

# 混凝土质量控制译文集

王 世 威 等編譯

中国工业出版社

# 混凝土质量控制译文集

王世威等編譯

江苏工业学院图书馆  
藏书章

中国工业出版社

以概率論为基础，采用数理統計方法控制混凝土质量，是近二十年才发展起来的。本集收入的八篇文章基本上反映了国际上有关的研究和实践情况，可供施工、研究部門参考。試块的制作养护对控制混凝土质量密切相关，本书中也选譯了一篇，以引起有关单位重視。

本集由王世威、杜拱辰、郑法学、富文权、吳士毅、张淦光、李克明等同志分別参加翻譯或校訂工作。

本集可供建筑施工人員、科学研究人員、設計人員及高等中等院校有关专业的师生閱讀。

## 混凝土质量控制譯文集

王世威等編譯

\*

建筑工程部图书編輯部編輯(北京西郊百万庄)

中国工业出版社出版(北京佳林路丙10号)

北京市书刊出版业营业许可证出字第110号

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

\*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ ·印张 $5^{3/4}$ ·插頁1·字数136,000

1965年10月北京第一版·1965年10月北京第一次印刷

印数0001—2,850·定价(科五)0.85元

\*

統一书号: 15165·4095(建工-476)

## 譯 者 的 話

解放后，在党的正确领导下，工业与民用建筑有了飞跃的发展。現浇与預制的混凝土与鋼筋混凝土建筑工程按投資費用計，已占整个建筑工程費用的60~70%，而且这个比重还有逐漸上升的趋势。如就混凝土的絕對用量來說，更將随着国民經济的发展，而大量地增加。因此如何控制好混凝土的质量，对当前基本建設工作來說，有巨大的现实意义。

混凝土是当前建筑施工中主要的建筑材料之一，同时，又是建筑施工企业本身的一种产品。但是怎样的混凝土才算符合結構安全的需要，用怎样的方法控制和检查混凝土质量才能保証混凝土滿足結構安全的需要等問題，还没有取得一致的認識，它們是当前建筑設計和施工中极待解决的重要課題之一。

我們知道，要生产出符合质量要求的混凝土，必須制訂出科学的混凝土质量控制标准及其抽样檢驗方法；而科学的混凝土质量控制标准及其抽样檢驗方法，必須結合我国具体情况，总结各建筑施工企业的实践經驗，通过大量的統計、分析、研究工作，才能制訂成功。

以概率論为基础，采用数理統計控制混凝土质量的方法，是第二次世界大战以后才逐漸发展起来的。在这方面，国外已經进行了不少的研究和实践。美国 S. 华盖 (Walker) 于1944年，英国道路研究所于1955年 (第4号道路研究报告) 提出了以变異系数来控制混凝土施工級別的方法。1957年美国混凝土学会标准 ACI214-57 推荐了这类方法。但是，在后来，以标准离差控制施工級別的方法却得到了更多的研究者的推荐。英国 F. R. 希姆斯沃思 (Himsworth) 于1954年在英国水泥与混凝土协会“混凝土配合比設計与质量控制討論会”上提出了用标准离差控制混凝

#### IV

土施工級別的方法。1955年英国标准 FIRC 和 1956 年日本建筑学会标准 JASS 修正案都采用了这类方法。近年来,德意志民主共和国、意大利、新西兰,特别是瑞典、挪威等国家也都在杂志上推荐了用数理統計控制混凝土质量的方法。并且在具体方法上有所改进和簡化。

我們現在选譯八篇比較有代表性的文章供大家研究参考。究竟采用标准离差还是采用变異系数来控制混凝土的质量为佳的問題,目前尚有爭論。这些爭論在 A.M. 尼維尔 (Neville) 的文章及其討論的文章中反映出来。双方都用一些数据来闡明自己的观点。这将有助于我們更深入更全面地来分析研究混凝土质量控制的問題。此外,試块的制作养护对控制混凝土的质量密切相关,我們將国外比較新的有关資料选譯一篇于后,以引起大家对試块制作、养护和試驗的重視。

目前,我国从事混凝土試驗工作的人員很多。他們对混凝土的配制、試驗和质量控制的經驗是很丰富的。我們希望本书的出版,能對他們运用数理統計方法进行混凝土质量的統計分析工作有所幫助,为进一步制訂我国混凝土质量檢驗控制标准提出实施性方案,以便今后更有效地确保混凝土的施工质量。

由于譯者的水平所限,可能有譯錯的地方;同时由于閱讀的資料有限,可能有更好的文獻未能譯載。这是應該向讀者致歉的。

1964年8月16日

# 目 录

## 譯者的話

1. 数理統計在控制混凝土质量方面的应用  
..... ( 英国 ) F. R. 希姆斯沃思 ( 1 )
2. 現場浇搗混凝土的强度控制..... ( 日本 ) 龟田泰弘 ( 18 )
3. 現場混凝土抗压試驗結果的評定方法(ACI214-57)  
..... ( 美国 ) W. A. 柯顿 ( 69 )
4. 混凝土立方体試块的标准离差与平均强度之間的  
关系..... ( 英国 ) A. M. 尼維尔 ( 92 )
5. 对混凝土质量控制的意見..... ( 瑞典 ) B. 瓦里斯 ( 127 )
6. 混凝土强度标准的若干問題 ..... ( 苏联 ) K. 9. 塔利 ( 137 )
7. 怎样的混凝土才能滿足要求  
..... ( 美国 ) E. A. 阿 布顿-努尔 ( 144 )
8. 預制构件混凝土的质量控制  
..... ( 德意志民主共和国 ) W. 舒耳泽 W. 賴歌耳 ( 159 )
9. 对現場混凝土試块的取样、成型、养护与試驗方法  
的建議..... ( 挪威 ) I. 利塞 ( 172 )

# 1. 数理統計在控制混凝土质量方面的应用

(英国) F.R. 希姆斯沃思 (Himsworth)

混凝土的质量和任何其它材料一样不是匀质的。不同盘搅拌的混凝土即使在尽可能相同的条件下制作时，它的质量也是不一致的。例如有一些同一配合比的試块，尽可能保证材料的良好搅拌和使試块的制作养护条件相等。但观测到的試块强度，却不是相同的，并且可能有超过  $500 \text{ 磅/吋}^2$  ( $35 \text{ 公斤/厘米}^2$ ) 的变化幅度。如果使用第二种配合比，进行同样的制作和試驗，将出现同样的分布情况，同时它的平均值，将高于或低于第一次的配合比。認識这种相当大的变异性的存在，是很重要的；这不是操作失誤的結果（当然謹慎一些，变异性小一些），而必須認識这种现象是混凝土制作过程中客观存在的。混凝土好似鏈条一样，它的强度受最薄弱一个环节的控制。所以，结构中混凝土强度是受最弱部分的控制，而不是受混凝土平均强度的控制。所以一个安全的设计是根据可能达到的最低强度取值。数理統計学在混凝土设计中的重要贡献，在于估計給定的施工条件下强度变化的幅度，并用来推測可能預期的最低强度，作为设计强度的依据。

設有大量的，假定条件相等的試块进行試驗，强度分布的区間幅度可能为  $3000 \text{ 磅/吋}^2$  ( $210 \text{ 公斤/厘米}^2$ )，即距离平均强度为  $\pm 1500 \text{ 磅/吋}^2$  ( $105 \text{ 公斤/厘米}^2$ )。他們無論如何不是均匀分布在这个区間內的；大多数相当接近平均值，仅有少数偏离得較远。例如，50%的試驗結果，可能在平均值  $\pm 350 \text{ 磅/吋}^2$  ( $24.6 \text{ 公斤/厘米}^2$ ) 之間；90%在  $\pm 800 \text{ 磅/吋}^2$  ( $56 \text{ 公斤/厘米}^2$ ) 之間，仅1~2%可能超过  $1200 \text{ 磅/吋}^2$  ( $84 \text{ 公斤/厘米}^2$ )。如果以平均强度作为设计强度，則約有一半的混凝土低于设计强度，这显然是不够安全的。如果采用的设计强度比平均强度低  $350 \text{ 磅/吋}^2$  ( $24.6$

公斤/厘米<sup>2</sup>), 則將有25%的混凝土出現較低的強度; 如果採用比平均強度低800磅/吋<sup>2</sup> (56公斤/厘米<sup>2</sup>), 則有5%混凝土將出現較低的強度; 如果採用比平均強度低1200磅/吋<sup>2</sup> (84公斤/厘米<sup>2</sup>), 則大約僅有1%可能是較低的強度。所以以低於平均強度1200磅/吋<sup>2</sup> (84公斤/厘米<sup>2</sup>) 來設計結構將是合理的和安全的。當然上述數字, 僅指所列举的混凝土的离散情况而言; 而实际的离散情况, 可能是大一些的, 或者是小一些的。

在实际工作中, 混凝土强度将有如上述的变化。一般假定混凝土的强度, 是按所謂“正态”分布的, 并且实际上也非常接近这种情况。“标准离差”这个数量是方差的根 (見附录)。如果我們已知标准离差, 并且知道是正态分布, 我們就能計算出任何不同于平均值的数值出現的百分率, 其正負偏差是相等的。

表 1

| 离开平均值的偏差值除以标准离差 | 等于或大于这个偏差值的百分数 |
|-----------------|----------------|
| 0.5             | 62             |
| 1               | 32             |
| 1.5             | 13             |
| 2               | 5              |
| 2.33            | 2              |
| 2.5             | 1.2            |
| 3               | 0.3            |

取某些有代表性的数值, 如表 1 所示。表中数值表示任一方偏差的百分数。低于平均值的偏差数值, 只有半数。所以, 如果設計强度按低于平均强度 2.33 倍标准离差值采用时, 仅有 1% 的結果低于这个数值。一般习惯上是采用这个标准。在应用这个标准以前, 我們必須了解标准离差值是依每盘配制、攪拌、浇灌等操作控制程度而異的。标准离差可以用来核定质量控制水平。較低的标准离差数值, 表示控制良好。同时在一定的条件下, 可以获得一定的标准离差值。



表 2 汇集了一个月內303个試块的試驗結果。試块系同一配

混 凝 土 試 块 强 度

表 2

| 强 度 区 間 (磅/吋 <sup>2</sup> ) | 試 块 数 目 | 試 块 百 分 数 |
|-----------------------------|---------|-----------|
| 2000~2249                   | 7       | 2         |
| 2250~2499                   | 30      | 10        |
| 2500~2749                   | 50      | 16        |
| 2750~2999                   | 77      | 25        |
| 3000~3249                   | 53      | 18        |
| 3250~3499                   | 40      | 13        |
| 3500~3949                   | 35      | 12        |
| 3750~3999                   | 6       | 2         |
| 4000~4249                   | 3       | 1         |
| 4250~4499                   | 2       | 1         |
|                             | 303     | 100       |

試块数目

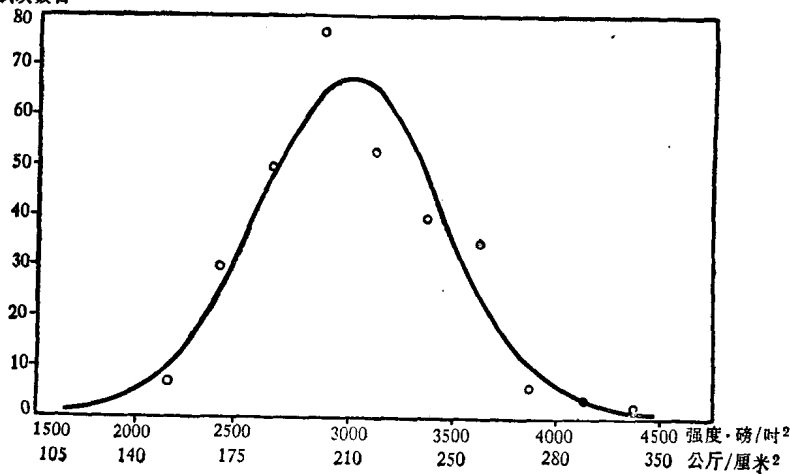


图 1 混凝土立方体試块强度分布

合比（体积比为1:2:4，坍落度1~2吋），平均强度为3005磅/吋<sup>2</sup>（210公斤/厘米<sup>2</sup>），标准离差为438磅/吋<sup>2</sup>（30公斤/厘米<sup>2</sup>）。

这些数值繪在图1上。这个曲线是一个正态曲线，与观测结果具有相同的平均值和标准离差值。点子表示实测数值。彼此間的协调相当好，并且証明我們假定試驗結果为正态分布时，将不致产生較大的誤差。

仅有1%的数值，可能落在 $3005 - 2.33 \times 438 = 3005 - 1021 = 1984$ 磅/吋<sup>2</sup>（140公斤/厘米<sup>2</sup>）以下。实际上在303个試块中，并没有一个試块低于这个数值，仅有7块距离这数值在200磅/吋<sup>2</sup>（14公斤/厘米<sup>2</sup>）以內。

或者要問“如果制作各种不同强度的混凝土，而质量控制的程度相同时，那么用以衡量的标准离差值是一样的嗎？”S.华盖（Walker）曾經假定：标准离差将随着混凝土标号的提高而增大。这个假定曾被后来的許多工作者所引用。实质上是說：标准离差与平均强度成比例，即一般所說的“变異系数”即  $\frac{\text{标准离差}}{\text{平均值}}$

的比值将是常数。但是从来没有数据支持这种假定。而实际具有的数据常是与此假定的情况相反——即不論平均强度如何，在各种条件相同的情况下，标准离差值是不变的。在理論上，这种假定在平均强度非常低的情况下是不对的；就极端情况来讲，如平均强度为0，标准离差亦将为0值。但是不知道在那一阶段时，这种情况开始转变。默篤克（Murdock）曾建議平均强度大于3000磅/吋<sup>2</sup>（210公斤/厘米<sup>2</sup>）时，标准离差是常数。对于較低的强度时，变異系数是常数。但是没有数据支持这个假定。而这个轉折点如果存在，可能是比平均强度低得多的数值。因此，除去强度非常低的混凝土外，我們可以安全地假定，标准离差与平均强度值无关。因此，过去假定变異系数为常数用来設計混凝土的方法是錯誤的，必須用以标准离差为常数的假定来代替。

設計混凝土时所謂“最低”强度，是指比平均强度低2.33倍标准离差的强度值。大約仅1%的試块强度低于这个数值。平均

强度值可用第4号道路研究报告<sup>(1)</sup>图1所繪制的曲线来估計;但不可能給出十分确切的数据,例如水泥的品质可能是变动的,但足以滿足实用的目的。标准离差必須根据过去的相同的控制經驗进行估計。在沒有过去經驗的时候,也可以使用現成表格中所指出相同的控制条件来推断。現成的数值是很少的,但是从实际上和理論上詳細分析提出来的数据,可以认为相当接近預期的数值<sup>(2)</sup>。表3給出标准离差值和乘以2.33倍的标准离差值。自計算平均强度减去这个数值,即給出設計結構时使用的最低强度。

表3最后一栏数字表示控制程度的数值。控制程度自“不良”到“很好”,平均强度可能减低1200磅/吋<sup>2</sup>(84公斤/厘米<sup>2</sup>),其結果則表現为水泥的节约。良好的控制水平,在經濟上是否有利的問題,是不容易分析的。但是大致的数值是平均强度降低1000磅/吋<sup>2</sup>(70公斤/厘米<sup>2</sup>),材料费用大致可以降低7½%,

对不同控制程度的混凝土标准离差值

表 3

|     | 控 制 程 度                | 标 准 离 差<br>(磅/吋 <sup>2</sup> )  | 2.33×标准离差 <sup>①</sup><br>(磅/吋 <sup>2</sup> ) |
|-----|------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------|
| 优 秀 | 严格监督和控制配合比,特别是水灰比      | 400<br>(28公斤/厘米 <sup>2</sup> )  | 930<br>(65公斤/厘米 <sup>2</sup> )                |
| 很 好 | 严格程度比“优秀”稍差,但仍然是高标准的监督 | 500<br>(35公斤/厘米 <sup>2</sup> )  | 1160<br>(82公斤/厘米 <sup>2</sup> )               |
| 良 好 | 适当的控制,但监督不够經常          | 600<br>(42公斤/厘米 <sup>2</sup> )  | 1400<br>(98公斤/厘米 <sup>2</sup> )               |
| 普 通 | 正常水平的良好工作              | 800<br>(56公斤/厘米 <sup>2</sup> )  | 1860<br>(130公斤/厘米 <sup>2</sup> )              |
| 不 良 | 很少或沒有监督                | 1000<br>(70公斤/厘米 <sup>2</sup> ) | 2300<br>(162公斤/厘米 <sup>2</sup> )              |
| 低 劣 | 不校正配合比,极低的水平           | 1200<br>(84公斤/厘米 <sup>2</sup> ) | 2790<br>(195公斤/厘米 <sup>2</sup> )              |

① 当控制条件稳定时,此栏±区間数值实际上将能包括所有試驗結果(理論上占98%),当然在配合比上不允許有任何較大的誤差。

即控制程度自“不良”到“很好”，將能降低約9%的材料費用，或粗估為每立方碼5先令。

當前通用的計算所需平均強度的方法，與本文推薦方法的差別是：推薦方法，不論平均強度的高低，平均強度與最低強度之差值是相同的（當然假定控制程度相同）。而通用方法是高平均強度時與最低強度的差值較大，即差值是與平均強度成比例的。如果變異系數是從觀測低強度混凝土求得的，其結果在計算高強度混凝土的平均強度時，平均強度與“最低”強度之差，將被擴大形成不需要的高平均強度。例如：假定平均強度為3000磅/吋<sup>2</sup>（210公斤/厘米<sup>2</sup>）時，標準離差為450磅/吋<sup>2</sup>（32公斤/厘米<sup>2</sup>），變異系數為15%。要求推算最低強度為6000磅/吋<sup>2</sup>（420公斤/厘米<sup>2</sup>）時的平均強度。推薦方法給出的平均強度為 $6000 + 2.33 \times 450 = 7050$ 磅/吋<sup>2</sup>（495公斤/厘米<sup>2</sup>）。通用方法將給出9230磅/吋<sup>2</sup>（650公斤/厘米<sup>2</sup>），這就高得多了，也說明是不切實際的。

以上各節沒有介紹如何實現良好控制的經驗。因為這不是一個統計的問題，在其它論文中已經作了充分的敘述。在這一方面常常有人認為重量比優於體積比，但並不完全如此。如果適當的稱量，重量比可以給予集料水泥比以良好的控制。如果含水量是不變的，或者每盤都能夠精確的衡量，則水灰比的控制，也將是良好的。但是一般情況下，甚至非常小心地按堆取用集料，在盤與盤之間，含水量的變化是十分明顯的；並且目前還沒有方法相當快速準確的調整每一盤的加水量來保持水灰比不變。雖然非常注意集料的稱量，還必須使攪拌機附有一定的加水裝置來保證必要的和易性。一個有經驗和細心的人，能夠保持和易性在相當接近的限度以內，但難以保持水灰比的穩定。而水灰比的變化表明，將引起混凝土強度嚴重的變化和引起和易性明顯的變化。換句話說，和易性可以說是相當靈敏的水灰比指標，可以用眼睛判斷或用為這種目的而制作的量具來判斷，這樣就可以做到相當良好的控制來避免嚴重的強度變化。如果充分注意操作，採用體積比的結果——包括砂子也用體積——可以得到與重量比同樣可

靠的匀质的混凝土强度。在一次对比試驗的实践中証明：用体积比的混凝土按正常的規程操作，但是对集料的計量是相当粗糙的，經過一个月的周期，得出的标准离差是438 磅/吋<sup>2</sup>（31公斤/厘米<sup>2</sup>），代表了一个高标准的控制水平。在同一基地又作了重量比試驗，在50盘中得出的平均强度为2912 磅/吋<sup>2</sup>（205公斤/厘米<sup>2</sup>），标准离差为410磅/吋<sup>2</sup>（29公斤/厘米<sup>2</sup>）。观察重量比的标准离差，仅稍低于体积比，但差别是如此之小，可以略而不計。其它的一些比較試驗，也得出极为近似的結果。因此，通过这些試驗，我們不能得出重量比可以获得較高的匀质性的結論。当然，另外有些人还說，采用重量比是有一定优越性的。

对于施工者來說，要通过表3来判断他可能期望达到的标准离差，是不容易的。在这方面最好通过对每个工程进行有規律的强度試驗，并計算其平均强度和标准离差值来求得基本的数据。进行大量的試驗是不必要的。因为这些試驗結果，可以从許多工程上搜集来而加以綜合。这样做可以达到双重的目的：它可以考核当前的施工质量，并能提供将来設計要求数据的基础。每天有儿組試块，就能够提供足够的数据来对标准离差进行良好的估計。为了降低标准离差而变更操作条件时，很快就可以从常規的試驗中指出是否达到了目的。

等到上述基本指标求出以后，就可以使用表3的数据。但是开始必先采取保留的态度。因为小于600 磅/吋<sup>2</sup>（42公斤/厘米<sup>2</sup>）的数值，未必能够做到。所以，除非作为校核控制的标准离差值已經求出以外，保險一些可自800磅/吋<sup>2</sup>（56公斤/厘米<sup>2</sup>）开始。仅在实践中結果已經証实能做到較低的标准离差值时，才能降低拌合物中水泥的含量。

### 平均值和标准离差的变化

必須認識“理想的”混凝土試块强度的变动是十分大的，所以若干試块的平均值，不能視為眞值。例如，在一盘混凝土中制取20个試块，任意分为10块一組的两組，算出这两組平均值，将

不会相等。这种差别不能反映这两组混凝土中有任何真实的差别，这仅是机遇的效应。例如，20个试验的结果如下：

| 强 度 (250磅/吋 <sup>2</sup> 范围) | 试 块 数 目 |
|------------------------------|---------|
| 2500                         | 3       |
| 2750                         | 2       |
| 3000                         | 5       |
| 3250                         | 7       |
| 3500                         | 2       |
| 3750                         | 1       |

如果这些试块任意区分为10块一组的两组，这两组的平均值可以几乎相同。但假如一组包含有10块最弱的，而另一组包含10块最强的，则可能差到525磅/吋<sup>2</sup> (37公斤/厘米<sup>2</sup>)之多。当然这种极端的情况是不可能的，但是差几百磅是十分可能的。换句话说，10个试块的平均值，甚至在非常注意的标准条件下，也是不稳定的。这就是说，在重复试验下，也不能经常得出相同的平均值。但是这种平均值的变动，无论如何低于单个试块的变动，试块数目愈多，则求得出的平均值的变动愈小（倘若条件保持稳定）。我们现在可以谈一谈混凝土平均强度的真值问题。一次试验结果，仅能给出真值的粗略概念；10个试块的平均强度，给出较好的估计；100个试块给出更好的估计等等。为了表明平均值精确程度的改善，假如混凝土强度的标准离差值是600磅/吋<sup>2</sup> (42公斤/厘米<sup>2</sup>)。单个试块离开平均强度真值的差别，可以达到  $\pm 2 \times 600 = \pm 1200$  磅/吋<sup>2</sup> (84公斤/厘米<sup>2</sup>)。对于10个试块的平均值，与一个试块的强度值一样，也是一个变动的数值。但是它的变动较小，实际上它的标准离差是  $600/\sqrt{10} = 189$  磅/吋<sup>2</sup> (14公斤/厘米<sup>2</sup>)。它可能离开真值的差别可能达到  $\pm 2 \times 189 = 378$  磅/吋<sup>2</sup> (26.6公斤/厘米<sup>2</sup>)。同样，100个试块平均值的标准离差是  $600/\sqrt{100} = 60$  磅/吋<sup>2</sup> (4.2公斤/厘米<sup>2</sup>)，则变动的幅度可取为  $\pm 2 \times 60 = \pm 120$  磅/吋<sup>2</sup> (8.4公斤/厘米<sup>2</sup>) [\*我们取  $\pm 2 \times$  标准

离差做为变动的幅度并不完全正确，实际的变动幅度还要大一些，超出的机会是二十分之一]。

因此，相当数目试块的平均值比一个试块能更精确地估计真平均值，但其間仍存在着相当大的变动幅度。两个平均值差100或200磅/吋<sup>2</sup>（15公斤/厘米<sup>2</sup>），不能认为所表示的混凝土强度有实质的差别。它們可能仅由于抽样机会上的差别而表示同一个真值。同样，基于上述理由，报导一个试块的强度或几十个试块，甚至几百个试块强度的平均值，精确到1磅/吋<sup>2</sup>或甚至是10磅/吋<sup>2</sup>（0.7公斤/厘米<sup>2</sup>）是无意义的。因为变动幅度肯定有100或是几百磅/吋<sup>2</sup>。如果用100磅/吋<sup>2</sup>（7公斤/厘米<sup>2</sup>）作为强度单位，所有记录结果都接近于100磅/吋<sup>2</sup>，事实上不会有什么差错的。

也可借同样理由来估算标准离差。用小子样估算的不准确程度是相当大的。例如：标准离差的真值为600磅/吋<sup>2</sup>（42公斤/厘米<sup>2</sup>），与求平均值一样，用10个试验结果的估算值来表达，它可能位于416~1200磅/吋<sup>2</sup>（29~84公斤/厘米<sup>2</sup>）的区间。很明显，用10个试块估计的基础来做为控制标准是不够的（虽然它可以做为校核控制）。对于相当于100个试块的区间是526~700磅/吋<sup>2</sup>（37~49公斤/厘米<sup>2</sup>），这是比较合理的。对于1000个试块区间将为575~628磅/吋<sup>2</sup>（40~44公斤/厘米<sup>2</sup>）。除非有几百个试验结果，不然就没有理由肯定已达到了要求的控制程度。没有几百个试验结果，也不能对变动生产程序所引起的改善效果下结论。

估算标准离差时，变化幅度是相当大的，也是不可避免的。但用标准离差值衡量变化是最为有效的方法。用极差方法衡量变化时，即使用较多的试验结果也只能获得相同的精确度。

这一点是十分明确的，就是如果没有相当数量的试验，要对平均强度，特别是标准离差作出可靠的估计是不可能的。但是，可以通过几个月期间对现场正规的试块试验来逐渐积累这种资料。另一方面，一旦做出这种估计，就能很方便地通过每天试验几个试块的方法来校核操作质量。例如采用质量控制图的办法。质量控制图不能侦察出对正常控制下的偶然小偏差——如标准离差的

小量增加——但是能够查出重大的变化，或持續的小变化。

### 几种变化来源的综合效应

假定混凝土的强度受几种——简化起见，为两种——变化来源的影响：如水泥质量的变化和配合搅拌的误差。如果水泥质量是绝对均匀的，则混凝土强度的变化，将完全由于配合搅拌误差所致；设此时与强度变化相应的标准离差为 $S_1$ （方差 $V_1$ ）。如果，另一方面，配合搅拌上没有误差，则强度的变化，将完全由于水泥强度变化所致；设此时与强度变化相应的标准离差为 $S_2$ （方差 $V_2$ ）。如果这两个因素同时作用而使强度所有变化，这时标准离差的结果将是如何呢？这将不是一般所想象的为 $S_1$ 与 $S_2$ 之和。它将是方差之和而取其平方根。

$$V = V_1 + V_2 \quad (1)$$

或 
$$S = \sqrt{S_1^2 + S_2^2} \quad (2)$$

将标准离差相加，则会估计过高，对两种变化来源来说，将比综合标准离差高出40%（如 $S_1 = S_2 = 1$ ， $S_1 + S_2 = 2$ ，而 $\sqrt{S_1^2 + S_2^2} = 1.4$ ）。公式（1）和（2）可以扩大到任何数目的不同变化来源。如将多数标准离差相加，则误差将远超过两种来源所造成的误差。

同样的原则可以用在综合变动上。在运用时，可以用若干标准离差平方和的平方根来求得综合标准离差值。

有时也可以进行逆演算。如果综合标准离差值已知，所有个别标准离差除一个以外，也已知道，则未知数可以如下方式估出：

$$S_1^2 = S^2 - (S_2^2 + S_3^2 + \dots) \quad (3)$$

而不是 
$$S_1 = S - (S_2 + S_3 + \dots)$$

上述错误算法经常用来分析使混凝土强度发生变化的若干因素的相对重要性。这样将得出谬误的结论。例如，有四个独立的因素，如果其中三个因素的标准离差及综合标准离差值为已知，第四个可以用下式求得：



$$S_4 = \sqrt{S^2 - S_1^2 - S_2^2 - S_3^2} \quad (4)$$

設  $S = 800$ , 和  $S_1 = S_2 = S_3 = 300$   
 于是:  $S_4^2 = 640000 - 3(90000) = 370000$   
 $\therefore S_4 = 610$

錯誤的方法將給出:

$$S_4 = 800 - 3(300) = -100$$

这是不可能的。

上述原則适用于彼此之間独立作用的变化因素。例如以水泥质量变动与配合搅拌的誤差为例: 当在某一盘中使用质量比平均质量略高的水泥, 这对配合搅拌所造成的誤差并无影响。水灰比可能比平均略高一些或低一些, 而使得强度值比平均要低一些或高一些。所以这些变化的因素是独立的。如果把所有各盘都調整到相同的和易性, 則集料水泥比与水灰比将不是独立的, 而是相关变化的因素。高集料水泥比将导致最高的水灰比, 因为要求增加額外数量的水来調整和易性。

如果振搗、养护等工作能够正常进行, 則引起混凝土强度变化的主要因素是:

配合搅拌的誤差 (特别是水灰比的变化);  
 水泥质量的誤差;  
 試驗的誤差;

这些誤差可以視為是相互独立作用的。

試驗誤差必須包括在內。因为在測定混凝土試块强度时, 誤差是不可避免的。

在文献中曾經提到水泥质量的变化占混凝土試块强度綜合变化的50%, 这种說法引用了上述不正确的方法来分析全部綜合变化的。例如, 格兰哈姆 (Graham) 和馬丁 (Martin)<sup>(3)</sup> 根据在海斯洛 (Heathrow) 数月期間試驗結果, 曾提到水泥品质变化估占28天試块强度 (平均5700磅/吋<sup>2</sup> (40公斤/厘米<sup>2</sup>)) 变化的48%。这些数据通过数理統計分析, 并根据三种主要变化因素的标准离差估算如下: