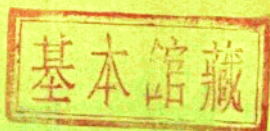


144720



中探钻心岩 磨損合金質硬

Е. Ф. 埃普什捷因著



地质出版社

2:2

岩心鉆探中硬質合金磨損

Е. Ф. 埃普什捷因 著

席嘉珍、楊樹槐 譯

地質出版社

1958·北京

Е. Ф. ЭНШТЕЙН

ИЗНОС ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ ПРИ ТРЕНИИ ПО
ГОРНЫМ ПОРОДАМ ПРИ КОЛОНКОВОМ
РАЗВЕДОЧНОМ БУРЕНИИ

Гостоптехиздат 1952

本書論述硬質合金鑽進的原理。書中對合金磨損過程和合金鑽進進尺過程作了詳細地敘述，提出了一些新的重要的概念，用高等數學理論推演出磨損公式和進尺公式，并用實測資料加以驗證。此外，還介紹了鑽進方法的分類，沖洗液對岩石的軟化作用的原理、岩石的各向異性、動硬度等極有實用意義的理論。

本書可供鑽探工程技術人員，地質勘探專業的教師、學生參考。

岩心鉆探中硬質合金磨損

著 者 E. Ф. 埃 普 什 捷 因

譯 者 席 嘉 珍、楊 樹 槐

出 版 者 地 質 出 版 社

北京宣武門外永光寺西街3號

北京市書刊出版登記證出字第050號

發 行 者 新 華 書 店

印 刷 者 地 質 印 刷 廠

北京广安門內教子胡同甲32號

印數(京) 1—1,300

1958年4月北京第1版

開本 31"×43" 1/25

1958年1月第1次印刷

字數 160,000字

印張 7 1/25

定價(10) 0.95元

目 錄

緒 論	6
第一章 不強制給進鑽具時迴轉鑽進破碎岩石的主要規律	11
§ 1. 鑽進方法的分類	11
§ 2. 自由給進鑽具時迴轉鑽進的主要公式	13
第二章 磨損系數和磨擦系數同鑽進規範要素之間的关系在實驗方面的研究	24
§ 3. 基本原理	24
§ 4. 观测鑽進過程來研究 ω_{II} 和鑽進規範要素之間的关系的方法	25
§ 5. 鑽進過程观测資料整理結果	34
1. 前 言	34
2. $\omega_{II} = \psi(t)$ 关系的研究	35
3. $\omega_{II} = \psi(t)$, $\omega_{II} = \psi(v)$ 和 $\omega_{II} = \psi(F)$ 关系的研究	41
§ 6. 用專門裝置實驗研究摩擦和磨損的方法	47
§ 7. 用研究同岩石摩擦時硬質合金的磨損的專門裝置研究 $\omega_{II} = \psi(F)$ 和 $\omega_{II} = \psi(v)$	52
第三章 同岩石摩擦時硬質合金磨損的理論基礎	57
§ 8. 一般原理	57
§ 9. 現代摩擦和磨損理論的某些問題	59
§ 10. 摩擦材料的強度和結構對摩擦和磨損的影響	63
§ 11. 測量磨損的單位	65
§ 12. 同岩石摩擦時切削具材料(硬質合金)的磨損過程	67
§ 13. 求 $\gamma = \psi_1(F, v, t)$ 和 $\omega_{II} = \psi_2(F, v, t)$ 的方法	72
第四章 磨損公式 $\gamma = \psi_1(F, v, t)$ 和 $\omega_{II} = \psi_2(F, v, t)$	80
§ 14. 磨損過程的一般原理	80
§ 15. 切削具破離(鑽進)岩石	84
§ 16. 岩石顆粒對切削具材料的破離(磨逝)	85
§ 17. 切削具材料顆粒(凸出體)對岩石顆粒的破離(磨逝)	93
§ 18. 近似公式 $\gamma = \psi_1(Q, v, t)$, $\omega_{II} = \psi_2(Q, v, t)$ 和 $L = \psi_3(Q, v, t)$	103

第五章 岩石的硬度及鑽具切入时的破坏过程	109
§19. 概 說	109
§20. 岩石的成分和結構	110
§21. 岩石的一些机械性質	115
§22. 岩石机械性質的各向異性及構造条件	118
§23. 用压模局部压缩时岩石的压坏	120
§24. 确定切削具切入时岩石組合硬度(臨界应力)的實驗工作	121
§25. 决定于压入力的岩石組合硬度的变化	128
§26. 根据鑽進速度資料計算岩石組合硬度	130
§27. 关于岩石的动力硬度	132
第六章 冲洗液对岩石破碎的影响	134
§28. 基本理論原理	134
§29. 鑽進中硬度軟化剂的采用	137
第七章 公式 $\gamma = \psi_1(Q, v, t)$, $\omega u = \psi_2(Q, v, t)$ 和 $L = \psi_3(Q, v, t)$ 的實驗性驗算	139
§30. 根据观测鑽進速度資料計算代入公式(86)的常量的方法	139
§31. 根据鑽進速度資料計算出的 σ_c 值的實驗性檢驗	143
§32. 根据中央地質勘探科学研究所的試驗資料檢驗作为鑽進時間及 鑽具轉数的函数的進尺公式	146
§33. 在生產条件下檢驗作为鑽進時間及轉数的函数的進尺公式	153
§34. 根据莫斯科地質勘探学院的試驗資料檢驗作为給進力和鑽進時 間的函数的公式	159
§35. 公式 $\gamma = \psi_1(F, v)$ 和 $\omega u = \psi_2(F, v)$ 的檢驗	162
参考文献	169

序

本書向讀者介紹的是岩心鑽探時岩石破碎過程和鑽具磨損過程的研究成果，岩心鑽探多用於勘探固體礦產、研究地質構造和地質制圖等方面。

所發現的規律同時還可以用於解決石油鑽探的有關問題，當然，應用時要估計到這種鑽進特點的條件。

原稿承蒙 B. C. 費道羅夫教授審閱，提出許多寶貴意見，作者對此謹致熱忱的謝意。

緒 論

偉大衛國戰爭后，我們祖國國民經濟的宏偉高潮，第四個戰后斯大林五年計劃的勝利完成和超額完成，共產主義偉大建筑工程——古比雪夫水電站、斯大林格勒水電站、卡霍夫水電站、土庫曼大運河、北克里木運河、南烏克蘭運河和擁有日益復雜而繁多的建築的伏爾加河-頓河通航運河——的施工，使各種用途的鑽孔的鑽進工作量有很大的增長。

如果考慮到鑽探工作量在今后無疑將會不斷增長，尋求加快鑽進速度，提高鑽進工作效率的可能性就成了重要的任務。

除了創造新的機器和機械、創造新的效率更高的工作方法之外，必須發展鑽進時破碎岩石過程的理論。

鑽孔鑽進（加深）過程由兩個相互作用的过程構成的：（1）工作鑽具破碎岩石的過程和（2）同岩石摩擦時工作鑽具磨損的過程。因此，不研究製造破碎岩石的工作鑽具的硬質合金的磨損，就不可能建立破碎岩石的理論。

摩擦和磨損問題已作了很多研究工作。摩擦和磨損問題對於國民經濟各個部門、對科學和技術（機器製造、冶金、礦山事業等等）有着特別重大的意義。

遠在1752年，M. B. 羅蒙諾索夫就曾提出磨損的研究問題。1939年，E. A. 丘達柯夫院士〔72〕指出了“……機器的摩擦和磨損問題在機器製造工業中的特出的意義”，他同時還強調“但是，這一問題在科學方面的研究極其薄弱”。

蘇聯科學院通訊院士、B. Д. 庫茲涅佐夫副教授〔34〕在1947年發表的長篇綜合性著作中指出：“儘管外部摩擦和磨損有着很大的實用意義、儘管在這方面也進行了很多的實驗上和理論上的研究，但是，直到如今，外部摩擦和磨損的力學依然沒有搞清楚”。在這個著作中，B. Д. 庫茲涅佐夫對摩擦和磨損領域中的正確研究途徑有原則性的指示。

已經說過，摩擦和磨損問題在礦山事業和地質勘探事業中也有特殊的意義。在破碎岩石的機器（掘煤機、深孔鑽探機械等等）的切削部分工作時，決定它的效率、荷重等等的基本的和最複雜的問題也是破碎岩石的切削具在破碎岩石時的磨損。

沒有解決摩擦和磨損問題，或者至少是沒有通曉在一定條件下這個摩擦和磨損過程的基本規律，就不可能建立關於那些由摩擦和磨損所決定的過程的理論。這一點在作者發表於1939年的關於剋取岩石的理論的著作中〔84〕曾經強調指出。研究者研究任何過程時總是力圖抽出（這是完全合理的）那些決定這個過程的進程的主要東西，而丟掉那些次要的、從面臨的具體任務來看對所研究的過程關係不大的東西。

然而，許許多多摩擦和磨損的研究工作的特點卻不具備這個條件，並且也沒有確切的研究過程的標準，同時“……決不能說任何一對運動的物體摩擦時有某種完全一樣的摩擦本質”〔34〕，也決不能說在任何壓強 $\left[\frac{\text{公斤}}{\text{公分}^2}\right]$ 下有某種完全一樣的摩擦本質，因為依這個量的絕對值為轉移，在接觸的地方可能僅僅發生彈性變形，也可能發生破碎，等等。

摩擦和磨損問題的術語也還研究得很不夠，因此，為了引用的準確，必須說明各個術語所包涵的精確的意義。

摩擦和磨損是很複雜的過程，這個過程伴隨着一些物理的（其中包括一些純機械的）和化學的現象。

這方面的一些研究者既把磨損了解為摩擦表面的破壞（此時物體質量的減少），又把它了解為由於被壓皺而產生的變形。因此，首先就應該確定磨損的概念。

П. А. 列賓傑爾院士認為，“……應該把磨損看做在摩擦功影響下產生的表面破裂（диспергирование）現象”。

按 В. Д. 庫茲涅佐夫的看法，“……磨損是這樣的現象，即消耗的能量等於摩擦力所做的功的時候，一些粒子從物體表面分離下來，物體基體從而減少”。

采納這些說法時，同時必須從這種情況出發，即摩擦的和磨損的過程是分割不開的。因此決不能彼此孤立的進行研究。

摩擦時產生熱、產生磨損（如上面所理解的）、產生引起振動聲音的塑性變形並克服附着力（決定於分子連結程度的粘着力）。要掌握如此複雜的過程的規律，無論實驗時或建立理論時，都必須善于從其中抽出個別組成部分，研究了這些個別組成部分就可以闡明那些規律的物理實質。

實際上，實驗研究摩擦和磨損過程的個別組成部分是不可能的，不過在保證任何一個現象（一個組成部分）的主要影響而又使其余現象可以略而不計的條件下研究這個過程卻是完全可能的。在硬質合金同岩石摩擦時，我們恰恰也具有這樣的對研究摩擦和磨損有利的過程。

固體根據它的性質、表面狀態、溫度和作用到其上的力的大小和時間可以表現為脆性的或者塑性的。

在表現為塑性體的條件下，塑性體受作用力影響產生永久變形。

在表現為脆性的條件下，脆性體的極限強度小於它的屈服點。由於這種物體沒有塑性變形，摩擦時將不產生壓皺，而僅僅發生磨損，同時這種磨損幾乎無例外的是靠另外一個摩擦體表面上的凸出體（或叫顆粒）破碎它的表面而形成的。由於兩個摩擦體中的每一個的表面上的凸出體對另一個的表面的作用，兩個摩擦體互相破碎對方的表面。這種靠互相破碎表面而產生的磨損，我們將把它叫做磨料性的磨損（абразивный износ）。因此，必須把這個過程當作兩個物體在摩擦時相互作用的結果來研究，而決不能局限於僅僅研究一個物體靠另一個物體摩擦而產生的磨損。

在硬質合金同岩石摩擦過程中，大部分岩石具有脆性體性質。硬質合金在這個過程中也表現為脆性的，甚至在很高的溫度下也是如此（參看例如〔46〕）。

在磨料性磨損時，表面薄層的原始狀態的影響是不重要的，因為鑽入物體深處的磨料性小粒不僅僅破壞舊的表面，而且造成新的表面。

同时，介質——从表面活性分子群对表面層強度有影响的观点來看——对过程的進程也会有嚴重的影响，因此，保持介質条件固定不变是实验时必需的前提，这个前提并没有帶來特别的实际困难。

在磨料性磨損时，分子連結力（粘着力）可以忽略不計〔48〕（非磨料性磨損时不行），所以在硬質合金同脆性岩石摩擦时，可以認為絕大部分摩擦功〔等于摩擦力同摩擦路程（*путь*）的乘積〕都消耗在兩個摩擦体表面的互相破离上了。

像砂岩等等岩石，是由个别的彼此膠結起來的顆粒組成的，同岩石摩擦时硬合金切削具的磨損就是靠这些顆粒对切削具材料的特殊形式地切削而得到的，与此同时，硬質合金顆粒（或叫表面凸出体）也破碎岩石——研磨岩石及突出其表面的顆粒。

研究磨損的实验工作可用專門裝置進行。此外，用一种方法（以后講到）整理鑽進速度資料已經成功，它也可确定同岩石摩擦时切削具磨損的規律。

为了把統一的摩擦和磨損过程表示出來，引用了指标 $\omega\mu$ ，此处 ω 是占用單位摩擦功的切削具材料磨損体積 $\left[\frac{\text{公分}^3}{\text{公斤} \cdot \text{公分}} \right]$ ， μ 是摩擦系数。

根据实验研究可以确定 $\omega\mu = \psi(F, v, t)$ 的性質，式中 F 为正压力， v 为速度， t 为時間。

問題的理論上的解答（这解答还不是最后的），使得可以建立令人滿意地表述 $\omega\mu\psi = (F, v, t)$ 進程的过程的公式，那些規律是用試驗方法确定的。

为了建立正确反映磨損过程的公式，必須把磨損过程做为取决于全部宗量（*аргумент*）的積的函数的函数，做为取决于兩個宗量的積的函数的函数（当第三个宗量为 1 时），做为取决于每个宗量的函数的函数（当另外兩個宗量为 1 时）。（詳見第三章第十三節）。

尽管这种解答沒有精确的根据，但是它得到的結果是令人滿意的，这就証明了这种办法的必要性。

在進尺公式和鑽進速度公式中引用了任一摩擦功作用下切削具沿

高度方向磨損的平均值。正是由于在一切摩擦功作用下采用了 $\omega\mu$ 和磨損的平均值而不是瞬時值，使問題的解答大大簡化了。这样就解除了建立同岩石摩擦時硬合金切削具磨料性磨損的理論基礎的道路上的數學難題。

在1934—1937年 [84, 86]，作者曾經指出，礦山事業中採用的作為與極限單軸壓縮強度成比例的量的岩石強度表示法是不正確的。

當切削具切入岩石時，岩石在某個應力下被破壞，這個應力的值已為實驗所確定，這個量叫做“切削具切入時岩石的臨界應力”。

Л. А. 史列涅爾教授進行的包括岩石在內的脆性體硬度的研究，對認識這個重要的硬度表示法提供了有價值的材料。岩石硬度問題就是根據作者和 Л. А. 史列涅爾教授的著作來探討的。研究介質對岩石破碎過程的影響的那一章是按 Л. А. 列賓傑爾院士及其同事的著作講述的。進尺公式和鑽進速度公式是根據對切削具切入岩石的規律和同岩石摩擦時切削具的磨損的規律的研究建立的。

為了檢驗公式，利用了已發表的 Ф. А. 沙姆謝夫教授（中央地質勘探科學研究所）、Б. И. 沃茲德維仁斯基教授和 Н. И. 庫里奇金教授（莫斯科地質勘探學院）以及作者本人的試驗研究資料。此外，為了同樣目的，還利用了 В. С. 費道羅夫教授和阿塞爾拜疆石油科學研究所的著作。

第一章 不強制給進鑽具時迴轉鑽進破 碎岩石的主要規律

§ 1. 鑽進方法的分類

根據工作鑽具對岩石的作用的特點，可以區分出幾種破碎岩石的主要機械方法。

用鋼繩或鑽杆衝击鑽進勘探孔時和使用風鎚工作時，鑽頭切削刃是在衝击力作用下切入岩石的。在兩次衝击之間，鑽頭轉動一定角度，此時，鑽頭切削刃或者完全不同孔底接觸，或者在極小的軸心壓力下同孔底接觸。因而，在使用這種鑽進方法時，與孔底摩擦而引起的切削刃的磨損是很輕微的。

迴轉鑽進時（用牙輪鑽頭時除外），切削具在固定靜力（給進力）作用下切入岩石，而切削具前面的岩層就被圓周力切削下來。這個圓周力是由中間環節——鑽杆、岩心管等——傳給切削具的。

如果切削具下的岩石的應力等於它的臨界應力^①，那麼切削具將切入岩石到一定深度，同時迴轉切去相當數量的岩石。當岩石內產生的應力小於它的臨界應力時，切削具主要靠岩石的彈性變形而壓進岩石。

迴轉鑽進的特點是具有摩擦力，這個力的作用方向與切削具迴轉方向相反，它使切削具變鈍並從而使進尺速度降低。

岩心鑽探、石油孔鑽進和電鑽打炮眼時，採用迴轉方法來鑽進——切削岩石。

迴轉鑽進的優點是：它是通過削掉（剪去）切削具前面的那部分岩石的方法來破碎岩石的。岩石的臨界抗剪強度遠遠小於它的臨界抗壓強度，所以，迴轉鑽進所耗費的能量較衝击鑽進為小。但是，當鑽進強度很高、摩擦性很大的岩石時，這種優點就不存在了，因為在這

① “臨界應力”這個術語不能說明產生的應力的性質，但在迴轉鑽進過程中產生的恰恰正是這個應力。

种岩石中工作时切削具迅速磨钝。

目前，破碎和鑽進岩石都利用机械，这些机械有強制給進的，也有自由給進的。強制給進时（支架式电鑽等），給進量用随着切削具的磨钝而增大給進力的方法維持；自由給進时（深孔迴轉鑽進等）則相反，給進力始終不变，而進尺速度則随切削具的磨钝而降低。

为了能够利用自由（不強制）給進时迴轉方法的主要优点，同时消除前面指出的主要缺点，必須保持或者增大給進力，同时减少摩擦，因为摩擦会使切削具迅速变钝。

可見，迴轉鑽進固有的矛盾乃是：加大給進力，一方面將加大切削具切入岩石的深度；但同时另一方面，又將加快它的磨損。这两个因素对鑽進效率的影响是相反的。只有建立新的、可以解决这个矛盾的鑽進方法，才能消除这个矛盾。

如果給作用于孔底的靜力（也就是靜給進力）补加上定时的衝击，那么，由于动力作用的时间很短，它形成磨擦的总时间也是不長的，而使切削具切入岩石的力（靜力和很大的动力的总和）与此同时，却將不会减小或者甚至增大。这种衝击——迴轉鑽進方法，解决了鑽具自由給進时迴轉鑽進所固有的矛盾，兼有衝击方法和迴轉方法二者的优点。

目前，純粹的衝击——迴轉鑽進方法还不能广泛应用，不完善的衝击——迴轉鑽進方法可以用齒輪鑽头实现。石油孔鑽進时，在硬岩層中使用齒輪鑽头。

还可以想出一种在一定条件下应该能办到的鑽進方法。这种鑽進方法的特点是：在工作过程中，鑽具迴轉速度是变化的。这种鑽進方法在強制給進鑽具时和自由給進鑽具时都可实行。

表（1）中列載了我們討論过的一些（不是全部）主要因素，这些因素的結合确定了鑽進方法。

几个基本要素的結合确定鑽進规范，这些基本要素包括：鑽具給進力的大小和作用方式、鑽具迴轉速度和鑽孔冲洗条件。

此外，与这些要素有关的有：

在其中破碎岩石的介質的狀況，包括制約着表面層硬度变化的物

表 1

1. 鑽具的給進	2. 給進力	3. 鑽具迴轉速度	4. 破碎岩石方法
a. 自由的 (不強制的)	常量	常量 (已實現)	a. 衝擊-轉動的 (衝擊的)
	增大 (自變量)	或	г. 衝擊-迴轉的
б. 強制的	增大 (切削具鈍化的函數)	變量 (尚未實現)	н. 迴轉的

理化学过程性質;

所鑽岩石的性質和工作鑽具的材料;

切削具的几何形狀;

和其他一些因素。

在鑽具自由給進的迴轉鑽進过程中, 切削具同岩石接觸的面積由于它本身的鈍化而增大了, 因此, 切削具下岩石的應力就会小于臨界應力, 切削鑽進就要变成研磨 (истирание) 鑽進。此时, 切削具主要靠岩石的彈性變形和表面破离而压入岩石。

現在我們要研究的是岩心鑽探的情况, 但是它的結果却可以类推应用到不強制給進破碎岩石的其他場合。強制給進, 这里不加探討, 但是下面敘述的理論方面和實驗方面对摩擦和磨損研究的結果, 却可以利用到強制給進中去。

§ 2. 自由給進鑽具时迴轉鑽進的主要公式

鑽進深的勘探孔和开采孔时, 都是在自由 (不強制) 給進、給進力和迴轉速度不变的条件下破碎岩石的。这时, 工作鑽具是魚尾鑽头或者鑲着切削具的鑽头 (在岩心鑽進时)。

圖 (1) 表示岩心鑽探时鑽头工作情形。鑽头上鑲着硬合金切削具。切削具寬度大于鑽头壁厚, 以便在鑽头外壁和孔壁之間、鑽头內壁和岩心之間遺留下足夠冲洗液循环的空隙。

循环在孔內的冲洗液 (液流方向如箭头所示) 携出岩粉、清潔孔

底井冷却鑽头。

鑽進中切削出的岩心和孔壁間小溝的寬度 b ，等于鑽孔半徑和岩心半徑之差。由于鑽头迴轉中的离心傾向（那怕它是很小的），这个数值永远大于切削具寬度。

在这种場合，鑽進方法的特点是：在給進力不变、轉数不变的条件自由給進鑽具。

我們來研究一下有着如圖（2）所示的形狀的一顆合金的工作情況。給進力 $\textcircled{1}$ 作用到切削具上，切削具在給進力作用下切入岩石，同时迴轉着，使处在它前面的那部分岩石变形。

圖 1. 岩心鑽進時鑽头工作情况

圖（3）表示可塑性粘土的碎屑的形成情况。在給進力作用下切削具切入岩石，同时迴轉着，用它的前壁推开

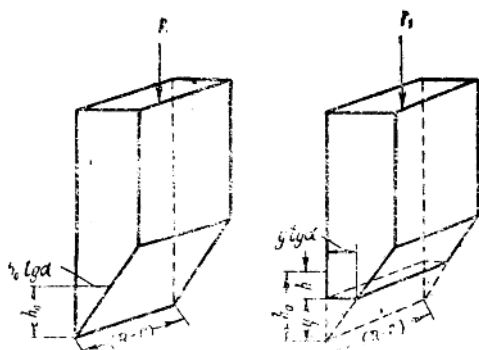


圖 2. 迴轉鑽進時切削具的磨損

$\textcircled{1}$ 一般都把“給進力”（усилie подачи）叫做“孔底压强”（давление на забой），

但是这个術語是不确切的，因为压强引起的乃是單位面積上的力 $\left[\frac{\text{公斤}}{\text{公分}^2} \right]$ ，而这里談的却是力〔公斤〕。

有了裂紋的岩石(參看圖3)。切下的那部分岩石向前和向上移動，而切削具此時又在切削下一部分岩石，一直這樣繼續下去。在車床上加工泥質砂質頁岩圓柱體時，可以看到類似的情況。

在鑽進粘土和粘性泥質頁岩時，岩屑彼此滑動；在鑽進堅固的頁岩、石英及其他某些岩石時，岩屑分離并一下子從切削具處蹦開。在迴轉着的切削具相當長的時候(魚尾鑽頭等)，切削具的不同點的圓周速度存在着差別，影響岩屑的形成過程，此時，強力切削出現在鑽頭外圍部分，越靠中心越弱。

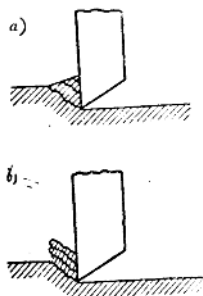


圖 3. 鑽可塑性岩石時切削具工作情况

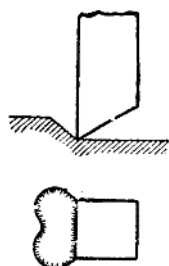


圖 4. 鑽脆性岩石時切削具工作情况

在鑽進一切削例如砂岩花崗岩這類岩石時，也產生岩屑。但這種岩屑和其他岩屑略有不同：它沒有規則的外形，尤其是在岩石顆粒很大和岩石強度同膠結物強度相差很大時。在這種條件下，切削具工作情况如圖(4)所示。

在這種情況下，用切削具鑽出的環狀小溝的兩壁是不平整的，這是因為，一些個別顆粒，雖然只有一部分處在切削經過的地方，但是也被整個地帶下來了。在我們試驗時，鑽進顆粒很大的岩石也像鑽進堅硬而無韌性的岩石一樣，岩屑分離進行得極為迅速并且噼啪作響。這時，岩屑都從切削具處蹦開了。

按岩屑的形成過程來說，剪力是逐漸增大的，到某個最大值時才開始分離岩屑。在計算中，剪力可以採取這個最大值，因而，鑽進

切削岩石本身所必需的力，可以把剪切面積（或者說削下岩屑的面積）乘以岩石的極限抗剪強度來確定。

岩石抵抗切削具切入的強度各不相同，这个数值，以后我們將用符号 σ_s 來表示，并且把它叫做切削具切入时的岩石臨界应力或者岩石的硬度。正如我們的試驗〔84〕所表明的，这个量不是个常量，而是根据岩石变形面積变化的。在推論有关鑽進效率和鑽進条件的公式时，我們將同时采用不根据面積 S 变化的量。对岩石的硬度問題，我們將在以后詳加討論。

根据采取的假設

$$F_1 = S \sigma_s \quad (1)$$

如果切削具切入岩石深 h_0 （參看圖 2），那么，在理想的情况下，岩石变形面積將等于

$$h_0 \operatorname{tg} \alpha (R - r), \quad (2)$$

式中： R ——鑽头外徑；

r ——鑽头內徑。

顯然， $(R - r)$ ——切削具徑向寬度永远小于破碎岩石的环狀空間。

考慮到这种情况，我們引入一个比例系数 b_0 。为了簡便起見，我們用 b 來表示 $(R - r) b_0$ 。这样，变形面積为

$$S = h_0 b \operatorname{tg} \alpha \quad (3)$$

把 (3) 式的 S 值代入 (1) 式，解代入后的等式求 h_0 ，得出下式

$$h_0 = \frac{F_1}{\sigma_s b \operatorname{tg} \alpha}.$$

我們可以看出，当 $\alpha = 90^\circ$ 时， $\operatorname{tg} \alpha = \infty$ 而 $h_0 = 0$ 。

实际上有沒有这种現象呢？

我們做的專門試驗（參看〔84〕、83頁及其后的）表明：当 $\alpha = 90^\circ$ 时，也就是与岩石接触的切削具底面垂直于它本身的几个側面时，变形过程略有不同。这时， $\operatorname{tg} \alpha$ 这个量需要用另外的比例系数來代替。