

中国石油天然气集团公司

油气储层重点实验室论文集

2008—2009

油气储层重点实验室学术委员会 编

石油工业出版社
Petroleum Industry Press

中国石油天然气集团公司

油气储层重点实验室论文集

(2008—2009)

油气储层重点实验室学术委员会 编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书收录了“2008 年全国油气储层研讨会”的部分优秀论文和近两年来的研究成果,主要包括海相碳酸盐岩储层、火山岩储层、低渗透砂岩储层等方面的内容。

本书可供从事油气勘探开发的科研人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

中国石油天然气集团公司油气储层重点实验室论文集.
(2008—2009)/油气储层重点实验室学术委员会编.

北京:石油工业出版社,2012.7

ISBN 978-7-5021-9098-9

I. 中…

II. 油…

III. 储集层-文集

IV. P618.130.2-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 113050 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:www. petropub. com. cn

编辑部:(010)64523543 发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2012 年 7 月第 1 版 2012 年 7 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:22.5

字数:573 千字

定价:85.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

中国石油天然气集团公司

油气储层重点实验室学术委员会

主 任：赵政璋

副主任：赵文智 邹才能

委 员：顾家裕 罗 平 袁烽楠 赵宗举

朱如凯 应凤祥 曾洪流 王一刚

寿建峰 林畅松 朱筱敏 林承焰

陈洪德

前 言

储层是油气赋存的场所,储层的结构与分布制约了勘探思路,储层的品质影响油气开采的效益。随着中国经济的快速增长,对油气资源的需求大幅度增长。近年来,我国油气勘探进入了新的发展阶段,低渗透砂岩储层勘探不断取得突破,尤其是近两年在海相地层和火山岩中,发现了大量的油气,是我国油气储量发现和开发新的增长点,然而,这三类储层非均质性强,物性变化大,在储层描述、评价和预测方面仍具有很大的挑战性。

本论文集收录的 32 篇优秀论文主要反映了近年来国内油气储层研究方面的进展:

(1)针对海相碳酸盐岩已经成为当前我国油气储量发现和开发新的增长点,围绕如何更好地寻找有利碳酸盐岩储层,相关论文论述了生物礁群落古生态特征,对碳酸盐岩储层类型及成藏模式进行了总结,并针对碳酸盐岩储层的特征及成因进行了深入的分析,对碳酸盐岩储层中次生孔隙形成原因进行了探讨,对白云岩特征及成因做了深入的分析与总结。

(2)针对当前火山岩储层勘探方法缺乏,相关论文对火山岩储层控制因素进行了初步总结,并对火山岩综合勘探技术应用与发展趋势进行了阐述。

(3)针对当前油气重点勘探领域的低渗透砂岩储层,相关论文对低渗透储层的形成机理进行了分析,就储层的埋藏史、成岩演化特征、构造裂缝发育特征及沉积体系和砂体展布等特征进行了深入的刻画;同时从成岩相研究角度入手,致力于低渗透砂岩储层形成机理的研究,并试图建立成岩相的分类与定量评价标准。

论文的集结出版,目的是为了加强交流、推进认识,以期在推动碳酸盐岩储层勘探、火山岩储层勘探以及低渗透砂岩储层勘探和开发方面起到重要的作用。

目 录

塔里木盆地西部奥陶系内部不整合	邓胜徽 黄智斌 景秀春等(1)
中生代主要植物化石的古气候指示意义	邓胜徽(9)
礁滩体与建设性成岩作用	张宝民 刘静江 边立曾等(27)
中国岩溶储集层分类与特征及相关的理论问题	张宝民 刘静江(49)
济阳坳陷古近系储层孔隙类型与次生孔隙成因	朱筱敏 王英国 钟大康等(71)
南翼山油田浅层颗粒灰岩孔隙类型及成岩作用分析	崔俊 陈登钱 姚熙海等(81)
利用包裹体分析鄂尔多斯盆地上古生界油气充注史与古流体	单秀琴 陈红汉 罗霞等(87)
河流相沉积中准层序与短期基准面旋回对比研究	高志勇(94)
华北地台东部石炭—二叠系优质煤储层形成分布控制因素	金振奎 苏妮娜 王春生(105)
中国海相碳酸盐岩油气储层基本特征	罗平 张静 刘伟等(113)
层序界面对砂岩成岩作用及储层质量的影响	罗忠 罗平 张兴阳等(127)
中国叠合盆地深层有利碎屑岩储层的基本类型	寿建峰 郑兴平 斯春松等(140)
应用国际标样对伊利石结晶度测定值的校正及其意义	游建昌 毕先梅 侯纯敏(148)
塔里木盆地东河砂岩沉积期次及油气勘探意义	张惠良 杨海军 寿建峰等(156)
大分子烃类拉曼特征及在烃包裹体研究中的意义	张鼎(165)
碎屑岩储层成岩流体演化与储集性及油气运移关系探讨	朱如凯 郭宏莉 高志勇等(174)
致密砂岩气藏储层成岩流体演化与致密成因机理	朱如凯 邹才能 张鼎等(186)
克拉玛依油田砂砾岩储层裂缝识别与评价	李国永 徐怀民 林军等(200)
海相碳酸盐岩储集层类型、成藏模式及勘探思路	赵宗举(209)
中国海相碳酸盐岩的储层类型、勘探领域及勘探战略	赵宗举(227)
鄂尔多斯盆地姬塬地区延长组中下部特低渗储层成岩演化及特征	韩永林 王海红 王成玉等(241)
准噶尔盆地滴西地区石炭系火山岩储层特征及其主控因素	徐洋 宫清顺 韩守华等(249)
四川盆地川中地区须家河气藏储层特征及有效储层物性下限研究	林建平 姚宴波 李俊良等(254)
塔东寒武系白云岩成因及储集层演化特征	马锋 许怀先 顾家裕等(268)

准噶尔盆地腹部永进地区砂岩储层胶结作用特征	王芙蓉	何 生	何治亮等	(285)
火山岩综合勘探技术应用与发展趋势	王 玲	张 研	杨 辉等	(297)
滴西地区石炭系火山岩储集层特征及地震勘探方法	王仁冲	徐怀民	李 林等	(307)
准噶尔盆地西北缘石炭系裂缝特征及其有效性分析	王兆峰	赵 蕾	张大勇等	(314)
储集层成岩 - 储集相研究方法浅探	郭迎春	徐樟有	刘 磊	(323)
露头自然伽马、岩石地球化学、测井地震一体化综合厘定				
四川盆地上三叠统须家河组层序界面	白 斌	邹才能	朱如凯等	(328)
火山岩油气储层地质学——思考与建议	邹才能	朱如凯	毛治国等	(337)
川西坳陷新场气田上三叠统须家河组储集层岩石物理相研究				
.....	徐樟有	郭迎春	刘 磊等	(346)

塔里木盆地西部奥陶系内部不整合[●]

邓胜徽¹ 黄智斌² 景秀春^{1,3} 杜品德² 卢远征¹ 张师本^{1,2}

(1. 中国石油勘探开发研究院; 2. 中国石油塔里木油田公司; 3. 中国地质大学(北京))

摘 要 塔里木盆地西部柯坪地区奥陶系内部存在两期主要不整合。其一,位于下奥陶统蓬莱坝组与鹰山组之间,为平行不整合。该不整合在柯坪县北水泥厂剖面上缺失牙形石 *Glyptoconus floweri* 带和 *Tripodus proteus-Paltodus deltifer* 带,有大至相当于 5.5Ma 的地层缺失量;在乌什县鹰山北坡剖面上缺失了牙形石 *Glyptoconus quadruplicatus* 带、*Glyptoconus floweri* 带和 *Tripodus proteus-Paltodus deltifer* 带,有相当于约 7.2Ma 的地层缺失量。其二,存在于上奥陶统铁热克阿瓦提组与其下伏地层之间,主要为平行不整合,局部为角度不整合。古生物研究表明其间的地层缺失量变化相当大,在柯坪大湾沟、大湾沟东以及羊吉坎剖面上,不整合之下地层为印干组,地层缺失量比较少,时间间隔为 1~2Ma;在阿克苏四石厂剖面 and 柯坪铁热克阿瓦提剖面,其下伏地层为其浪组,缺失了印干组和其浪组的上部,其时间间隔相当于约 5Ma;在伽师三间房剖面,下伏地层为吐木休克组或一间房组,缺失地层的时间间隔约为 15Ma;西克尔地区地层缺失量最大,铁热克阿瓦提组直接覆于中奥陶统鹰山组之上,缺失地层的时间间隔超过了 20Ma。

关键词 奥陶系 不整合面 地层缺失量

地层间的不整合面及地层缺失量在地层划分对比、沉积和构造演化历史分析、层序地层研究以及油气勘探中均具有重要的意义。塔里木盆地奥陶系是一个重要的油气勘探层系,近年在奥陶系内部碳酸盐岩岩溶为储集体的油气勘探中获得了重大突破,凸显了奥陶系不整合在塔里木盆地油气勘探中的重要作用,相关研究越来越受到重视,已往研究认识到塔里木盆地奥陶系内部可能存在不同期次不同规模的不整合(张师本等,2000;许效松等,2004;刘静江等,2006;陈新军等,2007)。但以往的工作重点在覆盖区,对露头区的不整合缺少系统的研究,特别是对下奥陶统内部的不整合未曾述及,对地层的缺失量也没有详细分析。本文通过对柯坪、巴楚地区的多条露头剖面(图1)的观察和古生物研究、沉积观察等识别出两期主要的区域不整合,并分析了不整合面横向变化及相应的地层缺失量。

1 下奥陶统内部不整合

1.1 地层简介

塔里木盆地西部台地相区中、下奥陶统为一套巨厚的碳酸盐岩,原命名为丘里塔格群上亚群(新疆维吾尔自治区区域地层表编写组,1981;周志毅和陈丕基,1990;张师本和高琴琴,1991)。周糠康等(1991)将该亚群自下而上进一步划分为蓬莱坝组、鹰山组和大湾沟组。蓬莱坝组与鹰山组广泛出露于柯坪地层分区和塔克拉玛干地层分区的一间房—西克尔地层小

● 本文为中国石油勘探开发研究院青年创新基金项目成果。

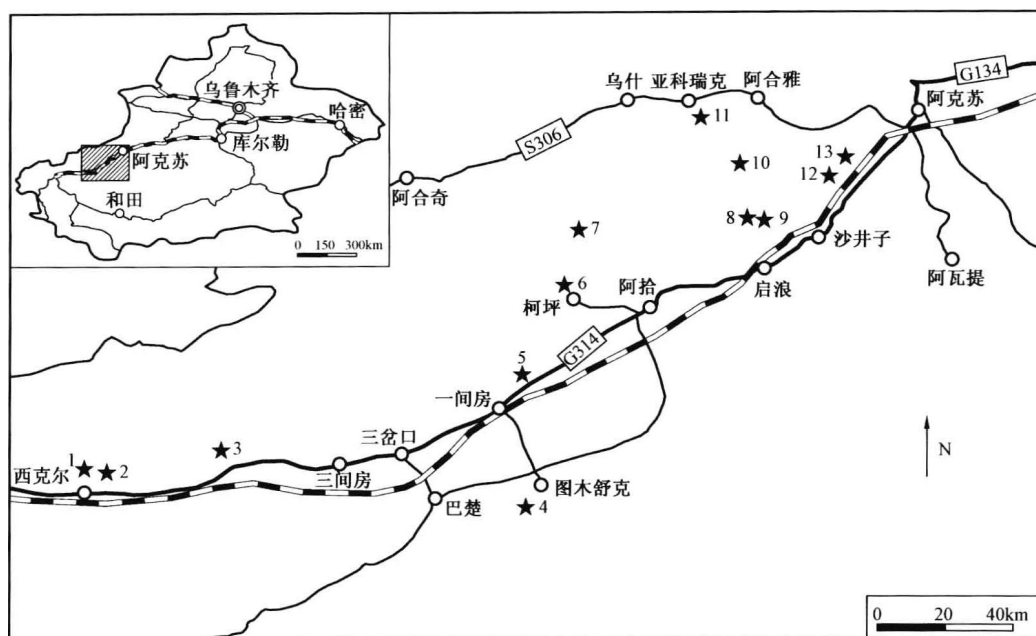


图1 研究剖面位置图

- 1—伽师西克尔镇北;2—伽师西克尔;3—伽师三间房;4—巴楚大坂塔格;5—柯坪羊吉坎;
6—柯坪县北水泥厂;7—柯坪铁热克阿瓦提;8—柯坪大湾沟;9—柯坪大湾沟东;
10—乌什鹰山北坡;11—乌什亚科瑞克;12—阿克苏四石厂;13—阿克苏蓬莱坝

区,主要剖面有柯坪县北水泥厂、阿克苏蓬莱坝、乌什鹰山北坡和巴楚大坂塔格等。其中,柯坪县北水泥厂剖面 and 巴楚大坂塔格剖面以往研究较好(张师本和高琴琴,1991),笔者最近又对乌什鹰山北坡剖面等进行了重点研究(Deng et al., 2007)。

蓬莱坝组以一套稳定的石灰岩为底界,在柯坪县北水泥厂剖面上相当于第9层。蓬莱坝组(相当于9~131层)的主体岩性为灰白、浅灰色灰岩,中厚层状粉—细—粗晶白云岩夹粉晶砂屑、砾屑灰岩、藻纹层灰岩,含硅质条带及团块。其中,云质和硅质成分由下而上渐少,直至过渡到纯灰岩。鹰山组(相当于132~284层)以浅灰色、灰色、深灰色薄—厚层状泥晶灰岩,藻粘结泥晶灰岩、粉细晶灰岩,泥粉晶砂屑灰岩、亮晶粒屑灰岩,局部夹粉晶白云质灰岩、白云岩;其总体颜色较蓬莱坝组为深。根据牙形石研究结果(张师本和高琴琴,1991;赵治信等, 2000; Deng et al., 2007),蓬莱坝组底部的时代属晚寒武世凤山期。最近,笔者通过碳、氧同位素分析确定奥陶系的底界位于该剖面的第24层,距蓬莱坝组的底约43.8m(景秀春等,2008),因此,蓬莱坝组的主体时代为早奥陶世新厂期。在鹰山组下段中发现牙形石 *Scolopodus tari-mensis*,属于 *Serratognathus diversus*-*Paroistodus proteus* 带,时代为早奥陶世道保湾期。

蓬莱坝组和鹰山组的岩性总体上比较稳定,但在阿克苏蓬莱坝剖面上蓬莱坝组基本为白云岩,石灰岩比例小;而在塔克拉玛干地层分区鹰山组中下部硅质岩条带和团块较发育,显示横向有一定的变化。

1.2 不整合的主要特征

以往没有丘里塔格群上亚群内部存在不整合的记载,本次发现鹰山组与蓬莱坝组之间存在平行不整合,在沉积学和古生物学方面均有充分的依据。

1.2.1 沉积学证据

在柯坪地区蓬莱坝组与鹰山组的界线较为截然,特别是在柯坪县北水泥厂和乌什县鹰山北坡剖面,表现为地层颜色上的差异,蓬莱坝组以灰、灰白色为特征,而鹰山组以灰、深灰色为特点,颜色浅深对比明显,表明两者之间为突变的关系(图 2a)。更为重要的是,在蓬莱坝组顶部存在明显的暴露剥蚀面,具有古风化壳,其顶面不平整,界面之下岩溶现象普遍存在。在柯坪县北水泥厂剖面,鹰山组底沉积于凹凸不平的界面上,具有填平补齐的特点(图 2b);乌什鹰山北坡剖面蓬莱组与鹰山组界线位于第 9 层和第 10 层之间(Deng et al., 2007),剥蚀面十分明显(图 2c)。在阿克苏蓬莱坝剖面上,蓬莱坝组与鹰山组界线附近存在溶洞,可能与此不整合有关。

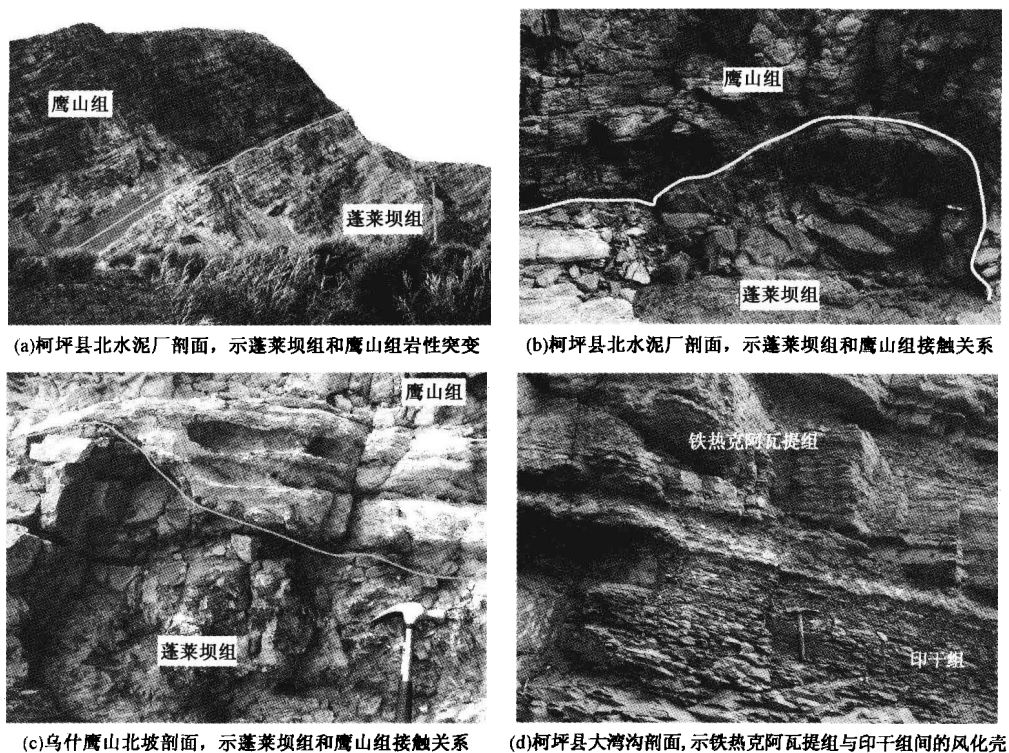


图2 露头剖面不整合的面图示

1.2.2 古生物学证据

综合现有研究资料,塔里木盆地台地相区蓬莱坝组到鹰山组下段共存在 7 个牙形石带或组合,自下而上分别为:*Teridontus nakamurai*-*T. huanghuachangensis*-*T. gracilis* 组合, *Variabiloconus aff. bassleri* 带, *Chosonodina herfurthi*-*Rossodus manitouensis* 带, *Glyptoconus quadraplicatus* 带, *Glyptoconus floweri* 带, *Tripodus proteus*-*Paltodus deltifera* 带和 *Serratognathus diversus*-*Paroistodus proteus* 带, 其中后者可以进一步分为 *Scolopodus hemisphaericus*, *S. tarimensis* 和 *Pteraconyiodus exilis*-*Bergstroemognathus extensus* 等 3 个亚带(表 1)。在柯坪县北水泥厂剖面蓬莱坝组中,相当于张师本和高琴琴(1991)剖面的第 20 层中主要产 *Glyptoconus quadraplicatus*, *G. sp.*, *Drepanodus subarcuatus*, *Drepanoistodus concavus* 等,属于 *Glyptoconus quadraplicatus* 带,时代为早奥陶世新厂期中期;而界面之上的鹰山组底部出现了 *Scolopodus tarimensis*,应属于 *Scolopodus tarimensis* 动物群

(周志毅等, 2001) 或 *Serratognathus diversus*-*Paroistodus proteus* 带的 *Scolopodus tarimensis* 亚带 (赵治信等, 2000), 时代相当于早奥陶世道保湾期早期。因此, 在柯坪县北水泥厂剖面上鹰山组与蓬莱坝组之间缺失了 *Glyptoconus floweri* 带和 *Tripodus proteus*-*Paltodus deltiifer* 带以及 *Serratognathus diversus*-*Paroistodus proteus* 带的 *Scolopodus hemisphaericus* 亚带。

在鹰山北坡剖面上, 经过反复的分析, 在蓬莱坝组中发现 3 个牙形石带或组合, 即 *Teridontus nakamurai*-*T. huanghuachangensis*-*T. gracilis* 组合, *Variabiloconus aff. bassleri* 带, *Chosonodina herfurthi*-*Rossodus manitouensis* 带。而不整合面以上的鹰山组底部为 *Scolopodus tarimensis* 亚带; 也就是说在鹰山北坡剖面上不整合面除了缺失 *Glyptoconus floweri* 带, *Tripodus proteus*-*Paltodus deltiifer* 带和 *Serratognathus diversus*-*Paroistodus proteus* 带的 *Scolopodus hemisphaericus* 亚带外, 还缺失了 *Glyptoconus quadraplicatus* 带(表 1)。

表 1 新疆塔里木盆地早奥陶世牙形石带(组合)序列

地层		柯坪县北水泥厂	乌什鹰山北坡剖面	全盆地综合划分	
下奥陶统	道保湾阶	鹰山组	<i>Pteraconiodus exilis</i> - <i>Bergstroemognatus extensus</i> 亚带	<i>Pteraconiodus exilis</i> - <i>Bergstroemognatus extensus</i> 亚带	①
			<i>Scolopodus tarimensis</i> 亚带	<i>Scolopodus tarimensis</i> 亚带	
				<i>Scolopodus hemisphaericus</i> 亚带	
	新厂阶			<i>Tripodus proteus</i> - <i>Paltodus deltiifer</i> 带	
				<i>Glyptoconus floweri</i> 带	
				<i>Glyptoconus quadraplicatus</i> 带	
		蓬莱坝组	<i>Glyptoconus quadraplicatus</i> 带	<i>Glyptoconus quadraplicatus</i> 带	
			<i>Chosonodina herfurthi</i> - <i>Rossodus manitouensis</i> 带	<i>Chosonodina herfurthi</i> - <i>Rossodus manitouensis</i> 带	
			<i>Variabiloconus aff. bassleri</i> 带	<i>Variabiloconus aff. bassleri</i> 带	
上寒武统			<i>Teridontus nakamurai</i> - <i>T. huanghuachangensis</i> - <i>T. gracilis</i> 组合	<i>Teridontus nakamurai</i> - <i>T. huanghuachangensis</i> - <i>T. gracilis</i> 组合	

注:① 为 *Serratognathus diversus*-*Paroistodus proteus* 带。

1.2.3 地层缺失量估算

塔里木盆地蓬莱坝组完整的牙形石序列由 6 个牙形石带或组合构成(表 1), 虽然奥陶系底界标准化石没有发现, 但最近笔者通过碳、氧同位素的研究基本确定了寒武/奥陶系的界线 (景秀春等, 2008), 在柯坪水泥厂剖面上界线位于第 24 层, 在鹰山北坡剖面位于第 6 层, 相当于 *Teridontus nakamurai*-*T. huanghuachangensis*-*T. gracilis* 组合的中部(表 1), 也即, 塔里木盆地台地相区下奥陶统第一个阶新厂阶(相当于国际 Tremadocian 阶)共存在 5 个半牙形石带或组合, 而该 Tremadocian 期大约延续了 9.7Ma。因此, 如果假设每个化石带所延续的时间大致相当, 则可推算出在柯坪县北水泥厂剖面上蓬莱坝组顶部缺失了约相当于 3.5Ma 的地层。鹰山组下段为 *Serratognathus diversus*-*Paroistodus proteus* 牙形石带, 进一步分为三个亚带(赵治信等, 2000), 涵盖了道保湾期。道保湾期与国际 Floian 期相当, 延续时间约为 6.8Ma。鹰山组底部出现的是 *Scolopodus tarimensis* 亚带, 缺失了 *Scolopodus hemisphaericus* 亚带。因此, 鹰山组底缺失了约 2Ma 的地层。所以, 在柯坪县北水泥厂剖面上, 这一不整合存在 5.5Ma 左右的地层缺失。按同样的方法推算鹰山北坡剖面缺了约 7.2Ma 的地层。

2 上奥陶统铁热克阿瓦提组与下伏地层间的不整合

2.1 地层简介

上奥陶统铁热克阿瓦提组为一新建组^①,相当于原柯坪塔格组下段(张师本等,1991;赵治信等,2000),以一套黄绿、灰绿、深灰色中—厚层状粉—细砂岩与泥页岩为主,偶夹石灰岩透镜体,在西部到伽师三间房—西克尔地区相变为紫红色,产几丁石、疑源类,少量笔石、腕足类、腹足类、双壳类等化石。本组地层原归下志留统,张师本等(1996)据新发现的几丁石改归上奥陶统,为后来学者采纳(周志毅等,2001;贾承造等,2004)。铁热克阿瓦提组与下伏地层间存在明显的不整合。对此不整合早有论述(张师本等,2000),但是,该不整合在横向上的变化及地层缺失量尚不是很清楚。本文在对阿克苏四石厂、柯坪大湾沟、大湾沟东、铁热克阿瓦提、羊吉坎,伽师三间房、西克尔镇东和西克尔镇北等(图1)一系列露头剖面观察的基础上,对此不整合面进行讨论。

2.2 不整合的沉积学证据

此不整合在沉积学上的特征表现为古风化壳及剥蚀面。不整合界面普遍存在厚数厘米到十数厘米的黄色土壤层,多为平行不整合。如在柯坪大湾沟剖面上,铁热克阿瓦提组与印干组之间风化壳约10~20cm厚。风化壳之下为印干组灰黑色泥岩,上为铁热克阿瓦提组灰绿色、黄绿色粉砂岩,该组底部存在不稳定的砾石层(图2d)。在其他剖面上,不整合界面的沉积特征类似,只是风化壳下伏地层层位和厚度有变化,总体上表现为平行不整合,但在三间房剖面及以西的西克尔地区为角度不整合。

2.3 不整合的古生物学证据

以往的工作(张师本等,1996;耿良玉和蔡习尧,1996)及笔者对多个地点出露的铁热克阿瓦提组进行了古生物分析,特别是在大湾沟、大湾沟东、铁热克阿瓦提以及西克尔镇北等剖面上发现上奥陶统几丁石。综合前人和笔者的研究结果,露头区铁热克阿瓦提组的几丁石可以分为 *Belochitina postrobusta* 带、*Cingulochitina kalpinensis* 带、*Tanuchitina anticostiensis* 带和 *Conochitina* sp. 2 带;三叶虫为 *Dalmanitina* 带;笔石为 *Normalograptus nikolayevi* 带(江大勇等,2006)。上述化石带除位于该组顶部的笔石 *Normalograptus nikolayevi* 带和几丁石 *B. postrobusta* 带的时代属早志留世早期外,其余均为晚奥陶世晚期,也即铁热克阿瓦提组的大部分地层应归属上奥陶统上部钱塘江阶,只有顶部一小段地层归属下志留统下部。

古生物分析表明不整合之下地层层位各地很不一致,化石特征不相同,自东而西简述于下。

2.3.1 柯坪大湾沟剖面和大湾沟东剖面

由于柯坪大湾沟和大湾沟东剖面相距不远,故放在一起讨论。在大湾沟剖面,上奥陶统印干组顶部产笔石 *Amplexograptus disjunctus yangtzensis*, *Climacograptus angustus*, *C. cf. dorotheus*, *C. normalis*, *C. cf. dorotheus*, *C. normalis*, *C. cf. typicalis*, *Orthograptus amplexicaulis*, *O. cf. sociale* 和 *Pararetiograptus regulaaris* 等(张师本和高琴琴,1991),属于 *Diplacanthograptus spiniferus* 带;几

① 邓胜徽,张师本,卢远征,等. 2006. 塔里木盆地奥陶纪地层划分与对比. 内部研究报告。

丁石为 *Cyathochitina macastyensis* 带, *Calpichitina lata* 带和 *Belonechitina convexa*-*Kalochitina parvicolla* 带, 与欧洲、北美及我国华南地区同名带可以对比, 时代为艾家山期晚期。

铁热克阿瓦提组近底部产几丁石 *Conochitina* sp. 2 带。时代大致为艾家山期晚期至钱塘江期早期。因此, 在这一剖面上缺失的地层并不多, 可能只缺失了艾家山期最晚期的沉积, 应属短暂沉积间断。

大湾沟东剖面位于大湾沟剖面以东约 5km 处。不整合之下的印干组中含丰富的笔石和几丁石。其中, 笔石与大湾沟剖面相似, 归 *Diplacanthograptus spiniferus* 带; 几丁石属于 *Belonechitina convexa* 带, 其层位相当于艾家山阶最上部至钱塘江阶下部, 显示其层位比大湾沟剖面更高。铁热克阿瓦提组黄绿色砂岩、泥质粉砂岩, 岩性与大湾沟剖面相同, 未进行古生物研究。

2.3.2 阿克苏四石厂剖面

在阿克苏四石厂剖面上可以看到铁热克阿瓦提组直接覆盖于其浪组薄层灰岩之上。在其浪组顶部出现厚约 10~20cm 的红色风化壳; 该组近顶部灰岩中所产牙形石主要有 *Protopanderodus liripipus*, *P. gradates*, *Scabbardella altipes*, *Dapsilodus viruensis*, *Periodon aculeatus*, *Cornuodus longibasis* 和 *Drepanoistodus venustus* 等, 可大致对比到牙形石 *Baltoniodus alobatus* 带, 时代相当于晚奥陶世艾家山期中期。

2.3.3 柯坪县铁热克阿瓦提剖面

柯坪县铁热克阿瓦提剖面的铁热克阿瓦提组也是直接覆盖于其浪组之上(张师本和高琴琴, 1991)。在铁热克阿瓦提组下部产几丁石 *Conochitina* sp. 2 带(耿良玉和蔡习尧, 1996), 其浪组近顶部产几丁石 *Spinachitina cylindrica*(张师本和高琴琴, 1991; 耿良玉等, 1996)。

2.3.4 柯坪县羊吉坎剖面

在柯坪羊吉坎剖面铁热克阿瓦提组覆于印干组灰岩夹泥岩地层之上。印干组顶部产三叶虫、腕足类及牙形石。其中的三叶虫有 *Calymenesun* sp., *Remopleurides* sp., 腕足类有 *Sowerbyella* sp. 等。笔者在印干组最顶部也发现了较多的牙形石 *Drepanoistodus forceps*, *Phragmodus undatus*, *Belodina confluens* 和 *Panderodus gracilis* 等, 相当于 *Belodina confluens* 带底部, 时代为艾家山期晚期。在这条剖面上, 不整合中至少缺失了一个牙形石带。

2.3.5 伽师县三间房剖面

在 314 国道约 1257.6km 处西北侧的伽师县三间房剖面上, 这一不整合面之底面不平整, 见到吐木休克组红色灰岩、泥质灰岩或泥岩, 或一间房组灰色灰岩。在吐木休克组中发现了牙形石 *Pygodus anserinus* 等。

2.3.6 伽师西克尔镇东和西克尔镇北剖面

伽师县西克尔镇东剖面和西克尔镇北剖面相距很近, 情况类似, 放在一起讨论。其中, 西克尔镇北北坡剖面的不整合(张师本等, 2000)进行过研究, 并与塔中井下进行了对比, 提出塔中古隆起的概念, 认为西克尔到塔中地区早奥陶世已经开始抬升, 为明显的角度不整合(张师本等, 2000)。在这些剖面上铁热克阿瓦提组相变为紫红色砂岩、泥岩, 或夹灰岩, 直接覆盖于鹰山组灰岩之上。

在西克尔镇北剖面不整合下伏的石灰岩中发现牙形石 *Serratognathoides chuxianensis*, *Scolopodus euspinus*, *Tangshanodus* sp., *Scolopodus tarimensis*, *S. aff. sunanensis* 等, 属于 *Serratognathoides chuxianensis*-*Scolopodus euspinus*-*Tangshanodus* sp. 组合带, 层位为鹰山组上部, 时代为中奥陶世大湾期。

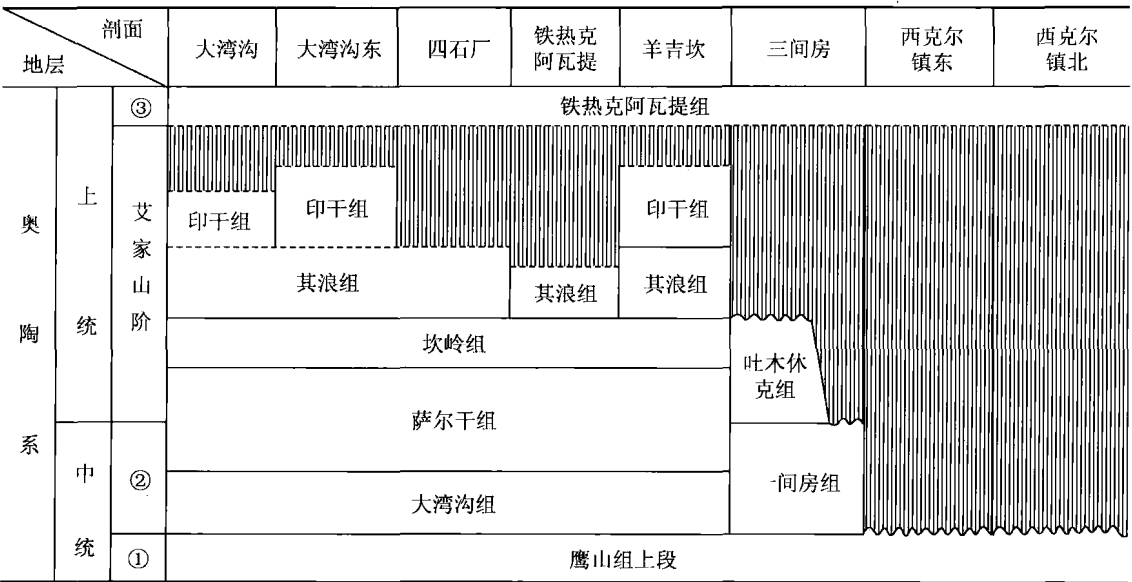
2.4 地层缺失量估算

现有资料表明,此不整合面之上的地层均为铁热克阿瓦提组,大致是等时的,但是不整合面的底面却是非常不平整,各处相差很大(表2)。

在所研究的剖面中,以柯坪大湾沟东剖面和羊吉坎剖面印干组的层位最高,相当于艾家山最晚期,而铁热克阿瓦提组近底部的几丁石证明其层位可对比到钱塘江期早期,因此地层缺失十分有限。特别是在大湾沟东剖面上,印干组顶部的 *Belonechitina convexa* 组合中没有发现 *Calpichitina lata* 的存在,而该种在大湾沟剖面印干组的顶部却大量出现。两个剖面相距不远,几丁石组合面貌却相去甚远,应是层位上下不同的原因所致。即在大湾沟东剖面印干组顶部层位更高,所缺失的地层更少。印干组在大湾沟东剖面上厚为 97.7m,比大湾沟剖面的 34m(张师本和高琴琴,1991)厚得多,支持古生物分析的结果。

阿克苏四石厂剖面上不整合之下的其浪组顶部所产牙形石属于 *Baltoniodus alobatus* 带,时代相当于晚奥陶世艾家山期中期,印干组全部缺失(表2)。缺失了差不多包括艾家山期中晚期的地层,总的时间间隔超过了 5Ma。

表2 露头区铁热克阿瓦提组与下伏地层间不整合地层缺失量对比示意图



注:① 大湾阶,② 达瑞威尔阶,③ 钱塘江阶。

在铁热克阿瓦提剖面上,不整合下伏地层虽也是其浪组,但缺失了至少 5 个几丁石带,地层缺失量要比四石厂剖面更多。

三间房剖面,不整合面之下的地层为一间房组或吐木休克组。其中,一间房组的时代为中奥陶世达瑞威尔期,吐木休克组的时代为晚奥陶世艾家山期早期,最大缺失地层包括良里塔格组、吐木休克组乃至一间房组的一部分,约相当于 15Ma 的沉积。

伽师西克尔镇东、西克尔镇北和西克尔镇北等 3 条剖面不整合下伏地层层位最低,为鹰山组,时代相当于大湾期,缺失了至少包括中奥陶统上部和上奥陶统中下部的地层,相当于柯坪地层分区的鹰山组上部、大湾沟组、萨尔干组、其浪组和印干组全部缺失,时间间隔超过 20Ma。

铁热克阿瓦提组与下伏地层之间的不整合的地层缺失量在横向上差异很大,有时在几公里甚至几百米范围内就有 1~2 个化石带的差别,在自东而西的约 350km 的跨度中有相当于

13 个牙形石带的差异,总体上由东而西地层缺失量增大(表 2)。这种底面的巨大起伏除了沉积间断导致的地层缺失外,主要应为暴露后的差异风化剥蚀所致,即各地岩石遭风化的速度和强烈程度的不同,造成地层剥蚀量巨大差别,而真正的沉积间断时间并不太大,应该比柯坪大湾东沟剖面印干组顶部与铁热克阿瓦提组之间的间断还要小,估计为 1~2Ma 的时间间隔。

3 结论

塔里木盆地西部柯坪地区奥陶系内部存在两个主要区域不整合。其一,存在于下奥陶统蓬莱坝组与鹰山组之间,为平行不整合,缺失了 2~3 个牙形石带,时间间隔相当于 6~8Ma。其二是存在于上奥陶统铁克阿瓦提组与下伏地层之间,主要表现为平行不整合,局部为角度不整合,下伏地层不同地区差异很大,为印干组、其浪组、吐木休克组、一间房组或鹰山组等,缺失的地层的时间间隔从 1~2Ma 到超过 20Ma。

参考文献

- 陈新军,蔡希源,纪友亮,等. 2007. 塔中奥陶系大型不整合面与风化壳岩溶发育. 同济大学学报(自然科学版), 5(8): 1122~1127
- 耿良玉,蔡习尧. 1996. 塔里木盆地奥陶纪胞石带. 见:童晓光,梁狄刚,贾承造主编. 塔里木盆地石油地质新进展. 北京:科学出版社, 11~25
- 贾承造,张师本,吴绍祖,等. 2004. 塔里木盆地及周边地层. 北京:科学出版社, 1~548
- 江大勇,皮学军,孙作玉,等. 2006. 新疆柯坪大湾沟剖面柯坪塔格组中段底部笔石生物地层初步分析. 地层学杂志, 30(3): 253~257
- 景秀春,邓胜徽,赵宗举,等. 2008. 塔里木盆地柯坪地区寒武—奥陶系界线附近的碳同位素组成与对比. 中国科学(D 辑), 38(10): 1284~1296
- 刘静江,袁玉春,龙维华,等. 2006. 塔里木盆地轮南奥陶系研究进展. 新疆石油地质, 27(12): 667~669
- 新疆维吾尔自治区区域地层表编写组. 1981. 西北区域地层表新疆维吾尔自治区分册. 北京:地质出版社
- 许效松,刘宝珺,牟传龙,等. 2004. 中国中西部海相盆地分析与油气资源. 北京:地质出版社, 1~230
- 张师本,高琴琴,陈钦保,等. 1996. 塔里木盆地西北缘志留—泥盆纪地层研究新进展. 见:童晓光,梁狄刚,贾承造主编. 塔里木盆地石油地质新进展. 北京:科学出版社, 54~66
- 张师本,高琴琴编. 1991. 塔里木盆地震旦纪至二叠纪地层古生物(II),柯坪—巴楚地区分册. 北京:石油工业出版社, 1~329
- 张师本,耿良玉,赵治信,等. 2000. 试论塔里木盆地塔中古隆起. 见:王福同主编,第四届天山地质矿产资源学术讨论会论文集. 乌鲁木齐:新疆人民出版社, 103~106
- 赵治信,张桂芝,肖继南. 2000. 新疆古生代地层及牙形石. 北京:石油工业出版社, 1~340
- 周棣康,周天荣,王朴,等. 1991. 塔里木盆地东北地区丘里塔格群的时代归属. 见:以贾润肾主编. 中国塔里木盆地北部油气地质研究,第一辑. 武汉:中国地质大学出版社, 36~40
- 周志毅,陈丕基. 1990. 塔里木生物地层和地质演化. 北京:科学出版社, 62~139
- 周志毅,赵治信,胡兆珣,等. 2001. 塔里木盆地各纪地层. 北京:科学出版社, 39~80
- DENG Sheng-hui, DU Ping-de, LU Yuan-zheng, et al. 2007. Subdivision and correlation of the Upper Qilitag Group (Upper Cambrian—Middle Ordovician) of Tarim basin, Northwest China. Acta Palaeontologica Sinica, Special Issue, 99~107

中生代主要植物化石的古气候指示意义^①

邓胜徽

(中国石油勘探开发研究院)

摘 要 中生代植物群以真蕨纲、苏铁纲、银杏纲、松柏纲为主,另有苔藓植物、石松纲、楔叶纲及其他种子植物等。从化石的形态和结构、埋藏特点、分布及与现生类型的对比等方面,概要地分析了中生代植物群主要分子的古气候指示意义。其中,反映温暖潮湿气候或生境的主要有苔藓类,石松纲的 *Lycopodites* 和 *Selaginellites* 属等,楔叶纲,真蕨纲的单缝孢类、早白垩世的蚌壳蕨科、海金沙科的 *Ruffordia* 属、紫萁科及可能相关的小羽片大型的 *Cladophlebis*,银杏纲银杏目的主要类型,松柏纲杉科的 *Athrotaxites*、*Cunninghamia*、*Cephalotaxopsis*、*Sequoia* 等,紫杉科的 *Taxus*、*Torreya* 等以及苏铁杉科的 *Ferganiella*、*Podozamites*、*Swedenborgia* 等以及形态属 *Elatocladus*;反映温凉气候的主要有松柏纲的松科和银杏纲的茨康目;适应热带、亚热带气候的包括真蕨类的海金沙科主要分子、合囊蕨科、马通蕨科、双扇蕨科、桫欏科、里白科以及中国蕨科的 *Onychiopsis* 等,苏铁目和本内苏铁目的主要类型;指示偏干旱型气候的主要有石松纲的 *Pleuromeia* 和 *Isoetites*,真蕨纲的 *Weichiselia*,本内苏铁目的 *Otozamites*、*Zamites*、*Ptilophyllum* 等,松柏纲掌鳞杉科的 *Pseudoflenelopsis*、*Flenelopsis*、*Hirmeriella* 以及可能属于掌鳞杉科的 *Brachyphyllum* 和 *Pagiophyllum*,柏科的 *Cupressinocladus* 以及买麻藤目的 *Ephedrites* 等。

关键词 中生代 植物化石 古气候意义

典型的中生代植物群以真蕨类和裸子植物(主要为苏铁纲、银杏纲和松柏纲)占优势,既不同于以石松纲、楔叶纲、科达纲、种子蕨纲等占主导的晚古生代植物群,也有别于以被子植物为主体的新生代植物群,当然,与其前后两个时期植物群有一些共同的类别,即遗存有古生代的石松类、楔叶类和种子蕨等,后期又出现了被子植物,向新生代植物群过渡。本文讨论的对象是典型的中生代植物群,不涉及被子植物。

通过对植物化石的研究来推断古气候特点是古气候学研究重要而有效的方法之一(瓦赫拉梅耶夫,1990)。近年来,由于叶相分析(Wolfe,1993,1995)、共存因子分析(Mosbrugger,1997)、年轮分析法(Wiemann et al.,1998;Falcon-Lang,2000)等多种手段的应用,使得新生代古气候的研究进入了定量重建的阶段。然而,对于中生代而言,由于植物群组成和性质与新生代的相差很大,进行古气候的定量重建还很困难,主要还是通过具有古气候指示意义的代表分子作出定性推断。

关于中生代植物类型与古气候的关系已经有很多学者进行过研究,发表了大量的文献(Miller,1984;Kimura,1987;Herman and Spicer,1996;Watson and Alvin,1996;Van Konijnenburg-Van-Cittert,2002;Spicer and Herman,1998;Deng,2002;Cúneo et al.,2003;Yang et al.,2006;王自强和王立新,1989;邓胜徽,1995b;曹正尧,1999;孟繁松等,2000),但资料比较分散,缺少系

① 国家重点基础研究发展计划“973”项目(2006CB701400)和国家自然科学基金项目(40372021)资助。

统性的总结。本文在植物化石形态和结构、埋藏环境、全球分布及与现生亲近类型的对比等资料的基础上对中生代植物群各主要类群(被子植物除外)进行了分析,总结了主要常见分子的古气候意义,分为4种气候类型。鉴于篇幅和作者对资料掌握的局限,仅涉及少量孢粉和木化石资料。

中生代是典型的温室时期,全球没有寒带,各大陆植被均很发育,极地可以成煤。但全球气候分带仍较为明显。笔者采用的中生代植物地理区系及古气候分区主要参考瓦赫拉梅耶夫专著的中文译本(1990),并略作调整。中生代全球植物地理区分为西伯利亚区或西伯利亚—加拿大区、欧洲—中国区、赤道区和澳大利亚区。其中,西伯利亚区或西伯利亚—加拿大区为温带气候区。该区除了西伯利亚和加拿大外,还包括了中国昆仑—秦岭—大别山一线以北的北方区和日本的内带;欧洲—中国区为亚热带区,包括欧洲、中亚、北美中部、中国南方区和日本的外带等;赤道区包括中美洲、南美的巴西、北非和以色列等,属于热带气候区;澳大利亚区包括南美的阿根廷、智利、非洲南部、印度、澳大利亚、新西兰以及南极大陆等,属于南亚热带区。各区由于内部差异,可以出现干旱、半干旱或潮湿的差别。

1 温带潮湿气候环境类型

此类植物化石多保存于河流、沼泽相沉积中,特别是含煤地层中;化石往往保存较好,常有原地埋藏的特点;主要分布于北方温带植物地理区;主要类型包括苔藓类,石松纲的 *Lycopodites* 和 *Selaginellites* 等属,楔叶纲,真蕨纲的单缝孢类、早白垩世的蚌壳蕨科、海金砂科的 *Ruffordia* 属、紫萁科及可能属于该科的小羽片大型的 *Cladophlebis*, 银杏纲银杏目的主要类型,松柏纲杉科的 *Athrotaxites*、*Cunninghamia*、*Cephalotaxopsis*、*Sequoia* 等,紫杉科的 *Taxus*、*Torreya* 等,苏铁杉科的 *Ferganiella*、*Podozamites*、*Swedenborgia* 以及形态属 *Elatocladus*(表1)。以下按分类单元顺序进行叙述。

表1 中生代常见指示温带潮湿气候的植物

植物类别		主要属种	干温度指示			气候类型指示		
			潮湿	半潮湿	干旱	热带	亚热带	温带
苔藓植物门		<i>Hepaticites</i> , <i>Marchantites</i> , <i>Muscites</i> , <i>Metzgerites</i> , <i>Ricciopsis</i> 及部分 <i>Thallites</i>	+++	+	+	++	++	++
石松纲	石松科	<i>Lycopodites</i>	++	+		+	++	++
	卷柏科	<i>Selaginellites</i>	++	+		+	++	++
楔叶纲	芦目科	<i>Neocalamites</i> , <i>Annulariopsis</i> , <i>Neoannularia</i> 等	+++			+	++	+++
	木贼科	<i>Equisetites</i> (或 <i>Equisetum</i>)	+++	+		+	++	+++
真蕨纲	紫萁科	叶: <i>Todites</i> , <i>Osmundopsis</i> , <i>Tuarella</i> , <i>Raphaelia</i> , <i>Osmunda</i> ; 小羽片大型的 <i>Cladophlebis</i> ; 根状茎: <i>Osmundacaulis</i> 和 <i>Millerocaulis</i>	+++	+			++	+++
	海金砂科	<i>Ruffordia</i>	+++	+		+	++	+++
	蚌壳蕨科	<i>Coniopteris</i> , <i>Dicksonia</i> , <i>Gonatosorus</i> , <i>Acanthopteris</i> (白垩纪)	+++	+			+	+++
	蹄盖蕨科	<i>Athyrium</i> , <i>Eogymnocarpium</i>	+++					+++