

高性能混凝土在桥梁墩柱中的应用与性能研究

刘梦莹 苏文方

郑州路桥建设投资集团有限公司 河南 郑州 450000

摘要: 本文探讨高性能混凝土在桥梁墩柱中的应用与性能。分析了其高强度、高耐久性及其良好工作性能特点,阐述了桥梁墩柱对高性能混凝土在结构受力、环境适应性和施工工艺方面的需求。并详细介绍了高性能混凝土在桥梁墩柱中的施工应用,包括材料准备、搅拌运输、浇筑振捣及养护质量控制等环节,为高性能混凝土在桥梁工程中的推广应用提供参考。

关键词: 高性能混凝土; 桥梁墩柱; 性能特点; 施工应用; 质量控制

引言: 桥梁墩柱作为桥梁关键承重构件,对混凝土性能要求严苛。传统混凝土在强度、耐久性等方面存在局限,难以满足现代桥梁建设需求。高性能混凝土凭借优异性能,逐渐在桥梁墩柱中崭露头角。研究其在桥梁墩柱中的应用与性能,对提升桥梁质量、延长使用寿命、保障行车安全意义重大,成为当前桥梁工程领域的研究热点。

1 高性能混凝土性能特点分析

1.1 高强度特性

高性能混凝土高强度特性源于其微观结构的优化与材料组成的科学配比。胶凝材料体系中,水泥与活性掺合料(如硅灰、粉煤灰)发生二次水化反应,生成大量致密的水化产物,填充水泥石孔隙,细化内部孔径结构。这些水化产物相互交织,形成连续且坚固的骨架结构,增强混凝土抵抗外力的能力。通过严格控制水胶比,减少多余水分蒸发后留下的孔隙,进一步提升混凝土密实度,为高强度奠定基础。在桥梁墩柱应用中,高强度特性契合高承载需求。桥梁承受车辆荷载、风荷载等多种外力作用,墩柱作为主要承重构件,需具备足够强度支撑上部结构。高性能混凝土凭借高强度,可有效降低墩柱截面尺寸,在满足承载要求的同时,减轻结构自重,减少基础工程成本。高强度使墩柱在长期荷载作用下变形更小,维持桥梁整体结构几何形状稳定,避免因变形过大引发结构内力重分布,保障桥梁结构安全性与稳定性。

1.2 高耐久性

高性能混凝土的高耐久性体现在抗渗性、抗冻性与抗侵蚀性等多方面。抗渗性方面,致密的内部结构和低孔隙率有效阻挡水分及有害介质侵入^[1]。水分难以渗入混凝土内部,减少了冻融循环时因水结冰膨胀产生的破坏作用,同时阻止氯离子、硫酸盐等侵蚀性离子渗透,

降低钢筋锈蚀与混凝土化学侵蚀风险。抗冻性依靠合理的引气技术实现。通过添加引气剂,在混凝土内部引入均匀、微小且封闭的气泡,这些气泡在冻融过程中为结冰膨胀的水分提供缓冲空间,缓解冻胀压力,防止混凝土内部产生裂缝,从而提升抗冻性能。抗侵蚀性得益于活性掺合料对水泥石孔隙中氢氧化钙的消耗与改性。硅灰、矿渣等掺合料与氢氧化钙反应,生成稳定的水化产物,降低混凝土孔隙溶液碱度,抑制碱骨料反应,同时减少侵蚀性介质与混凝土的化学反应,增强其在复杂环境下的抗侵蚀能力。这些性能共同作用,使高性能混凝土在海洋、冻融交替、工业污染等复杂环境中,有效抵抗外界因素破坏,显著延长桥梁墩柱使用寿命。

1.3 工作性能

高性能混凝土具备优良的流动性、可塑性、粘聚性和保水性。流动性使混凝土在自身重力或机械振捣作用下,能够顺畅地填充模板空间,到达墩柱各个角落,尤其适用于钢筋密集、结构复杂的墩柱部位,避免出现浇筑死角。良好的可塑性保证混凝土在浇筑过程中可按设计形状成型,确保墩柱尺寸精度。粘聚性防止混凝土在运输、浇筑过程中发生离析现象,保证拌合物均匀性,使各部位性能一致。保水性则避免水分过早散失,维持混凝土坍落度稳定,确保在浇筑与振捣过程中保持良好工作状态。振捣过程中,混凝土良好的工作性能有助于气泡排出,提高密实度,减少蜂窝、孔洞等缺陷,使墩柱混凝土结构更加均匀、密实,增强其力学性能与耐久性,保障桥梁墩柱施工质量。

2 桥梁墩柱对高性能混凝土的需求分析

2.1 结构受力需求

桥梁墩柱作为桥梁结构的关键竖向承重构件,承受复杂的力学作用。其主要承担上部结构传递的恒载,包括桥梁自身结构重量、桥面铺装重量等;同时承受车

辆行驶产生的活载,以及风荷载、地震荷载等动态作用力。在这些荷载作用下,墩柱不仅受到轴向压力,还可能产生弯矩和剪力,受力状态复杂。高性能混凝土的高强度特性使其能够有效应对墩柱的高承载需求。凭借内部致密的微观结构和优化的材料组成,高性能混凝土可在较小的截面面积下提供足够的抗压能力,支撑桥梁上部结构重量,减少墩柱尺寸,降低材料用量和工程成本。其高弹性模量特性同样关键,在承受荷载时,较小的弹性变形能保证墩柱维持稳定的几何形状,避免因过度变形导致结构内力重分布,确保桥梁整体结构的稳定性与安全性。对于大跨度桥梁,墩柱需承受更大的荷载和变形要求,高性能混凝土的高强度和高弹性模量为其提供可靠的力学性能保障,满足桥梁结构在各种工况下的承载和变形控制需求。

2.2 环境适应性需求

桥梁墩柱所处环境复杂多样,不同环境对墩柱结构完整性构成威胁。在海洋环境中,墩柱长期受到海水侵蚀,海水中的氯离子、硫酸盐等侵蚀性离子会渗透进入混凝土内部,引发钢筋锈蚀和混凝土化学侵蚀,导致结构强度下降^[2]。高性能混凝土凭借高抗渗性和抗侵蚀性,致密的内部结构有效阻挡氯离子等有害离子渗透,活性掺合料与侵蚀性物质发生化学反应,降低侵蚀速率,延长墩柱在海洋环境中的使用寿命。冻融环境下,墩柱面临反复冻融循环破坏。当环境温度低于冰点时,混凝土孔隙中的水分结冰膨胀,产生巨大冻胀压力,若混凝土抗冻性不足,多次冻融循环后会导致结构开裂、剥落。高性能混凝土通过合理的引气技术引入微小封闭气泡,为结冰膨胀的水分提供缓冲空间,缓解冻胀压力,提高抗冻性能,保证墩柱在寒冷地区的结构完整性。在化学侵蚀环境,如工业废水、酸雨等侵蚀下,高性能混凝土的抗侵蚀性可抵御化学物质对混凝土的腐蚀,维持墩柱结构稳定,适应不同恶劣环境条件。

2.3 施工工艺需求

桥梁墩柱施工工艺对混凝土施工性能提出特定要求。现代桥梁建设中,墩柱高度不断增加,常采用泵送施工工艺,这要求混凝土具备良好的流动性和可泵性,能够在管道中顺畅输送至高处。高性能混凝土通过添加高效减水剂,在低水胶比条件下仍能保持高流动性,满足泵送高度需求,避免堵管现象发生。浇筑速度也是施工关键因素,快速浇筑可提高施工效率,但需混凝土保持良好的工作性能,避免出现离析、泌水等问题。高性能混凝土的粘聚性和保水性,确保其在快速浇筑过程中保持均匀性,防止骨料下沉、浆体分离,保证墩柱混

凝土质量均匀一致。合理的凝结时间对施工至关重要。初凝时间需足够长,保证混凝土在浇筑和振捣过程中有充足操作时间;终凝时间则要满足施工进度要求,使混凝土及时硬化,形成强度。高性能混凝土可通过调整外加剂和配合比,精确控制凝结时间,契合桥梁墩柱施工工艺需求,保障施工顺利进行,提高施工质量和效率。

3 高性能混凝土在桥梁墩柱中的施工应用

3.1 施工前的材料准备与配比设计

高性能混凝土在桥梁墩柱中的成功应用,首先依赖于科学合理的材料选择与配合比设计。原材料的选择应综合考虑其物理化学性能及对混凝土整体性能的影响。水泥作为主要胶凝材料,应选用早期强度发展快、后期强度稳定、水化热较低且耐久性良好的品种,以满足桥梁墩柱高强度和长期服役的需求。掺合料如粉煤灰、矿渣微粉和硅灰等,能够优化混凝土微观结构,提高致密性,增强抗侵蚀能力,同时降低水化热释放,减少温度裂缝产生的可能性。粗骨料和细骨料是混凝土骨架的主要组成部分,其级配、粒形、含泥量和坚固性直接影响混凝土的工作性和力学性能。粗骨料宜采用连续级配、粒径适中、质地坚硬的碎石;细骨料则优选级配良好、含泥量低的中砂,以保证混凝土的密实度和流动性。高效减水剂是实现低水胶比、高流动性的关键组分,在配合比设计中应根据施工条件精确控制掺量,确保混凝土具备良好的可泵送性和施工适应性。拌和用水应洁净无杂质,避免影响混凝土硬化后的性能。在配合比设计阶段,需充分考虑桥梁墩柱对强度、耐久性和施工性能的要求^[3]。通过多轮试配试验,确定最优的胶凝材料比例、水胶比、砂率以及外加剂用量,使混凝土既满足设计强度等级,又具备良好的工作性和体积稳定性。配比调整过程中应注重混凝土的可操作性和后期性能的发展,为后续施工提供可靠保障。

3.2 混凝土搅拌与运输控制

高性能混凝土的搅拌过程对最终性能具有决定性作用。搅拌设备应具备精确计量和均匀混合的能力,确保各组分充分融合,形成稳定均质的拌合物。搅拌时间应根据混凝土组成和搅拌机类型合理设定,避免搅拌不足导致离析或搅拌过长引起浆体分离。搅拌过程中应严格控制投料顺序,通常先投入粗骨料和部分水润湿,再加入水泥、掺合料和剩余水分,最后加入外加剂,以提高混合均匀性并防止结块现象发生。运输环节应尽量缩短时间,避免混凝土因长时间停放而损失流动性或出现初凝现象。运输工具应密封良好,防止水分蒸发或外界杂质混入。对于高层或远距离泵送的桥梁墩柱施工,宜

采用搅拌运输车配合高压泵送系统,确保混凝土在运输过程中保持均匀性和可操作性。运输途中应避免剧烈振动,以防骨料下沉、浆体分离,影响浇筑质量。在泵送过程中,应合理布置输送管道,减少弯头数量,以降低泵送阻力。泵送前应对管路进行润滑处理,防止混凝土粘附管壁造成堵塞。泵送速度应均匀稳定,避免忽快忽慢影响混凝土的连续性。若遇高温天气,应采取遮阳措施,防止混凝土在输送过程中失水过多,影响其坍落度和施工性能。整个运输与泵送过程应协调有序,确保混凝土在最佳状态下进入模板,为后续浇筑奠定基础。

3.3 浇筑与振捣工艺

高性能混凝土在桥梁墩柱的浇筑过程中需严格按照施工方案执行,确保结构成型质量和内部密实度。模板安装应牢固平整,接缝严密,防止漏浆造成蜂窝麻面。浇筑前应对模板进行湿润处理,但不得有积水残留,以免影响混凝土界面粘结性能。浇筑方式应结合墩柱高度和截面形式,采用分层连续浇筑或滑模施工等方式,避免一次性浇筑过高引发离析或冷缝问题。振捣是保证高性能混凝土密实度和结构性能的关键步骤。由于高性能混凝土流动性较好,振捣时应控制振捣时间和插入间距,避免过度振捣导致骨料下沉或浆体上浮。振捣棒应垂直插入,并缓慢拔出,确保每一层混凝土充分排气,消除气泡,提高整体致密性。对于钢筋密集区域,可采用高频小直径振捣器辅助振捣,确保混凝土充分填充钢筋间隙,避免空洞缺陷。在振捣过程中还应密切观察混凝土表面状态,当表面泛浆且无明显气泡排出时,即可停止振捣,转入下一区域作业^[4]。浇筑过程中应加强现场监控,安排专人负责检查模板支撑情况,防止因混凝土侧压力过大导致模板变形或胀模。对于大体积墩柱,应合理安排浇筑顺序,控制温差,防止内外温差过大引发温度裂缝。应避免在恶劣天气条件下进行浇筑,如遇突发降雨,应及时采取覆盖措施,防止雨水冲刷未凝固的混凝土表面,影响其强度发展和外观质量。

3.4 养护措施与质量控制

高性能混凝土浇筑完成后,及时有效的养护是保障其强度发展和耐久性提升的关键环节。养护的主要目的是维持适宜的温湿度环境,促进水泥水化反应持续进

行,防止水分过早蒸发导致干缩裂缝。养护方式可根据施工条件选择自然养护、蒸汽养护或覆盖保湿材料等方式。桥梁墩柱多采用洒水覆盖法或喷涂养护剂进行保湿,确保混凝土表面始终处于湿润状态,延长水化反应时间,提高后期强度。养护周期应根据环境温度和混凝土强度发展情况合理安排,一般不少于7天,在低温或干燥环境下应适当延长。冬季施工时还需采取保温措施,防止混凝土受冻影响结构性能。夏季施工时应加强覆盖保护,防止阳光直射导致水分快速蒸发。对于高墩柱或高空部位,可采用自动喷淋系统或包裹保湿材料的方式进行持续养护,确保混凝土在整个养护期内保持良好的水化条件。除养护措施外,施工过程中应建立完善的过程质量控制体系,包括原材料进场检验、拌合物性能检测、坍落度测试、试件留置与强度评定等环节。通过对混凝土拌合物的均匀性、流动性、凝结时间等指标进行实时监测,确保其符合设计要求。在浇筑过程中,应按规定频率取样制作标准试件,用于后期强度评定。施工结束后,应对墩柱外观质量、尺寸偏差、强度等级等进行验收,确保其满足相关技术规范。

结束语

高性能混凝土在桥梁墩柱中的应用体现了材料性能与施工技术的高度融合。通过合理设计配合比、严格控制施工过程,可充分发挥其高强度、高耐久和良好工作性的优势。该材料不仅提升了墩柱结构的安全性与稳定性,也增强了其在复杂环境下的适应能力。未来应进一步优化施工工艺,完善质量控制体系,推动高性能混凝土在桥梁工程中的持续应用与发展。

参考文献

- [1]高寅生.高性能混凝土在道路桥梁工程施工中的应用分析[J].中国建筑装饰装修,2022(16):149-151.
- [2]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.
- [3]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.
- [4]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.