

工程地質適用
岩石風化調查方法指南

柯洛門斯基著

地質出版社

工程地質適用
岩石風化調查方法指南

柯洛門斯基 著

地質出版社

1954•北京

本書原名“Методические указания по изучению процессов выветривания горных пород для инженерно-геологических целей”。蘇聯國立地質書籍出版社（Госгеолиздат）1953 年於莫斯科出版，作者爲蘇聯柯洛門斯基（Н. В. Коломенский）。由地質部編譯出版室汪盛璋、榮靈壁譯，左全農、劉大有、唐連江校，吳光輪審校。

工程地質適用

0069 岩石風化調查方法指南 54千字

著 者 柯 洛 門 斯 基
出 版 者 地 質 出 版 社

北京安定門外六鋪炕

北京市書刊出版業營業許可證公字第005號

發 行 者 新 華 書 店
印 刷 者 北 京 市 印 刷 一 廠

北京西便門南大道一號

印數（京）1—5000 一九五四年七月北京第一版
定價4,200 一九五四年七月第一次印刷
開本 31×43 1/2

緒 言

在修建各種不同的建築物時，經常產生許多與研究風化岩石的工程地質特性有關的問題，例如：(1)在具有風化岩層的地區選擇最有利於安置建築物的地段；(2)確定風化岩層應剝除的厚度；(3)在所設計的建築物地段，選定防護措施，以免發生導致岩石物理技術性質惡化的岩石風化作用。

但是到目前為止，對於以工程地質為目的之岩層風化作用的研究，一直沒有任何方法上的或者指導性的指南。

作者為了彌補這個缺陷乃利用自己觀測的資料以及積累的經驗，編出這本實用指南以供從事工程地質調查的廣大工程師和技術人員於進行水力工程建築以及其他建築時應用。

本書的目的乃在於有系統地敘述在野外條件下及實驗室中，獲取解決上述工程地質問題所不可缺的資料的現有方法。

本書所涉及的大部分問題尚研究得極為不夠，而其中某些問題的闡明還僅是第一次。毫無疑問地書中難免有許多缺點，因此作者將以感激的心情接受對這些缺點的指正。

目 錄

緒 言

第一章 總則	1
以工程地質爲目的的風化作用研究之基本問題	
及任務	1
風化作用簡述	4
第二章 以工程地質爲目的進行岩石風化的研究	20
岩石風化的外表特徵及其描述和編錄	21
風化作用速度的野外觀測方法	45
風化岩層剝除深度的確定法	50
防止岩層風化的人工覆蓋及殘柱	59
實驗室研究的內容和方法	64
第三章 防止岩石風化的實際措施	69
風化產物的排除方法	69
預防措施	71

參考文獻

第一章 總 則

以工程地質爲目的的風化作用研究之基本問題及任務

以工程地質爲目的來研究風化作用時，可能產生下列主要問題：

岩石風化程度及其風化產物性質的確定 在進行建設地區的工程地質研究時，特別是對於所設計的水力工程建築來說，岩層風化程度的確定乃具有重大的意義。同一岩層如果遭受到不同程度的風化作用，則它將具有各種不同的、影響建築結構以及施工方法的物理技術性質。例如，在建築物基礎中，如果有風化裂隙的岩層時，這些岩層往往有可能發生移離，於是就需要以各種不同的方法來治好裂隙。如果風化作用深入很遠的地方，同時由於風化的結果形成了很厚的風化的黏土質產物層時，那麼保證建築物穩定性及耐久性的措施之性質便有極顯著的改變。此處所敘述者非着重於基礎岩層滲透性質的增高（如在第一種情況下），而是着重於壓縮性的增高、抗剪強度的降低，以及風化黏土質產物的其他物理技術特性。

確定岩石風化的特性亦有很大的意義，因為它們同樣反映於所形成的風化產物之性質上。隨着決定風化作用的條件及因素之改變，岩石的性質亦有顯著的變化，因而它們的物理技術性質也會發生改變。

建築物所在地風化岩層厚度的確定 如上所指出，由於岩層風化程度及性質的不同，在修建任何一種建築物時所估

計及評定的岩石之物理技術性質亦有所不同。例如，倘若評價風化層為不利時，則必須將全部風化岩層或部分的風化層剝去。位於阿普歇倫（апшеронская）黏土及砂岩上的一座巨大水力發電站的建築者就曾迫不得已採取了這樣的措施，同時，在這種情況下所剝去的風化岩層之厚度，亦由於在該情況下決定岩石風化程度和風化性質，以及岩層風化產物的物理技術特性的岩石（各種不同成分的陡傾斜黏土層和砂岩的交互層）的成分及構造破壞程度之不同，而有很大的改變。

確定建築物基礎奠定的深度時，估計岩層需要剝除的厚度以及確定改進建築物基礎岩層的物理技術性質的其他措施之性質和範圍時（例如，確定治好裂隙的方法和深度，以及打樁的深度等），皆須進行風化岩層厚度的確定。

風化岩層的物理技術性質及在風化作用中其變化的性質的確定 風化岩層的物理技術性質能影響所設計的建築物之穩固性，因而也會影響其結構及建築工程的施工方法。

在建築物建築的過程中，以及在使用的時候，經常可以看到使岩層物理技術性質發生變化的風化作用很快地在發展着。這些變化在許多場合下均應予以考慮，以便保證所修建的建築物之穩固性及耐久性。

岩石風化速度的確定 過去曾經流行一種學說，認為岩石的風化侵達所設計的建築物之預計深度時所需期限乃超過了建築物本身的壽命。但是在許多情況下，風化的進行却非常快。例如，伏爾加河流域黏土質岩層（侏羅紀、白堊紀、邁科普層（майкопский））等在一年的期間內風化的深度竟達 1.5 公尺（佐洛塔列夫（Г. С. Золотарев），1948）。在阿普歇倫黏

土中由於風化的結果，於剝土後不幾日即發現石膏的結晶等等（石膏的含量乃大大地改變着黏土的物理技術性質）。

如果岩石的風化作用進行得非常快時，則在這種情況下就必須研究風化的速度，因為建築基坑保持於露天情況下的保險期限乃由此速度而決定，同時基坑底部規定標高上所餘留的殘柱之厚度亦由它來決定。

使岩層物理技術性質發生變化的主要風化因素之確定由於在一定的條件下，與岩層起互相作用的主要風化作用因素的性質之不同，岩層的物理技術性質也有所改變。在這種情況下，該作用中主要因素的性質亦決定了防止岩石風化的方法。例如，如果主要的因素為大氣水份，那麼採取來防止岩石風化的方法必須針對這樣一個問題，即不使大氣水份侵入岩石中（鋪平土地，排水設備，岩石表面塗以瀝青等）；如果主要因素為溫度的變化，那麼排水、塗瀝青以及這些類似的措施則已不能產生效果，因而就必須採取其他的方法來防止風化，例如，絕熱覆蓋裝置。

因此確定引起岩石物理技術性質變化的主要風化因素，乃是以工程地質為目的來研究風化作用的重要問題之一。

以工程地質為目的研究岩石風化的實際任務 上述主要問題的闡明，可以解決下列工程地質的實際問題：

- （1）選擇有利於（從岩層風化的觀點出發）安置建築物的地段；
- （2）確定修建建築物的地段上必須剝除的風化岩層之厚度；
- （3）確定建築物基坑及凹槽保持於露天下的保險（從風

化過程中岩層變化的觀點出發)期限;

(4)確定餘留在基坑底部所設計的標高上用來防止基礎岩層於建築施工過程中發生風化的保護殘柱之厚度;

(5)確定用來預防岩層風化的覆蓋之厚度和性質;

(6)確定由於所暴露出的岩石之風化作用而引起的斜坡穩定性的變化;

(7)根據可掘程度確定岩層的等級,選擇開掘基坑、凹槽等施工的條件和方法;

(8)製定防止所設計的建築物地段中岩石風化的預防措施及方法。

風化作用簡述

一般概念 風化作用這一名詞不能表達這一概念所闡明的全部作用,但是在文獻中却被廣泛地採用,因此在目前用其他的名詞來代替它是不適宜的。

各門的研究工作者對這個名詞有着各種不同的見解,某些學者將其過極地擴大,他們將所有的侵蝕作用包括在內;另外的一些學者則過於將其縮小,即認為風化作用所指僅是當地的岩石中所發生的那些作用而已。我們則認為風化作用乃是岩石由於它們同風化營力相互作用的結果而發生的變化作用,亦即由於大氣營力(水、氧等)、太陽輻射(溫度的變化)以及生物同岩石相互作用的結果所發生的變化作用。

風化作用多半是由於許多的風化營力對岩石起影響的結果。而這些營力乃隨着周圍環境的條件,如地質構造(包括岩石成分和構造)、區域地形及自然地理特性的不同而有所改變。所有這些條件決定了風化作用的性質和強度。風化營力

以各種不同的強度作用於岩石，同時風化作用乃一個加於一個之上。

主要的風化營力可能有以下幾類：(1)陽光；(2)水；(3)氧；(4)二氧化碳；(5)動植物。由於岩石與風化營力發生複雜相互作用的結果，在各種不同的自然條件下岩石便發生物理和化學變化，並且形成所謂風化產物。風化產物最好將其認為是風化作用的任何一種結果：如黏土礦物、次生石膏、碎裂等的形成。

與太陽輻射有關的風化作用 風化營力與岩石發生相互作用的機構乃取決於許多因素，尤其是取決於風化營力的性質。

1926年，維爾納德斯基 (В. И. Вернадский) 指出，大約有40個八度音程的宇宙輻射，“隨着輻射形式的不同，特別是其波長的不同，這些輻射則以光、熱、電而出現，它們將以不同方式改變物質環境、地球以及構成地球的物體”。最普通及最熟知的乃是4 $\frac{1}{2}$ 個八度音程的太陽輻射，但是對於被這些輻射所引起的變化決不能認為已研究完畢了。

目前大家都知道，陽光對各種物體的影響乃取決於一系列的因素，首先決定於輻照的強度、光線及波長，以及吸收表面的特性和顏色。被地表所吸收的太陽輻射之強度和波長，首先取決於地區的地理緯度、地區海拔高度、太陽所處高度以及大氣的狀態。

太陽輻射可引起溫度的變化，這種變化引起一系列影響岩石物理技術性質的作用之發生。這些作用計有：(1)礦物和岩石體積的熱變化；(2)岩層中水和氣體體積的熱變化；(3)水

份的蒸發和凝結；(4)化學反應的加速和延緩。

由於這些緣故，將產生下列情況：(1)顆粒之間聯系的鬆動及破壞，岩層達某種深度的破碎(此深度乃取決於岩石的性質、其產狀條件)以及風化營力作用的強度；(2)密度的重新分配，特別是在粘土質岩石中；(3)自然結構的破壞；(4)岩石溫度的重新分配；(5)普通鹽類的可溶風化產物的重新分配：如使岩石具有特殊物理技術性質的碳酸鈣、硫酸鈣和硫酸鈉，氯化鈉和碳酸鈉；(6)飽和於岩石孔隙的水中鹽類濃度的改變。

上述所有由於溫度因素而發生的作用，對岩石物理技術性質的改變有極大的影響。

氣體營力對風化作用的影響 氧是最活動的風化營力，它可形成大量的於自然界中最常見的化合物。雖然經常可以見到與氧化作用相反的還原作用，然而氧化作用仍舊是地殼中最常見的一種作用。

碳氧化後則形成二氧化碳，二氧化碳是風化殼中最活躍的元素。當二氧化碳(同水在一起)作用於岩石的礦物時，於風化殼中便形成碳酸鹽類，它們的穩定性和分佈情況皆不一樣。大部分中性的碳酸鹽類都不溶於水。最穩定及分佈最廣的碳酸鹽類有：方解石、文石、菱鎂礦、白雲石；穩定性較小及分佈較狹的有碳酸鋁礦、碳酸鋇礦。鐵的低氧化合物如菱鐵礦，也只有氧氣較少的條件下才能保存。鹼土金屬鹽類最易溶解於水，例如：蘇打、菱晶碳酸鈉石，由於它們極易溶解，所以比較不穩定，而且只有在具備着特別有利條件的少數情況下才有可能聚集起來。它們通常沉澱在湖內(碳酸鈉湖)，有時它們與熱溫泉有關，同時大量地含於氣候乾燥區域的沙

漠及草原的土壤中。

此外，經常遇到缺少研究的混合成分及化學成分的碳酸鹽，它們在地殼上分佈狀況：「……它們乃成各種不同的結核，或不同密度的土堆物質，或覆蓋在碎石和小石表面的外殼或薄膜狀，或者最後，它們均勻地分散於整個岩石中，而不能形成普通眼睛所能看出的分泌物」（波雷諾夫〔В. Б. Полынов〕，934）。

但是在風化殼中，還進行着二氧化碳由碳酸鹽中游離出來的作用，例如，由於硫、硫化氫等的氧化所形成的硫酸對碳酸鹽起作用時。

在自然條件下可發生硫、磷、銅、鉛、鋅、氧化亞鐵、氧化錳等的氧化作用，自然元素及化合物的氧化作用常常有微生物的參加；可作為例子的有：當有 *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrobacter* 等類的微生物參加時所進行的硝化作用；當有 *Beggiata*, *Thioploca* 硫化菌參加時所發生的硫的氧化作用。

在這些作用中所分出來的酸類：氮酸、硫酸、磷酸等，在短時期內可能呈游離狀態存在，但是在這時間內，它們將作用於岩石，而產生各種不同的新形成物：金屬的硫酸鹽類、磷酸鹽類、沼澤礦物等。

與氧化作用相反的作用乃是在風化殼中極為常見的還原作用，此作用使氧從化合物中游離出來，並且形成富有能量的所謂還原礦物的新礦物。這種還原作用例如，去氮作用、去硫作用等。

風化礦物 形成礦物風化產物的作用還沒有足夠地研究。目前存在着兩種觀點：其中一種認為從原生礦物逐漸過

渡到礦物的風化產物乃是由於分解(主要是水解作用)作用的結果;而另一種則認為風化礦物的形成是由於原生礦物在完全分解時所析出的各種氧化物所合成。但是最正確的應算金茲堡(И. И. Гинзбург, 1947)的觀點。他寫道:「現有的資料已足夠有力地證明原生矽酸鹽有可能發生水解作用,而產物亦可能同溶生成,同時兩種作用經常彼此相連」。

岩石與氣體風化營力間複雜的相互作用,有時亦有其他的風化營力的參加,從而引起新的礦物化合物的形成。這種礦物稱為次生礦物或風化礦物。這樣的礦物在目前擁有很大的數量,但是所有這些礦物又可分為以下三類:

(1)可溶於水的次生礦物,屬於這類的有:石膏、方解石等;

(2)不能溶於水的次生礦物,屬於這一類的有:蒙脫石、絹雲母、高嶺石、多水高嶺土、蛋白石、褐鐵礦、鋁礬土等;

(3)各種不同的有機化合物。

由於形成條件的不同,於風化殼中便產生出各種不同的礦物。金茲堡(1947)對風化殼最主要礦物形成的條件作了下列的說明:

1. 碳酸鹽類與半乾燥和乾燥以及溫暖或熾熱的(草原、半沙漠和沙漠)氣候有關。

2. 硫酸鹽類乃是乾燥及熾熱氣候(半沙漠、沙漠及部分草原)條件下土壤鹼化的特徵。

3. 呈蛋白石、玉髓及石英狀的二氧化矽為沙漠及半沙漠地區的沉積所特有。

4. 在有酸性介質的條件下,錳的氫氧化物和氧化物大部

分與潮濕的氣候有關，與溫度無關（正如“沙漠岩漆”（пустынный загар））。

5. 鐵的氫氧化物乃產於溫和、暖和及熾熱的潮濕氣候地方，其中水赤鐵礦通常產在強烈日晒以及鹽類濃度比較大的情況下。如果在較潮濕以及有酸性介質存在的 情況下，鐵的氫氧化物的形成作用則進行得比較激烈。同時缺少大量容易使鐵發生還原和淋蝕的腐植酸亦很重要。

6. 水雲母是在弱的酸性介質的條件下於各種不同的氣候帶形成。溫帶的水雲母較厚，在這裏氫的離解達到最大的數值，而寒帶的水雲母則較薄。

7. 高嶺土與形成於潮濕氣候條件下（從溫和氣候起，而主要是於暖和及熾熱的氣候下〔亞熱帶、熱帶、沼澤〕）的酸性介質有關。在這些地方所離解出的氫離子（ HCO_3^- 和有機酸）的數量達到最大的數值，而特別是在含有鉀和鈉的易發生溶濾作用的岩層中。

8. 多水高嶺土是在中性或極弱的酸性介質條件下（從暖和到溫和的氣候條件下）於岩石中形成，在這樣的地方乃以鈣和鎂的離子為主要。

9. 拜來石（бейделлиты）及含礬土和含鐵的蒙脫石主要與存在於半乾燥及暖和氣候（草原、半沙漠）下的中性和鹼性介質有關，於含有鈣和鎂的難溶濾的岩層中形成。

10. 水鋁礦是在熱帶和亞熱帶極潮濕條件下，主要於基性岩石中形成。

水作用下的風化作用 大氣水份在自然界中循環時，便以某種狀態降落到地表，侵入岩石，並加入岩石的變化作用

中，而與其他的風化營力一道發生作用。在水的作用下於岩石中所進行的作用乃極其多樣化及複雜，同時也經常研究得很不夠。

正如維爾納德斯基所指出而由卡明斯基 (Г. Н. Каменский) 將其發展一步那樣，“天然水乃是複雜的平衡活動系統”

: 水——氣體——天然液體——固體——生物。因此對水的研究不僅只是將水作為溶液或化學上純的水來研究，而須將其作為整個系統來研究。在這系統中，由於介質熱力條件的不同，組成部分將有所改變，將實現到另一平衡狀態的過渡；同時性質也將有所改變。

以固體狀態存在的水，對岩石亦起着某種作用，有時間接影響風化作用，而它往往是風化作用的一種直接因素。例如，雪的覆蓋乃防止岩石免於凍透，它影響生物的活動，並以此在某種程度上能調節岩石凍結的深度和強度，以及岩石為生物所引起的改變。經常或周期性的移動冰塊的衝擊緊密地與侵蝕和搬運作用綜錯起來，同時引起岩石顆粒間的聯系能力的遏止及破壞，使岩石完整性受到破壞而且使各個顆粒、碎塊以及大石塊發生脫離現象。大家亦同樣都知道岩石中凍結水的分裂作用，這種作用引起岩石密度的重新分配，特別是在黏土質的岩石中。

沿着地表流動的水，除去引起緊密與侵蝕作用有關的分裂作用外，還能引起可溶於水的鹽類的擴散溶濾作用，同時也能引起受到溶濾作用的岩石的物理技術性質的改變。圖 1 中標示出阿普歇倫黏土於石膏溶濾出後壓縮性增大的情況。

地下水是地殼上部物體溫度的特殊調節者，也是引起與冲刷作用和堵塞作用相反方向作用的强有力的機械破壞者。它為岩石及礦物所保持並加入它們性質的變化作用中。水，特別是礦化作用弱的水，滲入岩石中，便溶解岩石，起分裂作用

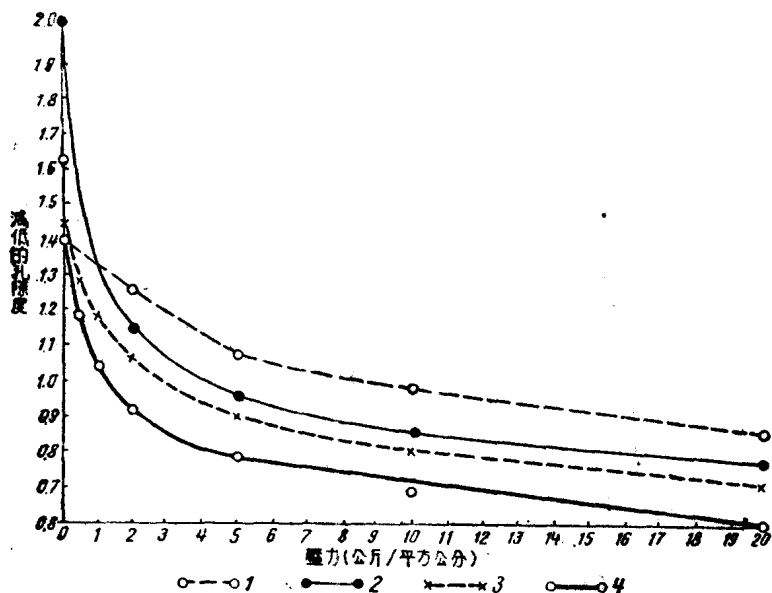


圖 1. 阿普歇倫黏土於石膏溶濾前後的壓縮性

(根據拉普傑夫[Ф. Ф. Лаптев])

1—石膏溶濾前的 №1 層；2—石膏溶濾後的 №1 層；

3—石膏溶濾前的 №2 層；4—石膏溶濾後的 №2 層

並降低地下水中電解質的濃度，因而，使包圍岩石顆粒的膠質薄膜軟化。所有的這些作用都能使岩石原有的物理技術性質發生變化。

由於被水所帶來的溶解物質，特別是時常參與礦物分解

作用的二氧化碳和氧，常使滲入地殼中的水對岩石的作用更加複雜化和更加強烈化。同樣也必須指出，氫離子的濃度對水解分解作用的速度和性質亦有影響。酸性水解作用使倍半氧化物分裂，同時使剩餘產物也為二氧化矽所富集，而且當進行鹼性水解作用時，則發生一種所謂紅土化作用，亦即矽酸的分裂及排出，同時剩餘產物則為倍半氧化物所富集。

絕大多數的風化作用中都有水參與，這情況很值得注意。

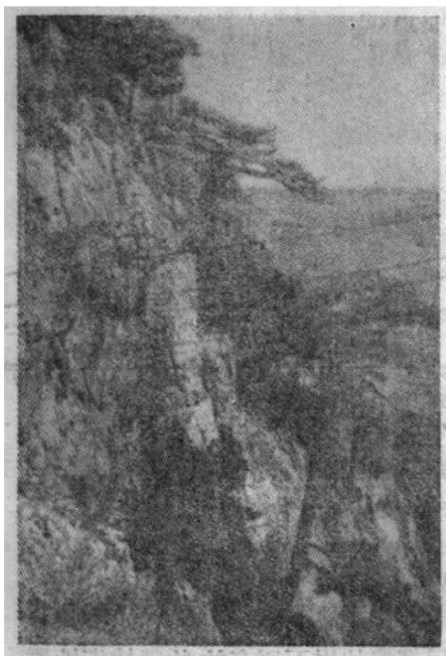


圖 2. 適應於自然條件的植物
(斯拉維亞諾夫〔В. Н. С. СЛАВИАНОВ〕攝)

生物對風化作用的意義 現在已有很多事實證明，在風化作用中生物起着很大的作用；因此，完全消除了以往所存在的對此一現象的作用的疑問。證明維爾納德斯基(1926)的話是正確的：「風化作用乃是生物的緩慢作用……」，亦即是在某種程度內由生物作用所引起的作用。

各類的植物、動物對岩石皆可起化學作用和機械作用。