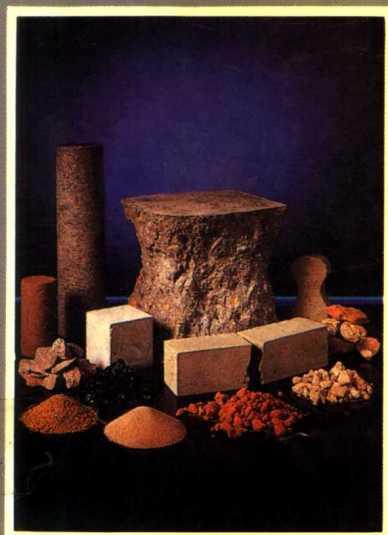
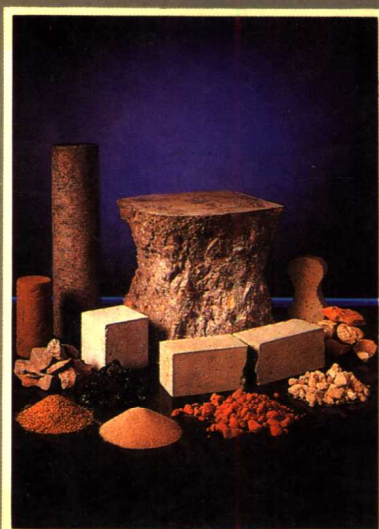
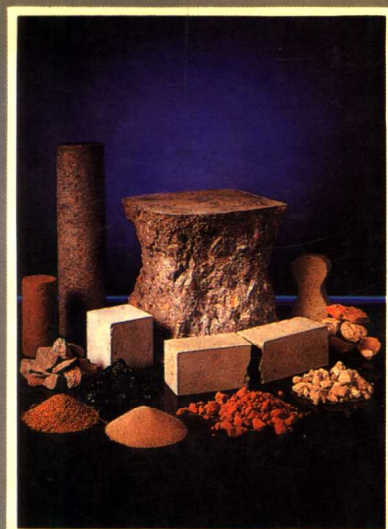


土木材料試驗

編著者

梅 錫／陳正池



東華書局印行

土木材料試驗

編著者

梅 錫 陳 正 池

東華書局印行



版權所有・翻印必究

中華民國八十年八月初版

土 木 材 料 試 驗

定價 新臺幣壹佰捌拾元整

(外埠酌加運費匯費)

著 者 梅 錫 陳 正 池

發行人 卓 鑫 森

出版者 臺灣東華書局股份有限公司

臺北市博愛路一〇五號

電話：3819470 郵撥：6481

印刷者 正文印刷廠

行政院新聞局登記證 局版臺業字第零柒貳伍號
(80040)

編輯大意

- 一、本書係遵照中華民國七十二年教育部公布之五年制及二年制工業專科學校土木工程科「材料試驗」課程標準編著而成。
- 二、本書全一冊，供五年制工業專科學校土木工程科三年級上學期及二年制工業專科學校土木工程科一年級下學期教學之用，同時亦可供土木建築等工程從業人員實際作業之參考。
- 三、本書共分八章，其內容包括工程上常用之基本材料，如水泥、骨材、混凝土、石材、木材、金屬材料及瀝青材料等之性質、規範及試驗方法，使學者充分熟悉各種材料之試驗步驟及操作方法。
- 四、本書各種材料試驗之前，對該材料均先予重點介紹，並詳列中國國家標準（CNS）對該材料有關之規格及試驗方法之規定，以供參考。每一試驗項目，其內容包括試驗目的、試驗儀器、試樣、試驗原理、試驗步驟、注意事項及試驗結果之計算、討論及記錄表格等。
- 五、本書之各項材料試驗，原則上採用中國國家標準（CNS）試驗法，但亦同時採用美國材料試驗學會（A. S. T. M）及日本工業標準（JIS）試驗法，以供對照參考。
- 六、本書所用之名詞，以教育部公布之課程標準「教材大綱」及「土木工程名詞」為準，其未公布者，則依目前一般工程習慣用語，各名詞並附加英文，俾便於與其他述著對照及參考外文書刊之用。
- 七、本書所用之單位，悉依國家規定採用公制，但若有實際需要，亦輔以其他制度。
- 八、本書之編著，參考有關之書籍甚多，謹將各參考書籍臚列於後，以明出處，並向原作者致謝。
- 九、本書之編撰，多於公餘課畢之暇，雖小心謹慎從事，並經多次校訂，然遺漏之處仍將難免，尚祈先進學者專家不吝指正是幸。

梅錫 陳正池

謹識於台北 八十年七月

目 錄

編輯大意	iii
第一章 概 論	1 ~ 9
第二章 水泥試驗	10 ~ 56
試 驗 一 水泥比重試驗	15
試 驗 二 水泥細度試驗（氣透儀法）	19
試 驗 三 水泥凝結時間試驗（維克針法）	27
試 驗 四 水泥砂漿試體抗壓強度試驗	32
試 驗 五 水泥砂漿試體抗拉強度試驗	38
試 驗 六 波特蘭水泥水和熱試驗	44
試 驗 七 水泥取樣法	53
第三章 骨材試驗	57 ~ 93
試 驗 八 骨材取樣法	65
試 驗 九 骨材篩分析試驗	69
試 驗 十 細骨材比重及吸水率試驗	75
試 驗 十一 粗骨材比重及吸水率試驗	80
試 驗 十二 骨材單位重試驗	84
試 驗 十三 骨材表面含水率試驗	88
第四章 混凝土試驗	94 ~ 115
試 驗 十四 新拌混凝土取樣法	103
試 驗 十五 混凝土塌度試驗	105
試 驗 十六 混凝土抗壓試驗	109

第五章 石材試驗.....116 ~ 125

試驗十七 石材比重及吸水率試驗.....120

試驗十八 石材抗壓試驗.....123

第六章 木材試驗.....126 ~ 150

試驗十九 木材抗壓試驗.....132

試驗二十 木材抗拉試驗.....139

試驗二十一 木材抗彎試驗.....145

第七章 金屬材料試驗.....151 ~ 190

試驗二十二 金屬材料抗拉試驗.....162

試驗二十三 金屬材料彎曲試驗.....171

試驗二十四 金屬材料硬度試驗.....178

第八章 瀝青材料試驗.....191 ~ 224

試驗二十五 瀝青針入度試驗.....203

試驗二十六 瀝青軟化點試驗.....207

試驗二十七 瀝青延性試驗.....211

試驗二十八 熱拌瀝青混凝土配合設計——馬歇爾法.....215

附 錄.....225 ~ 271

附 錄 一 中國波特蘭水泥標準.....225

附 錄 二 臺灣水泥公司品牌各種波特蘭水泥試驗結果與ASTM
規範對照.....227

附 錄 三 鋼筋混凝土用鋼筋.....228

附 錄 四 金屬硬度比較表.....229

附 錄 五 瀝青膠泥規範.....232

附 錄 六 度量衡換算表.....334

附 錄 七 參考資料.....238

附 錄 八 各項試驗報告用表.....240

第一章

概論

國家的現代化需要仰賴工程建設的投入及普及，不僅如此，還需要有工程建設的品質及更實用更有效率的設計，才能使現代化的基礎紮實並持續進步。因此為達到工程品質及有效設計的目的，工程師們的腦海中更要具有一個頗廣的材料領域，俾選擇出最恰當的材料來配合工程建設，許多工程的改良設計也要仰賴新材料的發展來引導。材料的選擇依據、新材料的研究發展皆得利用試驗方法來分析各種性質並據以設計規格分等來達到普遍可用性。所以材料試驗為材料生產及使用過程中必要的品質管制關卡，如原料的調查試驗、產品的開發研究試驗、規格設計試驗，生產品質管制試驗，產品驗收檢驗、材料病變及災害原因試驗等，利用各種檢測儀器及試驗方法找出上述目的的原因作為材料分類、生產、改進的依據。

一個進步的國家都能完善地訂定各種工業材料的規範及準則，以確保該國工業水準及建設的持續進步。如美國材料試驗協會 (American Society for Testing and Materials) 簡稱為 ASTM，美國州公路官員協會的 Standard specification for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing，簡稱 AASHTO，及日本工業標準 (Japanese Industrial Standards) 簡寫為 JIS，與英國的 BS、德國的 DN，均完整訂定了各該國之工業材料、設計、生產規格及檢驗等準則，我國也不例外，隸屬於經濟部的中央標準局亦於民國 33 年以後陸續新訂、修訂、增訂「中國國家標準」簡稱為 CNS，參照美日英德等國之規範及標準，目前已有一萬二千多種，仍不斷地增訂及修訂中，是國內工業材料規定試驗法，試驗結果判別及試驗儀器設備最完整的標準。

一、材料試驗範圍

2 土木材料試驗

按工業材料，其廣義為舉凡土木建築、機械工程、電機工程、電子工程、汽機車工業、航空工程、鐵道工程、造船工程、核子工程、化學工業、紡織工業、礦業、農業、食品工業、木業、紙業、陶瓷、日用品、醫療工程、包裝工業等材料均稱之，然有關工程建設材料不外乎為金屬、木材、塑膠、土石、陶瓷等，但以土木建築專業實無法全盤學習，因此本書內容僅以介紹有關土木建築中的主要材料如水泥、骨材、混凝土、石材、木材、金屬及瀝青混凝土的重要性質試驗，藉試驗方法求得材料涉及之物理學、化學、生物學、礦物學及力學行為等性質，來進一步使用材料，改良材料。

二、材料試驗的基本精神

1. 嚴守試驗室的安全規則

試驗室的安全包括儀器的安全及人身的安全。

在儀器安全方面：材料試驗所使用的儀器種類繁多，一項試驗就可能使用各種不同的儀器，故在使用前先瞭解各個不同儀器之特性、規格、功用、名稱，是試驗人員必要的工作，用對儀器才能收事半功倍之效，由瞭解儀器也知道如何維護儀器，每個試驗人員應盡到下列責任：

- (1) 精密儀器、零件昂貴、或從國外進口、或維修不易、則試驗人員每次使用前後均需清點器材，使用後並擦拭乾淨、鐵質部分並輕擦機油以防生鏽。
- (2) 使用儀器時務必將易碎之玻璃器材與鐵質器材分開堆放，每一試驗零件並有秩序的放置。
- (3) 試驗時切勿嬉笑、遊戲，否則除可能不慎損毀儀器外並影響試驗結果的正確性。
- (4) 切忌錯用儀器如小能量用大磅秤使精度失準，大重量使用小磅秤使儀器損毀，塑膠杯當燒杯而燒壞等應注意不能超限使用儀器。
- (5) 熟記儀器去銹除污的正確方法，如鐵銹、銅銹可用稀鹽酸清洗後鐵器表面塗以黃油防銹，銅器擦拭銅油保潔，如黏著瀝青則以苯清洗、精緻儀器用毛刷清塵等。
- (6) 電動機械及儀器使用前應先瞭解使用方法及注意事項，在教師的指導下才可進行操作。

(7) 儀器或零件使用後妥為保養，整齊收藏，使試驗室整潔又美觀。

在人員安全方面：爲了避免試驗執行中人身意外傷害，試驗人員應注意下列事項：

- (1) 防範酒精、苯、瓦斯的起火燃燒或爆炸，硫酸塩酸的潑及、熱水的燙傷。如添加酒精時要避免火種，打開瓦斯先察漏氣等。
- (2) 儀器漏電要警示並安裝接地線，小心延接電線，插座開關謹慎操作，則可避免被電殛的危險。
- (3) 試驗操作時保持試驗室的通風，避免空氣品質惡劣或中毒。
- (4) 務必在教師的指導及認可下再操作儀器，避免不當操作造成傷害。

2. 試驗人員的敬業及責任

再好的儀器設備、再完善的試驗方法，如試驗人員沒有敬業精神及責任心，則儀器規範均爲枉費，人是影響一切試驗結果的主要因素，因此試驗人員應有下列共識：

- (1) 材料試驗的目的是要藉著試驗人員的技術及經驗來探究材料的真正性質，切忌人爲的錯誤或更改試驗結果。
- (2) 試驗人員理出的結果必爲可分析判斷的資料，以建立材料試驗的必要性。
- (3) 試驗人員必須明列試驗依據，規範或標準，以確立試驗的公信法則。
- (4) 試驗人員在工程施工中有隨時查驗不良材料，抽樣檢驗材料的責任，以維護工程品質並順利進行。

三、學員的材料試驗室規則

爲使學員能有效地在課程中習得各項材料試驗的方法，則材料試驗室需訂定下列規則：

1. 分 組

每組由3～4人合成並推舉組長一人負責領導試驗工作及領用、交還儀器，負責之組長如有優異表現，則該次試驗之成績予以加分。

4 土木材料試驗

2. 試 驗

- (1) 試驗前各學員應先閱讀試驗講義中各要點及指定之參考書，熟記試驗之步驟，試驗之方法依組長所分配之工作悉心實施。
- (2) 試驗時勿忘攜帶試驗講義、筆記簿、筆及計算工具俾記錄與計算，否則到處借用擾亂秩序影響試驗之進行當予扣分。
- (3) 仔細觀察試驗過程中所發生的各種現象並記錄之，對儀器構造與使用方法應明瞭，記錄應求精確。
- (4) 試驗記錄於試驗完畢後，須經教師審閱簽字並隨試驗報告一同繳交，以便核對。
- (5) 試驗完畢後應將儀器擦洗乾淨，並處理善後工作將儀器交還，如有毀損應各自負責賠償。
- (6) 以科學原理解析試驗結果，以試驗結果證明原理，如此相互印證效果必佳。

3. 試驗報告

- (1) 每次試驗完畢後各組應繳交試驗報告一份，本週試驗後應於次週交繳報告，過期一週者八折計分如有嚴重錯誤而發還改正者須於一週內重交。
- (2) 試驗報告內容分目的、儀器、理論或證明、程序設備及裝置草圖、記錄、作圖、結果及討論等事項。
- (3) 試驗報告必須字跡清晰，形式整齊、語句明確、記錄有系統。
- (4) 試驗報告用紙宜整齊劃一，通常以寬 21 公分、長 30.5 公分為準，裝訂成冊加封面並記載班級組別、組員姓名、試驗名稱、試驗日期等。

4. 試驗計分

- (1) 目的 (3 %)：意即各試驗項目之闡述。
- (2) 試驗設備概述 (12 %)：敘述試驗設備各組成部分及其相互間之關係，及其應用原理。
- (3) 試驗簡圖 (10 %)：繪製試驗簡圖表明試驗裝置及試驗之情形，並註明各試驗部門之名稱。
- (4) 試驗步驟 (15 %)：敘述試驗時所用方法之順序，即對試驗步驟作合理而

便利的安排。

- (5) 計算 (20%)：根據試驗記錄資料悉心計算之。
- (6) 作圖 (5%)：將試驗資料及計算結果或繪於方格紙，或半對數紙上表示試驗之結果分析。
- (7) 結論與建議 (25%)：可由作圖所得試驗曲線、推求試驗結論之一部分，因圖中可表示自變數與因變數相互間的關係及特性，其他如試驗求得之係數可與標準（如材力課本及相關論文所述）作比較而得結論。
- (8) 繕寫整潔雅觀 (10%)：報告繕寫整潔而有系統，亦為主要事項。

四、試驗儀器介紹

本節僅介紹共同使用之儀器及工具，各種性質試驗儀器在試驗項目中再敘述。

1. 溫度計

如圖 1-1 (a - e) 有棒狀溫度計，表面溫度計，自記溫度計之應用，而儀器裝置中則有雙金屬溫度計、壓力溫度計、電阻式溫度計、石英晶體溫度計等溫測構造。一般常用之棒狀溫度計有酒精式及水銀式，CNS 規定 $0^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$ 範圍中最小刻度為 1°C ，玻璃棒外徑 $5\text{ mm} \pm$ ，全長約 300 mm 。

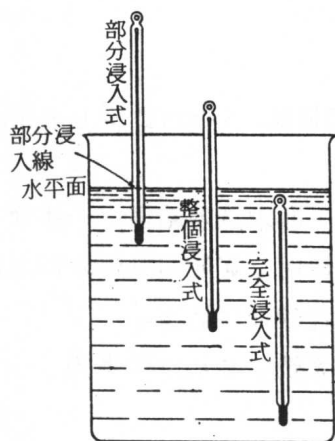
2. 濕度計

如圖 1-1 (d - f) 有乾濕球溫度計、自記式濕度計等，乾濕球濕度計以比對讀取濕度，或以熱變電阻測濕裝置讀取，用以記錄或顯示試驗室或養生櫃中之相對濕度。

3. 天平或磅秤

各種型式的天平或磅秤如圖 1-2，其精度隨秤重能量而有所差異，一般不應大於千分之一。其設計感量或刻畫精度，容量 50 kg 以上為 $5\text{ g} \sim 10\text{ g}$ 、容量 $20\text{ kg} \sim 50\text{ kg}$ 者為 $2\text{ g} \sim 5\text{ g}$ 、容量 $5\text{ kg} \sim 10\text{ kg}$ 者為 $1\text{ g} \sim 2\text{ g}$ 、容量 5 kg 以下者為小於 0.5 g 。

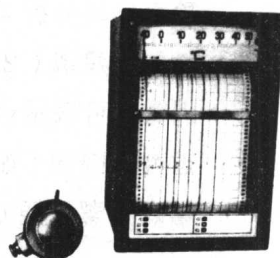
6 土木材料試驗



(a)



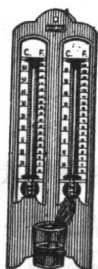
(b)



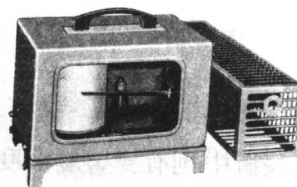
(c)



(d)



(e)



(f)

圖 1-1 溫度計及濕度計

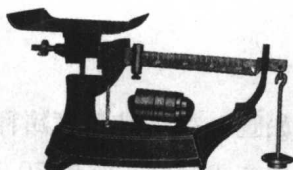
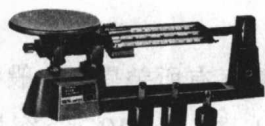


圖 1-2 天平、磅秤

4. 烘 箱

如圖 1-3 爲一電氣定溫乾燥箱，一般使用溫度應在 $105^{\circ}\text{C} \sim 110^{\circ}\text{C}$ 之間且能持續增溫，其蒸發率每小時 25 公克，該蒸發率爲以一公升容積之紙型燒杯內裝 500 g 純水在 $21^{\circ}\text{C} \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ 下之損失量、在此項蒸發過程中烘箱內必須關閉，且須維持上項溫度至少 4 小時以上，紙型燒杯並置於每一層的中央及四個角落。

5. 濕 櫃

如圖 1-4，爲一能使體內定溫（通常養生用溫度爲 $23^{\circ}\text{C} \pm 1.7^{\circ}\text{C}$ ）並能持續維持相對濕度在 90 % 以上之設備。

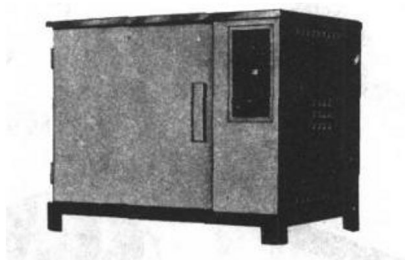


圖 1-3 烘箱



圖 1-4 濕櫃

6. 養生水池

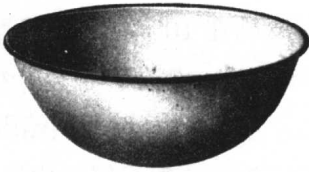
爲鋼筋混凝土製或磚砌而成內以防水粉刷避免漏水，有供水及排水設備，蓄水水面應能淹沒試體至少 5 cm 以上，長寬依試體多寡可大可小，但以能立於池旁取放試體的距離爲宜。

7. 其他器材

如圖 1-5 拌合鍋、蒸發皿、量筒、燒杯、滴管、直尺、卡尺、捲尺、杓子、藥刀、鋤刀、盆、盤、毛刷、錘子、手鏟、圓鋸、漏斗、停錶、石棉手套、橡皮

8 土木材料試驗

手套、水桶、抹布、手推車等。



拌合鍋



蒸發皿



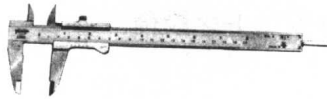
燒杯



直尺



量筒



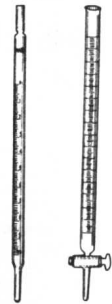
卡尺



鏟刀



捲尺



滴管



杓子



盆



藥刀



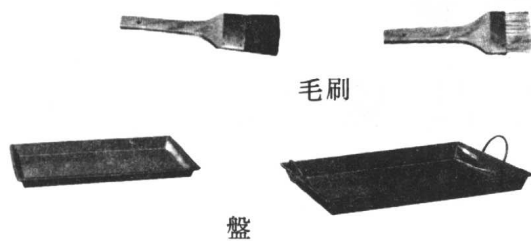
手鎚

錘



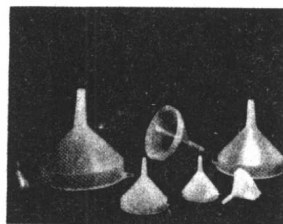
圓鍬

圖 1-5



毛刷

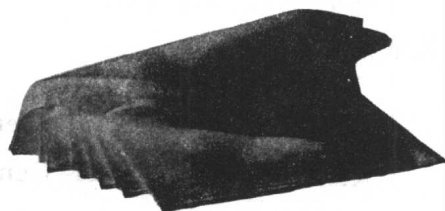
盤



漏斗



桶



抹布



石棉手套



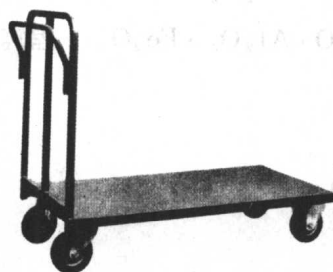
橡皮手套



水桶



碼錶



手推車

圖 1-5 (續)

第二章

水泥試驗

本章所述之水泥僅限於水硬性之水泥 (Hydraulic Cement), 常見之水硬性水泥有

- 波特蘭水泥 (Portland Cement)
- 天然水泥 (Natural Cement)
- 矽灰水泥 (Pozzolan Cement)
- 高鋁水泥 (High Alumina Cement)

其中以波特蘭水泥在土木建築工程中應用最廣，本書所述之水泥試驗及混凝土試驗，係以波特蘭水泥為主。將石灰石、矽砂或黏土調配混合後經細磨、預熱、燒結、加石膏粉研磨後即為波特蘭水泥，其組成化合物為

矽酸三鈣	$3 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$	縮寫	C_3S
矽酸二鈣	$2 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$	縮寫	C_2S
鋁酸三鈣	$3 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	縮寫	C_3A
鋁鐵酸四鈣	$4 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	縮寫	C_4AF
氧化鎂	MgO		
三氧化硫	SO_3		
氧化鈉	Na_2O		
氧化鉀	K_2O		
游離石灰	CaO		
不溶殘渣	...		

由於其中 C_3S , C_2S , C_3A , C_4AF 的含量之不同，波特蘭水泥又可分為五種。

第一型普通波特蘭水泥 (Normal Portland Cement)

第二型改良波特蘭水泥 (Modified Portland Cement)

第三型早強波特蘭水泥 (High-early Strength Portland Cement)

第四型低熱波特蘭水泥 (Low-heat Portland Cement)

第五型抗硫波特蘭水泥 (Sulfate-resistant Portland Cement)

水泥與水混合成糊狀物後其中主要成分 C_3S , C_2S , C_3A , C_4AF 即開始起水化作用 (Hydration) 而使水泥膠結硬化產生強度 , 如保持水份的供給則強度可持續增加。水泥之各種化學性質、物理性質如下：

一、水化作用

水泥中 C_3S , C_2S , C_3A , C_4AF 與水起水化作用產生膠質體 (gel) 相互黏結而硬化 , 在水泥凝結過程中每種成分均會釋放熱量稱為水化熱 (如試驗五) , 因其中各個成分所佔數量及反應速率的不同而熱量的積存亦有高低。混凝土為熱的不良導體 , 積存過多的熱量而使溫度不均造成脹縮形成微細裂縫而減小耐久性等 , 各種化合物的水化性質如表 2-1 。

表 2-1 水泥中化合物之水化性質

性 質	化 合 物			
	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
反 應 速 率		慢	速	慢
單位化合物發散熱	中等	少	多	少
單位化合物黏結力:				
早 期 強 度	佳	劣	佳	劣
極 限 強 度	佳	佳	劣	劣

二、凝結作用

水泥與水混合之初為糊狀物 , 在一定時間內能保持其可塑性 , 漸漸地膠結而失去可塑性謂之初凝 (Initial Set) , 如試驗三 , 初凝時之水泥漿或混凝土仍可擾動或重新拌合而不太有傷害 ; 水化作用持續進行 , 混合物完全失去可塑性時稱為終凝 (Final Set) , 如試驗三 , 終凝之水泥漿或混凝土如加以擾動則其強度嚴重損失。普通水泥之初凝時間應不小於 1 小時 , 終凝時間應不超過 10 小時。

另如水泥製造在研磨過程中 , 溫度過高使加入之石膏脫水成無水石膏 $CaSO_4$ 或半水石膏 $CaSO_4 \cdot \frac{1}{2}H_2O$, 造成水泥漿或混凝土在拌合後不久即發生凝結 , 雖