

经验交流：混凝土及其增强材料的应用岩土工程师考试 PDF
转换可能丢失图片或格式，建议阅读原文

https://www.100test.com/kao_ti2020/551/2021_2022__E7_BB_8F_E9_AA_8C_E4_BA_A4_E6_c63_551904.htm

混凝土是现代工程结构的主要材料，我国每年混凝土用量约10亿m³，钢筋用量约2500万t，规模之大，耗资之巨，居世界前列。可以预见，钢筋混凝土仍将是我国在今后相当长时期内的一种重要的工程结构材料，物质是基础，材料的发展，必将对钢筋混凝土结构的设计方法、施工技术、试验技术以至维护管理起着决定性的作用。本文对构成钢筋混凝土的主要材料--混凝土及其增强材料的应用与发展，从工程应用角度作简要介绍。 1

· 混凝土 组成钢筋混凝土主要材料之一的混凝土的发展方向是高强、轻质、耐久（抗磨损、抗冻融、抗渗）、抗灾（地震、风、火）、抗爆等。

1.1 高性能混凝土（high performance concrete，HPC）

HPC是近年来混凝土材料发展的一个重要方向，所谓高性能：是指混凝土具有高强度、高耐久性、高流动性等多方面的优越性能。从强度而言，抗压强度大于C50的混凝土即属于高强混凝土，提高混凝土的强度是发展高层建筑、高耸结构、大跨度结构的重要措施。采用高强混凝土，可以减小截面尺寸，减轻自重，因而可获得较大的经济效益，而且，高强混凝土一般也具有较好的耐久性。我国已制成C100的混凝土。已有文献报道¹⁾，国外在试验室高温、高压的条件下，水泥石的强度达到662MPa（抗压）及64.7MPa（抗拉）。在实际工程中，美国西雅图双联广场泵送混凝土56 d抗压强度达133.5MPa。在我国为提高混凝土强度采用的主要措施有[1]：(1)合理利用高效减水剂，采用优质骨料、

优质水泥，利用优质掺合料,如优质磨细粉煤灰、硅灰、天然沸石或超细矿渣。采用高效减水剂以降低水灰比是获得高强及高流动性混凝土的主要技术措施；(2)采用525,625,725号的硫铝酸盐水泥、铁铝酸盐水泥及相应的外加剂，这是中国建筑材料科学研究院制备高性能混凝土的主要技术措施；(3)以矿渣、碱组分及骨料制备碱矿渣高强度混凝土，这是重庆建筑大学在引进前苏联研究成果的基础上提出的研制高强混凝土的技术措施；(4)交通部天津港湾工程研究所采用复合高效减水剂，用525号水泥 $320\text{kg}/\text{m}^3$ ，水灰比0.43，和425号水泥 $480\text{kg}/\text{m}^3$ ，水灰比0.32，在试验室中制成了抗压强度分别为68MPa和65MPa的高强混凝土。文献[2]报告了采用某些金属矿石粗骨料如赤铁矿石、钛铁矿石等，可以比用普通石料作粗骨料获得强度更高、耐久性和延性更好的高性能混凝土。高强混凝土具有优良的物理力学性能及良好的耐久性，其主要缺点是延性较差。而在高强混凝土中加入适量钢纤维后制成的纤维增强高强混凝土，其抗拉、抗弯、抗剪强度均有提高，其韧性（延性）和抗疲劳、抗冲击等性能则能有大幅度提高。此外，在高层建筑的高强混凝土柱中，也可采用X形配筋、劲性钢筋或钢管混凝土等结构方面的措施来改善高强混凝土柱的延性和抗震性能[3]。

1.2 活性微粉混凝土

（reactive powder concrete，RPC）[4] RPC是一种超高强的混凝土，其立方体抗压强度可达200-800MPa，抗拉强度可达25~150MPa，断裂能可达 $30\text{KJ}/\text{m}^2$ ，单位体积质量为 $2.5\text{-}3.0\text{t}/\text{m}^3$ 。制成这种混凝土的主要措施是：（1）减小颗粒的最大尺寸，改善混凝土的均匀性；（2）使用微粉及极微粉材料，以达到最优堆积密度（packing density）；（3）减少混凝土

用水量，使非水化水泥颗粒作为填料，以增大堆积密度；（4）增放钢纤维以改善其延性；（5）在硬化过程中加压及加温，使其达到很高的强度。普通混凝土的级配曲线是连续的，而RPC的级配曲线是不连续的台阶形曲线，其骨料粒径很小，接近于水泥颗粒的尺寸。RPC的水灰比可低到0.15，需加入大量的超塑化剂，以改善其工作度。RPC的价格比常用混凝土稍高，但大大低于钢材，可将其设计成细长或薄壁的结构，以扩大建筑使用的自由度。在加拿大Sherbrook已设计建造了一座跨度为60m、高3.47m的B200级RPC的人行-摩托车用预应力桁架桥。

1.3低强混凝土[4] 美国混凝土学会（ACI）229委员会，提出了在配料、运送、浇筑方面可控制的低强混凝土，其抗压强度为8MPa或更低。这种材料可用于基础、桩基的填、垫、隔离及作路基或填充孔洞之用，也可用于地下构造，在一些特定情况下，可用其调整混凝土的相对密度、工作度、抗压强度、弹性模量等性能指标，而且不易产生收缩裂缝。荷兰一座隧洞工程中曾采用了低强度砂浆

（low-strength mortar，LSM），其组分为：水泥150kg / m³，砂；1080kg / m³，水570kg / m³，超塑化剂6kg / m³，膨润土35kg / m³，所制成的LSM的抗压强度为3.5MPa，弹性模量低于500Mpa。LSM制成的隧洞封闭块，比常规的土壤稳定法节约造价50%，故这种混凝土可望在软土工程中得到发展应用。

1.4轻质混凝土[5] 利用天然轻骨料（如浮石、凝灰岩等）、工业废料轻骨料（如炉渣、粉煤灰陶粒、自燃煤矸石等）、人造轻骨料（页岩陶粒、粘土陶粒、膨胀珍珠岩等）制成的轻质混凝土具有密度较小、相对强度高以及保温、抗冻性能好等优点利用工业废渣如废弃锅炉煤渣、煤矿的煤矸石

、火力发电站的粉煤灰等制备轻质混凝土，可降低混凝土的生产成本，并变废为用，减少城市或厂区的污染，减少堆积废料占用的土地，对环境保护也是有利的。把岩土师站点加入收藏夹 1.5纤维增强混凝土[6] 为了改善混凝土的抗拉性能差、延性差等缺点，在混凝土中掺加纤维以改善混凝土性能的研究，发展得相当迅速。目前研究较多的有钢纤维、耐碱玻璃纤维、碳纤维、芳纶纤维、聚丙烯纤维或尼龙合成纤维混凝土等。在承重结构中，发展较快、应用较广的是钢纤维混凝土。而钢纤维主要有用于土木工程中的碳素钢纤维和用于耐火材料工业中的不锈钢纤维。用于土木建筑工程的钢纤维主要有以下几种生产方法：（1）钢丝切断法；（2）薄板剪切法；（3）钢锭（厚板）铣削法；（4）熔钢抽丝法。当纤维长度及长径比在常用范围，纤维掺量在1%到2%（体积分数，本文中的掺量均指体积分数）的范围内，与基体混凝土相比，钢纤维混凝土的抗拉强度可提高40%~80%，抗弯强度提高50%~120%，抗剪强度提高50%~100%，抗压强度提高较小，在0~25%之间，弹性阶段的变形与基体混凝土性能相比没有显著差别，但可大幅度提高衡量钢纤维混凝土塑性变形性能的韧性。中国工程建设标准化协会于1992年批准颁布了由大连理工大学等单位编制的《钢纤维混凝土结构与施工规程》（CECS 38：92），对推广钢纤维混凝土的应用起到了重要作用。钢纤维混凝土采用常规的施工技术，其钢纤维掺量一般为0.6%~2.0%。再高的掺量，将容易使钢纤维在施工搅拌过程中结团成球，影响钢纤维混凝土的质量。但是国内外正在研究一种钢纤维掺量达5%~27%的简称为SIFCON的砂浆渗浇钢纤维混凝土，其施工技术不同于一般

的搅拌浇筑成型的钢纤维混凝土，它是先将钢纤维松散填放在模具内，然后灌注水泥浆或砂浆，使其硬化成型。SIFCON与普通钢纤维混凝土相比，其特点是抗压强度比基体材料有大幅度提高，可达100~200MPa，其抗拉、抗弯、抗剪强度以及延性、韧性等也比普通掺量的钢纤维混凝土有更大的提高[7]。另一种名为砂浆渗浇钢纤维网混凝土（SIMCON）的施工方法与SIFCON的基本相同，只是预先填置在模具内的不是乱向分布的钢纤维，而是钢纤维网，制成的产品中，其纤维掺量一般为4%~6%，试验表明，SIMCON可用较低的钢纤维掺量而获得与SIFCON相同的强度和韧性，从而取得比SIFCON节约材料和造价的效果。虽然SIFCON或SIMCON力学性能优良，但由于其钢纤维用量大、一次性投资高，施工工艺特殊，因此它们只是在必要时用于某些特殊的结构或构件的局部，如火箭发射台和高速公路的抢修等。在砂浆中铺设钢丝网及网与网之间的骨架钢筋（简称钢丝网水泥）所做成的薄壁结构，具有良好的抗裂能力和变形能力，在国内外造船、水利、建筑工程中应用较为广泛。近年来，在钢丝网水泥中又掺入钢纤维来建造公路路面、渔船、农船等，取得了更好的双重增韧、增强效果。

1.6自密实混凝土

（self-compacting concrete）自密实混凝土不需机械振捣，而是依靠自重使混凝土密实。混凝土的流动度虽然高，但仍可以防止离析。配制这种混凝土的方法有[4]：（1）粗骨料的体积为固体混凝土体积的50%；（2）细骨料的体积为砂浆体积的40%；（3）水灰比为0.9-1.0；（4）进行流动性试验，确定超塑化剂用量及最终的水灰比，使材料获得最优的组成。这种混凝土的优点有：在施工现场无振动噪音；可进行夜间

施工，不扰民；对工人健康无害；混凝土质量均匀、耐久；钢筋布置较密或构件体型复杂时也易于浇筑；施工速度快，现场劳动量小。

1.7智能混凝土（smart concrete）[4] 利用混凝土组成的改变，可克服混凝土的某些不利性质，例如：高强混凝土水泥用量多，水灰比低，加入硅灰之类的活性材料，硬化后的混凝土密实度好，但高强混凝土在硬化早期阶段，具有明显的自主收缩和孔隙率较高，易于开裂等缺点。解决这些问题的一个方法是，用掺量为25%的预湿轻骨料来替换骨料，从而在混凝土内部形成一个"蓄水器"，使混凝土得到持续的潮湿养护。这种加入"预湿骨料"的方法，可使混凝土的自生收缩大为降低，减少了微细裂缝。高强混凝土的另一问题是良好的密实性所引起的防火能力降低。这是因为在高温（火灾）时，砂浆中的自由水和化学结合水转变为水气，但却不能从密实的混凝土中逸出，从而形成气压，导致柱子保护层剥落，严重降低了柱的承载力，解决这个问题的一种方法是，在每方混凝土中加2kg聚丙烯纤维，在高温（火灾）时，纤维熔化，形成了能使水气从边界区逸出的通道，减小了气压，从而防止柱的保护层剥落。

1.8预填骨料升浆混凝土

1) 国内在大连中远60000t船坞工程中，因地质条件复杂，船坞底板首次采用了坐落于基岩上的预填骨料升浆混凝土，即用密度较大的厚4~5m的铁矿石作为预填骨料，矿石层下再铺设1m厚的石灰石块石。矿石层上是厚60~80cm的现浇钢筋混凝土板在预填骨料层中布置压浆孔注入砂浆，形成预填骨料升浆混凝土。采取这种工艺，缩短了工期，取得了良好的经济效益。

1.9碾压混凝土[8] 碾压混凝土近年发展较快，可用于大体积混凝土结构（如水工大坝、大型基础）、工业厂

房地面、公路路面及机场道面等。用于大体积混凝土的碾压混凝土的浇筑机具与普通混凝土不同，其平整使用推土机，振实用碾压机，层间处理用刷毛机，切缝用切缝机，整个施工过程的机械化程度高，施工效率高，劳动条件好，可大量掺用粉煤灰，与普通混凝土相比，浇筑工期可缩短 $1/3 \sim 1/2$ ，用水量可减少20%，水泥用量可减少30%~60%。碾压混凝土的层间抗剪性能是修建混凝土高坝的关键问题，国内大连理工大学等单位曾开展这方面的研究工作。在公路、工业厂房地面等大面积混凝土工程中，采用碾压混凝土，或者在碾压混凝土中再加入钢纤维，成为钢纤维碾压混凝土，则其力学性能及耐久性还可进一步改善。

1.10再生骨料混凝土

新中国建国至今已逾50年，建国前后修建的不少混凝土结构，因老化或随着经济的发展，需拆除重建，其拆除量十分巨大，在拆除的混凝土中，约有一半是粗骨料，应该考虑如何使之再生利用。以减少环境垃圾，变废为用。文献[4]报道，在荷兰的德尔夫特，一个272所住宅的方案中，所有的混凝土墙均利用了再生骨料，该方案下一步的计划，是在混凝土楼板中也利用再生骨料。当然，在利用这些再生骨料时，需对这种混凝土的性能进行试验，例如，文献[9]报道了有关再生轻质混凝土收缩和徐变较为显著的试验成果，值得重视。

2. 配筋及增强材料

2.1纤维筋[6]

钢筋混凝土结构的配筋材料，主要是钢筋最近在国际上研究较多的是树脂粘结的纤维筋（fiber reinforced plastics, FRP）作混凝土及预应力混凝土结构的非金属配筋，常用的纤维筋有树脂粘结的碳纤维筋（GFRP）、玻璃纤维筋（GFRP）及芳纶纤维筋（AFRP）国外研究指出，这几种纤维筋的强度都很高，只是玻璃纤维筋

的抗碱化性能较差。纤维筋的突出优点是抗腐蚀、高强度，此外，还具有良好的抗疲劳性能、大的弹性变形能力、高电阻及低磁导性，其缺点是断裂应变性能较差、较脆、徐变（松弛）值较大，热膨胀系数较大。国外已有日本、德国、荷兰等国将纤维筋用于预应力混凝土桥，包括体外预应力桥的实例[4]。

2.2双钢筋[1] 为了减小裂缝宽度和构件的变形，国内在一些工程中，采用焊成梯格形的双钢筋，在构件内平放或竖放布置。

2.3冷轧变形钢筋[1] 为了节约钢材用量，国内引进国外设备或自制设备，用光圆钢筋，经过冷轧，轧成带肋的直径小于母材直径的钢筋，称为冷轧带肋钢筋。另一种类似的钢筋，是用I级光圆用筋冷轧扭转成型，称为冷轧变形用筋或冷轧扭钢筋。这两种冷轧钢筋的抗拉强度标准值（极限抗拉强度）及设计值都比母材大大提高，与混凝土的粘结强度也得到提高，但直径较小。它们主要用作板式构件的受力钢筋或梁、柱构件的箍筋或作预应力筋。由于强度提高，可以节约材料用量，获得经济效益。这两种钢筋，国内已制订了规程。为将这种小直径钢筋的用途扩展至梁、柱的受力钢筋，也可采用双筋或三筋的并筋，但需适当增大其锚固长度。

2.4环氧树脂涂敷钢筋[1] 在海洋环境或者有腐蚀性介质的环境中（如冬季撒盐的桥面），钢筋锈蚀是影响结构耐久性的重要原因。为了防止钢筋锈蚀，用不锈钢制造钢筋是一个途径，但是价格昂贵。另一个途径是用环氧树脂涂敷钢筋表面，形成防锈的涂层，以防止钢筋生锈，这种方法在日本、美国应用较多。钢筋在工厂中校直、加热、喷涂树脂粉末，形成防护薄膜，冷却后经检验合格，用于有严格防锈蚀要求的工程，可使结构的耐久性大大提高。

2.5预应力混凝土用

钢棒、预应力混凝土用螺旋肋钢丝 在传统用于预应力混凝土的钢丝、钢绞线、热处理钢筋的基础上，从国外引进生产线，已生产出直径达12.6mm、抗拉强度达1570MPa的预应力混凝土用的带螺旋肋的钢棒（steel bar），及直径达12.0mm、抗拉强度达1570MPa的带螺旋肋的钢丝。这种新产品的特点是：高强度、低松弛，与混凝土的粘结强度高，易墩粗，可点焊，可盘卷等。

2.6纤维布、纤维条、纤维板 国内在对钢筋混凝土结构进行加固时，常用的一种技术是钢板粘结加固技术，但是钢板质量重、运送不便，剪切成型也比较复杂。最近在国内发展并应用了以质量很轻、易于加工、单向抗拉强度很高的纤维布（条、板）代替钢板进行构件加固的技术，取得了良好的效果。例如，冶金工业局建筑研究总院使用从日本进口的碳纤维，开发了加固改造修复混凝土结构新技术[10]，其使用的碳纤维布，厚0.111-0.165mm，单向抗拉强度3000~3550MPa，这种碳纤维布的特点是：具有很高的单向抗拉强度（为普通钢材的10倍），弹模与钢材接近，很适用于钢筋混凝土结构的加固；质量轻，密度仅为钢的1/4，加固层厚度一般不大于1mm，基本不增加结构自重及截面尺寸；施工方便，功效高；耐腐蚀，无须定期维护。国外在用碳纤维布或碳纤维条时，还利用不同弹模的碳纤维进行优化组合，降低造价。除碳纤维外，与纤维筋类似，也有用芳纶纤维和玻璃纤维制成的产品（布、条或板）。值得指出的是，国际桥梁与结构工程学会（IABSE）在1999年11月出版的Structural Engineering第9卷第4期中，集中报道了加拿大、美国、日本、欧洲诸国在发展使用这种新型材料方面的经验，对激发我国开展这种新材料的生产与应用很有意义

3. 结束

混凝土是水泥、砂、石、水、外加剂、掺合料等多组分构成的一种性能多样化的材料，其性能不仅与组成材料的性能有直接关系，而且还与施工技术、所处环境及维护条件等有关；笔者只是从一个结构工程技术人员的工程实用角度出发，对于所涉及过的研究领域和知之不多的混凝土及其增强材料的发展与应用等方面，作了抛砖引玉的介绍。期望在混凝土结构领域内，有更多的专家学者开发出更多新的材料，并进而研究将这些材料用于结构工程所需解决的设计方法、施工技术以及维护要求等，以促进我国混凝土结构技术的进一步发展。 100Test 下载频道开通，各类考试题目直接下载。详细请访问 www.100test.com