

# 崔家冲隧洞软弱围岩注浆工法的研究应用

曹 峰

(湖南省地质矿产勘查开发局四一四队,湖南 益阳 413000)

**摘 要:**长沙引水及水质环境工程崔家冲隧洞要穿越区域性高棱山压扭性断层 F86,断层宽度达 100 余米,长度达 1000 余米,洞顶以上地表覆盖层达 110 m,其规模为同类工程所罕见。由于断层破碎带岩体强度低,透水性好,穿越断层破碎带洞段的施工成为工程建设中的重点和难点。所以隧洞在施工过程中需采用多种方法穿越众多的不良地质段。主要介绍和探讨了该隧洞穿越 F86 断层破碎带所采用的超前预注浆技术、超前支护技术及长管棚施工技术,为今后在类似工程中提供施工借鉴。

**关键词:**引水隧洞;断层破碎带;超前预注浆;超前支护;长管棚

中图分类号:TV543 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2012)12-0066-06

**Study and Application of Grouting Method in Weak Surrounding Rock Tunnel of Cuijiachong/CAO Feng** (414 Team, Hunan Provincial Bureau of Geo-exploration and Mineral Development, Yiyang Hunan 413000, China)

**Abstract:** F86 compress-shear fault was crossed for Cuijiachong tunnel of the diversion works and water quality environment project in Changsha; with 110m overburden layer, the fault was more than 100 m in width and more than 1000 m in length. Because of the low rock mass strength and good permeability, the fault fracture zone crossing became important and difficult construction problem; several methods were adopted in several poor geological sections for tunnel construction. The paper introduced pilot pre-grouting grouting, advanced support and long pipe roof techniques in F86 compress-shear fault crossing, which could be the reference for the similar projects.

**Key words:** diversion tunnel; fault fracture zone; pilot pre-grouting; advanced support; long pipe roof

## 1 工程概况

长沙引水及水质环境工程的工程任务是为城市开辟第二水源,为长沙供水提供保证。长沙引水工程输水隧洞全长 43794 m,于 2006 年 3 月开工,当隧洞工程完成掘进 43686 m 时,在砰山 3 号隧洞上游—崔家冲隧洞下游段,遇区域性高棱山压扭性断层 F86,连续出现了多次涌水及塌方,致使尚差 108 m 未能贯通,严重制约了引水工程建设进度。F86 区域断层分别位于工程第 23 标段所属崔家冲施工工区和砰山 3 号施工工区之间。

崔家冲工区位于湖南浏阳市焦溪乡境内,崔家冲支洞为新增变更工程,长 635 m,纵坡 11.3%,崔家冲支洞上游至桐江 2 号支洞间主洞桩号为 K41+988~K39+769,长 2219 m,崔家冲支洞下游至砰山 3 号支洞间主洞桩号为 K42+520~K44+144,长 2156 m。崔家冲工区施工示意图如图 1 所示。

崔家冲隧洞要穿越区域性高棱山压扭性断层 F86,断层宽度达 100 余米,长度达 1000 余米,洞顶以上地表覆盖层达 110 m,其规模为同类工程所罕见。F86 断层基本沿近南北走向的崔家冲冲沟发

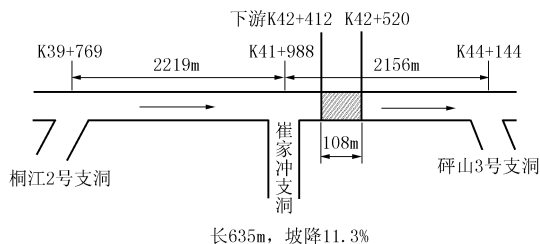


图1 崔家冲工区施工示意图

育,区域地质条件异常复杂,破碎带内充填的物质胶结较差,较松散,富含地下水。工程区地处山体沟谷中,为地表地下水汇集排泄区。F86 断层水量丰富,当隧洞掘进至断层影响带时,涌水量非常大,隧洞内排水量达  $9000 \text{ m}^3/\text{d}$ 。主要的工程地质问题有断层、宽张裂隙、高压涌水、泥石流等。

综上所述:坍塌区隧洞段由于遇到 F86 断层,使该段围岩的结构、构造发生了变化,其工程地质条件及水文地质条件变得复杂化,现场详细勘察钻孔资料和物探资料表明,破碎带岩体结构松散,充填的物质主要为黄褐色泥夹板岩、砂质板岩和炭质板岩屑、糜棱岩碎块等,在饱和条件下的抗压、抗剪强度很弱,

收稿日期:2012-07-10

作者简介:曹峰(1982-),男(汉族),湖南益阳人,湖南省地质矿产勘查开发局四一四队生产技术科科长、工程师,地质工程专业,硕士,从事地下工程研究工作,湖南省益阳市益阳大道(西)367号,57008045@qq.com。

具有较大的渗透性和地层不稳定性,很难成洞。因此,施工过程中必须采用多种措施加强支护,做好堵水、排水工作。通过采用超前预注浆、超前支护及长管棚施工等有效的、经济的技术方法解决施工困难。

## 2 工程地质探测

2008年6月16日下午崔家冲隧洞开挖至K42+412掌子面,2008年9月23日清渣至距掌子面8~9 m(桩号K42+404左右)及2009年4月14日上午洞内已清渣至距掌子面5 m(桩号K42+412)时,连续出现3次大塌方,洞内涌水及泥石流淹没下游已开挖洞段1000余米,地表出现多次大塌陷,致使施工无法进行。我单位经业主邀请,于2009年11月揽下了108 m“瓶颈”工程的应急处理任务即长沙引水工程崔家冲特殊地质处理工程。

崔家冲—砰山段隧洞施工至上游桩号K42+412,遇区域性高棱山压扭性断层F86,出现大塌方和泥石流,填塞了已开挖的隧洞1500余米,经过处理后,于2009年12月清渣至桩号K42+404。下游施工至桩号K42+508,前方为区域性高棱山压扭性断层F86,由于断层内充填物软弱,加之地下水极为丰富与活跃,使得2个施工面掘进难度很大。为顺利完成崔家冲—砰山隧洞段的开挖,需通过超前钻孔探测,指导安全施工,2009年12月对崔家冲和砰山2个施工面用地质雷达法和地震映像法2种方法进行了超前地质探测工作,采用剖面点测方式进行探测。探测时根据任务要求和隧洞掌子面的实际情况,选择适当的参数,在掌子面中心点布设2组正交测线,每个掌子面探测4条剖面线。沿隧洞掌子面以0.20 m点距逐点探测。12月3日完成了砰山K42+508→小桩号及崔家冲K42+404→大桩号两

处的隧洞掌子面野外物探探测工作,并于2009年12月24日转入室内资料分析及整理工作。测点布置示意图见图2,地震映像探测剖面图见图3,地质雷达探测剖面图见图4。

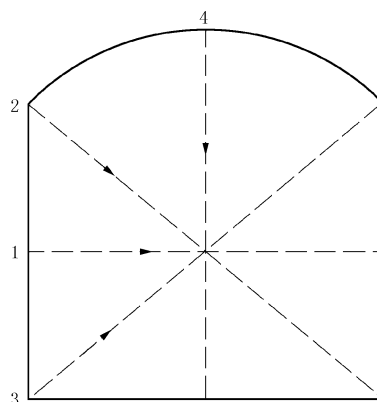


图2 测线布置示意图

注:图中虚线为测线,箭头为测线方向,数字为测线号。每个掌子面都用同样方法布设测线。

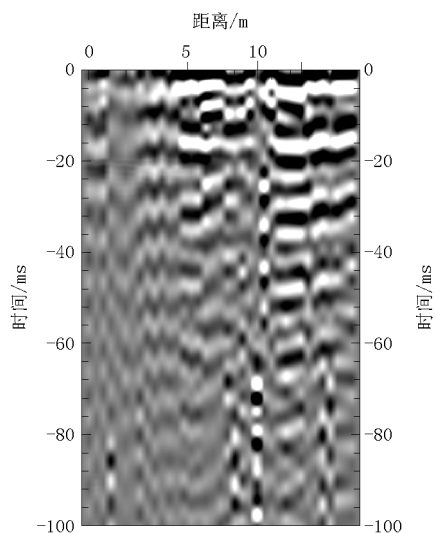


图3 砰山隧洞(K42+508→小桩号)地震映像探测剖面图

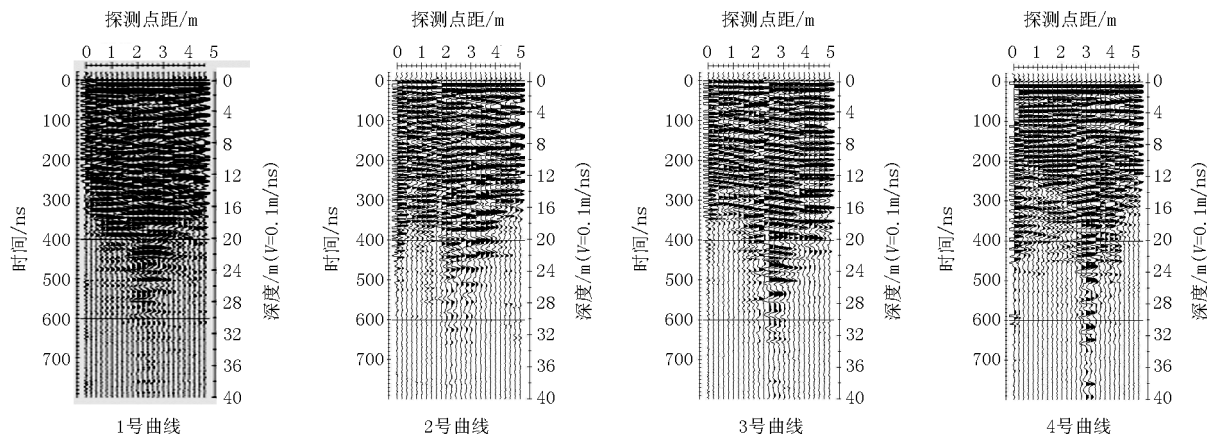


图4 砰山隧洞(K42+508→小桩号)地质雷达探测剖面图



强了长管棚的抗压强度,长管棚注浆结束时的压力稍微增加,对其填充效果及强度提高有很好的作用。同时对周围注浆效果起到了补充,进一步密实了地层,使管棚与地层凝为一体,增加了周围地层的稳定性。并且大大增加了其与周围土的摩擦力。

施工中不仅地质环境复杂多变,施工效果也是无法确定能达到 100% 效果,为了达到最安全的施工,我们增加了小导管,并且对其注浆。

小导管在施工中起到了灵活施工补充的作用,有针对性的对小范围的地质情况处理,小导管注浆如同长管棚一样加强了其刚性强度和摩擦力,并且对周围土体再一次进行加固。

小导管在施工中还起到了独有的作用,长管棚中的间隙在施工过程中会有小块掉落,时间长会有坍塌的危险,小导管会起到加密和预防的效果,对长管棚起到补充作用。

### 3.3 开挖及临时支护

崔家冲隧洞 F86 断层带地质条件差且受多次塌方影响,故该不良地质洞段开挖应尽量采用人工或分部开挖。开挖断面为城门洞型,临时支护采用全断面 I18 工字钢拱架,间距 30 cm;钢拱架间连接筋采用  $\varnothing 22$  mm,环向间距 1.0 m; $\varnothing 25$  mm 注浆锚杆,锚杆长 3.0 m,间距 1.0 m  $\times$  1.0 m。钢筋网  $\varnothing 12$  mm,间距 20 mm  $\times$  20 mm;喷射混凝土分层施工,开挖后立即喷 C25 素混凝土 5 cm,再织钢筋网然后喷混凝土 20 cm,喷射混凝土总厚度为 25 cm。

每循环注浆固结段内开挖时应预留足够的固结止水段长度,安全长度确定为 10 m。即每循环超前固结注浆 20 m 开挖 10 m,之后可进行下一循环洞内超前注浆和管棚作业,如此反复前进。在清渣和开挖过程中应加强超前地质预报、探测和施工安全监测。

在崔家冲隧洞及坪山 3 号隧洞的掌子面左右两侧布置超前探测孔,共 4 个,孔径 120 mm,长度 20 m,开挖 10 m 后再施作第 2 排,依此类推。

开挖施工前根据 F86 断层两端排水和地质情况坪山 3 号隧洞工作面作为主工作面,另一端作为次工作面,减少施工干扰,保证施工安全,当该端的注浆效果达到预期目的时可进行开挖施工。

### 3.4 注浆施工工艺

断层破碎带超前预注浆施工工艺见图 7 所示。

### 3.5 注浆施工方法

#### 3.5.1 止浆墙

在第一循环全断面预注浆施工时,工作面设置

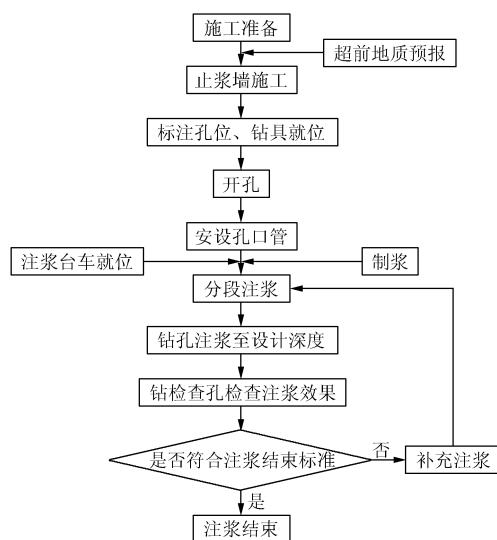


图 7 全断面超前注浆施工工艺框图

止浆墙,止浆墙厚度 1.5 m。根据实际情况验算可进行加厚。施工止浆墙前,对基面进行清理,用风镐对周边围岩开挖沟槽,深度 0.8 ~ 1.2 m。当围岩破碎,虚渣很深或节理裂隙发育、导水性强时,可用风动钻机向岩体深处打注浆孔,埋设注浆管,用早强水泥加固周边岩体然后再挖槽,使止浆墙嵌入到围岩内。

#### 3.5.2 钻孔

采用 XY-100 型地质钻机以及潜孔钻机配合钻孔,先钻浅孔,再钻深孔,注浆孔分 I、II 两序,先施工 I 序孔、然后施工 II 序孔,成孔直径根据不同岩层情况,分别为  $\varnothing 76 \sim 110$  mm。超前注浆每循环长度为 20 m,顶拱和边墙注浆加固范围为 5 m,底部注浆加固范围为 3 m,一个循环段顶拱和边墙注浆孔布置 7 环,底部注浆孔布置 5 环,每环斜向布置 28 个孔,同一环孔终孔间距 1.5 m,相邻两环孔孔口孔距 15 cm。

钻进过程中如遇特殊情况,则应分析原因后,制定处理方案。若钻进中钻孔遭堵塞,则应重钻。若涌水量及涌水压力较大时,先注浆后再钻进。所有钻孔过程中均详细记录孔位、孔深、水压、涌水量等,每个孔经验收合格开始下一步施工。

#### 3.5.3 注浆材料

##### 3.5.3.1 水泥-水玻璃注浆材料

水泥-水玻璃混合浆液具有凝结时间可控制在几秒至几十分钟内,早期强度增长快,材料来源和配制容易的特点。水泥浆在搅拌机内制备,先加水,后放水泥和外加剂。搅拌均匀后放入吸浆池。水玻璃按设计模数取料,加水稀释到设计浓度。两种浆液

都要保证连续供浆,以满足注入量的要求。

浆液基准配比:

A液为水泥浆;水灰比2~0.5,配比可根据现场注浆孔压水试验透水率大小具体确定;

B液为水玻璃;35~40 Be'。

单液浆为A液水泥浆,双液浆的配合比为A液:B液=1:0.5~0.3(体积比)。

### 3.5.3.2 CW环氧树脂化学注浆材料

CW环氧树脂化学注浆材料具有粘度低和表面张力低、接触角小、渗透性强、可灌性好、胶凝时间可调、固化物力学强度高、抗渗性能好、耐久性优良、操作方便等优点。能广泛应用于水利水电等混凝土建筑物微细裂缝和岩石基础裂隙及断层的防渗和补强加固。

CW化学注浆材料是处理基岩及混凝土裂缝和泥化夹层较好的补强注浆材料。而且CW浆材已在多个工程中得到成功应用,如三峡工程F215断层的加固处理、F1096断层的处理,湖北江汉航线新城船闸上下闸首裂缝处理。

CW化学注浆材料配制:根据用量称取适量的A、B组份;A组份(基液):B组份(固化剂)=6:1(质量比);配制浆材时,应在空气流通处进行,并使用耐酸耐碱手套进行防护,浆液储存和运输应采取适当的密封措施,避免浆液挥发。在混合搅拌时,将B组份(固化剂)缓慢加入A组份(基液)中,且混合均匀,控制其加入速度(必要时要进行冷却)以保持浆液温度在30℃以下,配制完毕即可注浆。

CW化学注浆材料注意事项:在使用和配制CW环氧树脂化学注浆材料时,配制数量根据施工现场需要确定,要分批多次配制浆液,避免浪费材料;材料配制现场和施工现场严禁吸烟和有明火,材料配制人员和施工人员必须配戴好劳保用品,包括防护眼镜、口罩、胶手套等。

具体浆液性能指标为:外观均匀、无分层,浆液密度 $>1.00\text{ g/cm}^3$ ,初始粘度(20℃) $\leq 30\text{ mPa}\cdot\text{s}$ ,可操作时间(20℃) $>30\text{ min}$ ;固化物力学性能为:抗压强度 $\geq 40\text{ MPa}$ ,抗拉强度 $\geq 10\text{ MPa}$ ,干粘接8 MPa,湿粘接 $\geq 2.5\text{ MPa}$ 。

### 3.5.3.3 注浆材料性能及指标

CW环氧树脂注浆材料A组分:相对密度1.06  $\text{g/cm}^3$ , pH值6。

CW环氧树脂注浆材料B组分:相对密度1.05  $\text{g/cm}^3$ 。

水泥为新鲜不结块的普通硅酸盐早强水泥

P.O 42.5R, 细度 $<80\text{ }\mu\text{m}$ 。

水玻璃波美度为35~40 Be', 模数2.6~2.8。

注浆用水符合拌制水工混凝土用水要求,并满足《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》(DL/T 5148-2001)中的规定,拌浆用水的温度 $\geq 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

### 3.5.4 注浆设备

(1)每个作业面注浆泵使用双液注浆泵2台,其最大容许工作压力为10.0 MPa,排浆量能满足注浆最大注入率的要求。

(2)需要2台2J-400型高速搅拌机,保证均匀连续地拌制浆液。

(3)注浆管路选用可承受最大压力为15 MPa的高压钢丝编织胶管;压力表最大标值为10 MPa,已经过率定。压力表和管路之间应设有隔浆装置。

### 3.5.5 注浆

崔家冲隧洞F86断层施工处理,采用超前固结注浆加固的施工工艺,注浆以水泥-水玻璃浆液为主,化学浆液进行补强加固,即先采用水泥-水玻璃浆液材料进行堵漏注浆,最后用CW化学注浆材料进行加固注浆。

注浆顺序:从内圈向外圈注浆。每环注浆孔先施工奇数编号注浆孔,然后施工偶数编号注浆孔同时作为检查孔,如果不能达到标准,则增加注浆孔。

注浆结束标准:以定压和定量为主,单孔注浆压力达到设计终压并继续注浆10 min以上,即结束本孔注浆,单孔注浆量与设计注浆量基本相同,结束时的进浆量在2~20 L/min以下时结束本孔注浆。

注浆结束后,灌注浓浆进行压力注浆封孔,必要时采取屏浆措施。

## 4 注浆效果评价及开挖验证

注浆结束待凝后布置检查孔,进行施工质量检查。检查孔长度为20 m,每循环布置4个,通过取岩心及摄像检查。2009年11月~2010年3月,对崔家冲隧洞特殊地质处理工程进行钻孔摄像,通过分析K42+407~520段断层破碎带的岩层情况,指导施工。

钻孔摄像技术是基于光学技术的钻孔摄像设备能以照相胶片或视频图像的方式直接提供钻孔孔壁的图像。全景技术的实现使同时观测360°钻孔孔壁成为可能,而数字技术的应用则提供了形成、显示和处理这些图像的能力。所有的图像不仅可用于定性识别钻孔内的情况,而且还可准确地获得相关的数据并进一步从事定量分析。钻孔摄像技术具有

广阔的应用,主要包括岩土工程、工程地质、土木工程、石油工业、采矿工程、冰川研究等诸多方面。

孔内摄像:灌浆结束后7天在灌浆范围内布设检查孔进行摄像,检查孔深度20 m。

效果检查:以崔家冲工区K42+412断面为例,1号孔见图8,可以看到洞壁周边整齐而致密的土体,原本松散的土体经注浆后呈现出整齐而致密的效果。灌浆的压密与劈裂作用对土体起到了加固和挤密作用,土体基本具备了自稳的能力。符合开挖条件,在随后的开挖中得到顺利通过。



图8 注浆效果

## 5 结语

通过对F86断层破碎带的施工,研究了在通过长沙引水及水质环境崔家冲特殊地质工程隧洞108 m长的断层破碎带时,在破碎带岩体中的注浆技术,总结几点体会如下。

(1)系统研究了长沙引水及水质环境崔家冲特殊地质工程隧洞的破碎带超前注浆技术、长管棚施工技术及超前支护技术等。方案已经应用于工程实践,取得了相当好的效果。

(2)对崔家冲隧洞进行了超前地质预报,钻孔

摄像,检测灌浆效果;根据隧洞施工安全需要,对地表进行了监控量测。通过一系列的高科技监控手段,实现了隧洞掘进的技术更新,更体现了隧道施工的专业化、知识化;

(3)长沙引水及水质环境崔家冲特殊地质工程隧洞的施工于2010年3月完工。实践证明,特大断层破碎带的隧洞掘进是可以通过注浆及长管棚等手段通过的,同时也为以后同类隧洞的施工提供借鉴。

(4)当前,岩土体注浆机制的研究多倾向于节理岩体以及土体的研究,而对破碎带岩体的注浆机制还有待进一步深入研究,这也是今后的研究重点之一。

(5)对于处于破碎带岩体中、埋深较小的浅埋隧洞,注浆技术的研究鲜有报道,其注浆效果尚需实践的检验。

## 参考文献:

- [1] 李洪泉,姜全兵.帷幕灌浆工艺在复杂地质条件中的应用及效果分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(11):59-62.
- [2] 冯劲,林廷松,周红升.超长管棚施工技术在山岭隧道软弱围岩中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(11):73-75.
- [3] 田英杰.隧道浅埋段软弱围岩加强超前小导管施工技术[J].山西建筑,2010,36(2):329-330.
- [4] 刘文永,等.注浆材料与施工工艺[M].北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [5] 伍振志,傅志锋,王静,等.浅埋松软地层开挖中管棚注浆法的加固机制及效果分析[J].岩石力学与工程学报,2005,24(6):1025-1029.
- [6] SL 62-94,水工建筑物水泥灌浆施工技术规范[S].
- [7] 长沙引水工程23标崔家冲隧洞施工组织设计[R].湖南益阳:湖南省地质矿产勘查开发局四一四队,2009.

## “深部矿体勘探钻探技术方法及设备研究”成果通过验收

本刊讯 由安徽313地质队承担的安徽省重点科技攻关项目“深部矿体勘探钻探技术方法及设备研究”成果通过鉴定验收。由两院院士常印佛等组成的鉴定委员会认为,该项目成果总体上达到国内领先、国际先进水平。

据了解,“深部矿体勘探钻探技术方法及设备研究”项目于2008年立项,共分4个课题:分体塔式全液压动力头钻机及高强度绳索取心钻杆研制、钻孔设计与轨迹动态监控技术研究、钻孔摄像及定向取心技术在地质勘探中的应用研究、深部岩心钻探钻进工艺方法研究。4年来,项目组采取产学研相结合的方式,进行了深部钻探装备、钻进工艺关键技术、钻孔摄像及定向取心、钻孔设计与轨迹动态监控等研究,完成

科学钻探孔4个,深部找矿钻孔6个,累计进尺15720 m,获得了大量的第一手成果资料。项目成果曾应用于汶川、赣州、霍邱、庐枞等科学钻探工程和深部找矿工作,并取得了显著的地质效果和社会经济效益。据悉,该项目共获得5项国家专利和1项国家计算机软件著作权;在国内专业核心期刊发表论文8篇。

鉴定委员会表示,该项目针对我国当前深部找矿和科学钻探遇到的技术“瓶颈”展开了一系列的深入研究,丰富和发展了我国深部钻探技术,对我国钻探技术的提高起到重要推动作用。

(安徽省地质矿产勘查局 张福友 供稿)