

文章编号: 1001-6112(2012)05-0466-08

塔里木盆地东北部 中上奥陶统致密砂岩储集性能与成因

赵欣¹ 陈强路² 孙渊¹ 史政² 陈跃²

(1. 长安大学, 西安 710064;

2. 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院, 无锡石油地质研究所, 江苏 无锡 214126)

摘要: 塔里木盆地东北部中上奥陶统发育了一套巨厚的砂岩、粉砂岩与泥(页)岩互层的浊积岩,其勘探前景日益引起人们的关注。通过对库鲁克塔格露头系统采样,详细研究了中上奥陶统却尔却克组砂岩的储集性和成因。却尔却克组砂岩主要为细粒长石砂岩、岩屑砂岩、岩屑长石砂岩和长石岩屑砂岩;长石颗粒、方解石胶结物的溶蚀孔隙是主要的孔隙空间,孔隙结构以微小孔—微细喉道组合类型为主;平均孔隙度1.72%,平均渗透率 $4.584 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,属于特低孔低渗的储层。近物源快速沉积作用导致的低成分成熟度和中等—差结构成熟度,是却尔却克组致密砂岩形成的内在原因;较高的塑性颗粒含量和超补偿沉积导致的强烈压实作用和晚期较强的胶结作用是储层物性差的重要因素;较弱的溶蚀作用及破裂作用未能明显地改善储层的物性条件,也是形成本组低孔低渗的砂岩储层的重要原因。

关键词: 成因; 储集性; 致密砂岩; 中上奥陶统; 塔里木盆地

中图分类号: TE122.2⁺3

文献标识码: A

Property and origin of tight sandstones in Middle – Upper Ordovician , northeastern Tarim Basin

Zhao Xin¹ , Chen Qianglu² , Sun Yuan¹ , Shi Zheng² , Chen Yue²

(1. Chang' an University , Xi' an , Shaanxi 710064 , China;

2. Wuxi Research Institute of Petroleum Geology , SINOPEC , Wuxi , Jiangsu 214151 , China)

Abstract: In the northeastern Tarim Basin , a thick set of turbidite composed of sandstone , siltstone and mudstone (shale) was found in the Middle and Upper Ordovician , attracting more and more attentions for exploration. The reservoir property and origin of sandstones from the Querquek Formation were studied in detail through systematic sampling of Kuruktag outcrops. The sandstones from the Querquek Formation mainly included fine-grained arkose , lithic sandstone , debris feldspar and feldspathic lithic sandstone. The dissolved pores of feldspar particle and calcite cement worked as the main pore space , and the pore structure was mainly micro pore and throat. The average porosity was 1.72% , and the average permeability was $4.584 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, indicating extra-low porosity and extra-low permeability reservoir. The low compositional and mid – poor textural maturities of sandstone resulted from near source and rapid deposition were the inherent reasons for the formation of Querquek tight sandstone. The severe compaction resulted from ultra-compensation , the high content of plastic particle and the late weak dissolution were the important factors for poor physical property reservoir. The weak dissolution and fracturing did not improve the physical property of reservoir obviously , and were the important reasons for poor reservoir with low porosity and permeability.

Key words: origin; reservoir property; tight sandstone; Middle – Upper Ordovician; Tarim Basin

大面积分布的低渗透致密储层越来越成为油气勘探的重要领域^[1-4]。塔里木盆地东北部中上奥陶统发育了一套巨厚的砂岩、粉砂岩与泥(页)岩韵律

互层的海底扇浊积岩,其勘探前景日益引起人们的关注。目前钻井揭示该套地层较少,本文通过库鲁克塔格露头系统采样,结合钻井资料,研究了

该套碎屑岩的储集性及成因。

1 中上奥陶统地层概况

中、晚奥陶世至志留—泥盆纪,塔里木克拉通主体处于挤压聚敛构造环境,早期的欠补偿盆地相沉积被超补偿沉积相所替代^[5-6]。中晚奥陶世,塔里木盆地中西部的塔中—巴楚地区发育一间房组($O_{2,yj}$)、恰尔巴克组($O_{3,qb}$)、良里塔格组($O_{3,l}$)、桑塔木组($O_{3,s}$)地层,东北部满加尔—孔雀河地区沉积了却尔却克组地层($O_{2-3,qk}$)^[5],却尔却克组地层是一套浊积岩相杂砂岩与泥质岩韵律状互层沉积组合。

中上奥陶统却尔却克组露头主要分布在却尔却克山、元宝山、南雅尔当山等地^[7](图1),却尔却克组在却尔却克山出露较全,实测地层厚度为1420.54 m,根据沉积旋回特征,却尔却克组总体可划分为3个岩性段。下部为灰色、深灰色中—薄层的浊积砂岩,发育鲍玛序列的ABCDE各段组合,岩性以长石砂岩为主;中段发育灰色、浅灰绿色中层浊积岩屑砂岩,夹有灰色薄层的灰岩透镜体;上部为灰色、灰绿色薄—中层浊积砂岩,岩性为岩屑砂岩,岩屑多为火山碎屑,含有不同程度的凝灰质成分。元宝山出露地层可能偏向于却尔却克组上部地层;南雅尔当山地层厚度较之元宝山减薄,浊积砂岩中灰质成分明显增多。

覆盖区尉犁1井钻揭中上奥陶统厚606 m,为一套浊积岩沉积,岩性为深灰色泥质粉砂岩与深灰色泥岩、灰色泥岩、灰色粉砂质泥岩互层。群克1井钻遇1874 m(未穿),岩性为灰、深灰色泥岩、粉

砂岩、细砂岩。孔雀1井钻厚1187.5 m,岩石特征与却尔却克剖面相似,具有复理石沉积特征,砂岩粒度略细。维马1井钻遇该套地层1395.5 m,以绿灰、灰色细砂岩、粉砂岩、泥质砂岩为主,夹含砾砂岩及砂砾岩。

塔东北地区露头 and 钻井总体揭示了中上奥陶统却尔却克组为一套超补偿沉积的海底扇和扇三角洲相沉积体系^[8-10]。

2 却尔却克组砂岩岩性特征

2.1 岩石的成分分类

通过对露头剖面所采样品的岩石薄片、铸体薄片、阴极发光、粒度分析和扫描电镜等分析,按照国标GB/T17412.2-1998的砂岩分类标准,却尔却克组砂岩的类型为长石砂岩、岩屑砂岩、岩屑长石砂岩、长石岩屑砂岩及少量的长石石英砂岩和石英砂岩(图2)。

2.2 岩石粒级

砂岩的粒级范围在 $-1 \sim 5\phi$,主要在 $2 \sim 3\phi$,次要分别为 $3 \sim 4\phi$ 和 $2 \sim 3\phi$,可以看出砂岩的主要粒级为细砂,次要为极细砂和中砂(图3)。

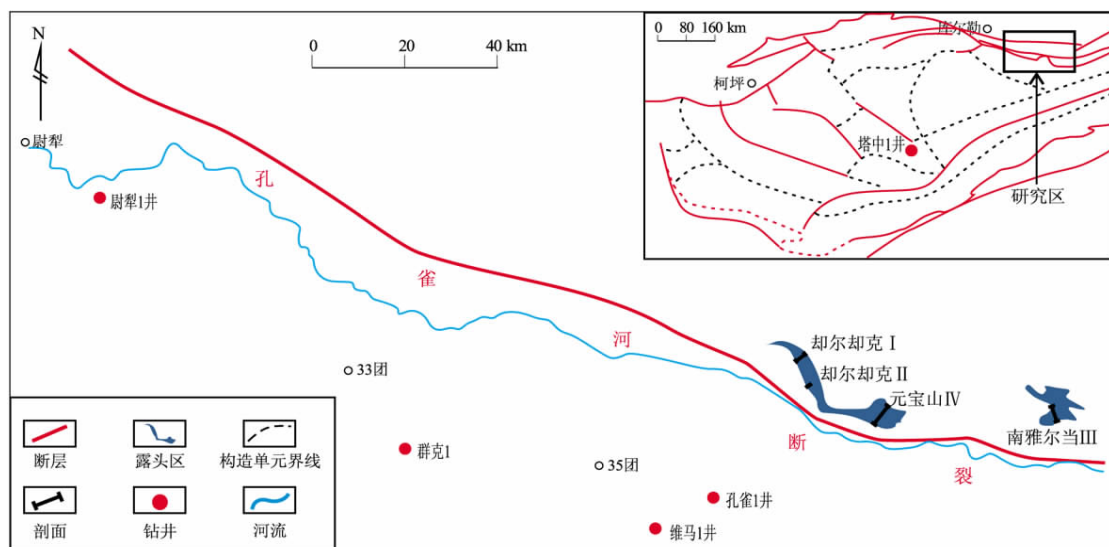
3 却尔却克组砂岩储集性

3.1 岩石的储集空间类型和孔隙结构

却尔却克组砂岩的储集空间包括原生孔隙、次生孔隙、微裂缝等3种类型。

3.1.1 原生孔隙

主要是残余粒间孔隙,原生粒间孔隙和杂基内微孔隙极少见。残余粒间孔隙是在沉积期后形成



(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

图1 研究区构造位置及露头分布

Fig. 1 Structural position and outcrop distribution of study area

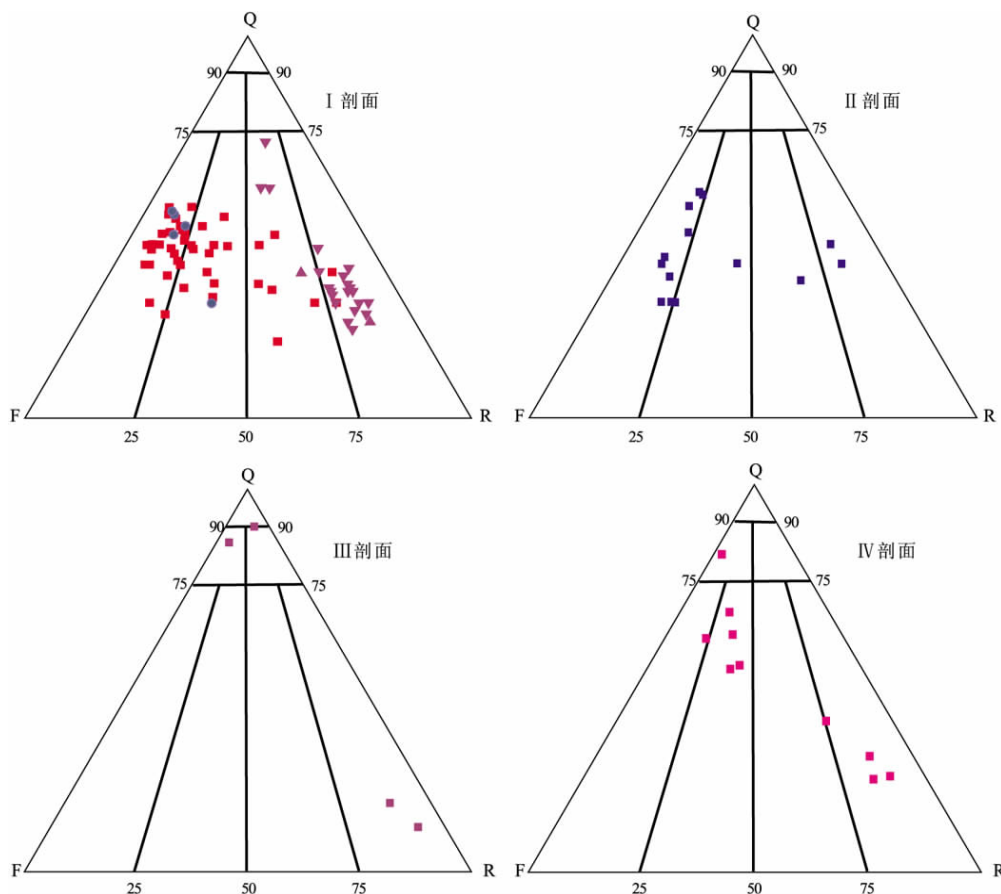


图2 研究区却尔却克组砂岩成分成因分类图解
剖面位置见图1。

Fig. 2 Content classification of sandstones from Querquek Formation in study area

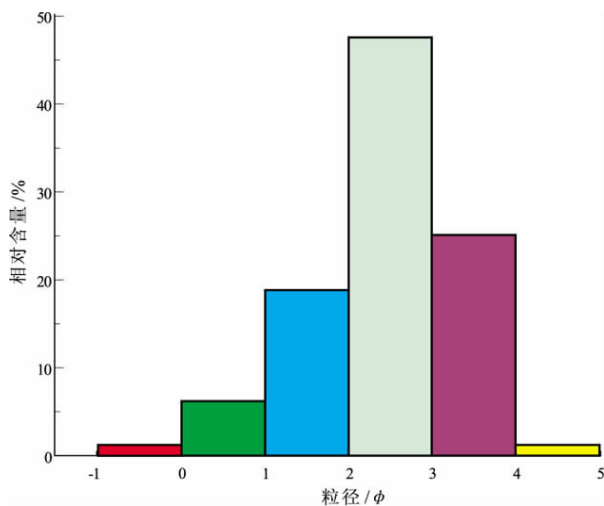


图3 研究区却尔却克组砂岩的粒度分布

Fig. 3 Particle size distribution of sandstones from Querquek Formation in study area

并受到机械压实和胶结作用改造充填,但未完全充填的原生粒间孔隙。该类孔隙呈不规则形状,包括绿泥石包膜或包壳胶结后残余粒间孔隙、石英加大后残余粒间孔隙等,这类孔隙仅占储集空间的很

小一部分,对改善储层物性贡献比较小。

3.1.2 次生孔隙

区内次生孔隙相对较发育,主要是碎屑颗粒、填隙物等发生溶蚀和交代作用及破裂等作用形成的。粒间溶孔系粒间胶结物、杂基及颗粒边缘选择性溶蚀形成的孔隙。主要是长石颗粒、方解石胶结物的溶蚀孔隙,呈锯齿状、港湾状或蜂窝状(图4a, b, c, d),孔喉相对较大,连通性较好。粒内溶孔主要是沿长石解理和双晶面选择性溶蚀和由岩屑中不稳定组分溶蚀或交代作用形成的孔隙,系颗粒发生部分溶蚀或被交代后交代物局部溶解而形成(图4d, e, f),孔隙大小不等,形状不规则,边缘呈港湾状,面孔率很低。晶间微孔,主要指方解石、长石及自生石英晶体晶间孔隙溶蚀扩大改造而成孔隙。胶结物内溶孔在研究区受多期方解石的胶结,这类孔隙区内不很发育。

3.1.3 微裂隙和裂缝

可见颗粒因机械压实破裂或沿解理缝而形成的裂隙,岩石被挤压或拉张形成的构造缝等。构造缝有水平和斜交两组,但都被后期的方解石充填,

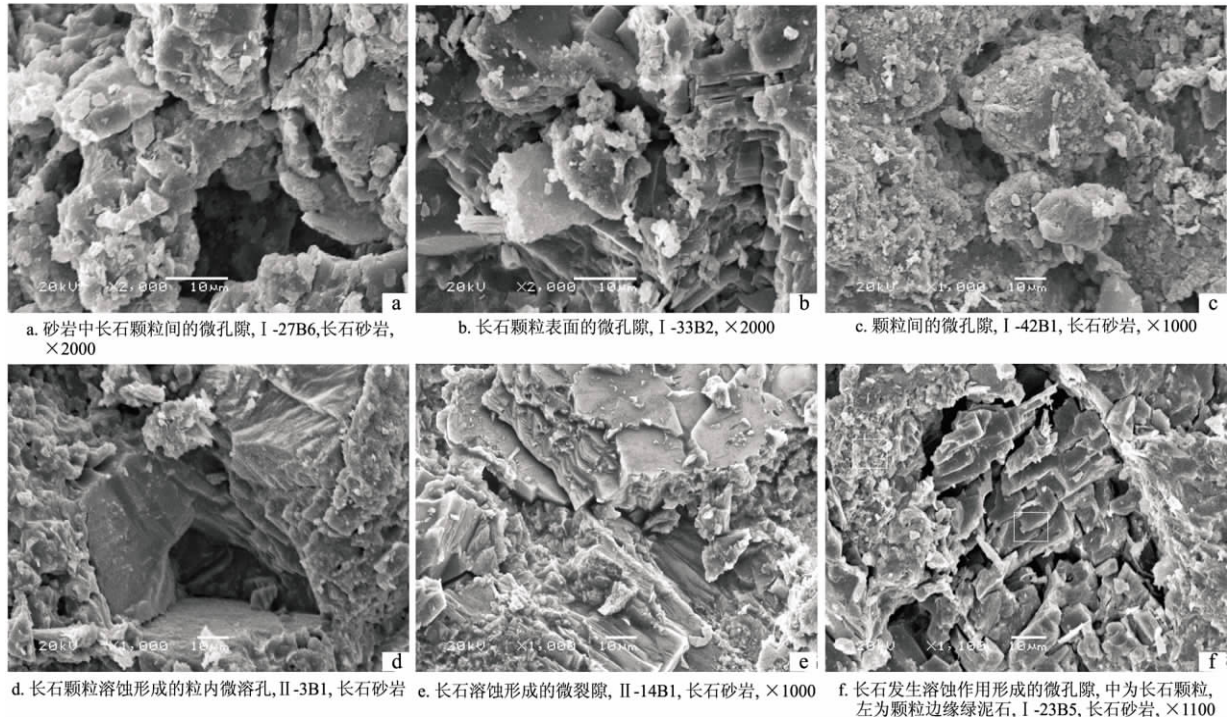


图4 研究区却尔却克组砂岩孔隙微观特征

Fig. 4 Microscopic characteristics of pores of sandstones from Querquek Formation in study area

微裂隙量少缝窄,被后期胶结物充填,微裂隙对面孔率的贡献很小,但对改善渗透性有很大的影响。

3.1.4 孔隙结构

根据铸体薄片观察和扫描电镜及压汞等测试分析,研究区砂岩样品孔径均值介于 $0.0519 \sim 1.17 \mu\text{m}$,平均值 $0.17 \mu\text{m}$,为微小孔隙;喉道普遍狭窄,以线状、弯片状为主。根据压汞资料分类进行J函数处理,砂岩的孔喉半径主要分布在 $0.015 \sim 3.639 \mu\text{m}$ 范围内,大多数喉道半径小于 $1 \mu\text{m}$,属于微喉;从孔喉组合关系来看,砂岩主要以微孔—微喉、小孔—微喉为主。孔隙结构参数分析(表1)表明,砂岩的喉道的分选系数最大值为3.749,最小值为0.291,平均值为2.018,分选性较差。变异系数和歪度等参数分布特征表明,属于细孔、细歪度,孔喉平均值和分选程度差异较大。

3.2 岩石的物性特征

根据对143个样品饱和酒精法孔隙度分析,样品的最大孔隙度为7.20%,最小孔隙度为0.06%,平均孔隙度为1.72%。从孔隙度的分布直方图(图5)可以看出,孔隙度主要分布在 $0.06\% \sim 2.90\%$ 之间,占样品总数的83.2%,而孔隙度 $3\% \sim 6\%$ 的样品占样品总数的13.3%,孔隙度大于6%的样品仅占3.5%。研究区砂岩属于特低孔储层^[11]。

对前述的143个样品的渗透率分析,样品的最大渗透率为 $288.421 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,最小渗透率为 $0.004 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均渗透率为 $4.584 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

从渗透率分布直方图(图6)看出,渗透率主要分布在 $(0.004 \sim 0.080) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,其占样品总数的79.0%。总体上渗透率小于 $5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的样品占总样品的94%;渗透率在 $(5 \sim 20) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 样品占总数的2.8%;而渗透率在 $(20 \sim 100) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 样品占总数的1.4%;渗透率大于 $100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 样品仅占总数的1.8%。研究区砂岩属于低渗—特低渗储层。

由砂岩孔隙度与渗透率的关系图可见(图7),孔隙度和渗透率之间具有一定的相关性,随着孔隙度的增大,渗透率有变好的趋势。通过回归后得到研究区砂岩的渗透率自然对数值与孔隙度之间具有正相关性,反映了本区却尔却克组砂岩主要为孔隙型储层,裂缝对储层物性的贡献很少。

4 却尔却克组致密砂岩的成因机制

4.1 沉积作用对致密砂岩成因的控制

砂岩的储集性受沉积、成岩及构造等多种因素的制约。沉积环境及沉积作用在宏观上控制砂体的类型、形态、厚度和空间分布,在微观上还影响储层岩石的碎屑颗粒、填隙物和结构(分选性、磨圆度、接触方式)等特征。

4.1.1 碎屑成分

根据薄片鉴定,却尔却克组砂岩类型中岩屑砂岩占32%,长石砂岩占29%,其它种类的岩石主要

表1 研究区砂岩物性和主要孔隙结构参数

Tab.1 Parameters of physical properties and pore structures of sandstones in study area

样品编号	孔隙度/%	渗透率/ ($10^{-3} \mu\text{m}^2$)	均值	分选系数	歪度	变异系数	排驱压力/MPa	中值压力/MPa	中值半径/ μm	最大 $S_{\text{Hg}}/\%$
I-2B1	7.2	0.070	13.198	1.102	-0.155	0.084	3.392	12.415	0.059	96.2
I-21B11	2.2	0.981	14.232	0.291	-1.497	0.020	22.165	0.000	0.000	16.8
I-25B4	2.9	0.435	14.098	0.602	-3.648	0.043	9.811	0.000	0.000	21.5
I-27B6	4.6	2.957	11.887	2.859	-1.092	0.241	0.086	12.751	0.058	57.5
I-29B2	2.2	1.823	14.040	0.718	-2.828	0.051	6.400	0.000	0.000	33.3
I-33B1	3.7	6.916	11.728	3.077	-0.941	0.262	0.070	0.000	0.000	47.5
I-37B1	1.4	0.034	14.168	0.294	-4.096	0.021	19.591	0.000	0.000	11.5
I-39B5	0.9	0.071								
I-40B1	4.0	0.840	11.752	2.679	-0.878	0.228	0.116	7.213	0.102	59.6
I-56B2	5.1	0.140	12.688	1.916	-0.955	0.151	0.668	18.062	0.041	60.2
II-1B1	6.3	288.421	10.228	3.699	-0.315	0.362	0.030	1.598	0.460	67.4
II-1B2	5.1	120.464	11.312	3.573	-0.834	0.316	0.035	0.000	0.000	46.6
II-1B3	6.1	125.746	9.738	3.652	0.021	0.375	0.037	0.510	1.441	67.3
II-2B1	4.7	7.224	13.805	0.782	-2.536	0.057	3.896	0.000	0.000	16.0
II-3B1	4.9	21.605	11.043	3.378	-0.738	0.306	0.031	4.895	0.150	61.8
II-3B2	5.3	44.014	10.025	3.623	-0.054	0.361	0.051	0.645	1.139	65.7
II-6B1	3.5	3.574	10.795	2.588	0.154	0.240	0.221	1.474	0.499	68.1
II-7B1	3.2	0.717	11.116	2.820	-0.535	0.254	0.067	2.614	0.281	67.4
II-8B1	3.1	4.764	11.583	2.803	-0.502	0.242	0.164	7.563	0.097	55.0
II-8B2	3.6	2.627	13.703	1.191	-2.572	0.087	1.838	0.000	0.000	17.7
II-14B1	3.0	0.625	13.285	1.772	-2.104	0.133	0.721	0.000	0.000	45.1
II-16B2	1.5	0.418	13.957	0.918	-1.285	0.066	5.489	23.128	0.032	88.6
II-20B1	1.3	0.205	14.204	0.388	-2.622	0.027	19.280	0.000	0.000	15.5
II-20B13	6.1	1.277	12.059	3.025	-1.583	0.251	0.027	13.618	0.054	59.0
II-20B14	6.3	0.965	13.087	1.392	-0.985	0.106	1.614	21.684	0.034	56.0
III-D30B1	2.0	0.359	14.053	0.677	-3.146	0.048	5.250	0.000	0.000	22.1
III-D35B4	2.1	6.88	11.986	3.749	-1.373	0.313	0.022	0.000	0.000	38.2
III-D37B2	1.0	0.033								
IV-D49B1	4.4	1.846	12.409	2.123	-0.935	0.171	0.375	16.702	0.044	53.0
III-D51B1	4.8	0.75	13.867	0.819	-1.616	0.059	5.773	30.082	0.025	60.5
III-D51B6	1.0	0.038								
III-D51B7	1.3	1.135								

注: 测试单位为长庆油田分公司勘探开发研究院分析实验中心; 32 个压汞分析样品中有 4 个未获得分析数据。

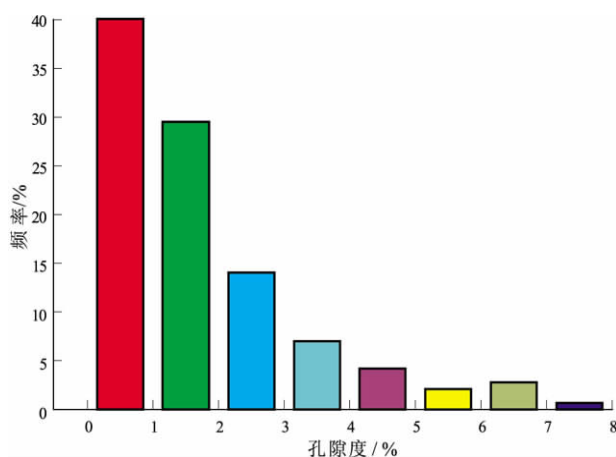


图5 研究区却尔却克组砂岩孔隙度分布频率

Fig.5 Frequency plots of porosity distribution of sandstones from Querquek Formation in study area

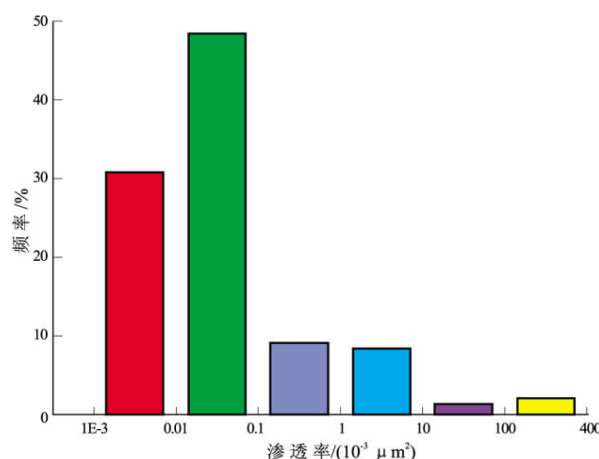


图6 研究区却尔却克组砂岩渗透率分布频率

Fig.6 Frequency plots of permeability distribution of sandstones from Querquek Formation in study area

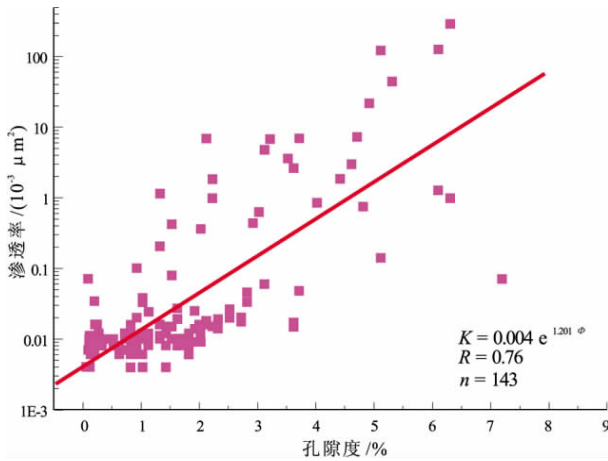


图7 研究区却尔却克组储层孔隙度与渗透率关系

Fig. 7 Relationship between porosity and permeability of Querquek reservoir in study area

为岩屑长石砂岩和长石岩屑砂岩等,部分地区出现凝灰质砂岩等。砂岩碎屑成分主要为石英、长石及岩石碎屑,其特点是岩屑和长石含量高,石英含量相对较少,成分成熟度低。

石英含量为10%~76%,平均为39%。以单晶石英为主,少量的多晶石英及波状削光的石英,普遍有微裂纹。普遍发育暗色粘土矿物包裹边,部分见次生加大边现象,次生加大边规则边缘部分具有不均匀波状消光。

长石含量为3%~55%,平均为23%。主要为钾长石和少量的斜长石,主要有更一钠长石、正长石,少量条纹长石和微斜长石。长石溶蚀明显,多形成粒内溶孔,但常被方解石和粘土矿物充填。

岩屑含量为2%~68%,平均为28%。主要为硅质岩屑、内碎屑岩屑,少量石英岩、变泥岩、蚀变岩屑和少量的凝灰岩、花岗岩、安山岩、粗面岩等火山碎屑。在整个岩屑中,硅质岩屑含量2%~17%;凝灰质岩屑2%~38%;火山岩屑1%~18%。据前人研究^[9-10]研究区中奥陶世以前存在的火山碎屑岩及中晚奥陶世强烈的岛弧火山活动产生的火山碎屑、火山灰,是却尔却克组地层陆源碎屑沉积的主要来源之一。

却尔却克组砂岩还见有重矿物,其中锆石、电气石、石榴石、重晶石、白钛矿、金红石和黄铁矿等重矿物分布较普遍。

4.1.2 填隙物

却尔却克组砂岩的填隙物包括胶结物和杂基2种类型。胶结物成分有微晶方解石、亮晶方解石、铁白云石及少量硅质、自生粘土矿物(如绿泥石)。杂基主要为原始沉积的泥质、凝灰质等机械充填物。从填隙方式上看,有杂基—胶结物混合胶

结和局部的单一胶结物。方解石以微细粒集合体,小的连晶可均匀充填颗粒间隙,有时交代石英、长石,充填长石溶孔。绿泥石沿粒边分布。硅质胶结物数量较少,它可作为石英次生加大边充填于剩余原生粒间孔或粒内溶孔中。

4.1.3 岩石结构

砂岩的粒度范围变化较大,从粗砂级到细砂级均有,以细粒砂岩为主(图3)。颗粒的分选性中等—较差,占岩石总数的90%左右。磨圆度为次棱角状,占总样品的94%。接触关系为点—线接触占总数的83%,其余为点接触关系。颗粒支撑,接触—孔隙式胶结类型不到6%。结构成熟度属于中等—差。

却尔却克组砂岩的岩石学特征表明,砂岩具低成分成熟度和中等—差结构成熟度。作为指示沉积物源的标志性矿物,长石在区内碎屑岩中大量存在,表明岩石是母岩风化后短距离机械搬运快速堆积而成。来自盆地外陆源碎屑注入和夹杂的火山碎屑物质,表明为一种快速的沉积充填状态。砂岩碎屑颗粒中半塑性火山碎屑含量较高,受压实影响明显,也是影响储层物性变差的原因。可见,近物源快速沉积作用导致的低成分成熟度和中等—差结构成熟度,是却尔却克组致密砂岩形成的先天原因。

4.2 成岩作用对储层物性的影响

沉积物在埋藏成岩过程中,成岩作用对其岩石的物性、结构和成分产生深刻的影响,使岩石的孔、渗性及孔隙结构发生改变,对储集性影响最大的有压实作用、胶结作用和溶蚀作用。

4.2.1 强烈的压实作用

压实作用是导致研究区却尔却克组储层物性变差的主要地质因素。却尔却克组沉积时期,研究区处于超补偿沉积期,沉积后又经过了长时间的埋藏过程。岩石中抗压实能力较弱的半塑性和塑性颗粒含量较高,受这些因素的制约,导致岩石经历了充分的、较强的压实作用。常见塑性颗粒的定向排列、弯曲变形及线—凹凸接触等压实成岩现象(图8)。这些特征表明,却尔却克组砂岩经历的压实作用强烈,对原始孔隙的保存不利,导致砂岩的孔隙度、渗透率和孔隙结构明显变差。计算结果显示,压实作用平均使孔隙度减小18.9%^[12],孔隙损失率平均达62%。

4.2.2 较强的胶结作用

较强的胶结作用也影响了储层的储集性能,主要为硅质胶结、不同时期的钙质胶结和粘土矿物胶结。

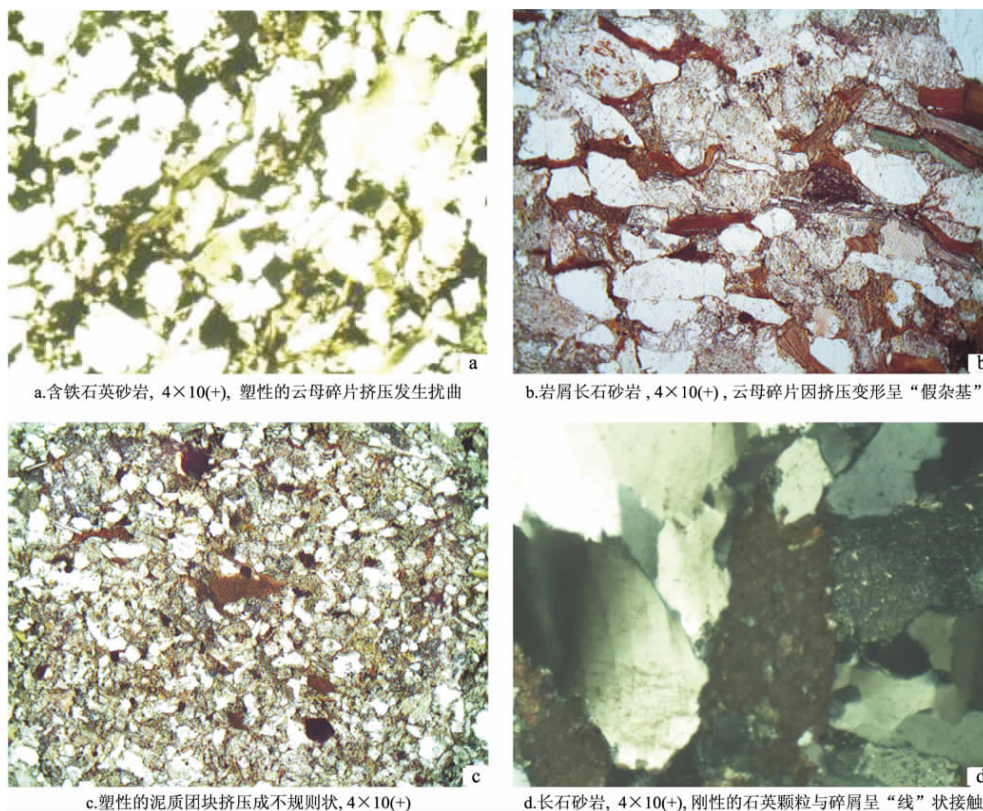


图8 研究区却尔却克组砂岩压实作用主要现象

Fig. 8 Main phenomenon of compaction of sandstones from Querquek Formation in study area

硅质胶结物在研究区砂岩中分布普遍,但含量较少(1%~2%),主要以石英次生加大边为主(图9a)。硅质胶结物主要通过碎屑石英颗粒表面上同轴生长的石英次生加大边和碎屑颗粒表面的自形晶体形式来破坏粒间孔和粒内溶孔,总体来说起到减小孔隙度的作用。但一定量的硅质胶结物的形成,也可以增强砂岩的抗压强度,阻止压实作用对剩余原生粒间孔的破坏^[13]。

碳酸盐胶结物在研究区砂岩中比较普遍,含量变化也比较大。主要以粒间胶结物、交代物(交代石英和长石颗粒)或次生孔隙内填充物(长石溶孔)形式出现。常见微晶状(图9c)、晶粒状或连晶状(图9b)产出,成分上主要以方解石、白云石、含铁白云石(图9d)为主。碳酸盐胶结物有明显的多期次形成特征。早期的方解石呈微细粒集合体,不均匀胶结颗粒,充填粒间孔,含量比较少;晚期碳酸盐胶结物呈较大晶粒或连晶,交代长石、石英颗粒,充填长石溶孔。

却尔却克组砂岩的粘土矿物胶结作用主要为绿泥石胶结,次为伊利石、伊/蒙混层。单个自生绿泥石呈微粒状、针孔状附着在碎屑颗粒边缘,形成薄膜状胶结物和孔隙衬里方式产出的粘土衬里。根据产状判断,绿泥石胶结物主要有早晚2期:早

期绿泥石薄膜呈颗粒边缘平行分布成粘土膜;晚期则形成于石英次生加大边之后呈栉壳状环边生长;伊利石常呈蜂窝状、丝缕状等形态以孔隙衬里的形式出现;伊/蒙混层矿物的含量比较少,常呈网格状生长。

根据微观观察和分析测试,胶结作用使孔隙度减小平均达8.9%,孔隙损失率平均达28%。

4.2.3 较弱的溶蚀作用

却尔却克组砂岩中溶蚀作用主要表现:(1)早成岩期的石英、长石颗粒或石英的次生加大边的边缘被溶蚀成港湾状,但溶蚀形成的有限空间因压实作用被挤入的泥质杂基所充填,因而失去储集意义。(2)早成岩晚期、中期,沉积物中有机质成熟和生物催化作用产生的羧酸的加入,对长石等易溶颗粒进行溶蚀,形成晶间溶孔或粒内溶孔(图4),然后被后期的方解石、铁方解石或铁白云岩、沥青质所充填。(3)碳酸盐胶结物、粘土矿物和石英颗粒等溶蚀虽能见到,但产生的次生孔隙非常有限。

溶蚀作用是形成次生孔隙的主要方式,研究区溶蚀作用不是很普遍,形成的次生孔隙也被不同程度的方解石所胶结。交代作用主要发生长石颗粒被部分溶蚀和交代,但大多也被充填,对改善储层的孔渗性很有限。溶蚀作用仅使孔隙度平均增加

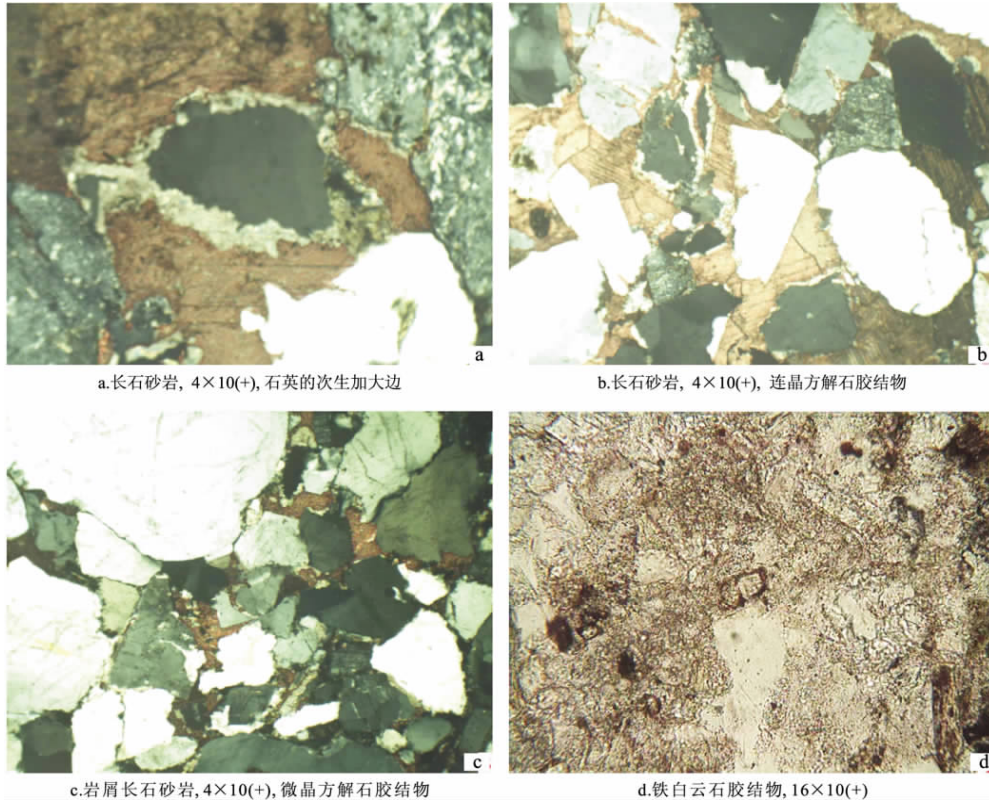


图9 研究区却尔却克组砂岩胶结作用主要现象

Fig. 9 Main phenomenon of cementation of sandstones from Querquek Formation in study area

1.2%。较弱的溶蚀作用及较强的交代作用未能明显地改善储层的物性条件,亦是形成本组低孔低渗的砂岩储层的重要原因。

4.2.4 破裂作用影响较弱

构造作用产生的构造缝、节理缝、压溶缝和扭裂缝等多种裂缝的存在,可以大大地改善砂岩储层的物性。但是,研究区虽经历了多次构造运动,形成了不同时期的裂缝,由于岩石中半塑性和塑性碎屑颗粒含量较多,砂岩中产生的裂缝不是很多。尽管露头剖面、岩心及显微薄片中可以观察到一些节理缝和压溶缝,但绝大多数的裂缝被后期的方解石所充填。因此,区内破裂作用产生的裂缝对却尔却克组砂岩的储层改善没有太大的意义。

5 结论

1) 塔里木盆地东北部超补偿沉积的中上奥陶统却尔却克组砂岩,岩石成分分类主要为细粒长石砂岩、岩屑砂岩及之间过渡的岩屑长石砂岩和长石岩屑砂岩,成分成熟度低,颗粒分选性中等—较差,磨圆度为次棱角状,胶结类型接触关系为点—线接触,结构成熟度属于中等—差。

2) 碎屑颗粒、填隙物等发生溶蚀和交代作用及破裂作用等形成的次生孔隙构成砂岩的储集空

间,孔隙结构以微小孔—微细喉道组合类型为主;平均孔隙度 1.72%,平均渗透率为 $4.584 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,属于特低孔低渗—特低渗层储层。

3) 近物源的沉积环境形成的砂岩低成分成熟度和中等—差结构成熟度是砂岩物性差的内在因素。沉积物在埋藏成岩过程中,由于塑性颗粒含量较高和超补偿沉积埋藏作用发生强烈的压实作用以及早期较弱、晚期较强的胶结作用是致密砂岩形成的重要原因。较弱的溶蚀作用及较强的交代作用未能明显地改善储层的物性条件,是形成却尔却克组低孔低渗砂岩储层的主要原因。

参考文献:

- [1] 贾承造. 我国石油天然气勘探的成果与前景[C]//中国石油学会石油地质专业委员会. 第三届中国石油地质年会论文集. 北京: 中国石油学会石油地质专业委员会, 2009: 2-3.
- [2] 廖群山, 胡华, 林建平, 等. 四川盆地川中侏罗系致密储层石油勘探前景[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(6): 815-822, 838.
- [3] 李荣西, 段立志, 张少妮, 等. 鄂尔多斯盆地低渗透油气藏形成研究现状与展望[J]. 地球科学与环境学报, 2011, 33(4): 364-372.
- [4] 蔡希源. 深层致密砂岩气藏天然气富集规律与勘探关键技术[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(6): 707-714.
- [5] 高长林, 叶德燎, 黄泽光. 塔里木盆地库鲁克塔格古原洋裂谷与地幔柱[J]. 石油实验地质, 2004, 26(2): 161-168.

(下转第480页)

岩孔渗性增加,连通性变好,为其后深部烃源岩生成的油气进入提供了通道和空间;含油气的酸性流体的涌入,对一些铝硅酸盐矿物或碳酸盐岩进行了溶蚀,产生溶孔,进一步扩大了储集空间;但酸性条件下石英的次生加大,又充填了一些孔隙。随后埋深进一步加大,压实和晚期方解石等矿物的胶结充填,使岩石孔隙减少;同时由于深埋,演化程度变高,或早期油因水洗氧化,部分油转化为沥青质残留在岩石中,从而使孔隙又有所减少。这可能是SW8井储层物性产生差异的一个方面。SW8井由于处于构造活动的高部位,期间抬升剥蚀多、沉降小,压实作用相对较弱,由此可能比SW11井保留了更多的孔隙空间。

上述演化,使储层砂岩从原始平均孔隙度30%左右,经过早成岩阶段浅埋环境机械压实作用、粘土膜胶结,石英、长石次生加大和方解石胶结使原生孔隙减少20%~25%左右,而溶蚀作用、构造裂隙使岩石孔隙增加了5%~10%;成岩期晚深埋环境(包裹体均一温度100~120℃、埋深约2300~3000m),主要发生硅质胶结和碳酸盐连晶胶结,方解石由粉晶状变成中粗亮晶状,原生孔隙又减少5%~8%。

6 结语

1) 该区砂岩储层所经历的主要成岩作用有压实作用、胶结作用、溶蚀作用及构造破裂作用;其中对储层物性具建设性的作用主要有溶蚀作用和构造破裂作用;储层孔隙类型主要为原生粒间孔、粒间溶蚀扩大孔及少量裂缝的组合。

2) 根据储层粘土矿物分析结果,以及相应的储层成岩作用各项指标分析,研究区营城、沙河子

组储层已进入中成岩阶段A期。

3) 对有效的油气储层而言,只有油气充注前所形成的孔隙才是有效孔隙,其储集性的好坏对油气藏大小、充注度才具实际意义。

致谢: 本文撰写过程中得到了大庆石油学院吕延防教授的关心和支持,在此表示衷心感谢!

参考文献:

- [1] 杨铭辉,郭力,赵洪涛,等. 松辽盆地南部东南隆起区储层特征[J]. 石油实验地质, 2006, 28(4): 330-334.
- [2] 陈振林,王果寿,王筠,等. 松南地区登娄库组砂岩成岩作用与孔隙演化[J]. 江汉石油学院学报, 1996, 18(1): 14-17.
- [3] 秦伟军,郭金瑞. 松辽盆地南部断陷层油气勘探领域[J]. 石油实验地质, 2010, 32(4): 326-329.
- [4] 陈志海. 特低渗油藏储层微观孔喉分布特征与可动油评价: 以十屋油田营城组油藏为例[J]. 石油实验地质, 2011, 33(6): 657-661.
- [5] 丁晓琪,张峭楠,周文,等. 鄂尔多斯盆地北部上古生界致密砂岩储层特征及其成因探讨[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(4): 491-496.
- [6] 冯明石,刘家铎,孟万斌,等. 四川盆地中西部须家河组储层特征与主控因素[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(6): 713-719.
- [7] 李军亮. 渤海湾盆地东营凹陷深层砂砾岩储层成岩演化特征[J]. 石油实验地质, 2008, 30(3): 252-255.
- [8] 傅强. 成岩作用对储层孔隙的影响: 以辽河盆地荣37块气田下第三系为例[J]. 沉积学报, 1998, 16(3): 92-96.
- [9] 蒋恕,蔡东升,朱筱敏,等. 辽河坳陷辽中凹陷成岩作用与中深层孔隙演化[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(3): 362-369.
- [10] 刘林玉,陈刚,柳益群,等. 碎屑岩储集层溶蚀型次生孔隙发育的影响因素分析[J]. 沉积学报, 1998, 16(2): 97-100.
- [11] 寿建峰,朱国华. 砂岩储层孔隙保存的定量预测研究[J]. 地质科学, 1998, 32(2): 224-249.

(编辑 韩 彧)

(上接第473页)

- [6] 王恕一,黄继文,蒋小琼. 塔里木盆地上奥陶统沉积及古地理特征[J]. 石油实验地质, 2006, 28(3): 236-242.
- [7] 贾承造,张师本,吴绍祖. 塔里木盆地及周边地层(上、下册) [M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [8] 焦志峰,吴华,李岩,等. 塔里木盆地孔雀河地区寒武—奥陶系沉积相与沉积体系[J]. 新疆地质, 2004, 22(2): 151-154.
- [9] 刘忠宝,于炳松,陈晓林,等. 塔里木盆地塔东地区中—上奥陶统海底扇沉积岩层序地层格架及沉积特征[J]. 现代地质, 2003, 17(4): 408-414.
- [10] 钟学法,刘学锋,邓常念. 塔里木盆地塔东凸起西部中上奥陶统地震层序与海底扇沉积[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2006, 31(3): 366-371.
- [11] 王允诚. 油气储层地质学[M]. 北京: 地质出版社, 2008.
- [12] 应凤祥,罗平,何东博,等. 中国含油气盆地碎屑岩储集层成岩作用与成岩数值模拟[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004.
- [13] Carlos Rossi. Fluid inclusions record thermal and fluid evolution in reservoir sandstones, Khatatba Formation, Western Desert, Egypt: A case for fluid injection [J]. AAGP Bulletin, 2002, 85(10): 1773-1799.

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

(编辑 叶德燎)