

金 剛 石 鉆 井

石油工业出版社編譯



石油工业出版社

內 容 提 要

提高鑽井速度中的一項主要措施是提高一只鑽頭的進尺數，從而減少非生產的起下鑽時間，在堅硬地層或深探井中，使用金剛石鑽頭便是其中的一個方向。這本小冊子扼要地介紹了金剛石鑽頭的製造與使用經驗，並指出一些新的鑽頭類型和鑽井技術經濟效果等，使我們在鑽頭使用及製造方面有參考價值。

統一書號：15037·654

金 剛 石 鑽 井

石油工業出版社編譯

*

石油工業出版社出版（地址：北京六鋪炕石油工業部內）

北京市書刊出版營業許可證出字第008號

石油工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

*

787×1092 $\frac{1}{32}$ 開本 * 印張 $\frac{1}{2}$ * 11千字 * 印1—3,000册

1958年12月北京第1版第1次印刷

定價(10)0.09元

一、金剛石鑽頭的製造

金剛石用于地質探勘鑽井，特別在金屬礦或者煤礦里，很久以來即廣泛地使用着。今天很多小鑽仍然采用鑲嵌式的金剛石鑽頭。這種鑽頭所選用的金剛石多是大顆粒的，直徑大小有3—5公厘，它們是用冷鑲的方法，嵌在鑽頭坯子上，如圖1所示。



圖1 鑲嵌的金剛石
鑽頭

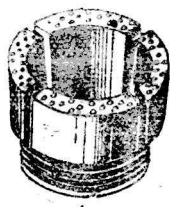


圖2 最常見的鑲鑄
的金剛石鑽頭

近年來，在深井中(超過4000公尺時)，所使用的金剛石多是碎粒的，直徑不過0.5—2公厘左右，這種金剛石可稱之為金剛砂。使用這種金剛砂制成的鑽頭也可以叫做金剛砂鑽頭。它們是用熱鑄的方法鑲在鑽頭坯子上，所以又叫做鑲鑄的金剛石鑽頭，如圖2所示。

鑲嵌的鑽頭的尺寸大 數在 $2\frac{1}{2}''$ — $6\frac{1}{2}''$ 之間；鑲鑄的金剛石鑽頭的尺寸可以小到 $3\frac{1}{2}''$ ，大到 $12\frac{1}{2}''$ 。最多的尺寸是用于

下7"套管的井眼里($9"-10\frac{1}{2}"$)及7"套管內的深井里。

在早年使用金剛石鑽頭，多用于取心鑽進，近年來已逐漸用于全面鑽進了。從美國用金剛石鑽深井的條件下獲得的經濟指標來看，每只金剛石鑽頭是可以比使用牙輪鑽頭便宜三分之一的樣子。总的結論是：當深井一次起下鑽時間大到10—16小時，使用金剛石鑽深井，則能延長每只鑽頭的鑽進時間，減少起下鑽的次數，也就能降低單位進尺成本，由于使用金剛石鑽頭鑽進，井的深度對成本的影响就很小。例如一口深探井，在3284公尺的每公尺進尺成本近100美元，往下鑽到最終深度6445公尺時，每公尺進尺成本僅106美元，這不是牙輪鑽頭所能作到的。

此外，金剛石鑽頭的价值雖高，但在深井的取心的收獲率很高，也可以補償其价值昂貴的缺點。一般的機械鑽速平均在1.2公尺/小時左右時，它的單位進尺成本即可比使用牙輪鑽頭的單位成本降低10%。

金剛石鑽頭的鑲嵌方法，在輕便鑽井或岩心鑽探（地質構造鑽井）等書籍里，已有詳細的敘述。這裡僅就金剛石的鑲鑄方法加以概括的介紹。

鑲鑄金剛石鑽頭是由鑽頭體和鑽頭冠或鑽頭坯子所構成。坯子上鑲鑄着金剛石，它們按着需要分布在坯子的內外表面和底面。

鑲鑄的方法有二：

一種是金屬熔鑄法。先將金剛石碎粒仔細地按一定的規律分在預制的模型中，用真空方法或用膠結物質或者兩種方法合用，將金剛石粘在模型里。然後在模中的金剛石表面上澆鑄溶化的金屬，直到淹沒了全部金剛石為止。常用的金屬有

銅、鋁、錳、鎳合金。這種合金的熔點較低，不會損害金剛石。一般的標準是溫度不應超過 1365°C ，否則會傷害了金剛石的性質。

第二種方法是焙燒法。這種方法採用的比較廣泛。焙燒的金屬是用鎢、鈷、鎳、銅、鋁、錳和其他金屬，這幾種金屬不但熔點低，耐磨性也很高。焙燒前，先將金剛石分布在模型中，把金屬粉末填滿壓實，然後把正個模型放入焙燒爐中在定溫下燒結。燒結溫度的變化範圍一定要控制在 1185°C — 1325°C 之間。

在鑲鑄金剛石鑽頭的製造工藝中，最重要的內容是：鑲鑄金屬材料或焙燒金屬材料的選擇與配合，金剛石在模型中的分布，固定金剛石的材料及方法等問題。就金剛石本身來說，金剛石顆粒的大小尺寸和金剛石在鑽頭工作面上的密度對一只金剛石鑽頭的進尺數與使用壽命有重大的意義。解決這些問題的同時，還必須對金剛石鑽頭工作面上的泥漿槽、泥漿水眼的結構和鑽頭工作部分的幾何形狀，進行充分研究、試驗以便取得最優的效果。

最近幾年的趨勢表明，合理的設計金剛石鑽頭，有可能使用於超深井中的中硬地層，可以長時間地不起鑽，因而對降低鑽井成本更有利。

美國有許多公司製造了不同形式的金剛石鑽頭。一家克瑞斯天新公司製造了一種用較大粒的剛果金剛石鑲鑄成的金剛石取心鑽頭(如圖3所示)，用於鑽砂質板岩，礫岩；用鑲有小碎粒的圓球狀金剛石取心鑽頭鑽石灰岩和堅硬、致密、微晶粒而研磨性高的岩石，從廣告文獻中說獲得了較好的效果。

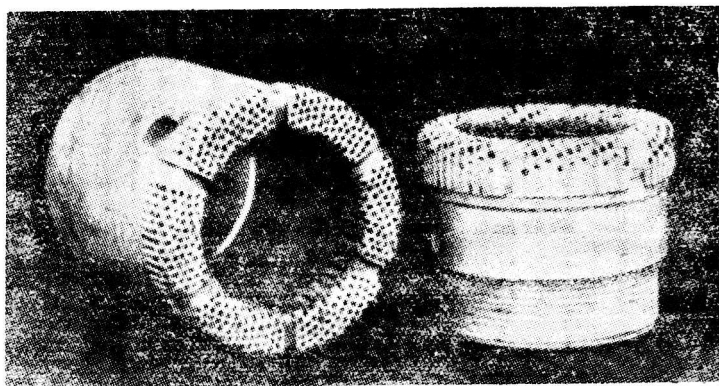


图3 金刚石取心钻头

此外，該公司又制成凸面形和凹面形的全面鑲進金剛石鑽頭，如图4所示。这种鑽頭在井底尺寸限制之下，增加了切削面积。

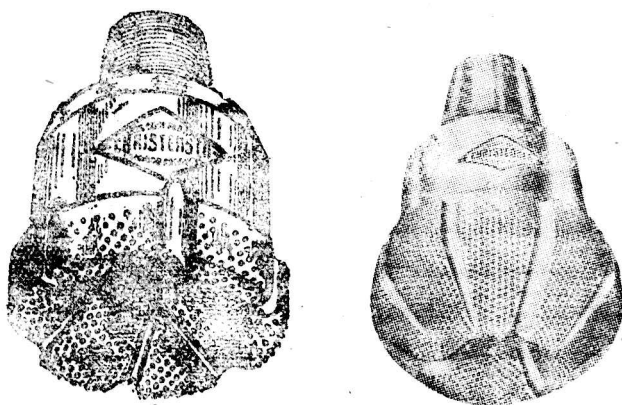


图4 凸面及凹面金剛石鑽頭

克瑞斯天新公司所制的金剛石鑽頭價格。依鑽頭的尺寸差別很大，例如 $3\frac{1}{2}''$ 與 $\frac{1}{2}''$ 兩種的價格如下：

每只價格(美元/只) $3\frac{1}{2}''$ ——1285, $6''$ ——3140, $12''$ ——8090;

加工費(美元/只) $3\frac{1}{2}''$ ——200, $6''$ ——3140, $12''$ ——600;

金剛石重量(克拉①/只) $3\frac{1}{2}''$ ——140, $6''$ ——360, $12''$ ——980;

總重(公斤/只) $3\frac{1}{2}''$ ——17, $6''$ ——30, $12''$ ——100;

美國鑽井服務公司製造了一種可局部換頭式金剛石鑽頭，曾一度被使用者所歡迎。這種鑽頭的規範列表 1 如下：

表 1

鑽頭尺寸工作面 (吋)	切削表面積 (平方公分)	金剛石重量 (克拉)	價 值 (美元)
$4 \times 2\frac{1}{8}$	58	100—133	1208—1410
$5\frac{3}{8} \times 2\frac{3}{4}$	121	190—253	1500—2545
$7\frac{1}{2} \times 4\frac{3}{8}$	187	315	2428—4160
$8\frac{3}{8} \times 4\frac{7}{8}$	235	375	2867—4930
$9\frac{1}{4} \times 4\frac{7}{8}$	312	540	4025—6995

這種鑽頭的直徑是較大的，有 $7\frac{1}{2}''$ ， $8\frac{3}{8}''$ 及 $9\frac{1}{4}''$ 三種，它們的切削表面各為 284，356 及 456 平方公分，所鑲用的金剛石重量各為 440，550 及 640 克拉，平均價格為 4060，5020 及 5780 美元。所使用的金剛石粒大多數為 $\frac{1}{6}$ — $\frac{1}{8}$ 克拉之間，尺寸是比較大的，所以製造出來的鑽頭價格也較貴。鑽頭工作面分成若干小塊，用栓釘固定在鑽頭體上，可以更換，看來是可以有利的，但實際使用的結果，並不太理想，

① 克拉是金剛石的一種特用單位，約等於 $\frac{1}{5}$ 克(0.2053 克)

特别是在合理使用的条件下，金刚石是平均地磨损，不须个别更换。

斯密特公司制造了一种用于中硬及硬地层（石灰岩、白云岩、及砂化岩石等）的金刚石取心钻头，其规范价格列表2如下以供参考，表中金刚石的价格约为5美元/克拉。

表 2

钻头外径 (吋)	鑽裝費 (美元)	用于软地层		用于中硬地层		用于硬地层	
		金刚石 重 量 (克拉)	总价格 (美元)	金刚石 重 量 (克拉)	总价格 (美元)	金刚石 重 量 (克拉)	总价格 (美元)
5	250	180	1150	165	1075	130	900
7	350	445	2575	415	1950	260	1650
8	400	650	3650	450	2650	400	2400

从上表可以看出，钻头尺寸从5"增加不到一倍，加工费增加一半多一点；但金刚石的用量确增加了2—3倍。并且地层越软，同一种尺寸的钻头，它使用的金刚石总重量越多。

近一二年来，美国某金刚石钻头制造公司又制造出了一种三角形金刚石钻头，用于取心钻进和全面钻进。它们在井底所佔的面积接近于三牙轮钻头，因此除了没有牙轮的转动而外，其他的使用情况与牙轮有很多的相似处。形状如图5所示。

这种三角形金刚石钻头在使用上有下列几条优点：1)减少了和井壁接触的面积，象三牙轮钻头一样增大了循环面积，因而减少了卡钻的机会；2)允许大块岩屑自井底冲出；3)当井底有金属异物（如牙轮钻头的牙齿，弹子等）时，可以控制在三角形的空间，减少对金刚石的破坏；4)鑽同样大的井

眼直徑鑲用較少的金剛石，因而降低了鑽頭成本；5)在起下鑽的過程中，減少了抽刷作用，保護了岩心，並且降低了泥漿泵的压力損耗。

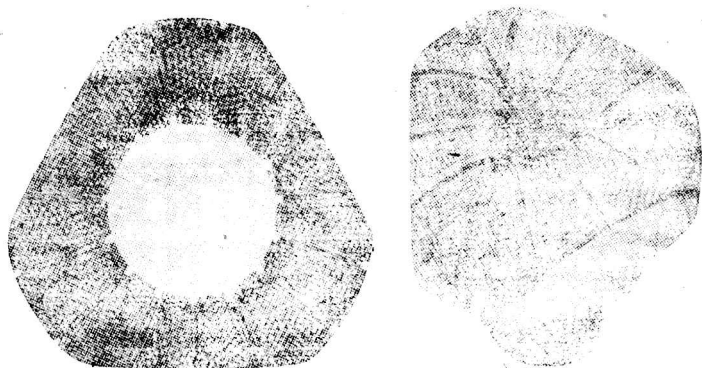


图5 三角形金剛石鑽頭

因为这种鑽頭有这些优点，在使用上已被鑽探深井工作者所欢迎。

在取心方面还有繩索式岩心鑽頭和井壁取心器。这种井壁取心器是旋轉式的，由于金剛石的使用，鑽頭可以有很薄的壁厚，能在 45° 傾角下，鑽取長 2 吋、直徑 $\frac{7}{8}$ " 的岩样。每下一次鑽能取得 6 个岩样，在取心进程中，依先后次序儲存在 5" 直徑的岩心管中。这种井壁取心器可以下入 $5\frac{5}{8}$ " 的井眼內。从效果上看，在坚硬地层里，当井已很深，井徑又較小时，为了减少正常取心的数量，减少起下鑽操作，采用井壁金剛石取样器是值得推荐的。

所有金剛石鑽頭在制造上都充分地考虑了水槽与水眼的形狀，必須研究試驗一种冲洗效果最好的形式，才能保护金

剛石粒进而提高金剛石鑽头工作的效率。这一点对金剛石來說比對普通牙輪鑽头更为重要。

所有金剛石鑽头的水槽都是鑽头中心引出来。均匀地有調節地分布在鑽头工作面上。槽的深淺寬窄完全根据鑽头的几何形狀和所鑽的地层而变化。因为金剛石最怕高温，因此必須利用水槽的合理分布，避免发生泥包或者循环冷却效果不佳的毛病。当然干鑽是最危險的，应絕對避免。

大部分金剛石鑽头的周圍都鑲有金剛石粒，为了避免卡鑽，减少泥漿的压力損失，自工作面的底部向上反的水槽，一般都很深(深到与鑽头体相等)。一般工作面上的水槽深度多在 $\frac{1}{4}$ " 以上。

水槽形狀大体上可以分作直綫形和旋形水槽兩種。

旋形水槽如图 6 所示。这样的形狀可以加强冷却每一排金剛石的效果，水槽的旋向是和鑽头旋轉方向相吻合，这样就容易使岩屑沿水槽冲走。



图 6 旋形水槽



图 7 全面鑲进鑽头的水槽形式

另一种全面鑽进的平工作面金剛石鑽头，它的水槽形式是以树枝狀自鑽头中心向外延伸。中間水眼呈一不規則的長溝如图 7 所示，这种鑽头的尺寸可以自 $3\frac{5}{8}$ "— $9\frac{3}{4}$ "，价格自 1700 美元到 6600 美元。

为了使鑽工們在換鑽头的操作中，对金剛石鑽头保証安全，在鑽头体的兩旁制有 2—3 个搬子眼，如图 4 所示。

此外，大部分金剛石鑽头的接头絲扣是公扣，有的小形取心金剛石鑽头是方扣。

二、金剛石鑽头的使用經驗

使用金剛石鑽头的最基本概念是要很好地保护金剛石，充分利用金剛石的特性，除了不允許有碰击、摔打、頓压鑽头外，在使用中泥漿或清水的循环冷却是很重要的一个因素。

在工作中，当泥漿量不足时，金剛石会受到磨擦而生高热，很快的会使金剛石的磨損增快，很不幸时会把金剛石粒“燒焦”(炭化)。

过大的泥漿排量，泥漿流速很大，也会使鑽头体部受到磨損，对金剛石本身也不利。同时过大的泥漿排量会引起泥漿泵的泵压上升，由于鑽头与岩心之間，井壁与鑽头之間の間隙有限，泵压的增高会导致鑽压有所降低，增大水槽的深度和寬度在一定程度上能克服这种困难，但是有限度的。所以泥漿排量的使用是很重要的。

从清洗井底来看，采用金剛石鑽头鑽进时，鑽头所鑽碎的岩屑尺寸較小，在很硬的岩层里，几乎成为岩粉，所以泥

漿排量是可以比用普通鑽頭鑽進時的泥漿排量為小。

在下鑽金剛石鑽頭之前，應仔細的沖洗井底，直至泥漿出口處不含有岩屑為止。為了隨時檢查井底有無金屬落物，有無岩心根，有無落石塊等，應在井口上備有檢查的輕便工具。如發現井底有金屬硬物，必須把它清除。否則，會使金剛石粒從鑽頭上脫落下來，以至嚴重的損害了整個鑽頭。

清水鑽進是采用金剛石鑽頭鑽井的最理想的冷卻劑。但在實際工作中，所有泥漿、油基泥漿、乳化泥漿都可采用。不過輕泥漿，粘度較低的性能是使用金剛石鑽頭鑽進較好的一種泥漿。有較大的粘度的泥漿，雖不妨礙金剛石鑽頭的鑽進，但容易引起鑽井條件的惡化。在岩層變成岩粉的情況下，泥漿的粘度增加很快，冷卻效果降低，容易損害金剛石粒的切削作用。

采用空氣代替泥漿在金剛石取心鑽頭的鑽進中進行過試用，當氣壓在 10—14 大氣壓時，壓力不足，鑽頭泥包，鑽進僅 8.4 公尺，費時 5 小時，鑽頭即報損。後來把氣壓提高到 20—35 大氣壓時進尺為 60—180 公尺，機械鑽速為 1.8—9 公尺/小時。當時的技術措施為鑽壓 4500—8000 公斤；使用泥漿時鑽壓僅 2700—6300 公斤。

泥漿排量在取心時一般采用很小，大都介於 6—10 公升/秒之間。全面鑽進時亦不過 10—20 公升。在硬砂質頁岩中鑽進時，泵壓 35 大氣壓，泵量 8—9 公升/秒，使金剛石鑽頭受到相當的磨損。及後降低泵量到 5—6 公升/秒，泵壓不大於 24 個大氣壓，獲得了滿意的進尺。

根據 1952 年的統計資料，使用金剛石鑽頭的鑽進技術措施推薦如下：

轉數 根据鑽頭直徑的不同而有所变化。一般的 $4\frac{3}{4}$ — $6\frac{1}{4}$ " 的鑽頭轉數為 60—100 轉/分鐘； $6\frac{1}{4}$ "— $7\frac{1}{4}$ " 者的轉數為 50—90 轉/分鐘；更大轉 9" 轉數降低到 40—70 轉/分鐘。因此得出一個初步結論：鑽頭尺寸越大轉數越低，一般地說低於使用牙輪鑽頭鑽進的轉數。

鑽壓 最有效的鑽壓變化於 2000—4000 公斤之間。在特殊情況下，仍可採用低於 1000 公尺，高於 6000 公斤的總載荷，在一般情況下，這個範圍內的鑽壓，不致於破壞了鑽頭的工作面。

使用金剛石鑽頭的實例很多，下面介紹一些比較成熟的經驗。

在威里斯頓油區，使用 $8\frac{3}{4}$ " 的金剛石鑽頭時，機械鑽速的變化範圍在 0.6—2.7 公尺/時之間。成本較高。

在丹維爾油區採用直徑 $6\frac{1}{8}$ " 金剛石鑽頭進行取心，平均機械鑽速將近 1.22 公尺/時，在板岩中的機械鑽速為 0.9—0.5 公尺/時，鑽頭平均進尺的變化範圍在 90—120 公尺之間。這些金剛石鑽頭的鑽進技術措施為：

$7\frac{3}{4}$ "— $6\frac{1}{8}$ " 鑽頭鑽壓	3600—4500 公斤
" 轉數	40—70 轉/分鐘
" 泵量	125.—21.5 公升/秒
" 泵壓	28—60 大氣壓
$6\frac{1}{8}$ " 鑽頭的單位進尺成本	13—16.5 美元
$7\frac{3}{4}$ " 鑽頭的單位進尺成本	20—23 "

从成本上看金刚石鑽头的單位进尺成本在其他条件一样时，很大程度上决定于金刚石的耗損。

在一个地层变化較剧烈的地区使用金刚石鑽头取心，机械鑽速为1.2--1.5公尺/小时，所采取的鑽进技术措施为：

$6\frac{1}{8}$ " 鑽头的鑽压 2700—5400 公斤/时

" 轉数 60—70 轉/分鐘

" 泵量 12.5 公升/秒

当遇到特別坚硬的裂縫砂岩时，金刚石鑽头經常遭到損害而迅速地报廢。

上述三个油区皆位于山区，其中在板岩和石灰中鑽进时，一个金刚石鑽头連續鑽了48小时。在使用牙輪鑽头时，一只鑽头仅有2—4小时的寿命。在某些情况下，一只金刚石鑽头的寿命常抵过10—12个牙輪鑽头的寿命。

金刚石鑽头用于取心的效果(鑽速与岩心收获率)比全面鑽进为高，由于进尺高，取心鑽头配用的岩心筒較硬合金鑽头所配用的更長，但限于井架高度，操作不便，一般的岩心筒長度不大于27公尺。

在一定尺寸的井眼里、金刚石鑽头所配用的岩心筒直徑尺寸也較一般岩心鑽头所配用者稍大，因而可鑽取直徑較大的岩心。

在加里福尼亞州，巴洛馬油区一口探井的鑽井資料特別引人注意。該井地层剖面大部分为坚硬的岩石，井均为金刚石鑽头所鑽穿。由于技术上的困难，鑽深仅能鑽到第三紀即行中止，井深6445公尺。

下过 $13\frac{3}{4}$ " 套管后，在井深1429至3284公尺井段中，

几乎全部用 $12\frac{1}{4}$ " 牙輪鑽頭鑽進，共費時 78 天（包括測井，試井等），共用掉 101 個鑽頭，其中僅有三個取心鑽頭。最后井底溫度為 168°C ，最后鑽井單位成本為 100 美元（包括固井在內）。平均機械鑽速為 3.07 公尺/時，實際旋轉時數為 1062 小時，折合 44.3 天，佔全部鑽井日期（78 天）的 56.7%。

最后兩個三牙輪鑽頭，共鑽進 2.4 公尺（3284—3286 公尺井段），其平均機械鑽速為 0.3 公尺/時。這表明碰到了硬岩石，決定改用金剛石鑽頭繼續鑽進，并下了 $6\frac{5}{8}$ " 的套管到 3284 公尺處。

改用金剛石鑽頭后的鑽進資料如表 3 所示：

表 3

鑽 頭 名 稱	鑽 頭 數 個	純 鑽 進 時	進 尺 公尺	平 均 機 械 鑽 速 公尺/小時
克瑞斯天新凹面金剛石鑽頭	17	2752.75	953.1	0.35
克瑞斯天新凸面金剛石鑽頭	3	262.25	92	0.81
維廉墓金剛石鑽頭	11	1834.75	562.5	0.30
克瑞斯天新金剛石岩心鑽頭	13	4322.75	1555.5	0.36
瑞德瑪布拉硬合金鑽頭	1	8.00	1.2	0.15
牙輪鑽頭	11	79.50	27	0.34
總 計	56	9260	3180.4	0.34

由上表的統計可以看出，純鑽進時間內的 4849.75 小時使用了 31 個金剛石鑽頭，共鑽進 1597.6 公尺，平均機械鑽速為 0.33 公尺/小時。一只鑽頭在井底工作的最長時間為 7 天，最短的為 $2\frac{1}{2}$ 天（其中提出檢視的時間未計入，檢視後如鑽頭無恙仍用原鑽頭鑽進）。包括未用完的剩余金剛石鑽頭在內，每公尺的平均成本為 60 元，較在 3284 公尺深度的成本

便宜了40%。經濟效果是突出的。

在使用牙輪鑽頭時，4個牙輪鑽頭在32.5小時內，共鑽進了10.8公尺，這時的井深僅有3298公尺。全部牙輪鑽頭共耗11個，總進尺27公尺，費時79.5小時，每只鑽頭的平均壽命僅2.4公尺。與金剛石鑽頭相較是差得不少。

表中還可以看出，13個金剛石取心鑽頭在4323小時內共鑽進1555.5公尺，平均機械鑽速為0.36公尺/時，取心率達99.8%。每公尺取心進尺成本30.4美元。顯然比全面鑽進約便宜一半。

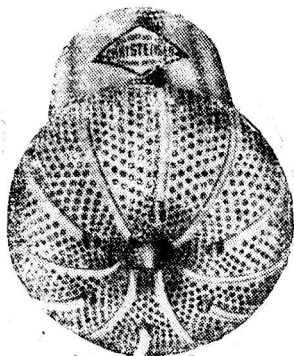


圖8 繩式取心鑽頭

岩心直徑為4"，平均長度在16—17公尺之間。這樣長的岩心自岩心筒中取出岩心有時會遭到困難。因此在堅硬的地層里，取心的直徑常常很小，深井中使用繩式取心鑽頭的形式如圖8所示。

割斷岩心的方法中，比較令人滿意的是：不再增加鑽壓，增快轉數到150轉/分鐘，歷時10—15分鐘。在岩心被割斷之前，一再重複這一操作。拉斷岩心的大鉤拉力約為5—8噸（管重除外）。在砂岩與板岩中，割掉岩心之後進行過沖井底。

岩心抓的結構必須可靠，不能使岩心掉落。

使用取心鑽頭時，井眼直徑隨井眼的加深井徑略有減小。在鑽板岩時，每隔四小時提出鑽頭進行划眼，仍然發生過21次卡鑽的現象。可見金剛石鑽井在這方面還有其缺點。

全面鑽頭和取心鑽頭的鑽壓變化範圍自3噸到7噸；轉

數自 125—75 轉/分鐘。在這種技術措施範圍較大的條件下，鑽速的變化影響很少。但泵壓末期經常維持在 116 個大氣壓之高。

金剛石鑽頭也能用於渦輪鑽進。例如法國 1957 年在克拉 117 號井進行過試驗。使用的鑽頭是 $12\frac{1}{8}$ " 及 $8\frac{3}{8}$ " 兩種。這種鑽頭的水力部分是值得注意的，如圖 8 所示。

試用中兩只金剛石鑽頭的工作指標如下：

1. 一只金剛石鑽頭經過 222 小時 55 分完成了渦輪鑽進 325.1 公尺，在此以前，該鑽頭在 49 小時 30 分內完成轉盤鑽進 32 公尺，即該鑽頭共鑽了 357.1 公尺。



圖 9 試用於渦輪鑽井的金剛石鑽頭

2. 另一只金剛石鑽頭經過 204 小時 30 分完成渦輪鑽進 366.3 公尺，井深接近 4000 公尺，該鑽頭在此以前曾于另一井中經過 123 小時 25 分完成了渦輪鑽進 172.1 公尺，即該鑽頭經過 327 小時 55 分總共鑽進了 538.4 公尺。

雖然用金剛石鑽頭鑽進時岩屑尺寸很大（直徑 1 公分或更大），但岩屑的數量比用牙輪鑽頭鑽進時要少得多。

尺寸為 $8\frac{3}{8}$ " 的金剛石鑽頭鑲裝金剛石 1230 顆，每顆金剛石重 $\frac{1}{3}$ 克拉。一個鑽頭上金剛石總重 410 克拉。

可看出，當載荷變化時，金剛石鑽頭鑽進的機械鑽速變化很小，對機械鑽速發生顯著影響的因素是渦輪鑽的轉數。