

摘 要

二连盆地白音查干凹陷北部塔拉断裂构造带下白垩统腾格尔组储层为典型的低渗透型砂岩油藏，具有地质条件多变、储层非均质性强、储集空间结构复杂等特点。加深对成岩环境特征、储层发育制约因素、古物性演化过程的认识，是低渗透砂砾岩储层勘探开发的关键和开采技术创新突破的前提。

针对以上存在的问题，本论文在前人研究成果的基础上，以多学科理论为指导，以二连盆地白音查干凹陷北部陡坡带下白垩统腾格尔组低渗透砂砾岩储层为研究对象，以储层成因及古物性恢复为研究重点，运用多种资料，开展储层特征、储层成岩环境演化、储层成因、储层物性恢复研究。论文取得的成果和认识如下：

(1) 明确了研究区腾格尔组储集砂体成因类型为扇三角洲砂砾岩体。沉积阶段属于湖盆断陷期，具有近物源、多物源、相变快、相带窄的沉积特征。碎屑岩组分复杂，结构成熟度低，储集空间类型以残留粒间孔隙和次生孔隙为主，储层物性参数变化大，整体表现为低孔低渗型储层。

(2) 构建了研究区腾格尔组砂砾岩体储层成岩环境演化序列。研究区腾格尔组储层处于中成岩 A-B 期，期间发生三期油气充注，经历了早期碱性、酸碱交替和晚期碱性动态交替的成岩环境演化过程。距今 110Ma~107Ma，气候干旱，沉积地层水呈弱碱性，成岩作用主要为压实排水和早期泥晶碳酸盐胶结；距今 107Ma~103Ma，第 I 期酸碱交替成岩环境，有机质逐渐成熟，弱酸性环境中发育石英 I 期次生加大，随后转为弱碱性环境发育部分

碳酸盐胶结, 105Ma~103Ma 期间发生第一次油气充注; 距今 103Ma~97Ma, 有机酸控制的酸性成岩环境, 碳酸盐、长石质矿物受有机酸的影响发生溶蚀, 形成粒间和粒内溶孔改善了储层物性, 并发育石英Ⅱ级加大边和自形晶体, 103Ma~97Ma 期间发生第二次油气充注; 距今 97Ma~70Ma, 随着有机酸浓度逐渐降低, 转为碱性成岩环境而造成石英和高岭石溶解, 期间发生第Ⅱ酸碱交替成岩环境, 在 97Ma~95Ma 期间发生第三次油气充注, 部分石英发育Ⅲ级加大边; 自 70Ma 至今, 有机酸逐渐被消耗, 出现晚期黄铁矿胶结、伊利石和绿泥石组合现象, 证实成岩环境转变为弱碱性并持续至今。

(3) 明晰了研究区腾格尔组砂砾岩储层物性形成机理。沉积组构和沉积微相等原始沉积条件是控制研究区腾格尔组储层物性发育的先天性因素。成岩作用的差异性决定储层物性发育的关键因素, 压实和胶结作用导致储层物性变差, 溶蚀作用使长石、岩屑等发生溶蚀形成的次生孔隙可改善储层物性。长石储层和岩屑储层的成岩作用演化模式呈现差异, 前者表现为强胶结、弱压实、中溶蚀, 后者为强压实、弱胶结、弱溶蚀。构造高部是研究区油气藏形成的重要影响因素。

(4) 查清了研究区腾格尔组成岩相与沉积相的分布特征。桑合地区扇三角洲平原亚相发育压实作用强度中等至强、胶结作用弱、溶蚀作用弱至中等的成岩相, 储层物性极差; 查腊格地区扇三角洲平原分流河道、扇三角洲前缘和前扇三角洲亚相均发育强压实成岩相, 是该区主要的储层类型, 储层物性差; 桑合和古尔地区扇三角洲前缘河道间薄砂层、分流河道主砂体侧翼发育强胶结成岩相, 储层物性较差; 桑合地区扇三角洲前缘分流河

道发育少量弱压实弱胶结成岩相，储层物性较好；桑合地区扇三角洲前缘分流河道、远源浊积扇等各粒级净砂岩发育中等压实作用、弱至中等胶结作用、强溶蚀作用的成岩相，储层物性最好。

(5) 定量推演了研究区腾格尔组砂砾岩储层孔隙演化过程。沉积开始距今约 110Ma，埋深小于 1100m，早期弱碱性成岩环境石英溶解作用贡献的增孔量为 0.10%，胶结作用和压实作用破坏的减孔量为 15.37%；距今 110Ma~107Ma，埋深范围为 1100m~1300m，长石颗粒等溶蚀作用贡献的增孔量为 0.90%，石英次生加大边造成减孔量为 1.20%；距今 107Ma~103Ma，埋深范围为 1300m~1500m，溶蚀作用增孔量为 2.60%，压实作用和胶结作用造成储层孔隙度损失为 2.78%，埋深 1500m~2000m，晚期碳酸盐胶结作用损失孔隙度为 5.08%，压实作用损失孔隙度为 3.34%，石英和高岭石溶解增孔量为 0.45%；距今 103Ma~97Ma，埋深 2000m~2500m，压实和胶结作用损失孔隙度为 1.21%，次生溶蚀孔隙和微裂缝增孔量为 1.74%；距今 97Ma~70Ma，溶蚀作用增孔量 0.30%，胶结作用减孔量 0.22%。

在研究过程中得到了成都理工大学王峻教授、林小兵教授、左银辉教授和中国石化中原油田分公司勘探开发研究院彭君教授级高工、毛立华教授级高工、徐田武教授级高工、高秋灵高工、高江博高工、祖克威高工、王亚明高工、康华高工、王伟栋高工的大力指导与支持。在本书的编写过程中得到了成都理工大学王峻教授、林小兵教授、左银辉教授、苏炳睿副教授、梁庆韶副教授、陈威振博士的指导，以及重庆科技大学谢家建博士、李小刚教授、李俊博士、高红灿高工、李松泽高工、陈岑高工等的帮助。

另外，在本书的编写过程中，重庆科技大学罗龙副教授、高儂博副教

授、王佳副教授、况昊副教授、曹铮副教授、黄辉荣博士、刘建平博士、蒋威博士、王海涛博士、达雪娟老师等承担了文字编辑及部分图件的绘制工作，在此谨表感谢！

本书研究成果得到了国家自然科学基金(No. 42102184)、重庆市自然科学基金面上项目(No. cstb2022nscq-msx1402)、重庆市教育委员会科学技术研究项目(No. kjqn202301549)、重庆科技大学科研资助项目(No. ckrc2021039)等的联合资助，中国石化中原油田分公司勘探开发研究院为本书研究提供了大量的岩心和基础资料，在此一并表示感谢！

由于笔者水平有限，书中不当之处在所难免，敬请专家和读者批评指正！

关键词：二连盆地；白音查干凹陷；低渗透砂砾岩储层；成因；古物性恢复