

哈南油田水淹层测井响应 特征及解释方法研究

谭成仟 吴少波

宋社民

(西安石油学院, 西安, 710065)

(华北油田二连公司, 二连浩特, 012600)

摘 要 本文立足于二连地区哈南油田的实际地质情况, 把该区油层水淹分为低压未水淹层、低压弱水淹层、低压中等水淹层、低压强水淹层、高压未水淹层、高压水淹层等六种类型。结合油层水淹后储层性质的变化, 从地球物理测井参数响应入手, 通过哈南油田 200 多口测井资料的综合解释, 分析和总结了哈南油田各类水淹层的测井响应特征及其规律。在此基础上, 提出该区水淹层解释的基本方法和规则。

关键词 哈南油田 水淹层 测井响应 水淹类别 测井解释

二连地区哈南油田于 1988 年正式投产, 1989 年开始投注, 至今已注水开发将近 10 年, 油田已进入中后期开发阶段, 油田产量递减, 综合含水已达 76% 以上, 油田水淹程度日益加深。如何依据测井资料评价水淹状况, 选择开发层位, 分析剩余油分布, 为油田调整挖潜提供科学依据, 已成为测井解释技术研究的一项重要课题。本文根据该油田地质实际, 结合油层水淹后储层性质的变化, 从测井解释和试油成果入手, 综合分析和总结了哈南油田水淹层在测井信息上的响应规律, 给出该区水淹层定性解释的一般规则。

1 哈南油田油层水淹后岩石物性的变化

哈南油田储层的岩性、物性、含油性差异大。储层岩性包括粉砂岩到砂砾岩的各类岩性, 颗粒粗细混杂, 分选差, 一般都具有低孔低渗的特点, 局部有中孔中渗和低孔极低渗地层, 层间和层内非均质性很强。在油田注水开发过程中, 由于长期受注入水驱替的影响, 油层的物性、含油性、地层压力等不断发生变化, 使得本来就十分复杂的地质特性又增加了由注入水带来的储层性质的新变化, 为测井解释带来了新的难题。深入分析这些变化, 找出变化规律是搞好水淹层判别和水淹层解释的基础。

1.1 含油饱和度及油水分布的变化

地层含油饱和度的降低是注水开发的直接结果。注水采油, 一方面是为了保持油层能量, 另一方面则是利用注入水的推进来驱替孔隙空间中的油。但是, 注入水的推进并非活塞式的均匀推进, 而是沿着孔隙度大、渗透性好的部位推进的, 就必然有一些油被留在微小孔隙或孔道之中, 成为剩余油, 随着石油的不断采出, 地层中的含油饱和度不断降低。

因物性条件不同而造成含油饱和度下降程度差异的现象导致了油层内部原始油水分布规律的新变化, 油层内物性好的部位原始含油饱和度较高。经注水后, 这类地层首先水淹, 并经受较充分的水洗致使其含水饱和度升高而含油饱和度降低; 相反, 与注水井层不连通或连通差的油层则成为未动用油层或剩余油饱和度较高的油层, 上升为挖潜调整的主要对象。

1.2 地层水矿化度的变化

地层水矿化度是利用测井资料确定含油饱和度的基础。在油层水淹过程中, 由于注入水矿化度与原始地层水矿化度的不同, 使地层水矿化度发生了十分复杂的变化。据实际资料分析, 哈南油田地层中的原始地层水矿化度约为 $8\ 000\ \text{mg/L}$, 自由水矿化度为 $2\ 500\ \text{mg/L}$, 在开发初期注入水的矿化度 $300\sim 500\ \text{mg/L}$, 以后污水回注, 由于束缚水被淡化, 而使注入水矿化度不断升高。到 1996 年 12 月, 其注入水矿化度平均约 $1\ 800\ \text{mg/L}$ 。

1.3 孔隙度、渗透率、泥质含量的变化

在砂泥岩剖面中, 水淹层岩石孔隙度的变化与水洗程度有关。弱水洗区, 粘土受注入水浸泡发生膨胀, 孔喉变窄, 孔径缩小, 孔隙度和渗透率都会降低; 中强水洗区, 粘土被水冲洗, 泥质含量降低, 孔喉增大, 孔隙度和渗透率都将提高。

据邻区蒙古林油田水淹后的蒙检 1 井和蒙检 2 井的岩芯分析和镜下观察, 中—强水洗地层具有泥质胶结物剥落、储层喉道弯曲减小、孔隙度和渗透率增大 (孔隙度平均增加 4.74% , 渗透率平均增加 $697.8 \times 10^{-3}\ \mu\text{m}^2$)。

1.4 地层压力的变化

油田投入开发后压力逐渐降低, 注水后当注入量大于产出量时, 地层压力逐渐恢复甚至高于原始地层压力。油藏原始压力系数多大于或接近于 1, 钻井时泥浆比重在 $1\sim 1.03$ 便可平稳钻进, 至目前地层的压力系数以远大于 1, 以至于有些井的钻井泥浆比重加至 1.60 时还常见边喷边溢。注水前油井低产, 注水后高产井喷的井层屡见不鲜, 这些都是地层压力升高的现象。但由于各段产出量和注水量的不同, 造成各层段产层的压力升高的幅度也不相同。被测地层压力越是低于原始地层压力, 说明油层动用程度越高。被测地层压力高于原始地层压力说明被测地层与注水层的连通性好, 压力已经波及到被测地层, 这类地层或是已经水淹或是虽未水淹但是打开后将很快水淹。

2 哈南油田油层水淹后储层地球物理特征变化规律

大量实践证明, 油层水淹后, 油层的电阻率、自然电位、介电性质、声学性质及核物理性质都会发生变化, 而且地层性质、注入水矿化度与注入量不同, 储层测井参数的变化规律也不同。研究水淹油层的地球物理性质变化, 对于应用测井资料准确地评价水淹层具有极重要意义。对哈南油田而言, 初期注入淡水, 随后污水回注, 其矿化度仍较原始地层水低很多, 总体表现为淡水水淹特征。

2.1 电阻率随水淹程度增强呈“U”型变化

岩电试验表明, 淡水水淹油田的电阻率呈“U”型变化规律。在水淹初期和中期地层水 (束缚水) 的离子交换过程较短, 还未充分淡化, 地层电阻率的降低主要是由于含水饱和度的增高, 因而, 水淹层在电阻率曲线上表现为电阻率降低。

水淹后期,由于驱油效率的降低,含水饱和度的上升速度较慢,随着离子交换过程的增强,地层水的淡化对地层电阻率的影响逐渐起主导作用,地层电阻率不随含水饱和度的升高而降低,反而增大,地层电阻率达到或超过油层的电阻率。

2.2 微电极电阻率曲线特征

微电极视电阻率数值反映岩性的变化,微电位与微梯度的幅度差反映储层的物性和渗透性。在常规的钻井条件下(泥浆柱压力大于地层压力),渗透层由于泥浆的侵入,渗滤而形成泥饼(缩径现象),使良好的渗透层显示为低电阻率和正的大的幅度差(微电极电阻率大于微梯度电阻率)。水淹时表现为稍高的电阻率,抬高的程度主要受水淹程度的影响。近年来,由于长期受注入水的影响,哈南油田部分区块,部分层压力增高超过原始地层压力,地层压力大于泥浆柱压力,即“相对高压层”,此时不再发生泥浆渗滤和结泥饼现象,测井过程中微电极极板直接与井壁接触,加之井壁周围地层岩石表面的残余油或束缚水淡化,使得微电极视电阻率数值升高,变化急剧,幅度差较小且不易分辨其幅度差。因此,相对高压层造成微电极视电阻率增高。

2.3 自然电位曲线特征

自然电位测井,主要测量的是不同岩性上产生扩散和吸附电位的差异。无论是泥浆滤液矿化度的改变还是地层水矿化度的改变都对自然电位测井响应有影响。但是,当地层压力高于泥浆柱压力时,虽然不存在泥浆滤液的侵入,但会产生由高压地层向低压井壁的离子流动和聚集,造成反向的过滤电位,在自然电位曲线上显示为自然电位正方向变化,即出现正自然电位异常或自然电位平直与泥岩基线相同。因此,自然电位正方向变化表明地层的相对高压,并非代表水淹,这与其它油田应用自然电位的正方向变化解释为淡水强水淹的规律不甚符合,同时,这类地层可由无缩径现象和微电极高值且无幅度差来说明。

2.4 其它测井参数的变化

水淹层由于地层泥质被剥落和冲刷,自然伽马曲线数值变低;孔隙度的增加使声波时差曲线数值增大;水淹最先发生在高孔高渗低含泥部位,在测井图上反映为低自然伽马、高时差和缩径部位,当地层为相对高压时井径不缩小也不扩径。

3 哈南油田水淹层的测井解释方法

根据该地区的实际情况,按油层压力和水淹程度,该区水淹层的解释类别可分为六类:即低压未水淹层、低压弱水淹层、低压中等水淹层、低压强水淹层、高压未水淹层和高压水淹层等。由于地层条件(水饱和度、水矿化度、地层压力、孔隙度等)的不同,它们在测井曲线上的反映特点也不相同。

3.1 低压未水淹层

该类水淹层的主要电性特征是地层电阻率为高阻,泥浆低阻侵入,2.5 m电阻率大于0.4电阻率($R_{2.5} > R_{0.4}$);深探测电阻率大于中探测电阻率,而且均大于八侧向电阻率($R_{ILD} > R_{ILM} > R_{LL8}$);微电极为低电阻率,正的大的幅度差,自然定位基线稳定,负差异最大处与电阻率高值、微电极低、正、大、时差较高、自然伽马较低、井径缩径相对应,是典型的油层显示特征。

3.2 低压弱水淹油层

低压弱水淹层地层电阻率曲线显示与油层电阻率相比取决于层内的非均质性。当地层较均匀则电阻率降低, 呈增阻侵入 ($R_{LL8} > R_{ILM} > R_{ILD}$)。当地层不均匀则地层低渗透部位未水淹电阻率与油层电阻率相当, 为减阻侵入 ($R_{LL8} < R_{ILM} < R_{ILD}$)。高渗透部位可能水淹呈增阻侵入。对电极系电阻率而言, 一般 $R_{2.5}$ 与 $R_{0.4}$ 相接近, 电阻率高值时 $R_{2.5} > R_{0.4}$, 自然电位异常幅度最大处地层电阻率往往降低, 自然电位泥岩基线基本稳定, 其它测井曲线与油层相当, 如微电极中低值正差异、井径缩径、声波时差中值和自然伽马中低值。

3.3 低压中等水淹油层

该类水淹层的主要电性特征是地层电阻率数值一般增高, 增阻侵入明显, 微电极曲线低、正、大, 自然电位负异常, 开始出现泥岩基线的正向偏移, 自然伽马为低值。图 1 为哈 14-216 井的测井曲线实例, 该井 1688.0~1693.6 m 井段单层试油, 试油结果日产油 13.1 t, 水 19 m³, 产水率为 55.9%。图 1 中可见, 该层在微电阻率曲线上表现为低阻、正异常、幅度差大, 三电阻率全层增阻侵入明显, 电极系电阻率亦显示增阻侵入, 自然电位负异常, 自然伽马低值, 井径缩径。

3.4 低压强水淹油层

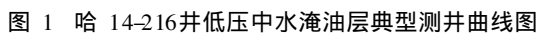
低压强水淹层的主要电性特点是地层电阻率比一般油层高, 在良好的物性部位显示明显的增阻侵入特征, 严重时全层显示增阻侵入特征, 自然电位负异常幅度降低, 与声波时差不相对应, 自然电位泥岩基线正方向偏移。其它测井曲线与油层相当, 如微电极中低值正差异, 自然伽马中低值, 井径缩径, 声波时差中值。图 2 为哈 4-416 井测井曲线实例, 在产液剖面上 1797.2~1800.2 m 井段日产油 0.35 t, 水 2.1 m³, 含水率为 83.2%。该井段在测井曲线上有明显的强水淹特征, 三电阻率为高值, 全层显示增阻侵入, $R_{LL8} > R_{ILM} > R_{ILD}$; 电极系电阻率为高值, 增阻侵入, $R_{2.5} \leq R_{0.4}$; 微电极为低、正、大, 自然电位负异常, 井径缩径, 自然伽马低值。

3.5 高压未淹油层

高压未淹油层的主要电性特征是: 不存在泥浆滤液侵入, 各项电阻率参数应相等, 或由于井和同名电极电极距的影响而反映为假泥浆滤液的减阻侵入, 微电极数值特高且幅度差不易分辨, 井径平直不扩不缩, 自然电位层内正向偏移。当地层电阻率与油层电阻率相近时为相对高压的未淹油层。

3.6 高压水淹油层

高压水淹油层具有高压油层的显示特征, 二者的主要差别在电阻率的变化上, 高压油层径向电阻率数值在理论上应相等, 或由于井和同名电极电极距的影响而反映为假泥浆滤液的减阻侵入, 地层电阻率与正常油层电阻率相近。而高压水淹层主要电性特征是除了具有相对高压地层的显示外, 地层电阻率明显增高, 且径向电阻率为增阻侵入特征。图 3 为哈 5-417 井测井曲线实例, 该井在 1693.0~1759.8 m 井段共试油 9 层。在试油时, 射孔后发生井喷, 折合日产油 12.4 m³, 水 4.8 m³, 含水率 27.9%。该井段在测井曲线上有明显的上述高压水淹油层的特征, 如三电阻率及微电极系电阻率表现为高值、增阻侵入, 井径曲线平直不扩不缩, 自然电位正异常, 微电阻率曲线为特高值, 幅度差不易辨认且幅度差小。



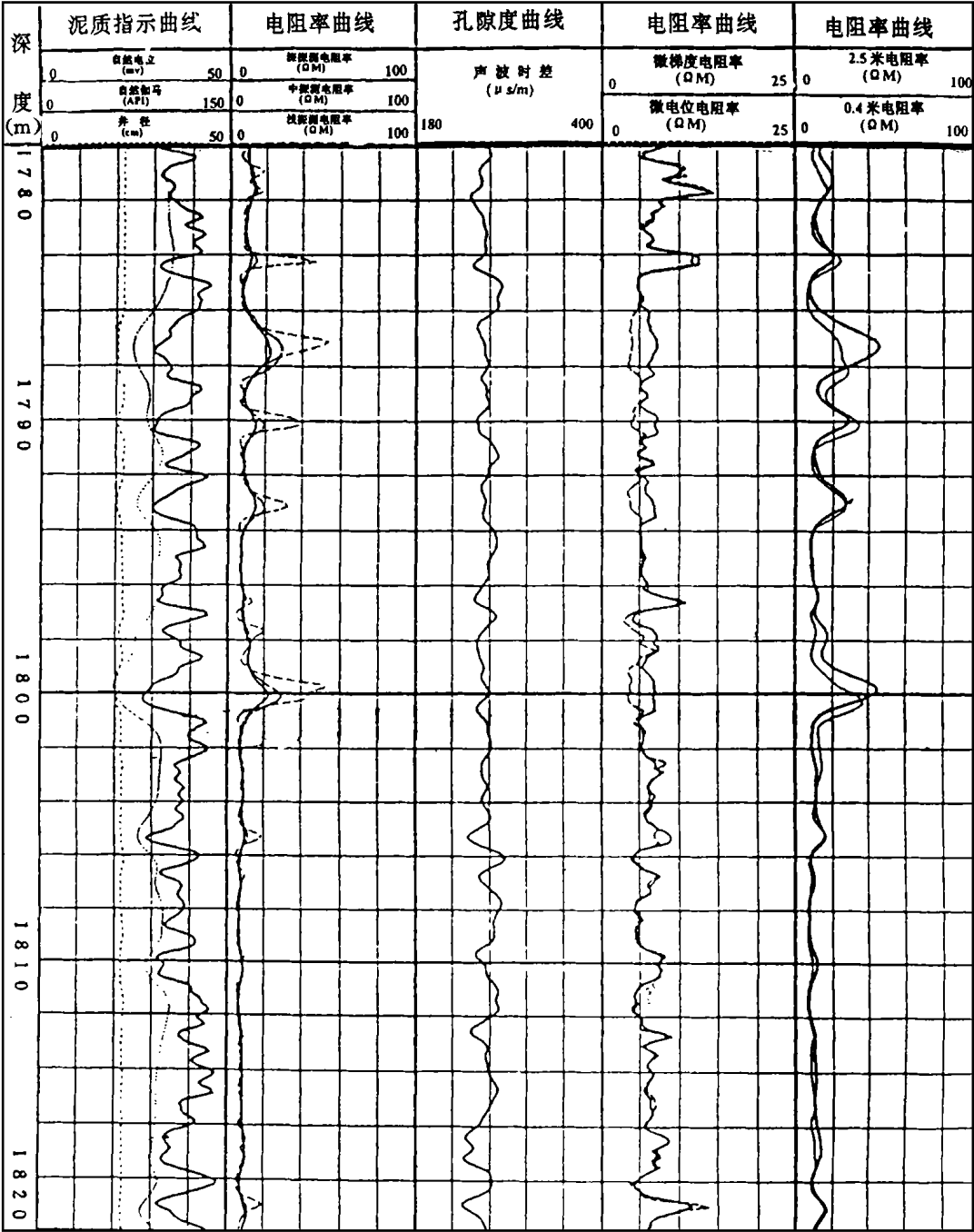


图 2 哈 4-416井低压强水淹层典型测井曲线图

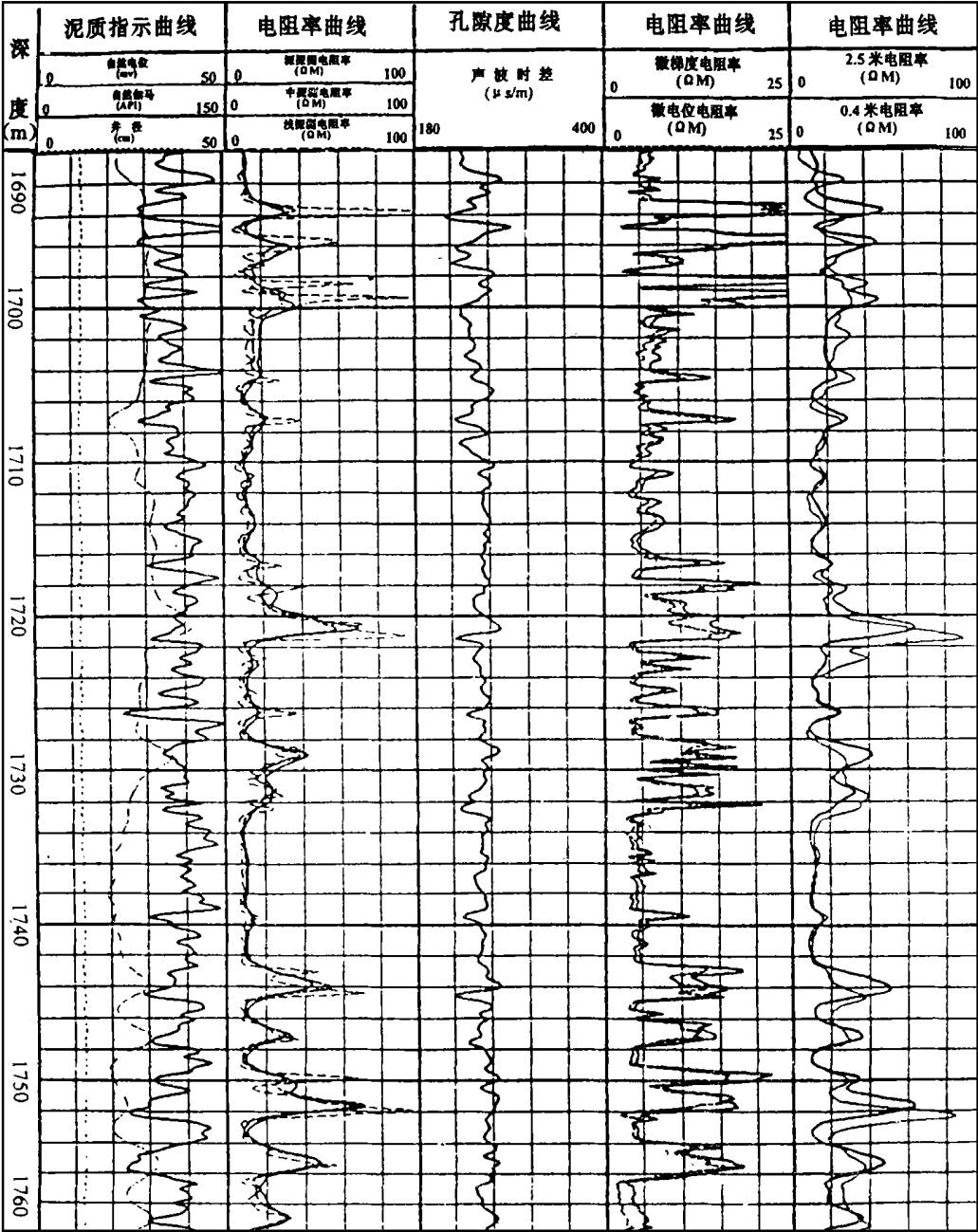


图 3 哈 5-417井高压水淹油层典型测井曲线图

4 结语

哈南油田长期注水开发, 储层 岩性及构造复杂, 各井各层油层水淹程度不均, 造成该区水淹层类型较多, 总结上述六种水淹模式及测井响应特征, 利用测井资料, 采用如下方法可基本正确地确定出该区的水淹类别及水淹程度

1) 地层低压、高压可用微电极的数值和幅度差进行区分。低压结泥饼, 在物性变好的部位, 微电极有低正大显示; 高压结泥饼差, 在物性变好的部位, 微电极数值高, 幅度差性质不易辨认, 幅度差小; 自然电位显示差或层内正向差异, 井径不扩径不缩径也和高压有关

2) 高压层是否水淹主要根据电阻率的泥浆侵入信息, 一般减阻侵入为油层, 增阻侵入为水淹层。

3) 对低压层而言, 减阻侵入, 上下自然电位基线稳定为未淹油层; 减阻侵入地层部分物性变好部位, 有不大的增阻侵入, 上下自然电位基线稳定为弱淹油层; 增阻侵入, 上下自然电位基线有正向偏移为中等以上水淹油层; 增阻侵入很明显, 甚至增阻侵入成层显示 自然电位基线正向偏移, 甚至成层段的正偏为强水淹油层

参 考 文 献

- 1 《测井学》编写组. 测井学. 北京: 石油工业出版社, 1998. 12
- 2 姜文达等. 油气田开发测井技术及应用. 北京: 石油工业出版社, 1995. 9
- 3 孙德明等. 储层条件下水淹层测井响应机理实验研究. 水驱油田开发测井 96国际学术讨论会论文集. 北京: 石油工业出版社, 1996. 9
- 4 赵培华. 中国陆上水驱油田开发测井技术. 测井技术, 1998 10

西安地矿所举办一九九九年度学术讨论会

2000年 2月 15至 16日, 西安地质矿产研究所召开了 1999年度学术讨论会。所领导和全体地质科技人员参加了会议。会上共交流学术报告 16个。会上交流的 16个学术报告, 涉及较多的地学领域: 有针对造山带火成岩岩浆成因、成岩构造环境和地幔交代作用的研究; 有涉及造山带前造山期伸展构造、古隆起构造成因和区域构造演化、花岗岩与板块构造关系的讨论; 有不同成因类型铜、金矿产资源形成和找矿预测的探讨等。会上还交流了我所近年开展煤层气勘探、地面热兆与强震预报和构造同位素等方面研究的部分成果。夏林垢所长作了题为“论弧后盆地火山岩浆成因”的学术报告, 并在座谈会上进行了总结性发言。他指出, 这次学术讨论会从某种程度上反映了我所的科技实力和近年来的科研实践, 突出了“造山带成矿学”这一科研主题。今后要加强开展学术交流活动, 除了所组织的学术交流外, 应不拘形式在课题组、业务室等小范围内经常开展学术成果的展示活动和专题性讨论, 增强所里的学术气氛, 促进科技实力的提高。他寄语所中青年科技人员要“勤于学习, 勤于实践”, 以饱满的热情投身于国土资源大调查的项目实践中去。所党委书记汤炳如也在座谈会上讲了话, 他充分肯定了这次学术讨论会所取得的成果, 寄希望于全所的科技人员把科研工作与国家的需要更紧密地结合起来, 为新一轮地质大调查做出贡献。部分老专家在交流会后的座谈会上发了言, 一致认为这次学术活动举办的很成功, 并提出了许多有益的意见和建议。

(西安地质矿产研究所 科研开发处)