



油气储层地质学基础

Basis of Hydrocarbon Reservoir Geology

于兴河 教授 博士生导师

中国地质大学（北京）能源学院石油教研室

Tel: 82320109 或 82321857 (O)

Email: billyu@cugb.edu.cn

March 5, 2009

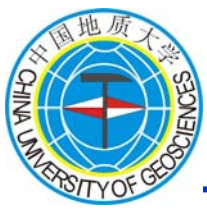




第十章 储层综合评价

第一节 不同勘探与开发阶段储层 综合评价的内容

第二节 储层综合评价的资料 基础与方法



第十章 储层综合评价

第一节 不同勘探与开发阶段储层综合评价的内容

一、各勘探阶段储层综合评价的方法与内容

(一) 初探阶段

初探阶段也称区域（带）勘探阶段，该阶段储层评价主要是应用野外露头、地质钻井（参数井）所获取样品的各种分析、化验及测试资料，尤其是非地震的物化探资料和地震资料，做出大范围、大层段的小比例尺图件，明确勘探目的层位，为区域探井和下一步勘探部署指明方向，为油气资源评价提供地质依据（表10-1）。



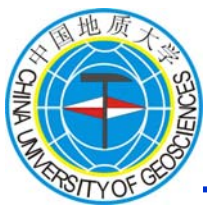
第一节 不同勘探与开发阶段储层



综合评价的内容

表 10-1 区域勘探（初探）阶段储层评价内容

资料基础	任务与目的	主要评价内容	具体研究内容	主要提交成果
野外剖面与少量 钻井，重、磁、 电及物化探资料	建立区域地层层序格架	地层划分与横向对比	①建立地层层序；②合理选择标志层；③确立标准地层剖面；④进行地层横向对比	①区域地质地球物理综合解释剖面图；②地层综合柱状剖面图；③区域地层对比剖面图
	确定地层分布及生储盖组合	沉积相或岩相综合研究	①地质相分析（包括岩心相、测井相、露头相）；②建立地震层序与划分地震相；③地震相转换成沉积相	①单井相和连井剖面相图；②地震相平、剖面图；③沉积相平面图与相模式
	确定储层类型与发育区带，确定远景储量	储盖组合分析与有利储集相带预测	①确定生、储、盖的层位与组合关系；②初步确定主要储层；③进行有利储集相带预测；④总体勘探方向确定	①各岩类生储盖组合图；②各岩类小比例尺储层综合评价与预测图；③储层地质模式；④远景储量计算结果



第一节 不同勘探与开发阶段储层



综合评价的内容

(二) 预探阶段

预探阶段的核心在于对含油构造的评价，故也称远景勘探或圈闭评价阶段。这一阶段储层评价是以区带范围内的全部储层为目标，立足于已有的物探、钻井地质、测井、测试等资料，在单井储层评价的基础上，应用地震勘探技术和处理手段开展储层横向预测及含油气性研究，以圈闭评价为目的，为预探井部署和圈闭资源量计算提供地质依据（表10-2）。



表 10-2 圈闭评价（预探）阶段储层评价内容

资料基础	任务与目的	主要评价内容		具体研究内容	主要提交成果
二维、三维地震资料，少量探井的地质与分析化验资料以及初探成果	确定有利圈闭井，进行储集体预测	基础地质研究	岩石学研究	①岩石的颜色（区分原生色与次生色）；②岩石成分定性、定量描述及岩石定名；③岩石结构特征描述；④沉积构造描述与分析	①岩心描述图版；②岩心综合描述柱状图
			沉积相或岩相	①碎屑岩和碳酸盐岩沉积相（平、剖面沉积相带分布）；②岩浆岩或变质岩相（岩性、岩相）	①单井岩相、测井相及沉积相分析图；②沉积相剖面对比图；③沉积相平面分布图
			储层成岩作用	①碎屑岩储层成岩作用；②火山岩储层成岩作用；③岩浆岩成岩作用；④变质岩储层成岩作用	①成岩—孔隙演化模式图 ②成岩相及成岩相组合图
		有利储集体预测	①地震异常地质体识别；②地震异常体刻画；③储层横向综合预测	①地震异常体地震地质解释剖面；②特殊地质体地震平面反射图；③主要储集体平面分布预测图	
	含油气储层类型与储层性能综合研究	储层储集性能	①储层储集空间类型；②孔、洞、缝的统计与描述；③孔隙组合类型	①显微照片图版；②裂缝和孔洞统计表；③物性和压汞分析数据表；④孔隙结构特征参数统计表；⑤储层物性标准表	
		储层类型划分	①碎屑岩与碳酸盐岩储层类型划分；②火山岩与变质岩储层类型划分	①不同岩类储层综合评价图；②不同岩类单井储层评价图	
	查明油气层位，探明圈闭含油性，提出油气控制储量	储层含油气性	①含油气层位；②含油气层平面分布；③油气水类型及物化性质；④流体饱和度平、剖面分析；⑤油气产能与油气特征参数；⑥原始含油气饱和度及其与岩性、物性的关系	①主要储集体顶面构造图；②不同岩类储层等厚图；③断层与主要目的层组合关系图；④孔、渗、饱平面分布图；⑤砂岩百分比图；⑥暗色泥岩百分比图；⑦圈闭控制储量计算；⑧油气水显示资料统计表	



(三) 详探阶段

当一个圈闭发现工业油气流之后，即进入此阶段，故也称**油藏评价阶段**或**滚动勘探开发阶段**。因而油藏评价阶段是指从圈闭预探获得工业性油气流后到提交探明储量的油气勘探评价的全过程。

油气藏评价阶段（详探）的**主要任务**是：

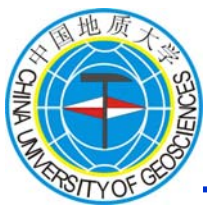
- ▶ 在基本探明油气田构造圈闭形态，油气层特性及含油气边界的基础上，圈定含油气面积，提出油气探明储量；
- ▶ 在以最少的探井控制的前提下，为勘探部署及编制油田开发方案提供必需的地质依据，即开发可行性研究。油藏评价阶段的储层评价有六项具体任务（表10-6）。



表 10-6 油藏评价阶段储层评价内容



资料基础	任务与目的	主要评价内容		具体研究内容	主要提交成果
探井、评价井和地震详查或细测资料	① 计算评价区内探明地质储量；② 提出规划性的开发部署；③ 对开发方式和采油工程措施提出建议；④ 估算可能生产规模，作出经济效益评价；⑤ 布好评价井并取好开发设计参数；⑥ 进行开发先导实验	储层沉积学的宏观特征研究	层组划分，确定主力储层	① 高分辨率层序地层或旋回对比；② 井震地层格架	① 储层对比成果图；② 开发层系划分图
			确定沉积亚相，预测有利储集相带的分布	① 沉积亚相的平、剖面分布；② 确定有利储集相带分布	① 沉积亚相剖面对比图；② 沉积亚相平面分布图；③ 储层横向预测地震剖面图和平面图
			有利成岩储集相与储层敏感性分析	① 储层成岩作用研究；② 分析成岩主控因素；③ 确定有利的成岩储集相带；④ 分析储层敏感性特征	① 储层岩石成岩阶段划分图；② 岩石各种微观特征图版；③ 储层敏感性分析图件
			储层物性与非均质性	① 储层孔、渗性能研究；② 储层孔喉结构研究；③ 储层非均质性描述	① 孔渗性垂直演化图；② 孔喉结构表；③ 各种参数交会图；④ 开发储层孔渗特征统计表
		储层渗流特征研究	① 储集岩表面润湿性；② 毛管压力；③ 渗吸作用；④ 相对渗透率；⑤ 水驱油效率	① 储层毛管压力与相渗曲线图；② 储层润湿性分析图件与统计表；③ 水驱油试验曲线	
		建立储层概念地质模型，估计各种可能性	① 储层几何形态与地质知识库研究；② 储层连续性与连通性研究；③ 建立概念地质模型	① 孔隙度概率直方图和累积概率曲线图；② 渗透率概率直方图和累积概率曲线图；③ 储层概念地质模型	
		储层综合分类评价	① 确定主要评价参数；② 建立分类评价方法与步骤；③ 落实探明储量；④ 经济效益估算	① 储层分类及有利储层分布预测图；② 储层综合评价图；③ 储层分类表；④ 探明储量计算结果；⑤ 经济效益粗算	



综合评价的内容

二、开发阶段储层综合评价的方法与内容

油气田开发不同阶段，储层评价的侧重点也不相同，裘亦楠等（1994）根据实际工作的步骤和经验，将开发阶段划分为**油藏评价**、**开发设计**、**方案实施**、**管理调整**等四个阶段，但由于油藏评价阶段储层评价的基本内容与勘探的详探阶段基本相同，这样本书把油藏评价阶段归为勘探阶段，对开发阶段进行三分，即**开发设计**、**方案实施**、**管理调整**三个阶段。

开发各阶段的储层评价阶段之间以及与勘探阶段的储层评价也不是截然分开的，往往勘探早期与评价阶段相交叉，评价阶段的先导开发实验区与开发早期相交接，而开发早期与中后期的描述也是各有特殊性又有共性，许多研究内容是相似的，只是精度不同而已。



第一节 不同勘探与开发阶段储层



综合评价的内容

(一) 方案设计阶段

油气圈闭构造上**第一口探井见到工业油流后**，油田开发人员就应参与早期油藏评价，统筹各项开发准备工作，着手编制油田开发概念设计。油田开发设计阶段是在开发可行性论证后，认为油田具有开采价值的前提下进行的，实质上是开发前期工程准备阶段，此阶段主要是补充必要的资料，开展室内试验以及试采或现场先导区实验。

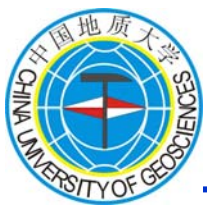
该阶段所需资料、主要任务及内容详见表10-7。



表 10-7 方案设计阶段储层评价内容



资料基础	任务与目的	主要评价内容		具体研究内容	主要提交成果
①基本地质资料；②钻井录井资料；③地震及其解释；④岩心及其实验分析；⑤测井及其参数解释；⑥试油、试井、试采资料；⑦流体性质分析资料	编制开发设计、确定开发方式及布置开发井网	储层沉积学的微观特征研究	砂组或小层对比	①划分层组、确定标志层与辅助标志层；②进行砂组与小层对比（柱状对比图与油层平面图）	①油气层顶面及标志层顶面构造图；②油层对比剖面；③砂岩厚度平面分布图
			储层沉积微相研究	①储层沉积微相类型确定；②测井相标准建立与划分；③储层沉积微相平、剖面对比	①砂组或小层沉积微相对比图；②沉积微相平面分布图
			储层物性与非均质性研究	①储层孔、渗解释；②利用储层“四性关系”分析成岩主控因素；③储层微观孔隙结构分析；④储层物性界限确定；⑤储层伤害与保护	①储层非均质性与“四性”关系评价图；②储层有效厚度分布图；③储层保护措施；④储层孔、渗平面分布图
			储层规模与分布	①储层平、剖面分布规律；②确定主力层、非主力层及其他类型储层，确定相应开发策略；③储层成因单元几何形态与规模研究；④储层连通性与流动单元研究；⑤含水区连续性与水体能量	①各套油气水系统的平面油、气、水边界图；②多个方向的油藏剖面图（含栅状图）；③成因单元储层与油、气、水连通图
		储层渗流特征研究	①油层岩石物理性质研究；②油层流体化学组分与物理性质研究；③流体高压物性、粘温关系及流变特征；④流体饱和度分布与油水过渡带厚度、产状；⑤水驱油效率研究；⑥控制油水分布及开发效果的地质因素	①油、气、水参数的平面和剖面分布图 ②水驱油效率综合分析结果	
		油藏性质与可采储量计算等	①油藏温、压系统；②油藏驱动类型与驱动能量；③油藏类型与储量估算；④以层组或单层为单元落实储层丰度，进行储层评价；⑤储层地质建模（一维、二维及三维模型）；⑥开发方案经济评价	①油藏和储层地质模型；②开发实施建议与开发方案设计（含经济评价）	



第一节 不同勘探与开发阶段储层



综合评价的内容

(二) 开发实施阶段

油田钻完第一期开发井网之后，进入方案实施阶段。实施阶段的任务是确定完井、射孔、投产原则，要对开发层系划分，注采井别选择作出实施决策，根据实施方案，进一步预测开发动态，修正开发指标，并编制初期配产配注方案。

该阶段所需资料、主要任务及内容详见表10-8。



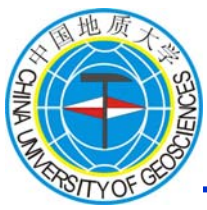
第一节 不同勘探与开发阶段储层



综合评价的内容

表 10-8 开发实施阶段储层评价内容

资料基础	任务与目的	主要评价内容		具体研究内容	主要提交成果
开发井网的相关资料, 包括 ① 储层与油藏参数资料、② 各种测试资料、③ 生产测井(开发测井)资料、④ 生产动态资料	实施方案、完井、射孔、确定注采井别、初期配产配注、预测开发动态	储层沉积学的精细研究	详细小层对比	完成开发区详细的油层对比, 对每口井进行开发层组或小层划分	① 开发层组与小层对比方案; ② 储层对比的剖面图、栅状图; ③ 小层对比数据数据表
			小层沉积微相	① 编制分层组(或重点单层)的微相图或岩相图; ② 在微相图或岩相图控制下编制分层组、分单层的各种参数平面图; ③ 进行储层砂体的剖面与近三维的栅状对比	① 小层沉积微相对比剖面图; ② 小层沉积微相平面分布图
			小层储层参数分布	① 建立分井分层的储层参数数据库; ② 储层渗流场分析	① 小层孔、渗平面分布; ② 小层储层厚度分布; ③ 储层渗流场分析图件
			孔隙结构与岩石物理	① 对储层的成岩特征、裂缝特征及岩石物理特征进行分析; ② 流体与流场相互作用特征—渗流地质特征研究	① 成岩储集相; ② 裂缝相; ③ 岩石物理相
			储层非均质精细表征	不同层次的储层非均质性研究, 核心是层内与平面非均质性	① 储层非均质参数表; ② 储层非均质特征表征图件
		建立分级油藏模型	建立分级的油藏地质静态模型; 计算可采储量(I级); 修改设计阶段认识	① 储层静态模型, 尤其是建立孔、渗、饱参数场; ② 可采储量落实结果	



第一节 不同勘探与开发阶段储层



综合评价的内容

(三) 管理调整阶段

严格意义上讲，油气藏的管理是从进行实质性开发到其废弃，而大多情况下是指开发的中后期，即**开发已全面实施到进行提高采收率的三次采油措施之前的阶段。**

管理调整阶段的**任务**包括经常地进行开发分析，掌握油水运动状况、储量动用及剩余油分布状况；实施各种增产、增注措施，调整好注采关系，包括日常的局部调整和阶段性的系统调整，直至加密井网。油藏工程师用数值模拟定期进行开采动态历史拟合，了解剩余油分布，预测开发趋势，拟定采取的开发措施，开展各种先导实验，直至三次采油方法先导实验。



第二节 储层综合评价的资料



基础与方法

一、储层综合评价的资料基础

表 10-10 储层评价所需资料及其主要用途分类表

基础资料	分析要点或静态参数	储层评价中的主要用途
野外露头资料	①露头基本情况；②露头综合描述；③样品点分布及测试资料等；④各种微相砂体的长宽比	①分析沉积相带；②分析储层特征；③建立地质知识库；④建立地下对比标志与模型等
岩心及其实验分析资料	①取心基本情况（井段、层段、心长、收获率等）；②岩心精细描述；③常规岩心分析；④特殊岩心分析	①进行沉积相分析；②研究沉积史、成岩史、孔隙演化史；③测得各项储层参数；④评价微观孔隙结构；⑤建立对比标志及层组划分；⑥储层渗流特征；⑦判断油水关系
测井及其解释资料	①孔隙度、渗透率、原始含油（水）饱和度的定量解释；②渗透性砂岩、有效厚度及隔层的定性判别；③产油、产气、产水层的定性判别	①判别岩性；②建立测井相模式；③进行古流向分析；④建立对比标志层；⑤进行定性、定量解释；⑥研究“四性”关系
测试及其处理分析资料	①钻柱测试（DST）；②地层重复测试（RFT）；③完井试油（特别是分层试油）；④试生产资料；⑤生产井的生产数据和测试资料（包括注入剖面、产出剖面，干扰测试和示踪剂测试）	①确定储层类型与孔隙结构；②揭示储层静、动态参数之间的内在关系；③判断储层连续性和井间参数分布
地震及其处理成果	①三维地震；②垂直地震剖面（VSP）；③高分辨率地震；④多波地震；⑤井间地震	①地震地层学研究；②识别沉积相；③进行储层横向追踪；④圈定孔隙发育带；⑤提高储层参数解释精度；⑥判断流体性质与变化



第二节 储层综合评价的资料 基础与方法



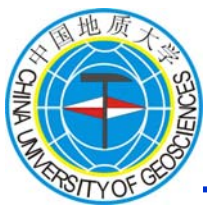
二、储层综合分类定量评价方法

(一) 勘探阶段储层评价参数

储层综合分类定量评价这一工作通常基于对勘探地区或油田的储层进行系统、详细的研究和描述之后，其目的是确定不同地区(或区块)、不同层段(或层组、小层)储层的相对差异，以指导进一步的勘探方向或为开发决策提供依据。

表 10-11 勘探阶段储层评价参数表

主要参数	具体内容	主要作用
储集体成因	不同碎屑岩沉积相带的砂体类型、碳酸盐岩沉积相类型以及火山岩或特殊岩性储层	分析储层形成过程、储集体规模、储集性能及生储组合特征
储集体规模	储集体的厚度及分布面积	确定潜在油藏的储量大小
成岩储集相	不同的埋藏深度、岩性组合、构造演化及古温度演化史	分析储层特征、孔隙结构、储层非均质性
储集体物性	储层孔隙度和渗透率	确定油气储能(储量)和产能大小

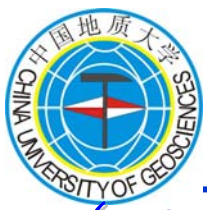


第二节 储层综合评价的资料 基础与方法



表 10-12 开发阶段储层评价参数表

主要参数	具体内容	主要作用
砂岩厚度	给出砂岩解释的测井标准及每口井的岩性解释	确定储集体的规模
有效厚度	给出每个层组中含油（气）层（砂体）的厚度	确定储量的丰度和储量大小
有效厚度（含油气砂岩）钻遇率	油田内钻遇有效层井数 / 总井数的百分数	反映储层砂体规模的相对大小，间接反映储层砂体连续（通）性
净毛比	有效储层（含油气层厚度）/ 总储层（砂岩总厚度）*	反映储层规模、计算储量的必要参数
有效孔隙度	具有工业价值的孔隙度，即大于孔隙度下限值。	反映储量丰度（储能）与储量大小，分析储层非均质性
有效渗透率	具有工业价值的渗透率，即大于孔隙度下限值。	反映储层岩石渗流能力与的储层产能、分析储层非均质性
储集（砂）体面积或延伸长度	某一层组或单层的不同级别有效层的范围	判断储层连续性与连通性
泥质含量和粘土矿物类型	样品或测井解释的 V_{sn} ，各种类型的含量	储层非均质性、分析储层保护与改造措施
孔隙结构参数	平均喉道半径或中值以及相对分选系数	间接体现储层渗流条件与非均质性、
层内非均质性参数	变异系数、突进系数、级差及垂向渗透率的韵律性	分析储层非均质性
储层质量系数	$RQI = (K/\phi)^{1/2}$	衡量储集砂体油气储量与产能优劣



第二节 储层综合评价的资料 基础与方法



(三) 综合定量评价方法

1、单项参数评价得分计算

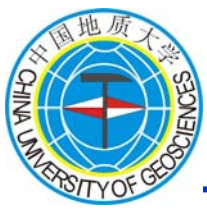
各单项参数的定量评价得分可采用标准化法，即以本项参数在评价单元中最大值与最值之差为1，使其他单元本项参数评价值在0~1之间，如有效厚度、钻遇率、渗透率、效孔隙度等值愈大，反映储层参数愈好，直接除以本项参数最大值。标准化公式为：

$$E_i = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (\text{式10-1})$$

$$\text{也可采用 } E_i = X_i / X_{\max} \quad (\text{式10-2})$$

2、确定各项参数的权系数

计算某单元的各项参数得分之后，根据评价目的，对各项参数给予不同的“权”系数，体现各参数的重要程度。在油藏评价阶段，各层组占有的储量丰度是评价储层的重要指标，这时可以将有效厚度作为第一权重；在方案设计阶段，划分开发层系和对不同层系采用不同井网成为主要矛盾时，可以将渗透率和其他影响储层渗流特征的参数作为第一权重；当所需井网密度处于经济边际条件时，反映储层连续性的参数，就应加大权系数。



第二节 储层综合评价的资料 基础与方法



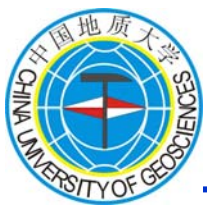
计算权系数常用的方法为**灰色关联法**。灰色理论是指既含已知又含未知的分析方法或系统，这一理论在众多领域（包括地质学）中有较广泛的应用。而灰色关联分析法是灰色理论中的重要内容，它是根据系统各因素间或各系统行为间发展态势的相似或相异程度，来衡量关联程度的方法，它是灰色系统分析、预测、决策的基础。

灰色关联分析包括母序列与子序列的选定、关联系数、关联度、关联序和关联矩阵的计算等。在开发地质阶段，灰色关联度分析方法在储层研究的许多方面都有应用，包括对储层物性、储层产能、储层中的小层对比技术等，甚至有些学者用这种方法进行油藏中的来水方向分析。权系数的确定是综合评价事物客观特征过程中的一个重要难题，通常情况下，多采用专家打分的方法，但这种方法人为因素影响较大。为了减少人为因素对评价结果的影响，采用灰色关联法确定评价指标权系数是一种有益的方法。各子因素对母因素之间的关联度，可以由下式得出：

$$r_{i,0} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n L_t(i,0)$$

$r_{i,0}$ ——关联度；

$L(i,0)$ ——母序列与子序列的关联系数。



第二节 储层综合评价的资料 基础与方法

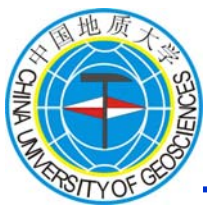


3、综合得分计算与储层分类

把各项参数得分以给定的权系数权衡后即得出综合评价分，以一定的分值分类，即得最后的综合评价分类。

表 10-14 渤海绥中某油田储层综合评价与储层分类表

油组	小层	孔隙度评分	渗透率评分	井间渗透率级差评分	井间渗透率变异系数评分	井间渗透率突进系数评分	层内渗透率变异系数评分	砂层厚度评分	砂岩密度评分	含泥量评分	储层质量系数评分	砂体钻遇率评分	综合权衡评价得分	类别
I 上	1	0.13	0.11	0.04	0.05	0.03	0.00	0.02	0.03	0.03	0.09	0.08	0.62	II
	2	0.12	0.05	0.02	0.05	0.05	0.03	0.01	0.06	0.02	0.06	0.00	0.46	IV
	3	0.09	0.08	0.02	0.03	0.02	0.00	0.13	0.08	0.03	0.07	0.05	0.60	II
I 下	4	0.14	0.15	0.05	0.03	0.02	0.03	0.14	0.10	0.03	0.10	0.08	0.86	I
	5	0.09	0.04	0.05	0.05	0.05	0.03	0.05	0.10	0.02	0.05	0.04	0.58	III
	6	0.11	0.09	0.05	0.05	0.04	0.04	0.08	0.10	0.03	0.08	0.10	0.76	I
	7	0.15	0.12	0.04	0.05	0.04	0.05	0.07	0.09	0.05	0.09	0.05	0.81	I
	8	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.04	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.08	V
II	9	0.07	0.06	0.04	0.04	0.04	0.03	0.05	0.01	0.02	0.06	0.07	0.48	IV
	10	0.03	0.01	0.05	0.04	0.05	0.04	0.03	0.00	0.01	0.02	0.06	0.34	IV
	11	0.09	0.09	0.02	0.01	0.00	0.04	0.15	0.07	0.03	0.06	0.09	0.63	II
	12	0.01	0.04	0.00	0.02	0.04	0.03	0.05	0.04	0.02	0.04	0.00	0.30	V
	13	0.07	0.05	0.04	0.03	0.04	0.04	0.11	0.04	0.02	0.05	0.02	0.50	III
	14	0.03	0.03	0.05	0.04	0.05	0.04	0.06	0.00	0.01	0.03	0.03	0.37	IV
权系数		0.15	0.15	0.05	0.05	0.05	0.05	0.15	0.1	0.05	0.1	0.1		



思考题

- 1、简述油气勘探阶段储层评价的主要工作任务与研究内容。
。
- 2、简述油气开发阶段储层评价的主要工作任务与研究内容。
。
- 3、开发阶段储层评价的主要基础资料有哪些？
- 4、勘探与开发阶段储层综合分类评价的基本参数有哪些？
- 5、试述灰色理论在储层综合评价中的作用。
- 6、写出储层综合评价中单参数标准化公式。
- 7、试述剩余油分布研究的基本方法与评价内容。