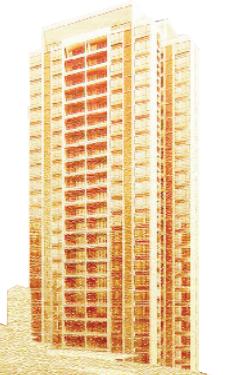


当今全球 87%以上的摩天大厦工地都在中国，而混凝土技术的进步为建筑的高度竞争和结构创新提供了更多可能 专家为你揭开超高层建筑混凝土的神秘面纱

广东建设报记者 廖惠康



“离天空更近一步”，是无数超高层建筑工程师内心的愿景。在过去的几十年中，世界建筑的最高高度不断攀升，中国的超高层建筑也如“雨后春笋”般一栋栋拔地而起，不断刷新着城市的天际。据有关资料统计，当前全球 87%以上的摩天大厦工地都在中国。

具有良好施工性能的水泥混凝土催生了现代建筑技术，而混凝土技术的进步为建筑的高度竞争和结构的创新提供了更多可能。但对于超高层混凝土人们知之甚少，从选材到生产，从运输到现场浇筑与普通建筑有哪些差别？又有哪些讲究？让我们听听广州市建筑科学研究院有限公司教授级高级工程师钟开红的专业介绍，一层层揭开超高层建筑混凝土的神秘面纱。

高强度是最基本的要求

为什么叫“钢筋混凝土”？因为混凝土是刚性的，而钢筋是柔性的，两者结合在一起，能够防止因摆动而混凝土破碎的情况出现。

不同建筑物因工程施工难度、功能设计等需要，对施工技术、混凝土强度等级、耐久性等要求各不相同。高强度的混凝土具有承受力强、抗变形能力强以及密度高等方面的优点，能够满足现代化建设和高层建设项目的需要和条件，也能确保工程的整体质量，降低工程的投资成本。

在混凝土生产过程中，其使用功能要求以及耐久性要求是按设计的。使用功能主要包括不同结构形式、不同强度等级等，而耐久性要求则要根据工程的实际需要进行相应设计。

“楼层越高，其承载力、抗压能力也越大，对混凝土的强度要求也越高。但由于混凝土是种脆性材料，这时钢筋就起着非常重要的作用。为什么叫‘钢筋混凝土’？因为混凝土是刚性的，而钢筋是柔性的，两者结合在一起，能够防止因摆动而混凝土破碎的情况出现。”钟开红表示。

据了解，现在施工行业都很关注混凝土强度，把混凝土的抗压性作为参考混凝土质量的一个重要指标。钟开红表示，这是很多施工企业存在的一个误区：认为混凝土只要强度够了，其它什么都可以保证。其实不然，强度达标只是混凝土质量的第一指标。因为在进行配合比设计过程中，所设计出来的强度已经很高了，要满足强度要求很容易的一个指标。而在超高层建筑乃至普通建筑中出现的工程质量事故，基本上是因为拌合物不达标而导致的。如混凝土离析、蜂窝抹面抗逆性较差等。所以说，强度是最基本的要求，同时还要保证结构的耐久性。

他还表示，目前广州预拌混凝土技术在国内已处于领先水平。近年来，在（超）高强、高性能混凝土、大体积、超高泵送、机制砂混凝土、清水混凝土、自密实混凝土、防辐射混凝土等方面技术上实现了突破与创新，尤其在对混凝土耐久性的认知与实际应用方面有了长足的进步。

六大原材料各有讲究

高层建筑的混凝土除了要求一般高层的高强高性能外，为保证质量，对混凝土原材料供应要求非常严格。

“无论是混凝土的强度好还是耐久性好，指的是硬化混凝土，即结构过后的混凝土，要保证这个的前提是严格选材及合理的配合比。”

据悉，混凝土的组成材料有六大类，分别是水泥、砂、石子、水、外加剂和掺和料。混凝土的质量主要取决于组成材料的性质与用量，合理选用材料，才能配制出满足工程技术要求的混凝土。

据介绍，高层建筑的混凝土除了要求一般高层的高强高性能外，为保证质量，对混凝土原材料供应要求非常严格。一是要确保好供应混凝土的工作性要好。二是需要调整混凝土参数，如流动性、包裹性、抗利害性能及黏度。

所谓工作性要好，体现在混凝土流动性、黏聚性、包裹性要好，粘度太高容易沾黏在泵管上供应不上来。在超高层泵送过程中，对混凝土拌合物的可泵送性要求更加高，例如大流动性、小粘度、粘聚性和抗离析性能好等。同时对混凝土原材料要求较高，如粗骨料最大粒径不宜过大、砂率不宜过小，骨料粒型均匀。一般混凝土的石子粒径最多不超过 31.5 毫米，而超



中建三局曾经创下在天津 117 大厦混凝土实际泵送高度 621 米，一举打破了哈利法塔保持的 601 米泵送高度的世界纪录。

合理配比提升混凝土强度

混凝土生产供应商和工程施工方，对混凝土的每个环节都要进行严格的质量把控，确保混凝土生产质量达标，防止安全事故的发生。

钟开红表示，以广州混凝土为例，对于超高层建筑混凝土，目前对行业专业技术人员的数量控制及技术水平要求非常高且管理极其有效。“配合比设计不合理、生产配合比与设计配合比偏差较大、生产用水控制不准确、原材料质量差、波动大、混凝土外加剂与材料适应性较差、混凝土拌合物工作性差等，稍有环节出错都会导致混凝土质量不达标。这就要求，混凝土生产供应商和工程施工方，对混凝土的每个环节都要进行严格的质量把控，确保混凝土生产质量达标，防止安全事故发生。”

对于预拌混凝土的配合比应注意区分设计配合比、试验配合比和生产配合比三者之间的关系。设计配合比是根据标准要求进行计算的理论配合比；调整配合比是根据生产原材料的波动以及工程的不同要求，在设计配合比的基础上通过试验室试配得出的配合比；而生产配合比是根据当前所用砂石等材料的不同含水率在试验配合比的基础上折算后的实际配合比。

混凝土配合比都是根据工程施工要求、使用功能要求以及耐久性要求而设计的。不同的楼层高度，要求其承载力、抗压性也不相同。通常情况下，超高层建筑要求混凝土强度等级达到 C60 及其以上。C60 高强混凝土已经大规模地在工程建筑中使用。

全过程控制在 2 小时以内

如果泵送距离过长，为了确保混凝土的泵送性，生产企业应根据实际情况调整砂率，同时杜绝施工现场加水现象。

从生产到输送到现场浇筑如何全方位控制质量？钟开红表示，在生产前期通过多做试验，多适配外，达到以下几点：一是验证混凝土配合比的合理性，是否达到强度要求；二是验证配合比出来后的拌合物状态能否达到要求，每间隔两个小时对混凝土进行测验，其中拌合混凝土是专门用于测泵送混凝土的。

此外，为了改善高强混凝土性能，减少水泥用量以减小水化热，可以掺加一定数量的粉煤灰、硅粉、粒化高炉矿渣等矿物掺合料。如硅灰细腻，能够填充水泥颗粒间的孔隙，同时与水化产物生成凝胶体，与碱性材料氧化镁反应生成凝胶体。能够显著提高抗压、抗折、抗渗、防腐、抗冲刷及耐磨性能，具有保水、防止离析、泌水、大幅降低砼泵送阻力的作用。

◎ 经典案例

哈利法塔的混凝土使用成为业界标杆

迪拜哈利法塔（见下图），总高度 828 米。其建筑结构设计采用了创新性的多种结构复合构建的全新结构体系，其下部为混凝土结构，上部采用钢结构。从 -30~601 米为钢筋混凝土结构，从 601~768 米为钢结构，768~828 米为钢桅杆。

哈利法塔地基的表层，全由细小石块经过长时间的自然作用黏合而成，地基相对较为疏松。为了打稳地基，工程师采用 194 根直径为 1.5 米深入地下 43 米的混凝土桩柱，来支撑由 12500 立方米 C50 自密实混凝土制作的厚 3.7 米、大小足以容纳建筑整个 8000 平方米基座的混凝土筏板。

在混凝土材料设计上，为了使哈利

法塔的楼板和承重墙的尺寸尽可能的小，并且具有足够的能力来承受随高度的增加而上升的荷载。哈利法塔在建设过程中使用了具有低渗透系数和高耐久性的高性能自密实混凝土。制备混凝土采用的原材料均来自迪拜周边地区，胶凝材料采用水泥、粉煤灰或矿粉、硅灰复合使用，通过掺加粉煤灰或矿粉利用其火山灰效应及微珠效应，减少水泥用量降低水化热从而减少温度裂缝，提高新拌混凝土的工作性。采用 20 毫米、14 毫米和 10 毫米三种不同粒径的碎石，根据建筑的不同浇筑部位搭配使用。采用 RAK 和 Alain 两个地区的砂搭配使用。并且在混凝土中掺加了粘度改性剂，以提高其工作性能。

在不同混凝土应用高度选用不同粒径的碎石不仅可以降低混凝土泵送至 300 米以上的难度，还能够降低混凝土材料成本。

哈利法塔制备混凝土采用的原材料均来自迪拜周边地区，胶凝材料采用水泥、粉煤灰或矿粉、硅灰复合使用，通过掺加粉煤灰或矿粉利用其火山灰效应及微珠效应，减少水泥用量降低水化热从而减少温度裂缝，提高新拌混凝土的工作性。

采用了自密实混凝土泵送施工，模板采用自攀升技术，经过严密的施工组织，保证了施工质量与进度的统一，并创下了混凝土泵送的高度记录 611 米。



哈利法塔下部为混凝土结构，上部采用钢结构。

机制砂也能用于超高层建筑

在天然砂数量有限的情况下，机制砂是满足生产体量的重要途径之一。目前，无论在全国还是世界上，机制砂使用都有了较为成熟的技术经验。

过去由于人们对机制砂的了解不够，认为其很神秘，对技术要求很高，每当谈及机制砂则色变。钟开红表示，早期由于机制砂还处于刚起步阶段，对于混凝土企业来说，早已习惯了使用河砂、海砂等天然砂，但以目前的情况来看，在天然砂数量有限的情况下，机制砂是满足生产体量的重要途径之一。无论在全国还是世界上，机制砂使用都有较成熟的技术经验了，用于超高层建筑没有什么问题。但还是要看在哪个区域，对于有的区域，机制砂生产技术已经很成熟了，但有的区域则处于起步阶段，尚未达到建设超高层建筑的技术要求。

研发中心的作用不容小觑

广州混凝土企业越来越重视人才的引进、技术的研发，大部分企业都成立了自己的研发中心，这是很有必要的。

技术人才是企业的第一竞争力。对于混凝土行业来说，混凝土技术的快速提升为建筑的创新带来了更大的可能性。目前，广州混凝土企业越来越重视人才的引进、技术的研发，大部分企业都成立了自己的研发中心。在钟开红看来，企业成立研发中心是很有必要的，尤其是同一个集团下有多个搅拌站的集团企业。其主要职责为生产全过程质量控制和技术研发，一是合理选择优质原材料，对进场材料进行严格质量控制；二是根据工程设计的实际需求，及时