

渤海湾盆地大港探区加里东期不整合面特征再认识

韩品龙¹,肖敦清²,王居峰¹

(1. 中国石油 勘探开发研究院 石油天然气地质所,北京 100083; 2. 中国石油 大港油田公司,天津 大港 300280)

摘要:应用“地层尺度”方法,通过在区域地层框架下的岩性组合和电测曲线特征,将大港探区奥陶系峰峰组划分为若干小层,并在全区开展小层对比,研究不同小层经加里东运动改造后在奥陶系顶部不整合面的出露情况,以期还原加里东运动后的古地貌形态。研究结果表明,大港探区加里东期不整合面是小层(十~几十米)级别的低角度不整合,加里东运动改造后地势总体呈北高南低、东高西低的地貌形态,峰峰组小层出露具有由低向高逐渐变老的特点;该低角度不整合的存在改变了以往的认识,还原了加里东运动对奥陶系地层的影响,同时在峰峰组小层框架下,揭示了受第5小层控制,上、下碳酸盐储层在纵向上具有不同的发育规律,其上发育岩溶喀斯特及团块状白云岩储层,其下发育层状白云岩储层,在黄骀坳陷中南部地区连续分布,具备较好的储集性能。上覆煤系地层沉积覆盖后与下伏奥陶系储层形成多类型的源-储配置关系,具有捕获后期生成油气的条件。

关键词:白云岩储层;地层尺度法;不整合面;峰峰组;奥陶系;加里东期;大港探区;渤海湾盆地

中图分类号:TE121.3

文献标识码:A

A new perspective on the features of the Caledonian unconformity in Dagang exploration area, Bohai Bay Basin

Han Pinlong¹, Xiao Dunqing², Wang Jufeng¹

(1. Department of Geology under Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Beijing 100083, China;

2. Dagang Oilfield Company, PetroChina, Dagang, Tianjin 300280, China)

Abstract: To restore the post-Caledonian paleogeomorphology of the Dagang exploration area, an innovative “scaled stratigraphy” method, in which a regional substratum division coupled with the substratum correlation based on lithological composition and electric logs is conducted, is used to investigate the substratum outcrops of the Ordovician Fengfeng Formation in the area. The result shows that the Caledonian unconformity is of low-angle substrata of ten to dozens of meters thick and its paleo-geomorphology shows an overall northward and eastward rising, and that the outcropped substrata have a tendency of aging upward. This low-angle feature altered the conventional understanding of the Caledonian unconformity in the area and highlighted the influence of Caledonian movement on the Ordovician strata. This study also reveals that, within the Fengfeng Formation, the Substratum V controls the vertical distribution of carbonate reservoirs, which are considered quality reservoirs as they are sandwiched between karst with lumpy dolomite at the top and layered dolomite at the bottom, and continuously occur in central and southern Huanghua Depression. The Ordovician Fengfeng Formation bounded by the Caledonian unconformity as a whole, together with overlying coal seam sedimentation and underlying Ordovician reservoirs, forms a good source rock-reservoir combination for later generated oil or gas.

Key words: dolomite reservoir, scaled stratigraphy, unconformity, Fengfeng Formation, Ordovician, Caledonian period, Dagang exploration area, Bohai Bay Basin

大港探区的古生界潜山(尤其是奥陶系)油气勘探历经50余年的历程,1984年冀中坳陷任丘古潜山发现以后,大港探区也进行了持续不断的探索,先后发现了孔西和千米桥潜山等奥陶系潜山油藏以及多个出

油气井点。特别是2000年以后大港探区加强了古生界原生油气藏的勘探,钻探的乌马营潜山西部逆冲带相继在上古生界石炭系-二叠系,下古生界奥陶系乌马营背斜、王官屯潜山、岐北潜山、海古潜山等取得了

收稿日期:2019-04-26;修订日期:2021-02-26。

第一作者简介:韩品龙(1966—),男,高级工程师,石油地质综合研究。E-mail:pinlonghan613@petrochina.com.cn。

基金项目:中国石油天然气股份有限公司勘探生产公司项目(101018kt1022001b22)。

以上古生界煤系为源岩的潜山勘探突破,证实大港探区的中南部地区是寻找古生界原生油气藏的有利地区,表明渤海湾盆地成熟探区的下古生界奥陶系仍然具有一定的油气勘探潜力,值得进一步研究和探索。奥陶系潜山长期以来一直作为潜山勘探的重要目的层系,主要的认识是奥陶纪末期开始的加里东运动使奥陶系历经长达 1.3~1.5 亿年的风化剥蚀改造,奥陶系碳酸岩地层经长期的风化淋滤作用,溶蚀孔洞发育,再加上中生代以来断裂活动的改造叠加,通常应具有一定的储集能力,只要具备了油气源的供给和圈闭的有效发育,就有可能找到油气藏,但大港探区多年的奥陶系潜山油气勘探事实是大部分地区并未取得实质性进展。为了探究奥陶系潜山油藏形成的主要控制因

素,本文应用大量的奥陶系钻孔资料的分析、对比,来研究明确奥陶系峰峰组顶面及内幕储层发育规律,以期能够有效指导潜山区带、目标评价及勘探部署,有着重要的实际生产意义。

1 区域地质概况

大港探区位于天津市东南 50 km,地处沿海经济发达地区,是重要的石油工业基地,行政区划主体隶属天津市及河北省管辖。探区区域地质构造单元位于渤海湾盆地腹部,面积约 $2 \times 10^4 \text{ km}^2$,内部含黄骅坳陷、沧县隆起及埕宁隆起等 3 个一级构造单元。主体探区集中在黄骅坳陷(图 1),其内部包含沧东-南皮凹陷、

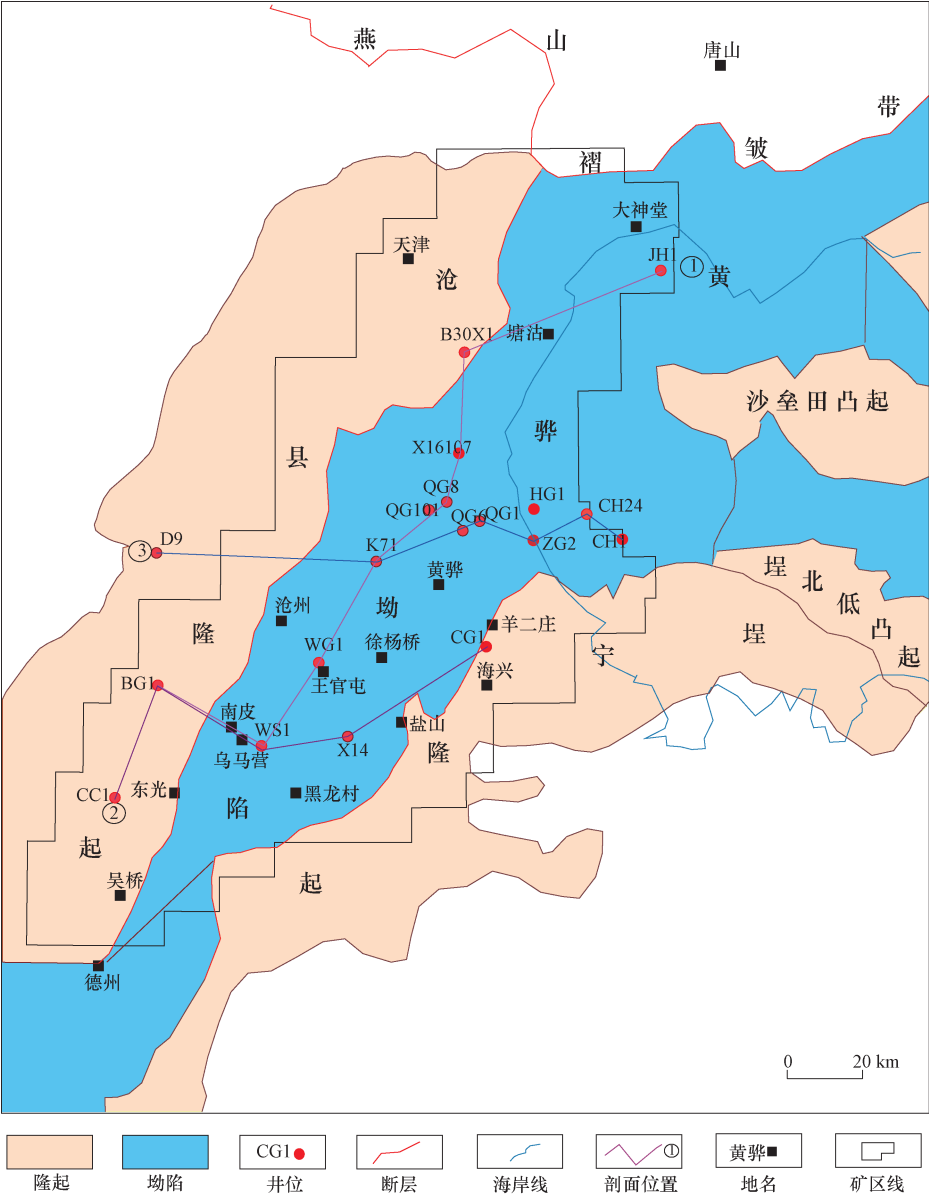


图 1 大港探区区域构造及剖面位置

Fig.1 Sketch map showing the regional structures and section locations in Dagang exploration area

歧口凹陷、板桥凹陷以及北塘凹陷等 4 个次一级古近系生烃凹陷。黄骅坳陷是一个在华北克拉通裂解基础上发育起来的中新生代断陷盆地,主要含油气层系集中分布在古近系、新近系。奥陶系与石炭系-二叠系构成盆地前白垩纪的“基底”,古生代地层经历中新世代构造运动及块断活动的分割改造,多以“潜山”面貌出现在坳陷中不同部位^[1-4]。下古生界奥陶系沉积时期大港探区统一于华北克拉通盆地,为广阔的陆表海沉积环境,沉积层分布稳定,岩、电对比标志清晰,横向易于追踪,在大港探区甚至华北克拉通内部地层厚度大多在 600~800 m,前期多位学者研究认为整体沉积演化过程也与华北克拉通古生代基本一致。

2 奥陶系地层特征

大港探区奥陶系划分沿习了华北地区的分层方案^[5],与鄂尔多斯盆地的划分方案存在一定差异,但各层组之间的对应关系还是比较明确的^[6](表 1)。地层序自下而上依次沉积了奥陶系下统冶里组、亮甲山组,中统下马家沟组、上马家沟组及峰峰组海相碳酸盐岩地层,地层总厚度 600~800 m,峰峰组在华北克拉通大部,尤其是渤海湾盆地各坳陷均有分布,年代地层格架跨越部分中、上奥陶统,与鄂尔多斯盆地马家沟组六段大体相当。黄骅坳陷孔店地区的 K71 井揭露奥陶系视厚度为 860 m,北大港地区 G59 井揭露奥陶系视厚度 780 m,在渤海湾盆地乃至整个华北克拉通,无论岩性还是电性特征均具有很好的可对比性^[7]。

1) 冶里组(O_1y)

褐灰、深灰色块状灰岩、泥质灰岩夹薄层竹叶状灰岩,GR 曲线低幅齿化,间夹薄层中幅齿化段。地层视厚度为 119 m(TG1 井 2 316.5~2 435.5 m)。

2) 亮甲山组(O_1l)

岩性以深棕褐色、浅灰色中-细晶白云岩为主,北大港地区太古 1 井下部为中-薄层白云质灰岩,上部为中-薄层泥质白云岩,其间夹 3~4 层泥膏、石膏岩。GR 曲线以低幅齿化曲线为特征,地层视厚度为 100 m 左右(TG1 井 2 217~2 316.5 m)。

3) 下马家沟组(O_2m^1)

岩性以褐色泥质灰岩、白云质灰岩为主。纵向上分为两段,下段以褐色泥质灰岩为主,夹薄层褐色泥质白云岩,GR 曲线以中幅齿化曲线为特征,泥质含量较高;上段以褐色灰岩为主间夹薄层灰质白云岩和薄层凝灰岩,GR 曲线为低幅微齿化曲线特征,泥质含量较低。地层视厚度为 200~210 m(XG2 井 2 272~2 484 m)。

4) 上马家沟组(O_2m^2)

褐色、灰色、暗灰色泥质白云岩、灰质白云岩、泥质灰岩、白云质灰岩。纵向上可以分为 3 个主要岩性段。下段以中-薄层褐色泥质白云岩为主,泥质含量较高,GR 曲线为中幅齿化曲线为特征;中段岩性主要为灰色泥质灰岩,白云质灰岩,GR 曲线为低幅微齿化曲线特征;上部为褐色夹深灰色薄-中层灰质白云岩,GR 曲线为比中段稍高的微幅齿化曲线。地层视厚度为 200~210 m(XG2 井 2 063.5~2 272 m)。

表 1 华北克拉通下古生界奥陶系地层划分对比

Table 1 Stratigraphic division of the Palaeozoic Ordovician strata in North China Craton

年代地层划分					岩石地层划分								
年龄/Ma	系	统	国际标准	中国地层典	鄂尔多斯东缘		华北地台东部		鄂尔多斯盆地			本文	
445.2	奥陶系	上统	赫南特阶	赫南特阶									
			凯迪阶	钱塘江阶						背锅山组			
桑比阶			艾家山阶	平凉组									
453.0		中统	达瑞维尔阶	达瑞维尔阶	峰峰组	峰峰组	马家沟组	马六段		峰峰组			
					上马家沟组	上马家沟组		马五段		上马家沟组			
大坪阶			大坪阶	下马家沟组	下马家沟组			马四段					
									马三段		下马家沟组		
458.4		下统	弗洛阶	益阳阶	亮甲山组	亮甲山组		亮甲山组		亮甲山组			
								特马豆克阶	新厂阶	冶里组		冶里组	
467.3													
470.0													
477.7													
485.4													

注:表中竖线代表地层缺失。

5) 峰峰组(O₂f)

岩性以褐灰、深灰、浅灰、灰色泥质灰岩、白云质灰岩为主,底部为浅灰色、灰色白云岩,个别地区底部存在石膏岩,峰峰组顶部为加里东期不整合面,地层厚度变化较大,泥质含量较高,地层视厚度为 50 ~ 250 m。GR 曲线表现为多段不同的特征,存在 6 ~ 8 个高幅齿化、尖峰状 GR 曲线特征,代表着多个泥质夹层,该类泥质夹层在一定范围内具有等时意义,为小层划分提供了可靠的对比标志。

3 峰峰组小层划分和对比

3.1 峰峰组小层划分

本文采用沉积标志层对比法、旋回对比法和地层厚度对比法等进行了小层划分与对比。依据奥陶系峰

峰组的 GR 曲线特征,在对大港探区峰峰组井段地层保存较全且没有被断层错断、上覆地层为上古生界石炭系的多口探井进行分析的基础上,将奥陶系峰峰组进一步细分。细分原则是:1) 以峰峰组底部区域分布的“剪刀状”泥质灰岩和峰峰组中下段稳定分布的中厚层泥质灰岩作为区域对比标志层;2) 在区域对比标志层的约束下,以碳酸盐岩中的泥质夹层为等时界面,结合 GR 曲线特征、参考岩性组合及地层厚度进行细分和对比。

依据细分地层单元的划分原则,将大港探区钻穿奥陶系峰峰组的探井进行了地层细分和对比,采用油田开发阶段油层组命名原则,将奥陶系峰峰组自上而下划分为 10 个小层,依次是峰 1—峰 10 段。其中峰 5 段全区稳定分布、层段较厚、泥质含量较高,GR 曲线高幅齿状曲线形态的特征明显,是区域性对比的标志层(图 2)。

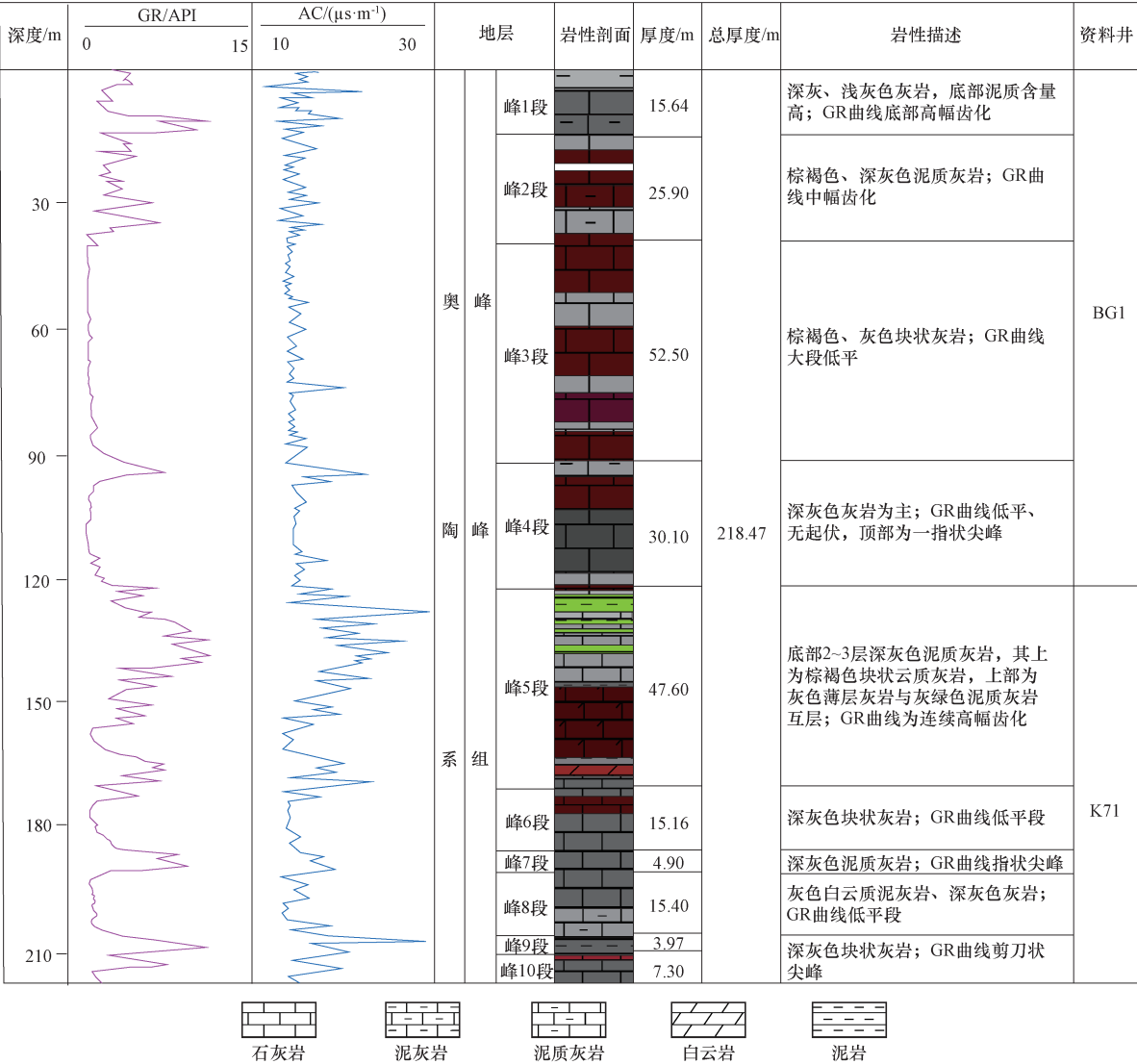


图 2 大港探区奥陶系峰峰组小层划分

Fig. 2 Substratum division of the Ordovician Fengfeng Formation in Dagang exploration area

3.2 峰峰组小层对比

结合大港探区的区域地质特点,建立骨架对比剖面,以了解峰峰组各段在探区内自南而北、自西向东的对比关系,并以此为基础研究峰峰组顶面地层剥蚀状况,进而揭示大港探区加里东抬升剥蚀期的岩溶和古地貌特征^[8]。

在黄骅拗陷内部自南向北的对比结果表明,BG1-WS1井区奥陶系顶面峰峰组主要出露峰1段,孔店凸起K71井区峰峰组剥露至峰4段,岐北潜山QG8井-港西地区主要剥露峰3段,而北大港的千米桥地区是中生界覆盖在奥陶系之上,奥陶系峰峰组被完全剥蚀,奥陶系顶部仅出露了不全的上、下马家沟组的地层,是因为叠加了印支—燕山期构造运动的改造剥蚀掉了奥陶系顶部—三叠系的正常地层,难寻加里东期不整合面的踪迹;北大港以北的板桥—长芦—北塘—涧南地区据B30X1,XG1,JH2等井揭示主要出露峰5段。大港探区自南向北呈现出峰峰组小层剥露逐层变老的地貌形态,反映了加里东运动结束后,古地势北高南低的地势特征。(图3)

探区南部的沧县隆起南段CC1井-埕宁隆起CG1井东西向对比剖面揭示自西向东逐层出露峰1、峰2、峰3段,在沧县隆起BG1-WS1井区奥陶系顶部出露峰1段,徐黑凸起上的X14井区出露峰2段,埕宁隆起西部的CG1井区出露峰3段,反映加里东运动期的峰峰组小层自两侧的隆起向拗陷内部逐渐变新,两侧的隆起侵蚀程度较拗陷区强烈,反映加里东运动期探区南部构造两侧隆起高,中间拗陷区低的地势特征(图4)。

埕海地区的沧县隆起中段—孔店凸起—埕宁隆起北坡自西向东依次出露峰2段和峰5段,在沧县隆起大城凸起的D9井区出露峰2段,在孔店凸起的K71井—南大港地区的QG1井区大部份出露峰3段,埕宁隆起北坡的ZG2,CH24井区出露峰4段,CH1井区出露峰5段。与图4相比,埕宁隆起北坡剥蚀至峰5段,反映自埕宁隆起向黄骅拗陷内部加里东古地貌的侵蚀层位由老至新,侵蚀程度由强到弱,加里东构造抬升期的古地势为东高西低的斜坡。(图5)

通过大港探区南北向与东西向峰峰组小层对比研究,基本可以勾画出大港探区加里东运动改造后的地貌形态,随着今后勘探程度的不断加深,前石炭纪地貌形态会越来越精细,越来越接近客观实际情况。因此认为:大港探区加里东期古地貌南北方向具有明显的分区性,探区内对比剖面显示奥陶系顶面峰峰组小层

的出露情况在大港探区的南、中、北3区存在着差异,具有明显的分段性,反映加里东运动后大港探区的地貌形态总体呈东高西低、北高南低的特征。

4 峰峰组顶面小层出露特征

大港探区在古生界基底基础上经历了印支期、燕山期及喜马拉雅期等后期构造运动的改造,致使加里东期构造运动的形迹被复杂化而难以准确追寻,一直以来,均认为大港探区加里东期为区域性平行不整合,岩溶地貌特征研究鲜有涉及。

通过在全区精细小层对比的基础上,针对大港探区峰峰组顶面小层出露情况进行了分析,并结合后期地层剥蚀改造后残余地层的分布,来研究加里东运动后下伏奥陶系的剥蚀程度,推断地貌起伏形态,预测有利储层发育区,力争对大港探区加里东期不整合面进行全面的再认识、还原其实际面貌,有着重要的科学及生产实际价值^[9-10]。

为此编制了反映大港探区奥陶系顶面峰峰组小层段出露情况的前石炭纪地质图,如图6揭示了峰峰组小层段自大港探区孔店南部向北至北塘地区出露具有逐层变老的特点。探区南部的BG1井-WS1井区地层出露最新的峰1段,在WG1以北至北大港以南的区域地层比较复杂,剥蚀程度差异较大,局部剥蚀到峰2段,在K72,WG1井出露峰4段,在埕宁隆起的西北坡区域向盆地内部依次变新,出露峰5、峰3段,反映出加里东期古地形自隆起向盆内由高变低,出露地层依次变新。而在北大港的千米桥地区缺失峰峰组,该区不仅缺失峰峰组,还同时缺失上古生界石炭系—二叠系,中生界直接覆盖在马家沟组之上,是印支—燕山运动改造、抬升、剥蚀的结果,因而不能反映加里东期的不整合面貌。千米桥以北的板桥—北塘地区自南向北逐层剥蚀,地层逐层变老,依次出露峰3、峰5段。而埕宁隆起的西北方向向黄骅拗陷一侧出露峰5、峰4段,反映向埕宁隆起方向地层逐渐抬升剥蚀,而在埕宁隆起可能出露更老的峰峰组,因无井钻遇,目前还无法考证。总之,大港探区峰峰组剥蚀程度存在着较大的差异,自南而北大致分为4个区域:一是剥蚀程度较弱、峰峰组保存较全的孔店以南地区,出露峰1段揭示该区加里东运动改造后侵蚀较弱区,推测前石炭纪为古地貌洼地—斜坡过渡的岩溶地貌;二是孔店以北至北大港以南地区,古地势起伏较大,该区大范围出露峰3段,局部井区还出露了峰2、峰4段,反映了古地貌侵蚀程度存在较大差异,推断为前石炭纪岩溶台地区;三

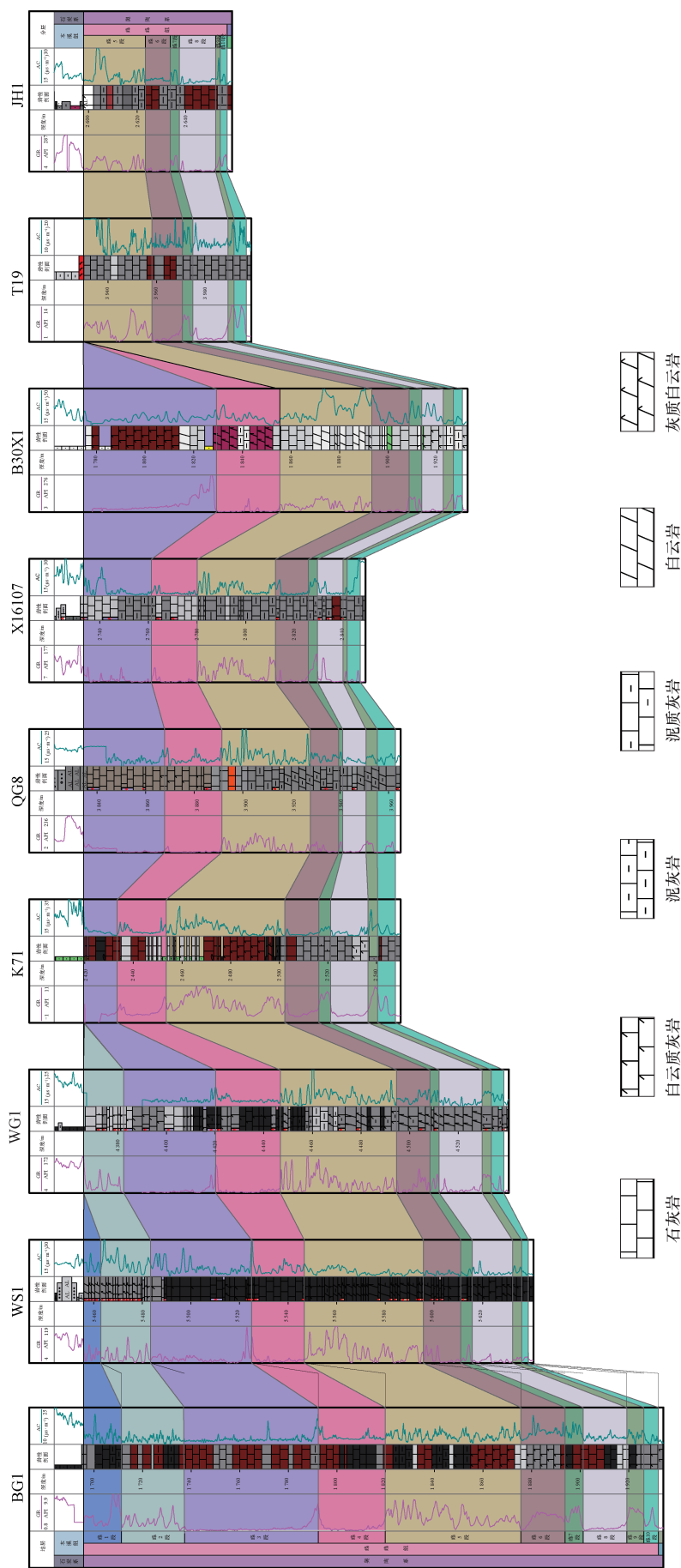


图3 大港探区南皮凹陷-孔店凸起-北塘凹陷奥陶系峰峰组南北向地层对比(剖面位置见图1的①)

Fig.3 Stratum correlation of the Ordovician Fengfeng Formation across Nanpi Sag-Kongdian Salient Beitang Sag.(see Fig.1 ① for the section location)

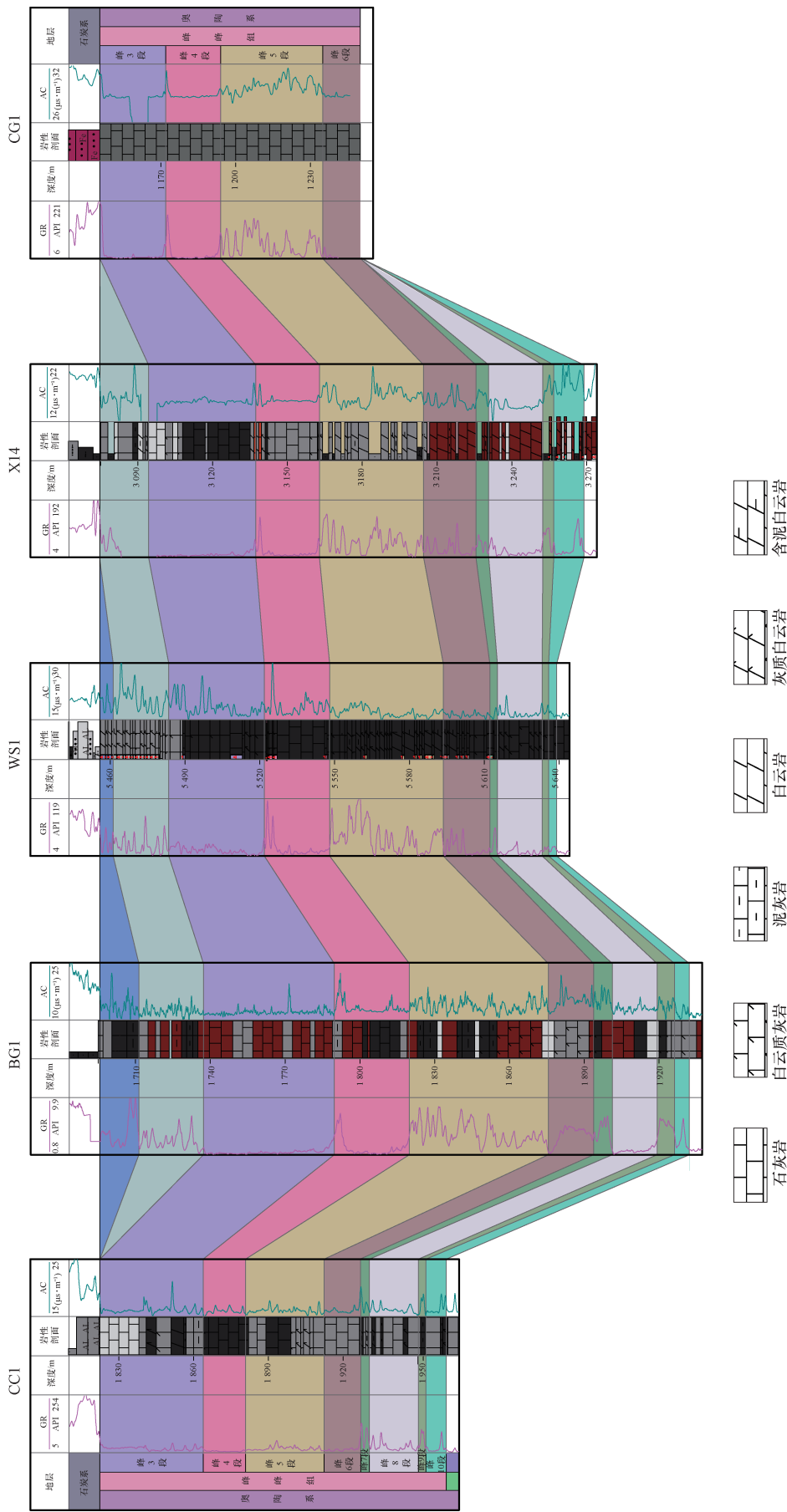


图4大港探区南部沧县隆起-埕宁隆起奥陶系峰峰组东西向地层对比 (剖面位置如图1②)
Fig.4 EW-trending stratigraphic correlation of the Ordovician Fengfeng Formation across Cangxian Uplift-Chengning Uplift in the south of Dagang exploration area
(see Fig.1② for the section location)

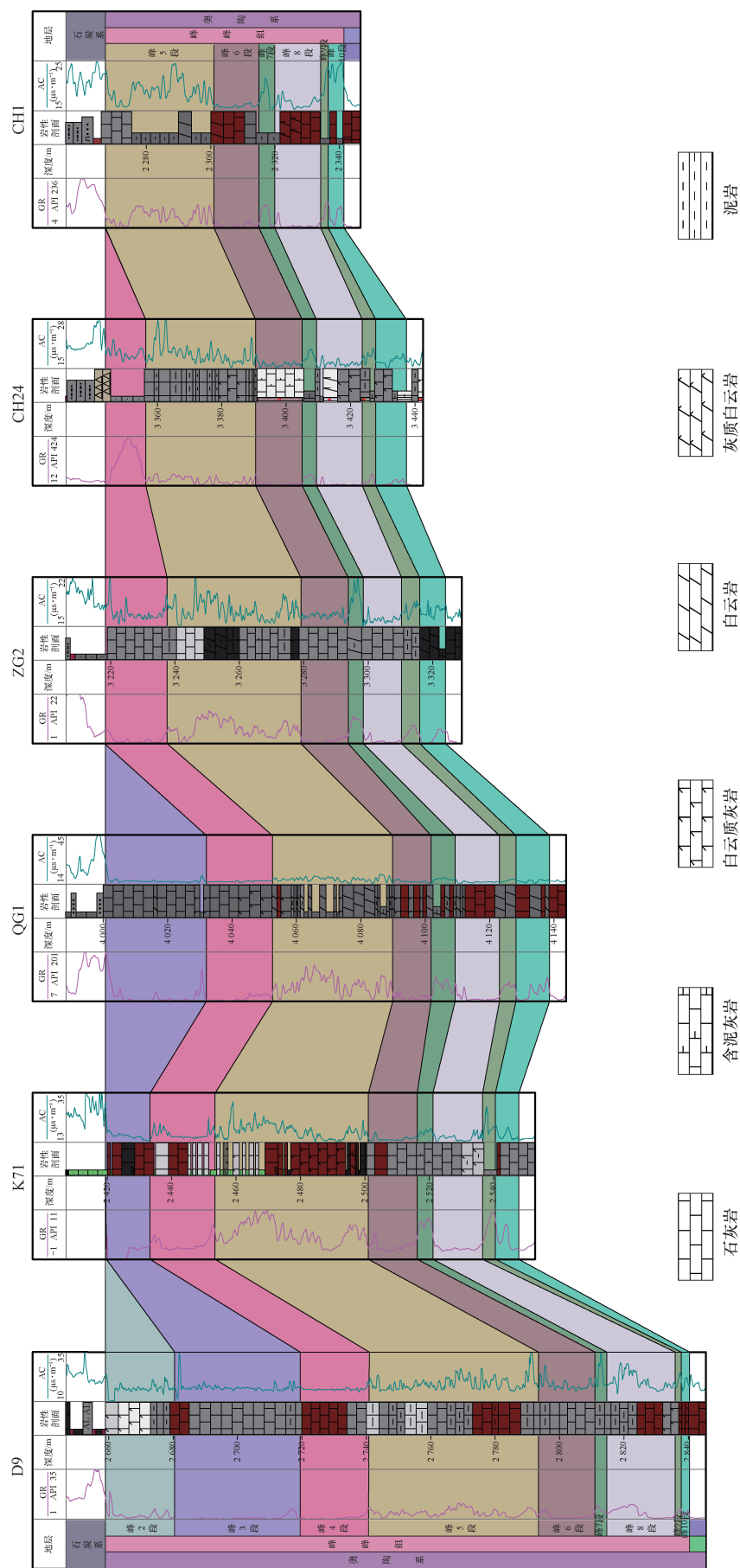


图5 大港探区沧县隆起-南大港-埕宁隆起北坡奥陶系峰峰组东西向地层对比 (剖面位置如图1③)

Fig.5 EW-trending stratigraphic correlation of the Ordovician Fengfeng Formation on the north slope of Cangxian Uplift-Nandagang-Chengning Uplift in Dagang exploration area (see Fig.1③ for the section location)

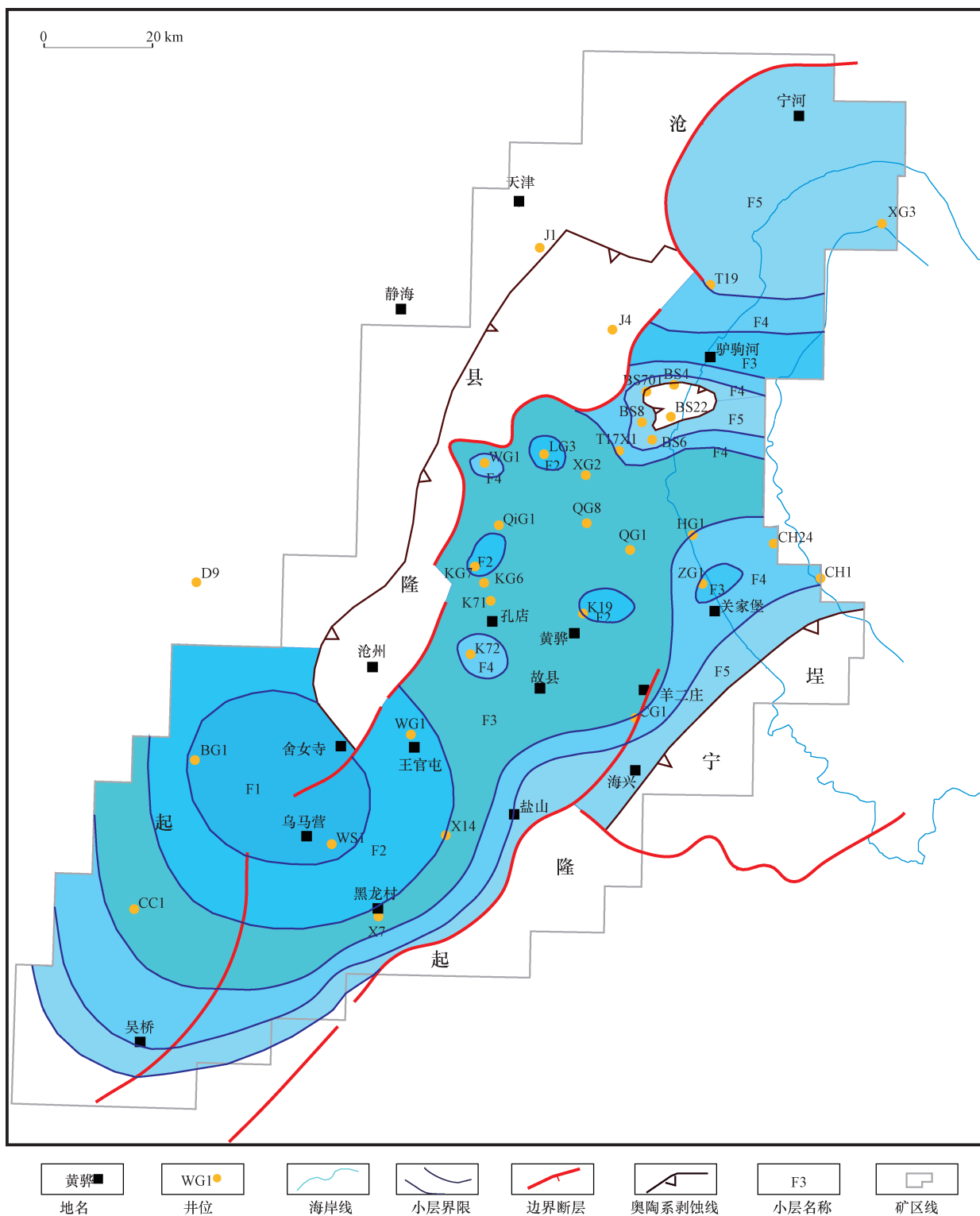


图6 大港探区前石炭纪地质图

Fig. 6 Geological map of the pre-Carboniferous period in Dagang exploration area

是千米桥地区,主体缺失峰峰组,奥陶系顶部出露上马家沟组,其上与中生界接触,为印支-燕山运动叠加改造的结果,未能反映加里东期岩溶地貌特征;四是北大港以北的板桥-北塘地区,自南向北依次出露峰3、峰4、峰5段,加里东运动改造后地势要高于黄骅坳陷北

大港及以南的地区,是侵蚀最为强烈的区域,为前石炭纪岩溶高地地貌特征。由此可见,大港探区前石炭纪加里东期自北部的北塘及东南侧的埕宁隆起向拗陷一侧,峰峰组小层出露最老,而南侧的乌马营-泊头地区出露峰峰组小层最新,显示了古地势由高到低的地貌

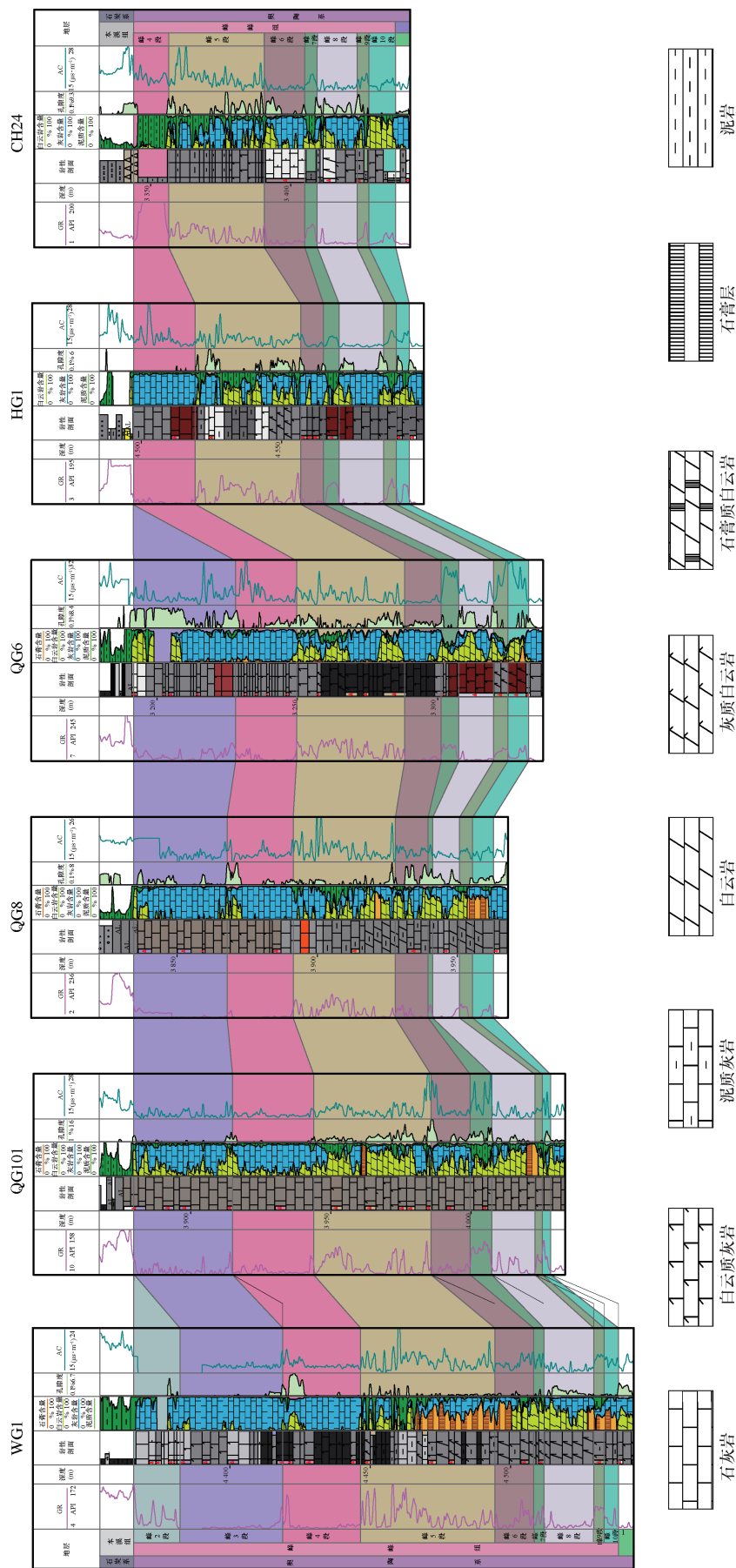


图7 大港探区孔店南部-埕海地区奥陶系峰峰组小层岩性对比图(剖面位置与部分②③重合)
Fig.7 Lithology correlation of a single strata of the Ordovician Formation from south of Kongdian to Chenghai area in Dagang exploration area
(the section partially overlapped ② and ③ in Fig.1)

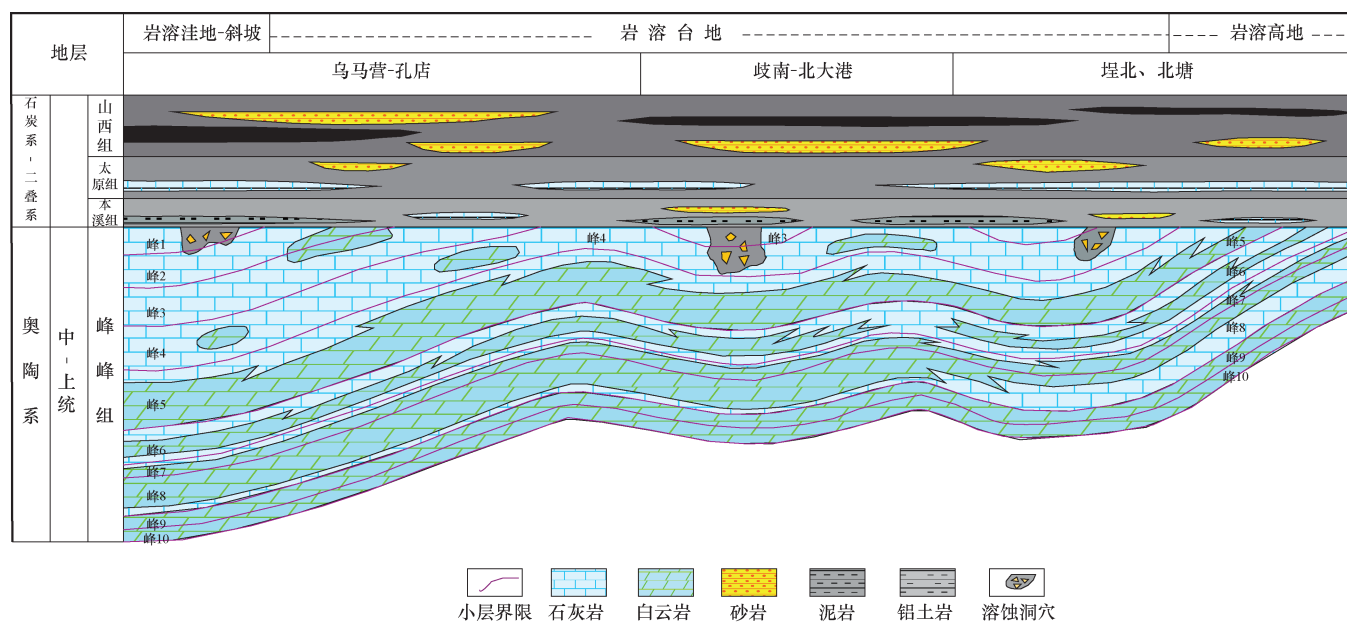


图8 大港探区奥陶系峰峰组与上覆煤系地层接触关系模式及圈闭类型

Fig. 8 Contact patterns and trap types of the Ordovician Fengfeng Formation and overlying coal measures in Dagang exploration area

特征,岩溶地貌依次显示岩溶高地、岩溶台地、岩溶斜坡、岩溶洼地的地貌特点。加里东运动抬升剥蚀并非以前一直认为的是“整体抬升、近准平原化”,事实是加里东运动造成奥陶系顶部地层具有一定幅度的高低起伏,后经剥蚀改造,在小层级别上显示出“低角度”的不整合特征(图8)。

因此,经综合研究认为:大港探区加里东期不整合面是一个小层(十~几十米)级别的低角度不整合^[11-12]。依奥陶系峰峰组小层出露情况分析,大港探区奥陶系经加里东运动改造后自南向北大致分为孔店及以南地区、孔店-北大港、板桥-北塘3个侵蚀程度不同的地区。按照侵蚀程度的差异,推断大港探区前石炭纪古地貌具有“北高南低、东高西低、南北分区”的特征。

5 加里东运动对奥陶系储层发育的影响

据录井岩性、取心状况和测井解释结果联井对比分析发现,峰1段—峰4段以泥质含量较高的灰岩、泥质灰岩为主,峰5段以下碳酸盐地层以白云岩为主。前人模拟地表环境下碳酸盐岩溶蚀过程的实验结果表明:无论是常温常压还是相对高压的埋藏成岩条件,碳酸盐岩的溶解速率都与其矿物组成有关,但在不同的温压区间中呈现出完全不同的相关关系:1)在近地表的温压条件(40℃,常压)下,碳酸盐岩中方解石含量越高,其溶解速率越快,即方解石的溶解速率大于白云

石,因而在近地表的表生条件下的石灰岩地层的喀斯特更为发育。2)在75℃,20 MPa的温压区间,碳酸盐的溶解过程中仍是岩石中方解石含量越高,其溶解速率越快,即方解石的溶解速率大于白云石,但方解石与白云石之间的溶解速率的差值已大大小于近地表温压条件的实验。3)大于75℃,20 MPa的成岩温压区间,碳酸盐中方解石含量越高,其溶解速率越低,方解石的溶解速率大大小于白云石,白云石的溶蚀作用比石灰岩更为发育,白云岩比石灰岩更容易在较深埋藏成岩条件下形成溶蚀孔隙^[13]。

如此来看,大港探区奥陶系峰峰组在峰1—峰4段以灰岩为主,峰5—峰10段地层剖面中以灰岩与白云岩互层出现。由于灰岩在表生岩溶条件下比白云岩更容易溶蚀,峰1—峰4段灰岩在加里东期表层岩溶条件下由于溶蚀作用强烈,易产生溶蚀孔洞,喀斯特比较发育,具有较好的储集空间,是岩溶缝洞型储层发育的有利层段;峰5—峰10段白云岩在测井岩性解释剖面上小层内白云岩较为发育,横向连续性、成层性较好,易构成层状规模化储层;白云岩在表生环境下比灰岩更难于溶蚀,而在埋藏环境下白云岩的溶蚀速率要大于灰岩,因此,储集性能经溶蚀改造后更佳,是寻找白云岩规模化储层的有利层段。结合四川、塔里木盆地等近期白云岩储层油气勘探效果较好的实践^[14-17],层状白云岩储层经后期断裂活动沟通上古生界煤系或古近系油源,可望在大港探区奥陶系峰峰组5—10段及以下白云岩储层中发现油气藏^[18-20]。

依据峰峰组储层纵向上的发育规律结合大港探区峰峰组小层出露情况,在大港探区奥陶系不同地区存在3种可能的“源-储配置关系”:①在大港探区南部的乌马营-孔店地区,该区向南为岩溶洼地-斜坡区,奥陶系出露峰1—峰4段,与上覆上古生界煤系地层接触,预测峰1—峰4段以寻找岩溶孔洞性储层为主要储集空间的油气藏类型。②歧南-北大港地区不整合面出露峰3—峰4段,应为岩溶台地区,小层与上覆煤系地层接触后,在不整合面附近同样以溶蚀孔洞型储层形成的油气藏为主。这两个地区峰5段及以下白云岩层状储层形成的油气藏需要后期断裂改造与煤系源岩或古近系源岩形成有效沟通。③埕北-北塘地区加里东运动后期剥蚀至峰5段及以下地层,形成层状白云岩储层与上覆煤系地层的直接接触,在煤系地层二次生烃的条件下,有可能形成直接的源储对接,形成地层圈闭型油气藏^[21]。

目前,大港探区奥陶系发现的油气藏主要以古地貌溶蚀孔洞、裂缝型油气藏为主,加里东期低角度不整合面的存在预示着可能发育有峰5—10段白云岩储层与上覆的石炭系-二叠系烃源岩接触,构成可能的地层圈闭型油气藏,如果后期保存条件好,能够有效保存下来,势必将成为奥陶系潜山新的勘探对象。总体来看,大港探区奥陶系作为新生代盆地的潜山勘探对象,建议大港探区埕宁隆起北坡及北塘凹陷区的奥陶系的勘探关注该种地层油气藏和有断层沟通至石炭系-二叠系烃源岩的构造气藏;同时,在大港探区中区-南区加强有断层沟通至石炭系-二叠系烃源岩及古近系烃源岩的峰峰组第5小层以下的层状白云岩为储层的构造油气藏的勘探。(图8)

6 结论

1) 研究大港探区加里东期风化剥蚀面貌,应用奥陶系顶部小层划分对比不失为一种有效实用的技术手段,可在整个渤海湾盆地的加里东期不整合研究中均可以推广应用,成为研究华北克拉通内部奥陶系峰峰组及在渤海湾盆地奥陶系加里东运动性质及加里东期古地貌形态的有效技术方法。

2) 通过小层对比及奥陶系峰峰组顶面剥蚀出露小层的层位可还原加里东期不整合面的起伏形态。本次研究提出大港探区的加里东运动改造后奥陶系为宽缓低幅褶皱区,经历1.3~1.5亿年的风化剥蚀后,使得奥陶系峰峰组与上覆石炭系间表现为十~几十米级别的低角度不整合形态,为渤海湾盆地加里东期古地

貌恢复打下了基础,拓展了大港探区奥陶系潜山的勘探思路。

3) 受奥陶系峰峰组第5小层连续泥质含量较高的层段控制,发育上、下两种不同的储层类型,峰4段及以上地层岩性主要以块状灰岩、泥质灰岩为主,喀斯特发育,主要形成岩溶孔洞型储层。峰5段及以下地层中白云岩发育、成层性好、呈区域性连续分布,易形成层状白云岩晶间孔型储层,可能为奥陶系峰峰组勘探新的目的层段。

致谢:本文研究过程中得到了中国地质大学(北京)何登发教授、中国石油勘探开发研究院靳久强教授,地质所吴丰成、王夏阳,大港油田公司勘探开发研究院付立新、李红军、楼达、戴尽辉、崔宇等同志的悉心指导与帮助,在此一并表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 马立驰,王永诗,景安语.渤海湾盆地济阳拗陷隐蔽潜山油藏新发现及其意义[J].石油实验地质,2020,42(1):13-18.
Ma Lichi, Wang Yongshi, Jing Anyu. Discovery and significance of subtle buried hills in Jiyang Depression, Bohai Bay Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2020, 42(1): 13-18.
- [2] 赵凯,蒋有录,胡洪瑾,等.济阳拗陷潜山油气分布规律及富集样式[J].断块油气田,2018,25(2):137-140.
Zhao Kai, Jiang Youlu, Hu Hongjin, et al. Distribution regularities and enrichment styles of buried-hill reservoirs in Jiyang Depression[J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2018, 25(2): 137-140.
- [3] 薛辉.廊固凹陷马家沟组潜山白云岩储层特征及成因[J].断块油气田,2018,25(5):573-578.
Xue Hui. Characteristics and genesis of buried-hill dolomite reservoir in Majiagou Formation, Langgu Depression[J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2018, 25(5): 573-578.
- [4] 左丽群.古地貌恢复方法综述[J].石油地质与工程,2019,33(3):12-16.
Zuo Liqun. Review on methods of paleo-geomorphologic restoration[J]. Petroleum Geology & Engineering, 2019, 33(3): 12-16.
- [5] 张元动,詹仁斌,甄勇毅,等.中国奥陶纪综合地层和时间框架[J].中国科学:地球科学,2019,49(1):66-92.
Zhang Yuandong, Zhan Renbin, Zhen Yongyi, et al. Ordovician integrative stratigraphy and timescale of China[J]. Science China Earth Sciences, 2019, 49(1): 66-92.
- [6] 史小颖,陈建强,梅仕龙,等.中朝地台奥陶系层序地层序列及其对比[J].地球科学-中国地质大学学报,1999,24(6):573-580.
Shi Xiaoying, Chen Jianqiang, Mei Shilong, et al. Ordovician sequence succession on Sino-Korea platform and their correlation[J]. Earth Science—Journal of China University of Geoscience 1999, 24(6): 573-580.
- [7] 林玉翔,朱传真,赵承锦,等.华北地台东部中奥陶世岩相古地理特征[J].石油实验地质,2016,38(5):559-568.
Lin Yuxiang, Zhu Chuanchen, Zhao Chengjin, et al. Lithofacies paleo-

- geography characteristics of middle Ordovician in the eastern part of north china platform [J]. *Experimental Petroleum Geology*, 2016, 38 (5): 559 – 568.
- [8] 包洪平, 杨帆, 白海峰, 等. 细分小层岩相古地理编图的沉积学研究及油气勘探意义——以鄂尔多斯地区中东部奥陶系马家沟组马五段为例[J]. *岩石学报*, 2017, 33(4): 1094 – 1106.
- Bao Hongping, Yang Fan, Bai Haifeng, et al. Sedimentology study on submember lithofacies paleogeography mapping and its petroleum exploration significance: Taking Ma5 member of Lower Ordovician Majiagou Formation in central-eastern Ordos Basin for example [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2017, 33(4): 1094 – 1106.
- [9] 何登发. 不整合面的结构与油气聚集[J]. *石油勘探与开发*, 2007, 34(2): 142 – 149.
- He Dengfa, Structure of unconformity and its control on hydrocarbon accumulation [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2007, 34 (2): 142 – 149.
- [10] 刘波, 王英华, 钱祥麟. 华北奥陶系两个不整合面的成因与相关区域性储层预测[J]. *沉积学报*, 1997, 1: 25 – 30.
- Liu Bo, Wang Yinghua, Qian Xianglin. The two Ordovician unconformities in N. China: Their origins and related regional reservoirs prediction [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1997, 1(5): 25 – 30.
- [11] 刘波, 钱祥麟, 王英华. 华北板块早古生代构造 – 沉积演化[J]. *地球科学*, 1997, 34(3): 347 – 356.
- Liu Bo, Qian Xianglin, Wang Yinghua. Tectono-sedimentary evolution of north china plate in early paleozoic [J]. *Scientia Geologica Sinica*. 1997, 34(3): 347 – 356.
- [12] 王国亭, 程立华, 孟德伟, 等. 鄂尔多斯盆地东部奥陶系古岩溶型碳酸盐岩致密储层特征、形成机理与天然气富集潜力[J]. *石油与天然气地质*, 2018, 39(4): 685 – 695.
- Wang Guoting, Cheng Lihua, Meng Dewei, et al. Characterization and formation of the Ordovician tight paleokarst carbonates in the eastern Ordos Basin and its gas accumulation [J]. *Oil & Gas Geology*, 2018, 39(4): 685 – 695.
- [13] 杨俊杰, 黄思静, 张文正, 等. 表生和埋藏成岩作用的温压条件下不同组成碳酸盐岩溶蚀成岩过程的实验模拟[J]. *沉积学报*, 1995, 13(4): 49 – 54.
- Yang Junjie, Huang Sijing, Zhang Wenzheng, et al. Experimental simulation of dissolution for carbonate with different composition under the conditions from epigenesis to burial diagenesis environment [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*. 1995, 13(4): 49 – 54.
- [14] 胡文革. 塔河碳酸盐岩缝洞型油藏开发技术及攻关方向[J]. *油气藏评价与开发*, 2020, 10(2): 1 – 10.
- Hu Wenge. Development technology and research direction of fractured-vuggy carbonate reservoirs in Tahe Oilfield [J]. *Reservoir Evaluation and Development*, 2020, 10(2): 1 – 10.
- [15] 顾忆, 黄继文, 贾存善, 等. 塔里木盆地海相油气成藏研究进展[J]. *石油实验地质*, 2020, 42(1): 1 – 12.
- Gu Yi, Huang Jiwen, Jia Cunshan, et al. Research progress on marine oil and gas accumulation in Tarim Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2020, 42(1): 1 – 12.
- [16] 斯尚华, 李建明, 李旭, 等. 渝东武隆 – 石柱地区中上寒武统白云岩储层特征及分类评价[J]. *石油地质与工程*, 2019, 33(5): 21 – 25.
- Si Shanghua, Li Jianming, Li Xu, et al. Characteristics and classification evaluation of middle-upper Cambrian dolomite reservoirs in Wulong-Shizhu area, eastern Chongqing [J]. *Petroleum Geology & Engineering*, 2019, 33(5): 21 – 25.
- [17] 贾俊. 叙利亚 Tishirine 油田复杂碳酸盐岩储层有效性综合评价[J]. *油气藏评价与开发*, 2020, 10(2): 30 – 36.
- Jia Jun. Comprehensive evaluation for effectiveness of complex carbonate reservoir: A case from Tishirine Oilfield in Syria [J]. *Reservoir Evaluation and Development*, 2020, 10(2): 30 – 36.
- [18] 何治亮, 马永生, 张军涛, 等. 中国的白云岩与白云岩储层: 分布、成因与控制因素[J]. *石油与天然气地质*, 2020, 41(1): 1 – 14.
- He Zhiliang, Ma Yongsheng, Zhang Juntao, et al. Distribution, genetic mechanism and control factors of dolomite and dolomite reservoirs in China [J]. *Oil & Gas Geology*, 2020, 41(1): 1 – 14.
- [19] 吕修祥, 陈佩佩, 陈坤, 等. 深层碳酸盐差异成岩作用对油气分层聚集的影响——以塔里木盆地塔中隆起北斜坡鹰山组为例[J]. *石油与天然气地质*, 2019, 40(5): 957 – 971.
- Lv Xiuxiang, Chen Peipei, Chen Kun, et al. Effects of differential diagenesis of deep carbonate rocks on hydrocarbon zonation and accumulation: A case study of Yingshan Formation on northern slope of Tazhong uplift, Tarim Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2019, 40(5): 957 – 971.
- [20] 尤东华, 曹自成, 徐明军, 等. 塔里木盆地奥陶系鹰山组多类型白云岩储层成因机制[J]. *石油与天然气地质*, 2020, 41(1): 92 – 101.
- You Donghua, Cao Zicheng, Xu Mingjun, et al. Genetic mechanism of multi-type dolomite reservoirs in Ordovician Yingshan Formation, Tarim Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2020, 41(1): 92 – 101.
- [21] 陈光汉. 华北加里东侵蚀面与油气聚集[J]. *石油实验地质*, 1992, 14(1): 46 – 51.
- Chen Guanghan. On the Caledonian erosion surface and the accumulation of oil/gas in the areas of the north china [J]. *Experimental Petroleum Geology*, 1992, 14(1): 46 – 51.

(编辑 张玉银)