

館內閱讀

76400

基本館藏

工 坊 漿 灌 石 堆

技術科學碩士

И. Н. 阿赫維尔多夫著

郭成舉譯



人民交通出版社

6
42

工 坊 漿 灌 石 堆

技術科學碩士И.И.阿赫維爾多夫著

郭 成 舉 譯

人 民 交 通 出 版 社

本書詳述水泥淨漿及砂漿的性能和它們的試驗研究；升漿法的理論及實驗，堆石灌漿圬工的物理力學試驗，以及建造堆石灌漿圬工構築物的施工。書中並列舉了堆石灌漿圬工的若干應用實例。

堆石灌漿圬工是蘇聯正在研究並已開始應用的一種新的施工方法。這種方法是在基坑或模型中堆填河光石或毛石，然後經由預先埋在石堆中的漏斗管注入砂漿，使砂漿在石堆中升起，並填滿石隙。因而又稱為升漿法。這種方法同普通的石砌圬工或混凝土圬工相比較，無論在施工質量、工程速度及降低造價等方面，都具有良好的效果。

本書供建築施工工程師及工地試驗室工作人員學習和參考之用。

書號：15044 • 1111-京

堆石灌漿圬工

И.Н. АХВЕРДОВ
ВОЗВЕДЕНИЕ КАМЕННЫХ
СООРУЖЕНИЙ ИЗ РАЗДЕЛЬНОЙ
БУТОВОЙ КЛАДКИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛИТЕРАТУРЫ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ И АРХИТЕКТУРЕ
МОСКВА-1952

本書根據蘇聯建築出版社1952年莫斯科俄文版本譯出

郭成舉譯

人民交通出版社出版

(北京安定門外和平里)

新華書店發行

公私合營萃斌閣印刷廠排版

公私合營慈成印刷工廠印刷

1956年5月北京第一版 1956年5月北京第一次印刷

開本：787×1092 $\frac{1}{32}$ 印張：5 張

全書：115,000字 印數：1—2,600冊

定價(10)：0.70元

(北京市書刊出版業營業許可証出字第〇〇六號)

目 錄

緒 言	1
第 一 章 水泥漿與其他膠質溶液共同的性能	5
§ 1 多相播散體系中的表面作用	5
§ 2 水泥漿結構的發生和發展	9
§ 3 水泥漿的顫變性	13
第 二 章 水泥漿及砂漿流文學性能的研究試驗	15
§ 4 研究水泥漿流動性的理論根據	15
§ 5 水泥漿極限剪應力的試驗測定	18
§ 6 水泥漿粘滯度的試驗研究	23
§ 7 水泥漿經過圓管的流動	29
§ 8 水泥漿的懸浮能力	33
§ 9 水泥砂漿粘性的研究	35
第 三 章 升漿法的理論研究及試驗研究	43
§ 10 適合填灌石堆用的水泥砂漿流動度的測定	43
§ 11 砂漿在石堆孔隙中的增實	51
§ 12 水泥砂漿在石堆中的流布	59
§ 13 石堆中空隙截面的測定	63
§ 14 求算石堆中砂漿流布半徑的公式的導出	67
§ 15 圍護井筒對於砂漿在石堆中流布的影響	73
§ 16 砂漿在石堆中流布的坡角	76
§ 17 灌漿導管的排列	81
§ 18 砂漿注入石堆中的速度	83

第 四 章	堆石灌漿圬工的物理力學性能的試驗研究	95
§ 19	圬工的抗壓強度	95
§ 20	圬工的抗拉極限強度	108
§ 21	堆石灌漿圬工的彈性	110
§ 22	堆石灌漿圬工的收縮	112
§ 23	圬工的透水性	115
第 五 章	建造堆石灌漿圬工構築物的施工	117
§ 24	施工的總體布置	117
§ 25	砂漿的拌制	119
§ 26	砂漿的運輸	119
§ 27	布料斗和帶漏斗的注漿導管	123
§ 28	模型板	127
§ 29	檢查砂漿在石堆中的流布和確定構築物中圬工的強度	129
§ 30	按升漿法冬季施工的若干問題	131
第 六 章	應用堆石灌漿圬工建造實體構築物的實例	138
§ 31	建造實驗塊體	138
§ 32	架空輸電綫墩架的實體基礎的構築	143
§ 33	導流堤的建造	144
§ 34	河床挑水翼的建造	150
§ 35	堤岸擋土牆基礎的建造	153
結 論		156

緒 言

在盛產建築石料的地區內建造重型構築物時，主要採用以毛石做成的塊石圬工，在某些場合下甚至也採用以大粒河光石做成的圬工。這是十分自然的。

但是在重要的重型構築物（水工構築物、港埠構築物、石橋墩台等等）中應用塊石圬工，工作量極為巨大，而這種工作又必須由具有高度熟練技巧的石匠來擔任。塊石圬工的缺點還在于它的強度很小，而且決定于石匠的技術熟練程度和執行工作的仔細性。

這些情況就使得人們在建造重型構築物時，逐漸用混凝土來代替石砌圬工，特別是塊石圬工，因為採用混凝土就可以使全部施工過程充分地機械化。因此，在近代建築工程的規模和速度的情況下，用一般方法砌築的塊石圬工，不能夠獲得廣泛的應用。

要在重型構築物中採用以毛石或河光石做成的塊石圬工，必須增加圬工的強度，並須發掘出能使工作機械化的方法，這兩個課題，不能夠在舊有砌築圬工方法（鐮刀抹漿法或潑漿法）的基礎上獲得解決。

因此，著者曾建議採用灰漿上升法來建造以毛石及河光石做成的塊石圬工。灰漿上升法（以下簡稱升漿法）已經作為水下灌注混凝土方法之一而為人們所熟知，它是1926年建築伏爾霍夫水電站攔河填鑲面工程中初次在蘇聯應用的。雖然升漿法很簡單，但由於缺少研究，且理論根據又不足，故這種方法仍

未獲得廣泛的流傳。

升漿法的意義包括如下：通過預先安裝在石堆中的導管（按照一定的間距），注入水泥砂漿，使其在導管中受天然壓力的作用流入石塊之間的孔道，並且作為一個完整的實體自下而上地升漲，將石堆結合成為整體。

1934年蘇聯在建設亞速夫鋼廠的工程中曾進行過升漿法的第一次試驗，並未獲得任何實際結果，此后又在斯維爾河水利工程中繼續進行了試驗工作，在斯維爾河水利工程中進行的實驗（1934～1935年），解決了若干與施工有關的實際問題，但是在發掘升漿法的理論方面仍是不夠的。

直至今日，升漿法仍未作為一種獨立的施工方法見諸應用，僅在修復海岸水工構築物的特殊困難的場合下偶而採用過。此時，用以填充石堆空隙的，一般總是水泥用量很多的極稀的淨水泥漿。

1946～1951年著者在實驗室及施工條件下進行的研究證明了升漿法不僅可以應用在水下工程中，並且還能成功地應用在建造地上構築物的工程中。

用升漿法建造的塊石圬工，具有很高的物理力學性能，並且就密實性而言，並不遜於經充分振動搗實的混凝土。應用升漿法的實驗證明，即使採用河光石，亦可能在水泥用量與普通混凝土所需水泥相同的條件下，做成極限強度等於或超過 110 公斤/平方公分的圬工。

由於圬工施工方法的劃分階段性和施工的質量高，著者特將按升漿法建造的圬工稱為分築的塊石圬工①。分築的塊石圬工「Раздельная бутовая кладка」一詞不夠醒目，特譯為「堆

① 這一名詞已為1950年在吉奧涅夫城舉行的全蘇天然石料建築工程會議所確定。

石灌漿圬工——譯者），以區別于普通用潑漿法砌築的塊石圬工。

在重型石砌構築物（包括水工構築物）之中應用堆石灌漿圬工，使工程的施工甚至和混凝土工作相比都得以大大地簡化和加速，至于和普通建造塊石圬工的方法相比，更不用說了。

採用料場中所開采出來的原狀石料，以及可以在不同時期進行堆集石料和填灌空隙的工作，對於施工來說，都是極有價值的。在這裏，第一，不必將石料軋碎以拌製混凝土（大塊石料用作重型構築物，碎粒用作鋼筋混凝土）；第二，對攪拌裝置的需求降低一半以上，因為粗集料毋需在攪拌機中經歷一番；第三，預先用石料堆集在模型板內（達一定的高度），可以將基底壓縮，並借此免除土壤不均勻沉落變形的不良影響。當從土工完畢時起至圬工開始時止這中間的停輟時間很久時，可以用石料填充基坑，以便在一個很長的時期內使基坑保持其適合于后繼工作的狀態；其時，基坑中積水的現象並不致于妨碍用升漿法在石隙中填灌砂漿的工作。

這些關於堆石灌漿圬工的技術優點的敘述，雖然還很不全面，但已說明了我們所推薦的這種施工方法的巨大實效性。

升漿法現以傳聞到國外，但還沒有引起外國專家們的注意，至今仍舊停留在未被人所熟知的狀態。

大規模的對升漿法作認真的研究，只有在蘇聯曾經實現過，並且這一方法已經在蘇聯獲得了極其完全的理論發現，這種理論發現主要歸功于И·А·薩弗里莫維奇和В·И·德米特里耶夫斯基兩位教授，以及В·В·斯托爾尼科夫和И·А·羅日傑斯特維恩斯基兩位技術科學碩士的研究結果。

新近經過闡揚的升漿法，已經有了根本的改變，並且已經在蘇聯作為一種獨立施工方法首先見諸應用。因此可以合法地

認為升漿法是蘇聯的快速石工建造法。

在升漿法研究領域中最初的一些試驗工作，是1946年著者在第比利斯水工構築物及水電廠科學研究所內在Г.З.洛赫維茨基工程師以及Е.Э.米赫爾遜和П.П.楚盧德澤兩位技術科學碩士參加之下完成的。嗣後，實驗又在重工業工廠建造工程部某一建築工程公司的中央試驗所在技術科學碩士И.М.奧瓦多夫、В.А.圖曼尼什維利工程師和化學科學碩士В.Г.格格列的參加之下繼續進行過。在推荐堆石灌漿圪工采用于施工的事業中對著者作巨大協助的計有：斯大林獎金獲得者Н.Б.洛博茨基工程師，技術科學碩士Н.С.戈德集耶夫以及А.М.卡贊支揚、И.И.赫爾赫烏利澤和Г.М.卡爾特維利什維里三位工程師。在進行升漿法的研究之中，曾從格魯吉亞蘇維埃社會主義共和國科學院院士К.С.查弗里也夫，技術科學博士Д.Д.比尤金教授、А.В.科諾羅夫教授和技術科學碩士Г.Д.齊斯克列利處獲得寶貴的指示。著者謹對上述各位致以深切的謝意。

第一章 水泥漿與其他膠質溶液共同的性能

§ 1 多相播散體系中的表面作用

水泥漿在其剛產生的階段是一種由水泥顆粒和與其成物理結合的水所組成的多相播散體系。

在工廠中研細的水泥，除了含有粗播散狀的和細播散狀的粒子以外，也含有多量的膠態粒子，並借此而具有高度的播散性。由于水泥顆粒的表面遠較其體積為浩繁，所以水泥漿在其剛產生階段內的物理力學性能決定于它的表面作用。

研究確定，在播散的固體粒子與氣體及水相接觸的界限上，恒有電荷發生，而這種電荷則決定了粒子的相引或相斥。固體粒子在空氣介質中的表面，恒為一層凝集的空氣薄層和少量水分子所覆蓋，而沒入水中的粒子則恒為一層水膜所覆蓋。

發生這種現象的原因是：處於兩相（固相和液相）分界表面上的分子、原子或離子，不是和處于每一相內部的同樣的分子、原子或離子等價的。

位于表面上的分子，是不對稱地互相結合的，它們的力場的一部分越出相外，因此力場不是飽和的。表面分子力場的飽和度也就是剩餘自由能的來源。測定指出，化學組成不同的物質每一平方公分表面上的自由能量是不相等的。

決定水膜引張程度的力就是分子力，而受張水膜薄層就是分子水，或者吸附水。形成水膜的現象稱為吸附現象。

吸附現象發生在一定的條件之下，並決定於液體的浸潤性

和固體的化學及礦物組成。要使吸附現象發生，被吸附物質的分子須能趨近引張中的表面，相距不超過分子作用的半徑。

蘇聯的許多學者們（П. А. 李賓捷爾院士、Б. Б. 捷里亞 金院士等）的研究工作確定，一切物質按照其結構和化學能的強度可以分為兩大類。

屬於第一類的是分子結構相對稱的物質，在分子中正負電荷的重心適相重合。這種物質的分子，本身不承受任何電力的雙極力矩，因而它們只有很小的屬於分子引張的應力。

這種物質（基本上是有機類物質）完全不為水所潤濕，但是却為油所充分潤濕，因此就稱之為疎水性物質或親油性物質。

屬於第二類的是由不對稱分子組成的物質，分子中正負電荷的重心稍稍偏離（也就是分子有雙極力矩）。這樣的分子，稱為極性分子，具有很大的能量強度和化學積極性。

絕大多數具有晶體結構的無機物質（所謂電解質）是由這種分子所組成的，水泥顆粒也包括在內。這一類物質具有很大的與水相結合的特性，容易為水所濕潤，並且大多數能溶解于水；這種物質稱為親水性物質。

某種物體的表面的疎水性及親水性，以表面張力的大小為表徵。表面張力大於72.53爾格/平方公分，或72.53達因/公分（水在25°時的表面張力）的物質，絕大多數是親水性的；表面張力小於72.53爾格/平方公分的物質，差不多都是疎水性的（親油性的）。

當水泥與水拌合之前，其顆粒在很大程度上為氣體薄膜所覆。組成這些薄膜的主要是 N_2 分子和一部分 CO_2 ，以及水分子（成氣體狀態）。突然地以大量的水與水泥相接觸，並加以攪拌，將使大量氣體從這種薄膜逸去。由於固相（水泥顆粒）和

液態播散介質間的分子力相互作用的結果，水泥顆粒上將包有一種水質介體所產生的，含有若干游離石灰（ CaO ）的水膜。這種水膜稱為溶合水膜，而連同溶合水膜的粒子——核子，則稱為膠態離子①（圖1）。

由此看來，每一膠態離子都是一種複雜的化合物，其中至少有兩種按化學組成來說各不相同的物質。決定播散相的化學個性的基本物質，也組成了本身決定膠態離子的形狀的核子。

膠態離子按其形狀可以分為對稱的和不對稱的。膠態離子的不對稱性，可以用水泥顆粒的形狀為表徵。絕大多數的水泥顆粒，都成長形，具有尖角和粗面，其最大對徑與最小對徑的比值在1.1至2.5之間。圖2為從金相顯微鏡中攝取的水泥顆粒的照片。

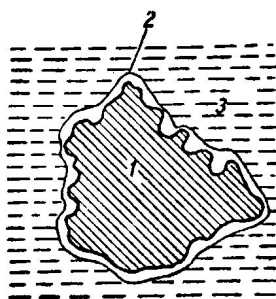


圖1 不對稱膠態離子的結構
1-核子； 2-溶合水膜； 3-游離水

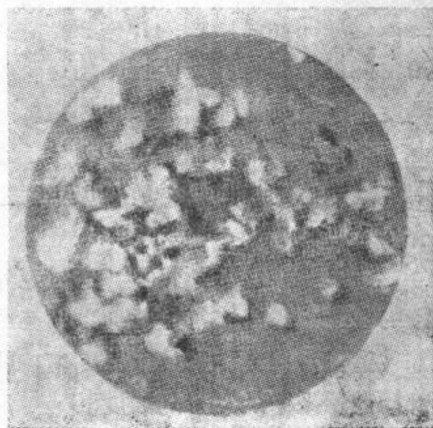


圖2 水泥顆粒的形狀

不對稱膠態離子與對稱膠態離子的區別，在于粒子表面上溶合層的不均勻性。但是不管膠態離子在彼此互相撞擊（相互

① 膠態離子常被稱為大分子。

作用)時的形狀如何,它們均成一種給予全部播散體系以特性的網狀結構。

產生的溶合層,由于分子力的作用半徑極小,是極薄的,它具有彈性形狀,並且表現有可以測讀的剪切模量,在這一方面與固體很相接近。

第一層直接貼合在固體粒子表面上的水分子層,根據A.Φ.列別傑夫教授的資料[19]^①,約以10,000大氣壓的力量緊貼在粒子上。然後隨着離開水膜與核子間的貼接面的距離增大,分子引力的強度迅速降低,但是它總還是那樣的大,以致這種水的基本性能(粘滯度,冰凍溫度等等)完全與游離水的性能不同。

分子水的粘滯度,隨着離開分子力發源地的距離增加而迅速減退;開始時過渡到和稠膠一般的稠度,然後又在分子力作用範圍以內,也就是距離不超過 1μ 的範圍內,過渡到極粘液的稠度,最後則過渡成為正常的水。

溶合膠膜的相互作用,造成了水泥漿的網狀結構(由有規則排列狀態的膠態離子所組成),這種結構將大量播散介質結合起來。

由於溶合膠膜的彈性,在一定條件下播散體系就具有類固體的性能,表現出抵抗剪切以及甚至張拉的功能。

造成水泥漿結構的主要因素,就是水泥的溶合化顆粒在全部播散體系中的充分的濃度。

水泥顆粒在其表面周圍產生溶合膠膜的功能,決定於水泥顆粒的礦物組成、播散性以及分子水容量。吸附能力最強的是高鋁酸鹽水泥,而最弱的是無鋁酸鹽的阿里特型水泥。

不同水泥的吸收的選擇性,顯然是與水化速度密切地相聯

① 此處及後文方括弧內的數字表示書末所列參考文獻表中的順序號數。

系的。根據第比利斯水工構築物及水電廠科學研究所物理化學試驗室的資料，當水泥顆粒的化學成分與水同時發生作用時，鋁酸鹽加水的反應要比 $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 快得多。鋁酸鹽的水化能力比 $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 大得多，這一點可以作為上述情況的標志。

在形成 $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ 的時候，每一克分子物質要發出2,950卡的熱量，而 3CaO 在水化時所發出的熱量至少有46,500卡。照這樣，每一克分子的鋁酸鹽，在其對水的關係上，大約儲蓄着43,550卡的自由能。含有多量鋁酸鹽的水泥顆粒的分裂，終于必定較鋁酸鹽含量稀少的顆粒迅速得多。

矽酸二鈣在其形成時發出28,300卡，而在完全水化時則發出31,000卡。由此可知， $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 的能量儲備不超過2,700卡；顯然，它的水化過程勢必遲緩得多。

這些事實可以用來部分地解釋我們所觀察到的，與普通吸附規律不符的反常現象。這種現象就是，水泥顆粒的吸附量的增加是與比面的變化不成比例的^①。含多量鋁酸鹽化合物的水泥顆粒的比較迅速破裂，原因就是吸附過程中作為水化和水解反應進展結果的吸附體播散程度的增加。

顯然，在很多場合下，不同水泥的礦物組成對其吸收能力的影響，可能表現為吸收過程中水泥顆粒播散程度的增加。由此，溶化化粒子的數量必將增加，因為產生溶合膠膜的現象是起因於高度播散的固相粒子的。

§ 2 水泥漿結構的發生和發展

著者在1946~1951年所作混凝土拌合料的物理力學性能的研究確定，水泥漿結構的強度，其粘滯度以及其他性能，均決

① 在研究這種複雜的多相播散體系的吸附性能時，很明顯的，應當將能測比面和決定于水化過程和水解過程的不能測比面區別開來。

定於播散體系中微觀粒子和膠態粒子(尺寸小於 1×10^{-5} 公分)的含量。

通常由於水泥漿中含有尺寸自 1×10^{-3} 公分至 1×10^{-5} 公分的粒子,可以將水泥漿作為懸濁液論。但是,將水泥漿列為膠體,似乎更為正確一些,因為考慮到膠質狀態的主要特徵,與其說是播散的程度,還不如說是粒子和膠態離子的變動性,也就是形成結構的動力性。

要產生水泥漿的膠態離子結構,必須全部水泥顆粒(能够包上一層溶合膠膜的)都為一層厚度達最大值(約 $0.25\mu \sim 1\mu$)的分子水所覆蓋。為了這一目的而需要的水量,決定於水泥顆粒的比面,並按照A.Φ.列別傑夫的意見被稱為最大分子水容量(通常被稱為正常稠度)^①。根據我們的實驗,以初剪應力的最大值來測定的最大分子水容量,矽酸鹽水泥為28~29%,火山灰質矽酸鹽水泥為30~32%。

將未飽和水泥顆粒移至其他已為分子水所飽和的顆粒,並與其相接觸,可使水泥顆粒飽和至最大分子水容量。此時,分子水即從覆蓋層較厚的顆粒經接觸點被曳引至未飽和的顆粒。這一過程將延續至覆蓋兩相接觸粒子的水層的厚度相同為止。

全部體系中分子水的重分配過程,在分子水層未平均分布在播散相的全部表面上以前將一直繼續下去。分子水重分配的機能,是A.Φ.列別傑夫經過整系列的土壤充水試驗後發現的。

隨著全部體系中分子水重分配同時發生的,就是水泥顆粒的剪移。顆粒間空隙內的空氣阻止着顆粒的剪移,因此這種過程在開始時進行得比較遲緩。當全部顆粒均被浸潤至最大分子

① 必須指出,最大分子水容量顯然不僅決定於播散程度,而且也決定於擔負料的殘物組成。水泥顆粒的播散程度大致相同時, C_3A 含量愈低,則最大分子水容量亦愈小。例如, C_3A 含量為0.79%的抗硫酸鹽水泥,其最大分子水容量計為22.75%。

水容量時，粒子的流動性就急劇增大（由于它們發生布朗運動），而經溶合化的水泥顆粒就互相接觸。當分子力的平衡恢復以後，經溶合化的粒子的剪移即告停止，而多相體系就具有一種由最完善地成規則性排列的膠態離子所形成的堅強結構。

考察一下圖 3，就可以看出，火山灰質矽酸鹽水泥漿中產生結構的過程（曲線 1），起初是很遲緩的，因為水泥的空隙中存在着大量的空氣；此時，所產生的溶合膠膜將水泥顆粒彼此隔

開，並由此而使整個體系松散，減小它的單位體積重量（參考圖 3 上部）。在塵狀粒子含量百分率很高的細粒砂中，亦有產生結構的現象（曲線 2 及 4）；但是在不含塵狀粒子的砂中，根本看不到有產生結構的情形（曲線 3），而單位體積重量亦幾乎保持不變。

顯然，產生結構的過程正是當體系中

含一定量的水時單位體積重量減小的原因。實驗指出，對於剪切及張拉的最大抵抗，均相當于單位體積重量的頂峯數值。

假如向已經充水至最大分子水容量的、以膠態離子密實分布為特徵的水泥漿（圖 4 a）漸次添水，那末在這一場合，水的功用將不是促成膠態離子的規則性排列，而相反地，却是促

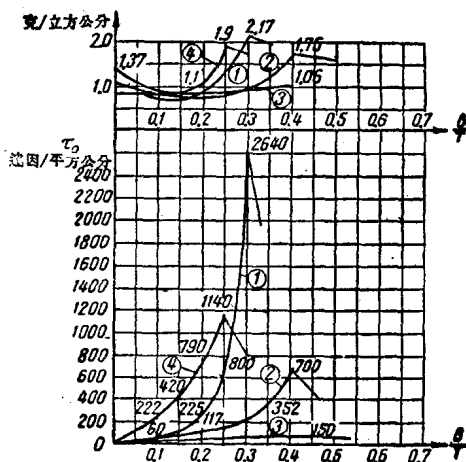


圖3 多相播散體系中產生結構的情形

1-火山灰質矽酸鹽水泥漿； 2-含微粒的凝灰岩砂； 3-不含微粒的凝灰岩砂； 4-含微粒的河砂

成它們的不規則性排列。

逾量的水，正如空氣一樣，在產生結構的開始階段內阻止着膠態離子的密實相互作用。在這一場合，膠態離子形成很多個彼此間為水層分隔開的個別粒羣。

水泥漿所含的水達一定數量時，個別的粒羣仍憑借鄰羣中互相靠近的膠態離子的接觸而互相結合（圖4б）。但是當水量繼續增多時，膠態離子羣間的接觸即為水夾層所完全破壞（圖4в）。

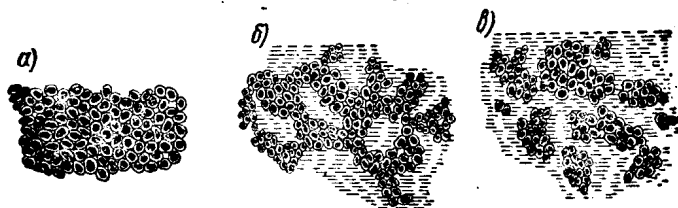


圖4 水泥漿的結構形狀

а-膠態離子密實分布；б-閉合的羣粒結構；в-開放的羣粒結構

在閉合的羣粒體系中，溶合膠膜相接觸的強度是如此的，以致在最微弱的剪力之下，此項接觸的聯系即被破壞。由此可見，這種結構網是極不穩定的，而它本身亦就成為水泥漿仍舊可以被當作結合着一定數量的水的結構性膠質溶液來看待的界限。

維持這種結構所需的水量本身就規定出水泥漿的動力下持水能力的限度。假如膠態離子羣彼此間不相聯系（圖4в），那末這種水泥漿已經不能抵抗剪移，因此只能當作無結構體系看待。這樣，每一種決定于水泥漿中水泥顆粒集中程度（在既定的礦物組成及固相播散性的情形下）的結構形狀，完全有其一