

目 录

丛书序一

丛书序二

丛书序三

丛书前言

前言

第一章 绪论	1
第一节 开展构造变动破坏烃量研究的由来	1
第二节 开展构造变动破坏烃量研究的地质意义	3
第三节 开展构造变动破坏烃量研究的基本内容	4
第四节 开展构造变动破坏烃量研究的方法原理	6
第五节 构造变动控油气作用研究的技术路线	8
第六节 构造变动控油气作用的研究特色和主要成果	11
第二章 中国叠合盆地构造变动基本特征与盆地分类	16
第一节 叠合盆地构造变革期判识方法	16
第二节 叠合盆地构造变动基本形式	18
第三节 叠合盆地形成与演化过程特征	19
第四节 中国叠合盆地分类及其时空分布	22
第三章 中国叠合盆地复杂油气藏调整改造与破坏的表观特征	27
第一节 地表油气苗的存在表明油气藏受到破坏	27
第二节 地表干沥青与稠油的存在表明油气藏受到破坏	31
第三节 地表油砂山与沥青砂的存在表明油气藏受到破坏	36
第四章 中国叠合盆地复杂油气藏形成、演化与调整改造过程剖析	41
第一节 塔里木盆地哈得逊油气田的形成、演化与调整改造	41
第二节 塔里木盆地轮古东油气藏的形成、演化与调整改造	51
第三节 塔里木盆地塔中隆起油气藏的形成、演化与调整改造	67
第四节 塔里木盆地库车拗陷依南2气藏的形成、演化与调整改造	88
第五节 塔里木盆地志留系油气藏的形成、演化与调整改造	100
第六节 准噶尔盆地腹部莫西庄油气田的形成、演化与调整改造	109
第七节 准噶尔盆地西北缘油气田的形成、演化与调整改造	117
第八节 四川盆地普光大气田的形成、演化与调整改造	127

二期油气藏进行调整改造和破坏,被破坏的油气再和第三期构造变动形成的油气藏进行复合形成更新类型的油气藏。如此循环往复地进行直到现今。搞清这一过程对揭示当前复杂油气藏的地质特征、成因机制和分布规律具有重要的现实意义。

二、研究油气藏受构造变动破坏的烃量有利于有利勘探区的预测与评价

对于复杂叠合盆地,很难基于经典的规模序列理论、地质类比法或成因法评价油气资源,根本原因是它们曾经形成的油气资源在后期的构造变动过程中受到了破坏,评价叠合盆地后期构造变动破坏烃量是科学地预测有利勘探区和评价剩余资源潜力的前提和关键。通过对叠合盆地后期构造变动与油气藏破坏烃量的关系研究,确定出最主要的控制因素,建立定量关系模式,可以为剩余资源量的计算创造条件。在多期复合成藏研究成果的基础上,预测并评价多期构造变动破坏烃量及其在平面上的分布,指出剩余资源潜力最大的有利勘探区。

第三节 开展构造变动破坏烃量研究的基本内容

本书开展构造变动破坏烃量研究主要涉及四方面内容。

1. 研究盆地内已发现油气藏的形成与演化过程特征

重点研究叠合盆地形成演化过程中与油气藏形成和分布相关的关键构造变革时期和主控因素,研发有利成藏区带的预测与评价方法。首先,通过正演和反演等多种方法确定研究区或盆地内油气成藏时期与成藏期次;其次,通过油气藏特征剖析搞清各主要成藏期控制油气藏形成和分布的主控因素,并揭示它们的控油气成藏机制;然后,研究主控因素之间的时空组合形式及其控油气分布模式,研发有利成藏区预测与评价方法;最后,结合研究区实际地质条件预测单一成藏期油气藏形成和分布,以及多期复合成藏区的形成和分布。通过这些研究,确定油气成藏期次,区分出每期成藏的最有利范围,圈定多期复合成藏区范围并计算出各期各有利成藏区内油气资源潜力,为最终构造变动破坏烃量研究创造条件。

2. 研究已发现油气藏多期调整改造及其过程特征

重点研究叠合盆地内有利成藏领域内的多期构造变动和油气藏调整、改造与破坏,评价构造破坏烃量并预测出最有利的勘探区带,为钻探目标优选提供理论指导。首先,研究确定油气藏调整改造与破坏的期次,通过剖析已发现的复杂油气藏的地质特征和成因特征,结合盆地正演分析,确定研究区或含油气盆地发生过的构造变动次数并划分出对油气藏起调整改造和破坏作用的期次;其次,提出构造变动强度的表征方法,研究每一期构造变动的强度及其平面分布特征,依据构造变动过程中产生的地层褶皱程度、断裂规模、剥蚀量大小表征构造变动强度并做出平面分布图;然后,寻找构造变动破坏烃量的关键要素。研究表明,构造变动的方式、构造变动的强度、构造变动次数、构造变

动顺序等都对油气藏的调整、改造和破坏产生影响。最后,揭示构造变动破坏油气藏机制,通过实例剖析、物理模拟、统计分析、数值模拟等方法和手段揭示和阐明构造变动破坏油气藏的动力学机制并探讨不同关键要素的相对贡献量大小。

3. 研究含油气盆地构造过程叠加破坏油气藏模式

重点研究构造变动与油气藏破坏之间的关系,建立构造变动破坏烃量与主控因素之间的定量关系模式,为有利勘探区带预测与评价创造条件。首先,通过统计分析研究构造变动破坏烃量与单一构造要素之间的关系,确定出主控因素。例如,统计圈闭含油气性与上覆地层被剥蚀厚度之间的关系、圈闭含油气性与断裂规模之间的关系、圈闭含油气性与地层褶皱之间的关系等。其次,通过综合分析研究,建立单期构造变动破坏单期油气藏的评价模型。重点考虑构造变动方式、构造变动强度、构造变动时盖层的可塑性与封油气能力、构造变动时原始聚集油气量等因素的影响。然后,建立多期构造变动破坏单期油气藏的评价模型。除考虑构造变动方式、构造变动强度外,还要考虑后期构造变动的方式、后期构造变动强度、后期构造变动时盖层封油气能力的改变、原始聚油气量的改变等。最后,建立多期构造变动破坏多期油气藏的评价模型。在建立了多期构造变动对单期油气藏的破坏烃量评价模型之后,多期构造变动破坏多期油气藏评价模型的建立就显得简单,只要将同样模型用于获得的第一期、第二期、第三期、第四期等各期次聚集烃量的破坏结果进行叠加就可。

4. 研究含油气盆地有利勘探目标剩余潜力评价方法

重点研究多期复合形成的油气藏经受多期次构造变动破坏后的剩余资源潜力评价方法。分析并研究原成油气藏原始资源储量、构造变动破坏烃率以及各地史时期盖层封油气能力三者对有利勘探目标剩余资源潜力的制约机制,建立有利勘探目标剩余资源潜力与各主要控制因素之间的关联模式。相关研究工作与含油气盆地构造过程叠加破坏油气藏的研究工作相对应。首先,通过统计分析研究构造变动保护烃率与单一构造要素之间的定量关系。例如,统计模拟圈闭含油气性与上覆地层被剥蚀厚度之间的关系、圈闭含油气性与断裂规模之间的关系、圈闭含油气性与地层褶皱之间的关系等。其次,通过综合分析研究,建立单期构造变动保护单期油气藏的评价模型。重点考虑构造变动方式、构造变动强度、构造变动时盖层的可塑性与封油气能力、构造变动时原始聚集油气量等因素的影响。然后,建立多期构造变动保护单期油气藏的评价模型。除考虑构造变动方式、构造变动强度外,还要考虑后期构造变动的方式、后期构造变动强度、后期构造变动时盖层封油气能力的改变、原始聚油气量的改变等。最后,建立多期构造变动保护多期油气藏的评价模型。在建立了多期构造变动对单期油气藏的保护烃量评价模型之后,多期构造变动保护多期油气藏评价模型的建立就显得简单,只要将同样模型用于对第一期、第二期、第三期、第四期聚集烃量的保护结果叠加起来就可。总之,在原始油气聚集量取定为1的情况下,用1减去构造破坏烃率就获得构造变动保护烃率(<1);在原始油气聚集量已知情况下,获得的构造变动破坏烃量就是绝对量,用原始聚集烃量减去构造破坏烃量就能得出剩余资源量。

第四节 开展构造变动破坏烃量研究的方法原理

本书主要采用实例剖析法、反演模拟法和正演模拟法预测和评价叠合盆地构造变动破坏烃量，为有利勘探区预测与评价提供地质依据。

一、油气藏实例剖析研究构造变动破坏烃量

基本原理是基于古油气藏油气水边界的变化计算构造变动破坏烃量。叠合盆地的油气藏在形成过程中，会在含油气的储层内和不含油气的储层内形成不同类型的包裹体，前者含油气量高、后者不含油气或含油气量少。在油气藏受到破坏并溢散了内部所有的油气后，储层内部岩石或矿物中的包裹体仍然保留了这方面的信息，通过确定古油、气、水的边界就可能恢复古圈闭规模，从而计算出被破坏的油气量大小。开展这方面研究包括四个基本步骤。第一步，测定古油气藏储层内包裹体含油气丰度，通过对比分析确定古油气层判别标准。第二步，恢复古油气藏所在圈闭的形成和演化特征，结合油气地质条件分析研究它们的成藏史和油气藏形成后的调整改造史。第三步，结合古油气藏地质特征和成因特征的剖析结果，利用包裹体资料确定各成藏期油气水边界和调整改造后的油气水边界。第四步，基于各时期的圈闭规模和当前观察到的油气水边界的变化计算各期构造变动破坏烃量。前人基于这种研究方法，确定出塔中4井区是石炭系油田，油气成藏后，只经历了后期的一次调整改造，改造后剩余的资源量不到1亿t，破坏了3亿t。不过塔中地区的油气藏形成后经历了后期三次调整改造，前后三期不同的构造变动中破坏的烃量分别达到了7.45亿t、2.44亿t和2.82亿t。

基于沥青砂岩储层内含油气性变化计算破坏烃量。该方法主要针对沥青砂分析计算古油藏破坏量。首先，应用岩心观察和含油包裹体颗粒指数（GOI）及定量颗粒荧光指数（QGF），确定沥青砂岩的有效厚度；然后，在假定形成沥青过程中非烃和沥青质不变的条件下，通过大量原油、沥青物性资料分析，求得原油形成沥青的恢复系数，进而计算当前含沥青砂岩层被破坏的最小油量。在计算过程中假设：①古油藏原油的散失和破坏是轻组分（饱和烃和芳烃）损失，重组分（非烃和沥青质）残留；②沥青砂的分布面积、厚度代表了古油藏的原始含油气层的分布面积和最小油层厚度。根据上述假设，先计算沥青砂岩体积和沥青的质量（非烃和沥青质），然后通过确定油气演化为沥青的恢复系数求取古油气藏被破坏烃量。

二、基于聚散平衡原理反演模拟构造变动破坏烃量

这种方法主要适应简单盆地或简单叠合盆地。含油气盆地油气藏的形成和分布受运聚单元（或成藏体系）的控制，运聚单元内生成和排出的油气不能运移到单元外面成藏，单元外面生成和排出的油气也不能进入到单元内聚集成藏。

通过分隔槽理论或流体势理论可以划分含油气盆地内的油气运聚单元，并在分析油

气地质条件和研究运聚单元演化历史的基础上,计算出源岩层生油气总量(Q_p)、残留油气总量(Q_{rl})和排出的油气总量(Q_e)。此外,对于勘探程度非常高的含油气盆地,还可以计算出油气运移过程中的损耗量(Q_{ml})、无价值聚集量(Q_{al})、当前已发现的油气资源量(Q_0)和基于规模序列理论计算出来待发现油气资源量(Q_x)。在这种情况下,依据物质平衡原理我们就很方便地计算出运聚单元内因构造变动造成的油气损耗量(Q_{des})。

$$Q_{des} = Q_p - Q_{rl} - Q_{ml} - Q_{al} - Q_0 - Q_x$$

庞雄奇等(2003b)应用这种方法对渤海湾盆地济阳拗陷各成藏体系或运聚单元内因构造变动破坏的烃量进行计算,从而获得与29个成藏体系相对应的构造变动破坏烃量($Q_{des}(i)$, $i=1, 2, \dots, 29$),每一个成藏体系内的构造变动特征是可行的,通过分析可以获得与构造变动破坏烃量相关的关键要素(系列参数, $X_1, X_2, \dots, X_n$),诸如构造变动期次、构造变动期与成藏期的时间差、地层褶皱强度、断裂规模与密度、地层剥蚀厚度及其所占地层厚度比率、盖层厚度与塑性等。基于统计分析,可以找到控制构造变动破坏烃量的主控因素并建立它们之间的定量关系模式。应用相关模式可以预测类似地区或盆地的构造变动破坏烃量。

三、基于构造演化正演模拟构造变动破坏烃量

地下油气藏受到破坏的根本原因是圈闭上部盖层受到了破坏,它们或被断裂错开,或因不整合面剥蚀,或因地层褶皱产生裂隙,从而导致下部油气在浮力作用下溢散。当断层的断距大于含油气层上覆盖层厚度时,盖层被完全错开,下部油气100%散失;当断层的断距完全没有错开地层时,可以认为下部油气的散失量为0;其他各种情况下油气受破坏量为0~100%。通过这种方法可以模拟计算每次构造变动破坏烃量。实际地质条件下,构造变动破坏烃率与构造变动强度之间的关系可能更加复杂,但可以通过统计分析求得(k_i),构造变动强度的平面分布可以采用每次构造造成的地层剥蚀厚度,也可以采用断裂密度或断距平面等值线图,盖层的封油气能力可以考虑盖层厚度与岩性。如果再将最终模拟结果与实际情况进行标定就能够建立起较为实用的地质模型和定量模式。

油气成藏后的多期构造变动控制着剩余资源潜力及其最终的分布规律。如果 Q_0 表示油气藏在目的层中的原始含油气性,经过 i 次构造变动后的剩余潜力(Q_i)可以用 $Q_i = Q_{i-1} \cdot (1 - k_i) \cdot K_{ci}$ 表示。第 n 次构造变动叠加后的剩余资源潜力(Q_n)计算公式可以由此推出。研究表明,构造变动次数(n)越多,油气损失量越大。构造变动强度(k)越大,油气损失量越大。盖层封油气性 K_{ci} 越好,油气损失量越少。原成油气藏规模越大(Q_0),被破坏的烃量($Q_0 - Q_n$)越大。如果在构造变动发生前,研究区没有发生过油气聚集作用,或 $Q_0 = 0$,则被构造变动破坏的烃量为零,不论构造变动的强度、次数和区域盖层的条件如何都是这种结果。

第五节 构造变动控油气作用研究的技术路线

一、构造过程叠加改造油气藏剩余潜力评价方法流程

通过“要素匹配成藏”模式和“多期复合成藏”模式（Pang, 2010b）预测出有利成藏区域和最有利成藏区域，在此基础上开展后期构造变动对原成油气藏的调整、改造和破坏作用的研究。本书依据“过程叠加改造”模式预测最有利勘探区带和油气资源剩余资源潜力，详细的工作流程如图 1-3 所示。

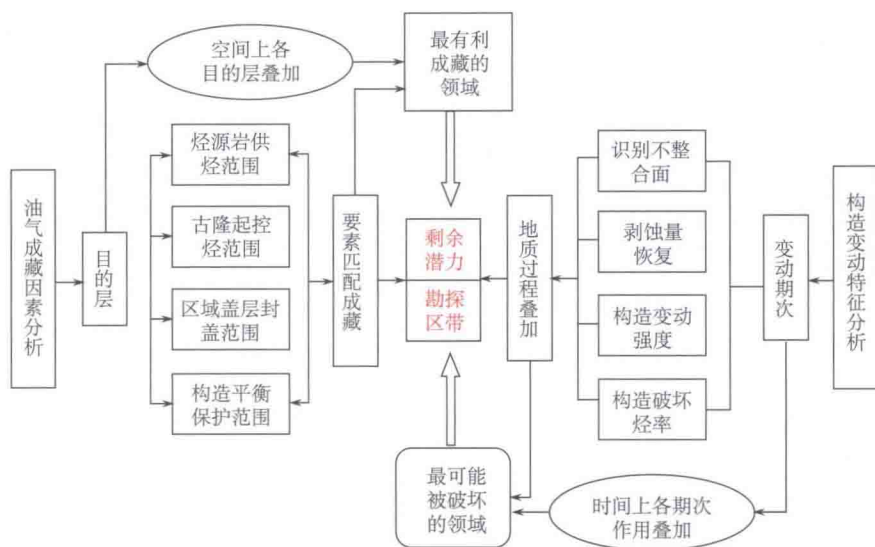


图 1-3 叠合盆地构造过程叠加与油气藏调整、改造与评价研究流程

二、构造过程叠加改造油气藏剩余潜力评价工作步骤

第一步，依据功能要素组合控藏模式预测多期复合有利成藏区带，为构造变动破坏烃量评价提供地质依据。通过盆地分析，研究各主要成藏期（T）的烃源灶（S）、沉积相（D）、区域盖层（C）和低势区（P）四类功能要素的分布发育特征，通过剖析已发现油气藏，确定它们的控油气分布临界条件（地质门限）。用功能要素组合成藏模式预测出目的层在不同成藏期次的有利成藏范围，用多期复合成藏模式预测出同一目的层不同期次的有利成藏范围叠加在一起的最有利的成藏范围。详细过程与研究内容参照《油气分布门限与成藏区带预测》专著。图 1-4 为多期复合成藏区带预测与评价实例。

第二步，研究多期构造过程叠加与油气藏调整改造之间的关系，实现构造变动破坏油气地区与保存油气藏有利区预测。首先，结合油气藏形成的最早时间和地震剖面上的不整合面个数确定出原成油气藏形成后所经历的构造变动的次数，尤其是那些区域性的构

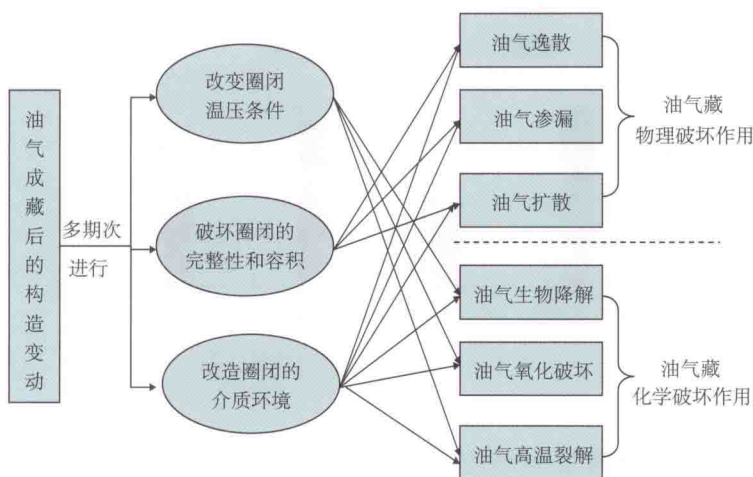


图 1-9 构造变动破坏油气机制与分类

3. 阐明了构造变动破坏烃量受构造变动次数、构造变动强度、构造变动顺序、盖层封油气能力、构造变动前原始油气聚集量等五方面关键因素的控制

构造变动强度越大油气藏受破坏程度越高。统计结果表明，塔里木盆地一次性构造变动造成的地层剥蚀厚度超过 200m 时，其下伏地层内形成的油气藏将受到彻底破坏；剥蚀厚度小于 200m 时，其下伏地层内形成的油气藏有可能被保存下来，剥蚀厚度越小越有利于已有油气藏的保存。构造变动次数越多油气藏受破坏的程度越高。塔里木盆地每一次构造变动都导致了原成油气藏的调整、改造与破坏。塔中 4 井区的油气藏在二叠纪末就已形成，经过后期多次构造变动后它的油气储量逐步从一个 3.5 亿 t 的大油气田变成了一个仅有 1.2 亿 t 储量的中型油气田（韩晓东和李国金，2000）。构造变动时间越晚受破坏的程度越高。叠合盆地发生的多期构造变动对油气藏都有破坏性，相对来讲，构造变动发生的时间越早，它们对油气藏可能造成的破坏越小，发生的时间越晚，对油气藏可能造成的破坏越大。晚期构造变动既调整改造了原成油气藏，又形成了一些晚期次生油气藏，还能形成一些新的油气藏。构造变动时盖层的塑性越强油气受破坏的程度越低，在同样的构造变动条件下，油气藏被破坏的程度还取决于区域性盖层或直接盖层的厚度和可塑性。厚度越大的盖层和塑性越强的盖层，在同样的构造变动条件下，它们产生裂隙的可能性越小，油气藏被保护下来的可能性越大。叠合盆地复杂油气藏的形成和分布是上列各方面因素综合作用后的结果。图 1-10 是塔中地区四期成藏和三期构造变动破坏烃量的研究结果。

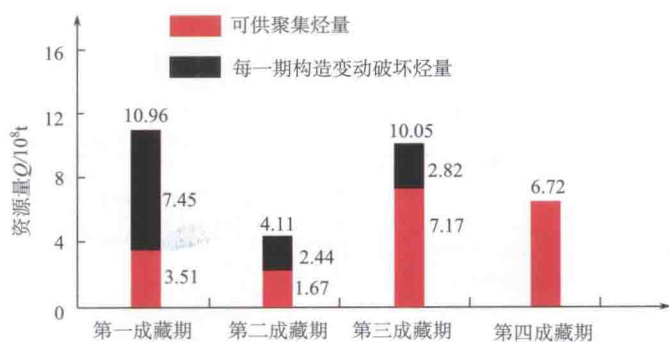


图 1-10 塔里木盆地塔中隆起油气藏调整改造与评价结果

4. 建立了多期构造变动破坏油气藏地质模型和定量模式，研发了多期构造变动破坏烃量与剩余资源潜力评价方法与技术

单次构造变动改造油气藏主要表现为不整合面上被剥蚀地层厚度越大，下伏地层内已形成的油气藏受到破坏的概率越大，当地层剥蚀厚度超过了某一临界厚度后，下伏地层内已形成的油气藏都将受到严重破坏；相反则可能被保存下来，剥蚀厚度越小，被保存下来的可能性越大。多期构造变动改造油气藏主要表现为构造平衡带有利于油气藏形成和保存，这里的构造变动平衡带是指地史过程中多期构造变动条件下长期处于相对稳定地区的叠加复合带（庞雄奇等，2007，2008；孟庆洋，2008）。在构造平衡带内，每一个不整合面所代表的构造变动强度都相对较小，而在平衡带之外的地层剥蚀量增大。每一次调整改造都使原始形成的油气藏储量（ Q_0 ）减少，多次调整改造叠加后最终剩余储量更少。对于某一确定的油气成藏区带，采用构造过程叠加模式定量评价剩余资源量，具体分为三种：强变区叠加破坏原成油气藏（强强叠加破坏）、稳定区叠加保存原成油气藏（弱弱叠加保护）、无常区叠加改造原成油气藏（强弱叠加改造）。基于构造变动破坏烃量地质模型，建立了构造变动破坏烃量定量模式，考虑了构造变动次数、构造变动强度、构造变动顺序、盖层封油气能力和原始聚集烃等五方面因素的影响，利用相关技术对塔里木盆地多期构造变动破坏烃量进行了评价，预测了剩余资源潜力最大的有利勘探区带。

图 1-11 是这方面的综合应用成果，图中上方的四个小图分别是寒武系目的层第一期、第二期、第三期和第四期形成的油气藏，在经历后期构造变动的调整、改造和破坏后的剩余资源潜力的评价结果，大图是四期形成的油气藏经调整、改造和破坏后的剩余资源潜力叠加复合的最终结果，基于这一成果可以指导当前常规类油气藏的勘探。要强调的是，图中颜色的深浅只表明原始油气资源经历构造变动后的相对剩余量，不表示现今的绝对资源丰度。

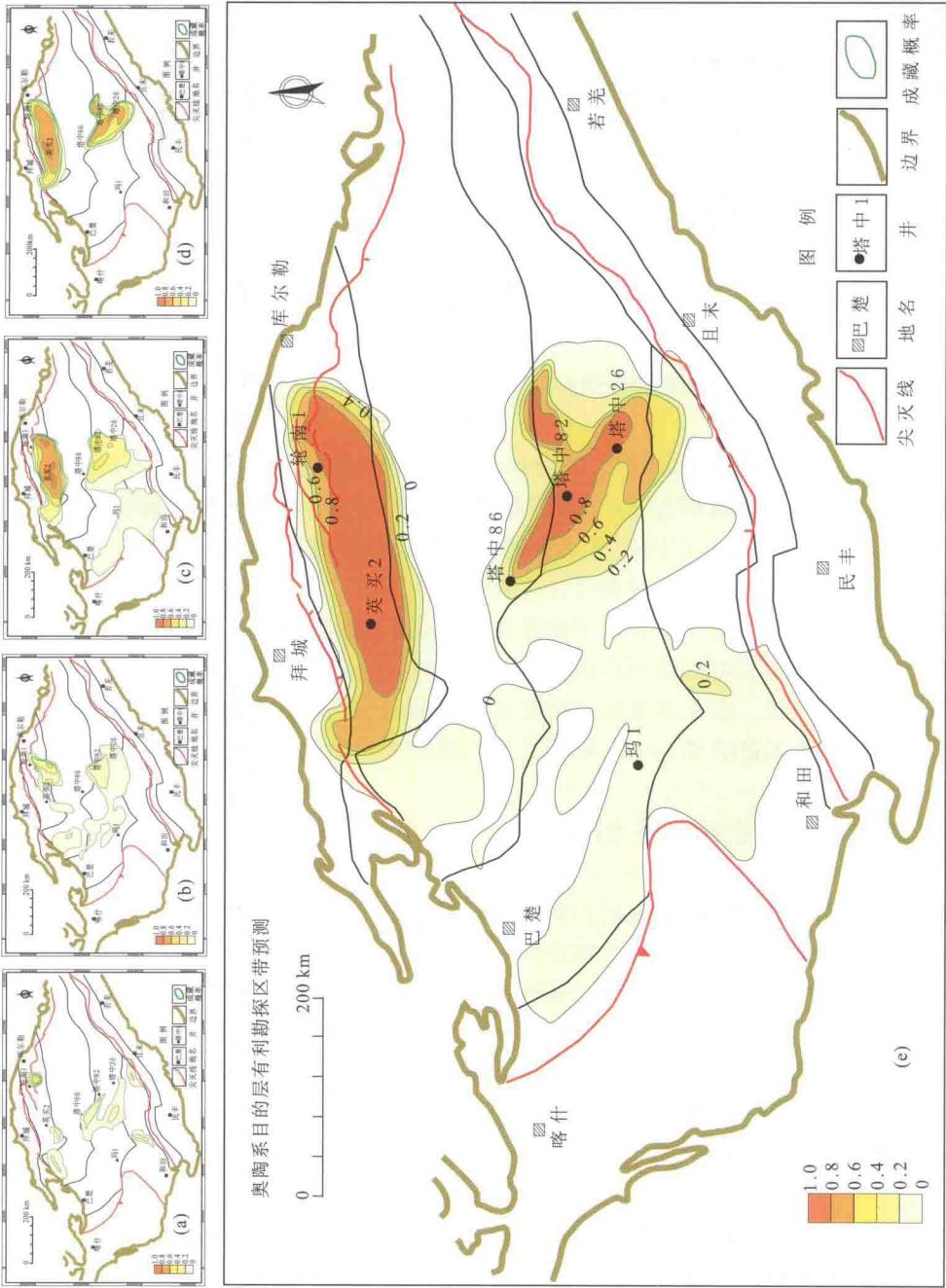


图 1-11 中国塔里木盆地多期成藏与多期调整改造及其综合评价