

高性能抗冲磨混凝土在水工结构中的应用与耐久性分析

易 鹏

新疆维吾尔自治区水利水电科学研究院 新疆 乌鲁木齐 830049

摘要: 高性能抗冲磨混凝土对于水工结构的稳定与安全运行至关重要。本文首先介绍了其基本特性,包括材料构成、力学性能、抗冲磨性能机理以及耐久性与抗渗性等。接着探讨了其在水工建筑物过流面、水工闸门及启闭机基础等场景的应用及施工要点。然后分析了影响耐久性的因素、评价指标,提出优化材料配比、改进施工工艺、实施表面防护等提高耐久性策略,以及实验室测试评估和现场检测评估两种耐久性评估方法。

关键词: 高性能抗冲磨混凝土; 水工结构; 应用; 耐久性

引言: 水利工程作为国家基础设施建设的关键部分,其安全稳定运行意义重大。水工结构在长期运行中,受高速水流、含砂水流以及复杂环境因素的综合作用,面临着严重的冲磨和侵蚀问题,这对结构的耐久性和安全性构成了极大威胁。高性能抗冲磨混凝土因其独特的性能优势,成为解决这些问题的关键材料。本文将深入探讨其在水工结构中的应用及耐久性,有助于优化材料使用、提升施工质量,对保障水利工程的长期稳定运行、推动水利事业的持续发展具有重要的现实意义。

1 高性能抗冲磨混凝土在水工结构中的基本特性

材料构成含水泥、骨料、外加剂等。水泥承担胶结功能,骨料硬度及级配对混凝土抗冲磨性能起关键作用,外加剂可优化其工作性能与力学性能,各组分合理配置方能发挥最佳效能。力学性能上,该混凝土强度高,抗压与抗拉强度均高于普通混凝土,能有效承受水流冲击力,弹性模量处于较高水平且变形能力合适,可契合水工结构受力变化需求。其抗冲磨性能机理为,借助骨料的高硬度与密实状态,结合水泥石的粘聚力,形成稳固整体,进而抵御水流中砂粒等物质引发的磨损,降低表面材料损失量^[1]。该混凝土具备良好耐久性与抗渗性。耐久性保障其在长期使用过程中性能稳定,减少因时间推移和环境作用导致的性能衰退;抗渗性可阻止水分及各类有害物质渗入结构内部,避免内部结构遭受侵蚀破坏,从而延长水工结构使用寿命。其能很好地适应水工复杂环境条件,满足水工结构在抗冲磨、耐久性等多方面要求,为水工结构稳定运行提供有力支撑,在水工结构建设领域具有重要应用价值,是保障水工工程质量和安全的关键材料之一。

2 高性能抗冲磨混凝土在水工结构中的应用

2.1 水工建筑物过流面应用

水工建筑物过流面主要应用于水坝溢流面、泄洪洞

等关键部位。这些部位在水利工程运行过程中,长期遭受高速水流以及含砂水流的剧烈冲刷,冲刷状况极为严峻。高速水流本身具有强大的动能,对过流面产生持续的冲击力,而含砂水流中的砂粒在与过流面接触时,更会像无数微小的磨具一样,加剧对过流面的磨损。在此严峻情况下,采用高性能抗冲磨混凝土显得尤为关键且意义重大。高性能抗冲磨混凝土拥有卓越的抗冲磨性能,当将其应用于水工建筑物过流面时,能在结构表面迅速形成一层坚固且有效的保护层。这层保护层犹如一道坚固的防线,能够从容承受高速含砂水流的强烈冲击和剧烈磨损,极大地减少水流对结构表面的冲刷破坏程度。通过显著减少冲刷破坏,能产生两方面重要积极影响^[2]。一方面,可确保水流在过流面上顺畅通行,避免因过流面表面受损而改变水流形态,进而影响水流输送效率;另一方面,有力保障结构的安全。过流面结构的完整性直接关乎整个水工建筑物的稳定性和安全性,高性能抗冲磨混凝土的应用可有效维持过流面结构的良好状态,防止因冲刷导致的结构损伤进一步扩大,确保水工建筑物在长期运行过程中持续正常发挥功能,充分满足水利工程建设对结构耐久性和安全性的严格要求,为水利工程的稳定、高效运行筑牢可靠基础。

2.2 水工闸门及启闭机基础应用

在复杂的受力条件下,普通混凝土由于其自身性能的限制,可能无法满足基础稳定性的严格要求。而高性能抗冲磨混凝土则展现出独特优势。其高强度特性十分突出,能够赋予基础足够的承载能力,可以稳固且可靠地支撑闸门和启闭机的重量,以及在运行过程中产生的各类复杂荷载,确保基础不会因为承载能力不足而出现变形或者破坏的情况,为闸门和启闭机的稳定运行奠定坚实基础。与此同时,该混凝土的抗冲磨性能至关重要。水工闸门及启闭机基础所处环境的水流通常含有各种杂

质,这些杂质随着水流运动,会对基础表面产生持续的磨损作用。高性能抗冲磨混凝土形成的表面具备出色的抗磨损能力,能够有效抵御这种磨损,防止基础因长期遭受水流冲刷而出现表面材料损失、结构受损等不良状况。基础一旦出现磨损和破坏,会直接对闸门的正常运行产生不利影响,例如导致闸门闭合不严密、启闭不灵活等问题。高性能抗冲磨混凝土的应用能够成功避免此类情况的发生,保证闸门和启闭机在各种不同的工况下都能正常、高效地工作,维持水工建筑物的整体运行效能,从根本上为水利设施的安全稳定运行提供坚实可靠、无可挑剔的保障。

2.3 水电站水轮机过流部件衬砌应用

高速水流蕴含着强大的冲击力,会对部件表面形成持续且强烈的冲刷,在这种冲刷作用下,部件表面不断受到冲击力的侵蚀。而泥沙随着水流快速运动,其颗粒与部件表面频繁发生摩擦、剧烈碰撞,使得磨损程度进一步加剧,极大地损害了过流部件的结构完整性和性能稳定性。在此严峻状况下,采用高性能抗冲磨混凝土进行衬砌成为一种极具成效的应对策略。高性能抗冲磨混凝土具备卓越的抗冲磨性能,当将其应用于水轮机过流部件衬砌后,能够在部件表面迅速构建起一层坚固且耐用的保护层^[3]。这层保护层犹如坚固的铠甲,可以有效抵御高速水流和泥沙的猛烈磨损,显著增强部件的耐磨性。随着部件耐磨性大幅提升,其表面受损程度明显降低,使用寿命得以大幅延长。由于部件磨损而引发的故障发生次数大幅减少,进而维修次数也相应降低。维修次数的减少意义重大,不仅直接节省了大量的维修成本,还避免了因频繁维修导致的水轮机停机时间增加。如此一来,水电站能够在更长时间内维持稳定可靠的运行状态,水轮机能够持续、高效地将水能转化为电能,确保了水电站发电效率的稳定,对水电站实现稳定供电以及经济效益的显著提升都具有至关重要的意义。

2.4 应用施工工艺要点

(1) 材料配比控制,务必严格依照设计要求精准确定水泥、骨料、外加剂等各成分的比例,精确的配比是保障混凝土性能的根本基础,任何成分比例出现偏差都极有可能对最终质量产生不利影响,同时在搅拌过程中要保证搅拌均匀,促使各种材料充分混合以发挥协同作用。(2) 浇筑和振捣工艺,需选择适宜的浇筑方式,确保混凝土能够顺畅填充至结构的各个部位。在振捣环节,要运用恰当的振捣方法和设备,保证混凝土达到足够的密实度,因为密实度直接关乎混凝土的强度和抗冲磨性能,振捣不足会使内部存在空隙,进而降低混凝土质量,

而振捣过度则可能引发混凝土离析。(3) 养护工作,浇筑完成后,要及时采取有效的养护措施,维持适宜的温度和湿度条件,防止混凝土表面因水分散失速度过快而出现开裂现象,表面开裂会破坏混凝土的整体性,降低其抗渗性和耐久性,对混凝土性能造成影响。只有严格且精准地控制材料配比,高质量地完成浇筑振捣工作,并切实做好养护工作,才能确保高性能抗冲磨混凝土在施工过程中达到预期性能,充分满足水工结构的使用要求,为水工建筑物的稳定和安全提供坚实保障。

3 高性能抗冲磨混凝土在水工结构中的耐久性分析

3.1 影响耐久性的主要因素

其一是环境方面,水工结构所处环境极为复杂,面临多种不利条件的长期作用。水流冲刷会对混凝土表面持续施加物理作用,造成材料损耗;水温变化产生的温度应力可能导致混凝土内部出现微裂缝;水中化学物质侵蚀会与混凝土成分发生化学反应,改变其结构。这些环境因素综合作用,会使混凝土性能逐渐下降,进而影响其耐久性。其二材料因素,水泥品种、骨料质量以及外加剂性能等都影响着混凝土的耐久性^[4]。不同品种的水泥在化学成分和物理性能上存在差异,会影响混凝土的抗侵蚀等性能;骨料质量至关重要,劣质骨料在磨损和侵蚀环境下更容易发生破坏,从而破坏混凝土整体结构;外加剂性能优劣也会改变混凝土的工作性能和力学性能,影响其耐久性表现。其三是施工因素,施工质量的好坏直接决定混凝土内部质量。若浇筑不密实,混凝土内部会存在空隙,成为水和有害物质侵入的通道;养护不当则无法保证混凝土正常的水化反应和强度发展,导致混凝土内部产生缺陷,降低其抗渗性和抗冲磨性能,最终影响混凝土耐久性。

3.2 耐久性评价指标

抗冲磨指标是衡量混凝土耐久性的重要方面,需通过专门的抗冲磨试验来测定。在试验中,设定规定条件,模拟实际工况下混凝土所面临的磨损环境,然后测定混凝土在该条件下的磨损量。磨损量的大小直接反映混凝土的抗冲磨能力,磨损量越小,表明其抗冲磨性能越强,在高速水流及含砂水流等易产生磨损的环境中更能保持自身结构的完整性。抗渗指标用于评价混凝土的抗渗性能,常采用渗水高度等方法进行测试。抗渗性能良好的混凝土能够有效阻止水分和有害物质进入内部结构。因为水分和有害物质侵入会引发混凝土内部发生化学反应或物理浸蚀,降低其性能,所以良好的抗渗性可显著提高混凝土的耐久性。强度指标包含抗压强度和抗拉强度等。抗压强度体现混凝土在承受压力时的能力,抗拉强

度反映其抵抗拉伸破坏的能力。强度高的混凝土能够承受更大的外力作用,在面对水流冲击、荷载压力等各种外力时,抵抗破坏的能力更强,从而在长期使用过程中保持性能稳定,为水工结构的安全稳定运行提供可靠保障,是评价混凝土耐久性的关键指标之一。

3.3 提高耐久性的策略

通过精准且细致地调整水泥、骨料、外加剂等各成分的比例,促使它们充分发挥最佳的协同作用,以此全面提升混凝土的综合性能,为混凝土的耐久性构筑坚实良好的材料基础。改进施工工艺是关键且不可或缺的关键环节,要积极主动采用先进的浇筑、振捣和养护技术。在浇筑过程中,务必保证混凝土均匀填充结构空间,确保结构各部位都能得到充分覆盖;振捣时,要严格确保混凝土达到足够的密实度,最大程度减少内部空隙;在养护阶段,需精心创造适宜的条件,全力促进混凝土正常进行水化反应和强度发展。通过这一系列有效措施,能够确保混凝土质量均匀、密实,切实有效减少内部缺陷,显著提升其抗渗性和抗冲磨性能,进而增强混凝土的耐久性。实施表面防护措施是进一步提升耐久性的重要补充,在混凝土表面认真涂刷防护涂层,如聚合物涂层等。防护涂层能够迅速形成一层可靠的保护屏障,有效增强混凝土表面的抗冲磨能力,使其能够更好地抵御高速水流及含砂水流的强烈磨损;同时还能大幅提高表面的抗侵蚀能力,有力阻止水中化学物质等有害因素对混凝土的侵蚀,进一步延长混凝土的使用寿命,全方位、多角度提升高性能抗冲磨混凝土的耐久性。

3.4 耐久性评估方法

(1) 实验室测试评估,在实验室环境下,精心模拟水工环境中的各类因素,如水流冲刷的强度、速度,水温的变化范围,水中化学物质的成分及浓度等。在这些模拟的复杂环境条件下,对混凝土样品开展长期性能测试。通过长时间观察和记录混凝土样品在不同阶段的性能变化,例如其强度是否降低、抗冲磨能力是否下降、内

部结构是否出现损伤等,进而全面评估混凝土的耐久性。这种评估方式能够较为精准地控制环境变量,深入研究单一或多种因素对混凝土耐久性的影响。(2) 现场检测评估,针对已经投入使用的混凝土结构,采用现场取样、无损检测等方法进行检测。现场取样可以获取实际的混凝土样本,通过对其物理性能、化学成分等进行分析,了解混凝土在实际使用环境中的性能表现。无损检测技术能在不破坏混凝土结构的前提下,检测其内部是否存在缺陷、裂缝等情况,从而判断结构的完整性和耐久性状况。通过现场检测评估,可以直接掌握混凝土结构在实际工程中的真实耐久性情况,为后续的维护、加固等决策提供可靠依据,确保水工结构的安全稳定运行。

结束语

综上所述,高性能抗冲磨混凝土于水工结构而言,意义非凡。其凭借独特的基本特性,在过流面、闸门基础等关键部位发挥出显著的应用优势,有力保障了水利设施的安全稳定运行。然而,其耐久性受环境、材料、施工等多重因素制约,需从优化配比、改进工艺、实施表面防护等多维度提升。未来,随着材料科学与施工技术的持续进步,高性能抗冲磨混凝土有望在性能上实现更大突破,为水利事业的长远发展筑牢坚实根基,推动我国水利建设迈向新的高度。

参考文献:

- [1] 吴梦恩,李建军.高性能混凝土在水工结构中的应用[J].水运工程,2025(3):190-195.
- [2] 梁云如,高正平,吴冬梅.基于多尺度分析的水工混凝土抗冲磨性能提升研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2025(1):027-030.
- [3] 邹鸣飞.高抗冲耐磨混凝土在水工泄洪隧洞中的抗空蚀性能研究[J].南国博览,2025(2):81-85.
- [4] 陈万军.高性能抗冲磨混凝土在水渠修复工程中的实践应用——以引子渡水电站为例[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2022(9):33-36.