

Identification Method of Favorable Reservoir Areas Based on
Analysis of Paleo Structure in Hydrocarbon Generating Period

· 鄂尔多斯盆地 ·

三叠系延长组 底面凹凸构造及其演化与油藏分布

高胜利 杨金侠 著



科学出版社

西安石油大学优秀学术著作出版基金资助出版

鄂尔多斯盆地三叠系延长组底面 凹凸构造及其演化与油藏分布

**Identification Method of Favorable Reservoir
Areas Based on Analysis of Paleo Structure in
Hydrocarbon Generating Period**

高胜利 杨金侠 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书从三叠系延长组湖盆沉积、沉降中心及其迁移规律入手,研究延长组各小层沉积时期底面凹凸构造及其演化特征,考察大量生烃时期各小层底面凹凸构造面貌及其演化,探索各沉积层底面凹凸构造与油藏分布的关系。同时,结合三叠系延长组油气运聚动力特征,最后提出“基于大量生烃期古凸起(斜坡)构造的多因素(沉积、生烃层及层间压差等)油藏有利区识别”方法,并指出该方法的具体操作流程,便于指导生产勘探。本书对鄂尔多斯盆地三叠系延长组油藏勘探研究具有一定的指导意义和参考价值。

本书可供从事油气勘探与开发的生产和科研人员参考,同时也可作为石油地质类专业研究生教学指导材料。

图书在版编目(CIP)数据

鄂尔多斯盆地三叠系延长组底面凹凸构造及其演化与油藏分布= Identification Method of Favorable Reservoir Areas Based on Analysis of Paleo Structure in Hydrocarbon Generating Period/高胜利,杨金侠著. —北京:科学出版社,2017.12

ISBN 978-7-03-055708-7

I. ①鄂… II. ①高… ②杨… III. ①鄂尔多斯盆地—三叠纪—沉积构造②鄂尔多斯盆地—三叠纪—油气藏—分布规律 IV. ①P618.130.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第293622号

责任编辑:刘翠娜/责任校对:彭 涛

责任印制:张克忠/封面设计:无极书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

天津市新科印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年12月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2017年12月第一次印刷 印张:8 1/4

字数:200 000

定价:138.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前言

鄂尔多斯盆地的油气勘探工作从 1907 年至今已走过一个世纪,勘探范围、勘探对象、涉及的层位及勘探方法不断变化:最初勘探范围从陕北延长地区扩展到全盆地;勘探深度由露头区浅层扩展到覆盖区深层;勘探对象由背斜油气藏扩展到隐蔽油气藏;勘探层位由单一延长组扩展到三叠系—侏罗系多层系复合;勘探方法由单一手段发展到多种手段联合。

关于盆地三叠系延长组油气勘探,到目前为止,已经积累了丰富的勘探理论、方法、手段及地质认识。虽然随着盆地勘探程度的提高、研究的深入,已经形成很多地质认识,但仍然有许多地质问题需要深入研究。在系统分析前人研究成果并结合最新的勘探实践的基础上,发现近年来盆地“增储上产”的地区和层位,其油藏富集规律与地层古构造及其演化有密切的关系,例如“油藏富集于各期湖盆形成时期的边缘或边缘-湖盆中心带过渡带”“油藏往往聚集在生烃期古构造背景的斜坡地带”“优质储层的形成所具备的古地形条件”等。

本书较系统地研究三叠系各期的湖盆演化规律,试图探索油气成藏的关键控制因素,主要取得两点创新:

(1) 系统地恢复出了盆地延长组各期地层底面凹凸构造面貌演化。

湖盆沉降史结果表明,在盆地中部和南部分别发育一沉降中心,中部各期沉降中心轴线在定边—甘泉一线左右来回迁移,而西南部各期沉降中心轴线在环线—旬邑一线左右来回迁移,长 7 期湖盆是中部、西南部两个湖盆合二为一的时期。长 10 期—长 9 期盆地具有 2 个规模相当的湖盆沉降凹陷区。长 8 期盆地 2 个湖盆凹陷仍规模相当,且同时向北移动;各期底面凸起构造(鼻隆构造)丰富、特征明显,三叠系延长组油藏大多分布于底面凸起构造(鼻隆构造)两侧的斜坡带,该构造斜坡带是优质储层(如浊积岩)形成的必要条件。浊积岩的物源是三角洲前缘砂体,这也是油藏主要分布于三角洲前缘沉积体系的原因,构造缓坡带(坡折带)是浊积岩砂体、水下分流河道及河口坝砂体储层形成的场所。

(2) 形成了“基于大量生烃期古凸起构造的多因素(沉积、生烃层及层间压差等)油藏有利区识别”方法,指出该方法的具体操作流程,便于指导生产勘探。本书认为①首先依据大量生烃期古凸起构造图识别出古凸起的脊线位置及古凸起构造的底部位置,确定古凸起范围及凸起高点连线;②古凸起范围内,在古凸起高点连线(脊线)两侧的斜坡区域,识别出凸起构造有利区;③凸起构造有利区与层间异常压力差图叠合,识别出运聚有利区范围;④运聚有利区与沉积相图叠合,识别出沉积相有利区,

此沉积相有利区范围也就是最后识别出的最终勘探有利区。

全书共分五章，第一章主要依据几乎全盆所有的石油钻井及部分天然气探井资料，应用地层厚度法结合最新的各小层砂地比数据研究湖盆中心及其迁移规律；第二章定量地研究湖盆底面的特征及其演化规律；第三章进行生烃期后各含油层底面凹凸构造及其演化研究，研究湖盆底形隆拗分布、迁移演化特征，并结合最新的油藏分布资料，分析湖盆底形及其演化特征对优质储层的形成、分布及保存条件的控制，在晚白垩世末前，依据湖盆底形恢复结果主要分析砂体成因、分布，晚白垩世末后，主要分析油藏保存条件；第四章讨论大量生烃时期异常地层压力与油藏分布的关系，主要论述油页岩在大量生烃后，是如何聚集到储集层的，往哪里聚集，运聚动力的大小及其分布，探索油藏的分布规律；第五章形成基于大量生烃期古凸起构造的多因素油藏有利区识别方法。从前面的分析得出，延长组各层底面在中侏罗世（开始生烃）到最大生烃时期发育有多条大型古凸起构造，并且古凸起构造具有良好继承性。勘探实践已充分证实，生烃时期发育古凸起构造控制油藏分布，盆地东北部及西南部大油田均分布于古凸起构造两侧。

在本书的编写过程中，陕西师范大学杨金侠参与全书各章共计约 5.5 万字相关内容的编写。同时，该书的出版得到西安石油大学科技处的大力支持与帮助，在此表示衷心的感谢！

由于作者水平有限，书中不妥之处在所难免，敬请批评指正！

高胜利 杨金侠

2017 年 12 月 18 日

目 录

前言

第一章 残余地层厚度揭示的底面凹凸构造面貌	1
一、关于沉积中心、沉降中心及堆积中心的相互关系	1
二、本书研究依据的概念原理及方法	3
三、地层厚度揭示的各期湖盆凹凸构造面貌	4
四、砂地比特征揭示的各期湖盆沉积中心	15
五、湖盆演化特征	23
六、湖盆演化对砂体及油藏的影响	25
第二章 沉降史恢复及揭示的各层底面凹凸构造面貌	29
一、湖盆底面凹凸构造恢复方法及手段	29
二、剥蚀厚度恢复及剥离	32
三、底面凹凸构造面貌	36
四、凹陷中心及其迁移	45
五、沉降中心与沉积中心的关系	46
第三章 生烃期后各含油层底面凹凸构造及其演化	55
一、生烃期后长 8 期底面凹凸构造面貌及其演化	55
二、生烃期后长 6 期底面凹凸构造面貌及其演化	59
三、生烃期后长 3 期底面凹凸构造面貌及其演化	62
四、生烃期后其他含油层底面凹凸构造面貌	65
第四章 湖盆底面凹凸构造及其演化与油藏分布	69
一、湖盆底面凹凸构造与油藏关系研究现状	69
二、不同层位油藏分布特征	72
三、湖盆构造演化与油藏分布的关系	75
四、凸起构造与油藏分布	76
第五章 大量生烃时期异常地层压力与油藏分布	89
一、异常压力的概念与分类	89
二、利用声波时差恢复最大埋深时的异常地层压力	90
三、大量生烃期异常压力分布特征	92
四、不同层位间异常压力差平面特征	102
五、层间异常压力差高值区与油藏分布	106

第六章 基于大量生烃期古凸起构造的多因素油藏有利区识别方法	111
一、源于勘探实践的油藏有利区识别思路	111
二、油藏有利勘探区识别步骤	111
结论	121
参考文献	123

第一章 残余地层厚度揭示的底面凹凸构造面貌

研究鄂尔多斯盆地延长组不同时期湖盆中心及其迁移,已经有很多论述,本章主要依据全盆几乎所有的石油钻井及部分天然气探井资料,应用地层厚度法结合最新的各小层砂地比数据研究湖盆中心及其迁移,以期得到前人没有的新认识。

一、关于沉积中心、沉降中心及堆积中心的相互关系

孙肇才(1980)沿用国际上通用的塞勒“沉积中心”概念,将一个时间地层单元最大厚度轴(不论粗细),一律当作沉积中心去考察;杨治林(1984)认为沉积中心是沉积物最终的堆积地,因而岩性最细,一般可从岩性图上反映出来,主要受岩性控制,与岩相一致;王宜林等(1997)曾将沉积中心定义为盆地或拗陷最细沉积物分布区,为中心沉积相发育区;孙肇才(2003)把沉积中心理解为一个盆地水体最深的地区,因而也是陆源碎屑沉积最细的地带;曹红霞等(2008)认为沉积中心(depo center)是在一个沉积盆地中,沉积物最细、沉积厚度较大、沉积速率最慢的地区或位置,也可指盆地中同一地层单元中沉积厚度最大的部位。

堆积中心是沉积物堆积最厚的地区(王宜林等,1997),很好理解。

沉降中心(subsidence center)是基底的垂向运动,是在一个沉积盆地中,盆地沉降作用最明显、盆地沉降幅度最大并与沉积补偿作用相适应的沉积地区。沉积盆地中的沉降中心常受盆地构造运动、沉积载荷、构造应力调整等因素的控制而发生迁移。杨治林(1984)认为沉降中心受基底的稳定程度和沉积物的补偿速度制约,与岩性无关或关系不明显;孙肇才(2003)把沉降中心理解为一个盆地陆源碎屑沉积最厚最粗的地带;杨治林(1984)认为沉降中心基底下沉快,沉积物补偿快,从而厚度大。

沉降作用是沉积盆地的生命线,沉降中心的形成和变化,制约着沉积或堆积中心的分布和迁移(刘池洋等,2005)。盆地的沉降造就了沉积物堆积的可容空间,沉降速率与海(湖)平面相对变化速率等影响着生油岩相带与储集岩相带的发育,与沉积物供给速率等一起制约着生油岩和储集岩的优劣。盆地的持续沉降使生油岩逐步埋藏从而进入生油门限,盆地的热体制决定了生油门限的大小,盆地的差异沉降与局部隆升或遭受挤压等引起沉积相带分异与圈闭等的形成(王宜林等,1997)。

王宜林等(1997)认为这3个中心“在成因上密切相关,在位置上互有联系,但其概念和地质意义仍有区别,三者不能简单替代”。其中沉降中心的地质意义更为重要,沉降中心主要受区域构造作用和深部热力作用的控制。盆地或拗陷沉降中心的形成和

变化, 制约着沉积中心或堆积中心的分布和迁移, 且常与后二者或其中之一分布位置大体一致。

孙肇才(1964, 1980)最早研究了盆地三叠系延长组沉积拗陷带的迁移, 认为第一段(T_3y_1)拗陷中心在庆阳、华亭一带, 厚度达到 591~1246m; 至第二十三段(T_3y_{1+2}), 拗陷中心向东南移至旬邑、四郎庙地区, 厚度达到 800m 左右, 岩性最细, 黑色页岩发育, 是延长组较深水湖相分布地区; 到了延长组沉积中晚期, 沉积中心迁移到盆地东部地区。作为延长组拗陷中心的盆地东南部地区, 在侏罗纪沉积时, 已成为拗陷带的边缘了, 侏罗系在黄陵—铜川一带主要是一套河流、沼泽相, 地层总厚度不过 100m 上下。有人主张侏罗系的沉积拗陷中心有 2 个, 但是公认有较深湖、深湖相沉积的地区是在盆地东部延安、甘泉一带。不仅如此, 拗陷带的范围也大大缩小, 以 J_2y_2 为例, 该段具明显拗陷性质的范围为以延安为中心, 向北止于子长, 南迄富县, 西到志丹县。在上述界线以外, 较深湖相则为“浅湖”、沼泽合煤相带所代替。至于侏罗系在西部灵武盐池地区是否也存在一个拗陷的问题, 尚缺乏这方面的资料。因为那里煤层已很发育, 煤层之间可能有深水沉积, 这需要作详细的岩石成因类型和相分析之后才能确定。在沉积下白垩统志丹(保安)群时, 湖盆进一步缩小, 下白垩统拗陷带转移到盆地两部, 组成在地质图上可以看出的天大(池)、环(环县)向斜带, 这个向斜实际上是一个白垩系沉积的拗陷带。

马宝林等(2000)经过几十年对我国主要含油气盆地的研究, 认为沉积中心迁移规律, 大致可以得出 3 种类型: 一是直线型迁移, 如准噶尔盆地与柴达木盆地; 二是弧线型迁移, 如鄂尔多斯盆地; 三是对迁, 如塔里木盆地。他认为鄂尔多斯盆地中生代地层沉降、沉积中心与生油气凹陷中心基本呈重叠相符一致迁移, 并具弧型逆时针迁移特征。晚三叠世中期, 沉积最厚最细的范围位于盆地东南铜川以北地区; 晚三叠世晚期, 沉积最厚最细且有煤层发育的范围为大理河和无定河一带; 侏罗纪时, 沉降与沉积中心移至盆地西部马家滩—大水坑一带; 白垩纪时, 沉积中心移至庆阳—华池以南地区。在中生代盆地沉积、沉降中心的迁移表现出构造运动的左行旋转扭动, 正好反映了华北及其邻区块体转动的几何学和运动学特征。表明鄂尔多斯块体的南北部在两条近东西向平移断裂夹持下, 并且受本身东西两侧右旋扭动断裂切割的影响, 形成盆地北部沉积、沉降中心的左行旋转迁移, 造成鄂尔多斯盆地北部为西深东浅, 而南部为东深西浅的箕状新生代凹陷。

武守诚认为鄂尔多斯盆地自印支运动后, 晚三叠世到侏罗纪沉积中心运动的轨迹方向为西南向东北, 盆地沉积中心的运动规律由中朝板块运动的特点控制。盆地沉积中心、堆积中心及沉降中心的形成和演化过程中, 常有隆起和拗陷构造格局的形成。隆起和拗陷是在统一的盆地中发展起来的正向或负向构造单元。它们的发展和变化是相辅相成的, 呈上升状态的隆起一方面把盆地分割成若干个拗陷, 同时隆起上被剥蚀的产物又是拗陷内沉积作用的物质来源, 隆起的岩性、结构和发展变化直接影响到拗

陷的岩性、结构和发展变化。对于有多个隆起和拗陷的盆地而言,早期被隆起所分割,各拗陷互不连通,后期盆地普遍下沉时才形成统一的沉积单元,因此每个拗陷既有共同的结构特点和发展过程,又有自己特殊的结构和发展过程。

二、本书研究依据的概念原理及方法

结合前人关于沉积中心、沉降中心和堆积中心的解释及其应用,认为沉积中心要体现“水体最深、沉积物最细”的特点;堆积中心是体现“地层最厚的区域”;沉降中心是基底垂向运动幅度最大的地区。

本书研究应用塞勒的“沉积中心”概念,将一个时间地层单元最大厚度轴(不论粗细),一律当作沉积中心去考察,同时结合各层砂地比平面特征,研究延长组各小层的沉积中心及其迁移。本书应用冯增昭(2004)在研究岩相古地理重建所倡导的“单因素分析多因素综合作图法”,主要考虑了单因素,即地层厚度、砂地比和泥岩厚度。

应用地层厚度研究沉积中心及其迁移特征,其理论基础是经典厚度法原理。经典厚度法早在20世纪20年代就已提出,1955年Kay把这一方法的原理概括为:地质时期形成的沉积岩和火山岩的厚度和岩性在地表上有很大变化,反映了它们堆积以前和堆积期间的形变作用。厚度是拗陷和沉没的尺度;岩性特征则反映了盆地周围高地的性质,地质体的几何形态和它们随时间的演化表明形变速度的变化。

依据经典厚度法形成机制表明这一方法的下述特点:厚度对地壳运动幅度和方向变化的自调节作用。在地壳不均匀拗陷的情况下,大范围沉陷中的局部隆起将由沉积厚度减小,甚至出现水下冲刷的形式反映出来;适当的物质供应是建立补偿状态的重要条件,这就决定了厚度法最适用于广大的浅海大陆架等地区,即被动大陆边缘;地层堆积速度的极大差异反映出补偿状态的悬殊(马文璞,1992)。应用经典厚度法估算地壳拗陷幅度只有在补偿状态下,堆积中心才可以当作沉降中心。在非补偿和超补偿的状态下,需要补偿校正,经过校正以后,等厚度线就转化为等拗陷线,它除了表明拗陷幅度的空间变化及最大拗陷中心位置以外,等拗陷线的长轴方位及其随时间的迁移显然还反映了该地史时期的古应力场状况。一个盆地的堆积中心和拗陷中心在空间上不一定必然重合,前者可根据地层最大厚度值固定,后者往往处于碎屑物质不能到达的非补偿地区,可能由静水还原环境的暗色页岩所代表。

某层地层厚度可以反映该层段沉积时的古大地构造格局,即相对隆起和相对凹陷的格局。某沉积地区某沉积层段的厚度主要受该地区沉降幅度的控制,也与其沉积物质的供给有关,水体深度对厚度影响不大。因此,一个地区某沉积层段的厚度等值线图主要反映该地区该层段沉积时的古大地构造格局,主要是相对隆起和相对对凹陷的格局。在陆源物质,尤其是粗粒陆源物质沉积发育的地区,沉积厚度也反映陆源物质

的供给条件。在重力流沉积及其他异地沉积发育的地区,沉积厚度又与搬运物质的介质有关。沉积厚度与水体深度并无必然的联系,即厚度大的地方水体并不一定深,厚度小的地方水体也不一定浅。厚度为零的地方不一定是古陆或古岛屿,这取决于这个“零”是“沉积零”还是“剥蚀零”。

三、地层厚度揭示的各期湖盆凹凸构造面貌

本书通过 3100 余口钻井资料编制地层厚度图,得出不同地层沉积时的凹凸构造面貌特征。

1. 长 10 沉积期湖盆底面凹凸构造面貌

长 8 段厚度表现为“多沉积厚度带,呈带状北西-南东方向分布”的特征。整体表现为 5 个堆积厚度中心,揭示有 5 个凹陷区:南部的宁县-正宁堆积中心、直罗堆积中心及甘泉东南堆积中心,这 3 个堆积中心的最大堆积厚度一般为 200~320m;中东部的镰刀弯-志丹-安塞堆积中心,最大堆积厚度一般为 320~420m;西北部的鄂托克前旗东南堆积中心,最大堆积厚度一般为 260~400m。从局部小范围看,在盆地南部 3 个堆积中心呈北东-南西方向展布,从西南向东北方向,堆积厚度逐渐减少;全盆地大范围看,5 个堆积中心整体呈北西-南东向展布的特征,堆积中心大致为鄂托克前旗—靖边—志丹—直罗—宁县一线,该区域之外的其他地区,地层厚度小于 140m,揭示为大面积的凸期区域(图 1-1)。

2. 长 9 沉积期湖盆底面凹凸构造面貌

该期整体表现为 3 个堆积中心组成的南、北及中部地区的较厚堆积带:南部的镇原—宁县—旬邑—铜川一线地区,厚度一般为 250~300m;中部的姬塬—吴旗—桥镇及环县—华池地区,厚度一般为 130~200m;东北部的靖边—横山地区,厚度一般为 130~200m。围绕中部堆积厚度区,有一呈“近似环形”的较薄堆积厚度区,揭示长 9 沉积期湖盆底面在南北两则及中部地区分别呈现凸起构造面貌,围绕盆地中部呈现一“似环状凹陷带”(图 1-2)。

长 9 段“李家畔”页岩厚度表明,堆积厚度在志丹—延安—甘泉一线地区最厚,一般为 12~22m,其次为定边地区,堆积厚度,一般在 10m 左右,而盆地西南的大片地区,“李家畔”页岩堆积厚度一般小于 4m。长 9 段“李家畔”页岩厚度轴更能表明沉积中心带所在位置,结合该期地层厚度认为长 9 期沉积中心(轴)在定边—甘泉一线,长 9 期湖盆最深处在志丹—甘泉一线地区,说明长 9 沉积期大部分地区堆积中心与沉积中心不一致(图 1-3)。

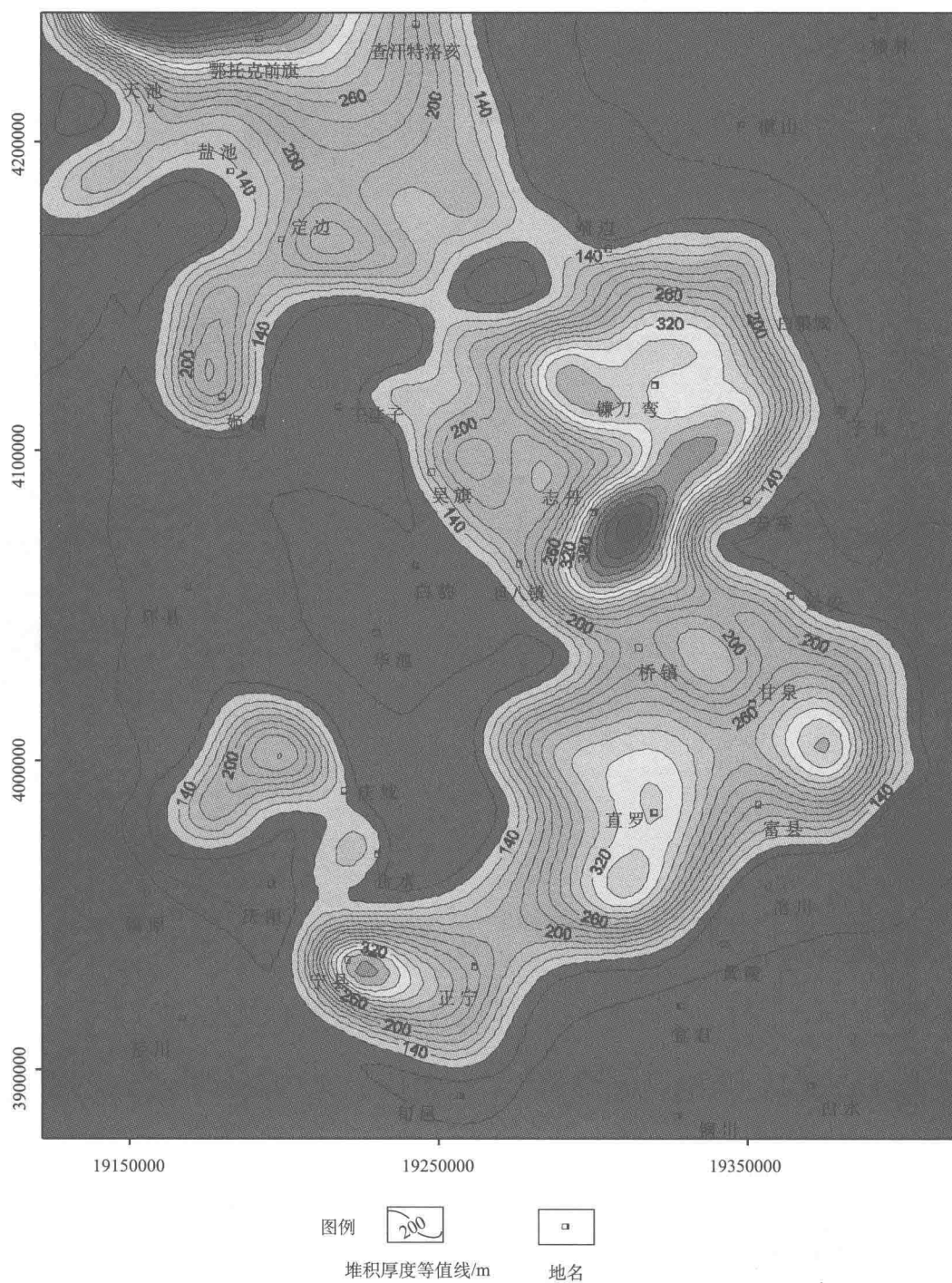
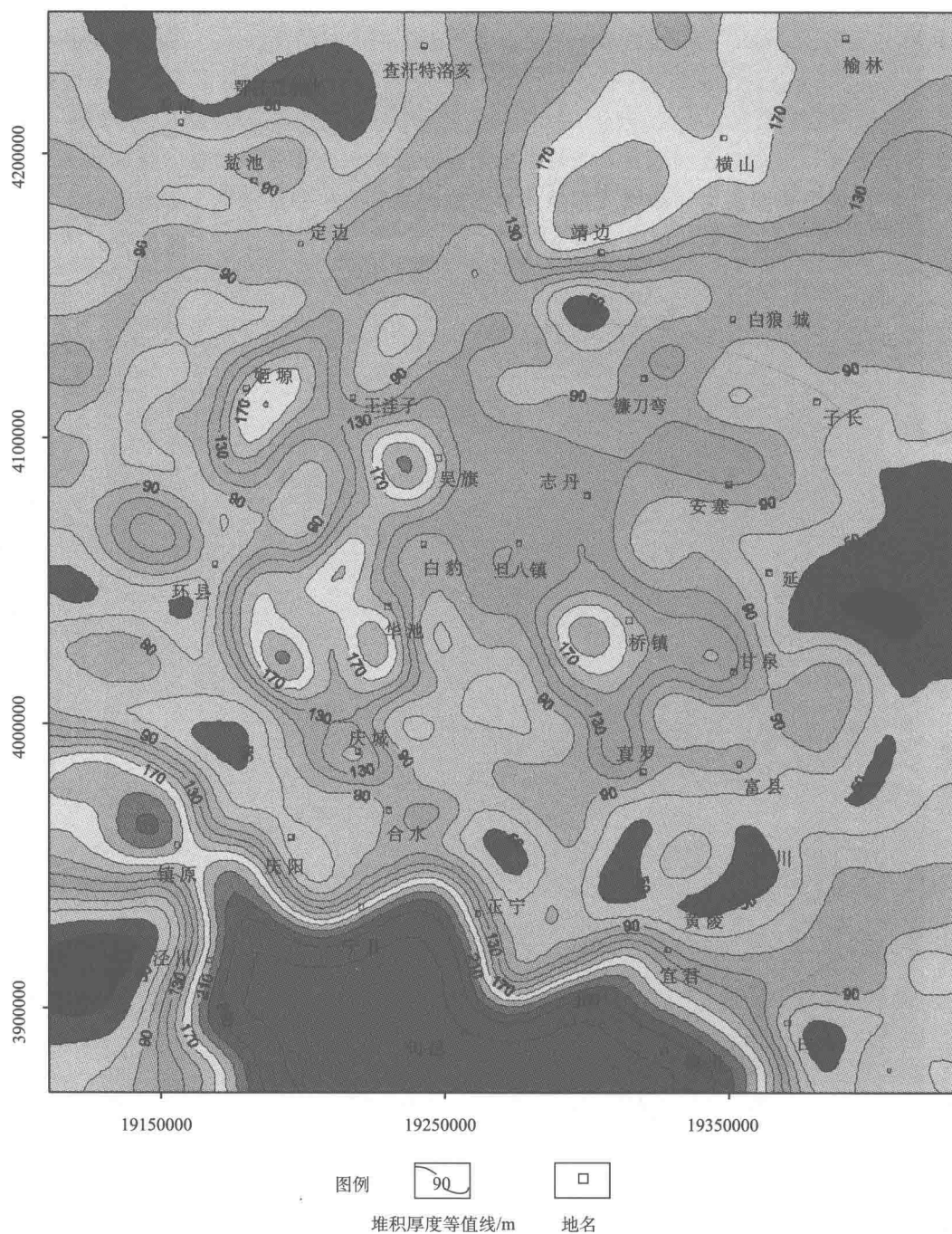


图 1-1 三叠系延长组长 10 段地层残余厚度



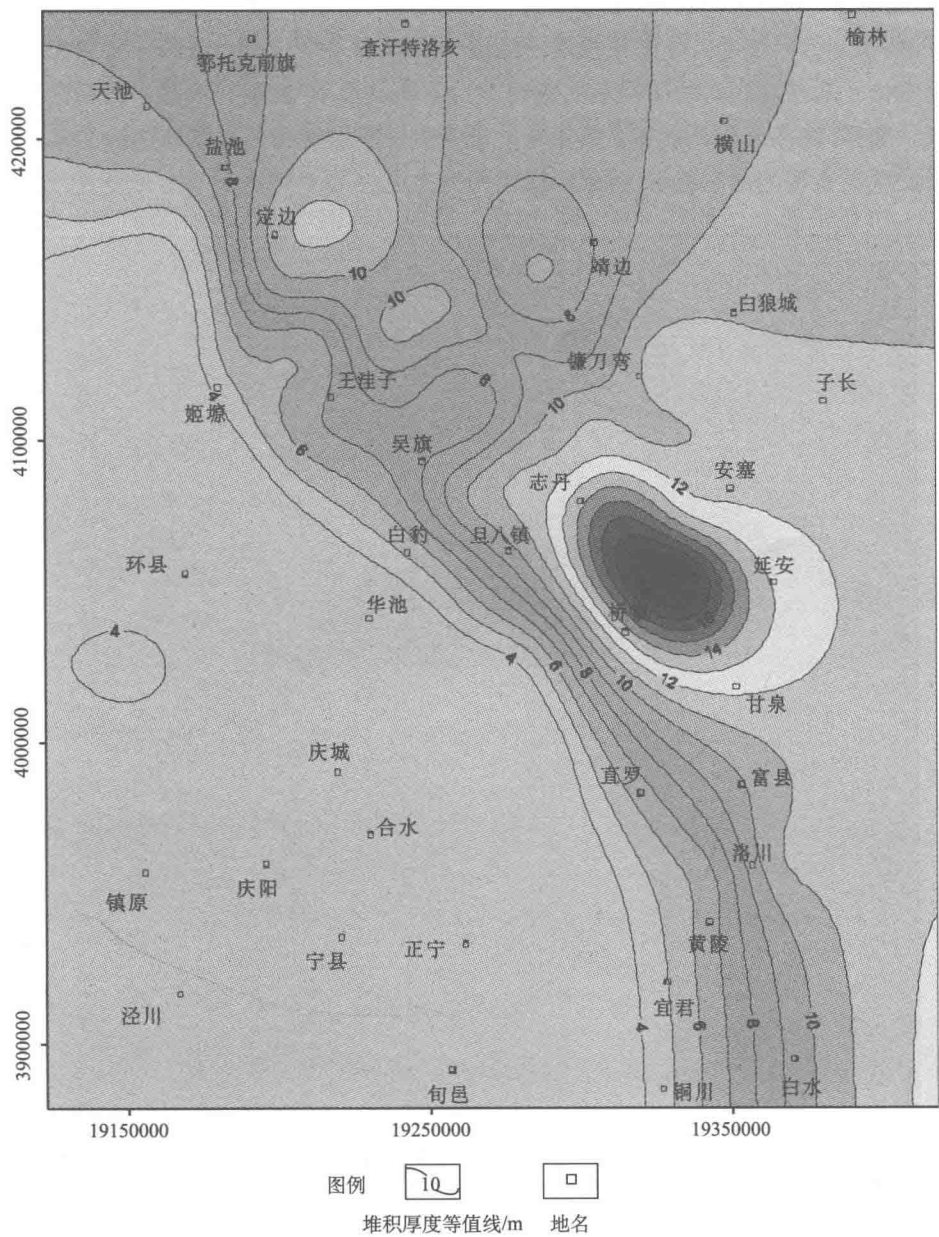


图 1-3 三叠系延长组长 9 段泥岩厚度

3. 长 8 沉积期湖盆底面凹凸构造面貌

整体上盆地东、东南部堆积厚度较大，沉积厚度为 90~130m，揭示为凹陷带，凹陷最深带在白水—黄陵一线，而在白狼城—富县一线堆积厚度较薄，沉积厚度在 90m

左右, 揭示为一大面积开阔的凸起地带。另外盆地西部姬塬—环县—镇原一线堆积(沉积)厚度为 90~100m, 显示一南北向展布的开阔斜坡带。堆积(沉积)厚度最薄区整体呈北西-南东方向展布, 分布在盐池—定边—吴旗东—旦八镇—桥镇—正宁北一线地区。说明长 8 期湖盆底面凹凸构造面貌相对长 9 期及长 10 期变化明显, 此期在盆地中部形成一北西-南东向的凸起带, 该带东北部为大面积缓坡带, 在盆地边缘的东南及西部局部地区仅表现为凹陷格局(图 1-4)。

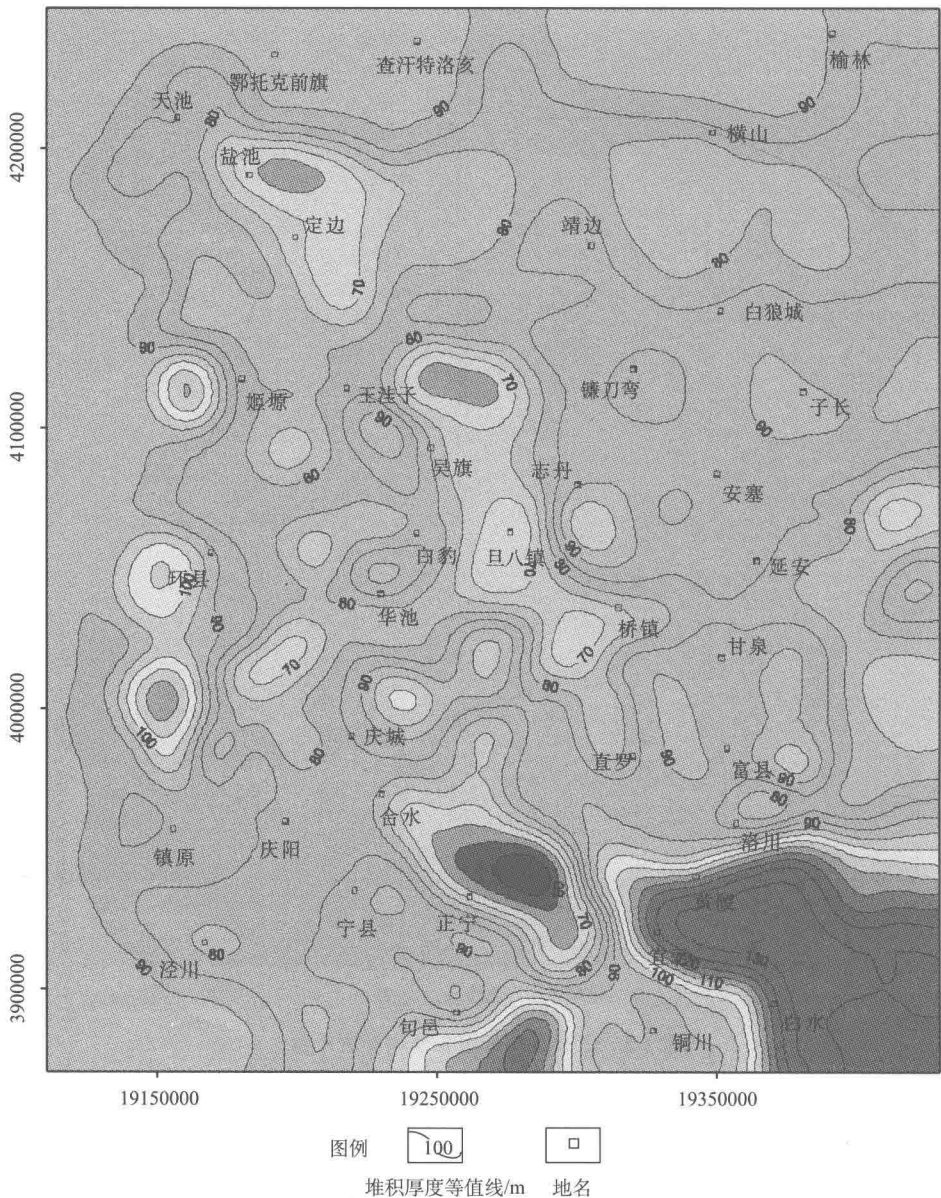


图 1-4 三叠系延长组长 8 段地层残余厚度

4. 长 7 沉积期湖盆底面凹凸构造面貌

该期地层堆积（沉积）厚度分布特征相对长 8 沉积期发生明显变化，较厚沉积厚度表现为 3 条近似呈北西-南东方向展布，1 条呈近东西向展布的带状特征，其中，盆地北部沉积厚度最大，一般为 150~270m。5 条较厚地层带间，沉积厚度较薄，一般小于 70m。揭示长 7 沉积期湖盆底面有 4 条凹陷带：环县-合水凹陷带、姬塬-直罗凹陷带、定边-延安凹陷带呈北西-南东向展布；定边-横山凹陷带呈近东西向展布。5 条凹陷带间及盆地东南部大面积表现为平坦的突起区（图 1-5）。

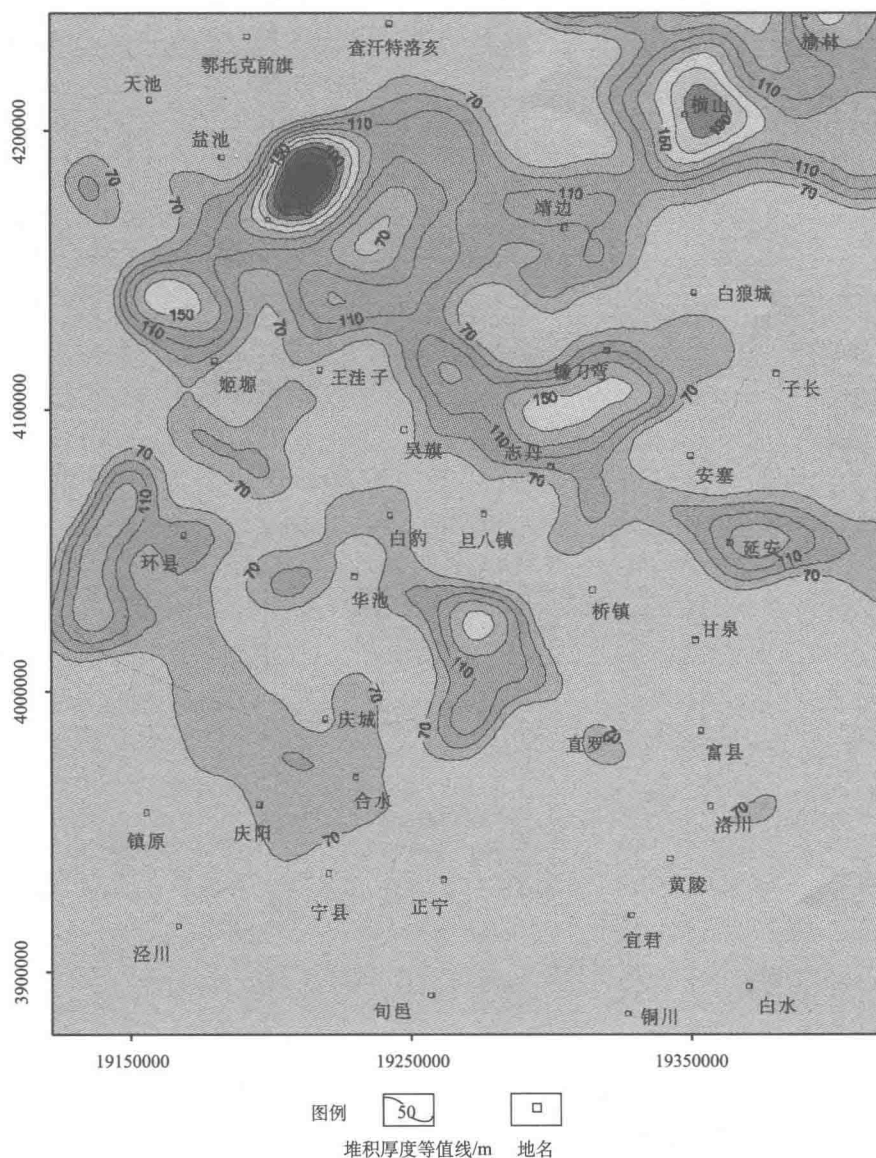


图 1-5 三叠系延长组长 7 段地层残余厚度

长7段“张家滩”页岩厚度显示，其厚度最大区域在姬塬—直罗一线，呈北西-南东向展布，厚度一般为32~52m，盆地东北及西南地区“张家滩”页岩厚度较薄，而东北部最薄，在镰刀弯—安塞东北地区一般小于10m，西南部“张家滩”页岩厚度相对较薄，在环县—合水—铜川一线的西南大片地区，厚度为16~24m（推测该厚度仍能为西南部提供大量长7期生烃岩）。“张家滩”页岩厚度表明，长7沉积期沉积中心（轴）线应在姬塬—直罗一线（图1-6）。

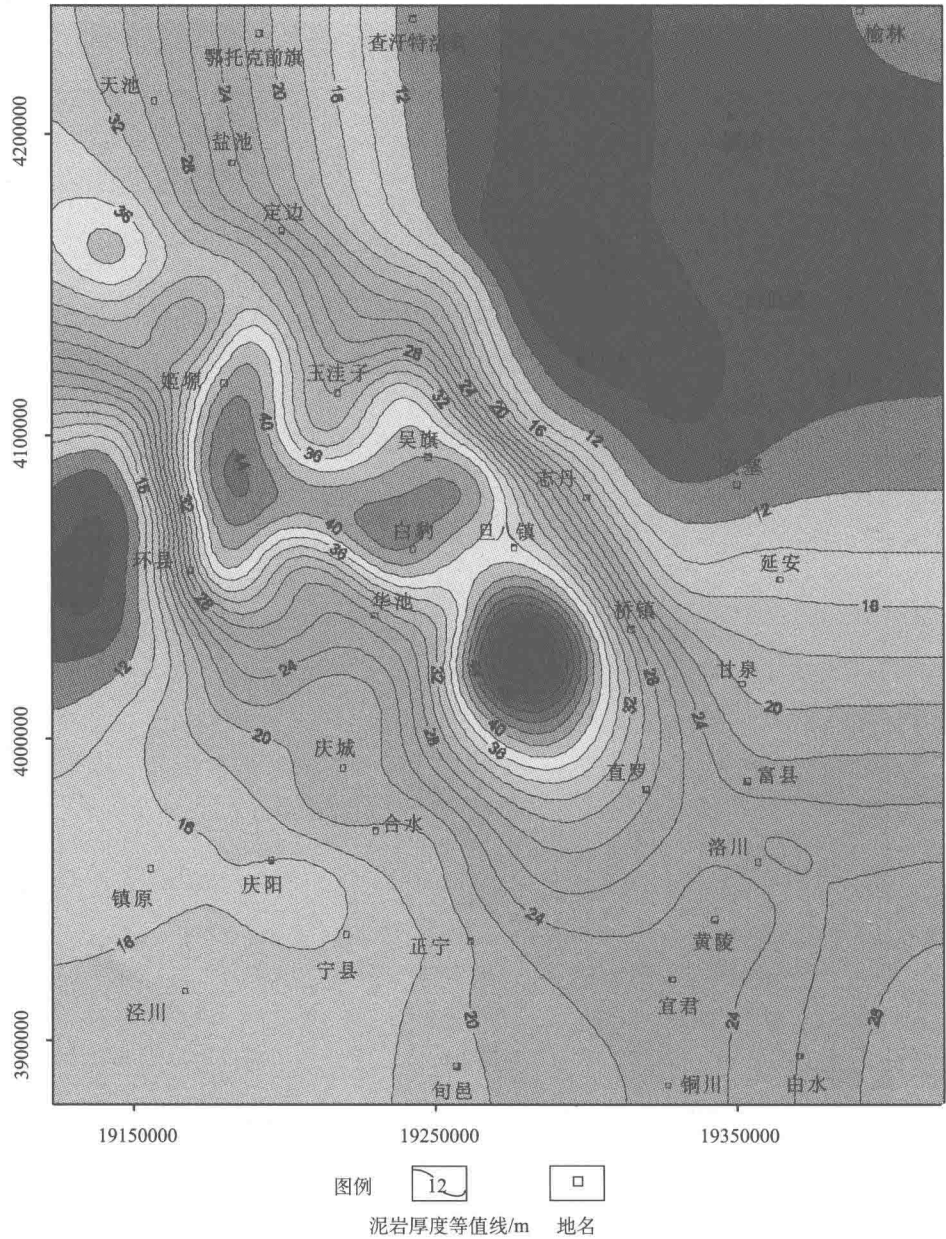


图 1-6 三叠系延长组长7段泥岩厚度