

234217

基本馆藏

北京石油学院讲义

钻井技术与工艺学

上册

苏联 Г.М. 盖维年著



石油工业出版社

北 京 石 油 学 院 讲 义

鑽 井 技 术 与 工 艺 学

上 册

苏联 Г. М. 盖維年著

北京石油学院鑽井教研室譯

石 油 工 業 出 版 社

内 容 提 要

本書分上中下三册出版。上册包括緒論、岩石破碎、鑽頭、鑽具等四章；中册包括泥漿、渦輪鑽、電鑽、定向鑽等四章；下册包括鑽井方式、固井、鑽井裝置與設備、鑽井勞動組織及技術經濟等四章。

本書原系蘇聯專家格·姆·蓋維年付教授在北京石油學院為鑽采系教師及研究生所講授的鑽井工程課程的講義。內容包羅很廣，可作為有關各高等院校師生的參考書，可供中等專業學校教學上的參考；並可供所有從事石油鑽井及其他鑽探工作者的閱讀參考。

統一書號：15037·599

鑽井技術與工藝學

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ БУРЕНИЯ
НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ СКВАЖИН

上 册

根據北京石油學院蘇聯Г·М·蓋維年(Г·М·ГЕВИНЯН)講義稿翻譯

石油工業出版社出版(廠址：北京六環路石油工業部內)

北京市書刊出版業營業許可證出字第083號

石油工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

850×1168 $\frac{1}{2}$ 開本·印張10%·260千字·印1—8,000冊

1959年2月北京第1版第1次印刷

定價(10)1.55元

譯者的話

本書系苏联專家格·姆·蓋維年副教授(проф. г. М. Гевинян)在北京石油學院為鑽采系教師及研究生所講授的鑽井工程課程的講義(1956—1958)，並為我院鑽采系鑽井專業學生在鑽井工程這一門專業課程上的主要參考書。因為教學上的十分需要和現場工程技術工作者的要求早日出版，作為學習的參考，我們征得專家的同意並交由石油工業出版社出版。

本書的翻譯和校訂工作，全是由本教研室的同志們所擔負，限于業務水平，在翻譯和編排方面，很可能有錯誤的地方；在名詞方面，雖作了很大的努力，力求統一，並符合現場的使用，但由於許多新名詞，我們還沒有一致的叫法，本書所採用的可能也不夠合適；此外，專家回國後，原來所收集的插圖，也有少數沒有註明來源或者沒有原書，或者只有說明沒有底圖，又由石油出版社加以整理補充。其中很可能不完全符合專家原來的真正要求，請專家原諒。並希望讀者隨時提出批評意見，以資再版時修正。

北京石油學院

鑽井教研室 1958 年 10 月於北京

目 录

譯者的話

第一章 緒論	1
第一节 導言	1
第二节 井的概念	6
第三节 鑽井方法	8
第四节 鑽油、气井的特点	11
第五节 各种鑽井方法的技术經濟效益	12
第六节 井身結構	15
第二章 岩石机械性質及其破碎的基本規律	28
第一节 概論	28
第二节 岩石的物理机械性質	35
第三节 岩石状态的物理机械性質	36
第四节 岩石在外載荷作用下的性質	48
第五节 在鑽头作用下岩石的性質	65
第六节 岩石的可鑽性	90
第七节 岩石破碎过程的力能学	98
第八节 岩石对井壁的压力	107
第九节 破碎岩石的新方法	122
参考文献	134
第三章 鑽头	135
第一节 概論	135
第二节 鑽头强度的提高及鑽头磨損	161
第三节 鑽头在井底工作的条件	170
第四节 岩石破碎的功率消耗	193
第五节 鑽头工作效率的評價	207
第六节 鑽头工作的技术經濟指标	126

第七节 鑽头事故的原因及預防和消除事故的方法	229
参考文献	211
第四章 鑽具	242
第一节 概論	242
第二节 轉盤鑽井時鑽具的工作	243
第三节 渦輪鑽井時鑽具的工作	265
第四节 鑽桿的編組及其分类	268
第五节 鑽桿柱中的应力及其强度的計算	277
第六节 鑽具在泥漿中旋轉的消耗功率	282
第七节 起下鑽	286
第八节 小型机械化和起下鑽操作的机械化	299
第九节 預防及解除事故的措施	309
第十节 起下鑽和打撈工作中的技术安全	333
参考文献	335

第一章 緒 論

第一节 導 言

在任何一個國家的國民經濟中，石油都起着重大的作用。沒有一個偉大的政治家不強調指出石油對發展工業的意義。

在社會主義陣營國家的國民經濟計劃中，對發展石油工業給予很大的注意。由於國家重視石油工業，所以無論是在那些以前沒有石油的國家里，或是石油工業處在不發達的國家里，石油工業都得到了巨大的發展。

國際政治的某些問題是依靠石油，依靠油田作為基礎，這又一次指出石油的重要意義。

從前，大部分有益礦藏是根據它們在地面上的露頭發現的。所有舊的油田是在油氣的天然露頭上鑽井而發現的。

在我們的時代里，全部或幾乎全部的油氣的天然露頭都已經知道，要發現新的油氣田，只有用鑽深井的辦法來實現。

油礦業務這一整套的工作，可以分成彼此截然不同的三個階段。

1. 普查；
2. 勘探；
3. 開發。

在所有這三個階段中，通常都要進行鑽井工程，各階段的鑽井工程都有其各自的任務。

普查工作中需要鑽井，是為了找到構造，也就是為了找到指出在該地區岩石中可能發現石油或天然氣的地質結構。所以這一階段的鑽井工程通常稱為構造鑽井。

大家知道，可能性还不是现实性。为了搞清楚在有了良好的构造时有没有工业油气藏，还要进行勘探钻井工程或探勘钻井。

最后，在勘探钻井给出肯定的回答在该地区具有工业油藏以后，就着手进行生产钻井，其目的就是建井。井之所以必需，是为了用各种方法把石油或天然气从地底下汲取到地面上来，也就是为了开发油田。

总的看，钻井工程与一系列的操作和工作紧密相关，虽然这些操作和工作与保证钻井的全部过程——即与钻井工艺无直接联系。

同时，还不能把钻井工艺与用以实现钻井的东西，即与钻头、钻井机械、发动机、井架、钻井泵等等脱离，也就是不能与钻井技术脱离。

钻井技术在许多地方与“钻井机械和矿场机械”课程相错综。为了不超出一定的范围，同时为了不重复，最好遵循下列的基本路线。在“油气井的钻井技术和工艺学”这门课里，从合理使用以保证工艺过程的观点上研究钻井工具和设备，同时不涉及到保养，修理和设计的问题。

从石油矿场工程师在钻井方面的任务来看，“钻井技术和工艺学”这门课的目的是要教会：

第一，依据具体条件和所规定的钻井任务，正确地和有根据地选择钻井方法；

第二，确定简捷的、坚固的及就保护矿藏来说是合理的井身结构；

第三，依据井的功用正确地选择和使用钻井设备，此时应注意到如何满足先进工艺的要求及尽可能最大的节省资金的耗费；

第四，正确地确定钻井技术措施的各参数；

第五，组织井场和辅助车间、（注水泥车间、井架安装和修理车间、泥浆厂、管子站等等）严格的和密切的联系；

第六，及时地进行制止和防止事故的一整套預防性的措施，因为事故会造成人命死亡和使井报废。

在整个計劃中，“鑽井技术和工艺学”这門課的学习目的所提出的任务是：

为了能够根据井的功用，技术上內行和經濟上正确地进行鑽井，奠下牢固的理論和实际基础。

在历史發展方面可以看出，鑽井工程逐年地愈益复杂。鑽井工程之所以愈益复杂，首先与井深的增長有关。

考虑到解决鑽井理論和实际問題的复杂程度，要求專家們在有关的課程方面有深博的知識。只有具备了这些条件，才能正确地确定方針和解决复杂的、各种各样的和变化难測的鑽井任务。

上面所講的只是本課程最基本的和初步的任务，像“鑽井技术和工艺学”这样一門实用課程，还應該使專家从大学生时代就养成对研究和总结革新者經驗的爱好。这方面的工作有两个基本源泉：

第一，無論是在掌握了本專業的基础之前或是以后，它会提高听課人本身的業務水平。

第二，这一工作將保証專家进一步提高和充实，同时保証鑽井技术和工艺的不断發展和完善。

这兒举几个苏联鑽井工作經驗中的例子：

工程技术人員研究和总结了布佐夫內石油矿务局鑽井处“快速鑽井”技師的轉盤鑽井經驗，使整个鑽井处的机械鑽速从3—4公尺/小时提高到16—20公尺/小时。

另外一个例子，总结了奥尔忠尼啓則石油矿务局的渦輪鑽井經驗，工程人員給技師 III. 法特庫里也夫制訂了用渦輪鑽井方法鑽深1900公尺井的鑽井工艺圖表。下面就是該井完成后的一些結果，用一个鑽頭在21小时內鑽完了从0到951公尺的井段，也就是說平均机械鑽速是45.2公尺/小时。全井的平均机械

鑽速等于 28.9 公尺/小时。

第三个例子，在巴什基里亞油矿，不論是渦輪鑽井或是用電動鑽具鑽井，泥漿泵都开始采用离心泵来代替活塞泵，并已取得了良好的效果。离心泵的优越性是紧凑，可以根据压力自动調節泵量，串連工作时使用簡單。由于这个經驗，就給設計家們提出了創造使用于高压下用泥漿工作的新型离心泵的任务。

批判的吸取其他技術領域和國民經濟部門的經驗以及国外的工作方法，是發展鑽井技术和工艺的重要源泉。在这方面，在一定条件下可能用空气或天然气代替鑽井液（水或泥漿）是很有意义的。当很好地解决了这个問題以后，用气渦輪代替水渦輪（渦輪鑽具）就將成为現实了。在苏联得到采用的傳动帶式泥漿篩，是用于选矿中的帶式溜矿槽的另一种形式。

目前，鑽井部門的專家們在科学研究方面思索鑽研的是些什么样的問題呢？

基本問題是寻找能保證在很大的深度，特別是在坚硬岩石中，在很大的机械鑽速下，获得高的鑽头进尺的鑽井技術措施和鑽井方法。

这个問題正在按下列四个主要的方向来解决。

第一，制訂在各个地層中的最优鑽井技術措施，使得在使用标准設備和标准鑽头的情况下能利用全部可能性；

第二，試用新結構的鑽头，以找出較旧結構优越之处。这里新結構的鑽头指的是：噴射式鑽头，取心及全面鑽进井底用的多層金剛石鑽头、牙輪鑽头的各种新結構；

第三，研究新的鑽井方法，并闡明它的可能性，像利用噴咀或电弧的热力鑽井、各种的振動鑽井，应用震彈爆炸力的鑽井，行星式鑽井等等；

第四，考慮到鑽头工作原理和岩石破碎阻力的理論处在發展的初期，正广泛地进行着創立完整的理論的工作。在这个理論

的基础上可以推想，將要創造出鑽井所必需的鑽頭給進器。

順便指出，在苏联众所週知的称作斯克瓦尔佐夫“自动化司鑽”的第一个調節器出現在1925年。時間過去三十多年了，而在这期間很多國家都創造了大量的鑽頭給進調節器的圖樣和結構。然而，無論是在苏联或是在其他國家，暫時還沒有一種調節器的結構得到廣泛的應用。鑽頭給進調節器對加速鑽井過程和降低事故百分數的意義，是大家所公認的。目前，苏联有三種類型的調節器正在進行工業性試驗或已略為使用：

1)BAP-1 型鑽頭自動給進器。

2)МПД-1 型鑽頭給進器。

3)哥德日也夫水力調節器。

分析鑽井過程中各種操作所耗費的時間得出，由於換鑽頭而進行起下鑽操作的時間耗費很大。

直到目前為止，這個問題是依靠增大鑽桿立根的長度，並因而增加井架的高度，以提高起下鑽的速度來解決的。另一方面，依靠提高鑽井絞車的功率和鑽井絞車一定程度的改善，來解決這個問題。

對幻想給予一定的重視，而且把這種幻想與近代技術成就聯繫起來，可以想像借助於大型直昇飛機來實現為換鑽頭而起下鑽桿的操作。在這種情況下，花費在鑽桿上扣和卸扣的體力消耗和時間消耗就可以大大地減少了。

回過來看看實際情況，鑽桿柱上卸絲扣繁重過程機械化的問題，已因設計師創造了相應的機械(АВТ、АВС、АСП)而得到解決。

然而，用這種自動裝置暫時只解了問題的一半，因為這些機械僅使繁重的過程機械化。但是要很大的縮減完成這一操作的時間，這還沒有達到。這是因為增力起鑽的速度的機械並未能解決。

我們知道，在縮短起下鑽操作的時間及消除繁重的體力勞動

的問題上，使用無桿電鑽是較有前途的。

鑽井過程中的一系列操作，要求很大程度的現代化、機械化和改善。在技術和機械製造發展的近代水平上，有些工作還是使用落後的工作方法，如配制泥漿、配制處理泥漿液（水及泥漿）的化學試劑，加重泥漿，混合水泥等等。

在蘇聯，水泥混合工作的機械化問題，由於創造了 CMH-20 型水泥攪拌器已獲得解決。但是這種機器還遠遠不夠完善，同時由於笨重，使用範圍有一定限制。

最後，我想教學法上指出一點。

在講課當中，把整個鑽井工作或特別把鑽井速度當作目的本身，這種隨隨便便得出的想法是極其危險的。所以在全部課程里，必須很明確地闡明鑽井工作的基本目的不僅僅是鑽一口井，而且同等重要的是要完成所規定的任務。例如探井，就應該完成在指定的深度取岩心的要求和進行計劃中所規定的各項試驗工作；如果是生產井，則應該保證在最短期間，花費最少的資金得到石油或天然氣。

第二節 井 的 概 念

自古以來人們就利用鑽井方法，從地底下取出液態的或氣態的有益礦藏。

為了開采石油和天然氣，以滿足工業和運輸業，以及日常生活的需要，鑽井得到了特別廣泛的發展。

井的特點就是：它有着圓形的斷面及與深度（從 5—10 公尺到 5000—6000 公尺）比起來不大的直徑（0.1—0.6 公尺）。

後面兩種情況就使得人不能進入井里進行鑽井工作。

簡單地可以這樣下個定義。直徑不大、深度很大、從地面鑽、而人不能進到裡面去的，垂直的或傾斜的圓柱形坑洞，稱之為井。

根據井的功用，井（和鑽井工程）有着各種名稱。如果為了尋

找和勘探油田、水和天然气的目的所鑽的井，称为探井；如果为了开采(开发)所鑽的井，則称为生产井。

有时井既用于勘探也用于开发油、气田，在这种情况下就称为生产探井。

鑽井工程，也就是鑽井过程本身，按不同特征分成各种类别。

根据所使用的动力，有人力鑽井和机械鑽井。

按照井加深的方法分为頓鑽和旋轉鑽。

目前，在石油鑽井实际工作中，使用最广泛的是旋轉鑽。同时企图找出效率更高的鑽井方法。例如，苏联正在試驗各种新法鑽井，如無鑽头鑽井、振动鑽井、行星式鑽井、热力鑽井，等等。

上面所进行的鑽井分类，并不排除更詳細的分法。

为了研究地層剖面及确定某基准層的成層深度的鑽井，就称为地層鑽井和地層井。为了解决同一个任务的鑽井，但它是在单独情况及很大深度下进行，通常称之为基准井；如果是为了确定不同地点地層成層的因素及編制該地区的剖面的井，則列入地質制圖井或構造井的一类中。

此外，为了在已开采一定時間的油田中进行残余石油的工業估价，就叫鑽估价井；为了把水或天然气压入地層，为了实行二次采油，就鑽注入井，为了在对二次采油后的地層进行地質技术观察，就鑽观察井。

同一种鑽井方法，可以根据工具的种类及鑽井机械安裝的位置来分类。例如頓鑽根据鑽井工具类型的不同，分为繩索式頓鑽(中国方法)和管式頓鑽(伽里西和俄国的方法)。

同时，旋轉鑽由于帶鑽具的發动机安放位置不同，通常分为轉盤旋轉鑽和井底动力鑽(渦輪鑽和电鑽)。

不管鑽井功用和鑽井方法是什么，每一个井都有下列各部分：井口——井的开端；井底——井的底部；井壁——井的側面；井

身——从井口到井底的內腔。

井身所处的位置可以是垂直的，傾斜的和水平的，它們相应的專門名詞是垂直鑽井，傾斜鑽井和水平鑽井。

其次，井可以鑽成單个的或成組的，因而分双井眼鑽井，多井眼鑽井及多向鑽井。

最后，井可以有相当大的直徑，能够下入两个或更多的油層套管，可以在一口井中分別开采两个或更多的生产層，这种井通常相应地称为兩管井，三管井及多管井。

第三节 鑽井方法

任何一种鑽井方法它都包括下列各基本工序：

- 1) 破碎井底的岩石，也就是加深井身；
- 2) 把鑽碎的岩屑从井底携帶到地面；
- 3) 起下在井內工作的鑽具；
- 4) 加固井壁。

上述各工序中主要的是破碎井底的岩石或純鑽井。所以破碎井底岩石的方法决定了鑽井的方法。

最老的一种鑽油井的方法，是頓鑽法。頓鑽的實質是：將鋼質尖頭——鑽頭提起，然后投向井底，击碎井底的岩石。逐漸地在井底聚集的岩屑妨碍繼續击碎井底岩石，所以停止鑽进，起出鑽頭，往井內下入撈砂筒。用撈砂筒撈出井底岩屑后，起出撈砂筒，重新下入鑽頭，繼續加深。每隔 0.3—0.5 公尺重复一次击碎井底岩石和撈岩屑的連續操作。当井鑽到不穩固的岩石时，在已鑽完的井段上用套管加固井壁。井壁加固每隔 50—70 公尺深进行一次，其方法是下一个套管柱、同心圓式地一个下到另外一个里面。

旋轉鑽井建立在接近于鑽孔的原理上。在这种情况下，鑽頭旋轉，并破碎井底的岩石。随岩石破碎的同时，把岩屑帶到地

面。为此目的,把鑽头旋紧在鑽桿上,在鑽进的同时往鑽桿里注入鑽井液(水或泥漿)泥漿沿旋轉着的鑽桿向下流动,到达鑽头,經過鑽头上的水眼冲向井底。泥漿的液流到井底后,帶着岩屑,沿着井壁与旋轉着的鑽桿之間的环形空間,流返地面。

用泥漿作鑽井液,甚至在不稳固的岩石中,不用套管柱加固井壁,可以鑽数百公尺。

在旋轉鑽井中,当鑽头磨鈍(磨損)时需要把鑽头起出地面。

圖1和圖2給出了人力頓鑽和旋轉鑽井的一般概念。

在某些国家里,特別是在美国采用混合鑽井。混合鑽井正如它本身的名称所指出的,是在一个井中使用頓鑽和旋轉鑽。在混合鑽井时,或是安裝兩部独立的鑽机(旋轉鑽机和頓鑽机),或是安裝一部專門的鑽机,此种鑽机能够从旋轉鑽改为頓鑽,或相反地从頓鑽改为旋轉鑽。

通常在混合鑽井时,从旋轉鑽改为頓鑽是在下列情况下进行:

1. 鑽遇非常坚硬岩層时;
2. 当鑽穿低飽和度和低压的油層时。

目前,渦輪鑽已被公認是先进的鑽井方法。

渦輪鑽是轉盤旋轉鑽方法的一种变相,而它与轉盤旋轉鑽不同的地方就在于:發动机移至井底,循环液流一方面用以清洗井底,同时又用作渦輪鑽具能量的来源。

比較頓鑽和旋轉鑽可以看出,在兩種情况下也都要完成四个工序,

- 1) 加深; 2) 帶出岩屑; 3) 起下鑽头和 4) 加固井壁。

只是在頓鑽鑽井时,头两个工序是分开进行的,而在旋轉鑽井时是同时进行。在頓鑽鑽井时,起出鑽头不是因为鑽头磨損了,而是因为井底聚集很多岩屑妨碍了使井繼續加深。在旋轉鑽井正常鑽进时,只是当鑽头磨損了的时候才起出鑽头。

与上述各基本工序相联系,尚有一些附帶的工序,像取岩

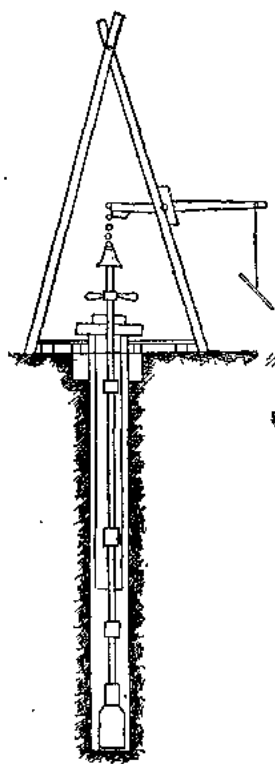


圖 1 頓鑽

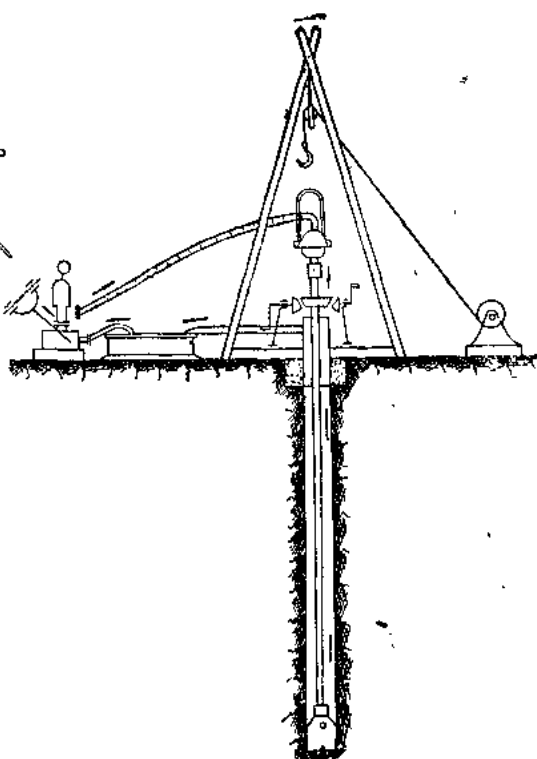


圖 2 旋轉鑽

心、取液樣、測井斜及其他。

在鑽井不能正常進行和鑽具損壞時，還必須進行一系列的處理複雜情況及打撈工作。

進行轉盤旋轉鑽井和井底動力旋轉鑽井(渦輪鑽具和電動鑽具)之間的對比，不能不看到井底動力旋轉鑽井的技術先進性和經濟效益。

井底動力旋轉鑽井與轉盤旋轉鑽井比較起來有哪些優越性呢？

井底动力用以鑽垂直井也用以鑽斜井，所以它的使用范围与轉盤旋轉鑽井方法的使用范围是一样的。

井底动力鑽井的技术和工艺有一些特点，但基本上与轉盤鑽井的技术和工艺沒有原則性的区别。

井底动力鑽井的基本优越性就在于旋轉鑽头的發动机直接安到井底，結果鑽桿柱不旋轉了。所以：

1. 井底动力的功率全部傳給鑽头，沒有在轉盤旋轉鑽井时所發生的旋轉鑽桿柱及鑽桿柱与井壁摩擦时所發生的功率損失；

2. 在承受应力的意义上來說，鑽桿柱是在較良好的条件下工作，所以可以使用較薄壁的鑽桿；

3. 鑽桿柱沒有很大的磨損以及使用較薄壁鑽桿，就可以减少了这部分鑽具的消耗；

4. 由于不可能产生过度的扭力，就大大减少了因鑽桿磨損而造成事故的可能性。

第四节 鑽油、气井的特点

鑽井應該看成像地面上的其他工程建筑一样。所以，对井提出的基本要求像任何工程建筑一样。从这个观点上來說，井應該：在整个鑽井期間以及后来的开采期間都是坚固的；能够使加固井壁的套管和水泥消耗最少；节省資金方面的消費；最后井應該在尽可能短的时间內鑽完。

鑽油、气井的最終目的是造成一个通路。这个通路是先用鑽头鑽穿各种岩層，其中有些岩層是含油的，另外是含气的，第三种是含水的，第四种是干砂層的且能够自由地从相应岩層中吸收石油、天然气或水。

所以，鑽油、气井其中一个特点，是必須把各个地層相互隔絕(隔离)起来，特别是把要开采的含油層和含气層同含水層和干質砂層隔絕起来。