

doi: 10.11720/wtyht.2023.3530

余长恒, 郑健, 张旭林, 等. 川南地区页岩气井平台钻前工程物探集成技术[J]. 物探与化探, 2023, 47(1): 99-109. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2023.3530>

Yu C H, Zheng J, Zhang X L, et al. Application of the integrated engineering geophysical exploration technology in the predrilling stage of shale gas well platforms in southern Sichuan Province[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2023, 47(1): 99-109. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2023.3530>

川南地区页岩气井平台钻前工程物探集成技术

余长恒¹, 郑健², 张旭林¹, 周昊², 王安平¹, 刘磊¹, 李易¹

(1. 四川中成煤田物探工程院有限公司, 四川 成都 610072; 2. 四川长宁天然气开发有限责任公司, 四川 成都 610056)

摘要: 四川南部地区岩溶广泛发育, 煤矿采空区密布, 以往单一勘查手段无法准确探测与识别, 造成页岩气规模化、工厂化钻井极易出现故障、复杂事件等问题。针对川南地区复杂地形地质条件, 采用了高密度电法、浅层地震法、瞬变电磁法、音频大地电磁法、微动等多种工程物探方法进行试验及对比分析, 总结出了川南页岩气井平台工程物探集成技术, 并应用在页岩气井平台建设中。后期钻井结果显示, 该集成技术能够有效识别地下 1 000 m 以浅岩溶、煤矿采空区、覆盖层等不良地质体, 为页岩气井平台选址、井身结构优化、钻进风险预测、缩短钻进周期、生态环境保护等方面提供技术支撑, 取得了显著的经济效益、社会效益和生态效益, 为长宁—威远国家级页岩气示范区和川南页岩气勘查开发试验区的建设提供了技术保障, 加快了川南页岩气的开发进程。

关键词: 工程物探集成技术; 岩溶; 采空区; 川南页岩气; 页岩气; 井平台

中图分类号: P631.8

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2023)01-0099-11

0 引言

页岩气作为国家重要的战略资源和清洁能源, 其大规模的开发利用对国民经济绿色健康发展意义重大。四川是我国页岩气资源大省, 页岩气储量丰富, 在川南地区率先启动了国家级页岩气示范区和试验区建设^[1]。川南地区位于四川盆地与云贵高原过渡地带, 属于中—高山地貌, 喀斯特等典型地貌发育, 地质构造复杂^[2], 在页岩气开发钻井过程中, 浅层钻遇岩溶以及采空区引发井漏、水侵、掉钻等问题频繁, 造成工程周期延长、费用增加、环境影响风险增大, 严重制约了页岩气规模、绿色开发进程。

页岩气勘探主要采用地震方法, 针对 3~4 km 深度的页岩气目的层进行重点勘查^[3], 野外施工设计的采集参数、观测系统和室内处理解释都是围绕深部页岩气目的层来进行, 对浅地表 1 000 m 以浅深度缺乏有效覆盖次数, 且精细处理解释程度不足, 因此无法对浅层地质异常进行精细刻画。但页岩气

开发的钻井施工风险常常发生在此层段, 因此, 在页岩气钻井前有必要开展工程物探, 对地表到 1 000 m 深度的地层岩性、地质构造、地表地质体、地下水、岩溶形态作出精细解释, 支撑页岩气平台的选址、建设与施工^[4]。

研究区以往页岩气井平台开展过单一方法的钻前电法, 但现有技术手段对如覆盖层、煤层采空区等不良地质体的识别在探测精度、成果准确度、施工效率等方面有待提升。本文在前期开展钻前电法勘探的基础上, 通过引入多种工程物探方法组合勘探技术进行试验, 达到了对预选井位地下 1 000 m 以浅的地质异常体作出进一步精细解释及预测的效果, 为研究区内地质灾害评价、环境评价、井位部署、钻井设计、措施制定等环节提供了重要技术支撑, 有效弥补了川南页岩气开发近地表的勘探技术盲区。

1 研究区概况

1.1 研究区常见不良地质体特征

研究区出露地层由新到老依次为沙溪庙组、自

收稿日期: 2020-04-20; 修回日期: 2022-09-16

基金项目: 四川省煤田地质局科技计划项目(KJ2020-09)

第一作者: 余长恒(1988-), 男, 高级工程师, 主要从事地球物理勘探及研究工作。Email: 470115920@qq.com

流井组、须家河组、雷口坡组、嘉陵江组、飞仙关组、长兴组、龙潭组、茅口组,主要位于建武向斜的两翼(图1)。各地层中不同的岩性特征和出露位置形成了不同的不良地质现象:

1) 崩塌,主要发育在建武向斜核部的沙溪庙组、须家河组,地形切割较深区域。

2) 覆盖层,主要发育在自流井组、须家河组、雷口坡组。须家河组的巨厚层砂岩形成陡峭地形,加之裂隙发育,在其坡脚形成碎块石土的堆积。

3) 滑坡,主要发育在自流井组、须家河组。自流井组的泥岩,其浅表层充水导致泥质滑坡;须家河组砂、泥岩,裂隙较为发育,充水后导致岩质滑坡。

4) 裂隙,主要发育在须家河组、雷口坡组及嘉陵江组。须家河组裂隙主要发育在须家河组二、四、六段,裂隙在倾向上和走向上均有发育,裂隙发育程度与周边地形切割强度成正比;地下水沿裂隙运移,受泥岩隔水层的阻隔,往往砂岩富含水,呈低阻特征。雷口坡组及嘉陵江组地层裂缝主要为溶蚀裂隙,裂隙宽度大,沿裂隙受地下水浸蚀作用,形成地下岩溶管道。

5) 岩溶,主要发育在雷口坡组、嘉陵江组和茅口组。雷口坡组地层发育的岩溶规模一般较小,主要为裂隙连通导水,形成岩溶泉,在水文地质单元补给区岩溶不甚发育,径流区次之,排泄区较强。嘉陵江组地层岩溶十分发育,主要发育在顶部和底部,具有多期发育特征。早期发育的岩溶一般呈干枯型,电性呈高阻特征,深度较浅,为废弃岩溶管道;晚期发育的岩溶一般为充水型,电性呈低阻特征,深度较深,为地下暗河管道。茅口组地层为质纯的灰岩,岩溶发育强烈,在整个灰岩层中均能得到充分发育;地表一般形成峰丛—洼地、峰丛—谷地、石丘—洼地、岩溶峡谷,并且洼地数量多,规模大,地下多发育有大型溶洞并构成树枝状、放射状的管道系统。岩溶管道一般沿地层走向和岩石节理裂隙发育,部分顺倾向发育。地表塌陷长轴与岩溶发育方向一致,裂隙溶蚀的岩溶发育方向与裂隙发育一致。地下岩溶受地表水和地形条件影响很大,在地表分水岭附近且周边切割较深的径流补给区,地下岩溶不发育,电性多呈较均匀的高阻反应。

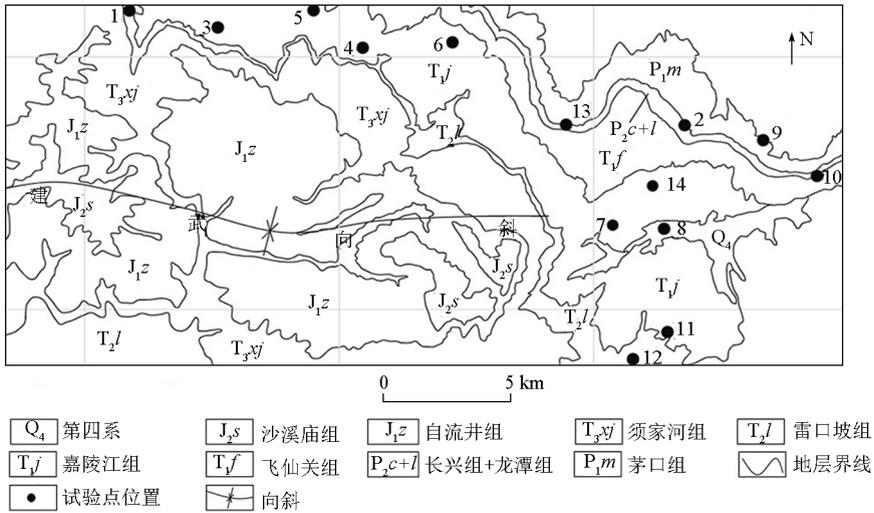


图1 研究区地质构造及试验点位置分布

Fig. 1 Distribution map of geological structure and test site in the study area

1.2 研究区地球物理特征

研究区预选平台位置出露地层主要有第四系,以及自流井组、须家河组、雷口坡组、嘉陵江组、飞仙关组、长兴组、龙潭组和茅口组。在研究区各地层采集岩样,进行了物性测试。

分析表1中各地层不同岩性的电阻率特征,结合以往探测采空区、岩层破碎带等经验,可以得出如下结论:研究区岩层中,黏土、泥岩及页岩电阻率最低,一般在10~290 Ω·m之间,属于相对中—低阻;

砂岩电阻率一般在81~583 Ω·m之间,为相对中—高阻;灰岩电阻率最高,一般在170~11 523 Ω·m之间;空洞若含水,电阻率一般在2~50 Ω·m之间,为低阻,若不含水,则呈现相对高阻,一般超过12 000 Ω·m。

采空区、构造发育区与完整地层相比,由于地应力对完整岩层的破坏,导致岩体的裂隙发育,同时使得传播于勘查范围内的导电性发生变化,导致岩石的电阻率大小发生变化,与完整岩体产生一定的电

表 1 岩石电阻率实测值
Table 1 Statistics of measured rock resistivity

	地层	主要岩性	标本数/块	电阻率/($\Omega \cdot m$)	
				最小值~最大值	常见值
第四系	全新统	黏土、泥岩	65	10~135	80
侏罗系	下统	自流井组	50	46~107	77
		须家河组	80	44~290	130
三叠系	中统	雷口坡组	70	170~1529	1281
			50	501~1258	813
	下统	嘉陵江组	85	395~11523	2445
		飞仙关组	60	47~285	179
二叠系	上统	长兴组	55	33~1324	38
		龙潭组	60	13~159	106
	中统	茅口组	85	1023~11195	5231
	岩溶/断层/裂缝/采空区(充水)		45	2~50	10
	岩溶/断层/裂缝/采空区(未充水)		50	12000~120000	30000

性差异。

弹性波法主要记录不同波阻抗差异(波速和密度的差异)条件下的反射地震波响应特征。每个波阻抗变化的界面,如地层面、不整合面、断层面等都可产生反射波,在地表面接收来自不同界面的反射波,可详细查明地下岩层的分层结构及其几何形态特征等信息。因此,本研究区能够用波阻抗差异、电性差异区分物性差异较大的岩性,划分平台下方覆盖层、岩溶、煤矿采空区等不良地质体,使得本研究区具备开展不同地球物理方法的勘探条件。

2 研究方法

2.1 研究思路

本次研究工作主要分为 4 步:第一步,通过川南地区工程地质、水文地质资料分析,掌握该区的地质特征、物性特征、钻井面临的主要地质异常类型及特点;第二步,通过工程物探方法调研、设备调研,进行方法对比及有效性分析、设备原理及特点分析,选择适合川南地区的工程物探方法及设备;第三步,选取试验点进行方法对比实验、设备对比实验、各地质异常体识别实验、采集参数对比实验、处理及反演参数分析实验,并对实验结果进行综合分析;第四步,总结出川南地区井平台最佳工程物探方法、采集、处理及反演解释技术,形成川南页岩气井平台工程物探关键技术体系。研究路线见图 2。

2.2 方法选择及试验点选取

勘探方法的选择需要结合研究区水文地质特征、地貌特点以及各类常见地质异常体的发育特点,因地制宜采用综合方法进行勘查。常用的

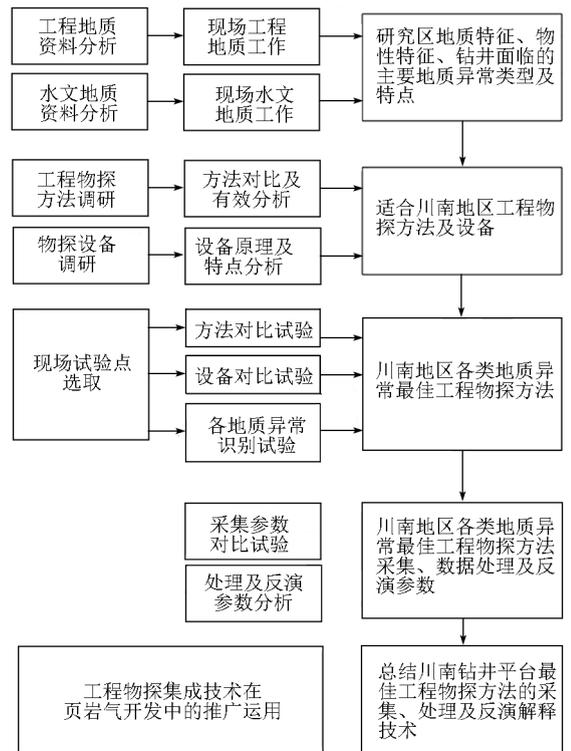


图 2 研究路线

Fig. 2 Research road

工程物探方法主要有高密度电阻率法^[5]、瞬变电磁法、大地电磁测深、探地雷达、浅层地震法^[6]等。本次通过市场调研,最终选择了浅层地震法、高密度电阻率法、瞬变电磁法、音频大地电磁法、微动等多种工程物探方法进行分析及实验(表 2)。

本次共选取了 14 处试验点(见图 1),进行了 10 种仪器的实验工作,根据实验成果进行了综合分析。试验点具体地质情况见表 3。

表 2 川南页岩气井平台钻前工程物探方法调研情况汇总

Table 2 Summary table of geophysical prospecting methods for pre-drilling engineering of shale gas platform in south Sichuan

编号	方法	特点	勘查深度	解决问题
1	工程地质+水文地质相结合综合勘查	调查内容:地层及其厚度、岩性特征、接触关系、构造位置、构造特征、地貌特征、面临的工程地质问题以及地表水、地下水类型、地下水分布规律、地下水补给、径流及排泄条件	以平台为中心,在 600 m 范围内进行调查,视情况扩大调查范围	地层界限及其厚度、岩性特征、接触关系、构造位置、构造特征、地貌特征、地表水分布、地下水类型、地下水分布规律、地下水补给、径流及排泄条件
2	浅层地震	1) 探测精度高 2) 构造破碎带、岩层界面识别能力强	100 m 以浅	覆盖层基覆界面、构造破碎带的探测识别
3	高密度电法	1) 分布式设计,大电流、连续剖面测量 2) 多种电极排列方式,能获取丰富的地电断面信息 3) 具有电阻率剖面和电阻率测深双重性质	100 m 以浅	覆盖层基覆界面、采空区、浅层岩溶以及构造破碎带的探测识别
4	瞬变电磁法	1) 断电后观测纯二次场,不受一次场干扰 2) 对低阻层的分辨率高,能清晰、直观地显示探测目标埋藏的相对位置 3) 受地形影响小 4) 工作装置形式灵活多样,工作效率高	400 m 以浅	采空区、中深部岩溶以及构造破碎带的探测识别
5	微动	1) 智能勘探,实时获得表征地质分层的面波速度曲线 2) 适应环境能力强,不受电磁干扰影响 3) 无需人工震源、安全、快捷、环保	1 000 m 以浅	覆盖层基覆界面、采空区、深部岩溶以及构造破碎带的探测识别
6	音频大地电磁法	1) 不受高阻层(如碳酸盐岩地区)影响 2) 穿透深度大 3) 装备轻便、适应于地形条件较差的地区	1 000 m 以浅	区域性宏观构造破碎带控制、深部岩溶探测

表 3 川南页岩气井平台钻前工程物探方法研究及应用试验点统计

Table 3 Geophysical prospecting methods for pre-drilling engineering of shale gas platform in south Sichuan and statistics of application test points

序号	方法	试验点	地质异常类型	仪器型号	实验时间
1	浅层地震法(反射波法、层析成像法)	12	覆盖层	428lite 数字地震仪	2020.07
2	高密度电阻率法	1、5、12	构造破碎带、嘉陵江组岩溶、覆盖层	N2 电法测量系统	2020.07、2021.07
3	音频大地电磁法	12、13	雷口坡组及嘉陵江组岩溶、龙潭组煤矿采空区	Aether	2020.07、2021.07
4	微动	2	龙潭组煤矿采空区	高精度一体化宽频带地震仪	2020.08
5	可控源高频大地电磁法	6	嘉陵江组岩溶	UltraEM Z4 多功能电法工作站	2020.09
6	瞬变电磁法	3、4、2、13	嘉陵江组岩溶、龙潭组煤矿采空区	HPTEM-18 等值反磁通瞬变电磁系统	2020.09、2021.07
7	瞬变电磁法	7、9	嘉陵江组岩溶、茅口组岩溶	FCTEM60-1 高分辨瞬变电磁系统	2020.09
8	瞬变电磁法	11	嘉陵江组岩溶	CUGTEM-8 瞬变电磁仪	2020.09
9	瞬变电磁法	14	嘉陵江组岩溶	emrs-3 瞬变电磁仪	2020.10
10	微动	7、10、12	嘉陵江组岩溶、龙潭组煤矿采空区、覆盖层	Node X3	2021.03
11	瞬态面波	8	覆盖层	Node X3	2021.03

3 成果综合分析

3.1 浅层地震法、常时微动法、高密度电法成果对比

在试验点 12 进行了浅层地震法、高密度电法^[7]、常时微动法实验,探测成果对覆盖层厚度及

含水性等地质信息作出了精细解释及预测(图 3)。

浅层地震反射波法对基岩界面显示清楚,分辨率高;根据层析成像波速分析,覆盖层上部波速较低,较松散,覆盖层下部波速较高,较致密;高密度电法对下伏地层含水性反应清楚;常时微动法对覆盖层与基岩分界线分辨清楚。以上 3 种方法对覆盖层

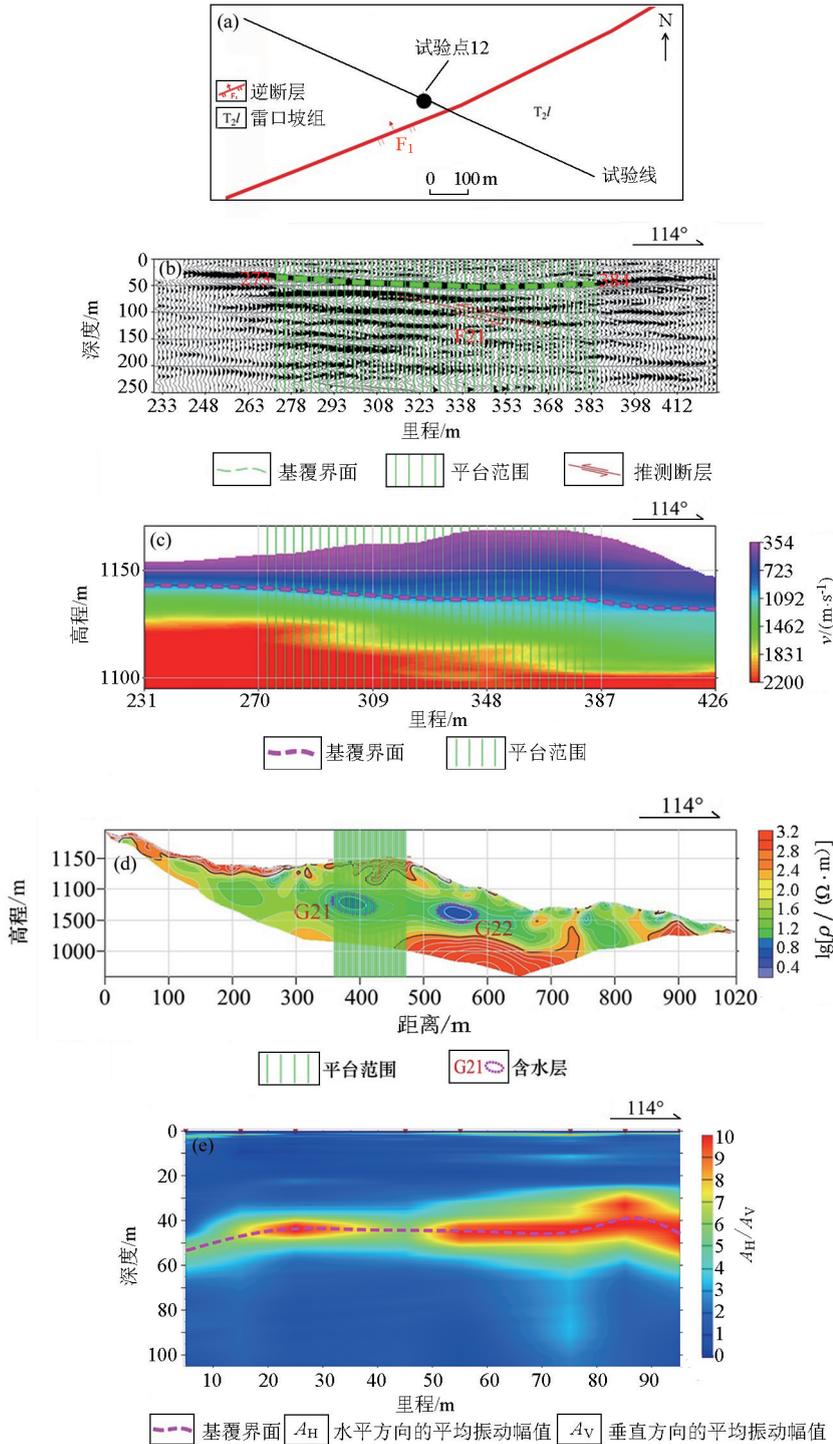


图 3 试验点 12 的工程布置 (a) 及浅层地震深度剖面 (b)、浅层地震速度剖面 (c)、高密度电法 (d)、常时微动法 (e) 探测成果

Fig. 3 Engineering layout (a) of Survey Point 12 and its detection results of shallow seismic depth profile (b), shallow seismic velocity profile (c), high-density electrical method (d) and constant time fretting method (e)

的探测具有良好的效果。

3.2 瞬变电磁法及音频大地电磁法成果对比

在试验点 13 进行了瞬变电磁法^[8]、音频大地电磁法实验,试图对煤矿采空区的埋深、规模等作出精

细解释及预测(图 4)。

瞬变电磁法小号里程端出现的视电阻率异常(图 4b)推测为巷道及采空区的综合电性反应,音频大地电磁法小号里程端未见有明显的电性异常

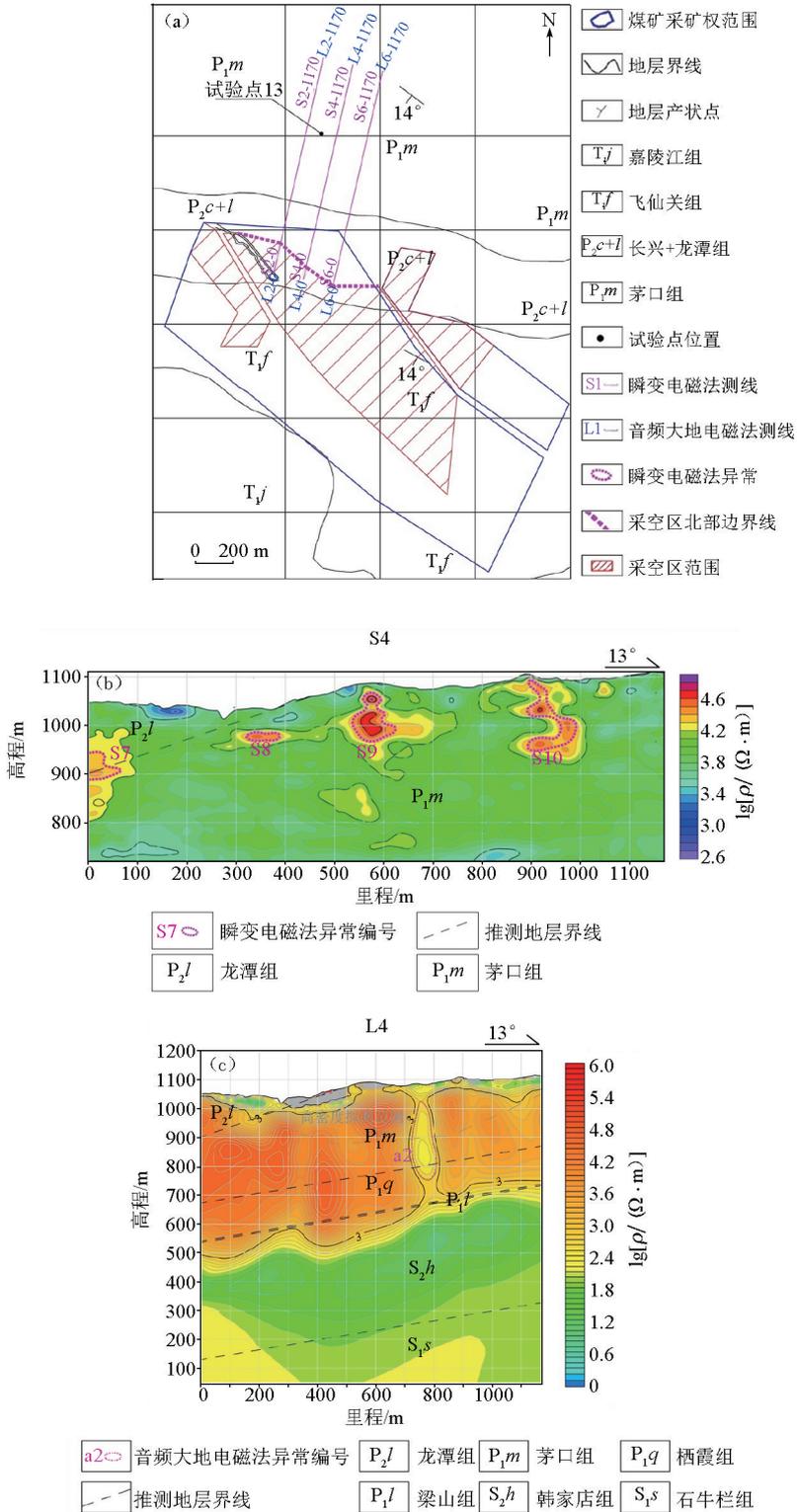


图 4 试验点 13 的工程布置 (a) 及瞬变电磁法 (b)、音频大地电磁法 (c) 成果

Fig. 4 Engineering layout of measurement point 13 (a) and its detection results of transient electromagnetic method (b) and audio frequency magnetotelluric method (c)

(图 4c)。可见瞬变电磁法对采空区的探测具有良好的效果,音频大地电磁对浅部采空区的探测效果不佳,在里程 700~800 m 位置有地层断裂异常显示。

3.3 瞬变电磁法与微动法成果对比

在试验点 2 进行了瞬变电磁法、微动法实验,试图对煤矿采空区的埋深、规模等作出精细解释及预测(图 5)。

瞬变电磁法实验线 S1 视电阻率反演剖面(图 5b)显示,在里程 50~150 m、180~220 m 发

育 2 处视电阻率值相对较低、等值线较为凌乱的电性异常,推测为永福煤矿采空区的电性异常反应。微动法实验线 S1 速度结构及解释推断剖面(图 5c)显示,已知采空区域的速度有所减小但是不明显。由此可见瞬变电磁法对煤矿采空区的探测具有良好的效果,能够对地下 200 m 以浅的采空区进行准确探测识别,而微动对煤矿采空区的探测也具有一定效果,但是探测识别的精度不高。

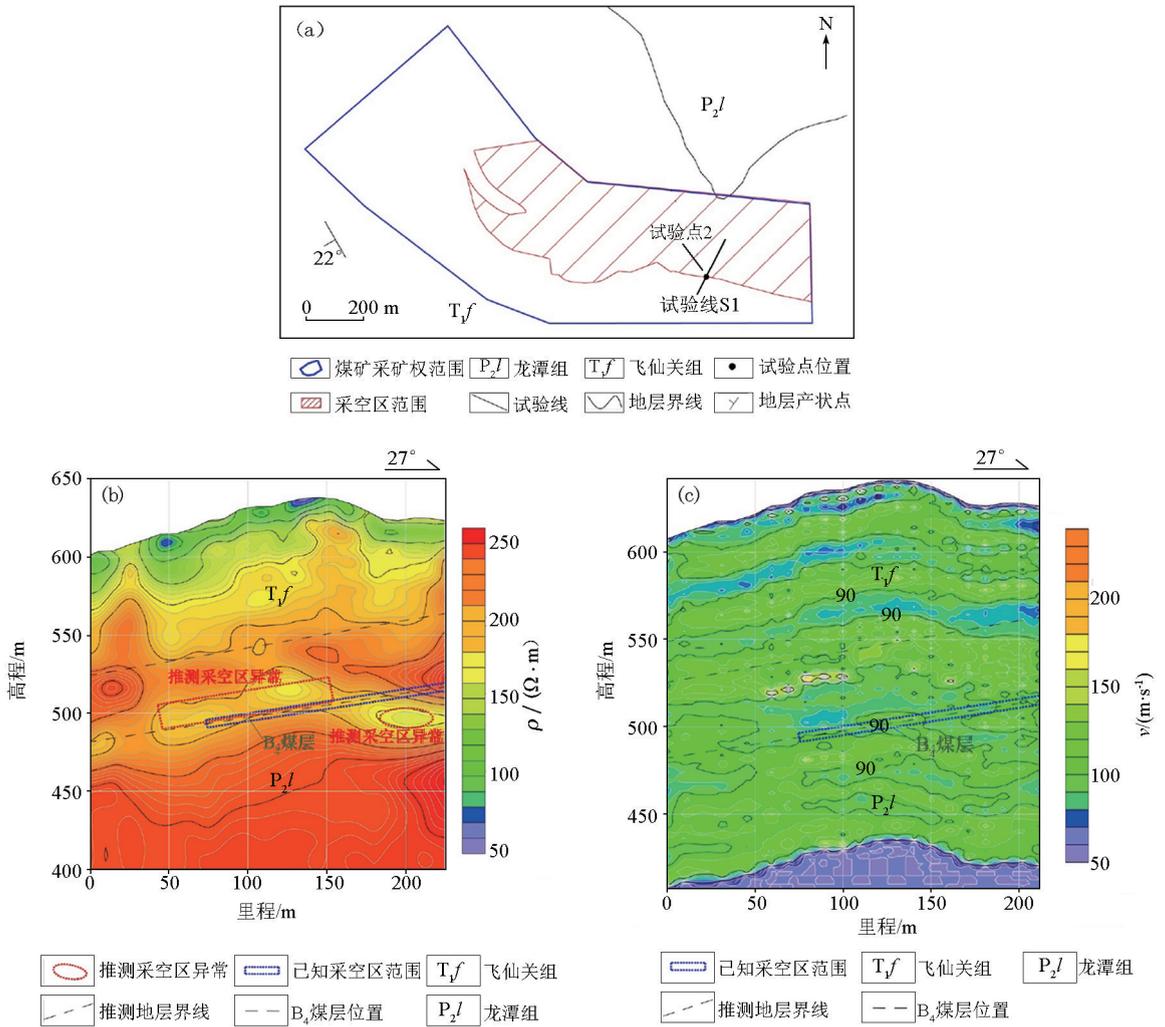


图 5 试验点 2 工程布置 (a) 及瞬变电磁法 (b)、微动法 (c) 实验成果

Fig. 5 Engineering layout of measuring point 2 (a) and test results of transient electromagnetic method (b) and fretting method (c)

3.4 岩溶识别分析

试验点 3 为一处已知充水暗河管道,试验点 4、试验点 5 为 2 处已知干枯溶洞,在 3 处试验点进行了瞬变电磁法、高密度电法实验(图 6、图 7、图 8)。通过实测剖面成果分析,瞬变电磁法及高

密度电法对岩溶的探测识别效果较好,电性异常特征明显,含水岩溶和干枯岩溶相对于围岩分别呈现出相对低阻和高阻的电性异常特征,异常范围相对于实际岩溶规模有放大效果。

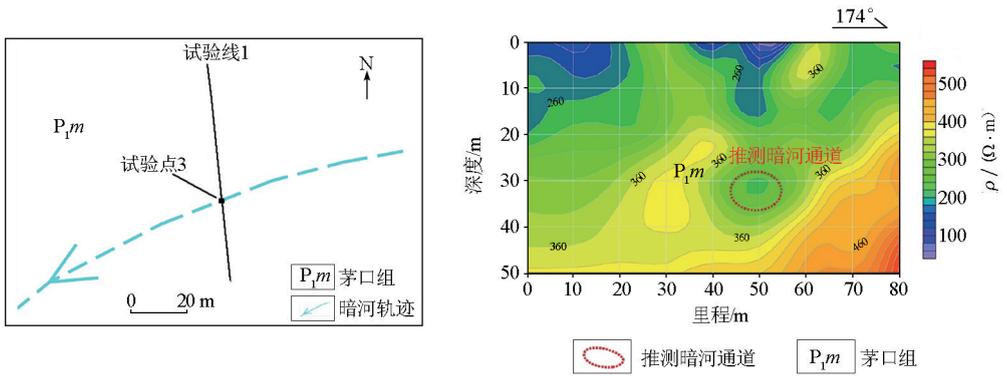


图 6 试验点 3 的工程布置及瞬变电磁法实验成果

Fig. 6 Engineering layout of measuring point 3 and test results of transient electromagnetic method

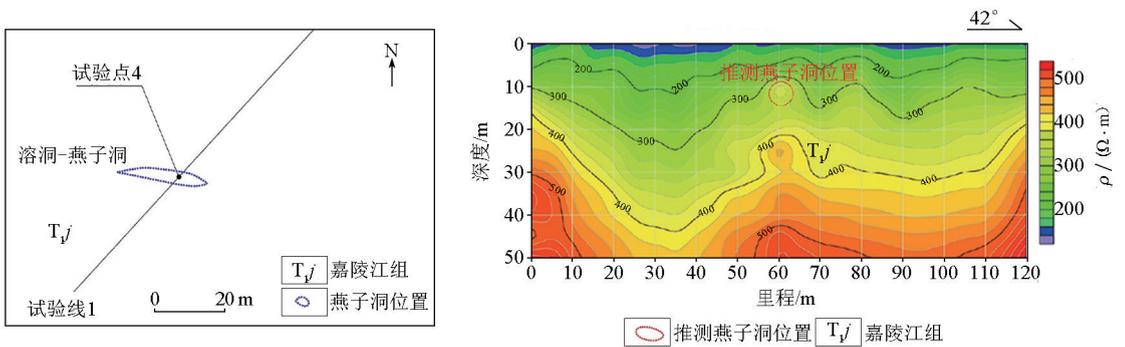


图 7 试验点 4 的工程布置及瞬变电磁法实验成果

Fig. 7 Engineering layout of measuring point 4 and test results of transient electromagnetic method

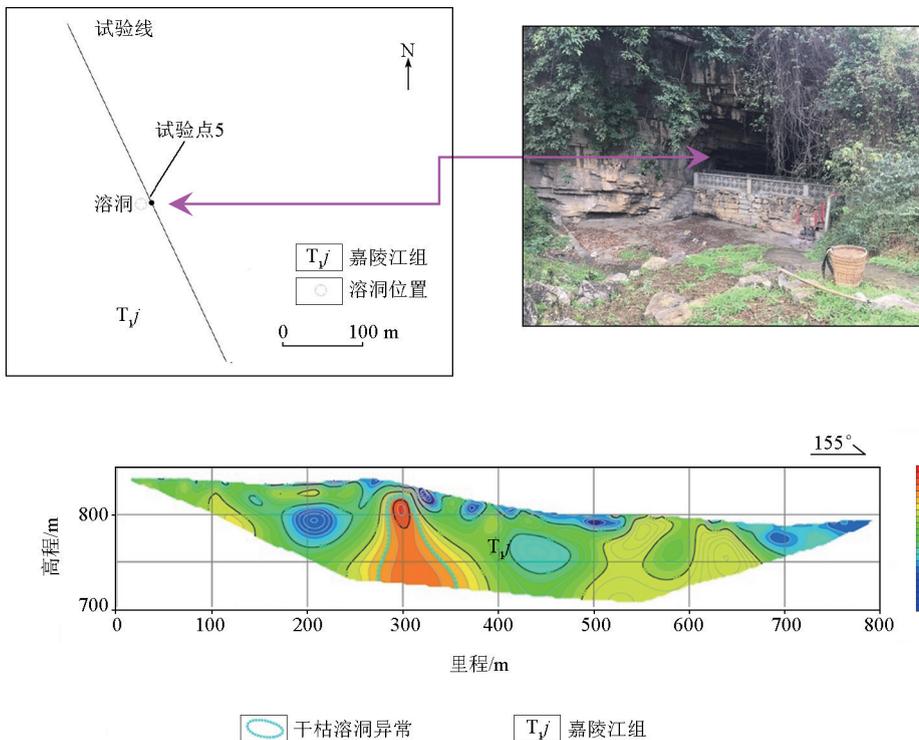


图 8 试验点 5 的工程布置及高密度电法实验成果

Fig. 8 Engineering layout of measuring point 5 and its high-density electrical method test results

3.5 裂缝识别分析

试验点 1 为一处构造破碎带,岩层较为破碎,在此处进行了高密度电法实验(图 9)。通过实测剖面

成果分析,高密度电法对于宽度大于测量点距(5 m)^[9]的裂缝有明显的电性反应,异常范围相对于实际裂缝规模有放大效果^[10]。

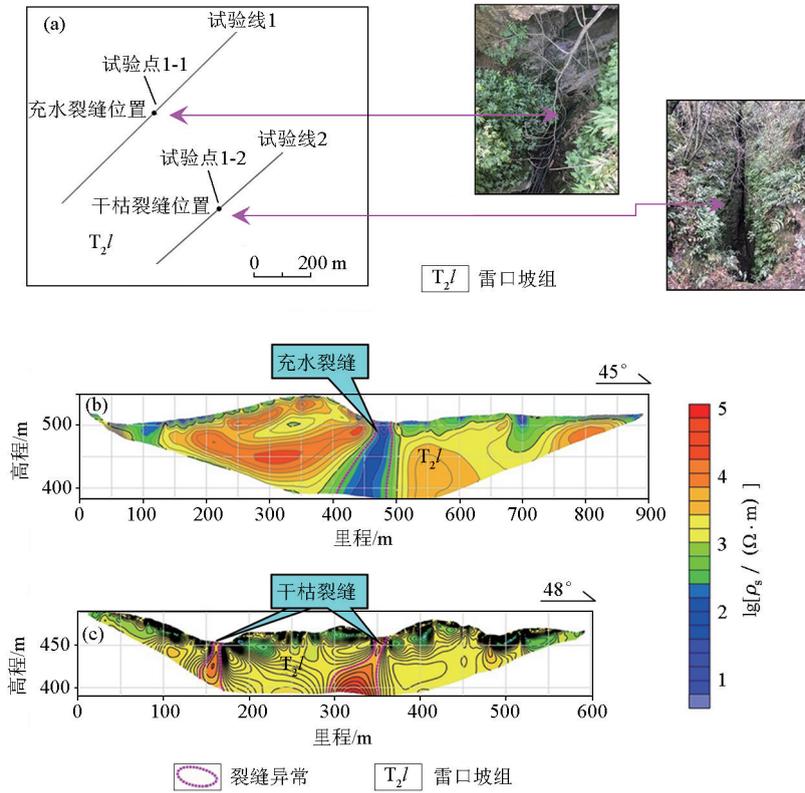


图 9 试验点 1 的工程布置(a)及高密度电法实验成果(b,c)

Fig. 9 Engineering layout (a) of measuring point 1 and its high-density electrical method test results (b,c)

4 集成技术

实验成果表明,各种物探方法均有其优缺点,其

适用范围、探测深度、探测精度、施工效率和经济成本均各不相同。结合上述梳理的各种物探方法的优缺点及试验点的实验成果,总结出了川南页岩气井平台工程物探集成技术(表 4)。

表 4 川南页岩气井平台工程物探集成技术

Table 4 Integrated geophysical exploration technology for shale gas well platform engineering in southern Sichuan

标类型	研究区状况	0~100 m		100~200 m		200~1000 m		备注
		第一优选组合	第二优选组合	第一优选组合	第二优选组合	第一优选组合	第二优选组合	
覆盖层	干扰较强、场地狭小	①+⑧	①+⑩					①工程地质及水文地质调查 ②采空区调查 ③高密度电法 ④瞬变电磁法(大定源) ⑤等值反磁通瞬变电磁法
	干扰较弱、场地开阔	①+⑧		①+⑧		①+⑧		
岩溶	干扰较弱、场地开阔	①+③	①+⑤	①+⑤	①+③	①+④+⑦	①+④+⑥	⑥音频大地电磁法 ⑦可控源音频大地电磁法
	干扰较强、场地狭小	①+③	①+⑤	①+⑤	①+③	①+④+⑦	①+④+⑥	
采空区	干扰较弱、场地开阔	①+②+③	①+②+⑤	①+②+⑤	①+②+④	①+②+④	①+②+⑧	⑧浅层地震反射波法/层析成像法 ⑨微动 ⑩常时微动 ⑪瞬态面波
	干扰较强、场地狭小	①+②+③	①+②+⑤	①+②+⑤	①+②+④	①+②+④	①+②+⑧	

5 结论

通过在典型地质异常体进行多种工程物探方法的试验,梳理了各种地球物理探测方法的优缺点,总结出了川南页岩气井平台在不同地质环境下的工程物探集成技术。该工程物探集成技术为综合物探方法,包含了直流电法、电磁法、弹性波法,减少了物探的多解性,提高了地下地质异常预测的准确率,能够有效指导钻井选址及施工。该集成技术可应用于页岩气、煤层气、地热温泉、金属矿产、工程建设等多领域勘查,在喀斯特、采空区等地域有广泛的推广应用价值。

本文所采用的均为二维物探技术。针对复杂地质条件的页岩气井平台,下一步可以开展三维物探技术,以满足页岩气开发生产需要的精度要求。

参考文献 (References):

- [1] 雍锐,陈更生,杨学锋,等. 四川长宁—威远国家级页岩气示范区效益开发技术与启示[J]. 天然气工业,2022,42(8):136-147.
Yong R, Chen G S, Yang X F, et al. Profitable development technology of the Changning-Weiyuan national shale gas demonstration area in the Sichuan basin and its enlightenment[J]. Natural Gas Industry, 2022, 42(8): 136-147.
- [2] 赵瑞,许模,范辰辰,等. 川南古叙地区岩溶发育特征及影响因素探讨[J]. 水土保持研究,2015,22(2):316-319,327. DOI: 10.13869/j.cnki.rswc.2015.02.059.
Zhao R, Xu M, Fan C C, et al. Discussion on the characteristics of Karst development and influence factors in Gulín-Xuyong area of Southern Sichuan[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2015, 22(2): 316-319, 327. DOI: 10.13869/j.cnki.rswc.2015.02.059.
- [3] Wang X M, Zhou X J, Yang X, et al. High-precision three-dimensional shale gas acquisition technology and its effectiveness in southern Sichuan province, Sichuan asin Province[C]//Proceedings of the 32nd National Natural Gas Academic Annual Conference (2020), 2020: 538-547. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2020.064916.

- [4] 余长恒,周昊,邹忠平,等. 长宁地区页岩气钻井平台不同开口层位不良地质体勘查[J]. 工程地球物理学报,2019,16(1):61-69.
Yu C H, Zhou H, Zou Z P, et al. The Exploration of Unfavorable Geological Body of Shale Gas Drilling Platform at Different Openings in Changning Area[J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2019, 16(1): 61-69.
- [5] 籍增贤,张正阳,孙永彬. 高密度电阻率法对泥石流松散堆积层探测效果的分析[J]. 勘察科学技术,2020(4):61-64.
Ji Z X, Zhang Z Y, Sun Y B. Analysis of the effect of high density resistivity method on the detection of debris flow loose accumulation layer[J]. Investigation Science and Technology, 2020(4): 61-64.
- [6] 马董伟. 地震勘探方法在薄覆盖层区城市活断裂探测中的应用[J]. 物探与化探,2019,43(5):1038-1045.
Ma D W. Application of seismic exploration method to urban active fault detection in thin overburden area[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2019, 43(5): 1038-1045.
- [7] 孟凡松,张刚,陈梦君,等. 高密度电阻率法二维勘探数据的三维反演及其在岩溶探测中的应用[J]. 物探与化探,2019,42(3):672-678.
Meng F S, Zhang G, Chen M J, et al. 3D inversion of 2D high density resistivity data and its application in Karst Exploration[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2019, 42(3): 672-678.
- [8] 吴俊林,靳月文. 瞬变电磁法在采空区勘查中的应用[J]. 物探与化探,2012,36(S1):168-170.
Wu J L, Jin Y W. Application of transient electromagnetic method in goaf exploration[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2012, 36(S1): 168-170.
- [9] 余长恒,张旭林,王强,等. 高密度电法在岩溶勘查中的参数试验——以四川南部宜宾市长宁页岩气开发区为例[J]. 矿产勘查,2020,11(9):1986-1992.
Yu C H, Zhang X L, Wang Q, et al. Parameter test of high density electrical method in Karst exploration; Take the changning shale gas development area in Yibin, southern Sichuan Province as an example[J]. Mineral Exploration, 2020, 11(9): 1986-1992.
- [10] 沈福斌,刘江滨,王星明. 岩溶裂隙探测技术及应用[J]. 煤矿隐蔽致灾因素及探查技术研究,2015(5):332-337.
Shen F B, Liu J B, Wang X M. Karst fissure detection technology and its application[J]. Study on Hidden Disaster Causing Factors and Exploration Technology in Coal Mine, 2015(5): 332-337.

Application of the integrated engineering geophysical exploration technology in the predrilling stage of shale gas well platforms in southern Sichuan Province

YU Chang-Heng¹, ZHENG Jian², ZHANG Xu-Lin¹, ZHOU Hao², WANG An-Ping¹, LIU Lei¹, LI Yi¹

(1. Sichuan Zhongcheng Coalfield Geophysical Engineering Institute Co., Ltd., Chengdu 610072, China; 2. Sichuan Changning Gas Development Co., Ltd., Chengdu 610056, China)

Abstract: Southern Sichuan Province has widely developed karsts and densely distributed coal mine goafs, which cannot be accurately detected and identified using a single existent exploration method. Consequently, large-scale and industrial drilling for shale gas is

prone to induce failures and complex events. In light of the complex topographic and geological conditions in southern Sichuan, this study conducted tests and comparative analysis using multiple engineering geophysical exploration methods including electrical resistivity imaging, shallow seismic method, transient electromagnetic method, audio-magnetotelluric method, and microtremor survey method. As a result, an integrated engineering geophysical exploration technology for shale gas well platforms in southern Sichuan was formed and applied to the construction of shale gas well platforms. As indicated by drilling results, the integrated technology can effectively identify unfavorable geological bodies (e. g. , shallow karsts, coal mine goafs, and overburdens) at a depth of less than 1000 m and provide technical support for siting shale gas well platforms, optimizing casing programs, predicting drilling risks, shortening drilling cycles, and protecting ecological environment, with remarkable economic, social, and ecological benefits having been achieved. Moreover, this integrated technology provides a technical guarantee for the construction of both the Changning-Weiyuan national shale gas demonstration zone and the southern Sichuan shale gas exploration and development pilot zone and accelerates the shale gas development in southern Sichuan.

Key words: integrated engineering geophysical exploration technology; karst; goaf; southern Sichuan shale gas; shale gas; well platform

(本文编辑:沈效群)