

施工模块划分技术在塔里木盆地复杂山地地震勘探中的应用

徐凯驰¹, 陈宇², 崔永福¹, 张强², 裴广平¹, 吴增友²

¹塔里木油田分公司勘探开发研究院, 新疆 库尔勒

²东方地球物理勘探责任有限公司西南物探分公司采集技术中心, 四川 成都

收稿日期: 2021年12月3日; 录用日期: 2021年12月31日; 发布日期: 2022年1月7日

摘要

塔里木盆地地处天山山脉、昆仑山脉和阿尔金山脉之间, 油气资源丰富。随着石油勘探程度的加深, 勘探目标向盆地边缘山前带和山地转移。山地地形十分恶劣、交通条件极差, 给地震勘探野外采集施工带来极大的安全风险。如何降低施工中设备搬迁和人员行走的风险, 是本文写作的主要目的。本文介绍了施工模块划分技术在塔里木盆地帕米尔高原的勘探施工中, 降低作业风险的应用实例, 为塔里木盆地高难山地地震采集施工开辟了一条有效途径。

关键词

地震勘探, 采集施工, 高难山地, 模块划分

Application of Construction Module Division Technology in the Seismic Exploration of Complex Mountainous Regions in the Tarim Basin

Kaichi Xu¹, Yu Chen², Yongfu Cui¹, Qiang Zhang², Guangping Fei¹, Zengyou Wu²

¹Exploration and Development Research Institute of Tarim Oilfield Company, Korla Xinjiang

²Acquisition Technology Center of BGP Southwest Geophysical Company, Chengdu Sichuan

Received: Dec. 3rd, 2021; accepted: Dec. 31st, 2021; published: Jan. 7th, 2022

文章引用: 徐凯驰, 陈宇, 崔永福, 张强, 裴广平, 吴增友. 施工模块划分技术在塔里木盆地复杂山地地震勘探中的应用[J]. 自然科学, 2022, 10(1): 45-52. DOI: 10.12677/ojns.2022.101006

Abstract

The Tarim Basin is located between the Tianshan Mountains, Kunlun Mountains and Altun Mountains and is rich in oil and gas resources. With the deepening of oil exploration, the exploration targets have shifted to the piedmont and mountainous areas on the edge of the basin. Because the mountain terrain is very bad and the traffic conditions are extremely poor, it brings great safety risks to the seismic exploration field acquisition and construction operations. How to reduce the risk of equipment removal and personnel walking during construction is the main purpose of this article. This article introduces the application examples of the construction module division technology in the exploration and construction of the Pamir Plateau in the Tarim Basin to reduce the operation risk, which opens up an effective way for the seismic acquisition and construction of the high-difficult mountainous area in the Tarim Basin.

Keywords

Seismic Exploration, Collection Construction, Highly Difficult Mountain, Module Division

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

据中国石油第四次油气资源评价结果,塔里木盆地是中国最大的含油气盆地[1],也是地震勘探的主战场。随着石油工业的发展,石油勘探目标区已从平坦的盆地中心地带转向近地表比较复杂的盆地边缘山前带和山地。由于勘探目标复杂,勘探参数设置更加强化,需要的设备成倍增加,高难山地勘探施工中设备搬迁、人员行走风险越来越大,怎样对风险进行源头规避,成为安全施工的关键。

2. 基于地形风险的施工模块划分

2.1. 技术背景

多年来,在地震勘探采集施工中多采用遥感影像判断地形难度。此方法存在主观因素大,且有一定迷惑性的缺点。从图1的遥感影像中看,该区域地形难度并不大,部分区域看上去还比较平缓。但实际上该区域起伏剧烈,风险极高如图2所示。



Figure 1. Remote sensing image

图1. 遥感影像图

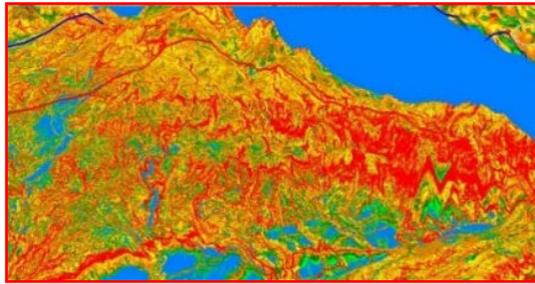


Figure 2. Topographic risk map
图 2. 地形风险图

同时，国内外普遍采用单向坡度描述地形难易程度，不能完全、准确表达地形风险分布，应用效果有限。如图 3，同一地区 0 度方向坡度值与 45 度方向坡度值存在较大差异。所以单一坡向也不能完全表达斜坡的陡峭程度。

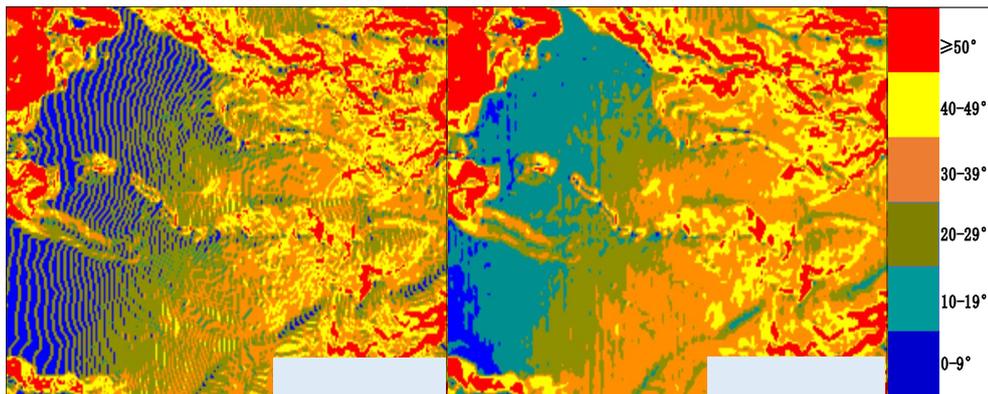


Figure 3. Gradient map of different aspects
图 3. 不同坡向坡度图

2.2. 地形风险分级

2.2.1. 数学模型

描述地形难易程度的因素有坡度、坡向、海拔、起伏度等。由于坡度和起伏度本质上都是地表垂直量与水平量关系的表达，是描述地形难易最重的两个因素[2]。其中，坡度是地表单元陡缓的程度，不但能够间接表示地形的起伏形态和结构，并且是地形风险模型分析的基础数据，是地表位置上高度变化率的度量，坡度可表达为百分数或者度数[3] [4] [5]，计算公式为：

$$S = \arctan \sqrt{\left[\frac{Z_7 - Z_1 + Z_8 - Z_2 + Z_9 - Z_3}{6 \times d_x} \right]^2 + \left[\frac{Z_3 - Z_1 + Z_6 - Z_4 + Z_9 - Z_7}{6 \times d_y} \right]^2} \quad (1)$$

式(1)中， S 为坡度， d 为等距离投影 DEM 的单元尺寸(如图 4)。 d_x 和 d_y 为对应方向的经纬度投影 DEM， $Z_i (i=1,2,3,\dots,9)$ 为中心点 5 周围各网格点的高程。

起伏度是描述地形的一个重要因子，它主要用于描述宏观地形变化状况，是定量描述地貌形态，划分地貌类型的重要指标[6] [7] [8]。其计算公式为：

$$P = \sqrt{\frac{(Z_1 - m)^2 + (Z_2 - m)^2 + (Z_3 - m)^2 + \dots + (Z_n - m)^2}{n}} \quad (2)$$

式(2)中, P 是起伏度, 以矩阵格式进行采样, 采样间隔需大于 DEM 数据原始采样间隔。 Z_1 、 Z_2 、 \dots 、 Z_n 是起伏度矩阵采样点高程值, m 是 n 个采样点高程算数平均值。

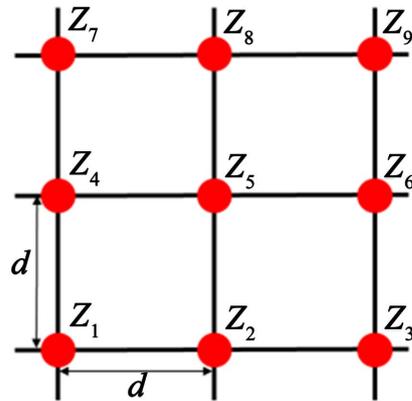


Figure 4. DEM 3×3 partial moving window
图 4. DEM 3×3 局部移动窗口

2.2.2. 地形风险分级

经过研究, 发现“多向坡度 + 起伏度”的地形风险模型定量计算方法, 能够准确描述地形难度, 较好的反映地形风险真实情况。

通过反复现场试验结合多年施工情况, 将地形风险划分为六级。如表 1, 表中 P 为研究区域起伏度值, \bar{S} 为多向坡度平均值。

Table 1. Topographic risk classification table
表 1. 地形风险分级表

风险分类	级别	颜色	约束条件(or)		说明
			起伏度	方向坡度	
极高风险	1 级	红色	$P_6 > 20$	$\bar{S}_6 > 50$	极高风险区, 原则上不能进入这些地区施工, 如果必须进入需要有严密的安全防范措施
高风险	2 级	黄色	$20 \geq P_5 > 15$	$50 \geq \bar{S}_5 > 40$	有较大风险, 需要借助攀爬设施或直升机
中高风险	3 级	橙色	$15 \geq P_4 > 10$	$40 \geq \bar{S}_4 > 30$	需要借助保险绳施工、需要有安全防范措施
中风险	4 级	深绿色	$10 \geq P_3 > 5$	$30 \geq \bar{S}_3 > 20$	需要借助保险绳施工
中低风险	5 级	浅绿色	$5 \geq P_2 > 2$	$20 \geq \bar{S}_2 > 10$	相对安全, 可以此选择施工行进线路
低风险	6 级	蓝色	$2 \geq P_1 \geq 0$	$10 \geq \bar{S}_1 \geq 0$	平坦区, 适用于直升机临时起降、投放点选址等

2.3. 施工模块划分技术

施工模块划分技术是基于地形风险分级模型, 衍生出的一套适用于高难山地采集施工的应用技术。主要以极高风险为界, 按照减少断崖攀爬、设备搬迁及渡河频次, 缩短搬迁路程, 保证每个施工模块至少有一个直升机起降点或一条可通行的道路等原则, 进行施工模块划分, 从而达到降低搬迁及行进风险的目的。在本技术形成以前, 采集施工各工序按照炮线号和检波线号分组施工。如图 5 所示, 技术形成

前, 完成该 U 型山体区采集作业需要穿越断崖 6 次。本技术形成后, 以极高风险为界, 按照模块施工, 可以完全避免穿越断崖, 实现施工风险的源头规避。

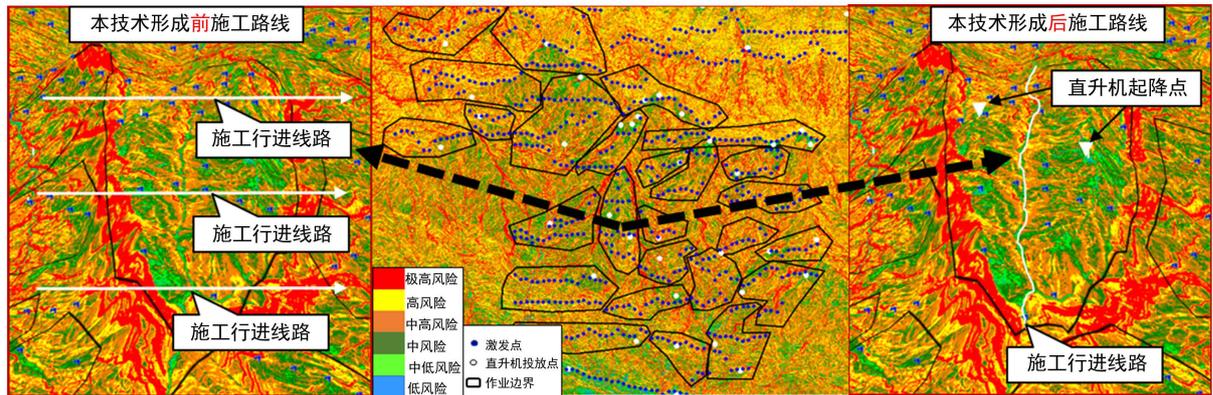


Figure 5. Division of construction operation modules in typical high-difficult mountain area
图 5. 典型高难山体区钻井工序施工作业模块划分

3. 应用效果

3.1. 工区概况

某线束地震勘探位于帕米尔高原, 属昆仑山与天山夹持地带, 西高东低, 中部克孜勒苏河两岸山势陡峭, 地形条件十分恶劣(如图 6 所示)。

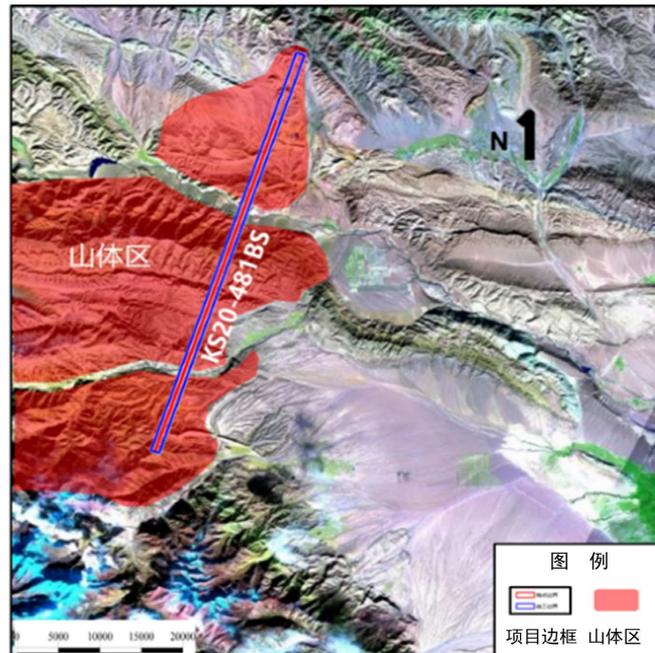


Figure 6. Schematic diagram of mountain area
图 6. 山体区示意图

炮井范围内, 南部山体区海拔达到 3600 米, 山体区跨度 15.3 Km, 中部山体区海拔达到 3400 米, 山体区跨度 17.2 Km, 是典型的高难山地地形(如图 7 所示)。



Figure 7. Geomorphology map of the work area
图 7. 工区地貌图

3.2. 施工模块划分

3.2.1. 基于规避渡河风险的模块划分

测线横穿两条湍急的河流，分别为克孜勒苏河和膘尔托阔依河。其中，苏河最大河面宽 118 m，水深 15 m 左右；膘河最大河面宽 12 m，水深 15 m 左右。根据本次施工采用的接收设备为节点仪，结合工期恰为季节性洪水期的特点，以河为界进行模块划分。如图 8 所示，分 A、B、C 三段施工，物理点不入河，人员、装备不渡河，从源头规避施工中的渡河风险。

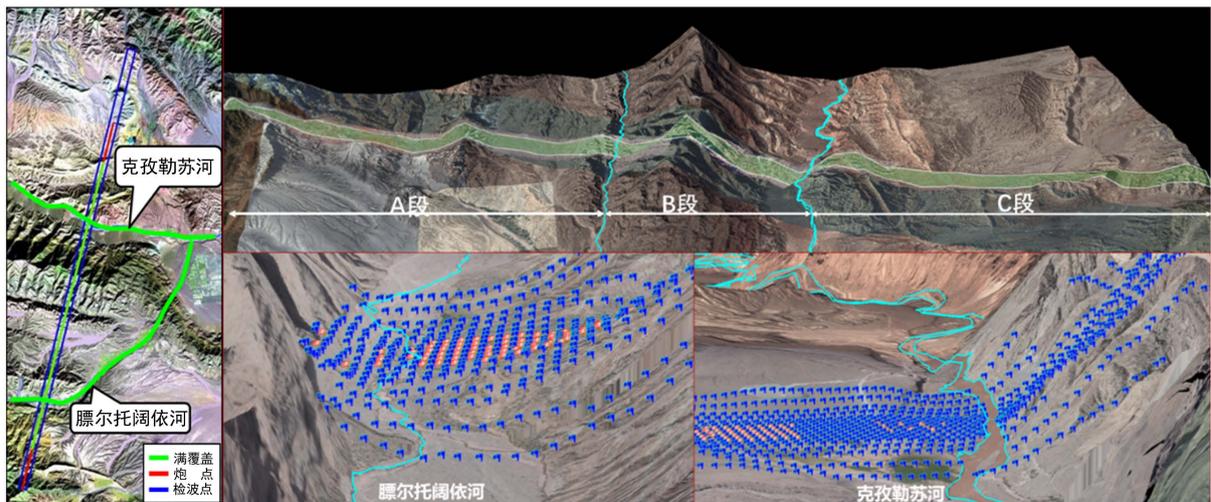


Figure 8. Construction module division diagram based on avoiding the risk of crossing the river
图 8. 基于规避渡河风险的施工模块划分图

3.2.2. 基于降低地形风险的模块划分

测线中部、南部山体高陡，有五段高风险地形，是风险管控的重点。在这 5 个高风险地形区进行精细模块划分，按模块施工。图 9 为测线南部一段高风险区的精细模块划分，保证在每个模块至少有一个直升机起降点。其中 9 号模块两侧为绝壁，但可以规划一条可通行的道路，在没有直升机支撑的情况下，同样可以实现安全施工(如图 10)。

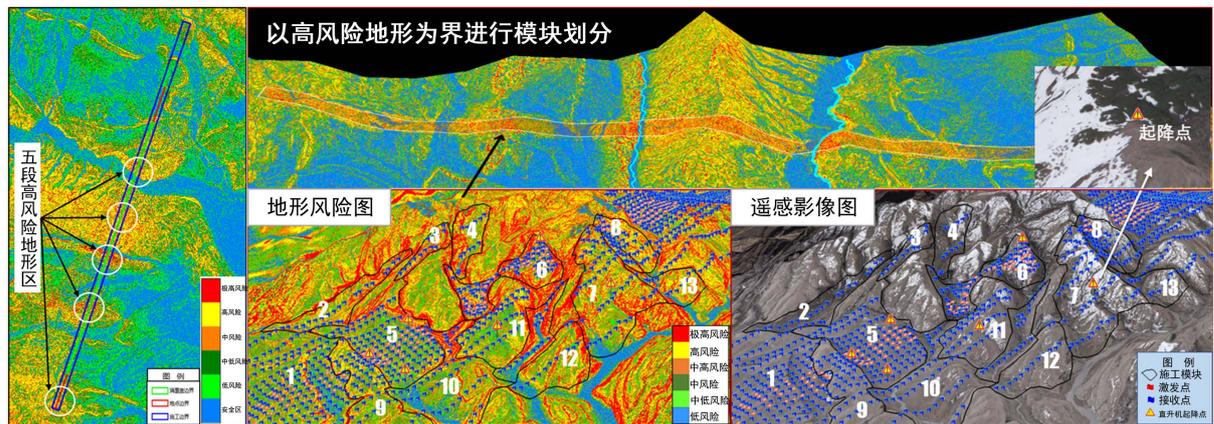


Figure 9. Module division diagram based on reducing terrain risk (partial)

图 9. 基于降低地形风险的模块划分图(局部)

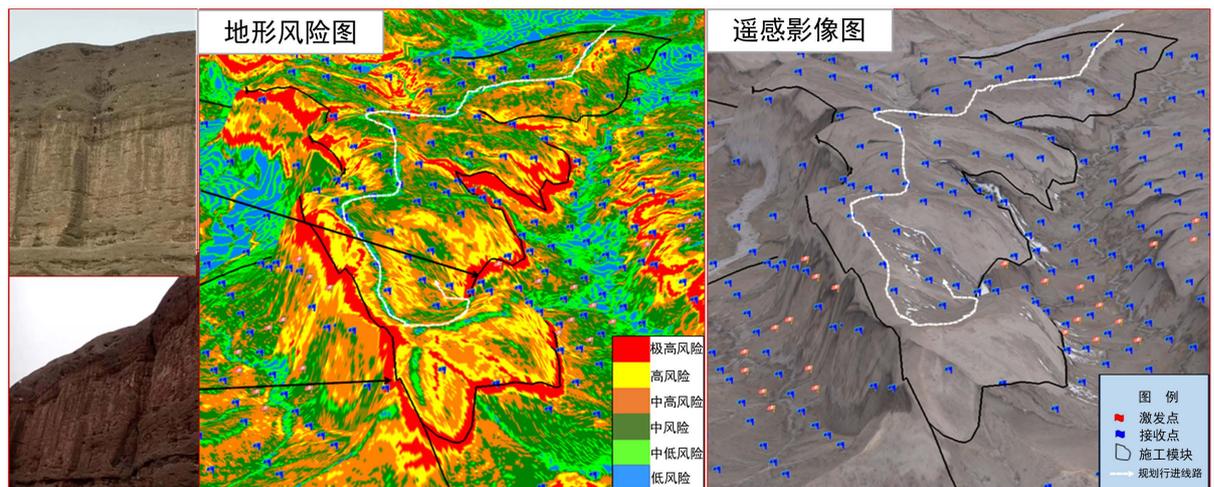


Figure 10. Single module diagram based on reducing terrain risk

图 10. 基于降低地形风险的单模块图

利用施工模块划分技术，在高难山体区划分了 46 个施工模块，安全高效的完成了 2301 个激发点和 10,207 个接收点的测量、埋置、激发工作。高难山体区高风险点位降低了 67%、施工效率提高了 32%、降低了近百万施工成本。

4. 结论

本文总结了一套塔里木盆地复杂山地地震勘探中，运用施工模块划分来降低施工风险的应用技术。

1) 提出了针对塔里木盆地复杂山地的地形风险分级方案，为安全、高效完成山地勘探项目探索了一条有效途径。

2) 结合工区实际情况，通过对塔里木盆地某线束地震勘探进行规避渡河风险和降低地形风险的施工模块划分实例，展示了施工模块划分技术能够有效地降低高难山地施工风险，保证员工生命安全。

参考文献

- [1] 李建忠, 郑民, 郭秋麟, 等. 第四次油气资源评价[M]. 北京: 石油工业出版社, 2019.
- [2] 高艺伟, 白昊睿, 高举红. 基于 DEM 的陕南地区地形地貌研究[J]. 科技风, 2021(5): 132-135.

- [3] LIU, X.-J. (2002) On the Accuracy of the Algorithms for Interpreting Grid-Based Digital Terrain Model. Wuhan University, Wuhan. (In Chinese)
- [4] 刘学军, 龚健雅, 周启鸣, 等. 基于 DEM 坡度坡向算法精度的分析研究[J]. 测绘学报, 2004, 33(3): 258-263.
- [5] 李粉玲, 李京忠, 张琦翔. DEM 提取坡度·坡向算法的对比研究[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(17): 7355-7357.
- [6] 涂汉明, 刘振东. 中国地势起伏度研究[J]. 测绘学报, 1991, 20(4): 311-319.
- [7] 蒋好忱, 杨勤科. 基于 DEM 的地形起伏度算法的比较研究[J]. 水土保持通报, 2014(6): 162-166.
- [8] 隋刚, 郝兵元, 彭林. 利用高程标准差表达地形起伏程度的数据分析[J]. 太原理工大学学报, 2010(4): 381-384, 401.