

· 软件开发与应用 ·

# 基于关系数据库的通用地震数据模型研究和设计

孟恩\*<sup>①</sup> 孟东岳<sup>①</sup> 王洪伟<sup>②</sup> 赵广涛<sup>②</sup>

(①中国地质大学(北京)地球科学与资源学院,北京 100083;②中国海洋大学海底科学与探测技术教育部重点实验室,山东青岛 266100)

孟恩,孟东岳,王洪伟,赵广涛. 基于关系数据库的通用地震数据模型研究和设计. 石油地球物理勘探, 2009, 44(5):642~647

**摘要** 地震数据是油气勘探和开发的重要数据资源,如何组织和访问地震数据成为各种地震软件研究的重点。本文在分析地震数据结构及当前地震数据的组织和访问方式的基础上,结合关系数据库理论和对象关系映射理论,形成了基于关系数据库的通用地震数据模型,重点解决了以何种方式存储地震数据实现地震数据共享、如何有利于后续发展以及如何快速访问水平切片数据等3个问题。实例测试表明,直接从切片表中提取水平切片数据比从地震道中提取要快千倍以上,体现出建立关系型地震数据库模型在一定程度上提高了地震数据的使用效率和共享性。

**关键词** 关系数据库 地震数据 对象关系映射 关系数据库设计

## 1 引言

地震数据是进行地质构造解释、油气勘探开发等工作的基础资料,也是各种地震解释软件的主要研究对象。地震数据文件格式复杂多变,是一种典型的非结构化数据,各种地震软件一般都提供专门的模块实现地震数据的加载<sup>[1]</sup>;同时,地震数据的一个突出特点就是数据量大,是一种海量数据,特别是随着地震勘探技术的发展,地震数据作为海量数据所面临的问题——访问速度问题,越来越受到各种地震软件的关注。因此,如何组织地震数据、如何实现地震数据的高效访问成为地震软件开发工作中的技术难点之一。

地震数据最基本的存储格式就是 SEG-Y 格式,地震数据是以道为单位存储在磁介质上。其他的地震数据存储格式一般都是在 SEG-Y 格式的基础上演变来的。

如今,在地震解释软件或反演软件中,一般有两种地震数据的格式组织和访问方式:一种是直接以

SEG-Y 格式为数据源,通过补零的方式将变道长的地震数据转换为固定道长的数据格式,然后再对任意地震道数据实现随机访问<sup>[1]</sup>;另一种是读取 SEG-Y 格式文件中所有地震道数据,重新组织地震数据,按在用软件要求的数据格式存储(如 Landmark 的 GeoGraphix Discovery、斯伦贝谢的 GeoFrame 等),即通过在用软件本身的访问技术实现对数据的访问。这两种地震数据的组织和访问方式各有其特点。前者是访问时需要将地震数据进行重构,例如访问任意测线剖面 and 水平切片,就需要从原始数据源中找到相应的数据,重新排列,因而效率不高;后者由于数据提前按需求进行了组织,因而在提取任意测线剖面或水平切片方面效率很高。一般说来,中小企业对这些地震软件的不菲的价格难以承受,即使对于一些大型企业也很难实现每个地震解释人员在微机平台上共享地震数据,在网络上实现地震数据共享就更难。

这两种方式都存在一个共同的特点:地震数据没有通用的存储方式,每次使用地震数据都需要改变地震数据的格式。如此导致的结果是:改变格式

\* 北京市学院路中国地质大学(北京)地球科学与资源学院,100083  
本文于 2008 年 3 月 8 日收到,修改稿于 2009 年 6 月 7 日收到。

后的地震数据只能被特定的软件访问,降低了地震数据的通用性,造成了数据资源的浪费。

针对上述问题,本文在研究地震数据存储格式的基础上,形成了一种新的组织地震数据格式和访问方式——基于关系数据库的地震数据模型,本模型在提高地震数据通用性的同时也保证了地震数据的使用效率。

## 2 地震数据模型研究与设计

### 2.1 常规地震数据结构分析

在实际生产中,野外获得的地震数据是以测线为单位,按照工区进行组织的,是不能直接用于地震解释的。本文涉及的地震数据是指经过处理后的地震成果数据体,地震成果数据体由工区数据、测线数据、道数据三部分组成,具体的数据结构见图 1。

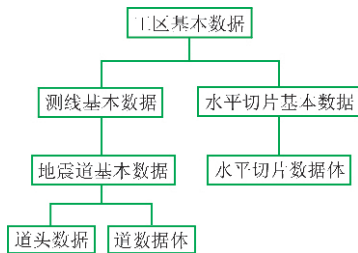


图 1 地震数据库结构示意图

工区数据由多条测线数据组成,测线数据由多个道数据组成,每个道数据又是由道头数据和道数据体组成,道头数据和道数据体是一一对应的关系。道数据体是地震数据的主体,是一种二进制数据,是各种地震剖面、切片等的“数据源”。如切片数据,它就是根据地震解释的需要由道数据衍生出来的。道头记录了道数据的道号和所属的测线号等信息。

### 2.2 关系数据库设计思路

鉴于关系数据库是当前主流的数据存储技术,而且具有存储效率高的特点。笔者通过对关系数据库存储技术的研究发现,应用关系数据库存储地震数据能很好地体现数据间的相互关系,应用的关键在于如何在关系数据库中组织地震数据,提高水平切片的访问速度。

#### 2.2.1 关系数据库理论<sup>[2]</sup>

关系数据库是在集合代数理论基础上,将业务实体和实体关系抽象为关系模型,并以二维表的形式存储于数据库中,再通过数学方法操作数据的存

储系统。关系数据库在设计时,要满足数据规范化的基本思想,逐步消除关系数据库中数据依赖的不合适部分(即满足“一事一地”的模式设计原则),使关系数据库中的各种数据关系达到某种程度的“分离”,即达到:

(1)第一范式 当一个实体类型不包含重复的数据组;

(2)第二范式 当一个实体类型满足第一范式,并且其所有非键值属性全部依赖其主键;

(3)第三范式 当一个实体类型满足第二范式,并且其所有属性都直接依赖其主键。

在数据库设计时,应当尽量减少数据冗余,保证数据的完整性;同时,要合理地组织数据,以满足查询要求。

#### 2.2.2 对象关系映射理论

关系数据库是面向关系的,而对地震数据的访问采用的是面向对象的方式。因此面向关系技术和面向对象技术之间存在着映射匹配问题,即在数据访问时,难以运用面向对象的思想,来提高系统的可扩展性及灵活性。

对象关系映射(Object-Relation Mapping,简称 ORM)解决了面向对象和面向关系之间的“阻抗不匹配”问题,并实现了将业务逻辑类的数据对象自动持久化到关系数据库中的目的。面向对象是基于软件工程原则的,涉及到对象的继承、封装、多态等理论;面向关系是基于数学原则的,主要解决数据的持久化存储问题。ORM 技术解决了对象和关系数据之间的转化问题。

##### 2.2.2.1 对象关系<sup>[3]</sup>

对象之间的关系包括三种类型:

(1)一对一关系 即一个对象只能对应一个对象;

(2)一对多关系 一个对象对应多个对象,即包含关系;

(3)多对多关系 两个对象之间具有相互包含关系,即一个对象 A 可以包含多个对象 B,或一个对象 B 也可以包含多个对象 A。

##### 2.2.2.2 数据访问对象<sup>[3]</sup>

数据访问对象封装了业务对象所需要的数据访问逻辑;通过操作数据访问对象可实现对数据的访问。

### 2.2.3 现有地震数据组织和访问技术分析

使用比较广泛、技术比较成熟的地震数据访问技术是直接基于 SEG-Y 格式的访问技术。

在标准的 SEG-Y 格式数据中,地震数据以测线(主测线)为单位组织,地震道沿测线依次递增排列。由于每条测线包含的地震道的数量可能不同,导致道数据在 SEG-Y 格式中的存储位置是不规律的。因此在地震数据访问时,先对 SEG-Y 格式数据进行顺序扫描,建立一个包含测线位置、道数据的偏移量和文件位置的随机索引文件。在访问道数据时,先读取索引文件,根据偏移量的正负确定该道是否存在,若存在则根据偏移量从 SEG-Y 格式数据的相应位置读取道数据。

根据地震数据在标准 SEG-Y 格式数据中的组织方式可知,道数据沿测线方向是顺序存储的;而沿联络测线方向、任意方向和水平切片方向的数据是不连续存储的,在访问这些方向的数据时就需要遍历整个 SEG-Y 格式数据,从而导致访问主测线数据、访问联络测线数据和访问任意测线数据的速度依次降低。

访问水平切片数据过程比访问各种测线数据的过程更为复杂,需要遍历整个工区的地震道,从地震道中抽取数据组成水平切片数据。复杂的数据访问过程必然影响数据的访问速度。同时,在实际工作中,由于解释人员的水平、经验不同,往往需要通过多组剖面、水平切片的对比、综合分析,才能获得正确解释结论,致使频繁地遍历 SEG-Y 格式数据,这在一定程度上也影响了地震数据的利用效率。

虽然国外已出现了以关系数据库管理地震数据的方式,如斯伦贝谢的 GeoFrame,它是用 Oracle 来管理地震数据的,但是由于经济、政治以及技术保密等原因,其关键技术不可能对我们开放。我们需要研究具有自主知识产权的地震数据组织和访问技术。

通过上面的分析,对任意方向和水平切片的数据访问效率不高的主要原因是地震数据的组织方式不合理造成的。需要考虑一种新的数据组织和访问方式来管理地震数据,此种新方式关键解决了以下三个方面的问题:

(1)地震数据的存储介质要保证地震数据实现高度共享 关系数据库是一个很不错的选择,通过关系数据库技术和网络技术相结合可以有效地

实现数据共享;

(2)数据访问层和业务逻辑层相分离 通过这样的措施即可解决面向关系技术和面向对象技术之间的不匹配问题,从而有效地支持后续相关地震数据管理和解释软件的开发;

(3)地震数据访问的效率要高,尤其要实现对水平切片的高效访问 这需要在数据库设计过程中,在满足数据规范性的同时,又要兼顾访问效率,不能以牺牲效率为代价来实现数据的规范性。

### 2.2.4 数据对象方案

关系数据库是一种通用的、而且技术十分成熟的数据存储技术,并且有许多数据库企业长期对其提供的技术支持。因此,本文采用关系数据库来实现对地震数据进行存储与管理,同时为了方便软件开发,采用 ORM 技术来实现领域对象(图 2)与关系数据之间的映射,当对象关系建立起来后,开发人员就可以通过操纵对象,达到操作数据库中关系数据的目的。

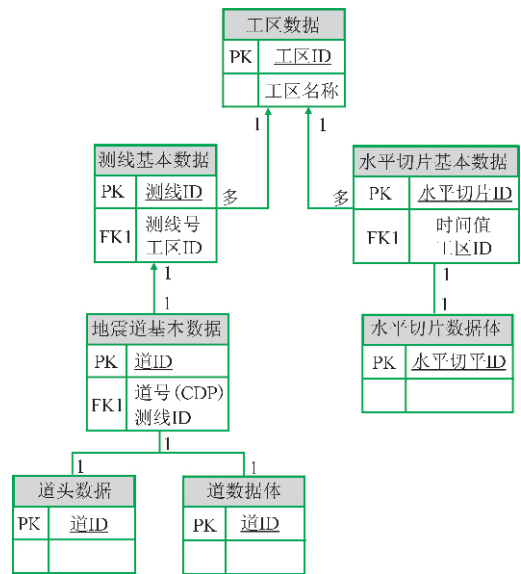


图 2 地震数据对象关系示意图

PK 意为为主键;FK 意为为外键

本文采用数据访问对象来访问地震数据。数据访问对象封装了业务对象所需要的数据访问逻辑。数据访问对象和业务对象相互独立,数据访问对象只需实现对数据的访问,不用去关注如何组织业务逻辑;同样,业务对象只需要实现业务逻辑规则的组织,不用去关注如何存储、操作数据。在后续应用程序开发过程中,开发人员只需要去关注数据访问对象,而不必去考虑数据存取的问题,这样

可以提高程序的开发效率。

### 2.2.5 数据存储方案

#### 2.2.5.1 水平切片表设计

使用关系数据库组织地震数据的主要目的是提高水平切片的访问速度。水平切片是地下不同层位的地震属性信息在同一时刻的综合反映,是地震解释中不可或缺的资料。水平切片是根据地震解释的需要从地震道中抽取数据生成的。若每次生成水平切片都要重复抽取数据的过程,必然降低地震数据的使用效率,不利于数据共享。

因此本文在设计地震数据库时,采用了两种方式组织地震数据:一是按照地震道组织地震数据,形成基础地震数据表,可以实现主测线剖面、联络测线剖面和任意测线剖面等的显示;二是按照采样时间来组织地震数据,形成衍生的水平切片数据表,用于生成水平切片。

水平切片数据表采用了冗余设计。一般情况下,数据库的设计应尽量减少数据冗余,以利于数据完整性的维护,减少存储资源的浪费。任何事物都应该辩证地去看,例如:减少数据冗余虽然降低了存储资源的浪费,但它往往是以降低数据访问速度为代价;但对于注重数据访问速度、以查询为主的数据库(如地震数据库),这是不可取的。因此,在地震数据库的设计过程中,在保证数据完整性的前提下,采用了冗余设计,设计了专门存储水平切片数据表。该表包括采样时间和水平切片数据体两个字段,由道数据表中抽取相同采样时间的地震数据组成。

以关系数据库组织地震数据的方式,产生了两种新的水平切片数据的访问方式。一种是基于道数据表的方式,另一种是基于水平切片表的方式。

基于道数据表与基于 SEG-Y 格式数据访问水平切片数据的过程相似,都需要对地震道和采样点值定位,但是前者的数据访问速度要比后者快,此种差异在多工区联合解释时体现得尤为明显。基于道数据表的方式,所有道数据都存储在一个表中,生成水平切片数据时只需要对一个表操作即可;而基于 SEG-Y 格式数据的方式,多个工区的数据保存在不同的 SEG-Y 格式数据文件中,生成水平切片数据时需要在不同文件之间切换,这将严重地影响水平切片数据的生成速度。

基于水平切片表的访问方式,不像基于道数据

表和 SEG-Y 格式数据的访问方式那样繁琐,此方式是一种“一步到位”的数据访问方式,通过采样时间值可以直接由水平切片表中提取水平切片数据,比基于道数据表和 SEG-Y 格式数据的访问方式效率更高。

因此从表面上看来,地震数据库的设计虽然产生了冗余(道数据表和水平切片表的存储数据重复),浪费了存储资源,但实质上提高了地震数据的访问速度,增强了在网络上共享地震数据的可能性。

#### 2.2.5.2 数据库性能优化

影响数据表查询速度的因素是多种多样的,除了数据表的记录数量以外,还包括数据表所占的物理空间。当数据量较小时,在查询速度方面没有明显的差异。但是若数据表中存在 Blob (Binary Large Object) 字段,将导致此表所占物理空间急剧增加。保守计算:若一条记录平均占 10k 空间(Blob 字段占 8k),则十万条记录就占 1G 空间,一百万条记录就占 10G 空间。

对于海量地震数据,达到此数量级轻而易举。在如此数量级的数据表上执行 CRUD(Create、Read、Update 和 Delete)操作时将会很慢,极大影响数据访问的效率。当然通过提高计算机的硬件性能和优化索引,虽能在一定程度上改善数据访问速度,但这不是万全之策。解决此问题的有效途径是用一个数据表专门存储 Blob 字段。如此处理 Blob 字段,也为通过数据库的部署来提高数据库的性能奠定了基础。因此本文基于上述因素组织了地震数据,将地震数据体单独提取出来构建了道数据表。

在设计表结构时,考虑字段是否设置得合理,是否会影响数据的访问速度。因此在设计数据表时,要将经常一起使用的字段放在同一个表中。水平切片数据是根据采样时间、采样间隔和采样点数确定所需采样点值在道数据中的位置,而后抽取采样点值获得的,并且需要遍历整个工区的道数据。本文将采样间隔和采样点数设置在道数据表中,避免了在生成水平切片数据时频繁地从不同数据表中调用数据,提高了数据访问性能。

## 3 应用实例

为了测试此地震数据模型的可行性和性能,专门开发了一个地震数据管理程序。下面是此程序的

一组管理界面(图3~图6)。此应用程序实现了SEG-Y格式数据的解编、数据入库、基本数据查询、工区范围的确定和水平数据的提取等功能。

在“地震数据管理”的“Segy文件头”选项卡(图3)中,单击“解编Segy”,根据解编出来的SEG-Y格式文件头的内容,填写施工单位、施工日期、参考坐标系等项目,然后单击入库,则这些信息就都录入到地震数据库的Workspace表。根据图3和图4

所显示的工区范围、工区投影坐标系等信息,可以绘制工区,实现工区导航。

当用户输入一个采样时间时,程序先将其与最大采样时间进行比较,如果大于最大采样时间,则提示用户输入错误;反之则开始提取水平切片数据(图5)。在提取过程中,程序先检索水平切片表中是否已经存在此采样时间对应的水平切片数据,如果已存在,则直接提取;如果不存在,则首先生成水



图3 工区数据录入界面

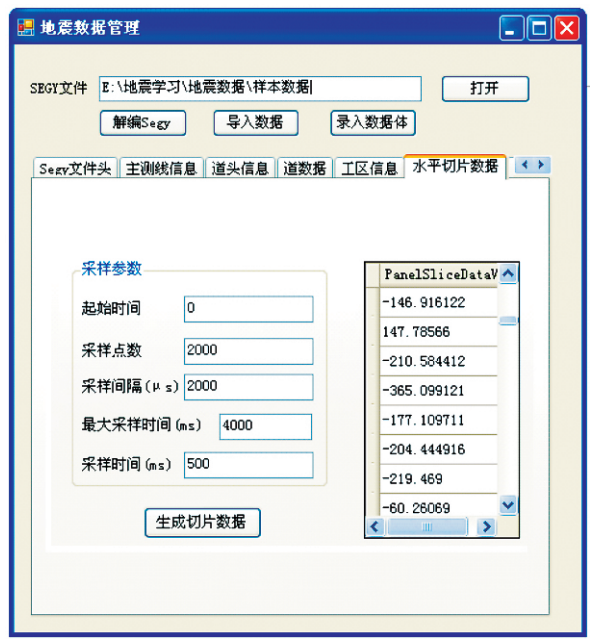


图5 水平切片数据查询界面

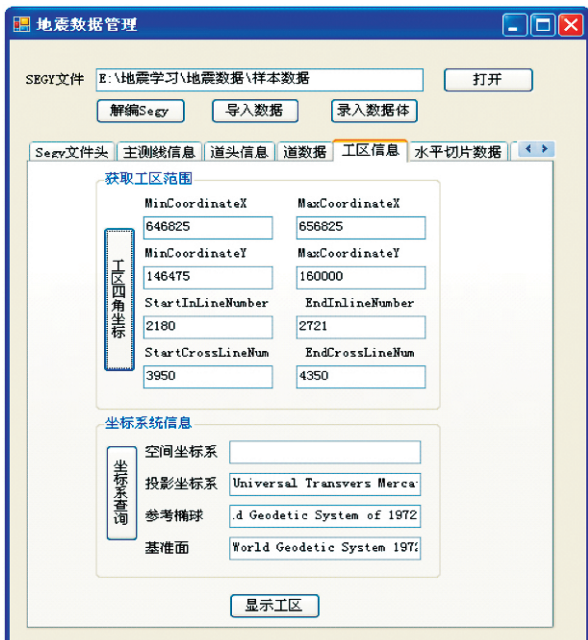


图4 工区信息界面

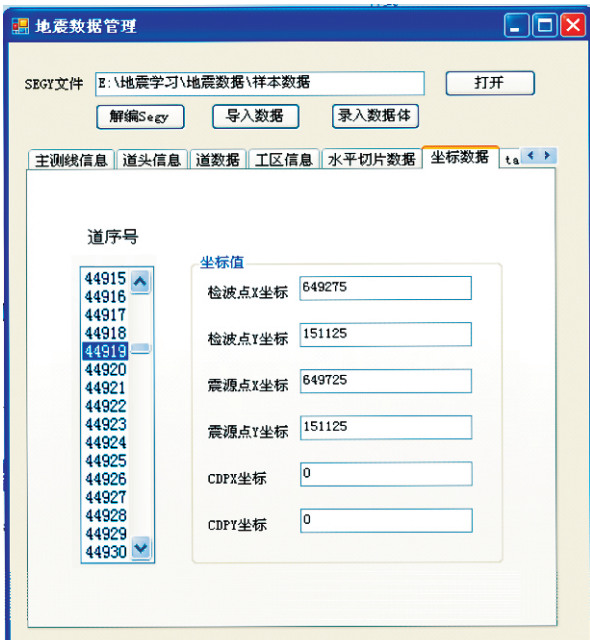


图6 坐标数据界面

平切片数据体,将其存入水平切片表,然后再提取。我们可以通过图 6 知道每一道地震数据的具体地理位置,可以更好地结合当地的地质环境和地理环境特点进行地震解释。

本文设计此地震数据模型的主要目的是,通过改变地震数据的组织方式来提高地震数据的访问效率,特别是对水平切片数据的访问速度。因此,我们比较了提取水平切片数据的两种方法的速度:一种方法是直接从道数据体中提取水平切片数据;另一

种方法是预先将水平切片数据体存入设计好的切片表中,然后直接从切片表里提取数据。由于从 SEG-Y 格式文件中提取水平切片的技术思路相似,只是具体的实施方式不同,因此本文没有再单独去做试验,只记录了一次时间:475325.125ms。表 1 是这两种方式提取水平切片数据速度的对比。

此测试环境为:CPU 是双核;主频是 1.86GHz;内存是 2G;WindowsXP 系统。SEG-Y 格式数据体大小为 1.66G,约有 20 万道数据,采样间隔为 2ms。

表 1 水平切片数据提取速度对比表

切片时间 ms	切片数据库 时间/ms	从各道提取切片数据的 时间/ms		从切片数据表提取切片 数据的时间/ms	
		第一次	第二次	第一次	第二次
125	89484.375	117937.5	103375	125	125
250	144203.625	125437.5	100453.125	15.625	15.625
500	88281.25	117984.375	96890.625	15.625	15.625
700	88484.375	108750	97671.975	15.625	15.625
800	86250	99218.75	97375	15.625	15.625
1000	87921.875	95546.875	95468.75	15.625	31.25
1500	89437.5	90531.25	96000	15.625	15.625
2000	88593.75	97687.5	95515.625	15.625	15.625
2500	88875	96078.125	98078.125	15.625	15.625
3000	88218.75	98953.125	96062.5	15.625	15.625
3500	88250	87062.5	97046.875	31.25	15.625
4000	89000	101734.375	95265.625	15.625	15.625
平均值	98083.375	103076.823	97433.594	27.344	26.042

根据表 1,我们可以直观地看出:直接从切片表中提取水平切片数据比从地震道中提取要快千倍以上(平均速度大约差 3755.5 倍),而且资源占有量小。以上测试表明,使用关系数据库管理地震数据的优越性是非常明显的。

## 4 结束语

在分析地震数据结构特点、研究当前地震数据组织和访问技术状况的基础上,提出了基于关系数据库组织地震数据的、利于 ORM 技术实现对地震数据访问的地震数据模型。此模型重点解决了以何种方式存储地震数据才能实现其共享、如何利于后

续开发以及如何快速访问水平切片数据这三个问题。随着地震勘探技术的不断发展,地震数据量不断增加,以上地震数据模型在实现地震数据共享和高效使用方面的作用将会越来越显著,从而为油气勘探开发和地质构造解释提供更加便利条件。

## 参 考 文 献

- [1] 马承杰. 地震数据访问技术研究. 石油工业计算机应用, 2005, 13(4): 5~7
- [2] 萨师焯, 王珊. 数据库系统概论(第二版). 北京: 高等教育出版社, 1995
- [3] Scott W Ambler. Agile Database Techniques. 北京: 机械工业出版社, 2006

(本文编辑:任敦占)

· 编者 作者 读者 ·

## 作者须知

(《石油地球物理勘探》编辑部)

《石油地球物理勘探》杂志是一份面向国内外公开发行的科技期刊,她于1992年、1997年蝉联全国优秀科技期刊一等奖;1999年荣获首届国家期刊奖;2001年进入中国期刊方阵,获“双高期刊”称号;2003年、2005年蝉联第二届和第三届国家期刊奖百种重点期刊;2008年被评为中国精品科技期刊。目前本刊已成为国内外多种著名文献检索数据库的收录源刊,包括被EI Compendex收录。

继续办好本刊,为我国石油工业的可持续发展战略服务,是本刊编者、作者、读者义不容辞的职责。现根据本刊办刊宗旨和相关的国家标准,对作者来稿提出如下要求。

### 录用原则

(1) 论文题材必须是下列内容之一:

- 有关石油物探的基础理论研究新成果;
- 石油物探的新方法;
- 物探资料综合解释的新经验;
- 物探仪器及装备的研制和改进;
- 油田地球物理勘探史例;
- 对物探新技术的评述和发展方向的预测;
- 地球物理软件的开发与应用。

本刊尤其欢迎各种物探应用新技术和新理论研究的广泛题材,也热忱欢迎那些对有关文献或某项新技术的评论和发展方向的预测。

(2) 所投文章必须是未被其他媒体正式发表的文稿(不包括在各类学术会议上宣讲的论文)。

(3) 所投文章必须按本刊规定的科技论文格式和要求书写。本刊只接受在线投稿,网址为 <http://www.ogp-cn.com.cn>,要求文件格式必须为 Word 文档,如有特殊符号可同时附带 pdf 文档(字号不小于 5 号,行距不小于 5mm,公式布局合理,用外文符号的大、小写,正、斜体,黑、白体,上、下角一定要清楚、规范)。

(4) 文章标题、摘要、关键词要译成英文,并使用规范词,作者所属单位和通讯地址也要译成英文。

(5) 文章的附图必须是文中需要特别说明的部分。凡是能用一幅典型图件来说明多种意思的,就不要采用一图一意的表示方式。图件要清晰,标注要清楚。图件要求用通用软件制作,不接受手工绘制的图件。由于本刊已采用全彩印,彩色和黑白图件均可。

符合上述要求的稿件,所需修改的时间可能缩短,因而可能被优先审查录用。作者在投稿成功后可随时在网上查询稿件动态,若三个月内未收到编辑部的回复,可以自行处理。

凡是向本刊投稿者均需同时支付审稿费;凡是被录用的文章,本刊将根据印刷页面数酌收发表费。

### 论文格式及要求

一篇科技论文大体上由题名、摘要、关键词、引言、正文

(方法、成果)、结论、参考文献及附录等几部分组成。通常作者应尽可能按此顺序与原则来撰写论文。当然,如遇特殊情况也可灵活掌握。

### 题名

题名是短语而不是句子,它是用准确而简洁的词语反映文章主要内容的逻辑组合,同时要符合编制题录、索引和检索的有关原则,要做到确切、中肯、简练、醒目。题名一般不宜超过 20 个字,特殊情况可添加副标题。

### 摘要

摘要是论文的重要组成部分。除短文外,每篇论文都要有 200~400 字的中文摘要。摘要是一篇完整的短文,可以独立使用、引用和推广。摘要应是论文精髓的浓缩与集中,而不是所讨论文题的简单陈述,或文中各级标题的堆砌。摘要要求完整、准确和简练,说明论文的目的、方法、成果和结论,一般不加注释和评论。通常摘要分为报道性、指示性和复合性三类。报道性摘要适用范围广泛,是应用地球物理学类论文的主要使用类型。指示性摘要一般适用于以数学推演为主的论文,着重写出解决问题的思路和结论。复合性摘要(报道性和指示性)主要适用于新方法论证的论文。摘要中通常不出现公式、表格和插图。

关键词是便于读者查找文献而采用的反映文章主题内容信息款目的单词或术语。通常每篇文章选取 3~8 个规范词作为关键词。

### 引言

引言可包括研究工作的目的、范围、相关领域前人的工作进展和知识空白以及本研究工作的主要方法和预期结果。引言内容应言简意赅,切勿与摘要雷同,也不要成为摘要的注释,避免公式推导。若研究的对象比较简单,也可直接提出问题,进入正文的叙述。

### 正文

正文是一篇文章的主体部分,占文章的绝大部分篇幅,应包括研究方法、成果和结论等内容。视具体情况,可分列标题叙述,也可合并叙述。文中对研究方法的思路必须有详细的介绍(不含独到方法的关键细节或商业秘密)。涉及繁琐的数学推导可放在附录中,但正文中有关数学公式的概念和所含变量的物理意义必须阐述清楚。

在成果部分中,要精选有意义的数据和资料。既要避免文字冗长和累赘,又要对成果叙述透彻。对于那些少量偏离主要试验的成果,只做概述而不必一一罗列。在图表中出现的细节也不必在文中复述。但是,对以解释效果为主的文章,应力求把图说清楚,而不要只简单的列出图件让读者去猜测。

结论部分应包括所述方法的普遍意义及方法的局限性或存在的问题。在结论中切忌使用模棱两可的语言。

### 参考文献

参考文献是组成整篇论文不可缺少的一部分。文章列

举参考文献,既体现作者对前人劳动成果的尊重,又给读者提供查阅相关文献的依据,同时也为读者展示自己的创意点之所在。现行的参考文献著录体系有顺序编码体系和著者—出版年体系。本刊采用顺序编码体系,即作者在正文中引用文献的内容之后要以右角注的形式标出参考文献的顺序号。

参考文献的种类有很多,如专著、汇编、工具书、报纸、期刊、会议文献、学位论文、科技报告、技术标准、专利文献、产品样本、档案文献、网站等。下面根据国标 7714-87 列举几种常见的著录格式。

- [ 1 ] Borko H, Bernier C L. Indexing concepts and methods. *New York: Academic Pr*, 1978
- [ 2 ] 黄蕴慧. 国际矿物学研究的动向. 见: 程裕淇等编. 世界地质科技发展动向. 北京: 地质出版社, 1982, 38~39
- [ 3 ] World Health Organization. Factors regulating the immune response; report of WHO Scientific Group. *Geneva: WHO*, 1970
- [ 4 ] 张筑生. 微分半动力系统的不变集[硕士学位论文]. 北京: 北京大学数学系, 1983
- [ 5 ] 陶仁骥. 密码学与数学. 自然杂志, 1984, 7(7): 527~532
- [ 6 ] 姚逢昌, 刘雯林, 梁青. 横向预测技术在储层研究中的应用. 石油地球物理勘探, 1991, 26(1): 24~35
- [ 7 ] Cadoret T, Marion D and Zinszner B. The influence of frequency and fluid distribution on acoustic velocities in partially saturated limestones. *Expanded Abstracts of 63rd SEG Internat Mtg*. SEG, 1993, 123~132
- [ 8 ] 赵均宇. 略论辛亥革命前后的章太炎. 光明日报, 1977-03-24(4)
- [ 9 ] Seybolt A U. U S Pat. 3662234, 1971

## 几项具体规定

### 文字

稿件要用白话文体、规范汉字写作, 语句力求精练, 符合汉语语法逻辑, 通顺易懂, 标点符号正确。

### 量和单位

本刊严格执行有关量和单位的国家标准和规定。

量的符号用斜体。为区别不同情况, 可在量的符号的右下方或右上方(尽量少用)用角标作为识别标志。其中: 以表示顺序的字符作为角标时使用斜体, 如  $V_i$ ; 以表示注释字符(包括数字)作为角标时均用正体, 如  $v_p$  表示纵波的速度。若一个量由两个以上符号构成时, 则这个量的各个符号均采用正体密排。

单位的符号采用国际单位符号和我国规定的可以与国际单位并用的法定计量单位符号, 一律用正体小写字母(但来源于人名的单位符号第一个字母使用大写, 容积单位“升”的符号使用“L”)。

当由两个或两个以上的单位相乘而构成组合单位时, 采用点积形式, 如电阻率的单位以  $\Omega \cdot m$  表示。当用单位相除构成组合单位时, 如速度的单位, 可以下列形式之一表示:  $m/s, m \cdot s^{-1}, \frac{m}{s}$ 。

### 符号

符号要按国标和公认的习惯使用。一篇文章中使用的符号要统一, 一种符号原则上只允许表示一个物理量。文中使用的外文字符要分清: 文种; 大、小写; 正、斜体; 黑、白体; 上、下角位置。

三角函数正切、余切、反正切和反余切的符号要用  $\tan, \cot, \arctan, \operatorname{arccot}$ , 不用  $tg, ctg, \operatorname{arctg}, \operatorname{arctctg}$ 。反三角函数一律不用负指数表示, 如反正弦函数不用  $\sin^{-1}x$  表示。

在使用对数函数符号时, 若对数的底数不必指出时, 可用  $\log x$  表示, 但不能用  $\log x$  表示  $\ln x, \lg x, \operatorname{lb}x$ (此三种对数符号分别表示以  $e, 10, 2$  为底的对数)。

矩阵符号采用大黑斜体字母表示, 如矩阵  $A$  与  $B$  的积表示为  $AB$ ; 而矩阵的元素用白斜体小写字母表示, 如  $A = (a_{ij})$ 。矢量以小黑斜体表示。张量也以大黑斜体表示, 为了与矩阵相区别, 张量通常以其分量的通用符号表示, 如二阶张量用  $T_{ij}$  表示。

### 图件

图要精选。不论是手工和机器绘制的墨线图, 要求布局合理、比例适当、大小适中, 线条粗细均匀、主辅线条分明。地震记录或各种形式的剖面图或切片图, 要层次分明、标注清楚。图中标注的字符应与正文中一致, 不能图中标注用符号, 文中用汉字; 反之亦然。

图应具有“自明性”, 即只看图、图例和图题, 不阅读正文, 即可理解图意。

每一幅图都应有图序号和简短确切的图名。

### 表格

表格内容必须与正文的引述隔开。每一张表都应有表序号和简短确切的表名。表中的符号、标记、代码以及有关事项可在表注中加以说明, 表也应有自明性。表格通常采用三线表。当表由多项元素构成, 又难以表明彼此关系时, 可按若干相关原则制成分列表。

### 注释

解释题名、作者及某些特殊内容时, 可用注释, 但不宜过多。能在文内用括号注释的, 尽量不单独列出。不随文列出的注释, 应在需注释的词、词组或句子后面标注上角星号“\*”。一页内有多个注释的, 可用多个上角星号表示。其具体内容应置于该页地脚, 并用正线与正文隔开。

### 附录

附录是正文的补充说明部分, 通常排在参考文献之后。附录应有序号和简短确切的题名, 如附录 A、附录 B 等。附录中的图、表、公式等另行编序号, 与正文分开, 也一律以阿拉伯数字编序, 但在数字前冠以附录序号, 如图 A-1, 式 B-2, 表 B-3 等。

### 本刊网站地址

关于作者投稿详情及编辑部的最新动态, 请登陆网站 <http://www.ogp-cn.com.cn>。



## 作者介绍

- 刘仁武** 高级工程师,1971年生;1994年毕业于西南石油学院物探专业;目前在东方地球物理公司海上勘探事业部从事滩浅海过渡带地震勘探采集技术与方法研究。
- 王忠仁** 教授,1954年生;1982年毕业于长春地质学院基础科学系数学专业,1990年获该院数学地质专业硕士学位,1996年获该院应用地球物理专业博士学位;现在吉林大学仪器科学与电气工程学院地球信息探测仪器教育部重点实验室从事地球物理探测方法与信号处理等领域的科研与教学工作。
- 马继涛** 讲师,1983年生;2009年毕业于中国石油大学(北京)地质资源与地质工程专业,获博士学位;现在中国石油大学(北京)从事地震数据处理领域的科研与教学工作。
- 郑静静** 1983年生;2002年毕业于中国石油大学(华东)地球物理探测与信息技术专业,2008年进入该校攻读博士学位;主要从事地震属性的提取、储层预测方面的研究。
- 王艳香** 1980年生;2004年毕业于中国石油大学(华东)地球物理探测与信息技术专业,获学士学位,2007年于该校获硕士学位;现在中国石油勘探开发研究院西北分院从事地震资料处理研究工作,发表论文多篇。
- 杨玉杰** 1983年生;2006年7月毕业于中国石油大学(华东)计算机科学与技术专业,获学士学位,2006年9月至今,在中国石油大学(华东)攻读地球探测与信息技术专业硕士学位,主要从事地质统计学克里格方法的研究。
- 范桃园** 副研究员,1971年生;1994年毕业于石油大学(华东)石油地质专业,获学士学位;2001年毕业于中国科学院研究生院地球物理专业,获博士学位;现在中国地质科学院地质力学研究所从事地震、地球动力学等领域的研究工作。
- 井西利** 教授,博士生导师,1964年生;1988年毕业于大庆石油学院石油地球物理勘查专业,获学士学位,1993年毕业于哈尔滨工业大学应用数学专业,获硕士学位;2001年毕业于中国科学院地质与地球物理研究所地球物理学专业,获博士学位;现在燕山大学从事地震波传播理论及计算方法研究工作。
- 孙哲** 1982年生;2009年毕业于中国石油大学(北京)地球探测与信息技术专业,获硕士学位;毕业后一直在东方地球物理公司采集技术支持部从事地震资料采集工作。
- 张军华** 教授,1965年生;1987年毕业于华东石油学院物探专业,获学士学位,1995年毕业于石油大学应用地球物理专业,获硕士学位,2002年毕业于石油大学(华东)地球探测与信息技术专业,获博士学位。长期从事地震资料处理和解释方法研究。编著有《地震数据处理方法》、《地震属性分析技术》等专著。曾在国内外公开刊物上发表论文50篇。
- 王娟** 高级工程师,博士,1963年生;现为大庆油田公司油气藏评价部副经理,主要从事油气藏评价与开发的综合研究及管理工作。
- 张学芳** 工程师,1982年生;现为中国海洋大学海洋地球科学学院在读硕士研究生,从事地震资料综合研究工作。
- 高彦林** 高级工程师,1966年生;1994年毕业于华中理工大学系统工程专业,获工学硕士学位;现在东方地球物理公司物探技术研究中心从事地震采集工程软件系统研发工作。
- 陈海清** 高级工程师,1964年生;1983年毕业于石油物探学校地震解释专业,1991年获石油大学函授学院勘查地球物理专业学士学位;一直在东方地球物理公司研究院地质研究中心从事地震资料解释及综合研究工作。
- 王化质** 高级工程师,1975年生;1993年毕业于大庆石油学院石油地质勘查专业;一直从事油气勘探研究工作,现在中国石油大学(华东)攻读博士学位。
- 陈凯** 讲师,1975年生;1998年毕业于中南工业大学测量工程专业,获工学学士学位,2004年毕业于中南大学地图学与地理信息系统专业,获硕士学位;现为中南大学2007级在读博士研究生,研究方向为GPS信号处理技术及应用。现在浙江交通职业技术学院任教,发表论文多篇,主编、参编国家级规划教材两部,参与国家自然科学基金、浙江省交通厅重点攻关项目多项。
- 张宪国** 1982年生;中国石油大学(华东)在读博士研究生,从事油藏描述、储层地质学及地震沉积学研究。
- 张亚敏** 教授,1958年生;1982年毕业于江汉石油学院物探专业,获学士学位,1993年毕业于西北大学石油与天然气勘探专业,获硕士学位,2003年毕业于中国地质大学(北京)资源普查与勘探专业,获博士学位。先后主持和参与30多项科研课题,获部级科技进步奖4项,发表论文10篇,现在长安大学从事石油勘探与开发的教学与研究工作。
- 蔡剑华** 讲师,1979年生;现为中南大学地球探测与信息技术专业在读博士研究生,主要从事电磁法勘探及信号处理研究。
- 狄邦让** 教授,硕士生导师,1961年生;主要从事地震采集、地震物理模型和地球物理仪器的研究工作,完成了中国石油天然气集团公司基础性研究项目和国际合作项目多项,获国家科技进步二等奖2项,省部级科技进步一等奖3项、二等奖2项,授权发明专利4项,发表论文30余篇。现在中国石油大学(北京)从事教学和科研管理工作。
- 李录明** 教授,博士生导师,1952年生;1978年毕业于成都地质学院石油物探专业;现在成都理工大学地球物理与信息技术学院从事教学及研究工作,主要研究方向为:多波多分量地震资料处理及解释方法、复杂地表及复杂地下速度建模及成像方法、现代信号非线性处理方法;曾出版专著、教材三部,发表论文多篇,获多项国家级、省(部)级科技进步奖。
- 杜增利** 博士,1969年生;1991年毕业于大庆石油学院石油地球物理勘探专业,2007年6月毕业于成都理工大学矿产普查与勘探专业,获博士学位。长期从事地震资料处理、解释与方法研究工作,现在川庆钻探工程有限公司地球物理勘探公司博士后流动站从事科研工作。
- 孟恩** 高级工程师,1964年生;1985年毕业于青岛海洋学院地球科学系,获学士学位;目前在中国地质大学做博士后研究工作,主要从事石油地质及信息科学研究。