

混凝土用砂

C. C. 高尔顿 著

建筑工业出版社

混 凝 土 用 砂

徐 俊 培 譯

建 筑 工 程 出 版 社 出 版

• 1 9 6 0 •

內容提要 混凝土用砂的数量逐年在增加，其用量常以千百萬立方米計。砂对混凝土的水泥用量、强度及抗冻性均有很大的影响。使用未經加工的天然砂往往是很不經濟的。因此，正确地評定用于混凝土的天然砂的适用性、选择砂的洗选方法、設計使用該种砂的混凝土的最經濟的配合比等等，都是极为重要的問題。

本書根据作者的試驗研究及文献資料的分析，对上述諸問題作了探討。其中大部分試驗工作是在全苏鋼筋混凝土科學研究院混凝土試驗室进行的。

本書可供装配式鋼筋混凝土工业、建筑工业及非金屬材料工业的工程师以及科学工作者和高等学校的 教师和学生閱讀。

原本說明

書 名 ПЕСКИ ДЛЯ БЕТОНОВ

著 者 С. С. Гордон

出版者 Государственное издательство литературы по строительным материалам

出版地点 及 年份 Москва-1957

混 凝 土 用 砂

徐俊培 譯

1960年2月第1版

1960年2月第1次印刷

4,200張

850×1168¹/₃₂ • 100千字 • 印張 3¹⁸/₁₆ • 定价 (10) 0.57元

建筑工程出版社印刷厂印刷 • 新华書店发行 • 書号: 1771

建筑工程出版社出版 (北京市西郊百万庄)

(北京市書刊出版业營業許可証出字第052号)

目 录

第一章 砂在混凝土结构中的作用

1. 混凝土结构和混凝土拌合料的特性 (1)
2. 集料的作用 (2)
3. 混凝土的强度 (7)
4. 砂在混凝土经济中的作用 (9)

第二章 天然砂及人工砂的种类

1. 天然砂的成因、分类及矿物组成 (11)
2. 砂的沉积的特点 (15)
3. 某些砂的性质 (24)
4. 砂的试验和研究方法 (31)
5. 人工砂 (33)

第三章 砂对混凝土的一些性能和参数的影响

1. 砂的级配的影响 (34)
2. 砂的特性和砂在集料混合物中的份数的影响 (40)
3. 砂中极细和细小粒级的作用 (58)
4. 砂的性质对混凝土强度的影响 (62)
5. 砂对混凝土抗冻性、不透水性和收缩的影响 (74)
6. 天然细砂和磨碎细砂在混凝土中的应用 (78)

第四章 混凝土用砂的质量的评定

1. 砂的级配 (81)
2. 砂的粒度模量 (85)
3. 砂的空隙率 (88)
4. 根据砂的粒度模量和空隙率的系数来评定砂 (89)
5. 砂的比表面积和颗粒形状 (90)

6.砂中各种杂质的含量	(93)
7.砂的抗冻性	(95)
8.一定种类的砂制成的砂浆和混凝土拌合料的需水量	(96)
9.砂在砂浆中的试验	(100)
10.砂在混凝土中的试验	(104)

第五章 对砂的要求以及砂的洗选

1.对砂的要求	(107)
2.天然砂的洗选	(108)
结 语	(120)

第一章 砂在混凝土結構中的作用

1. 混凝土結構和混凝土拌合料的特性

混凝土是一种人造石材，其中含有粗集料（碎石或礫石）、細集料（砂）和水泥石，水泥石包圍着集料顆粒并和它們形成一個整体的結構。

通常对硬化了的混凝土有一系列的要求，在每种情况下所要求的具体項目視混凝土或鋼筋混凝土結構的用途而定。主要的要求有：混凝土的抗压和抗拉强度、变形能力、对外界侵蝕性介質和气候变化的耐久性等。

混凝土的粗視結構及其水泥石的显微結構各不相同。在这儿只研究混凝土的粗視結構，它取决于上述混凝土粗視結構的三种組成的空間位置。

混凝土中水泥浆（水泥和水）愈多，則砂粒分开得愈远（一般在20~100微米之間或更远），邻近砂粒的直接接触（能使混凝土結構恶化）的可能性也就愈小。混凝土中砂浆（水泥、水和砂）愈多，則礫石或碎石块分开得愈远（通常为2~5毫米或更远），当分开到一定限度，就能对混凝土結構起积极的作用。

集料表面与水泥石間的粘結程度具有重大的意义。通常粘結的程度視很多因素而定，其中主要的有：集料的品种和表面特性、水泥品种和粉磨細度、混凝土拌合料的干硬度（流动性）、混凝土結構的大小、搗固混凝土的方法、混凝土的硬化制度等因素。在混凝土工艺学中很少研究过這個問題，不过一般認為，表面凹凸粗糙、棱角狀顆粒的集料与水泥石的結合，較之表面光滑的集料更为牢固。至于集料品种本身对集料和水泥石的粘結程度有什么影响，目前尚一无所知。

混凝土拌合料的工艺特性，如：干硬度（流动性）、分层强度（粘结性）及和易性等都决定于拌合料的配合比。混凝土拌合料的各种特性取决于其中碎石（礫石）、砂、水泥、水及各种附加物的含量，这些组成的特性和拌合料的搅拌方法以及砂粒被水泥浆撥开的程度和礫石块（碎石）被砂浆撥开的程度。

2. 集料的作用

集料的主要作用在于能够大大地降低混凝土的水泥用量，其重要性在于：首先，可以用更便宜的、不需要費大批燃料煅燒的地方性材料来代替水泥。其次，当水灰比不变时，降低混凝土中的水泥用量，能够提高混凝土对各种侵蚀作用的耐久性，能够降低大块结构收缩开裂的程度。在钢筋混凝土制件进行热处理时，則能减小水泥放热的有害影响。

同时，在混凝土中加入集料，使得混凝土结构內形成大量的水泥石与集料表面較弱的結合部分，因而能够削弱混凝土的强度并降低其耐久性。

由实践和研究判明，在許多情况下，水泥石与集料的結合处是混凝土结构中最弱的地方。在用坚固集料制成的标号达 200~300 号的混凝土中，当其破坏时，露出許多特有的凹巢。因为这些凹巢中曾含有集料顆粒，所以它們的形状和特点完全和集料顆粒相同。

研究表明：由水泥石中分离出来的集料，大部分表面始終沒有发现水泥石的痕迹（图 1）。这就表明，集料这部分表面与水泥石几乎完全沒有真正的物理性結合（胶結）。

在砂粒表面与水泥石的結合处，也可以发现同样的情况，混凝土破坏时，在断裂面上露出很多砂粒窩的凹巢。通常在配筋的混凝土中也发现类似的现象：鋼筋可以比較容易地由断裂面与混凝土分开，因而往往在混凝土中留下光滑的沟槽。

图 2 中所示为从矿渣波特兰水泥配制的砂浆中分出来的花岗岩碎石的表面的情形。可以看到水泥石殘留物呈各种小条紋（沿

着花崗岩的粒状特性輪廓)和各种不同形状的斑点。

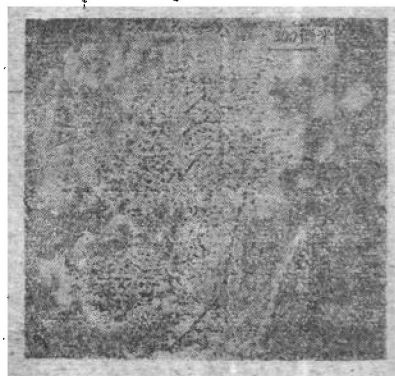


图 1 花崗岩碎石的部分表面
(放大32×)

1—花崗石表面; 2—一条紋及斑点
状的水泥石殘留物

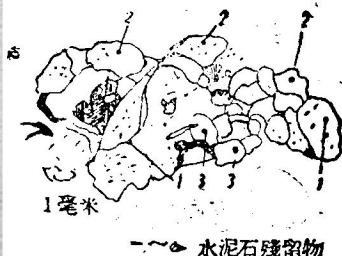


图 2 花崗岩碎石的部分表面
(放大20×)

1—深窩; 2—石英顆粒;
3—長石顆粒

在另一种情况下, 这些水泥石殘留物的分布会非常准确地表现出花崗岩台阶状和粒状的表面(图3)。已经发现, 在許多情况下, 断裂面处在集料表面上, 沿着劈开面垂下的台阶的阶梯, 分布着水泥石的条紋(图4)。特别是在云母表面上, 因为它和水泥石几乎没有什么粘結力, 故常常发现上述現象(图5)。

集料表面和水泥石間粘結力的微弱可以用很多理由来解釋。其中包括: 集料表面上有障碍物(灰尘、水膜、极薄的油膜)存在、集料和水泥石之間不良的亲合力, 或集料表面上有容易脱落的、厚数微

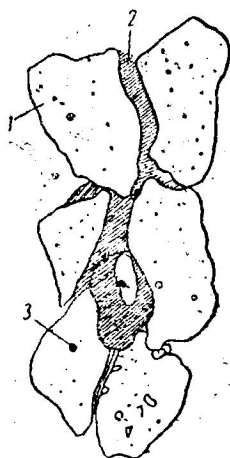


图 3 花崗岩碎石具有阶梯状特点的部分表面(放大20×)

1—花崗石表面; 2—水泥石; 3—
数微米大小的水泥石“斑点”

米的薄壳(在混凝土断裂面上集料形成的凹巢中成薄层状)等等。

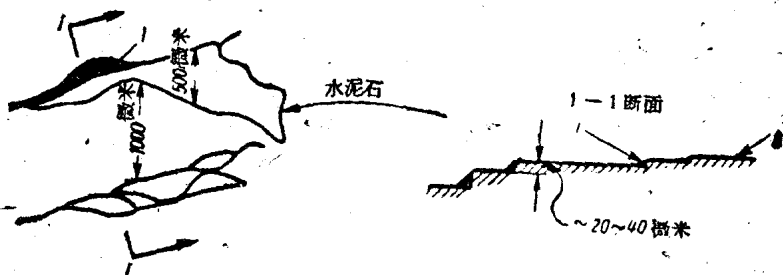


图 4 沿着垂下的劈开面台阶的阶梯的水泥石条纹的特征状态

1—水泥石；2—没有水泥石“斑点”的纯净表面

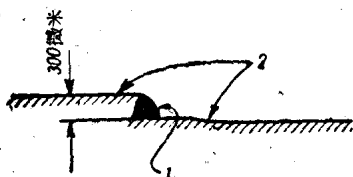


图 5 云母表面

1—水泥石(破坏处)；2—
纯净云母表面(台阶)

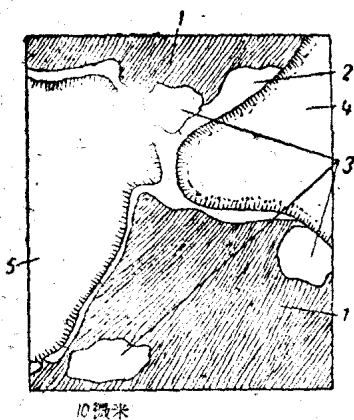


图 6 混凝土的显微镜照片

1—黑色的胶；2—多孔透明的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 结晶物质；3—孔；4—石英；5—长石

粘結力微弱的最主要原因在于水泥石新生成物与集料表面間的不完整的“胶結”，这是由于水泥石特殊变化而形成裂縫(收縮裂縫、溫度裂縫等)的結果。在显微镜下观察混凝土的样片时，勃隆和卡尔松发现了沿着砂粒(一粒石英为200微米，一粒长石为400微米)表面的特有縫隙，其中填满了多孔而光亮的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 結晶物质(图6)。这些石灰結晶体是混凝土结构中次生的新生成物，它們逐漸填满这些縫隙，但却很少提高集料表面与水泥石的粘結程度，这在許多研究中已得到証实。

作者曾按照下述方法进行專門的試驗来研究水泥石和砂粒粘結的结构。

从刷子上将波特兰水泥粉抖落在洗净后用水蘸湿的承物玻璃片上,部分水泥粉即在薄水膜上形成漂浮的结构。此种膜上水泥颗粒包裹物的密实性相当于水灰比 $\approx 0.4 \sim 0.5$ 的水泥本身的空間包裹物的密实性。然后,将几顆細砂粒放到玻璃片上。为了保持样片的潮湿状态,将滤紙的一端固定在玻璃片上,另一端则放入置于一定高度的盛水容器內。就这样,可以在潮湿状态下将样片保持一个月。为了观察水泥石漂浮薄片(它在任何时候都不会沉沒)和砂粒表面的粘結情况,砂粒大小的选择应该能使得顆粒的一部分突出在水面上。水泥石的漂浮薄片能够按着水的弯月面而弯曲起来,并且仿佛爬上了砂粒表面的突出部分。硬化了一晝夜的样片如图7,硬化了20晝夜的样片如图8。在样片上可以明显地看出特有的縫隙(收缩生成的裂縫);也可以看出水泥石和砂表面直接粘結的部分。

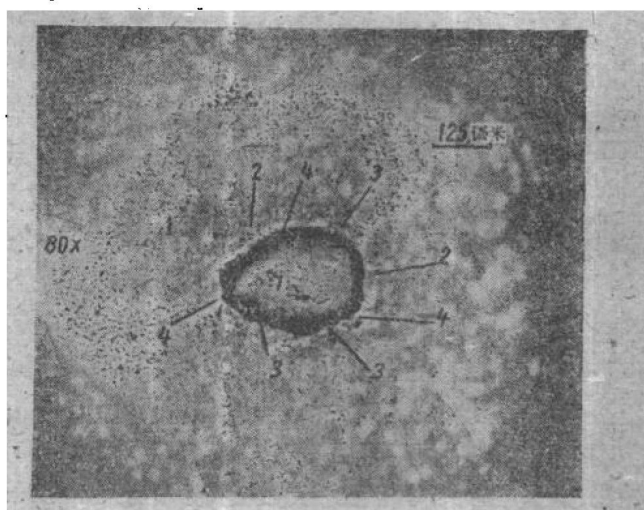


图7 一晝夜龄期时水泥石和砂粒的粘結情况(放大80 $\times$)

- 1—砂粒; 2—水泥石(浮游薄膜); 3—水泥石和砂表面的結合处;
4—破裂縫隙

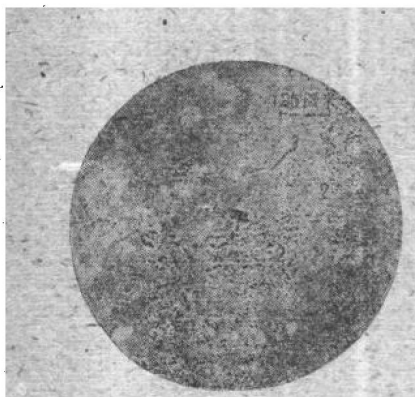


图 8 20昼夜龄期时水泥石和砂粒的粘結情况 (放大80×)

1—砂粒(石英); 2—破裂縫隙;
3—水泥石(浮游薄膜)

这些試驗可以在一定程度上証实:在水泥石和砂粒的某些粘結处有許多縫隙生成。

縫隙不仅能够在水泥石硬化时生成,而且在混凝土澆筑的过程中,由于混凝土拌合料的不均匀沉降,在碎石(礫石)块和砂粒的底面下,也能形成充滿着水的縫隙。縫隙数量的多寡取决于很多因素;这里不詳細来談这个問題,但必須指出:这些縫隙对于流动的

混凝土拌合料和低流动度的混凝土拌合料实际上起着不良的作用(对于硬性混凝土沒有不良的作用)。可見,混凝土在一开始就被很多縫隙所穿透,尽管在硬化过程中固相体积不断增加,但縫隙和各种性質的空洞数量却也不断增加。

由上述可見,集料除了对混凝土的生产有好的作用而外(在1立方米混凝土中,集料約可代替700升水泥淨浆),由于它和水泥石形成微弱的結合,故对混凝土結構还起着一定的不良影响,即令使用冲洗干净的集料时,也发现有这种微弱的結合存在。

采用各种提高集料表面与水泥石粘結能力的方法,就可以部分避免集料对混凝土結構的不良影响。因为不預备涉及到現在还研究得很少的混凝土工艺中的这个重要問題,所以这里仅提出个别提高粘結能力的方法。

如果使砂表面变成活性的表面(能和水泥石液相起作用),則可以大大地加强粘結能力;葛倫在水泥砂砂浆中用破碎后的水泥熟料代替石英砂后,水泥石一月龄期的强度即几乎提高了两倍。

我們由实践也可以知道,用表面粗糙特别是表面多孔的坚固集料来代替表面光滑的坚固集料时,混凝土的强度也能够提高,

不过提高得很少罢了。集料的多孔表面能够吸收水分，减少縫隙的数量并提高結合的密实程度。

根据B. B. 奥辛的資料，A. B. 瓦西里耶夫曾用比重1.19的盐酸将石英砂处理半小时，然后将砂洗净至HCl阴离子消失。处理过的砂具有吸附石灰的特性，砂粒能够膨胀并粘在一起。A. B. 瓦西里耶夫認為：处理过的砂表面变成了活性的表面，与石灰作用时能够生成水化矽酸鈣，并且这一反应能够長期地进行。

但是，应顧計到：包括砂在內，集料表面的活性并非永远是有利的因素。由实践可以清楚地知道，具有活性表面的蛋白石型的天然集料，其表面能和水泥石中的硷起作用，并且使該区域的渗透压力急剧地加大，以致有时使得混凝土遭受破坏。在西杰列尔的实验中，以含1.16% Na_2O 和0.04% K_2O 的水泥和活性的砂（三种砂）制成的水泥-砂試件，依砂的活性不同，分別剧烈地膨胀了0.27~0.54%。在砂浆中掺入氯化鈣，則能使上述膨胀益形增加（增加30%）。

为了避免这种危险的膨胀，凡使用上述活性的砂时，都必须采用 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 含量低于0.6%的水泥。

3. 混凝土的强度

混凝土的工艺特点在于：在大多数情况下，由很高强度（1000~2000公斤/平方厘米）的石状物料（天然的粗細集料和人工的水泥熟料）制得强度为100~140公斤/平方厘米的混凝土，亦即混凝土强度要較石状物料的强度小好几倍。混凝土强度低的主要原因在于混凝土结构中所含的固体組分（碎石块、砂粒和水泥石结构）的不良的結合，这在第一章第2节中已有簡單的叙述。

在自然界中可以遇到各个固体組分很牢固地結合的許多例子，例如砂岩。

现在，还没有出現能够透彻解釋混凝土破坏过程的实質的混凝土强度方面的全面的研究理論。但是，或多或少牽涉到这个問題各个方面的工作已經做了很多。

已經判明，当混凝土受到軸向挤压載荷时，其破坏是沿着橫向作用力的方向发生破裂的。

破裂面是沿着粗細集料和水泥石的接触处、沿着水泥石本身和集料顆粒（在其破裂时）内部发生。

破裂面三个組分中哪一个占优势，决定于水泥石的强度、集料的强度、混凝土的結構、所有这些組分的变形能力及其它許多原因。

混凝土的破坏是粗視裂縫和显微裂縫发展的結果，因为这些裂縫会逐渐形成穿通的表面，并使得混凝土分裂。如上面所述，混凝土中一开始就存在有許多粗視裂縫。而在交变載荷下，粗視裂縫能够发展并重新形成。

認為混凝土的裂縫、縫隙和結構的其他許多缺陷只是在很大的載荷作用下才发生，这是錯誤的。而是已有的裂縫和縫隙后来扩大的，当然也就促进形成新的、附加的破裂表面。波崗（1934年）、P. 奇尔查格（1945年）、米尔克里、波爱尔沙等人，其中包括作者在內的許多工作的无数研究都証实了这一点。

E. 弗立依申內远在三十年代就曾指出，承受單向压力的鋼筋混凝土柱，無論在小的載荷下或大的載荷下，其体积均能增加。例如，配筋率为0.28的柱在50公斤/平方厘米的应力下，其体积增加为每立方米混凝土51立方厘米，而在252公斤/平方厘米的应力下，体积增加为每立方米621立方厘米。

在小的应力下，裂縫、縫隙的数量及由其所形成的連續的破裂較少；这些破裂沒有連成大的破裂面，而只是局限于个别部分。受压混凝土的橫向膨脹可以証明裂縫和縫隙的某些膨脹；如上述，在实验中，甚至在限定的載荷下，也曾观察到这种裂縫膨脹的过程。

作者的研究表明，在大多数情况下，混凝土破坏时产生的較大的破裂面均系通过原有的連續性破裂至破坏或載荷的附加而发生，如：由集料产生的縫隙、水泥石和集料接触处、空洞、蜂窝及收縮裂縫等。

近年来，曾經指出混凝土在載荷（特別是周期載荷）下裂縫的發生和發展的O. Я. 貝爾格，在運輸建造部中央建築科學研究院進行了關於混凝土在載荷下破壞時的性能的許多研究。無數的工作表明，在大多數情況下，在水泥淨漿中摻入粗細集料，會降低其強度。

一般認為，由堅固集料製成的中標號的重混凝土中，混凝土的強度小於其中砂漿的強度，而砂漿的強度又小於其中水泥石的強度。

例如，在“100”～“200”號的混凝土中，Г. И. 齊爾基提出，混凝土中砂漿部分的強度較混凝土本身超過15～50%。根據Т. С. 派胡愛爾氏在1947年進行的實驗，在水泥淨漿中加入砂，其強度會降低至三分之二。

由實踐及研究可以很好地知道，在其他條件相同時，砂的性質能夠強烈地影響混凝土的強度，後者僅依砂性質的不同，其變化就會達到兩倍。這可以用在混凝土中摻入級配不同（特別是極小的砂和細砂）、顆粒不同形狀的砂時混凝土結構的改變來解釋，也可用砂和水泥石不同的親和力以及砂粒的不同強度，有害雜質（有機物、雲母等）的存在等來解釋。

由不堅實的岩石形成的砂，在礦山和混凝土工廠中的加工過程中不僅會增加塵灰含量，而且後者會覆蓋碎石（礫石）及粗砂粒的表面，從而降低這些集料和水泥石的粘結力。

砂對混凝土強度的影響尚研究得很少；而且直到現在，還沒有研究出對這一影響作科學預見的任何正確方法。

在最近期間即將進行這一重要的工作。

4. 砂在混凝土經濟中的作用

混凝土的成本組成製造混凝土拌合料的原料費和原料加工（混凝土拌合料的製備及其運輸和搗實）費^①。在整築混凝土和

① 這裡沒有考慮模板（模型）、混凝土養護等等的費用。

鋼筋混凝土构筑物中，如作者所指出的，降低混凝土成本的主要潛力在于混凝土拌合料的配合比。在装配式鋼筋混凝土工业中，正确地設計混凝土配合比及選擇原料也是降低混凝土成本 and 水泥用量的巨大潛力。

1 立方米混凝土拌合料的原料費为130至150盧布，而水泥价值約为此金額之45%，碎石約为45%，砂約为10%。一目了然，砂对混凝土的經濟影响很小。而实际上却远远不是如此。問題在于，砂的种类及特性和混凝土的含砂率对混凝土的水泥用量和强度有很大的影响。这个問題在第三章第二节中有詳細的敘述。

正确的選擇粗細集料混合物的砂子含量，水泥用量可以較采用不适宜的砂子含量者低4~8%，而强度却高出5~10%，整个說来，能够大大降低規定强度的混凝土的成本。砂的选洗——除去小于0.15毫米的顆粒，篩分成二、三份并将其按适当比例混合，則具有更大的意义，借此可以降低水泥用量至15%或更多一些。

在設計混凝土配合比时，應該改变砂的种类（天然的、选洗的）及混凝土中的砂用量，以比較几种不同的配合比方案。在測定这些配合比的每种混凝土的强度以后，應該統計出規定强度的混凝土的原料費和水泥用量。这些比較方法見第三章第2节及第四章第10节中。

总之，正确的使用混凝土用砂（包括砂的选洗），由于水泥用量降低10~15%且混凝土强度提高，故可給国民經济带来显著的節約。

第二章 天然砂及人工砂的种类

1. 天然砂的成因、分类及矿物組成

地質学中把天然砂和礫石当作在很多地質世紀时期里由岩石的長期風化和再沉积所生成的松散的礫石（沉积岩）。

根据B·M·古明斯克的意見，顆粒为0.05~2毫米的松散礫岩称为砂，而顆粒为2~10毫米的同样礫岩即称为礫石。

必須指出，在土木工程中，“砂”这一專門名詞賦有另外的意义。如，ГОСТ 2781-50中“……由固体岩石天然破坏或人工破碎所得的粒度为0.15~5毫米的松散混合物称为普通混凝土用砂”；砂中容許含有按重量計10%以下的大于5毫米的顆粒。

ГОСТ中混凝土用砂的定义是不够精确的，因为用于建筑施工中的天然的、未經选洗的砂几乎总是含有一部分（通常小于10%）小于0.15毫米的顆粒的。

由各个矿床开采的混凝土用砂会具有不同的性質，并对混凝土的各个参数及成本会有各种不同的影响。要正确的評定砂的矿床，首先必須按某种特征将其分成各类，亦即砂的分类。

为此，首先按砂的成因来分类是合理的；这一分类方法能使得把砂当作混凝土的原料来評定更为容易，因为这一分类方法可以表明該种生成类型的砂所固有的一些一般特征。但是按砂的矿物組成来分类也很重要，因为矿物組成会极大地影响对混凝土說来极为重要的性質。

此外，按砂的埋藏条件来分类有着实际意义，因为在許多情況下，对混凝土来講，砂的某些重要性質也决定于这些条件。

現在有着按照砂的成因不同而分的整套的砂的矿床分类系統；其中我們要講到П.И.法吉甫所提出的分类法，因为这一分类法完全符合本書所提出的目的（表1）。

П. И. 法吉甫的砂的成因分类

表 1

过 程			砂的成因类型	砂 的 变 种
外 因 引 起 的	风 化		残 留 的	—
	剥 蚀 的 作 用	雨水和雪水	漂 积 的	—
		河 水	洪 积 的	河 床 的
		冰 河 水	冲 积 的	河 口 的
		湖 海 水	水-冰河的	河 漫 滩 的
内 因 引 起 的	冰 的 作 用		湖 海 水	冰 河 的
	风 的 作 用		湖 海 水	Озоро-камовые
	冰 的 作 用		冰 河 的 (冰 碛 的)	海 滨 的 和 深 处 的
内 因 引 起 的	火 山 的		风 成 的	—
	火 山 的		火 山 的	砂 丘 新 月 砂 丘 丛 草 砂 堆

这一分类法指出砂的产生与在地壳风化带所进行的过程之间的联系。

原动力为太阳能的过程称为外因所引起的过程，而在地球内部能的作用下所发生的过程则称为内因所引起的过程。

外因所引起的风化过程，火山岩的破坏和沉积是极为复杂的，并相互错综在一起。

一般分为机械风化和化学风化，前者是在温度变动、水的冻结、水和风的动力学作用及其他因素的影响下的岩石的风化，它使得岩石破碎成细的碎片；后者使得岩石组成的分子变化。剥蚀过程是风化的继续，是在水、风及冰的作用下风化产物的继续破坏和移动。形成的沉积物在被水、冰河、风移动时发生分离，此时即产生分离的礫岩，其中包括砂。