doi:10.16181/j.cnki.fzyqc.2022.01.021

地质调查井桂融页1井钻井关键技术

陈小元
（中国石化华东石油工程公司江苏钻井公司，江苏 扬州 225261）

摘要： 桂融页1井位于广西喀斯特地貌带，地质条件复杂、邻井资料少，施工中面临诸如井漏风险高、地层易垮塌、防斜打直难度大、钻头磨损严重、机械钻速低等问题。为此，在井口位置确定时应用物探法规避溶洞或破碎带，采取井身结构优化、空气钻、主动控斜保证井身轨迹、优化高研磨性地层钻头、应用中长筒取心、钾胺聚合醇聚合物防塌钻井液体系等技术，顺利完成钻井施工，钻机台月比设计方案缩短10 d。并在石炭系鹿寨组发现良好的油气显示。

关键词： 钻井技术；喀斯特；物探法；防斜打直；钻头优选；取心；钻井液

中图分类号： TE242　　**文献标志码：** A

Key drilling technology of geological survey well Guirongye 1

CHEN Xiaoyuan
（*Jiangsu Drilling Company of Sinopec Huadong Oilfield Service Corporation*, *Yangzhou* 225261, *China*）

Abstract: Guangxi's karst landform belt contains well Guirongye 1, which has difficult geological circumstances and scant adjacent well data. During construction, it faces problems such as a high risk of lost circulation, easy formation collapse, difficulty preventing deviation and straightening, severe drill bit wear, low mechanical drilling rate, and so on. When the wellhead position is determined, the geophysical method is used to avoid karst caves or broken zones, and the drilling construction is completed successfully by employing technologies such as wellbore structure optimization, air drilling, active deviation control to ensure wellbore trajectory, optimization of highly abrasive formation drill bits, medium and long barrel coring, potassium amine polymerized alcohol polymerization prevention drilling fluid system, and so on, and then the drilling rig month is 10 days shorter than the design plan. The Carboniferous Luzhai Formation also has good oil and gas showing.

Key words: drilling technique; karst; geophysical prospecting method; anti-deviation and straight drilling; bit optimization; coring; drilling fluid

桂融页1井位于滇黔桂盆地东北部南盘江-桂中坳陷雪峰山隆起南翼柳州斜坡带沙坪复向斜，是一口直井参数井。该井位于广西喀斯特地貌带，地质条件复杂、地层古老可钻性差、邻井资料少，导致施工难度大，存在井漏风险高、防斜打直难度大、地层不稳定易垮塌、钻头选型困难、机械钻速低等难点[1-3]。针对难点，为减少故障与复杂时效、提高机械钻速和保证工程质量，采取了井身结构优化、应用物探法确定井口位置、防斜打直、钻头优选、中长筒取心、优选钻井液体系等技术，圆满完成施工任务，钻机台月比设计缩短10 d，并在石炭系鹿寨组发现良好的油气显示。

1　工程概况

该井于2019年10月16日开钻，2020年2月1日完井。钻遇石炭系的罗城组、寺门组、黄金组、鹿寨组、尧云岭组；泥盆系的五指山组、榴江组（缺失）、东岗岭组、信都组；寒武系的清溪组；震旦系的老堡组。目的层位：石炭系鹿寨组、寒武系清溪组。地层岩性除鹿寨组上部、信都组以石英砂岩、硅质条带泥灰岩为主外，其余地层为泥岩、页岩、砂岩，灰岩等。井身结构见图1。一开以Ø406.4 mm钻头钻穿石炭系罗城组、进入寺门组10 m完钻，井深360 m，下入Ø339.7 mm表层套管，封隔罗城组砂泥岩、深灰色灰岩地层；二开以Ø311.2 mm钻头钻穿石炭系鹿寨组、进入尧云岭组10 m完钻，井深1 650 m，

收稿日期： 2021-08-05；**改回日期：** 2021-10-22。

作者简介： 陈小元（1969—），高级工程师，现从事钻井工程技术的研究及管理工作。E-mail:chenxy1.oshd@sinopec.com。

下入Ø244.5 mm技术套管，封隔寺门组泥灰岩夹页岩地层、黄金组砂泥岩、鹿寨组页岩及砂泥岩地层；三开以Ø215.9 mm钻头钻至完钻井深，钻穿寒武系清溪组、进入震旦系老堡组30 m完钻。该井设计井深3 300 m，实际井深3 305 m，钻井周期99.56 d，钻机台月3.62月，机械钻速3.68 m/h，复杂故障时效为0，取心进尺163.75 m，收获率96.92%。鹿寨组发现良好的油气显示，清溪组无油气显示，在技术套管井口及套管鞋位置打水泥塞封井完井。

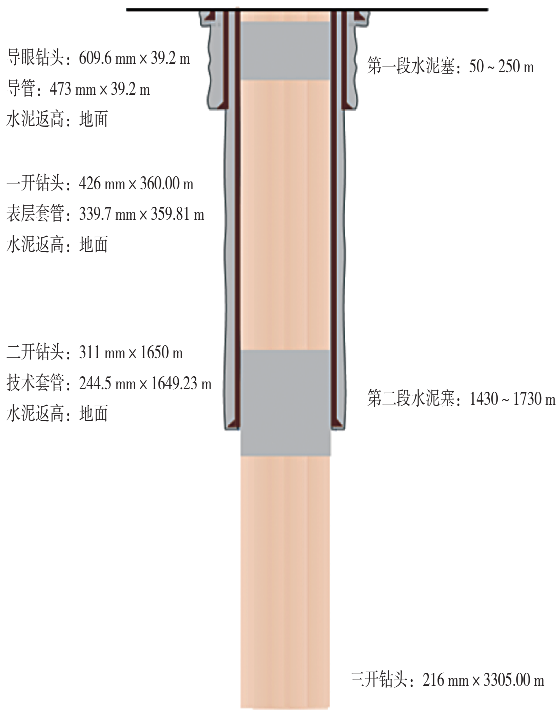


图1　桂融页1井实际井身结构

2　钻井施工难点

（1）井漏风险高。广西喀斯特地区浅层溶洞较发育，下部钻遇地层为泥盆系、石炭系碳酸盐岩地层，主要岩性为（泥）灰岩、白云质灰岩、灰质白云岩，中深层裂缝较为发育，发生井漏的风险较高[4]。

（2）防斜打直难度大。本井为直井，所钻的几口邻井显示本区地层岩性复杂，存在溶洞、裂缝、断层、夹层较多，石炭系地层存在造斜现象，防斜打直难度大。邻井柳1井直井井斜达41°，桂参1井直井井斜达到17.5°。桂中1井地层研磨性强，倾角大，钻井过程中钻具蹩跳钻、磨损严重，Power-V垂直钻井系统效果一般。

（3）石炭系泥页岩地层稳定性差，易垮塌。本井石炭系鹿寨组、罗城组深灰、灰黑色（炭质）泥页岩厚度较大，稳定性相对较差，钻井过程中泥页岩段易发生井眼垮塌或缩径。

（4）地层可钻性差、研磨性强，钻头选型困难。本井地层软硬变化频繁，夹杂大小不等孔蚀；寒武系、震旦系等古老地层，地层可钻性更差[5-7]；石英砂岩及硅质条带泥岩及灰岩等地层研磨性极强，钻头选型困难，导致钻头磨损严重，机械钻速低，起下钻多，严重影响施工进度。

3　钻井关键技术

3.1　应用物探方法探测溶洞或破碎带，确定井口，避开溶洞或破碎带。

桂融页1井地表属于典型的喀斯特地貌，有岩溶漏斗及溶洞分布，因此出现地下岩溶管道及溶洞或破碎带的可能性极大。目前对溶洞性漏失或破碎带，堵漏时间长或垮塌严重、耗费多，成功率低，最好的方法是避免钻遇溶洞或破碎带。为此，在确定井口位置前，在拟定井口的一定范围内，进行了高密度电法、音频大地电磁法（EH4）、放射性测氡三种物探方法施工[8-11]，以探测地表深1 000 m以上是否存在溶洞或破碎带，避免井口布置在溶洞或破碎带上方（见图2）。

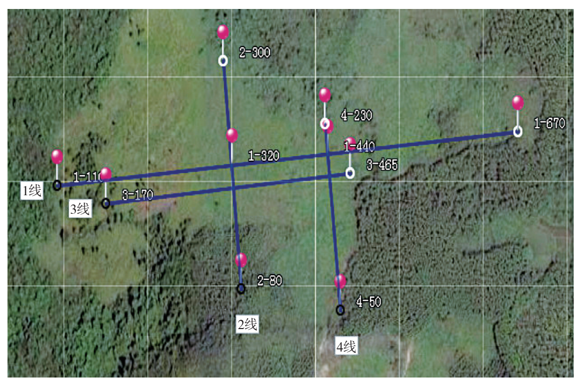


图2　桂融页1井井场溶洞探测测线

高密度电法（对称四极电测深）：探测100 m以浅主要地质结构、构造及岩溶地质特征；布置在第1和第3测线，点距为5 m。

音频大地电磁法（EH4）：探测1 000 m以浅主要地质结构、构造及岩溶地质特征；布置在第1、2和第4测线，点距为10 m。

放射性测氡：构造异常识别；布置在第1测线，点距为10 m。

经分析相关物探资料，拟定2个井口位置。综合考虑井场修整、井场道路的建造等钻前工作量的大小，确定位置2作为本井井口。该井物探资料见图2—图7。

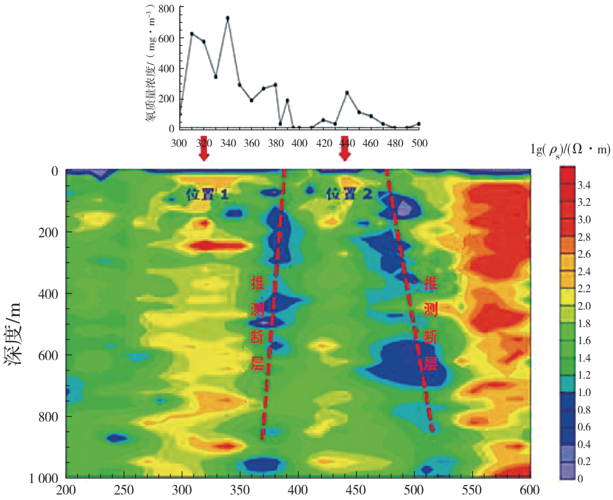


图3　第1测线测氡曲线和EH4反演电阻率断面

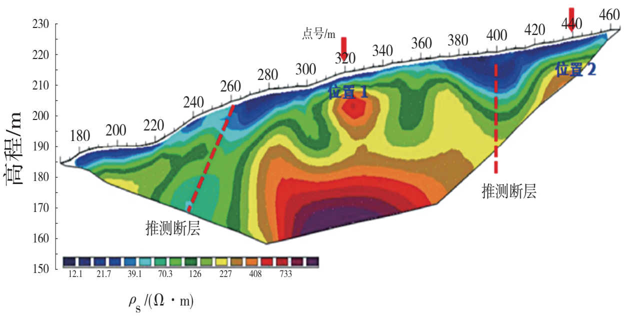
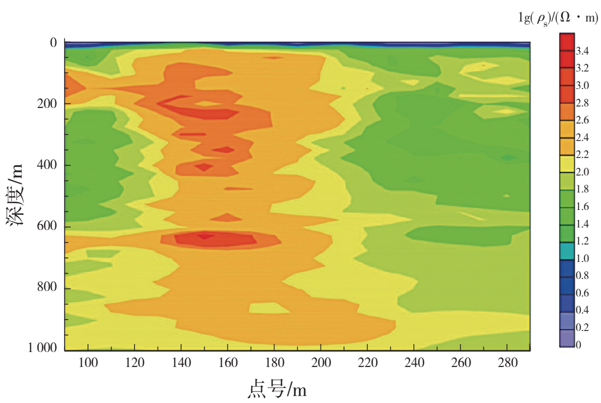


图4　第1测线对称四极反演电阻率断面



注：1线和2线交点为1线的320 m、2线的200 m

图5　第2测线EH4反演视电阻率断面

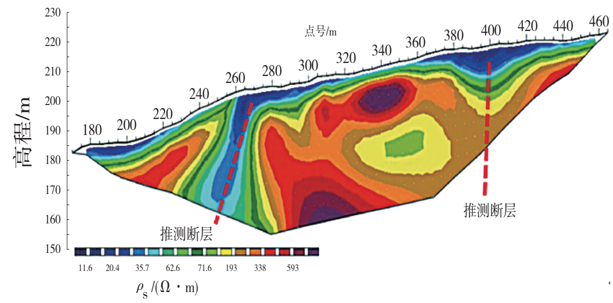
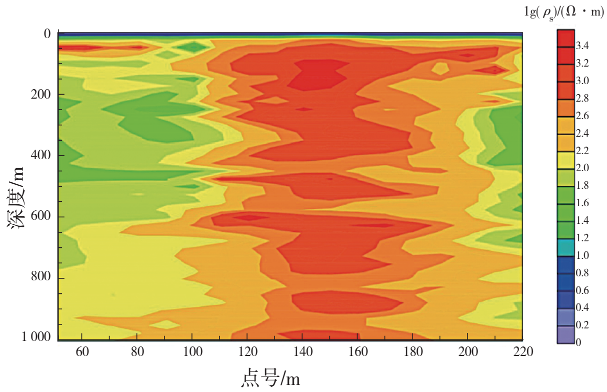


图6　第3测线对称四极电测深反演视电阻率断面



注：1线和4线交点为1线的440 m、4线的200 m

图7　第4测线EH4反演视电阻率断面

3.2　一开空气钻技术

虽然经过物探测井，桂融页1井井口位置避免了大的溶洞或破碎带，但上部井段可能裂缝仍较为发育，易出现钻井液恶性漏失等复杂情况，故一开采用空气钻穿漏。钻具组合：Ø426 mm空气锤+Ø203 mm无磁钻铤+Ø203 mm螺旋钻铤5根+Ø178 mm螺旋钻铤3根+Ø165 mm螺旋钻铤3根+Ø127 mm加重钻杆。钻压：20～40 kN；转速：50～60 r/min；气量：100～120 m^3/min。一开空气锤钻进平均机械钻速4.86 m/h，与邻井桂中1井相比提高65.87%。平均井径扩大率5.31%。采用井口喷淋法灌满井筒后进行电测，从灌满钻井液体积看，略大于计算体积，考虑到未使用规格为Ø444.5 mm而采用Ø426 mm的空气锤，井径扩大率较小，Ø339.7 mm表套刚性大，难以下入的问题，由于井场缺“Ø426 mm钻头+254 mm钻铤+420 mm稳定器”，采用“Ø406 mm+228 mm钻铤+402 mm稳定器”的大钟摆组合，利用顶驱每柱主动扩划到底的方法进行通井。但由于钻头及稳定器外径小，扩划效果不好。在下表套到80 m时，下套管遇阻，采取下压旋转等方式，还是难以下入，起钻采用“Ø406 mm钻头+Ø203 mm的1°单弯螺杆+228 mm钻铤+402 mm稳定器”的大钟摆组合进行通井主动扩划眼后，在下表套到80 m时，采取下压旋转等方式下入，在120 m后顺畅下至井底。

3.3　防斜打直技术

从第1测线对称四极反演电阻率断面图（图4）中可看出：该井地层倾角基本在45°左右，倾角大，地层倾向70°左右，极易造斜。为控制好井身轨迹，采取了以下措施：

（1）设定轨迹控制圆柱。从第1测线测氡曲线

和EH4反演电阻率断面图（图3）看，1 000 m井深内，闭合位移若超过20 m，在东西向有可能钻遇破碎带或溶洞，故1 000 m以内闭合位移不许超过20 m。

（2）优选防斜组合，井斜接近超标时，及时纠斜。一开Ø426 mm井眼，由于空气锤钻进主要是利用空气锤的冲击破岩，上部钻铤不提供钻压，基本不弯曲，故有利于防斜打直。实际一开井深390 m，最大井斜0.67°。井斜、位移在标准范围内时，主要采用“大尺寸钻铤+直螺杆”钟摆钻具组合，高转速低钻压有利于防斜提速。一旦井斜或位移将超标时，采用“MWD+单弯双稳”钻具组合进行及时纠斜，纠斜完成后进行复合稳斜钻进。在Ø311 mm井眼：为了增加钟摆力，螺杆尺寸由常规的Ø203 mm优化为Ø244.5 mm，钻铤由常规的Ø203 mm优化为Ø228 mm；为保证工具面稳定，单弯双稳组合使用Ø203 mm或Ø216 mm的螺杆。该井共纠斜4次，实钻轨迹表明：在尧云岭组地层前，轨迹易朝东飘移；穿过尧云岭组后，轨迹易朝南飘移。

（3）优选钻井参数。增加钻铤尺寸，以便强化钻压，钻压以螺杆压降升高1～1.5MPa为宜，顶驱转速控制在50 r/min左右。

通过采取以上措施，各井段井斜位移均满足设计要求，井身质量优。在井深1 000 m以内，位移控制在16.18 m内。全井最大井斜控制在标准7°内，最大为5.92°，最大闭合位移控制在标准120 m内，为76.30 m。

3.4 钻头优选技术

该井除钻遇石英砂岩、硅质条带时机械钻速较低外，其余井段通过优选钻头，均取得较高的机械钻速。

（1）二开Ø311 mm井眼，在井段360～1 091.95 m，优选进口16 mm复合片的2只5刀翼FL1653JH及1只7刀翼的S1675FGA的PDC钻头，使用效果较好，平均机械钻速达到3.66 m/h。但在钻遇鹿寨组上部石英砂岩、硅质条带时，钻头磨损严重，机械钻速低，寿命短、进尺少。在井段1 091.95～1 216.67 m的209.64 m进尺，共使用KPM1633DST混合钻头1只、7刀翼13 mm齿FL1373JH钻头1只、HJT637GL牙轮钻头2只，平均机械钻速仅1.49 m/h，最低进尺仅为23.51 m，最低机械钻速仅为1.03 m/h。在钻穿石英砂岩及硅质条带地层后，机械钻速明显提高，使用7刀翼13 mm齿M137J1DR钻头1只、FLG1655取心钻头1只，钻至二开井深1 605 m，平均机械钻速达5.79 m/h。

（2）三开Ø216 mm井眼，钻遇泥盆系、寒武系、震旦系地层，比上部地层可钻性差，机械钻速相对较低。1只HJT637GH牙轮钻头在2 755.09～2 861.08 m钻遇信都组地层的石英砂岩、1只旧的FL1653JH的PDC钻头在3 023.95～3 060.26 m钻遇清溪组的硅质条带，二井段机械钻速平均仅为1.18 m/h。在1 650～2 755.09 m、2 861.08～3 023.95 m、3 060.26～3 305 m的井段共使用FLG1655取心钻头2只，FL1665JH的PDC钻头1只，M137J1DR钻头1只，KPM1642ART混合钻头1只，平均机械钻速为1.68 m/h。通过钻头优选，在井段1 670～2 662.04 m，使用1只FL1653JH的PDC钻头，平均机械钻速达到10.07 m/h。

3.5 取心技术措施

桂融页1井取心进尺多、地层破碎及可钻性差，取心存在机械钻速低、易堵心、收获率难以保证等问题，为提高取心速度及收获率，采取了以下措施：

（1）优化取心钻头。优化8刀翼PDC取心钻头，把常规圆形齿改为尖圆混合齿，增加钻头对硬地层的吃入能力。

（2）采用苏Ⅲ多功能通用底轴承双扶取心筒，减少底部取心工具的摆动。在较为稳定的地层，采用中长筒取心技术，有效缩短了取心周期。

在Ø311 mm井眼取心时，在取心筒上方串接Ø310 mm稳定器，减少钻具的振动，提高收获率。

（3）使用苏Ⅲ型取心工具，先将球放置悬挂内筒里，上方加装内防喷工具，满足页岩气井井控要求。桂融页1井属海相地层，以灰岩和页岩为主，地层较硬，下钻过程中内筒不会进虚泥饼，到底不必循环冲洗内筒。

（4）及时判断是否堵心。密切注意钻时变化情况，每0.5 m记录一次钻时。在钻进参数不变的情况下，若发现钻时突然猛增，转盘负荷变轻，指重表只降不回升等现象，很可能是“堵心”的反映。若经判断是堵心，应果断割心起钻。是否堵心的经验判断法：如果钻时发生较大的偏差，根据邻井钻时及地质捞砂判断不了是否堵心，则可以上提钻具来判断，上提到“原悬重+摩阻”（下到底循环时上提下放，记下各摩阻值），如原悬重100 t，摩阻20 t，则上提120 t刹住，如果指重表停在120t，则说明心在内筒，可下放至钻压2～3 t启动转盘继续取心钻进。如果上提时指重表始终未超过120t，且和平时活动

钻具一样，结合超长的钻时可判断堵心，下探如无遇阻现象，可判断为堵心直接起钻。

通过采取以上措施，取得较好的取心效果。该井取心进尺为163.57 m，收获率96.92%，共11趟取心，10趟为双筒取心，平均每筒岩心长度达到14.43 m，机械钻速为2.84 m/h。在1 598.62～1 616.82 m井段取心，进尺18.2 m，收获率100%，机械钻速达到11.38 m/h。

3.6 钻井液技术

桂融页1井为1字号探井，邻井地质资料参考少，地层3个压力不详，钻井过程中存在井壁失稳、井漏、溢流的风险。一开采用空气钻钻进，二开、三开采用钾胺聚合醇聚合物防塌钻井液体系。本井设计的钻井液密度为1.08～1.15 g/cm³。钻井液处理维护要点：

（1）二开：①水泥塞钻完后，用淡水及胶液补充钻井液，膨润土含量控制在60 g/L以下。聚合物配合0.3%～0.5%聚胺，再加入降失水剂和防塌剂等相关处理剂，提升钻井液的抑制性，调整钻井液性能达到设计要求后即可二开；②钻至渗透性好、孔隙压力低的井段前加入一定浓度的单封及超细钙，进行随钻封堵；③进入鹿寨组前50 m，将钻井液转换成钾胺基聚合物体系。聚胺加量0.3%～0.5%，使用LV-PAV降低钻井液的失水，复配使用各种防塌剂，保证井下安全；④进入目的层前调整钻井液性能，补充聚合醇储层保护剂，质量分数2%。

（2）三开：①钻完水泥塞及钙离子被彻底清除后，继续用胶液补充钻井液，保持聚胺加量，进行高低压大排量循环，调整钻井液性能达到最优；②聚胺加量0.3%～0.5%，使用LV-PAV降低钻井液的失水，复配使用各种防塌剂，保证其含量，发挥最大防塌作用，在3 000 m以后，使用抗高温降滤失剂，提升钻井液的抗高温性能，保证井下安全；③控制钻井液API滤失量小于4 mL，高温高压滤失量小于12 mL。

通过良好维护，钻井液性能满足设计要求，全井无垮塌等现象。实际最高钻井液密度控制在1.14 g/cm³内，满足施工要求。

4 认识与体会

（1）在喀斯特地貌区，在确定井口前，进行地球物理方法探测溶洞或破碎带，避免井口位置定在溶洞或破碎带上方；一开使用空气钻技术，有效减少上部地层的漏失风险。

（2）采用设定轨迹控制圆柱、主动控斜的方法，保证了防斜打直。从本井的井身轨迹控制看，单弯双稳组合比直螺杆大钟摆组合防斜效果好，建议在高陡构造井中应用单弯双稳组合。

（3）本井在钻遇石英砂岩、硅质条带时，钻头磨损严重，机械钻速低。建议在钻高研磨性地层时，加强同钻头厂家的结合，进行钻头个性化设计，提高寿命，同时应用恒扭矩等提速工具，提高机械钻速。

（4）采用中长筒取心技术及13 mm复合片、8刀翼进口复合片尖圆齿取心PDC钻头，取得较高的机械钻速，有效提高了施工速度。

（5）钾胺聚合醇聚合物防塌钻井液体系满足了设计要求，全井未发生垮塌等问题，满足了油气勘探的需求。

参考文献：

[1] 周雁，朱东亚，孟庆强，等.桂中盆地页岩气地质条件及潜力分析[J].成都理工大学学报（自然科学版），2014，41（5）：529-537.

[2] 毛佩筱，王星星，吴凯凯，等.桂中坳陷西北部下石炭统岩关组泥页岩储层特征研究：以环页1井为例[J].地质科技情报，2018，37（3）：169-176.

[3] 卢树藩，何犇，杜胜江.黔南代页1井下石炭统打屋坝组页岩气地质条件及勘探前景[J].中国地质调查，2016，3（4）：6-11.

[4] 刘勇，肖桥，董春华.泡沫强钻技术成功处理德胜1井恶性漏失[J].天然气技术与经济，2017，11（1）：35-36，42.

[5] 邓理，李黔，高自力.岩石可钻性评价方法研究新进展[J].钻采工艺，2007，30（6）：27-29.

[6] 张辉，高德利.钻头下部未钻开地层的可钻性预测新方法[J].石油学报，2006，27（1）：97-100.

[7] 邹德永，程远方，查永进，等.利用岩屑波速随钻检测地层可钻性及优选钻头类型[J].石油大学学报（自然科学版），2005，29（1）：37-40.

[8] 卢明辉，巴晶，杨慧珠.双相介质分界面上弹性波的反射与透射[J].地球物理学进展，2007，22(5)：1439-1445.

[9] 李才明，王良书，徐鸣洁，等.基于小波能谱分析的岩溶区探地雷达目标识别[J].地球物理学报，2006，49（5）：1499-1504.

[10] 曾昭发，刘四新，王者江，等.探地雷达方法原理及应用[M].北京：科学出版社，2006.

[11] 王亮，李正文，王绪本.地质雷达探测岩溶洞穴物理模拟研究[J].地球物理学进展，2008，23（1）：280-283.

（编辑 韩 枫）