

渤海湾 油气勘探开发工程 技术论文集 (第十二集)

朱庆国 主编

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

渤海湾油气勘探开发 工程技术论文集

(第十二集)

朱庆国 主编

3 研究课题中的技术创新

通过2年多的艰苦攻关,研究课题在超长距离复杂地层水平定向钻进技术上取得重大突破,多项技术达到国际先进甚至领先水平。

3.1 超长距离定向钻路由选择理论分析及数值模拟方法为国内首创

根据相关资料,国内水平定向钻穿越地层的选择确定系统全面的分析方法,国内更多的依靠现场技术人员的经验,缺乏推广性,本课题研究总结了路由选择的地质力学过程,施工过程中钻具、管道的物理力学状态以及管道运行时的状态物分析方法,国内首创了超长距离定向钻路由选择的系统分析方法。

3.2 水平定向钻穿越管道工程可靠性系统评估方法为国内首次

通过科技文献查询,国内未见有水平定向钻穿越管道工程可靠性系统评估研究,以外钩岛-册子岛海底管道定向钻穿越工程为依托,形成了一套水平定向钻穿越管道系统评估方法,在实际工程实施过程起到了良好的效果,为国内首次。

3.3 定向钻导向孔施工国内首创定位对接牵引施工工艺

本定向钻设计穿越长度2350m,迄今为止是世界上长度最长的定向钻工程。

在设计阶段,当钻杆行进至此段时,钻杆长度过长,造成钻杆接头处受力过大,导向抬头困难的情况。针对此问题,国内首创了定向钻导向孔施工定位对接牵引施工工艺。

中国石化出版社

ISBN 7-114-04000-0 定价: 40.00元

元 00.40: 付家

外钩岛-册子岛海底管道定向钻穿越工程,对接钻头连接到外钩岛侧钻机,册子岛侧

图书在版编目(CIP)数据

渤海湾油气勘探开发工程技术论文集. 第12集/朱庆国

主编. —北京:中国石化出版社,2007

ISBN 978-7-80229-382-3

I. 渤… II. 朱… III. ①渤海湾-油气勘探-文集
②渤海湾-油田开发-文集 IV. P618.130.8-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 105178 号

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com.cn

金圣才文化发展(北京)有限公司排版

北京宏伟双华印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开本 14.25 印张 358 千字

2007 年 8 月第 1 版 2007 年 8 月第 1 次印刷

定价:36.00 元

中国石化集团公司胜利石油管理局 钻井工艺研究院海洋工程装备研究所

海洋工程装备研究所(以下简称海洋所)隶属于中国石化集团胜利石油管理局钻井工艺研究院,始建于1975年,是国内最早成立的专门从事浅海石油工程装备研究的科研设计单位,也是目前石油石化系统最大的滩海工程设计研究机构,其下属的滩海工程模拟实验室是中石化集团公司重点实验室。具有CCS颁发的海洋工程设计资质证书和国家海洋局颁发的海域使用测量资质证书,并通过了ISO9001质量体系、HSE管理体系认证。现有专业技术人员56人,技术人员40余人,其中教授级高工3人,高工15人,中级20余人,拥有海洋工程、船舶轮机、液压、矿场机械、电气、自动化控制、钻井工艺、采油工艺、工程概预算等多个专业。能够承揽各类平台设计、船舶设计、海域使用测量、海洋地质调查、海洋环境研究及海洋工程室内试验等多项大型工程项目。

海洋所大型的滩海工程模拟实验室建筑面积近5000平方米,实验水池主尺度为 $52 \times 24 \times 1.0$ 米,最大工作水深0.70米,配有造波、造流、造潮、测控及辅助系统,可实现海上浪、流、潮联合模拟。该实验室可完成港口、码头、堤坝、海底管线、海上平台等的冲刷、淤积、防波及浮体的沉浮、受力、运动、系泊等多种水动力试验,进行理论研究和对比分析,解决理论和工程上的有关问题。

建所30多年来,先后设计了近百座各类型的固定式平台、移动式平台、工程专用船舶等项目,获得了包括3项国家发明二等奖在内的国家级奖励9项,省部级奖励13项,管理局级奖励24项,并获得7项发明专利和23项实用新型专利。

海洋所在我国近海海上固定平台、移动平台的研究和设计方面具有雄厚的技术优势,愿为胜利油田海上发展和我国海洋油气勘探开发做出新的贡献。



《渤海湾油气勘探开发工程技术论文集》 (第十二集)

编 委 会

主 编 朱庆国

副 主 编 董贤勇

编委成员 刘效国 岳 晟 杨 柳

前 言

根据2006年9月在杭州市“第十二届渤海浅(滩)海油气勘探开发工程技术研讨会”商定的结果,为提高技术研讨会效果,根据前十一届研讨会取得的经验,山东石油学会海洋勘探开发专业委员会在与各会员单位协商的基础上,结合研讨会主题,下发了技术研讨会征文通知。研讨会主要内容有:

1. 浅(滩)海地区构造运动与特征研究;
2. 复杂地质条件下油气运移优势方向研究;
3. 浅(滩)海地震勘探配套技术;
4. 浅(滩)海地区油气成藏规律研究;
5. 浅(滩)海钻采工艺配套技术;
6. 滩海石油工程技术设备配套研究;
7. 油气田开发配套海工工程设计及施工技术;
8. 浅(滩)海地区安全环保方案及措施研究;
9. 潜山油气藏的精细勘探及开发技术研究;
10. 地层岩性油气藏勘探开发技术研究;
11. 浅(滩)海稠油开发工艺技术研究;
12. 滩海地区丛式井优化钻井方法研究与应用;
13. 大位移井、水平井完井防砂优化研究与应用。

山东石油学会及山东石油学会海洋勘探开发专业委员会挂靠单位中国石化胜利油田分公司海洋采油厂领导对此十分重视,积极组织有关人员专门负责论文征集、修改和汇编工作。为提高论文集的技术权威性、学术参考价值和技术研讨会知名度,海洋勘探开发专业委员会通过多方协调,由中国石化出版社正式出版发行该论文集。

《渤海湾油气勘探开发工程技术论文集》第十二集收录了来自山东石油学会12个单位的论文37篇,论文学科专业涉及范围较广,主要包括油气勘探、油藏描述、油藏数模、油田开发、采油工艺、钻完井技术、海工设计、海工工程、安全评估等。在编写过程中,由于时间紧、工作量大、加之自身知识水平有限,存在问题和不足之处在所难免,敬请批评指正。

目 录

油 气 勘 探

- 济阳坳陷不整合结构划分及特征 陈 涛 蒋有录 (1)
- 济阳坳陷东部青东地区的构造特征及其演化 邹东波 余朝华等 (7)
- 潜山披覆构造带构造与油气运聚特征研究——以新北油田为例 付兆辉 陈发景等 (14)
- 埕北低凸起东部斜坡带东营组油气成藏规律和控制因素研究 时丕同 杨鹏飞等 (21)

油 藏 描 述

- 埕北低凸起东部斜坡带岩性油气藏识别技术及应用 高喜龙 时丕同等 (27)
- 胜利滩海地区河道砂油藏地震识别描述技术研究 魏红梅 冯德永等 (36)
- 埕岛油田储层参数相控建模研究 张海娜 杜玉山等 (46)
- 小波多尺度边缘检测技术在潜山油藏储层预测中的应用
——以胜利油田桩海地区桩海 10 为例 高喜龙 (50)

油 藏 数 模

- 考虑变井筒储存和介质变形的低渗透砂岩油藏不稳定压力分析 龚 俊 刘香山等 (55)
- 埕岛油田油水井储层物性及完善性试井评价 牟忠波 (60)

油 气 开 发

- 埕岛油田馆上段油藏开发主要矛盾及调整对策研究 杜建辉 (69)
- 胜利浅海埕岛油田水平井开发实践 杨小平 (74)
- 埕岛油田 CB11C-2 井化学堵水技术研究与应用 张光焰 唐功勋等 (83)
- 滩海油田速溶聚合物在线调剖技术 刘 军 王海波等 (87)

钻 完 井 技 术

- 胜利油田首口鱼骨状水平分支井配套技术的应用 邱文德 王安亮等 (97)
- 鱼骨状水平分支井录井方法及实践 刘明炎 (105)
- 胜利海上疏松砂岩水平井裸眼防砂完井配套技术 董贤勇 周思宏 (111)
- 裸眼防砂完井一体化技术在胜利海上的研究与应用 刘红兰 (118)
- 空气钻井技术的探讨 赵学友 燕修良 (124)

采 油 工 艺

- 埕岛常规稠油油藏开采工艺技术现状及对策 郭林园 聂飞鹏等 (132)

液控式分层注水工艺技术 李常友 陈俊等(138)

胜利海上油田油气集输与处理工艺技术 徐志刚 孙广领等(144)

海工设计

干式水下维修工作舱喷冲系统设计 邬可谊(149)

坐底式海洋平台整体结构强度有限元分析 蒙古彬(156)

滩海陆岸设施结构斜坡护面的设计 梁永超(160)

浅海石油平台结构形式的合理设计及施工技术保障 王富 黄维平等(166)

海工工程

海上石油设施供电系统的发证检验 纪现壮(172)

埕岛中心二号生活平台振动治理 张衍涛 冯春健等(177)

海底电缆在埕岛油田的应用及发展趋向 王柏森(185)

浅谈混凝土钻孔灌注桩的施工技术和质量控制 李敬波(192)

钻孔灌注桩质量控制 李巨川(195)

安全评估

埕岛油田海工构筑物安全分析 张衍涛(199)

在用海上平台多点阵列式振动检测技术 李春光(204)

老龄平台的极限承载力分析 杨柳 张兆德等(208)

基于模态应变能比变化率的结构损伤识别研究 梁立民 杨永春等(212)

其他

跨海大桥阴极保护电位的遥控遥测 孙虎元(216)

超长距离复杂地层定向钻穿越技术研究 陈同彦(219)

参考文献

(19) 李永安 王 磊 文 华 用立前木封套通井支代平木外骨鱼口首田前除组

(201) 张 阳 俊 用立前木封套通井支代平木外骨鱼口首田前除组

(111) 宋 惠 凤 袁 贺 莹 用立前木封套通井支代平木外骨鱼口首田前除组

(181) 王 彦 俊 用立前木封套通井支代平木外骨鱼口首田前除组

(151) 王 彦 俊 用立前木封套通井支代平木外骨鱼口首田前除组

参考文献

(135) 李 永 安 王 磊 文 华 用立前木封套通井支代平木外骨鱼口首田前除组

济阳拗陷不整合结构划分及特征

陈涛 蒋有录

(中国石油大学(华东))

摘要 随着地层油藏的勘探开发,不整合结构的研究具有越来越重要的意义。本文通过对济阳拗陷不整合结构层取心井的岩心观察,以及不整合上下岩心的矿物分析、元素含量分析以及镜下鉴定,对不整合结构类型进行了划分,通过研究将不整合结构划分为三种类型:Ⅰ型、Ⅱ型和Ⅲ型。不同结构层具有不同特征,总结了不同风化带结构层的矿物学、元素地球化学特征。

关键词 济阳拗陷 不整合结构 地层不整合 风化壳 风化特征

1 引言

对地层中不整合的认识与分析由来已久,1788年,James Hutton就认识到地层记录中不整合和时间间断的意义^[1]。1980年,Bates和Jackson总结前人研究成果,对不整合下了至今仍广为接受的定义^[2],该定义强调了不整合的构造成因机制并指出两套间断地层之间多为非平行接触关系。随着油气勘探工作的不断深入,不整合控藏作用越来越引起人们的重视,特别是对不整合微观结构的研究,付广(2000)、吴孔友(2003)、张建林(2005)等学者已经注意到,不整合不仅仅是一个简单的“面”,而是与其上下的地层一起构成了一个特殊地质体、一个特殊的油气运移、储聚单元^[3~5]。

一个完整的不整合地质体,在纵向上可分为不整合面之上的沉积层(如底砾岩),不整合面顶部的风化粘土层,风化粘土层之下的半风化岩石,以及新鲜未风化岩石,从而在纵向上形成多层结构。由于剥蚀时间、气候、地形、构造活动及岩性的差异,不整合面以下的结构层有时缺失风化粘土层,甚至缺失半风化岩石,故出现多种结构类型(隋风贵等)^[6]。由于不整合结构层对油气运移聚集的重要性,许多学者对此开展了大量研究。通过对现代风化壳的研究,土壤学家、地貌学家和工程地质学家提出了不同的分类方案,并有较全面的研究。Judy Ehlen对花岗岩类风化岩层分析时,把风化带由上到下分为A、B、C三个层次,其中A和B合称为风化土层,C为腐泥岩层(碎裂岩)^[7],Tandarich et al.对C层进行了更为详细的划分^[5];地貌学者在垂向与横向上进行风化壳的分带,Little把风化壳划分为:轻微风化岩层、中度风化岩层、强烈风化岩层、完全风化岩层、残积土^[8]。但对含油气盆地古风化壳结构层特征的研究,还停留在定性推测阶段,以分析资料为基础的定量研究成果还鲜见报道。本文结合前人研究的基础上,利用岩心观察、矿物分析、元素含量分析以及镜下观察等资料,对济阳拗陷典型不整合结构进行分析,并对不同结构层的特征进行相关研究。

陈涛,男,2004年毕业于中国石油大学(华东)资源勘察工程专业,现为该校地质资源与地质工程专业在读博士研究生,主要从事油气成藏机理与分布规律研究工作。联系电话:13864741071, E-mail: chentao-upc@163.com。

2 不整合结构划分

一个理想的不整合，常发育三层结构，吴孔友等对准噶尔盆地不整合研究，认为不整合可划分为不整合面之上的沉积层、不整合面之下风化粘土层、半风化岩石^[9]。

济阳拗陷构造变动频繁，形成了多个规模不同的不整合，在第三系内部共发育了6个比较明显的一级、二级不整合^[10]。隋风贵等对济阳拗陷不整合研究时认为，该拗陷前第三系与第三系之间的不整合由于间断时间较长，一般存在较大规模的风化壳，不整合具有三层结构，而对于第三系内部各不整合，由于剥蚀时间相对较短，粘土层往往不太发育，不整合主要为二层结构。从宏观样式和微观结构对济阳拗陷不整合结构进行了划分，共划分为16种类型^[6~11]。

通过对济阳拗陷钻遇不整合取心井的岩心观察，结合矿物分析、元素含量分析、薄片镜下观察等资料，对济阳拗陷不整合结构进行分类。根据风化壳的发育程度以及风化壳中风化粘土层的发育规模，将济阳拗陷不整合划分为三类，即Ⅰ型结构、Ⅱ型结构和Ⅲ型结构(图1)。

Ⅰ型结构是指不整合中存在风化壳，而且风化壳中发育风化粘土层，为理想的不整合类型。这种类型不整合一般经历了长时间的间断，岩石遭受了强烈的风化作用，风化粘土层中岩石完全风化，半风化岩石部分风化，岩石裂缝非常发育，碳酸盐岩类岩石可见溶蚀的孔洞。

Ⅱ型结构是指不整合中发育风化壳，但风化壳中只发育半风化岩石、不发育风化粘土层。济阳拗陷第三系内部的不整合大多属于这种类型，Ⅱ型结构不整合具有两种成因类型：一种是不整合经历了长时间的间断，形成的风化粘土层由于后天的保存差被破坏掉；另一种是由于地层沉积间断时间较短，岩石风化程度弱，未形成风化粘土层。

Ⅲ型结构是指不整合面上下存沉积间断，但不整合面下不存在明显的风化壳。可能包括两种成因：一种是发育的风化壳由于地质营力(主要是指流水、风等)移走的不整合类型，另一种是由于沉积间断时间短、气候条件不利等综合因素引起的岩石未遭受或基本未遭受风化的不整合类型。

3 不整合不同结构层的矿物学及元素地球化学特征

3.1 矿物学特征

岩石中不同矿物抵抗风化能力不同，石英的抗风化的能力最强，几乎不发生化学溶解作

不整合结构	岩性			
	泥岩类	砂砾岩类	灰岩类	白云岩类
不整合上岩石类型	— —	• • • • •	2 2 2	/-/-
	— —	• • • • •	2 2 2	/-/-
	— —	• • •		/•/•
	— —	• • •		/•/•
风化壳	结构	Ⅰ型	Ⅱ型	Ⅲ型
	泥岩			
	风化粘土层	— —	不发育	不发育
	— —			
	Al—			
	○—			
	半风化岩石	砂岩	泥岩	岩类岩
	• • • • •	— —	V V V	
	• • • • •	— —	V V V	
	• • • • •	— —	V V V	
不整合下岩石类型	泥岩类	砂岩类	岩类岩类	
	— —	• • • • •	V V V	
	— —	• • • • •	V V V	
	— —	• • • • •	V V V	

图1 济阳拗陷不整合类型划分模式图

用,长石风化稳定性次于石英,碳酸盐矿物风化稳定性甚小,在岩石风化过程中抗风化能力弱的岩石极易向各种粘土矿物转化,粘土矿物在一定的条件下,还会转变为更加稳定的矿物,如铝土矿、蛋白石等^[12]。不整合中不同结构层岩石遭受到风化程度不同,必然会呈现不同的矿物学特征。

通过对济阳拗陷不整合风化壳岩石与未风化岩石样品的矿物学特征分析发现,由于受到风化作用的影响,风化壳岩石中稳定成分相对含量增加,岩石矿物成分以石英、粘土矿物为主,长石含量少于10%,以钾长石为主,风化壳中基本不含方解石。风化壳以风化粘土层受到的风化作用最强烈,岩石本来结构完全破坏,长石几乎全部被风化,尤其是钠长石,矿物成分以石英、粘土矿物为主,两者含量近90%。部分风化粘土层样品中出现赤铁矿,这可能是一些铁质矿物遭受到强烈氧化所致。粘土矿物中出现高岭石,说明岩石受到了比较强烈的风化作用。半风化岩石的风化主要是通过后期大气降水沿裂缝的淋滤作用进行^[5],因此,半风化岩石中裂缝很发育,成杂乱的网格状。半风化岩石风化程度低于风化粘土层,岩石矿物成分以石英、粘土矿物、长石为主,三者占90%以上,长石含量比较高,钠长石含量明显高于风化粘土层,粘土矿物中也出现高岭石,含量低于风化粘土层,未风化岩石由于未受到地表淡水的淋滤作用,岩石保持了本来的特征(见表1)。

表1 沾北2井(沙一段/沙四段)风化壳岩石矿物含量分析

井号	结构层	深度	石英/%	长石/%	斜长石/%	方解石/%	粘土矿物总量/%	高岭石/%
沾北2 沙一段/沙四段	未风化岩石	1431.1	16	17	5	73	3	0.87
	风化粘土层	1431.7	45	0	0	0	53	19.89
	半风化岩石	1432	52	11	4	0	34	11.9
		1434.6	50	26	12	0	24	7.68

3.2 元素地球化学特征

矿物的风化稳定性是由于其化学成分的化学活泼性决定的,岩石中Ca、Na、Mg、K等元素易流失,Mn、Fe、Si、Al等元素稳定性最好这些元素的转移能力相差达几千倍^[20]。化学风化作用的基本过程是母岩中原生矿物发生溶解、蚀变,释放出Ca、Mg、K、Na、Si、Al、Fe、Mn、Ti等进入溶液被带走或沉淀或直接转变成新的次生矿物。随着岩石的矿物在风化过程中的分解和转化,活动性元素Ca、Mg、K、Na等随风化流体发生显著的迁移并被带出风化壳,使其相对于母岩减少,而相对运移性弱或惰性的元素如Si、Al、Fe、Mn、Ti等残留在风化壳中,相对母岩富集。因此在岩石风化过程中会出现明显得元素分异现象,在不同结构层会呈现出元素富集、流失程度的差异。

对济阳拗陷风化壳岩石元素含量分析发现,风化岩石与未风化岩石相比具有富Al、Mn、Ti,贫Ca、Mg的现象,而K元素的变化不明显,风化粘土层元素富集和淋失率略高于半风化岩石。陈25井风化壳中泥灰岩的元素由于受到地层水风化淋滤作用,Al、Fe、Mn、Ti元素较未风化泥灰岩富集,特别是Al元素,在未风化岩石中Al元素含量非常低,在风化岩石中含量是未风化岩石的10倍多。风化泥灰岩中Ca的流失严重,基本上全部Ca元素都被地层水淋滤带走,损失量近98%(图2)。

地层	岩性剖面	取样深度/m	元素百分含量/%					CIA	结构层
			Al	Fe	Mn	Ti	Ca		
沙一段		1371.7	7.89	1.8	0.1	0.7	0.84	84.2	风化壳
寒武系		1372.8	5.61	1.3	0.05	0.5	0.94	80	风化壳
		1374.1	0.64	0.34	0.02	0.12	36	3.25	未风化岩石

图2 陈25井风化壳中泥灰岩与未风化石灰岩元素含量对比图

4 不同结构层化学风化程度的差异

矿物含量、元素的含量只是定性的反映岩石的风化程度,本文采用了化学风化指标对不同结构层的风化程度进行定量研究。本文主要采用了帕克风化指数(WIP)、威格特残余指数(V)、化学蚀变指数(CIA)、化学风化指数(CIW)和斜长石蚀变指数(PIA)等五个风化指标,这五个指标主要适用于碎屑岩的化学风化分析,风化指标计算公式及风化界限值(表2)^[13~18]。

表2 化学风化指标计算公式及界限值

指标	计算公式	未风化	完全风化	资料来源
WIP	$(100) \times [(2\text{Na}_2\text{O}/0.35) + (\text{MgO}/0.9) + (2\text{K}_2\text{O}/0.25) + (\text{CaO}/0.7)]$	> 100	0	Parker (1970)
V	$(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O}) / (\text{MgO} + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O})$	< 1	无限大	Roaldset (1972)
CIA	$(100) \times [\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})]$	< = 50	100	Nesbitt (1982)
CIW	$(100) \times [\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O})]$	< = 50	100	Harnois (1988)
PIA	$(100) \times [(\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{K}_2\text{O}) / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O})]$	< = 50	100	Fedo et al. (1995)

应用化学风化指标对济阳坳陷风化壳岩石以及未风化岩石风化程度分析发现,不整合上的岩石以及风化壳以下岩石 CIA 值、CIW 值、PIA 值均小于 50, V 值小于 1, WIP 值大于 100, 岩石未遭受风化;而风化壳岩石的 CIA 值、CIW 值、PIA 值均高于 50, V 值大于 1, WIP 值均小于 50, 说明风化壳内岩石遭受了风化。从图 3 陈25井风化壳岩石与未风化石灰岩

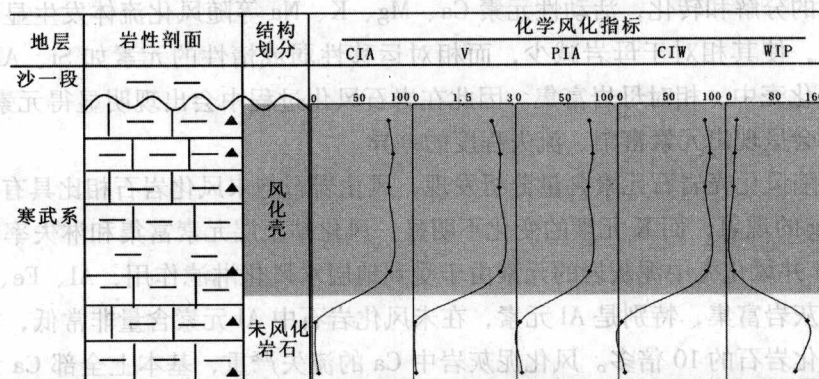


图3 陈25井(馆陶组/沙一段)风化壳岩石与未风化石灰岩化学风化指标对比图

的风化指标对比可以看出, 风化岩石和未风化岩石化学风化指标具有明显得差异, 存在一个突变面, 风化壳岩石风化指标高于岩石风化界限值(图3)。风化指标可以定量的对不整合结构中风化壳和未风化岩石进行划分。但是由于风化过程中的元素均一化作用, 以及风化指标主要考虑碱金属和碱土金属元素的流失, 这种变化在岩石的风化初期就已经进行^[19], 在进入风化成土以前元素的流失基本完成, 因此化学风化指标只适用于岩石风化初期或风化成土作用早期的岩石风化程度判断。

5 结论

(1) 根据不整合下风化壳的发育规模以及风化粘土层的发育程度, 将济阳拗陷不整合划分三类结构: I型、II型和III型。

(2) 风化壳岩石由于受到风化作用的影响, 与未风化岩石相比会呈现不同的矿物学特征, 风化壳岩石矿物成分以石英、粘土矿物为主, 长石含量很低, 方解石含量近为零, 高岭石开始大量出现; 风化粘土层的粘土矿物含量和高岭石含量高于半风化岩石, 长石含量低于半风化岩石。

(3) 从元素含量变化来看, 风化壳岩石由于受到风化和地层水的淋滤, 岩石出现富 Al、Fe、Mn、Ti, 贫 Ca、Mg 的现象, 风化粘土层的元素富集和淋失率略高于半风化岩石。

(4) 运用化学风化指标对岩石风化程度判断基础上, 可以对不整合结构进行定量划分。

参 考 文 献

- 1 Hutton J. Theory of the earth, or an investigation of the laws observable in composition, dissolution and restoration of land upon the globe. Royal Society Edinburgh Transactional, 1788: 109~304
- 2 Bates R L, Jackson J A. Glossary of geology. Falls Church Virginia: American Geological Indtitute, 1980, 749
- 3 付广, 薛永超, 付晓飞. 油气运移输导体系及其对成藏的控制. 新疆石油地质, 2000, 22(1): 24~26
- 4 吴孔友, 查明, 洪梅. 准噶尔盆地不整合结构的地球物理响应及油气成藏意义. 石油实验地质, 2003, 25(4): 328~332
- 5 张建林. 地层不整合对油气运移和封堵的作用. 油气地质与采收率, 2004, 12(2): 26~29
- 6 隋风贵, 赵乐强. 济阳拗陷不整合结构类型及控藏作用. 大地构造与成矿学, 2006, 30(2): 161~167
- 7 Judy Ehlen. Above the weathering front: contrasting approaches to the study and classification of weathered mantle. Geomorphology, 2005: 7~21
- 8 Little A. L. The engineering weathering classification of residual tropical soils. Proceedings of the 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Special Session on the Engineering Properties of Lateritic Soils, Mexico City, 1969: 1~10
- 9 吴孔友, 查明, 洪梅. 准噶尔盆地不整合结构模式及半风化岩石的再成岩作用. 大地构造与成矿学, 2003, 27(3): 270~276
- 10 李丕龙, 庞雄奇. 陆相断陷盆地隐蔽油气藏形成——以济阳拗陷为例. 北京: 石油工业出版社, 2004: 315~357
- 11 隋风贵, 赵乐强, 林会喜等. 济阳拗陷第三系地层油藏形成机制与组合模式. 油气地质与采收率, 2005, 12(6): 1~5
- 12 赵澄林, 朱筱敏主编. 沉积岩石学. 北京: 石油工业出版社, 2001: 6~15
- 13 Jason R. Price, Michael A. Velbel. Chemical weathering indices applied to weathering profiles developed on heterogeneous felsic metamorphic parent rocks. Chemical Geology, 2003: 397~416

- 14 Parker A. An index of weathering for silicate rocks. *Geological Magazine*, 1970: 501 ~ 504
- 15 Roaldset E. Mineralogy and geochemistry of Quaternary clays in the Numedal Area, southern Norway. *Norsk Geolisk Tidsskrift*, 1972: 335 ~ 369
- 16 Nebitt H W, Young G M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, 1982: 715 ~ 717
- 17 Harnois L. The CIW index: a new Chemical Index of Weathering. *Sedimentary Geology*, 1988: 319 ~ 322
- 18 Fedo C M, Nesbitt H W, Young G M. Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance. *Geology*, 1995: 921 ~ 924
- 19 黄成敏, 龚子同. 海南岛北部玄武岩上土壤发生的化学特性研究. *热带地理*, 2001, 21(3): 207 ~ 212
- 20 朱立军, 李景阳著. 碳酸盐岩风化成土作用及其环境效应. 地质出版社, 2004: 7 ~ 16

参 考 文 献

- 1 Hutton J. Theory of the earth, or an investigation of the laws observable in composition, dissolution and restoration of land upon the globe. *Royal Society Edinburgh Transactions*, 1785: 109 ~ 304
- 2 Bates R L, Jackson J A. *Glossary of geology*. Falls Church Virginia: American Geological Institute, 1980: 749
- 3 吴凤义, 查明, 张德成. 准噶尔盆地不整合带地球物理响应及油气成藏意义. *石油地质*, 2003, 22(4): 328 ~ 332
- 4 张德林. 地层不整合对油气运移和封存的作用. *油气地质与采收率*, 2004, 12(2): 26 ~ 29
- 5 陈凤贵, 赵永强. 准噶尔盆地不整合带油气运移及封存作用. *大地构造与成矿学*, 2006, 30(2): 161 ~ 167
- 6 Judy Fisher. Above the weathering front: contrasting approaches to the study and classification of weathered materials. *Geomorphology*, 2007: 7 ~ 21
- 7 Lillo A L. The engineering weathering classification of residual tropical soils. *Proceedings of the 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Special Session on the Engineering Properties of Latent Soils, Mexico City, 1969: 1 ~ 10
- 8 吴凤义, 查明, 张德成. 准噶尔盆地不整合带油气运移及封存作用. *大地构造与成矿学*, 2006, 30(2): 161 ~ 167
- 9 李正, 赵永强, 张德成. 准噶尔盆地不整合带油气运移及封存作用. *石油地质与采收率*, 2004, 12(2): 26 ~ 29
- 10 陈凤贵, 赵永强. 准噶尔盆地不整合带油气运移及封存作用. *大地构造与成矿学*, 2006, 30(2): 161 ~ 167
- 11 陈凤贵, 赵永强. 准噶尔盆地不整合带油气运移及封存作用. *石油地质与采收率*, 2004, 12(2): 26 ~ 29
- 12 赵德林, 朱永强主编. *沉积岩化学*. 北京: 石油工业出版社, 2001: 6 ~ 12
- 13 Jason R Price, Michael A Velbel. Chemical weathering indices applied to weathering profiles developed on heterogeneous felsic metamorphic parent rocks. *Chemical Geology*, 2003: 397 ~ 416

济阳拗陷东部青东地区的 构造特征及其演化

邹东波¹ 余朝华² 吴时国² 潘中华¹

(1. 中石化胜利油田分公司物探研究院; 2. 中国科学院海洋研究所)

摘 要 青东地区位于济阳拗陷与郯庐断裂带的结合部, 郯庐断裂带中段分东西两支从莱州湾青东地区进入渤海。本文通过对横穿研究区的两条地震测线的解释和分析, 揭示了青东地区的构造特征, 研究表明郯庐断裂带东西两支在该研究区表现出不同的断裂性质, 西支断裂表现为正断层, 东支断裂表现为走滑断层。郯庐断裂是本研究区的主控断裂, 通过对本地区地层形态及其组合、断层的剖面形态和空间展布规律的深入研究, 揭示了郯庐断裂带对青东地区新生代以来的构造演化的控制作用, 将其分成三个部分: 古新世—始新世的伸展阶段、渐新世—中新世早期的挤压和右行走滑阶段、中新世中晚期到现今的稳定发展阶段, 这几个不同时期的演化阶段主要受周边板块运动的方向和速度变化的控制。

主题词 走滑断裂 构造演化 郯庐断裂带

1 前言

青东地区位于济阳拗陷东部, 莱州湾水域, 大部位于 5~20m 的水深之下, 其西北以垦东—青坨子凸起为界, 东南为鲁东凸起所限, 正北方向与莱州湾凹陷相接, 向南通过断裂与潍北凹陷相连, 面积约 2500km²。从构造位置上位于济阳拗陷和郯庐断阶带的结合部, 郯庐断裂带从中穿过, 郯庐断裂带的两支又将其分为东西两个部分: 青东凹陷和潍北凸起(图 1A)。

目前, 在青东凹陷西部钻遇了中生界到第四系(图 1B), 其中, 最上面的平原组为浅棕色砂、砾岩和粘土层, 明化镇组表现为灰白色砾岩夹薄层泥岩, 馆陶组与下伏下第三系地层呈明显的不整合接触, 在西部斜坡带东营组和沙一段被完全剥蚀, 沙二段暗色物质组成, 沙三段以暗色泥岩为主夹薄层砂岩、粉砂岩、灰质砂岩, 沙四段以暗色泥岩为主, 在全区稳定分布, 沙三段和沙四段为该区的主要烃源岩。

由于郯庐断裂带从青东地区穿过, 是该研究区的主控断裂, 对该地区的形成和演化起着决定性的控制和改造作用。通过对本研究区形成过程及其构造特征的研究, 可以揭示郯庐断裂对于本研究区成因控制作用, 进一步反映郯庐断裂带北延入海后的构造样式和构造活动特征, 从而对郯庐断裂的构造演化特征进行深入的分析和探讨。

2 构造特征

为了进一步加大济阳拗陷周边地区的勘探开发力度, 自 2002 年以来, 中石化胜利油田在青东地区开展了一系列地震勘探工作(测线位置见图 1A 虚线所示), 通过对这些资料的综

邹东波, 工程师, 男, 1993 年毕业于西北大学地质系, 现从事地震资料解释及综合研究工作。地址: 山东省东营市北一路 210 号物探院研究院。邮编: 257022 电话: 0546-8702761 传真: 0546-8702751, E-mail: slzdb@mail.slof.com。

合处理和解释，一方面，对该地区地下的地层发育和构造特征有了一个深入的了解，另一方面，也揭示了郯庐断裂带从莱州湾入海后的构造形态及其新生代以来的构造活动历史。

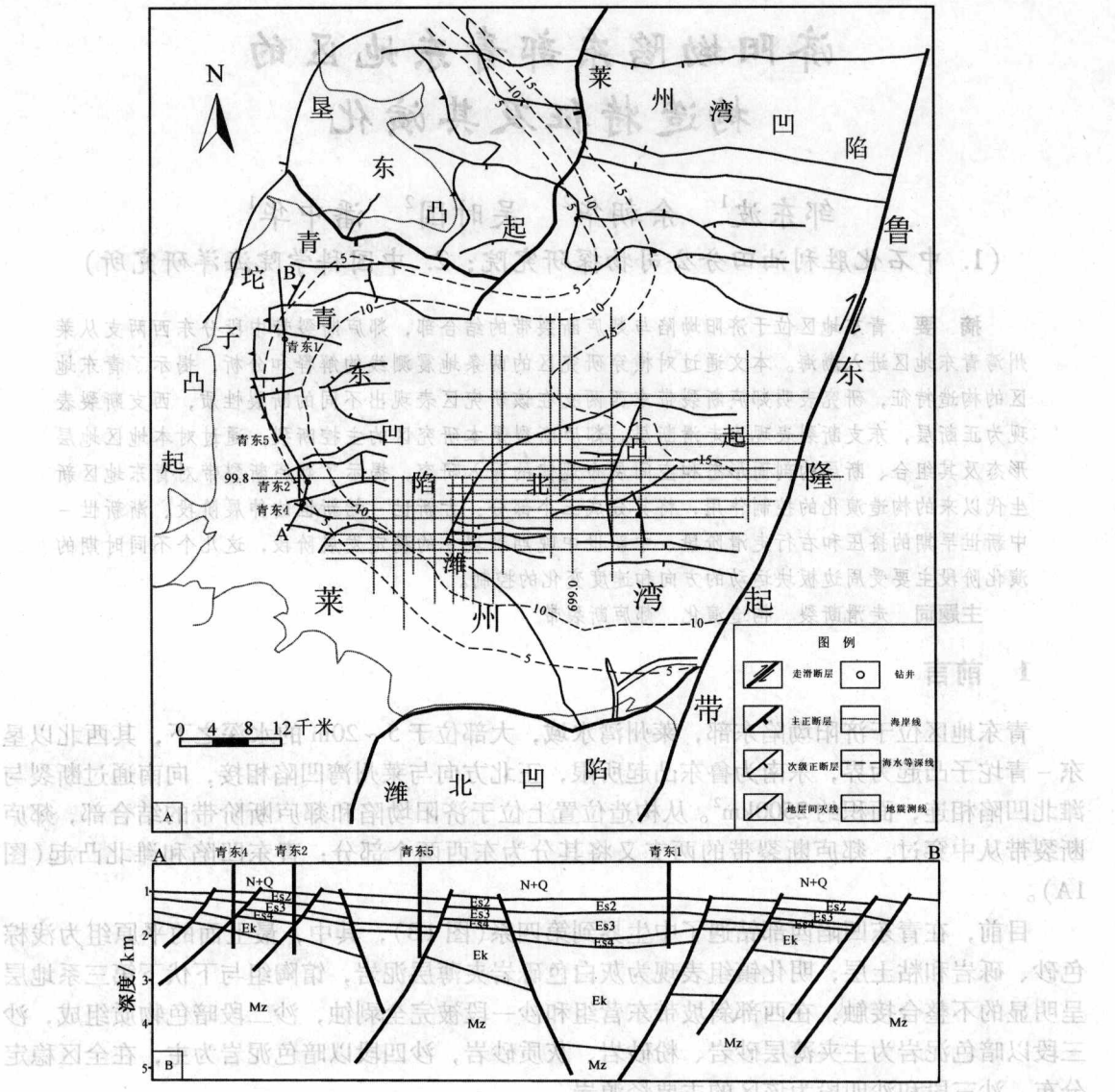


图1 研究区区域构造位置图；A-B为青东4-青东1井构造剖面

2.1 研究区结构框架分析

99.8测线是本研究区内最长的一条地震剖面，从青东凹陷的西部斜坡带一直向东延伸，越过最东边的鲁东隆起区。这条横贯在研究区东西的剖面也基本揭示了该地区的主要结构框架(图2)。

从图中明显可见，一条不整合面将剖面分为上下两个部分，上部为早第三纪和第四纪沉积的地层：平原组、明化镇组和馆陶组，该层东薄西厚，反映了沉积当时西低东高的地势形态，层内反射稳定、同相轴大致平行，反映了早第三纪以来，该研究区内稳定的沉积环境。

不整合面以下的部分，从西到东，根据其展布特征大致可以分为五个部分：西洼陷带、隆起带、东洼陷带、垮塌带和鲁东隆起带。西洼陷带和东洼陷带内的地层组合是一致的，从

沙河街组、孔店组、中生界、一直到古生界和太古界组成的古老基底，缺失东营组和沙一段，实际上，从整个该地区的解释结果看，整个研究都缺失东营组和沙一段，反映了东营组沉积末期该地区的整体抬升运动。

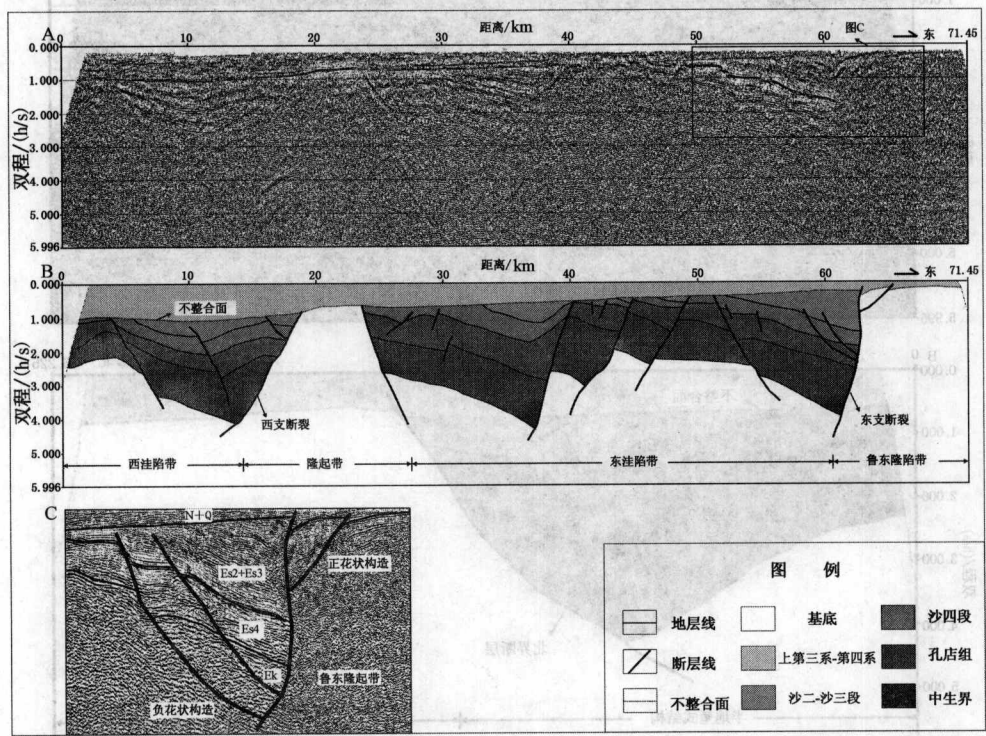


图2 A 99.8 测线原始地震剖面；B 99.8 测线解释剖面；C 东支断裂形成的花状构造

西洼陷带的东边界断层和第二洼陷带的西边界断层之间，古老基底向上隆升，形成隆起带。隆起带顶面通过不整合面与上第三系地层相接，对于隆起带内部的地层，由于该地区研究程度低，缺乏可靠的钻井资料，目前还没有统一的认识，但是，根据层速度的大小和剖面间的层位对比可以肯定的是，隆起带内部的地层是第三纪之前形成的地层。

东洼陷带的东边界断层和走滑断层之间的地层整体向东倾斜，形成了一条向东倾斜的垮塌带。显然，这种整体的倾斜必然是由于走滑断层的走滑活动引发的。走滑断裂的东边，古老地层隆起，形成隆起区，上面直接覆盖着晚第三纪以来形成的薄薄的地层，中间地层剥蚀殆尽。

699.0 测线揭示了研究区南北向分布的一些构造特征(图3)。与东西向的剖面一样，在该剖面上，一条明显的不整合面将其分成上下两个部分，上部沉积的地层为晚第三纪和第四纪沉积的地层，不整合面的下部，一条大断裂-北界断裂将其分成两个部分，南边为向北倾斜的半地堑式的构造，中、新生界地层自南向北逐渐变厚，层间发育一系列正断层，中、新生界地层被北界断层阻挡后间灭；北界断层的北侧为宽广的隆起区，地层为较古老的基底性

地层。在本研究区，其它地震测线揭示的地下地层发育形态和构造特征与 99.8 测线和 699.0 测线揭示的形态和特征大致相同，只是在揭示的范围和位置上略所不同，在此不一一累述。