

高速公路中高性能混凝土试验检测技术应用及研究

文 / 卢凡 青岛市华鲁公路工程有限公司

刘元飞 青岛市华鲁公路工程有限公司

摘要: 高性能混凝土在高速公路建设中具有诸多优势,能够有效抵抗外部因素的影响,提高混凝土的使用期限。本文拟结合实际工程案例,针对高速公路工程中高性能混凝土的试验检测问题,开展相应的研究,探讨高性能混凝土的使用,以减少施工过程的困难,提高施工效率,确保工程的安全运行。

关键词: 高性能混凝土; 试验检测; 胶凝材料; 优化

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2025.02.068

前言

混凝土因其施工方便、强度高、施工方便、造价低廉等优点,被广泛地用于建设工程施工。目前,我国高速公路建设中普遍采用的是C30至C50的混凝土,这些混凝土具有较大的水灰比、较大的孔隙率和较低的耐久性等显著性缺点,严重影响了公路工程的使用寿命。为此,有关部门应加快对高性能混凝土的技术研究,并对其性能进行测试,以保证其综合性能,以便为我国交通运输产业的发展提供支撑。

一、高性能混凝土的概述

高性能混凝土是一种采用中粗河砂、碎石作为基材,掺加优质水泥、粉煤灰、硅灰或矿渣粉、高性能减水剂或高效减水剂等配制而成的一种优质混凝土。高性能混凝土的特点是采用低水胶比,以耐久性作为配合比设计的主要指标。

高性能混凝土主要具有如下性能:

(1) 高强度: 高性能混凝土通常可达到60MPa或更高的强度,比一般的混凝土要高得多。

(2) 耐久性好: 高性能混凝土具有良好的抗氯化、抗冻和耐久性能,可大大提高结构的使用年限。

(3) 抗裂性能好: 高性能混凝土的抗裂能力控制在0.3mm以内;

(4) 良好的流动性: 高性能混凝土具有良好的流动性,抗离析性强,填充性好,能够确保施工过程中的浇筑质量,提高了施工的效率。

二、高速公路中高性能混凝土试验检测技术应用策略

(一) 力学性能试验检测技术

高性能混凝土的抗压强度、劈拉强度和弹性模量是影响高性能混凝土性能的主要因素。

1. 抗压强度试验

混凝土的抗压强度是衡量高性能混凝土质量的一个重要指标,它可以通过以下方式进行:取一块标准养护的混凝土试样,在一定的时限内进行抗压强度测试,将试样的表面擦拭干净,去除附着在上面的杂质,将试

样放在压力机下面的承压板上。应注意,试件浇注面不能充当受压面,放置完毕后,应将试件找平,对中。之后打开机器,调节承载板,让它和混凝土试样的表面相接触,然后调节球座,让它和试样的表面充分地接触,最后打开压机,按规定的速度把载荷加到试样上,直到试样失效,精确地记录下当时的载荷值,接下来用有关公式算出混凝土试样的抗压强度。这次选择36组试样进行28天抗压强度测试,得到平均值为39.6MPa,标准偏差为1.23MPa,变异系数为3.1%。研究结果显示,标准偏差越小,说明制作的混凝土试件强度较为均匀。本次的测试的标准偏差是1.23MPa,远远低于4.0MPa(规定值),这说明制作出来的混凝土的质量良好,并且波动很小,具有较高的稳定性。

2. 劈裂抗拉强度

混凝土是一种抗拉强度为5%—10%的脆性材料,在受拉时易产生开裂和变形等缺陷,严重影响其使用性能。因此,对高性能混凝土进行劈裂抗拉强度测定是十分必要的,其主要内容是:采用圆柱试件进行劈裂拉伸强度测定,并按照规范养护方法将试件保持到试验龄期。然后精确地测量试样的直径、高度,并对其外形进行全面仔细地检查,画出劈裂面的位置线。将试样、夹具和垫板装配在压板上,对中对后打开压力机,调节球座与试样表面均匀接触,按规范要求的速度继续加载,直到试样破坏,最后计算出试样的劈裂抗拉强度值。本次选取C30试样进行劈裂抗拉强度试验,普通混凝土7d、28d劈裂抗拉强度分别为2.12MPa、3.11MPa。高性能混凝土7d、28d劈裂抗拉强度分别为2.24MPa、3.52MPa。以上实验数据表明,与普通混凝土相比,高性能混凝土具有更高的抗拉强度优势,且抗裂安全系数大于规定值(1.5—2.0),其劈裂抗拉强度及抗裂安全系数均满足规范设计要求。

3. 弹性模量试验

采用标准养护试样,对其表面和受压板进行擦拭,然后进行一组试件的轴心抗压强度测试,然后另取一组试件进行抗压弹性模量测试。将试样放入压力机球座

上, 对中后, 打开压力机并调节钢球, 保证两者之间的接触一致, 预压不少于两次。在末次预压之后, 在此压力下维持一段时间, 精确地记录各测点的变形读数, 再用同样的加载速率, 将其加载到荷载值上, 经过一段时间后, 读出各测点的变形值。本次选取C50试样进行弹性模量试验, 最后得出普通混凝土值为35.5GPa, 高性能混凝土值为38.5GPa。由此可见, 高性能混凝土弹性模量值远大于普通混凝土, 性能更加优异。

表 1 混凝土性能指标对比

性能指标	普通混凝土	高性能混凝土
抗压强度	37.5MPa	39.6MPa
7d 劈裂抗拉强度	2.12MPa	2.24MPa
28d 劈裂抗拉强度	3.11MPa	3.52MPa
弹性模量	35.5GPa	38.5GPa

(二) 配合比性能试验检测技术

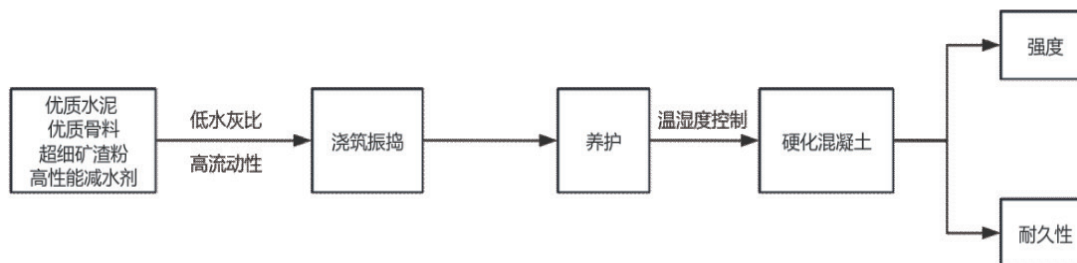


图 1 高性能混凝土配合比设计流程

1. 水泥和外加剂的配比选择

本文通过对外加剂在水泥混凝土中的影响进行了研究, 结果表明, 掺入物不仅对水泥的强度有很大的影响, 而且外加剂的种类对水泥的各项性能也有很大的影响。当外加剂相同, 掺量不同时, 对混凝土的各项性能也有一定的影响。为此, 在具体的测试中, 我们提出“双向适应”的概念, 也就是说不仅要求外加剂适应水泥, 同时也要求水泥通过调整其熟料矿物组成、细度及颗粒级配等来适应外加剂, 使水泥与外加剂双向适应。外加剂的适配可根据配比调整, 而水泥的适配却需调整各组分的配比。通过试验, 得出了该配合比可以获得最大的抗压强度。在以后的测试中, 可以根据这个最优的配比条件来进行测试。在具体的测试中, 要正确地测定混凝土的坍落度, 以防止其对混凝土的流动性能产生不良影响。通过对本实验的测试, 发现在最优配合比下, 其坍落度控制在160mm-210mm。通过这些测试, 可以科学地选择水泥和掺合料的配合比, 从而保证水泥混凝土的使用性能。

2. 水胶比和粉煤灰掺量对水泥混凝土性能的影响测试分析

本次在对高性能水泥混凝土配合比性能的测试中, 利用上述选定的最优配合比, 以三种不同的水胶比, 每种水胶比采用三种不同的粉煤灰掺量分别拌和制件, 到达龄期后分别测试水泥混凝土的抗压强度。研究表明, 水胶比在0.31-0.35之间的变化是最显著的。因此在配制高性能混凝土时, 应严格控制水胶比, 以控制在0.28-0.30范围为宜。

最终结果表明, 当水胶比为0.28, 外加剂掺量为1.5%的时候, 向混凝土中加入适量的粉煤灰(掺量约为15%-20%), 可以大幅度提高混凝土的后期强度, 但如

果粉煤灰的掺入量超出了一定的范围, 则会导致混凝土的抗压强度下降。因此, 在具体的实验中, 测试人员也要按照实际情况, 严格控制粉煤灰掺量, 从而保证用水量的减少, 提高水泥混凝土的性能。此外, 在进行配合比性能测试时, 研究者还应注重对其坍落度的科学测试, 并按实际配合比详细地记录各种测试参数, 为以后的高性能水泥混凝土的施工提供充分的依据。

(三) 和易性能试验检测技术

对于高性能混凝土来说, 和易性是一个非常重要的指标, 它包括流动性、保水性、粘聚性等, 每一项指标都有自己的特点, 所以要用不同的测试手段来进行评价。通常采用肉眼观察法对其流动性能进行测试, 并对其保水性和粘聚性进行判断, 以此来对其工作性能进行全面评价。坍落度试验主要是测量水泥混凝土拌合物在自重作用下的抗剪性, 工程上常用坍落度仪法来测试其流动性能。试验前将坍落度内外洗干净, 放在润湿过的钢板上, 钢板需稳定牢固。首先对取样的拌合物进行人工拌和, 保证均匀, 然后将拌合后的混凝土分3次均匀装入筒内, 每层装入高度稍大于筒高1/3, 每层均匀插捣25次, 顶层插捣完毕抹平清理筒周围拌合物后, 立即在3-7s内垂直提起坍落度筒, 保证混凝土自由坍落下来, 整个过程应在150s内完成。用钢尺测量混凝土顶点至平放钢尺底面的垂直距离即为该试样的坍落度值。应保证混凝土坍落度值不超过设计值, 且混凝土扩展后最大最小直径在50mm以内, 否则此次试验无效。若试样一侧发生崩塌, 应重新进行取样检测, 仍然出现上述情况, 标明混凝土和易性较差, 应详细记录。

通过对混凝土拌合物的和易性测试, 保证其具有良好的粘聚性和保水性, 满足现场施工需要。其中材料的优选、配合比的合理设计、拌和过程中的严格控制是确

保高性能混凝土工作性能的重要因素。

(四) 耐久性能试验检测技术

对高性能混凝土进行耐久性能测试，其主要内容有：抗渗性、抗氯离子渗透性等试验。

选择圆筒状的混凝土试样，按规范要求养护到标准龄期，待其表面干燥后，在其一侧均匀地涂上一层封严材料，然后用压力机将其压进试验模具，待其完全冷却后，将其与试样一起放入抗渗仪中。开启抗渗仪，加大水压，以设定的水压为起点，持续加大水压，观测试样的表面渗漏。当有3个渗水试样出现时，就可以停止测试，并对水压力进行真实地记录。研究发现，掺入硅粉及高效减水剂后，混凝土的致密性有明显改善，其强度及抗渗性能均有较大幅度地改善。本次试验以0.30和0.40的水胶比分别进行试验，当采用0.30水灰比时混凝土抗渗性良好，强度值可达到2.0MPa。当采用0.40水灰比时混凝土抗渗性较差，强度值可达到1.0MPa。结果表明采用较低的水胶比，混凝土的抗渗效果较为明显。

抗氯离子渗透性试验的工作原理为：首先，将试样按规格进行切割，置入标养池中4天，然后在测试槽中加入适当的药剂，通电后对电压、电流和电解质的温度进行测量，然后将试样从中间切开，测量氯离子扩散的深度，根据有关公式，求出膨胀系数。研究发现，在混凝土中添加矿物掺合料，可以有效地阻止氯离子在混凝土中的扩散，以减少其在混凝土中的含量，从而大大延长钢筋的腐蚀时间。本次试验以相同原材料分别配置一组普通混凝土和一组高性能混凝土，两组试件的氯离子扩散系数结果如下：普通混凝土为 $3.4 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$ ，高性能混凝土试件为 $2.7 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$ 。结果表明高性能混凝土氯离子扩散系数明显优于普通混凝土的氯离子扩散系数。

三、高速公路中高性能混凝土试验检测优化措施

(一) 做好高性能混凝土配合比设计

首先在进行配合比设计前期阶段，水泥宜选用品质优良的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，不宜采用矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥及粉煤灰硅酸盐水泥。细集料宜选用级配良好的中粗河砂，粗集料应选用连续级配的碎石，外加剂应选用掺入引气成分的高性能减水剂，矿物掺合料应选用品质稳定的粉煤灰、矿渣粉等，以上各种材料的技术指标均需满足设计文件及规范的要求。

高性能混凝土宜采用低水胶比，高外加剂掺量，掺合料掺量严格控制的思路进行设计。特别是对耐久性有较高要求的结构物，应进行抗裂性能比对试验。另外要严格控制拌合物中氯离子、总碱含量及坍落度，确保混凝土拌合物性能满足要求。

(二) 优化高性能混凝土搅拌与浇注工艺

高性能混凝土采用配备自动计量搅拌装置的强制式搅拌机进行拌和，投料顺序与普通混凝土不同。宜先投

入细集料和掺合料进行干拌，再加入水泥和水，最后再加入粗集料、外加剂和水，上述任何一个阶段的搅拌时间不得少于30s，总的搅拌时间应比普通混凝土搅拌时间多40s以上。掺有加气组分的超塑化剂混凝土，在强制式搅拌机内搅拌时间不能超过5分钟，否则会使导入混凝土的气泡过多，使混凝土产生疏松、流动性下降、坍落度下降等问题。

在浇筑过程中，要保证混凝土配合比和拌和环境满足规范。混凝土运输时，必须用专用的搅拌车运送，并利用吊桶或泵送机械进行运送，这样就可以大大地解决浇筑中出现的问题。梁体的浇筑顺序为先浇底板、后浇腹板，采用分层、分段的方式进行。在有条件的工作面上，为了使混凝土的振捣更加充分，二次振捣可以有效地改善混凝土的强度和耐久性能，宜采取二次振捣的方法。

(三) 高性能混凝土无损检测与试件破坏性试验对比

室外考虑到现场施工的特殊性，为了缩短检测时间，施工中常用回弹仪法完成结构物强度的快速检测。现场回弹检测时应注意操作方法和检测区域，尽量避开结构浇筑面和结合面处，划定网格，保证检测平面平整密实、无蜂窝麻面等现象。按规范进行测区检测记录，换算得到最终的回弹试验数据。

室内进行混凝土试件强度检测时，实验操作过程中若出现试件偏心受压现象，对高性能混凝土的影响会比普通混凝土要大一些。特别是试件尺寸越小时这种现象越明显，最终造成检测结果偏低。

根据研究成果显示，现场换算得到的回弹数据要比标准抗压强度试验方法得到的抗压强度值偏小。所以实际应用中应根据施工需要，建立两者的数据对比曲线图，定期进行科学统计对比。

结语

通过对高性能混凝土进行性能测试，为其在工程中的有效使用奠定基础。本文从材料组成、影响因素、试验检测及应用研究等方面深入认识高性能混凝土的物理机制。因此，提高高性能混凝土的综合性能和测试手段，是推动高性能混凝土在我国大规模推广应用的关键。

参考文献

- [1] 刘琛. 高速铁路48m跨度超高性能混凝土筒支梁设计及抗弯性能试验研究[J]. 铁道建筑, 2019(8): 52-53.
- [2] 王伟. 高性能混凝土抗火性能试验及数值模拟[J]. 工程建设, 2019(5): 41-42.
- [3] 贺东青, 李衫元, 陶伟, 等. 高性能混凝土工作性能试验研究[J]. 建筑建材装饰, 2018(2): 65-66.
- [4] 刘升. 全机制砂C60高性能混凝土试验研究及应用[J]. 福建建材, 2018(5): 58-59.