



[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 94190691.4

[45]授权公告日 1998 年 10 月 21 日

[11] 授权公告号 CN 1040364C

[22]申请日 94.9.19 [24]颁证日 98.7.17

[21]申请号 94190691.4

[30]优先权

[32]93.9.21 [33]FR[31]93 / 11313

[73]专利权人 法国石油研究所

地址 法国鲁埃耶-麻尔梅森

[72]发明人 弗里德里克·富尼埃

卡罗利娜·约瑟夫

[74]专利代理机构 上海专利商标事务所

代理人 孙敬国

[56]参考文献

US4,293,309 1981.10.6 G01N33 / 24

US4,817,062 1989.3.28 G01V1 / 00

US4,926,394 1990.5.15 G01V1 / 28

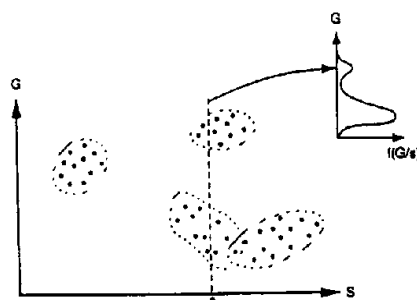
审查员 杨永康

权利要求书 3 页 说明书 10 页 附图页数 11 页

[54]发明名称 采用统计校准技术导出地质特性的地震记录曲线分析方法

[57]摘要

一种用于地下构造的方法，该方法通过在构造油井 (W_1-W_k) 中取岩芯或测井获取地质数据，通过如 3D 型反射勘探装置获取地震数据。本方法基于一种具有统计关系的统计校准技术，统计关系是通过将地质数据 (井中测得) 和读取地震记录曲线 (RW_1-RW_k) 上的地震特征汇集在一起得到的，记录曲线是从每一井的直接邻井中获得的。获得的经验关系可运用于油田所有地震记录曲线，从而导出相关地质特征，其优点是地震勘探空间范围更小。本方法可用于石油田。



权利要求书

1.一种根据在构造中的一口或几口井内进行测量或分析得到的地质资料以及根据通过构造地震勘探得到的一组地震记录曲线预测某一地下构造(F)的地质参数的方法,该地震记录曲线包括一组在所述油井的最邻近的井中得到的记录曲线,在某一深度的地下构造处,在地震记录曲线上划出一分析区间,所述分析区间对应于构造的结构,在所述分析区间中,地震记录曲线部分由一组 P 个特征给出其特征,从已有所述地质资料导出一定个数 q 的地质参数,并形成一校准分布,所述分布由一些点组成,所述点使与所述记录曲线组中的地震记录曲线相连系的 p 个特征与 q 个地质参数相关联,其特征不在于,所述方法中,

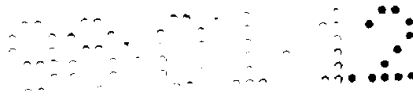
通过寻找相对于所述分布的多变量密度函数的一个近似,对 $p+q$ 维空间中点和分布进行统计校准,从而在所述地质参数和所述地震特征之间建立起一经验关系,以及

所述关系运用到所述记录曲线组的地震记录曲线上,而不是应用到所述记录曲线组上,从而预测与所述其他记录曲线的地震特征有关的 q 个相应地质参数,以及关于预测地质参数的不确定性。

2.如权利要求 1 所述的方法,其特征不在于,所述地质参数的预测由所述参数的估算组成。

3.如权利要求 1 所述的方法,其特征不在于,所述地质参数的预测由为表述不确定性而对所述参数所作的模拟组成。

4.如权利要求 1 所述的方法,其特征不在于,所述统计校准包含通过对属于概率定律的判定族的多变量概率密度取有限和而对校准分布的多变量概率密度函数之最佳近似作出的判定,以及将所述



近似用于校准目的。

5.如权利要求4所述的方法，其特征在於，选择一族高斯定律来判定所述最佳近似。

6.如权利要求1至5中任何一个权利要求中所述的方法，其特征在於，所述构造是一个含有石油的油层，所述分析区间是通过在所述记录曲线上拾取所述油层的顶和底来划分。

7.如权利要求1至5中任何一个权利要求中所述的方法，其特征在於，所述地震特征是从所述那组地震记录曲线的每一部分之振幅获得的。

8.如权利要求1至5中任何一个权利要求中所述的方法，其特征在於，所述地震特征是从分析信号的振幅得到的。

9.如权利要求1至5中任何一个权利要求中所述的方法，其特征在於，所述地震特征是通过判定所述部分的记录曲线的振幅谱而得到的。

10.如权利要求1至5中任何一个权利要求中所述的方法，其特征在於，所述地质参数是通过分析油井中取得的样品而获得的。

11.如权利要求1至5中任何一个权利要求中所述的方法，其特征在於，所述地质参数是通过分析所述油井中装置所记录的测井记录而获得的。

12.如权利要求1至5中任何一个权利要求中所述的方法，其特征在於，所述样品的平均孔隙率取作为一个地质参数。

13.如权利要求1至5中任何一个权利要求中所述的方法，其特征在於，所述方法中采用通过构造的地震勘探而获得的地震记录曲线。

14.如权利要求1至5中任何一个权利要求中所述的方法，其



特征在于，所述方法中采用根据实际油井数据计算的合成地震记录曲线。

15.如权利要求 1 至 5 中任何一个权利要求中所述的方法，其特征在于，所述方法中采用根据合成油井数据计算的合成地震记录曲线。

说明书

采用统计校准技术导出地质特性的 地震记录曲线分析方法

发明领域

本发明涉及一种地震记录曲线分析的方法,该方法用来从该地震记录曲线分析中获取有关油层等地下构造的地质信息。

按照本发明的方法,可以将构造的地震勘探获得的数据与将测量探测器深入到油区几个井孔内测量得到的地质数据汇集在一起。因此,本方法在储层处的地质参数和邻井中获得的地震测量特性之间采用一种统计校准。这一统计校准的主要目的在于在地震特性和井所处的油层地质特性之间建立一个经验关系,这一关系此后应用于远离井的地震记录曲线,从而评价油层的地质特性。

本发明方法的目的在于根据表面地震数据,提高对油井之间油田的认识,通常,油田的空间覆盖密度(spatial coverage density)比油井的空间覆盖密度高得多。

当人们寻找钻井的佳井点时,上述结果可用于油田寿命的初期阶段(评估阶段或开采阶段初期)。在后期,上述结果还可以用来对所研究的代表油层构造的储层模型施加某些限制。

发明背景

用于地震记录曲线的统计校准技术,从而从中获取某一储层地质参数见 Doyen 1988, (Porosity from Seismic Data: A Geostatistical Approach, Geophysics, 53, No. 10, 1263-1275) 以及 Fournier 和 Derain 1992, (Seismic Data Integration in Reservoir Simulations through a Multivariate Statistical Calibration Approach,

62nd Ann. Intern. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, 95-98)的叙述。

使用的校准技术必须能方便地适用于几种地质地震参数(多变量情况),并且还考虑地质参数和地震参数之间可能的非线性关系。这些技术必须不受限于太多的潜在概率假设,还必须提供与校准运算预示值相联系的不定性(uncertainties)证据充分的量化。

然而,地震数据地质校准的已知技术并非总能完成这些目的。

发明概述

考虑到上述要求,本发明的方法可以根据对构造的一个或几个井孔中进行测量或分析得到的地质信息,以及根据一组地震记录曲线,来预测油层等地下构造的地质参数(通过估算或对其不定性进行模拟)。这一组数据是通过对构造进行直接地震勘探得到的,可以由根据对诸如油井中得到的数据计算的合成震记录曲线组成。它特别含有一套记录曲线,这组记录曲线由对油井的最接近的邻井得到的真实记录曲线(邻近记录曲线)组成,或者由同样也与该邻井对应的计算合成记录曲线组成。后文中所指的校准分布(calibration population)是从这组记录曲线中选择出来的。

该方法包含下述步骤:针对地下构造的某一深度,(即构造的几何结构),在地震记录曲线上划定分析区间(时间或深度),在这一分析区间中,这些地震记录曲线部分是由一组 p 个特征给出其特征的;根据所述的已有地质信息(在井中得到)导出 q 个地质参数,并形成一校准分布,该校准分布曲线是由一些与该组记录曲线的地震记录曲线(邻井)有关的 p 个特征及与 q 个地质参数关联在一起的点组成的。

这种方法的特点是:

— 在一个 $(p+q)$ 维空间上对分布的点进行统计校准,方法是对与该分布有关的多变量密度函数(multivariable density function)

寻找一个近似,从而建立起地质参数和地震特征之间的关系,以及

— 这一关系被运用到地震记录曲线上,而不是这组相邻记录曲线(靠近这些井)的地震记录曲线上,从而预测与其他记录曲线(即再离开这些油井一定距离的记录曲线)的地震特征有关的相应 q 个地质参数以及关于所预测的地质参数的不定性。

举例来说,该统计校准包含通过对属于概率定律判定族(determined family)的多变量概率密度取有限和,判定校准分布多变量概率密度函数的最佳近似,并将这一近似用于校准目的。例如,可以选择一族高斯定律(Gaussian laws)来判定该最佳近似。

例如,当该构造是一个含有石油的油层时,可以在这组地震记录曲线上取油层的顶和底来划定分析区间。

例如,地震特征是从该组记录曲线的每一部分地震记录曲线振幅,或者从分析信号的振幅得到的,或者通过判定记录曲线部分的振幅谱而得到的。

例如, q 个地质参数的判定步骤包含对油井中取出样品的分析,或者对置于在井中装置的测井记录进行分析。使用的地震记录曲线可以(正如本例中的情况那样)通过构造的地震勘探来获得,或者从真实或合成的油井数据来合成。

例如,油田某一深度处地质取样的平均孔隙率可被选来作为一个地质参数。

用于校准目的的本发明方法,其优点是能很好地适用于多种情况,可以用来解决地质参数和地震特征之间存在非线性关系的问题。本方法也给出了由于概率密度函数完全未知的不定性的量化。另外,本方法可以是完全非参数的。对于所需计算时间来说,该方法是高效率的,甚至在参数个数以及特征个数较多的情况下更是如此。

附图详述

通过参考附图阅读了后文的说明以后,本方法的其他特征和优

点将变得清楚起来,其中,

图 1 是油井穿过的地下构造示意图,

图 2 示出了校准方法,图中为方便起见,将坐标维数减小到二维,其中, S 和 G 分别表示所考虑的地震特征和地质变量,

图 3 是诸如勘探的构造沙石厚度 T 之类地质参数直方图,并叠加了近似 $\hat{f}(T)$ 的边缘分布及其六个从 1 至 6 标号的高斯成分,

图 4 是测试构造中的沙石厚度 T 、与地震特征 S 的函数关系图,其中, S 是记录曲线振幅的特定线性组合,

图 5A 至 5D 描述的是勘探的四口特定油井构造的某一深度处,沙石厚度 T 的条件分布 $\hat{f}(T/S)$ 其中,地震数据 S 以及用于比较目的的井中测得的实际沙石厚度(图中用虚线表示)为已知,

图 6 描述的是将本方法用于测试的构造而得到的作为实际沙石厚度函数的预测沙石厚度 PT ,其中的点用获得预测厚度 PT 的几率 PR 来编号,

图 7 和 7A 分别用不同比例,描述将本方法用于被测构造而得到的预测沙石厚度分布。

最佳实施例的描述

本发明的统计校准方法可用于通常含有几口油井 $W_1 \cdots W_i \cdots W_j \cdots W_k$ 穿过的地下构造 F (图 1),如含有石油的油层。从该构造中收集反应地质和地震特征的数据。

对构造中取出的样品或者用测井装置深入井内获取的测量值进行分析可以获得有关待判定井构造的一定个数 q 的局部地质参数。例如该参数可以是油层的平均孔隙率、岩相的累积厚度等。

通常采用普通的地震勘探、将地震接收仪 $R_1 \cdots R_i \cdots R_m$ 放置在表面处,并用接收仪进行记录也可以获得一组地震记录曲线。这组数据还可含有根据实际或模拟油井数据计算的合成地震记录曲线,这已为专家们所知。

该方法首先包含对这组记录曲线划分分析区间。可以是时间区间,如果事前将作为时间函数的地震数据变换成作为深度函数的数据的话,也可以是深度区间。例如,可以通过选取记录曲线上感兴趣的区域来确定该分析区间。例如,如果这是一个油层,则选取油层的顶部和底部。

随后,所有分析曲线的特征在该分析区间内是由一定个数 p 的地震特征给出的,这些地震特征举例来说是从每一地震记录曲线的振幅得到的,或者正如众所周知的那样,是从代表记录曲线能量的解析信号振幅得到的,所有分析曲线的特征在该分析区间内或者通过划分记录曲线的振幅谱等方法给出。

一组记录曲线 $RW_1 \cdots RW_i \cdots RW_j \cdots RW_n$, 它或者是穿过构造的该井(或每一油井)的邻井中获得的地震记录曲线,或者是相应于该邻井或模拟邻井的模型合成记录曲线,是从一组已有记录曲线中选择出来的。

随后,该方法包含将从油井中得到的地质参数和一组相邻记录曲线的 $RW_1 \cdots RW_i \cdots RW_n$ 的地震特征汇集在一起,以建立一经验关系。从而用这组与油井有关的记录曲线形成一校准分布,用 q 个地质参数和 p 个地震特征来表示。它可以用要校准的 $(p+q)$ 维多变量空间来表示(图 2)。然后求得多变量密度函数 f 的最佳近似 $\hat{f}$:

$$\hat{f}(G_1 \cdots G_q, S_1 \cdots S_p) f(G_1 \cdots G_q, S_1 \cdots S_p)$$

其中,

G_i = 地质参数 i , “ $i=1 \cdots q$ ”,

S_j = 地震特征 j , “ $j=1 \cdots p$ ”,

f = 校准分布的经验密度。

这一部分给出 p 个地震特征以及 q 个地质参数,从而通过近似密度函数 $\hat{f}$ 和相关条件密度函数 $\hat{f}(G/S)$ 建立起经验关系(图 2)。

通过该校准步骤建立起来的经验关系用来导出与一组根据非相邻井的地震记录曲线计算得到的地震特征值 $S_1=s_1\cdots S_p=s_p$ 相关的地质参数值 $G_1\cdots G_q$ 。这一步骤是通过计算由定义给出的 $(G_1\cdots G_q)$, $S_1=(S_1\cdots S_p)$ 的条件密度函数来进行的:

$$\hat{f}(G_1\cdots G_q/S_1=s_1\cdots S_p=s_p) \\ = \frac{\hat{f}(G_1\cdots G_q, S_1=s_1\cdots S_p=s_p)}{\hat{f}(S_1\cdots S_p=s_p)}$$

随后,可以选择该条件密度函数

$$\hat{f}(G_1\cdots G_q/S_1=s_1\cdots S_p=s_p)$$

的不同特征,如平均值、模(mode)、分位点(quantile)等作为给定地震特征值 $s_1\cdots s_p$ 的地质参数 $(G_1\cdots G_q)$ 的预测。所述值 $(s_1\cdots s_p)$ 的 $(G_1\cdots G_q)$ 分布是完全已知的,与 $(G_1\cdots G_q)$ 的预测值相关的不定性也是可以定量的。

尤其对于专业人员很明显的是,对所述值 $(s_1\cdots s_p)$ 的分布 $(G_1\cdots G_q)$ 使得可以对地震特征给出的地质参数值进行随机抽样,这是给出预测不确定性的另一种方法。

最后可以看出,在如油田等以前已经获得地震数据的构造任一点处,本发明的方法可以导出有关地质参数值以及与这些值相联系的不确定性。因而该方法可以用来对地震信息给出的地质构造进行估算和模拟。

按照一特定实施例,得到的经验密度函数的近似,其形式是与多变量高斯定律(Gaussian Laws)有关的密度组合,细节见如 Royer, 1988, (New Approaches to the Recognition of Anomalies in Exploration Geochemistry, in Quantitative Analysis of Mineral and Energy Resources, Chung et al. Reidel publishing Company, 89—122)的叙述。

本例中,函数 $\hat{f}$ 被表述为密度函数 f_k 的和的形式:

$$\hat{f}(G_1 \cdots G_q, S_1 \cdots S_p) = \sum_{k=1}^K p_k f_k(G_1 \cdots G_q, S_1 \cdots S_p),$$

其中,

G_i = 地质参数 i , “ $i=1 \cdots q$ ”,

S_j = 地震特征 j , “ $j=1 \cdots p$ ”,

f = 校准分布的近似密度,

k = 用高斯分解 (Gaussian Decomposition) 得到的子分布数,

p_k = 子分布 k 的权重, “ $k=1 \cdots K$ ”,

f_k = 子分布 k 的高斯密度, “ $k=1 \cdots K$ ”。

$$f_k(X) = \frac{1}{(2\pi)^{r/2} |\sum_X|^{1/2}} \cdot \exp\left[-\frac{1}{2}(X-\bar{X})' \sum_X^{-1} (X-\bar{X})\right]$$

其中,

$r=p+q$,

X = 地质参数和地震特征的向量 ($X=[X_1, \cdots, X_r]$)

$\bar{X}$ = 子分布的地质参数和地震特征的平均值,

$\sum_X$ = 与子分布 k 相关的方差—变矩阵 (variance—covariance matrix).

本例中,已知 ($S_1=s_1, S_2=s_2, \cdots, S_p=s_p$), ($G_1 \cdots G_q$) 的条件密度函数为:

$$\begin{aligned} & \hat{f}(G_1 \cdots G_q / S_1=s_1 \cdots S_p=s_p) \\ &= \frac{\sum_{k=1}^K p_k f_k(G_1 \cdots G_q, S_1=s_1 \cdots S_p=s_p)}{\sum_{k=1}^K p_k f_k(S_1=s_1 \cdots S_p=s_p)} \\ &= \frac{\sum_{k=1}^K p_k f_k(G_1 \cdots G_q, S_1=s_1 \cdots S_p=s_p)}{\sum_{k=1}^K p_k \left[\int_{g_1} \cdots \int_{g_q} f_k(G_1=g_1 \cdots G_q=g_q, S_1=s_1 \cdots S_p=s_p) dg_q \cdots dg_1 \right]} \end{aligned}$$

经对有约 60 口井开发及密集网格 2D 地表地震勘探覆盖的一个 70 米厚含烃油层的特别试验,本发明的方法是有效的。

开产水平(productive level)与由页岩、无水页岩和微晶白云石类型岩石的堵隔能力(seal level)分离的砂岩、白云石砂岩和多孔石灰石相对应。油层的地球物理特性一个油井与另一油井大不相同;这基本上是由油层岩性性质给出的(高孔隙率砂岩或低孔石灰岩)。

已有油井资料是几口油井中取得的岩心样品、所有油井中取得的测井数据以及按照六种主要岩相将这些测量值组合解释而得到的资料:

- 页岩层,
- 微晶白云石,
- 白云石油层,
- 砂岩油层,
- 多孔石灰岩,
- 无水层。

对不同岩相的空间分布的认识是最重要的,因为它给出油层的石油物理特性。这就是为什么本例研究或举例中每一油井是在油层处,用六种岩相的累积厚度(整个被研究和构造)给出其特征的。这六种参数在本例中是要由地震特征校准的地质参数。

对在油井处获取的时间标度和深度标度之间的调节以后,油层顶部在油田已有的地震资料上取得行距为 500m 的 22 个地震剖面(seismic profile),反射点间距 17m,双向传播时间为 4ms 的取样间隔。

从油层的顶部开始,已经分析了恒定大小(双向时间中为 32ms)的时间间隔或地震时间窗,它对应于产油层系(productive series)处的深度间隔。由此限定的地震记录曲线部分由四个为一组的初始振幅的线性组合来给出其特征,并由此给出用地质参数校准的地震特

征。

选择的校准分布包括与油田不同油井有关的地质数据以及对每口井来说最接近的三个地震记录曲线(如图 1 中的 $RW_1 \cdots RW_n$ 等)。

本发明的方法已被用来预测油井之间“砂岩油层”岩性(lithology)的累积厚度,这是判定油层石油物理特性最感兴趣的参数。校准分布因此被表示成一个 5 维空间(空义为砂岩岩相的厚度和四个地震特征),并由高斯密度函数的积求得多变量密度函数的近似。如图 4 中所示的那样,地质参数和地震特征之间的关系远不是线性的。

校准分布被分成六个高斯种类,这就使校正分布的多变量概率密度可以用下述公式来近似:

$$\hat{f}(X) = \sum_{k=1}^6 p_k f_k(X)$$

$$\text{或 } f_k(X) = \frac{1}{(2\pi)^{5/2} \left| \sum_X \right|^{1/2}} \cdot \exp \left[-\frac{1}{2} (X - \bar{X})' \sum_X^{-1} (X - \bar{X}) \right]$$

从图 3 中可以看出,近似质量是令人满意的。探寻该最佳近似构成校准步骤。

给定地震特征的值,从多变量概率密度的近似表达式可以计算地质参数的密度函数,预测地质参数的分布,地质特征已知。某些油井的相对地震特征的砂岩厚度预测分布见图 5A 至 5D 所示。

预测值的特征由普通统计参数(如分布模式(最可几值)、平均值、四分位等)给出。应该指出的是,对于大多数校准分布的油井来说,预测分布的模式与砂岩厚度的实际值非常接近(见图 6)。因为该分布是完全已知的,与该预定相关的不定性可以用不同的测量方法给出其数值,如标准偏差或四分位间隔。

该校准处理随后被应用到油田中进行 2D 地震勘测结束时得到的整个地震记录曲线上,使油井间构造的砂岩可能厚度可以用密集网格间距绘制出来。图 7 中,估算值针对的是分布模式。该图完善了

仅由油井给出的油层的认识,从而可以在最佳区域(具有高砂岩累计厚度)内建立起新的油井,并且考虑到油田的发展,也提供了油田地质特征的补充描述。

图 1

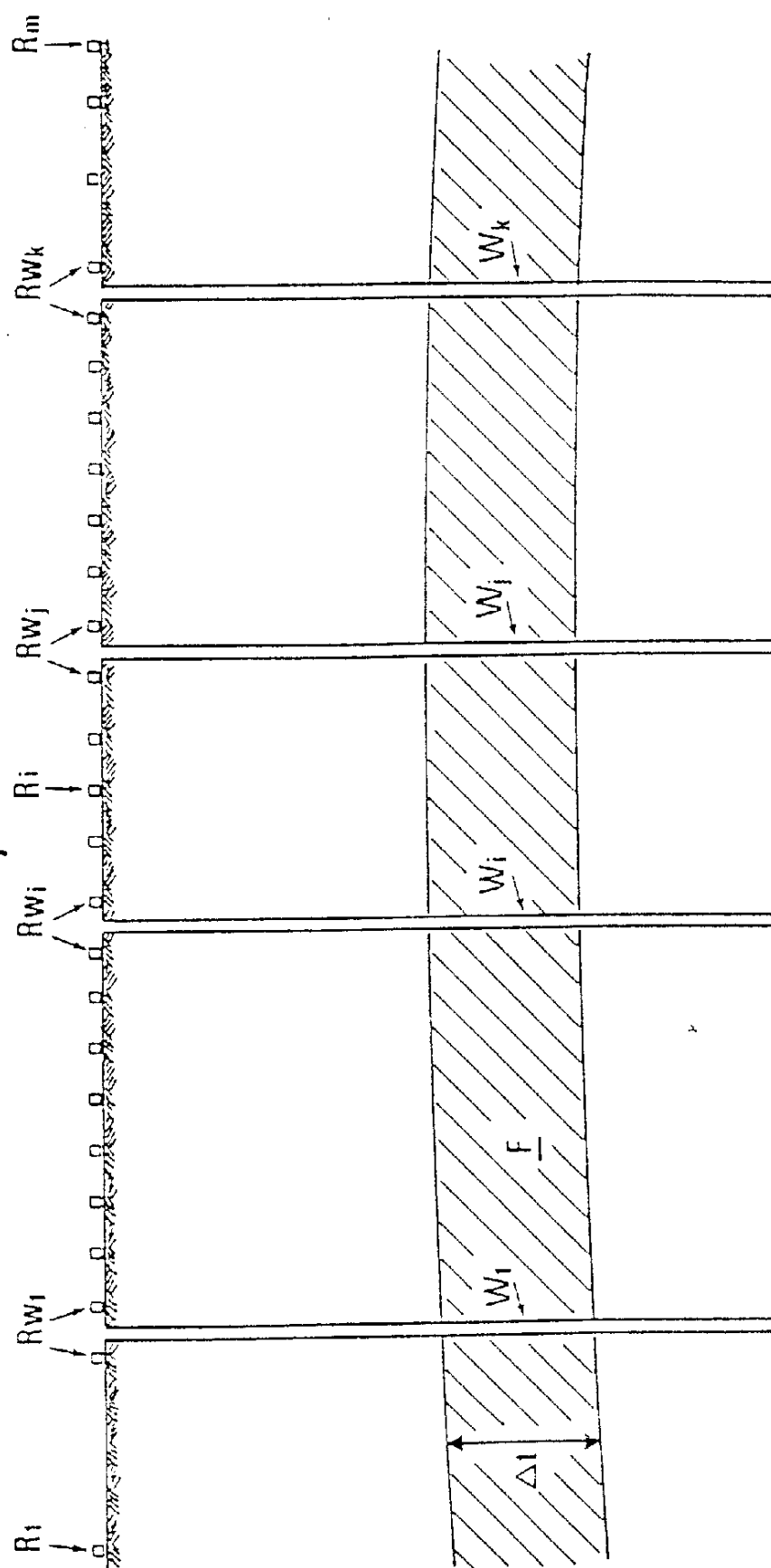


图 2

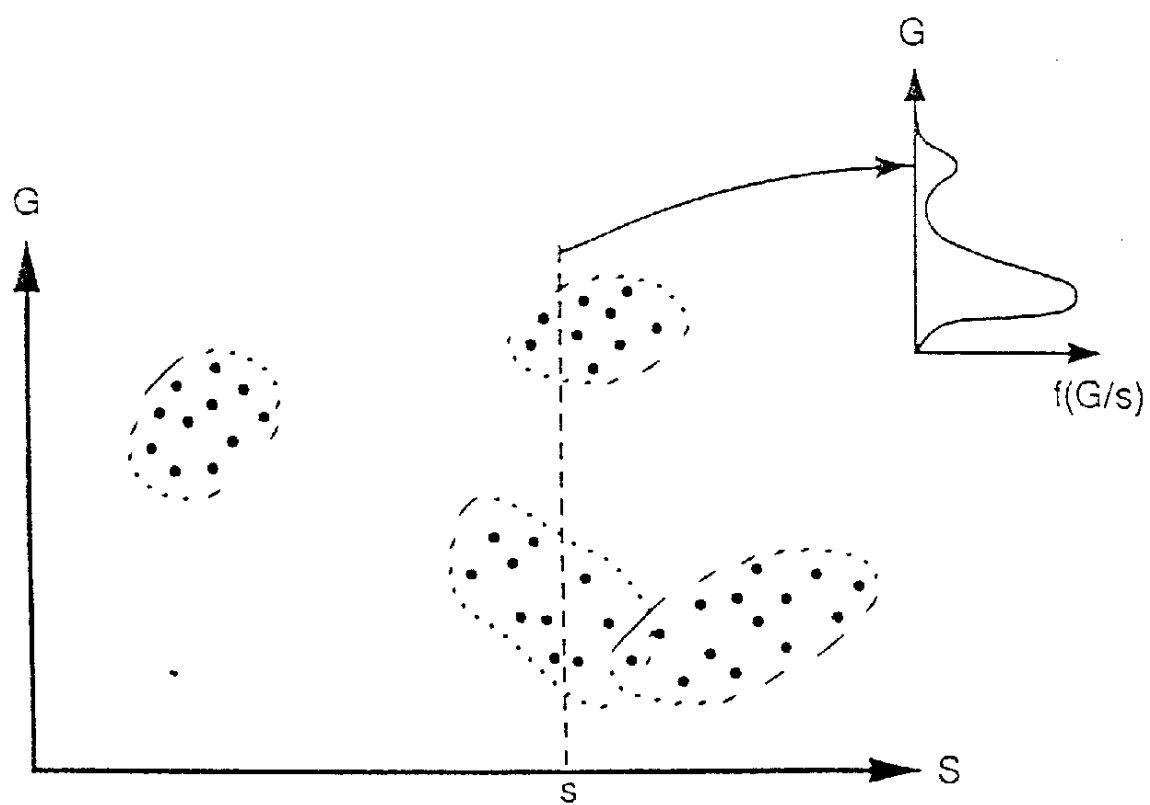


图 3

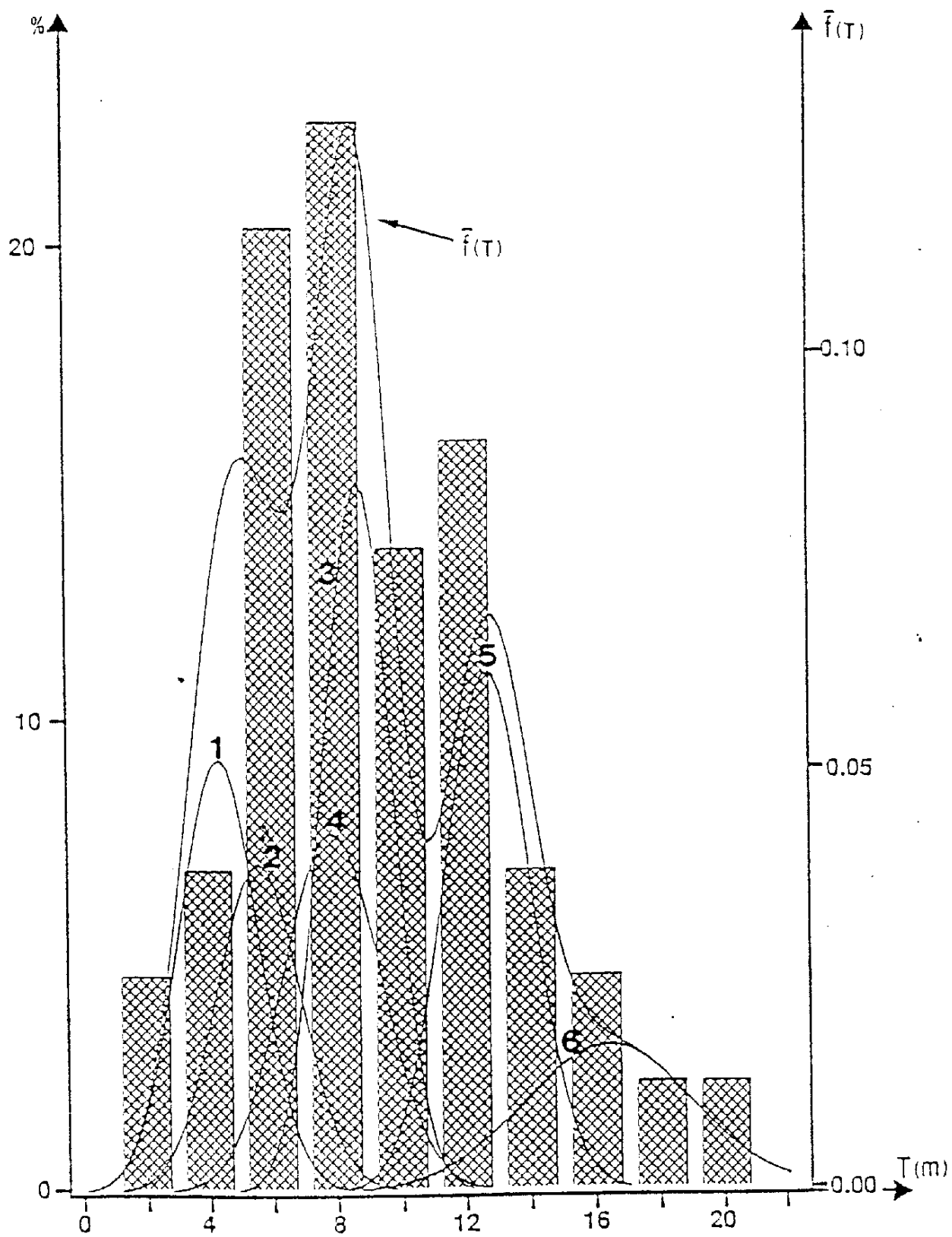


图 4

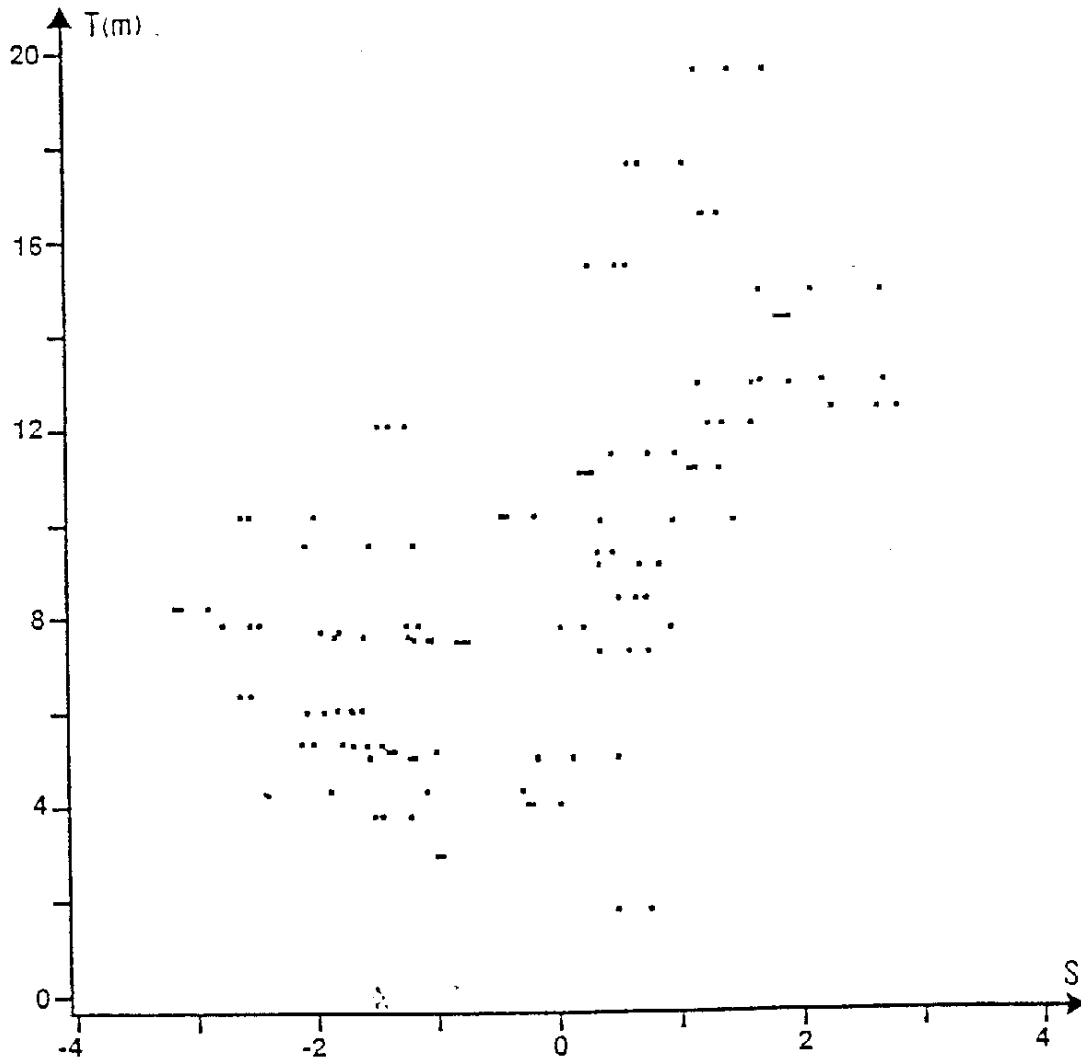
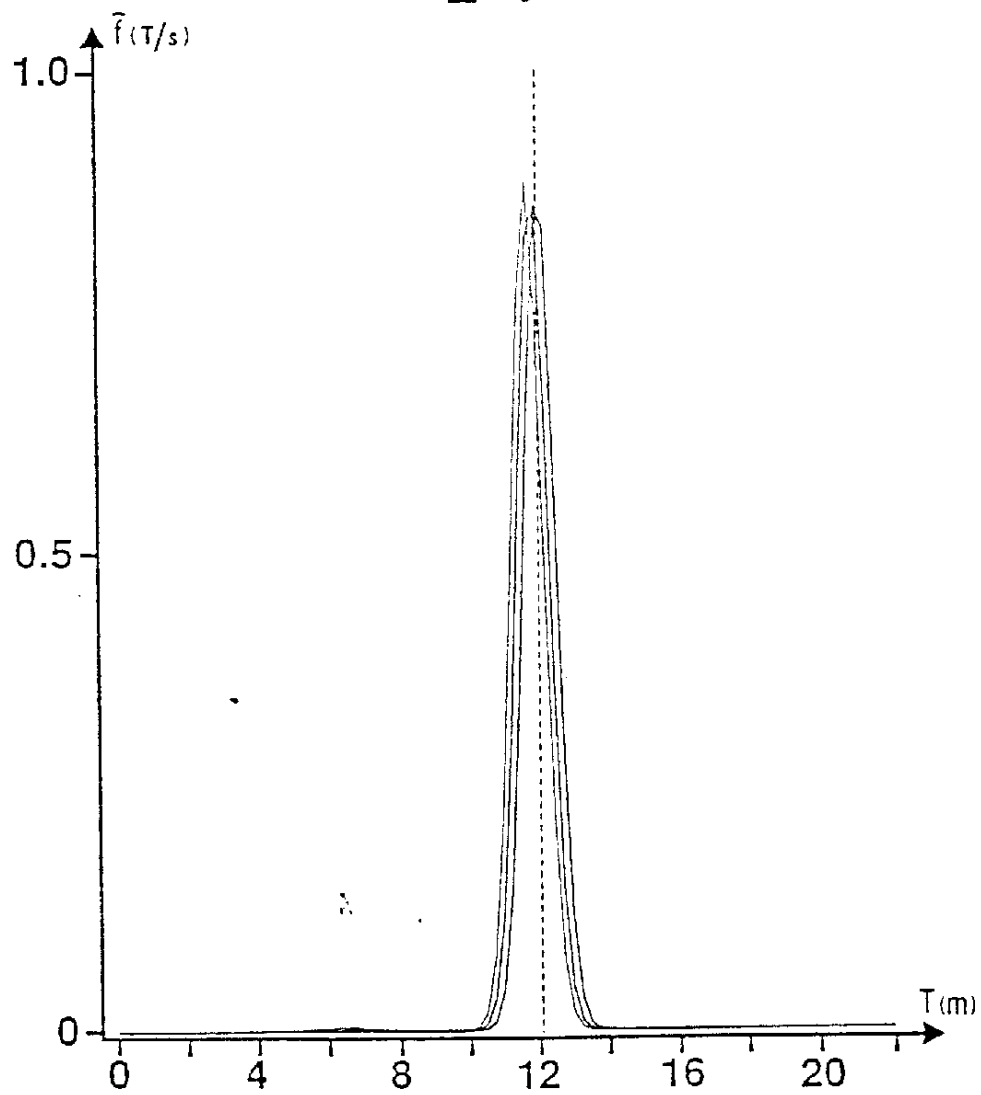
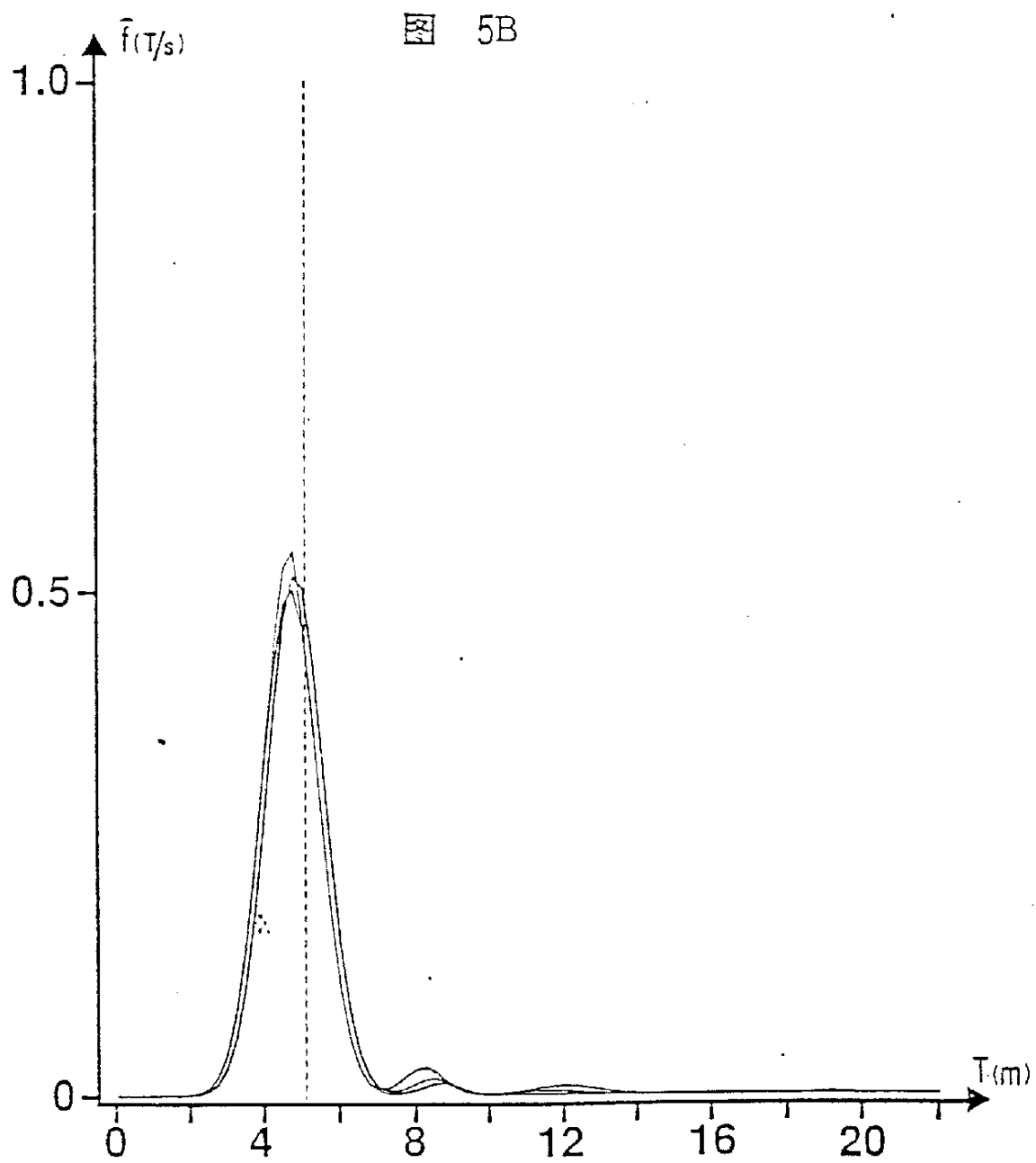


图 5A





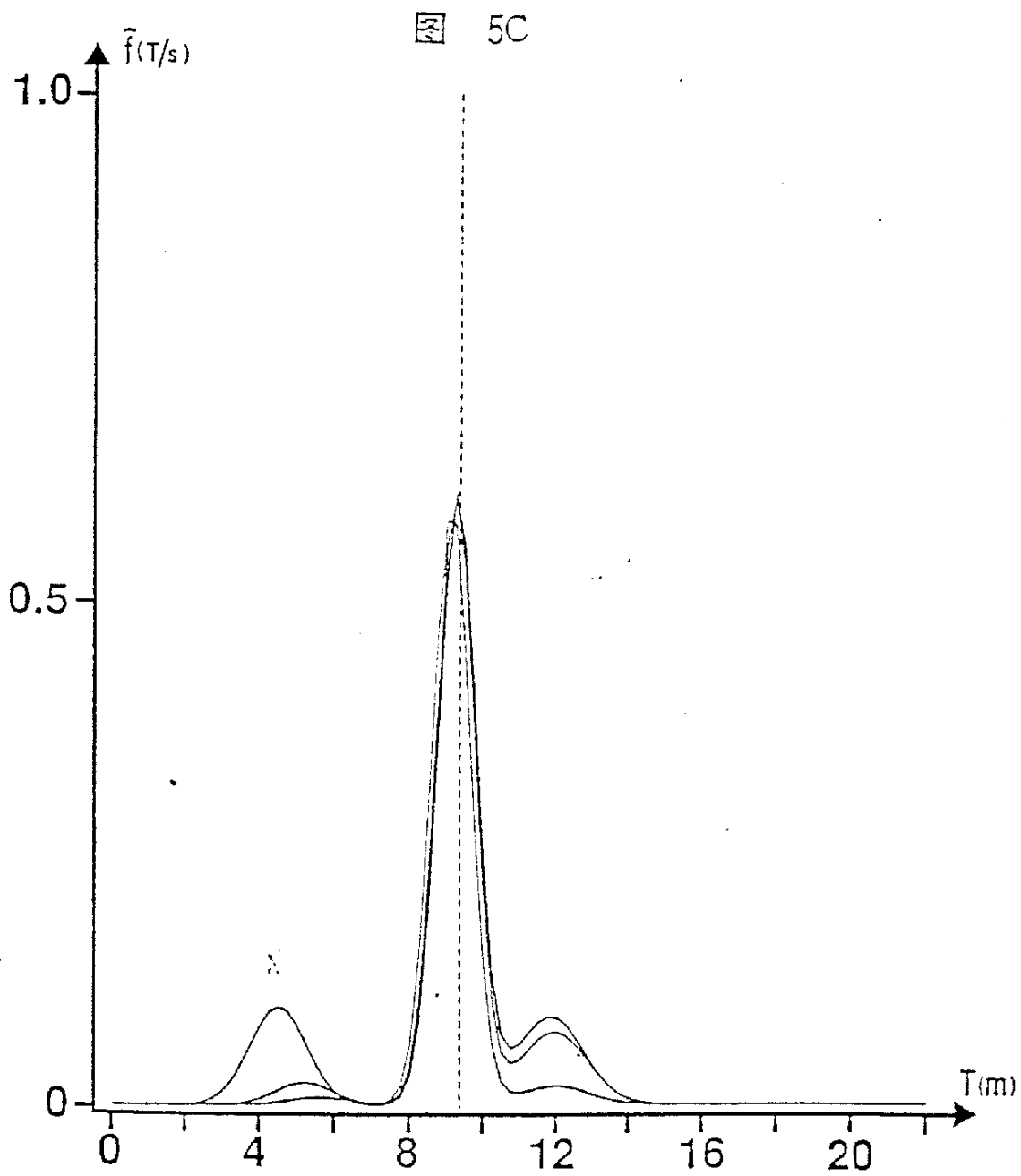


图 5D

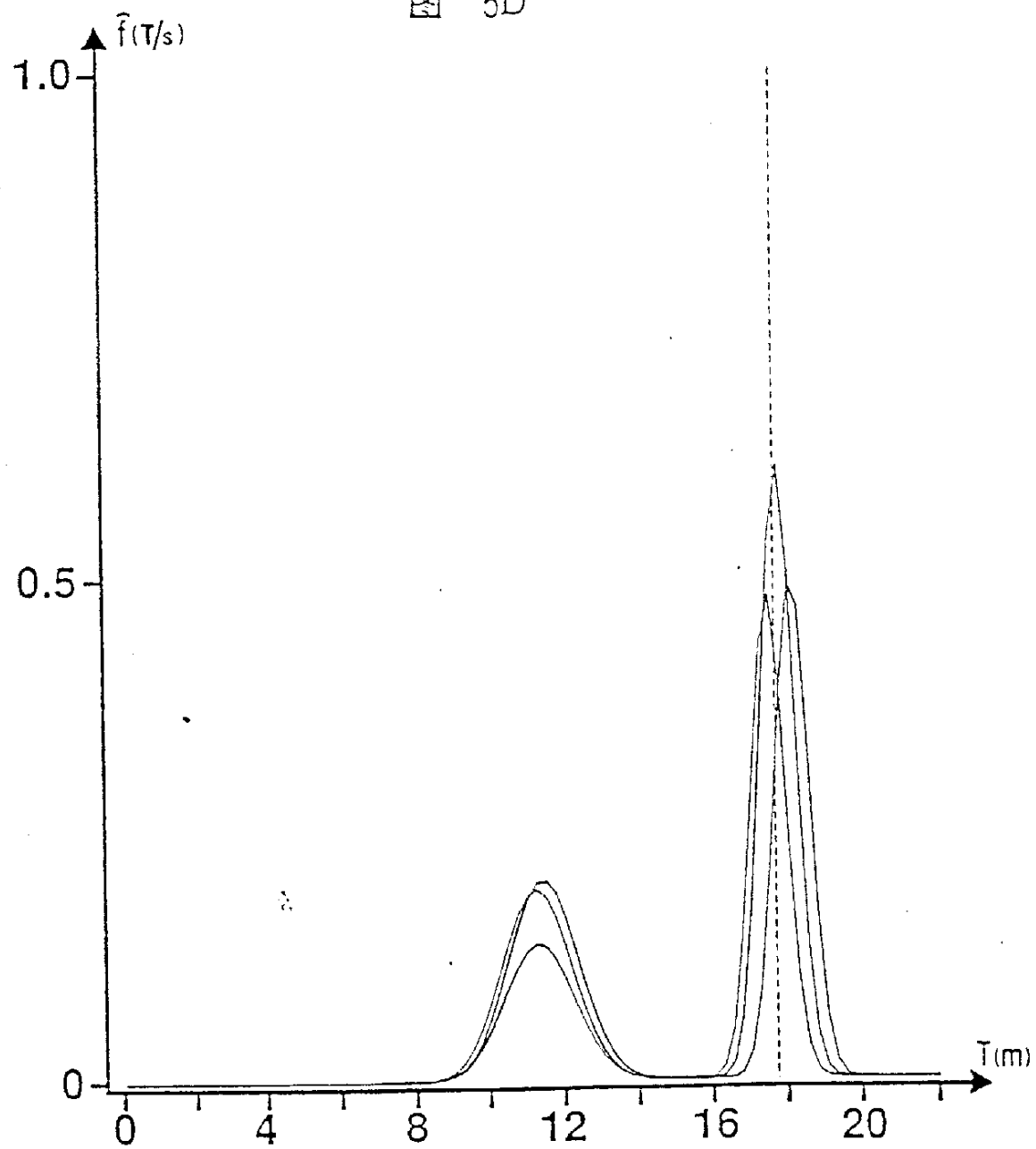
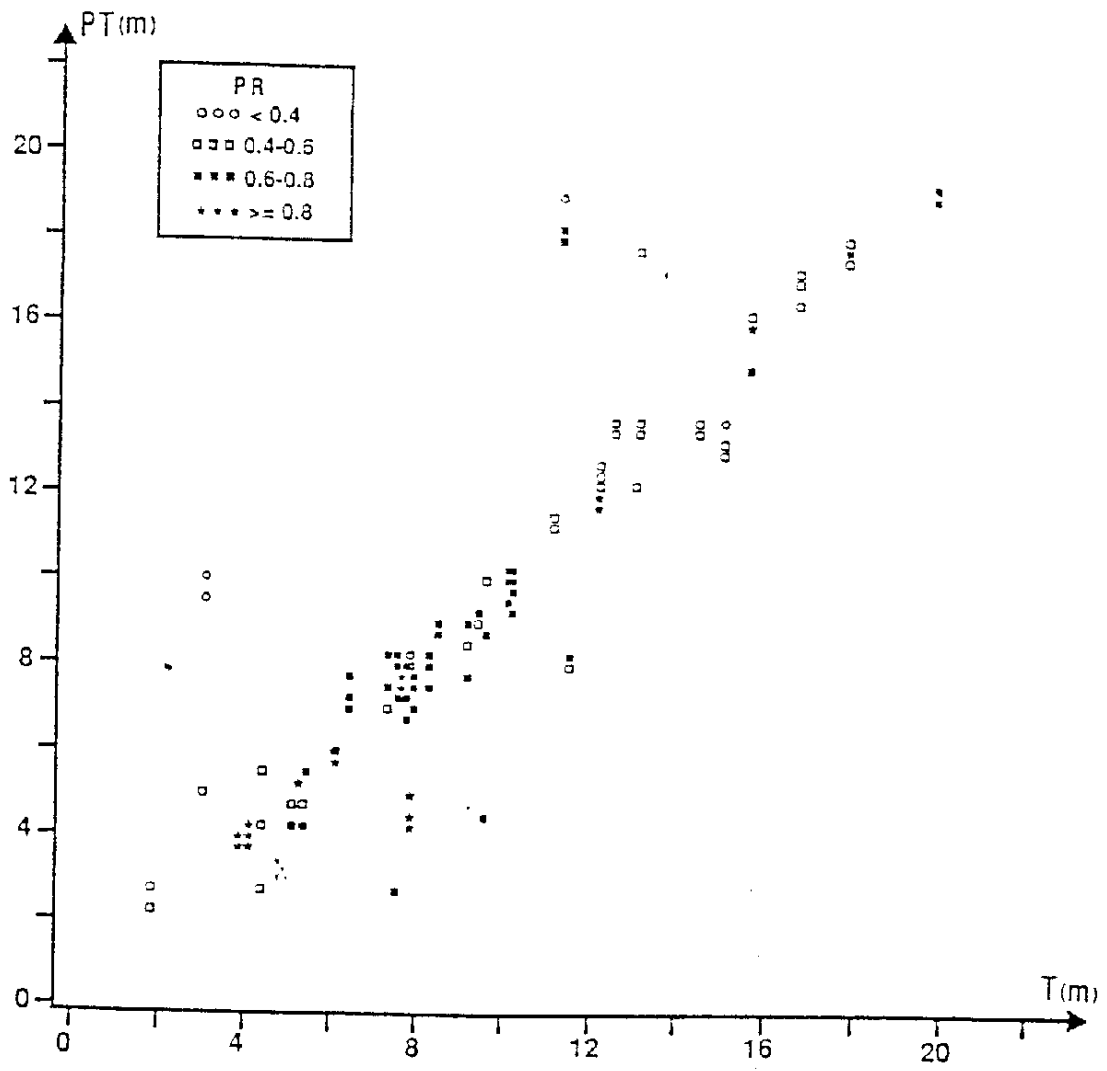
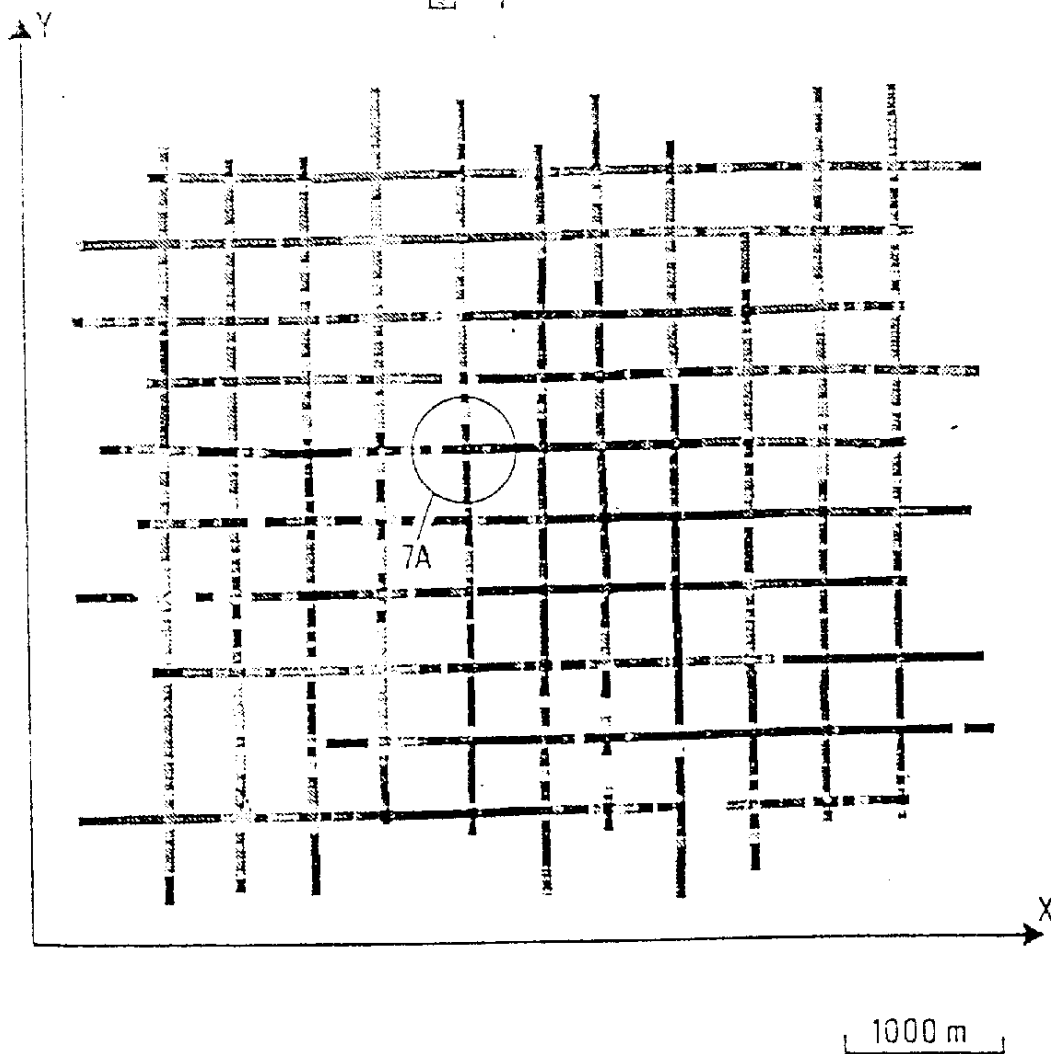


图 6



7



7A

PT {
 □ 4-8 m
 ■ 8-12 m
 □ 12-16 m
 □ 16-20 m

