

混凝土与钢筋混凝土 新工艺基本原理

〔苏联〕H·B·米哈依洛夫著

王家治译

中国工业出版社

混凝土与钢筋混凝土 新工艺基本原理

〔苏联〕H·B·米哈依洛夫著

王家治译

中国工业出版社

书中叙述了混凝土的物理化学理论的基本原理和混凝土与钢筋混凝土新工艺的基本原理；介绍了细磨水泥与砂子、制备水泥砂子混凝土拌合料和成型混凝土制品用的各种新型高效能振动设备，还介绍了某些新型结构的屋面板及由预应力混凝土板拼装而成的销栓式桁架等。

此外，还简述了按新工艺生产的砂质混凝土的性能及新工艺的一些技术经济指标等。

本书可供建筑界的工程技术人员、科学研究人员和大专院校有关师生等参考。

在翻译过程中，译者承蒙吴中伟总工程师、李惠相和王幼云工程师等的热情帮助，谨致谢忱。

Н. В. Михайлов

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНА И ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛИТЕРАТУРЫ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ, АРХИТЕКТУРЕ
И СТРОИТЕЛЬНЫМ МАТЕРИАЛАМ

МОСКВА—1961

混凝土与钢筋混凝土

新工艺基本原理

王家治 译

建筑工程部编辑部编辑（北京西郊百万庄）

中国工业出版社出版（北京佳麟路丙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·各地新华书店经售

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ ·印张 $1^{13}/16$ ·字数35,000

1964年5月北京第一版·1964年5月北京第一次印刷

印数0001—5,255·定价（科七）0.28元

统一书号：15165·3119（建工-376）

序 言

苏联科学院院士 П.А.列宾捷尔

技术科学博士 H. B. 米哈依洛夫在“混凝土与钢筋混凝土新工艺基本原理”一书中，总结了一项重大的集体工作的第一阶段。从而，肯定了，在现代科学的基础上，从分散结构在混凝土拌合料中最初形成时起，即对各种工艺过程加以控制，来从根本上改进混凝土与其他建筑材料的现行工艺，具有现实的可能性和技术经济的合理性。

目前，混凝土的现行工艺尚未把物理化学科学的发展所提供的各种可能性利用起来。同这种工艺有关的许多限制、《禁令》、规程和标准，则全然缺乏科学根据，这完全是由于对材料的微观结构缺少控制方法所致。通常，只限于指出损害混凝土质量的一些条件和因素，而该混凝土则是在其结构已经形成后才被试验的，没有试图在现代物理化学的基础上，去创造制作混凝土的最佳条件，并能最充分地发挥其全部组份的作用。例如，不容许在混凝土中采用广泛分布的细砂和细磨水泥，特别是高铝酸盐水泥，因为，在现行工艺条件下，必须采用大量拌和水才能将其制成可以成型的拌合料，并将形成质量低的质松而抗冻性不佳的混凝土。然而，正是采用细分散的组份才能保证快速硬化，并使得全部化学过程得以迅速进行，以及在水泥用量最低的情况下充分地发挥其胶凝性能。同时，采用足够数量的细分散的微填料，还可以获得最适宜的颗粒级配，以利混凝土形成最致密的结构。

所有這些問題都要在新的邊緣學科——物理化學力學的基礎上加以解決，這門學科的任务，就是要論證具有新技术所需要的各種預定性能和結構的建築材料和結構材料的生產途徑。

H. B. 米哈依洛夫及其同事們在同力學家和建築工藝學家，以及物理化學家的合作下，科學地論證和發展了一種新的工藝。按照這種工藝可以制得質量最好的混凝土和鋼筋混凝土，並使水泥和任何一種填料都能獲得最充分的利用。此外，由於不需要進行濕熱處理，還能夠提高裝配式鋼筋混凝土工廠的生產能力。

採用強烈的多種頻率振動和微量的表面活性物質與電解質外加劑，就可以在混凝土中廣泛應用細磨水泥和細砂，從而保證成型構件的迅速硬化和充分發揮混凝土中水泥的膠凝性能。

在實際生產條件下，借助於新型振動設備，甚至可使最細顆粒間的結合鍵達到極限破壞，因而，可把混凝土拌合料的粘度降至最低限度，以實現各組份間的充分拌合，並在成型時作到最為致密的澆灌。同時，使得工廠既能夠為建築業，也為機器製造業用微粒混凝土（不摻用粗集料）生產新型的預應力混凝土薄殼結構。

這種具有科學根據的混凝土工藝，不僅能以各種配合方案廣泛地採用硅酸鹽——鋁酸鹽水泥、石膏和石灰，同時，也可以採用瀝青，以及合成聚合物、樹脂和橡漿的水溶液作為膠凝材料。這種新的工藝還適用於生產陶瓷、金屬陶瓷、耐熱材料和其他材料。

毫無疑問，這本書將會促進混凝土與鋼筋混凝土先進工藝的發展，生產具有預定性能的制品。

序 言

苏联建筑
科学院院士 Б. Г. 斯克拉姆塔耶夫

近五十年来，混凝土的现行工艺变化不大。通常，仍旧采用半世纪前那种混凝土拌合机和混凝土拌合料的各种输送设备。近二十年来，唯一具有革命性的措施是，在混凝土工艺中对混凝土拌合料进行振动处理和采用塑化剂与加气剂。这些措施虽然很有效，不过，仍没有根本改变混凝土现行工艺所固有的缺点——水泥在混凝土中的性能发挥不够和消耗量过大等。

技术科学博士 H. B. 米哈依洛夫和 П. A. 列宾捷尔院士共同创立的这种完善的混凝土工艺，正在从根本上改变这种状况。它是在该领域中带有革命性的转折，其意义可以同创立新的混凝土工艺相伦比。根据自己的研究和其他作者的著作，H. B. 米哈依洛夫和 П. A. 列宾捷尔建议在混凝土工艺的各个阶段中都采用振动措施。

首先是用振动磨将水泥和砂子一起进行粉磨或再细磨，或者将水泥和砂子分别进行细磨。这会大大提高水泥的活性，使其性能在混凝土中得到更好的发挥，并加速硬化过程。

在新型拌合机——振动拌合机中，可使混凝土拌合料达到很高的拌合质量。

对混凝土拌合料采用振动输送设备，便能在输送过程中使其避免稠化和失去流动性。

根据混凝土拌合料中各种組成材料的不同粒度，而采用兩頻、三頻和多頻的新型振動器对其进行澆灌和搗實。

采用新的混凝土工艺，能够制得新型廉价的混凝土——砂質混凝土（不掺碎石和砾石），这种混凝土特別适于制造薄壳結構（鋼絲网水泥板和壳体、压軋壁板、桁架、薄壁管和瓦等）。

苏联首創的这种新的混凝土工艺，在理論上是有根据的，并經試驗証明了的，应该在工地和装配式鋼筋混凝土工厂里获得最广泛的采用。

目 录

序言 苏联科学院院士П. А. 列宾捷尔	
序言 苏联建筑科学院院士Б. Г. 斯科拉姆塔耶夫	
緒論	1
物理化学力学——新的学科	4
混凝土的物理化学理論	5
混凝土与鋼筋混凝土新工艺	10
新型高效能的振动設備	20
振动磨	20
振动拌合机	23
振动成型設備	29
試驗室設備	36
試生产工艺綫	38
砂质混凝土的性能	42
高效能砂质混凝土結構	43
技术經濟指标	48

緒 論

装配式鋼筋混凝土是建筑工业化的基础。

苏联1965年装配式鋼筋混凝土的产量，将达到4500万立方米/年，其中預应力混凝土結構的产量应达1120万立方米。此外，1965年在各种結構与建筑物中还应浇灌約6000万立方米整体混凝土。为了制作混凝土、鋼筋混凝土、建筑砂浆及其它建筑材料的需要，1965年将生产7500~8100万吨水泥，其中包括700万吨高强与快硬水泥。

目前有99%以上的混凝土与鋼筋混凝土結構是采用粗填料制成的。先进的預应力混凝土結構的順利发展要取决于粗填料的质量与强度。而非金屬矿工业的发展却不能滿足需要，同时，还缺乏必要的机械化的采石場，这就使得碎石成为混凝土中最貴的一种稀缺的組份。采用质量不高，而强度又低的碎石制作高标号混凝土时，会浪费大量的水泥。要解决用具有一定顆粒級配的优质碎石制作混凝土与鋼筋混凝土的問題，則又需要为发展机械化的采石場付出大量的投資。

为了大大縮短在生产鋼筋混凝土制品时的湿热处理時間，装配式鋼筋混凝土工厂主要應該采用高强快硬水泥。但是，这种水泥1965年的計劃产量还远不够需要。

混凝土与鋼筋混凝土的現行工艺和目前鋼筋混凝土工厂所采用的設備，都不能合理地利用細磨水泥，而在使用現場制造这种細磨水泥，則可以弥补工厂生产快硬水泥的不足。也是因为这个緣故，为了節約水泥而向混凝土拌合料中摻入

微填料，非但不能提高混凝土的强度，反而会使强度降低，这是因为在采用现行工艺的情况下，为了降低拌合料的粘度，势必要增加其含水量。

因此，在混凝土中掺用細砂，則会造成水泥的大量浪费，而苏联細砂的矿藏量占全部砂子儲藏量的95%以上。在采用现行設備調制和浇灌混凝土拌合料时，要想采用含水量低的先进的干硬性混凝土拌合料是不可能的。混凝土拌合設備不能保証水在水泥顆粒間得到均匀的分布，而这对在混凝土中形成微毛細孔水泥石却又是必要的，就是这种水泥石决定了建筑結構中混凝土的耐久性与抗冻性。在最好的情况下，工厂磨制的波特兰水泥在混凝土中也只有50%用来形成水泥胶浆，其余50%水泥沒有水化，因而，在混凝土中也就成了无用之材。

对水工建筑而言，砂子中粘土夹杂物的容許含量不得超过3%，而对工业建筑而言，不得超过5%，这就大大限制了利用地方砂的可能性。

为生产鋼筋混凝土薄壳結構，利用現有拌合机制备水泥砂质混合物时，由于必須提高含水量而要消耗大量水泥（每立方米砂质混凝土的水泥用量为650~700公斤）和降低其結構力学性能。

由上述种种可見，水泥本身还蘊藏着多么巨大的未被利用的經濟潜力，而采用砂质混凝土，特別是用它来制造薄壳結構会获得何等好处；然而，混凝土与鋼筋混凝土的现行工艺却阻碍了該领域中技术改革的发展。这給建筑业带来了很大的损失，这是由于沒能采用由高标号砂质混凝土制成的高强預应力薄壳結構，而却采用了低标号混凝土的重型結構的緣故。

为了解决以下这些迫切的問題：諸如大大降低(达50%)粗填料混凝土中的水泥用量；在普通混凝土中采用到处都有的細砂；改用高标号砂质混凝土（与粗填料混凝土的标准比較不多用水泥）；解决能够采用粘土夹杂物的含量超过标准規定值的砂子而又不損害混凝土的质量；大大改进混凝土的結構和提高其耐久性、抗冻性和抗渗性等，則需要采用有科学根据的混凝土与鋼筋混凝土的新工艺和新型有效的振动設備来加工各种材料，制备拌合料和成型制品。

物理化学力学——新的学科

业已获得普遍承认的边缘学科——物理化学力学在我国已经发展起来。该学科的基本原理系П. А. 列宾捷尔院士所创立。

物理化学力学是在物理化学与胶体化学、分子物理学与固体力学的边际上形成的，其主要任务是既要在具有预定性能的材料的生产过程中，又要在其加工、强化或破坏过程中，借助于物理化学因素与力学因素的共同作用来控制材料的结构与力学性能。为了解决这些极为重要的一般科学的，而又具有国民经济意义的课题，物理化学力学正在创立关于结构类型及其力学性能的学说和结构形成的理论。结构形成理论是在于判明各种基本现象的机理和具有最佳力学性能与结构的各种固体、结构系统、工程材料及制品的形成过程的规律性。此外，物理化学力学也要建立破坏固体结构（粉磨）与结构系统（降低粘度）的基础理论。

因此，物理化学力学的主要任务，则是发展建筑材料、结构材料与构件的最优工艺的科学基础。

到目前为止，这些科学基础在国内外的状况，均不能令人满意，因而妨碍了国民经济的技术改革。这首先是由于力学与工艺学之间产生了脱节，另一方面，则是由于该两门学科脱离了现代物理化学、胶体化学与分子物理学的发展所致。

力学家在计算结构与建筑物的强度时，没有考虑材料本

身的性质,以及它的结构与物理化学等特点,而工艺学家在凭其經驗选择新材料的配料方案时,又脫离了对建筑物与结构的計算,而主要則是脫离了关于结构形成及其性能,关于分子相互作用及对其加以控制的物理化学科学。物理学家与化学家們,在研究自己的主要問題(原子能、半导体、放射物理与电子学,合成新的物质与化学反应速度等)的时候,則仅仅是根据这一些問題的綫索去进行实践的。

結果,直到今天为止,实际上还没有建立起制造优质建筑材料与结构材料的科学基础。固体材料结构与结构系統形成的定量理論、强度与耐久性的物理学,或确而言之,物理化学理論、固体細磨与降低结构系統粘度的理論和材料机械处理的理論等,也都没有建立起来。

因此,現行的工艺过程远不够合理,因而給我国的国民經济带来了巨大損失。

混凝土的物理化学理論

混凝土的物理化学理論,是物理化学力学的分支,它不仅要求探討水泥浆、水泥胶砂与混凝土拌合料中结构形成过程的机理,并要指出如何控制这些过程,以便最后能够制得具有預定力学性能与结构的混凝土。

显而易见,混凝土的物理化学理論,是运用了水泥硬化化学領域中的全部大量理論研究之大成。

对各种聚沉结构的結構力学性能所作的大量研究,促进了混凝土的物理化学理論的发展,这些試驗是采用有科学根

据的方法和为此而专门制造的独一无二的仪器（电子自同步弹性粘度计、振动粘度计、斯維多夫与伏拉罗維奇设计的旋轉式粘度计与锥形塑性计等）进行的。

在我们的实验室内，技术科学副博士 E. E. 卡尔梅科娃对水泥浆的结构力学性能与粘度，以及填料对促进结构形成的作用进行了专题研究，技术科学副博士 H. B. 高列雷舍夫参加了这项工作。

经过研究业已证明，根据形成结构的类型，可把水泥浆的结构形成过程分为两个时期：结构形成期与结构强化期。

结构形成期——这是由和水时开始的硬化初期，而水泥浆还保持本身的塑性。这个时期的特点，则是水泥浆先形成聚沉结构，然后发展为以聚沉结构为主的聚沉——晶体结构。

结构强化期。结构强化期的特点，则是水泥石结构的强度增进率已经大大提高。在这个时期里水泥石的结构乃是以晶体结构为主的晶体——聚沉结构，随着硬化过程的发展，晶体结构与聚沉结构的强度之比便不断增加。

为了制得结构发育良好的高强与致密性高的混凝土，则必须使水泥石由微晶连生体所组成，并具有均质的微毛细孔的孔性结构。在这种情况下，水泥石与填料间的粘结力应超过水泥石本身的强度。

对快硬混凝土而言，则必须采用具有粘性大和强度高的聚沉结构的水泥胶浆，这种结构是在采用具有强烈展开表面积，而颗粒级配小的细磨水泥和在拌合料中掺用大量微填料——细磨砂的情况下形成的。在拌合料中，熟料矿物的溶解过程发展很快，结果便形成了高度过饱和的溶液，然后，由这种高度过饱和溶液中析出微晶新生成物。结晶速度与系统

中細磨砂的巨大表面积，一方面决定了水泥石微晶结构的形成，另一方面，在細磨砂的巨大表面上，会比在其内部更容易形成双向結晶核。在拌和少量水的情况下，这会保证形成均匀和微毛细孔的孔性结构。

高频振动作用，能够加速溶解和結晶的过程，并加速微晶水泥石的形成，采用这种高频振动作用时，会使晶体产生振动变体作用。

采用微量表面活性物质时，由于它的吸附变体作用，而能够改变晶体水化物的形状，使之形成微細的針状結晶，并使其在单位体积中的生成量大大增加。在同时采用振动作用条件下，可使表面活性物质的参加量减少一半，而仍然保持其效果。

掺加表面活性物质与电解质时，由于它们的稳定作用，则能降低水泥浆聚沉结构的粘度与强度，因而，致使系统内的需水量大大减少，并加强了振动作用的效果。

熟料矿物在结构形成过程中的溶解速度，是由熟料矿物水解后产生的游离石灰的浓度自行调节的。这一点对硅酸三钙溶解速度的影响特别大，硅酸三钙是决定混凝土强度及其性能的主要矿物。如果向水泥浆中掺入带有新生成表面的細磨砂时，则氧化硅便与石灰迅速反应，而在細磨砂的顆粒表面上形成水化硅酸钙。在这种情况下，溶液中游离石灰的浓度便有所降低，因而，便进一步加速了硅酸三钙的溶解。

除了这些有利的方面以外，在结构形成过程中掺加微填料——細磨砂，还能在拌合料中水泥胶浆含量减少的情况下保证水泥石的密度。

我们的研究已经证明，即各种填料：微填料、砂子与碎石等在混凝土中均有促进结构形成的作用。根据物理化学理

論，在填料的周圍會形成由水泥膠漿的膠體粒子所組成的擴散結構薄膜，它的密度、強度與粘度是由填料表面向薄膜外圍逐漸降低。因此，填料表面上的水灰比便最低，並由填料表面向外逐漸增加，而在薄膜的外表面上幾乎達到了一個既定值或稍許大一些的數值。

當填料的粒子進一步接近，直到其間距小於結構薄膜總的厚度時，在填料相互接觸的地方，填料越接近，水泥漿的真實水灰比便越小。結果，在填料接觸之處的結晶過程，便比填充在填料之間的水泥漿中來得迅速。這會加速硬化過程，並在填料間導致密實而又堅固的結晶連生體的形成。

水泥漿在水化初期階段，乃是一種聚沉結構，其流動性不能象真正流体那樣，用單一的粘度值就能表征得了的。在結構系統中，結構的每一級平衡破壞，都與各自的速度梯度相適應。依速度梯度而論，水泥漿流動性的變化，可以用一條完整的流變曲線來表示。該曲線證明了粘度是可變的，並且具有兩個極限值：速度梯度小時，則為實際上未破壞結構的最大粘度；速度梯度大時，則為極限破壞結構的最小粘度。這樣，賦予結構系統以較大的速度梯度，便可以把水泥漿的最大粘度降低至 $1/500$ 、 $1/1000$ 和幾萬分之一。振動作用之所以能夠降低混凝土拌合料的粘度，可以作如下解釋。微填料或水泥粒子，是被膠狀體的水泥膠漿相互膠結在一起。水泥膠漿在靜止狀態下具有很高的粘度，以致使得水泥漿很難流動。在受到振動作用時，水泥與微填料的粒子便被迫產生強制振動，振動速度則取決於振動參數與填料粒子的質量。在一定的時間內，相鄰兩顆不同質量的粒子會產生相對的位移。當位移方向相反時，則可以達到最大的位移速度。所有這一切都在水泥與微填料之間的夾層中造成了速度

差，胶状体水泥胶浆的结构便因此而遭致破坏，其粘度大大降低。

为了使结构产生极限破坏，以使得拌合料能够获得最大的塑性，应使振动参数能与混凝土拌合料的各种组成颗粒本身的振动频率相接近，这种条件能使物料粒子的振动接近于共振，借以保证其最大的振幅。

只有在结构形成时期里设法采用振动作用或其它机械方法来引起水泥浆、胶砂或混凝土结构的破坏，才会获得有益的效果（对拌合料起着塑化作用和增加硬化混凝土的强度）。结构在强化期里的破坏，则是不可逆的。

根据现行标准，水泥的特性是通过用标准针测得的《标准稠度》水泥浆的凝结时间表示的，而混凝土拌合料，则是用借助于工业粘度计测得的《工作度》表示的。这些特性都是没有根据的，并且也不能对材料的性能作出正确的评价。为了能对水泥胶砂的性能获得正确的概念，必须掌握水泥浆在各种水灰比的情况下，其结构形成动力学的特性（这种特性也可作为水泥的特性），以及水泥浆与填料所组成的混凝土拌合料的结构形成的动力学。混凝土拌合料的工作度及其流动性，应当用生产振动作用下的有效粘度值来表示。在选择水泥胶砂和混凝土拌合料的组成时，采用这种有效粘度值也是适宜的，因为它考虑了填料对促进结构形成的作用。这有助于配制具有最大塑性与强度的最佳拌合料，而不消耗过量的水泥。

为了制得致密而坚固的混凝土，则必须在考虑到填料对促进结构形成的作用和多频振动的塑化与强化作用的情况下，对混凝土拌合料的组成采取逐级选择的方法。首先是在采用每分钟6000次或更高些的高频率与低振幅（0.2毫米或