

[苏联]B·B·施齐欣等著

地质勘探钻孔定向钻进

于允型译 刘士迈校

中国工业出版社

前 言

岩心鉆探是矿产勘探的一种最普遍的方法。但是这种勘探形式要求花费相当多的时间、物资和材料。

多孔底孔鉆进是提高地质勘探鉆进技术经济效果最有效的方法之一。利用这种方法时从一个已结束鉆进的井筒中按着一定的剖面形状补充鉆进几个斜孔，使其按规定的勘探网穿过矿体。由于缩减鉆探工作量，而得到的节省，可能达到40—50%。

现在由于矿产的勘探深度达到1500米或更深，地质勘探孔的定向鉆进具有很现实的意义。

现在在苏联和国外对地质勘探孔定向鉆进的經驗还不多，本书是初次有关这方面的經驗总结。

书中利用了从烏拉尔、东哈薩克斯坦、中哈薩克斯坦、西西伯利亚和其他地质局，以及从乌克兰地质勘探托拉斯，哈薩克矿物原料研究所，莫斯科地质勘探学院等收集的資料。

作为对这些組織周到地提供現有的定向鉆进資料的同事們表示深深的感謝。

本书的5—8节；10—15节由A. M. 庫尔馬舍夫 (Курмашев) 編写，16节由З. В. 巴云契奇科娃 (Баюнчикова) 編写，其余各节由B. B. 施齐欣 (Шитихин) 所写。

目 录

前 言

定向孔钻进简述	1
I. 测量钻孔轴线在空间的位置	7
§ 1. 概論	7
§ 2. 陀螺仪方法	8
概論	8
仪器	10
1. CH-3型静态式陀螺测斜仪	11
2. ИГ-2型陀螺测斜仪	15
3. 捷克斯洛伐克陀螺测斜仪	18
§ 3. 定向下钻方法	20
发展史概述	20
瞄准方法	21
1. 定向接头瞄准目标	21
2. 水平瞄准	22
3. 垂直瞄准	27
定向下钻的误差	29
仪器	30
1. ГИ-K1型测斜仪	30
2. ИМА-НУ-1型测斜仪	33
3. 自动照象测斜仪	35
4. “Craelius”电磁测斜仪	38
§ 4. 连环方法	40
II. 钻孔的自然弯曲	45
§ 5. 概論	45

§ 6. 利用鉆孔自然弯曲规律的定向钻进	48
II. 保证鉆孔在空間設計位置的技术装置与措施	50
§ 7. 在开孔时, 保持鉆孔正确方向的措施	50
§ 8. 在鉆进过程中防止鉆孔弯曲的措施	50
IV. 鉆孔的人工弯曲	54
§ 9. 概論	54
A. 固定式变向器	54
§ 10. 結構	54
§ 11. 堵塞鉆孔	56
§ 12. 向鉆孔里下变向器	59
§ 13. 在鉆孔里安装变向器的計算	61
§ 14. 变向器在鉆孔中的定向方法	66
变向器的直接定向方法	66
变向器的間接定向方法	66
1. 利用打印自动定向法	66
2. 变向器的自动定向	68
3. 在定位座上安装变向器	69
4. 利用孔底信号器在鉆孔中变向器的定向方法	80
§ 15. 变向器的固定	86
§ 16. 从变向器处开鉆	87
开鉆工具	87
从变向器处开鉆鉆进規程	90
B. 可卸变向器	91
§ 17. 定向鉆进的装置和仪器	92
带有声音定向的鉆具	92
定向鉆进的YHB-2型装置	94
定向鉆进的YHB-3型装置	96
“ЛП-1”型取样器	97
B. 鉆具的专门型号	100

VI

§ 18. 定向钻进的工具结构	101
用于定向钻进勘探钻孔的 A. O. 卡伊泽尔和 B. A. 布罗涅夫 斯基的工具	101
定向钻进的 ПНБ-2 型工具	103
莫斯科地质勘探学院的定向钻进装置	105
钻粒冲击方法的定向钻进	107
V. 国外地质勘探钻孔定向钻进的实践	109
§ 19. “Холл-Рой”方法	109
§ 20. Thompson 可卸变向器	112
结束语	117
参考文献	120

定向孔钻进簡述

为了使孔底钻达地质剖面上的設計点上，保持钻孔的設計方向是对钻孔的基本要求之一。从这种关系上来看，任何钻孔不管它的目的如何都可认为是有方向的。

垂直钻孔的方向性是靠保持等于零或接近于零的頂角而取得的。

在斜孔钻进时，控制頂角和方位角是定向钻进的基本問題。

在钻探实践中大家知道，复合剖面的钻孔，开始为垂直段，在达一定的深度时，为了沿最短的途径按設計的角度傾斜钻向設計的孔底点。

图 1 列举了钻孔的不同剖面。

所有的钻孔可以分成两种类型。沿鉛垂的或傾斜的直线沒有采用人工造斜钻进的钻孔属于第一种类型，叫做“自由方向的”。靠改变钻进規程达到保持钻孔的設計位置。

部分孔身是曲线式的，属于第二种类型。靠采用人工造斜或利用自然条件造斜，或两者同时采用而达到孔身的曲线性。这样的钻孔叫做“强制定向的”或者簡称为“定向孔”。

在矿层傾斜很陡时最好的地质勘探钻孔剖面設計是与矿层走向直交，且钻孔从孔口到孔底是一条傾斜直线的。这种剖面的优点是(图1,5)在钻孔較小的弯曲时，孔口和孔底的投影距离最大。斜孔钻进时頂角和方位角的大小是固定的，可以不采用人工造斜器，因而在最小的輔助工序及物资消耗之下，使钻孔的施工期减少。

然而钻探实践表明，在技术与工艺上钻出从地面就倾斜的钻孔是困难的。斜孔钻进需要专门的倾斜的支撑装置，这限制了强力钻进规程的运用。

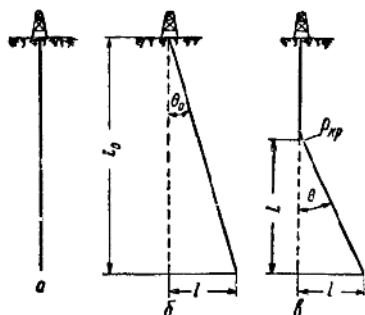


图 1 钻孔剖面

a—垂直的；б—倾斜的；в—复合的

由此看来，复合式剖面（图1，в）更有发展前途，尤其在深孔时，钻进复合式剖面钻孔时人工造斜所消耗的时间，可以由在垂直孔段采取强力钻进规程以及采用升降钻具机械化等所节省的时间抵消。

100 米到 200 米的浅孔最好是打斜孔（图1，б）。

较深的钻孔采用人工造斜器按复合剖面钻进比较经济（图1，в）。

在如下的情况下，进行地质勘探钻孔的定向钻进：

1. 按垂直矿体走向的剖面钻进。
2. 钻场面积的限制，例如在山区，钻探设备放置很困难，有时甚至不可能。
3. 水池的下边，沼泽的下边，山褶曲的下边，工程建筑物的下边等等。

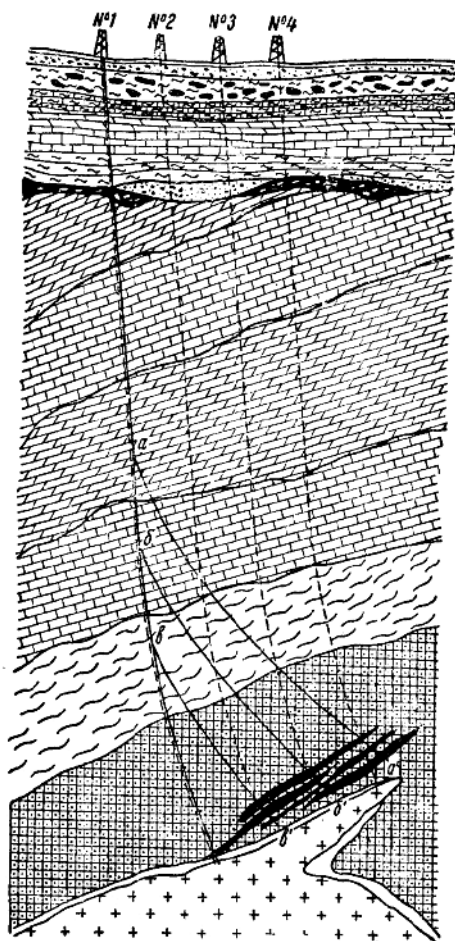


图 2 多孔底钻进

4. 重新钻进岩心采取率低的孔段。
5. 矫正在钻进过程中偏离原设计方向的钻孔。
6. 绕过在事故中留在孔里的工具等等。

用多孔底定向钻孔勘探深部矿体有特别的重要性和前景。在这样的情况下多次利用主孔从而大大减少钻孔工作量。合理地使用定向钻进可节省时间、物资和材料，增加设备的利用率，减少了设备在安装、拆卸和运输中的消耗。

图2为地质勘探钻孔的多孔底钻进图。在这个情况下，是在钻进了孔深为685米的钻孔中，钻进三个辅助钻孔来代替按50×50米孔网设计的四个单独钻孔。钻进工作量减少的情况如表1所示。

表 1

单 孔 钻 进		多 孔 底 钻 进		钻进工作量减少，米
№/№	钻进工作量，米	№/№	钻进工作量，米	
1	685	1	685	—
2	650	$\alpha-\alpha'$	188	467
3	625	$\beta-\beta'$	268	357
4	605	$\sigma-\sigma'$	338	267
共计： 2565			1479	1091

图3是乌拉尔地质局某矿区用双孔446—446a来代替两个单钻孔446和447的地质剖面。根据乌拉尔地质局的资料，仅仅用一个双孔446—446a代替两个单独双孔得到的经济价值是21,500卢布。

地质勘探钻孔定向钻进在东哈萨克斯坦地质局的生产中得到了广泛的应用。例如在别烈左夫斯基 (Березовский)

地质勘探队从1956年开始到现在已在钻进中放置了163个变向器，其中有14个是为钻进第二孔眼而用的，105个是为了纠正与设计方向偏斜的钻孔，为了绕开事故地方下放了44个。这样由于钻进第二孔眼使钻进工作量减少了3423米，而由于放置变向器从报废孔中拯救总共进尺大约在8,000—10,000米。

定向钻进在东哈萨克斯坦地质局的其他生产组织中得到了应用，其中有别洛烏索夫卡（Белу-совка），孜里亚諾夫斯克（Зыряновск），格列霍夫斯克（Греховск）和其他的勘探队。

定向钻孔的钻进比较完满地在石油钻井中得到了解决。利用井底发动机（涡轮钻或电钻）可以借助比较简单的技术设备在所希望的方向上偏斜钻孔，使其达到所要求的数值。除此以外，这种钻进方法由于钻杆不转动，有助于保持钻孔的已有方向。但是应指出，转盘钻在苏联石油工业和国外取得了很大的成就。

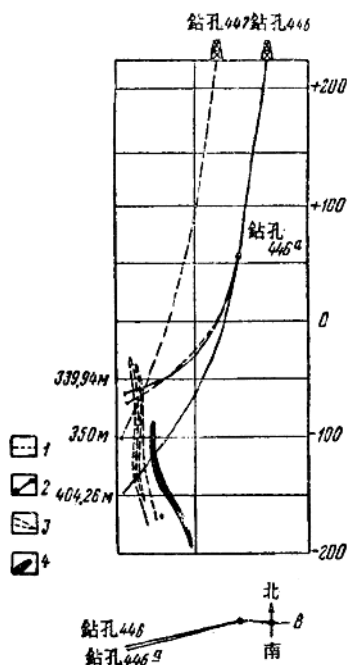


图3 烏拉尔地质局某矿区的双孔眼446—446a地质剖面图

1—设计钻孔；2—钻进过的钻孔；3—预想矿体的轮廓；4—矿体

由于缺乏小尺寸的井底发动机，地质勘探钻孔孔径小、地质剖面的岩石性质和一系列的其他原因限制了石油钻井定向钻进方法在岩心钻进方面的广泛使用的可能性。

在岩心钻进时，细的钻杆的运转促使钻孔轴线很快地偏离设计方向。因此地质勘探钻孔的定向钻进特别在矿体很深时技术困难很大。由于现在向金刚石钻进过渡的转变，地质勘探钻孔定向钻进的复杂性在很大程度上有所增加。向金刚石钻进的过渡不仅要求创造小尺寸的整套人工造斜工具，而且要有测量钻孔在空间位置的小尺寸仪器。

地质勘探钻孔定向钻进的问题在于解决下列基本任务：
测量钻孔轴线在空间的位置。

钻孔自然弯曲规律的研究和这些规律在钻进中的利用^①。

制定对有助于保持钻孔在空间已有状态的措施和技术装备。

钻孔的人工弯曲。

① 钻孔的自然弯曲，应理解为钻孔任意地不可预知的弯曲。

I. 測量鑽孔軸綫在空間的位置

§ 1. 概 論

系統地測量鑽孔軸綫在空間的位置，在定向鑽孔中起着頭等作用。及時的發現鑽孔與設計方向的偏斜即可用最少的时间和較簡單的技术設備使其回到原来的位置上。

下列的必須条件使得創造更完善的測量鑽孔弯曲的儀器很困难：

及時的高精度的測量鑽孔深部的参数；

儀器傳送器的訊号傳送到很远的距离，可能达到 1,500—2,000 米，灵敏元件要安装在很小的輪廓尺寸以內；

灵敏元件在很大的外部液体压力条件下工作，而在某些情況下在高温介质包围儀器的条件下工作。

大家知道，鑽孔軸綫任何一点在空間的位置用三个参数确定——頂角 θ ，方位角 α 和深度 l 。

測量頂角没有什么特殊的困难，在任何情況下都以重錘或者液面水平的原理为基础。

測斜儀方位角傳送器的結構由它所处的工作条件决定，从这个观点出发測斜儀可以分为两种：一种是应用在弱磁性介质鑽孔中使用的測斜儀，其讀数的准确性与磁性介质无关。

在第一种儀器中的零点方位的傳送器大多数采用磁針，也可以利用感应罗盘或者电磁探測器（магнитный зонд）。

以磁性傳送器为基础的測斜儀已足够完善了，在某种程

度上能满足地质勘探生产的要求。

这一类的仪器有大家知道的 ИШ-2、ИШ-4 测斜仪，包良可夫测斜仪，ИФ-6 照象测斜仪和其他^①。

在强磁性介质中钻孔弯曲的测量，不能使用磁性传送器的测斜仪，而要求用另外的测量方法。现在已知有三种方法对此合适：陀螺仪方法；利用钻杆在地面使仪器传送器在孔内定向的方法；和连环测量方法。

§ 2. 陀螺仪方法

概 論

陀螺方法是最完善的和最有前途的方法。陀螺仪不仅具有必要的测量准确性，而且测斜工作效率很高。

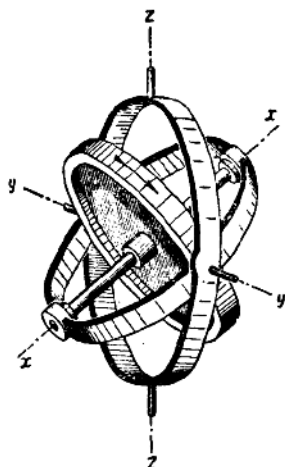


图 4 陀螺

陀螺仪方法测量钻孔弯曲的原理是：如果把高速旋转的转子，使它具有三个自由度悬挂起，也就是能围绕三个彼此垂直并相交于一点的轴线运动，当在支点上没有摩擦的情况下，形体轴（旋转轴线）空间位置将保持不变(图 4)，在这种条件下转子轴线就可以做为在每个点上计算倾斜平面方位的基础。

① С.Г. 科马罗夫，“工业地球物理技术”国家燃料技术出版社1957。

如果限制陀螺轉子的一个自由度，在支点沒有摩擦的情況下，或者具有很大的动矩的情況下^①，它能象罗盘一样工作，也就是它的軸线在被强制引出地理子午线的平面时，能自动的迴轉回来。因此用陀螺方法測量鉛孔弯曲有两个途径解决：利用陀螺罗盘的零点方位传递器和采用方位陀螺。

从陀螺理論知道，陀螺罗盘外万向軸悬挂支点的摩擦力矩應該小于轉子以速度 Ω_p 围绕主軸 $x-x$ 旋轉而产生的迴轉力矩，和已具有速度 $\Omega_s \cos \varphi \sin \psi$ 的内万向軸摩擦力。

此处 Ω_p ——轉子旋轉的角速度；

Ω_s ——地球旋轉的角速度；

φ ——地理的緯度位置；

ψ ——陀螺主軸与子午线平面的傾斜角度。

可以认为上述摩擦力矩与陀螺系統重量 G 的大小成比例。由此：

$$\lambda G < I_x \Omega_p \Omega_s \cos \varphi \sin \psi, \quad (1)$$

式中 λ ——摩擦系数。

$$I_x = \frac{mR^2}{2} = \frac{G}{g} \frac{R^2}{2},$$

$$\text{而} \quad \lambda G < \frac{G}{g} \frac{R^2}{2} \Omega_p \Omega_s \cos \varphi \sin \psi$$

$$\text{或} \quad R > \sqrt{\frac{2\lambda g}{\Omega_p \Omega_s \cos \varphi \sin \psi}}. \quad (2)$$

按問題的条件陀螺罗盘的主軸不應該与子午线平面偏斜很大的角度 ψ ，由此 $\sin \psi$ 将接近于零。因此为保持不等式 (1) R 将有很大的数值。与此相应的陀螺罗盘的尺寸将是相

① 陀螺动矩： $H = I_x \Omega_p$ ，式中： I_x ——轉子軸向慣性矩，克·厘米·秒²； Ω_p ——轉子的角速度。

当大的。

实践表明，利用陀螺罗盘作为方位角传送器的测斜仪直径可能有 120—140 毫米。

利用方位陀螺作为方位传送器的测斜仪，由于陀螺的尺寸比较小，可以创造出适合地质勘探钻孔用的仪器。如以上所指出的，方位陀螺在外部的干扰扰动力矩，主要的是万向轴悬挂支点摩擦力矩的影响下，逐渐的以速度 ω_z ，变其位置。

$$\omega_z = \frac{M_{\text{вм}}}{H} \quad (3)$$

式中 ω_z ——陀螺进动角速度；

$M_{\text{вм}}$ ——作用在陀螺上的外力矩；

H ——陀螺转子的动力矩。

全苏勘探技术研究所（ВИТР）对成批生产的 ГПК-48 陀螺的研究表明，万向轴悬挂支点摩擦力矩的改变是偶然过程。因此所指的摩擦力矩具有某种不对称性，陀螺形体轴与稳定平面的偏斜按时间和符号是不相等的。但是已确定，陀螺形体轴在稳定平面附近的摆动，不超出陀螺系统的已知数值界限。这给出了满足勘探实践要求足够准确的计算陀螺在方位上的偏差平均值的基础，以及按与时间成比例的测点来分析它们。

仪 器

很早就有过创造陀螺测斜仪的经验。表 2 按时间顺序列举了在苏联和国外研究过的测斜仪。

表 2 所列的大多数仪器，由于本身的尺寸以及很小的测量范围，或者由于另外的原因表明对地质勘探实践是不适合的。

表 2

儀 器 的 名 稱	外 徑, 毫 米	頂 角 測 量 限, 度	電 纜 的 數, 個	制 作 年 代	地 點 和 創 造 者
“Страгомер”	—	—	—	1905	德國, 古斯曼教授
“鉆孔傾斜測量器”	92	7			德國, 安胥子公司
	106	13	8	1914	(Anschutz)
	132	30			
“Крейгель-компас”	120	6以內	8	1922	德國, 馬爾廷先教授
“帶有照象記錄的陀螺測斜儀”	140	55以內	繩索	1943	美國, “Сперри-Сан”公司
光电陀螺測斜儀	100	45以內	7	1951	蘇聯, 全蘇地球物理勘探科學研究所
靜態陀螺測斜儀СИ-3	100	50以內	3	1952	蘇聯, 全蘇勘探技術研究所
電測斜儀	89	10以內	8	1954	蘇聯, 全蘇礦冶科學研究設計院
“矿工”	108	5以內	13	1954	蘇聯造船工業部
ИГ-1陀螺測斜儀	74	30以內	7	1955	蘇聯 ЛИАП 和 “地質勘探” 工廠
捷克斯洛伐克陀螺測斜儀	{ 113.5 70	{ — 60以內	{ — 3	{ 1955 1957	{ 捷克斯洛伐克礦業科學 研究院
ИГ-2陀螺測斜儀	89	30以內	3	1957	蘇聯 “地質勘探” 工廠

現有資料里, 生產試驗結果表明只有三種陀螺測斜儀的結構能滿足地質勘探的實際要求。

1. СИ-3 型靜態式陀螺測斜儀

СИ-3 型陀螺測斜儀用於直徑 110 毫米和更大直徑的鉆孔。

儀器的設計以間接的方法確定鉆孔的頂角和方位角為基礎的。測量是靠測出鉛垂線和鉆孔軸線在兩個位於直角座標系當中, 彼此垂直的鉛垂平面上的攝影之間的夾角 β_x 和 β_m 來進行 (圖 5)。假設座標系在鉆孔測量過程中, 相對於子午

