

頁岩性能及其施工方法

福建省城市建設局

城市建設出版社

內 容 提 要

本書是介紹福建省城市建設局在所屬工程7962工地土方工程施工中，對所遇到的大量頁岩（約佔土方工程量的30%）的施工方法。頁岩對工程施工的進度和質量是大有影響的。但在該工程黨委的正確領導下，對頁岩的基本物理力學特性進行了一系列的研究試驗，解決了對頁岩的施工問題。

頁 岩 性 能 及 其 施 工 方 法

福建省城市建設局

*

城市建設出版社出版

（北京阜外大街）

城市建設出版社印刷廠印刷 新華書店發行

*

書號：082 13千字 787×1092公厘 1/32印張 插頁3

1957年11月第一次印刷 1957年11月第一版

印數 1——0800 定價 0.17元

北京市書刊出版業營業許可証出字第088號

目 錄

一、頁岩的基本物理力学特性

- (一) 頁岩的構造和分布..... (1)
- (二) 頁岩的主要物理力学性質指标..... (2)
- (三) 强度和穩定性問題..... (3)
- (四) 收縮和膨脹問題..... (4)
- (五) 頁岩的滑坡現象..... (6)

二、施 工 方 法

- (一) 挖掘頁岩的几种方法..... (7)
- (二) 打碎頁岩的操作方法..... (12)
- (三) 夯填頁岩操作方法..... (13)

一、頁岩的基本物理力学特性

頁岩的物理力学性質綜合于附表 1 內，这里就下面几个主要問題加以說明。

(一) 頁岩的構造和分布

頁岩是土壤經過压力或胶結作用或其他物理化学作用而成的水成沉积岩石。它是頁狀的，結構密緻，傾斜角一般約为 35° ，层理分明，每层厚度約为 30~60 公分，有的則超过 1 公尺，并具有垂直断层现象，断层面光滑，有的則略呈傾斜，断层間距一般为 1~3 公尺。頁岩因質地細緻，常为不透水层，其間虽有断层，水分可以渗入，但渗入深度均在 1 公尺以上，如开挖后經過曝晒极易風化。

頁岩一般均含有多量的白色云母片，它多为深褐色或猪肝色，层理之間常夹有黑、綠、黃等碳質或金属的氧化物。由于風化程度不同，性質亦迥異。頁岩在水中容易崩解，以手触之，稍有似泥之感；而風化頁岩在水中崩解較慢，粘性較大，很明顯的有泥土和光滑的感觉。

頁岩多聚集在高地上，其風化后的沉积物常匯集在低窪地帶，在其上面的土壤复盖层的厚度随着山坡下移而增加，在山峰处的复盖层較薄，有的甚至呈露在外，其一般厚度約为 0.5~3.0 公尺，土壤复盖层下面即为風化程度不等的風化頁岩，越往下，風化程度越小，一般厚度为 0.5~2.0 公尺，再往下就是普通的頁岩，但在許多地方它們的分界綫並不是很明顯的。

(二) 頁岩的主要物理力学性質指标

頁岩和風化頁岩的質地細緻,大于0.5公厘的顆粒几乎沒有,一般均属于砂質粘土或粉土性砂質粘土,主要物理力学性質指标为:

1. 顆粒組成

頁岩: 粘土含量 13~25 %, 一般为20%。

粉土含量 30~52 %, 一般为32%。

砂含量 32~50 %, 一般为48%。

風化頁岩: 粘土含量14~29.5 %, 一般为22%。

粉土含量 34~63 %, 一般为45%。

砂含量 30~49 %, 一般为33%。

2. 單位容重

頁岩: 大于2,300公斤/立方公尺, 一般为2,450公斤/立方公尺。

風化頁岩: 1,950~2,290公斤/立方公尺。

3. 天然含水量

頁岩: 5~10%, 一般为6~7%。

風化頁岩: 大于12%, 一般为14~16%。

4. 击实性質

頁岩: 最大乾容重: 1.90~2.05克/立方公分。一般为1.95克/立方公分。

最佳含水量: 10~13%, 一般为12%。

風化頁岩: 最大乾容重: 1.50~1.85克/立方公分。

最佳含水量: 15~25%。

5. 比重

頁岩: 2.68~2.74。

風化頁岩：2.65~2.7。

6. 可 塑 性

流性限度：頁岩為23~27%，風化頁岩為25~35%。

塑性限度：頁岩為13~23%，風化頁岩為17~28%。

塑性指標：頁岩為 7~12%，風化頁岩為10~15%。

7. 收 縮 性 (按收縮限度計)

頁 岩：9.1~18.8%。

風化頁岩：10~20%。

8. 膨 脹 率

頁 岩：原狀試件：0.6~19.1%。

擾動試件：1.5%左右(密實度達95%以上時)。

風化頁岩：原狀試件：0~6.00%。

擾動試件：0.6~4.5%(密實度達95%以上時)。

9. 形 變 模 量

頁 岩：原狀試件：約1,200~2,200公斤/平方公分。

擾動試件：約400~1,200公斤/平方公分(密實度達95%以上時)。

風化頁岩：原狀試件：270~1,000公斤/平方公分。

擾動試件：110~500 公斤/平方公分(密實度達95%以上時)。

10. 抗壓強度極限

頁 岩：原狀試件：約45~170公斤/平方公分。

風化頁岩：原狀試件：約20~45 公斤/平方公分，一般為 25 公斤/平方公分。

(三) 強度和穩定性問題

從強度上來看，原狀的頁岩和風化頁岩都是很好的。它們的

抗压强度极限都在 20 公斤/平方公分以上，形变模量在 1,000 公斤/平方公分左右，風化厉害的也在 270 公斤/平方公分以上。至于扰动结构的試件則强度較低，但扰动结构的頁岩形变模量仍在 400 公斤/平方公分以上，只有扰动風化頁岩較差，僅 110~500 公斤/平方公分(形变模量)。因此在强度上主要应考虑扰动風化頁岩的問題，但是我們也可以看到即使頁岩經過風化和扰动，它的这种强度仍然可以和一般土壤同等看待，而不必考虑它風化后强度的骤然降低問題。

頁岩与風化頁岩和一般土壤的性質一样，它的强度将随含水量而变化。扰动試件的形变模量和含水量的变化关系請見下表，其中相对湿度係以含水量和流性限度的比值来表示，而形变模量則以約 95% 的密实度为准。

形变模量和相对湿度关系

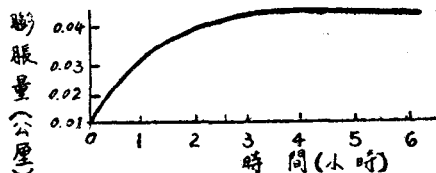
相对湿度	單位	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65
頁 岩1	公斤/平方公分	/	450	200	100	50
頁 岩3	公斤/平方公分	/	270	90	40	25
風化頁岩	公斤/平方公分	460	330	225	110	/

从顆粒組成的意义上来看，風化程度越大，粉土和粘土含量就越多，最后当完全風化时，便常常变成一般的粘土和砂質粘土。但是，不論其風化程度如何，粉土含量一般是較多的，約占 40% 左右。这也說明了它的穩定性是較差的，因而容易造成泥濘和翻漿现象，影响路面的正常使用。从这种观点出发，路面下的頁岩应做好一切排水工作，以減少它的風化，增加其穩定性。

(四) 收縮和膨脹問題

頁岩的收縮和膨脹是不大的，頁岩和風化頁岩的收縮限度与

它的最佳含水量很接近，因而作为填方材料使用上收缩裂隙均不大，它们的膨胀率以扰动的风化页岩较大，最大值为4.5%，但一般都在开始2~3小时内变化较剧，3小时以后的变化即渐趋微小，也就是说它们的膨胀大部是在较短的时间内完成的，故影响并不严重。从下图可以充分说明这一点。



从野外观测的结果来看，风化页岩与黄色砂质粘土的性质相近似。兹根据千分表及水平仪的观测结果综合叙述于下。

1. 水平仪观测结果

用水平仪观测历时一个月，在这一个月当中的膨胀曲线见附图1。其中膨胀量係按6个观测点的平均值计算的，下面是几点说明：

(1)在填方后逐渐干燥的过程中，第1、2天膨胀变化较大，风化页岩收缩5公厘，砂质粘土膨胀0.6~2.4公厘，平均为1.8公厘；第3天以后变化渐趋稳定。但每天仍有轻微的时胀时缩现象，其具体变化须从千分表中始能看出。

(2)加水浸润后二者均形膨胀，而后历经数度加水、蒸发等不同气候条件，均维持着膨胀状态，以黄色砂质粘土较为显著。

(3)从全月膨胀结果来看，由于受气候影响，不论风化页岩或砂质粘土，均发生了收缩膨胀的现象，其中砂质粘土一直处于

膨脹狀態中，而風化頁岩則先經收縮，然後膨脹。砂質粘土收縮膨脹的總的幅度差的全月最大值為10.2公厘，風化頁岩為8.9公厘。

2. 千分表觀測結果

在與水平儀觀測的相同條件下，按三種不同情況分別進行了1~3天的連續觀測，每隔一小時觀測一次，用千分表記錄其變形。三種情況觀測的結果繪成了曲綫（見附圖2）。現分別說明如下：

（1）不論各種氣候情況如何，例如水分逐漸蒸發或大量加水後的逐漸乾燥，風化頁岩和黃色砂質粘土的脹縮規律都是近似的，即上午收縮（溫度升高），下午膨脹（溫度降低），晚上變化不大（加水浸潤，較天晴時顯著），形成每天一個循環，而每天在上午7~8時因太陽出來，即由晚上的膨脹突變至上午的收縮，這時的溫度約從2~5°C突增至10~12°C。

（2）砂質粘土和風化頁岩的脹縮差最大值為：

砂質粘土：天晴0.18~0.35公厘。

天雨0.76~1.44公厘。

風化頁岩：天晴0.20~0.35公厘。

天雨0.63~1.16公厘。

從以上情況可看出，風化頁岩的膨脹特性與一般土壤是近似的，如果施工中能夠很好地將它打碎，仍然是可以當作填方材料的。

（五）頁岩的滑坡現象

在頁岩挖方地區，常因層理關係發生滑坡或山崩現象，對工程危害性很大；而且常常因此而導致意外事件的發生，因此我們在施工時，必須加以嚴密的注意。

二、施 工 方 法

(一)挖掘頁岩的几种方法

1. 互助分层找紋凿縫挖掘頁岩法

这种操作方法的主要特点，是利用頁岩本身构造的特性“一大片頁岩均分成許多頁层堆疊起来(一般每层厚約 30~60 公分，有的則超过1公尺)，且隔若干距离(1~3 公尺)均有垂直断縫现象”，由若干人組成互助小組，用洋鎬或鋼钎逐层找紋鑿縫进行挖掘。

(1) 劳动組織及工具配备

挖掘互助小組，一般由 5 人組成。在操作中如果碰到大块頁岩时，附近兩組可合併共同进行挖掘。每一小組应配备洋鎬3把，鋼钎(长60公分左右)2把，鋼鑿2把，鉄鏈(8~12磅)2把，鉄錘1把。洋鎬主要用於挖掘和打碎30~40公分厚的頁岩，鋼钎、鋼鑿主要用於岩层結構較厚时鑿眼，鉄錘用於装土。

(2) 具体操作方法

开始挖掘时，应先瞭解本組工作範圍內岩层的紋理规律(即分层裂紋情况)，然后决定选用那一种工具及挖掘时进行的方向和步驟。

1) 岩层厚度在30~40公分者，用洋鎬进行挖掘比較快。挖掘时几个人动作要一致，这样震动力較大，岩层易於崩裂。洋鎬应挖在兩层頁岩的相接縫处。挖掘的方向是后退。

2) 岩层的厚度假如在40公分以上者，就得用鋼钎排隊的方法进行挖掘。

2. 鋼釵排隊分層流水挖頁岩法

这种操作方法的主要特点是根据震动力越大，頁岩越容易崩裂的原理，在要挖頁岩处，用3~5根鋼釵排列成一隊，同时进行鑿打。其好处是：鋼釵多，打下去震动面积大，岩块容易崩裂；因集中操作，工具便於交流使用，能充分发挥工具作用；实行流水作业，打鏈的不和打碎、装箕的挤在一起，减少工伤事故；大夥一起打釵，互相竞赛情緒高。

(1) 劳动組織和工具配备

采用此种方法，可以按照工作面大小，将一个分隊或一个小隊的劳力組織起来，分层进行打鏈、撬开、打碎、装箕、搬运等，但一般每組劳力配备是打釵6人，搬运2人，打碎3人，装箕1人。其工具配备除鋼釵須配备5把，鉄鏈須配备5把外，其他工具的配备与第一种方法同。

(2) 具体操作方法

挖掘之前应先瞭解岩层紋理結構情况，然后来确定挖掘体积的大小和鑿眼的位置，其具体步骤如下：

1) 鑿眼的位置，应选在二层或垂直裂縫处，鋼釵位置須排列成一直綫，間距一般以40~50公分为宜。

2) 眼孔可先以鋼鑿鑿成小孔，然后再将鋼釵放入，一般一列放置3~5个鋼釵。

3) 打釵时，几个人动作必須一致，使震动力增强，促其崩裂。

4) 用鋼鑿鑿孔及初用鋼釵打洞时，必須先由一人用“竹狗套”支持鋼鑿或鋼釵位置，然后再由一人用鉄鏈在鋼釵上錘打（持鉄錘的人站的位置，不能在支持鋼釵人的对面，以免发生事故）。

5) 頁岩被鋼釵鏈打出裂縫后，可留下几个人撬开和搬运，

： 8 ：

負責打碎的繼續進行工作，其餘的則轉移到別處去挖掘，這樣既明确了各工序的分工，又能合作進行有節奏的生產，不但提高了生產效率，同時也避免了工傷事故。

6) 挖掘出來的頁岩，如體積太大時，還應在挖掘地點將其解碎，解碎時也同樣應根據岩層裂紋情況，順紋倒立，然後用“直向扁嘴洋鎬”來一片一片地劈打。

3. 互助分層槓桿撬掘頁岩法

這種操作方法的主要特點，是利用槓桿原理進行挖掘。特別是挖體積較大的頁岩，用這種方法較為省力、安全。但遇頁岩風化程度較大時，則不容易撬起。這種方法與第1、2種方法相配合進行操作，較為適宜。

(1) 勞動組織和工具配備

挖掘小組一般均以5人組成，各組應先分開鑿孔，在可以用木槓撬掘時，則可二組合併互助進行。每組工具配備除與第一種操作方法數目相同外，還應增加木槓(直徑10公分、長3公尺)1、2根(操作時可交流使用)。木槓以新砍下的樹干最適宜(韌性大、不容易折斷)。木槓頭端削去一些，末端最好選擇有分叉的樹干，撬掘時就能多容納人數，共同進行操作。

(2) 具體操作方法

挖掘時，應先瞭解本組工作範圍內的岩層規律(即裂紋情況)，確定鑿孔位置，同時在鑿孔之前，應將鑿孔前面木槓放置地點的所有障礙岩塊清理好，以利操作。

1) 鑿孔：鑿孔的工具用洋鎬或鋼釵，鑿孔的數目和間距，看實際情況決定，一般以1~3個即可，所挖的洞口約10公分大，7、8公分深。

2) 幾個洞同時挖好後，然後將木槓插入，在槓端底下墊一

小石块或铁锤作为支点（木槓与地面約成25度左右的角度）。

3) 以3~10人（看所挖頁岩的大小決定）同时在木槓末端用力往下压，这样所挖的岩块，便会很自然地撬起，然后一面用大木槓或大鋼釘頂住，一面再将木槓逐步伸入，将整块頁岩提高（这样一般一次可挖掘起0.7立方公尺左右）。

4) 最后用洋鎬在被撬起的頁岩上，按第一种方法进行挖掘，因这时岩块已經懸空，一經挖掘震动，很容易将其打成小块。

4. 分層三角爆炸法

此种方法主要应用於挖掘成阶梯形的，岩层厚度較厚，而岩質較为硬的陡壁地方。因此法打眼深、爆炸威力大，所以生产效率也較高，同时还可消滅放空砲的现象。（一般在3公尺深的大砲能爆开頁岩25~30立方公尺，最高生产效率达45立方公尺。）

(1) 劳动組織和工具配备

1) 設立指揮所，統一指揮爆破。

2) 指派專人負責检查工作面的选择、打眼的深度、装药的数量是否合理。

3) 聘請熟練技工分配給中隊，組織爆破小組，采取师父帶徒弟的办法訓練砲手，以便进行大爆破。

4) 一般每一爆破小組以6人組成較為适当。其工具配备为1~1.5公尺的鋼鐮3把，1.5~2公尺的3把，4公尺左右的3把，另外，备小瓢子2把，“吸水竹筒”2把，木筑子1把。

(2) 具体操作方法

1) 选眼：在兩层高度差3公尺左右的阶梯形的岩层上，根据工作面的情况，进行选定砲眼的位置（一般不要选在兩层相接的裂縫处），每砲間隔約为2.5公尺，打眼时，可先将前面一排打好，进行爆破，爆破后，在岩层中間就形成了一个锯齿，然后

再在适当地点选开第二排砲眼，使它与前一排爆炸的砲眼成三角形，这样便可进行連环三角大爆炸。

2) 打眼：可采用“月弓足踏打砲眼”法进行打眼。操作时应先用小鋼釘引洞（根据地形适当偏斜），打到1公尺左右时，改用长鋼釘打（打眼时可随时灌些水）。运用这种方法，操作时不但容易掌握，不会搖擺，而且打出来的砲眼口小肚大（假如一开始就用长鋼釘打时，会产生口大肚小），避免了发生冲天砲的现象。

3) 洗眼：打眼完毕后，用小瓢子将眼内泥土扒出，并灌上水，然后用“吸水竹筒”，插入眼中把水抽出，洗滌后，在小瓢端扎一束稻草，塞入眼内，把眼中之泥擦乾淨，以便装藥。

4) 装藥：一般在3公尺深的砲眼中，約装炸藥4.5市斤，占砲眼三分之二，上面三分之一的地方充以黃土。

5) 筑土：炸藥装好后，逐步将山土（有粘性）装入，并逐步以木筑子筑实，直筑至頁岩面层为止，这时导火綫露出在上面，暂时以竹管或石头盖住，同时在此地点插一標誌，并禁止工人走近。

6) 着火：炸藥装好后，即可进行爆破（各組应同时举行），爆破时应由1人負責統一指揮，爆破時間应定在中午或深夜，工人下班時間，以免发生意外的伤亡事故。着火人，每組可由1或2人負責。着火前，应看好躲避方向与地点，着火后1、2分鐘即发生爆炸，負責着火的人既要鎮靜又要能迅速远避。

(3) 应注意事項

1) 打眼位置应慎重考慮，严密选择，达到爆破为人工創造工作面的目的（同样，人工也要为爆破創造工作面），以保証有节奏地进行生产，节省劳力，充分擴大爆破范围。

2) 眼鑽得深則其爆炸威力也大。

3) 在裝置火藥和着火过程中，应严格注意操作方法，并听候統一指揮。

4) 着火时，必須按照次序进行。爆破时，禁界 200 公尺内不得留人。

(二)打碎頁岩的操作方法

1. 曝曬澆水打碎法

1) 解片：頁岩挖掘后，应将大塊頁岩解打至30公分左右，厚15公分以內的小岩塊。解打的工具应採用“直向扁嘴洋鎬”。

2) 鋪置：碎塊頁岩挑运至填土地点，松填厚度20公分（松填前应將填土地面加以清理，并澆好水）。

3) 整理：每中队应指定3、4人（視运距远近可适当增減）將松填的岩塊加以整理（小塊放在底层，大塊放在上面），如遇綠色硬皮的頁岩塊时，应将綠色硬皮面朝下。

4) 曝曬：經太阳曝曬和風吹 2 天后，所有岩塊就呈龜裂現象。

5) 澆水：澆水可分 2 次进行，第一遍澆后隔20分鐘左右再澆第二遍，一般以岩塊顏色变成为豬肝色时为最佳，但不能一次澆水太多，岩塊吸收不下时，水就灌积底层。

6) 打碎：澆水經一夜后，岩塊就变成崩裂状态，这时祇要用鋤头稍微敲打，岩塊即可粉碎。至於一些比較堅硬不容易風化的頁岩，則可用洋鎬补行打碎。

7) 整平：將松鋪的風化頁岩的面层整平，然后即可用机器或人工进行輾压。另外还有一种方法即按照上面的操作方法在松鋪过程中，將岩塊分堆壘起，每行底层寬約 80~100 公分，高 40~60 公分，行与行間距保留40公分左右，这样就更有利於曝曬

和風吹。在澆水后再用鋤頭將其鋪平，同時在鋪平過程中應將其打碎，這種操作方法對打碎土塊的質量更有保證。

2. 人工打碎法

1) 利用“直向扁角洋鎬”解片，用鐵鏈打碎。當大塊頁岩經“直向扁角洋鎬”解打後，就成為厚薄比較均勻的薄片，這時只要將鐵鏈在薄片中間敲擊，那麼岩片就四分五裂成為碎塊。這種方法可比一般打碎效率提高15%。

2) 利用“斧頭三齒耙”打碎。這種工具因為一頭是三齒耙，一頭是斧頭形狀，所以操作時可根據岩塊大小輪換使用，即遇到大塊頁岩時，用斧頭的一頭劈，遇到小塊頁岩時，則用有齒的一頭挖掘，生產效率可比舊法提高50%。

(三) 夯填頁岩操作方法

1. 人工夯填

1) 將挖掘出的頁岩，挑運至夯填地點，按照“曝曬、澆水打碎法”處理，或在人工打碎後，松鋪20公分（土塊粒徑約10~15公分）。

2) 如有機器配合，可適當加水（視實際乾濕情況決定），然後以拖拉機履帶輾壓4遍（履帶應重疊三分之一），使其整平，以便打夯。

3) 加夯第一遍後再適當加水（視實際乾濕情況決定），然後繼續打夯。

4) 要求密實度80%的地區夯打3遍，其他一般可用木夯打5遍。

2. 機械輾壓

1) 挖掘頁岩時，應將其打碎，成為30公分左右，厚在15公分以內的小岩塊。

2) 挑運至填土地點，松填厚度20公分（松填前應將填土地面加以處理，並澆好水）。

3) 每中隊應指定3、4人（視實際運距遠近作適當增減）將松鋪的岩塊加以整理（小塊放在底層，大塊放在面層），如遇綠色硬皮的頁岩時，應將綠色硬皮的一面朝下。

4) 經太陽曝曬或風吹2天后，所有岩塊就呈龜裂現象。

5) 在機械輾壓之先，先加應加水量的三分之一（一般每平方公尺約3.5~4公斤），以推土機履帶壓2遍，然後再加應加水量的三分之二（一般每平方公尺7~8公斤），再以羊足輾壓6遍，最後以10~12噸壓路機輾壓4遍。在上壓路機時，應根據土塊實際乾濕情況，再適當澆些水。

6) 輾壓時，每一中隊應指派3、4個工人跟在機械後面，如遇高低不平較為嚴重之處，應將其整平；如遇下陷時，應即添補碎土加以輾壓；如遇大塊頁岩未風化者（從羊足輾壓印裏可以察出），應即予敲碎。

7) 工作面允許時，機械輾壓應交叉進行壓實，效果更好。

3. 壓實時應注意事項

1) 嚴格控制加水量：一般說，頁岩的含水量適當者壓實效果較好（約12~14%），如加水過多，輾壓或打夯時，就會變成彈性橡皮狀，結果就不能達到密實度要求；如加水太少，即呈現疏松現象，缺乏粘性，就更不能達到密實度要求。

2) 澆水工作面應與機械輾壓保持一定距離：一般約3~5公尺，這樣既能使水分浸透底層，亦不影響機械輾壓，但不能距離太遠，以避免面層被日晒蒸發，使土壤太疏松。