

716044

R. 謝費尔德著 傅連俊譯

岩石的物理性质 和可钻性



內 容 提 要

本書分为兩部分。第一部分講述了岩石物理性質，包括岩石的硬度、岩石的強度、岩石的比重，同时还研究了影响岩石硬度的一些因素。第二部分講述了岩石可鑽性，包括岩石可鑽性的試驗工具和試驗方法、鑽頭使用、岩粉分析、軸向負荷与鑽進速度的关系、鑽進速度与鑽頭磨損的关系以及标准鑽頭迴轉試驗等問題。

本書可供煤炭工業、冶金工業鑽探工程技術人員閱讀，并可供科學研究人員參考。

PHYSICAL PROPERTIES AND DRILLABILITY OF MINE ROCKS

R. Shepherd 原著

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И БУРИМОСТЬ ГОРНЫХ ПОРОД

苏联 A.M. 卡克翻譯

教授、技術科學博士 A.Φ. 苏哈諾夫校訂

根据苏联國立煤礦技術書籍出版社(УГЛЕТЕХИЗДАТ)

1956年莫斯科俄文第1版轉譯

651

岩石的物理性質和可鑽性

傅連俊譯

*

煤炭工業出版社出版(地址：北京東長安街煤礦工業部)

北京市書刊出版業營業許可証出字第084号

煤炭工業出版社印刷厂排印 新華書店發行

*

開本 78.7×109.2 公分 1/32 * 印張 1 7/8 * 字數 34,000

1958年1月北京第1版

1958年1月北京第1次印刷

統一書号：15035·400 印數：9,001—2,000册 定價：(10)0.32元



譯者的話

R. 謝費尔德在“岩石的物理性質和可鑽性”這一書中，提出一種新穎的研究岩石的方法，他不僅從物理觀點上研究了岩石，而且從可鑽性這一重要觀點上研究了岩石。如所周知，岩石可鑽性這一重要性能的研究過去是很少的。所以本書對我國有關單位工作人員在岩石的研究方面將有着莫大幫助，尤其是將有助於岩石統一分類的研究。

但是本書是根據俄文版譯的，俄文版只是英文版的簡譯本，因此，不論在內容上或理論上，都有些過於簡略。因此，譯者對個別說明不夠詳盡的地方作了一些補充，希望有助於讀者的閱讀，如有錯誤，敬希讀者提出寶貴意見，以便再版時加以訂正。

俄文版序言

这本闡述确定岩石的物理性質和可鑽性之間的关系的著作，可以分为四个主要部分。

第一部分闡述了岩石的物理机械性質，列举了确定莫斯硬度的方法、美國公共道路局所采用的方法等等，以及本書作者利用蕭氏硬度計測定岩石硬度的过程。

簡要地研究了影响岩石强度的一些因素，还敘述了为測定强度而設計的仪器。

从岩石比重对清除鑽孔中岩粉效率的影响这一观点，研究了岩石的比重。

第二部分敘述了一个鑽進試驗台，以及作者利用这个試驗台進行試驗的过程。还講到鑽進試驗时所使用的一些工具。

第三部分是本書最重要的一部分，闡述了作者为了确定軸向負荷与鑽進速度、鑽進速度与鑽头最初磨損之間的关系所進行的一些試驗研究，同时也闡述了鑽進速度的变化与鑽头直徑的关系，以及鑽头角度对可鑽性的影响。

作者对于在不同鑽進条件下得到的岩粉曾進行了分析。

第四部分包括作者根据進行实验的結果得到的一些主要結論。

确定岩石的物理性質与其可鑽性之間的关系，这个問題是非常复雜的。它需要全面地总结一些学者的大批理論

研究及實踐資料，還要進行一些廣泛的建立在精確分析方法上的試驗研究。應當指出，作者所進行的試驗範圍是不大的，其分析方法也不夠精確。

在最近20~25年的期間內，很多蘇聯學者曾廣泛地利用實踐資料，以及用組織大批試驗的方法，在理論上深入地、多方面地研究了這個問題。在這方面，蘇聯學者們獲得了顯著的成果。從蘇聯學者們的成就來看，我們認為這本書的某些論述並未能很正確地反映出岩石鑽進中各種過程的特征。

儘管作者在研究中未能確定出岩石可鑽性與其物理性質關係中一些新的、重要的規律，儘管這本書還有一些缺點，但是這本書的發表還是適宜的，因為它重新提出這一重要而又複雜的問題。除此而外，本書還說明了這一問題在國外的情況。

教授、技術科學博士

А.Ф. 蘇哈諾夫

序 言

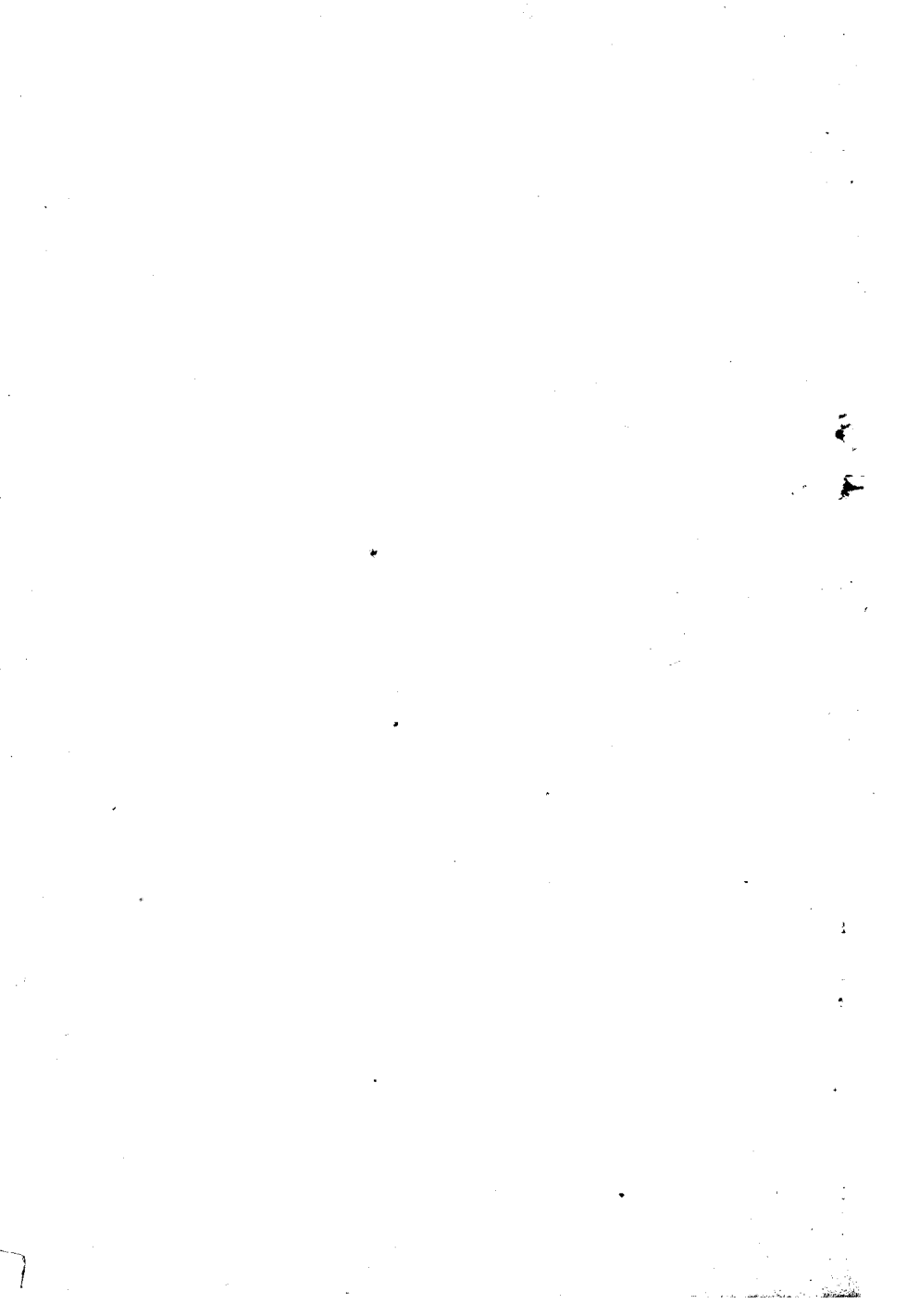
岩石的鑽進是鑿岩爆破作業中的一个必要的組成部分。經濟而有效地鑽進岩石，在很大程度上是和成功地採用了冲击式和迴轉式的鑽進工具有關。由于很多可變因素的影响，以致一向利用調整鑽進某種岩石所需能量的大小來說明岩石的破坏問題，多少發生了一些困難。“硬岩石”要比“軟岩石”容易鑽進，例如，鑽進坚硬大塊花崗岩（變質岩）時所得到的效果要比鑽進石灰岩時所得到的效果大得多。為了找出鑽進各種岩石最适用的鑽進工具和確定它的類型，曾經進行過多方面的研究。

本書不準備詳細敘述與冶金學有關的獲得釩子鋼的成就以及鑽頭的硬質合金鑲焊等等。本書只研究一些與鑽進有關的最重要的問題，敘述作者如何確定岩石物理性質與“可鑽性”（目前還沒有被確定的一種性質）的關係。

如所周知，鑽進工具在鑽進岩石中所遇的岩石阻力是與岩石的物理性質有關，對於這個問題本書也將加以研究。

目 录

譯者的話	
俄文版序言	
序言	
岩石的物理性質	7
岩石硬度的确定	8
岩石的强度	15
比重	18
可鑽性	18
試驗用鑽机	20
初步試驗	23
作用負荷与鑽進速度之間的关系	26
开始磨損值	27
臨界点	29
可鑽性的变化与鑽头直徑的关系	30
臨界負荷	37
鈍鑽头的使用	39
鑽進速度	40
岩粉的分析	46
蕭氏硬度值与可鑽性之間的关系	43
鑽头角度对可鑽性的影响	50
鑽進生產率	54
标准鑽头的迴轉鑽進試驗	55
結論	58
参考文献	60



岩石的物理性質

岩石硬度直到目前还没有一个确切的观念。硬度通常是用鑽進工具鑽進岩石时，按所遇阻力之大小來表示。硬度有以下几种不同的形式：

1. 磨損硬度，用摩擦試驗的方法來測定；
2. 理論硬度，用岩石的彈性回跳試驗的方法來測定；
3. 硬度，用冲击試驗或試件划痕的方法來測定。虽然以前有这样一种概念：即硬岩石要比軟岩石难于鑽進，但这是錯誤的。因为过去很少研究过物理性質与鑽進生產率或与岩石可鑽性之間的关系。

顯然，物理硬度不是冲击鑽進时一个特別重要的因素，因为，在这种情况下釘子剝落岩石和攪動岩粉的能量要比迴轉鑽進时的能量固定。

在吉斯和捷維斯⁽¹⁾的报告中^①，研究了下列兩個影响可鑽性的因素：

均質岩石的硬度，用鑽头鑽進岩石时按所遇阻力之大小來确定；

岩石的强度，用破碎（由一种或数种礦物所組成的）岩石时所遇之破坏阻力來确定。

按吉斯的資料，岩石的硬度是一个在考慮質点的大小及形狀、質点的排列及粘合材料的性質时，岩石組成質点硬度的函数。岩石的强度基本上是与同样一些因素有关，但是完全要用另外一种方法來确定。

① 文中的数字是列于書后的参考文献索引，以下同。——編者

岩石硬度的确定

礦物的相对硬度可以按莫斯硬度表來确定，莫斯硬度表是以硬度分类法为基础的。莫斯硬度表：

- | | |
|----------------|--------------------|
| 1. 滑石 | 6. 長石 |
| 2. 石膏 | 7. 石英 |
| 3. 方解石 | 8. 黃玉 |
| 4. 螢石(或氟石——譯者) | 9. 剛玉或青玉(即藍寶石——譯者) |
| 5. 磷灰石 | 10. 金剛石。 |

表中列出了硬度从1到10的一些礦物。表中每一种礦物都可以被下面一种礦物刻上划痕。

罗吉沃勒⁽²⁾用标准剛玉粉研磨岩石的方法來表示岩石的相对硬度。取剛玉为1000，罗吉沃勒得到了如下的数字：金剛石140000，剛玉1000，黃玉175，石英120，長石37，磷灰石6.5，螢石5，方解石4.5，石膏1.25，滑石0.33。

顯然，莫斯硬度表只能用于同类礦物。任何一种岩石都是由几种礦物組成的，因此用刻划痕的方法來确定結構不同的岩石硬度是沒有用的。

列蒙德提出一种根据莫斯硬度表利用下列关系來确定硬度的方法：

$$H = \frac{S \cdot M}{100},$$

- 式中 H —— 岩石的硬度；
 S —— 礦物的含量百分数；
 M —— 礦物的莫斯号数。

例如，含有74%石英、6%長石及20%云母的岩石硬度等于6.14^①。

这种方法的缺点就是很难精确地确定出岩石中各种矿物的含量，而在这种情况下所产生的錯誤，可能要嚴重地影响到确定岩石硬度的最后結果。

成石英狀的二氧化硅是大部分变質岩及沉積岩中普通的組成部分，起一种粘合材料的作用，可粘合住其他礦物。含有大量二氧化硅的岩石，往往具有較高的硬度。然而这个因素还不是岩石可鑽性較低的标志。

实践証明，含硅量較高的石英岩，往往要比某些沉積岩容易鑽進得多。

美國公共道路局采用了杜利⁽³⁾法来确定岩石的硬度。从待試岩石上切下一个直徑为25公厘的圓柱形試件，試件的兩個底面用被涂在鋼制迴轉圓盤上的石英砂加以研磨。試驗証明，試件的磨損程度与其硬度成反比，而重量損失的数值用硬度系数表示則等于 $20\frac{1}{3}w$ 。式中 w ——圓盤轉过1000轉以后試件的重量損失。結果要取用試件兩面的平均結果，并用最接近的整数表示。

有些專家提出在鑽進鑽孔时，也使用上述方法来确定岩石的硬度，特别是在确定道路建筑用的材料的磨損尺寸时，使用这种方法是最合理的。在那里，磨損的因素有着特殊的意义；关于岩石本身的磨損过程也是用上述方法来

① 此处的云母系指鉄鱗云母，其莫斯硬度等于3，所以

$$\frac{74 \times 7 + 6 \times 6 + 20 \times 3}{100} = 6.14。——譯者$$

确定的。但是对于鑽進，比較重要的是确定岩石对鑽头的磨損。

鋼或合金对岩石的磨損，只是在最不利的鑽進条件下才發生的，即当鑽头非常鈍，而在岩石的破坏中粗糙的磨損占有优势时發生的。在正常条件下，应当注意的只是鑽头的磨損。

为了成功地組織杜利試驗，石英砂在圓盤上的数量必須是不变的，因为圓盤本身的磨損能影响到最后結果。

哈尔里⁽¹⁾提出用分割該种岩石單位体積所需能量大小的方法来确定硬度，然而却忽略了得到最終数值时的空气压力、鉗子的形式等等。这种硬度計算方法的缺点在下面将要說明。关于用上述方法所進行的任何試驗的資料都沒有。

蕭氏硬度計。本文作者为了选择合适的岩石試驗方法，曾經研究了各种不同的金屬硬度試驗法。大部分研究金屬的方法用在岩石上都是不合适的，这是因为岩石的結構不是均質的，并且很难得到看得很清楚的划痕或刻痕的緣故。某些用在金屬上的試驗都沒有給以科学的解釋。

蕭氏硬度計在确定金屬的硬度方面得到了广泛的应用。如所周知，在德國由于采用了硬質合金鑽头的緣故，所以他們在确定岩石硬度时，首先使用了蕭氏硬度計⁽⁶⁾。

蕭氏硬度計的原理，就是測定一个帶有圓球形金屬触头的錘头，从高度 h 落到平整的水平表面上的回跳（彈回） h_1 。回跳系数等于

$$e = \sqrt{\frac{h_1}{h}}$$

在圖 1 中表示了作者用來試驗的蕭氏硬度計的兩個位置。

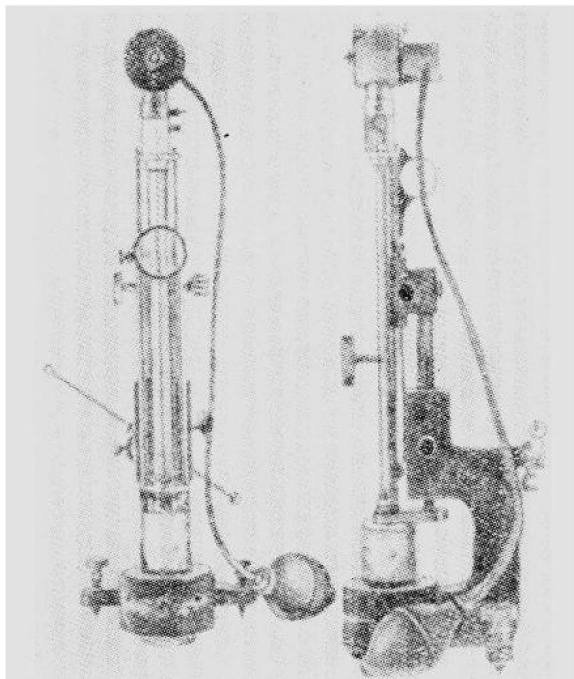


圖 1 初步研究時所使用的蕭氏硬度計的外觀圖

將立方形的岩石試件牢固地夾在試驗台上。試件夾得不牢固、儀器放置得不正確以及試件表面不夠平整，都能影響到讀數的精確性。

應當考慮到，硬度計並不指出岩石的硬度值。每一種硬度計都有獨立的等級，並表示出彈性回跳的大小，這些

只能用來比較不同岩石的硬度。例如，花崗岩的彈性回跳大小，在某一種硬度計上可能是90，而在另一種硬度計上則可能是75。因此，所有的試驗結果如必須加以比較時，則需使用同一種硬度計。沃蘭斯卡亞⁽⁶⁾將在利用一些各種不同形式的硬度計測定岩石的硬度時所得到的結果，作了一個有趣的比較。她認為蕭氏硬度計給出的結果是最可靠的。

作者對所進行的試驗，曾採用了一些尺寸約為50公厘的小立方體，而這些試件是從尺寸大約為300公厘的大塊上切下來的。小立方體的切割是用一個塗有金剛石粉的圓盤進行的。為了得到平整的表面，要將試件磨光。在試驗之前，要將小立方體在室溫下干燥2~3個星期。

小立方體沿着一個表面上的岩石組成可能是不同的，所以在試驗試件時，一個結果是不夠的。因此，要將小立方體的每一個表面都用細綫分成尺寸為12.7公厘的正方形。試驗是在每一個直綫交點上進行的，而平均蕭氏硬度值則是用蕭氏硬度值的總和除以進行試驗的次數求得的。當使用這種方法時，就研究了試件上含有硬礦物或軟礦物的各個點，這就把得到錯誤數據的可能性減到最小。

硬度計使用得不熟練時，則可能發生嚴重的誤差。

試驗結果的分析。全部所得數值的平均算術值用下列方法計算：

$$h = \frac{h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + \dots + h_n}{n},$$

式中 h ——硬度計的平均算術讀數；

n ——讀數的數目；

$h_1 \sim h_n$ ——個別的讀數。

平均算術值的等偏差 δ 按下列方程式計算：

$$\delta = \sqrt{\frac{(h_1 - h)^2 + (h_2 - h)^2 + (h_3 - h)^2 + \dots + (h_n - h)^2}{n}}$$

或
$$\delta = \sqrt{\frac{\sum d_a^2}{n}},$$

式中 d_a ——每個讀數與平均值的偏差。

偏差百分數等於：

$$\frac{\delta}{h} \times 100(\%)$$

在表 1 中載有試驗各種岩石試件時所得到的結果。

岩石的試驗結果

表 1

岩 石	礦 產 地, 岩 層	硬度計 讀 數	偏 差 (δ)	
			絕對單位	百分數
正長岩	列斯捷爾希爾	92.8	6.84	7.36
砂岩	巴爾克蓋特岩層、約爾克希爾	66.1	2.77	4.18
瀝青泥質頁岩	丹西勒岩層、約爾克希爾	52.9	4.26	8.06
赤鐵礦	卡姆別爾連德	85.1	3.77	4.44
粗粒砂岩	杰爾比希爾	63.7	4.68	7.34
I 類石灰岩	〃 〃	78.6	3.45	4.43
II 類石灰岩	〃 〃	70.2	7.21	10.25
III 類石灰岩	〃 〃	64.5	9.98	15.47
IV 類石灰岩	諾爾坦特斯	64.0	4.15	6.48
花崗岩	柯爾努艾勒	92.8	12.76	13.75
鐵礦石	諾爾坦特斯	50.8	4.22	8.29
煤炭:				
垂直于解理的	巴爾克蓋特岩層、約爾克希爾	82.5	3.36	4.08
平行于解理的	〃 〃	81.5	3.32	4.08

表中所載結果揭露了几个有趣的事實。含有几种硬度不同的粗晶粒礦物的岩石，所得到的偏差要比結構較為均一的岩石的偏差為大。如花崗岩、正長岩、Ⅱ類結晶石灰岩、含有方解石的Ⅲ類石灰岩等，這些岩石的偏差都比煤炭、黑色的細粒Ⅰ類石灰岩等等的偏差為大。

正長岩及花崗岩都是深成岩，所以通常都有着粗大的晶粒。試驗時，所採用的正長岩的試件則具有比較細的晶粒，而硬度讀數的偏差就顯著地降低了。因此，細粒岩石平均值的偏差是比較小的。

用百分數表示的偏差，對於絕對偏差不大的軟岩石可能是比較高的。例如，鐵礦石的絕對偏差比較低，但是它的偏差百分數却要比那些較硬的岩石（如正長岩）為高。

沖擊功。在試件的任何一個網格點上試驗時，硬度計的第一個讀數可能是不大的，但是如果反復地在這個點上試驗幾次以後，則數值就要增到最大值。這個事實，按作者的意見，是岩石沖擊功的特徵。最大讀數經過某一個不變期以後，它就開始減小。硬度計讀數值這種暫時的減小，可能是由於錘頭被卡在凹穴的窩中，或是由於承受沖擊能的被撞擊的質點沒有彈性作用的緣故而產生的。在第二次讀數較低的時期以後，這些數值又重新開始增加到最大值。

於是發生了一個問題，究竟採取那一個數值作為蕭氏硬度值：最低的最初值，還是最穩定的最大值。關於這個問題下面將要講到，而現在應當指出，在所有的鑽進形式中，都要耗費一定數量的功來強化岩石。對於每一個試件

都曾記錄了最小值及最大值，同時也記下了為了得到最大值所需的沖擊次數。表 2 中載有這些試驗的結果。

沖擊功的結果 表 2

岩 石	為了達到最大值在標點上所需的沖擊次數	平均開始讀數	平均終了讀數	終了讀數與開始讀數之間的差別 (%)
花崗岩	1	92.8	92.8	—
正長岩	9	81.1	92.8	14.4
赤鐵礦	4	79.3	85.1	17.3
煤 炭	7	68.3	82.0	20.0
I 類石灰岩	7	58.9	78.6	33.3
II 類石灰岩	6	53.6	70.2	30.9
III 類石灰岩	5	48.2	64.5	33.0
IV 類石灰岩	7	45.5	64.0	40.9
砂 岩	9	35.5	66.1	83.4
粗粒砂岩	9	21.2	63.7	200.0
瀝青泥質頁岩	3	29.0	52.9	82.1
鐵礦石	14	18.6	50.8	173.7

大部分岩石的最小值與最大值之間都有很大的差別，而且對於那些最大讀數比較低的岩石，這種差別尤大。由此得出結論，強化功在很大程度上是發生在最大讀數較低的岩石上。對於讀數增加百分數較高的岩石，只在壓實個別晶粒以後才達到最大蕭氏硬度值。例如，粗粒砂岩可以當作一種晶粒不致密的岩石來研究。這種岩石中的晶粒，沒有被粘結材料所粘結。在這種情況下，沖擊功將晶粒壓實，結果粗粒砂岩的硬度與化學組成相似、結構比較致密的砂岩硬度相接近。