

地层压力理论和评价

压力计算参考书

石油工业出版社

地层压力理论与评价

张功成 编著

石油工业出版社

41499

地层压力理论和评价

压力计算参考书

陈永生 译 谭廷栋 校

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是一部地层压力评价的培训教材,系统介绍了地层压力评价的入门知识、异常地层压力的各种地质成因,工程中地层压力评价的各种术语概念及计算,利用不同资料计算和预测异常地层压力的各种评价技术,钻井工程中有关井漏、水力压裂和井涌的概念以及与地层压力的关系、处理工艺、计算方法等。它是一本综合性的地层压力评价参考书,非常适合从事钻井、地质、物探和测井等专业的现场地层压力评价人员使用,也可供从事这方面工作的研究人员参考。

译稿的第一章、第二章由成都地质学院李汉瑜教授作了进一步审校。

Theory And Evaluation Of Formation Pressures
The Pressure Log Reference Manual
Exploration Logging Inc. 1980

地层压力理论和评价

压力计算参考书

陈永生 译 谭廷栋 校

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里二区一号楼)

北京海淀吴海印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16开本 10¹/₄印张 245千字 印1—2,200

1990年1月北京第1版 1990年1月北京第1次印刷

ISBN 7-5021-0367-8/TE·357

定价: 2.60元

序 言

本书的主要目的是用来培训未来的压力评价地质人员(简称P.E.G),使他们在专业上达到基本水平,并可作为有经验的地质人员的参考书;同时,能促使矿场地质人员的建设性想法得到继续发展。

一些新的方法和从原始压力录井手册中摘录的资料已尽可能地编入修订本C中。然而,鉴于时间和篇幅的考虑,使一些较新概念的详尽论述受到了限制。因此,希望地质工作者能继续去寻找参考文献和地区图书馆文献中这些新的想法,从而引起对这些新课题的兴趣,并把意见或发展情况反馈到应用与培训部门。

在本书的详细目录表中提供了容易查阅的参考文献,能很快地获得所需要的词汇术语、定义和公式说明。

目 录

第一章 前言	(1)
§ 1.1 什么是压力评价	(1)
§ 1.2 从地层录井到压力评价	(1)
§ 1.3 职责	(1)
§ 1.4 仪器	(2)
§ 1.5 记录和报告	(2)
第二章 地质基础	(9)
§ 2.1 引言	(9)
§ 2.2 压实作用的不平衡	(12)
§ 2.3 水热增压作用	(14)
§ 2.4 蒙脱石的脱水作用	(19)
§ 2.5 渗透作用	(25)
§ 2.5.1 反向渗透作用	(25)
§ 2.5.2 离子过滤作用	(26)
§ 2.6 大地构造作用	(26)
§ 2.7 测压面的变化	(28)
§ 2.8 过渡带	(29)
§ 2.9 孔隙压力的保持	(30)
参考文献.....	(32)
第三章 工程应用	(33)
§ 3.1 引言	(33)
§ 3.2 地下压力	(33)
§ 3.2.1 静水柱压力	(33)
§ 3.2.2 上覆层压力	(35)
§ 3.3 孔隙压力、地层平衡梯度和等效泥浆密度	(40)
§ 3.4 有效上覆层压力	(44)
§ 3.5 有效循环密度	(46)
§ 3.6 直接的压力测量	(50)
§ 3.7 用测井资料求流体密度	(51)
第四章 孔隙压力评价技术	(53)
§ 4.1 引言	(53)
§ 4.2 用地震资料评价异常压力	(54)
§ 4.3 钻井参数	(56)
§ 4.3.1 泥浆密度与气体的关系	(56)
§ 4.3.2 气侵泥浆	(57)
§ 4.3.3 钻屑性质	(60)
§ 4.3.4 井眼状态	(62)

§ 4.3.5	钻井指数	(62)
§ 4.3.6	泥岩密度	(70)
§ 4.3.7	泥质因子	(73)
§ 4.3.8	温度	(76)
§ 4.3.9	泥浆电阻率或电导率	(83)
§ 4.4	电测井参数	(85)
§ 4.4.1	声波测井	(85)
§ 4.4.2	电阻率测井	(89)
§ 4.4.3	密度测井和中子测井	(89)
§ 4.5	影响压力评价的因素	(90)
§ 4.5.1	岩性	(90)
§ 4.5.2	控制钻井	(91)
§ 4.5.3	水力因素	(92)
§ 4.5.4	钻头的选择和钻头的磨损	(92)
§ 4.5.5	泥浆类型	(92)
参考文献		(94)
第五章 井漏、水力压裂和井涌		(95)
§ 5.1	引言	(95)
§ 5.2	井漏	(95)
§ 5.2.1	起因	(95)
§ 5.2.2	影响因素	(96)
§ 5.2.3	解决方法	(96)
§ 5.3	水力压裂	(97)
§ 5.3.1	过去的和现在的技术	(97)
§ 5.3.2	公认模型的限制及优点	(104)
§ 5.4	破裂压力的估算	(105)
§ 5.4.1	地下应力状态	(106)
§ 5.4.2	零张力强度的概念	(107)
§ 5.4.3	压裂测试	(108)
§ 5.4.4	测试方法	(110)
§ 5.4.5	综述	(116)
§ 5.4.6	实例	(116)
§ 5.4.7	块状水力压裂 (MHF) 和强化措施	(117)
§ 5.5	井涌和井涌容限	(117)
§ 5.5.1	井涌的起因	(118)
§ 5.5.2	井涌的识别	(120)
§ 5.5.3	井涌的控制	(123)
§ 5.5.4	井涌容限	(132)
§ 5.5.5	井涌容限“差”	(135)
参考文献		(136)
附录 A 术语汇编		(138)
附录 B 公式		(141)
附录 C 由SP确定 R_w		(146)
附录 D 诺模图		(151)
参考文献		(154)

第一章 前言

§1.1 什么是压力评价

压力评价是地层评价的一个组成部分。对于形成地层孔隙压力的物理、化学和地质作用需要时间上和空间上的变化，这些作用的结果使孔隙压力的变化范围从上覆层压力降低到只有正常静水压力的 30~40%。

本书中所提出的用现代的和公认的概念可以解释地质和钻井工程之间的关系，从而获得被钻探地层内任意一点的孔隙压力的精确计算。为了获得孔隙压力趋向和完整的数值记录，需要应用所有的方法、步骤和知识，这是地层压力评价的主要部分。其它因素则取决于录井装置中使用的设备，用户的要求及钻井所遇到的条件。这些任务包括电测井解释，区域资料和邻井资料的钻前分析，钻井时的施工建议，每日和每周的联络汇报，以及提供给用户的汇编好的一份完井报告。

§1.2 从地层录井到压力评价

一个压力评价地质人员 (P.E.G) 或 GEMDAS 操作员首先应当是一个有经验的录井地质人员。他已全面地了解钻机工作的过程，各种人员之间的关系，基本的和先进的泥浆录井技术及资料解释。地质人员可能使用了 GEMDAS 装置录井或在异常地压力出现地区进行的基本录井压力评价方法。

因此，必须尽量使用录井地质人员的基础知识和经验。对他们的深造需要通过持续不断的实践。学习本书并参加专门的培训以达到作为一个压力评价地质人员所要求的熟练水平。压力评价地质人员要使用录井地质人员所收集并记录下的资料。这两种工作有相互联系：压力评价地质人员若没有岩性和气显示资料，就无法完成他的工作；而录井地质人员也必须考虑气显示和钻井岩屑分析的解释时孔隙压力和泥浆压力关系的影响。

GEMDAS 装置的操作人员使用大量的数据，并有功能强大的计算机硬件和软件处理这些数据。这些数据与地质观测及压力评价地质人员的经验结合起来，就可以进行精确的压力评价。

§1.3 职 责

当一个录井地质人员被提升为压力评价地质人员时，他即承担了更大的责任。因为在他任职期间所做的决定和报告，对钻井作业都是重要的。因此，报告应当准确，经得起在困难情况下的严格检验。并且，最重要的是，报告内容必须能被证实。

压力评价地质人员和 GEMDAS 操作人员应与作业工程师和地质家、钻井队长及钻井

技师、泥浆工程师以及在基地或在城市的作业代表密切配合工作，与这些人员的联络能力是必不可少的。

任职期间，压力评价地质人员会发现，有些井是安全的和无故障的；然而这并不能作为降低他观测和记录的数量或质量的理由。相反地，有些井或层段会产生巨大的应力，地质人员就负有重任。这时，他们的知识和才能将受到充分的考验。由于每口井的情况各不相同，因而可从每一井位现场获得不同的知识。地质人员工作好坏的标志就是要看他能否按规定要求完成任务，即在一口井的钻井过程中，事故最少而取得的信息最多。

§1.4 仪 器

要培训压力评价地质人员会使用 HP9820 和 HP21 MX/1000 计算机。这种计算机配有盒式磁带、磁盘或磁带驱动装置及打印机或绘图机。它们在作压力计算时很有助益，并且还有一些工程辅助程序 (EAPS) 对于压力评价地质人员也是有用的。

用于异常压力评价的仪器因具体作业而有所不同。最小的“压力软件包”是用一台 HP9820 计算机和磁卡装备的标准录井装置，较高级的可以配备有一台 DMP；还有配备 HP9820 计算机的 MFE 记录器，附有磁带驱动器和一台打印机；再高级的装备有完善的 GEMDAS 装置，带有计算机、磁带、驱动器（或磁盘）及打印机（图 1-1）。

一般说来，设备越少，地质人员所做的测量也越多，但是，这并不意味着有装备完善的设备时，地质人员受设备的限制。也就是说，无论设备的复杂程度如何，最后的结果与收集到的有关数据的数量应当相同，次要的设备如进口与出口泥浆比重计、泥浆流量比较器、进口与出口温度计， CO_2 、 H_2S 等所有气体的探测器，PVT、泥岩密度、泥质因子、碳酸钙测定计以及电导率测定计等均可按照与用户的合同来决定是否使用。但是，必须具有使用、解释、刻度及维修所有设备的能力。这方面的知识可参考有关软件资料使用方面的手册。

§1.5 记录和报告

在压力评价中，完整的数据记录与结果对钻井时的信息沟通是很重要的，这些记录对于将来的勘探和钻井计划的发展也是有价值的。

压力评价地质人员和 GEMDAS 操作员在压力评价工作中要负责准备一批压力记录和报告。这些可由人工做出，也可以由计算机作图。GEMDAS 计算机的打印输出和作图的实例在本书的其它地方给出，人工作图记录有：

- ① 钻井数据压力记录图（图 1-2）。
- ② 温度数据记录图（图 1-3）。
- ③ 测井数据压力记录图（图 1-4）。
- ④ 各种压力数据记录图（例如，泥岩数据压力记录图，图 1-5）。
- ⑤ 压力评价记录图（图 1-6）。

直观程序 A/V-5（“录井程序”）阐明了准备这些记录的标准和步骤。

此外，压力数据及解释每天要向作 GEMDAS 录井报告的操作员报告（中译本 GEMDAS 录井报告格式删去，读者如感兴趣，可参考原文的图 1-7）。在完井时，所有这些报告、

记录图与完成的其它地层评价和工程服务资料要一起编进最后的完井报告。推荐的格式和编写指南包括在“GEMDAS”和压力评价服务的最后完井报告内，即 MS-3007。

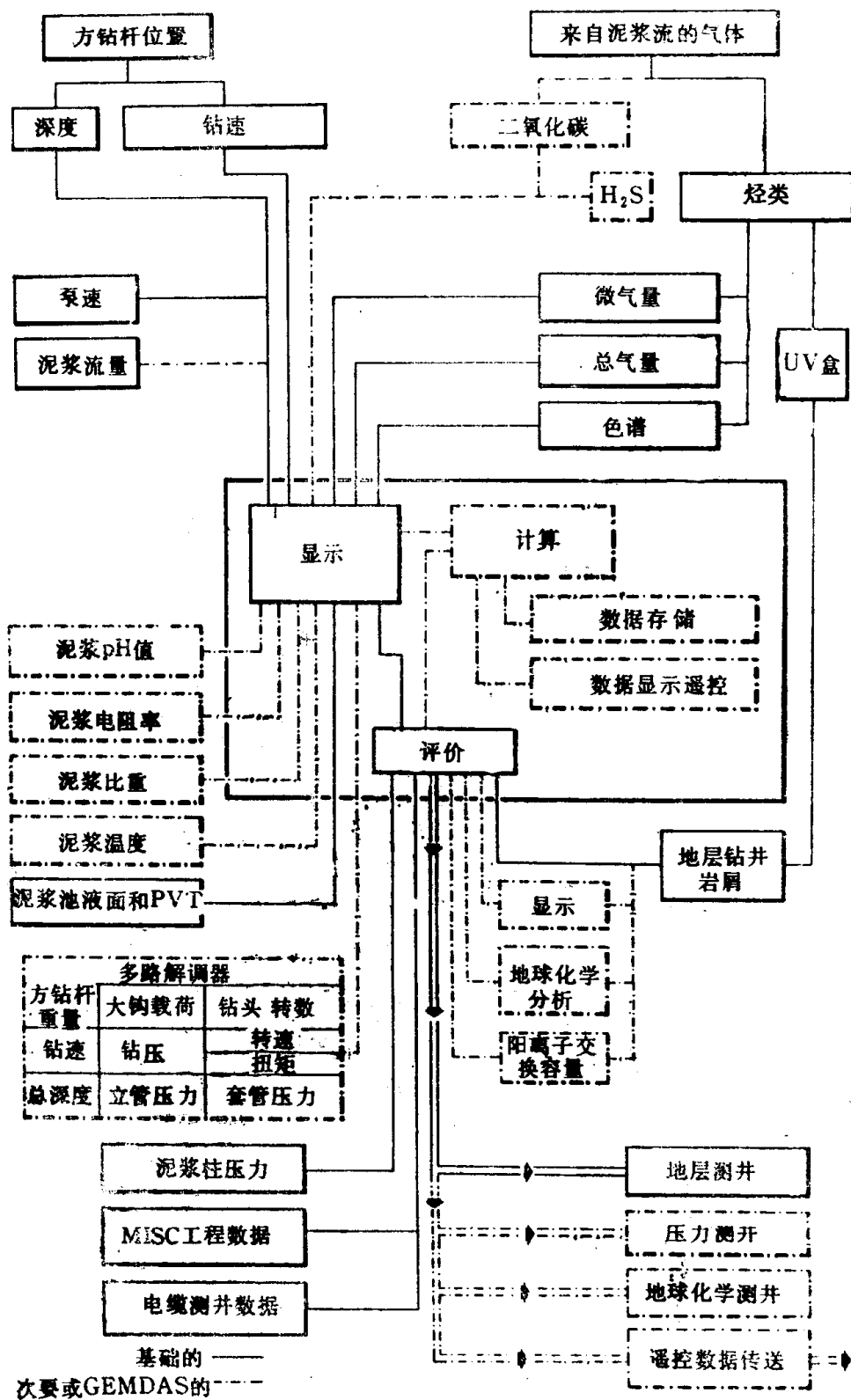


图 1-1 录井装置系统和信息流程

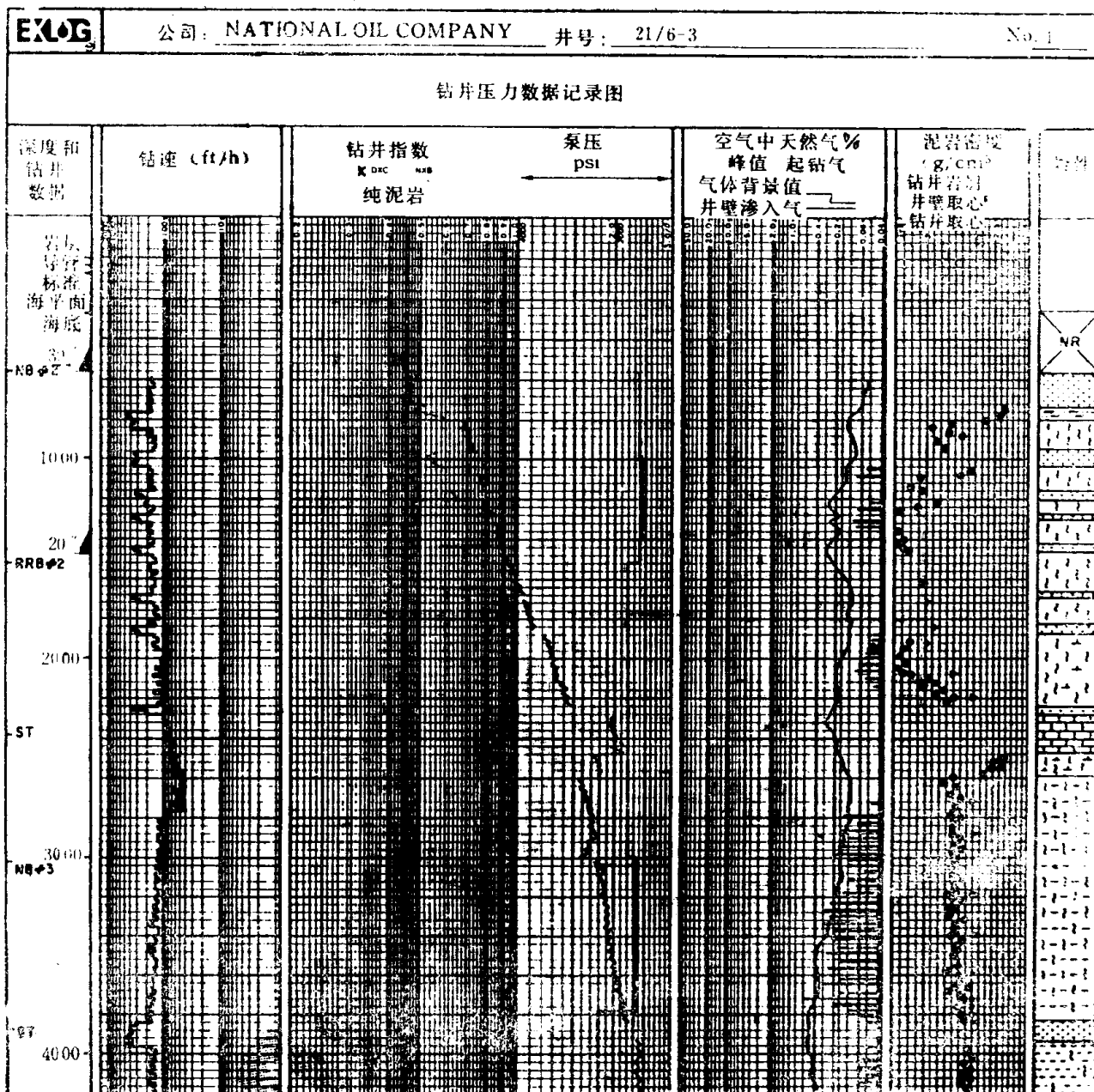


图 1-2 钻井压力数据记录图

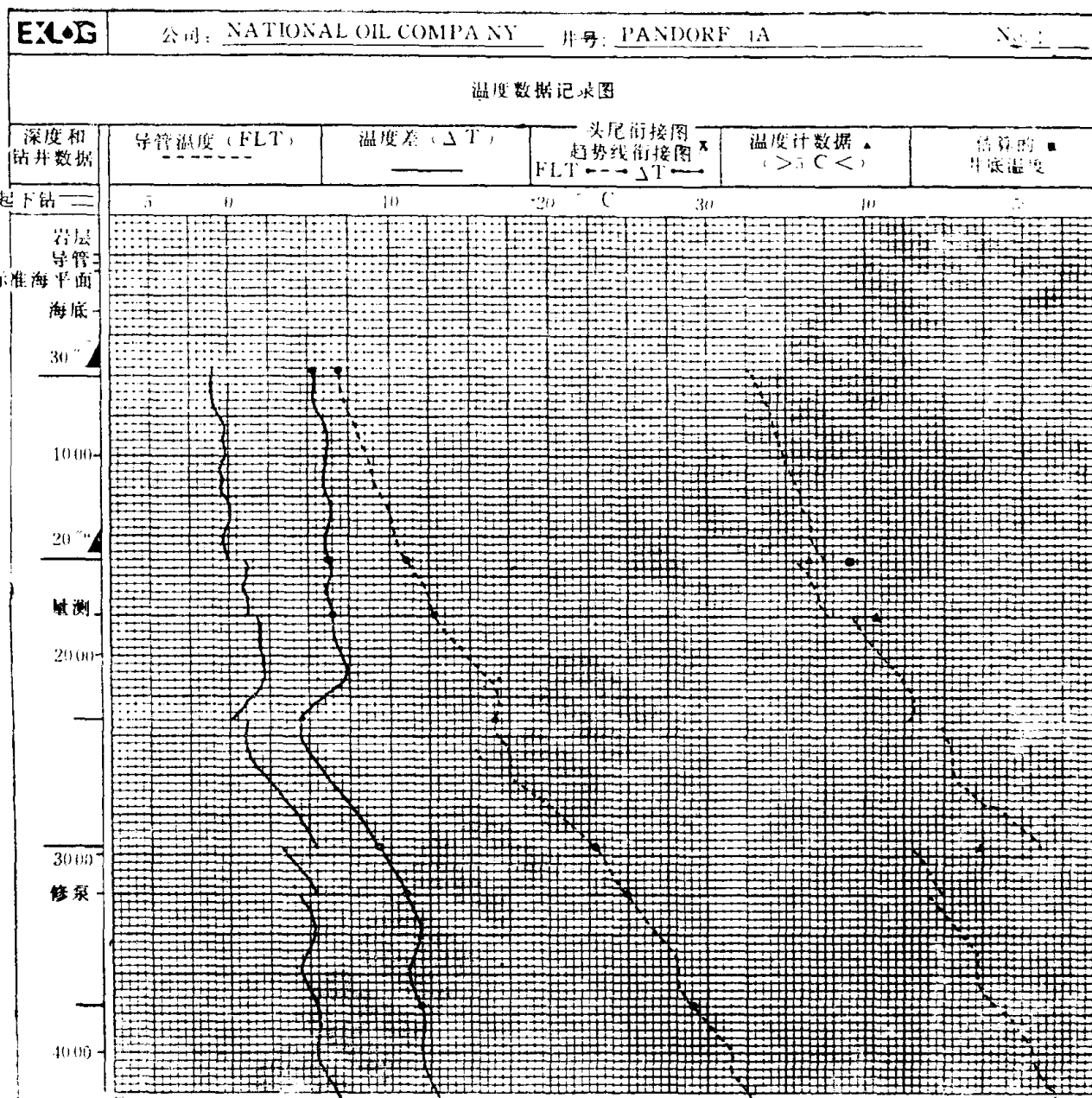


图 1-3 温度数据记录图

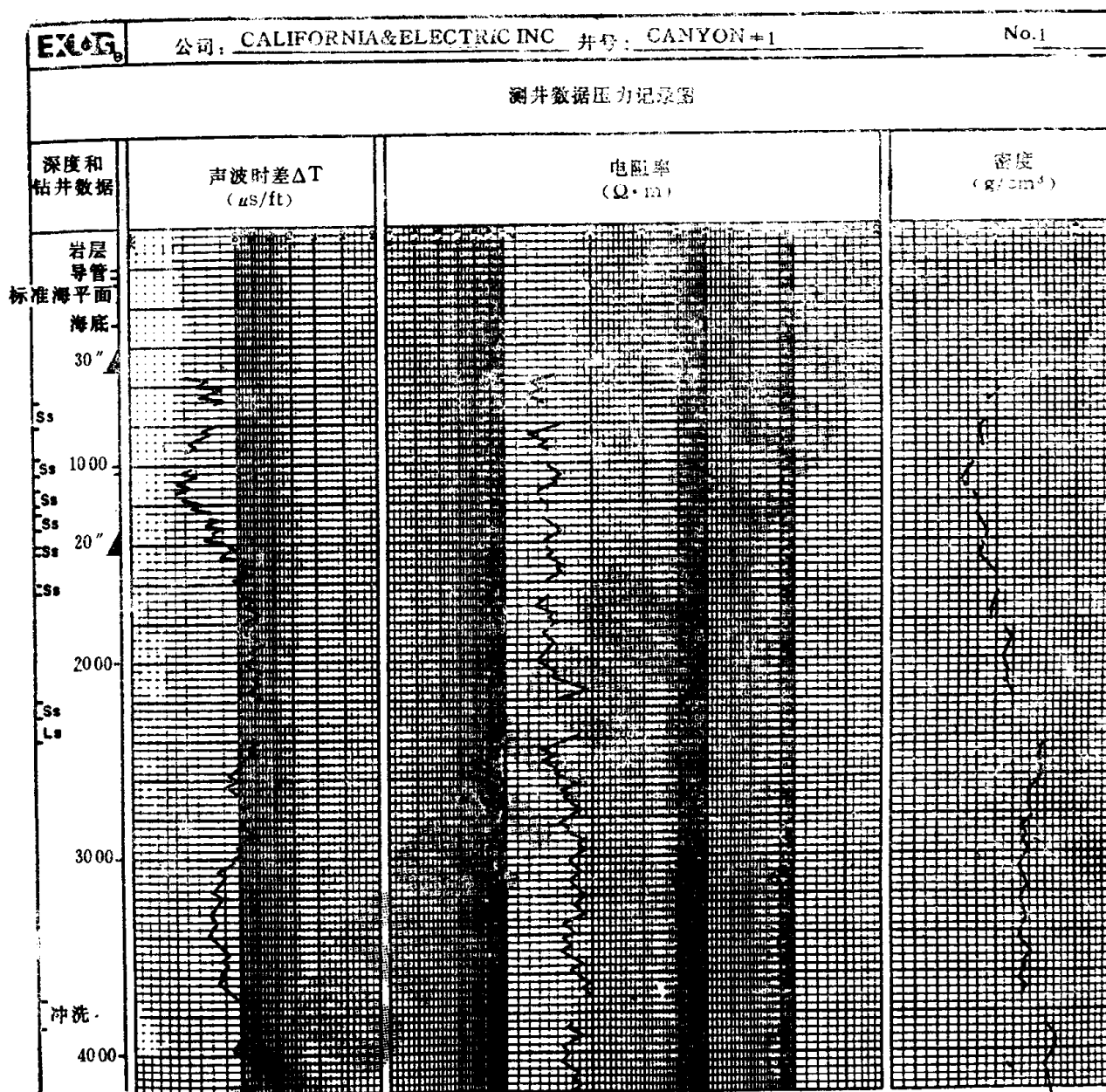


图 1-4 电缆测井数据压力记录图

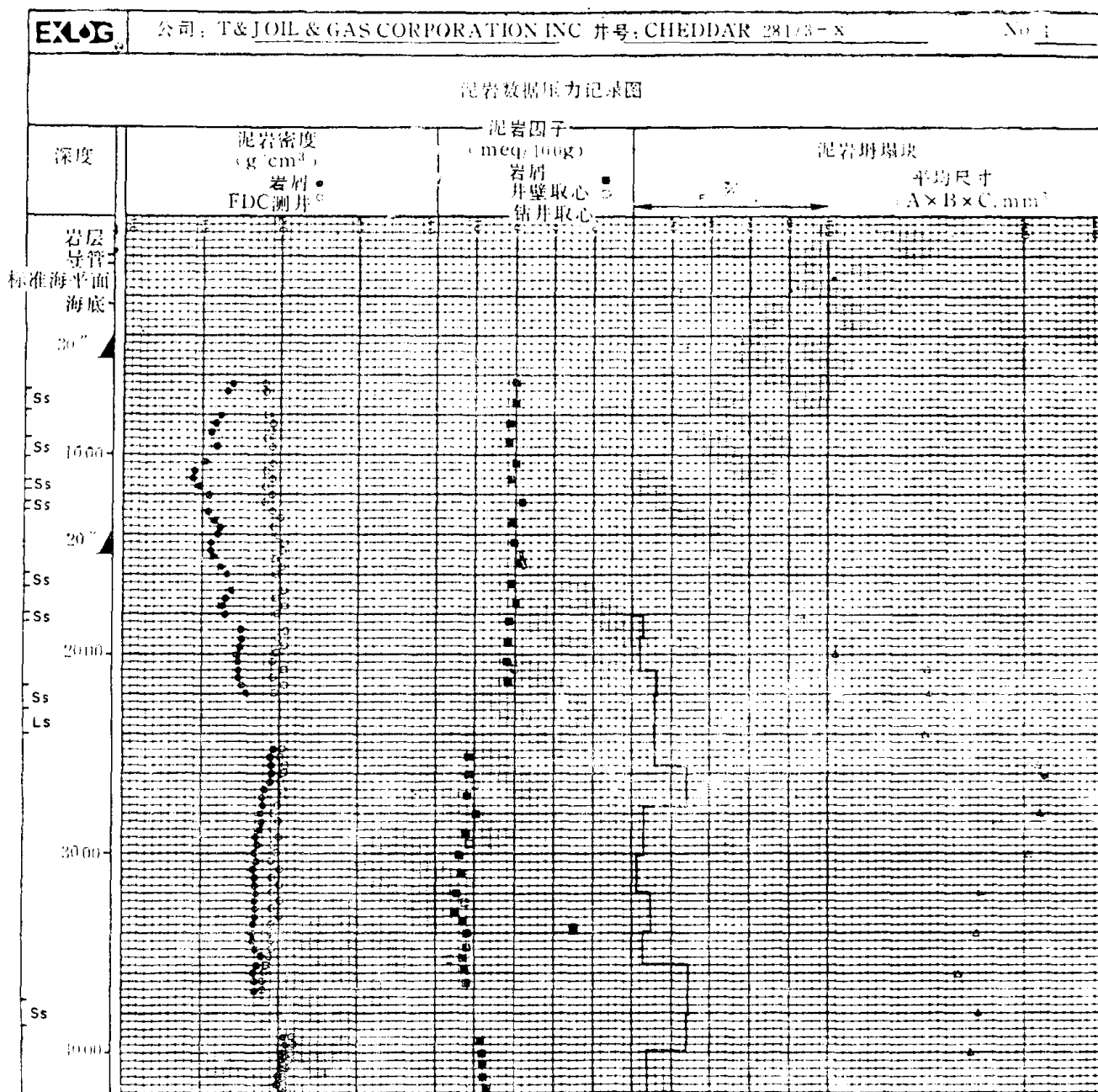


图 1-5 泥岩数据压力记录图

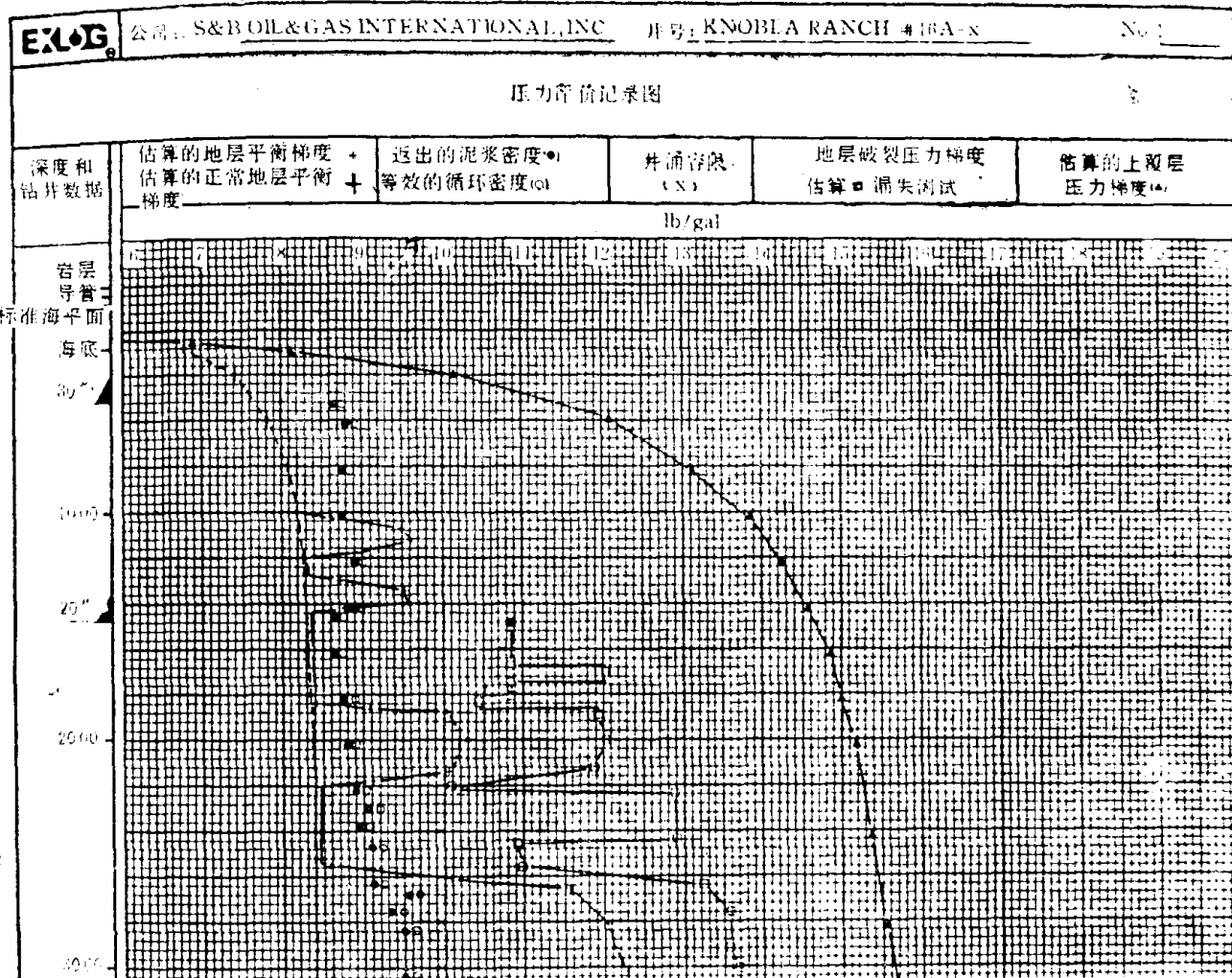


图 1-6 压力评价记录图

第二章 地质基础

§2.1 引言

孔隙压力可能是“正常”的，即仅由水柱所施加的压力；也可能是“异常的”或“低于正常的”。地质剖面中某一点的正常孔隙压力是由于该点以上的液柱的平均密度 $\overline{W}_F$ ，垂向深度 D_V 所引起的静水柱压力，也即在陆上以潜水面为准，在海上则以海平面为准（图 2-1）。按习惯，异常孔隙压力要高于正常孔隙压力，而低于正常（也称亚正常的）孔隙压力是小于正常的孔隙压力。“异常压力”一词专门用于流体压力超过正常静水压力的情况。关于异常孔隙压力形成的机理问题已争论了许多年。

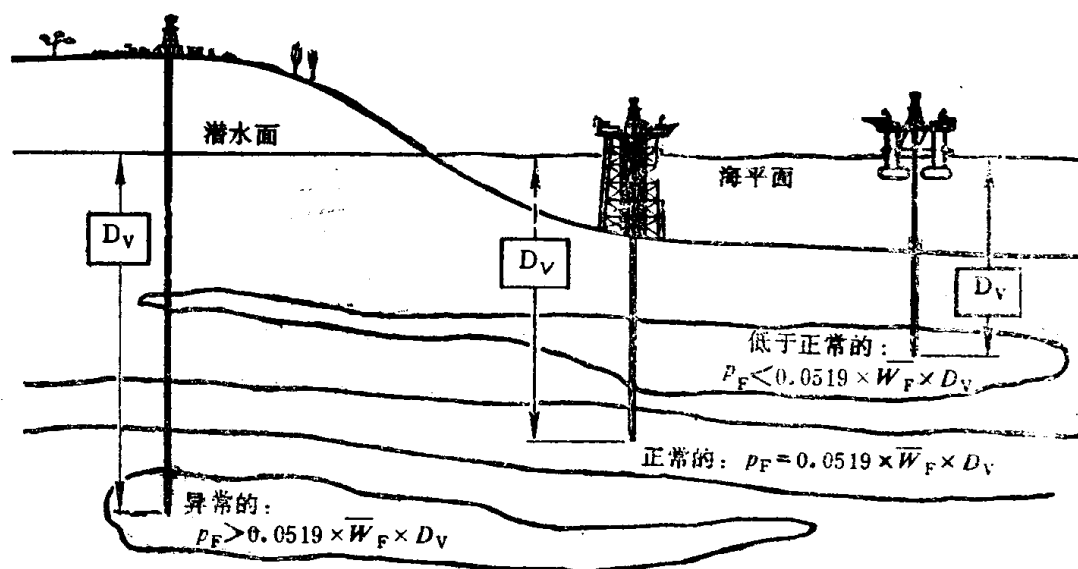


图 2-1 孔隙压力 ——正常的、异常的和低于正常的压力

为了解释某些地质构造的形成，地质人员曾经推测，在形变时期的某一特定地层中一定存在着某种形式的剩余孔隙压力。象 Tay 推覆体，Moine 逆掩断层，怀俄明州西部、爱达荷和犹他州的逆掩断层带，纳米比亚境内的 Naukluft 山及阿尔卑斯山脉上海尔微推覆体等构造都必定能在摩擦力非常小的表面上移动，方能保持其连贯性。可以相信，由于孔隙压力的影响是如此的大，以致于能够使上覆地层可以“浮”在静水力的垫上面，结果必然存在“零摩擦”。这种高孔隙压力使岩石的剪切强度降低到可以忽略不计，使得覆盖在高压带上的地层可凭横向的构造力自由移动。在地槽的翼部，由于盆地向下沉陷，沉积物可以依小角度下倾，大约 $1 \sim 3$ 度。在某些情况下（如怀俄明逆掩断层带），可以认为，重力足以使覆盖在受高压的粘土层以上的地层沿倾斜方向移动。

这些逆掩断层带的典型位移的数量级约为若干公里，而移动的沉积物厚度可以从1万英

尺到 2.5 万英尺（即大约 3000~7500 米）。通常从逆掩断层的基底岩石的薄片鉴定表明，如果真有基岩，通常都是很薄的经角砾岩化的岩石。在大多数情况下，各种逆掩断层的基底明显地未曾形变：即几乎没有被扭曲和破碎的颗粒存在，并且岩石未经变质。在碳质泥岩中，可能存在一些石墨，在泥岩中曾观察到一些次生的云母，这表明仅仅出现少许热力引起的重结晶作用。从长距离移动这些外来岩体的情形来看，异常高的孔隙压力可提供一种考虑观察异常现象的方法。图 2-2 表示典型的逆掩断层带发育的顺序。

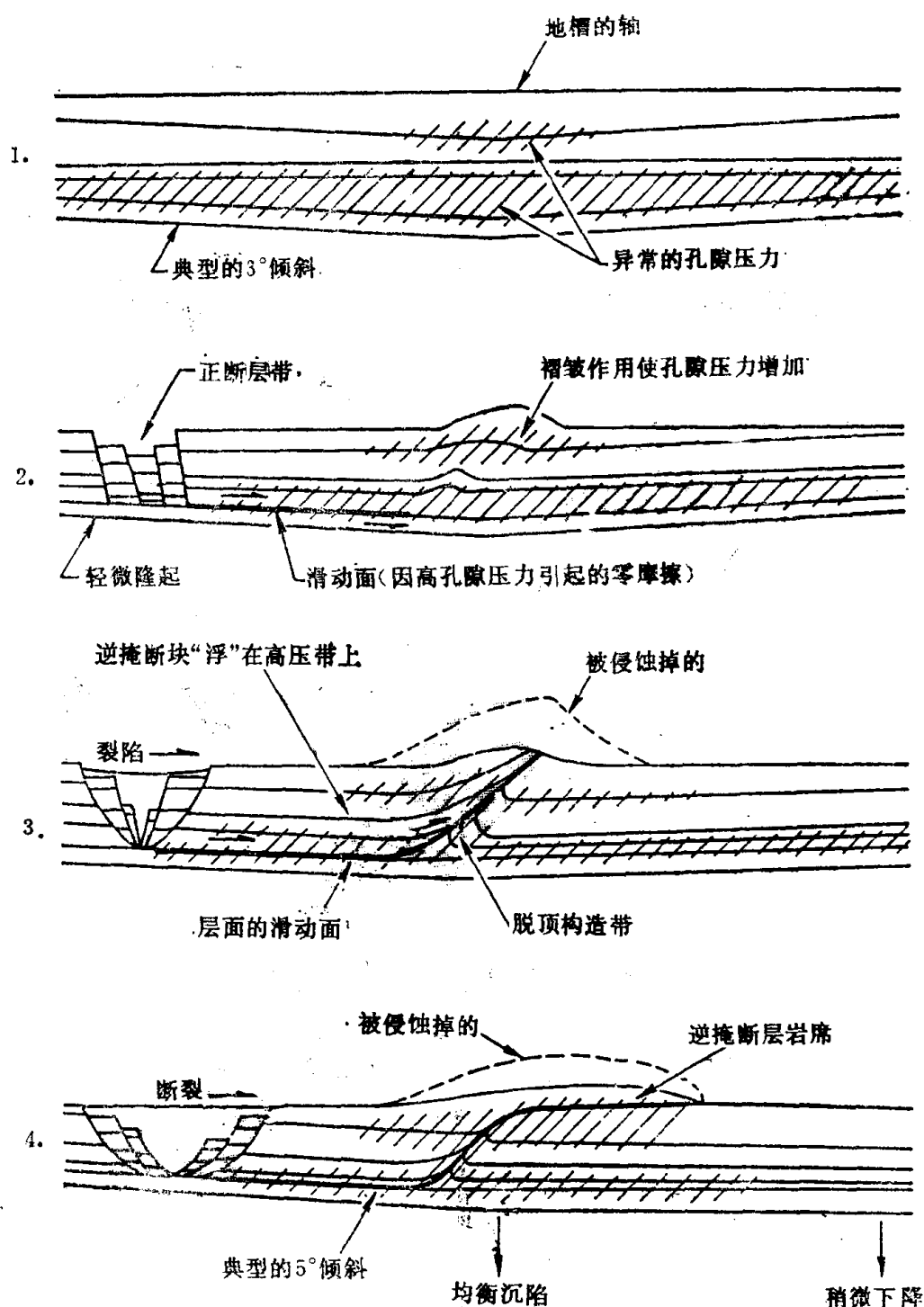


图 2-2 异常孔隙压力带的忆想图解，以及在地槽翼部的逆掩断层和逆掩断层岩席的发育情况