

吴光琳 编著

定向钻进 工艺原理



成都科技大学出版社

定向钻进工艺原理

吴光琳 编著

成都科技大学出版社

内 容 简 介

本书在汇集了近年来国内外定向钻进经验的基础上,通过概括、系统化并上升到理论高度,阐述了定向钻进中的所有主要问题,如定向钻孔轨迹的设计,定向钻进的技术手段,造斜工具的定向方法,定向钻孔的施工和控制,定向技术在取芯和确定岩层产状中的应用等。全书约30万字, 32开本, 文笔流畅,图文并茂,理论密切联系实际,有较高的学术意义和实用价值。

该书可作为高等院校探矿工程、钻井专业学生用的教材,也可供科研单位和生产部门从事定向钻进的技术人员参考。

定向钻进工艺原理

吴光琳 编著

责任编辑 黄祖基 袁顺生

成都科技大学出版社出版发行

西南冶金测绘印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 13

1991年6月第1版 1991年6月第1次印刷

印数 1—2900册 字数 295千字

ISBN 7-5616-0913-2/TU·16

定价: 3.95元

前 言

定向钻进是一项新技术。它是勘探陡倾斜矿体、障碍物下部矿体，详细勘探埋藏较深矿体，克服岩层严重造斜，增加出水量、出油量、出气量和矿心采取量，绕过事故孔段，以及施工特殊工程钻孔的有效手段。定向钻进不仅可以节约钻探工作量，而且可以提高钻探和钻井质量，从而缩短施工周期，降低成本，获得较大的技术经济效益。

“六五”期间，定向钻探被列为地质矿产部重点科技攻关项目。经过几年的努力，在钻孔弯曲规律性研究、定向钻孔轨迹设计、人工定向和造斜工具研制、微机在定向钻探中的应用等方面都取得了显著的进步。特别是机械式连续造斜器、螺杆钻造斜钻具、各类定向仪和造斜钻头的研制和试验成功，使我国地质勘探定向钻进技术发展到了一个新的阶段。近年来，在四川、湖南、安徽、贵州、江西、新疆、河南、陕西、青海、辽宁等省区先后顺利地打了一批高质量的受控定向孔，掌握了一整套施工工艺，积累了宝贵的生产经验。

为了适应定向钻探发展的形势，成都地质学院、地矿部探矿工艺研究所、勘探技术研究所、新疆地矿局、河南地矿局等单位相继举办了多期定向钻探技术训练班。地质和矿业院校探工专业增加了定向钻探教学内容或开设了定向钻探专门课程，培养了定向钻探研究生。

遗憾的是，至今还没有一本系统介绍定向钻进工艺技术并反映其发展水平的书籍，以满足钻探界教学、生产和科研的需要。

本书是在成都地质学院1984年编写的《钻孔弯曲和定向钻探》一书的基础上，将其中的定向钻探部分，经过修改和补充，编著而成的。全书共分绪论和定向钻孔轨迹设计、定向钻进技术手段、造斜工具定向方法、定向钻孔施工和控制、定向技术在取芯和确定岩层产状中的应用等五章。作者希望本书能给探工专业师生、科研和生产单位从事定向钻探的技术人员，提供一些有益的信息。

本书初稿完成后，承蒙中国地质大学汤凤林教授审阅，提了许多宝贵意见，黄祖基、袁顺生进行编辑和加工付出了辛劳，特此表示衷心的感谢。

由于作者各方面水平有限，加之编写时间匆促，书中缺点和错误一定不少。敬请读者和专家们批评指正。

作者

1991年4月于成都地质学院

目 录

绪 论

01 定向钻进的实际应用	1
02 定向钻进的历史和现状	7
03 定向钻进的发展途径	13

第一章 定向钻孔轨迹的设计

第一节 定向钻孔的空间要素	15
1.1.1 基本要素	16
1.1.2 靶点垂深和水平位移	17
1.1.3 曲线段曲率或弯强	17
1.1.4 钻孔轴线遇层角	21
第二节 定向钻孔的类型和孔身 轨迹形式	25
1.2.1 定向钻孔的类型	25
1.2.2 孔身轨迹的形式	28
第三节 定向钻孔孔身轨迹设计 的原则和内容	29

1.3.1	设计的一般原则	29
1.3.2	设计的主要内容	32
第四节	初级定向钻孔孔身轨迹 的设计方法	38
1.4.1	促使钻孔弯曲的地质因素	38
1.4.2	促使钻孔弯曲的工艺技术因素	43
1.4.3	研究钻孔自然弯曲趋势的方法	48
1.4.4	利用钻孔自然弯曲趋势设计初 级定向钻孔	55
第五节	受控定向钻孔孔身轨迹 的设计方法	66
1.5.1	孔身轨迹极限弯强的确定	66
1.5.2	垂直平面内受控定向钻孔 孔身轨迹的计算	80
1.5.3	倾斜平面内受控定向钻孔 孔身轨迹的计算	98

第二章 定向钻进的技术手段

第一节	概述	110
第二节	钻具组合	113
2.2.1	保直钻具组合	113
2.2.2	增斜钻具组合	119
2.2.3	减斜钻具组合	123
第三节	造斜楔	130
2.3.1	固定式造斜楔	131
2.3.2	取出式造斜楔	134
2.3.3	活动式造斜楔	136

第四节 连续造斜器	140
2.4.1 滑块定位式连续造斜器	142
2.4.2 撑块卡固式连续造斜器	148
2.4.3 偏斜定位套式连续造斜器	156
2.4.4 楔体卡固式连续造斜器	159
2.4.5 双管式连续造斜器	160
2.4.6 活动叶片式变向器	162
第五节 孔底动力机造斜钻具	165
2.5.1 螺杆钻	167
2.5.2 涡轮钻	186
2.5.3 配合孔底动力机用的造斜件	194
第六节 喷射钻头	202

第三章 造斜工具的定向方法

第一节 钻前直接定向	206
3.1.1 地表作业法	206
3.1.2 孔内作业法	210
3.1.3 非磁性钻管的应用	217
第二节 钻前间接定向	224
3.2.1 定位座定向法	224
3.2.2 偏重管定向法	227
3.2.3 指示器定向法	230
第三节 随钻定向	249
3.3.1 导线法	250
3.3.2 泥浆压力脉冲法	261

第四章 定向钻孔的施工和控制

第一节 定向钻孔的施工工艺	265
---------------------	-----

4.1.1 施工前的准备工作	265
4.1.2 造斜与保直钻进	278
4.1.3 定向钻进时孔内的复杂情况	284
第二节 孔身实际轨迹的计算	289
4.2.1 测斜数据误差的估计	290
4.2.2 计算孔身轨迹的方法	295
4.2.3 孔身实际轨迹的绘制	303
第三节 孔身轨迹的控制	319
4.3.1 造斜楔安装角与钻孔顶角及方位角的关系	320
4.3.2 连续造斜器、孔底动力机造斜钻具安装 角与钻孔顶角弯强及方位角弯强的关系	337
4.3.3 孔底动力机反扭矩对造斜工具安装角的影响	342
4.3.4 穿靶预估与孔身轨迹的控制	347
第四节 定向钻进的经济效果	368
4.4.1 对定向钻进方法经济效果的评价	368
4.4.2 对人工造斜工具经济效果的评价	372

第五章 定向技术在取芯和确定岩层产状中的应用

第一节 岩芯定向技术	378
5.1.1 打印	378
5.1.2 刻痕	379
5.1.3 钻眼	383
第二节 求解岩层产状的方法	389
5.2.1 复位实测	389
5.2.2 作图求解	392
5.2.3 公式计算	396

参考文献	404
------------	-----

绪 论

01 定向钻进的实际应用

在钻探和钻井施工中，利用岩层造斜规律，采用人工造斜手段，或者两者同时并用，使井孔按照设计的轨迹，钻达预定目标的钻进方法，称为定向钻进。使用定向钻进方法完成的井孔，称为定向井或定向孔。

单纯利用岩层造斜规律完成的定向钻孔称为自然定向孔或初级定向孔；利用人工手段完成的定向钻孔称为人工定向孔或受控定向孔。

定向钻进是一项新技术。在达到同样施工目的的前提下，它不但能够减少钻进工作量，节约施工费用，而且能够提高工程质量，缩短施工时间，具有理想的技术经济效果。

定向钻进技术是适应生产需要发展起来的。随着固体矿产勘探向地壳深处进展，石油、天然气、地热和地下水资源勘探和开发的日益扩大，以及许多工程项目施工特殊要求的不断提出，定向钻进的应用越来越广。

在固体矿产勘探方面，定向钻进有以下用途：

●勘探陡倾斜的矿体或平行矿脉时，施工定向孔，可以增大钻孔遇层角，获得代表性强的地质资料，并减少钻探工作量（图0-1，a）。

●勘探深部矿体，求高级别储量时，可以用分枝孔代替加密孔，节省钻探进尺（图0-1，b）。

●矿体埋藏较深，覆盖层较厚，流砂、卵砾石层钻进困难；或上部岩层严重漏失、坍塌，施工麻烦；或岩石非常坚硬，钻进效率极低，为了避免多次穿过上述岩层，顺利钻进，可以采用一孔多枝定向钻进（图0-1，c）。

●勘探网度较密，矿体距地表较深，从地表施工钻孔时，孔斜容易超过允许弯曲度，在此种情况下，可打分枝定向孔，以保证钻探质量。

●在强造斜岩层中钻进，孔斜难以控制，不如将斜就斜，利用岩层造斜规律，打初级定向孔（图0-1，d）。

●矿层产状与围岩产状不一致，倾向相反，交角近乎垂直，必须采用人工定向孔，才能以较大的遇层角穿过矿层（图0-1，e）。

●勘探埋藏在湖泊、沼泽、城镇、名胜古迹、大型建筑物或其它障碍物下部的矿体，无法在界内安装钻探设备，可以在界外打定向孔。

●勘探一组平行矿脉（图0-1，f）。

●原孔位处于山高坡陡，交通不便之处，修筑道路和平整场地困难，并要耗费大量资金和时间，此时可以移位打定向孔（图0-1，g）。

●绕过无法处理的事故孔段、地下大溶洞、老窿或坑

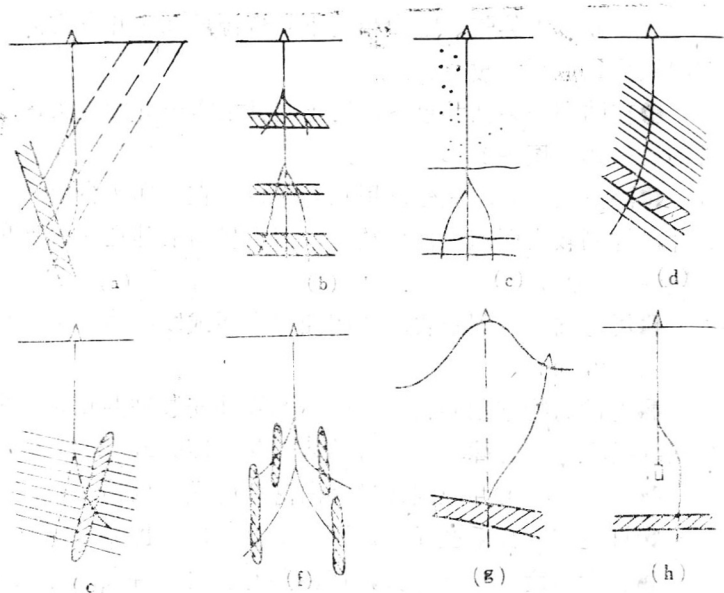


图0-1 定向钻进在固体矿产勘探中的主要用途

a——勘探陡倾斜矿体；b——分枝孔代替加密孔；c——避免多次穿过复杂岩层；d——在强造斜岩层中将斜就斜；e——矿层与围岩产状不一，钻孔以较大遇层角穿过矿层；f——勘探一组平行矿脉；g——勘探障碍物下方矿体；h——绕过事故孔段

道，可以采用侧旁定向钻进（图0-1，h）。

- 补取岩矿芯或纠正孔斜。

- 某些矿床工业试验用矿石量不大时，可在一个主孔内打若干分枝孔，以获得足够矿样，代替坑探。

- 在地下坑道中打扇形定向孔勘探矿脉，代替穿脉坑道。

在石油、天然气、地热和地下水资源勘探和开发方面，定向钻进的应用主要是：

- 在陆上安装钻井设备，用定向井勘探或开发近海岸地带的油气田（图0-2，a）。

- 海上钻井时，充分利用钻井平台，在一座平台上钻丛式井，控制较大面积的油气构造，以大量节省建造平台费用（图0-2，b）。

- 用定向井控制断层，查明油水界面或断层面的准确位置（图0-2，c）。

- 有障碍物限制井位，在障碍物界外安装钻井设备，用定向井勘探或开发障碍物下方的油气藏（图0-2，d）。

- 纠正已斜的井眼或绕过井内落鱼而进行侧钻。

- 打定向井探采盐丘突起下部的油气层（图0-2，e）。

- 钻大斜度井或水平井，使油井有较长的井段通过裂缝性油气藏和广而薄的油气层，提高油气采收率（图0-2，f）。

- 打多底井。以封堵、钻进、再封堵、再钻进的方式，从一口主井中钻许多分枝井，探明不同的油气层和同一油气层的不同部位（图0-2，g）。

- 井喷无法处理或油气井失火，钻定向救援井与原井衔接，控制井喷或扑灭火灾（图0-2，h）。

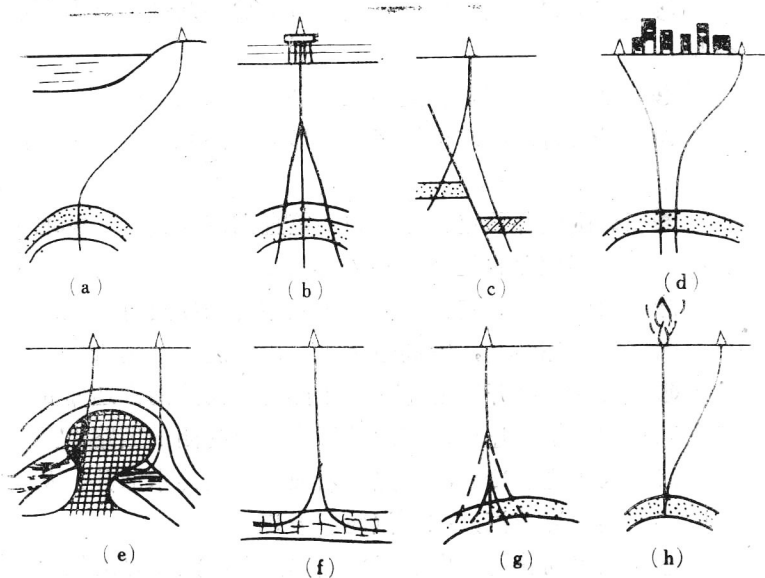


图0-2 定向钻进在油气田勘探和开发中的应用

a——勘探海底油气田；b——海上钻井充分利用平台；c——控制断层；
d——障碍物限制井位；e——盐丘附近钻进；f——增大出油量；g——打
多底井；h——打救援井

●在完工的地热井或供水井中，再钻分枝井，以增加地热井的热水量或供水井的水量。

定向钻进还可以解决某些工程的特殊问题：

●在煤矿开采前的保安技术中，利用定向孔预抽瓦斯。

●在城市高大建筑物地下、宽阔街道或公路地下，江河湖泊地下打定向孔，敷设电缆或管道。

●在矿山爆破孔中打分枝孔，以增加装药量，提高爆破效果。

●地下核爆炸后，打定向孔以便快速安全取样。

●钻进有特殊要求的灌浆孔，形成防渗帷幕，杜绝水库水坝渗漏或加固坝基。

●在矿山竖井预定井位，施工笔直的定向孔，了解地下岩层情况，确定是否适宜在该处建井。

●矿山竖井或其它开挖工程必须穿过流砂层时，在工程点周围打定向冻结孔，隔离地下水，以便施工顺利进行。

●利用定向井开发地壳深部干热岩石的热能。通常钻两口定向深井，下部连通，使两井形成一个封闭的回路系统，由一口井向下灌注冷水，干热岩石使注入的冷水加热，从另一口井引出高温蒸汽，推动汽轮机发电。

●某些定向孔还可用于开采固体矿产，如作煤的地下气化，硫的地下熔化，岩盐的地下溶化等的通道。

由于定向钻进具有减少井孔数目、节约进尺、减少大量钻前准备工作、加快勘探速度、提高施工质量、节省投资、能解决常规钻进难以解决的勘探问题和特殊工程问题等一系列优点，所以它在地质钻探和石油钻井领域内得到普遍的重视，并且显示出很好的发展前景。

02 定向钻进的历史和现状

定向钻进技术的发展和日臻完善至今约有60多年的历史。

早在1924年，美国A·安德森（Anderson）设计了测斜仪。1929年，他测量并记录了255口井的空间位置，发现深度2000m的钻井水平位移竟达177m，井斜角（顶角）超过 65° 。稍晚，在俄克拉荷马（Oklahoma）油田两台钻机施工的两口井井身相遇，结果钻到同一井中。这是从用顿钻打井改为用转盘钻井之后，人们首次意识到井弯的严重性，并想方设法采取对策纠正井斜。另外，钻井过程中有时发生无法处理的井内事故，人们采用侧钻的办法，绕过井内障碍物，继续钻进到目的层。纠正井斜和处理井内事故是定向钻进技术应用的最初阶段。当时所用的造斜工具主要是造斜楔。

1925年前后，苏联M. A. 卡彼柳什尼柯夫（Капелюшников）和美国沙彭伯格（Scharpenberg）几乎同时研究涡轮钻，但是都没有达到实际应用的水平。30年代，由于勘探海底油田，才促进了定向钻进技术的发展。从此，有意识地利用井弯现象，打定向井，实现探采石油的目的。

1930年，美国在加利福尼亚（California）亨廷顿海滩（Huntington Beach）施工了两口深入海底的定向井。1933年，在加州长滩（Long Beach）信号山（Signal Hill）油田又打了几口定向井，开采朝阳墓地（Sunnyside Cemetery）下方的石油。

1934年,苏联在巴库(Баку)也开始从海岸向近海底部打定向井,勘探里海海滨下方的油田。同年,美国在德克萨斯(Texas)东部的康罗(Conroe)用打偏斜井的方法处理了一起井喷事故。当时,为了精确测量井的方位角和顶角采用了单点测斜仪。

40年代的1941年,苏联用涡轮钻成功地打出了定向井。第二次世界大战以后,由于石油需求量不断增加,石油开发工作大量投向海底。起初是在海滨向海底打定向井,而后是建立平台,在海上钻井。为了增加一口井的石油开采量或者为了充分利用平台,大大推动了钻丛式井技术的发展。到1954年,苏联80%的石油钻井采用了涡轮钻,1950—1957年,完成了100多万米多井底井。1956年,法国也开始制造涡轮钻。在此期间,美国施密斯工具公司(Smith Tool Company)研制了螺杆钻。50年代末,有了首台工业产品在市场销售,60年代用于定向钻井。

60年代以来,由于墨西哥湾(Gulf of Mexico)油田和北海(North Sea)油田的勘探和开发,海上平台定向钻井迅速发展,一般一座平台上钻18—36口井。随着PDC(Polycrystalline Diamond Compax)钻头的出现,使用涡轮钻打定向井更为普遍。苏联除涡轮钻以外还使用电钻,作为定向钻进的井底发动机,据称占油气田定向钻进工作量的5%。

70年代,在深井定向钻进中,西方国家广泛采用螺杆钻,螺杆钻是一种正排量马达,简称PDM(Positive Displacement Motor)。美国许多公司,如施伦贝格(Schlumberger)、贝克(Baker)、克里斯坦森(Christensen)、