

塔河奥陶系油藏断裂对古岩溶的控制作用*

周文 李秀华 金文辉 赵志超 周秋媚

ZHOU Wen, LI XiuHua, JIN WenHui, ZHAO ZhiChao and ZHOU QiuMei

油气藏地质及开发工程国家重点实验室,成都理工大学,成都 610059

State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China

2011-02-08 收稿, 2011-06-22 改回.

Zhou W, Li XH, Jin WH, Zhao ZC and Zhou QM. 2011. The control action of fault to paleokarst in view of Ordovician reservoir in Tahe area. *Acta Petrologica Sinica*, 27(8):2339-2348

Abstract The analysis of systematic statistics of Ordovician fault characteristics in Tahe in this article shows that the large karst caves most probably distributed in the caves which are below the boundary of T_7^4 and mostly controlled by mid-large faults. Most of these faults were formed in the Early-Middle Hercynian and controlled the development of karst caves. According to the relationship between faults and the development of karst caves, the concepts of "fault which could control karst caves" and "fault which controlled by karst caves" have been proposed, and it is believed in this article that middle-large faults in Tahe are mainly "fault which could control karst caves", but the small fractures in this area are mostly "fault which controlled by karst caves". On the basis of the theory of "fault which could control karst caves", the mode of "fault-paleokarst" in Ordovician of Tahe area has been established. This understanding provides important theoretic basis for the exploration of cavern-type reservoirs in Tahe area and its surrounding regions.

Key words Ordovician reservoir in Tahe area; Fault forming period; "Fault which could control karst caves" and "fault which controlled by karst caves"; Mode of "fault-paleokarst"

摘要 通过对塔河地区奥陶系断裂特征的系统统计分析表明,塔河地区的大型溶洞或分布在 T_7^4 界面以下较深的溶洞,多数明显受到中-大型断裂的控制作用。分析结果表明,这些断裂主要形成于海西早期,断裂带控制了海西早期溶洞的形成。根据断裂与溶洞发育之间关系,提出了“控洞断裂”、“洞控断层”的概念,并指出塔河地区中-大断裂主要为“控洞断裂”,控制了深部岩溶洞穴分布,而小型不协调“毛毛断裂”多数为“洞控断层”。根据岩溶期次及断裂分布及“控洞断裂”的认识,建立了塔河地区奥陶系古岩溶作用时期深部洞穴形成的“断裂环”岩溶的模式。研究成果为塔河及外围地区奥陶系溶洞型油藏的勘探提供了重要依据。

关键词 塔河奥陶系油藏;断裂形成期;“控洞断裂”和“洞控断层”;断裂带古岩溶模式

中图法分类号 P542.3; P618.130.2

塔河地区是在前震旦系变质基底上发育起来的一个长期发展的、经历了多期构造运动、变形叠加的古凸起。先后经历了加里东期、海西期、印支-燕山期及喜马拉雅期等多次构造运动(翟晓先等,2006)。

加里东早期构造运动奥陶系与寒武系界线(图1),野外为不整合接触关系(翟晓先等,2006);加里东中期①幕(一间房组 O_{2y} 沉积末)主要以抬升、隆起为主,在塔河桑塔木组(O_{3s})覆盖地区井中,显微薄片见到各类暴露标志。该界面

上下地层分布有一定不协调性(图2),地层有弱变形,说明阿克库勒凸起已具雏形;加里东中期②幕(良里塔格组 O_{3l} 沉积末期),工区内表现为抬升为主,见各类暴露痕迹(翟晓先等,2006);晚加里东运动(桑塔木 O_{3s} 沉积末期),工区内表现为抬升为主,地层抬升,在塔北、塔中见有剥蚀。总的来看,加里东中期的构造活动存在但相对较弱,对塔河地区的奥陶系岩溶作用控制有限(金涛,2001)。

海西早期构造运动发生在志留系沉积末期。塔北地区

* 本文受油气藏地质及开发工程国家重点实验室和四川省重点学科“构造地质学”建设基金项目(SZD0408)联合资助。

第一作者简介:周文,1962年生,男,教授,博士,从事油气藏地质研究,E-mail:zhouw62@cdut.edu.cn

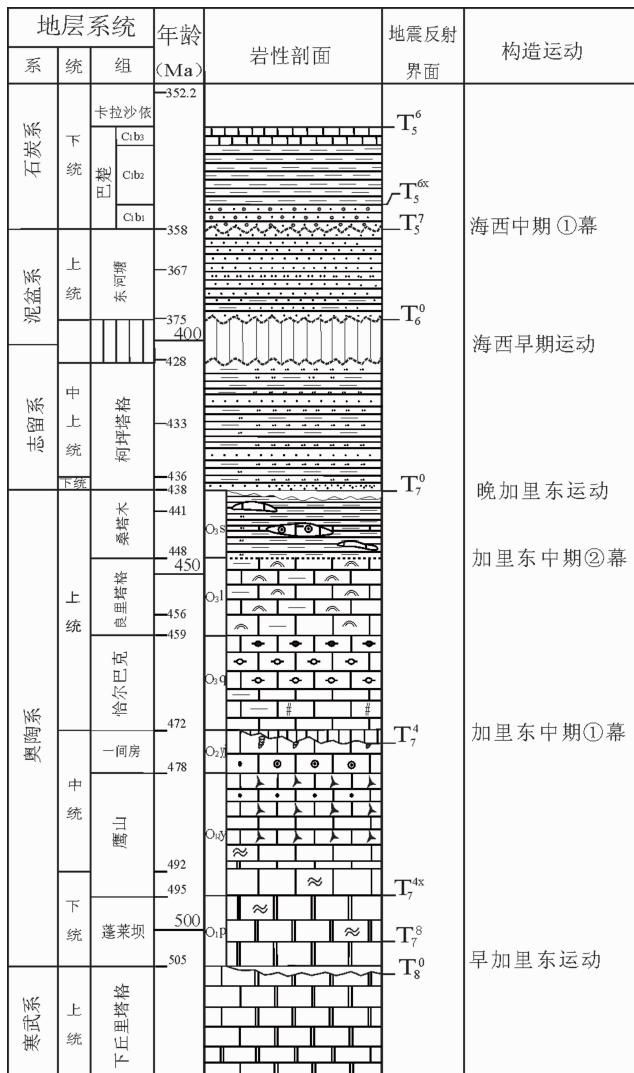


图1 塔河地区地层及构造期柱状剖面

Fig. 1 Column profile of formation and tectonic period in Tahe area

由于缺失泥盆系中统(D₂)地层,仅存在泥盆系上统东河塘组(D_{3d})地层(部分学者认为是石炭系C₁地层)(刘文等,2002),造成东河塘组地层直接超覆在下伏志留系、奥陶系地层上。该时期是对研究区影响最重要的1次构造运动,区域主应力为NW-SE向,形成了向西南倾覆的NE-SW走向的阿克库勒大型鼻凸的基本形态(翟晓先等,2006;韦忠红,2006;崔军文和唐哲民,2011),造成塔河构造主体大量的地层被剥蚀(估计在2300~3500m左右),是奥陶系岩溶主要的形成期(翟晓先等,2006;金涛,2001;韦忠红,2006;林忠民,2002)。泥盆系东河塘组从西南部超覆于不同层位之上。这一时期末,再次发生抬升风化剥蚀作用,称为海西中期①幕构造运动,表现为塔河中部抬升幅度大,剥蚀量大,东河塘组地层未残留;东、西部抬升幅度小,东河塘组地层残留(翟晓先等,2006),分析认为是塔河地区次要岩溶形成期(翟晓先

等,2006;康志宏和吴铭东,2003;谭承军等,2001)。海西中-晚期区域主应力为N-S向挤压作用,在大型构造鼻凸上叠加形成的一系列逆冲断层和局部褶曲(翟晓先等,2006;林忠民,2002;施强和田宏永,2005)。

奥陶系灰岩地层在上述构造期遭受不同程度的风化、岩溶作用,形成一系列发育不均、分布极其复杂,预测难度大的溶蚀孔洞(姚姚和唐文榜2003;阎相宾,2002;李培廉等,2003;Smith Jr, 2006)。这些溶蚀孔洞成为塔河奥陶系油藏主要的储集空间(翟晓先等,2006;金涛,2001;林忠民,2002)。对于奥陶系缝洞系统的特征、分布规律等研究前人做过大量工作,主要是对表生期岩溶古地貌作用控制条件下的各类缝洞成因的研究和认识(翟晓先等,2006;金涛,2001;韦忠红,2006;林忠民,2002;康志宏和吴铭东,2003;谭承军等,2001;李培廉等,2003),对于研究断裂在溶蚀孔洞形成中的作用、以及形成的孔洞带对后期断裂的控制作用等方面虽然有研究者提及(周文,1998;金涛,2001;李培廉等,2003;张英俊等,1985;中国地理学会地貌专业委员会,1990;智慧文等,2006;Lapointe and Meyer,2007),但都未深入分析和提出明确的看法。本文根据钻井、地质、构造、地震、缝洞充填物的稳定同位素分析等资料,综合分析,探讨塔河地区奥陶系地层中断裂与溶蚀孔洞之间的关系。

1 断裂发育特征概述

按断裂发育的规模大小,分为中-大型断裂(断裂长度大致延伸1.5km以上)和小型断裂(断距在1.5km以下的“毛毛断裂”)(图2)。通过对奥陶系地层中断裂统计,总结出特征如下。

1.1 中-大型断裂(带)的发育特征

多期构造活动,发育了NW向、NE向、近EW向和近SN向4组断裂。总体上规模都比较大,延伸长度较大。

中西部、北部NW向、NE向断裂数量众多。SN向断裂主要发育在南部、西南部,受应力场改变控制由NW向断裂扭转为近SN向断裂,由西向东断裂活动强度逐渐减弱(翟晓先等,2006)。近EW向断裂也主要发育在北部地区,断续延伸,多为继承性断裂,且断裂活动强度大,向南部活动强度弱。

岩心观察该类断裂附近井的岩心破裂面见到近“水平”向走滑破裂缝(图3),在T₇⁴界面上的这类断裂见有近“雁行”式的排列,综合分析该类断层具有走滑性质。表现出的特征是垂向断距相对较小、断层面倾角大(一般在80°以上)的逆断层。

该类断层主要发育在奥陶系地层中,向上断层基本消失于石炭系,只有个别大断层延伸到中生界。断层在海西晚期以后基本上处于稳定状态。

从奥陶系顶面(T₇⁴界面)的构造图上显示出该类断裂的规模,相对奥陶系深部(T₇⁸)构造显示出的规模要小或几

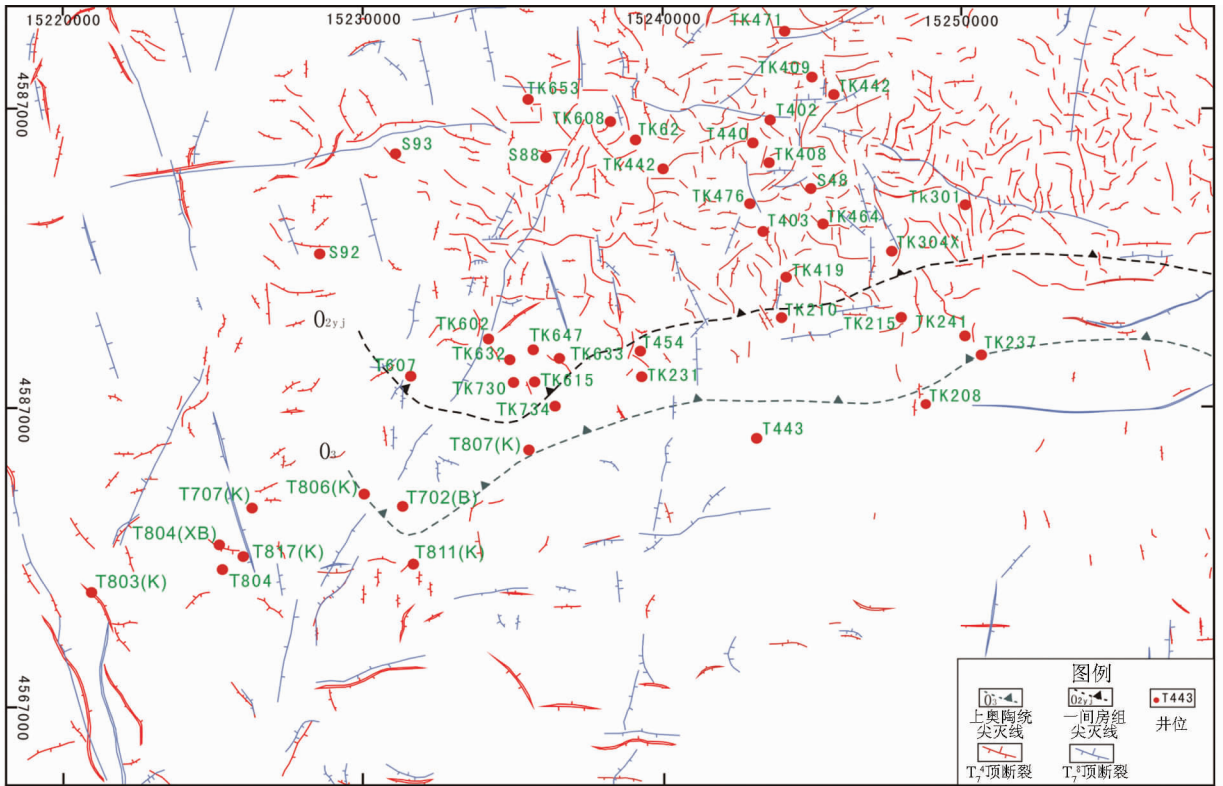


图2 塔河奥陶系顶面(T₇⁴-红色)和深部(T₇⁸-蓝色)断裂分布图

Fig.2 The distribution map of faults in top(T₇⁴-red) and deep(T₇⁸-blue) Ordovician in Tahe area

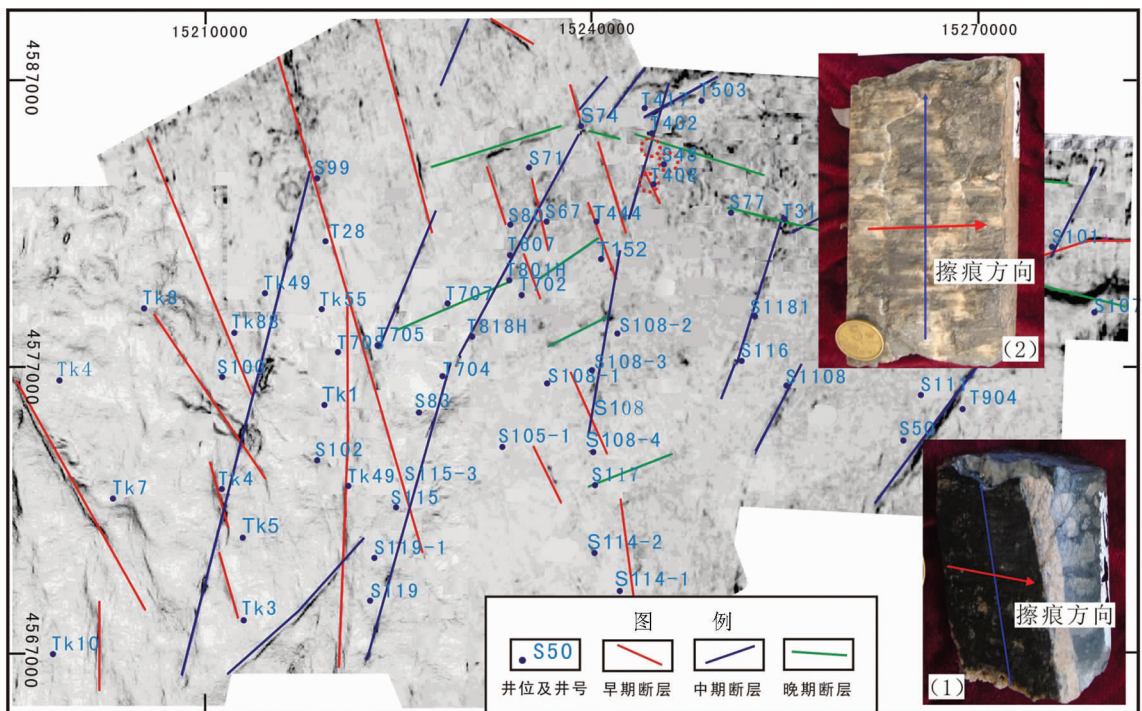


图3 塔河地区奥陶系深部(T₇⁸)地震相干切片

(1)-T904 (5792.94 ~ 5793.09m)垂直裂缝,水平擦痕;(2)-T904 (5716.64 ~ 5716.70m) Os ,早期垂直裂缝中充填方解石,后期沿缝面错动,擦痕明显

Fig.3 Seismic coherence in deep Ordovician in Tahe area

(1)-T904 (5792.94 ~ 5793.09m) vertical fracture, level scratch; (2)-T904 (5716.64 ~ 5716.70m) Os , early vertical fracture was filled with calcite, and occur dislocation along fracture face, obvious scratch

乎无断层显示(图3)。深部的断裂,向上延伸在 T_7^4 界面时(图2)可以变成多条“断续”延伸的中-小型断层。深部断裂显得相对“规整”,浅部断裂而变得相对“不规整”和杂乱。

1.2 小型断裂—“毛毛断裂”的发育特征

该类断裂主要见于奥陶系顶面构造图上(图2),发育的数量众多,产状较乱,多集中分布于东北部,在鹰山组出露区;组合形式多有平行、斜交型、斜接型、“人或八字型”、放射状等;从断裂的单一形式和组合形式上,多数断裂表现出“不协调”性(周文,1998),即与正常应力形成的断裂特征有一定区别。

2 断裂形成期分析

从目前的古构造分析结果来看(韦忠红,2006;康志宏和吴铭东,2003),在 S_1 沉积之前研究区断裂活动可能不发育。到 S_1 沉积之后,受到加里东晚期区域构造运动影响,塔河及附近区域逐渐发育断裂构造(姚姚和唐文榜,2003)。下面就断裂的形成时期进行初步分析。

2.1 断开层位及组合关系

2.1.1 断层的断开层位分析

从塔河地区中、大断层的断开层位来看,一般断开奥陶系地层,向上主要断达石炭系地层底部,个别继承性断裂可以向上发展到中生界(周文,1998;施强和田宏永,2005;张鼎等,2011)。因此,该类断层主要形成期在晚加里东-早海西期构造幕,也是塔河地区地层抬升、变形、剥蚀最大,构造活动最强的时期。在早海西中幕可能有一定的活动。

2.1.2 断裂带的分期配套关系

从中、大断裂之间组合关系来看,NW向断裂限制了近EW向、NE向断裂。NE向断裂限制了EW向断层。因此,其生成次序先后为:NW向断裂→NE向断裂→近EW向断裂。

2.1.3 小型断裂的形成时期分析

从小型断裂几乎受到NW向、NE向断裂的限制,且“杂乱”分布。分析其形成期与近EW向中-大断层相当,或晚于海西早期。其特征显示,可能受控于加里东晚期-海西早期岩溶形成的孔洞带。

2.2 断层带裂缝充填物特征

2.2.1 断层附近井裂缝充填物同位素分析

根据深部大断裂附近井(TK720、TK711、TK708井)所取岩心充填、半充填裂缝方解石同位素显示(图4),NW向断层形成时间早于NE,NE向断层早于EW向断层,与断裂的分期配套基本吻合。分析NW、NE向断层在晚加里东-海西早幕形成,即为溶蚀期(或期前)形成的断裂,是主要岩溶期水的主要渗流通道,可以控制溶沟发育(张英骏等,1985;中国

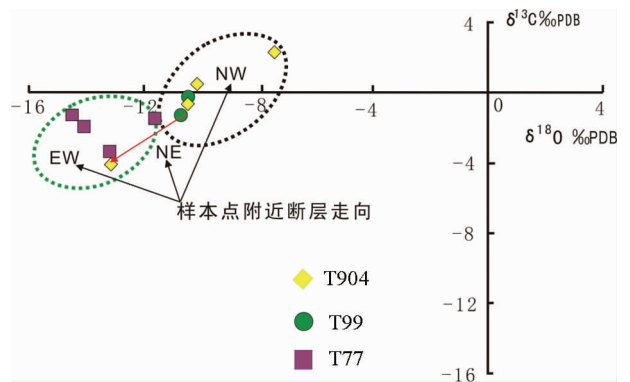


图4 断裂带附近井裂缝充填物同位素特征

Fig. 4 Isotopic characteristics of fillings in fractures of wells near fault zone

地理学会地貌专业委员会,1990;Weidlich,2010),沿断裂带有成带的溶蚀洞穴发育。

2.2.2 断裂带构造岩及充填物的序次分析

NW、NE向断层是海西早幕形成的断裂(翟晓先等,2006),其是海西早期地表岩溶水和后期埋藏压实水(或热液)的渗流通道,对海西早、中幕时期岩溶作用有重要贡献,处于大规模成油期,也是油气运移的重要通道。

上述中-大型断裂带见有海西早期以后断裂复活证据:(1)在塔河油田西南部的托普台地区泥盆系东河砂岩(包括巴楚组底砂岩)中见到断裂带构造岩(图5),说明在东河塘组沉积后期有活动,断层复活又产生错动;(2)在T904、T704井、T706等井,见到方解石-重晶石充填溶洞,其中重晶石呈束状、晶粒状、板柱状充填在方解石晶间孔隙内,晚于方解石形成期。分析在海西晚期(二叠纪时期)断裂带又复活,并伴随有热液活动。该时期存在火山喷发岩,分析认为有拉张活

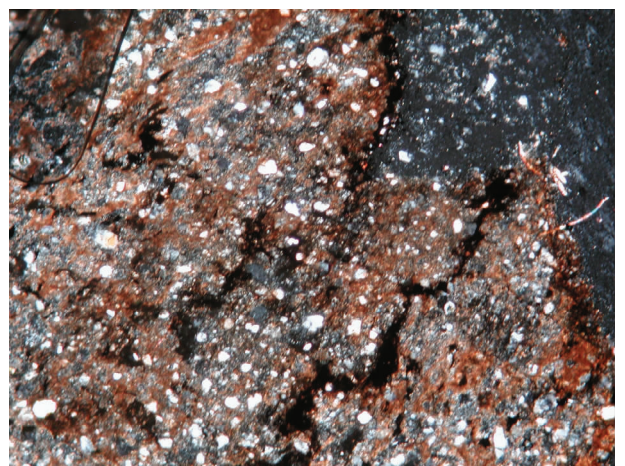


图5 T740井(D_3d ,5814m)断层附近的片理化岩屑石英砂岩,10×4(+)

Fig. 5 The lithic quartz sandstone with schistose texture in T740 Well(D_3d ,5814m), 10×4(+)

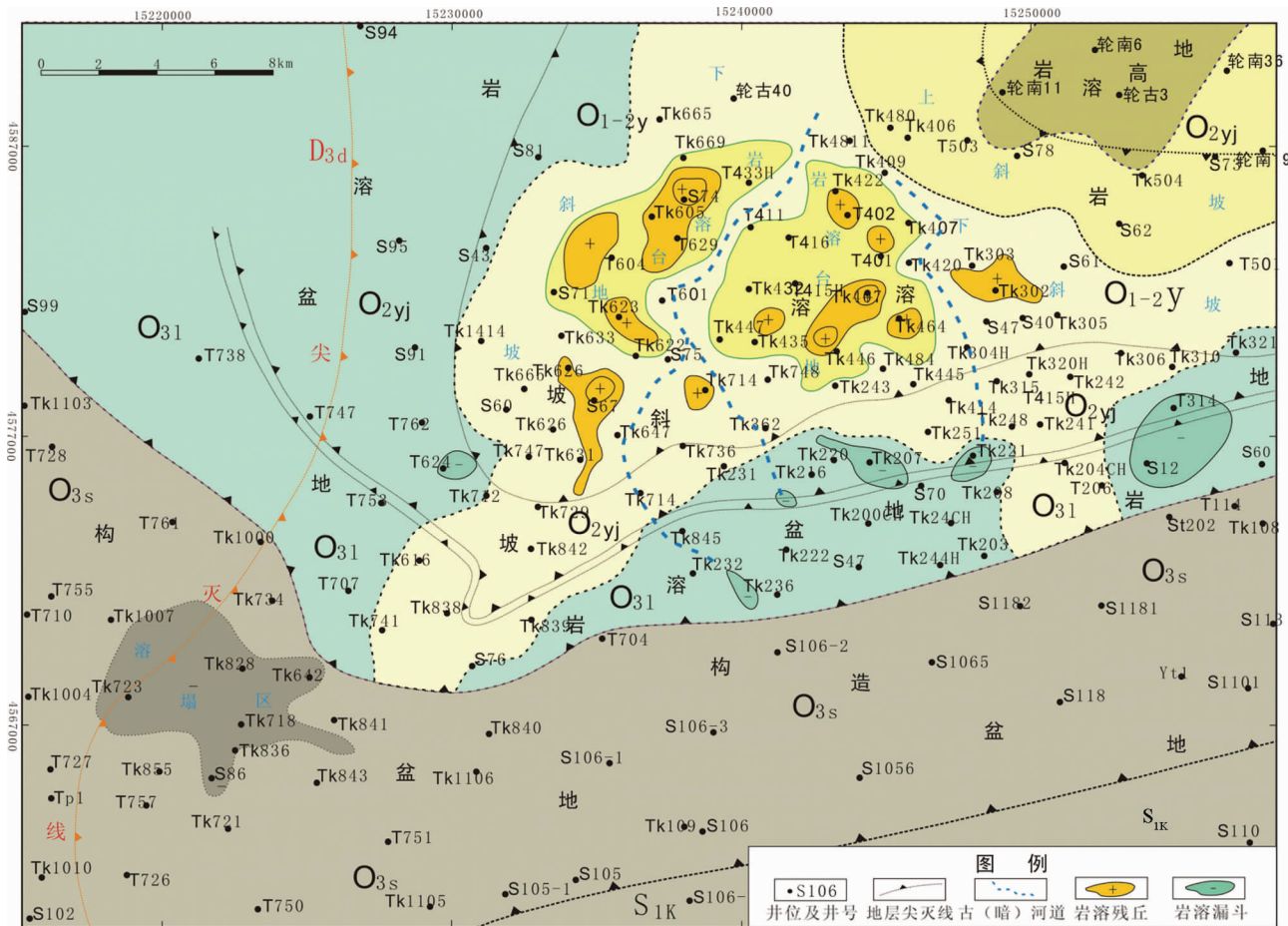


图6 塔河油田前石炭系古岩溶地貌单元划分图

Fig.6 The map of the paleokarst geomorphic unit of pre-Carboniferous in Tahe oilfield

动存在(翟晓先等,2006;林忠民,2002)。

3 断层与溶洞形成的关系

3.1 古岩溶作用带的分区

根据260多口井资料按上覆石炭系巴楚组1段(C₁b₁)厚度分布表征的奥陶系顶部岩溶地貌特征,而编制的古岩溶地貌图(图6),将其划分为3个岩溶大区。

(1) 鹰山组灰岩出露区(岩溶斜坡地区):为塔河油田四、六区及七区北部地区,位于背斜构造核部,主要出露区地层为奥陶系鹰山组碳酸盐岩,上覆地层为石炭系,其间缺失了加里东期地层一间房组(O₂yj)、恰尔巴克组(O₃q)、良里塔格组(O₃l)、桑塔木组(O₃s)、柯坪塔格组(S₁k)地层及海西早期地层泥盆系(翟晓先等,2006;金涛,2001);该区加里东晚期-海西早期(泥盆纪)一直处于隆升期,主要发育了2期潜水面附近的岩溶旋回(金涛,2001;谭承军等,2001)。分析该区海西早期古岩溶作用深度范围内可能叠加有加里东期岩溶产物。

组、恰尔巴克组、良里塔格组碳酸盐岩地层出露区,围绕鹰山组出露区分布。在背斜西南倾没端上部,上覆地层为石炭系,其间缺失加里东期地层桑塔木组(O₃s)、柯坪塔格组(S₁k)及海西早期地层泥盆系。理论上分析在该区的加里东和海西2期岩溶形成洞穴交汇处则是该区古岩溶发育区域。

(3) 桑塔木组覆盖区(构造盆地):位于塔河南部地区,桑塔木组地层主要为灰质泥岩夹灰岩透镜体,为不透水层。其覆盖区海西早期岩溶作用不发育,主要以加里东中幕岩溶期为主,断裂带叠加海西早期岩溶。加里东中幕由构造运动来看又细分为2个岩溶期,第一期为一间房组(O₂yj)顶(主要)、第二期为桑塔木组(O₃s)顶(微弱)。

3.2 溶洞与断裂带的关系

断裂作为1种“导水”通道,在岩溶时期对岩溶有控制作用(张英骏等,1985;中国地理学会地貌专业委员会,1990; Hajikazemi *et al.*, 2008; Sivhed *et al.*, 2004),通过对3个区块的溶蚀孔洞的统计,说明断裂作用与溶洞之间的成生联系。

3.2.1 不同岩溶区的溶洞与断裂关系统计分析

根据目前研究区内300余口井资料统计,共有193口井

表1 鹰山组出露区大型洞穴与断裂关系

Table 1 The relationship of the large cave and fault in outcropping area of Yingshan Formation

序号	井号	洞穴层厚度(m)	与断裂关系
1	TK409	73	
2	TK476	44	
3	TK602	36	
4	T403	65	
5	TK604	37	
6	T402	12	
7	TK442	14	
8	TK447	10	
9	TK419	24	
10	TK304	28	
11	S88	20	断裂带及 大断裂附近
12	TK730	25	
13	TK644	12	
14	S75	11	
15	TK454	9	
16	TK629	10.5	
17	T301	14.5	
18	S46	16	
19	TK434	10	
20	TK464	10	
21	S78	10	
22	T416	11	
23	T444	14	
24	TK610	19	
25	TK422	14	远离断裂
26	TK632	23	
27	TK744	14	
28	S93	12	

钻遇洞穴,共识别出洞穴层厚度大于2m的312层,对识别出洞穴进行了统计分析。主要结果如下:

鹰山组出露区(岩溶斜坡地区):对鹰山组出露区井内有厚度大于10m洞穴与断裂关系统计结果表明(表1)。在洞穴层厚度大于10m的28口井中就有22口处于中-大断裂附近,而特大型洞穴(厚度大于30m)则全部位于中-大断裂附近。

该区未完全充填洞率在3个区中所占的比率最低。充填洞穴多以砂、泥质为主。

过渡区(以岩溶盆地为主):在过渡区凸起核部有厚度大于10m洞穴的井11口,其中8口位于中-大断裂附近;而厚度大于20m洞穴的6口井中,也有5口井处于中-大断裂边缘;在过渡区构造凸起的两翼,厚度大于10m洞穴的井有10口,其中有7口井位于中-大断裂边缘,厚度大于20m洞穴的4口井中,也有3口井处在中-大断裂边缘。

桑塔木组覆盖区(构造盆地):在该区有2~20m洞穴层的井有28口,其中10口井位于中-大断裂边缘。而厚度大于20m洞穴的2口井均位于中-大断裂边缘,且这2口井内洞穴

均大于30m。

上述统计结果得出的认识是:(1)研究区的中-大断裂带对溶蚀洞穴的分布具有明显的控制作用,特别是中-大型溶洞;(2)在桑塔木组覆盖区,由于小型洞穴主要为加里东期岩溶形成,断裂对其控制作用不明显,但是断裂作用控制了大型洞穴的分布,几乎所有大于10m厚度的洞穴都分布在中-大断层附近;(3)虽然桑塔木组覆盖区见洞率不大,但是在所有洞井中见放空的井所占比例最大,洞穴充填率最小,过渡区次之,而鹰山组出露区充填最为严重。其原因分析为:鹰山组出露区由于遭受剥蚀强度太大,上覆地层主要为石炭系巴楚组砂泥岩段地层,后期对其充填作用也比较强。而桑塔木组覆盖区形成的洞穴,由于有上覆上奥陶统地层充当“被子”的作用,在海西早期岩溶期间充填较少。过渡区介于两者之间。

3.2.2 溶洞分布深度与断裂关系统计分析

鹰山组出露区和过渡区(岩溶斜坡及岩溶盆地为主地区):统计了鹰山组出露区及过渡区内距不整合面(T_7^4)200m以上的19个洞穴中,其中有11个均位于中-大断裂带或深大断裂附近;在距不整合面200~240m的6个洞穴中,全部位于中-大断裂带或深大断裂附近。所以,深部洞穴,特别是距不整合面200m以下的洞穴层主要受断裂控制。

桑塔木组覆盖区(构造盆地):有洞穴距一间房组(O_2y_j)顶不整合面100m以上的12个洞穴中,大多处在中-大断裂附近。说明断裂也控制了该区的岩溶发育深度,岩溶作用深度明显增大。主要证据:①地表水氧化深度最大可达150~300m左右,如S112-5859~5860m(不整合面下318m)见褐铁矿化亮晶藻屑骨屑灰岩,S86在5835m(不整合面下149.5m)见红色钙泥质充填物;②在岩石薄片中发现,地表水携带的黏土、粉砂、微砂等细碎屑渗流到碳酸盐岩的孔、缝中,统计结果渗流深度最大达223m,如S112井,在5764~5765m微晶藻砂屑灰岩中见渗流黏土。

上述统计结果表明,断裂对岩溶发育深度控制作用较强。在无桑塔木组覆盖区深度能达到不整合面以下270m以下,而在桑塔木组覆盖区,能达到距一间房组(O_2y_j)顶不整合面以下200多米,反映出加里东期岩溶远没有海西早期(沿断裂带的)岩溶强度大。

地震资料显示的断裂对缝洞体的控制:根据地震资料的波阻反演解释,通过大量的实钻缝洞体标定,得到缝洞体与剖面中“低波阻抗”特征对应。从解释结果来看,剖面中的缝洞体分布与断层相关的实例很多。如实例1,TK409井进入风化壳近200m。表层有两段风化破裂带,各为近25m和15m,中间夹有近15m的致密层,在底部钻遇大型砂泥质充填的溶洞带(5585~5658m),厚度73m。在过该井的东西向低波阻抗体解释剖面上显示,底部的缝洞体是一个大型的“低波阻抗异常”,主缝洞体还在完钻井的下部(图7)。从这个大型缝洞体与解释的断层关系来看,二者的联系也是比较紧密的。

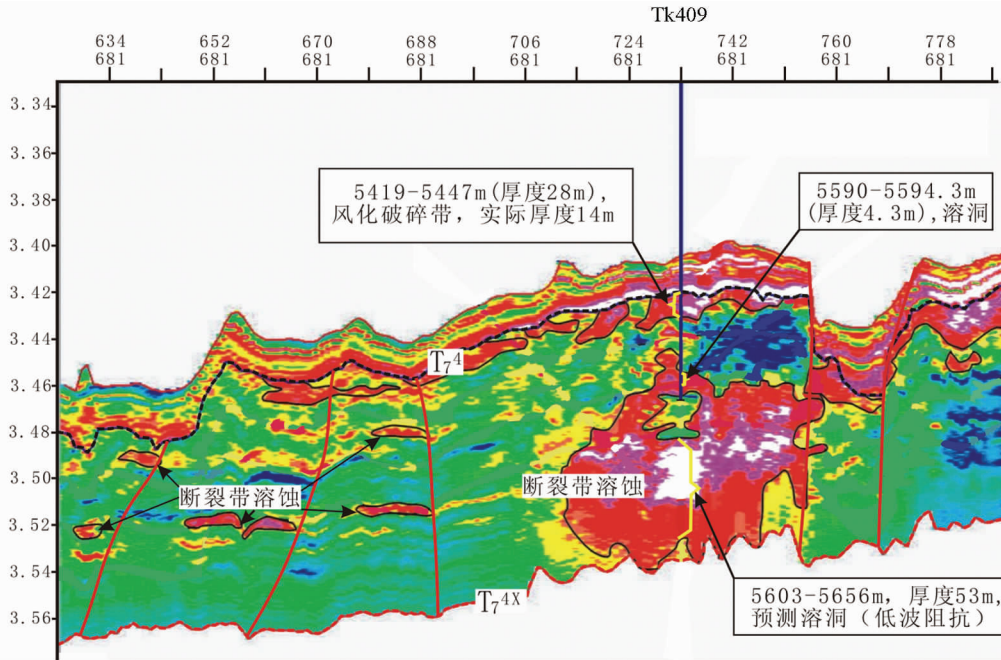


图7 过TK409东西向剖面低波阻抗体与大型洞穴对应的实例

Fig.7 The corresponding example of low wave-impedance body and large cave on the section which through TK409 well from east to west

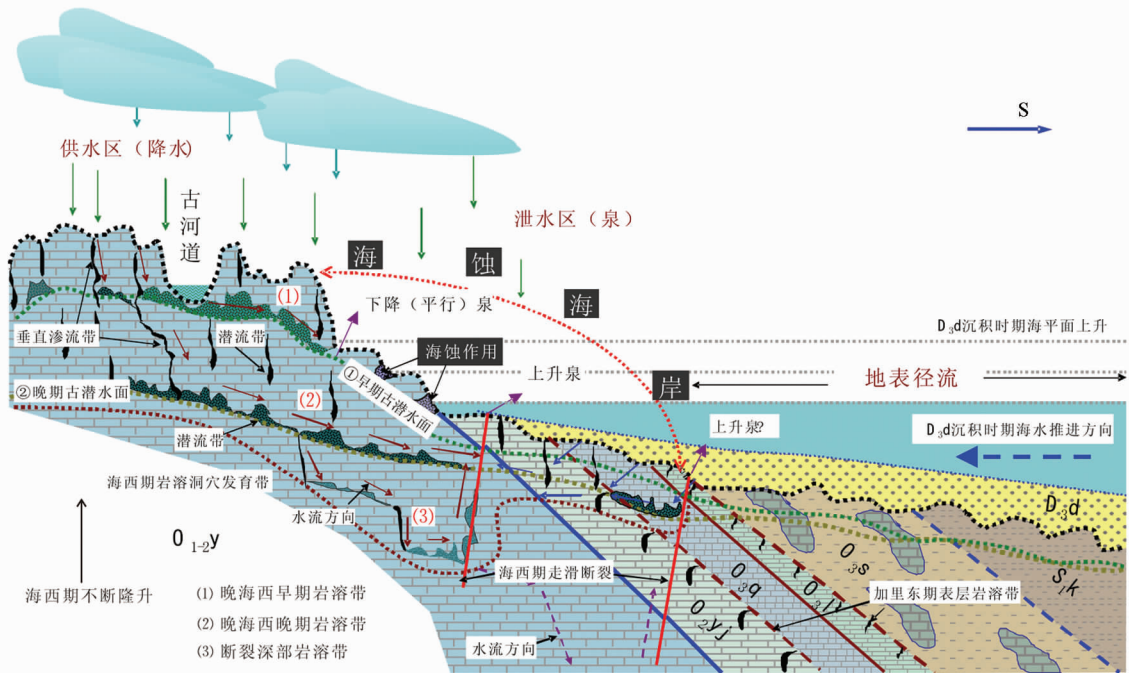


图8 塔河地区加里东晚期-海西早期岩溶体系模式

Fig.8 The mode of karst system of Late Caledonianearly Hercynian period in Tahe area

3.3 断裂古岩溶模式

通过研究,归纳出研究区的断裂岩溶模式如下(图8):

(1)加里东期因构造抬升,在一间房组(O_2y)表层形成的溶蚀孔洞带,规模相对较小,沿层分布。溶蚀洞穴带分布

特征不同于海西期沿断裂带形成的岩溶洞穴带。

(2)加里东晚期-海西早期东河塘组(D_3d)沉积前的岩溶作用。在构造主体,随着构造的不断抬升潜水面的下降,形成区域上两层相对“稳定”的洞穴层(即“水平岩溶带”);在桑塔木组(O_3s)和志留系地层残存区,有些地层为不透水

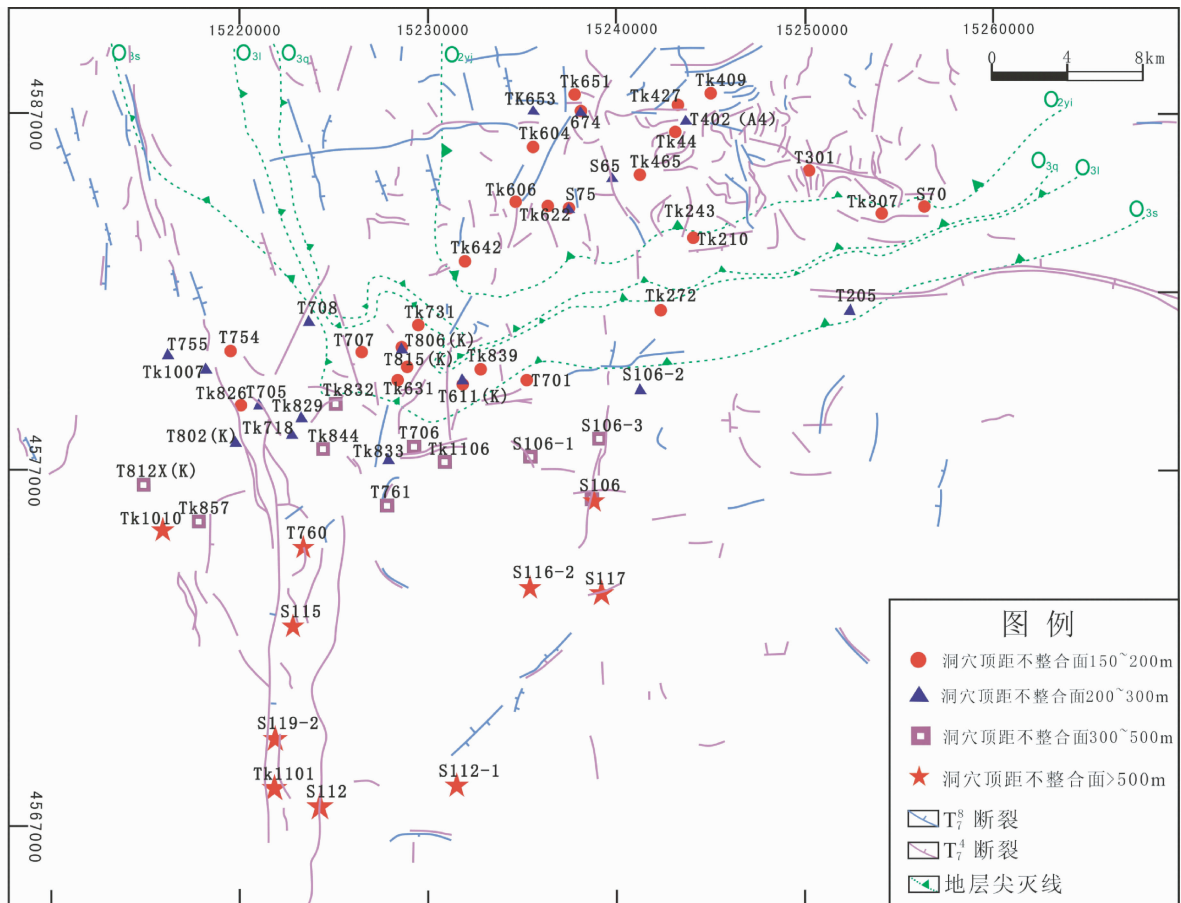


图9 塔河油田奥陶系主要断裂与大于150m深度(T_6^0 界面以下)的溶洞关系图

考虑到后期近表层的剥蚀作用和持续的岩溶改造的影响,相对来看深部地层形成的溶蚀洞穴更多与断裂相关

Fig. 9 The relation graph between the main faults and karst cave which is more than 150m (below the boundary T_6^0)

Considering the late denudation of near surface and the affect of karstification, it takes the view that dissolution cavities are related to fault

层,古水系划分为地表径流带;在构造的主体部位、翼部或地表径流带只要存在断裂,就可能形成对流环(地面表现为上升“泉”)一称为“对流环”模式,均可能形成深部岩溶洞穴。从岩溶机理上讲,研究区深部溶洞主要受到断裂形成的“潜水对流环”的控制。

(3)在东河塘组(D_3d)沉积期,海水的不断推进,到达可溶岩裸露区,可以造成海蚀海岸地形(张英骏等,1985;中国地理学会地貌专业委员会,1990)。并随着海平面的上升不断向塔河隆起主体推进。

(4)在东河塘组(D_3d)沉积期后,又发生构造活动,造成研究区中部因地层隆升, D_3d 被剥蚀夷尽,而东西两侧地层残留。在东河塘组(D_3d)剥蚀缺失区,甚至部分东河塘组(D_3d)地层残留区(D_3d 为透水层)再次发生岩溶作用,并持续到巴楚组(C_1b_1)沉积时期。在巴楚组(C_1b_1)沉积时,这期岩溶作用逐渐减缓,而在巴楚组(C_1b_1)未沉积区这期岩溶作用持续进行,直到巴楚组(C_1b_1)沉积覆盖全区后,表生岩溶作用基本结束。

(5)在石炭系及以后的地层沉积过程中,石炭系泥岩

(也包括东河塘组砂岩)中的压实水,也可以造成对目的层的溶蚀。

(6)在志留纪至二叠纪之间,可能有2~3次沿断裂的热液活动,也对可以产生溶蚀及充填作用(翟晓先等,2006;谭承军等,2001)。

4 “控洞断裂”和“洞控断层”意义

4.1 “控洞断裂”的含义和意义

从上述分析指出,塔河地区奥陶系地层大规模岩溶时期或期前形成的断裂对于海西早期的古岩溶作用起到了控制作用。在这些断裂带附近相对来讲就应该发育溶蚀洞穴层。受断裂带控制的溶蚀洞穴带分布,在研究区是十分清楚的(图9),距离不整合面150m以下的缝洞体分布明显与中-大型断裂带有关,延断层“线性”分布。这类断裂作者称为“控洞断裂”。研究区内中-大断裂可能主要属于该类断裂,特别是EW向、NE向断裂带。

因此,沿这类断裂带应该是古岩溶洞穴发育带。这类断

裂带是进一步寻找深部溶蚀洞穴带的主要依据,特别是在塔河南桑塔木地层覆盖区。这一认识对塔河地区南部奥陶系进一步的油气勘探具有指导意义。

4.2 “洞控断层”的含义和意义

“洞控断层”是指在海西早以后(大规模溶蚀期后)形成的断裂,除受控地应力方向、早期断层、裂缝产状控制外,也受控于早期形成的具有“带状分布”溶蚀洞穴带,具有派生性。这种作用经常造成断层的走向与形成时应力方向“不协调”,前人也称为“不协调断层”(周文,1998)。特别是研究区内的中小“不协调”断层是该类断层的可能性较大,分析其形成及特征受控于先存的洞穴分布。

因此,对于“洞控断层”,是成为判断溶蚀洞穴地质依据之一,特别是成带分布的洞穴带,其意义是不言而喻的。

5 结论

(1)塔河地区奥陶系岩溶作用主要发生在海西早期。其中加里东中-晚期的岩溶作用痕迹和形成的溶孔洞,在南部桑塔木覆盖区保存较好,过渡区有一定的残留,而塔河主体鹰山组出露区几乎被海西早期岩溶所改造,在主体鹰山组地层出露区主要表现为海西早期岩溶作用。

(2)大量统计数据表明,塔河地区的大型溶洞或分布在 T_7^4 界面以下较深的溶洞,多数明显受到中-大型断裂的控制作用。这些断裂从主要形成于海西早期,因此,这些断裂带控制的溶洞形成期主要为海西早期。

(3)根据断裂与溶洞发育之间关系,提出了“控洞断裂”、“洞控断层”的概念,并指出塔河地区中-大断裂主要为“控洞断裂”,而小型不协调“毛毛断裂”多数为“洞控断层”。这一认识,为塔河及外围地区奥陶系溶洞型油藏的勘探提供了依据,甚至对其它含油气盆地类似地层的油气藏也具有重要指导意义。

(4)根据“控洞断裂”的认识,建立了塔河地区奥陶系加里东-海西早期古岩溶作用的“断裂环”岩溶模式。

References

Cui JW and Tang ZM. 2011. Tectonic framework of the Tarim basin and its tectonic stress field analysis. *Acta Petrologica Sinica*, 27(1): 231 – 242 (in Chinese with English abstract)

Hajikazemi E, Al-Aasm I and Coniglio M. 2008. Karst-controlled diagenesis and reservoir implications; Example from the Middle Cretaceous Sarvak Formation, southwestern Iran. Annual Meeting-American Association of Petroleum Geologists

Geographical Society of China Landscapes Professional Committees. 1990. *The Research of Karst Landform and Cave*. Beijing: Science Press (in Chinese)

Jin T. 2001. Reasearch of distribution rule and trap of Ordovician carbonate paleokarst reservoir in Akeule salience. Master Degree Thesis. Chengdu: Chengdu University of Technology (in Chinese

with English summary)

Kang ZH and Wu MD. 2003. Technology of recovering ancient geomorphy though sequence stratigraphy: A case study in Tahe 6th reservoir, Tarim basin. *Xinjiang Geology*, 21(3): 290 – 292 (in Chinese with English abstract)

Lapointe PA and Meyer A. 2007. Complex karst-controlled reservoirs in Paleozoic limestone of the CIS, Kazakhstan and Europe: Identification and prediction for distribution of the reservoir characteristics. Annual Meeting-American Association of Petroleum Geologists, 79

Li PL, Zhang XM and Chen ZH. 2003. Development of Ordovician Fractured-vuggy Carbonate Reservoirs in Tahe Oil Field. Beijing: Petroleum Industry Press (in Chinese)

Lin ZM. 2002. Carbonate rock reservoir features and oil-gas accumulating conditions in the Ordovician of Tahe oilfield in northern Tarim basin. *Acta Petrolei Sinica*, 23(3): 23 – 27 (in Chinese with English abstract)

Liu W, Yan XB and Li GR. 2002. Ordovician reservoir of Tahe oil field. *Xinjiang Geology*, 20(3): 201 – 204 (in Chinese with English abstract)

Shi Q and Tian HY. 2005. Brief analysis of Ordovician reservoir characteristic in Tahe. *West-China Exploration Engineering*, (7): 72 – 73 (in Chinese)

Sivhed U, Erlstrom M, Bojesen-Koefoed JA and Lofgren A. 2004. Upper Ordovician carbonate mounds on Gotland, central Baltic Sea: Distribution, composition and reservoir characteristics. *Journal of Petroleum Geology*, 27(2): 115 – 140

Smith Jr LB. 2006. Origin and reservoir characteristics of Upper Ordovician Trenton-Black River hydrothermal dolomite reservoirs in New York. *AAPG Bulletin*, 90: 1691 – 1718

Tan CJ, Lv JY and Li GR. 2001. Correlativity between productivity features and reservoir type in carbonate oil reservoirs of Tahe oilfield. *Journal of Oil and Gas Technology*, 28(3): 76 – 78 (in Chinese)

Wei ZH. 2006. Ancient landscape restoration of the Ordovician in No. 4 tract of Tahe oil field. *Inner Mongolia Petrochemical Industry*, (7): 67 – 69 (in Chinese)

Weidlich O. 2010. Meteoric diagenesis in carbonates below karst unconformities: Heterogeneity and control factors. *Geological Society Special Publications*, 329 291 – 315

Yan XB. 2002. Characteristics of Ordovician carbonate rock reservoirs in Tahe oilfield. *Oil & Gas Geology*, 23(3): 262 – 265 (in Chinese with English abstract)

Yao Y and Tang WB. 2003. Theoretical study of detectable cavern-fractured reservoir in weathered karst of deep carbonatite. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 36(6): 212 – 216 (in Chinese with English abstract)

Zhai XX, Qi LX and Chen HH. 2006. *Corpus of Oil Gas Field Exploration and Evaluation in Tahe*. Beijing: Petroleum Industry Press (in Chinese)

Zhang N, Tian L, Xin YL and Lu XS. 2011. Characteristic of hydrocarbon fluid inclusions and analysis of reservoir formation in Ordovician reservoir of Tazhong area, Tarim basin. *Acta Petrologica Sinica*, 27(5): 1548 – 1556 (in Chinese with English abstract)

Zhang YJ and Liao ZL. 1985. *Applied Karst Science and Speleology*. Guizhou: Guizhou Peoples Press (in Chinese)

Zhi HW, Li GR and Huang K, Wang H. 2006. Study on logging interpretation of classification discrimination of the Lower Ordovician carbonate reservoirs of the TaHe oilfield. *Geophysical and Geochemical Exploration Technology*, 28(2): 101 – 106 (in Chinese with English abstract)

Zhou W. 1998. *Evaluation Methods of Fracture Reservoir in Oil and Gas Pool*. Chengdu: Publishing House of Sichuan Science and Technology (in Chinese)

附中文参考文献

崔军文,唐哲民. 2011. 塔里木盆地构造格架和构造应力场分析. 岩

- 石学报, 27(1): 231-242
- 金涛. 2001. 阿克库勒凸起奥陶系碳酸盐岩古岩溶储层分布规律及圈闭研究. 硕士学位. 成都: 成都理工大学
- 康志宏, 吴铭东. 2003. 利用层序地层学恢复岩溶古地貌技术——以塔河油田6区为例. 新疆地质, 21(3): 290-292
- 李培廉, 张希明, 陈志海. 2003. 塔河油田奥陶系缝洞型碳酸盐岩油藏开发. 北京: 石油工业出版社
- 林忠民. 2002. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩储层特征及成藏条件. 石油学报, 23(3): 23-27
- 刘文, 阎相宾, 李国容. 2002. 塔河油田奥陶系储层研究. 新疆地质, 20(3): 201-204
- 施强, 田宏永. 2005. 塔河油田奥陶系油气藏特征简析. 西部探矿工程, 7: 72-73
- 谭承军, 吕景英, 李国蓉. 2001. 塔河油田碳酸盐岩油藏产能特征与储层类型的相关性. 石油天然气学报, 28(3): 76-78
- 韦忠红. 2006. 塔河油田4区奥陶系古地貌恢复研究. 内蒙古石油化工, (7): 67-69
- 阎相宾. 2002. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩储层特征. 石油与天然气地质, 23(3): 262-265
- 姚姚, 唐文榜. 2003. 深层碳酸盐岩岩溶风化壳洞缝型油气藏可检测性的理论研究. 石油地球物理勘探, 36(6): 212-216
- 翟晓先, 漆立新, 陈惠超. 2006. 塔河油气田勘探与评价文集. 北京: 石油工业出版社
- 张甯, 田隆, 邢永亮, 鲁雪松. 2011. 塔中地区奥陶系储层烃包裹体特征及成藏分析. 岩石学报, 27(5): 1548-1556
- 张英骏, 缪钟灵等. 1985. 应用岩溶学及洞穴学. 贵州: 贵州人民出版社
- 智慧文, 李国荣, 黄科, 汪华. 2006. 塔河油田下奥陶统碳酸盐岩测井分类识别研究. 物探化探计算技术, 28(2): 101-106
- 中国地理学会地貌专业委员会. 1990. 喀斯特地貌与洞穴研究. 北京: 科学出版社
- 周文. 1998. 裂缝性油气储层评价方法. 成都: 四川科学技术出版社