

高强高性能混凝土组分研究

Study on the Composition of High-strength and High-performance Concrete

陆元松¹, 庞涛²

(1. 华丰建设股份有限公司, 浙江 宁波 315000; 2. 安徽理工大学土木建筑学院, 安徽 淮南 232001)

摘 要: 文章首先对高强高性能混凝土的定义及特点进行了简单的介绍, 接着对高强高性能混凝土的组成材料进行了重点探讨, 最后对高强高性能混凝土的前景进行了展望。

关键词: 高强高性能混凝土; 耐久性; 组分

中图分类号: TU528.31

文献标识码: A

文章编号: 1007-7359(2008)03-0085-03

Lu Yuansong et al (Huafeng Construction Co., Ltd., Ningbo 315000, China)

Abstract: Definition and features of high-strength and high-performance concrete are briefly introduced, the composition materials in high-strength and high-performance concrete are mainly discussed and the forecast for its future development is made.

Key words: high-strength and high-performance concrete; durability; composition

0 前言

随着现代建筑物的高层化、大跨化、轻量化, 以及使用环境的严酷化, 高强高性能混凝土越来越受到重视, 在许多建筑中已使用了 C80~C100 的混凝土, 在某些特殊场合甚至用到了更高强度性能的混凝土。高强高性能混凝土 (HPC) 是一种具有高耐久性、高施工性、高强度的“三高”混凝土, 被称为 21 世纪混凝土。

1 高强高性能混凝土的定义和特点

1.1 高强高性能混凝土的定义

各国对高强高性能混凝土与普通混凝土的划分不尽相同, 根据《高强混凝土结构技术规程》(CECS104:99), 将强度等级大于等于 C50 且具有良好的施工和易性和优异的耐久性的均匀密实的混凝土称为高强高性能混凝土。而《普通混凝土配合比设计规范》(JGJ55-2000) 中则将强度等级大于等于 C60 的混凝土称为高强混凝土。综合国内外对高强混凝土的研究和应用实践, 以及现代混凝土技术的发展, 将大于等于 C60 的混凝土称为高强度混凝土是比较合理的。高性能混凝土 (High Performance Concrete) 是伴随着高强混凝土而问世的, 美国和加拿大的学者普遍认为高性能应该是指高耐久性, 而不仅仅是高强度。除强度之外, 高耐久性还应包括高体积稳定性即收缩和徐变小、低渗透性和高工作度。各国对高性能混凝土的要求不完全一样, 但新拌混凝土的工作性、硬化混凝土的强度和耐久性, 这三者是高性能混凝土的基本要素。

通常高强高性能混凝土 (high-strength and high-performance concrete) 必须具有良好的耐久性, 高体积稳定性和良好的工作性。它是一种新型的高技术混凝土, 在大幅度提高常规混凝土性能基础上, 采用现代混凝土技术, 选用优质材料, 在严格的质量控制下制成的。除采用优质水泥、集料和水外, 必须采用低水胶比和掺加适量的超塑化剂和超细活性掺合料。

1.2 高强高性能混凝土的特点

高强高性能混凝土在混凝土的传统组分中引入了高效减水剂, 它克服了以往高强高性能混凝土因拌和物非常干硬而难以施工的缺陷, 可以用预拌方式生产和用泵送工艺浇筑; 与一般只以水泥、砂、石、水作为四大组分有重要区别的是: 现代高强高性能混凝土以高效减水剂等化学外加剂和优质矿物掺合料作为第五、第六组分, 从而使混凝土的各方面性能都有明显的提高。在配制高强高性能混凝土时, 人们通常采取低水灰比, 高水泥用量和胶凝材料总用量, 在混凝土中掺加硅灰、磨细矿渣、粉煤灰等矿物掺合料和高效减水剂的措施, 这种方法的混凝土配制不仅强度高, 而且工作性良好并且有很好的抗渗性, 从而在整个土建领域得到了推广和应用。高强高性能混凝土与普通混凝土相比有如下特点: ①由于水泥标号高、水化快, 所以高强高性能混凝土的早期强度高; ②高强高性能混凝土由于非常致密, 故抗渗、抗冻、抗碳化、抗腐蚀等耐久性指标均十分优异, 可极大地提高混凝土结构物的使用年限; ③由于混凝土强度高, 因此构件截面尺寸可大大减小, 从而减轻建筑物自重; ④高强高性能混凝土的弹性模量高, 徐变小, 可大大提高结构物的结构刚度。特别是对预应力混凝土结构, 可大大减小预应力损失; ⑤高强高性能混凝土的抗拉强度增长幅度往往小于抗压强度, 即拉压比相对较低, 且随着强度等级提高, 脆性增大, 韧性下降; ⑥水胶比小, 胶凝材料的相对含量高; ⑦高强高性能混凝土的早期收缩大, 体积稳定性差。

2 高强高性能混凝土的组成

为了获得符合工程要求的高强高性能混凝土, 通常需要在普通混凝土的四大组分 (即水泥、砂、石、水这四大组分) 基础上, 掺加高效减水剂和各种超细矿物掺合料, 作为第五、第六组分。

2.1 水泥

配制高强高性能混凝土用的水泥宜选用 52.5 级或更高标号的硅酸盐或普通硅酸盐水泥。强度等级选择一般为: C50~C80 混凝土宜用强度等级 42.5; C80 以上应选用更高强度等级的水泥。配制高强高性能混凝土的水泥用量较多, 一般在 400kg/m³~550kg/m³ 之间, 但不宜过多, 否则会增大混凝土的发热量, 导致混凝土的开裂。因此为获得高强度混凝土, 不能单靠

收稿日期: 2008-03-17

作者简介: 陆元松 (1980-), 男, 安徽合肥人, 毕业于合肥工业大学, 助理工程师。

增加水泥用量,这时可通过掺加硅粉等矿物掺合料来提高混凝土的强度,但水泥和矿物掺合料的总量不应大于 600kg/m³。

高强高性能混凝土具有低水胶比的特点,为了确保其流动性,必须掺入高效减水剂,但必须选择适宜低水胶比特性的水泥。一方面要考虑水泥的细度及粒子的组成,另一方面要考虑加水后的早期水化。水泥粒子群的比表面积、粒子形状、密度及粒子之间的级配(互相填充)等,对浆体的流动性影响很大。比表面积小,粒子形状接近球状,比重大,填充性好,流动性就大。优化这些因子,可以获得更适宜的流动性。高强高性能混凝土还具有强度高的特点,为了提高混凝土的强度,可通过提高水泥的活性,也就是增加 C-S-H 的生成量。方法是在水泥熟料烧制时,在高温烧制过程中急冷,使熟料中的 3CaO·SiO₂ 及 2CaO·SiO₂ 固溶体产生高温变态,溶化微量成分,增加其活性;降低 C₃A、钙矾石的含量,使低硫酸铁水化物及 Ca(OH)₂ 的生成量降低。硅酸二钙含量高的水泥,在低水胶比下,水化热低,强度发展好。

为了获得高性能混凝土,对水泥性能的要求,除了确保最低限度的流动性之外,还要求水泥在低的水胶比下,能促进水泥的水化反应,使水泥石的结构密实。

2.2 粗骨料

一般情况下,一个建筑物的设计使用年限都不低于 50 年,有的甚至达到 100 年,因此混凝土的耐久性必须超过 50 年。按照这样的目标,高强高性能混凝土粗骨料的选择必须考虑到下述问题。

①级配要好,粒径要适中。在同样的流动性要求下,空隙率越低,水泥浆的用量就越少,混凝土的自收缩变形、水化热就越低,体积稳定性、强度耐久性就越好。针片状颗粒含量直接决定混凝土的体积稳定性,针片状颗粒含量越大,混凝土早期膨胀和收缩也越大,直接导致混凝土耐久性的下降,所以应严格控制集料中针片状颗粒的含量。一般针片状含量不宜大于 5%。最大骨料粒径一般不宜大于 25mm,对强度等级大于 C80 的混凝土,最大粒径不宜大于 20mm。因此混凝土用骨料,既要求级配合理(空隙率要小),也要粗细、大小适中。

②物理性能要好。骨料的表观密度和堆积密度要大,吸水率要低,表面要粗糙,粒形要好,宜方正。通常要求表观密度 > 2650kg/m³,堆积密度 ≥ 1450kg/m³。这样可以降低骨料空隙率,减少水泥浆用量,提高流动性、耐久性和强度。要求吸水率 < 1.0%,以保证骨料致密,稳定性好。含泥量不应大于 1.0%,对强度等级大于 C100 的混凝土,含泥量不应大于 0.5%。

③力学性能要好。不能含软弱颗粒的骨料或风化骨料。混凝土的弹性模量与骨料的弹性模量有以下关系: $y = 2.5 + 0.2x$ (初始弹模,其中 y 为混凝土弹性模量, x 为骨料弹性模量)。由此可见,骨料的弹性模量越大,混凝土的弹性模量也相应增大,故要选择弹性模量大的骨料。

④化学性能要好。首先应是无碱活性骨料,避免高强高性能混凝土发生碱-骨料反应;其次要不含泥块,含泥量 < 1.0%;再次应不含有机物、硫化物和硫酸盐等杂质。

2.3 细骨料

高强高性能混凝土的细骨料宜优先选用细度模数为 2.7~3.1 中等偏粗的天然河砂,最佳砂率为 35%~45%,含泥量不应大于 1.5%,当配制 C70 以上混凝土,含泥量不应大于 1.0%。砂率,是高强高性能混凝土配合比设计中一个很重要的

参数。普通混凝土在满足强度等性能要求后,砂率宜尽量低,因为当水泥浆量一定时,砂率在混凝土中的最主要作用是影响新拌混凝土的和易性。由于高强高性能混凝土的用水量较低,砂浆量要通过增加砂率来补充,所以砂率宜适当增加。影响砂率的因素除了其自身的细度模数与级配外,还与胶凝材料用量、粗骨料粒径以及施工工艺有关。对于碎石和卵石混凝土,其选择范围通常分别为 0.34~0.42、0.26~0.36。有研究表明,随着砂率的降低,混凝土的早期自收缩逐渐减少,这是由于砂率的降低减少了用水量,在密封的条件下,可为水泥水化提供更多的水分,从而使毛细孔中暂时不会产生凹液面,也不会产生拉应力,反而使混凝土出现了一定程度的湿胀。因此粗骨料体积用量对混凝土早期自收缩影响显著,一般情况下高性能混凝土的自收缩均随集料体积分含量的增加而减小,并且同配比的混凝土其自收缩随集料弹性模量的增加而减少。

2.4 水

高强高性能混凝土对水的质量要求与普通混凝土一样,应符合《混凝土拌和物用水标准》(JGJ63)要求,用自来水即可。

2.5 高效减水剂

要实现混凝土的高性能,即高强度、高工作性和高耐久性,减水剂起到了不可替代的作用,减水剂的减水率一般要求大于 20%。减水剂在混凝土高性能化中的作用,在于其能够全面地提高混凝土的性能。因此,高效减水剂已成为高性能混凝土中除水泥、砂、石和水之外的“第五组分”。掺加高效减水剂已成为配制流态混凝土的主要手段。通常,高效减水剂应具有以下四个方面的基本功能:①具有高的水泥粒子的分散能力,使混凝土具有高强度;②达到相同工作度条件下,混凝土用水量能减少到最低值;③提高混凝土的耐久性;④能控制混凝土坍塌度损失,便于施工。另外,为了适应某些混凝土的功能需要与技术发展,混凝土中也可同时掺入具有其他功能的引气剂、缓凝剂、防水剂、膨胀剂、防冻剂等。因此,当我们配制高强高性能混凝土时,必须谨慎选择混凝土化学外加剂。

2.6 矿物掺合料

2.6.1 粉煤灰

粉煤灰是燃烧煤粉的锅炉烟气中收集到的细微粉末,又称“飞灰”(Fly Ash),其颗粒多呈球形,表面光滑。大量的实践证明:掺用粉煤灰的混凝土,其长期性能可得到大幅度的改善,对延长构筑物的使用寿命有重要意义。粉煤灰在混凝土中的主要作用包括以下几个方面:①填充骨料颗粒的空隙并包裹它们形成润滑层,产生“滚珠润滑”效应;②对水泥颗粒起物理分散作用,使其分布得更均匀;③粉煤灰和聚集在骨料颗粒周围的氢氧化钙结晶发生火山灰反应,生成具有胶凝性质的产物,加强了薄弱的过渡区,对改善混凝土的各项性能有显著作用;④粉煤灰延缓了水化速度,减小混凝土因水化热引起的温升,对防止混凝土产生温度裂缝十分有利;⑤可减小混凝土温度开裂的危险,同时由于加快了火山灰反应,还可提高 28d 强度。值得注意的是,粉煤灰的水泥取代率对强度影响显著,较好的早期强度和后期强度的水泥取代率应小于 10%。当粉煤灰掺量较低时,只会对水泥早期水化热有影响,但对 7d 龄期的水化热几乎没有影响。

2.6.2 硅粉

硅粉(Silica Fume, 简写 SF)又称硅灰,是从生产硅铁或硅钢等合金所排放的烟气中收集到的颗粒极细的烟尘。硅粉主要

(下转第 112 页)

四周浇筑混凝土护圈,并在护圈上设置围栏围护,其高度应高出地面 1.0 m。挖出的土方应及时运离孔口,不得堆放在孔口四周 2.0 m 的范围内。挖孔桩作业人员下班休息时,必须盖好孔口,或用护身栏将井口封闭围挡。

2.3 窒息中毒

地下特殊土层中往往含有 SO_2 、 CO 、 H_2S 等有毒气体,挖孔桩施工人员可能会因吸入这些气体而造成毒气中毒甚至死亡事故。因此,施工人员每次下孔前,必须对桩孔内气体成分进行抽样检测,发现有有害气体含量超过允许值时,应采取措施将有害气体清除至最低允许浓度的卫生标准,并采用足够的安全卫生防范措施。挖孔作业人员一旦发生中毒、窒息事故,必须在现场按应急措施预案实施抢救,并根据情况及时送往医院进一步抢救治疗。

2.4 触电事故

施工现场一切电源、电路的安装、拆除必须由持证电工操作。施工用电开关必须集中于井口,并应设漏电保安器。孔内电线电缆必须采用护套等有防磨损、防潮、防断等保护措施,空中操作工应戴工作手套,脚穿绝缘胶鞋,配电箱应有严密的防雨措施,安装位置要合适,安装应牢固。一旦发生漏电,必须迅速拉下开关断电,值班电工必须对一切电器设备及线路经常检查,加强维护,及时发现问题并妥善处理。

一般地,孔底照明采用 12 V 低压防水带罩灯具,用防水绝缘电缆引下,同时安装漏电保护装置。使用潜水泵抽水时,必须

(上接第 86 页)

由非常微小、表面光滑的玻璃态球形颗粒组成,粒径为 $0.1\mu\text{m}$ ~ $1.0\mu\text{m}$,是水泥粒径的 $1/50$ ~ $1/100$,一般比表面积为 $18500\text{m}^2/\text{kg}$ ~ $20000\text{m}^2/\text{kg}$,主要化学成分为二氧化硅,其含量在 90% 以上。在混凝土中掺加少量硅粉或以硅粉取代部分水泥,结合应用减水剂,可使混凝土各方面的物理力学性能都得到显著提高,硅粉的适宜掺量为水泥用量的 5%~10%。硅粉的加入,对混凝土的性能的影响主要有:①改善了新拌混凝土的粘聚性、保水性,提高了需水量;②提高了混凝土的强度,增大了弹性模量和混凝土的干缩;③提高了混凝土的耐久性。另外,在配制硅粉混凝土时必须注意:①由于硅粉的需水量比水泥大,在配制硅粉混凝土时,一般要掺加减水剂。在选择减水剂时,应使之与所用的水泥具有相容性,否则,容易影响混凝土的工作性能。同时,根据减水剂性能及需求的减水需求来选择合适的掺量。②比表面积和活性 SiO_2 含量是硅粉的重要指标,硅粉比表面积越大、活性 SiO_2 含量越高,硅粉性能越好,配制硅粉混凝土需选择具有良好性能的硅粉。③硅粉混凝土的干缩一般比普通混凝土大,配制高性能混凝土时应采取补偿收缩的措施,如掺加粉煤灰等。

2.6.3 磨细矿渣

矿渣是高炉炼铁排出的熔融矿渣在高温状态下迅速水淬冷却而成的。矿渣作为一种混合材料早已用于生产建筑材料,反应速度往往较慢,但是诸多研究表明,将矿渣磨细至超细状态,其细度大于 $350\text{m}^2/\text{kg}$,一般为 $400\text{m}^2/\text{kg}$ ~ $600\text{m}^2/\text{kg}$ 时,其活性将大为改善,用于混凝土中可产生普通矿渣不具备的效应。用于高强高性能混凝土的磨细矿渣的细度要大于水泥,比表面积在 $400\text{m}^2/\text{kg}$ 以上。掺磨细矿渣对提高混凝土早期强度的效果优于粉煤灰,细度越高,效果越好,但成本也越高。比表面积大的

待抽水完成后才允许挖孔,并使用漏电保护器。但如果地下涌水量较大,施工过程中一边抽水一边开挖,往往容易引发触电事故,可采用深水泵代替潜水泵来解决这个问题。

2.5 其它安全事故

如高空坠落、桩孔内缺氧、临近建筑影响、原有地下管线影响、扩底塌方等,均须按照相应规范和当地经验进行合理处治。

3 结 语

人工挖孔桩的施工过程中,应本着‘以人为本’的理念,结合设计要求及地质状况,预测施工中可能存在的隐患,制定有针对性的安全预防措施。并建立和完善规章制度,落实各级安全生产责任制,制定切实可行的安全生产责任目标,牢固树立‘安全第一’的思想,建立健全安全网络,同时加强人员培训,提高人员素质。只要在思想上重视、措施得力,就能够减少和杜绝安全事故的发生。

参考文献

- [1] 张卫东.人工挖孔桩的施工工艺与安全措施[J].山西建筑,2007(27).
- [2] 刘兴华,徐国栋,刘本立.人工挖孔桩施工方法及质量问题的处理措施[J].山西建筑,2008(22).
- [3] 王新征,魏胜林.人工挖孔桩在某大型工程项目中的应用[J].山西建筑,2007(21).
- [4] 唐学潮.从一起塌孔事故谈人工挖孔桩的安全施工[J].建筑安全,2000(7).

磨细矿渣不但不起降低混凝土水化温升的作用,还会使混凝土拌合物的需水量增加。磨细矿渣的掺入,对新拌混凝土的性能影响主要有:①凝结时间延长;②在水化初期,随着置换率增加,温度上升速率降低;③混凝土的泌水量比基准混凝土的泌水量降低。磨细矿渣的掺入,对硬化混凝土性能的影响有:①抗压强度、弹性模量提高;②抑制碱-骨料反应;③抗冻性、耐酸性、耐热性得到提高。

4 前景和展望

高强高性能混凝土技术,发达国家早在 20 世纪 50 年代就已开始研究应用。我国约在 20 世纪 80 年代初首先在轨枕和预应力桥梁中使用。在高层建筑中的应用,则始于 80 年代末。进入 90 年代后,研究和应用增加,在许多大中城市已建起了多幢高强高性能混凝土建筑。高强高性能混凝土得以广泛应用于工程建设领域,是因为高强高性能混凝土具有高强、早强、高施工性、高抗渗性和高弹性模量优点,另外,它在降低结构自重、增大建筑物使用面积、减少投资和施工费用、缩短工期、扩大混凝土使用范围等方面也都显示了良好的效果,取得了较好的社会效益和经济效益。高强高性能混凝土已作为建设部推广应用的十大新技术之一。随着国民经济的发展,高强高性能混凝土在建筑、道路、桥梁、港口、海洋、大跨度及预应力结构、高耸建筑物等工程中的应用必将越来越广泛,强度等级也将不断提高。

参考文献

- [1] 冯乃谦,刑 锋.高性能混凝土技术[M].北京:原子能工业出版社,2000.
- [2] 巴恒静,张武术,等.集料物性对高性能混凝土早期自收缩的影响[C].高强与高性能混凝土及其应用第五届学术讨论会文集,2004.