

高等学校教学用书

钻井工程

北京石油学院钻井教研室编



中国工业出版社

本書為石油工業院校地質、物探、采油、礦機、經濟專業鑽井工程教學用書。本書主要依據教學時數較多的經濟專業教學大綱并參照其他各專業要求編寫的。共分緒論、鑽頭、鑽柱、洗井液、鑽井技術、井底動力鑽井、定向鑽井、取心鑽井、固井、油井完成、鑽井地面裝置與設備、鑽井組織管理與技術經濟指標及地質構造鑽探十三章。在內容處理上以講解基本理論為主，力求做到分量適中，講解清楚。

本書可作為石油中等技校和現場工程技術人員參考用書。

鑽井工程

北京石油學院鑽井教研室編

中國工業出版社出版（北京 朝陽區 10 號）

（北京市書刊出版事業許可證出字第 1107 號）

石油工業出版社印刷廠印刷

新華書店科技發行所發行·各地新華書店經售

開本 851 × 1168¹/₃₂ · 印張 11⁵/₁₆ · 插頁 8 · 字數 297,000

1961 年 7 月北京第一版 · 1961 年 7 月北京第一次印刷

印數 0001—1,033 · 定價（10—6）1.90 元

統一書號：15165 · 129（石油—38）

前 言

本書为高等院校石油地質、物探、采油、矿机、經濟等专业鑽井工程教学用書。

本書包括緒論、鑽头、鑽柱、洗井液、鑽井技术、井底动力鑽井、定向鑽井、取心鑽井、固井、油井完成、鑽井地面装置与設備、鑽井劳动組織与技术經濟指标、地質构造鑽探等十二章，在內容安排上有以下特点。

1) 考虑到岩石与鑽头的密切关系和外专业对岩石部份的要求，把岩石內容放在鑽头一章講述。

2) 考虑到鑽井过程中对复杂情况的处理实际上是鑽井技术的組成部份之一，因此在鑽井技术一章中增写了“复杂情况下鑽井”一节。

在內容的深度和广度方面以学时最多的經濟专业为主并适当照顧其他专业的要求作为取材标准。如地質构造鑽探一章主要是为地質专业編写的，其他专业可以根据具体情况酌情处理；再如地面装置与設備一章，矿机专业教学时則可以从略。

各章节內容的选择上力求做到以介紹基本內容为主，避免繁瑣的敘述，考虑到专业之間的差别，講授时內容上可以有所增減。此外在編写过程中考虑到几年来我国石油工业的大发展，增添了一些新內容和新技术。

· 本書在50—60学时內可以講完。

· 本書除了作为上述各专业教学用書之外，还可作为中等石油技校师生和現場工程技术人员参考用書。

· 本書在北京石油学院鑽井教研室原有外专业講义的基础上修改編写的。周世尧、沈忠厚、陈庭根、胡湘燭、郑基英、胡乃人、孟宪金、张志韓、路建通及同学謝南屏、范克勤等11人共同参加了这次的編写工作，本書的审查工作由周世尧、樊世忠、沈忠厚

孟宪金四位同志完成，并且由沈忠厚、孟宪金、胡乃人三位同志对全书进行了系统的整理与词句上的修饰，最后由鑽采系审查组集体审查定稿，此外政治理论教研室陈树林、陈景林二位同志也参加了本书緒論和鑽井劳动 組織与技术 經濟指标 两章的审查工作。

本书在编写和审查工作中由于时间仓促、經驗不足，錯誤和不妥之处可能不少，敬希讀者随时提出批評并給以指正。

北京石油学院鑽井教研室一九六一年四月

目 录

前言

緒論	1
第1节 鑽井在石油工业中的地位	1
第2节 鑽井方法	3
第3节 我国鑽井工作的巨大成就	5
第4节 鑽井工程課程的系統、任务和学习目的	9
第一章 鑽头	12
第1节 概論	12
第2节 岩石的机械性質	13
第3节 岩石硬度及塑性系数的測定方法	18
第4节 不同类型岩石的破碎規律	21
第5节 鑽头結構分类和作用原理	24
第6节 鑽头的磨損	36
第7节 鑽头事故及打捞工具	38
第二章 鑽柱	43
第1节 概論	43
第2节 鑽桿及其联接工具	47
第3节 鑽具的选择与鑽柱的設計	61
第4节 鑽柱事故及其預防和处理	66
第三章 洗 井	72
第1节 概論	72
第2节 泥漿的基本理論	74
第3节 泥漿的物理化学性能及測定方法	81
第4节 泥漿的化学处理原理及处理剂	88
第5节 正常地質条件下泥漿性能調节方法	93
第6节 复杂地質条件下泥漿性能調节方法	96
第7节 泥漿的配制和淨化	100
第8节 清水鑽井和空气鑽井	106
第四章 鑽井技术 (轉盤鑽)	109
第1节 鑽头的选择	110

第2节	鑽井技術措施	111
第3节	井身質量——井斜問題	123
第4节	复杂情況下鑽井	129
第五章	井底動力鑽井	134
第1节	概論	134
第2节	渦輪鑽具的工作原理及其結構	137
第3节	渦輪鑽具工作特性及其基本理論	140
第4节	渦輪鑽井方式	146
第5节	渦輪鑽具的選擇	156
第6节	渦輪鑽具的使用与檢查	158
第7节	電動鑽井	159
第六章	定向鑽井	165
第1节	概論	165
第2节	定向井的剖面及制圖	166
第3节	定向鑽井方法	173
第4节	定向井的定向	179
第5节	雙眼井鑽井及多底井鑽井	181
第七章	取心鑽井	185
第1节	概述	185
第2节	固定式及繩索式取心	186
第3节	筒式取心	195
第4节	井壁取心	198
第八章	固井	201
第1节	概述	201
第2节	固井設計	202
第3节	固井工藝	220
第4节	提高固井質量的途徑	245
第5节	固井質量不高的补救措施	249
第九章	油井完成	251
第1节	鑽開生產層	251
第2节	完井方法及井底井口裝备	260
第3节	試油、誘導油流及油井移交	265

第十章	钻井地面装置与设备	272
第1节	概論	272
第2节	主要鑽井設備	273
第3节	鑽井輔助工具	302
第4节	井場布置及设备安装	305
第十一章	钻井劳动組織与技术經濟指标	313
第1节	鑽井生产过程的組織	313
第2节	技术經濟指标	314
第3节	鑽井計劃的制定	317
第4节	鑽井队的劳动組織	319
第十二章	地质构造鑽探	324
第1节	概述	324
第2节	构造井的鑽进 (岩心鑽进)	324
第3节	构造井的止水 (固井)	347
第4节	鑽具	351
第5节	鑽探設備	359

緒 論

石油工业是国民經济中的一个重要組成部份，它和水利电力工业、煤炭工业共同构成社会主义的燃料——动力工业的基础，而石油工业的产品（汽油、潤滑油、煤油等）对于发展和巩固我国的社会主义建設和国防建設有着特別重要的意义。当然在农业机械化方面，沒有石油也是不可設想的。

由此可見，如果石油工业不能跟上工农业生产大跃进的速度，就会严重地影响国家社会主义工业化、农业机械化、国防現代化事业的发展。

我国石油工业在解放后有了飞速的发展，但不能不看到目前仍然是国民經济中比較薄弱的环节，原油产量还远不能滿足祖国社会主义建設各方面迅速发展发展的要求，因此，我們必須鼓足干劲，力爭上游，高速度高水平地发展我国的石油工业。

第 1 节 鑽井在石油工业中的地位

石油工业是一个有复杂的专业生产組織結構的工业部門，它包括油、气田的調查与勘探、鑽井、开采、石油及天然气的加工炼制、儲藏、运输及石油机械设备的修配制造等专业生产部門，而勘探和炼制則是石油工业的两大主要专业生产部門。

石油勘探是石油炼制发展的基础，而鑽井又是石油勘探的重要組成部份。

一、鑽井及井 人們利用机械设备和工具从地表向下鑽凿圓柱形孔眼的工作称为“鑽井”，这个孔眼称为井眼或井身。一般我們簡称为“井”。

鑽井是人們有目的有意識地进行的，因此井的深度基本上决定于勘探或开采目的层的埋藏位置，而井的直径一方面与地質条

件和井深有关，另一方面是人们在儘可能满足采油要求又考虑到经济原则之后选定的。

现有的资料告诉我们，井的直径从4吋到20吋不等，而井的深度则从几米到六、七千米。要指出的是随着生产的发展和鑽井技术水平的提高，井眼将越来越深，而井眼尺寸则是朝着小井眼方向发展。

井眼所处的位置可以是垂直的（近似垂直的），也可以是倾斜的。

我们知道，石油勘探工作可以分为地质普查、区域勘探、油田开发三个阶段，三个阶段中所要完成的任务是不同的，但它们有其共同点，即都要进行鑽井。如在普查阶段为了研究地层剖面和寻找含油、气构造，要进行鑽井，属于这一类的井有地质井、基准井、制图井、构造井等。在勘探阶段为了寻找工业性油、气藏并详细研究油、气藏的储量、性能，同样要进行鑽井，属于这一类的井有预探井、详探井、边探井等。不言而喻，在油、气田开发阶段更要进行鑽井，属于这一类的井有生产井、注入井、估价井、观察井等。

可见鑽井在石油工业中佔有十分重要的地位，因为不进行鑽井就难以取得实际的地下地质资料并发现工业性油、气藏，从而也就难以保证油、气可采储量和产量的高速度增长。

如上所述，由于井的功用不同，而井的种类又是相当繁多，这正说明鑽井在地质勘探和油田开发工作中得到了广泛的应用。另外，应该看到井的分类并不是绝对的，它们之间是既有区别又互相联系的。例如：在油、气田被证实了之后，探井就变成了生产井；反之，在油、气田开采期间，不少的生产井亦要部分地完成探井应取得地下地质资料的任务。

二、油、气井的特点 目前，鑽井工作在国民经济的不少部门中得到了广泛的应用。如水利工程、堤坝桥樑、厂房建筑等，往往通过鑽井取得地下地质资料，借以作出正确的設計。另外，鑽井也用于各种有用矿物的开采中。在属于石油地质范围的鑽井中也

有着不同的目的：如地質井在取得足夠的地質資料之后，井就算完成了任务，而油、气井的最終目的是为地下油、气造成一个通路，使油、气从地下流至地面上来。这样就决定了油、气井本身又有其独具的特点：

1. 地层的隔离：在井眼所穿过的地层中，有的是水层，有的是气层、油层，有的是干砂层，有的是漏失层……等等。因此我們必須設法把目的层（油、气层）与其他地层隔絕开来，否则就会妨碍油、气藏开采工作的顺利进行。

2. 一口井作为油、气的通路来講，从初期到終期都必須是坚固的。为了解决这两个問題，目前我們通常是在鑽完井之后，用套管（无縫鋼管）下入井內，並在套管外用水泥浆封闭，从而达到隔离地层的目的。图 1 所示为用套管隔离油层和高压水层的情况。

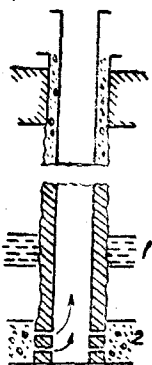


图 11

1—高压水層；
2—油、气層。

第 2 节 鑽 井 方 法

在长期的生产实践中，人們創造了很多破碎岩石加深井眼的方法。但从机械破碎观点来看，使用最多的鑽井方法有两种，即冲击鑽井方法和旋轉鑽井方法。

一、冲击鑽井方法：冲击鑽井是一种古老的鑽井方法，通常又称为頓鑽。冲击鑽井的實質是把鋼質尖头的鑽头提起，然后迅速投向井底，借鑽头的冲击力將井底岩石击破。为了增大鑽头的冲击力，鑽头上加一至二根鑽桿。鑽头是以活环及鋼絲繩連接的，以机械設備將鋼絲繩及鑽头提起 0.5 至 1 米，猛然下放，然后再提起和下放，如此一提一放，使鑽头对井底全面的鑽凿。

当井加深 0.3 到 0.5 米，破碎了的岩石都集聚在井底，妨碍了繼續鑽进，因此須停鑽並下入捞砂筒將岩屑捞出，再繼續鑽进。因此，破碎岩石和携带岩屑是相間进行的。

有时为了冷却鑽头和清洗井底，事先向井底注入少許清水，

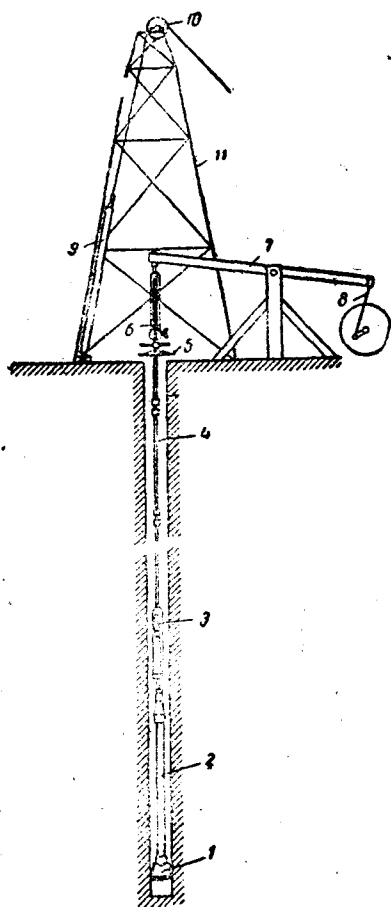


图 2 冲击鑽井方法

- 1—冲击鑽井用鑽头；2—鑽桿；3—活环；4—提引繩（鋼絲繩）；5—牛头；6—調整螺絲；7—游標；8—曲柄；9—撈砂筒；10—定滑輪（天車）；11—井架。

由于鑽头的冲击和攪动，使岩屑和水混成泥水，亦可以悬浮一些大块的岩屑。

当井鑽到不稳固地层时，为了避免地层坍塌，妨碍繼續鑽进，在已鑽的井段上可用套管进行加固井壁，每鑽几十米就需进行一次加固井壁的工作。冲击鑽井如图 2 所示。

影响冲击鑽井鑽井效率的因素，主要决定于鑽井中所鑽岩石的軟硬、鑽头和鑽桿的重量、提起的高度及冲击的次数，以及所用鑽头的类型和在井底的工作情况。

二、旋轉鑽井方法

在和自然的斗争中，人們总是不断的总结經驗，促使生产的发展。通过长期的生产实践，人們在冲击鑽井方法的基础上創造了旋轉鑽井方法。旋轉鑽井是通过压

力和旋轉力矩对鑽头的联合作用破碎岩石的。而井底的岩屑是靠循环的洗井液（如泥浆）及时地带到地面上来，因此破碎岩石和

清除岩屑是同时进行的。

旋轉鑽井中的轉盤鑽井法（地面動力通過轉盤帶動井底的鑽頭），是目前世界各國均較廣泛使用的一種鑽井方法。圖3所示為轉盤鑽井法。

在轉盤鑽井方法的基礎上，產生了井底動力鑽井（如渦輪鑽井和電動鑽井），其實質就是把驅動鑽頭旋轉的動力自地面移至井底。渦輪鑽井是利用在井底裝置水力渦輪機帶動鑽頭旋轉，而電鑽井是在井底裝置電動機來帶動鑽頭旋轉的。目前，井底動力鑽井特別是渦輪鑽井在蘇聯已經得到了廣泛的使用。電動鑽井也進入工業性推廣階段。事實證明，井底動力鑽井是目前鑽井技術上更加先進，經濟上更有利的一種鑽井方法。

三、沖擊鑽井和旋轉鑽井方法的比較：由於旋轉鑽井是在總結沖擊鑽井方法的基礎上產生的，並具有比較高的機械化程度，因此無可否認與沖擊鑽井相比確實具有很大的優越性，特別是井底動力鑽井，功率傳遞系數較高。但必須指出，評價沖擊鑽井和旋轉鑽井時，必須結合具體情況對其技術經濟效益做具體的分析。從這一觀點出發，在地層極硬、油層較淺、油層壓力較低的油、氣田中，用沖擊鑽井方法可能是經濟的。此外，在水源缺乏及一些偏僻地區，由於缺乏機械化設備及工具，而採用沖擊鑽井亦有突出的意義。

沖擊鑽井和旋轉鑽井的技術經濟效益的詳細對比列於表1。

第3節 我國鑽井工作的巨大成就

一、我國鑽井發層簡史 歷史文獻證明，遠在公元二三百年前後，我國勞動人民就發現和使用石油（我國古代稱石漆）及天然氣；而在公元前250年前後，我國勞動人民就掌握了鑽井技術（我國古代稱凿井）。

在“夢溪筆談”^①中對陵州鹽井的記載中寫道鹽井井深已達500餘尺。

^① 《夢溪筆談》，宋朝沈括著（公元1031—1095，陵州為今仁壽井研一帶）。

冲击鑽井和旋轉鑽井比較表

冲击鑽井 (頓鑽)	旋 轉 鑽 井
破碎岩石方式: 冲击	压力和扭轉联合作用
每鑽0.3到0.5米須起鑽下入撈砂筒撈取岩屑后繼續鑽進, 起鑽次數多	岩屑在鑽進的同時由洗井液帶出, 起鑽次數少
不能得到大塊的岩樣	除收集岩樣外, 還可取岩心
鑽進時井壁容易坍塌, 套管層次多, 消耗大量金屬和時間	鑽進時, 使用洗井液, 洗井液有保护和穩定井壁的作用。故鑽進中加固井壁用套管層數少, 可節約材料
鑽進時對於油氣和水飽和度低的地層容易發現	可以用專門電測工作或井壁取心去測驗地層壓力低的地層
在高压油氣水層鑽進時, 控制井噴的發生較難	可使用加重泥漿鑽進壓力高的地層
鑽井設備重量小, 簡單, 操作較容易	鑽井設備重, 複雜
消耗水少	消耗水及洗井液材料多

在川鹽紀要中^①記載“凿井求盐, 人无淡食, 自秦以来, 代有盛衰, 迄今两千余年矣”。

我国劳动人民早在900年前, 就創造了鑽深井的技术, 並且以此法在四川鑽凿了許多盐井和火井。

在天工开物^②中也曾寫到“……凡蜀中石山去河不远者, 多

① 《川盐紀要》，清朝林維翰著，1916年初出版轉录自1872年的《自流井风物名实說》一書

② 天工开物，明朝宋应星撰著，1637年出版。

可造井取盐。盐井周围不过数寸，其上口一小孟复之有余，深必十丈以外，乃得卤信，故造井功费甚难，……。”

由此可见，在石油及天然气的发现、使用以及钻井方面，我们的祖国是有悠久历史的。勤劳智慧的我国劳动人民在钻井科学方面对世界文化有着杰出的贡献（图4）。

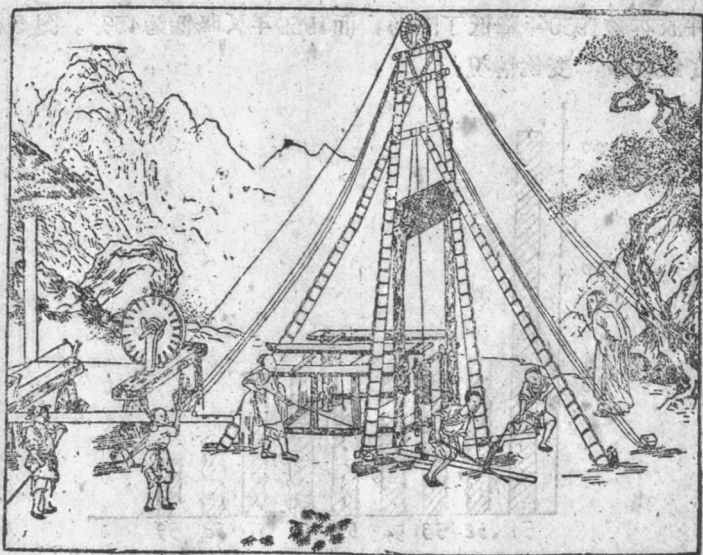


图4 下木竹（天工开物）

二、解放后我国钻井工作的巨大成就：解放前由于我国长期停滞在封建束缚的社会里，近百年来又处于半封建、半殖民地的统治之下，这就大大阻碍了我国钻井事业的迅速发展，解放后在党的正确领导下，我国的钻井工作才获得了飞速的发展，特别是1958年以来，在党的鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义的总路线的光辉照耀下，我国钻井工作和其他各项建设事业一样得到了全面的大跃进！以1957年为例，钻井总进尺数相当于1904年到1948年钻井进尺总和的14倍；1960年钻井总进尺数，相当于1957年的3.7倍。在钻井进尺猛增的同时，钻井技术水平有了很大提高，这首先表现在钻机月速度的急剧增长，以1958年为

例，平均鑽机月速度为672米/鑽机月，相当于1949年126米/鑽机月的五倍多，其中生产井的平均鑽机月速度已达1386米/鑽机月（1958年），而美国平均鑽机月速度从580米/鑽机月（1944年）增加到1150米/鑽机月，花费了11年的时间。目前我国不少鑽井队已达到月上双千，月上三千或更高的指标。

在鑽井速度大飞跃的同时，鑽井成本大大地降低了。1958年鑽井成本较1950年降低了50%，而1959年又降低为45%。图5繪出了鑽井成本变化情况：

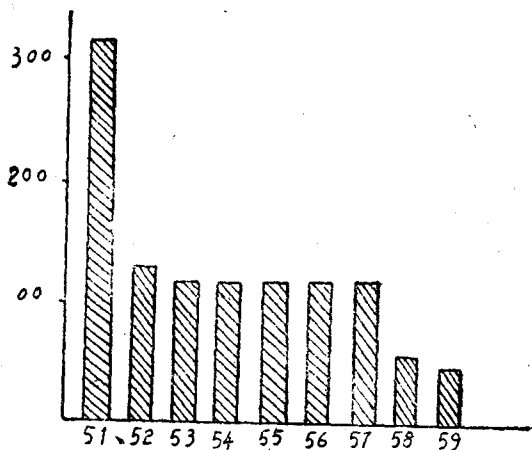


图5 鑽井进尺成本逐年降低百分比 (以1950年成本为100%)

此外，十年来我国使用和推广了涡轮鑽井，同时进行了双筒井、定向井的鑽井工作。特别是近几年来，进行了許多口井深度超过3000米以上的超深井鑽探工作，并取得了显著成績。

应该指出的是，我国的石油勘探事业之所以能高速度地发展，其根本原因在于社会主义制度的优越性，在于我們党中央和毛主席的正确领导，我們党以馬克思列宁主义为指导，根据我国具体情况，自觉地利用客观規律，制定了“鼓足干劲，力爭上游，多快好省地建設社会主义”的总路綫和一整套两条腿走路的方針。正确地安排了国民經济中各部門之間的关系，调动了一切积极因素，促进了我国社会生产力的飞速发展，掀起了国民經济

各部門的持續大跃进。

因此，必須充分認識到我国鑽井工作的偉大成績是在党的直接关怀和正确领导下取得的，是大搞羣众运动、充分發揮羣众智慧和主观能动性的結果，是充分發揮羣众革命热情与科学精神，苦干加巧干的結果。是石油工业战线上全体职工正确地执行了党的社会主义总路綫和一整套两条腿走路的方針的結果。

我們完全相信，我国的石油勘探事业在党的正确领导下，在总路綫、大跃进、人民公社三面紅旗的光輝照耀下，在已有的大跃进的基础上，完全有可能爭取实现更好更全面的跃进。

第4节 鑽井工程課程的系統、任务和学习目的

一、鑽井工程課程的範圍及学习目的

石油、天然气工作者的目的是找到油田，拿到石油或天然气，鑽井工作是人們为了达到这种目的所采取的一种手段；而鑽井工程这門課程正是人們（主要是鑽井工作者）长期以来生产經驗的总结。

前面已經講过，所謂鑽井就是人們利用机械設備和工具破碎岩石加深井眼的工作，因此岩石能否被破碎是鑽井工作的关键，是井眼加深的前提。这样就决定了鑽井工程这門学科所研究的範圍不外于：

- 1) 鑽井的直接对象——岩石和地层。
- 2) 鑽井所用的机械設備和工具。
- 3) 鑽井技术和工艺。
- 4) 其他有关技术工艺（加固井壁、循环洗井、携代岩屑等）。
- 5) 企业的組織管理。

“多快好省”是我們从事一切工作的准繩，鑽井工作当然也不能例外，因此鑽井工作者必須学会少花钱多打井、快打井、打好井的本領。要知道，影响鑽井工作的因素是复杂的，但从总的方面来講，不外于岩石、工具和人三方面的关系。在这里岩石是

工作的直接对象，工具是人創造的，因此作为劳动者和生产工具的創造者、使用者的人是鑽井工作中决定的因素。

人們能否正确的認識岩石和地层的特性、能否合理的創造和使用机械設備和工具，能否在正确的認識客觀規律的基础上拟定出正确的技术措施……等等，这是鑽井工作能否多快好省的關鍵。所有这些內容在鑽井工程課程中都做全面的論述，我們学习鑽井工程这門課的意义和目的就在这里。

二、鑽井課程的特点及与其他課程的关系

总的看来，鑽井工程各項工作均与操作有重要关系，因而具有工艺性的特点，另一方面又是一門技术科学，因为在鑽井过程中要用很多复杂的現代化設備如鑽头、鑽井机械、井架、泥浆泵、动力机等。这样就决定了鑽井工程是一門实用的技术科学。

鑽井工程和油、气田的調查勘探，油矿地質，地球物理、采油、采气、油田开发設計以及鑽井机械和安装修理都有着直接关系。

对于一个采油工作者來說，油、气井的質量和鑽井技术都严重地，直接地影响着油、气井的生产，不正确的鑽井技术措施，不仅直接影响生产，而且影响到油、气井的使用寿命及日后修井工作的困难，所以，應該掌握鑽井的知識。

对于一个石油地質和地球物理工作者來說，無論作調查勘探、作油、气田开发的地質规划或地質觀測，必須掌握鑽井知識，只有这样，才可以正确规划方案，合理的选择布井系統以及深入地對鑽井进行觀測和研究，做出正确的地質結論。

对于油矿机械工作者來講，随着鑽井技术的发展，就对鑽井机械和設備提出了更高的要求。不仅要求鑽井設備有足夠的負荷能力和強度，而且要逐步实现鑽井生产过程中的机械化和自动化，来減輕笨重的体力劳动。为此，也必須了解鑽井生产过程和要求，学习“鑽井”。

很显然对于一个石油工业經濟工作者來說，如果没有鑽井工程的实际知識和必要的理論知識，更是无法工作的。