

三维(3D)地震观测系统可视化教学研究

杨双安, 云美厚, 李晓斌, 赵秋芳, 冯 磊

河南理工大学资环学院, 河南 焦作
Email: yangshuangan@126.com

收稿日期: 2021年3月25日; 录用日期: 2021年5月28日; 发布日期: 2021年6月7日

摘 要

石油、天然气及煤炭资源依然是支持国民经济发展的能源支柱。3D地震勘探技术是寻找能源的主要手段, 大学本科选修这门专业基础课程尤为重要, 学懂并掌握地震勘探观测系统设计及工程布置图制作是地震勘探数据采集、处理和解释的基石, 本文将教学与生产案例相结合, 将复杂的3D地震勘探教学进行可视化处理, 学起来轻松理解、易于掌握。

关键词

3D观测系统, 3D工程布置, 可视化

Research on Visualization Teaching of Three-Dimensional (3D) Seismic Observation System

Shuang'an Yang, Meihou Yun, Xiaobin Li, Qiufang Zhao, Lei Feng

School of Resources and Environment, Henan Polytechnic University, Jiaozuo Henan
Email: yangshuangan@126.com

Received: Mar. 25th, 2021; accepted: May 28th, 2021; published: Jun. 7th, 2021

Abstract

Oil, natural gas and coal resources are still the energy pillar to support the development of national economy. 3D seismic exploration technology is the main means to search for energy, so it is particularly important for undergraduate students to take this basic course. It is the cornerstone of seismic data acquisition, processing and interpretation to learn and master seismic observation system design and engineering layout drawing. This paper combines teaching with production

cases, and visualizes the complex 3D seismic exploration teaching, making it easy to understand and grasp.

Keywords

3D Observation System, 3D Engineering Layout, Visualization

Copyright © 2021 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

3D 地震勘探课程是各个物探专业高校本科生计划课程的重要组成部分, 3D 地震勘探的内容广泛, 主要包括野外数据采集、处理和解释三部分。一个科学而严谨的 3D 地震观测系统不仅能取得信噪比高、优势波明显的有效信息, 而且可以提高施工效率、达到事半功倍的效果, 所以说 3D 地震观测系统设计和工程布置图制作就成为本科教学的重点[1] [2]。传统的教材或课件, 多数是以图片的形式说明一个问题, 有时很抽象, 难以理解。本文将复杂的地震勘探教学进行可视化处理, 使授课教师的教学轻松自如。

2. 3D 地震观测系统设计架构

3D 地震观测系统分为两大类: 面积观测系统与线性观测系统, 其中线性观测系统又分为三类, 十种观测方式。这里以束状线性观测系统为例介绍其设计原理及制作过程。线性束状观测系统平面图, 是纵向和横向两个方向观测系统设计的综合成果, 下面介绍观测系统参数设计、纵向观测系统, 并用图解横向观测系统的制作过程及两束线的关系和移动的方式。

1) 观测系统参数设计

观测系统参数一般是根据地质任务要求及勘探区目的层埋深来确定的(假设以煤炭 3D 勘探设计为主)。

目前, 勘探任务都要求 CDP 网格为 5 米_纵 × 10 米_横, 叠加次数为 6_纵 × 4_横 = 24 次, 设勘探目的层为 500 米, 由此可以设计计算出以下采集参数:

① 线距的确定: CDP 网格为 5 米_纵 × 10 米_横可知沿检波线方向反射点间隔 CDP = 5 米, 则检波线上道距为 2 × 5 米 = 10 米, 线距为 2~6 倍, 常用 4 × 10 米 = 40 米; 垂直检波线方向 CDP = 10 米, 则指炮线间距为 10 米 × 2 = 20 米。

② 观测系统的确定: 叠加次数为 6_纵 × 4_横 = 24 次, 横向叠加次数 4 次(有几种类型符合要求), 本次选用采用 8 线 8 炮类型观测系统加以讲解; 纵向叠加次数 n = 6 次, 由炮间移动道数公式 $r = N/2n = N/2 \times 6 = N/12$ 和最大跑间距 \approx 目的层埋深可知, N = 48 道满足以上条件且 $r = 48/12 = 4$ 道, 即炮线上炮间距为 $r \times 10 \text{ m} = 40$ 米。激发方式的选择一般是下倾激发。

2) 纵向观测系统

纵向观测系统与 2D 观测系统原理一样, 都是依据地震勘探原理观测系统的基本算法。依据已知参数可知, 一个排列 48 道、炮检距 40 米, 假设纵向偏移距为 0 米, 采用综合平面图法, 即沿测线标出若干激发点和第一条排列的检波点。将检波点投影到过炮点的 45 度斜线上, 然后标出最小偏移距和最大偏移距, 过任一交点向下作垂线, 垂线相交的炮线条数, 就是该 CDP 点的叠加次数。由此可以计算出满 6 次的反射点距检波线起点为 200 米, 以后每增加一排炮可以增加 40 米宽度的满 6 次覆盖的宽度, 依次可

以设计出一束线的长度[3]。这部分内容大家比较熟悉这里不再累述。

3) 横向观测系统设计可视化案例

无论是纵向观测系统，还是横向观测系统，以及工程布置图的制作过程在授课时都是动态式的展布演示，下面仅就技术难点，即横向观测系统的实现过程可视化图予以介绍：

① 第一束线横向观测系统的制作，在测线起点位置沿垂直于测线方向画一条水平直线，首先，将一束中的检波线和炮线投影到水平线上做出标记，分别把检波线和炮线的投影点看作是观测系统中的检波点和炮点；其次，每激发一炮，过炮点向两侧画 45 度斜线，把检波点投影到 45 度斜线上，其交点用圈表示，画完一束线的 8 炮后，过任意交点作垂线，垂线上有几个交点就是几次叠加，通过画出横向观测系统，计算出横向满覆盖次数 4 次的宽度为 95 米(如图 1 所示)。

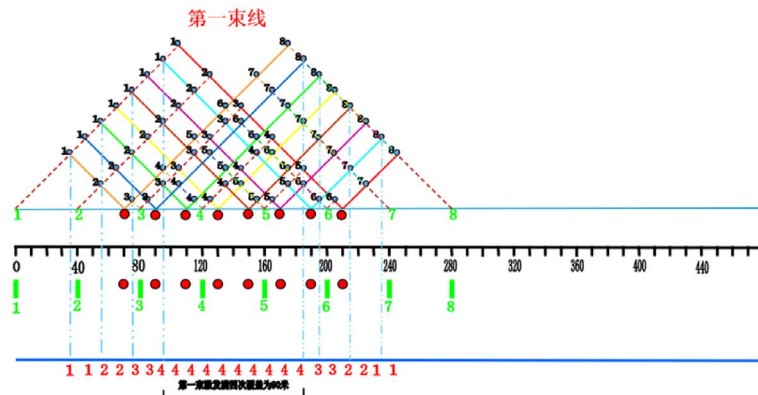


Figure 1. Lateral observation system diagram of the first beam
图 1. 第一束线横向观测系统图

② 第二束线横向观测系统的制作，观测系统设计要遵循勘探区反射面元内覆盖数均匀、炮检距是一个完整的三角形和方位角均匀分布的原则[4]；在画第二束线时，通过实验发现只有线束之间需要重复 4 条检波线，炮线不重复的情况下才能满足横向覆盖次数均匀的要求，所以画出重复的 4 条检波线，依据第一束线制作步骤再画第二束线的横向观测系统，这样可以看到第一、二束线横向满 4 次覆盖的范围宽度达到 250 米，也就是说每增加一束线横向覆盖次数可增加 155 米，大大地增加覆盖次数的宽度(如图 2 所示)。

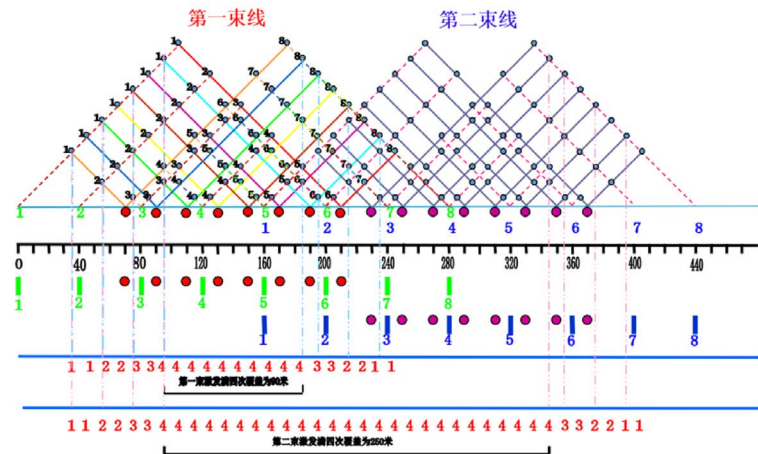


Figure 2. Transverse observation system diagrams of the first and second beam lines
图 2. 第一、二束线横向观测系统图

通过横向观测系统的制作，应该注意到纵向观测系统与横向观测系统制作过程中的差异，纵向观测系统综合平面图示法中计算覆盖次数时，是过交点作垂线，垂线交几条炮线就说明地下界面上的覆盖次数是几次，比如本设计中纵向最大覆盖次数是 6 次；而横向观测系统综合平面图示法中计算覆盖次数时，是过交点作垂线，垂线遇到几个交点圈就是说明地下界面上覆盖次数有几次，比如本设计中横向最大覆盖次数是 4 次。

4) 3D 地震观测系统图

3D 地震观测系统设计的目的是为寻找满 24 次覆盖次数的起始点位置，以便于计算并满足在勘探区域内达到地质任务要求满覆盖次数的面积，同时，也是计算勘探区外增加的不满覆盖次的区域与测线涉及到的施工区域的面积。

将纵向和横向观测系统同时完成就是三维地震勘探观测系统，纵向 6 次和横向 4 次形成的区域就达到了满 24 次覆盖(如图 3 所示)。

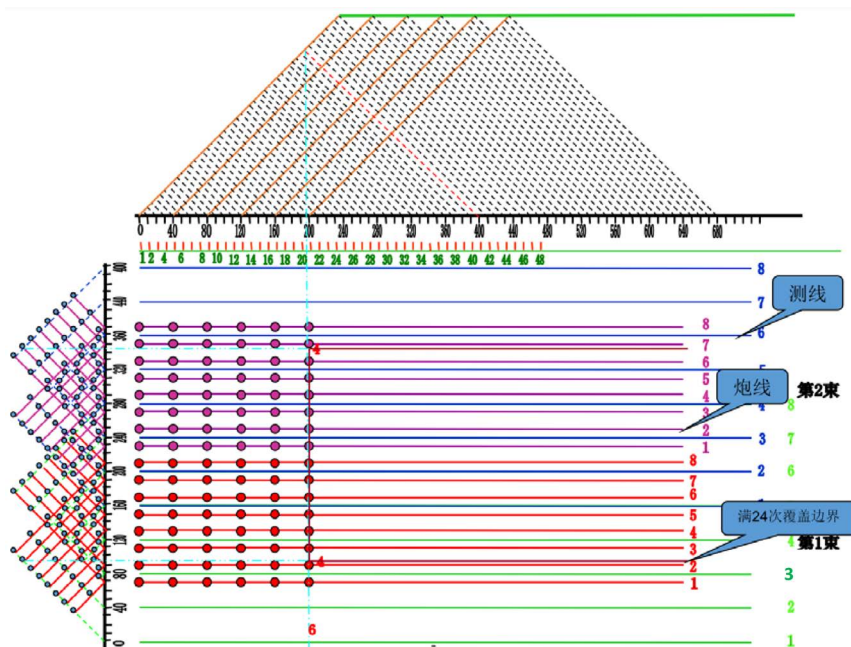


Figure 3. 3D seismic observation system
图 3. 3D 地震观测系统

3. 3D 工程布置图设计制作

通过 3D 地震观测系统纵向和横向观测系统的设计学习，现根据以上参数对勘探面积为 1 Km² 正方形区域设计制作 3D 地震工程布置图并计算满 24 次覆盖次数、施工面积及其工作量(物理点即炮点数)。一般 3D 地震工程布置图的制作是在相对坐标系来完成，X 轴方向为检波线走向，也是垂直构造或地层走向的方向，Y 轴方向垂直检波线方向(正北向) [5]。下面介绍工程布置图的制作步骤及参数的计算。

① 一束线的工作量，由 3D 地震观测系统可知，一束线是有 8 条检波线和 8 条炮线组成的，横向上一排 8 炮依次由小线号到大线号激发完成后才可在纵向上移动(滚动)到相距 40 米的下一排炮，8 条检波线依次(滚动)移动 8 道(即 40 米)，再有纵向观测系统可知勘探边界开始完成 6 排炮才能达到 6 次覆盖，勘探区内 1 km 还需激发 25 排炮才能完成区域内满 24 次的覆盖次数，故一束线的炮点(物理点)为：8 (炮/排) × {6 + 25} (排) = 248 炮。

② 一平方公里的工作量, 由 3D 地震观测系统可知, 横向观测系统确定了横向满覆盖次数 4 次的宽度, 第一束线横向满 4 次宽度为 90 米, 一束线设计完成后, 由横向观测系统可知线束向上滚动可以增加满覆盖次数 4 次的宽度 160 米, 1Km 的宽度需要完成 7 束线, 由此可知横向 1 Km 控制的满 4 次的宽度为: $90(\text{米/束}) \times 1(\text{束}) + 160(\text{米/束}) \times 6(\text{束}) = 1050(\text{米})$; 由此可知, 7 束线总计设计炮点(物理点)为: $7(\text{束}) \times 248(\text{炮/束}) = 1736(\text{炮})$, 也就是说采用 8 线 8 炮束状线性观测系统完成 1 Km^2 3D 地震勘探需要完成地震的工作量物理点为 1736 (炮)。

3D 地震勘探工程布置图的制作就是根据 3D 观测系统设计原理使纵向上达到 6 次和横向上达到 4 次就是实现了 24 次满覆盖次数观测的目的。学好 3D 地震观测系统设计就能轻松、快速做出 3D 地震勘探工程布置图来。

③ 勘探面积及施工面积, 本次设计勘探面积为正方形 1 Km^2 区域, 共设计 7 束线, 横向满 4 次覆盖次数宽度为: 1050 米; 纵向满 6 次覆盖次数长度为: 1035 米; 那么实际设计的满 24 次满覆盖次数的面积为: $1.050(\text{Km}) \times 1.035(\text{Km}) = 1.087(\text{Km}^2)$, 达到并超过勘探面积。设计时要想勘探区达到满 24 次覆盖次数, 勘探区外增加了附加测线段, 每竖线的测线长度为: $\{6 + 25\} \text{排} \times 40(\text{米/排}) + \{48 - 1\} \times 10(\text{米}) = 1670(\text{米})$; 横向上测线宽度为: $280(\text{米}) + 6(\text{束}) \times 160(\text{米/每束增加}) = 1240(\text{米})$; 则施工面积为: $1.67(\text{Km}) \times 1.24(\text{Km}) = 2.07(\text{Km}^2)$ 。由此可见, 实际设计的满覆盖次数的面积大于勘探面积, 施工面积是勘探面积的两倍。

4. 结语

本文通过过程讲解及图片展示课程实践教学可视化, 结合实例介绍了 3D 地震观测系统和工程布置图设计制作程序、工程量、勘探面积及施工面积的计算方法, 化抽象为具体, 使学生更容易理解掌握。

总之, 可视化教学使学生不仅能够轻松理解抽象的知识, 对培养学生的动手能力和创新能力也有着重要意义。

基金项目

河南理工大学 2019 年课程教学改革项目(2019JG085)。

参考文献

- [1] 杨双安. 如何提高工程物探教学质量与市场高效应用[J]. 新教育时代, 2019, 42(11): 215.
- [2] 云美厚. 整合教学在“应用地球物理学”课程教学中的应用[J]. 煤炭高等教育, 2013, 31(2): 113-116.
- [3] 杨双安, 云美厚, 赵俊晨. 地震勘探教学中观测系统设计模式思考[J]. 创新教育研究, 2017, 5(5): 421-424.
- [4] 张胜业, 潘玉玲. 应用地球物理学原理[M]. 北京: 中国地质大学出版社, 2004: 57-68.
- [5] 杨双安. 基于“卓越计划”的煤田地震勘探教育模式[J]. 大学教育, 2015(8): 146-147.