

# 关于 GFRP 筋土钉支护体系失效的几点思考

陈洪泳, 周 莉

(苏州和宏基础工程有限公司, 江苏 苏州 215131)

**摘要:** GFRP 筋是一种玻璃纤维增强复合材料, 在一个基坑支护工程中应用 GFRP 筋土钉支护体系, 最终因雨季来临而塌方, 致使基坑支护失败。分析了失败的原因, 对 GFRP 筋在土钉墙支护体系中的应用提出了几点有建设性的思考。

**关键词:** 基坑支护; GFRP 筋; 土钉墙

**中图分类号:** TU473.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2013)06-0065-05

**Reflections on the Failure of GFRP Reinforcement Soil Nailing Supporting System/CHEN Hong-yong, ZHOU Li**  
(Suzhou Hehong Foundation Engineering Co., Ltd., Suzhou Jiangsu 215131, China)

**Abstract:** GFRP Reinforcement is a glass fiber reinforced composite, which was applied in the GFRP reinforcement soil nailing supporting system of a foundation pit engineering, and the supporting system collapsed in a rainy season. By the analysis on the failure causes, some constructive reflections are put forward to the application of GFRP reinforcement in soil nailing supporting system.

**Key words:** foundation pit support; GFRP reinforcement; soil nailing wall

## 1 GFRP 筋简介

GFRP 筋(Glass-Fiber-Reinforced Plastic Bar)是一种由纵向连续的玻璃纤维和热固性的聚合物树脂通过拉挤工艺和表面处理制成的复合物杆体材料, 具有较好的力学性能和耐腐蚀性能。

玻璃纤维增强复合材料是一种高强度、抗腐蚀和抗磁干扰的新型复合材料, 广泛应用于土木工程、建筑工程、市政工程及地下工程等领域, 近年来, 对于 GFRP 筋的研究在我国也是方兴未艾, 并已经有了一些实际工程应用。

玻璃纤维增强复合材料是一种采用连续纤维或纤维织物为增加相, 聚合物树脂为基体相, 两相材料通过复合工艺组合而成的一种聚合物基复合材料。玻璃纤维增强复合材料筋是一种按拉挤成型工艺生产的棒状纤维增强复合材料制品。

## 2 GFRP 筋与传统钢筋的优缺点分析

与传统的钢筋相比较, GFRP 筋具有以下优点。

(1) 具有优良的抗腐蚀性能, 耐久性好。

GFRP 筋材的腐蚀机理与金属材料有着本质的区别。金属材料的腐蚀主要是发生在表面的电化学反应, 从外向内逐步腐蚀, GFRP 材料的腐蚀主要是环境介质对玻璃纤维和树脂界面的腐蚀, 周围介质

(气体、液体、蒸汽等)向材料内渗透是腐蚀的主要原因。尽管 GFRP 材料不会像金属那样产生电化学反应, 但它也会在不同的化学环境下发生变化, 玻璃纤维容易受到碱性和中性溶液的腐蚀, 但在树脂包裹下形成 GFRP 制品后会有很大改善, 目前国内外专业研究人员对此已有一定的研究, ACI440 委员会有关研究没有给出明确规定, 但是强调对于暴露于环境中的构件采用 GFRP 筋进行增强时, 其强度标准值应乘以 0.7 的安全系数, 以作为设计强度。

(2) 抗拉强度高, 等于甚至高于预应力钢筋。

根据相关文献<sup>[2]</sup>的数据显示如表 1。

表 1 GFRP 筋性能参数

试验组	实测直径 /mm	抗拉强度 /MPa	弹性模量 /GPa	剪切强度 /MPa
T1	25.2	700	48.7	130
T2	24.3	605	44.3	145
T3	24.0	610	42.0	160
T4	25.4	280	44.3	140
T5	24.6	565	41.3	180
平均值	24.7	612	44.1	151

从表 1 可以看出, GFRP 筋的平均抗拉强度达到 612 MPa, 大于 2 倍普通 HRB335 钢筋的设计强度。

(3) 自重轻, 只有预应力钢筋的 15%~20%。

收稿日期: 2012-12-04; 修回日期: 2013-05-13

作者简介: 陈洪泳(1976-), 男(汉族), 浙江嵊州人, 苏州和宏基础工程有限公司, 地质工程专业, 硕士, 从事岩土工程勘察、设计及施工等方面工作, 江苏省苏州市相城区嘉元路 492 号德城嘉元广场西 A418 室, hehongichu@163.com。

- (4) 低松弛性, 荷载损失较小。
- (5) 优良的抗疲劳特性。
- (6) 对电磁场不敏感。

### 3 GFRP 筋应用实例分析

#### 3.1 工程概况

拟建项目地上3层(局部4层), 地下1层, 框架结构, 位于苏州高新区, 东、南、西侧均为小区内道路, 北侧为城市支线道路。

本工程基坑面积约为  $3132.7 \text{ m}^2$ , 周长约  $231.4 \text{ m}$ , 最大开挖深度为  $6.07 \text{ m}$ 。

针对本工程的特点, 本基坑安全等级为二级, 重要性系数取  $1.0$ 。

#### 3.2 周边环境

(1) 基坑东侧地下室外墙线距围墙最近距离约  $6.90 \text{ m}$ , 距东侧教学楼最近距离为  $12.0 \text{ m}$ ;

(2) 基坑南侧地下室外墙线距围墙最近距离约  $2.07 \text{ m}$ , 围墙内有电缆线, 埋深  $-1.20 \text{ m}$ ;

(3) 基坑西侧地下室外墙线距围墙最近距离  $3.22 \text{ m}$ , 围墙内有电缆线, 埋深  $-1.20 \text{ m}$ , 距西侧居民楼最近距离为  $20.0 \text{ m}$ ;

(4) 基坑北侧地下室外墙线距围墙最近距离约  $8.10 \text{ m}$ , 围墙内有污水管线, 埋深  $-2.30 \text{ m}$ , 围墙外为金山路, 金山路下有较多管线分布, 由南往北依次为天然气管道、低压电管道、电力通讯管道、路灯管道、污水管道。基坑周边环境如图1所示。

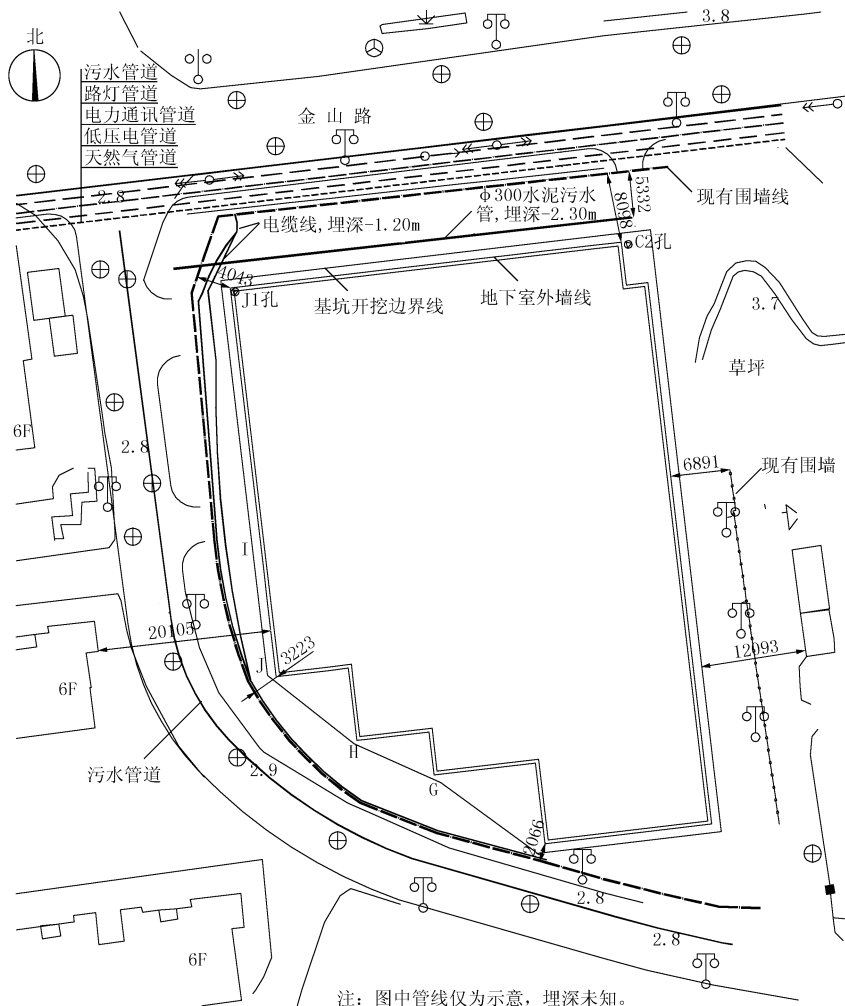


图1 基坑及周边环境示意图

#### 3.3 工程地质条件

根据建设单位提供的现场勘察资料, 本工程地基土结构特征自上而下分述如下:

①素填土, 杂色, 松软, 以粘性土为主, 夹碎砖瓦块及小石子等杂物, 上部含植物根茎,  $p_{s_{max}}/p_{s_{min}} >$

$1.55$ , 为不均匀填土, 全场地分布;

②粘土, 褐黄色, 可~硬塑, 含铁锰质结核, 夹灰色条纹, 无摇振反应, 切面光滑, 韧性及干强度高, 全场地分布;

③粉质粘土, 灰黄色, 可~软塑, 局部含锰质氧

化物斑点,夹粉土薄层,无摇振反应,稍有光滑,干强度、韧性中等,全场地分布;

④粉土,灰色,很湿,稍~中密,含云母碎片,微层理发育,摇振反应迅速,切面无光泽,韧性及干强度低,全场地分布;

⑤粉砂,青灰色,饱和,中密,微层理发育,局部夹细砂薄层,主要为长石、石英碎屑,少量云母碎片,摇振反应迅速,切面无光泽,全场地分布;

⑥粉质粘土,灰色,软塑,含有机质,无摇振反应,稍有光泽,干强度、韧性中等,该层未揭穿。

### 3.4 水文地质条件

场区内对本工程建设有影响的地下水类型有:孔隙潜水及微承压水。

孔隙潜水主要赋存于第①层素填土中,地层透水性较差,主要受大气降水及地表水渗入补给,以地面蒸发为主要排泄方式,水位升降随季节变化明显,年变幅在 1 m 左右;微承压水赋存于第④层粉土和第⑤层粉砂中,富水性一般,透水性弱~中等,主要补给来源为浅部地下水的垂直入渗及地下水的侧向径流,以民井抽取及地下水侧向径流为主要排泄方

式。

本次勘察为测定浅部土层的渗透系数,进行了室内渗透试验,试验结果及各渗透系数详见表 2。

表 2 土层渗透系数

层号	土层名称	室内试验		渗透系数	
		垂直渗透系数 $K_V/(cm \cdot s^{-1})$	水平渗透系数 $K_H/(cm \cdot s^{-1})$	建议值 $K$ $/(cm \cdot s^{-1})$	透水性
①	素填土	2.65E-06	5.43E-06	6.0E-06	微透水
②	粘土	2.21E-07	4.00E-07	5.0E-07	极微透水
③	粉质粘土	1.90E-05	4.95E-05	5.0E-05	弱透水
④	粉土	8.20E-05	1.96E-04	1.0E-03	弱透水
⑤	粉砂	1.01E-04	2.55E-04	2.0E-03	中等透水

勘察期间,实测潜水稳定水位埋深 0.70 ~ 1.10 m,稳定水位标高 1.71 ~ 2.30 m。实测微承压水稳定水位埋深 1.80 m,标高为 1.15 m。

### 3.5 围护结构体系

根据江苏省建苑岩土工程勘测有限公司提供的工程基坑围护设计方案,本基坑支护主要采用放坡土钉墙喷锚支护、树根桩等支护形式。

典型的放坡土钉墙喷锚支护剖面如图 2 所示。

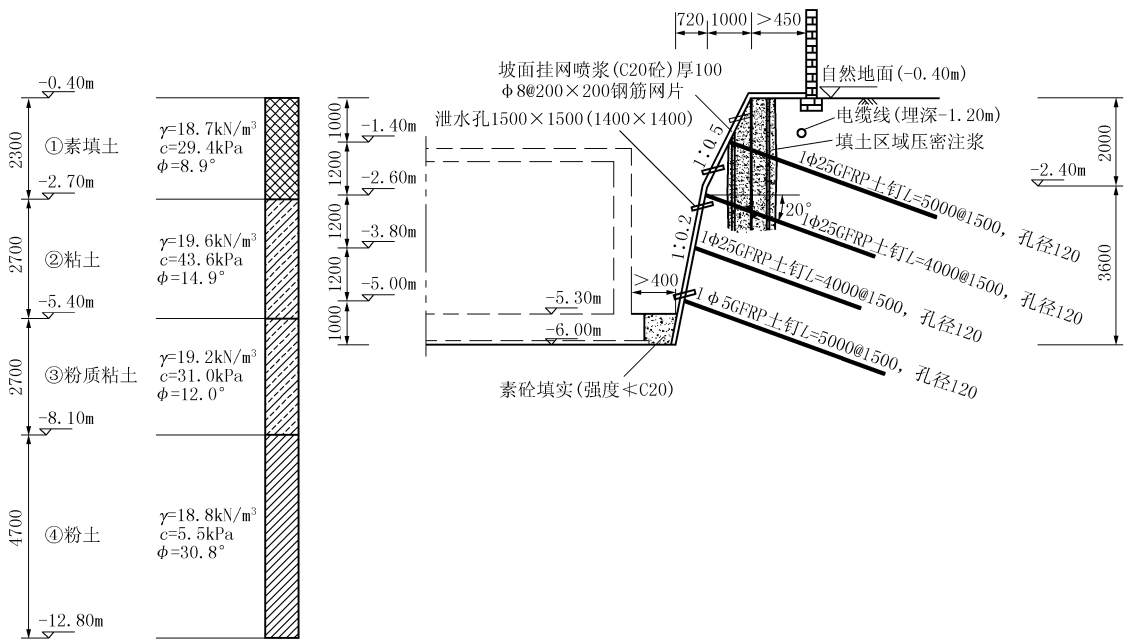


图 2 土钉墙喷锚支护剖面(以 C2 孔为计算点)

采用二级放坡开挖,上部坡高 2.0 m,放坡坡度系数 1: 0.5,设置 2 道 GFRP 土钉:  $\phi 25L = 4000 \sim 5000@1500$ ;下部坡高 3.6 m,放坡坡度系数 1: 0.2,设置 2 道 GFRP 土钉:  $\phi 25L = 4000 \sim 5000@1500$ ,无马道。坡面挂  $\phi 8@200 \times 200$  双向钢筋网,面层喷 C20 素砼进行防护,厚度为 100 mm;坡面设置泄水孔,间距 1.5 m,局部填土区域间距加密为

1.0 m;坡脚设置反压加固素砼。该部位须进行压密注浆加固处理;3 排花管( $\phi 48 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$  钢管)注浆孔,排距 0.5 m,孔距 1.0 m,孔深 3.0 m,水灰比 0.45,水泥用量 80 kg/m,注浆压力 0.3 ~ 0.5 MPa。

GFRP 土钉墙立面如图 3 所示,其与层面连接如图 4 所示。

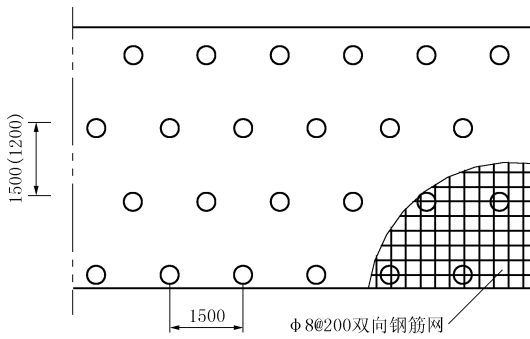


图3 GFRP土钉墙立面图

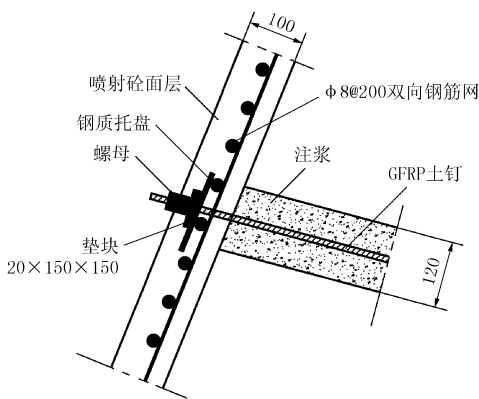


图4 土钉墙与面层连接大样图

#### 4 GFRP筋在土钉墙喷锚支护体系中应用的思考与建议

土钉墙支护体系的作用机理是:使土钉锚杆和挂网面层形成一个有机整体,从而使得因土方开挖而产生的侧向土压力经面层传递至锚杆,再由锚杆传递至土钉墙后面的稳定土体之中。由此可见,在设计与施工过程应注意以下几点。

(1) 土钉锚杆与喷射面层的连接一定要牢固,这是土钉墙支护体系成败与否的关键所在。

根据半无限空间体弹性理论,土方开挖的过程实际是一个土压力释放的过程,随着坑内土方被挖除,原先的平衡状态因应力释放而打破,而土钉的设置就是为了代替被挖除土方来维持原先的平衡状态。根据相关理论,土钉的设计过程如下:

$$T_{jk} = \zeta e_{ajk} S_{sj} S_{zj} / \cos \alpha_j$$

式中: $T_{jk}$ ——第 $j$ 根土钉受拉荷载标准值; $\zeta$ ——荷载折减系数; $e_{ajk}$ ——第 $j$ 根土钉位置处的基坑水平荷载标准值; $S_{sj}$ 、 $S_{zj}$ ——第 $j$ 根土钉与相邻土钉的平均水平、垂直间距; $\alpha_j$ ——第 $j$ 根土钉与水平面的夹角。

因开挖而释放的应力只能通过钢筋面层的收集而集中于土钉才能进行下一步骤的传递,故成排成列设置的土钉必须通过纵横向设置的加强筋而与钢筋面层形成一个不可分隔的整体才能产生作用,具体联接如图5所示。

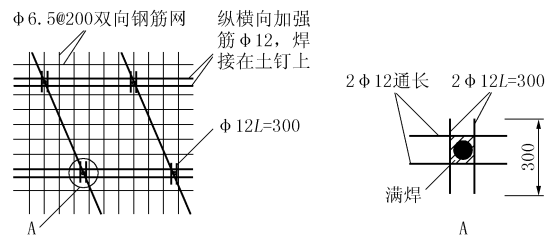


图5 土钉墙面层大样

(2) 土钉注浆一定要严格按照设计要求进行,能否形成锚固体关系到土压力能否顺利传递至稳定土层之中。

应力经钢筋面层的收集传递至土钉之后,须由土钉杆体经注浆加固体传递至稳定地层之中,其理论模型类似于锚杆,具体设计过程如下:

$$T_{uj} = 1/\gamma_s \cdot \pi d_{uj} \sum q_{sik} l_i$$

式中: $T_{uj}$ ——第 $j$ 根土钉抗拉承载力设计值; $d_{uj}$ ——第 $j$ 根土钉锚固体直径; $q_{sik}$ ——土钉穿越第 $i$ 层土土体与锚固体极限摩阻力标准值; $l_i$ ——第 $j$ 根土钉在直线破裂面外穿越第 $i$ 稳定土体内的长度。

### 3.6 支护效果评价

本工程最终因雨季来临而塌方,究其原因,主要有以下几点。

#### 3.6.1 设计方案中GFRP筋与面层的连接有问题

在图4中,GFRP筋与面层之间未设置纵、横双向的通长加强筋是导致本方案失败的直接原因。钢制托盘下只有2根 $\phi 8$  mm的挂网筋,且该挂网筋为松散的绑扎连接,本无法传递侧向土压力至锚杆,导致锚杆“单兵作战”,根本无法和挂网喷射面层形成一个整体,土钉墙喷锚支护体系“重力式挡墙”的挡土作用机理就无法实现,这是导致本方案失败的最主要的原因。

#### 3.6.2 土方开挖未能严格按照“分层开挖,分段施工”原则来实施

为赶工期进度,土方单位未能严格按照分段分层开挖的原则,整个土方分2次开挖,在上层剖面土钉刚施工完毕强度未达设计标准之前就开挖下一层土,导致第一层面层整体下滑塌方。

#### 3.6.3 雨季地表水的大量入渗

由于受台风天气的影响,大量雨水短时间内注入边坡土体之中,土层浸水软化,使得土体的物理力学性质指标急剧下降,严重偏离设计状态,土体沿软弱滑动面整体下滑。

若土钉杆体与注浆加固体之间或注浆加固体与土体之间不能形成有效的粘结,达不到预定强度,土钉就会失效,边坡就会失稳。

(3)土方开挖必须顺应土钉施工的工艺流程安排,分层分段开挖。

在土钉筋体插入孔中之后,必须按设计要求向孔中注入水泥浆,使筋体能和周边的土体有机地结合在一起,待水泥浆液凝固达到一定设计要求强度的时候,土钉才能传递先前因开挖土体而释放的侧向土压力,使得边坡保持在一个主动土压力的极限平衡状态之中,边坡才能稳定,因此可以这么说,分层开挖土方是土钉墙能够发挥效能的基本保证。

根据土体的弹塑性原理,结合以往相关基坑监测数据资料,基坑土方开挖存在一个长边效应,即边坡顶部水平位移呈现中间大、两端小的规律,通俗来说就是基坑边坡的中间部位土体向坑内的位移最大,最容易发生坍塌事故,故相关的规范就规定了土方开挖必须分段进行,且分段长度以20 m为宜。

综上所述,土方开挖必须配合土钉施工,分层分

段进行。

## 5 结语

土钉墙支护体系的施工必须彻底贯彻设计意图,合理安排土方开挖进度,严控土钉墙施工工艺及施工质量,以期达到理想的支护加固状态,使土方开挖与基础施工进度安全有效地进行。

## 参考文献:

- [1] JGJ120-99,建筑基坑支护技术规范[S].
- [2] CESC96:97,土钉支护与施工规程[S].
- [3] 王奎阳.土钉墙支护应用研究[D].河北邯郸:河北工程大学,2009.
- [4] 隆威,郑克清,王雅琼,等.土钉和桩锚在长沙华韵城市海岸基坑支护中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(2):36-38,42.
- [5] 孟凡运,刘全峰.土钉墙在超深基坑支护中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(5):44-46.
- [6] 赵峰,陈晨.深基坑土钉墙支护体系设计与计算[J].吉林水利,1997,(12).
- [7] 林忠伟,王新宇,张振铎.微型护坡桩和土钉墙复合支护结构设计及实践[J].岩土工程技术,2008,(5).

## 务正道整装勘查区又探获一超大型铝土矿床

《中国矿业报》消息(2013-05-30) 承担务正道铝土矿整装勘查的贵州106地质大队日前完成了正安县新模向斜整装勘查野外工作,根据掌握的资料估算,该区域铝土矿资源总量达1.4亿t,新增资源量1亿t。这是通过整装勘查探获务川县大竹园超大型铝土矿床后,该队探获的又一个超大型铝土矿床。

贵州省务正道地区铝土矿整装勘查是国土资源部确定的首批47个整装勘查项目之一。正安县新模向斜是务正道地区铝土矿整装勘查八大勘查区块之一,该向斜设置有红光坝、新模-晏溪、旦坪、斑竹园、中观铝土矿等5个探矿权。务正道地区铝土矿整装勘查自2010年6月下旬启动后,主要对旦坪铝土矿开展了勘查工作,开动钻机近30台,完成钻

探工作量近40000m。在国家、省地勘基金经费还没有完全落实的情况下,贵州106地质大队自筹资金积极开展工作,确保了勘查项目的顺利实施。

据了解,已完成野外工作的正安县新模向斜整装勘查项目,通过钻探、山地工程揭露显示,勘查区平均见矿厚度1.8m,三氧化二铝平均品位56%,预测新增铝土矿资源量超过1亿t,新增煤炭资源量3400万t。加上整装勘查前红光坝、新模-宴溪铝土矿详查已备案资源量3700多万t,新模向斜勘查区铝土矿资源总量将达1.4亿多t,同时探获稀散金属镓金属量4700多吨,钽金属量2400多t,稀有金属锂金属量18000多t,为贵州省重点建设项目务正道煤电铝一体化基地建设提供了资源保障。

## 重庆两江新区力建国家级页岩气产业基地

《中国矿业报》消息(2013-06-18) 来自美国、新加坡的5家企业近日与重庆两江新区集中签订正式投资协议,拟在两江新区鱼复工业园投资建设页岩气勘探新型高性能材料装备制造、页岩气开发利用、页岩气开采服务等4个重点项目,标志着重庆两江页岩气产业基地正式扬帆起航。

页岩气是一种非常规的清洁能源,已引发一场全球能源革命。作为页岩气储量全球第二大,我国已将页岩气大规模开发利用列为国家能源结构调整战略的重要组成部分。

据了解,重庆页岩气可开采量居全国第三,成藏集中,是我国页岩气资源战略调查先导实验区,承担了我国页岩气资源的评估勘查、页岩气勘探开发关键环节的标准制定。依托

重庆得天独厚的页岩气资源禀赋和相对成熟的开采条件,重庆市政府提出了开辟全国页岩气综合开发利用主战场,建设我国内陆沙特阿拉伯的战略目标。

根据协议,即将落地两江新区的4个重点项目拟投资40亿元,达产后预计实现年产值100亿元,项目内容涉及页岩气综合开发利用、开采服务、关键勘探装备制造等多个重要领域。

两江新区方面称,5家协议企业4个重点项目的入驻,将为两江新区页岩气临港重型装备产业园注入新动力,对重庆市及两江新区页岩气产业集群的形成具有重大意义,将有力地助推其打造国家级的页岩气产业基地。