

大口径工程井气举反循环钻进效率影响因素初探

熊亮¹, 张小连², 熊菊秋³, 尹峰³

(1. 河南省煤田地质局, 河南 郑州 450018; 2. 河南省煤田地质局三队, 河南 新乡 453000; 3. 湖北省罗田县建设工程质量监督站, 湖北 罗田 438600)

摘要:以自主研发的 $\varnothing 219.1/168.3$ mm 大口径气举反循环钻具生产试验获得的基础数据,对影响气举反循环钻进效率的各种因素进行了初步分析,得出了钻速与沉没比和风量有一定相关性,与风压关系不大的结论。

关键词:大口径工程井;气举反循环;风压;风量;沉没比;钻速

中图分类号:P634.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2014)05-0042-04

Preliminary Analysis on Influence Factors of Air-lift Reverse Circulation Drilling Efficiency to Large Diameter Engineering Well/XIONG Liang¹, ZHANG Xiao-lian², XIONG Ju-qiu³, YIN Feng³ (1. Coalfield Geology Bureau of Henan Province, Zhengzhou Henan 450018, China; 2. The 3rd Team, Coalfield Geology Bureau of Henan Province, Xinxiang Henan 453000, China; 3. Construction Project Quality Supervision Station of Luotian Hubei, Luotian Hubei 438600, China)

Abstract: $\varnothing 219.1/168.3$ mm large diameter reverse circulation drilling tool is independently developed by Coalfield Geology Bureau of Henan Province, which has been successfully applied to large diameter engineering well with good results. In this paper, the preliminary analysis is made on various factors affecting air-lift reverse circulation drilling efficiency based on the basic production test data, it is concluded that the drilling rate has certain relevance to sinking ratio and air volume, but with little relationship to air pressure.

Key words: large diameter engineering well; air-lift reverse circulation; air pressure; air volume; submergence ratio; drilling rate

气举反循环钻进是采用气举反循环方式排渣的回转钻进方法。因冲洗液上返流速较高,被破碎下来的岩屑很快即被转移,减少了重复破碎,钻进效率高,钻探成本低,特别适用于大口径工程井钻井施工。2012年7月,在平煤十矿北翼采区瓦斯抽排井项目完成了由河南省煤田地质局自主研制的 $\varnothing 219.1/168.3$ mm 大口径气举反循环钻具的首次生产试验,取得了良好的效益。

大口径反循环钻具的成功应用为大直径工程井施工技术的提升奠定了坚实的硬件基础,然而笔者在查阅气举反循环钻进相关文献时发现,涉及钻进工艺可供参考的文献有限,多数文献尚停留在工程总结阶段,缺乏理论化、系统化研究。为此,笔者从大直径工程井气举反循环钻进施工现场收集到一些基础数据,通过对这些重要参数,如风压、风量、沉没比、混合器沉没深度、钻压等进行对比分析,发现其中某些参数与钻进效率具有一定相关性。本文旨在对这些影响钻效的因素作初步探讨,不当之处,请同行批评指正!

1 工程概况

平煤十矿北翼采区是十矿的主要采区,瓦斯灾害严重影响到矿井安全生产,据十矿瓦斯灾害治理计划安排,在北翼采区施工一口瓦斯抽排井,该工程位于平顶山市十矿北翼采区三水平回风井院内,该井设计井深651.2 m。

根据十矿提供的回风井钻孔柱状图显示,地层以泥岩为主,砂岩夹层,地层倾角 $26^{\circ} \sim 32^{\circ}$,钻进时需要注意防斜。

井身结构见表1。

表1 平煤十矿北翼瓦斯抽排井井身结构

井型	井段/m	井眼尺寸/mm	套管尺寸/mm	套管下深/m
直井	0~105	1200	1000	105
	105~651.2	920	711	651.2

气举反循环钻具组合: $\varnothing 444.5$ mm PDC 钻头 + $\varnothing 440$ mm 扶正器 + $\varnothing 280$ mm 钻铤 + 转换接头 + $\varnothing 168.3$ mm 单壁钻杆 + 转换接头 + 混合器 + $\varnothing 219.1$ mm 双壁钻杆 + 转换接头 + 250 mm 双壁方钻杆 + 气水龙头。

收稿日期:2013-12-13; 修回日期:2014-03-14

作者简介:熊亮(1983-),男(汉族),湖北黄冈人,河南省煤田地质局助理工程师,地质工程专业,硕士,主要从事矿产资源勘查及钻井工程技术管理工作,河南省郑州市郑东新区商鼎路70号,36.8du@126.com;张小连(1981-),女(汉族),河南焦作人,河南省煤田地质局三队助理工程师,地质专业,主要从事矿产普查与勘探方面的技术管理工作,河南省新乡市新延路。

由于是该套大口径反循环钻具首次进行生产性试验,众多设备、器具尚处在磨合阶段,现场气举反循环钻进一度因为出现双壁钻具气道短路、气水龙头漏浆、钻孔严重漏失等特殊情况而被迫终止。气举反循环试验井段 206 ~ 258 m,现场收集到的主要钻进参数(其中泥浆排量由地面循环槽三角堰测定)为:选用外径 444.5 mm 的 PDC 型钻头;钻压 16 ~ 56 kN,转速 43 ~ 63 r/min,泥浆排量 16.6 ~ 38.8 L/s。

2 气举反循环钻进工艺基本原理

2.1 气举反循环钻进原理

气举反循环是反循环钻进工艺的一种,被视为当代先进钻探技术之一。其工作原理是:将压缩空气通过气水龙头或其它注气接头(气盒子)注入双层钻具内管与外管的环空,气体流到双层钻杆底部,经混合器喷入内管,形成无数小气泡,气泡一面沿内管迅速上升,一面膨胀,其所产生的膨胀功变为水的位能,推动液体流动;压缩空气不断进入内管,在混合器上部形成低密度的气液混合液,钻杆外和混合器下部是密度大的泥浆。环空泥浆进入钻具水眼内,形成反循环流动,并把井底岩屑连续不断的带到地表,排入沉砂池。沉淀后的泥浆再注入井眼内,如此不断循环形成连续钻进过程。气举反循环钻进示意图如图 1 所示。

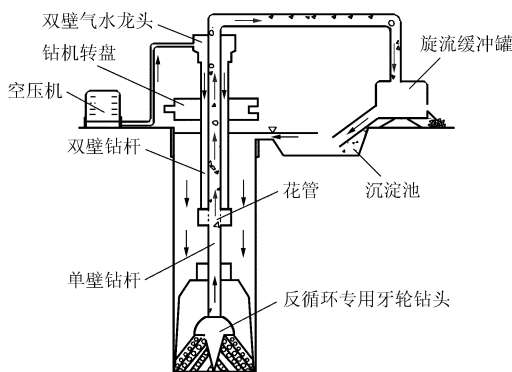


图 1 气举反循环钻进示意图

2.2 气举反循环工作原理

气举反循环与正循环钻进工艺的主要差别在于循环方向不同,排渣能力却相差甚远。气举反循环钻进工艺的研究难点在于循环通道中存在气、液、固三相流。下面用数学物理的方法,对气举反循环钻进工艺基本原理进行研究。

由于压缩空气由气水混合器进入钻具内通道后继续向上运行,气水混合器下部为单壁钻具,钻头处仅有液、固两相存在,所以在研究气举反循环排渣能

力时延用正循环相关公式。

要使一定粒径的岩块能够随泥浆排到地面,就要求泥浆具有一定的上返速度,保持岩块不下沉的最小上返速度称为临界上返速度,泥浆在一定直径的通道中要保持临界上返速度,就要求泥浆的排量必须大于最小冲洗量,泥浆的最小冲洗量可由下式来确定:

$$Q = 2828d^2v \quad (1)$$

$$v = 1.76k \sqrt{gD[(\gamma_s/\gamma) - 1]} \quad (2)$$

式中: k ——系数,考虑上返通道中泥浆上升速度要大于岩屑的自重下沉速度,一般取 $k \geq 1.2$; g ——重力加速度, m/s^2 ; D ——所确定的岩屑直径, m ; γ_s ——岩屑相对密度,计算中常取 $\gamma_s = 2.6$; γ ——泥浆相对密度; Q ——最小冲洗量, m^3/h ; d ——上返通道内径, m ; v ——泥浆临界上返速度, m/s 。

气举反循环形成的前提是:混合器以上钻杆内外形成足够大的压力差。气举反循环工作原理如图 2 所示。

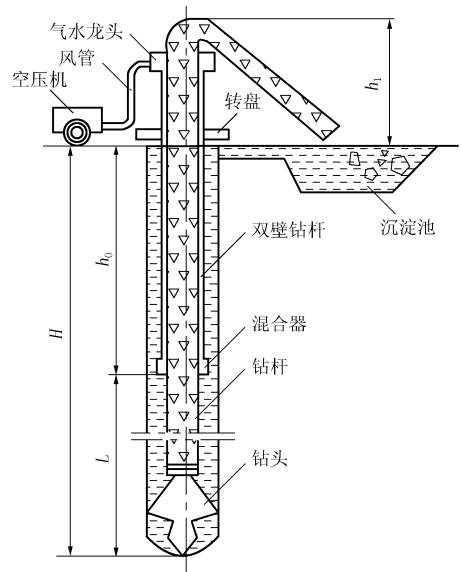


图 2 气举反循环工作原理示意图

假设孔内钻具外泥浆相对密度为 γ_0 , 双壁钻具内管中泥浆相对密度为 γ_1 , 混合器以下钻具(尾管)内泥浆相对密度为 γ_2 , 泥浆液面以下的钻具长度为 H , 混合器以下钻具(尾管)长度为 L , 混合器浸没泥浆液面以下深度为 h_0 , 泥浆液面至气水龙头最高点的高度(扬程)为 h_1 , 则反循环压力差 ΔP 为:

$$\Delta P = H\gamma_0 - [L\gamma_2 + (h_0 + h_1)\gamma_1] \quad (3)$$

整理得:

$$\begin{aligned} \Delta P &= H\gamma_0 - L\gamma_2 - h_0\gamma_1 - h_1\gamma_1 \\ &= h_0(\gamma_0 - \gamma_1) - L(\gamma_2 - \gamma_0) - h_1\gamma_1 \quad (4) \end{aligned}$$

2.3 工况分析

分2种工况分别讨论。

(1)下钻至指定深度,从启动空压机开始到泥浆从排渣口排出正式建立循环阶段,此时 $\gamma_1 < \gamma_0$, $\gamma_2 = \gamma_0$ 相等,由公式(4)可知:

①反循环压力差随混合器沉没深度 h_0 增大而增大;

②反循环压力差随 γ_1 减小而增大,而 γ_1 随风量的增大而减小,也就是说反循环压力差随风量的增大而增大;

③反循环压力差随扬程 h_1 增大而减小。

(2)钻进(排渣)阶段,此时 $\gamma_1 < \gamma_0$, $\gamma_2 > \gamma_0$,由公式(4)可知:

①反循环压力差随混合器沉没深度 h_0 增大而增大;

②反循环压力差随 γ_1 减小而增大,而 γ_1 随风量的增大而减小,也即随风量的增大,反循环压力差增大;

③反循环压力差随尾管长度 L 增大而减小;

④反循环压力差随 γ_2 增大而减小,而 γ_2 随进入泥浆中岩屑含量增加(表现为钻速升高或排渣增多)而提高,也即反循环压力差随钻速的升高或排渣增多而减小;

⑤反循环压力差随扬程 h_1 增大而减小。

综上所述,可以得出如下结论。

(1)反循环压力差随混合器沉没深度 h_0 增大而增大。混合器沉没深度直接关系到气举反循环钻进能力(最大井深),对于浅孔, h_0 较小,一旦 $h_0(\gamma_0 - \gamma_1)$ 与 $L(\gamma_2 - \gamma_0) + h_1\gamma_1$ 相等,反循环压力差为0,循环终止。

(2)反循环压力差随 γ_1 减小而增大。 γ_1 随风量的增大而减小,也即随风量的增大,反循环压力差增大,当空压机风量不足时,反循环压力差也较低,严重时甚至出现反循环终止。

(3)反循环压力差随尾管长度 L 增大而减小。由此可见尾管不能无限长,一旦 $h_0(\gamma_0 - \gamma_1) - h_1\gamma_1 = L(\gamma_2 - \gamma_0)$,反循环压力差为0,反循环终止。

(4)反循环压力差随 γ_2 增大而减小。 γ_2 随进入泥浆中岩屑含量增加(表现为钻速升高或排渣增多)而提高,也即反循环压力差随钻速的升高或排渣增多而减小,所以钻速不能过高,且下钻时不能一步下到孔底,需在建立循环后缓慢下放,保证 γ_2 不至过大以使反循环连续。

(5)反循环压力差随扬程 h_1 增大而减小。

钻杆内混合器以上的三相流在这个压力差,再加上高速喷出并迅速膨胀的压气动量的作用下上升,混合器以下泥浆携带岩屑尾随上升,经过地面处理后的泥浆又重新流向孔内环空进行补充,这样就形成连续的反循环系统。

实际上,反循环压力差 ΔP 受诸多因素的影响,首先,它要克服循环系统的沿程阻力;气水龙头高度(扬程) h_1 和三相流的相对密度 γ_1 低,压力差就相应要高;增大混合器的沉没深度,可提高压力差,但又需要提高风压和风量。这些因素中,沿程阻力是不可避免的,这些阻力包括:冲洗液、三相流沿钻杆内通道流动的沿程阻力;冲洗液、岩屑流经钻头进入钻头吸渣口的局部阻力;尾管部分,由于管内外液柱重度不同而引起的压力差;而且随孔深的增加而增大,从能量角度分析,由压气输入形成的液柱压力能(实际上还包括压气动能)除补偿克服沿程阻力、局部阻力而损失的能量外,还转化为液体和混合流的动能,两相流在尾管内上升的位能和三相流超出地面高度段的位能。

从压力差公式可以看出:在冲洗液密度 γ_0 和升液高度 h_1 一定的浅孔下,增大混合器的沉没深度,降低三相流的重度(通过增大压风量),将提高驱动气举反循环的压力差。但增大混合器的沉没深度,将同时需要提高启动风压。因此,混合器的沉没深度,送往孔内的空气流量和压力,是影响气举反循环钻进排渣能力和钻进效率的重要因素。

2.4 风压讨论

空压机在不同的工作阶段所承受的荷载不同,对不同风压区别讨论。

2.4.1 启动风压

从启动空压机到压缩空气通过混合器进入钻具内管,这一阶段空压机的主要任务是克服输气管道压力损失,将双壁钻具内外管环状间隙中的泥浆从混合器中顶替出来。此时空压机压力姑且定义为启动风压。启动风压计算公式为:

$$P = (\gamma_0 h_0 / 102) + \Delta P \quad (5)$$

式中: ΔP ——输气管道压力损失,一般为0.05~0.1 MPa。

2.4.2 工作风压

气举反循环正常工作阶段,此时空压机的主要任务是克服循环系统沿程阻力,将压缩空气通过混合器不断输入到内管中,以使混合空气并携带岩屑的泥浆的密度大幅降低,在双壁钻杆段形成内外压差,在保持一定压力差情况下最终将三相流源源不

断地输送至地表。此时空压机压力定义为正常工作风压,其计算公式为:

$$P = (\gamma_1 h_0 / 102) + \Delta P \quad (6)$$

当空压机的压力 P 确定时,则可按下式求出混合器沉没深度的最大允许值:

$$h_0 = 102(P - \Delta P) / \gamma_0 \quad (7)$$

从公式(3)、(4)可以看出,三相流的相对密度 γ_1 是气举反循环压力差及三相流上返速度的主要影响因素,我们知道 γ_1 与风量大小有关,风量越大,三相流中混入压缩空气越多,相对密度就越小,因此初步判断风量的大小将直接影响气举反循环的清渣能力并间接影响反循环的钻进效率。由公式(7)可知,风压一定条件下,最大钻进深度就可以确定出来,风压与钻速之间没有直接关系。

3 混合器沉没深度、沉没比及风量与钻速的关系

影响钻速的因素众多,为使研究结果更具说服力,在同一口井,分别选取几个有代表性的井段,相同岩性,同一只钻头并保持钻进参数(钻压、转速)一致,通过改变混合器沉没深度、沉没比、风压、风量其中某一参数,对钻进速度做对比分析,详细试验参数见表 2。

表 2 气举反循环钻进参数

井深 /m	岩性	混合器沉没深度/m	扬程 /m	沉没比	风压 /MPa	钻进速度/(m·h ⁻¹)	
						风量 / (10 m ³ ·min ⁻¹)	风量 / (21.4 m ³ ·min ⁻¹)
227	砂岩	83.53	7.59	0.916703	0.67	-	0.56
228		84.53	6.59	0.927678	0.59	-	0.61
229		85.53	5.59	0.938652	0.70	-	0.60
230		86.53	8.96	0.906168	0.69	-	0.73
231		87.53	7.96	0.916640	0.64	-	0.82
239		45.27	6.05	0.882112	0.55	1.09	-
240	泥岩	50.3	10.42	0.828393	0.56	1.15	-
241		51.3	9.42	0.844862	0.57	1.09	-
242		52.3	8.42	0.861331	0.57	2.40	-
243		53.3	7.42	0.877800	0.58	2.61	-
251		58.27	6.72	0.896599	0.62	0.21	-
252		59.27	5.72	0.911986	0.57	0.34	-
253	砂岩	60.92	9.15	0.869416	0.51	0.30	-
254		61.92	8.15	0.883688	0.62	0.41	-
255		62.92	7.15	0.897959	0.63	0.57	-
256		63.92	6.15	0.912231	0.63	0.44	-

以试验井段 227 ~ 231、251 ~ 256 m 为例,钻速与混合器沉没深度关系见图 3 ~ 5。

由图 3、图 4 可以看出,随着混合器沉没深度的增加,钻速呈现上升趋势。因此,在空压机风压足够的情况下,要获得较好的钻进速度,混合器沉没深度

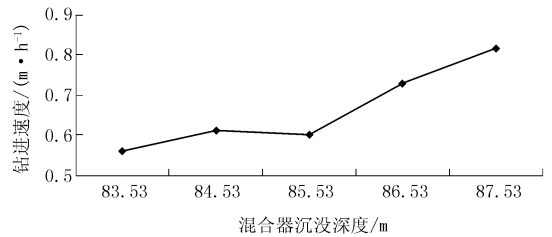


图 3 钻速与混合器沉没深度关系图(227 ~ 231 m 井段)

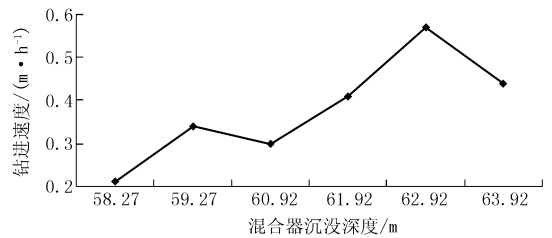


图 4 钻速与混合器沉没深度关系图(251 ~ 256 m 井段)

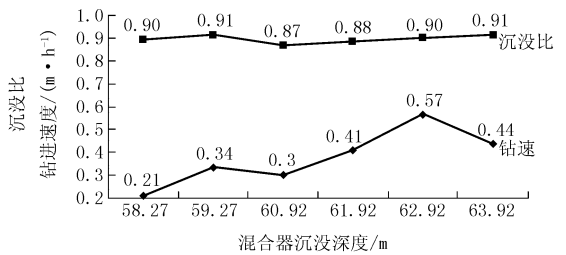


图 5 钻速、沉没比及混合器沉没深度关系图(251 ~ 256 m 井段)

越大越好。

由图 5 可知,钻速与沉没比曲线走势十分相似,两者间具有一定相关性,即随着沉没比的增大钻速有所提高,沉没比减小钻速也相应降低。

对于同一口井,同是砂岩的井段:227 ~ 231 m,所用空压机风量 21.4 m³/min,平均钻速为 0.664 m/h;251 ~ 256 m,空压机风量 10 m³/min,平均钻速为 0.378 m/h。由图 6 明显可见钻速与风量关系密切,即随风量的增加钻速提高显著。

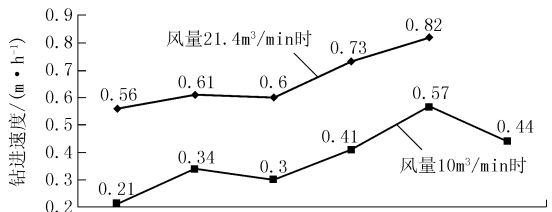


图 6 不同风量条件下钻速对比关系图(砂岩)

经过长时间的观测发现,气举反循环钻进速度受风量、碎岩量、混合器埋深、扬程等多种复杂因素影响,本文仅仅只是初步探讨,其他复杂因素有待进一步研究。

(下转第 49 页)

好地质编录等工作。

(7) 15根微型桩为一组合抗滑桩,其顶部做C25钢筋混凝土承台。承台尺寸3 m×2 m,微型桩顶部嵌入承台长度不小于承台厚度的80%。

5 治理效果

本工程竣工后已经历了2个雨季的考验,经过后期监测表明,滑坡稳定性良好,达到了预期的治理效果,说明本工程采取的治理方案是可行的和有效的。

6 结语

(1)本工程实践表明,与传统大型抗滑桩相比,微型桩施工便利、治理滑坡效果明显且经济效益显著。良好的治理效果主要取决于压力注浆带来的岩土体自身稳定性的提高和微型组合抗滑桩钢架结构结合桩间土形成的桩土体系。

(2)目前微型桩的理论研究已远滞后于工程应用,致使设计中无规范参考,使用等效截面法设计无法最大限度地发挥微型桩体系的作用,同时造成材料的浪费。因此,微型桩治理滑坡的理论研究亟待

迅速开展,以便为设计提供参考依据。

参考文献:

- [1] 刘卫民,赵冬,蔡庆娥,等.微型桩挡墙在滑坡治理工程中的应用[J].岩土工程界,2007,10(2):54-56.
- [2] 朱宝龙,胡厚田,张玉芳,等.钢管压力注浆型抗滑挡墙在京珠高速公路K108滑坡治理中的应用[J].岩石力学与工程学报,2006,25(2):399-406.
- [3] KEVIN W CARGILL, STEPHE L DIMINO, etc. Tied-back micropile walls in landslide repair[C]. Deep Foundations Institute Annual Conference on Deep Foundations, Washington DC: [s. n.],2006.
- [4] 龚健,陈仁朋,陈云敏,等.微型桩原型水平荷载试验研究[J].岩石力学与工程学报,2004,23(20):3541-3546.
- [5] ANDREW Z BOECKMANN. Load transfer in micropiles for slope stabilization from test of large-scale physical models[Z]. Columbia: University of Missouri-Columbia,2006.
- [6] 冯君,周德培,江南,等.微型桩体系加固顺层岩质边坡的内力计算模式[J].岩石力学与工程学报,2006,25(2):284-288.
- [7] 陈喜昌,石胜伟.小口径钻孔组合桩的理论研究与应用前景[J].中国地质灾害与防治学报,2002,13(3):82-85.
- [8] 张友葩,吴顺川,方祖烈.土体注浆后的性能分析[J].北京科技大学学报,2004,26(3):240-243.
- [9] 蒋楚生,周德培.微型桩抗滑复合结构设计理论探讨[J].铁道工程学报,2009,(2):39-42.

(上接第45页)

4 结论与建议

(1)气举反循环钻速存在最优值,并非越大越好,钻速过大将导致进入内管岩屑增多, γ_2 增大反循环压力差降低,严重时甚至出现循环终止(堵塞)等现象。

(2)风压是制约气举反循环钻进深度的先决条件,与钻速没有直接关系。

(3)钻速与混合器沉没深度及沉没比有一定相关性,钻速随混合器沉没深度及沉没比的增大而升高。

(4)相同条件下增大风量可获得较高的钻进效

率。

(5)气举反循环钻进速度受风量、碎岩量、混合器埋深、扬程等多种复杂因素影响,本文仅仅只是对风压、风量、沉没比等因素作初步探讨,其他复杂因素有待进一步研究;受试验条件限制,现场收集数据较少,建议今后多进行相关试验,综合分析以提高结论的说服力。

参考文献:

- [1] 武汉地质学院,等.钻探工艺学[M].北京:地质出版社,1981.
- [2] 翁家杰.井巷特殊施工[M].北京:煤炭工业出版社,1991.
- [3] 张永成.钻井施工手册[M].北京:煤炭工业出版社,2010.
- [4] DZ/T 0148-94,水文水井地质钻探规程[S].
- [5] 编写组.钻井手册(甲方)[M].北京:石油工业出版社,1990.

华东首个干热岩调查项目野外工作完成

《中国矿业报》消息(2014-5-21) 由鲁北地质工程勘察院承担的山东省利津县干热岩调查项目近日通过野外施工验收审查,并获优秀级。

据了解,此为华东地区首个干热岩调查项目。项目组通过开展利津县干热岩资源潜力评价、综合地球物理勘探及

钻探关键技术研究等工作,逐步查明该区内干热岩资源的分布状况,圈定勘探靶区,钻获高温岩体,并初步建立干热岩勘探技术方法研究,为今后开展干热岩资源研究、开发、利用提供试验基地。