

347

展望二〇〇〇年的 混凝土

郑法学 戴振国等 编译

中国建筑工业出版社

7789

T11528

6

7789
TU528
6

展望二〇〇〇年的混凝土

郑法学 戴振国 等 编译

中国建筑工业出版社

本书是以混凝土的展望为题，选译日、美、法、苏四国著名学者对混凝土科学技术发展的论述编成。这些学者通过回顾混凝土科学技术的过去，分析现状和公元2000年社会发展对混凝土的需求等，展望了2000年混凝土原材料的进展，混凝土的品种和性能，工厂预制和现场施工的新技术，混凝土的使用前景，届时混凝土科学技术研究课题以及混凝土技术人员的状况等。

本书可供从事混凝土和钢筋混凝土的研究、设计、施工技术人员以及有关管理人员和高等院校土建、建材系有关师生阅读。

展望二〇〇〇年的混凝土

郑法学 戴振国 等 编译

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
河北省香河县印刷厂印刷

*

开本：787×1092毫米 1/32 印张：3 字数：67 千字

1982年12月第一版 1982年12月第一次印刷

印数：1—9,600册 定价：0.26元

统一书号：15040·4347

编译者的话

混凝土是当代最大宗的人造建筑材料，据统计，1980年全世界混凝土的消耗量达70亿吨，按当年全世界人口为45亿计，则每人每年消耗混凝土达1.55吨之多，一些发达的工业国家每人每年消耗混凝土量高达3~4吨。由于混凝土材料本身有许多优越的性能，大量生产使用在发展国民经济中具有重大的技术经济意义，诸如制造混凝土的原材料易得，价格低廉，耐久防火；可在一定范围内，任意配方，制成能满足工程需要强度和其它物理力学性能指标的材料，具有很大的通用性和实用性，混凝土材料和制品十分适宜于工业化大规模生产，能根据需要做成任何形状；混凝土性能多种多样，易按人们的需要，通过改变胶凝材料和骨料的种类，或者掺入外加剂，配制出不同性能的混凝土，如防水混凝土、耐热混凝土、防护混凝土等；混凝土建筑物，结构物投入正常使用后，维修工作量少；大量生产使用混凝土有利于节约能耗等等。所以一些国外学者预言，在本世纪末混凝土的年消耗量将超过100亿吨，而且在未来的100~200年内，混凝土将一直是最主要的建筑材料。

纵观自1824年发明波特兰水泥至今的一个半多世纪以来，特别是最近二三十年来，混凝土科学技术有如下发展趋势。

向高强化方向发展。最近二三十年来，由于高标号水泥的出现，混凝土生产工艺的改革以及使用高效减水剂，为混凝土高强化创造了条件，混凝土的平均标号和最高强度不断

提高：三十年代苏联使用的混凝土的平均抗压强度为 110 公斤/厘米²，目前已超过 300 公斤/厘米²，并大量采用 400~500 公斤/厘米² 的混凝土；五十年代西德使用的混凝土平均为 200 公斤/厘米²，目前平均为 400 公斤/厘米²；美国使用的混凝土，六十年代平均为 280 公斤/厘米²，七十年代平均为 420 公斤/厘米²，其中预拌混凝土已达 530~630 公斤/厘米²，预应力混凝土则达 700 公斤/厘米²。提高混凝土强度仍然是下一世纪主攻方向。据美国学者 C.E. 凯斯勒预言，下世纪美国日常应用的混凝土可达 1350 公斤/厘米²，特殊工程将采用 4000 公斤/厘米² 的混凝土，在需要的时候抗拉强度可达到抗压强度的 1/2。

向轻质方向发展。与普通混凝土相比，轻混凝土具有容重小、相对强度高、保温、隔热、耐火、防震、抗冻性好、有利于节约能源等优点。因此，在第二次世界后，特别是六十年代以来发展很快。减轻混凝土重量是混凝土科学技术发展的重要目标，国外一些学者预言，到本世纪末，轻骨料混凝土的使用量将增长几倍。届时将生产应用容重 500 公斤/米³、强度 150 公斤/厘米²，容重 800 公斤/米³、强度 250 公斤/厘米² 的加气混凝土。

大量使用化学外加剂。这是改善混凝土性能，改革混凝土工艺，充分利用废弃物，节约能源的重要途径。到本世纪末外加剂将与水泥、砂、石、水并列为混凝土的五大组分。外加剂种类多样化是今后的发展趋势，通过掺用外加剂制备多种性能的混凝土，使生产的品种简单化。一些学者还预言，将来要发展“监察员”外加剂，根据外加剂显示出的不同颜色标志出混凝土原材料配合比，施工质量和物理力学性能是否合格。

混凝土进一步与其它材料复合，几种材料互相叠加，取

长补短。目前已生产使用的复合混凝土有钢筋混凝土、预应力钢筋混凝土、钢纤维增强混凝土、玻璃纤维混凝土、合成纤维增强混凝土、聚合物浸渍混凝土等。到公元2000年，将大量使用高强度钢筋、金属纤维、矿物纤维、合成纤维、树脂作为混凝土的复合材料。C.E.凯斯勒等认为，“塑料在将来与其说是混凝土的竞争物，倒不如说将成为混凝土的一个组成部分”。

大量使用工业废渣、农业废弃物、甚至城市垃圾、废旧混凝土作为生产混凝土的原材料，变废为宝、变害为利，改善环境、节约资源，造福人类。

进一步节约生产混凝土的能源。水泥是混凝土组成材料耗能最多的材料，因此合理的利用水泥，节约水泥用量是混凝土制备工艺中最主要的课题。

混凝土的用途不断扩大。随着混凝土性能改善和多样化以及工农业的高速发展和人类征服自然能力的提高，混凝土不仅用于陆地，而且将用于海洋开发、能源开发、本译文集的一些作者甚至断言，在将来的宇宙开发中，混凝土也要占一席之地。未来的海洋混凝土构筑物将包括混凝土海洋平台、海上工厂、海上机场、海上城市、海底隧道等等。

混凝土制品的工厂预制，现场施工，质量控制将有新的突破。到公元2000年，混凝土制品厂将采用全新工艺，不用人工操作或只用少数人在中央控制室操纵，一些局部工序可用机器人来操作。目前采用的验收试验在将来很少被采用，28天强度试验已不再需要。核子示踪技术，放射学技术、同位素技术、红外线摄影技术、磁学和自位测量技术将在混凝土及其构筑物的质量控制过程中得到广泛应用。

在材料科学、细观力学、断裂力学、水泥化学等学科发

展的影响下和促进下，目前已形成以研究混凝土材料组成、结构构造与性能之间关系和变化规律为主要内容的混凝土材料科学，到2000年它将形成一门独立学科。人们就可能设计和制得预定性能的混凝土材料，并不断挖掘材料的潜力，提高混凝土物理力学性能和耐久性，满足高效能的要求。

回顾过去，分析现状，展望未来，未来的混凝土将是令人憧憬的。为了帮助读者系统了解公元2000年混凝土将具体是什么样的，我们选取美、日、法、苏四国一些知名学者对混凝土科学技术发展的论断编译成本书。这些学者有：日本东京大学教授、工学博士西忠雄，日本东京工业大学教授近藤联一，日本东京大学教授岸谷孝一，美国伊利诺大学教授、美国混凝土学会前主席、美国混凝土学会“公元2000年混凝土特别委员会”主席C.E. 凯斯勒，法国水硬性砂浆工业调查中心混凝土部主任、科学博士、工程师米歇尔·维努阿特，苏联混凝土和钢筋混凝土研究院院长、科学技术博士、教授K.B.米哈依洛夫等。这些学者认为，混凝土的科学技术发展与社会经济和文化发展密切相关。他们分析了本世末社会发展和变革对混凝土的需求，科学技术达到的水平，人口和就业情况，资源和能源情况，环境保护和生态学相互之间关系，交通情况，旅游情况，居住和美学要求等，认为这些都直接和间接影响着未来混凝土科学技术的发展。

由于我们的视野不够宽，对国外丰富的资料掌握的有限，编译者水平不高，书中不妥甚至谬误之处在所难免，敬希读者批评指正。

编译者

1982年3月

目 录

一、日本对混凝土未来的展望	1
(一) 未来社会与混凝土	2
(二) 混凝土新技术的现状和未来	11
(三) 混合材料的未来	27
(四) 水泥和混凝土的能源消耗	30
(五) 混凝土技术人员20年后的面貌	34
二、公元2000年的混凝土 [美国]C.E. 凯斯勒等	38
(一) 引言	38
(二) 混凝土的优点	39
(三) 将来的改良	40
(四) 研究和发展	40
(五) 社会和变革的需要	41
(六) 技术目标	43
(七) 材料的发展	44
(八) 规划和设计的发展	48
(九) 施工的发展	49
(十) 人们处理问题态度的进展	53
(十一) 在今后三十年中卓越地使用混凝土的范例	54
(十二) 结束语	58
三、2000年混凝土展望 [法国]米歇尔·维努阿特	60
(一) 混凝土发展的几个阶段: 混凝土的诞生与发展(1830~1975)	60
(二) 现代混凝土的组成与性能	64
(三) 特种混凝土和混凝土的养护	66
(四) 混凝土工业化生产	70
(五) 拟改进项目和新的研究	72
(六) 混凝土使用的前景	73
四、苏联混凝土与钢筋混凝土的发展前景 [苏联]K.B. 米哈依洛夫	78

一、日本对混凝土未来的展望

1970年以来日本土木建筑界和建筑材料界人士以“混凝土的未来与展望”为题，对混凝土的未来进行了种种探讨。由于预测者站在不同的角度，看法不尽一致，预测期幅度很宽，少的10~20年，多的近100年，大多数预测期为30~40年，即估计到公元2000~2010年。

未来学现在是一门很时髦的学科，它在世界各地风靡一时，主要工业国家几乎都建立起未来学学会，企图对未来世界作出科学的描绘。科学技术各个领域，其中包括混凝土工程学立足于现实，展望未来，而种种多少富有幻想性的描述正启发人们去克服种种预计到的技术障碍，促进人类社会的物质文明向更先进目标前进。

混凝土工程学涉及广泛的工艺技术科学和材料科学的内容，这里所指的混凝土材料不言而喻主要是指以水泥为胶凝材料的水泥混凝土。未来的混凝土必然关系到水泥本身的改良和发展，触及骨料和混合材料的改良和发展，总之它是一个由多种因素支配的综合体。日本学者认为在考虑混凝土未来的时候，首先必须对人类社会未来的进程作出确切的估计，这当然是个难度很大的问题。西忠雄把这个问题化简和综合，归纳为以下基本内容：城市和郊区的分设（包括人口动态变化）；郊区的发展及相应交通机构的高度发达；业余时间的充分利用即娱乐行业的扩大和加强（促进交通机构的繁荣）；市中心的整顿扩充以及郊区和地方开发形成的土木

建筑的发展。此外，海洋开发预计将以从未有过的规模进行，海洋农场、海洋矿场、海上机场和海洋城市等新设施将不断涌现。

虽然未来社会也可能与上述预测形式有所不同，但未来社会对混凝土的需求必然大超过今天的规模，社会的巨大需要将促进施工的机械化、促进混凝土质量的提高，明天的研究工作无疑将放在有关混凝土复合材料机理和应用方面。随着施工及管理的简化，期望未来混凝土对于形形色色的工程构筑物会有更好的适应性，它将有损于建筑高层化顺利实现，有益于在道桥工程中发挥更高的效能，在海洋开发事业中成为最可靠的材料之一。

（一）未来社会与混凝土

1. 土木建筑与混凝土

日本近二十年经济高速度地发展，各行各业在技术上都有所突破，土木建筑也是如此。土建工程的规模越来越大，钢筋混凝土结构工程正向超高、超大型化发展，道桥跨度已达到250米，20年后无疑将会达到400~500米；预计美国不久即可实现用纯钢筋混凝土建造百层大厦的壮举，而在日本盖起50~60层的纯钢筋混凝土大楼也并无困难。

在科学技术突飞猛进的二十世纪最后20年，是否可以认为混凝土技术也会发生急剧的变化呢？野口功认为，在认真回顾历史后可以发现土建技术的发展过程带有很大的惯性，它们不象化学电气产品那样会因新技术的开发成功而立即改变面貌，因为土木建筑技术其中包括混凝土技术同社会各个方面都有着千丝万缕的联系，它们是牵涉广泛工程学部门的技术，所以很难设想在短暂的数十年时间内会发生根本性的

变化。

(1) 超高层超大型化

当前国际上有不少修建钢筋混凝土(英文为 Reinforced Concrete, 缩写RC)超高层大楼的计划, 在日本如采取特殊的施工措施, 要盖100层的RC大楼今后是可能的, 从计算上甚至建200层大楼也不会成为问题。据初步估算, 100层建筑如采用600号混凝土, 当柱网间距为7米时, 首层柱子的断面大概要达到 1.4×1.4 米, 偌大的柱子从使用和美观上显然很不合理, 况且混凝土的延性较差, 用在抗震结构中是要冒风险的。一般观点是今后必须大大改变混凝土的性能, 应致力于提高混凝土的延性, 否则修建百层大楼的设想便会落空。

第二次世界大战后, 国际上预应力混凝土结构象雨后春笋般迅速推广普及, 日本的发展迟于欧美, 大概到1960年前后才开始推广。现在日本预应力混凝土的规模正大大扩展, 公路桥梁跨度达到250米, 铁道桥梁跨度接近120米。然而在向更大跨度挺进过程中已碰到混凝土过重的问题, 这个问题使设计施工都受到很大的限制。在当前的技术水平条件下桥梁跨度基本达到了临界状态, 除非能大幅度提高混凝土强度或减轻其重量, 否则跨度是难以增大的。

实现桥梁超大型化的另一途径是采取斜张桥结构形式, 现在已有好几个这类实例, 如马拉开波预应力混凝土斜张桥, 瓦地胡桥和法国新建成的波罗桥等。为了在未来的土木建筑工程中充分发挥超高强混凝土的性能, 日本人士十分强调要加强等比例提高千号以上混凝土的抗拉抗剪等强度技术的研究。这项技术如获突破, 那么象百层以上超高层建筑和四、五百米大跨桥梁之类的大型结构的截面将可以做得很

小，由于结构重量的减轻，混凝土结构的重大缺点即可消除。

降低混凝土的容重可说是土木建筑技术界的宿愿，也是日本许多研究部门和个人为之下大力量的重点科研题目。这是因为在超高超大构筑物中减轻自重有重要意义，因而象楼盖隔墙等结构希望尽量采用轻质材料；其次，日本国土狭窄，全国仅37万平方公里面积，对外贸易乃是其立国之本，工厂企业沿海岸线星罗棋布，沿岸土地不敷应用，故不得不填海造地，以扩建工厂、码头和仓库等生产设施，新填筑的地基承载能力低，压缩性大，除加强构筑物的基础结构外，往往需打入很深的桩基，同时也要求设法减轻上部结构的重量；第三，预制装配式施工法在日本已经普及，现正向大型构件组合化过渡，从吊装角度迫切需要解决轻型化问题。除结构轻混凝土外，今后生活和生产环境对隔热隔音的要求越来越高，而目前广泛使用的有机隔热材料往往强度很低，隔音性不好，成本很高，故人们希望得到隔音效果优良的无机轻材料，特别是轻混凝土制品更能满足各种用途的需要。日本自明治维新以来经营百年，砂石资源渐趋枯竭，这个问题引起建设界的焦虑。为此建材界建议，要积极开展骨料资源的研究，尤其应加强人造轻骨料的原料、生产工艺以及使用性能等多方面的研究。

（2）凝结时间自由调节

混凝土浇灌后在一定时间内并不硬化，如能自由调节凝结时间，那么预拌混凝土的制造设备、材料运输和生产工艺必将大大简化。而灵活方便的混凝土一旦出现，会对设计施工产生革命性的影响，以框架结构预制梁柱的节点或抢修工程为例，为缩短施工周期，早日投产，人们总是希望混凝土

能在极短时间内凝结并具有初期的承载能力；反之在浇灌大体积密实性混凝土或需要长途运输混凝土时，人们又希望混凝土“休眠”一个时间，以适应作业的需要。七十年代以来日本市场上出售的超速硬水泥[美国叫调凝水泥（Regulated set cement），系美国波特兰水泥协会研究所创制]正是基于上面谈到的想法制成的水泥，但超速硬水泥的水化热过大，尚不宜用以拌制表面系数较小的混凝土，且其调凝性能远不能按使用者意愿任意控制，同时目前产量较低，售价较高，尚不能与普通水泥相匹敌。上述问题如获解决，混凝土将会成为更为理想的工程材料。

（3）特种施工工艺

压力灌浆（预填混凝土）、喷射混凝土和薄膜支撑等都属于特种施工方法；用特种工艺所生产的混凝土应有不同于普通用途的特性。

压力灌浆法问世以来已历经了40年，其原理极易理解，即先填充粗骨料，然后在粗骨料的空隙内灌进砂浆制成密实的混凝土。灌浆法真正实用是在开发了可以使砂浆完全填充空隙的膨胀剂之后才做到的。这种方法最初是在构筑物的基础、隧道内衬等不便于浇灌的部位使用，它作为一种水下混凝土施工方法也非常便利。这项技术主要应用在港工构筑物的基础等部位。

今后预料不只局限于港工构筑物，海洋工程将是施展这项技术的良好场所。压力灌浆的特点是施工速度特别快，曾在马基那桥的下部结构工程中用灌浆法一共浇灌了接近30万立方米的混凝土，其速度相当于200米³/小时，足可与大坝混凝土的施工速度相媲美。在施工条件严酷的海上，速度快这一点是至关重要的。

最近在海洋中进行超大型桥梁基础灌浆施工的例子屡见不鲜，可以列举的有广岛大桥、大黑埠头联系桥、黑之瀨户大桥等工程。在这些大型构筑物灌浆施工过程中遇到了不少问题：如施工缝的质量不象普通混凝土那样能够确实验证，沉积在粗骨料表面上的泥土和贝藻类生物不易除去等等。这类问题的逐一解决将有助于提高压力灌浆混凝土的通用性，使它能在海中和陆上获得更加广泛的应用。

号称隧道新干线的山阳线（岡山—博多）隧道工程耗用的水泥占全干线水泥用量的50%，这表明隧道工程同混凝土有着不解之缘。二者关系虽称密切，但日本有关设计施工部门至今对隧道混凝土并不十分重视，其原因据野口功分析，可能是隧道工程中占主导地位的乃是凿岩工程，而凿岩过程中堆积的一大堆地质问题（地质状况、涌水处理、掘进方案和进尺速度等）把嗣后才发生的相比下规模较小的混凝土作业问题掩盖了过去，而受到不应有的忽视。第二个原因是有关隧道工程的设计理论并不十分明确，对隧道混凝土应当具备哪些品质特性也相当含混其词。

几年前日本从国外引进了喷射混凝土施工技术，在著名的青函大隧道采用了这种方法。喷射混凝土的特点是紧跟着凿岩工序进行衬砌混凝土施工，因而具有费用低速度快的优点，这种混凝土能同基岩牢固粘结一起共同抵御土压的作用，所以发展很快。锚杆——喷射混凝土 NATM 联合施工法（New Austrian Tunneling Method）在山岳和城市隧道工程中用得很普遍。

由于混凝土被覆层与基岩共同受力，被覆层所受的荷载相当明确，因而不难确立隧道的设计计算理论。喷射混凝土施工方法在日本认为到将来仍然是有发展前途的方法，但必

须解决回弹料过多、作业环境过于恶劣和施工质量受操作者熟练程度影响较大等技术问题。在喷射混凝土时导入增强纤维，既可增强混凝土的延性，又可减少回弹料数量，有利于改善施工的作业性，估计是一种继续发展这项技术的捷径。

模板及其支撑系统与混凝土可说是一对孪生兄弟，现代模板已由原始粗糙的“盒子”转变为多功能的精密的工具式模具。然而对于曲面形结构，普通模板的效果并不理想。于是国外产生了把柔性薄膜引进混凝土施工的新想法。已经比较成熟的薄膜结构由金属支架和充气或不充气的橡胶或塑料薄片组成，它可以拼装成一种临时性的篷罩顶盖，也能充作混凝土的模板。日本曾从意大利引进了这种技术，但仅限于制作半球形的构筑物，尚未能用来制作复杂体型的曲面。从成形自由和节约模板费用观点来看，薄膜结构的利用是大有可为的。

(4) 植物绿化表面

混凝土表面枯燥无味，与大自然极不协调，在混凝土表面上繁衍植物，使建筑物同环境调和，完全消除清一色乏味的感觉，是当代西方都市发展的一个新动向。在城市里点缀一些同植物共存的混凝土构筑物，对于美化城市是有一定意义的。开发能够绿化的新混凝土不仅有利于节俭外装饰的投资，而且促使建筑立面设计更为丰富多采。对于混凝土表面用植物绿化问题的研究法国历来很重视，最近也引起日本的注意。

2. 海洋开发与混凝土

海洋大约占地球表面面积的百分之七十，海洋上有广阔的空间，蕴藏着无数尚未利用的资源。根据联合国的预测，到2000年世界人口将趋近72亿，如果年增长率保持1.9%不变，

37年后人口就要翻一番。届时人类必然要转向海洋，开辟从食物到各类原料的新资源和能源。

现在世界上各个海洋沿岸国家对于开发大陆架寄予极大的希望。在海域利用方面，混凝土材料将有更大的用武之地。不久前在北海油田矗立起一座座庞然大物——混凝土采油平台，开始了大规模使用海洋混凝土的历史。

未来的海洋构筑物将完全有别于现在，凡是人类能在陆上进行的活动都将能转移到海中去，到那时候我们会看到海洋里出现美丽的城市、工厂、飞机场、公园……。

未来的海洋构筑物将是五光十色的，它们的规模越来越大，到2000年海洋里将囊括陆上一切工程设施：

在交通运输设施方面有海上机场、大跨海洋桥、海上停泊地、海中和海底隧道……；

在城市和娱乐观光设施方面有海洋城市、海中瞭望塔、海中餐馆、海中游览通道、海中疗养胜地和公园……；

在产业和能源设施方面有海上炼油厂、天然气液化贮藏站、海上发电站、潮汐发电站、波力发电站……；

在矿物资源设施方面有挖掘船、深海采矿船、海底岩石采样井、石油开采平台……；

其它方面还有仓库、鱼礁、渔业养殖场、苗种饲养场等等。

凡此种种表明，在海洋这个人类赖以生存的新天地里，各种各样的海洋工程设施仍将以钢和混凝土材料为其支柱。单就混凝土而论，要在海洋开发中大量采用混凝土必须解决以下三方面的问题：研究适应海洋环境的混凝土材料；开发海洋混凝土的施工方法和设备；确定海洋混凝土构筑物的设计方法。

3. 宇宙开发与混凝土

当年利用钢丝网水泥制成战舰亚马多曾经传为佳话，而现在人们却打算更上一层楼，让水泥混凝土在宇宙开发中占有一席之地。但田代忠一认为到下一世纪初宇宙开发活动恐怕还只能停留于地球周围，故不必去漫无边际地侈谈遥远的太空。

在宇宙空间混凝土系在失重状态下硬化，它应当经受 $+150^{\circ}\text{C}\sim-150^{\circ}\text{C}$ 交替的温度变化。在没有大气的月球上，水泥混凝土的硬化、它的安定性和耐久性等等大概都是饶有兴趣的研究课题。虽然人类已创造了登上月球的记录，但月面环境并没有搞得十分清楚。通常认为水泥混凝土在月球上是耐久的，将来很有可能直接利用月面上的材料来制作混凝土。

现代航空运输主要依靠大型运输机，这类飞机制造技术复杂，耗资巨大，加上汽油燃料用量惊人，同时还存在污染大气问题，凡此种种大大限制了航空运输的进一步发展。从运输观点看，飞行器无须象客机那样高速，主要航行平稳、容量大、燃料消耗小即敷需要，于是人们的思路又转回到航空史的发祥点——气球飞船上。飞船能在低空长时间停留，所以在某些情况下甚至能完全代替直升飞机和小型飞机，它在下面用途中能发挥独特的作用：

(1) 在海洋观测中调查黑潮（因硅藻类及微生物的繁殖使海水呈红褐色而危害鱼类的现象）发生情况；

(2) 进行大气污染的监视；

(3) 收集地磁及地震预报数据；

(4) 充作空中灭火装置和自然灾害发生时的空中情报中心；