

The Curve Application in the Recognition of Archean Metamorphic Buried-Hill Rocks in Liaohe Depression

Tiejun Li

Exploration and Development Research Institute of PetroChina Liaohe Oilfield Company, Panjin Liaoning
Email: litj@petrochina.com.cn

Received: Feb. 5th, 2016; accepted: Feb. 22nd, 2016; published: Feb. 25th, 2016

Copyright © 2016 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Archean buried-hill in Liaohe depression is rich in oil and gas resource. Since 2005, the deep wells going through the inside buried-hill proved the existence of a thousand-meter-range oil reservoir, which formed one hundred million reserves. The exploration of metamorphic buried-hill in Liaohe is reaching new heights after the exploration breakthrough of Damintun Shengxi Buried-hill and Biantai-caotai buried hill. The rock types of Archean buried-hill are very complex. Through analysing rocks and minerals, it is known that the buried-hill rocks are composed of metamorphic rocks and the late magmatic intrusions which two classes and 14 subclasses of 30 kinds of rock types. The organic combination of curves and rock mineral identification in recognition of Archean buried-hill lithology was a big spot. The relationships between lithology and curves had been found by the study of rock's physics characteristic, so we can identify the Buried-hill lithology through the dynamic integration of curves such as GR, DEN, CNL. The accuracy of reservoir log interpretation was improved greatly by the lithology analysis and the successful use of lithology curve, which all provided the basis for the reserve of buried-hill declaration.

Keywords

Liaohe Depression, Archean, Buried-Hill, Metamorphic Rock, Rock Types, Curve

测井曲线在辽河坳陷太古宇变质岩潜山岩性识别中的应用

李铁军

中国石油辽河油田公司勘探开发研究院, 辽宁 盘锦
Email: litj@petrochina.com.cn

收稿日期: 2016年2月5日; 录用日期: 2016年2月22日; 发布日期: 2016年2月25日

摘要

辽河坳陷太古宇潜山蕴藏着丰富的油气资源, 2005年兴隆台潜山带内幕勘探的成功, 使兴隆台潜山重新获得了亿吨级储量。随后大民屯凹陷胜西潜山、边台-曹台潜山深层勘探的突破, 使辽河坳陷变质岩潜山的勘探掀起新的高潮。太古宇潜山岩石类型复杂, 岩矿分析与鉴定认为, 潜山岩石由变质岩和晚期岩浆侵入体两大类14个亚类30多种岩石类型组成。岩矿鉴定与测井曲线的有机结合识别太古宇潜山岩性, 是辽河坳陷太古宇变质岩潜山内幕勘探获得成功的一大亮点。通过对潜山岩石的岩矿分析与鉴定, 确定潜山的岩矿类型, 在此基础上, 研究每种岩类的岩石物理特征, 最终确立了对太古宇潜山岩性反应敏感的自然伽玛、岩石密度、补偿中子、声波时差等常规测井曲线, 建立了岩性与测井响应值及形态特征的对应关系, 实现了太古宇潜山岩性的测井识别。潜山岩性与储层关系密切, 岩性测井曲线识别的成功, 大大提高了储层测井解释精度, 为潜山储量申报提供了依据。

关键词

辽河坳陷, 太古宇, 潜山, 变质岩, 岩石类型, 测井曲线

1. 引言

辽河坳陷变质岩潜山勘探起步较早, 早在二十世纪70年代就发现了兴隆台变质岩潜山油气藏, 但由于受当时勘探手段和认识水平等因素限制, 并未进行深入研究。进入八十年代由于三维地震和数字测井技术的兴起, 使变质岩潜山勘探进入黄金时期, 在大民屯凹陷东胜堡等多个变质岩潜山油藏, 获得较高的产能。从二十世纪70年代至2004年间, 潜山的勘探经历了初探、高潜山勘探和低潜山勘探三个阶段, 潜山揭露的厚度一般几十米到二三百米, 也仅仅停留在潜山表层风化壳, 认为位于生油凹陷中的潜山表层风化壳可以形成油藏[1]。2004年后在系统总结辽河坳陷变质岩潜山勘探成果的基础上, 辽河的地质研究人员提出变质岩潜山内幕成藏的勘探理论, 在该理论指导下, 2005年在兴隆台潜山主体部位部署了XG7井, 该井揭示潜山厚度约1600m, 均见到了较好的油气显示, 并且在进入潜山1000m和1400m处试油获得高产油气流[2], 从而开辟了潜山深部找油的全新领域。勘探领域的拓展, 同样带来新的挑战, 潜山油气富集与潜山的岩石类型密切相关, 对潜山内幕岩性的认识和识别已成为需要迫切解决的首要问题。然而, 钻井取心有限, 单单依靠钻井岩心的岩矿鉴定类型并不能代表每一口井潜山揭示的岩性, 同样每口井测井所获得的参数及曲线形态特征并没有赋予岩性意义, 这就需要建立起岩性与测井曲线的对应关系, 实现岩性的测井曲线识别, 这样不仅仅可以降低钻井成本, 同时, 通过每种岩性形成储层的难易程度分析建立优势岩性序列, 进而有效刻画油层有效厚度, 为储量申报等奠定基础。

2. 地质概况

辽河坳陷位于渤海湾盆地东北部, 东邻辽东地块, 西接燕山沉降带, 南邻渤海湾[3], 陆地面积约12,400 km²。辽河坳陷结晶基底为华北克拉通的一部分[4], 沈288-2井、沈236井角闪斜长片麻岩样品单颗粒锆石U-Pb同位素年龄值分别为 2568 ± 12 Ma、 2533 ± 8 Ma, 为新太古代地层。在白垩纪末-古近纪初, 由

于郯庐断裂的活动[5] [6], 在本区产生一系列北东向的壳断裂、岩石圈断裂和超岩石圈深大断裂, 如抚顺-营口断裂、二界沟断裂、威远堡-盘山断裂和辽中-大洼断裂, 通称为辽宁郯庐断裂系[7]。这些断裂的形成, 使辽中古隆起开始解体 and 下沉, 进而在辽河地区形成了大陆裂谷。辽河拗陷以辽中断隆为界进一步分为两个大的次一级凹陷, 即西部凹陷和东部凹陷, 西部凹陷向北延伸形成大民屯凹陷。受辽宁郯庐断裂系控制, 辽河拗陷基底为不对称的“V”字形, 断裂基底地形复杂, 起伏不平, 形成多个断块古潜山, 上覆分别为元古宙、古生代、中生代和新生代地层, 基底与上覆地层呈不整合接触, 基底最小埋藏 700 多米, 钻遇最大厚度达 1600 多米。辽河拗陷在各凹陷内具有足够厚的烃源岩, 生成的油气运移到潜山形成新生古储油气藏。因此, 在辽河拗陷太古宇变质岩潜山以及中央凸起变质岩中均获得工业油气流(图 1), 同时, 太古宇基岩内幕发现多套含油系统, 取得了变质岩内幕勘探的重大突破。

3. 岩矿分析与鉴定、岩性的测井识别方法

识别岩性最真实和直接的方法是镜下鉴定, 通过岩石薄片镜下鉴定确定岩石类型和每类岩性的矿物组成特点, 再利用 X-衍射全岩对矿物含量进行定量分析, 建立起潜山主要岩类及其矿物含量特点。选取反映岩石类型、矿物组成和元素组成敏感的岩石密度、补偿中子、自然伽玛等测井资料。由于岩石密度、补偿中子等测井曲线主要受岩石的矿物组成和化学成分的影响, 与岩石的成因及结构构造无关, 因此, 可以首先建立岩石的矿物成分与测井曲线的关系, 再进一步建立起每种岩类与测井曲线组合特征的关系。岩性的测井识别, 最初关系的建立是对潜山整口井的岩屑依次摆开, 结合曲线变化特征进行密集取样分析, 最后再利用旋转井壁取心分析对建立起来的岩石类型进行验证, 最终达到测井曲线识别岩性的目的。

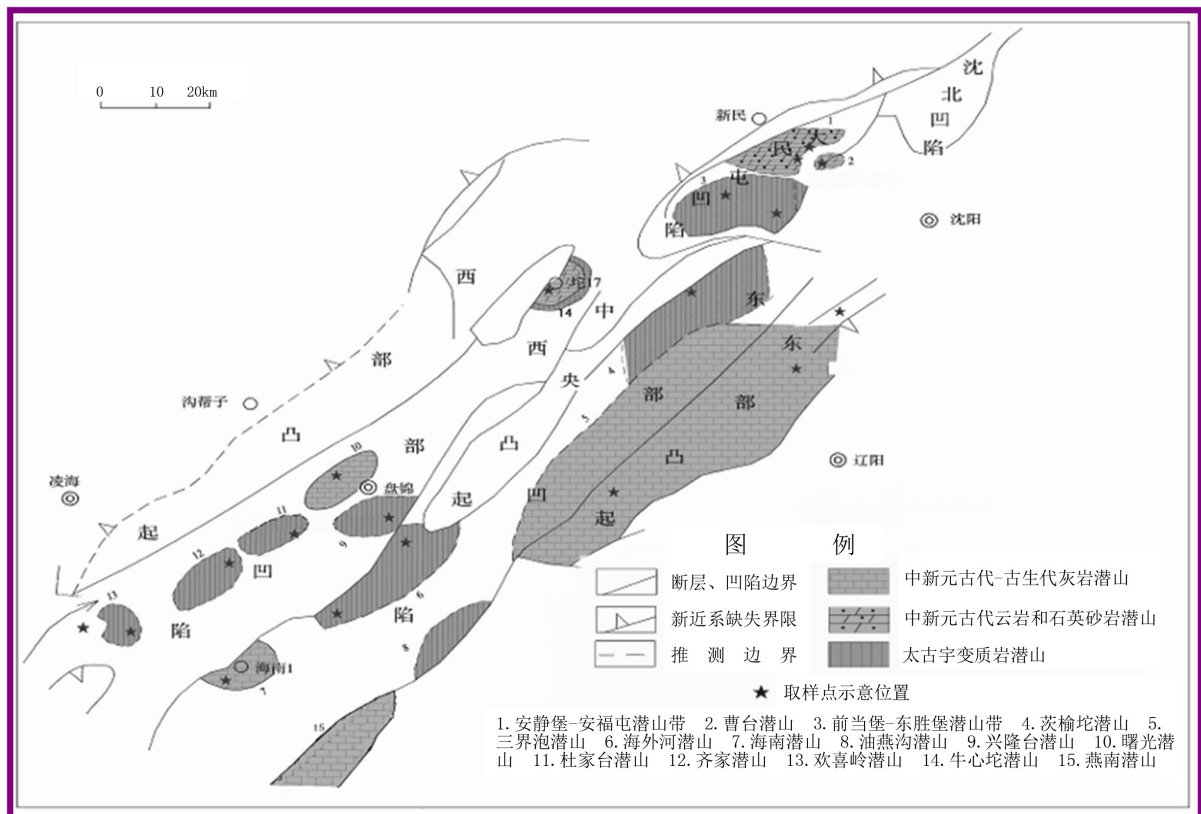


Figure 1. The distributing of buried-hill in Liaohede Depression

图 1. 辽河拗陷潜山分布

4. 太古宇岩石组成及特征

4.1. 潜山岩石组合及类型

辽河拗陷太古宇潜山主要由变质岩和岩浆侵入体组成。变质岩为潜山的主体岩性，占地层揭露厚度的70%左右，主要为区域变质的黑云(角闪)斜长片麻岩、黑云(角闪)斜长变粒岩、斜长浅粒岩、斜长角闪岩以及区域变质岩混合岩化形成的各类混合岩，包括混合岩化变质岩、注入混合岩、混合片麻岩和混合花岗岩。岩浆侵入体占30%左右，分为浅成侵入体和深成侵入体，浅成侵入体包括花岗斑岩、闪长玢岩、煌斑岩和辉绿岩等；深成侵入体主要为花岗岩、花岗闪长岩和闪长岩等。中酸性侵入体单颗粒锆石 U-Pb 年龄主要集中在 230 Ma~220 Ma，主要为中生代三叠纪，与吴福元等人[8]研究的东北地区岩浆活动的三叠纪(233 Ma~212 Ma)时期的相吻合。总的来说，辽河拗陷新太古界潜山岩石岩矿分类包括两大类 14 个亚类，30 多种具体岩石类型(表 1)。其中的动力变质岩是构造改造形成的，其原岩仍然是区域变质岩、混合岩等，除动力变质岩外，在辽河太古宇变质岩潜山中出现最多、分布最广的岩石类型归纳起来主要有 11 种。

4.2. 主要岩石类型矿物组成及特征

4.2.1. 区域变质岩

1) 黑云(角闪)斜长片麻岩

灰、黑灰色，鳞片粒状变晶结构，片麻状构造，晶粒大小 0.50~4.00 mm。主要造岩矿物为石英、斜长石、黑云母和角闪石，其中黑云母和角闪石同时出现或单独出现。石英含量 10%~25%，斜长石含量 40%~70%，黑云母(或角闪石)含量 10%~30%，容易蚀变。

2) 黑云(角闪)斜长变粒岩

灰色，黑灰色，绿灰色，细粒均粒它形鳞片粒状变晶结构，块状构造，晶粒大小一般 0.10~1.00 mm。主要成分石英含量 20%~25%，斜长石含量 35%~50%，黑云母(角闪石)含量 10%~35%，一般小于 20%，局部富集副矿物榍石等，可形成中等储层。

3) 浅粒岩

浅灰色，细粒均粒它形粒状变晶结构，块状构造。分为斜长浅粒岩和二长浅粒岩两种，以斜长浅粒岩为主，该类岩石的特点是暗色矿物含量小于 10%，主要成分斜长石含量 40%~50%，石英含量 30%~35%，钾长石含量 5%~30%，黑云母或角闪石含量小于 10%。长英质矿物呈它形粒状互相接触，少数为镶嵌状。该类岩石在构造应力作用下易破碎，裂缝发育，可以成为好储层。

4) 斜长角闪岩

黑灰、深绿灰，柱粒状变晶结构，块状构造，粒级在 0.25 mm~3.00 mm 之间。主要成分为角闪石和斜长石，有时有少量黑云母和石英。斜长角闪岩，一般角闪石含量 50%~70%，斜长石 30%~40%，石英 5%~10%。角闪石为主的暗色矿物含量大于 95%为角闪石岩，角闪石岩分布较少。该类岩性裂缝发育差，即使产生裂缝也被方解石全充填，对形成储层不利，划分为非储集岩。

4.2.2. 混合岩

混合岩是区域变质岩受混合岩化作用改造的产物。一般由残留的变质基体(暗色部分)和新生的长英质、花岗质和石英脉体(浅色部分)组成(图 2)。根据混合岩化由弱到强，可划分为混合岩化变质岩(新生脉体含量小于 15%)、注入混合岩(新生脉体 15%~50%)、混合片麻岩(新生脉体大于 50%，具片麻或条带构造)和混合花岗岩(新生脉体为主，残留基体很少)。图 2 左图露头不同部位代表了不同的混合岩类型。混合岩化变质岩由于脉体含量小于 15%，原岩改造较弱，为了便于测井识别变质岩类型，将其归到区域变质岩类

Table 1. Rock types of Archean buried-hill in Liaohe Depression

表 1. 辽河拗陷太古宇潜山岩石类型

地层	岩类	岩石类型	岩石名称	主要特征	
新太古界	区域变质岩	①片麻岩类	黑云斜长片麻岩、角闪斜长片麻岩、黑云角闪斜长片麻岩等	鳞片粒状变晶结构, 片麻构造。主要成分黑云母、斜长石、角闪石及少量石英	
		②长英质粒岩类	黑云斜长变粒岩、黑云角闪斜长变粒岩、黑云角闪二长变粒岩、斜长浅粒岩等	均粒它形粒状变晶结构, 块状或平行定向构造。主要成分黑云母、斜长石、角闪石和石英	
		③角闪质岩类	斜长角闪岩、角闪石岩	柱粒状变晶结构, 块状构造。主要成分角闪石和斜长石	
	变质岩	混合岩	①混合岩化变质岩类	混合岩化变粒岩、混合岩化片麻岩等	黑云母、斜长石、角闪石、石英及少量碱性长石
			②注入混合岩类	角砾状混合岩、条带状混合岩、浅粒质混合岩等	鳞片粒状变晶结构, 条带状、角砾状构造。主要成分石英、斜长石、碱性长石为主, 次为黑云母、角闪石
		混合片麻岩类	③混合片麻岩类	条痕状混合片麻岩、条带状混合片麻岩、花岗质混合片麻岩等	花岗变晶结构, 条痕、条带状构造。主要成分石英、斜长石、碱性长石为主, 次为黑云母、角闪石
			④混合花岗岩类	斜长混合花岗岩、二长混合花岗岩等	花岗变晶结构, 块状构造。主要成分石英、斜长石、碱性长石
			①构造角砾岩类	角砾岩、圆化角砾岩等	角砾状结构, 无定向构造。主要成分石英、斜长石、碱性长石
		动力变质岩	②压碎岩类	碎裂混合化岗岩、长英质碎裂岩、碎斑岩、碎粒岩等	碎裂结构, 略显定向构造。主要成分石英、斜长石、碱性长石
			③糜棱岩类	混合花岗岩质糜棱岩、浅粒岩质糜棱岩等	糜棱结构, 定向构造。主要成分石英、斜长石、碱性长石
	岩浆侵入体	基性	①辉绿岩类	辉绿岩、灰绿玢岩	辉绿结构, 块状构造。主要成分辉石、斜长石
			①煌斑岩类	云斜煌斑岩、闪斜煌斑岩	煌斑结构, 块状构造。主要成分黑云母、角闪石、斜长石或碱性长石
		中性	①闪长岩类	微晶闪长岩、闪长岩、闪长玢岩等	半自形粒状结构, 块状构造。主要成分角闪石和斜长石
			①花岗岩类	花岗岩、花岗闪长岩、花岗斑岩	半自形粒状结构, 块状构造。主要成分石英、斜长石和碱性长石
酸性					



Figure 2. Characteristic of migmatite basal bodies (dark) and vein body (undertone) (left is outcrop, right is core)

图 2. 混合岩基体(暗色)与脉体(浅色)特征(左为露头, 右为岩心)

中, 不单独作为一种类型。混合岩主要有三类, 每一类岩石特征如下:

1) 注入混合岩类

新生的长英质脉体含量 15%~50%，基体、脉体界线一般较清楚，以机械注入或交代作用为主。基体中矿物所受交代作用不强烈，但交代反应，交代重结晶及重结晶也占有一定比例。主要为长英质黑云斜长片麻条带状混合岩、花岗质黑云斜长片麻条带状混合岩等。该类岩石随着混合岩化程度的加深，暗色矿物含量降低。岩石多为灰绿色、灰白色混杂，条带状、角砾状构造，具鳞片粒状变晶结构，晶粒大小一般 0.80 mm~2.40 mm。矿物成分主要为石英、斜长石、钾长石、黑云母。

浅粒质混合岩：是注入混合岩的一种特殊类型，变质原岩为浅粒岩，注入脉体含量在 15%~50%。该类岩石在辽河拗陷变质岩潜山中形成了很好的储层，因此，作为一种特殊类型进行划分。

2) 混合片麻岩类

混合岩化作用已相当强烈，残留的基体含量<50%。由于强烈的交代作用，残留的变质岩基体和新生的长英质脉体之间，无明显的差别和界线，原来的区域变质岩已发生了较深刻变化，仅残留某些不易变化的矿物，常为暗色矿物。主要类型为条带状混合片麻岩、花岗质混合片麻岩等。岩石以粉红、粉灰色为主，混杂黑绿色、深绿色。混合岩化作用残留下来的暗色基体较少并呈定向分布。鳞片粒状变晶结构，花岗变晶结构，片麻状构造。主要成分为石英、斜长石、钾长石和少量暗色矿物。

3) 混合花岗岩类

混合岩化作用最强烈，岩性与岩浆结晶的花岗岩有相似之处，成分相当于花岗岩或花岗闪长岩。但其中仍可保留一定数量的暗色矿物较集中的斑点、条痕或团块，分布不均匀，大体代表交代反应后残留的基体。该区混合花岗岩暗色矿物以黑云母为主，仅个别样品中含少量角闪石。混合花岗岩划分为斜长混合花岗岩和二长混合花岗岩等。

4.2.3. 岩浆侵入体

岩浆岩侵入体分为深成侵入体和浅成侵入体，深成侵入岩主要有中酸性的花岗岩、花岗闪长岩、闪长岩等；浅成侵入体主要是岩脉，类型有中酸性花岗斑岩、花岗闪长斑岩、闪长玢岩以及基性辉绿玢岩、辉绿岩、煌斑岩等。主要岩石类型特征如下：

1) 酸性侵入岩类

花岗岩(花岗闪长岩)：粉红色、浅粉色、浅肉灰色等，半自形粒状结构，块状构造。主要成分石英、斜长石、碱性长石及少量黑云母等。石英含量 20%~30%，斜长石和碱性长石含量近于相等或者以其中一种长石为主。斜长石多为半自形板状、粒状；碱性长石晶体粗大，多为晚期结晶。该类岩石在辽河钻井中一般钻遇厚度较大，一般可达几百米，岩石结晶较好。

花岗斑岩(花岗闪长斑岩)：粉红色、浅粉色、浅肉灰色等，斑状结构，块状构造。斑晶含量 5%~20%，其中，石英 5%~7%，斜长石 3%~10%，碱性长石 2%~10%，少量黑云母。基质由粒状石英、长石及少量暗色矿物组成。该类岩石在辽河钻井中一般钻遇厚度较小，几米到十几米，岩石结晶差。

2) 中性岩侵入岩类

闪长岩(石英闪长岩)：灰色，半自形粒状结构，块状构造。晶粒大小 0.20~2.60 mm。主要成分：石英小于 5%(石英闪长岩石英含量 5%~20%，一般在 15%左右)，填隙状；斜长石 60%~65%，自形，半自形板状，晶体较粗大，绢云母化；角闪石 20%~35%，长柱状，部分叶绿泥石化。该类岩石一般钻井解释厚度较大，结晶较好。

闪长玢岩：紫色、紫灰色，斑状结构，块状构造。晶粒大小 0.20~1.50 mm。主要为斜长石、角闪石和黑云母组成，角闪石和黑云母多绿泥石化；基质由微晶斜长石、角闪石、石英和铁质组成。该类岩石一般钻井解释厚度较小，几米到十几米，结晶较差。

3) 基性侵入岩类(脉岩类)

该类岩石在辽河拗陷多呈岩脉产出，厚度几米、十几米到几十米，主要为煌斑岩和辉绿岩。

煌斑岩：该类岩石，是一种暗色矿物含量较高的岩脉，深灰色，深灰绿色，煌斑结构，块状构造。晶粒大小 0.10~0.50 mm。岩石主要由暗色矿物(黑云母、角闪石)和长石组成。暗色矿物含量 30%~50%，一般蚀变中等-深。

辉绿岩：灰黑色，辉绿结构，嵌晶含长结构，块状构造。晶粒大小 0.10~1.00 mm。主要成分为辉石、斜长石，少量橄榄石，副矿物为磁铁矿。辉石 35%~45%；斜长石 55%~60%；橄榄石和磁铁矿少量，一般橄榄石蚀变深，仅留晶型。

5. 岩性的测井识别

5.1. 岩性测井识别方法的建立

辽河拗陷太古宇变质岩潜山的勘探一直以来仅仅停留潜山的顶部 100 m~200 m，认为岩性是一套区域变质岩和混合岩。由于钻探较浅，并未发现岩石组合的复杂性。近几年来，辽河拗陷西部凹陷兴隆台潜山深层勘探取得重大突破，太古宇钻探厚度达到 1600 m，录井和测井资料显示潜山岩石组成极为复杂。由于钻井取心成本高、时间长，变质岩取心收获率又较低，因此，钻井取心有限，一般来讲每一口井取心只有十余米，平均取心收获率 60%左右，心长占钻遇地层厚度的 0.5%左右。显然，利用钻井取心精确确定潜山岩性，恢复巨厚潜山岩性剖面是不实际的，因此，急需建立岩性与测井曲线的对应关系，实现岩性的测井识别。在钻井取心有限的情况下，充分利用钻井的岩屑，首先建立起潜山的岩矿鉴定类型(岩石学分类)，研究各类岩石的矿物组成及含量、氧化物组成及含量、元素组成及含量等，进而研究每一类岩石的岩石物理特征，在岩矿分类和岩石化学分类的基础上，对相似特征的岩石进行归类，如条带状混合岩、角砾状混合岩只是岩石的结构特征不同，可统一归为注入混合岩大类；花岗岩和花岗斑岩只是由于侵入产状不同，造成岩石结晶程度的差异，可归为酸性侵入体类，进一步划分可以根据建立起的测井类型基础上根据岩层的薄厚、产状的不同区分是深成的花岗岩体还是浅成花岗斑岩脉体。通过岩矿类型的鉴定和相似特征岩石归类，最终建立起潜山岩性的测井识别类型。

5.2. 岩石物理特征及测井响应

岩石是由矿物组成的，矿物是由元素组成的。组成辽河拗陷太古宇潜山的主要矿物可分为硅铝矿物和铁镁矿物两个系列。硅铝矿物矿物中 SiO_2 与 Al_2O_3 的含量高，不含 FeO 和 MgO ，包括石英、钾长石和斜长石等，它们基本不含色素原子，颜色较浅，又称浅色矿物；铁镁矿物矿物中 FeO 、 MgO 含量较高，包括橄榄石、辉石、角闪石、黑云母等，这些矿物的颜色一般较深，又称暗色矿物。地下岩石的地质信息可以通过岩心和岩屑获得，也可以通过岩石物理特征，即测井参数获得。现场测井可以获得与孔隙度、岩性、油气以及其它岩石性质有关的参数，在沉积岩中应用已经非常成功。而作为变质岩来讲，也曾有人利用测井曲线识别兴隆台潜山结晶基岩岩性[9]，但研究成果没有从基础的岩矿分析入手，对兴隆台变质岩的认识不够全面，因此得出的结论存在偏差。利用测井曲线识别岩性，需要搞清楚测井参数所反应的岩石物理特征，每一种矿物有特征测井相应值(10)。通过矿物的测井相应特征，来研究每一种岩石的测井曲线特征，建立岩性与测井曲线的对应关系，从而实现利用测井曲线恢复巨厚的基岩岩性剖面，最终有效划分储集层和非储集层。

在结晶基岩潜山中划分具体岩类，主要选择了对矿物和元素反应敏感的岩石密度、补偿中子、自然伽玛和 Pe 等测井曲线。变质岩和岩浆岩由矿物结晶而成，矿物为晶粒镶嵌状，原生的晶间孔极少。岩石密度曲线主要受组成岩石的矿物成分及含量影响，不同矿物密度值不同[10]，黑云母、角闪石等铁镁矿物

密度大,而石英、长石等硅铝矿物密度小;补偿中子测井实质是测量氢的浓度[11],对于沉积岩来讲,补偿中子测井主要受孔隙流体中氢含量影响,而对于变质岩主要受组成岩石的矿物影响,组成结晶基岩的主要铁镁矿物为角闪石、黑云母等,其组成中含结构水,因此含有一定量的氢,当岩石中含角闪石和黑云母时,补偿中子值较高;自然伽玛值的高低与矿物中放射性含量有关,根据鲍文反应系列[11],Th、U、K等放射性元素进入晚期结晶的矿物,如钾长石、黑云母等,因此,钾长石、黑云母含量高的岩石自然伽玛值也高,对于早期结晶的矿物斜长石、辉石、角闪石等自然伽玛值低。根据每一种矿物的特征测井响应,通过系统岩矿鉴定与测井曲线形态特征对应标定研究,建立了每一种岩石类型的测井曲线形态特征及测井响应值(表2),根据岩石物理特征响应的测井曲线形态特征及测井响应值可以更加宏观有效地识别潜山岩性。

太古宇潜山中常见的岩石类型黑云(角闪)斜长片麻岩、黑云(角闪)斜长变粒岩、斜长角闪岩、斜长浅粒岩、注入混合岩、混合片麻岩、混合花岗岩、花岗斑岩、闪长玢岩等的岩石密度和补偿中子交会特征及自然伽玛曲线特征见图3。

片麻岩,自然伽玛曲线高锯齿状,值在60 API~120 API;岩石密度和补偿中子交汇曲线一般补偿中子曲线在左,岩石密度曲线在右,交汇成中等“负异常”,岩石密度 $2.67\text{ g/cm}^3\sim 2.7\text{ g/cm}^3$,补偿中子6%~12%。

变粒岩,自然伽玛曲线中值较平直小齿状,值在75 API~85 API;岩石密度和补偿中子交汇曲线补偿中子曲线在左,岩石密度曲线在右,交汇成中等“负异常”,岩石密度 $2.70\text{ g/cm}^3\sim 2.75\text{ g/cm}^3$,补偿中子5%~6%。

浅粒岩,自然伽玛曲线中值较平直小齿状,值在105 API~115 API;岩石密度和补偿中子交汇曲线岩石密度曲线在左,补偿中子曲线在右,交汇成“正异常”,岩石密度 $2.60\text{ g/cm}^3\sim 2.70\text{ g/cm}^3$,补偿中子0%~3%。

斜长角闪岩,自然伽玛曲线低平直状,值在20 API~30 API;岩石密度和补偿中子交汇曲线补偿中子曲线在左,岩石密度曲线在右,交汇成大的“负异常”,具有高岩石密度、高补偿中子特点,岩石密度 $2.90\text{ g/cm}^3\sim 3.0\text{ g/cm}^3$,补偿中子15%~20%。

注入混合岩,自然伽玛曲线高锯齿状,值在70~200 API;岩石密度和补偿中子交汇曲线呈绞合状,岩

Table 2. Eigenvalue and morphological characters of the primary rocks' curves

表2. 主要岩石类型测井曲线相应特征值及曲线形态特征

岩石学类型	测井识别类型	测井相应值			测井曲线形态	
		密度, g/cm^3	补偿中子/%	自然伽玛	密度-中子	自然伽玛
黑云(角闪)斜长片麻岩等	片麻岩类	2.65~2.85	5-12	40~120	中等的“负差异”	中-高锯齿状
黑云(角闪)斜长变粒岩等	变粒岩类	2.70~2.80	3~12	30~105	中等“负差异”	中值较平直状
斜长(二长)浅粒岩	浅粒岩类	<2.65	<6	50~110	“正差异”或交合状,曲线较平直	中值较平直小齿状
斜长角闪岩、角闪石岩	斜长角闪岩类	2.90~3.20	>15	15~40	大的“负差异”	低平直状
浅粒质混合岩	浅粒质混合岩	<2.65	<6	>50	“正差异”或交合状,曲线较平直	中值较平直状夹高值
条带状、角砾状混合岩等	注入混合岩类	2.67~2.75	3~8	70~200	“交合状”或“正负差异交替”曲线锯齿状	中-高值锯齿状
混合片麻岩类	混合片麻岩类	2.61~2.70	3~6	70~155	“交合状”或小的“正差异”曲线锯齿状	高锯齿状
混合花岗岩类	混合花岗岩类	2.52~2.65	1~3	75~180	大的“正差异”	高值小锯齿状
花岗岩、花岗斑等	酸性侵入体	2.48~2.66	0~6	75~130	小-大的“正差异”	中值平直状
闪长岩、闪长玢岩等	中性侵入体	2.68~2.80	>5	40~80	小-中“负差异”或“绞合状”曲线平直	中值平直状
煌斑岩、辉绿岩等	基性侵入体	2.70~3.1	6~26	<50 或 >85	大的“负差异”	低值平直

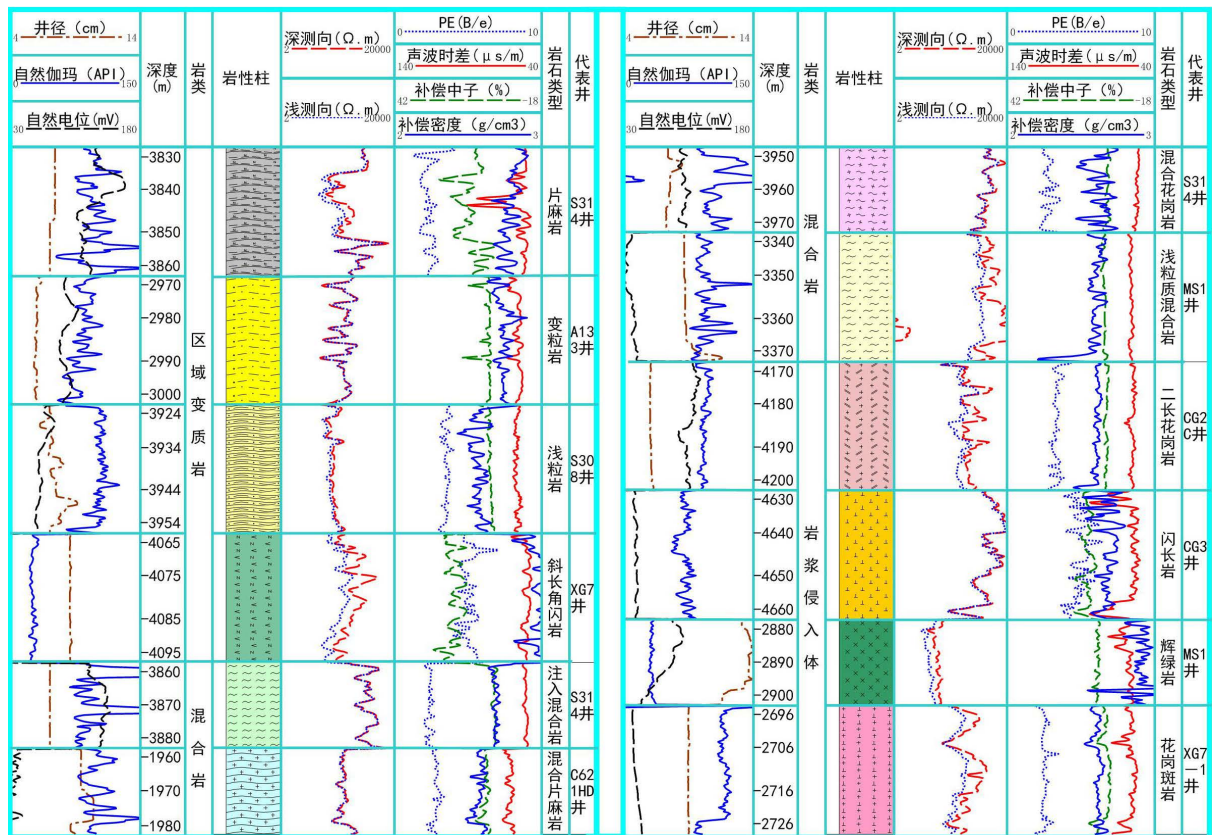


Figure 3. Character of the main rocks' curve responses

图 3. 主要岩石类型测井响应特征

石密度 $2.67 \text{ g/cm}^3 \sim 2.70 \text{ g/cm}^3$ ，补偿中子 $3\% \sim 6\%$ 。

浅粒质混合岩，自然伽玛曲线中值较平直状夹高值；岩石密度和补偿中子交汇曲线呈“正差异”，岩石密度 $2.50 \text{ g/cm}^3 \sim 2.60 \text{ g/cm}^3$ ，补偿中子 3% 左右。

混合片麻岩，自然伽玛曲线高低起伏的锯齿状，值在 $75 \sim 150 \text{ API}$ ；岩石密度和补偿中子交汇曲线呈较小的“正差异”，岩石密度 $2.5 \text{ g/cm}^3 \sim 2.60 \text{ g/cm}^3$ ，补偿中子 $3\% \sim 6\%$ 。

混合花岗岩，自然伽玛曲线高锯齿状，值在 $100 \sim 180 \text{ API}$ ；岩石密度和补偿中子交汇曲线呈的“正差异”，岩石密度 $2.5 \text{ g/cm}^3 \sim 2.65 \text{ g/cm}^3$ ，补偿中子 $1\% \sim 2\%$ 。

二长花岗岩，自然伽玛曲线中值平直状，值在 90 API 左右；岩石密度和补偿中子交汇曲线补偿中子曲线在右，岩石密度曲线在左，交汇成“正异常”，具有低岩石密度低补偿中子特点，岩石密度 $2.55 \text{ g/cm}^3 \sim 2.60 \text{ g/cm}^3$ ，补偿中子 $0\% \sim 1\%$ 。

闪长岩，自然伽玛曲线中低值平直状，为 $60 \text{ API} \sim 75 \text{ API}$ ；岩石密度和补偿中子交汇曲线“交合状”或“负差异”，岩石密度 $2.55 \text{ g/cm}^3 \sim 2.70 \text{ g/cm}^3$ ，补偿中子 $6\% \sim 9\%$ 。

5.3. 岩性曲线识别与岩矿鉴相互刻度

通过岩石薄片鉴定进行岩石学定名，刻度的是一小块样品的的岩性特征，该类岩性的规模大小、在钻井中揭示厚度、分布特征等，并不能直观反映。测井曲线能够反映岩性宏观分布特点，包括厚度、规模等。在岩石薄片鉴定的基础上，对岩性进行准确定名，再通过岩石物理特征的研究建立起岩性与曲线的对应关系，实现岩性的测井识别，这在石油地质勘探开发中具有重要的意义。对于变质岩来讲，岩石中矿物结晶

粗大,不均匀性强,岩石薄片大小一般为 $2.5\text{ cm} \times 2.5\text{ cm}$,对于岩性均匀的变粒岩、斜长角闪岩等可以准确定名,对于混合岩来讲单单利用岩石薄片所切合的部位定名必定存在一定偏差,这就要求岩石宏观标本与微观薄片鉴定结合定名,这样仍然存在偏差。如图2所示的混合岩,取样在白色条带上,岩矿定名为混合花岗岩,取样在暗色部位岩矿定名黑云斜长片麻岩,该类岩性的准确定名应为花岗质黑云斜长片麻条带状混合岩(根据脉体与基体相对含量),这里定名的偏差是因为刻度的不同。岩性的测井识别可以从宏观的角度更加综合地反映脉体(浅色)和基体(深色)的相对厚度,进而宏观准确定名。另外,在辽河拗陷测井曲线可以把中生代岩浆侵入的花岗岩和太古代变质形成的混合花岗岩进行很好的区分,中生代花岗岩由于为岩浆结晶形成,岩体成分较均匀,自然伽马曲线为平直状,太古代混合花岗岩由于为交代成因,岩性均一性差,自然伽马曲线为锯齿状。在岩矿鉴定上,这两类花岗岩很难区分,因为中生代花岗岩在结构上由于碱性长石的结晶包裹斜长石,与混合花岗岩的交代残留结构不好区分,参考测井曲线可以对该类岩性准确定名。总之,岩矿鉴定与测井曲线结合可以更加真确地刻画地质体的特征。

6. 结论

1) 辽河拗陷太古宇潜山由变质岩和晚期岩浆侵入体组成,变质岩占70%左右,侵入体占30%左右。变质岩主要为新太古代区域变质岩、混合岩和动力变质岩;岩浆侵入体主要为中生代三叠-侏罗纪时期侵入的花岗岩、花岗斑岩、闪长岩、闪长玢岩、辉绿岩和煌斑岩等。太古宇潜山岩性岩矿鉴定可以划分为14个亚类30多种岩石类型;但分布最广、出现最多的岩类有11种。

2) 不同的岩石类型由于矿物组成、氧化物含量、元素组成不同物理特征差别较大,以硅铝矿物为主的岩石(混合花岗岩、花岗斑岩、黑云斜长片麻岩等),具有较高的自然伽玛值,较小的岩石密度和补偿中子值;铁镁矿物含量较高的岩石(斜长角闪岩、闪斜煌斑岩等)具有较低的自然伽玛,较高的岩石密度和补偿中子值。根据各类岩石物理特征的不同,优选出了对岩性反映敏感的常规测井系列有岩石密度、补偿中子、自然伽马、光电截面指数等。

3) 岩石密度(选值 $2\text{ g/cm}^3 \sim 3\text{ g/cm}^3$)与补偿中子(48%~18%)曲线交会的差异性,即密度在下中子在上为“正差异”、密度在上中子在下为“负差异”,结合自然伽玛、光电截面指数等曲线形态特征和测井参数值可以识别太古宇潜山岩性。

4) 岩矿鉴定与测井曲线在岩性识别上刻画的尺度不同,二者的有机结合,互相补充,可以更好地识别太古宇潜山岩性。目前,测井曲线可以成功地识别片麻岩、变粒岩、浅粒岩、斜长角闪岩、浅粒质混合岩、注入混合岩、混合片麻岩、混合花岗岩、酸性侵入体、中性侵入体和基性侵入体11类岩性。

5) 测井曲线可以很好地区分太古代变质成因的混合花岗岩和中生代岩浆成因的花岗岩,是除了同位素测年外,显微镜下岩矿鉴定区分这两类岩性的最好的辅助手段。

基金项目

中国石油天然气股份公司重大科研项目“辽河陆上太古界变质岩潜山油藏测井评价方法研究”部分内容。

参考文献 (References)

- [1] 谢文彦,孟卫工,张占文,等.辽河拗陷潜山内幕多期裂缝油藏成藏模式[J].石油勘探与开发,2006,33(6):649-652.
- [2] 慕德梁.辽河拗陷兴隆台古潜山深部油藏地质特征及勘探意义[J].特种油气藏,2007,14(3):16-19.
- [3] 肖淑蓉,张跃明.辽河盆地基岩潜山油藏裂缝型储层特征[J].中国海上油气(地质),2000,14(2):108-111.
- [4] 邢志贵.辽河拗陷太古宇变质岩储层研究[M].北京:石油工业出版社,2006.

-
- [5] 万桂梅, 汤良杰, 周心怀, 等. 郯庐断裂带在渤海湾海域渤东地区的构造特征[J]. 石油学报, 2009, 30(3): 1-2.
- [6] 龚再升, 蔡东升, 张功成. 郯庐断裂对渤海湾海域东部油气成藏的控制作用[J]. 石油学报, 2007, 28(4): 1-2.
- [7] 辽宁省地质矿产局. 辽宁省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1989.
- [8] 吴福元, 杨进辉, 柳小明. 辽东半岛中生代花岗岩岩浆作用年代学格架[J]. 高校地质学报, 2005, 11(3): 305-307.
- [9] 岳海玲. 兴隆台地区太古界变质岩测井综合评价研究 [J]. 石油地质与工程, 2008, 22(2): 44-46.
- [10] 谭延栋, 廖明书, 等. 测井解释基础与数据采集[M]. 北京: 石油工业出版社, 1992: 10-20.
- [11] 邱家骧. 岩浆岩岩石学[M]. 北京: 地质出版社, 1985: 249-250.