

高强高性能混凝土配合比优化设计探讨

张斌¹ 姜斌² 刘毅³

深圳市市政设计研究院有限公司 广东 深圳 518000

中铁七局集团有限公司 河南 郑州 450000

深圳市市政设计研究院有限公司 广东 深圳 518000

摘要: 高强高性能混凝土是近年发展起来的一种新型混凝土。具有高强、高工作性、高耐久性和良好的经济性等技术性能,近年来,一直被广大科研和工程技术人员重视,普遍认为是21世纪混凝土科学技术发展的趋势。本文通过理论分析和经验,提出了高强高性能混凝土组成的配合比优化设计方法,为其在土木工程中的应用提供了有利的依据和保证。

关键词: 高强高性能; 混凝土; 配合比

引言: 当前我国社会经济建设行业处于不断发展和成长的过程中,新一轮的技术革命与创新已在建设行业开展的如火如荼。混凝土各种质量检测指标随之日趋完善,目前对混凝土质量指标已经不单纯局限于基本的拌合物性能和普通力学性能指标,由于我国地域广阔,地理气候温湿条件差距较大,混凝土建筑结构物需要在不同严酷复杂的环境下建设施工和周期使用,基于此,高强高性能混凝土便应基建高峰期这一时代趋势而产生。而这需要对应用的原材料,配合比设计步骤,和施工过程管理,有极其严格的要求,确保其不同的环境适用范围,保证应用寿命期限的正常使用,满足国民经济发展需求,为此需要对混凝土的质量控制要求更上层楼,由于高强高性能混凝土与普通混凝土区别主要为耐久性指标,使得目前对高强高性能混凝土配合比设计耐久性方面成为了当务之急。

1 高性能混凝土概述

近年来,高强高性能混凝土作为一种新型材料,在高铁领域随着客运专线的发展已趋于稳定成熟,由于其具有优越的社会经济效益和发展前景空间,从而在工程建设过程中得到了广泛应用,并得到了很多施工,科研等单位的重视及推广发展。为了贯彻发展高性能混凝土的高强度及耐久性理念,混凝土科研工作者纷纷加强了高性能混凝土的研究广度和深度,从而大大推动了其历史革命进程。其除了在质量技术特征展现出旺盛的生命力以外,高性能混凝土还体现在节约能源,绿色转型,碳达峰碳中和等方面,目前正朝着“绿色科技材料”的方向不断蓬勃发展。

2 高强高性能混凝土组份及其要求

高强高性能的混凝土相对于普通的混凝土来说具有

较高的高工作性,工作强度、耐久性等优点,根据不断的试验得出结论,高强高性能混凝土和普通的混凝土之间的差别主要是由于改变单纯的水泥-砂石-水-外加剂结构模式,不断丰富掺加优质胶凝复合材料及外加剂种类,提升混凝土各组份材料质量要求,精确施工控制配料,拌合,浇筑,振捣,立模养生要求。为了提高混凝土的耐久性性能指标,本文研究的高强高性能混凝土在混凝土组份材料高质量要求前提下,广泛掺加优质矿物掺合料,根据不同工作环境,掺加一种及以上的外加剂,充分发挥混凝土的微集料效应。提高混凝土内部密度结构。

首先是所用水泥,高性能混凝土采用的水泥一般要求为硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥,各项指标应满足于通用硅酸盐水泥的标准要求。比表面积控制技术标准为 $300\sim 350\text{m}^2/\text{kg}$,水泥颗粒如过细,熟料中 C_3A 含量越高,初期的水化速度过快,导致混凝土收缩增大,抗裂性能降低,因此。应对水泥中的比表面积及 C_3A 含量加以限制,使胶凝材料中的水泥应含有较低的碱含量及水化热(碱含量 $\leq 0.8\%$,熟料中铝酸三钙含量 $\leq 8\%$),防止水胶比攀升造成各方面的质量指标降低,涉及到大体积方量混凝土施工的,应采用中热和低热硅酸盐水泥(3d和7d的水化热分别 $\leq 240\text{KJ/Kg}$ 和 $\leq 270\text{KJ/Kg}$ 要求),尽量降低胶凝材料中水泥用量,提高掺合料用量比例,选用I级以上的优质粉煤灰,S95等级以上矿渣粉,在高性能混凝土配合比设计过程中,防止胶凝材料用量过大增大混凝土的收缩,使混凝土容易开裂,因此应严格控制胶凝材料的最大用量,保证结构产品的体积稳定性。

其次是胶凝材料中的矿物掺合料,以常见的为粉煤灰为例,一般选用I级以上质量指标的粉煤灰掺加,主

要是因为 I 级粉煤灰中所含有的玻璃微珠润滑作用程度高,能够有效的降低水胶比,充分发挥细粉填充效应和火山灰活性效应,节约水泥熟料用量,抑制碱骨料反应,降低混凝土初期水化热,降低了混凝土由于温差过大造成的构件开裂风险,消耗水泥水化过程中生成的 $CA(OH)_2$ 降低液相中的碱度,提高耐化学腐蚀能力,同时抵抗干缩,徐变的性能大大提高,使混凝土具有极好的工作性,力学性能和耐久性,形成一种高强高性能的混凝土。在强度等级 $\geq C80$ 的混凝土配合比,宜合理掺用 5-10% 左右的硅灰,硅灰是在冶炼硅铁合金或工业硅时,通过烟道排出的粉尘,经收集得到的以无定型二氧化硅为主要成分的粉体材料。由于比表面积在 $20-28m^2/g$ 左右,其细度和比表面积约为水泥的 80-100 倍,粉煤灰的 50-70 倍,掺加后可以显著提高混凝土防腐,耐磨,抗冲击等性能,很大程度提高泵送混凝土的可泵性。其中硅粉的活性晶体比较丰富,并且能够填充水泥-粉煤灰水化后的微空隙,从而极大地提高了混凝土自身结构密实度,使混凝土达到高强高性能的目的。

然后是集料,粗细骨料应该选用集配合理、质地均匀并且坚固的连续集配骨料,吸水率及空隙率,含泥量,泥块含量低的混凝土集料,对于砂石严格控制碱活性指标,选用碱活性小于 0.10% 的非碱活性骨料,严禁使用浅层风化筛选的山砂和海砂,防止混凝土搅拌过程破碎断面增多和成型结构物因碱骨料反应造成混凝土主体开裂,尽量选用细度模数为 2.6-3.0 的中粗砂,粗骨料应该采用粒型规则统一,针片状含量低的颞式反击破碎整形碎石。最大程度降低所用集料比表面积,使骨料具有近可能小的孔隙率,提高混凝土中的浆集比,在不增大混凝土水胶比前提下,充分提高流动性,母体岩石抗压强度满足配置高强要求,并且各项指标必须要满足《混凝土工程施工质量和验收标准》。在有磨蚀环境能力要求时,宜选用硬质骨料,如花岗岩,闪长岩。在配置 C60 及以上强度混凝土时,必须进行岩石抗压强度试验,应不小于 1.5 倍的混凝土抗压强度等级,根据工作环境要求,必要时增加软石含量,有机物含量,坚固性检测指标要求。

再者是使用以聚羧酸盐为主体的多种高分子有机化合物,经接枝共聚生成的,减水率 $\geq 25\%$ 的聚羧酸缓凝高性能减水剂,由于其具有高减水率和良好的工作性,以在保持拌合物流动性不变前提下,大幅降低水胶比,在一小时塌落度损失和含气量变化方面表现卓越,充分保证其在现场工作性的稳定,并且掺加聚羧酸高效减水剂具有高流动性,常在钢筋结构间距较小的自密实混凝土中发挥巨大作用,在冬季低温生产拌合时的情况下,

聚羧酸高性能减水剂中也不会因结晶体析出导致混凝土塌落度变小情况,根据高性能混凝土设计和结构特点要求,为了改变混凝土由于高强高性能混凝土低水胶比,较为粘稠不便施工,可适当掺加降粘剂,也可在混凝土设计过程根据掺量掺加引气剂,阻锈剂,膨胀剂,适当提高混凝土抗氯盐腐蚀能力和抗冻融能力,收缩等工作性能。

最后混凝土拌合用水应为饮用水,地表水,地下水,处理符合要求的再生水,除各项指标符合规范要求外,PH值 ≥ 5.0 ,初终凝时间差应 $\leq 30min$,抗压强度比 $\geq 90\%$,对于设计年限 100 年的结构混凝土,氯离子含量应小于 $500mg/L$,拌合水中的碱含量按 Na_2+K_2O 计算表示,当使用非碱活性骨料时,可不检测碱含量。

3 高强高性能混凝土的性能分析

3.1 力学性能

混凝土的力学强度是指其标准混凝土试件在力的作用下失去变形能力而单位面积所能承受的最大的荷载。混凝土的力学强度主要是由水胶比、水化程度和内部密实度这三个基本要素决定的,即通过降低水胶比,改变内部密实度从而提高混凝土的力学强度。需要注意的是,密实度是通过含气量高低来影响强度的,虽然掺加引气成分会提高混凝土的抗冻融能力,抵抗抗盐类结晶破坏,但因为过高的含气量会明显降低强度,同时在持续荷载作用下,混凝土徐变会增大,故含气量应控制在一定范围。

3.2 工作性

工作性就是新拌混凝土的拌合物呈现性能,即新搅拌的混凝土在一定的施工条件下,便于搅拌、运输和浇灌等工作,并且均匀分布、抗离析程度的一种工作性能。工作性在现场浇筑构件时体现为流动性强,便于布料振捣密实,在运输的过程中表现为新拌混凝土的塌落度及含气量极小的变化量,对于新拌混凝土的工作性的测试和评价方法主要分别为扩展时间、间隙通过性,抗离析性能,含气量,压力泌水等试验。虽然在测试高强高性能混凝土有多种方法指标,但是目前塌落度测试是应用的最为广泛常见的一项测试,对于拌合塌落度 $> 220mm$ 的大流动性混凝土,宜用扩展度试验检测工作性。

3.3 耐久性

混凝土的耐久性就是指混凝土在各种环境作用条件下抵抗破坏的作用能力,耐久性能研究对象就是降低和改变混凝土内部的孔隙率和孔隙结构,对于混凝土来说常见的侵蚀现象有硫酸盐侵蚀、氯离子侵蚀和冻融循环破坏,混凝土碳化等几个方面,多数表现为化学因素,

从混凝土结构物的表面进入内部进行长期破坏作用。为此需要提高混凝土内部密实结构，由于硫酸盐结晶析出压力破坏和混凝土内部结冰破坏，以及使用引气剂的措施来提高混凝土的抗硫酸盐破坏性能和抗冻性能。目前常用检测指标为抗冻试验，抗裂试验，抗氯离子渗透，抗硫酸盐试验，碳化和收缩试验。

4 高性能混凝土配合比设计

4.1 高性能混凝土活性矿物细掺料的配制途径

在高性能混凝土中加入活性矿物细掺料，比如优质粉煤灰，矿粉，以及硅粉等等。活性矿物细掺料分散到水泥中，可以充分填充水泥水化后孔隙，改善其结构，从而能够有效的增强混凝土的抗环境破坏能力。除此之外，活性矿物细掺料可以取代一部分水泥，从而降低初期混凝土的水化热反应，降低混凝土中的碱含量，提高胶凝材料水化程度，降低水胶比，提高混凝土现场工作性，能够有效的避免出现混凝土裂缝开裂现象。

4.2 控制混凝土材料质量

高强高性能混凝土所用材料指标明显高于普通混凝土所用要求，必须保证符合高强高性能设计材料质量要求，另外需要强调的是，应加强材料质量指标检测的全面性。并及时开展现场进场材料与配合比设计材料的符合性验证，其次在实际施工方面要保证混凝土生产工艺个流程的规范性，可操作性。使参与建设员工应有清晰的制度程序执行。另外在生产过程中必须要随时检查质量卡控指标要求，确保高强高性能混凝土具有良好的预期目标实现，对于生产工艺不符合要求流程工序的要及时做出纠正调整。

4.3 配合比参数选择

(1)水胶比。高性能混凝土配合比是确保混凝土耐久性关键的环节，水胶比与最小胶凝材料用量限制是保证混凝土耐久性所需要的重要技术参数，由于混凝土拌合时的用水量大量为游离水，并未参与水化反应，大量游离水蒸发后，随后成为混凝土中的薄弱环节，给混凝土的开裂和耐久性带来不利影响，根据耐久性设计要求，水胶比宜在0.28-0.34之间，通过试验证明，当其水胶比低于0.40时，矿物掺合料可以提高掺加比例，充分发挥掺合料效应。

(2)胶凝材料用量。以C60-C80为例，胶凝材料用量应为480-560Kg/m³，之间，水泥单方用量不宜大于500kg/cm³。根据不同环境类别和水胶比选择掺合物数量，当使用硅酸盐水泥时，钢筋混凝土结构粉煤灰不应超过45%，复合矿物掺和料最大掺量不应超过65%。

(3)根据《混凝土结构耐久性设计标准》要

求，当混凝土构件同时承受其他环境作用时，应按作用等级最高的有关要求设计，配合比设计前，应对各项材料进行碱含量，硫酸盐，三氧化硫验算验证（建议控制指标为每立方米混凝土中的碱含量 $\leq 3\text{kg/m}^3$ ，氯离子 $\leq 0.06\%$ ，三氧化硫小于胶凝材料总量的4%）。

5 高强高性能混凝土主要的优缺点

5.1 高强高性能混凝土由于掺加的掺合料较多，早期强度增长缓慢，各项指标检测龄期较长，通常高铁项目混凝土试件抗压以56天龄期为准（不包括预应力混凝土），在预制预应力构件施工中，往往由于早期强度增长较慢，影响预应力张拉，而抗碳化，抗冻融循环，收缩，抗硫酸盐腐蚀，混凝土钢筋锈蚀，碱骨料反应等试验验证项目周期较长，不利于施工。

5.2 高强高性能混凝土由于质量过程要求严格，从进场材料质量，拌合生产，运输振捣，脱模养生等各工序应高标准质量卡控，施工生产管理环节繁琐，与传统意义的混凝土生产要求差距较大，不能以旧经验，陈化的生产方式高性能继续生产现代混凝土，急需加强各方相关人员的高性能高强混凝土生产学习认识，对于混凝土技术工作者而言，应加强检测仪器配置和扩大完善检测方法。

5.3 高强高性能混凝土由于质量技术指标远高于普通混凝土，因此，高强高性能混凝土除高层建筑工程和大跨度工程外，还可以广泛用在铁路、公路、桥梁隧道、海港、码头工程，在复杂的结构严酷环境作用下，可以延长使用年限。

5.4 由于高强高性能混凝土高强这一基本特性，所以构件截面尺寸可大大缩小，从而可以改变“结构肥大”而不美观的问题，即可以减轻建筑物的自重，又可以增加建筑物的使用面积，降低建筑材料能源消耗。

5.5 近年来，因我国处于基建高峰期，优质掺合料供给长期处于需方市场，材料良莠不齐，监管相对薄弱，对掺合料细度，烧失量，需水比，活性指数等关键要求必须加强控制，常有施工单位项目有掺合料拿来即用的思想，应防止使用劣质掺和料造成各项性能大幅降低情况，例如江西煤矸石冒充粉煤灰在高铁工地使用，造成大面积质量事故。

6 高强高性能混凝土耐久性

6.1 配制目标及其主要的影响因素。在进行高性能混凝土的配制过程中，与普通的混凝土配制出发点不同，其首先考虑的是混凝土的耐久性能。由于大多数有害物质会通过空气由外部空隙进入到混凝土构件中，对混凝土造成不同程度的破坏影响，因此，内部的密实性是影

响混凝土耐久性能的一个最主要因素。

6.2 强度性能。强度是混凝土的最基本的性能特征。对于高层建筑来说，混凝土的强度对其有着重要的影响。而对于高性能混凝土性能而言，强度影响最大的两个因素包括矿物掺合料掺量和水胶比。通常情况下，如果水胶比低于0.40，各强度等级的混凝土都具备高性能混凝土的潜力指标作用。

结束语

高强高性能混凝土因其优良的性能已被广泛应用于特殊环境下的建筑结构当中。而原材料的种类、性质以及用量等因素直接影响到高强高性能混凝土的质量性能以及成本，进而关系到建筑结构的质量、寿命以及造价。所以确定高强高性能混凝土原材料的种类和用量，要求在满足其强度、和易性、耐久性等性能的基础上达到成本最低的配合比设计已经成为高强高性能混凝土材

料研究的关键部分。

参考文献

- [1]张健.高速公路高性能混凝土配合比设计[J].交通世界, 2018, 11(14):8.
- [2]丁勇.高性能混凝土配合比设计及施工技术研究[J].华东公路, 2018, 2(3):67-69.
- [3]赵鹏.高强高性能混凝土配合比优化设计[J].中国科技论文, 2018, 8(5):413-415.
- [4]王蒙蒙.高性能混凝土配合比优化设计及施工[J].山西建筑, 2021, 47(22):128-129.
- [5]王帆.基于比强度的高强高性能混凝土配合比优化设计[D].西安建筑科技大学, 2014.
- [6]黄蔚琳.浅谈C60高强高性能混凝土的配合比设计及应用[J].中华民居旬刊, 2011(7).