

岩土工程

北京石炭系二叠系钻井地层时代划分探讨

柯柏林^{1,2}

(1. 北京市地质勘察技术院, 北京 102218; 2. 北京市华清地热开发有限责任公司, 北京 102218)

[摘要] 针对无岩芯钻井地层时代划分的困难, 文章通过对北京石炭系和二叠系层型剖面标志特征的分析, 识别了岩石地层单位的分层标志特征, 论述了钻井岩屑地质编录的要求和地层钻探特征, 建立了太原组、山西组和石盒子组地球物理测井的物性标志特征, 阐明通过岩屑地质编录结合物探测井资料能够较好地对钻井进行地层时代划分。

[关键词] 石炭系 二叠系 钻井 地层时代划分 地球物理测井

[中图分类号] P534; P597; P631; P634 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495 - 5331(2008)03 - 0091 - 04

随着北京城市规模和经济的快速发展, 为解决供水和开发利用地热清洁能源, 钻井数量逐年增多, 钻井深度越来越大, 一般地热井深度 2000 ~ 3000m, 许多地热井的深度已达到 4000m 左右。为提高钻井效率, 钻探几乎采用全面钻进方法, 依靠岩屑录井准确划分地层时代是非常困难的。同时, 钻井过程中, 及时准确地识别所钻遇地层的岩性和时代, 对指导钻进工艺和成井工艺是非常重要的^[1]。长期积累的大量钻井地质资料, 对推动基础地质和城市地质研究将起到越来越重要的作用。因此, 钻井地层时代划分的准确性至关重要。文章以北京地区的地层特征为例, 对钻井揭露的石炭系和二叠系地层时代划分的方法进行探讨。

1 层型剖面标志特征

1.1 地层系统划分

按照中国岩石地层区划图的统一划分, 北京地区属华北地层大区 (V) 的晋冀鲁豫地层区 (V₄)。按三级地层区划, 北京市的山区属燕辽地层分区 (V₄⁷), 平原区归属华北平原地层分区 (V₄⁸)。按北京岩石地层单位划分, 石炭系和二叠系划分为太原组 (C_t)、山西组 (CP_s) 及石盒子组 (P_s)^[2]。石炭系中统下伏与奥陶系中统马家沟组 (O_m) 平行不整合接触, 缺失奥陶系上统、志留系、泥盆系和石炭系下统地层。二叠系上覆与三叠系下统双泉组 (PT_s) 整合接触 (表 1)。双泉组在北京地区的分布比较局限,

厚度变化大, 平原区钻孔揭露二叠系一般与侏罗系不整合接触。

表 1 北京地区上古生界岩石地层单位划分

界	系统	组
中生界	三叠系 (T ₁)	双泉组 (PT _s)
上古生界	二叠系 (P)	石盒子组 (P)
	石炭系 (C ₂₋₃)	山西组 (CP _s)
		太原组 (C _t)
下古生界	奥陶系 (O ₂)	马家沟组 (O _m)

1.2 太原组 (C_t)

1) 岩石组合特征

太原组以灰色、深灰色粉砂岩、细砂岩、粘土岩为主, 夹灰色薄层泥灰岩 1 ~ 2 层, 夹劣质薄煤层 1 ~ 2 层。

2) 胶结物特征

太原组沉积期以海陆交互相沉积环境为主, 海相沉积的砂岩为钙质胶结, 滴盐酸反应起泡。

3) 底界特征

在奥陶系马家沟组灰岩风化剥蚀面之上一般发育有底砾岩和 (或) 铁铝质岩 (相当于山西式铁矿和 G 层铝土)。底砾岩的砾石成分以石英岩为主 (约占 70%), 次为燧石和硅质灰岩。铝土矿富集铀 (10.08×10^{-6} g/g) 和钍 (34.4×10^{-6} g/g) 放射性元素^[3]。

4) 厚度

区域上山西组出露厚度 20 ~ 80m, 一般厚度

[收稿日期] 2007 - 11 - 07; [修订日期] 2008 - 01 - 02。

[第一作者简介] 柯柏林 (1965 年 —), 男, 1987 年毕业于武汉地质学院, 获学士学位, 高级工程师, 现主要从事水文地质及地热资源勘查和研究工作。

60m左右。

1.3 山西组 (CP₈)

1) 岩石组合特征

山西组以深灰、灰黑色砂岩、页岩、粘土岩及砾岩为主,夹有7~13层煤层和煤线。地层剖面的旋回性强,旋回基本层序呈下粗上细的二元结构。

2) 胶结物特征

山西组沉积期主要为河湖相沉积环境,砂岩的胶结物以泥质胶结为主,几乎没有钙质胶结。

3) 底界特征

山西组与太原组为整合接触,以粗-中粒砂岩的出现作为山西组的底界。该层砂岩区域上层位分布稳定,厚度一般6~8m。

4) 厚度

区域上山西组出露厚度145~309m,一般厚度200m左右。

1.4 石盒子组 (P₈)

1) 岩石组合特征

石盒子组在地层颜色上以灰绿色为主,下部夹有灰白色、灰黑色,上部夹有紫灰色。岩性以含砾砂岩、粗砂岩、粉砂质粘土岩为主,下部和底部一般发育有硅质成分的砾岩或含砾砂岩。

2) 胶结物特征

石盒子组沉积期主要为河流相沉积环境,颗粒的成熟度较低,砂岩、砾岩的胶结物为粉砂质。

3) 顶、底界特征

石盒子组与山西组为整合接触,以灰色、灰白色含砾砂岩或砾岩的出现作为石盒子组的底界。下伏的山西组以深灰、灰黑色粉砂岩为特征;石盒子组的顶界以开始出现紫色、紫红色泥岩、凝灰质砂岩与三叠系双泉组整合接触。平原区钻孔揭露石盒子组一般与侏罗系火山岩不整合接触。

4) 厚度

区域上石盒子组出露厚度165~410m,一般厚度300~400m左右。

2 钻井地层划分

2.1 岩石组合归纳

2.1.1 岩屑地质编录

广泛采用的全面钻进方法钻井,地层岩石由于牙轮钻头的刻磨,随钻井液携带出地表的岩石一般呈几毫米的岩屑,准确识别岩屑的岩性比较困难。地质录井人员除要具备丰富的地质基础知识和实践经验外,对难以肉眼识别的岩性需要取样进行显微

镜岩矿鉴定,准确确定岩性名称、百分比含量、磨圆度、胶结物等特征。一般要求岩性描述达到两米的精度,遇有特殊岩性要加密取样描述。岩性描述要按不低于地质规范要求将描述项目记录全面,记录表要按一般规范的格式。

岩屑样品中一般或多或少混有上部井段地层的岩石,不能完全代表取样深度的岩性,进行混入岩屑的准确剔除工作是非常重要的。

对于将岩屑的岩性成分恢复成实际岩石成分要尽可能准确。如砾岩岩石的岩屑成分大多表现为石英、燧石、硅质灰岩等成分,实际上应恢复原岩为砾岩。太原组、山西组和石盒子组的底界均以砾岩或含砾砂岩作为分层的标志层。

受印支构造运动的影响,石炭系和二叠系的岩石一般均遭受了不同程度的区域变质作用。变质岩类型有变质砂岩、变质粉砂岩、变质石英砂岩、板岩、千枚岩、片岩等,新生变质矿物有绢云母、硬绿泥石、叶腊石、红柱石。变质作用也会造成岩石颜色的改变,如硬绿泥石含量高时岩石绿色比例加重。

2.1.2 岩石组合归纳

钻探过程中要根据岩性描述记录绘制比例尺1/500的地层岩性柱状图,有条件时应粘贴岩屑实物剖面^[1],便于直观分析归纳岩石组合规律及与地球物理测井曲线解释对比。钻探进尺一定深度后要要进行岩石组合的归纳,形成按地层特征规律描述的表格记录。实际钻井岩屑地质编录经验表明,根据岩石组合、胶结物、厚度、颜色等标志特征,基本上可确定石炭系和二叠系三个组的大致分层界线。

2.2 地层钻探特征

石盒子组岩石以中、粗粒石英砂岩为主,岩石硬度高、可钻性差,单米钻进用时长、效率低。钻进过程中一般钻具跳动剧烈。由于该组岩石颜色较浅,钻井液的颜色为浅灰色。

山西组岩石主要为粉砂岩、细砂岩与泥质岩互层,岩石硬度相对较低、可钻性较好,单米进尺效率较石盒子组高。除局部钻遇砾岩层钻具跳动外,总体上比较平稳。该组为煤系地层,岩石颜色整体上黑度大,再加上煤层污染的影响,钻探进入山西组后钻井液颜色为灰黑色、黑色。山西组中砂岩为泥质胶结,滴盐酸不反应起泡。

太原组钻探效率与山西组相似。虽然该组只含少量薄层劣质煤,地层岩石颜色变浅,但受钻进山西组的钻井液影响,钻井液的颜色仍呈灰黑色。由于砂岩为钙质胶结,滴盐酸反应起泡。钻探中很难识

别出太原组中所夹的泥灰岩薄夹层。

2.3 地球物理测井解释

为了弥补岩屑地质录井资料划分地层时代分层标志的不足,岩屑上返迟到时间也难以准确计量和控制,同时为了取得含水层特征和地层岩石的物性资料,地热井、水井一般均要进行地球物理测井。常规的测井项目一般包括视电阻率、自然伽马、自然电位、井斜及井温等项目。钻井实践中,利用视电阻率和自然伽马曲线与岩屑地质录井资料对比能较好地对应地层时代进行划分,尤其对确定岩石地层单位的分层界面准确性较高。为了保证钻井的垂直度质量要求,而地下岩层一般都有倾斜,因此钻井地质分层厚度为地层的视厚度,一般大于地层的实际厚度。

2.3.1 测井曲线标志层特征

图 1 为北京某地热井的地球物理测井曲线解释成果。由于石炭纪和二叠纪时期区域沉积环境变化不大,该井测井曲线特征与北京其它地区基本一致,对石炭系和二叠系地层具有较好的代表性。

1) 太原组底部高放射性标志层

太原组底部的铝土矿(或铁铝质岩)层位发育稳定,该层富集铀(U)、钍(Th)放射性元素,自然伽马曲线呈高放射性特征。铝土矿层上部的粉砂岩、细砂岩放射性值平均 100API 左右,铝土矿层放射性值最高达到 360API。奥陶系马家沟组灰岩放射性值平均 20API 左右,自然伽马曲线幅值差异标志十分明显。实践表明,如果石炭系底部自然伽马测井曲线没有出现高放射性特征而与奥陶系灰岩接触,二者基本可确定是断层接触关系。

2) 山西组底部高视电阻率低放射性标志层

山西组底部的砾岩或粗-中粒砂岩层位发育稳定,与该层上、下接触的粉砂岩、细砂岩层比较,视电阻率曲线呈高阻特征,自然伽马曲线呈低放射性特征。石英质碎屑岩类颗粒越粗视电阻率值越高,颗粒越细泥质含量越多放射性值越高。

3) 石盒子组底部厚层高视电阻率与山西组顶部低视电阻率标志层

石盒子组底部的砾岩或含砾砂岩层位发育稳定、厚度大,测井曲线呈厚层高视电阻率特征;山西组顶部为粉砂岩、细砂岩,视电阻率测井曲线呈接近零值基线的特征。石盒子组砂岩长石矿物含量较高,长石中富含放射性元素钾,因此虽然界面上、下砂岩颗粒差异大,但自然伽马曲线特征差异不明显,石盒子组砂岩的放射性值相对稍高一些。

4) 侏罗系南大岭组低放射性与石盒子组高放

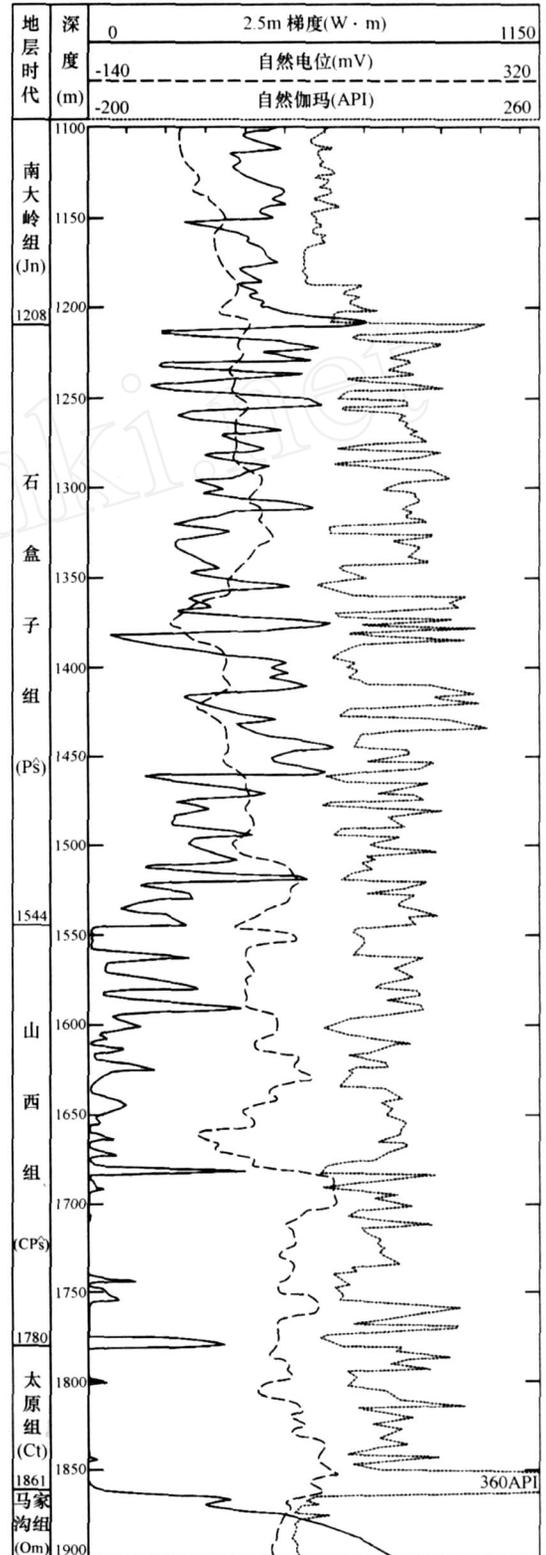


图 1 测井曲线解释成果图

射性标志层

柯柏林,赵连海.北京市朝阳区北苑家园 YR - 2 地热井成井报告.北京市华清地热开发有限责任公司,2003.

侏罗系南大岭组岩性主要为基性玄武岩,自然伽马曲线放射性整体较低;石盒子组长石石英砂岩含量高,自然伽马曲线放射性整体较高,二者自然伽马曲线特征差异明显;南大岭组岩性比较单一,玄武岩中磁铁矿含量较高,视电阻率曲线呈峰谷差异不大的相对低值。石盒子组粗粒砂岩含量高,视电阻率值相对呈高阻显示。

2.3.2 测井曲线地层特征

1) 太原组

视电阻率曲线总体呈接近零值基线的标志特征,反映了太原组主要为粉砂岩、细砂岩、泥质岩相对低电阻率的岩性特征;自然伽马曲线变化较大,峰谷差异主要反映了砂岩中泥质含量的高低,一般放射性幅值为 $60 \sim 160\text{API}$;自然电位曲线幅值变化为 $40 \sim 110\text{mV}$,平均约 70mV 。

2) 山西组

山西组测井曲线特征大体分两部分,下部视电阻率曲线总体呈接近零值基线的特征,反映了地层主要为粉砂岩、细砂岩、泥质岩的岩性特征,局部的稍高视电阻率是中粒砂岩夹层的反映;上部视电阻率曲线幅值逐渐增高,峰谷差异逐渐增大,低值逐渐偏离零值基线,反映了上部岩性变化大,有粉砂岩、细砂岩、中-粗粒砂岩、泥质岩、砾岩等成分,并且粗粒砂岩含量逐渐增多。视电阻率曲线显示的地层沉积韵律也比较明显;自然伽马曲线峰谷变化相对较小,一般放射性幅值为 $40 \sim 140\text{API}$;自然电位曲线幅值变化为 $-20 \sim 80\text{mV}$,平均约 40mV 。

3) 石盒子组

视电阻率曲线总体呈高阻反映,曲线峰谷差异变化幅度较大,反映了石盒子组主要为厚层含砾砂岩、粗砂岩、粉砂岩夹粉砂质泥岩的地层岩性组合特征;自然伽马曲线峰谷变化大,石英砂岩呈相对低放

射性特征,长石石英砂岩和泥质岩呈相对高放射性特征,一般放射性幅值为 $50 \sim 200\text{API}$;自然电位曲线幅值变化为 $-50 \sim 70\text{mV}$,平均约 20mV 。

3 结语

全面钻进方法大大提高了钻井工程项目的效率,但由于缺乏地层岩芯样品,对准确识别地层岩性和划分地层时代带来了很大困难。同时,钻进过程中需要及时正确识别所揭露地层的岩性和时代,随时指导钻探施工,从而达到降低钻井成本和风险的目的。全面钻进方法钻井划分地层时代,需要首先熟悉钻井区域地层层型剖面的标志特征,在认真进行岩屑地质录井的基础上,再结合地球物理测井资料划分地层时代,能够较准确地卡准地层界面的深度。通过研究分析建立的地层测井曲线标志特征,对指导其它类似地层条件钻井地层划分和研究测井地层学规律具有重要的作用。作者在总结研究北京地区多眼钻井揭露的石炭系和二叠系测井资料的基础上,发现物探测井曲线所反映的地层标志特征是基本一致的。基于沉积环境的一致性,本文分析的石炭系和二叠系钻井地层划分标志,在华北地层大区也应该有一定的普遍性。

[参考文献]

- [1] 柯柏林. 水井钻探岩屑地质编录方法探讨[J]. 城市地质, 2007, 2(4).
- [2] 北京市地质矿产局编著. 北京市岩石地层[M]. 北京: 中国地质大学出版社, 1996.
- [3] 阎敦实, 于英太. 京津冀油区地热资源评价与利用[M]. 北京: 中国地质大学出版社, 2000.
- [4] 王惠廉. 综合地球物理测井[M]. 北京: 地质出版社, 1987.
- [5] 李世忠. 钻探工艺学(下册)[M]. 北京: 地质出版社, 1989.
- [6] 李世忠. 地球物理测井[M]. 北京: 地质出版社, 2005.

TME DIVISION OF CARBONIFEROUS AND PERMIAN STRATA IN THE DRILLING WELLS IN BEIJING

KE Bai - lin

(Beijing Institute of Geo - exploration and Technology, Beijing 102218)

Abstract: In view of difficulties of strata division in the no rock - core drilling wells, delamination features of rock stratum units are identified based on section index characters of Carboniferous and Permian strata in Beijing. Requirements of geological loggings of drilling well and strata drilling characters are discussed, and Geophysical characteristics of Taiyuan, Shanxi and Shihezi formations are established. It is proposed that geological documentation combined with geophysical logging data can well divide strata time during drilling.

Key words: Carboniferous, Permian, drilling well, strata division, geophysical logging