

介紹蘇聯的節約水泥保證工程質量的  
混凝土標號快速測定新法

重工業出版社

介紹蘇聯的節約水泥保證工程質量的  
**混凝土標號快速測定新法**

中央建築材料工業管理局

建築材料工業試驗所 編

江苏工业学院图书馆  
藏 书 章

重工業出版社

介紹蘇聯的  
節約水泥保證工程質量的  
**混凝土標號快速測定新法**

---

中央建工局建築材料工業試驗所 編

---

重工業出版社（北京東交民巷26號） 出版 新華書店發行

---

25開本・共 32 面・定價1,900元  
初版（1—10,000冊） 一九五四年五月北京市印刷一廠印

## 目 次

|                                       |        |
|---------------------------------------|--------|
| 緒 論 .....                             | ( 1 )  |
| 一、 介紹蘇聯先進經驗「混凝土標號快速測定新法」<br>的意義 ..... | ( 2 )  |
| 二、 過去常用的混凝土標號測定方法及其缺點 .....           | ( 5 )  |
| (一) 混凝土強度公式的討論 .....                  | ( 5 )  |
| (二) 推算各齡期混凝土強度公式的討論 .....             | ( 10 ) |
| 三、 新的混凝土標號測定方法及其優點 .....              | ( 13 ) |
| (一) 新測定法的理論根據和優點 .....                | ( 13 ) |
| (二) 新測定法的計算公式 .....                   | ( 14 ) |
| (三) 用新舊公式測定混凝土強度結果的比較 .....           | ( 16 ) |
| 四、 應用新法測定混凝土標號及選擇水灰比的步驟 .....         | ( 21 ) |
| (一) 計算法 .....                         | ( 22 ) |
| (二) 圖解法 .....                         | ( 22 ) |
| 五、 應用新方法測定混凝土標號及選擇水灰比的實例 .....        | ( 24 ) |

## 緒 論

水泥在基本建設中是一項重要的建築材料。爲保證第一個五年計劃的完成，必須做好基本建設工作。因此，在混凝土建築工程中如何來節約水泥、合理使用水泥並保證工程質量是很重要的。

在蘇聯，對混凝土工程技術是非常重視的，並且有着豐富的先進的科學的經驗。因此，爲了提高我們工程技術的水平，我們必須很好地學習蘇聯，吸收蘇聯的先進科學技術，來解決我們在建設中存在的問題，以加速我國社會主義工業化的速度。

這裏我們所介紹的節約水泥保證工程質量的混凝土標號快速測定新法，是學習了蘇聯 И. А. Лукьянов 及 В. М. Москвин 所著的「混凝土標號快速測定法」(Ускоренное определение марки бетона) 一書結合了我國的實際情況，參加了我所的試驗資料編寫而成。希望這方法能在我國混凝土工程上推廣應用，以達到節約水泥保證工程質量的目的。

## 一、介紹蘇聯先進經驗「混凝土標號 快速測定新法」的意義

在基本建設中，對一切工程的要求是「好、快、省」。在混凝土工程中，由於影響混凝土強度和品質的因素較多，因此如何來節約水泥並合理使用水泥，使水泥能發揮其最大的效能，既節省材料，降低工程成本還得保證工程質量，乃是一項複雜細緻並且具有重要意義的工作。

除了我們必須在混凝土工程施工前根據工程的性質選定合適的水泥品種，通過試驗決定配合比，並在施工過程中嚴格遵守操作規程外，我們還需要注意水泥的保管，盡量不使水泥因貯存過久而降低強度，造成損失。因此，在工地上最好能在接到水泥後的最短時期內即用到混凝土工程中去。但是水泥出廠後，工程使用單位一般的都要在三十一日才能得到水泥 28 天強度的試驗報告，根據這試驗結果再作混凝土的配合比試驗，又需 28 天後才能得到混凝土的標號。因此水泥運到後，如按照這樣的試驗程序，往往至少要隔二個多月才能用到工程中。但工地使用者爲了掌握施工進度，避免耽誤工時，往往就根據水泥出廠時的預定標號利用現成的配合比表來設計混凝土配合比，這樣配製出來的混凝土，往往很難符合原設計的要求，或是沒有充分利用水泥的強度，形成水泥使用上的浪費，或是發現水泥強度和預定的不符，致使混凝土質量受到了影響。

所以，在沒有得到水泥 28 天強度的數字以前，即用水泥來做混凝土，要求在短期內便能較準確地測定其後期所能達到的強度，來決定混凝土標號，來準確選擇水灰比及配合比，就變成很重要而急待解決的問題。蘇聯先進的科學技術工作者，在這方面已作出了試驗研究的結果，能够在短期內（七天或十天）很準確地推算測定混凝土的後期強度，這在混凝土工程技術上是有很重大的意義的。

尤其是結合了我們中國目前在混凝土工程上存在的問題來看，這個快速測定新法在實用上的意義是更大的：

(一) 使用混凝土標號快速測定新法可以在短期內（根據 3 天及 7 天的強度）足夠準確地推算出混凝土後期的（90 天以內）強度。

(1) 根據所推算出的強度可以作為決定拆模及建築物開始受載荷日期的參考。

(2) 根據快速測定新法的應用，可以快速並足夠準確地決定水灰比及混凝土標號。

(3) 在氣溫高於或低於標準溫度（ $15^{\circ}-20^{\circ}\text{C}$ ）時，或在混凝土中用外加物（如混合材，快硬劑等）時，或用機械施工時（震搗等），或用特殊養護方法（蒸汽養護等）時，都可以用快速測定新法來推算混凝土的後期強度。

(二) 使用混凝土標號快速測定新法可以充分利用水泥強度，以達到節約水泥的目的。

(1) 由於我國現行生產的水泥每差一級標號，強度就相差 100 公斤/平方公分，如 400 號水泥，它的 28 天強度範圍是由 401 公斤/平方公分至 499 公斤/平方公分（硬練），所以如一律用標號 400 來進行混凝土的配合設計，在水泥強度上難免就有所浪費。應用本測定新法則可以充分利用水泥的超標號部分的強度，充分發揮水泥性能，因此減低了水泥的用量。

(2) 對水泥強度發生懷疑時（因受潮或貯存過久），可不通過水泥強度試驗，用本法直接配製混凝土，測定混凝土的強度，以避免盲目降低標號使用。

(三) 使用混凝土標號快速測定新法，可以使混凝土試驗能夠切實指導施工。

混凝土試驗工作在我國雖已逐步開展，但常因經驗少、施工前準備不夠、加以試驗日期較長，因此，試驗常落在應用的後面，等到混凝土 28 天強度出來時，可能有大部分的混凝土已澆置完畢，

發現強度偏高或偏低的情況已難於挽救，結果使試驗工作流於形式，失去指導作用。應用快速測定法後，即可迅速而及時的掌握混凝土品質，指導混凝土施工。

（四）使用混凝土標號快速測定新法，可以消除對多品種多標號水泥應用中的懷疑和顧慮。

在推廣多品種多標號水泥應用時，很多施工人員對摻混合材水泥的性能認識不足、缺乏使用經驗、不熟悉其強度發展的規律，因而常因某些水泥的顏色、凝固時間、早期強度等與普通水泥不同而產生懷疑。應用了快速測定新法後，即可準確地指示出各種水泥混凝土的強度發展規律以消釋施工人員的疑慮。

綜上所述，可知在短期中利用快速方法準確地測定混凝土的後期強度，在混凝土工程中是有很大的實用意義的，希望工程技術人員同志們，共同來研究推廣，以加速我國社會主義工業化的建設。

## 二、過去常用的混凝土標號測定方法及其缺點

### (一) 混凝土強度公式的討論

#### (1) 各種混凝土強度公式

混凝土強度理論公式最早是由俄國學者馬留加 (И. П. Мажуга) 教授所創立，他指出砂漿及混凝土的強度是決定於水灰比的大小，也就是說強度是水灰比的函數；用公式表示：

$$R_0 = f\left(\frac{B}{II}\right)$$

後來美國阿伯倫斯 (D. A. Abrams) 做了很多不同配合比及不同單位用水量的混凝土試驗，求得各種水灰比和混凝土強度的關係，用公式表示：

$$S = \frac{980}{7x}$$

式中：S 為混凝土 28 天耐壓強度

x 為水灰比（體積比）

這公式發表於 1918 年，發表後，採用的人很多。但是在這公式中強度只決定於水灰比一個因素，而實際上混凝土的強度尚受水泥的強度、石子的種類及施工方法等影響而變化，所以，在今天來講，這公式是遠不能滿足實際要求的。

在蘇聯，水泥是分標號的。這個先進的方法，在世界上現在還祇有蘇聯和人民民主國家採用，這對於水泥的生產和使用是有很大的優越性的。蘇聯應用的混凝土強度公式指出混凝土的強度是由水灰比和水泥強度兩個因素來決定的，也就是說混凝土強度是水灰比與水泥標號的函數；用公式表示：

$$R_0 = f\left(R_u, \frac{B}{II}\right)$$

蘇聯最常用的混凝土強度公式（也是我們現在常用的公式）是別爾也夫（Н. М. Беляев）公式，這公式除了水灰比和水泥標號外，還考慮到粗集料的種類，所以比阿伯倫斯公式是優越得多並且合理得多。

別爾也夫公式：

$$\text{碎石混凝土: } R_{28} = \frac{R_u}{3.5 \left( \frac{B}{II} \right)^{1.5}} \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{卵石混凝土: } R_{28} = \frac{R_u}{4 \left( \frac{B}{II} \right)^{1.5}} \dots\dots\dots (2)$$

由於別爾也夫公式在數學上是一近似雙曲線，在計算上比較麻煩，因此利用數學分析方法以二項式展開，可以得到以灰水比  $\left( \frac{II}{B} \right)$  代替水灰比  $\left( \frac{B}{II} \right)$  的簡化公式（註一）；使近似雙曲線的公式變為直線公式（註二）。這就得到了別爾也夫公式的簡化式也就是保羅米（Боломей）公式。因為保羅米公式計算較簡單，所以現在試驗室和現場都用它來代替別爾也夫公式。

保羅米公式：

$$\text{碎石混凝土: } R_{28} = 0.55 R_u \left( \frac{II}{B} - 0.5 \right) \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{卵石混凝土: } R_{28} = 0.50 R_u \left( \frac{II}{B} - 0.5 \right) \dots\dots\dots (4)$$

（註一）：簡化別爾也夫公式，用數學分析方法演算的理論根據如下：

$$\begin{aligned} R_{28} &= \frac{R_u}{A \left( \frac{B}{II} \right)^{1.5}} = \frac{R_u}{A} \left( \frac{B}{II} \right)^{-1.5} = \frac{R_u}{A} \left( \frac{II}{B} \right)^{\frac{3}{2}} \\ &= \frac{R_u}{A} \left[ Q + \frac{II - QB}{B} \right]^{\frac{3}{2}} = \frac{R_u Q^{\frac{3}{2}}}{A} \left[ 1 + \frac{II - QB}{QB} \right]^{\frac{3}{2}} \\ &= \frac{R_u Q^{\frac{3}{2}}}{A} \left[ 1 + \frac{3}{2} \cdot \frac{II - QB}{QB} + \frac{\frac{3}{2} \cdot \frac{1}{2}}{2} \left( \frac{II - QB}{QB} \right)^2 + \dots\dots\dots \right] \\ &= \frac{R_u Q^{\frac{3}{2}}}{A} \left[ 1 + \frac{3}{2} \cdot \frac{II}{QB} - \frac{3}{2} + \dots\dots\dots \right] \end{aligned}$$

$$= \frac{R_y Q^{\frac{3}{2}}}{A} \left[ \frac{5}{2} \cdot \frac{H}{QB} - \frac{1}{2} + \dots \right] \quad (\text{捨去以後各高次項})$$

$$= \frac{3R_y Q^{\frac{1}{2}}}{2A} \left[ \frac{H}{B} - \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{2} Q \right] = \frac{3R_y Q^{\frac{1}{2}}}{2A} \left[ \frac{H}{B} - \frac{Q}{3} \right]$$

如以  $Q = \frac{5}{2}$  代入，則可得到與保羅米公式極相似的公式，即：

$$R_{28} = 0.525 R_y \left( \frac{H}{B} - 0.5 \right) \quad (\text{碎石})$$

$$R_{28} = 0.46 R_y \left( \frac{H}{B} - 0.5 \right) \quad (\text{卵石})$$

式中：Q 為普遍式中的不定常數。

A 為別爾也夫公式中的常數，碎石混凝土為3.5，卵石混凝土為4.0。

上述的二項式，其收斂範圍為：

$$-1 < \frac{H - QB}{QB} < 1,$$

$$-1 < \frac{H - \frac{2}{3}B}{\frac{2}{3}B} < 1,$$

$$-1 < \frac{2H}{3B} - 1 < 1,$$

$$0 < \frac{2}{3} \cdot \frac{H}{B} < 2,$$

$$0 < \frac{H}{B} < 3,$$

$$\therefore \frac{B}{H} > \frac{1}{3}$$

即在應用此二項式展開時， $\frac{B}{H}$  須大於0.33。

〔註二〕：除用〔註一〕的數學分析方法來簡化別爾也夫公式外，我們還可以用解析幾何的觀點來導出簡化式。

我們可以選用一雙曲線公式來代替別爾也夫的近似雙曲線的公式：

$$R_{28} = \frac{K_1}{\frac{B}{H}} - K_2 \quad (\text{當水泥標號為一定時})$$

祇要妥選  $K_1$  及  $K_2$  的數值，就可以使上述的雙曲線和別爾也夫公式的曲線（近似雙曲線）非常接近。倘使我們更進一步以灰水比  $\left(\frac{H}{B}\right)$

來代替水灰比  $\left(\frac{B}{H}\right)$ ，則上述公式就可以變為直線公式。

爲了比較別爾也夫公式及其簡化式計算所得的結果有無很大的差別，我們可採用各種不同的水灰比來計算混凝土標號與水泥標號

的比值 $\left(\frac{R_{\delta}}{R_y}\right)$ ，如表1：

表 1 是在不同的水灰比下，用兩種公式計算的水泥強度與混凝土強度的比值比較表。

表 1

| B/II | 按公式計算的 $\frac{R_{\delta}}{R_y}$ 值 |         |         |         |
|------|-----------------------------------|---------|---------|---------|
|      | 別爾也夫公式                            |         | 保羅米公式   |         |
|      | (1)式~碎石                           | (2)式~卵石 | (3)式~碎石 | (4)式~卵石 |
| 0.4  | 1.120                             | 0.985   | 1.100   | 1.000   |
| 0.5  | 0.806                             | 0.705   | 0.825   | 0.750   |
| 0.6  | 0.614                             | 0.530   | 0.643   | 0.585   |
| 0.7  | 0.487                             | 0.427   | 0.511   | 0.464   |
| 0.8  | 0.394                             | 0.345   | 0.42    | 0.375   |
| 0.9  | 0.334                             | 0.293   | 0.335   | 0.305   |
| 1.0  | 0.286                             | 0.250   | 0.275   | 0.250   |

從上表可知用兩種公式計算的結果是很接近的。

(2)常用的別爾也夫公式及其簡式(保羅米公式)的準確性

別爾也夫公式及保羅米公式是根據當時生產的幾種水泥的混凝土試驗結果而歸納出來的，為便於應用曾加以數字上的修正；因此，用公式計算所得與實際強度試驗所得的結果是有差別的。下面是用實際試驗得出的強度值來和公式計算值相比較，說明在目前的情況下用公式計算的結果是有相當大的誤差的。

(i)蘇聯建築科學研究院(НИИ)用四種不同的矽酸鹽水泥、一種集料作了50種不同配合比(水灰比由0.4到0.9)及不同的流動性(坍落度由2公分到10公分)的混凝土試驗，所得的強度值與由公式計算得出的強度作比較，誤差範圍為：

公式(2)(別爾也夫)：由+29%~-31%

公式(4) (保羅米): 由 $+20\% \sim -34\%$

(ii)蘇聯工業建築中央科學研究院(ЦНИПС)混凝土試驗室用21種不同的矽酸鹽水泥作試驗, 結果所得的誤差範圍為:

公式(2) (別爾也夫): 由 $+38\% \sim -39\%$

公式(4) (保羅米): 由 $+22\% \sim -44\%$

如用不同的集料, 則誤差範圍更大。

(iii)根據我國重工業部建工局試驗所用七種不同矽酸鹽水泥, 每種以五個不同的水灰比(由 $0.5 \sim 1.0$ )、三種不同配合比、作混凝土試驗, 其結果和(2)、(4)兩式比較, 則公式的誤差範圍為:

公式(2) (別爾也夫): 由 $+28\% \sim -31.5\%$

公式(4) (保羅米): 由 $+23\% \sim -39.6\%$

從上面比較結果看來, 用公式計算所得結果與實際試驗所得的強度出入頗大, 誤差常在 $\pm 20 \sim \pm 30\%$ 以上, 約相當於混凝土標號一級之差。所以在今天已不能僅靠這兩種公式來較精確地計算混凝土標號了。

(3)產生誤差的原因:

別爾也夫教授創立這個經驗公式是在1927年, 距今已有二十多年, 在這二十多年中, 水泥生產及使用的技術, 已有很大的改變, 列舉如下:

(i)水泥性質及種類的變化: 水泥磨製得更細, 礦物組成的限度較前放寬, 並且在矽酸鹽水泥成份中加入了改變水泥強度及需水性的礦物質或有機質混合材。

(ii)混凝土製造、澆灌及搗實等方法的改進。

(iii)混凝土硬化的加速, 如提高養護溫度, 增加壓力(蒸氣養護, 壓蒸養護等)及加用化學快硬劑等。

此外還有水泥及混凝土技術規程的改進等。以上所述各種因素的改變, 使原有公式的適用範圍受到了限制。

## (二) 推算各齡期混凝土強度公式的討論

### (1) 過去所用的各齡期混凝土強度的推算公式

過去對混凝土強度的測定，係根據齡期來推測的。強度和齡期的關係，如用語言來表示：「各齡期混凝土強度的比等於其齡期的對數比」，如用公式來表示：

$$\frac{R_n}{R_a} = \frac{\lg n}{\lg a}$$

或  $R_n = R_a \frac{\lg n}{\lg a} \dots\dots\dots (5)$

$R_n$  = 推算所得的第  $n$  日的混凝土耐壓強度。

$R_a = a$  日齡期的混凝土經實際試驗所得的耐壓強度。

(5)式所代表的曲線是一對數曲線如(圖 1)這曲線的特徵是兩端部份係直線形式，中段係曲線，一端漸趨近於零，另一端趨近於常數(與橫軸平行)，這對數曲線的形式與混凝土強度發展規律是很相似的，所以是可能取來代表混凝土強度與齡期的關係的。

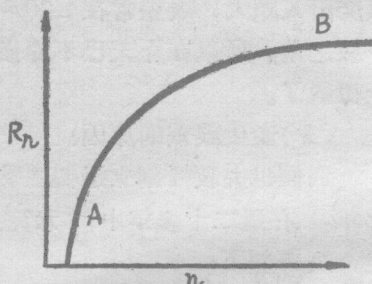


圖 1

在應用(5)式時，齡期  $n$  及  $a$  不得少於三天。如將(5)式繪成半對數曲線則得到一直線(圖 2)

### (2) 公式(5)的缺點：

按公式(5)

$$\frac{R_n}{R_a} = \frac{\lg n}{\lg a} = \text{常數。}$$

或  $\frac{R_a}{R_n} = \frac{\lg a}{\lg n} = \text{常數。}$

即混凝土前後兩個齡期的強度之比為一常數，等於其齡期對數之比值。例如：齡期  $n = 28$  日， $a = 7$  日，則  $\frac{\lg 28}{\lg 7} = \frac{\lg 28}{\lg 7} = 1.72$  或

$$\frac{\lg \alpha}{\lg n} = \frac{R_7}{R_{28}} = 0.58。 \text{ 利用公式(5)}$$

時即不管什麼混凝土 7 天強度恒為 28 天強度的 58%，如混凝土的 28 天強度為 200 公斤/平方公分，則 7 天強度為 116 公斤/平方公分。事實上，混凝土因水泥品種、水灰比、集料性質、澆注、搗實及養護方法、

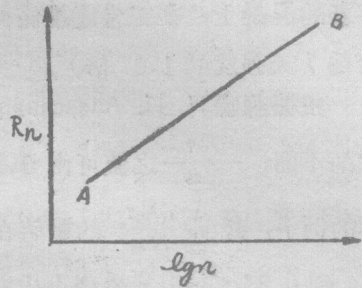


圖 2

溫度、加用外加劑等不同，而強度發展頗不一致，各種混凝土各齡期強度的比值不能是固定不變的一個常數。從下面圖 3 就可很清楚的看出：僅水泥和養護溫度的不同，混凝土強度的發展率就不同，

$\frac{R_7}{R_{28}}$  的比值也就不會一致。

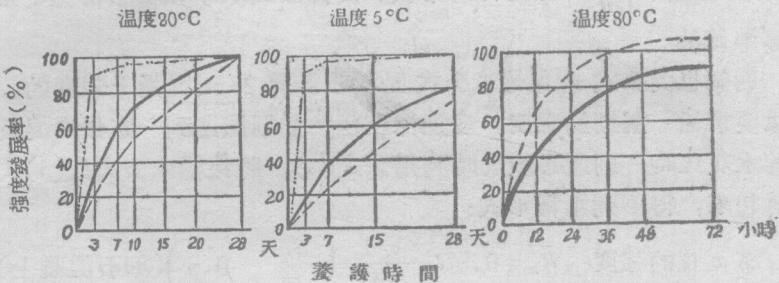


圖 3

——矽酸鹽水泥混凝土

-----礦渣水泥混凝土或其他摻混合材水泥混凝土

----高鋁水泥混凝土

(以矽酸鹽水泥混凝土的標號為 100%)

至於  $\frac{R_7}{R_{28}} = 0.58$  的比值，祇對中等標號的矽酸鹽水泥及中等品質的砂與卵石所做的混凝土才適用。我們目前對國產矽酸鹽水泥

拌製的混凝土，在正常養護條件下， $\frac{R_7}{R_{28}}$ 採用0.6（亦即28天強度為7天強度的1.67倍）。

根據蘇聯 И. П. Александрин 的記錄，同一種水泥，由於水灰比的不同， $\frac{R_7}{R_{28}}$ 之值可由0.33到0.63。又據 Л. Б. Митгарц 所舉的例子，說明 $\frac{R_7}{R_{28}}$ 的數值在用某幾種矽酸鹽水泥時波動範圍為0.4到0.85，在用某幾種火山灰水泥時為0.38到0.61。根據重工業部建工局試驗所用不同品種及標號的普通、礫渣、頁岩、壩壩、普通水泥加氣，普通水泥加黏土及燒黏土等十二種水泥的試驗記錄來統計， $\frac{R_7}{R_{28}}$ 比值一般由0.4到0.8，而低標號摻混合材水泥則可低達0.3，使用氯化鈣快硬劑則可高達0.9。由此更可證明 $\frac{R_a}{R_n}$ 不能是一個由 $\frac{\lg a}{\lg n}$ 計算而得的常數。因此公式(5)在很多情況下是不够準確的。

別爾也夫公式或保羅米公式是用來計算28天混凝土強度的。如果要求任一齡期的強度，或選擇在任一齡期能達到一定強度混凝土的水灰比時，則還必須同時利用公式(5)。將保羅米公式及(5)式合併起來，得下列兩種形式：

$$\text{第 } x \text{ 日的強度： } R_x = 0.5R_u \frac{\lg x}{\lg 28} \left( \frac{B}{A} - 0.5 \right) \text{ (卵石混凝土)}$$

在第  $x$  日希望達到一定強度  $R_x$  時，卵石混凝土所需的水灰比為：

$$\frac{B}{A} = \frac{R_u}{2R_x \frac{\lg 28}{\lg x} + 0.5R_u}$$

保羅米公式及(5)式，本身存在誤差，已如上述；因此根據上面兩個合併公式所計算得的混凝土強度或所選擇的水灰比，是不容易切合實際的。

### 三、新的混凝土標號測定方法及其優點

#### (一) 新測定法的理論根據和優點

過去測定混凝土標號的缺點，在於後一齡期的強度是僅根據前一齡期強度按一定比值計算而得，即利用公式(5)

$$R_n = R_a \frac{\lg n}{\lg a} = R_a \cdot K$$

得到前一齡期強度  $R_a$  後，以  $K$  值乘之，即可相繼求得以後任何齡期的混凝土強度，例如：14天，28天，60天，90天的強度 ( $R_{14}, R_{28}, R_{60}, R_{90}$ ) 可由7天的強度 ( $R_7$ ) 乘各常數 ( $K$ ) 得出：

$$R_{14} = R_7 \times 1.36 \quad \because K = \frac{\lg 14}{\lg 7} = \frac{1.146}{0.845} = 1.36$$

$$R_{28} = R_7 \times 1.72 \quad \because K = \frac{\lg 28}{\lg 7} = \frac{1.447}{0.845} = 1.72$$

$$R_{60} = R_7 \times 2.12 \quad \because K = \frac{\lg 60}{\lg 7} = \frac{1.779}{0.845} = 2.12$$

$$R_{90} = R_7 \times 2.32 \quad \because K = \frac{\lg 90}{\lg 7} = \frac{1.945}{0.845} = 2.32$$

實際上，混凝土後期強度 ( $R_n$ ) 是隨各種因素而變，已如前述。僅根據一個早期強度的數據來決定後期強度是很難準確的。新法係根據混凝土強度發展 (包括各種因素的影響在內) 的曲線，擇取二個早期強度來作為測定後期強度的根據，所以結果必然會準確得多。

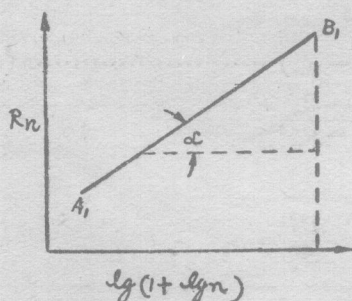


圖 4

前面已討論過混凝土強度的發展規律 (用強度和齡期的關係曲線來表示) 是接近於對數曲線的形式 (見