

土木工程中公路桥梁建设高性能混凝土的应用

文 / 吴中朝 中铁十一局集团有限公司

摘要: 高性能混凝土以其卓越的耐久性、强大的稳定性、显著的抗压性能以及显著的经济效益,正逐步成为我国公路桥梁建设领域的优选材料。为充分发挥其优势,推动公路桥梁工程质量的飞跃,我们应紧密围绕实际工程需求,科学调配混凝土配比,精选高品质原材料,并持续优化其使用环境。鉴于此,本文主要分析土木工程中公路桥梁建设高性能混凝土的应用。

关键词: 土木工程; 公路桥梁; 高性能混凝土

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2025.03.056

引言

公路桥梁建设,作为土木工程领域的标志性基础设施项目,其施工质量不仅关乎交通网络的流畅运作,更直接关联到公众的出行安全与生命健康。因此,在公路桥梁的施工过程中,对高性能混凝土的应用必须给予极高的重视,确保能够充分挖掘并有效利用其卓越性能,如高耐久性、强稳定性及优越的抗压能力等,让这些优势真正转化为提升工程质量的关键因素。

一、高性能混凝土特性分析

(一) 体积稳定性

体积稳定性作为衡量混凝土性能的核心技术指标,高性能混凝土在此方面展现出了卓越的表现。相较于常规混凝土普遍具备的23GPa弹性模量,高性能混凝土通过精心选择的材料配比与创新技术,实现了弹性模量的显著提升,通常不低于40GPa,这一特性极大地增强了其抵抗变形的能力。在追求混凝土体积稳定性的过程中,“干缩值”是一个至关重要的考量因素。干缩现象是混凝土在硬化过程中因水分蒸发而导致的体积减小,对结构的稳定性和耐久性构成潜在威胁。然而,高性能混凝土凭借其高弹性模量和优化的水泥浆体含量,有效控制了干缩现象的发生,确保在长达90天的观察期内,其干缩值始终保持在极低的0.04%以下,这一优异表现进一步巩固了高性能混凝土在提升工程结构质量方面的核心地位。

(二) 强度

常规混凝土的平均抗压强度通常局限在50MPa左右,而高性能混凝土则实现了质的飞跃,其平均抗压强度可达100MPa,是前者的两倍之多。这一显著提升不仅体现在抗压强度上,还广泛反映在抗拉强度的增强上,高性能混凝土在这两方面均展现出明显优于常规混凝土的性能,为建筑设施的结构强度提供了强有力的支撑。在性能参数的评估中,高性能混凝土同样表现出色。以坍落度为例,其指标稳定在180~240mm的范围内,这一区间确保了混凝土在浇筑过程中的流动性和可塑性,便于施工操作且不易产生离析现象。

(三) 自密实性

高性能混凝土以其卓越的流动性著称,这一特性有

效避免了施工过程中的离析问题,从而减少了对外加水分的大量依赖。其优异的流动性与拌匀后的良好自密实性相辅相成,使得高性能混凝土在浇筑时能够自然填充模板的每一个角落,无须额外振捣即可达到密实效果,极大地简化了施工流程,提高了施工效率与质量。

(四) 水热化

石灰作为混凝土中的关键成分之一,其含量对水化反应及水热状况产生着显著影响。具体而言,石灰值与水化热之间存在着正相关的关系,即石灰值越高,水化过程中释放的热量也越多。然而,这也带来了施工上的挑战,因为过高的水化热可能导致混凝土内部温度急剧上升,影响施工质量和进度。

(五) 收缩以及徐变

在混凝土的性能评估中,收缩与徐变是两个相互对立却又紧密相关的技术指标,它们在高性能混凝土中的表现尤为显著,呈现出鲜明的阶段性差异。具体而言,高性能混凝土的收缩率在发展初期会伴随着强度的提升而有所增加,但这一趋势在中后期会发生逆转,出现与初期截然相反的变化。

(六) 耐久性

耐久性无疑是高性能混凝土最为瞩目的特性之一,其核心优势在于其卓越的密实性。这种高度密实的结构赋予了高性能混凝土极强的抗化学腐蚀能力,使其在面对各种侵蚀性介质时都能展现出非凡的抵抗力。无论是在需要严格防渗的工程中,还是在经受寒冷气候考验的防冻应用中,高性能混凝土都能凭借其出色的性能表现,确保结构的长期安全与稳定。

(七) 耐高温性

在高温环境下,常规混凝土常面临严重的爆裂风险,这是建筑行业亟待解决的一大难题。其根源在于混凝土内部密度的局限性,导致内部水分难以有效排出。随着温度攀升,这些滞留的水分蒸发产生的气压急剧上升,从而在混凝土内部形成巨大的拉伸力,最终引发爆裂现象。

二、公路桥梁应用普通混凝土暴露出的问题分析

(一) 蜂窝和气穴问题

公路桥梁施工过程中,不可避免地会受到天气变

化、施工环境复杂性以及人为操作等多种因素的制约，这些因素往往使得对材料配比的精确控制变得尤为困难，容易导致配比偏离标准规范。这种配比不当直接反映在公路桥梁路面上，便是出现蜂窝状缺陷和气穴等问题。这些表面缺陷不仅严重影响了混凝土路面的平整度，还深刻破坏了混凝土结构的整体性能，进而削弱了公路桥梁的承载能力。

（二）混凝土孔道产生流浆的情况

公路桥梁工程建设竣工后，常需通过注浆等技术手段对孔道进行精心处理，以充分发挥混凝土的潜力，进而显著提升工程的整体质量。然而，实际操作中，混凝土孔道流浆现象时有发生，这一问题不容忽视，因其对公路桥梁的结构稳定性和建设安全构成了严重威胁，极可能导致道路桥梁的稳定性大幅下降。

（三）裂缝的情况

裂缝问题，作为公路桥梁施工中的重大挑战之一，其根源深植于多种复杂因素之中。公路桥梁在服役期间，不可避免地会遭受自然环境变迁、外部荷载作用等多重考验，这些因素共同作用下，结构易受损毁。混凝土，作为构建公路桥梁的主要材料，其本质是一种多元复合材料，其性能深受原材料性质变化的影响。当外部环境如温度、湿度等发生变化时，混凝土中的某些成分可能因此发生物理或化学性质的改变，导致结构内部产生不均匀的应力分布，进而诱发裂缝的形成。

三、高性能混凝土在公路桥梁建设中的施工标准分析

（一）配制工艺

其一，施工人员必须要严格按照生产工艺指标来调配高性能混凝土的多种原料，要保证不同原料配比的合理性，与此同时，一定要保证整个工艺流程足够严谨和顺畅，只有这样，高性能混凝土的性能才可实现最优化，高性能混凝土才可以在公路桥梁建设与施工过程中展现出自己的优势和价值。

其二，高性能混凝土的配制过程需要对水和水泥二者的配比表示出高度重视，在配制高性能混凝土时，一定要保障水泥和水比例的合理性。在实际配制过程中，专业人员会根据公路桥梁工程的实际情况来对高性能混凝土中的水泥和水进行配比。

（二）浇筑工艺

在公路桥梁建设的浩大工程中，高性能混凝土的浇筑环节占据着举足轻重的地位。这一环节对参与浇筑工作的施工人员提出了极高的技术挑战与操作要求，他们必须确保浇筑过程与所采用的技术和工艺实现无缝对接，以达到最佳施工效果。

为了确保高性能混凝土浇筑的质量与精度，施工前的准备工作显得尤为关键。施工人员会预先进行多次细致的浇筑试验，通过反复实践与数据收集，积累宝贵的浇筑经验，并以此为依据，不断优化和调整浇筑方案。这一过程中，施工单位的管理层将发挥关键作用，他们

会对多组试验数据进行对比分析，精选出最优数据作为实际施工的指导依据，确保每一环节的精准无误。

（三）养护工艺

高性能混凝土的浇筑施工完成后，紧接着便是至关重要的养护阶段，其工艺水平的高低直接关系到混凝土的最终实用价值、质量及使用寿命。因此，定期且科学的保养与维护是不可或缺的。

首次养护工作通常需在浇筑完成后的12小时内迅速展开，施工人员需根据现场浇筑的实际情况，及时对混凝土进行覆盖保护，以防止其过早干燥或受到外界不利因素的侵害。随后，在设定的固定时间段内，浇水养护成为常规操作，旨在保持混凝土表面的湿润状态，促进水化反应的充分进行，从而增强混凝土的强度和耐久性。

四、土木工程中公路桥梁建设高性能混凝土的应用

（一）高性能混凝土施工准备

为确保高性能混凝土的品质卓越，对其原材料的选择与控制需达到前所未有的严格标准。在粗集料的甄选上，我们应倾向于使用压碎值低于8%的坚硬碎石，其粒径需精细控制，最大不超过25mm，而理想范围则锁定在5mm至20mm之间，同时，针片状颗粒的含量应严格限制在5%以下，含泥量更是不得超出0.5%的严苛界限。

对于细集料而言，其含泥量同样需保持在低水平，即不超过1.5%，并优选细度模数介于2.6至3之间的硬质且洁净的砂料，以确保混凝土的和易性与强度。

水泥的选择亦不容忽视，低碱普通硅酸盐及低碱硅酸盐水泥因其优越的性能成为首选。在特定环境下，如强腐蚀或一般使用环境，还需特别注意控制C3A（铝酸三钙）的含量，分别不超过5%与8%，以有效防止混凝土因化学侵蚀而受损。

此外，矿物活性参合料的使用也需遵循相关规定，特别是磨细矿粉的比表面积需超过450m²/kg，以充分发挥其增强与改善混凝土性能的作用。

（二）高性能混凝土配合比

首先，我们需采用较低的水胶比进行配制，旨在有效降低混凝土的孔隙率，并严格把控其渗透性。较低的水胶比设计不仅能提升混凝土的耐久性和强度，还能优化其整体性能。历史工程经验显示，当混凝土水胶比设计超过0.45时，其耐久性能将受到不利影响。因此，理想的水胶比应严格控制在0.2至0.4之间，以确保混凝土质量的卓越。

其次，高性能混凝土的配制还需根据需求掺入适量的其他拌和料，以进一步增强其综合性能。在这一过程中，减水剂的使用量控制尤为关键。为确保减水剂与水泥材料之间的良好相容性，我们应遵循减水率大于20%且总掺入量不少于1%的原则进行配制，从而充分发挥减水剂在改善混凝土工作性和强度方面的作用。

最后，骨料直径的严格控制也是不容忽视的一环。骨料的形状和尺寸对混凝土的性能有着直接影响。因

此，在配制高性能混凝土时，我们应尽量避免使用片状或针状的骨料，而是选择直径在20mm以下的骨料，以确保混凝土的质量稳定和施工质量的提升。

（三）高性能混凝土的拌制

高性能混凝土，作为多种原材料精心配比的复合体，其配料与拌制过程直接关系到最终产品的性能优劣，因此，确保拌制均匀是至关重要的一环。在实际操作中，配料与拌制通常连续进行，遵循至少120秒的搅拌时间标准，以确保各组分充分融合。面对大体积混凝土的需求，采取区域集中搅拌策略能够有效提升效率与质量。

搅拌完成后，需利用专业设备迅速将混凝土运输至施工现场，随即通过高效的布料机直接倾注于模板内，随后进行振捣处理，以确保混凝土紧密填充并消除气泡。这一过程中，密切观察混凝土的状态同样重要：理想的搅拌效果应呈现为材料颜色均匀一致，无任何色差、泌水或离析现象，这标志着混凝土达到了理想的混合状态。

（四）高性能混凝土的运输

一是保持混凝土的均匀性，严防离析现象发生，以免浇筑后出现麻面、蜂窝等质量问题；二是确保混凝土抵达施工现场后，其流动性仍符合原始配比要求，以保障施工顺利进行；三是严格控制运输时间，确保混凝土在初凝之前被顺利浇筑入模并完成振捣作业；四是建立应急响应机制，一旦在运输过程中出现离析等问题，应立即向试验负责人报告，以便及时组织专业人员分析原因并采取相应措施进行处理。

（五）高性能混凝土浇筑施工

浇筑前的准备工作至关重要，需重点核查模板的位置准确性、构件尺寸精确性、预拱度合规性，并明确预埋件的具体位置与数量。同时，彻底清理模板内部杂物，确保浇筑环境整洁。浇筑过程中，应实时记录工程日志，详细记录施工细节。

在混凝土浇筑作业时，需密切关注混凝土的均匀性、和易性及坍落度等关键指标，确保混凝土质量达标。对于采用钻孔灌注桩基础的工程，首次灌注量及导管埋置深度需特别留意，并指派专人定期检查泵管，预防漏水漏浆现象。此外，控制混凝土从料斗卸出的自由倾落高度，水平结构不超过2米，竖向结构不超过3米，超出时需采用斜槽、溜管等辅助工具。

对于孔内混凝土面的标高，需进行精确监测，特别关注入孔数量与孔深，确保数据准确无误。在承台施工中，鉴于其平面面积较大，应采用竖向分层、横向分块的施工方法，确保混凝土、钢筋、模板等工序的紧密衔接与高效协同。

为提高混凝土施工质量，浇筑应采取分层方式进行，每层厚度严格控制在100厘米以内。同时，保证混凝土浇筑的连续性，确保下层混凝土初凝前完成上层浇

筑与振捣，以促进层间良好结合。

（六）高性能混凝土的养护

高性能混凝土浇筑作业完成后，公路桥梁的养护管理工作成为预防裂缝、保障结构安全的关键环节。通过细致的观察与定期的检查，能够及时发现并处理潜在的质量问题。对于严重的裂缝情况，需采取果断措施，如凿除并重新浇筑；而对于表面细微裂缝，则可直接进行修复处理。

在养护过程中，温度控制尤为重要。特别是在气温骤降时，应立即覆盖塑料薄膜，为混凝土结构提供保温屏障，防止温度波动对其造成不利影响，从而增强结构的稳定性。此外，模板的拆除也需精心操作，应在混凝土初凝后且完全硬化达标时进行，过程中需避免任何可能导致混凝土结构损伤的磕碰。

鉴于高性能混凝土水胶比低、内部易缺水的特性，相较于传统混凝土，其表面泌水性较差，更易出现失水现象。因此，养护管理必须更加细致入微。在混凝土初凝阶段，表面一旦形成失水迹象，养护人员应立即采取洒水措施，确保混凝土结构表面持续保持湿润状态。

结束语

随着现代信息技术的飞速进步，众多尖端科技被深度融入我国的公路与桥梁建设领域。在这一背景下，高性能混凝土作为建筑材料的核心力量，其高效应用极大地提升了公路与桥梁的施工效率与结构安全性，为民众的日常出行铺设了更加便捷与安全的道路网络。此举不仅显著改善了交通基础设施的服务质量，更是有力地推动了我国交通行业的绿色、可持续发展，为经济社会的全面进步奠定了坚实的基础。

参考文献

- [1]唐凌.高性能混凝土技术在公路桥梁工程施工中的应用研究[J].居业,2023(11):10-12.
- [2]江舟,程自强.公路桥梁施工中高性能混凝土的应用[J].黑龙江交通科技,2023,46(08):104-106.
- [3]杨广.高性能混凝土在公路桥梁施工中的应用[J].散装水泥,2023(03):170-172.
- [4]邓如意,胡红梅,姜铮.公路桥梁工程施工中高性能混凝土的应用[J].工程建设与设计,2023(10):207-209.
- [5]赵山.高性能混凝土在公路桥梁建设中的应用[J].大众标准化,2022(07):159-161.
- [6]胡玉娟,刘永强.土木工程中公路桥梁建设高性能混凝土的应用[J].居舍,2022(05):30-32+63.
- [7]杨柳俊杰,何昆.高性能混凝土在公路桥梁建设中的应用[J].运输经理世界,2022(04):148-150.
- [8]王大丰.公路桥梁施工中高性能混凝土的应用[J].中国建筑装饰装修,2022(02):59-60.
- [9]韩武松.高性能混凝土在公路桥梁施工中的应用[J].黑龙江交通科技,2021,44(07):127-128.