

二次破碎與放礦

Л. И. 巴 倫 著

尹夔案 楊遷人 劉可任 譯

重工業出版社

222
37
1

二次破碎與放礦

Л. И. 巴 倫 著

尹夔業 楊運人 劉可任 譯

重工業出版社

076082

評閱者
技術科學碩士 Г. Н. 波波夫

內 容 提 要

本書中說明鬆散礦物體的性質及採下礦石塊度的測量和評定方法。援引了在不同的採掘方法下，礦石的機械組成等實際資料。敘述了現有的二次破碎方法，用於運出和裝載所放礦石的裝置的各種形式及其裝備，管理與拆除方法。詳盡地講述了這些裝置的構造原件：如裝礦漏口，漏口閘門，格篩等。說明在崩落覆岩下的放礦方法。

本書供採礦工業——礦山、設計機構、科學研究院——工程技術人員及高等採礦學校的學生使用。

Л. Н. БАРОН
ВТОРИЧНОЕ ДРОБЛЕНИЕ
И
ВЫПУСК РУДЫ
металлургиядат (Москва 1950)

二 次 破 碎 與 放 礦

尹夔業，楊遷人，劉可任 譯

重工業出版社（北京西直門內大街三官廟十一號）出版
北京市書刊出版業營業許可證出字第〇一五號

旅大人民日報印刷廠印

一九五五年九月第一版

一九五五年九月大連第一次印刷（1—1,178）

$787 \times 1092 \cdot \frac{1}{25}$ · 271,000 字 · 印張 $9 \frac{3}{5}$ · 定價（9）1.98 元

書 號 0284

發 行 者 新 華 書 店

目 錄

序 言	4
第一章 概 論	6
第二章 鬆散礦物體的物理機械性質	13
第三章 採下礦石的塊度及其度量和評定的方法	32
第四章 所採礦石塊度的標準	47
第五章 在放礦過程中進行二次破碎的方法	70
第六章 在破碎機中進行二次破碎	93
第七章 出礦的裝置及其主要部分	109
第八章 裝礦漏口	123
第九章 不設小中段檢查坑道的出礦方法	143
第十章 設小中段檢查坑道，無機械運搬的出礦方法	151
第十一章 設小中段檢查坑道與機械運搬的出礦方法	167
第十二章 使用小中段檢查坑道的混合出礦方法	193
第十三章 所放礦石在採空場中的運動和在崩落覆岩 下放礦的方法	209
第十四章 放礦裝置的拆除	225
文獻索引	230
名詞對照表	236

序 言

本書所要講的問題，近年來在採礦工業中，有着非常重要的意義。這一點，只須舉一個例子就可以說明：在克里沃羅格諸鐵礦山，用於二次破碎和放礦（不計裝車）的勞動量，平均大於用於回採（包括切割工作在內）的所有勞動量的三分之一。在使用最高生產率的現代採礦方法時——在這些方法中，利用自然崩落或深孔成功地解決了高效率的採礦問題——放礦決定着整個回採過程的可能工作強度和最重要的質量指標。

採礦工學在地下開採的二次破碎及放礦方面，積累了大量的、多種多樣的經驗。在這一範疇內，蘇聯的學術機關進行了極有價值的研究。所有這些已積累起來的生產經驗和學術上的經驗，爲了今後更順利地在祖國採礦工業中進一步推行高生產率的採礦方法，迫切地需要加以總結。解決這一問題就構成了本書的主要意圖。

礦山生產的發展，不斷地給採礦科學提出愈來愈新的問題。這些問題需要利用廣泛的生產經驗和科學工作的成果來做深入的科學研究。在我國，在蘇維埃愛國主義的有力基礎上，廣泛地展開了人民在學術領域中的發明創造，生產技術的總結也獲得了異常重大的意義。

由於採礦科學的方法學，還是一門年青的學科，剛剛開始研究，所以在從事這一具有生產技術總結性質的工作的開端，我們嘗試着歸納出在採礦技術問題上進行合理的系統的科学總結工作的基本原則。在本書中也盡量遵循了這些曾部分地被過去的工作所驗證過的一些原則。

前幾章說明鬆散礦物體的物理機械性質。同時，按照本書總的方向，主要的注意力是集中在採下礦石的塊度和它的測定及評定方法上。比較詳盡地敘述了作者最近做過的一些研究工作的資料，和在不同的採掘方法下所做的有關採下礦石塊度的觀察，以及它的機械組成與各種因素的關係。這類材料，將根據我們現在所知的加以介紹。

在二次破碎方法的論述中，重點放在它們的管理特徵，合理地使用條件和工作方法。在敘述所放礦石的出礦裝置的幾章內，也採取同樣的重點，此外並在這些章內要對基本的構造原件——漏口和漏口閘門，格篩，二次破碎坑道的支護等做特殊的敘述。儘可能地在各章內都舉出主要的消耗指標和工作中的計算參數。

關於極其重要的、在崩落覆岩下的放礦方法，將特闢一章加以說明。本章所

敘述的材料和結論，主要是根據近十年來在蘇聯所進行的調查研究所得的資料。這些調查研究，按其廣度與深度講來，都遠遠超越於其他國家在這一範疇內所做過的。

在簡短的最末一章內，論述了出礦裝置的拆除方法（礦塊底柱回採）。

在本書末尾所介紹的參考書籍計 100 種，包括了關於我們所研究問題的主要文獻。

此書在執筆過程中，作者曾利用了一些研究工作者熱心提供的一些材料（關於此點已在文中註明），以及生產方面的專家們直接由廠礦寄來的材料。對於這些同志作者謹致以深切的謝意。

讀者們對於本書和其中某些章節的意見，作者將非常感謝地接受。請將意見寄到： Москва, Центр, Малый Харитоньевский Пер, д. 4, Институт Горного дела Академии Наук СССР, Л. И. Барону。

Л. И. 巴 倫

第一章

概

論

爲了完成最近幾年擺在我們工業面前的任務，就需要大大地提高勞動生產率。在現代金屬採礦工業中，應用高生產率的採礦方法，應該認爲是地下採礦方法中提高生產率的主要手段。

我們這一代採礦工程師及技術人員，是金屬礦床高生產率採礦方法的迅速而廣泛發展的見證人和積極的參加者。這方面蘇聯的採礦技術和斯達漢諾夫工作者們，起着決定性的作用，他們爲應用最先進的方法來開採礦石和其他有用礦產開闢了道路。

如果談到在本書中所敘述的地下開採，那麼，在這些條件下，高生產率方法的最共同的特徵，就是**採掘的大量性**（也就是一次爆下或崩落下相當大量的礦石）和在採場中**利用礦石自重**來運搬大量的礦石。這些方法是應用在厚礦體的地下開採，因而通常應用於在完成採礦工業國家計劃中，起決定性作用的巨型礦山中。可以很肯定地說，由於較富礦體的逐漸減少，總的歷史趨勢，是轉向廣大低品位礦石的開採；同時由於總的礦石開採量的增加，大量開採方法的意義和作用是要增長的。

上述這些方法的特徵（大量性和廣泛的應用自重），無疑是進步的，在現在地下金屬礦開採的技術水平下，也是合理的。

大家知道，現代採礦技術的特出之點，在於其循環性。在生產條件下，通常爲了完成每一個循環，需要完成相當大量的各種準備工作和結束工序。消耗在這些工序上的勞動和時間，雖然從完成整個生產過程來說是完全必需的，但還是屬於輔助性質的。這些消耗越小越好。在這方面，採掘量大的方法給予很大的效果，正如從其定義中所引伸出的，這種方法具有大的循環量——也就是說，在一個循環中，採掘出相當大量的礦石[●]。因之，消耗在輔助工序上的勞動量對每一噸採出礦石來說，便急劇下降，同時，回採的勞動生產率也顯著提高。

所有現代這些大量爆破和大量崩落礦石的方法的應用，通常都引起採下礦石塊尺度的增加（與在同樣條件下，用淺眼爆破採礦時，塊的尺度相比較）。這就

● 可以認爲，當使用高生產率的礦塊崩落法時，幾乎所有礦塊埋藏量實際上是在一個生產循環內採出的。

產生了對大塊●進行相當大規模的補充破碎的必要性。

回採區的生產率大，使令我們對礦塊底部出礦裝置的構造形式和設備，要加以特殊的注意。由於在出礦過程中，通常應當保持毫無阻礙地進行二次破碎的必需條件，上述裝置就具有了相當複雜的性質。

在應用大量開採方法的許多情況下，覆岩與礦石同時崩落，這便需要確定從礦塊的各個放礦點出礦的特別順序，並且要嚴格遵守所規定的制度。

論述與從回採區內放出所需尺寸的礦石有關的問題，是本書的主要內容。

首先，規定一下兩個名詞的基本概念。

在礦山上（在有用礦產運出之前），將預先從礦體中採下來的大塊礦石或岩石破碎到需要的尺寸的生產工序，叫做**二次破碎**。

放礦 這個術語應當理解為向運輸路線運搬及裝載礦石的過程。這種過程伴隨着充滿整個礦室寬度爆破下或崩落下的大量礦石在採場中的直接位移。這一礦山運搬的變形，應用於各種採礦方法中：在留礦法中，從採準坑道或切割坑道中採礦的礦室法（小中段坑道法，從天井中採礦法等）中，在礦塊崩落法中和在用深孔爆破的小中段崩落法中。

在很多採掘方法中應用自重運搬。但是我們完全不能在所有情況下，都稱這一過程為「放礦」。例如，在水平分層充填法中，採下礦石運到礦漏，然後藉助於礦石的自重降落到運輸坑道。而在方框支柱法中，礦石是用類似的方法，沿斜坡放下去的。雖然在兩種情況下，在回採區域內都應用了自重運搬，但這過程並不滿足上述放礦的定義，因為礦石沿採場的移動不是直接的，而是利用了礦漏或斜坡，並且也沒有充滿回採場的全部寬度。

在礦塊底部坑道運輸礦石的過程，將裝車包括在內，稱為**出礦**，這樣，這一術語應理解為放礦過程的組成部分。

上面所解釋的放礦這一術語，和其他自重運搬的形式（沿礦漏、槽或鋪板）之間，在所應用裝置的構造方面和完成的技術方面，都有很大的區別。沿礦漏或槽子運搬時，以比較少量的礦石供給運輸，這些礦石通常是用某一種運輸工具運到礦漏的口。而在放礦中，礦石以自流的方式，直接從採掘的地方運輸，並且有大量的礦石投入運動。與其他運搬形式不同，所放礦石的二次破碎可以不在工作面中或回採區域外邊進行，而是在礦塊底部坑道內，在礦石運到運輸坑道的途中，也就是在出礦過程中進行。

● 後者有時用不够恰當的術語（Бут）（Негабарит）（Глыбы）來表示。本書所用的術語為（Крупные куски）——譯者。

在現代採礦方法中，尤其是在採掘大量礦石的方法中，用於二次破碎和放礦方面的勞動量和物質是相當大的。舉一個例子就可以了解：在 1947 年中，在克里沃羅格諸鐵礦，在用小中段坑道法和小中段崩落法（用深孔爆破）的開採中，根據我們的統計，二次破碎和放礦（不包括裝礦車）的勞動量，佔包括拉底在內的採礦場所有勞動量的 36.3%。在克里沃羅格礦區的個別礦山，在同一時期內，這一指數為 28.5% 到 48.4%（表 1）。

表 1

1947年克里沃羅格礦區各礦山用小中段坑道法和小中段崩落法的開採中，二次破碎和放礦（不包括裝礦車）勞動量對採場所有總平均勞動消耗量的比值

礦 山 名 稱	礦石二次破碎和放礦 所佔的勞動量比值%	礦 山 名 稱	礦石二次破碎和放礦 所佔勞動量的比值%
〔黃河〕	28.5	〔布爾什維克〕	44.8
五一	31.8	К. 李卜克內西	36.1
奧爾忠尼啓則	36.9	基洛夫	40.0
Р. 盧森堡	29.5	捷爾任斯基	48.4
卡崗諾維奇	40.5	依里奇	40.1
伏龍芝	34.3	英古列茨	30.9
共產國際	30.4		

觀察結果表明，在應用高生產率的現代採礦方法中，很順利地解決了從礦體高效率地採下礦石的問題（自然崩落法，應用深孔等），而在很多情況下，放礦仍然停留在〔狹窄〕的地方。在這樣的條件下，放礦的生產率實際上就完全決定着礦地回採主要階段的可能強度。

當放礦是在已崩落圍岩下進行的時候（大量崩落方法），放礦的方法就成為採場所有工序順利進行的最主要的條件之一，因為礦石損失和貧化的程度，即礦床開採最重要的質量指標，都是與它有關的。

近年來，工業方面在放礦裝置的構造和設備上，在二次破碎的方法上，在實際管理放礦方法等各方面，都聚集了豐富的經驗。蘇聯的科學研究機關，進行了大量的生產實驗和實驗室的工作，特別是在模型中對採下礦石在採空場中的運動規律的研究方面，進行了極有益的實驗。

進一步提高採礦工業的勞動生產率的任務，迫切需要將在二次破碎和放礦方面已有的生產經驗和研究結果，進行科學的總結。由於應用在現代各種採礦方法

中的出礦裝置在構造上的相似，所以最好分別來研究它們，以便更完全的掌握生產經驗，肯定所有有用的，仔細的解決和評定各種不同裝置，以及在各種條件下二次破碎和放礦的方法之優缺點，並確定這些方法和裝置的最優良的使用範圍。分析表明，採礦工業技術在現在發展的水平上，已經為在二次破碎和放礦問題方面做的專門的描述，積蓄了相當豐富的資料。由於在社會主義採礦工業中廣泛地應用了高生產率的採礦方法，所以自然地就提出了去完成這種總結的任務。

定期的編寫具有科學分析的生產技術總結，應當認為是實用的、技術性的採礦科學研究方法的重要組成部分[●]。採礦生產的發展提出來愈來愈新的總結題目。某些生產上的個別問題，過去是次要的，價值不大的，由於技術的發展，而具有了重要的意義和獨立的科學價值。

對生產技術總結的深入態度，和其真實的科學本質說明蘇聯的採礦科學和外國的科學，首先是和美國在採礦工業問題的專論著作是顯然不同的。在美國採礦技術的論述中，甚至在某些具有很多實際材料的論述中，都沒有從事實作出理論總結的任何嘗試，都沒有新的思想。近年來，美國作者們在目前採礦技術的迫切問題，如礦塊崩落法的應用，礦石地下採掘的新方法，以及其他方面的著作，就明確地證實了這一點。

由此，就不能不想起 M. II. 加里寧於 1944 年在他的一篇演說中所發表的以下卓越的意見[◎]：

「如果科學的成就不加以總結，不加以全面地理解，恐怕那就將不是科學，而是手工業了。科學的理解和論理化的問題，只有在我國可以解決。在其他任何國家中都是不可能的。成就在西歐是存在的，然而總結和理解——這只有我們國家負擔起來。」

採礦科學，尤其是它的金屬採礦部分，只是不久以前才開始形成為一門科學。這一科學的方法學才剛剛開始研究。其主要任務之一，是確定生產的採礦技術的研究和總結的合理方法。因此，我們將這種實際方法的最重要的內容，試驗着作簡短的說明和固定下來。

1. 生產技術總結的題目和內容，在解決國民經濟現存的和將來的問題上，應當具有明確的目的性。所有工作應當符合於布爾什維克的科學的黨性的要求。

● A. M. 切爾皮果列夫院士和技術科學碩士 II. II. 巴倫，改造科學院技術科學範疇內的科學研究工作，〔蘇聯科學院通報〕1948年，第11期，45—50頁。

◎ 摘自 II. A. 塞馬什考〔平凡的事業和遠大的前途〕，〔學者之家1922—1947〕合訂本，蘇聯科學院出版1948年5頁。

2. 只要可能，就永遠力求在仔細分析諸種現象（這些現象決定着所研究的生產過程的實質及其實效的程度）的物理和物理化學性質的基礎上，進行生產技術性質的總結工作。將物理學進一步地應用到採礦工業中的問題，是俄羅斯採礦科學的奠基人，偉大的 M. B. 羅蒙諾索夫所提出來的，他在自己的著作「論地層」中寫道：「在礦山中大自然發生了許多值得注意的作用，可是在科學界中却很少有知道的人……現在的青年人，爲了學習礦業而多偏重於生產工作的探討，而不知道應當注意自然地理學的解釋。」對於和採礦工業相伴生的現象的物理本質的研究不夠重視，羅蒙諾索夫表示了自己的不滿而感嘆道：「怪哉！在小事情上却比在大事情上聚積了更多的自然探知者！」俄羅斯科學的偉大天才家的指示，必須深刻地熟知採礦工程實際現象的物理本質，在我們今天，仍然沒有失掉它的意義。只有在這個基礎上，正如恩格斯所說的，才能預見生產過程的後果。這一點對於採礦工程具有特殊重要的意義。

3. 對採礦實際中複雜現象的總結工作，應當包括對構成生產過程的每一過程的單獨的分析。同時要必須估計到每一個所分析的過程，在不同的採礦技術條件下的實際生產情況中和整體的其他組成部分的相互之間的關係。這就決定了對與個別過程的實效有關的諸主要影響因素加以詳細研究同評價的必要性。最好將這些因素分類，以便在它們當中分別出：不能用數量估計的，然後是應用簡單的係數或將典型數值列表的方法可以用數量估計的，最後是爲了估計其影響需要編製相當公式的。

4. 計算公式的性質，其精確度和得到的方法，都應當符合做爲原始指數的精確度。如果原始數字本來就不精確，而毫無意義地嚴格地追求計算的精確度，並相應地將解決的方法複雜化（特別是用繁雜的數學式子和複雜計算的方法），則會發生很大偏差。這時只能應用統計的或類似統計的方法來確定。假如原始資料具有很大的變化性，則採用大量的「校正」係數同樣是沒有實際意義的；因爲這些係數本身就是具有很大的概略性，而它們的採取，又有相當程度的主觀性。在這些情況下，應用科學的數學統計方法是合理的。應用它們的絕對必要的前提，是預先對事物的質的方面，作很仔細的分析。這種分析，一般是將所分析的相互關係引向物理學的基本定律。我們覺得，許多採礦工程的複雜問題，在初步的科學分析階段，從一般的物理學定律中，應用能量不減定律（熱力學的第一定律）是最理想的。

● M. B. 羅蒙諾索夫選集，蘇聯科學院出版，第Ⅳ卷列寧格勒 1934年，201頁。

● 同 前， 183頁。

5. 因為將物理學定律直接應用於許多採礦工作的複雜現象上去，對於我們現在的知識水平來說，還是很困難的，實際上也是不可能的；所以爲了說明所研究的複雜現象的物理本質，就應當盡量地利用它們的推論，次要的關係，最簡單的（但是被允許的！）類比等。偉大的天才家和科學勞動者 Л. И. 門德列葉夫卓越地用象徵的詞句，說明了在科學分析工作中應用這一方法的效能。他寫道：「科學很久以前就知道吊橋如何建築：靠着一組加固很好的細繩索——其中每一根都很容易破裂，但其整體則很難破裂。利用這樣的方法，也可以在看來不能通行的深淵上鋪路。在科學中，也學會了越過不知的深淵達到堅實的彼岸，並掌握整個可見的世界，但繩索要繫在經過很好地研究過的岸上之基石上。」

6. 在生產技術總結中，各種實際資料系統化的基礎應當是所研究的方法或過程的經過仔細製定的分類。這一分類須提供掌握所有全部材料和科學地理解他們的可能性。分類應當完全符合當時的技術情況，並且要具有先進性。這一要求的滿足意味着：在或遠或近的將來就可出現的新事實和新生產方法將能夠與所採用的分類法相符合，亦即將擴大，並在邏輯上充實所採用的分類。在這種情況下，分類將是非常有價值的，因為它自然地將創作思想引向了採礦技術的新方法和新設備等的創造上。

當然，分類的先進性應當不是表現在其形式的結構上（絕對的包括所有可以想像的，縱然是荒謬的方案），而是表現在預知現實的和最理想的採礦技術的發展道路。

我們指出，在生產技術總結中，不但主要過程或方法的分類是有益處的，就是各種生產用的零件——所使用的裝置、工具、設備等的分類，也是有益處的。這樣的分類掌握了實際資料的多樣性，並保證將它們科學地系統化。這樣地組織材料，就是使具有實用性質的科學研究和普通的技術敘述有所不同。

7. 所研究的生產過程或方法的主要變形，它們的基本特點，優缺點和應用的範圍，最好是在詳細選擇過的或特別研究過的與所取分類符合的典型方案中來加以研究。

8. 研究每一個典型方案——它們以「提煉」過的，因而在某種程度上有些公式化的形式來表現着方法、過程或裝置——時，必須補足以具體實例的分析。實際的例子應當這樣選擇，俾使它們能夠說明所分析的方法的主要變形形式，或者在各種不同礦山地質和技術條件下所研究的生產過程的技術變化情況。在此必須

● Л. И. 門德列葉夫，化學基礎，第13版（逝世後第五版）卷一，化學出版社，1947年，7頁。

注意最合理的實際工作方法（這對生產工作者尤其重要），指出最主要指標的實際數字，注意地收集生產中最有價值的點滴經驗。在採礦工程中，由於生產技術條件的多變性，這樣實際例子的分析，就更加有益和可貴。應當記住，生產技術總結是屬於那一類的工作，對於它們，最主要的任務之一，就是應當保證按照 B. II. 列寧的話說「實際應用經驗的可能性」。

9. 在分析的結果中，一定要給予有根據的結論和關於所研究的生產過程，工作進行方法，裝置等的應用方法和應用範圍的實際建議。

應當指出，採礦工程中關於各種過程，方法或裝置的應用方法和範圍問題（即使它們在原則上已為實際所知道）的根本解決，由於採礦生產條件的複雜和多樣性，仍然是嚴重的並需要科學預見的科學任務。在科學方面，具有充分價值的生產技術總結，由於它能夠給予在技術中所產生的各種現象以正確的評價和科學的分析，所以就會成為使它們進一步推廣和發展的重要因素。不可置疑，這樣的總結，也將激起科學和生產工作者們在根本改善採礦工程中的現存事物以及創造新穎方法等方面的創造性的思想。當理論工作不只是跟隨着實際，而是如斯大林同志所教導的那樣，超過它，並用來武裝實際工作者的時候，所有這些將都是理論和實際之間正確接合的一種形式。

× × ×

上面所講的就是本書主題的意義。

在前幾章中是關於鬆散礦物體物理機械性基本情況的敘述。在個別的章中，對礦石的塊度以及它的評定和測量問題做了敘述，因為這個在文獻中尚未闡明過的問題，在本書所要解決的工程問題的範疇內具有重大的意義。對於鬆散物體運動物理學的某些問題，也做了單獨的論述（在關於放礦的章中）。

在闡明已採礦石的二次破碎和放礦裝置的章中，提供了相應的分類，研究了主要的方案，並以生產實例加以說明。這些例子主要的是我國的經驗。

所有以後的論述，就是實際應用以上所規定的方法原則的實驗。

第二章

鬆散礦物體的物理機械性質

在物理學中，在空氣介質中由具有某種尺度的固態顆粒所組成的分散系統，稱為**鬆散物體**^①。應該補充說明，顆粒的尺寸與整個鬆散物體的體積相比較，是極其微小的。

我們將鬆散物體與液體比較一下。的確和液體一樣，鬆散物體由於自重的作用，可以與盛着它們的盛器具有同一形狀。但是，在詳細的觀察下，就不難看出，鬆散物體與液體之間的不同之點，比起它們的相似之處更是主要的。

首先，鬆散物體的「流動性」遠不及液體，因為它們的內摩擦力要比液體的大得多。所以鬆散物體並不能從一個較小的孔洞流通過去；也不能像液體一樣地在光滑的平面上向四方散流，而是形成一個錐形體。

錐形體的錐面與水平面所成的角，稱為**自然休止角**。顆粒在物體表面上的臨界安定條件與這一角度有關。被自然休止角所決定的平面，稱為**自然休止面**。

在鬆散物體中個別的顆粒總是容易被分離出來，而在液體中則不然。與具有等方性的液體不同，鬆散物體的顆粒排列常常具有非等方性；因此，鬆散物體的性質（例如孔隙性）在各個方向內經常是不相同的。

我們知道，在液體中，所施的壓力以相等的作用力向各個方向傳佈。如果在某一深度的靜水壓力為 P_0 ，而後者相當於單位面積所承受的上部液體的重量，則液體的器壁也將受到相等的壓力。假如將一塊完整的固體放入盛器中，則器壁將不受任何水平方向的作用。而鬆散物體具有兩者之間的特徵：器壁將受到水平壓力，但其值小於等深度的垂直壓力。

換句話說，對於鬆散物體，可寫出下列等式：

$$P_r = P_0 \cdot K_{\text{cмн}}, \quad (1)$$

式中 P_r —— 水平壓力； $K_{\text{cмн}}$ —— 係數。

這係數的值對於液體等於一，而對於鬆散物體，則永遠小於一。鬆散物體顆粒的活動性愈大，顆粒之間的摩擦係數愈小，則水平壓力愈近於垂直壓力，而係數 $K_{\text{cмн}}$ 值亦愈大。與此相反，隨着顆粒活動性的減弱（亦即它們之間的摩擦係

① 物理辭典，第5卷，33頁。

數增加)，係數 $K_{\text{смп}}$ 值亦減小，漸漸接近其極限，即相當於顆粒的聯結非常堅固的固體的係數。因此，係數 $K_{\text{смп}}$ 可以稱為物質的**散碎係數**。

由鬆散物體的理論得知，係數 $K_{\text{смп}}$ 的值可按下列公式求得：

$$K_{\text{смп}} = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi}, \quad (2)$$

式中 φ ——物質的自然休止角。

在表 2 中所列出的，是與不同的自然休止角度相適應的散碎係數之值。

表 2

與不同的自然休止角相適應的散碎係數之值

自然休止角 φ , 度	散 碎 係 數, $K_{\text{смп}}$	自然休止角 φ , 度	散 碎 係 數, $K_{\text{смп}}$
20	0.490	50	0.132
25	0.405	55	0.100
30	0.333	60	0.072
35	0.271	65	0.049
40	0.217	70	0.031
45	0.171		

自然休止角最簡單的測量方法如下。

在一個水平的台子或地板上，放置一個白鐵製成的無底圓筒；圓筒的高為 1 公尺（或 1 公寸），底面積為 1 平方公尺（或 1 平方公寸）。由此，圓筒的直徑等於 1.13 公尺（或 1.13 公寸），而體積則為 1 立方公尺（或 1 立方公寸）。在圓筒內撒入欲試驗的物質，然後慢慢地將鐵筒提起，再量一下所形成的圓錐體高度（圖 1）。圓錐體的體積為：

$$V_{\text{кон}} = \frac{1}{3} \cdot \frac{\pi d_{\text{кон}}^3}{4} \cdot h_{\text{кон}} = 1 \text{ 立方公尺。} \quad (3)$$

同時由圖 1 可以看出，

$$d_{\text{кон}} = \frac{2h_{\text{кон}}}{\text{tg} \varphi}. \quad (4)$$

將 $d_{\text{кон}}$ 之值代入 (3) 式中，得：

$$\frac{1}{3} \cdot \frac{\pi \cdot 4h_{\text{кон}}^3}{4\text{tg}^3 \varphi} \cdot h_{\text{кон}} = 1.$$

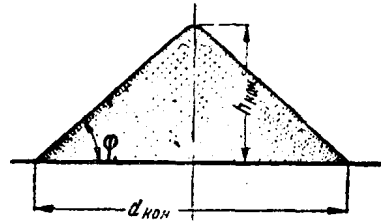
由此，可近似的得出：

$$\operatorname{tg} \varphi = \sqrt{\frac{1}{k^3 \rho_{\text{HON}}}} \quad (5)$$

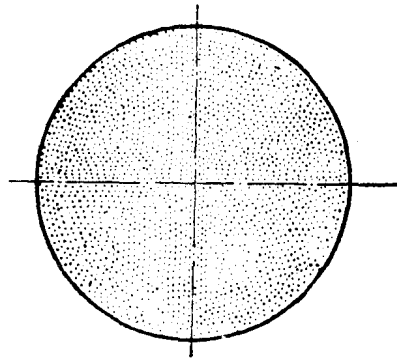
按式(5)可以求出自然休止角的正切，然後按正切再求出角度。

自然休止角的值與物質的特性，

鬆散物體顆粒的形狀與尺度及濕度有關。到現在為止，所進行的一些專門研究，主要地是爲了決定土壤的自然休止角度（在土木工程中）。在表3中列出一些關於自然休止角的資料。



當其他條件不變時，自然休止角隨着顆粒尺度的加大而減小。這一點需要用鬆散物體的機械強度的特性來說明。



不難看出，各種鬆散物體的機械強度由顆粒之間的聯結情況而定。當顆粒的直徑增加時，其表面積與其重量相比較，增加的並不多。在這種情況下，聯結力就不足以使顆粒停在某個不够安定的位置上，因而鬆散物體的聯結強度也就減底了。

圖 1 自然休止角的測定

表 3

一些岩石的自然休止角

岩 石 名 稱	以度衡量的自然休止角，當岩石爲：		
	乾 的	潮 的	濕 的
砂子.....	28—35	30—40	22—27
砂質粘土.....	40—50	35—40	25—30
壤土.....	40—45	35	15—20
耕土.....	40	35	25
各種尺度的鬆散堅實岩石.....	32—45	36—48	30—40

米海諾波耳所作的實驗[●]指出，摩擦角（如石棉礦與無煙煤的）的值，顯然完全隨着尺度的增加而減小的。這些實驗的結果，列於下表 4 中。

表 4

摩擦角和尺度的關係（按米海諾波耳的實驗結果）

尺 度，公 厘	在 鋼 板 上 的 靜 摩 擦 角	
	石 棉 礦	無 煙 煤
1—3	29°40′	24°20′
3—6	26°0′	21°45′
6—12	24°30′	18°30′
12—25	24°0′	18°0′

自然休止角隨着尺度的減小而增加的現象，在沿槽子自重放礦時，可以很清楚地看出。槽子的傾角必須隨着尺度的減小而增加。表 5 中所列舉的，為在運藏乾燥（濕度達 5—8%）煙煤——按 Шахтострой 的標準——時，平滑鋼底槽的傾角值。

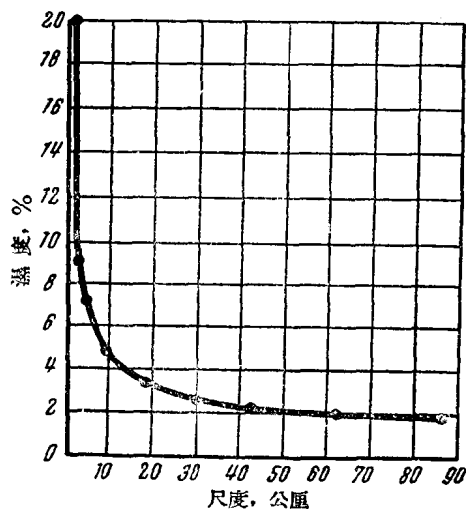


圖 2 石棉礦的濕度與尺度之間的關係（按米海諾波耳的資料）

表 5

運搬不同尺度的煙煤時，鋼槽所需的傾角

煤塊的尺寸，公厘	槽子的傾角，度
+100	20—23
50—100	22—25
25—50	22—25
13—25	25—30
0—13	35—40
0—100	32—37

附註：木製槽子的傾角約較以上諸值大 5°。

● K. K. 里阿尼道夫，有用礦產的篩分，冶金出版社，II—M. 1948年，92頁。