

渦輪鑽井理論與 技術基礎

苏联 P. A. 約安尼信著

石油工業出版社

渦輪鑽井理論與 技術基礎

蘇聯 P·A·約安尼信著

北京石油學院礦場機械教研室譯

石油工業出版社

內 容 提 要

在本書中闡明了多級渦輪鑽具的理論基礎，敘述了多級渦輪鑽具的構造及其使用的規則，討論了用渦輪鑽具鑽斜井和垂直井的技術上的基本問題，並且也簡述了蘇聯渦輪鑽具的發展歷史。

本書可供工程師技術員以及高等學校學生閱讀。

Р. А. ИОАННЕСЯН

ОСНОВЫ ТЕОРИИ И ТЕХНИКИ

ТУРБИННОГО БУРЕНИЯ

根據蘇聯國立石油燃料科技書籍出版社(ГОСОПТЕХИЗДАТ)

1953年列寧格勒版翻譯

統一書號：15037·98

渦輪鑽井理論與技術基礎

北京石油學院礦場機械教研室譯

石油工業出版社出版(地址：北京六鋪炕石油工業部十号楼)

北京市書刊出版業營業證許可証出字第083號

北京市印刷一廠排印

新華書店發行

787×1092 $\frac{1}{2}$ 開本·印張11 $\frac{1}{2}$ ·插頁10·227千字·印1—5,100冊

1956年10月北京第1版第1次印刷

定價(10)2.00元

著者的話

最近几年来，从未出版过对渦輪鑽井的組織工作和对渦輪鑽具使用方面有指导意义的並且能講出渦輪鑽井的理論基础及渦輪原理方面的参考書。过去出版的書並沒有完全能解答工程技术人員所提出的問題，也沒有反映出目前渦輪鑽井的技术情况。

直到現在還沒有一本關於渦輪鑽井的綜合的教程，以保証在石油学院中培养出能熟練地在生产中領導渦輪鑽井的工程师。

編写本書时利用了阿塞拜疆油矿渦輪鑽井試驗所（ЭК-ТБ）的理論上的研究資料，渦輪鑽具的奠基者 П. П. 舒米洛夫所研究的渦輪鑽具中渦輪的理論基础，石油工業部設計局在渦輪鑽井方面的理論研究資料，还有一些生产革新者及斯达哈諾夫工作者的成就、合理化建議和發明。

書中也利用了石油工業部設計局的資料，以及已發表的有关渦輪鑽具的構造，用渦輪鑽具鑽斜井和鑽矿井等方面的科学研究的資料。

著者並不認為這本書已包括了所有在渦輪鑽具和渦輪的構造方面、以及在渦輪鑽井中用作破碎岩石的鑽具方面的各种各样的問題。虽然如此，著者仍希望本書能在渦輪鑽井的發展历史、目前的狀況和理論基础，以及有关渦輪鑽具的使用和渦輪鑽井等方面給工程技术人員和石油学院的学生們以足够的概念。

著者对在本書写作工作中給予帮助的 Г. И. 布拉赫及 Б. И. 米傑里曼工程师表示深深的謝意。

序 言

在苏联研究渦輪鑽井的問題已經有二十五年以上的历史了。其所以对这种鑽井方法非常重視，是由於它具有一系列的优点。

渦輪鑽井与轉盤鑽井相比較，其主要优点是：減輕了打井时鑽具（鑽桿柱）的重量，降低了每公尺鑽進的能量消耗，簡化了井身的結構，工作安全，增加了机械的和商業的鑽進速度及具有鑽特別深井的可能性，而最后也就降低了鑽井的成本。渦輪鑽井的这些特点就决定了它的先進性。

渦輪鑽井的开始是应用了 M.A. 卡別留什尼柯夫的單級減速器渦輪鑽具。用渦輪鑽具鑽井的第一个阶段（1925—1934 年）鑽井指标低於轉盤鑽的指标，因为渦輪鑽具的潛在能力在当时还没有加以利用。

渦輪鑽井的机械速度、鑽头的进尺数以及每鑽進 1 公尺的成本，在最初是落后於轉盤鑽井的。这以后渦輪鑽井的指标並沒有变动，而轉盤鑽井的指标却年复一年的提高。在应用卡別留什尼柯夫的單級減速器渦輪鑽具的最后几年中，渦輪鑽井与轉盤鑽井的指标間的距离是更大了。

因此，卡別留什尼柯夫的渦輪鑽具在工業上的应用就停止了，而开始了为創造新的，工作效率高的和堅固的渦輪鑽具的構造的科学研究工作。

为了这个目的，在巴庫——渦輪鑽具的發源地——組織了一个渦輪鑽井試驗所（КЭТБ）。由於該所的工程师 П.П. 舒

米洛夫、P.A. 約安尼信、Э.И. 塔給也夫和 M.T. 顧斯曼 几年来工作的結果，在完全新的基础上創造了一种渦輪鑽具的構造，这种構造不仅消除了过去在渦輪鑽与轉盤鑽指标之間的距离，而且还显著的超过了年年在增長着的轉盤鑽的指标。

由於对渦輪鑽具的主要环节——渦輪——的要求和在一般的渦輪制造中对渦輪的要求根本不同，这就使渦輪鑽井試驗所面临的任務更加复杂了。

应当指出，在当时还没有能滿足石油工業需要的渦輪的理論。

为了創造一种能够承受特別高的压力、並且使压力分佈在很多級中以及能够在有研磨性的泥漿中工作的渦輪，就要求渦輪鑽井試驗所研究这种渦輪的理論。

根据当时制造鑽油井用的井下發動机的实际經驗是不能够設計渦輪鑽具的構造的。

在創造新渦輪鑽具的时候，所有薄弱的环节都被消除了。这些环节就是：減速器和制成滾柱的和滾珠的或是摩擦副的徑向与軸向支承。它們要求保証潤滑，因此也就需要保护着不使泥漿进入。

由於所进行的工作的結果，在世界實踐中首先創造了适合在有研磨性的泥漿中工作的支承部件，它是在橡膠軸承的基础上來完成的，帶有按級数多少而有不同压力的100—150級渦輪，渦輪的比轉数是在3—4的範圍內^①。

在1937—1939年期間，所創造的新的 ЭКTB 型渦輪鑽

① 原書有誤，請參閱79頁註。——譯者

其在鑽井中的指标显著的超过了轉盤鑽井的指标，它在阿塞拜疆油矿，克拉斯諾卡姆斯克油矿以及依舍姆拜依油矿等主要石油托拉斯的鑽井中，已得到了工業上的应用。

在过去偉大的衛國戰爭的年代里，开始用渦輪鑽具鑽斜向井，因此，曾經成功地解决了油井斜向鑽进中最复杂的技术問題。

从 1943 年开始，在苏联的所有主要石油矿場上，渦輪斜向鑽井已經排挤了轉盤斜向鑽井。

目前在苏联用渦輪鑽具鑽斜井已經是的鑽斜井的方法了。

从 1943 年起，在这个新的鑽井方法的基础上發展了多向鑽井法，它的特点是井身集聚在一个不大的場地上，而井底則按油田开採網来分佈。

在克拉斯諾卡姆斯克、斯塔夫洛普利、达戈莫尔以及阿茲莫尔等油矿上所广泛採用的多向鑽井法，实际上已成为开发海底油田的主要方法。

近年来，多向鑽井法已經發展成所謂双孔鑽井法。也就是一个鑽井队如用渦輪鑽具鑽井，一台鑽机同时可以鑽兩口井。这种鑽井的方法特別适於用来开发海底油田。

目前已經开始应用渦輪鑽具順着地層进行水平鑽进，扩大採油井的井底区域，以及鑽碎採油井中的砂堵和水泥塞。此外，也將渦輪鑽具用在構造鑽井中，並且在鑽进时不把渦輪鑽具安在鑽桿上，而安在套管上。渦輪鑽具也已开始用来打煤矿所必須的大直徑的井眼。

在苏联共产党第十九次代表大会上，石油工業部部長 H.K.巴依巴柯夫曾經說：“今年的鑽井工作量与 1940 年相

比，增加到2.8倍，其中打探井的工作量約为1940年的5倍。所以能保証这样的增長，是由於採用了功率高的头等的鑽井設備，特別是由於运用了新的更加完善的鑽井工作方法，而首先就是渦輪鑽井方法。任何一个資本主义国家都沒有在石油工業上用这种先进的机器，这种机器就是我們苏联的渦輪鑽具。現在石油工業部的企業总进尺的40%以上都应用了渦輪鑽井法。

由於渦輪鑽具的使用，在东部平均的鑽井速度，在一个鑽机月中已經由500—600公尺代替了1940年的200—300公尺，而我們很多的先进鑽井技师，由於採用了快速鑽井法，目前在一个鑽机月中进尺已达到1500公尺。

我們現在正利用渦輪鑽具鑽深度达5000公尺的井以及能將埋藏在海底、河底、与建筑物下面的石油从油層中採出来的斜井。仅仅是斜向井就已經給国家生产了数百万吨的石油。”

石油工業的任务是，在最近几年內大大增加渦輪鑽井的数量，以使它在苏联成为開發油田的主要方法。

目 錄

著者的話

序言

第一章 渦輪鑽井的實質和發展的主要階段	9
第二章 渦輪的理論基礎	16
水力發動機	16
渦輪的分類	28
水力發動機發展簡史	32
軸向渦輪的單元理論	38
速度三角形	40
連續性方程式	46
伯諾里方程式	49
歐拉第一定律	51
歐拉第二定律	52
渦輪的效率	56
液流的環量與渦輪功率之間的关系	59
渦輪的反作用度	66
渦輪的特性	70
渦輪的比轉數	78
渦輪鑽具渦輪的結構参数的選擇	80
輪叶結構参数對渦輪特性的影响	85
結構角度與水力学角度間的关系	93
渦輪鑽具渦輪的計算方法	105
渦輪鑽具渦輪的計算例題	110

第三章 渦輪鑽具的構造、使用与修理	114
渦輪鑽具構造的發展	114
渦輪鑽具的橡膠軸承	138
T 14M-9 ³ / ₄ ''型和 T14M 1-9 ³ / ₄ '' 型渦輪鑽具	154
T 12M-8'' 型渦輪鑽具	160
T 19-10''型渦輪鑽具	165
标准类型的渦輪鑽具	170
取心渦輪鑽具	177
渦輪鑽具的使用	184
渦輪鑽具可換零件的報廢和修理	190
渦輪鑽具的大修	194
渦輪鑽具的修理站	195
第四章 直井的渦輪鑽井技術	198
渦輪鑽井的設備和鑽具的特点	198
渦輪鑽井与轉盤鑽井中鑽桿的工作条件	217
鑽机功率的傳遞系数	226
鑽井的技术措施	237
渦輪鑽井时向井底送进鑽头的条件	245
渦輪鑽井的泥漿的性質	247
渦輪鑽井过程中的一些复杂問題	252
渦輪鑽井过程中的井斜及其防止方法	255
在鑽井中渦輪鑽具的故障	269
第五章 斜向井的渦輪鑽井技術	273
用渦輪鑽具鑽斜向井的實質	273
用渦輪鑽具鑽斜向井时鑽桿下部工作的研究	283
斜向井垂直部分的定向下鑽	302
在斜向井中定向下鑽	309
在鑽井及接長鑽具过程中弯鑽桿弯曲面位置的控制	312

在斜向鑽井过程中变向器的定向·····	315
斜向井的剖面圖·····	321
斜向井剖面圖的計算和繪制·····	326
用渦輪鑽具鑽斜向井的技术規程·····	331
用渦輪鑽具进行多向鑽井·····	338
用渦輪鑽具进行双孔鑽井·····	342
第六章 用渦輪鑽具鑽大直徑的井·····	352
参考文献·····	364

第一章 渦輪鑽井的實質和發展的 主要阶段

渦輪鑽井是以应用井底渦輪發动机为基础的。

在用轉盤鑽井时，鑽桿柱是从地面上來轉動的，並且將旋轉傳遞給鑽頭，因此鑽井的速度在很大程度上是依井的深度為轉移的。

井越深，就不得不使轉盤的轉數越減少，而在实际要求上，因為鑽頭的直徑通常是隨着井深而減小的，要保持鑽頭圓周的綫速度始終不變，自然是应当增加轉數。

鑽頭圓周速度被迫的降低致使鑽進速度下降，也隨着井眼的加深而致使轉盤鑽井的效率显著的降低。

當很長的鑽桿柱在轉動時，就會遇到從井壁和泥漿兩方面產生的較大的有害的阻力。當井較深時，克服這個阻力所需的轉矩就超過了轉動鑽頭和破壞岩石所需要的轉矩好幾倍。

當進行轉盤鑽井時，用增加鑽頭負荷的方法，或用增加轉數的方法是可以提高深井的機械鑽速的，但是，這種可能性被有害的阻力所造成的旋轉鑽桿的過載限制住了。

此外，當旋轉的鑽桿柱的長度增加時，它的慣性作用具有很大的意義。當加到鑽頭的負荷很大時，鑽桿傳送給鑽頭的有效轉矩只佔井口轉盤產生的力矩的極小部分，所以有效轉矩有時不足以克服岩石對鑽頭旋轉的阻力。在這種情況下，鑽頭就停止旋轉，但是轉盤仍繼續轉動而扭轉鑽桿。當

鑽頭停止時，鑽柱轉動的一部分動能變為管子扭轉狀態的位能。如此則在鑽桿內，特別是在鑽桿的下部，引起很大的應力，並且常常導致鑽桿發生事故。

當鑽頭被卡住時，產生了位能（彈性能）的積聚，而在克服了鑽頭被卡的阻力以後，位能就轉變為鑽桿轉動的動能。

在某些條件下，這兩個現象可以成為彈性振動的形式。如果由於在鑽井過程中送鑽不均衡和岩層性質的改變而發生的鑽具的強迫振動週期與懸著的鑽桿柱的自然扭轉振動週期相重合，這是特別危險的。在這種情況下，很容易引起共振，這就可能發生事故。如果鑽頭的轉數是鑽桿柱自然振動頻率的倍數，也可能發生共振。

在轉盤鑽井中，如果鑽具給進不均勻時，鑽桿柱彈性振動的強度在很大的程度上是隨着井的深度和轉盤轉數的增大而加劇的。

在渦輪鑽井中，實際上是消除了由於鑽桿旋轉所引起的慣性作用，因為在這種方法中鑽桿是不轉動的。

在轉盤鑽井中，鑽桿內的最大轉矩決定於以下三點：第一，鑽頭旋轉時所受的岩石阻力；第二，鑽桿身與井壁和泥漿摩擦的有害的阻力；第三，彈性扭轉振動的慣性作用。

在渦輪鑽井中，轉矩最大的數值僅僅決定於鑽頭旋轉時所受的岩石阻力。

當用轉盤鑽井時，很難從理論上計算，由於有害的阻力和慣性作用力在鑽桿內可能發生的最大轉矩。在高轉數情況下，以及在鑽深井時鑽頭的軸向負荷增加的情況下，鑽桿內的應力很容易達到近於破壞的數值（屈服極限）。因此，當用轉盤鑽深井時，在保持高鑽進速度的情況下，特別是在快速

鑽進的情況下，甚至依靠用優良的送進調節器，工作的安全條件也很難控制。照例，用轉盤鑽深井的安全條件是用降低鑽進的機械速度來達到的。

在渦輪鑽井時，鑽桿內最大的轉矩可由對渦輪的計算而完全精確地確定出來（其制動轉矩的數值），而與井深、鑽頭的轉數、鑽頭上的負荷以及鑽進的岩層的性質無關。

在轉盤鑽井的過程中，除鑽桿可能發生事故以外，鑽頭本身常常承受轉矩的危險超負荷，因為，當鑽頭在井底卡住時，它必須承受仍在轉動的鑽桿柱的慣性力。

在渦輪鑽井中，當鑽頭卡住時，它和渦輪的軸同時停止，這與轉矩超過允許極限的劇烈突變無關，因為此時無論多麼大的轉動的慣性力也沒有了。

當用轉盤鑽深井時，在增高井底壓力的情況下，井眼彎曲的可能性比渦輪鑽井時大得多。

在轉盤鑽井的過程中，下面的（主要的）一段鑽桿柱能確定井底前進方向，大家知道，這一段鑽桿柱是處在縱向壓縮的狀態下的，這種狀態對保證井身的垂直是不利的。

當用渦輪鑽具鑽井時，由於在渦輪鑽具和鑽頭中有巨大的壓力降，鑽桿柱下部處在很有利的狀態中，壓力降和渦輪鑽具的重量通常是足夠超過井底鑽頭上強大的壓力的（6 吋鑽桿時是 15 噸，5 吋鑽桿時是 12 噸）。

還必須指出，當用轉盤鑽井時，鑽桿和套管柱會受到加快的磨損。

有時候套管柱被鑽桿的接箍和接頭磨穿，這就使得井中複雜化了。昂貴的鑽桿常在較短的時期就損壞了。為避免事故起見，必須在工作過程中仔細的觀察鑽桿。

当用渦輪鑽井时，鑽桿是处在極有利的情况中，因此它的工作時間就延長了。

多年渦輪鑽井的經驗証明，当用渦輪鑽井时，鑽桿的寿命要比用轉盤鑽井时鑽桿的寿命超过十倍。

最后必須指出，用渦輪鑽井时由电动机到鑽头的功率的傳动效率比用轉盤鑽井高得多。这差別随着鑽井的深度和工作条件的加强而更形加大，並且使得用渦輪鑽井时鑽进 1 公尺的能量消耗比用轉盤鑽井时降低了。后一点已被渦輪鑽井的實踐所証实。

由以上指出的与轉盤鑽井相比渦輪鑽井所具有的主要优点，肯定了渦輪鑽井的先进性，这也是大大的提高鑽井的技术經濟指标的基础，並且保證了渦輪鑽井在苏联石油工業中广泛的应用。

把水力發动机用於鑽井的理想还是發生在上一世紀的末叶。

發明和实际应用井底水力發动机的优先地位是屬於苏联的。

1890 年，巴庫工程师 K.Γ. 西木千柯曾研究出世界上第一个井底水力發动机的設計圖。但是这个設計沒有实现。

1923 年巴庫工程师 M.A. 卡別留什尼柯夫实现了渦輪鑽井的理想，他和工程师 C.M. 瓦洛赫及 H.A. 柯尔涅夫一起建議和研究出用於鑽井的渦輪机的構造，因而定名为卡別留什尼柯夫渦輪鑽具。

1923 年馬利采伏斯基工厂制造了直徑为 6 吋和 8 吋的渦輪鑽具的實驗模型，並在地面上进行了鑽碎不同岩石的實驗。

在这一实验的基础上，阿塞拜疆油矿的技术委员会通过了关于进行涡轮鑽井的工业实验的决议。

馬利采伏斯基工厂所制造的涡轮鑽具是單級涡轮的，它具有 1600—1800 轉/分，並且經過減速器將旋轉傳給鑽頭。

虽然这个涡轮鑽具的馬力不大(3—4 馬力)，構造还不完善，但是在苏拉汉石油矿场上所进行的实验鑽井指出，可以实行涡轮鑽井。因此就向列宁格勒冶金工厂定制了直径 8 吋和 11 吋的 10—12 馬力的涡轮鑽具。

卡別留什尼柯夫的涡轮鑽具在 1925—1926 年間开始在阿塞拜疆油矿应用，主要的是在苏拉汉矿区。

同一时期，在巴庫的工厂里，如在捷尔任斯基工厂和姆雅斯尼柯夫工厂，組織了涡轮鑽具的生产。

在十年期間內，用卡別留什尼柯夫的涡轮鑽具共約鑽了 100000 公尺的井，井深是 670—1300 公尺。同时，卡別留什尼柯夫涡轮鑽具的構造也进行了一系列的改进：反作用式涡轮代替了冲动式的；按照工程师 Г.А. 留比莫夫的建議採用了行星式多級齒輪減速器来代替了以前在涡轮鑽具中所用的減速裝置；改进了油封裝置、減速器的潤滑和支承的部件；由於採用适宜的导向輪和工作輪的叶片断面形狀而提高了涡轮的效率，同时还改善了金屬的質量和涡轮鑽具另件的热处理方法。

在 1934 年，經過將近十年的工业应用以后，就不再用卡別留什尼柯夫的涡轮鑽具来鑽井了，因为用涡轮鑽具鑽井的技术经济指标比轉盤鑽井的指标要低得多。

表 1 中所列为阿塞拜疆油矿用卡別留什尼柯夫的涡轮鑽具鑽井的指标。表 2 所列为苏拉汉油矿用卡別留什尼柯夫渦

輪鑽具鑽井和同條件井用轉盤法鑽井的指标的比較。

表 1

年 份	鑽井的井數	進尺,公尺	商業鑽速 公尺/鑽機月
1925—1926	10	1324	39.5
1926—1927	16	4073	45.5
1927—1928	26	6579	57.6
1928—1929	32	9714	62.2
1929—1930	49	12372	65.0
1931	34	12259	57.0
1932	39	18837	81.0
1933	24	8731	78.0
1934(上半年)	16	3415	72.2

表 2

指标的 名称	1932 年		1933 年		1934 年 (上半年)	
	渦輪鑽具	轉盤鑽	渦輪鑽具	轉盤鑽	渦輪鑽具	轉盤鑽
商業鑽速, 公尺/鑽機月	82.4	239.8	67.9	134.8	60.1	169.5
機械鑽速, 公尺/時	0.68	2.2	0.64	1.29	0.67	0.94
鑽井的延續時間, 小時	4.3	5.9	4.6	9.9	4	7
鑽頭的進尺, 公尺	2.92	12.98	2.94	12.78	2.68	7.58
井的平均深度, 公尺	763	863	1018	1000	1300	1081
鑽生產井鑽進, 1 公尺的 成本, 盧布	187	56	271	106	404	101

从表 1 和表 2 的数据中可以看出, 在用卡別留什尼柯夫渦輪鑽具鑽井的初期, 指标有增長的現象, 而从 1932 年起, 指标近於穩定, 並且比轉盤鑽井的指标低得多。

同时, 卡別留什尼柯夫渦輪鑽具应用的經驗也指明了井