桥组边缘相粗碎屑沉积(图 6)、广泛分布的高角度不整合及逆冲推覆构造(汤锡元等,1992),同时促使该带局部地区初显前陆坳陷结构(刘池洋等,2005)。除此之外,受华北、华南两陆块间相互作用的影响,引发了研究区南部秦岭地区在晚侏罗世—早白垩世期间强烈的陆内造山作用(张国伟等,2011)和大规模燕山期的岩浆活动(160~100 Ma)(丁丽雪等,2010;王建强等,2010;王晓霞等,2015),这也是导致与之相邻的南北构造带北部于晚侏罗世—早白垩世初发生强烈构造变动的重要原因。

晚侏罗世的多向挤压变形和陆内造山导致华北板块地壳大幅增厚(张岳桥等,2007),从而诱发了早白垩世以华北板块为中心的岩石圈伸展垮塌和减薄(董树文等,2007)。在此期间,南北构造带北部及周邻地区主体也处于伸展环境之中(施炜等,2006),沉积了巨厚的早白垩世地层,即六盘山群河湖相沉积,厚度可达 2000 m(刘池洋等,2006),也形成了多套烃源岩(王坤和王军,2015)。但晚侏罗世至早白垩世初的构造事件已使得六盘山盆地和鄂尔多斯盆地具有一定的分隔性(白云来等,2006),导致两者在早白垩世的沉积环境存在明显差异。而白垩纪又是全球气候演化的一个关键时期,发生了多期大洋缺氧事件并造成全球广泛发育的黑色页岩,六盘山地区即有明显响应(图 4f, 图 6)。此外,六盘山地区早白垩世地层古生物学特征所表现出的高温炎热、盐度较高的盐湖环境与该区大型岩盐矿产和白垩系烃源岩的形成也密切相关。

晚白垩世,中国大陆受周邻古太平洋和西伯利亚板块的汇聚及其引起的大陆深部地球动力学作用影响(刘池洋等,2006),华北地块的构造应力机制转为 NW—SE 向挤压(董树文等,2007)。在研究区表现为:断裂体系的复活,多向盆内逆冲或推覆;地层产生冲断或褶曲变形;并造成该期地层的缺失和对早期地层的强烈剥蚀。在区域上,该期构造事件造成自早白垩世末开始,一致持续到古新世甚至始新世早中期,包括南北构造带北部在内的整个西北和华北地区,除局部小范围外,普遍缺失该期沉积地层记录,且前晚白垩世地层及其下伏地层遭受不同程度的隆升剥蚀。南北构造带北部全区广泛分布的晚白垩世裂变径迹年龄也体现出该构造事件整体抬升的特征。新生代以来,南北构造带北部又经历了强烈的改造作用,并导致其最终定型。

4 结论

(1)通过区域性的沉积响应、沉积间断、地层不整合和构造变形等特征,并结合大量锆石和磷灰石裂变径迹年龄数据,厘定了南北构造带北部中生代期间所经历的构造隆升事件,即晚三叠世—早侏罗世、晚侏罗世—早白垩世早期、晚白垩世—古新世中期。

(2)南北构造带北部中生代各期构造隆升事件具有不同的动力学背景,晚三叠世—早侏罗世的构造隆升事件主要与南部秦祁造山带的挤压和北部拉张裂陷环境下边部地层发生的相对隆升有关;晚侏罗世—早白垩世早期的构造隆升事件主要与研究区周邻板块的多向挤压有关;晚白垩世—古新世中期的构造隆升事件则与这一时期受大陆深部地球动力学作用影响而导致的中国北方大范围的整体隆升有关。

(3)南北构造带北部中生代构造事件、凝灰岩、缺氧事件、生物沉积等一系列地质事件的综合分析表明,研究区这一时期内整体上表现出构造变动期与构造平静期交替出现、互相影响的特征,并诱发了一系列具有重要意义的地质事件,它们在时空分布、形成机制上有着密切的关系。

参 考 文 献 / References

(The literature whose publishing year followed by a "&" is in Chinese with English abstract; the literature whose publishing year followed by a "#" is in Chinese without English abstract)

白云来, 王新民, 刘化清, 李天顺. 2006. 鄂尔多斯盆地西部边界的确定及其地球动力学背景. 地质学报, 80(6): 792~813.

陈刚, 孙建博, 周立发, 章辉若, 李向平, 李向东. 2007a. 鄂尔多斯盆地西南缘中生代构造事件的裂变径迹年龄记录. 中国科学(D辑:地球科学), 37(增刊):110~118.

陈刚, 王志维, 白国绢, 孙建博, 章辉若, 李向东. 2007b. 鄂尔多斯盆地中新生代峰值年龄事件及其沉积—构造响应. 中国地质, 34(3): 375~383.

陈国达, 彭省临, 戴塔根. 2005. 亚洲大陆中部壳体东、西部历史—动力学的构造分异及其意义. 大地构造与成矿学, 29(1): 7~16.

陈虹, 胡健民, 渠洪杰, 武国利. 2011. 川滇南北向构造带早中生代构造变形研究. 中国科学:地球科学, 41(9): 1281~1294.

陈衍景. 2010. 秦岭印支期构造背景、岩浆活动及成矿作用. 中国地质, 37(4): 854~865.

戴霜, 刘学, 赵杰, 张明震, 刘俊伟, 孔立, 朱强, 黄永波. 2012. 陆地沉积物对大洋缺氧事件的响应:六盘山群黑色页岩地球化学特征及其意义. 地学前缘, 19(4): 255~259.

邓秀芹, 李文厚, 刘新社, 庞锦莲, 刘鑫. 2009. 鄂尔多斯盆地中三叠统与上三叠统地层界限讨论. 地质学报, 83(8): 1089~1096.

邓胜徽, 卢远征, 樊茹, 方林浩, 李鑫, 刘璐. 2012. 早侏罗世 Toarcian 期大洋缺氧事件及其在陆地生态系统中的响应. 地球科学—中国地质大学学报, 37(增刊 .2): 23~38.

丁丽雪, 马昌前, 李建威, 王连训, 陈玲, 佘振兵. 2010. 华北克拉通南缘蓝田和牧关花岗岩体: LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄及其构造意义. 地球化学, 39(5): 401~413.

董树文, 张岳桥, 龙长兴, 杨振宇, 季强, 王涛, 胡建民, 陈宣华. 2007. 中国侏罗纪构造变革与燕山运动新诠释. 地质学报, 81(11): 1449~1461.

高峰, 王岳军, 刘顺生, 胡宝清. 2000. 利用磷灰石裂变径迹研究鄂尔多斯盆地西缘热历史. 大地构造与成矿学, 24(1): 87~91.

关宝文, 郑建京, 许世阳, 郭建明, 杨燕. 2015. 六盘山盆地油气成藏主控因素分析. 特种油气藏, 22(1): 16~21.

郭佩, 刘池洋, 王建强, 邓煜, 赵晓辰, 王磊, 张小龙, 王文青. 2015. 南北构造带北部石炭纪东西沉积边界分合演变及其地质意义. 地学前缘, 22(3): 215~226.

何欣, 卢宗盛, 翁平, 李海峰, 贾璐, 刘纯高. 2014. 六盘山盆地早白垩世含盐地层中石蚕巢化石. 地球科学—中国地质大学学报, 39(1): 1~9.

贺国庆, 种俊丰, 魏巍. 2007. 六盘山盆地下白垩统烃源岩特征. 石油天然气学报, 29(3): 23~25.

黄虎, 杨江海, 杜远生, 黄宏伟, 黄志强, 谢春霞, 胡丽沙. 2012. 右江盆地上二叠统—中三叠统凝灰岩年龄及其地质意义. 地球科学(中国地质大学学报), 37(1): 125~138.

霍福臣. 1993. 宁夏地质梗要. 甘肃地质学报, (S1): 101~133.

江为为, 姜迪迪, 胥颐, 郝天珧, 胡卫剑, 余景峰. 2014. 南北构造带及邻域地壳、岩石层速度结构特征研究. 地球物理学报, 57(12): 3944~3956.

金维浚, 张旗, 何登发, 贾秀勤. 2005. 西秦岭埃达克岩的 SHRIMP 定年及其构造意义. 岩石学报, 21(3): 959~966.

金强, 朱光有. 2006. 中国中新生代咸化湖盆烃源岩沉积的问题及相关进展. 高校地质学报, 12(4): 483~492.

金强, 朱光有, 王娟. 2008. 咸化湖盆优质烃源岩的形成与分布. 中国石油大学学报(自然科学版), 32(4): 19~23.

李向平, 2006. 鄂尔多斯盆地西南缘中生代构造事件及沉积物源环境分析. 硕士学位论文. 西安: 西北大学, 1~88.

李绪善, 李百祥. 2012. 从重磁场特征探讨南北构造带北段与地震带的统一性. 物探与化探, 36(5): 760~765.

李振宏, 冯胜斌, 袁效奇, 渠洪杰. 2014. 鄂尔多斯盆地及其周缘下侏罗统凝灰岩年代学及意义. 石油与天然气地质, 35(5): 729~741.

林秀斌. 2009. 六盘山地区中新生代构造事件及沉积响应. 博士学位论文. 杭州: 浙江大学, 1~176.

刘嘉麒, 郭正府. 1998. 火山活动与构造气候旋回. 第四纪研究, 3: 222~228.

刘池洋, 赵红格, 王锋, 陈洪. 2005. 鄂尔多斯盆地西缘(部)中生代构造属性. 地质学报, 79(6): 737~747.

刘池洋, 赵红格, 桂小军, 岳乐平, 赵俊峰, 王建强. 2006. 鄂尔多斯盆地演化—改造的时空坐标及其成藏(矿)响应. 地质学报, 80(5): 617~638.

刘池洋, 赵俊峰, 马艳萍, 王建强, 熊林芳, 陈建军, 毛光周, 张东东, 邓煜. 2014. 富烃凹陷特征及其形成研究现状与问题. 地学前缘, 21(1): 75~88.

刘建辉, 2009. 贺兰山、秦岭山脉新生代伸展隆升及断层摩擦生热磷灰石裂变径迹分析. 博士学位论文. 北京: 中国地震局地质研究所, 1~93.

刘建辉, 张培震, 郑德文, 万景林, 王伟涛, 杜鹏, 雷启云. 2010. 贺兰山晚新生代隆升的剥露特征及其隆升模式. 中国科学:地球科学, 40(1): 50~60.

刘武生, 秦明宽, 漆富成, 肖树青, 王志明. 2008. 运用磷灰石裂变径迹分析鄂尔多斯盆地周缘中新生代沉降隆升史. 铀矿地质, 24(4): 221~227.

马宗晋, 郑大林. 1981. 中蒙大陆中轴构造带及其地震活动. 地震研究, 4(4): 421~436.

马宗晋, 杜品仁, 高祥林, 齐文华, 李晓丽. 2010. 东亚与全球地震分布分析. 地学前缘, 17(5): 215~233.

祁凯, 任战利, 崔军平, 于强, 曹展鹏, 杨鹏, 邓亚仁, 张梦婷. 2017. 鄂尔多斯盆地渭北隆起岐山-麟游地区中新生代构造热演化及地质响应——来自裂变径迹分析的证据. 地质学报, 91(1): 152~162.

邱欣卫, 刘池洋, 毛光周, 吴柏林. 2011. 鄂尔多斯盆地延长组火山灰沉积物岩石地球化学特征. 地球科学(中国地质大学学报), 36(1): 139~150.

秦江锋. 2010. 秦岭造山带晚三叠世花岗岩成因机制及深部动力学背景. 导师: 赖少聪. 西安: 西北大学(博士学位论文).

任战利. 1995. 利用磷灰石裂变径迹法研究鄂尔多斯盆地地热史. 地球物理学报, 38(3): 339~349.

施炜, 张岳桥, 马寅生, 刘刚, 武丽. 2006. 六盘山盆地形成和改造历史及构造应力场演化. 中国地质, 33(5): 1066~1074.

宋立军, 赵靖舟, 袁炳强, 刘池洋, 吴冲龙. 2009. "崆峒山组砾岩"形成演化的动力学机制分析. 大地构造与成矿学, 33(4): 508~519.

宋立军, 牟秋环, 李爱荣, 李莉. 2013. 宁夏固原炭山窑山组形成时代的裂变径迹热史约束. 煤田地质与勘探, 41(4): 1~4.

汤锡元, 郭忠铭, 陈荷立. 1992. 陕甘宁盆地西缘逆冲推覆构造及油气勘探. 西安: 西北大学出版社.

佟再三, 沈光隆, 武安斌, 李兰. 1987. 靖远煤田宝积山矿区三叠系发现多层火山碎屑岩. 兰州大学学报: 自然科学版, 26(2): 135~136.

王坤, 王军. 2015. 六盘山盆地白垩系烃源岩发育特征及潜力评价. 地质论评, 61(增刊): 172~173.

王晓霞, 王涛, 张成立. 2015. 秦岭造山带花岗质岩浆作用与造山带演化. 中国科学:地球科学, 45(8): 1497~1512.

汪啸风, 陈孝红. 2005. 中国各地质时代地层划分与对比. 北京: 地质出版社: 458~466.

王椿镛, 杨文采, 吴建平, 丁志峰. 2015. 南北构造带岩石圈结构与地震的研究. 地球物理学报, 58(11): 3867~3901.

王多云, 辛补社, 杨华, 付金华, 姚泾利, 张瑜. 2014. 鄂尔多斯盆地延长组长 7 底部凝灰岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及地质意义. 中国科学:地球科学, 44(10): 2160~2171.

王锋, 刘池阳, 杨兴科, 苏春乾. 2005. 贺兰山汝箕沟玄武岩地质地

球化学特征及其构造环境意义. 大庆石油地质与开发, 24(4): 25~27.
王国灿, 张克信, 曹凯, 曹凯, 王岸, 徐亚东, 孟艳宁. 2010. 从青藏高原新生代构造隆升的时空差异性看青藏高原的扩展与高原形成过程. 地球科学——中国地质大学学报, 35(5): 713~727.
王国灿, 曹凯, 张克信, 王岸, 刘超, 孟艳宁, 徐亚东. 2011. 青藏高原新生代构造隆升阶段的时空格局. 中国科学: 地球科学, 41(3): 332~349.
王世成, 康铁笙, 王兰芬, 任战利. 1997. 鄂尔多斯盆地钻井样品的锆石裂变径迹年龄及意义. 地球学报, 18(增刊): 221~223.
王建强. 2010. 鄂尔多斯盆地南部中新生代演化—改造及盆山耦合关系. 博士学位论文. 西安: 西北大学, 1~155.
王伟涛, 张培震, 郑德文, 庞建章. 2014. 青藏高原东北缘海原断裂带晚新生代构造变形. 地学前缘, 21(4): 266~274.
王振涛, 周洪瑞, 王训练, 张永生, 景秀春, 邢恩袁. 2015. 鄂尔多斯盆地西、南缘奥陶纪地质事件群耦合作用. 地质学报, 89(11): 1990~2004.
辛补社, 杨华, 付金华, 王多云, 姚泾利, 张瑜, 左博. 2013a. 甘肃靖远宝积山地区上三叠统南营儿群底部凝灰岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地层学意义. 地质论评, 59(2): 267~273.
辛补社, 杨华, 王多云, 付金华, 姚泾利, 罗安湘, 张瑜. 2013b. 甘肃靖远王家山地区凝灰岩锆石 U-Pb 年龄及地层对比意义. 地球科学进展, 28(9): 1043~1048.
辛建荣. 1986. 缺氧事件及其地质意义. 地质科技情报, 5(4): 33~39.
杨华, 付金华, 欧阳征健, 孙六一, 马占荣. 2010. 鄂尔多斯盆地西缘汝箕沟大岭—鼓鼓台玄武岩锆石 U-Pb 定年及其构造意义. 地球学报, 31(2): 229~236.
喻学惠, 莫宣学, 赵志丹, 和文言, 李勇. 2011. 西秦岭新生代双峰式火山作用及南北构造带成因初探. 岩石学报, 27(7): 2195~2202.
袁文芳, 陈世悦, 曾昌民. 2006. 济阳坳陷古近系沙河街组海侵问题研究. 石油学报, 27(4): 40~49.
曾建平. 2012. 宁夏固原硝口石盐矿特征及矿床成因探讨. 宁夏大学学报(自然科学版), 33(4): 408~411.
张伯声. 1966. 中国大地构造的基本特征与镶嵌构造形成的机制. 地质学报, 46(1): 121~124.
张伯声, 王战. 1974. 中国的镶嵌构造与地壳波浪运动. 西北大学学报(自然科学版), 4(1):1~11
张伯声, 汤锡元. 1975. 鄂尔多斯地块及其四周的镶嵌构造与波浪运动. 西北大学学报(自然科学版), 5(3): 89~109.
张伯声, 王战. 1993. 地壳波浪状镶嵌构造学说撮要. 地球科学与环境学报, 15(4): 6~10.
张国伟, 郭安林, 董云鹏, 等. 2005. 中国大陆贺兰—川滇南北构造带与青藏高原东部关系与动力学. 见:吴福元, 范宏瑞, 陈福坤, 编. 全国岩石学与地球动力学研讨会摘要缉. 浙江杭州.
张国伟, 董云鹏, 郭安林, 程顺有. 2008. 中新生代中国大陆东、西部构造差异演化与深部过程. 南北构造带学术研讨会. 西安: 西北大学.
张国伟,郭安林,董云鹏,姚安平. 2011. 大陆地质与大陆构造和大陆动力学. 地学前缘, 83(3):001~012.
张辉, 彭平安, 张文正. 2014. 鄂尔多斯盆地延长组长 7 段凝灰岩锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素组成特征及其地质意义. 岩石学报, 30(2): 565~575.
张克信, 王国灿, 洪汉烈, 徐亚东, 王岸, 曹凯, 骆满生, 季军良, 肖国桥, 林晓. 2013. 青藏高原新生代隆升研究现状. 地质通报, 32(1): 1~18.
张岳桥, 董树文, 赵越, 张田. 2007. 华北侏罗纪大地构造:综评与新认识. 地质学报, 81(11): 1462~1480.
张培震, 邓起东, 张竹琪, 李海兵. 2013. 中国大陆的活动断裂、地震灾害及其动力过程. 中国科学: 地球科学, 43(10): 1607~1620.
赵红格. 2003. 鄂尔多斯盆地西部构造特征及演化. 博士学位论文. 西安: 西北大学, 1~143.
赵红格, 刘池洋, 王锋, 王建强, 李琼, 姚亚明. 2007a. 贺兰山隆升时限及其演化. 中国科学(D 辑:地球科学), 37(增刊): 185~192.
赵红格, 刘池洋, 姚亚明, 王锋, 银燕. 2007b. 鄂尔多斯盆地西缘差异抬升的裂变径迹证据. 西北大学学报(自然科学版), 37(3): 470~474.
赵振宇, 周瑶琪, 马晓鸣, 冀国盛. 2007. 含油气盆地中膏盐岩层对油气成藏的重要影响. 石油与天然气地质, 28(2): 299~308.
赵晓辰, 刘池洋, 王建强, 赵岩, 张东东, 王磊, 邓煜, 郭佩. 2016. 南北构造带北部香山地区中—新生代构造抬升事件. 岩石学报, 32(7): 2124~2136.
郑德文, 张培震, 万景林, 袁道阳, 张广良, 李传友. 2005. 六盘山盆地热历史的裂变径迹证据. 地球物理学报, 48(1): 157~164.
郑毅, 何伟, 柳强, 褚小东, 强泰, 谢变宁. 2012. 六盘山盆地硝口地区岩盐矿物学特征及地质成因分析. 洁净煤技术, 18(5): 119~123.
钟福平, 钟建华, 由伟丰, 边强, 轩吉善, 艾合买提江·阿不都热和曼, 张磊, 禚元杰, 王安东, 王金华, 孟玮, 2010. 六盘山地区下白垩统六盘山群乃家河组核形石形成的环境意义. 岩石矿物学杂志, 29(2): 206~212.
钟福平, 钟建华, 由伟丰, 边强, 王金华, 王安东, 孟玮, 艾合买提江·阿不都热和曼. 2014. 六盘山地区下白垩统六盘山群李洼峡组叠层石特征及成因环境探讨. 地层学杂志, 38(1): 65~70.
朱光友, 金强, 戴金星, 张水昌, 张林晔, 李剑. 2004. 东营凹陷沙四中亚段盐湖相烃源岩研究. 高校地质学报, 10(2): 257~266.
Bai Yunlai, Wang Xinmin, Liu Huaqing, Li Tianshun. 2006&. Determination of the borderline of the western Ordos basin and its geodynamics background. Acta Geologica Sinica, 80(6): 792~813.
Bralower T J, CoBabe E, Clement B, Sliter W V, Osburn C L, Longoria J. 1999 . The record of global change in mid-Cretaceous (Barremian—Albian) sections from the Sierra Madre, north eastern Mexico .Journal of Foraminiferal Research, 29: 418~437
Chen Gang, Sun Jianbo, Zhou Lifa, Zhang Huiruo, Li Xiangping, Li Xiangdong. 2007a #. Fission Track Age of Mesozoic Tectonic Events in the Southwestern margin of Ordos Basin. Science China Earth Sciences, 37(Suppl): 110~118 (in Chinese).
Chen Gang, Wang Zhiwei, Bai Guojuan, Sun Jianbo, Zhang Huiruo, Li Xiangdong. 2007b&. Meso—Cenozoic Peak-age events and their tectonic—sedimentary response in the Ordos Basin. Geology in China, 34(3): 375~383 .
Chen Guoda, Peng Shenglin, Dai Tagen. 2005&. Historistic—dynamic tectonic differentiation of E—W of central Asia Continental Crustobody and its significance. Geotectonica et Metallogenia, 29(1): 7~16.
Chen Hong, Hu Jianmin, Qu Hongjie, Wu Guoli. 2011#. Early Mesozoic structural deformation in the Chuandian N—S Tectonic Belt, China. Science China Earth Sciences, 41(9): 1281~1294 (in Chinese).
Chen Yanjing. 2010&. Indosinian tectonic setting, magmatism and metallogenesis in Qinling Orogen, central China. Geology in China, 37(4): 854~865.
Cheng Bin, Cheng Shunyou, Zhang Guowei, Zhao Dapeng. 2014. Seismic structure of the Helan—Liupan—Ordos western margin

tectonic belt in North—Central China and its geodynamic implications. Journal of Asian Earth Sciences, 87: 141~156

Dai Shuang, Liu Xue, Zhao Jie, Zhang Mingzhen, Liu Junwei, Kong Li, Zhu Qiang, Huang Yongbo. 2012&. The geochemistry of blackshales in the Liupanshan Group and its paleoclimatic implications. Earth Science Frontiers, 19(4): 255~259.

Deng Xiuqin, Li Wenhou, Liu Xinshe, Pang Jinlian, Liu Xin. 2009&. Discussion on the Stratigraphic Boundary between Middle Triassic and Upper Triassic. Acta Geologica Sinica, 83(8): 1089~1096.

Deng Shenghui, Lu Yuanzheng, Fan Ru, Fang Linhao, Li Xin, Liu Lu. 2012&. Toarcian (Early Jurassic) Oceanic Anoxic Event and the Responses in Terrestrial Ecological System. Earth Science—— Journal of China University of Geosciences, 37 (Suppl .2): 23~38.

Ding Lixue, Ma Changqian, Li Jianwei, Wang Lianxun, Chen Ling, She Zhenbing. 2010&. LA-ICP- MS zircon U-Pb ages of the Lantian and Muhuguan granitoid plutons, southern margin of the North China craton: Implications for tectonic setting. Geochimica, 39(5): 401~413.

Dong Shuwen, Zhang Yueqiao, Long Changying, Yang Zhenyu, Ji Qiang, Wang Tao, Hu Jianmin, Chen Xuanhua. 2007&. Jurassic Tectonic Revolution in China and New Interpretation of the Yanshan Movement. Acta Geologica Sinica, 81(11): 1449~1461.

Gao Feng, Wang Yuejun, Liu Shunsheng, Hu Baoqing. 2000&. Thermal history study in the west of the Ordos Basin using apatite fission track analysis. Geotectonica et Metallogenia, 24(1): 87~91.

Guan Baowen, Zheng Jianjing, Xu Shiyang, Guo Jianming, Yang Yan. 2015&. Analysis on Main Factors for Hydrocarbon Accumulation in Liupanshan Basin. Special Oil and Gas Reservoirs, 22(1): 16~21.

Guo Pei, Liu Chiyang, Wang Jianqiang, Deng Yu, Zhao Xiaochen, Wang Lei, Zhang Xiaolong, Wang Wenqing. 2015&. Sedimentary boundary evolution of the Carboniferous in Northern North— South Tectonic Belt, China and its geological significance. Earth Science Frontiers, 22(3):215~226.

He Xin, Lu Zongsheng, Wong Ping, Li Haifeng, Jia Lu, Liu Chungao. 2014&. Fossil Caddisfly Cases from the Early Cretaceous Aliferous Strata in Liupanshan Basin, China. Earth Science—— Journal of China University of Geosciences, 39(1): 1~9.

He Guoqing, Zhong Junfeng, Wei Wei. 2007#. Characteristics of the Lower Cretaceous hydrocarbon source rock in the Liupanshan Basin. Journal of Oil and Gas Technology, 29(3): 23~25.

Huang Hu, Yang Jianghai, Du Yuansheng, Huang Hongwei, Huang Zhiqiang, Xie Chunxia, Hu Lisha. 2012&. LA-ICPMS U-Pb Dating of Zircons from Tuffs of the Upper Permian—Middle Triassic in Youjiang Basin, Guangxi Province and Its Geological Significance. Earth Science—— Journal of China University of Geosciences, 37 (1): 125~138.

Huo Fuchen. 1993#. Geological Outline of Ningxia. Acta Geologica Gansu, (S1): 101~133.

Jenkyns H C. 1980. Cretaceous anoxic events: From continents to oceans. Journal of the Geological Society, 137: 171~188.

Jenkyns H C. 2010. Geochemistry of oceanic anoxic events. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 11: Q03004, doi: 10.1029/2009GC002788.

Jiang Weiwei, Jiang Didi, Xu Yi, Hao Tianyao, Hu Weijian, Yu Jingfeng. 2014&. Features of crust and lithosphere velocity structures along the north—south tectonic belt and adjacent regions in China. Chinese Journal of Geophysics, 57(12): 3944~3956.

Jin Weijun, Zhang Qi, He Dengfa, Jia Xiuqin. 2005&. SHRIMP dating of adakites in western Qinling and their implications. Acta Petrologica Sinica, 21(3): 959~966.

Jin Qiang, Zhu Guangyou. 2006&. Progress in research of deposition of oil source rocks in saline lakes and their hydrocarbon generation. Geological Journal of China Universities, 12(4): 483~492.

Jin Qiang, Zhu Guangyou, Wang Juan. 2008&. Deposition and distribution of high-potential source rocks in saline lacustrine environments. Journal of China University of Petroleum, 32(4): 19~23.

Li Xiangping. 2006&. The Mesozoic tectonic event and sedimentary environment in the Southwest margin of Ordos Basin. Master Degree Thesis. Xi'an: Northwest University, 1~88.

Li Xushan, Li Baixiang. 2012&. The investigation of the unity between the northern part of the NS-trending tectonic zone and the seismic zone from the charactersitics of the gravimetric and magnetic field. Geophysical and Geochemical Exploration, 36(5): 760~765.

Li Zhenhong, Feng Shengbin, Yuan Xiaoqi, Qu Hongjie. 2014&. Chronology and its significance of the lower Jurassic tuff in Ordos Basin and its periphery. Oil and Gas Geology, 35(5): 729~741.

Lin Xiubin. 2009&. Mesozoic—Cenozoic tectonic events and sedimentary responses in Liupanshan area Ph. D. Dissertation. Hangzhou: ZhejiangUniversity, 1~176.

Liu Jiaqi, Guo Zhengfu. 1998&. Volcanic activities and tectonic—climatic cycles. Quaternary Sciences, 3: 222~228.

Liu Chiyang, Zhao Hongge, Wang Feng, Chen Hong. 2005&. Attributes of the Mesozoic structure on the West Margin of Ordos Basin. Acta Geologica Sinica, 79(6): 737~747.

Liu Chiyang, Zhao Hongge, Gui Xiaojun, Yue Leping, Zhao Junfeng, Wang Jianqiang. 2006&. Space—Time Coordinate of the Evolution and Reformation and Mineralization Response in Ordos Basin. Acta Geologica Sinica, 80(5): 617~638.

Liu Chiyang, Zhao Junfeng, Ma Yanping, Wang Jianqiang, Xiong Linfang, Chen Jianjun, Mao Guangzhou, Zhang Dongdong, Deng Yu. 2014&. The advances and problems in the study of the characteristics and formation of hydrocarbon-rich sag. Earth Science Frontiers, 21(1): 075~088.

Liu Jianhui. 2009. Apatite fission track analysis of the Cenozoic extensional exhumation and uplift of the Helan Shan and the Qinling Mountains, and frictional heating along active faults. Ph. D. Dissertation. Beijing: Institute of Geology, China Earthquake Administration, 1~93.

Liu Jianhui, Zhang Peizhen, Zheng Dewen, Wan Jinglin, Wang Weitao, Du Peng, Lei Qiyun. 2010&. Pattern and timing of late Cenozoic rapid exhumation and uplift of the Helan Mountain, China. Science China Earth Sciences, 40(1): 50~60.

Liu Wusheng, Qin Mingkuan, Qi Fucheng, Xiao Shuqing, Wang Zhiming. 2008&. Analysis on the Meso—Neozoic subsidence and uplift history of the periphery of Ordos basin using apatite fission track. Uranium Geology, 24(4): 221~227.

Ma Zongjin, Zheng Dalin. 1981&. The Chinese—Mongolian continental Mid-axis tectonic belt and its seismicity. Journal of Seismological Research, 4(4): 421~436.

Ma Zongjin, Du Pinren, Gao Xianglin, Qi Wenhua, Li Xiaoli. 2010&. Analysis of earthquake distributions in East Asia and in the world. Earth Science Frontiers , 17(5):215~233.

Qi Kai, Ren Zhanli, Cui Junping, Yu Qiang, Cao Zhanpeng, Yang Peng, Deng Yaren, Zhang Mengting. 2017&. The Meso—Cenozoic tectonic thermal evolution of the Qishan—Linyou areas in Weibei

Uplift of Ordos Basin and its response geology: evidence from fission-track analysis. Acta Geologica Sinica, 91(1): 152~162.

Qiu Xinwei, Liu Chiyang, Mao Guangzhou, Wu Bolin. 2011&. Petrological—Geochemical Characteristics of Volcanic Ash Sediments in Yanchang Formation in Ordos Basin. Earth Science—— Journal of China University of Geosciences, 36(1): 139~150.

Qin Jiangfeng. 2010#. Petrogenesis and geodynamic implications of the Late-Triassic granitoids from the Qinling Orogenic Belt. Ph. D. Dissertation. Xi'an: Northwest University, 1~267.

Ren Zhanli. 1995&. Thermal history of Ordos Basin assessed by apatite fission track analysis. Acta Geophysica Sinica, , 38(3): 339~349.

Ren Zhanli, Cui Junping, Guo Ke, Tian Tao, Li Hao, Wang Wei, Yang Peng, Cao Zhanpeng. 2015. Fission-track analysis of uplift times and processes of the Weibei Uplift in the Ordos Basin. Chinese Science Bulletin, 60(14): 1298~1309.

Schlanger S O, Jenkyns H C. 1976. Cretaceous oceanic anoxic events: Cause and consequence. Geologie en Mijnbouw, 55:179~184

Shi Wei, Zhang Yueqiao, Ma Yisheng, Liu Gang, Wu Li. 2006&. Formation and modification history of the Liupanshan Basin on the southwestern margin of the Ordos block and tectonic stress field evolution. Geology in China, 33(5): 1066~1074.

Song Lijun, Zhao Jingzhou, Yuan Bingqiang, Liu Chiyang, Wu Chonglong. 2009&. Development and genetic mechanism of the Kongtongshan Formation conglomerate. Geotectonica et Metallogenia, 33(4): 508~519.

Song Lijun, Mu Qiuhuan, Li Airong, Li Li. 2013&. Fission-track thermal evolution history in the formation age of Yaoshan Formation. Coal Geology and Exploration, , 41(4): 1~4.

Tong Zaisan, Shen Guanglong, Wu Anbin, Li Lan. 1987&. Discovery of several volcanic rocks from Jingyuan coal field in the Baojishan mining area of Triassic strata. Journal of Lanzhou University (Natural Sciences), 26(2): 135~136.

Tang Xiyuan, Guo Zhongming, Chen Heli. 1992&. The Characteritics and evolution of the thrust nappe tectonic belt and its petroleum potential in the west Ordos basin. Xi'an: Northwest University Publishing House.

Wang Kun, Wang Jun. 2015#. Characteristics and potential of the cretaceous source rocks in the Liupanshan basin. Geological Review, 61(Supp.): 172~173.

Wang Xiaoxia, Wang Tao, Zhang Chengli. 2015&. Granitoid magmatism in the Qinling orogen, central China and its bearing on orogenic evolution. Science China: Earth Sciences, 58: 1497~1512.

Wang Xiaofeng, Chen Xiaohong. 2005#. Stratigraphic division and correlation of strata in China. Beijing: Geological Publishing House: 458~466.

Wang Chunyong, Yang Wencai, Wu Jianping, Ding Zhifeng. 2015&. Study on the lithospheric structure and earthquakes in North—South Tectonic Belt. Chinese Journal of Geophysics, 58(11): 3867~3901.

Wang Duoyun, Xin Bushe, Yang Hua, Fu Jinhua, Yao Jingli, Zhang Yu. 2014&. Zircon SHRIMP U-Pb age and geological implications of tuff at the bottom of Chang-7 Member of Yanchang Formation in the Ordos Basin. Science China: Earth Sciences, 44(10): 2160~2171.

Wang Feng, Liu Chiyang, Yang Xingke, Su Qianchun. 2005&. Geologic Geochemical Features of Basalt in Ruqi Clough of Helan Mountain and Its Structural Environmental Significance. Petroleum Geology and Oilfield Development in Daqing, , 24(4): 25~27.

Wang Guocan, Zhang Kexin, Cao Kai, Wang An, Xu Yadong, Meng Yanning. 2010&. Expanding processed of the Qinghai—Tibet Plateau during Cenozoic: an insight from spatio—temporal difference of uplift. Earth Science——Journal of China University of Geosciences, 35(5): 713~727.

Wang Guocan, Cao Kai, Zhang Kexin, Wang An, Liu Chao, Meng Yanning, Xu Yadong. 2011&. Spatio—temporal framework of tectonic uplift stages of the Tibetan Plateau in Cenozoic. Sci. China (Earth Sci.), 54: 29~44.

Wang Shicheng, Kang Tiesheng, Wang Lanfen, Ren Zhanli. 1997&. Zircon fission track dating of dill hole samples from Ordos Basin and their implication. Acta Geoscientia Sinica, 18(Suppl): 221~223.

Wang Jianqiang. 2010&. Mesozoic—Cenozoic basin evolution——reforming and basin—mountain coupling in southern Ordos basin. Ph.D. Dissertation. Xi'an: Northwest University, 1~155.

Wang Weitao, Zhang Peizhen, Zheng Dewen, Pang Jianzhang. 2014&. Late Cenozoic tectonic deformation of the Haiyuan fault zone in the northeastern margin of the Tibetan Plateau. Earth Science Frontiers, 21(4):266~274.

Wang Yiwei, Mei Gang, Xie Qixing, Zhou Xiaoke, Wang Gang. 2015&. Apatite fission track evidence for the Cenozoic uplift process in Garze area on the eastern margin of the Tibetan Plateau. Geology in China, 42(2): 469~479.

Wang Zhentao, Zhou Hongrui, Wang Xunlian, Zhang Yongsheng, Jing Xiuchun, Xing Enyuan. 2015&. Ordovician Geological Events Group in the West and South Ordos Basin. Acta Geologica Sinica, 89(11): 1990~2004.

Xin Bushe, Yang Hua, Fu Jinhua, Wang Duoyun, Yao Jingli, Zhang Yu, Zuo Bo. 2013a&. SHRIMP U-Pb Zircon Age and Its Stratigraphic Significance of Tuff at the Bottom of the Upper Triassic Nanying'er Group, Mount Baoji Area, Jingyuan County, Gansu Province. Geological Review, 59(2): 267~273.

Xin Bushe, Yang Hua, Wang Duoyun, Fu Jinhua, Yao Jingli, Luo Anxiang, Zhang Yu. 2013b&. SHRIMP U-Pb age and its stratigraphic significance of tuff at the Wangjiashan area, Jingyuan County, Gansu Province. Advances in Earth Science, 28(9): 1043~1048.

Xin Jianrong. 1986#. Anoxic event and its geological significance. Geological Science and Technology Information, 5(4): 33~39.

Yang Hua, Fu Jinhua, Ouyang Zhengjian, Sun Liuyi, Ma Zhanrong. 2010&. U-Pb Zircon Dating of the Daling—Gugutai Basalt in Rujigou on the Western Margin of Ordos Basin. Acta Geoscientica Sinica, 31(2): 229~236.

Yang H, Deng X Q. 2013. Deposition of Yanchang Formation deep-water sandstone under the control of tectonic events in the Ordos Basin. Petroleum Exploration and Development, 40: 549~557.

Yu Xuehui, Mo Xuanxue, Zhao Zhidan, He Wenyan, Li Yong. 2011&. Cenozoic bimodal volcanic rocks of the West Qinling: Implication for the genesis and nature of the rifting of north—south tectonic belt. Acta Petrologica Sinica, 27(7): 2195~2202.

Yuan Wenfang, Chen Shiyue, Zeng Changmin. 2006&. Study on marine transgression of Paleogene ShahejieFormation in Jiyang Depression. Acta Petrolei Sinica, , 27(4): 40~49.

Zeng Jianping. 2012&. Geological Characteristics and Genesis of Xiaokou Rock Salt Deposit in Guyuan of Ningxia Province. Journal of Ningxia University (Natural Science Edition, 33(4): 408~411.

Zhai Mingguo. 2004&. 2.1 ~ 1.7 Ga geological event group and its

geotectonic significance. Acta Petrologica Sinica, 20(6):1343~1354.

Zhang Bosheng. 1966&. The basic geotectonic characters of China and the mechanism of the formation of mosaic structures. Acta Geologica Sinica, 46(1): 121~124.

Zhang Bosheng, Wang Zhan. 1974&. Mosaic Structures and Wave Motion of the Crust in China. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 4(1):1~11.

Zhang Bosheng, Tang Xiyuan. 1975&. Ordos block and around inlaid structure and waveness movement. Northwestern University Journal (Natural Science Edition), 5(3): 89~109.

Zhang Bosheng, Wang Zhan. 1993&. Extraction from the hypothesis of crustal—wave mosaic structure. Journal of Xi'an College of Geology, 15(4): 6~10.

Zhang Guowei, Dong Yunpeng, Guo Anlin, Cheng Shunyou. 2008#. The different evolution and deep processes between east and west of Chinese continent since Mesozoic to Cenozoic. In: N—S Trending Tectonic Belt Workshop. Xian: Northwest University, 2008.

Zhang Guowei, Guo Anlin, Dong Yunpeng, Yao Anping. 2011&. Continental geology, tectonics and dynamics. Earth Science Frontiers, 18(3): 1~12.

Zhang Hui, Peng Pingan, Zhang Wenzheng. 2014&. Zircon U-Pb ages and Hf isotope characterization and their geological significance of Chang 7 tuff of Yanchang Formation in Ordos basin. Acta Petrologica Sinica, 30(2): 565~575.

Zhang Kexin, Wang Guocan, Hong Hanlie, Xu Yadong, Wang An, Cao Kai, Luo Mansheng, Ji Liangjun, Lin Xiao. 2013&.The study of the Cenozoic uplift in the Tibetan Plateau: A review. Geological Bulletin of China, 32(1):1~18.

Zhang Yueqiao, Dong Shuwen, Zhao Yue, Zhang Tian. 2007&. Jurassic Tectonics of North China: a Synthetic View. Acta Geologica Sinica, 81(11): 1462~1480.

Zhang Peizhen, Deng Qidong, Zhang Zhuqi, Li Haibing. 2013#. Active faults, earthquake hazards and associated geodynamic processes in continental China. Science China: Earth Sciences, 43: 1607 - 1620.

Zhao Hongge. 2003&. Structural characteristics and the evolutionin western Ordos Basin. Ph. D. Dissertation. Xi'an: NorthwestUniversity,1~ 143.

Zhao Hongge, Liu Chiyang, Wang Feng, Wang Jianqiang, Li Qiong, Yao Yaming. 2007a #. Uplifting and Evolution in Helan Mountain. Science China: Earth Sciences, 37 (Suppl): 185~192.

Zhao Hongge, Liu Chiyang, Yao Yaming, Wang Feng, Yin Yan. 2007b&. Differential uplift in the west margin of Ordos Basin since Mesozoic from the fission track evidence. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 37(3): 470~474.

Zhao Zhenyu, Zhou Yaoqi, Ma Xiaoou, Ji Guosheng. 2007&. The impact of saline deposit upon the hydrocarbon accumulation in petroliferous basin. Oil and Gas Geology, 28(2): 299~308.

Zhao Xiaochen, Liu Chiyang Wang Jianqiang, Zhao Yan, Wang Lei, Zhang Qihang. 2016. Detrital zircon U-Pb ages of Paleozoic sedimentary rocks from the eastern Hexi Corridor Belt (NW China): provenance and geodynamic implications. Sedimentary Geology, 339: 32~45.

Zhao Xiaochen, Liuchiyang, Wang Jianqiang, Duan Liang, Zhao Yan, Zhang Qihang, Luo Wei. 2017. Petrology, Geochemistry and Zircon U-Pb Geochronology of the Xiangshan Group in the Eastern Hexi Corridor Belt Implications for Provenance and Tectonic Evolution. Acta Geologica Sinica (English Edition), 91(5): 1690~1703.

Zhao Xiaochen, Liu Chiyang, Wang Jianqiang, Zhao Yan, Zhang Dongdong, Wang Lei, Deng Yu, Guo Pei. 2016&. Mesozoic Cenozoic tectonic uplift events of Xiangshan Mountain in northern North South Tectonic Belt, China. Acta Petrologica Sinica,32(7): 2124 ~2136.

Zheng Dewen, Zhang Peizhen, Wan Jinglin, Yuan Daoyang, Zhang Guangliang, Li Chuanyou. 2005&. Apatite fission track evidence for the thermal history of the Liupanshan basin. Chinese Journal of Geophysics, 48 (1) :157~164.

Zheng Dewen, Zhang Peizhen, Wan Jinlin, Yuan Daoyang, Li Chuangyou, Yin Gongming, Zhang Guangliang, Wang Zhicai, Min Wei, Chen Jie. 2006. Rapid exhumation at ~8 Ma on the Liupan Shan thrust fault from apatite fission-track thermochronology: Implications for growth of the northeastern Tibetan Plateau margin. Earth and Planetary Science Letters, 248: 198~208.

Zheng Yi, He Wei, Liu Qiang, Zhu Xiaodong, Qiang Tai, Xie Bianning. 2012&. Mineralogical characteristics and geological origin of halite in Xiaokou Liupanshan basin. Clean Coal Technology, 18(5): 119 ~123.

Zhong Fuping, Zhong Jianhua, You Weifeng, Bian Qiang, Xuan Jishan, Ahmatjan Abdurahman, Zhang Lei, Zhuo Yuanjie, Wang Andong, Wang Jinhua, Meng Wei. 2010&. The formation environment and genesis of the oncolite in Lower Cretaceous Liupanshan Group of Liupan Mountain area. Acta Petrologica et Mineralogica, 29(2): 206~212.

Zhong Fuping, Zhong Jianhua, You Weifeng, Bian Qiang,Wang Jinhua, Wang Andong, Meng Wei, Ahmatjan Abdurahman. 2014&. Lacustrine stromatolites from the Lower Creraceous Liwaxia Formation in the Liupan mountain area. Journal of Stratigrapgy, 38 (1): 65~70.

Zhu Guangyou, Jin Qiang, Dai Jinxing, Zhang Shuichang, Zhang Linye, Li Jian. 2004&. Investigation on the salt lake source rocks for Middle shasi column of Dongying depression. Geological journal of China Universities, , 10(2): 257~266.

Mesozoic Geological Events and Its Evolution Sequence of the Northern North—South Tectonic Belt, China

ZHAO Xiaochen[1)], LIU Chiyang[2)], WANG Jianqiang[2)], ZHAO Yan[2)]

1) *College of Geology and Environment, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an*, 710054;

2) *State Key Laboratory of Continental Dynamics, Department of Geology, Northwest University, Xi'an*, 710069

Objectives: The North—South Tectonic Belt is a significant boundary between the east and west parts of Chinese continent in geological structure, geophysical field and surface system, and is also one of the major regions of strong earthquakes in the continental interior. However, the inner link of the geological events during the Mesozoic is still ambiguous. This paper is aimed to discuss the geological events and tectonic evolution of the northern North—South Tectonic Belt.

Methods: Based on a large amount of low temperature thermochronology data, magmatic events, tectonic events and other depositional events, analysis the distribution sequence, depositional response and the inherent coupling relationship of these Mesozoic tectonic events.

Results: Fission track ages indicate that the study area underwent four cooling events which occurred in the Late Triassic—Early Jurassic (220~180 Ma), Late Jurassic—Early Cretaceous (160~135 Ma), and late Early Cretaceous—Paleocene (110 ~ 60 Ma). Futhermore, the north segment of the North—South Tectonic Belt experienced a serious of volcanic eruptions, tuff deposition and other depositional events during the Mesozoic.

Conclusion: The north segment of the North—South Tectonic Belt experienced multi-phase tectonic evolution. It triggered a series of significant geological events that were closely related with each other from the aspects of temporal and spatial distribution.

Keywords: Northern North—South Tectonic Belt; Mesozoic; geological event; uplifting stages; evolution sequence

Acknowledgements: This study was supported by the Natural Science Foundation of China (Nos. 41802119, 41330315), China Geological Survey (Nos. 12120113039900, 12120114009201) and Doctor's fund of Xi'an University of Science and Technology (No. 6310117052)

First author: ZHAO Xiaochen, male, lecturer, mainly working on sedimentary basin analysis. Email: zxcnwu@126.com

Corresponding author: LIU Chiyang, male, professor, mainly working on sedimentary basin analysis and petroleum geology. Email: lcy@ nwu.edu.cn

Manuscript received on: 2018-01-21; Accepted on: 2018-09-25; Edited by: LIU Zhiqiang

Doi: 10.16509/j.georeview.2018.06.002