

文章编号:1672-9854(2010)-04-0014-009

冀中坳陷前第三系岩溶发育规律及其控制因素

吴孔友¹, 王雨洁¹, 张瑾琳², 臧明峰³

(1 中国石油大学(华东)地球资源与信息学院; 2 中国石油大学(北京)石油工程学院)

(3 东方物探研究院大港分院)



吴孔友

摘要 冀中坳陷自蓟县纪杨庄运动以来经历了七次较大规模的构造运动, 伴随发育有七期岩溶, 但只有最晚的发生于印支—燕山运动的第Ⅶ期岩溶被较多保存下来, 它可划分出三个次级岩溶期。从中元古界长城系高于庄组到上古生界奥陶系峰峰组, 潜山碳酸盐岩的溶蚀作用发生在多个层位, 尤其是蓟县系白云岩和奥陶系灰岩岩溶现象普遍。纵向上可统计出第Ⅶ期岩溶中的全部三期次级岩溶, 岩溶层位主要为蓟县系雾迷山组、寒武系及奥陶系。钻井中泥浆漏失现象普遍, 其中单井泥浆漏失量最大的层位是雾迷山组, 其次是奥陶系, 寒武系相对最小。冀中坳陷岩溶的总体展布特征表现为水平岩溶带距古地表的深度由凹陷向凸起变大, 而水平岩溶带的厚度总体呈现由凹陷向凸起减小的趋势。构造运动、多层系碳酸盐岩的发育以及多套烃源岩的生烃演化, 是影响冀中坳陷岩溶发育的三个主要控制因素。

关键词 古潜山油气藏; 岩溶作用; 岩溶特征; 泥浆漏失量; 控制因素; 冀中坳陷

中图分类号: TE112.23 **文献标识码**: A

胡孔友 1971年生, 博士, 副教授。1995年毕业于石油大学(华东)矿产普查与勘探专业, 2004年获石油大学(华东)地质资源与地质工程专业博士学位, 现从事构造地质学与油气成藏研究。已发表论文《冀中饶阳凹陷潜山演化类型及成藏差异性分析》、《大南盘江地区构造对油气藏破坏作用研究》等30余篇。通讯地址: 266555 山东青岛经济技术开发区长江西路66号; 电话: (0546)7878593

据统计, 世界油气储量的20%~30%与不整合有关, 且主要与岩溶储层有关^[1]。这是因为岩溶作用形成的溶蚀孔洞和裂缝作为油气主要的储集空间和渗流通道, 它们极大地改善了碳酸盐岩本身相对较差的孔洞缝储集系统^[2-6]。冀中坳陷是渤海湾盆地内部一个一级负向构造单元, 中、上元古界至下古生界发育厚达4 000~6 000 m的碳酸盐岩, 受华北地台基岩隆升幅度大、侵蚀范围广、断层活动强烈的影响, 岩溶作用广泛发育^[6]。自1975年与古岩溶密切相关的任丘潜山大油田发现以来, 对冀中坳陷岩溶储层的研究, 已逐渐成为油气藏勘探开发的一个热点, 至今坳陷内潜山探明石油地质储量达 5.254×10^8 t。近年来钻探的长3、长6、文古3、宁古8以及虎8等井在蓟县系、寒武系等先后获得了高产工业油气流, 表明古潜山碳酸盐岩油气藏仍然是今后不可忽视的勘探

领域。因此, 研究前第三系岩溶储层的发育特征和分布规律, 对冀中坳陷的油气勘探仍具有十分重要的意义。

1 区域地质背景

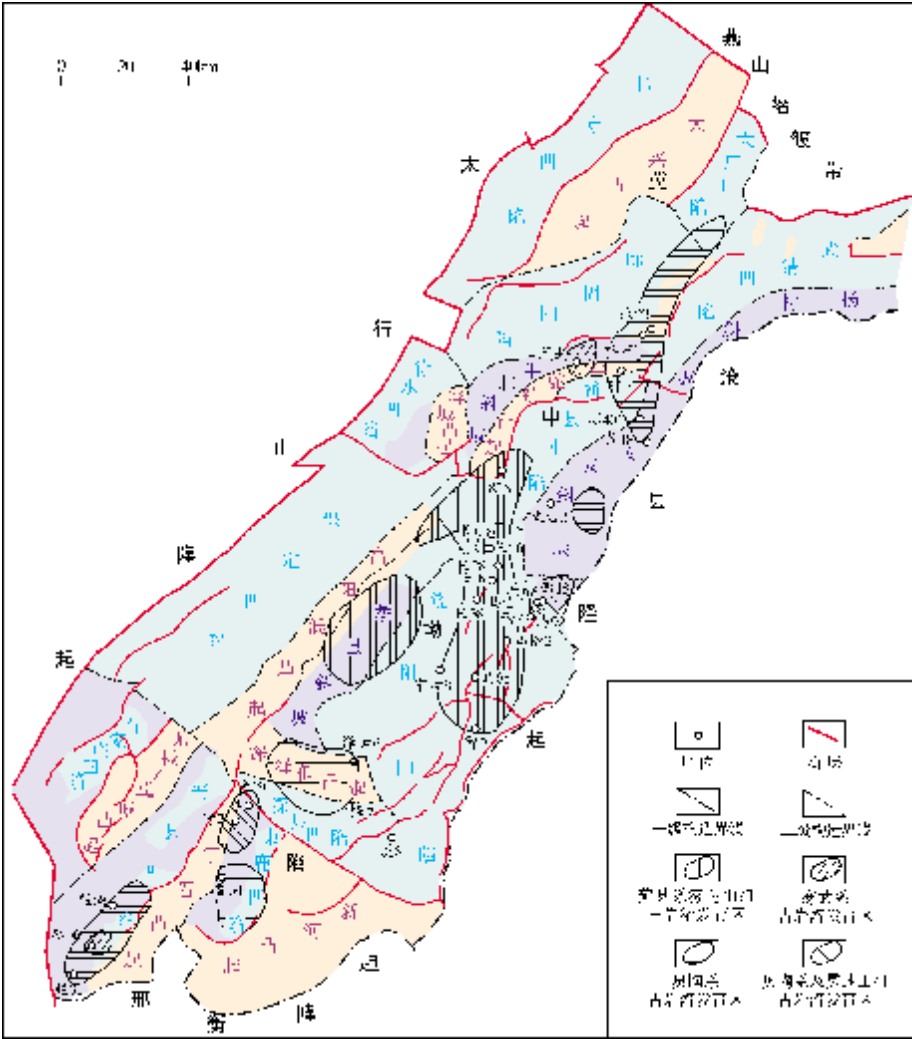
冀中坳陷东邻沧县隆起, 西以太行山东缘断裂为界, 北至燕山台褶带, 南抵邢衡隆起^[6]。区内划分为22个次级构造单元, 以无极—藁城低凸起、高阳低凸起以及牛驼镇凸起等正向单元为中央构造带(图1)。该坳陷前第三系经历了从元古宙到新生代近20亿年的地质演化, 期间发生了吕梁、晋宁、加里东、海西、印支、燕山、喜马拉雅等多期构造运动的改造, 地层分布复杂, 但总体上保存较全, 从太古宇到中、上元古界再到中生界均有分布。但中生界不太发育、分布范围小、地层厚度较薄, 且目前尚未见到其

收稿日期: 2010-06-04

基金项目: 本文受国家自然科学基金(编号: 40772081)、山东省自然科学基金(编号: Y2008E16)和国家科技重大专项(编号: 2008ZX05001)联合资助

中有油气显示。中、上元古界及下古生界为稳定开阔的浅海相,其巨厚碳酸盐岩为潜山形成提供了良好的物质基础。加里东运动使华北地台整体抬升遭受剥蚀,研究区内缺失中—上奥陶统、志留系、泥盆系及下石炭统,寒武系、奥陶系及蓟县系雾迷山组碳酸盐岩孔洞成为潜山油气藏的主要储集空间。寒武系、奥陶系主要分布于凹陷区内,如廊固凹陷、霸县凹陷、饶阳凹陷南部、束鹿凹陷等。雾迷山组是中、上元

古界钻遇最多的一套地层,整体上呈北西向和北东向组合而成“T”型展布,集中分布于饶阳凹陷中北部、牛驼镇凸起南部、蠡县斜坡北部、高阳低凸起中北部等地区。总体上看,中、上元古界主要分布于构造相对较高的部位,上覆的中生界、古生界等中上部地层遭受了强烈剥蚀,甚至被剥蚀殆尽,从而使大部分地区的雾迷山组直接与新生界接触,进而成为该区溶蚀孔、洞、缝最为发育的层位之一。



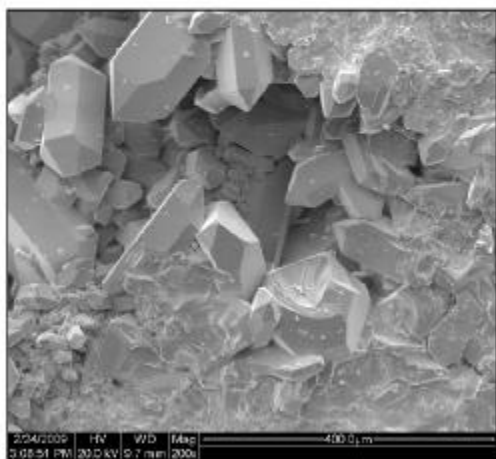
有发生,尤其蓟县系和奥陶系灰岩岩溶现象普遍(图2a)。



(a) 蓟县系杨庄组三段层间溶孔、溶洞。天津蓟县,野外



(b) 蓟县系雾迷山组溶孔。任28井, 3276.56m, 岩心



(c) 蓟县系雾迷山组溶孔。任28井, 3394.90m, 电镜, $\times 200$

图2 冀中坳陷岩溶发育特征

2.2 室内岩心特征

岩心是研究地下信息最直观的资料。根据区内167口井取心资料,岩心溶蚀现象发育,多见溶孔、

溶穴,沿裂隙多见港湾状溶蚀现象或见有浅小溶洞。这种数量多、体积小的孔缝是冀中坳陷碳酸盐岩发育区主要的储集空间,它们常被泥质、白云质、沥青及硅质充填或半充填。任28井岩心(图2b)不规则分布的溶蚀孔洞和根须状裂缝在多个深度段可见;扫描电镜(图2c)分析,晶间孔、晶间微孔发育,岩石中原生孔隙多被后期成岩作用破坏或溶蚀改造。

2.3 钻井泥浆漏失特征

钻井录井过程中发生严重井漏和放空现象,是未被充填洞穴层或部分充填洞穴层存在的重要特征,放空为钻遇岩溶洞穴的直接标志^[2]。

对研究区400多口潜山井资料统计发现,碳酸盐岩发育区井漏现象普遍,漏失层段达237处,单井单层位的漏失量对该岩溶层位总漏失量的贡献率如图3所示。其中单井漏失量最大的层位是蓟县系雾迷山组,淀6井在该地层的泥浆漏失量达3986.72 m³,其次是奥陶系和寒武系。单井单层泥浆漏失程度大致可分为三个区间:1~50 m³、50~150 m³、>150 m³,其中以单井单层泥浆漏失量小于50 m³的占主体,它对各自层位的总泥浆漏失量贡献率均达到60%以上,奥陶系甚至达到了80%,这表明各层位的地下岩溶主要为中小溶孔或溶洞。单井单层泥浆漏失量大于500 m³的主要位于蓟县系雾迷山组,表明雾迷山组岩溶最为发育,且发育部分大型溶洞。另外,钻具放空现象也有27处,放空后一般伴有泥浆漏失现象。平面上,放空漏失井往往与岩石破裂系数高值区相一致,溶洞一般都是沿断裂带分布,是裂缝被溶蚀改造而形成,因此裂缝发育区,钻井泥浆漏失和钻具放空出现的频率高^[5,7]。

3 岩溶发育规律

3.1 旋回性分析

垂向上,受潜水面深度和地下水运动的控制,一个完整的岩溶序列应包括地表岩溶带、渗流岩溶带及潜流岩溶带三个部分。但是由于地貌的差异,地下水作用尤其是构造运动的影响,常造成早期和晚期的岩溶在垂向上错位叠置,形成渗流带和潜流带在剖面上叠置交替^[8]。

蓟县纪杨庄运动以来,冀中坳陷经历了七次较大规模的构造运动,伴随发育七期岩溶(表1),其中

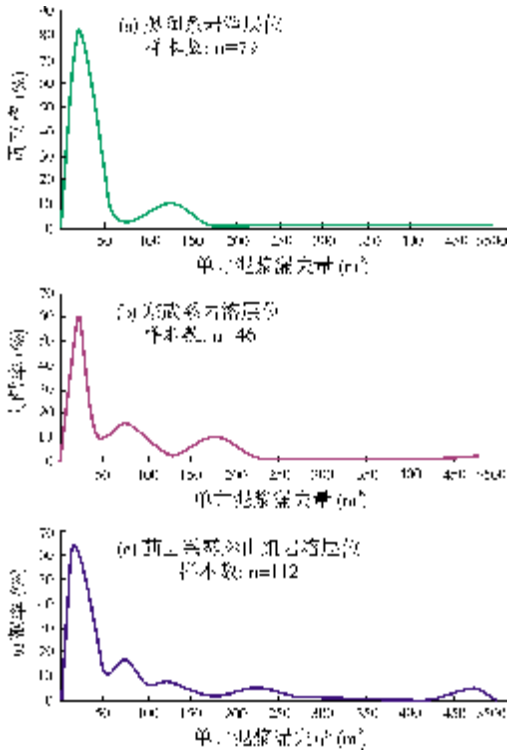


图3 冀中坳陷各岩溶层位不同的单井泥浆漏失量对该层位总漏失量的贡献率

I—Ⅲ期岩溶,因构造总体为抬升运动,间断暴露时间短,溶蚀作用弱,以发育层间岩溶为主;Ⅳ—Ⅴ期岩溶,因间断时间长,岩石溶蚀充分,岩溶相带明显,但因其形成时间早,后期经历改造、充填、剥蚀,很难

保存下来;Ⅵ期岩溶,在华北地区由于石炭系和二叠系可溶岩甚少,岩溶活动表现不明显。印支—燕山运动,以强烈的褶皱和断裂为主,使本区深埋地腹的中元古界至下古生界巨厚的碳酸盐岩褶皱块断成山,遭受风化剥蚀,形成第Ⅶ期岩溶,导致碳酸盐岩潜山在古近系沉积之前,一直暴露地表,岩溶充分。冀中坳陷潜山目前发现的岩溶储层,大都为该期岩溶结果。由于印支—燕山运动周期较长,具有多幕活动特征,造成多次潜水位变动,形成多个次级岩溶期^[5]。本次研究,通过对钻井泥浆漏失程度和层位对比分析,在冀中坳陷各古岩溶发育层位中最多可识别出三个次级岩溶期(表1,图4),且不同层位的岩溶改造和叠加程度不同。由图4可以看出,上覆第三纪地层越老,也即埋藏越早,潜山地层岩溶期次越多,显示这些岩溶相带应该为褶皱抬升期的残留岩溶,而不是下降期形成的,因为下降期形成的岩溶,埋藏越晚,即上覆地层越新,岩溶期次应该越多。区内以储集性能最好的雾迷山组岩溶期保存最多,而且溶蚀深度越大,孔洞越发育,泥浆漏失量越大;寒武系碳酸盐岩因暴露时间较长,剥蚀程度严重,只保留了一期次级岩溶。构造抬升期形成的岩溶,往往第1期位于剖面上部,当发生下一期岩溶时,上部的表层岩溶带被后期的岩溶改造而保存不好,潜流带亦被渗流岩溶作用所改造^[8]。当然,即使同一层系不同岩溶地貌单元的地层遭受的侵蚀强度也不同,最终残留的岩

表1 冀中坳陷表生期岩溶期次统计表(据文献①,[6,9]编制)

岩溶期		地质时代	运动性质	岩溶层位	古地形起伏	延续时间(Ma)
主岩溶期	次级岩溶期					
印支—燕山运动岩溶期(Ⅶ)	Ⅶ-3	中生代—新生代	褶皱断裂	太古界—中奥陶统	大	150
	Ⅶ-2					
	Ⅶ-1					
海西运动岩溶期(Ⅵ)		中生代早—中三叠世	抬升	中上寒武统—中奥陶统	小	150
加里东运动岩溶期(Ⅴ)		早古生代中—晚奥陶世	抬升	中奥陶统	小	
蓟县运动岩溶期(Ⅳ)		晚元古代青白口纪	抬升	青白口系景儿峪组灰岩	小	260
芹峪运动岩溶期(Ⅲ)		中元古代晚蓟县世	抬升	蓟县系铁岭组灰岩	小	短暂
凌源运动岩溶期(Ⅱ)		中元古代雾迷山期	抬升	蓟县系雾迷山组白云岩	小	
杨庄运动岩溶期(Ⅰ)		中元古代杨庄期	抬升	长城系高于庄组白云岩	小	

① 唐飞. 冀中坳陷碳酸盐岩岩溶与古潜山油气藏. 华北石油管理局勘探开发研究院, 1987:4-5.

这种多期次岩溶的特点对碳酸盐岩储层发育具

有明显的控制作用。不同部位岩溶叠加改造次数和程度的不同,造成了裂缝、溶蚀孔洞储集层的垂向非均质性和不同的横向水力连通性,形成了目前冀中坳陷复杂的岩溶作用垂向模式。

平面上,冀中坳陷岩溶的总体展布特征为水平岩溶带距古地表的深度由凹陷向凸起变大(图5)。在



VII-1、VII-2、VII-3 分别对应于表 1 中的三个次级岩溶期

表生环境下,碳酸盐岩暴露地表,由浅入深将逐渐遭受风化淋滤作用,发生次生变化,且距离古地表越近,蚀变越强。从全区范围看,各凹陷碳酸盐岩岩溶从距古地表深度100 m开始普遍发育,霸县凹陷北部、饶阳凹陷中北部、束鹿西斜坡等地势低部位保存条件差,岩溶不甚发育,最大深度仅几十米。在廊固凹陷、晋县凹陷区等值线呈渐变趋势,变化不明显,说明岩溶在这些地区发育比较均匀。向蠡县斜坡、牛驼镇凸起等地区深度逐渐增大,到拗陷两侧的高阳低凸起、文安斜坡和牛北斜坡,岩溶最深可达1600 m左右。研究区各二级构造单元内岩溶深度变化趋势与全区一致,饶阳和霸县两个凹陷的特征尤其显著。饶阳凹陷的水平岩溶带整体发育深度较浅,尤其是凹陷西部和蠡县斜坡等地区,地下水浅部运动活跃,

岩溶深度不超过800 m。霸县凹陷水平岩溶带大面积较浅,最大深度小于600 m,其中牛驼镇凸起的南部最浅不到100 m,至牛北斜坡、文安斜坡岩溶深度距前第三系顶部达到1500 m以上。

但是,区内水平岩溶带的厚度变化规律恰恰相反,总体呈现由凹陷向凸起减小的趋势(图6)。全区水平岩溶带厚度大都在20~80 m,古地形高点多不超过40 m,但岩溶洼地最厚可达240多米。由于古地形的起伏,研究区由凹陷向斜坡再到高地,各部位水平岩溶带发育厚度明显不等,呈有规律的变化。古地形高的地方容易暴露于地表而接受大气淡水的溶蚀,而且隆起区表生溶蚀以垂向淋滤为主,导致垂直渗透带厚,而水平潜流带薄;相反,凹陷区一般垂直渗透带薄,而水平潜流带厚^[10]。廊固凹陷、饶阳凹陷

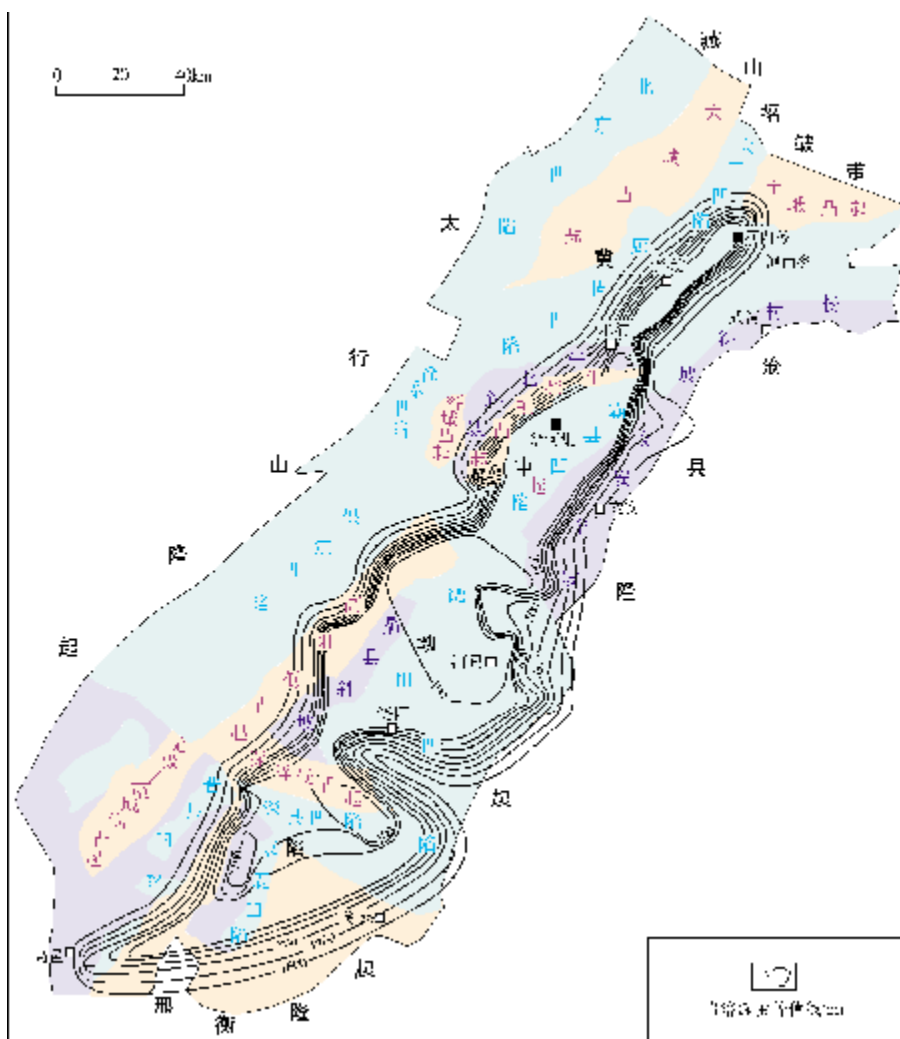


图5 冀中拗陷水平岩溶带距古地表深度等值线图

以及深县凹陷—束鹿凹陷,是冀中坳陷内水平岩溶带最为发育的区域。其中,饶阳凹陷厚度最大值大于 240 m,一般厚度均大于 30 m,是冀中坳陷水平岩溶带厚度最大分布区。地质报告中记录的雾迷山组井漏放空现象多出现在该凹陷中西部的低地势区。廊固凹陷、深县凹陷—束鹿凹陷水平岩溶带相对较薄,但是厚度由凹陷向凸起减小的特征仍明显可见。这些凹陷内大部分地区水平岩溶带厚度在 10~50 m,但在廊坊附近和深县凹陷的西北部等地厚度较大,最深处达 120 m 以上。

受区内地貌形态、岩溶带深度及水平岩溶带厚度变化规律的影响,冀中坳陷岩溶储层发育的区域性特征差异较大。如西北部的廊固凹陷是典型的岩溶高地所在地区,淡水淋滤溶蚀作用为主,奥陶系灰岩储层孔缝发育。而饶阳凹陷地势低,地下水水

平层流溶蚀强,储集空间以雾迷山组的顺层大型溶洞和晶间溶孔为特征,钻进过程钻具放空和泥浆漏失现象普遍。

4 岩溶发育控制因素分析

4.1 多层系碳酸盐岩发育为岩溶形成提供了物质基础

冀中坳陷前第三系多组、多层系海相碳酸盐岩的发育与配置,是控制古岩溶作用的重要因素。主要包括奥陶系灰岩、白云质灰岩、泥质白云岩,寒武系灰岩、泥灰岩、鲕状灰岩以及蓟县系白云岩、灰质白云岩、泥质白云岩等等。平面上,自西向东岩性上整体具有白云岩→灰岩→砂泥岩的变化趋势,在中央构造带(即无极—藁城低凸起—高阳

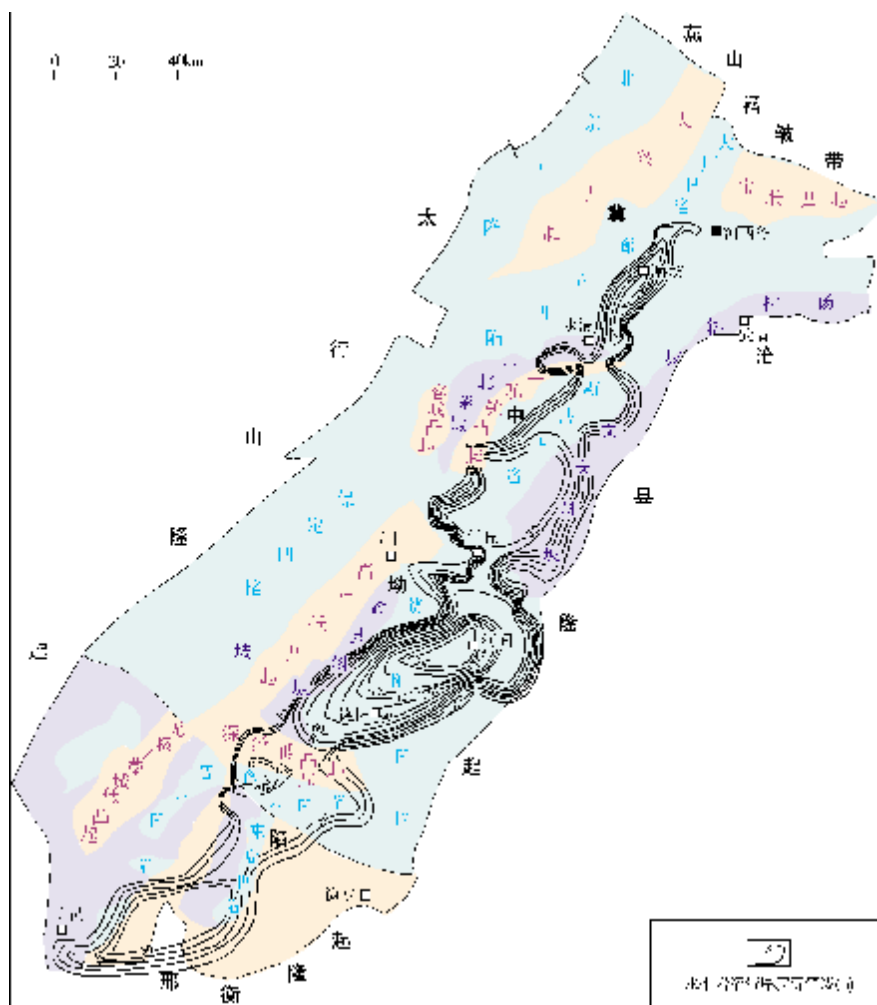


图6 冀中坳陷水平岩溶带厚度等值线图

低凸起—牛驼镇凸起一带),白云岩与灰岩地层呈指状交错分布。

该区古岩溶集中发育于古生界奥陶系和中元古界雾迷山组两个层系,但是由于两层系碳酸盐岩的岩性和岩溶特征的不同^[9,11-12],储层类型差异也较大。观察表明,研究区中西部白云岩分布区溶丘发育规模不大,岩溶高地呈不连续分布,而且孔隙特征以晶间溶孔、小型溶洞及溶蚀扩大缝为主,少见大型裂缝和大型溶洞,仅在马92井、马检2井、任96井等处钻进过程中发生较大的井漏甚至放空,小规模的溶洞多被充填。区内白云岩岩性质纯、层厚大,部分层段夹少量灰质白云岩,有利于岩溶作用发生。而石灰岩发育地段,一般形成面积较大的岩溶高地,奥陶系下段含泥质较重,不利于岩溶作用发生。

4.2 多期构造运动为岩溶的形成提供了构造背景

构造作用在岩溶储层的发育过程中是必不可少的因素,无论是碳酸盐台地的整体抬升还是局部的构造断裂,都对岩溶的发育起到积极作用^[13]。峰峰组沉积晚期的加里东运动和暴露期最长的海西早期运动导致志留系—泥盆系、中—上奥陶统大部分被剥蚀,中—下奥陶统灰岩普遍遭受长期的淡水淋滤和溶蚀作用,致使风化壳岩溶在区内广泛分布。研究区抬升过程中在不整合附近形成的孔、洞、缝成为碳酸盐岩储层最主要的先存孔隙,它为以后有效储集空间的进一步扩大形成奠定了良好的基础^[12,14]。褶皱为主的中生代块断活动,不仅造成了元古宇—下古生界不同时代地层在不同构造位置的出露剥蚀,也发育了一系列北西、北西西及北东向断层,形成多期、多组系的断裂网络。断层及其伴生裂缝的发育带是岩溶储层有利的发育部位^[15]。因为断裂的发育一方面派生一系列裂缝,扩大储集空间,改善储集条件,提高渗透能力;另一方面断裂及其派生的裂缝系统为大气淡水渗滤进行深部溶蚀提供了通道。目前发现的加里东期岩溶多分布于断裂带附近,如任38井位于饶阳二级断裂交汇处,该井裂缝发育,岩溶作用强烈,有严重漏失,并钻获高产油气流;而南马庄油田的马古4、马6、西7等井也位于断裂附近,缝洞连通性较好,是有利的储层发育区。在多期构造应力作用下发生的多期抬升剥蚀和破裂裂隙,为该区岩溶的发育提供了良好的构造背景。

4.3 多套烃源岩的演化为岩溶发育提供了地下水酸性环境

冀中拗陷发育了多套烃源层,其中古近系泥质烃源层是该区生油气主体,其次是煤、泥岩为主的石炭系—二叠系。埋藏后期烃源岩有机质热演化为岩溶的发育提供了地下水酸性背景。生、排烃过程中形成的酸性流体对改善碳酸盐岩储集性能有良好的促进作用^[3,16],这种埋藏有机溶蚀作用发生于海西期及其后的深埋藏成岩环境。

受海西运动影响,中石炭世华北地台整体下降接受沉积,奥陶系风化壳被石炭系—二叠系及更年轻地层覆盖。上覆含煤泥质岩压实过程中不断排出富含有机质、CO₂及H₂S等的酸性压释水,这种酸性流体可以复活部分先期被充填的孔、洞、缝,又可以在此基础上产生新的储集空间^[17-18]。喜马拉雅运动之后,全区进入埋藏封闭环境,潜山上覆第三纪沉积厚度增大,有机质成熟脱羧基作用的成岩演化增强。其形成的有机酸性水沿着不整合面或裂缝系统向古隆起顶部和古风化壳储层运移聚集,通过对流循环发育岩溶,同时这种埋藏有机溶蚀作用叠加于此前的各种古岩溶作用之上,对前期方解石、白云石中的晶间溶孔、晶间溶缝进行溶蚀再改造。

埋藏型岩溶的溶蚀作用属于非选择性溶蚀^[19],但由于深埋环境温度高,压力大,CO₂对白云岩溶解率比灰岩要大,常常在构造破碎、裂缝及断裂发育地段溶蚀作用增强,形成较有利的储层,使潜山储层的非均质性进一步增强。如饶阳凹陷雾迷山组不整合面以下600~800m深度范围内,发育大量次生孔缝,这是深部岩溶改造的结果。

5 结 论

(1)冀中拗陷自蓟县纪杨庄运动以来经历了七次较大规模的构造运动,伴随发育有七期岩溶。前六期岩溶没有太多保存下来,冀中拗陷潜山目前发现的岩溶储层大都为第Ⅶ期岩溶的结果,它可划分为三个次级岩溶期。

(2)冀中拗陷潜山碳酸盐岩在多个层位发生了第Ⅶ期岩溶,尤其是蓟县系雾迷山组、寒武系及奥陶系溶蚀现象普遍。全区各岩溶层位中最多可识别出第Ⅶ期岩溶中的全部三期次级岩溶,如雾迷山组;奥陶系中保存了两期次级岩溶;寒武系只保留了最后

一期次级岩溶。

(3)冀中坳陷水平岩溶带深度变化特点为距前第三系顶面深度由凹陷处(最小值小于100 m)向凸起处(最大值大于1600 m)增大;而水平岩溶带的厚度则由凹陷处(最大值大于240 m)向凸起处(最小值小于10 m)减小。

(4)构造运动、多层系碳酸盐岩地层分布以及多套烃源岩的生烃演化,是影响坳陷内岩溶发育的三个主要控制因素。

参考文献

- [1] Fritz R D, Wolson J L, Yurewicz D A. Paleokarst related hydrocarbon reservoirs [M]. New Orleans: SEPM CoreWorkshop, 1993.
- [2] 宋来明, 彭仕宓, 穆立华, 等. 油气勘探中的碳酸盐岩古岩溶研究方法综述[J]. 煤田地质与勘探, 2005, 33(3): 15-18.
- [3] 陈学时, 易万霞, 卢文忠. 中国油气田古岩溶与油气储层[J]. 海相油气地质, 2002, 7(4): 13-25.
- [4] Ognjen Bonacci. Ground water behaviour in karst: Example of the Ombla Spring (Croatia) [J]. Journal of Hydrology, 1995, 165: 113-134.
- [5] 余家仁. 华北潜山油藏碳酸盐岩储层研究[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993: 7-11.
- [6] 华北油田石油地质志编写组. 中国石油地质志: 卷五 华北油田[M]. 北京: 石油工业出版社, 1988: 3-26.
- [7] 韩宝平, 刘仁达, 罗承建, 等. 岩溶作用对任丘古潜山碳酸盐

- 岩油藏赋存的控制作用[J]. 中国岩溶, 1998, 17(1): 75-80.
- [8] 陈强路, 王恕一, 钱一雄, 等. 塔里木盆地阿克库勒地区下奥陶统古岩溶及油气分布[J]. 沉积学报, 2002, 20(4): 633-638.
- [9] 余家仁, 雷怀玉, 刘趁花. 试论海相碳酸盐岩储层发育的影响因素——以任丘油田雾迷山组为例[J]. 海相油气地质, 1998, 3(1): 39-48.
- [10] James N P, Choquette P W. Paleokarst [M]. New York: Springer-Verlag, 1988.
- [11] 赵贤正, 金凤鸣, 王余泉, 等. 冀中坳陷长洋淀地区“古储古堵”潜山成藏模式[J]. 石油学报, 2008, 29(4): 489-498.
- [12] 叶茂林, 邓强, 傅强. 百色盆地东部兰木组古岩溶储层特征及其主控因素[J]. 海相油气地质, 2006, 11(1): 15-20.
- [13] 鲁新便, 高博禹, 陈姝媚. 塔河油田下奥陶统碳酸盐岩古岩溶储层研究——以塔河油田6区为例[J]. 矿物岩石, 1998, 17(1): 75-80.
- [14] 李洪革, 杜旭东. 渤海湾地区中西部中生代构造特征及演化[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 1999, 23(3): 1-5.
- [15] 吴孔友, 洪梅, 刘伟, 徐黑. 埕北断阶区古岩溶测井相与演化模式[J]. 西南石油学院学报, 2000, 22(3): 21-24.
- [16] 李淳. 川东石炭系碳酸盐岩成岩环境对次生孔隙的影响[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 1999, 23(5): 6-8.
- [17] 袁静. 埕北30区块潜山油气藏下古生界储层特征[J]. 天然气工业, 2004, 24(11): 22-25.
- [18] 李振宏, 郑聪斌. 鄂尔多斯盆地东部奥陶系储层特征及控制因素[J]. 天然气地球科学, 2004, 15(6): 604-609.
- [19] 刘家铎, 孟万斌, 周文, 等. 埕岛—胜海潜山带的古岩溶作用[J]. 古地理学报, 1999, 1(4): 79-85.

编辑: 吴厚松

Development Rule and Controlling Factors of Pre-Tertiary Karst in Jizhong Depression, Bohaiwan Basin

Wu Kongyou, Wang Yujie, Zhang Jinlin, Zang Mingfeng

Abstract: Seven large-scale tectonic movements have occurred in Jizhong Depression since Yangzhuang movement during Mesoproterozoic Jixiang period, which caused seven periods of karstification but only the final period, the Period VII of karstification, that happened in the Indosinian-Yanshan Movement was preserved well. The period VII of karstification can be divided into three sub-karstification stages. Karstification occurred in many carbonate beds of buried hills from Gaoyuzhuang Formation of Mesoproterozoic Changcheng system to Fengfeng Formation of Lower Palaeozoic Ordovician system, especially common in Mesoproterozoic Jixian dolomite and Mesozoic Ordovician limestone. There are three sub-karstification stages of the Period VII in vertical and the corresponding beds of them mainly are Jixian Wumishan Formation, Cambrian and Ordovician karsts. Karst directly results in a great amount of mud loss in drillings. The mud loss of a single layer in a single well is less than 50 m³ and the total rate of mud loss reaches to 60% in every bed. The largest amount of mud loss of a single well happened in some bed of Wumishan Formation, which was up to more than 500m³. The less amount of mud loss was in Ordovician beds and the least in Cambrian one. In generally, the karst in this depression exhibits that the depth of the horizontal karst belt to the paleosurface increases from sag to arch while oppositely the thickness of the horizontal karst belt just decreases from sag to arch. It is concluded that the main controlling factors affecting development of the karstification are tectonic movement, development of multibedded carbonate rock, and evolution of several sets of source rocks.

Key words: Buried hill reservoir; Palaeokarst; Karstification; Mud loss; Controlling factor; Jizhong Depression

Wu Kongyou: male, Associate Professor. Add: College of Geo-Resources and Information, China University of Petroleum, 66 Changjiang Xi Rd., Qingdao, Shandong, 266555 China