

混凝土設計

孫繩曾編

孫繩曾

龍門聯合書局印行

混 凝 土 設 計

孫 繩 曾 著

江苏工业学院图书馆
藏 书 章

龍 門 聯 合 書 局 印 行

自序

設計混凝土的方法，可分兩類，即新舊學說。前者為水與水泥比量原理，後者則側重於密度論。舊學說如篩析曲線法的基本原則為：

1. 粗細粒骨料相同，凡混凝土單位容積內拌和之水泥量最多，其強度最大：

2. 水泥與骨料之混和比例相同，凡骨料配合適當使混凝土密度最大者，其強度亦必最大。

兩學說相提並論，並無抵觸之處。就第一原則來講，保持粒料大小等級相同，稠度一致，僅混凝土混和比例差異。在相同的骨料中，其孔隙百分數必近於常數，需要水泥漿來填充，亦必有限量；茲若變更混和比例，增加水泥成分，亦即減少骨料拌和量，稠度既須保持不變，唯有減少水量，按水與水泥比量原理，比量減小，強度必加大。就第二原則來說，無異保持混和比例和稠度為不變，僅使骨料大小等級有差異，因粗細粒配合適當，內中空隙減少，需要水泥漿的填充量亦必隨之而減少；但水泥成分不變，唯有減少滲入水量，無異使水與水泥比量減小，故混凝土強度加大。舊學說如篩析曲線法確亦符合經濟原則，惟其弱點，不能直接決定混凝土之混和比例，仍須利用標準比例如1:2:4或1:3:6等作為依據，究不若新學說水與水泥比量原理之直接了當，故本書專論新法。

大學土木工程學系課程中，二年級下有工程材料，三年級上有鋼筋混凝土學，編者用英文教本，授課多年，每感教本內容，關於水與水泥比量原理及混凝土設計圖表缺乏系統化，而同學格於文字，教學進度，亦嫌遲滯，爰擬中文稿本，完成此編。本書極注意理論實踐配合，舉凡設計原則，設計步驟，設計實例，材料試驗，實地工作等，均敘述淺顯，不僅可供大學教本或參考用書，中級技術學校亦可作為課本，技術員工以之進修，亦甚適宜。惟初次脫稿，錯誤難免，深望海內賢達，加以批評，俾資改正。

本書圖表，多承周允明先生協助繪製，謹誌謝忱。

孫繩曾

一九五〇年十月序於上海大夏大學理學院

目 錄

第一章 總 論..... 1—10

- | | | | |
|----------------|---|------------------|---|
| 1. 引言 | 1 | 2. 材料選擇 | 2 |
| 3. 水泥 | 2 | 4. 快硬水泥 | 3 |
| 5. 水泥的固性 | 3 | 6. 水泥的強度 | 4 |
| 7. 水泥的凝結 | 5 | 8. 水泥細度與比重 | 5 |
| 9. 水泥的保藏 | 7 | 10. 水 | 7 |
| 11. 骨料 | 7 | 12. 骨料的試驗 | 9 |

第二章 設計混凝土的要素..... 11—20

- | | | | |
|-------------------|----|------------------|----|
| 13. 基本原則 | 11 | 14. 混凝土的強度 | 11 |
| 15. 混凝土的耐久性 | 15 | 16. 混凝土的稠度 | 16 |
| 17. 溫度試驗 | 18 | | |

第三章 骨料的特性..... 21—32

- | | | | |
|-------------------|----|------------------|----|
| 18. 骨料容積的膨脹 | 21 | 19. 水分試驗 | 22 |
| 20. 膨脹試驗 | 23 | 21. 骨料大小等級 | 26 |
| 22. 骨料的分析 | 27 | 23. 骨料細率 | 28 |
| 24. 篩析和收縮試驗 | 29 | | |

第四章 混凝土混和比例的設計..... 33—57

- | | | | |
|--------------------|----|----------------|----|
| 25. 設計原則 | 33 | 26. 設計圖表 | 33 |
| 27. 設計程序 | 40 | 28. 設計實例 | 41 |
| 29. 設計實例 | 46 | 30. 設計實例 | 47 |
| 31. 試拌法 | 49 | 32. 設計實例 | 52 |
| 33. 混凝土混和比例表 | 53 | | |

第五章 混凝土的實地工作.....58—71

- | | |
|---------------------|--------------------|
| 34. 混凝土的拌和.....58 | 25. 混凝土的輸送.....61 |
| 36. 混凝土的澆置.....63 | 37. 混凝土的養護.....64 |
| 38. 冬天混凝土的澆置.....67 | 39. 阻水性的混凝土.....69 |
| 40. 水底混凝土的澆置.....71 | |

第六章 混凝土的特性.....73—77

- | | |
|----------------------|---------------------|
| 41. 強度.....73 | 42. 彈性率與彈性限度.....73 |
| 43. 混凝土的變形.....74 | 44. 混凝土膨脹與收縮.....75 |
| 45. 混凝土的阻火性.....76 | 46. 混凝土結合力.....77 |
| 47. 混凝土與海水.....77 | 48. 混凝土與碱質.....78 |
| 49. 混凝土與油質及酸質.....78 | 50. 混凝土的重量.....78 |

第七章 混凝土表面的整理和裝修.....80—84

- | | |
|------------------|-----------------|
| 51. 整理工作.....80 | 52. 刮平.....80 |
| 53. 機械壓平.....81 | 54. 鏟平.....81 |
| 55. 粉光.....82 | 53. 裝修方法.....82 |
| 57. 配合骨料.....82 | 58. 模型刊型.....83 |
| 59. 磨光.....83 | 60. 洗刷.....84 |
| 61. 鑿毛.....84 | 62. 粉刷.....84 |
| 63. 彩色混凝土.....85 | |

混 凝 土 設 計

第一章 總 論

1. 引言 混凝土是人造石，利用水和水泥膠結礦質粗細粒材料而成。粗細粒材料，如黃砂石子，統稱謂“骨料”。水和水泥成水泥漿，水泥漿包裹了各個骨料分子，起着化合作用而逐漸硬化，因此全體凝結強硬。團結就是力量，團結的重點在水泥漿，團結的分子是粗細粒骨料，假使水泥漿凝結力強，骨料分子堅，混凝土也就十分堅強了。如果水泥漿凝結後不易滲透水分，混凝土便具有阻水性的能力，水泥漿若能長期地團結着骨料，混凝土的耐久性也就能够充分表現。

達到美滿而合於經濟的混凝土建築，不是一件單純的事，各項用材，固然要慎重挑選與配合，如何拌和，使混凝土質量均勻，怎樣的運輸和澆置，使混凝土充實在模型板裏，澆塑工作結束以後，注意養護問題，使水泥漿“水化”作用，繼續地發展，都是要理論配合實踐的。

混凝土舊稱三合土，談起它的歷史過程，似已久遠。最先三合土用石灰漿為凝結料，專做基礎工程。後來以天然水泥拌和砂石，做鋪砌馬路陰溝拱圈各項建築。直到人造水泥發明，混凝土應用範圍更廣。二十世紀初，鋼筋混凝土試驗成功，經過多少改進，混凝土已成為近代工程上主要結構材料的一種，在特殊的發展中，大有超出鋼鐵工程之勢。

混凝土建築的優點很多：1. 不怕火燒，2. 平時毋須修理，建築費用合理化，3. 水泥、黃砂、石子和鋼條易於購辦，動工方便，建築較快，4. 鋼筋混凝土十分堅強，在建築時能配合工程上或藝術上一切需要，5. 房屋工程中，窗口面積可任意加大，因此透光或通風方面，較一般建築為佳。

我們國家正在大興土木，發展農村，繁榮都市，舉凡水利工程，交通

設施，大衆建築，國防要塞，工廠學校，將來不知需要多少的混凝土建築。我們對於混凝土的設計，基本的原理，實施的過程，確應該廣泛的了解，這就是本冊編印的目的了！

2. 材料選擇 混凝土的性質，關係於水泥漿和骨料兩方面，固然它的強度，視水泥品質，水和水泥的比量，以及水和水泥化學變化完成與否爲斷；而骨料拌入水泥漿內，使水泥漿充分地填充在骨料孔隙裏，包裹了各個顆粒分子，並保持整個混合體的稠度均勻，適合澆塑工作，亦復影響於混凝土的質量和經濟問題。所以工程開始以前，首應注意材料選擇、與混和比例諸端。

3. 水泥 人造水泥是以含粘土質或石灰質的原料配合適宜成分而經密切混和後研成細末燃燒而得的熟料。分析起來，水泥裏面大概含有三種主要礦物質。(1)矽酸三鈣 (3CaOSiO_2)，(2)矽酸二鈣 (2CaOSiO_2)，(3)鋁酸三鈣 ($3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$)，以及其他少量的因燃燒氧化鈣、氧化矽、氧化鋁而產生的化合物。水泥成分之比，按愛克爾氏 (Eckel) 公式，應爲：

$$\frac{2.8 \text{ 氧化矽 } (\text{SiO}_2) + 1.1 \text{ 氧化鋁 } (\text{Al}_2\text{O}_3) + 0.7 \text{ 氧化鐵 } (\text{Fe}_2\text{O}_3)}{1.0 \text{ 氧化鈣 } (\text{CaO}) + 1.4 \text{ 氧化鎂 } (\text{MgO})} = 1$$

一般水泥大致含有氧化矽 22.0%，氧化鋁 7.4%，氧化鐵 3.0%，氧化鈣 62.0%，氧化鎂 1.75%，硫酸酐 1.3%，鹼質 1.0%。

氧化鈣成分太多，對於水泥的固性是不利的，成分太少，常使水泥凝結過速，力量減弱。氧化鋁分量過多，亦易使水泥凝結快而力量弱，同時水泥分子容易分解，尤其在接觸海水之時。氧化鎂普通爲 4—5%，多則有害無益。硫酸鈣，如石膏等之加入，專爲遲緩水泥凝結作用，其分量宜少於 3%，硫酸酐 (SO_3) 常規定不得超過 2%。

1947 年 2 月前經濟部工業標準委員會頒佈之水泥規範中，規定水泥的化學成分：(1)燒失量不得超過 4%，(2)不溶解物不得超過 1%，(美國標準，不超過 0.85%)，氧化鎂不得超過 4% (美國以 5% 爲最大

限度), 硫酸酐不得超過 2.5%, (美國以 2% 為限), 我國水泥製造, 大概依此為標準。

4. 快硬水泥 除上述標準水泥外, 國產尚有一種快硬水泥, 其質量幾與普通水泥相同, 祇矽酸三鈣含量較高, 快硬水泥製造時, 常採用含石灰質較多的材料, 燃燒兩次磨研特別精細。因為石灰質含量較多, 其硬化遠較普通水泥為速, 加水化合時, 熱量發生也較大。

快硬水泥的單價, 較普通水泥為高, 但利用其快硬優點, 混凝土在短期內, 可發生極大強力。採用快硬水泥, 第一、工作中養護手續可以縮短, 第二、分子磨研較細, 與水化合較快, 產生的混凝土較細膩, 便於施工, 實有助於混凝土的強度、密度、以及阻水性等。第三、可提早拆除模型板, 大概在混凝土澆塑後二十四小時模板即可拆除, 因此一套模板在應用上等於幾套, 無異減低模板費用。其他如水底工程, 市街交叉的修建, 工廠商店為避免澆置混凝土而蒙受暫時停頓的損失, 常採用快硬水泥, 以減低困難。

快硬水泥成本較高, 若建築物可以容許三天以外的時間, 以成長混凝土的強度, 自以採用普通水泥為上, 在特殊情形下, 惟有權衡輕重, 比較得失, 作最後決定。

5. 水泥的固性 水泥的固性, 足以影響混凝土壽命的久暫。凡以固性完美的水泥拌和混凝土, 在其凝結硬化後, 雖逢驟冷驟熱的天氣, 變形必微, 其對於天時變化以及冰凍和溶解的抵抗力必強。如果水泥的固性欠缺, 凝固後每因脹縮影響, 呈現裂痕。水泥中游離的石灰, 過量的氧化鋁, 皆能影響其固性, 常發生膨脹與分子分解的現象。遲緩水泥凝結的硫酸化合物, 若過分滲入, 將同樣發生危害, 因此常以百分之三為限度。

測驗水泥的固性, 有下列各法:

(1) 冷試法 以標準稠度的水泥漿, 置於玻璃片上, 做成圓餅, 直徑約 76 公厘, 中部厚約 13 公厘, 漸向周圍成薄邊。此項圓餅自加水時

起算，貯藏潮濕空氣中二十四小時，即行浸沒於溫度華氏 70 度之潔淨水中，經過二十七天後，如不呈現裂痕，變形，或分解等跡象，即為合格。

(2) 加速試驗 以標準稠度的水泥漿，製成圓餅，形狀如冷試法的大小，貯置潮濕空氣中二十四小時，即移置蒸氣箱內，用架支持玻璃片，使圓餅在沸水之上約 2.5 公分。蒸汽溫度在華氏 208° 與 212° 之間（攝氏表 98° 與 100° 之間），經過五小時，若試品仍復堅實，並無裂痕、變形、或分解等跡象，即為合格。

(3) 蒸汽試驗法 以一時見方十吋長在標準稠度時的水泥漿塊，先在潮濕空氣中放置二十四小時，量其長度後，放入蒸汽爐中加熱，使爐內蒸氣壓力在一小時內增達每平方吋 295 磅，如此維持三小時之久，再驟行冷卻，於一小時之內，蒸氣壓力減退至每平方吋 100 磅。以後並逐漸放出爐內蒸氣，使達到大氣壓力為度。試品於是自爐內取出，置入溫度為 90°C 之水中。在 15 分鐘內並使水冷卻到 21°C。如此再維持 15 分鐘後取出，在空氣中乾燥後重測其長度，以上兩次長度測驗的相差不過 0.01% 者為合格。

6. 水泥的強度 水泥之是否合於某項建築，雖不能依據其拉力大小為標準，但是從拉力強，擠壓力亦強的關係中，可藉拉力的大小，以測計其擠壓力。試驗拉力的儀器簡單，試品的製成和試品的實驗亦復簡便，所以拉力試驗早經定為標準。

水泥漿凝硬後的擠壓力約為其拉力之十倍，其剪力約等於拉力 美國過去規定水泥塊的拉力，在濕空氣中存貯一日，每平方吋不得小於 175 磅；在濕空氣中置一日，水中置六日每平方吋不得小於 500 磅；在濕空氣中存貯一日，再在水中存貯 27 日，每平方吋不得小於 600 磅。

最近標準改以水泥砂漿的拉力為測計水泥的依據。1947 年前經濟部工業標準委員會規定以 1:3 標準水泥砂漿製成之樣品，在濕空氣中存貯一日，再在水中存貯六日，每平方公分最小為 18 公斤，即每平方吋 256 磅，美國標準為每平方吋 275 磅。樣品在濕空氣中置一日，再

在水中置 27 日，標準委員會規定拉力每平方公分最小為 22 公斤，合每平方吋 313 磅，美國標準為每平方吋 350 磅。

7. 水泥的凝結 水泥裏重要化合物如矽酸三鈣，矽酸二鈣，鋁酸三鈣，遇水即逐漸起作用，一部份成不定形的膠狀物質，一部份成結晶體。鋁酸三鈣的凝結和硬化最快。矽酸三鈣膠合力最強。水泥初期凝結，就是這兩種化合物開始變化的表現。因為兩化合物與矽酸二鈣繼續水化，所以混凝土力量和硬度，繼續增加。

水泥凝結與硬化是水泥品質最重要的部份，凝結時間應適合混凝土工作的進展。在混凝土灌注前固不須水泥發生凝結，灌注後也不需要水泥遲遲不凝結，尤其水底澆置混凝土，與嚴寒之時做混凝土工程，水泥凝結，愈快愈好。大概氣溫較高，水泥凝結較速，混和水量過多，足以延長凝結時間，潮濕季節，水泥凝結較緩。

水泥凝結的標準，普通規定如下：初凝時間，若以維格(Vicat)儀器測定，不得少於四十五分鐘；若用格耳磨(Gillmore)試驗法，不得少於六十分鐘。終凝應在十小時以內。快硬水泥初凝不得短於五分鐘，終凝不得超過一小時。

8. 水泥細度與比重 水泥細度對於混凝土的力量、凝結時間、耐久性、阻水性等皆有密切關係。水泥分子磨研愈細，和水的結合愈週到，凝結更快更強，更能增進混凝土的密度，耐久性和阻水性。

水泥細度的標準，過去是依篩析的結果做規定的。前經濟部工業標準委員會規定用 70 號篩分析，篩上留餘的水泥，以重量計，不得大於百分之二十(與美國材料標準舊規範同)。近來美國材料標準規範，規定水泥細度是用儀器測定，每克重水泥應有若干平方公分表面積以代替篩析法。標準水泥的細度，通常規定每克重應有表面積 1600 平方公分，最小不得少於 1500 平方公分。

水泥比重是利用羅察得理(Le Chatelier)標準器，測計 2 市兩(64 克)重的水泥所佔之容積(立方公分)。普通規定不得小於 3.10。

從第一表及第二表中可見國產水泥性質之一斑，第一表係根據前經濟部中央工業試驗所的報告，第二表係交通大學材料試驗室的試驗記錄。第二表所列馬牌水泥各次試驗結果，略有出入。推究其原因，可能是樣品不同，或水泥出產保藏有先後。實地工作，如工程較大，材料選擇，在所必需，倘能隨時檢驗，當更切合實際。白色水泥用於粉刷裝修，除早期強度略較普通水泥為低，其餘性質大致相同。國內尚無出產，姑不詳述。

第一表 國產水泥試驗結果(前中央工業試驗所試驗)

水 泥 廠 名	牌 號	細 度		比 重	凝 結				拉 力 公 斤 平 方 公 分	
		每平方公分 28×28孔	每平方公分 67×67孔		初 凝		終 凝		三 日	七 日
					時	分	分	時		
西北實業公司	獅頭牌	—	1.1%	3.120	1	30	2	35	30.8	34.0
華南水泥公司	象 牌	0.1%	6.0%	3.120	2	45	4	4	21.4	28.6
廣東省實業有限公司	五羊牌	0.2%	2.6%	3.154	2	10	3	25	39.0	45.0
中國水泥廠	泰山牌	—	3.6%	3.112	1	35	2	40	32.0	44.3
啓新洋灰公司	馬 牌	0.1%	5.3%	3.140	2	40	4	16	39.0	42.0
華記水泥公司	塔 牌	0.6%	5.0%	3.115	3	32	5	48	21.0	28.6
前經濟部工業標準 委員會標準		30號篩餘 不過2%	70號篩餘 不過20%		不得少 於1時		不得多 於10時		—	18.0

第二表 國產水泥試驗結果(交通大學材料試驗室試驗)

水 泥 種 類	試 驗 日 期			細 度		凝 結 時 間		固 性 公厘	稠 度		試驗 室溫 度 (華氏)	1:3水泥 砂漿拉力	
				每方吋 72×72 篩餘%	每方吋 170×170 篩餘%	初凝 時 分	終凝 時 分		水與水泥 之 比 量 % 水泥標準 稠度時	水與水泥 之 比 量 % 1:3水 泥砂漿		三日 每 方 吋	七日 每 方 吋
	年	月	日										
泰 山 牌	36	3	7	0.308	6.95	1 27	3 03	0.25	24.3	8.57	86	342	345
台 灣 水 泥	36	1	7	0.300	5.70	2 47	8 55	1.40	21.45	7.86	52	—	311
駝 駱 牌	36	12	31	0.100	0.90	1 33	8 00	1.20	23.4	8.35	50	—	300
馬 牌	36	12	31	0.700	7.70	0 45	8 45	1.00	23.4	8.35	80	—	321
馬 牌	37	7		0.300	6.50	1 04	7 30	1.00	23.01	8.25	82	272	308
馬 牌	36	7	15	0.050	5.40	1 11	2 30	1.00	22.62	8.16	82	296	314
象 牌	36	12	2	0.500	4.00	2 40	5 05	1.50	27.5	7.36	58	—	418
長 城 牌	36	9	10	0.050	1.35	1 45	3 00	1.00	—	—	80	—	323

9. 水泥的保藏 在工程開始水泥運到工地時，應妥為保藏，維持乾燥。倘經潮濕，甚至發現硬塊，即不應使用。現在水泥包裝有紙袋、蔴袋及木桶三種。凡工地接近水泥廠，不妨用袋裝水泥。紙袋普通裝五十公斤，蔴袋有裝五十公斤，八十五公斤及一百公斤三種。為保藏安全計，或水泥運輸距離過遠，宜用桶裝。每桶水泥重約 172 公斤。美國水泥每袋淨重 94 磅，四袋裝成一桶。本冊因採用圖表方便起見，沿用美制，即一立方呎水泥，重 94 磅，容積為一袋。

水泥在空氣中，極易吸收濕氣而硬化，保藏的時候，嚴禁與地面接觸，必須用木料擱起貯存。貯藏大量水泥時，一面防止潮濕的侵襲，一面仍須注意通風以免水泥變質。

10. 水 拌和混凝土的用水，應該絕對清潔，不得含有油質、酸質、鹼質或別種有機物。大致充作飲料的水，可以拌和水泥。不潔之水，如含有油質或未經溶解的無機物，從水面浮花和水色的渾濁，即時可以鑒別。是否含有酸質或鹼質，可用化學試驗紙偵察。如水內含有溶解物，經化驗可以判斷其是否合用。

11. 骨料 骨料分粗細二種。凡小於美制四號篩孔的，即顆粒小於 4.76 公厘或 0.187 吋者，屬於細粒骨料。凡大於四號篩孔的，屬於粗粒骨料。黃砂為細粒骨料之一種，有時因供應關係，亦有利用石屑等為代替品。砂質宜堅硬，能耐久，應純為矽化物，如含有雲母、角閃石或石灰石質料，不宜採用。黃砂不得滲雜浮土細泥以及草芥和有機物，如含有浮土按重量計超過百分之三，即須洗滌，方可應用。

砂內孔隙部份愈小愈合用，普通乾砂內的孔隙約在 25%—45% 之間，計算孔隙的百分比，甚為簡便。就已知之容積的乾砂，傾入水中，量其實佔容積，兩容積之差，即為孔隙部分。或將已知之容積的乾砂盛入玻璃瓶內，加水使水面和砂面相齊，傾入的水量，即為孔隙的容積，又黃砂比重約為 2.65，從單位容積的重，亦可推算其孔隙百分比的概數。

粗粒骨料，多用碎石或礫石，也有用礦渣煤爐為代替品。粗粒骨料

從大於四號篩孔起到相當粗大，視建築的需要而定。如厚的混凝土牆，廣闊的基礎工程，可用二吋半至三吋（6.5—7.5公分）大小的石子；橋墩工程，常用二吋或五公分大小的石子；拱圈用吋半或四公分石子；鋼筋混凝土建築物，如鋼筋密佈，粗粒骨料不宜過大。樓板梁柱，常用 3/4 吋（2 公分）或 1 吋（2.5 公分）大小的石子，使混凝土便於灌注。

選擇碎石的基本條件，應該注意它的強度，密度，硬度，堅韌性和耐久性。石料性質，隨其所含礦質成分和其產生經過而異。凡組織精密，堅強耐久的石子，當然是上選。反之，石質不堅，組織不密，或分子容易分解，自應拒用。如花崗石、級形石、堅硬之石灰石最爲合用，砂石即不便使用；礫石常含有鬆脆分子，足以影響混凝土強度，事前應加挑選。

粗粒骨料的孔隙，約佔 30% 至 55%，視其形狀、大小等級、緊密程度而異。計算孔隙百分比的方法，如黃砂的試驗一般。黃砂經過搗實，每立方呎重自 90 磅到 125 磅（1442—2002 公斤/立方公尺），石子每立方呎重自 75 磅至 120 磅（1201—1922 公斤/立方公尺）。花崗石的比重約爲 2.65 至 2.75；級形石約爲 2.8 至 3.0；石灰石 2.6 至 2.7；砂石的比重，2.3 至 2.6；礫石約爲 2.65。

總之拌和混凝土選用優良骨料和選用合格水泥，同屬重要。水泥漿凝結力強，骨料分子堅實，產生的混凝土必有力量。骨料要硬，要耐久，要多稜角。質鬆的，扁平的，細長的，都不合用。骨料更須潔淨，使水泥漿直接膠合各個分子表面，毫無隔膜之處。否則即應洗滌。骨料大小等級應該參差有度，從極細到極粗，應有盡有。就是說細粒不可同樣細小，粗粒不可同樣粗大，要大小小，配合適度，使其中孔隙佔極小的百分比。

骨料各級大小常用篩分析之。試驗方法，詳見於第二十三節。美國材料試驗所規範規定砂粒等級應在下列限度以內

篩過 4 號篩眼的……………不得少於總重之 85%。

篩過 50 號篩眼的.....
 { 不得多於總重之 30%.
 { 不得少於總重之 10%.

碎石各級大小，須在下列規定限度以內：

石子如爲 $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ 或 1 吋大小 (1.27, 1.90, 2.54 公分)

篩過最大篩眼的.....不得少於 95%.

篩過 4 號篩眼的.....不得多於 10%.

篩過 8 號篩眼的.....不得多於 5%.

石子如爲 $1\frac{1}{2}$ 吋大小 (3.81 公分)

篩過最大篩眼的.....不得少於 95%.

篩過 $\frac{3}{4}$ 吋篩眼的.....
 { 不得多於 75%.
 { 不得多於 40%.

篩過 4 號篩眼的.....不得多於 10%.

篩過 8 號篩眼的.....不得多於 5%.

12. 骨料的試驗 骨料的性質需要堅硬耐久，骨料分子的表面，更需要純潔乾淨。因爲塵埃細土或雜質混入骨料分子間，足以妨礙水泥漿的直接結合，不僅減弱混凝土力量，增加混凝土孔隙，同時迂緩了水泥漿的凝結和硬化。甚至有有機物的影響，一部份水泥永久地不能完全凝硬。

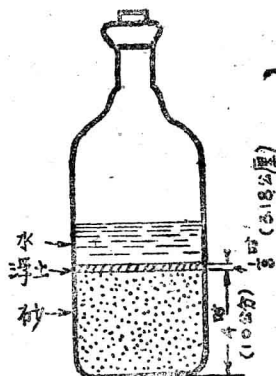
黃砂裏常含有不潔之物。含量過多，應加洗滌，試驗方法，說明如下：

甲. 浮土量的實驗 置樣品黃砂於 $\frac{1}{4}$ 加侖 (946.38 立方公分) 容量之玻璃瓶內，達二吋 (五公分) 高度，如用容量半加侖 (1892.71 立方公分) 的玻璃瓶，則裝砂四吋 (約十公分) 高，然後加水達到瓶子容量約四分之三，塞緊瓶口，用力搖動瓶身約一分鐘。最後的搖動，應爲橫平方向，使砂面趨於水平。搖動之後，平放在檯面上約一小時，砂內細土，均浮現在砂面之上了。假使浮土厚於 $\frac{1}{8}$ 吋 (3.18 公厘)，則砂不合標準，洗

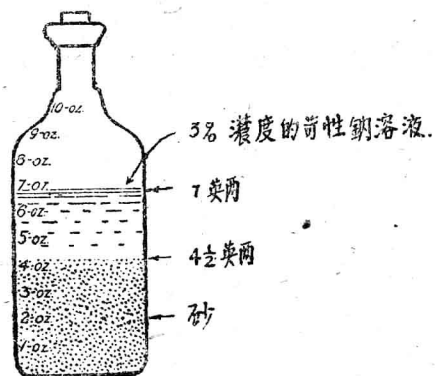
滌潔淨後，才能使用，見第一圖。

乙. 有機物的鑒定 稱樣品黃砂 $4\frac{1}{2}$ 英兩 (ounce) 或 133 立方公分，盛入容量 12 英兩 (355 立方公分) 的玻璃瓶內。瓶之外面，刻有分量格，見第二圖。再加入苛性鈉的溶液，濃度為 3%，達到 7 英兩 (20 立方公分) 的分量，即蓋緊瓶口，搖動瓶身，貯置二十四小時，檢查瓶內溶液顏色，便能鑒定有機物的情況。此時溶液若仍呈白色，證明砂裏無雜質；若現淡黃色，砂內必含有相當的植物質；如為深黑色，必含有多量的有機物，足以危害水泥，應拒絕使用。沖洗以後，仍須復試，藉以判斷合用與否。

3% 濃度的苛性鈉溶液，係以一英兩 (29 立方公分) 的氫氧化鈉溶解在 $\frac{1}{4}$ 加侖 (946 立方公分) 的蒸溜水而成。使用時不可沾及皮膚。用後妥藏在玻璃瓶內，上口塞緊，慎勿傾出，有損布帛皮革之虞。



第一圖 浮土試驗



第二圖 有機物試驗

第二章 設計混凝土的要素

13. 基本原則 設計混凝土有三大原則。第一，強度。混凝土的強度應該達到預期標準，配合建築上的需要，同時要使混凝土的單價極低。第二，耐久。任何混凝土建築，多是永久性的，力的方面，固然要長期安全，同時混凝土的性質更要適合環境，足以抵抗一切的外界的影響。第三，稠度。混凝土的稠度應適合於澆塑工作，假使拌和太稀，混凝土凝結後孔隙必多，力量低落，不合經濟原則；假使拌和得過於乾糙，灌注困難，廢時廢工，猶在其次，建築物本身，不免有空虛之處，結果亦復可慮。所以稠度須合於工作，便於澆塑，務使工料代價之總和達到相當的低額。

過去混凝土建築，常規定其許可應力及混和比例，如 1:2:4, 1:3:6 等。各地建築規範中，關於混凝土摻和的水量，未加論述。骨料大小等級，常隨材料之供應而任其自然。規模較小的工程，因限於設備條件，試驗工具，水量不加控制。骨料未能分析，影響尚不致過大，但重大工程，若悉按成規，經濟上的損失，混凝土強度的低落，影響於建築物的永久性，關係非同小可。我們科學工作者，尤須深切注意之。

14. 混凝土的強度 1918 年美國阿不倫氏 (Abrams) 根據其五萬次的試驗結果，發表水與水泥的比量 (w/c) 定理如下：

“使混凝土的稠度合於工作，其強力乃為水與水泥之比的函數”，若以公式表示之，即

$$S = \frac{A}{B^x} \dots\dots\dots (1)$$

式中 S = 混凝土的強力，單位為每平方吋若干磅。

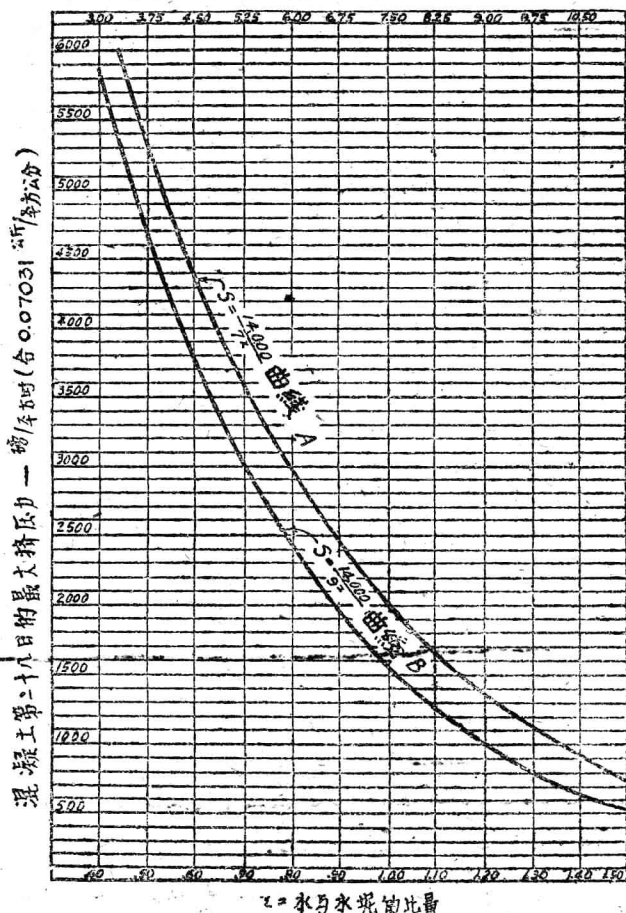
$x = w/c$ ，代表水與水泥容積之比。

A, B 均為常數，係乎水泥品質，混凝土凝固時日和凝固期間養護的情形。

根據阿不倫氏定理，可見混凝土強度，決定於水與水泥的比量。至於混和比例，骨料密度，等級，孔隙，以及混凝土稠度等，對於混凝土力的部份，並無直接影響。阿不倫氏當時選用美國標準水泥，骨料是用黃砂和礫石，混凝土模型是十二吋高六吋直徑的圓柱體。貯藏在潮濕空氣中二十八天，試驗結果為：

$$S = \frac{14000}{7^w} \dots\dots\dots (2)$$

每袋水泥拌和水之量，一加侖（一加侖 = 3785.43 立方公分）



第三圖 擠壓力和水與水泥比量的關係