

自密实混凝土配合比设计要点

夏同洲

常州市建筑科学研究院集团股份有限公司, 江苏 常州 213000

[摘要] 自密实混凝土是最近几年研发使用的一种新型高性能混凝土, 也称为免振混凝土, 其最大的优点就是能够在自流动的情况下不用振捣, 能够通过钢筋密集、结构截面比较复杂的工程部位, 达到自密实、强度高、耐久性好的性能。随着国家建设规范越来越大, 特殊结构物越来越多, 自密度混凝土应用越来越广泛, 下面就结合委托单位委托的新建合肥至安庆铁路新合肥西站站房及相关工程 C50 自密度混凝土选配为例, 阐述自密实混凝土配合比设计要点。

[关键词] 自密实; 混凝土配合比; 设计要点

DOI: 10.33142/aem.v4i3.5596

中图分类号: TU7

文献标识码: A

Key Points of Mix Proportion Design of Self Compacting Concrete

XIA Tongzhou

Changzhou Architectural Research Institute Group Co., Ltd., Changzhou, Jiangsu, 213000, China

Abstract: Self compacting concrete is a new type of high-performance concrete developed and used in recent years, also known as vibration free concrete. Its biggest advantage is that it can achieve the performance of self compacting, high strength and good durability through the engineering parts with dense reinforcement and complex structural section without vibration under the condition of self flow. With the increasing national construction specifications, more and more special structures, and more and more widely used self density concrete, the following describes the key points of self density concrete mix proportion design in combination with the selection and matching of C50 self density concrete for the new Hefei west station building of Hefei Anqing railway and related projects entrusted by the entrusting unit.

Keywords: self compacting; concrete mix proportion; key points of design

自密实混凝土的主要性能评价指标为扩展度、28d(56d)抗压强度和 T500mm 扩展时间。这是一个多指标正交试验, 通过实际结果来判断主次影响因素, 以及采用多指标功效系数法分析试验数据, 确定理论最优设计方案。

自密实混凝土配合比设计中要知道影响自密实混凝土性能的指标哪个最重要, 哪个要最优先解决, 分清主次, 由主到此地试配出最佳方案。影响指标的主次顺序: 水胶比 > 外加剂种类 > 水泥强度等级 > 碎石粒径及材质

1 原材料选用

1.1 水泥

在使用大量掺合料的情况下, 水泥宜选用普通硅酸盐水泥或硅酸盐 P.042.5 及以上强度等级水泥来配制自密实混凝土, 不宜使用早强水泥。

1.2 外加剂

自密实混凝土具有较大的流动性, 良好的粘聚性, 较高的强度要求, 要达到这些条件, 聚羧酸高性能减水剂是配制自密实混凝土最佳选择, 它具有较高的减水率目前一般大于 25%, 保水性较好且一般不泌水, 同时与水泥和掺合料有良好的适应性, 而聚羧酸高性能减水剂与各种水泥的适应性较好, 掺量很少就可以达到更高的减水率, 坍落度损失小, 混凝土粘聚性好, 更适合配制低水灰比的高强

混凝土。而减少水泥用量, 可以降低混凝土产生的水化热同时节约成本; 无论是从实用性和经济性两方面考虑, 使用聚羧酸类高性能减水剂是最佳方案。

膨胀剂是自密实混凝土中相对必要的, 其膨胀原理是: 加水拌合后生成大量的膨胀性结晶水化物钙矾石, 在钢筋的约束下可产生 0.2~0.7MPa 预压力, 这一压力大致可以抵消混凝土干缩产生的拉应力, 以此防止混凝土收缩产生开裂, 保证混凝土结构物质量不受影响。

引气剂能改善混凝土拌合物的和易性、保水性和粘聚性, 提高混凝土流动性, 增加抗冻性, 引气剂也是自密实混凝土不可缺少的物质, 对含气量要求或大于等于 4.0% 的混凝土, 必须采取减水剂和引气剂双掺方式进行添加。

1.3 砂

自密实混凝土宜采用中砂; 细度模数宜控制在 2.6~3.2 之间, 砂过细时比表面积就大, 不但增大拌合物的用水量, 还对拌合物的流动性能产生不利的影 响; 而选用粗砂则会影响拌合物的粘聚性和保水性, 不易于流动, 容易出现结构物部分部位不密实现象。

1.4 碎石

高强度自密实混凝土对粗骨料有较严格的要求, 尤其粒径必须使用连续级配, 现场宜采用两级配混合而成, 一

一般为 5-10mm 和 10-16mm 组合成 5-16mm 连续级配, 或 5-10mm 和 10-20mm 组合成 5-20mm 连续级配, 由于自密实混凝土往往用于薄壁构件、密集配筋构件等部位, 所以粗骨料粒径不易过大, 否则将会影响拌合物通过钢筋, 其次碎石粒径过大, 在自由流动时容易出现离析, 会造成蜂窝、麻面、不密实的情况发生。粗骨料中含泥量、泥块含量过大将使混凝土需水量增大, 针片状的含量高则会降低混凝土的抗压强度; 因此, 高强度自密实混凝土必须严格控制石子的含泥量、泥块含量和针片状含量。

1.5 掺合料

粉煤灰和矿渣粉是配制高强度自密实混凝土掺入大量的活性矿物掺合料, 具体掺量要根据规范要求要求进行掺配, 一般要求又掺。自密实混凝土浆体含量较大, 如果胶凝材料只用水泥, 用量就大则会引起混凝土早期水化放热较大, 会造成混凝土收缩较大, 不利于混凝土结构的耐久性和体积稳定性, 在胶凝材料中掺入优质的活性矿物掺合料则可以避免这些不足。另外, 在自密实混凝土中掺入优质的活性矿物掺合料还可以提高拌合物的流动性, 降低泌水性, 提高粘聚性, 提高硬化混凝土的后期强度等优点。

2 设计过程及要点

在原材料不稳定, 含气量不确定的条件下, 自密实混凝土宜采用绝对体积法的固定砂石含量法; 配制强度与普通混凝土计算方法一样, 采用如下公式:

$f_{cu,0} \geq f_{cu,k} + 1.645\sigma$ C50 自密实混凝土配合比计算过程 (基准)

2.1 粗骨料体积 V_g 及质量 m_g

(1) 每立方米混凝土中粗骨料的体积 V_g : 根据材料性能及经验, 取 $V_g=0.30 \text{ m}^3$ 。

(2) 粗骨料的质量: $m_g=V_g \times \rho_g=0.30 \times 2710=813 \text{ kg/m}^3$ 。

$$m_{g1}=m_g \times 30\%=813 \times 30\%=244 \text{ kg/m}^3 \quad (5 \text{ mm} \sim 16 \text{ mm})$$

$$m_{g2}=m_g-m_{g1}=813-244=569 \text{ kg/m}^3 \quad (16 \text{ mm} \sim 25 \text{ mm})$$

2.2 砂浆体积 V_m

$$V_m=1-V_g=1-0.30=0.70$$

2.3 砂浆中砂的体积分数 ϕ_s

根据设计填充性能等指标, 经试拌, 确定砂的体积分数 $\phi_s=0.45$ 。

2.4 砂的体积 V_s 和质量 m_s

$$V_s=V_m \times \phi_s=0.70 \times 0.45=0.315$$

$$m_s=V_s \times \rho_s=0.315 \times 2650=835 \text{ kg/m}^3$$

2.5 浆体体积 V_p

$$V_p=V_m-V_s=0.70-0.315=0.385$$

2.6 胶凝材料表观密度 ρ_b

$$\begin{aligned} \rho_b &= 1 / (\beta_f / \rho_{mf} + \beta_{s1} / \rho_{ms1} + (1 - \beta_f - \beta_{s1}) / \rho_c) \\ &= 1 / (0.20 / 2400 + 0.20 / 2900 + (1 - 0.20 - 0.20) / 3040) \\ &= 2860 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

2.7 配制强度 $f_{cu,0}$

$$f_{cu,0} = f_{cu,k} + 1.645\sigma, \quad \sigma \text{ 取 } 6.0$$

$$f_{cu,0} = 50.0 + 1.645 \times 6.0 = 59.9 \text{ MPa}。$$

2.8 水胶比 m_w / m_b

粉煤灰掺量为 20%, 影响系数 γ_f 取 0.4, 矿渣粉掺量为 20%, 影响系数 γ_{s1} 取 0.9, 水泥强度富余系数取 1.1。

$$\begin{aligned} m_w / m_b &= 0.42 f_{ce} (1 - \beta_f - \beta_{s1} + \beta_f \times \gamma_f + \beta_{s1} \times \gamma_{s1}) / (f_{cu,0} + 1.2) \\ &= 0.42 \times 1.1 \times 42.5 \times (1 - 0.2 - 0.2 + 0.2 \times 0.4 + 0.2 \times 0.9) / (59.9 + 1.2) \\ &= 0.27 \end{aligned}$$

根据经验调整 m_w / m_b 为 0.32。

2.9 胶材用量 m_b

$$\begin{aligned} m_b &= (V_p - V_a) / (1 / \rho_b + m_w / m_b / \rho_w) \\ &= (0.385 - 0.02) / (1 / 2860 + 0.32 / 1000) \\ &= 545 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

2.10 用水量 m_w

$$m_w = m_b \times m_w / m_b = 545 \times 0.32 = 174 \text{ kg/m}^3$$

2.11 粉煤灰用量 m_f

$$m_f = m_b \beta_f = 545 \times 20\% = 109 \text{ kg/m}^3$$

2.12 矿渣粉用量 m_{s1}

$$m_{s1} = m_b \beta_{s1} = 545 \times 20\% = 109 \text{ kg/m}^3$$

2.13 水泥用量 m_c

$$m_c = m_b - m_f - m_{s1} = 545 - 109 - 109 = 327 \text{ kg/m}^3$$

2.14 减水剂用量 m_{ca}

$$m_{ca} = m_b \times \alpha = 545 \times 1.6\% = 8.72 \text{ kg/m}^3$$

根据设计要求、配制强度和试验资料, 初步选定混凝土基准配合比如下:

水泥: 粉煤灰: 矿渣粉: 砂: 碎石 1 (5-16) mm: 碎石 2 (16-25) mm: 减水剂: 水
= 327: 109: 109: 835: 244: 569: 8.72: 174

经试拌, 基准配合比拌合物性能符合设计和施工要求, 以基准配合比为基础, 水胶比分别增加和减少 0.02, 用水量与基准配合比相同, 砂的体积分数分别增加和减少 1%, 调整配合比, 进行对比试验, 配合比见表 1。

表 1 混凝土配合比

试验编号	水胶比	砂的体积分数	每方混凝土材料用量 (kg/m ³)							
			水泥	粉煤灰	矿渣粉	砂	碎石 1	碎石 2	拌合水	减水剂
1	0.34	0.46	308	102	102	853	244	569	174	8.19
2	0.32	0.45	327	109	109	835	244	569	174	8.72
3	0.30	0.44	348	116	116	816	244	549	174	9.28

注: 试验编号 1 中砂的体积分数不满足规范 (0.42~0.45) 要求; 试验编号 3 中胶凝材料用量为 580 kg/m³, 不满足最大胶凝材料总量 550 kg/m³ 的限值要求, 不予试拌。

粗骨料含量会直接影响到混凝土抗压强度。粗骨料的单

位体积用量应符合混凝土自密实性能等级的要求, 见表 2:

表 2 混凝土自密实性能等级的要求

混凝土自密实性能等级	一级	二级	三级
单位体积粗骨料绝对体积(m^3)	0.28~0.30	0.30~0.33	0.32~0.35

新拌混凝土配合比的确定必须要从以下几个因素来考虑。

第一、新拌混凝土工作性必须要满足自密实混凝土的技术性能指标;

第二、混凝土标准养护 28 天抗压强度必须要满足设计要求;

第三、混凝土水化过程中产生的水化热不能破坏混凝土的结构安全, 钢管柱直径小于 1m, 不属于大体积混凝土, 所以水化热对混凝土结构的影响可不作为主要因素考虑;

第四、混凝土配合比的确定不能一味的追求混凝土的工作性而忽略了经济效益, 在满足混凝土各项技术指标的同时, 要尽可能的追求成本的最小化。

外加剂掺量的增大, 扩展度也在增大。当外加剂掺量增大到一定数量后, 扩展度增加量减小, 甚至趋向于稳定。在实际试拌过程中还发现, 外加剂掺量增大后, 虽然流动性增大, 但拌合物粘度降低, 局部产生了石子堆积的现象, 拌合物离析。所以外加剂的掺量一定要控制在一定的范围内。

3 自密实混凝土工作性能影响因素

3.1 外加剂对自密实混凝土工作性能的影响

外加剂的使用上要获得最佳性能, 需要考虑胶凝材料的物理与化学特性。如细度、碳含量、碱含量和 C3A 等因素对外加剂产生的影响, 要弥补自密实高性能混凝土所具备的高流动性、抗离析性、间隙通过性和填充性这四个方面, 同时还要满足良好的泵送性能, 因此对外加剂的主要要求为: 首先与水泥要有较好的相容性, 相容性不好会降低减水剂减水效果; 其次是减水率要大于 25% 以上, 来减少用水量, 保证流动度; 再次减水剂对混凝土的缓凝和保塑效果要好。

3.2 砂率对自密实混凝土工作性能的影响

砂率对自密实混凝土拌合物的流动性有较大影响。砂率决定了粗细骨料的比例, 也是决定砂浆含量的主要因素, 在砂率的选择上, 要合理选择, 缺少是砂时, 使用细砂要适当降低砂率, 使用粗砂时, 要适当增加, 防止混凝土离析。增加砂率, 砂率是影响混凝土拌合物均匀性和填充性的重要因素。

3.3 矿物掺和料对自密实混凝土工作性能的影响

矿物掺和料是有效增加浆体含量改善其流变性能和稳定性并降低水化热的重要途径。在选择掺合料上加强质量控制, 粉煤灰烧失量和需水量比是控制指标关键, 粉煤灰烧失量大需水量就大, 容易造成混凝土坍落度损失过快,

影响混凝土工作性能和耐久性, 在使用时要进行车检形式, 加大质量控制。

3.4 水胶比对自密实混凝土工作性能的影响

胶凝材料用量一定的条件下, 水胶比的大小决定了用水量的大小和浆体含量的大小, 而浆体含量又是决定自密实混凝土流动性的主要因素。因此, 水胶比是影响自密实混凝土工作性能和耐久性的重要因素。一般来说, 水胶比越低, 配制的混凝土强度越高, 混凝土的密实度和耐久性也就越好。

3.5 胶凝材料用量对自密实混凝土工作性的影响

自密实混凝土不同于一般高性能混凝土的一个明显特征就是胶凝材料用量较高, 但是也有一个严格的范围。根据国内外一些成功配制自密实混凝土的经验, 胶凝材料总量一般为 $450 \sim 550 kg/m^3$ 。胶凝材料用量少, 则混凝土的流动性降低, 黏聚性下降, 石子在浆体中不能自由悬浮而造成离析分层; 胶凝材料用量过多, 则黏聚性过大, 在模板死角处石子容易堆积, 造成整个混凝土结构的不均匀性。此外, 胶凝材料用量越多, 既不经济, 也增加了因收缩引起开裂的趋势。

3.6 粗骨料对自密实混凝土工作性能影响

粗骨料作为混凝土中主要材料, 起到举足轻重的骨架作用, 除强度、粒径外, 针片状含量对自密实混凝土间隙通过性影响较大, 将增加拌合物的流动阻力, 同时, 对混凝土强度等性能也存在不利影响, 目前相关规范要求针片状含量不大于 8%。

4 结束语

经过此次的试配及验证, 自密实混凝土配合比设计影响因素多, 材料要求严, 过程调整程序繁杂, 要全面考虑不利因素, 注重结合现场施工条件, 保证现场施工拌合物的流动性、密实性以及龄期强度满足设计要求。现场施工要严格按照配合比的材料用量和原材料质量要求, 对拌和机械要使用 H120 型以上强制式搅拌机, 搅拌时间不得低于 120s, 夏季施工注意避开高温时间段和运输距离, 从拌和到现场浇筑控制 60min 以内, 防止坍损过大, 减小流动性, 现场浇筑前一定要测试拌合物性能指标合格后才能浇筑, 保证外观和实体质量。

[参考文献]

- [1] 许睦晖. 自密实混凝土配合比设计要点分析[J]. 福建交通科技, 2019(4): 3.
 - [2] 程刚黎. 自密实混凝土施工在建筑工程中的应用[J]. 工业, 2016(5): 110.
 - [3] 陈永利. 高性能自密实混凝土在工程中的应用[J]. 区域治理, 2018(52): 288.
- 作者简介: 夏同洲 (1976.1-) 男, 职称: 中级工程师。