

潜山圈闭成藏特征及地质风险评价

——以渤海湾盆地济阳拗陷为例

王友启^{1,2}, 汤达祯¹

(1. 中国地质大学 能源学院, 北京 100083; 2. 中国石化 胜利油田分公司 地质科学研究院, 山东 东营 257015)

摘要: 渤海湾盆地济阳拗陷潜山圈闭主要有断块、残丘和内幕潜山 3 种类型, 不同类型的潜山圈闭具有不同的成藏特征, 控制成藏的地质因素所发挥的作用不同。针对保存、运聚配套、圈闭、储层条件等 4 项地质条件及圈闭可靠程度共 5 项评价指标对圈闭地质风险进行综合评价, 采用“5 项条件评价价值加权求和”的方法求取地质风险系数, 建立潜山圈闭地质风险评价分级标准。对济阳拗陷潜山圈闭的评价结果表明, 所建立的潜山圈闭地质风险评价方法和评价标准, 能反映探区地质特点和勘探实际情况。

关键词: 潜山; 圈闭; 成藏特征; 地质风险; 油气藏评价; 济阳拗陷; 渤海湾盆地

中图分类号: TE122. 3

文献标识码: A

渤海湾盆地济阳拗陷目前已经进入隐蔽油气藏勘探阶段^[1]。潜山圈闭作为隐蔽圈闭的重要类型之一, 其油气成藏地质特征与第三系砂岩类圈闭有着很大的差异, 具体表现在潜山油气藏“新生古储”的组合特征^[2-4]、孔洞缝为主的储集物性特征^[5-7]以及较强的空间非均质性特征^[8]。因此, 潜山圈闭的勘探对理论及技术也有着与砂岩油藏所不同的要求。济阳拗陷古潜山油藏已经取得了较大的勘探效果, 为了提高潜山圈闭勘探水平, 有必要在研究济阳拗陷潜山圈闭成藏特征的基础上, 确定控制潜山圈闭成藏的主要地质因素, 并有针对性地建立潜山圈闭地质风险评价标准。

1 潜山圈闭成藏特征

济阳拗陷基底岩系的中生界砂岩、古生界灰岩以及前震旦系花岗岩片麻岩均可形成古潜山油气藏^[9,10], 其中以下古生界寒武系—奥陶系的潜山油藏最为发育。燕山期发育的北西向断层、喜山期发育的北东和近东西向断裂共同作用, 控制了潜山披覆构造带的展布。在东营、沾化、车镇和埕岛等地区形成了埕岛—桩西—垦东等 10 个富集油气的潜山构造带^[11]。

根据圈闭成因及形态分类方法, 济阳拗陷潜山圈闭主要包括断块、残丘和内幕潜山 3 种类型^[12]。在不同的潜山圈闭类型中, 控制成藏的地质因素所发挥的作用不同。对于断块潜山, 断裂活动往往会

导致断裂带附近潜山块体中的裂缝、溶洞较为发育, 有利于改善储层的储集性能, 因此, 断层的性质、活动时期、活动强度等对于断块潜山的成藏控制作用较大; 同时, 对潜山成藏起重要控制作用的是侧向及顶部封堵层的岩性及厚度, 泥岩、膏盐等均是很有利的封堵层岩性。对于残丘潜山, 其储层的储集性能主要受剥蚀大气水的风化淋滤等作用影响, 因此, 恢复残丘潜山风化剥蚀时的古地貌特征^[13], 研究其岩溶淋滤特征, 对于判断该类潜山的成藏条件具有重要作用。内幕潜山在济阳拗陷主要发育在寒武系凤山组和奥陶系底部冶里—亮甲山组的细晶白云岩中, 内幕层状储层的形成受岩性、构造运动、潜水面变化 3 因素的控制^[11], 因此, 研究该类潜山的成藏条件, 最重要的是要研究构造运动期次, 研究湖平面升降与潜山溶蚀作用的关系。

在济阳拗陷, 埋藏于古近系地层中的潜山常被称为“低潜山”, 埋藏在新近系地层中的潜山常被则称为“高潜山”^[9]。“高潜山”由于远离烃源岩, 油气运移条件成为地质风险的主要原因。对这类圈闭的描述, 首先要考虑圈闭与烃源岩的沟通条件, 即输导体系, 并分析其有效性; 之后再描述其构造形态、储层有效性、圈闭侧向封堵性等地质因素。“低潜山”往往与烃源岩直接对接, 油源及油气运移条件较为有利, 同时由于多埋藏在大套泥岩中, 保存条件也更有利。

对济阳拗陷近年来钻探潜山圈闭失利预探井的地质原因进行分析^[14]后发现,由于输导体系、圈源距离、运移动力以及油气运移指向等运移条件描述不准确导致失利的占 45%,圈闭形态及侧向封堵条件不落实导致失利的占 21%,储层描述不准确导致失利的占 18%,盖层等保存条件不准确导致失利的占 5%。可见,由于济阳拗陷潜山油藏油源均为古近系烃源岩,影响潜山圈闭成藏的最主要地质要素是油气运移条件。同时,潜山作为以裂缝、溶洞、次生孔隙为主要储集空间的特殊储集体,对圈闭形态、侧向封堵条件以及储层条件等也具有较高的要求。

根据地质因素对潜山圈闭成藏控制作用的不同,分清主次进行重点评价,对于准确认识潜山圈闭成藏能力至关重要。

2 潜山圈闭地质风险评价

相对于盆地、区带评价而言,圈闭地质风险评价一般针对保存、运聚配套、圈闭、储层条件等 4 项地质条件加上圈闭可靠程度共 5 项评价指标进行综合分析^[15]。其原因是,在盆地、区带评价中,油源条件是较为重要的评价内容,只有油源条件较好的盆地或区带才能被优选进入圈闭预探阶段,因此,开展地质风险评价的圈闭,一般均具有较好的油源条件;同时,圈闭描述的准确与否直接决定了探井井位设计的可靠性,因此,将圈闭可靠程度作为地质风险评价的内容之一,也是必须的。

圈闭地质风险分析就是计算地质风险系数。如前所述,不同的地质条件对于潜山圈闭成藏所起的作用不同。在济阳拗陷勘探实践中,地质风险系数宜采用“5 项条件评价价值加权求和”的方法求取,利用每项条件权系数的大小反映其重要性。例如,油气运聚配套条件描述不准确导致预探井失利的比例占到了 45%,是潜山圈闭成藏中产生风险最大的地质条件,因此其权系数取 0.45;与此相类似,保存条件权系数取 0.26,储层条件权系数取 0.18,圈闭可靠程度权系数取 0.06,圈闭条件权系数取 0.05。

每项评价条件的评价值,一般采用“评价因素加权求和”的方法进行计算。这样,利用“地质因素加权求和”的方法计算 5 项条件的评价值,利用“5 项条件评价价值加权求和”的方法求取圈闭地质风险把握系数,就构成了潜山圈闭地质风险评价的基本方法。

地质要素的评价值一般采用 4 级划分法,分

别对应风险概率区间 1~ 0.75, 0.75~ 0.5, 0.5~ 0.25, 0.25~ 0, 以此确定数值型地质要素的评价值及描述型地质要素的定性分析值^[16]。

圈闭地质要素可分为 2 大类:第一类称为“圈闭成藏要素”,如圈闭落实程度、圈源距离、圈闭位置、储层类型、盖层厚度、侧向封堵性等,这些条件越优越,圈闭成藏的可能性越大;第二类称为“圈闭品位要素”,如圈闭面积、圈闭幅度、目的层埋深、资源量、储层厚度、孔隙度等,这些条件越优越,圈闭规模越大,品位越好。

圈闭成藏要素的变化与成藏概率之间有着相关性,因此,对于其中的数值型要素可采用“钻探成功率分级法”制定评价的分级标准。例如,近年来的勘探实践表明,当潜山圈闭位于烃源岩内部时,钻探成功率达到了 94.6%;当圈源距离在 0~ 7 km 之间时,钻探成功率为 74.1%;当圈源距离在 7~ 15 km 时,钻探成功率为 33.3%;当圈源距离超过 15 km 时,潜山圈闭均未钻探成功(图 1)。因此,对“圈源距离”的评价标准分级为: I 级为源内,评价取值 1.0; 级为 0~ 7 km,评价取值 0.75; 级为 7~ 15 km,评价取值 0.5; IV 级为大于 15 km,评价取值 0.25。

圈闭品位要素只影响圈闭的规模和质量,可采用“累计概率曲线法”划分评价区间。例如,当潜山圈闭面积累计概率为 75% 时,对应的面积值是 4.5 km²; 累计概率 50% 对应的面积是 2.5 km²; 累计概率 25% 对应的面积是 1.0 km²(图 2)。因此,对“圈闭面积”的评价标准分级为: 级对应的面积值大于 4.5 km²,评价取值 1.0; 级为 2.5~ 4.5 km²,评价取值 0.75; 级为 1.0~ 2.5 km²,评价取值 0.5; IV 级为小于 1.0 km²,评价取值 0.25。

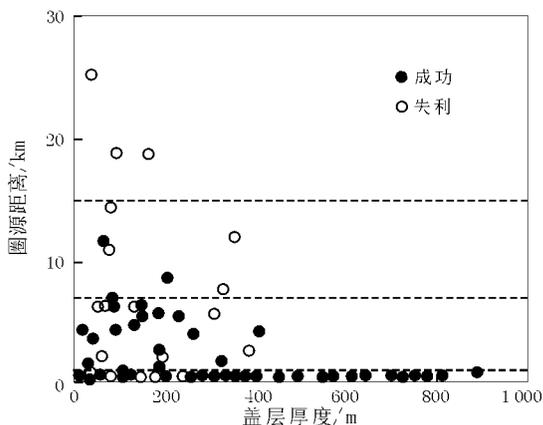


图 1 圈源距离评价标准划分

Fig.1 Evaluating criteria determination of the distance between trap and source

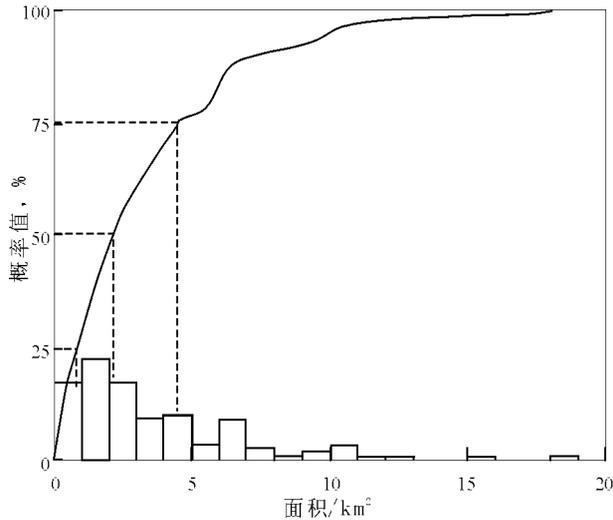


图2 潜山圈闭面积评价标准划分

Fig. 2 Evaluating criteria determination of the buried hill trap area

对于描述型的地质要素,采用“地质分析法”确定评价标准。各项要素的权系数则根据各自在成藏过程中的作用及重要性进行确定。

保存条件主要反映当前圈闭封闭油气聚集的能力。盖层岩性决定了顶部的封堵能力,而圈闭目前侧向断层的封堵能力对于成藏同样重要。因此,盖层岩性与侧向封堵条件是4项参数中较关键的2个,权系数均取0.4。而构造活动强度代表的是圈闭形成过程的复杂性,只是现今保存条件的成因,并不能代表当前保存条件的好坏;与盖层岩性相比,盖层厚度的重要性要小一些,因此,盖层厚度与构造活动强度权系数均取值0.1。

运聚配套条件反映有效烃源岩与圈闭的沟通关系。圈源距离、圈闭位置、运移通道等3项参数代表了潜山圈闭与烃源岩的空间接触关系,对于成藏的影响作用较大。三者之中,圈源距离影响更大,例如,如果圈闭直接埋藏在源岩中,则不须考虑圈闭位置、运移通道等;只有当圈闭离开源岩一定距离之后,才会考虑圈闭位置、运移通道等条件。济阳拗陷第三系烃源岩为晚期生烃、晚期成藏,潜山圈闭形成均早于生排烃时期,时间配套对于成藏的影响不是很大。同样,只要具有较好的圈源沟通关系,空间配套问题也显得不甚重要。因此,依重要性而言,圈源距离应排在第一层次,权系数取值0.4;圈闭位置和运移通道排在第二层次,权系数均取值0.2;时间配套与空间配套则排在第三层次,权系数均取值0.1。

圈闭条件反映圈闭的规模、品位等。研究发

现,圈闭的埋藏深度与钻探成功率之间有一定的相关性,故埋藏深度的作用较为重要。资源量是决定圈闭经济有效性的关键参数之一,也是一个非常重要的参数。面积、幅度均是资源量计算的过程参数,其重要性小于资源量。因此,在权系数取值上,资源量和埋深均取0.4,面积和幅度均取0.1。

圈闭可靠程度表示圈闭描述过程中资料品质及应用程度。潜山圈闭的描述对地震资料的依赖程度较大,地震资料的品质以及地震资料的应用程度就显得极为重要。因此,地震剖面品质、地震资料应用程度与地震控制程度应是第一位的,钻井控制程度则是第二位的,其权系数取值,地震剖面品质、地震资料应用程度与地震控制程度均取0.3,钻井控制程度取0.1。

储层条件代表储层的有效性程度。对储层岩性的识别能力,是判断潜山储层条件最为重要的因素;储层厚度已经反映在圈闭资源量的计算之中,该参数作为一项独立的指标,其作用较小;储层孔隙度是储层质量的重要评价指标之一,但预测精度不高,故该参数的作用较储层岩性要小。因此,权系数取值时,储层岩性取0.5,储层孔隙度取0.3,储层厚度取0.2。

通过上述研究,利用济阳拗陷1991—2004年期间147个潜山圈闭资料,建立了潜山圈闭地质风险评价分级标准(表1)。

3 应用分析

利用上述方法及标准,对济阳拗陷近几年实施钻探的52个潜山圈闭进行了评价,其中所描述的I类圈闭的钻探成功率为75.2%,II类圈闭的钻探成功率为56.3%,III类圈闭的钻探成功率为27.8%,IV类圈闭的钻探成功率仅为8.0%。说明这一标准能较准确地反映济阳拗陷当前潜山圈闭的勘探实际情况。

4 结论

圈闭地质要素可分为圈闭成藏要素和圈闭品位要素2大类。由于不同地质要素在潜山圈闭成藏及圈闭识别中的作用不同,宜采用评价因素加权求和的方法计算5项条件的评价值,在此基础上,采用5项条件评价值加权求和的方法求取圈闭地质风险系数。圈闭成藏要素的变化与成藏概率之间有着相关性,因此,对于其中的数值型要素采用“钻探成功率分级法”制定评价的分级标准;圈闭品位要素只影响圈闭的规模和质量,采用“累计概率

表 1 渤海湾盆地济阳坳陷潜山圈闭地质风险评价标准

Table 1 Evaluating criteria of geologic risk of the buried hill traps in the Jiyang Depression of the Bahaiwan Basin

条件	地质要素	评价取值				权重系数
		级	级	级	级	
保存条件	盖层厚度/m	> 280	280~ 150	150~ 50	< 50	0.1
	盖层岩性	盐膏岩、膏泥岩、泥岩	泥灰岩、粉砂质泥岩	砂质泥岩、泥质粉砂岩	泥质砂岩	0.4
	构造活动强度	盖层未遭剥蚀	盖层轻微剥蚀	部分盖层被剥蚀掉	盖层基本剥蚀殆尽	0.1
		无岩浆刺穿	成藏期之前岩浆刺穿	有一定规模岩浆刺穿	成藏期后大规模岩浆入侵	
		成藏期之前断裂切割, 潜山经过改造	成藏期之前断裂切割, 潜山改造中等	潜山破碎, 或基本未遭受破坏	成藏期后多次断裂活动, 或者未遭受任何破坏	
侧向封堵条件	侧向大套泥岩、膏岩封堵	泥岩涂抹断面侧向封堵	随机封堵或储层物性封堵	与渗透层侧向对接	0.4	
运聚配套条件	圈源距离/km	源内	0~ 7	7~ 15	> 15	0.4
	圈闭位置	位于有效烃源岩内部	邻近有效烃源岩	距有效烃源岩较远	远离有效烃源岩	0.2
			位于运移有利指向	与有利指向有角度	位于油气运移不利指向	
	运移通道	断层直接沟通烃源岩	通过不整合面及多条断层间接沟通烃源岩	油气需长距离运移, 输导体系未知因素过多	输导体系不发育	0.2
	时间配套	圈闭形成早于各期烃源岩生排烃时期	圈闭形成早于源岩生排烃高峰期, 或同期	圈闭形成略晚于生排烃高峰期, 生烃时间长	圈闭形成晚, 生烃过程基本结束或已结束	0.1
空间配套	潜山埋藏在烃源岩内, 圈闭与源岩高效沟通	下生上储, 圈闭与源岩垂向有效沟通	下生上储, 圈闭与源岩侧向沟通	上生下储, 圈闭与源岩难以沟通	0.1	
圈闭条件	面积/km ²	> 4.5	4.5~ 2.5	2.5~ 1.0	< 1.0	0.1
	幅度/m	> 300	300~ 150	150~ 50	< 50	0.1
	埋深/m	> 3 500	3 500~ 3 000	3 000~ 2 200	< 2 200	0.4
	资源量/10 ⁴ t	> 700	300~ 700	100~ 300	< 100	0.4
圈闭可靠程度	地震剖面品质	分辨率高, 90% 以上反射连续, 断点、尖灭点清晰, 无闭合差; 野外采集品质好、一级品率 90% 以上、资料处理正确、解释可靠	分辨率较高, 70% 以上资料反射连续; 断层断点尖灭点较清晰; 闭合差较小; 野外采集品质较好、一级品率 80%~ 90%、资料处理正确、解释较可靠	分辨率较高, 50% 以上可连续追踪; 大断层和高角度削截显示清晰; 闭合差较小; 野外采集品质较好、一级品率小于 80%、资料处理正确、解释较可靠	分辨率较低, 地震反射追踪的可靠性较低; 断点、尖灭点的显示不清; 或闭合性差; 野外采集品质差、一级品率低于 50%、资料处理不正确、解释不可靠	0.3
	地震资料应用程度	进行了叠前偏移处理; 或能准确描述潜山构造形态及断裂系统	未进行叠前偏移处理, 但能较准确描述潜山构造形态及断裂系统	潜山构造形态及断裂系统描述不可信	难以描述潜山构造特征	0.3
		进行了属性分析, 能预测储层横向变化	未进行属性分析, 可借助邻井对比地质分析等其它手段大致预测储层横向变化	需借助其它手段才能粗略描述储层变化	难以评价储层	
	地震控制程度	三维、高分辨率三维, 或多条二维测线呈“井”型控制	三维, 或有 2 条以上二维主测线通过, 呈“+”型控制	2 条二维交叉测线, 呈“+”型控制	测网稀, 只有一、两条测线通过, 呈“=”或“-”型控制	0.3
	钻井控制程度	邻块有井, 层位标定准确	同一二级构造带有井, 层位标定准确	相邻二级构造带有井, 层位标定准确	基本无井, 或一级构造单元内有井	0.1
有连井剖面			有连井剖面	无连井剖面		
地震与井界面数一致		较一致	较一致	仅靠地震识别不整合面		
层位对比可信		较可信	较可信	不可信		
储层条件	储层岩性	碳酸盐岩风化壳、台地相云岩、礁滩相灰岩	介壳灰岩、粒屑灰岩	粉晶灰岩	泥晶灰岩	0.5
		裂缝、孔洞发育	裂缝、孔洞较发育, 充填程度较低	缝、洞不发育, 或者裂缝孔洞充填程度较高	不发育裂缝孔洞, 或已被充填	
	厚度/m	> 50	50~ 25	25~ 15	< 15	0.2
	孔隙度, %	> 10	10~ 5	5~ 2	< 2	0.3

曲线法”划分评价区间;而对于描述型的地质要素,采用“地质分析法”确定评价标准。据此建立了济阳坳陷潜山圈闭地质风险评价分级标准。实际应用表明,所建立的评价方法和评价标准能反映济阳坳陷的勘探实际。

参考文献:

- 1 李丕龙,庞雄奇. 隐蔽油气藏形成机理与勘探实践[M]. 北京:石油工业出版社, 2004. 12~ 16
- 2 何海清,王兆云,韩品龙. 华北地区构造演化对渤海湾油气形成和分布的控制[J]. 地质学报, 1998, 74(4): 313~ 322
- 3 马立驰,王永诗,吕建波. 济阳坳陷下古生界潜山内幕油气藏勘探[J]. 油气地质与采收率, 2004, 11(1): 26~ 27
- 4 王永诗. 箕状断陷湖盆滑脱潜山油气成藏模式——以富台油田为例[J]. 油气地质与采收率, 2004, 11(4): 13~ 15
- 5 王端平,张敬轩. 胜利油区埕北 30 潜山储集性裂缝预测方法[J]. 石油实验地质, 2000, 22(4): 346~ 349
- 6 王 军. 富台油田古生界潜山油藏裂缝数值模拟研究[J]. 油气地质与采收率, 2005, 12(3): 25~ 27
- 7 李炼民,杜志敏,贾 英. 缝洞型碳酸盐岩潜山油藏研究现状及

- 技术展望[J]. 油气地质与采收率, 2004, 11(1): 12~ 15
- 8 郭良川,刘传虎,尹朝洪等. 潜山油气藏勘探技术[J]. 勘探地球物理进展, 2002, 25(1): 19~ 25
 - 9 刘传虎,王 军. 济阳坳陷古潜山油气藏体系及勘探技术[J]. 特种油气藏, 2002, 9(2): 1~ 5, 14
 - 10 周英杰,张敬轩,杜玉山等. 埕北 30 潜山岩心裂缝的分维数及与裂缝密度的关系[J]. 油气地质与采收率, 2004, 11(3): 19~ 21
 - 11 李丕龙,张善文,王永诗等. 多样性潜山成因、成藏与勘探[M]. 北京:石油工业出版社, 2003. 40~ 43, 75~ 84
 - 12 胜利油田石油地质志编写组. 中国石油地质志(卷六)[M]. 北京:石油工业出版社, 1993. 304~ 314
 - 13 宋国奇,徐春华,樊庆真等. 应用层序地层学方法恢复加里东期古地貌——以济阳坳陷沾化地区为例[J]. 石油实验地质, 2000, 22(4): 350~ 354
 - 14 郭元岭,蒋有录,赵乐强等. 济阳坳陷预探井失利地质原因分析[J]. 石油学报, 2005, 26(6): 52~ 56
 - 15 丁贵明. 油气田勘探工程[M]. 北京:石油工业出版社, 1997. 250~ 258
 - 16 焦方正. 油气勘探开发项目风险分析[M]. 北京:石油工业出版社, 1999

RESERVOIR FORMING CHARACTERISTICS AND GEOLOGIC RISK EVALUATION OF THE BURIED HILL TRAPS IN THE JIYANG DEPRESSION OF THE BOHAIWAN BASIN

Wang Youqi^{1, 2}, Tang Dazhen¹

(1. Energy Faculty, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Geological Scientific Research Institute, Shengli Oilfield, SINOPEC, Dongying, Shandong 257015, China)

Abstract: There are mainly three types of the buried hill traps in the Jiyang Depression of the Bohai wan Basin. They are fault block, hammock and internal types of buried hill trap with different reservoir forming characteristics. Different geologic conditions play a different role on the buried hill trap reservoir forming. When five evaluation conditions and weight coefficient of each geological element were researched, the difference and the actual features of Jiyang depression should be fully reflected. Hierarchical evaluation criteria may be established by applying the methods of drilling success ratio hierarchy, cumulative probability curve and geologic analysis for the geological elements of the trap. The application presents that the established evaluation methods and criteria for the geologic risk in a buried hill trap can reflect the geological characteristics and actual exploration situation of the exploration area.

Key words: buried hill; trap; reservoir forming characteristics; geologic risk; evaluation of oil and gas accumulation; the Jiyang Depression; the Bahaiwan Basin