

# 辽宁兴城深部探测实验基地 JK-1 深孔钻探技术

王旭<sup>1</sup>, 陈宝义<sup>1</sup>, 于航<sup>2</sup>, 罗永江<sup>1</sup>, 刘华南<sup>1</sup>, 岳韬<sup>1</sup>, 金明昊<sup>3</sup>, 潘大东<sup>3</sup>

(1. 吉林大学建设工程学院, 吉林 长春 130026; 2. 北京市地质工程公司天津分公司, 天津 300015; 3. 吉林省地质技术装备研究所, 吉林 长春 130103)

**摘要:**为了验证野外综合地质和地球物理探测研究成果,在辽宁兴城深部探测实验基地施工了4口1500 m以深的科学钻孔。其中,JK-1孔设计孔深1800 m,实际孔深1750 m。该钻孔钻穿了杨家杖子向斜盆地基底,取得了完整的辽西地区华北型古生代地层岩心。岩心采取率和钻孔垂直度等质量指标均达到优质孔的要求。JK-1孔的顺利实施为后续钻孔的施工提供了技术保障。

**关键词:**深部探测;深孔;钻探;兴城

**中图分类号:**P634 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2014)03-0001-05

**Drilling Technology of JK-1 Deep Hole at Deep Exploration Experimental Base in Xingcheng of Liaoning/WANG Xu<sup>1</sup>, CHEN Bao-yi<sup>1</sup>, YU Hang<sup>2</sup>, LUO Yong-jiang<sup>1</sup>, LIU Hua-nan<sup>1</sup>, YUE Tao<sup>1</sup>, JIN Ming-hao<sup>3</sup>, PAN Da-dong<sup>3</sup>** (1. College of Construction Engineering, Jilin University, Changchun Jilin 130026, China; 2. Beijing Geological Engineering Co., Ltd., Tianjin Branch Company, Tianjin 300015, China; 3. Jilin Institute of Geology Technical Equipment, Changchun Jilin 130103, China)

**Abstract:** In order to verify the research results of field geological exploration and geophysical prospecting, 4 holes, more than 1500 meters in depth, were constructed at deep detecting experimental base in Xingcheng of Liaoning Province. The design depth of JK-1 is 1800 meters, but its actual depth is 1750 meters. By drilling through the basement of Yangjiazhangzi synclinal basin, the complete core of North China type Paleozoic strata in western Liaoning Province was achieved. The quality indexes of recovery rate and borehole verticality have reached high quality requirements. The smooth implementation of JK-1 will provide technical support for the subsequent drilling construction.

**Key words:** deep exploration; deep hole; drilling; Xingcheng

## 0 引言

国土资源部“深部探测技术与实验研究专项(Sinoprobe)”是“地壳探测工程”的培育性项目。该专项由中国地质科学院组织实施,国土资源部归口管理。专项的核心任务之一,是在不同自然景观、复杂矿集区、含油气盆地深层、重大地质灾害区等关键地带进行实验、示范,形成若干深部探测实验基地<sup>[1]</sup>。

吉林大学承担的“深部探测关键仪器装备野外实验与示范(Sinoprobe-09-06)”项目的主要任务是在辽宁兴城建立深部探测实验基地,以满足自主研发的深部探测仪器与装备野外实验与测试的需要。为此,本项目围绕吉林大学兴城地质教学基地以及周边地区开展了大范围野外地质和地球物理勘探工作,确定了南起菊花岛、经由杨家杖子钼矿、北至娘娘庙的地质走廊带作为深部探测实验基地<sup>[2]</sup>。

在深部探测实验基地选取杨家杖子矿集区实施深孔科学钻探的目的有2个,一是通过科学钻探,揭示研究区地层的物质组成、结构与构造属性,以验证野外综合地质研究和地球物理探测研究结果,进而对各种探测仪器的可靠性进行评价;二是通过钻取的岩心,进一步研究实验区的成矿规律,为深部找矿提供理论依据。

## 1 研究区地质概况

辽西杨家杖子—八家子钼多金属成矿带位于华北克拉通北缘燕山台褶带内。区内主要分布有太古宇混合岩、混合花岗岩,元古宇长城系、蓟县系,古生界寒武系、奥陶系、石炭系、二叠系及中生界白垩系。区内褶皱构造为杨家杖子向斜、笔架山向斜,由元古宇和下古生界构成。断裂主要由北东东向要路沟—葫芦岛深断裂、北东向女儿河大断裂和青龙大断裂

收稿日期:2014-01-09

基金项目:深部探测技术与实验研究专项之“深部探测关键仪器装备野外实验与示范”(Sinoprobe-09-06)

作者简介:王旭(1987-),男(汉族),黑龙江呼兰人,吉林大学在读硕士研究生,地质工程专业,从事施工及管理的研究工作,吉林省长春市西民主大街938号,416202601@qq.com。

以及次级的北东、北西向断裂组成。区内花岗岩类侵入岩出露广泛,计有碱厂、旧门、杨家杖子花岗岩体等。其分布明显受断裂构造控制,其岩石类型组合以杨家杖子岩体为例有二长花岗岩、正长花岗岩,亦见闪长岩和花岗闪长岩及花岗斑岩,主要形成于燕山早期~早侏罗世<sup>[3]</sup>。

著名的辽西杨家杖子—八家子钼多金属成矿带分布于青龙大断裂和女儿河大断裂之间。成矿带以南为山海关隆起,以北为辽西凹陷。区内钼矿多产于富硅、富钾、铝过饱和的中酸性、碱性含钼细粒花岗岩复式小侵入体之中或内外接触带中,产有杨家杖子矽卡岩型钼矿床、兰家沟斑岩型钼矿床、北松树

卯斑岩—矽卡岩型钼矿床以及八家子铅锌矿床等多金属矿床,是一条极其重要的钼多金属成矿带<sup>[4]</sup>。

## 2 钻孔设计

### 2.1 孔位确定

孔位确定前期,项目组在地质走廊带进行了大地电磁测深实验研究。大地电磁测深勘探工作起点在辽宁兴城海滨,剖面沿西北方向经过杨家子镇至西北建昌的娘娘庙,剖面设计总长 94 km,实际测线长度 91.528 km。共设物理测量点 47 个,检查点 3 个,仪器一致性验证点 1 个。部分测点布置位置见图 1。

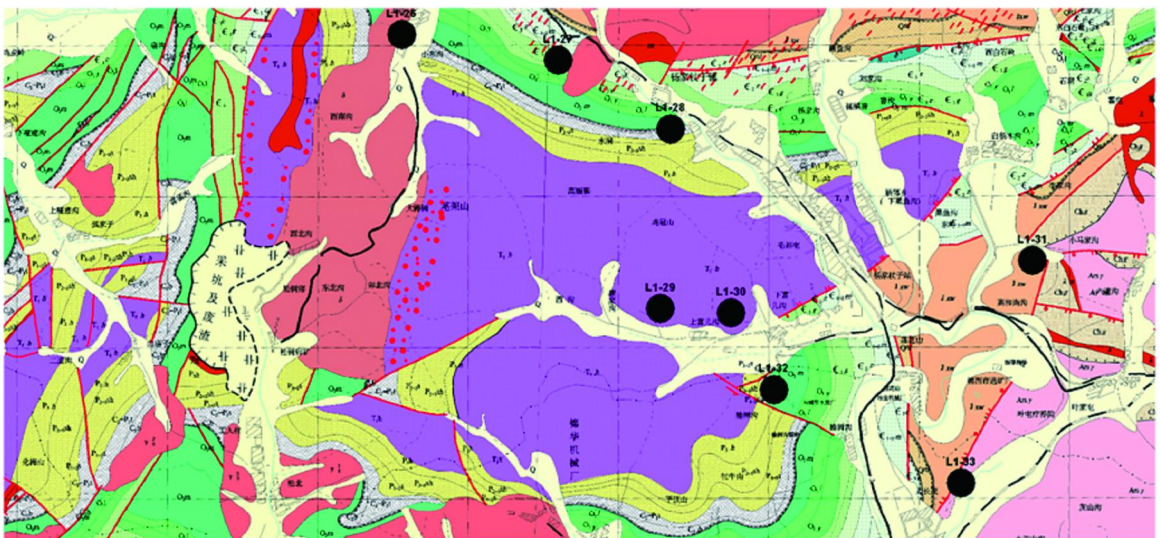


图 1 大地电磁测深部分测点布置位置图<sup>[5]</sup>

根据大地电磁测量结果,在 L1~30 号测点下方存在低阻异常,且具有较好的成矿背景,是一个非常

有潜力的靶体,图 2 为模式测量反演结果图。

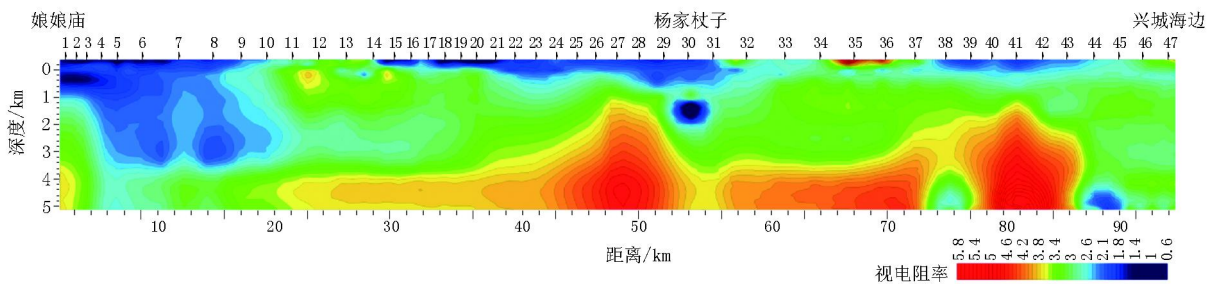


图 2 TE、TM 联合反演结果图<sup>[5]</sup>

根据实验基地综合地质研究理论和地质走廊带大地电磁测量结果与解释报告<sup>[5]</sup>,项目组决定在杨家杖子开发区上富儿沟村与下富儿沟村之间区域实施吉林大学辽宁兴城深部探测基地科学钻探第 1 号孔,即 JK-1 孔。

### 2.2 孔深设计

根据低阻异常体反演电阻率曲线,低阻异常体的底部位于海平面以下 1500 m 的位置,该测点的高程为 146 m。考虑到测深的误差因素,故将孔深设计为 1800 m。图 3 为反演电阻率曲线图。

### 2.3 钻孔结构设计

依据综合地层柱状图,JK-1 孔应钻遇的地层

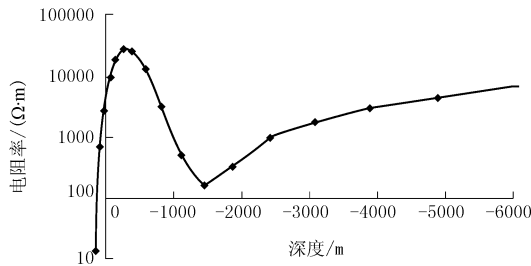


图 3 反演电阻率曲线<sup>[5]</sup>

为三叠、二叠、石炭、奥陶系及寒武系地层。其中,三叠、二叠、石炭系地层多为砂岩、砾岩,并含有黑灰页岩、铝土质页岩,厚度达 750 m 左右;石炭系地层孔壁不稳定,是护壁堵漏的重点孔段;1000 m 以深多为灰岩地层,地层较为稳定,可作裸孔设计。

钻孔结构设计方案为:Ø150 mm 硬质合金钻头开孔,钻穿 10 m 覆盖层至稳定砂岩,然后下入 Ø146 mm 孔口管。一开采用 Ø122 mm 绳索取心金刚石钻头钻进至 600 m,下入 Ø108 mm 套管;二开采用 Ø96 mm 绳索取心金刚石钻头钻进至 1000 m,下入 Ø89 mm 套管;三开采用 Ø76 mm 绳索取心钻具钻进至 1800 m 终孔。设计钻孔结构如图 4 所示。

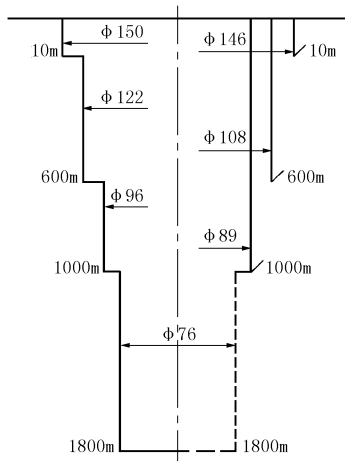


图 4 钻孔结构示意图

### 3 钻探技术

#### 3.1 钻探设备

选择最大钻进深度为 2100 m 的 XY-6A 型钻机。该钻机性能可靠,具有一定的过载能力,如果在设计深度仍未达到地质目的时,可进一步增大钻孔深度。选用 BW-350/15 型泥浆泵,该泵最大泵压为 15 MPa,流量为 110 ~ 350 L/min,能够满足 2000 m 以浅的钻孔对泥浆循环的要求。

#### 3.2 钻具组合

深孔钻进中,钻具组合的设计应使各级钻杆和

套管之间有足够环状间隙,否则将导致泵压过大,对深孔钻进不利<sup>[6]</sup>。JK-1 孔各孔段钻具组合情况见表 1。

表 1 JK-1 孔钻具组合

内容	一开		二开		三开	
	外径	内径	外径	内径	外径	内径
钻杆	114	103	89	79	73	63
绳索取心钻具	114	103	89	77	73	63
金刚石钻头	122	102	96	76	76	51

### 3.3 钻进规程参数

#### 3.3.1 钻压

采用孕镶金刚石绳索取心钻头钻进。在松散、破碎及易发生钻孔弯曲的地层适当减压钻进;随着钻进过程中金刚石钻头的磨钝而导致的钻进速度下降,可逐渐平稳增压钻进。使用 Ø96 mm 钻头钻进时,正常钻压为 12 ~ 15 kN;使用 Ø76 mm 口径钻进时,正常钻压为 10 ~ 12 kN。

#### 3.3.2 转速

在 0 ~ 1000 m 孔段转速较高,可达 700 r/min 左右。随着孔深的增加以及钻具直径的减小,转数有所降低。尤其是孔壁摩擦阻力较大的情况下,根本开不出高转数。在孔内采取减阻润滑措施以后,转速最高只达到 240 r/min 左右。

#### 3.3.3 泵量

确定泥浆泵流量的理论依据是应保持上返流速为 0.5 ~ 1.5 m/s,以确保及时排除岩屑和冷却润滑钻头。在 Ø96 mm 口径时,正常泵量为 60 ~ 90 L/min,在 Ø76 mm 口径时,正常泵量应 40 ~ 70 L/min。

### 3.4 钻孔质量保证措施

#### 3.4.1 提高岩心采取率

根据钻孔孔位的地质条件和岩矿层的物理力学性质,正确合理地选择取心工艺、钻进参数和冲洗液类型,保证 JK-1 孔岩(矿)心采取率达到 95% 以上,比《地质岩心钻探规程》(DZ/T 0227-2010)要求的 80% 的标准提高了 15 个百分点。

具体措施:对取心工具进行妥善保管,使用前认真检查,使用后清洗并注润滑脂;在取心困难的地层中钻进时,时刻注意降低压力、转速和泵量;在破碎地层钻进时,应适当控制回次进尺长度和回次进尺时间;退取岩心时不得重敲岩心管,避免人为破碎并防止上下次序颠倒。

在钻进过程中,曾多次取出满管完整的岩心。这一方面说明地层完整,另一方面也说明钻具在孔底的工作状态良好。岩心不仅是地质工作评价的依

据,也是鉴别孔底工况的依据<sup>[7]</sup>。

### 3.4.2 保证钻孔垂直度

钻机等设备安装要稳固可靠。为了提高地基的承载力,避免因地基发生不均匀沉降而导致钻机机座不稳,在设备安装前预先浇注 20 cm 厚的混凝土基础。

保证天车、回转器、孔口三点一线。在开钻前严格检查天车和回转器的立轴是否在一条铅垂线上。用全站仪对立轴的垂直度进行校正,将立轴调整到铅垂位置并固定。

采用多扩孔器防斜钻具。多扩孔器防斜钻具的防斜原理主要是减小孔壁间隙和增大钻具刚度,使其在大钻压下不易偏倒和弯曲,保持钻具在孔内居中,从而限制了钻头偏斜。按工程质量要求钻孔顶角偏斜率在  $1^\circ/100\text{ m}$  以内,在 1750 m 深度处测得钻孔曲线的顶角为  $9.8^\circ$ ,每百米顶角偏斜  $\geq 0.6^\circ$ ,完全符合钻孔垂直度的要求。表 2 为各测点顶角数据。

表 2 JK-1 孔测斜数据

深度/m	顶角/ $^\circ$	深度/m	顶角/ $^\circ$	深度/m	顶角/ $^\circ$
100	1.0	400	2.2	800	3.4
200	1.8	450	2.1	1000	5.4
300	1.6	500	2.3	1300	7.2
350	2.3	600	3.0	1750	9.8

### 3.5 维护孔壁稳定

针对该孔破碎地层护壁问题<sup>[8,9]</sup>,通过修改冲洗液设计,取得了较好的护壁效果。

原设计为低固相聚合物泥浆,其配方为:1000 mL 水 + 3% 膨润土 + 2%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (碳酸钠) + 2% CMC - Na (羧甲基纤维素钠)。

根据地层的实际情况,修改为无固相聚合物冲洗液,其配方为:1000 mL 水 + 4% CMC - Na + 4% PHPA (部分水解聚丙烯酰胺) + 5% PVA (聚乙烯醇)。

#### 3.5.1 冲洗液流变性对比

冲洗液的流动性能对孔壁稳定、钻进效率和孔眼净化有直接影响<sup>[10]</sup>。使用 ZNN - D6 型六速旋转粘度计测量 2 种冲洗液方案的基本参数见表 3。根据泥浆六速表计算其表观粘度、塑性粘度和动切力数值见表 4。

从 2 种冲洗液方案流变性对比图(图 5)中可以看出,改进设计的流动性要好于原设计。流动性良好的冲洗液不仅可以很好地将孔底岩屑及时排出,

表 3 冲洗液基本参数

冲洗液类型	六速粘度计读数/ $^\circ$						初切 /0.1 Pa	终切 /0.1 Pa
	3	6	100	200	300	600		
原设计	9	10	17	24	29	42	9.5	11
改进设计	3.5	4.5	12.0	16.0	19.5	26.5	4.5	5.5

表 4 冲洗液表观粘度、塑性粘度和动切力

冲洗液类型	表观粘度 AV /( $\text{mPa}\cdot\text{s}$ )	塑性粘度 PV /( $\text{mPa}\cdot\text{s}$ )	动切力 YP /0.1 Pa
原设计	21	13	81.76
改进设计	13.25	7.00	63.88

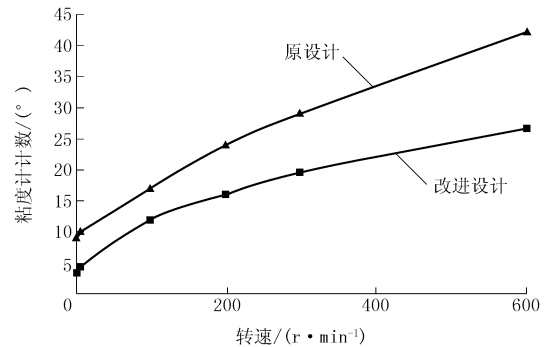


图 5 2 种冲洗液流变性对比图

而且减小对孔壁的冲蚀,还可以有效地阻止易坍塌地层垮塌保持孔壁稳定;同时针对施工地层的特点,选用聚丙烯酰胺无固相冲洗液,并加入聚乙烯醇护壁剂,既符合绳索取心钻进高转速要求的低粘度、低密度、低切力、润滑性好,即“三低一好”,又能满足复杂地层钻孔护壁要求的需要<sup>[11]</sup>。

#### 3.5.2 冲洗液防塌性能对比

在坍塌、破碎地层使用以上 2 种冲洗液,需要对冲洗液的防塌性能进行研究。首先将制作好的粘土模块放入低固相聚合物泥浆和无固相聚合物冲洗液中,浸泡 24 h 后进行观察(图 6),发现原设计中试块坍塌严重,没有起到良好的护壁效果,而使用改进设计进行孔内护壁效果明显,能较好地保证孔壁的完整性。

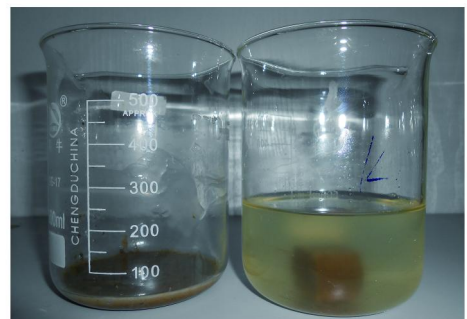


图 6 低固相钻井液(左)与无固相冲洗液(右)防塌性能对比

### 3.5.3 现场应用情况

在钻进至破碎地层时,聚乙烯醇溶液能在孔壁上形成机械性能优良的膜,稳定易碎、坍塌孔段的内壁,在保持孔壁完整性上效果良好,同时聚丙烯酰胺为水溶性高分子聚合物,可以降低钻具与孔壁之间的摩擦阻力,絮凝、聚沉、清除冲洗液中过多的固体颗粒,同时还能防止或减轻水敏性地层孔壁的不稳定,抑制了地层自然造浆<sup>[11]</sup>。无固相聚合物冲洗液能够净化钻孔,护壁能力强,没有出现过坍塌、埋钻事故。

## 4 钻探技术成果

JK-1孔实际钻进1750 m,钻获岩心1749.08 m。所有岩心都保管完好并及时入库封存,为今后的科学研究提供了完整的地质资料。在1750 m进尺过程中,共钻进748个回次,每个回次取心1~7块。设计工期为2012年5月17日~2012年10月26日,共163天。实际工期为2012年5月18日~2012年9月26日,共132天。共进行钻孔弯曲测量12次,终孔顶角为9.8°,符合顶角偏斜 $\leq 1^\circ/100$  m的质量要求。

## 5 结语

(1) JK-1孔穿切杨家杖子古生代—中生代向斜盆地,揭示了盆地底部燕山期花岗岩古生代—中生代13个地层组,再现了华北晚古生代7层铝土矿沉积层序,获得了辽西地区完整的华北型古生代地层钻孔剖面和岩心资料。

(2) 钻探研究结果证实了大地电磁所探测到的低阻异常区的存在。钻采的岩心表明,该低阻异常区为金属矿化带,也证实了大地电磁测量地质解释

的正确性。

(3) 较大直径绳索取心钻具具有保直和防止断钻的优越性,其对钻探效率没有太大影响。在深孔钻探中,应尽量使用大口径钻具,其对预留换径空间有意义。

(4) 在深孔钻探过程中,尽最大可能减少钻柱在孔内的旋转阻力,以提高钻头转速、降低功率消耗和提高钻进效率。

## 参考文献:

- [1] 董树文,李廷栋.深部探测技术与实验研究[J].地球学报,2011,32(S1):3-23.
- [2] 黄大年,于平,底青云,等.地球深部探测技术装备研发现状及趋势[J].吉林大学学报(地球科学版),2012,42(5):1487-1496.
- [3] 吴福元,杨进辉,张艳斌,等.辽西东南部中生代花岗岩时代[J].岩石学报,2006,22(2):315-325.
- [4] 刘晓林,范平,郑志丰,等.辽西杨家杖子—八家子钼多金属成矿带—典型钼矿床特征及找矿远景预测[J].地质与资源,2009,18(2):110-115.
- [5] 曾昭发.深部探测实验基地走廊带大地电磁测深实验研究成果报告[R].吉林长春:吉林大学,2013.
- [6] 王达.深孔岩心钻探技术的关键[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(S1):1-4.
- [7] 王达,张伟,张晓西.中国大陆科学钻探工程科钻—井钻探工程技术[M].北京:科学出版社,2007.
- [8] 孙平贺,乌效鸣,赵均文,等.大宝山复杂钼矿地层钻孔堵漏技术研究与应用[J].地质与勘探,2010,46(1):132-136.
- [9] 孙丙伦,陈师逊,陶士先.复杂地层深孔钻探泥浆护壁技术探讨与实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(5):13-16.
- [10] 焦映辉,赵应朝.贵州省黔北地区铝土矿钻探工艺运用探讨[J].地质与勘探,2010,46(3):531-536.
- [11] 黄忠高,李志强,杨启文.江西省浮梁县朱溪矿区深孔钻探施工技术研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(5):23-27.

## 贵州首个地热整装勘查项目告捷

中国矿业报消息(2014-03-11) 由贵州114地质队提交的“遵义市中部地热水资源整装勘查”成果报告日前通过评审,并获优秀级。同时,该报告被推荐为今后贵州省地热整装勘查报告的范本。

据了解,此为贵州省首个地热整装勘查项目,勘查范围涉及遵义市6个县(区),面积4100 km<sup>2</sup>。该项目自2012年初启动以来,经过项目组的努力,不仅完成了全部任务,而且在贵州省地热勘查方面取得了多项突破:第一次以构造单元划分不同的地热系统作为研究对象,系统地分析了整装勘查区的地热地质条件;第一次在没有地热异常显示的空白区实

现了找矿突破,且其中一眼探采结合孔每日可开采资源量达300余吨、井口水温达54℃;第一次总结了地热水的富集规律,确定了最有利的成矿区部位;第一次采用不同计算方法对地热找矿潜力区域的地热水资源量进行了量化计算;第一次在开采区域内圈定了地热找矿靶区及远景区等。评审专家表示,该项目取得的一系列成果,对加强地方经济社会建设,以及将遵义建成“三宜”(宜居、宜游、宜业)城市奠定了资源基础。

据悉,贵州114地质队目前又启动了贵州省另外两个地区的地热整装勘查项目。