

南秦岭逆冲推覆体系的形成 及其与北秦岭逆冲推覆体系的关系*

——以南襄盆地 87—600 反射地震剖面为例

刘 宁 刘绍龙 薛玉伟 刘 英

中国石油科学技术研究院

河南石油勘探局

摘 要 在秦岭海盆于印支期关闭、褶皱推覆隆起后的燕山期陆内俯冲、地壳急剧缩短过程中,在先期近东西向大型断裂参与下,由于秦岭、华北陆壳上地壳的强烈挤压,南秦岭各断块以中地壳低速层为主滑脱推覆面向扬子陆壳逆冲、仰冲,北秦岭各断块则沿低速层向秦岭陆壳大规模滑脱推覆,从而在东秦岭地区构成了两个向南逆冲的巨型逆冲推覆构造体系。二者均属前展式推覆类型。文章对其构造特点、形成条件及相互关系进行了详细论述。

主题词 南秦岭 北秦岭 (逆冲推覆体系) 低速带 (地壳楔进)

秦岭—大别山横亘于中国东部,是分隔中国南北大陆的重要造山带。它不仅对中国大陆构造的形成与演化起着重要的控制作用,而且在中国自然地理区划中占有不可替代的重要地位。以横贯山系中部的商(南)丹(凤)断裂为界,可将其分为南、北秦岭两部分。由新近沉积物组成、范围广阔(1.5 万 km²)的南(阳)襄(樊)盆地恰覆于秦岭—大别造山带之上。南秦岭在盆地隐伏区的构造格局怎样?有什么特点?北秦岭具备何种特点?二者是什么关系?这些问题历来为地质界所关注。过去地质界对徽(县)成(县)盆地以东东秦岭地区的南、北秦岭构造格局的认识,由于缺乏深部反射地震资料,因而众说纷纭,莫衷一是。现愿结合近年来在盆地隐伏区做的深部反射地震资料谈些认识,以有助于这些问题的解决。不当之处,请批评指正。

南秦岭逆冲推覆构造体系剖面特征

笔者在“南襄盆地深层反射地震界面剖面特征及其构造属性”(《河南石油》1999 年第 1 期)一文中,以 87—600 反射地震剖面为例,结合邻区资

料对其剖面特征及构造属性做了详细论述与区域对比。图 1 是以南 1 井测井速度为准对该剖面进行深度转换后所得的深度剖面。由图 1 可以看出,在揭去近水平状展布的沉积盖层后,商丹断裂以南表现为一系列向南逆冲推覆的构造断片。由剖面南段新浅 2 井、堂 3 井等所确定的随县群与耀岭河群的区域展布情况及其与十堰、武当山一带出露的武当(郧西)群的关系看,可以确定剖面南段伏于随县群、耀岭河群之下的地层即武当(郧西)群。后者之下的逆冲推覆面就是被地质界公认的秦岭造山带与扬子陆壳的分界线——襄樊—青峰逆冲推覆断裂的地下延伸部分,亦即主推覆面。由此可见,在商丹断裂与襄樊—青峰断裂间的一系列逆冲构造断片实际共同构成了南秦岭逆冲推覆构造体系。它共由 6 个主要断片组成。根据各断片主要构成地层看,自北而南依次为丹凤群、刘岭群、陡岭群、毛堂群、随县群与耀岭河群、武当(郧西)群等断片。鉴于丹凤群是在扬子板块前缘洋壳沿商丹缝合线向北俯冲时侵位于秦岭群南侧的蛇绿岩,在空间展布上具有断续分布的特点,因此并不是每个断

*国家自然科学基金项目——秦岭与东秦岭二课题子课题。项目编号:49290100,49172139。

刘 宁 高级工程师,1962 年生。1984 年毕业于西南石油学院。长期从事油气勘探开发科研工作。在石油工业出版社出版专著、译著各一部,在全国性学术刊物和学术会议发表论文 10 多篇,获省部级科技进步二等奖一项。地址:100083 北京学院路 20 号 910 信箱 电话:010—62097942

面均能见到这一断片。另外,由剖面可见,刘岭群的展布并不受现今山阳断裂的严格围限,向南系随近水平推覆面平覆于陡岭群、毛堂群、随县群与耀岭河群之上。其展布情况与山阳县城以东地面所见是一致的(黄万夫等,1989;孙勇等,1991)。这是因为刘岭群断片紧邻秦岭陆壳,在后者的强烈推挤下,首先向扬子陆壳前陆方向逆冲推覆,在漫长的逆冲推覆过程中,原来围限刘岭群的较陡断面向南逐步变缓以至呈水平状或波状展布,因而在各断片中其推移距离较远。仅据现剖面所见,即在40km左右。而后其它断片则依序向南逆冲推覆。这种情况与瑞士西海威逆冲推覆体系各断片所见是完全一致的。它们均属前展(背驼)式逆冲推覆构造类型。

由图1可见的第三个特点是:在南1井下侧毛堂群中存在向北逆冲的反冲断层。这与盆地西侧渐川毛堂、鸡笼山一带毛堂群中所见完全一致^[1]。它标志着南秦岭逆冲推覆体系由此向南已进入其前缘叠瓦扇部位。该部位是反冲断层较发育的场所,在剖面南端新沉积物之下,亦可见到这一情况。

由图1可见的另一特点是:控制逆冲推覆体系各断片的部分逆冲断层在喜山运动前期,往往由逆变正,控制了晚白垩世至早第三纪不同阶段的盆地沉积,构成了盆地边界及控制沉积物厚度及岩性、岩相的重要因素。图中新野断裂及襄阳凹陷北界断裂即是由逆转正分别控制南阳凹陷南部深凹陷及襄阳北部凹陷的边界断裂。

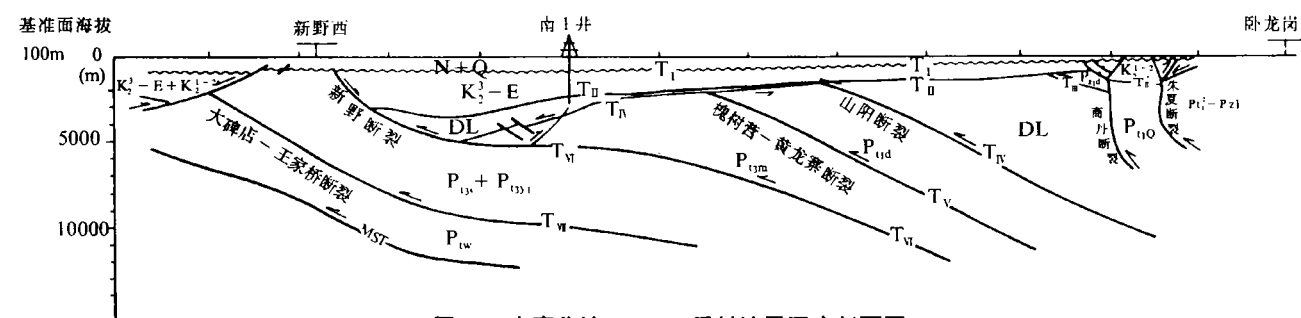


图1 南襄盆地87-600反射地震深度剖面图
(以南1井测井速度为准进行构绘)

- | | | | |
|--------------------|-------------------|---------------------------|----------------------|
| T_1 - 喜马拉雅期剥蚀面 | T_{IV} - 刘岭推覆面 | $N+Q$ - 上第三系与第四系 | P_{13d} - 陡岭 - 桐柏群 |
| T_{II} - 燕山晚期剥蚀面 | T_V - 陡岭推覆面 | K_2^3-E - 上白垩统上部 - 下第三系 | P_{13m} - 毛堂群 |
| T_{II}' - 燕山期剥蚀面 | T_{VI} - 毛堂推覆面 | K_2^{1-2} - 上白垩统中下部 | P_{13s} - 随县群 |
| T_{III} - 丹凤推覆面 | T_{VII} - 随县推覆面 | P_{110} - 秦岭群 | P_{13j1} - 耀岭河群 |
| MST - 南秦岭主推覆面 | | $P_{13}^2-P_{21}$ - 二郎坪群 | P_{13a} - 武当(郧西)群 |
| | | P_{21d} - 丹凤群 | DL - 刘岭群 |

南秦岭逆冲推覆体系的形成

南秦岭逆冲推覆体系的形成,既与先前存在的一系列近东西向断裂有关,亦与秦岭地区中地壳低速层的广泛分布有关。

据十堰 - 洛阳大地电磁观测结果^[2],南、北秦岭地区中地壳存在厚达若干km的低阻、高导层(电阻率 $10 \sim 20\Omega \cdot m$)且向南逐步翘起变浅。秦巴地区QB-1(十堰 - 洛阳)人工地震剖面观察结果^[3],肯定了上述低阻高导层即低速层($5.71 \sim 6.00km/s$)在南、北秦岭的连续存在,在商丹、山阳

二断裂间埋深 $18 \sim 22km$,在栾川 - 方城断裂南侧埋深 $19km$,均各自向南变浅。

对湖北随州 - 西安及随州 - 安阳人工地震资料反演结果亦发现南、北秦岭普遍存在低速层(图2),随州 - 安阳剖面位于 $20 \sim 23km$ 处,另一剖面位于 $20 \sim 27km$ 处。这一低速层在桐柏 - 大别山区同样存在,其电阻率 $10 \sim 30\Omega \cdot m$,层速度 $6.02km/s$ (索书田等,1991)。

壳内低速层的存在对陆内滑脱、推覆及陆内俯冲作用具有重要意义。原因是:低速层具有疏松、低密度、低阻高导、含水、粘度小等特性。这些部位的物质由于处于 $T/T_m > 0.6 \sim 0.65$ (T 为环境温度, T_m 为熔

点)的中下地壳环境,故具有瞬时—稳态蠕变的特点(许志琴,1986)。一旦边界应力超过临界应力时,便可借助于低速层产生滑移。在秦岭海盆于印支期最终关闭发生南向褶皱推覆隆起后的燕山期南北向强烈挤压与地壳急剧缩短过程中,南秦岭各断块沿低速层即MST面向扬子陆壳大规模滑脱、仰冲是自然的。在滑脱推覆过程中,先期存在的近东西向断面逐步变缓演变为平缓的推覆面,亦是不难理解的。这些推覆面均伴有强烈的片理化和糜棱岩化,石英具有显著的塑性变形,显示出自北而南的脆—韧性推覆运动特征。它们将丹凤群、刘岭群、陡岭群、桐柏群、毛堂群、随县群与耀岭河群、武当(郧西)群以至震旦—石炭系、中生界地层切割为不同深度层次的构造岩片。这些构造岩片都是在中地壳低速层与青峰—襄樊推覆剪切带构成的南秦岭主滑脱推覆面的基础上形成的。不过,值得注意的是,由于后期的脆性应变特别是左行或右行走滑断裂的叠加,目前所见断裂面与这些推覆面的位置并非总是一致的。

推覆面的基础上,栾川—方城、瓦穴子等先期近东西向大型断裂再次强烈活动并逐步演化为逆冲推覆面,形成自北而南的巨型逆冲推覆体系(图3)。就其主要构成地层看,自北而南依次为太华群、宽坪群、二郎坪群及不整合覆于它们之上的某些时代不同的前上白垩统(熊耳群—下白垩统)。就太华群断片而言,主体地层由华北南缘基底岩层太华群(2300~2600Ma)组成,不整合覆于其上者为熊耳群(>1600Ma),后者之上又不整合覆有2000余m的中上元古界及寒武系地台型地层。此带北部沉积岩层变质轻微或未变质,变形亦简单,表现为“侏罗山型”疏缓、开阔的同心褶皱。但此带南部地层变质、变形逐步加剧,并出现紧闭的同斜褶皱和北倾的叠瓦状逆冲断层。在秦岭逆冲推覆造山过程中,华北南缘基底及其盖层亦一并被卷了进来。从构造角度讲,华北南缘亦构成了秦岭造山带的一个组成部分。在其它断片内,一系列平行的北倾逆冲断层又将各该断片进一步分割为叠瓦状岩片,并具有多期复杂的褶皱与叠加变形。另外,应强调指出的是:前述南秦岭逆冲推覆构造体系所具有的主要特

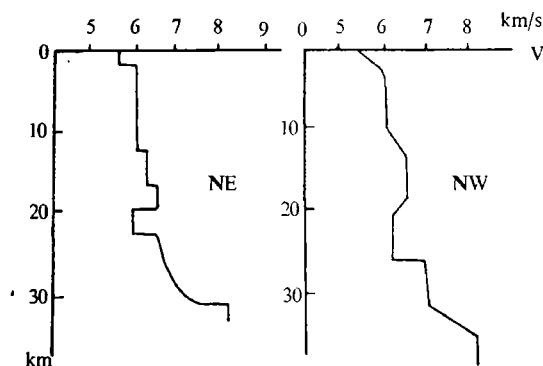


图2 随州—安阳及随州—西安地震剖面的地壳速度结构(据王良书等,1988)

NE: 随州—安阳剖面 NW: 随州—西安剖面

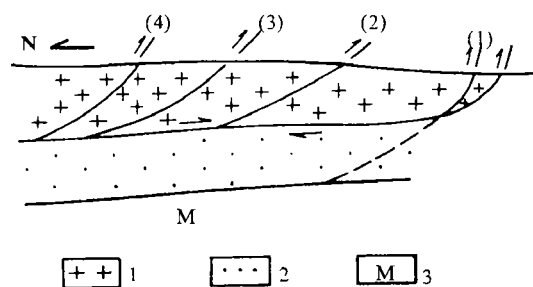


图3 北秦岭燕山期滑脱—推覆剖面示意图

(改自胡志宏等并简化,1990)

1—上地壳 2—下地壳 3—地幔

(1) 商丹断裂 (2) 朱夏断裂 (3) 瓦穴子断裂 (4) 栾川—方城断裂

北秦岭逆冲推覆构造体系特征

在秦岭海盆于印支期最终关闭发生南向褶皱推覆隆起后的燕山期陆内俯冲及地壳急剧缩短过程中,不仅在南秦岭发育了巨型逆冲推覆构造体系,北秦岭亦不例外。后者在南阳凹陷北部深层反射地震剖面中有显示,就某些细节讲,在地面构造中可以看的更清楚。在由朱夏大型韧性剪切推覆构造带及中地壳近水平低速层组成的北秦岭主滑脱

点,在北秦岭亦同样存在。如宽坪群及侵入其中的蟒岭花岗岩体即不受现今瓦穴子断裂的严格围限,在商州北宽坪、灵官庙北糊涂岔及皇台地区见它们沿 $10^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 的滑脱面长距离推覆于二郎坪群不同层位之上(图4),在蟒岭南侧的留仙坪、油房街一带蟒岭岩体更逆覆于上三叠统之上(张国伟等,1988)。由此可见,虽然北秦岭地区不乏晋宁、加里东—早海西及海西期变质、变形记录,但现在所见的逆冲推覆构造体系则主要是在秦岭海盆于印支期最终关闭后的燕山期地壳急剧缩短

过程中形成的。与南秦岭一样,北秦岭亦属前展(背驮)式逆冲推覆类型。宽坪群断片由于紧邻华

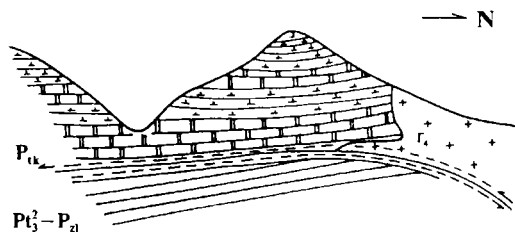


图4 宽坪群及蟒岭岩体沿近水平推覆面向南逆冲推覆的皇台构造剖面(据张国伟等,1988)

P_k —宽坪群 P_2-P_3 —二郎坪群 r —蟒岭岩体

北陆壳,在后者强烈挤压下,首先向秦岭陆壳方向逆冲推覆,原来围限宽坪群南限的瓦穴子断裂,在漫长的逆冲推覆过程中逐步变缓,使宽坪群及侵入其中的岩体得以向南作长距离推覆。南秦岭前缘部位常见的反冲断层,在北秦岭相应部位亦是可见到的,西峡、内乡一带所见秦岭群向北逆冲于二郎坪群之上的反冲断层,即是其例证。

应该指出的是,秦岭群作为秦岭陆壳组成部分,是北秦岭各断片逆冲、仰冲的指向地区,亦是向南秦岭各断片施压的“根带”所在。不过,在施压及北秦岭逆冲推覆过程中,秦岭群亦被卷入其中,构成了众多断片中的一员。西峡大块地、虎庙岗一带,秦岭群花岗岩片麻岩逆覆于刘岭群之上(张长厚,1991)及由侵入秦岭群的加里东期花岗岩体(519Ma)逆覆于刘岭群之上构成的山阳板板山飞来峰(吴正文等,1991),即是其例证。

南、北秦岭逆冲推覆构造体系的关系

南、北秦岭逆冲推覆构造体系是什么关系?要说明这一问题,还得从秦岭群及与其有关的问题谈起。

随着秦岭造山带研究工作的逐步深入,原“秦岭系”(越亚曾等,1931)已多次解体与缩小,所剩的一套中深变质岩系(可达麻粒岩相—角闪岩相)被名为秦岭群。经深入研究,西北大学于1991年又将其再次解体为早元古宙变质岩(2226~2172Ma, U—Pb法, P_6-P_6 法, 张宗清, 1986)和中晚元古宙(>983Ma, S_m-N_0 , 李曙光, 1989)两部分,仍合称为秦岭群。它近东西向绵延千余公里,有多期变质变形历史。近年来的 S_m-N_0 年代学研究成果表明:秦岭群北侧的宽坪群变火山岩系的形成时代为986Ma,

其底部的玄武岩具有轻稀土亏损模式,说明这时的宽坪群所在部位表现为洋盆(张宗清,1991;李曙光等,1991)。近期研究又发现,夹持于秦岭群南北两侧的丹凤与二郎坪蛇绿岩分属于不同构造环境下产生的不同类型的蛇绿岩。前者是在板块消减作用总背景下,于加里东—早海西期俯冲碰撞(B型)和后期逆冲推覆(A型)的复杂过程中就位的,记录了沿商丹断裂带消失了的海沟系;后者则是与具有洋壳边缘海有关联的同期关闭的产物。这时秦岭群所在的陆壳表现为一列界于俯冲海沟和边缘海盆间、与现代日本列岛一样的链状岛弧带(张国伟等,1988)。近期对叶县—邓州陆壳反射地震剖面进行研究后发现,在表层秦岭群之下还存在着广阔深厚的秦岭古陆壳。该陆壳在与华北、扬子陆壳长期会聚的过程中,虽然由于俯冲、仰冲或裂解表现为一残块,其宽度仍逾100km^[4]。综合上述可见,在秦岭造山带发展过程中,秦岭陆壳与华北陆壳间或间隔以洋盆、或表现为沟弧盆关系,拼合在一起后又与扬子陆壳合二为一。在这一过程中,秦岭陆壳均表现为一个重要参与者。在后期的逆冲推覆体系形成过程中,秦岭陆壳更是起着无可替代的重要作用。

将87—600反射地震剖面、北秦岭逆冲推覆构造剖面、叶县—邓州陆壳反射地震剖面、西峡、淅川及襄樊以南扬子前陆地区地面构造剖面资料加以综合后,可得图5。

由图5可以看出:秦岭造山带由上部陆壳组成的壳体主要表现为两个向南逆冲的推覆构造体系。它们各由若干断片组成。它们的共同特点是由北向南逆冲,表现为:华北陆壳向北秦岭逆冲,后者向秦岭陆壳逆冲、仰冲,结果形成了北秦岭逆冲推覆构造体系;秦岭陆壳向南秦岭逆冲,后者向扬子陆壳逆冲、仰冲,结果形成了南秦岭逆冲推覆构造体系。两个体系向各自南侧陆壳仰冲时,均形成了若干向北逆冲的反冲断层。

由图5可以得出的另一点认识是:扬子陆壳向秦岭中地壳楔进,后者向华北中地壳楔进,从而迫使华北下地壳向秦岭陆壳俯冲,其上地壳则向北秦岭各断块逆冲;秦岭下地壳向扬子陆壳俯冲,其上地壳则向南秦岭各断块逆冲。这就是南、北秦岭逆冲推覆构造体系之所以形成的“力源”所在。

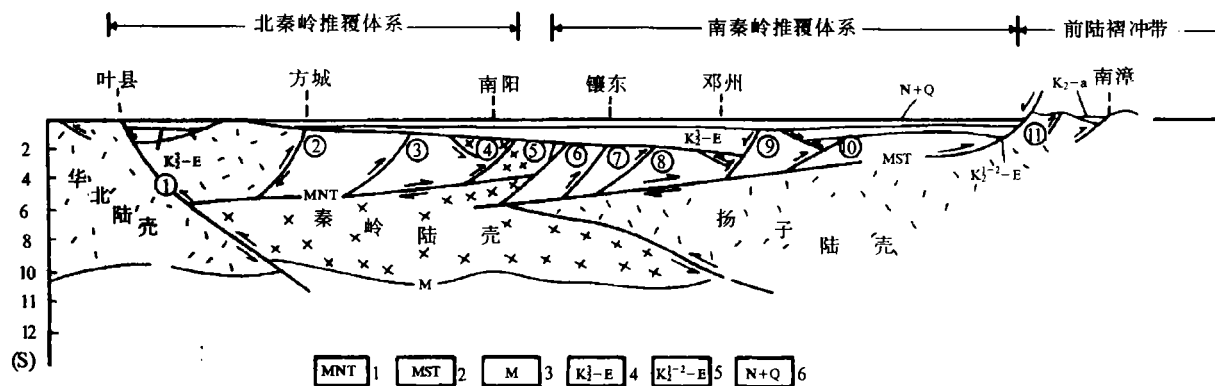


图5 南、北秦岭逆冲-推覆体系剖面示意

1- 北秦岭主推覆面 2- 南秦岭主推覆面 3- 莫霍面 4- 晚白垩世晚期-早第三纪沉积 5- 晚白垩世-早第三纪沉积
6- 晚第三纪及第四纪沉积 ① 叶(县)鲁(山)断裂 ② 太华推覆面(栾川-方城断裂) ③ 宽坪推覆面(瓦穴子断裂)
④ 二郎坪推覆面(朱夏断裂) ⑤ 秦岭推覆面(商丹断裂) ⑥ 丹凤推覆面 ⑦ 刘岭推覆面 ⑧ 陡岭推覆面(槐树营-黄龙寨
断裂) ⑨ 毛堂推覆面(新野断裂) ⑩ 随县推覆面(大碑店-王家桥断裂) ⑪ 武当推覆面(青峰-襄樊断裂)

由图5可以得出的第三点认识是:由于宽坪群及丹凤群、刘岭群断块分别紧邻华北、秦岭陆壳,最先受到来自华北或秦岭上地壳的挤压,故分别首先向秦岭或扬子陆壳逆冲推覆,其余各断块则依序进行,因而均属前展(背驼)式推覆类型。

由图5可以得出的第四点认识是:南、北秦岭中地壳低速高导层的形成看来与扬子、秦岭陆壳分别向秦岭、华北中地壳楔进的进程密切相关。因为在楔进进程中,随着压力、温度的急剧升高,将会导致岩石矿物脱水或部分岩层熔融,这两种因素均有利于壳内低速高导层的形成。

综合上述可见,南、北秦岭逆冲推覆构造体系是在秦岭造山带演化进程中的一个特定阶段发生的。由于陆壳楔进与陆内俯冲,南、北秦岭上地壳各断块被迫分别沿中地壳低速层向各自南侧古陆壳逆冲、仰冲,从而形成了两个巨型逆冲推覆构造体系。它们均属前展式推覆类型。这是造就秦岭造山带宏伟面貌的一次重要的陆内造山阶段。当然,此后特别是随着北秦岭-大别山的岩浆上涌导致

的另一次由南向北的逆冲推覆造山活动、喜山期差异升降造山作用及大型断裂走滑活动迭加的影响,也是不容忽视的。有关秦岭造山带不同构造演化阶段特点,陆壳楔进、陆壳俯冲特定阶段的形成及逆冲推覆构造形成机制,笔者将另文予以探讨。

深度剖面由贾烈民同志转换,图件由苏桂芝、汪湛、苗锦兰同志清绘,深表谢意。

参 考 文 献

- 1 张长厚等. 河南省西峡、浙川、内乡一带燕山期冲断推覆构造研究. 现代地质, 1994, 8(4)
- 2 蒋洪堪等. 十堰至洛阳大地电磁测深观测结果. 物探与化探, 1990, (4)
- 3 袁学诚. 秦岭造山带的深部构造与演化. 秦岭造山带学术论文选集, 西安: 西北大学出版社, 1991
- 4 袁学诚等. 东秦岭陆壳反射地震剖面. 地球物理学报, 1994, 37(6)

(收稿 19980305)

(编辑 彭 刚)

ABSTRACTS

Mar. 1999, Vol.13, No.2

1 Formation of South Qinling Thrust System and Its Relationships with North Qinling Thrust System

Liu Ning, Liu Shaolong et al

As Qinling sea basin closed in Indo-chinese epoch and then subducted to inner continent in Yanshan epoch after folding, thrusting and doming-up and the earth crust sharply shortened, strong compression between Qinling and Huabei continental crusts, along with the existence of the nearly west-east original large fault, caused all the South Qinling fault blocks thrusting and obducting toward Yangtze continental crust, and all the North Qinling fault blocks thrusting toward Qinling continental crust along the low velocity zone in the middle earth crust. As a result, two large south-verging thrust systems of piggyback propagation type developed in East Qinling. This paper details their structural features, forming conditions and relationships.

Key words: South Qinling, North Qinling, (Thrust system), Low velocity zone, (Earth crust wedging)

6 Application of a Russian Formula of Recoverable Reserves in China

Yu Qitai

The application of a Russian formula of recoverable reserves, $\lg N_R = a + b \lg N$, in China is introduced in this paper. Total 64 waterflooding sandstone reservoirs in oil areas including Henan, Jilin, Changqing, Daqing, Shengli, Dagang, Zhongyuan and Jiangsu and 7 carbonate reservoirs with bottom water in Huabei oil area were selected according to the standard of water cut higher than 80%. In terms of their calibrated recoverable reserves and initial oil in place, the statistical formulas are regressed using the Russian formula. Analysis of the relative errors of the calculated and calibrated recoverable reserves shows that the statistical values of average relative errors of

oilfields in China range from 10.94% to 14.08%, lower than that of oilfields in Russia (16%). The number of oilfields with a relative error within 0 to 10% is about 50% to 90% of the total and that within 0 to 20% is about 65% to 90%. Therefore, the formula has greater use value for calculating recoverable reserves of undeveloped oilfields and oilfields in initial stage of development, but is unapplicable to old oilfields.

Key words: Recoverable reserve, Geologic reserve, Calculation formula, Sandstone, Carbonate, Error

12 An Integrated Model for Predicting Development Indexes of Waterflood Oilfields

Sun Jianping, Xiu Xuepin et al

An integrated prediction model for waterflood development index is built through combining Nazarov water displacement curve with the logistic prediction model. It overcomes the limitations of the two methods and can easily forecast the development indexes over the years. Application shows that the predicted results are coincident with the actual development indexes.

Key words: Waterflood field, Development index, Production forecast, Integrated model

17 Numerical Simulation of Cyclic Waterflooding in High Water-cut Stage in Zone IV4 of Shuanghe Oilfield

Liu Lina, Li Guangchao et al

Cyclic waterflooding is an effective hydrodynamic way to improve oil recovery in water flooding oilfields. We analyzed the feasibility of cyclic waterflooding in Zone IV4 of Shuanghe oilfield combining with its geologic characteristics, performed sensitivity analysis of factors that affect cyclic waterflooding, parameter optimization and optimum parameter combination, and worked out an optimum development program.

Key words: Shuanghe oilfield, High water-cut stage, Cyclic waterflooding, (Sensitivity analysis), (Parameter optimization), Recovery factor

20 Research on Inaccessible Pore Volume and Polymer Molecular Weight Selection

Xie Feng, Huang Huiquan

The hydraulic diameter of polymer (HPAM) molecule