

聚羧酸外加剂在高性能碾压混凝土中的应用研究

罗玉宝 张宇伟

陕西秦海检测科技有限公司 陕西 咸阳 712038

摘要: 本文研究了聚羧酸外加剂在高性能碾压混凝土中的应用。通过一系列实验,探讨了聚羧酸外加剂对混凝土工作性能和力学性能的影响。确定了聚羧酸外加剂的最佳掺量范围,提出了通过优化掺量和配合比设计来提升混凝土性能的策略。结合实际工程案例,验证了聚羧酸外加剂在高性能碾压混凝土中的有效性和可行性,为类似工程提供了理论依据和技术支持。研究表明,聚羧酸外加剂能够显著改善混凝土的工作性能和力学性能,提高混凝土的耐久性和施工效率。

关键词: 聚羧酸外加剂; 高性能碾压混凝土; 工作性能; 应用研究

1 聚羧酸外加剂与高性能碾压混凝土概述

1.1 聚羧酸外加剂的性能与作用机理

聚羧酸外加剂是一种由羧酸类单体与不饱和聚氧乙烯基醚等单体共聚而成的高分子表面活性剂。它具有独特的梳状分子结构,分子链上同时含有亲水性的羧基、磺酸基等阴离子基团和亲油性的聚氧乙烯基长链。

其作用机理主要体现在以下几个方面:(1)空间位阻效应。聚羧酸外加剂分子链上的聚氧乙烯基长链在水泥颗粒表面形成一层厚而稳定的吸附层,当水泥颗粒相互靠近时,这些长链会相互缠绕、排斥,从而阻止水泥颗粒的凝聚,起到分散作用,提高混凝土的和易性;(2)静电斥力作用。聚羧酸外加剂分子中的阴离子基团(如羧基、磺酸基)会吸附在水泥颗粒表面,使水泥颗粒表面带负电荷,产生静电斥力,进一步促进水泥颗粒的分散,减少水泥颗粒之间的摩擦力,改善混凝土的工作性能;(3)引气作用。聚羧酸外加剂分子结构中的某些成分可以在混凝土搅拌过程中引入适量均匀、细小的气泡,这些气泡能够改善混凝土的和易性,降低混凝土的泌水和离析现象,同时对混凝土的抗冻性也有一定的改善作用。

1.2 高性能碾压混凝土的特点与性能要求

高性能碾压混凝土具有以下特点:(1)低水化热,通过优化配合比降低混凝土的水泥用量和水化热,减少因温度应力引起的裂缝,提高混凝土的抗裂性能;(2)高密实性,采用振动碾压的施工工艺,使混凝土达到较高的密实度,减少孔隙率,提高混凝土的抗渗性和耐久性;(3)高强度,在满足工作性能和耐久性要求的前提下,具有较高的抗压强度,以满足工程结构的承载能力要求^[1]。

高性能碾压混凝土的性能要求主要包括:(1)工

作性能,这是碾压混凝土最关键的性能之一,VC值需在特定范围内,以保证碾压混凝土在摊铺后能被振动碾有效压实至设计密度,无弹簧现象或过度碾压;在运输、摊铺和碾压过程中,混合料保持均匀,粗骨料与砂浆不易分离;易于摊铺平整,形成均匀的层面;混合料应均匀、不泌水、不离析,易于在仓面内操作。(2)力学性能,早期强度低后期强度持续增长,满足工程不同阶段的承载需求;需要良好的层间粘结强度,以保证上下层混凝土紧密结合。(3)耐久性能,具有良好的抗渗性、抗冻性、抗磨蚀性等,能够在恶劣的环境条件下长期使用。(4)热学性能,减少水泥用量及采用粉煤灰等掺合料,保证低水化热温升,减小温度应力,防止温度裂缝,具有良好的导热性和低热膨胀系数。

2 聚羧酸外加剂对碾压混凝土工作性能的影响

2.1 减水效果分析

为了研究聚羧酸外加剂的减水效果,进行了不同掺量下的VC值试验。试验采用固定水泥用量、骨料级配和配合比,仅改变聚羧酸外加剂的掺量。试验结果表明,随着聚羧酸外加剂掺量的增加,碾压混凝土的VC值显著减小。当外加剂掺量从0.2%增加到0.8%时,VC值从25s降低到8s。这表明聚羧酸外加剂具有优异的减水性能,能够有效降低混凝土的水灰比,提高混凝土的和易性。进一步分析发现,聚羧酸外加剂的减水率与掺量之间并非呈简单的线性关系。在较低掺量时,减水率随着掺量的增加而迅速增大;当掺量达到一定值后,减水率的增长趋势逐渐减缓。这是因为当外加剂分子在水泥颗粒表面达到饱和吸附时,继续增加掺量对减水效果的改善作用不明显。

2.2 VC值保持能力探讨

由于碾压混凝土不采用坍落度作为工作度指标,因

此不直接讨论保坍性能。但考虑到施工过程中的实际需求,可探讨聚羧酸外加剂对碾压混凝土VC值保持能力的影响。通过模拟施工过程中的时间延迟,测定不同时间间隔下碾压混凝土的VC值变化,间接反映其碾压混凝土性能保持能力。试验结果表明,掺加聚羧酸外加剂的碾压混凝土在较长时间内仍能保持较好的VC值,有利于施工操作的连续性和混凝土质量的稳定性。

2.3 引气作用探讨

采用含气量测定仪测定不同聚羧酸外加剂掺量下碾压混凝土的含气量。试验结果显示,随着外加剂掺量的增加,混凝土的含气量逐渐增大。当掺量为0.4%时,含气量达到3.5%左右;当掺量继续增加到0.9%时,含气量可达到5%以上。适量的引气能够改善混凝土的工作性能,使混凝土更加均匀、易施工,同时气泡的存在能够在一定程度上缓解混凝土内部的应力集中,提高混凝土的抗冻性。然而,过高的含气量会导致混凝土的强度降低,因此需要控制聚羧酸外加剂的掺量,使含气量在合理范围内。

2.4 工作性能优化

综合减水效果、VC值保持能力和引气作用等因素,确定聚羧酸外加剂的最佳掺量范围。通过试验分析,当聚羧酸外加剂掺量在0.5%-0.8%之间时,碾压混凝土能够获得良好的工作性能,既具有较高的和易性,又能将含气量控制在合理范围内,满足施工要求。还可以通过优化配合比设计、调整骨料级配等措施进一步优化碾压混凝土的工作性能。例如,适当增加细骨料的含量可以改善混凝土的VC值,但过高的细骨料含量会导致混凝土的收缩增大,需要综合考虑各种因素进行平衡^[2]。

3 聚羧酸外加剂对碾压混凝土力学性能的影响

3.1 抗压强度发展规律

为了研究聚羧酸外加剂对碾压混凝土抗压强度的影响,进行不同龄期(3d、7d、28d、90d)下的抗压强度试验。试验采用最佳掺量范围内的聚羧酸外加剂,并设置未掺外加剂的对照组。试验结果表明,掺加聚羧酸外加剂的碾压混凝土随着龄期的增长,强度持续增长,28d抗压强度比对照组提高10%-15%,90d抗压强度提高8%-10%。这是因为聚羧酸外加剂能够改善混凝土的工作性能,使混凝土更加均匀密实,减少内部缺陷,同时,外加剂对水泥水化的延缓作用使得后期水泥水化更加充分,生成更多的水化产物,进一步提高了混凝土的后期强度。

3.2 劈裂抗拉强度变化特征

通过劈裂抗拉强度试验研究聚羧酸外加剂对碾压混凝土劈裂抗拉强度的影响。试验结果显示,掺加聚羧酸

外加剂的混凝土劈裂抗拉强度在不同龄期下均有所提高。90d劈裂抗拉强度比对照组提高10%-14%。聚羧酸外加剂对混凝土劈裂抗拉强度的改善作用主要在于其能够提高混凝土的密实性和骨料-浆体界面的粘结强度,更好地抵抗弯曲应力,减少裂缝的产生和发展,从而提高劈裂抗拉强度。

3.3 强度影响因素分析

综合考虑水泥品种、骨料性质、掺合料掺量等因素,分析这些因素与聚羧酸外加剂共同作用下对碾压混凝土力学性能的影响。(1)水泥品种:不同品种的水泥具有不同的化学成分和矿物组成,对聚羧酸外加剂的适应性也有所差异。(2)骨料性质:骨料的级配、粒径、岩性等会影响混凝土的工作性能和力学性能。良好的骨料级配能够提高混凝土的密实性,增强骨料与浆体之间的咬合力,从而提高混凝土的强度。(3)掺合料掺量:粉煤灰、矿渣等掺合料的掺入能够改善混凝土的工作性能,降低水化热,但过高的掺量会导致混凝土早期强度降低。聚羧酸外加剂与掺合料的复合使用需要合理控制掺量,以达到最佳的力学性能。通过回归分析等方法,建立了力学性能与各因素之间的定量关系模型,为优化配合比设计提供了理论依据。

3.4 力学性能提升策略

根据力学性能试验结果,提出通过优化聚羧酸外加剂掺量和配合比设计来提升碾压混凝土力学性能的具体策略。(1)优化外加剂掺量:在最佳掺量范围内,根据工程实际需求和原材料特性,适当调整外加剂掺量,以达到最佳的力学性能^[3]。(2)优化配合比设计:合理选择水泥品种、骨料级配和掺合料掺量,通过试验确定最优的配合比,提高混凝土的密实性和强度。(3)采用复合外加剂技术:将聚羧酸外加剂与其他外加剂(如早强剂、缓凝剂等)复合使用,发挥各种外加剂的协同作用,进一步提高混凝土的力学性能。

4 聚羧酸外加剂在高性能碾压混凝土中的掺量优化

4.1 基于实验结果的掺量优化分析

通过实验,研究了不同聚羧酸外加剂掺量下碾压混凝土的工作性能和力学性能^[4]。实验结果表明,当掺量低于0.4%时,混凝土的减水效果不理想,工作性能难以满足施工要求;当掺量高于1.0%时,虽然工作性能得到进一步改善,但混凝土的含气量过高,导致强度有所降低。

4.2 最佳掺量范围的确定

综合考虑工作性能和力学性能的试验结果,确定聚羧酸外加剂在高性能碾压混凝土中的最佳掺量范围为0.5%-0.8%。在这个掺量范围内,混凝土能够获得良好

的工作性能和较高的力学性能,同时含气量在合理范围内,满足工程实际需求。

4.3 掺量优化对混凝土性能的综合影响评估

对最佳掺量范围内的混凝土进行综合性能评估,包括工作性能、力学性能和耐久性等方面。评估结果表明,掺量优化后的混凝土在VC值、含气量、抗压强度、劈裂抗拉强度等指标上均优于未优化或掺量不合理的混凝土,同时耐久性也得到了显著提高。具体表现为:VC值控制在6-10s,含气量保持在3.5%-4.5%,90d抗压强度提升10%,劈裂抗拉强度提升12%-18%,抗渗等级达W8以上,抗冻融循环次数 ≥ 250 次,满足高性能碾压混凝土的工程应用需求。

5 聚羧酸外加剂在高性能碾压混凝土中的应用案例分析

5.1 工程概况

某中型水利工程大坝为碾压混凝土坝。该大坝全长273m,最大坝高60m,混凝土总量达20万 m^3 ,碾压混凝土为C₉₀20。此水利工程作为区域重要的水资源调控与防洪设施,对大坝混凝土性能要求极为严苛。大坝需长期承受高水头压力、复杂的水流冲刷以及恶劣的自然环境侵蚀,因此工程对混凝土的强度、耐久性和工作性能均提出了高标准要求。

5.2 聚羧酸外加剂应用方案

基于前期大量严谨的试验研究,综合考虑不同聚羧酸外加剂对混凝土性能的影响,最终选定某知名品牌的聚羧酸高性能减水剂,厂家推荐掺量确定为0.6~1.0%。在配合比设计环节,进行了多组对比试验。水泥选用P·O42.5低热水泥,以降低水化热及碱骨料反应风险;骨料方面,细骨料采用库区人工砂,细度模数为2.78,石粉含量15.3%,粗骨料选用连续级配的人工碎石,最大粒径40mm,粗细骨料各项指标参数均符合技术要求;同时掺入F类Ⅱ级粉煤灰作为掺合料,以改善混凝土的工作性能和后期强度。经反复试验和优化,最终推荐配合比为:水泥102kg/ m^3 ,粉煤灰102kg/ m^3 ,水102kg/ m^3 ,人工砂775kg/ m^3 ,小石593kg/ m^3 ,中石726kg/ m^3 ,高性能减水剂0.8%,引气剂10/万,此配合比确保混凝土具有良好的工作性能和力学性能。

5.3 施工过程控制

施工过程中,严格控制聚羧酸外加剂的掺加量称量误差控制在 $\pm 0.5\%$ 以内。混凝土搅拌时,搅拌时间设定为90s,确保各组分充分混合均匀。运输采用20T自卸运输车并加盖篷布,做好防晒处理,防止混凝土VC值损失过大。摊铺和碾压环节,采用分层摊铺、分层碾压工艺,每层摊铺厚度33cm,使用双钢轮振动碾进行碾压,碾压遍数根据现场试验和工程要求确定,以确保达到规定的压实度和混凝土均匀密实度。

5.4 工程质量检测与评价

工程完工后,对碾压混凝土进行全面质量检测。在工作性能方面,混凝土VC值平均12s,含气量4.0%,均满足施工要求。力学性能上,90d抗压强度平均达23.8MPa,劈裂抗拉强度平均达2.89MPa,均高于设计要求。耐久性检测显示,抗渗等级达W6,抗冻性满足F100次冻融循环要求,表明混凝土具有良好的耐久性。该工程案例充分验证了聚羧酸外加剂在高性能碾压混凝土中应用的有效性和可行性,为类似工程提供宝贵经验。

结束语

本文通过对聚羧酸外加剂在高性能碾压混凝土中的应用研究,揭示了外加剂对混凝土性能的深刻影响。研究不仅停留在理论层面,更通过实际工程案例验证了聚羧酸外加剂的应用效果。因此,深入研究聚羧酸外加剂与其他材料的复合使用、进一步探索其优化掺量及配合比设计,将为推动高性能混凝土的发展和應用提供更加丰富的理论支撑和实践经验。本研究为高性能碾压混凝土的技术创新和发展奠定了坚实基础。

参考文献

- [1]仇佳琳,郭伟,吴庆,等.缓凝剂与高效减水剂复配对硫铝酸盐水泥性能的影响[J].新型建筑材料.2021,48(6):64-68.
- [2]媛媛.外加剂对混凝土性能的影响因素分析[J].大众标准化,2023(05):36-38.
- [3]杨鸿骏,陈健,姜志刚.外加剂对水泥混凝土性能的影响剖析[J].工程建设与设计,2020(10):194-195.
- [4]杨沫,李宇鹏,白静静,等.超早强外加剂在超高性能混凝土中的性能研究[J].中国水泥,2024,(S2):254-256.