

土建工程中混凝土结构耐久性影响因素及提升策略

●曲 栋 慕卫超



[摘要] 本文深入探讨了土建工程中混凝土结构耐久性的影响因素,并针对性地提出了提升策略。通过分析抗渗性、抗冻性、抗侵蚀性、碳化及碱骨料反应等关键因素,文章指出了提高混凝土结构耐久性的具体措施,包括优化水泥选择、集料质量控制、合理使用外加剂、掺入矿物掺合料以及应用密实抗渗剂等。这些策略对于延长土建工程的使用寿命、确保结构安全性和经济性具有重要意义。

[关键词] 混凝土结构;耐久性;提升策略

随着土建工程的不断发展,混凝土结构的耐久性问题日益凸显。耐久性是指结构在规定使用年限内,在各种环境条件作用下,无需额外加固处理而能保持其安全性、正常使用和可接受的外观能力。现代建筑中,混凝土结构广泛应用于桥梁、隧道、高层建筑等领域,其耐久性直接关系到工程的使用寿命、维护成本及安全性。混凝土结构一旦出现耐久性问题,不仅会影响建筑物的功能,还可能引发安全隐患,造成巨大的经济损失和社会影响。深入分析影响混凝土结构耐久性的主要因素,并探讨相应的提升策略,具有重要的现实意义。本文将从抗渗性、抗冻性、抗侵蚀性、碳化及碱骨料反应等方面进行详细探讨,旨在为土建工程提供科学合理的耐久性保障措施。

混凝土结构耐久性影响因素

(一)抗渗性

抗渗性是混凝土抵抗水、油等液体在压力作用下渗透的性能。混凝土的抗渗性与其密度及内部孔隙的大小和构造密切相关。水灰比是影响抗渗性的主要因素,水灰比越大,水分蒸发后留下的孔隙越多,抗渗性越差。具体来说,水灰比直接影响混凝土的密实度。当水灰比过高时,多余的水分在硬化过程中蒸发,形成大量连通孔隙,这些孔隙不仅增加了液体渗透的路径,还降低了混凝土的整体强度。混凝土中的骨料与水泥浆之间的界面过渡区(ITZ)也是影响抗渗性的关键区域。ITZ的质量取决于水泥浆的均匀性和骨料表面的粗糙度。如果ITZ存在较多微裂缝或薄弱点,液体会更容易通过这些缺陷渗透进入混凝土内部。控

制水灰比、优化骨料选择以及改善水泥浆的均匀性,能够有效提升混凝土的抗渗性。合理的振捣和养护工艺也能降低孔隙率,增强混凝土的密实度,进一步提高其抗渗能力。

(二)抗冻性

抗冻性是指混凝土在水饱和状态下,经受多次冻融循环作用后,仍能保持强度和外观完整性的能力。影响抗冻性的主要因素包括混凝土的密实度、孔隙构造与数量以及孔隙的充水程度。

混凝土的密实度对其抗冻性很重要。密实度越高,混凝土内部的连通孔隙越少,水分子难以渗透,从而减少了冻融过程中水分膨胀对结构的破坏。孔隙构造和数量直接影响抗冻性。微小且封闭的孔隙可以有效防止水分进入,而大而连通的孔隙则容易成为冻融破坏的起点。通过合理选择骨料和优化配合比,可以减少有害孔隙的数量,提升抗冻性能。

孔隙的充水程度也是关键因素。当孔隙充满水时,冻结会导致体积膨胀,产生内应力,进而引发裂缝。控制混凝土的水灰比和养护条件,确保孔隙内的水分含量适中,是提高抗冻性的有效手段。使用引气剂可以在混凝土中引入适量的微小气泡,缓解冻融过程中的压力,进一步增强抗冻能力。

(三)抗侵蚀性

混凝土的抗侵蚀性与所用水泥的品种、混凝土的密实程度和孔隙特征密切相关。水泥的种类直接影响混凝土的抗侵蚀性能。硫铝酸盐水泥具有良好的耐化学腐蚀性,适用于接触酸性或碱性环境的结构;而普通硅酸盐水泥在长期

暴露于氯离子环境中时,容易发生钢筋锈蚀,缩短结构使用寿命。选择合适的水泥品种是提升抗侵蚀性的关键。

混凝土的密实度对其抗侵蚀性非常重要。密实的混凝土内部孔隙较少,能够有效阻止外界有害物质的侵入。通过优化配合比、合理振捣和充分养护,可以显著提高混凝土的密实度,减少水分和化学物质的渗透路径,从而增强其抗侵蚀能力。

孔隙特征也影响混凝土的抗侵蚀性。微小且封闭的孔隙可以防止有害物质进入,大而连通的孔隙则成为侵蚀的通道。使用引气剂可以在混凝土中引入适量的微小气泡,这些气泡不仅能够缓解冻融压力,还能阻止有害物质的渗透,进一步提升抗侵蚀性能。掺入矿物掺合料如硅灰或矿渣粉,可以填充孔隙,改善混凝土的微观结构,增强其抗侵蚀性。

(四)碳化

碳化是指混凝土中的氢氧化钙($\text{Ca}(\text{OH})_2$)与空气中的二氧化碳(CO_2)反应,生成碳酸钙(CaCO_3)和水的过程。这一反应不仅改变了混凝土的化学组成,还对其微观结构和物理力学性能产生了显著影响。

碳化会导致混凝土表面层的pH值降低。氢氧化钙是碱性物质,而碳酸钙呈中性,因此碳化会使混凝土的碱性环境减弱。这种pH值的下降会加速钢筋的锈蚀,尤其是在存在氯离子的情况下,进一步削弱结构的耐久性。

碳化会引起混凝土体积的变化。生成的碳酸钙晶体较氢氧化钙更为致密,导致混凝土表面层的体积收缩。这种收缩可能引发微裂缝,增加水分和有害物质的渗透路径,进而加速混凝土的老化和劣化。

碳化还会改变混凝土的孔隙结构。随着反应的进行,混凝土中的毛细孔逐渐被填充,形成较为致密的碳酸钙层。虽然这在一定程度上提高了表面的抗渗性,但也使得混凝土内部的水分难以排出,增加了冻融循环时的破坏风险。

碳化的深度随时间逐渐增加,尤其是在通风良好、湿度适中的环境中。为了延缓碳化进程,通常采用密实度更高的混凝土、使用低碱水泥或掺加矿物掺合料等措施,以提高结构的耐久性。

(五)碱骨料反应

碱骨料反应是指硬化混凝土中所含的碱与骨料中的活性成分发生反应,生成具有吸水膨胀性的产物,导致混凝土开裂的现象。具体来说,这一反应主要分为两类:碱-硅酸反应(ASR)和碱-碳酸盐反应(ACR)。ASR发生在含有活性二氧化硅的骨料中,碱性物质与其反应生成凝胶状的硅酸盐,这种凝胶在吸水后体积膨胀,产生内应力,最终导致混凝土开裂。ACR则涉及含有白云石等碳酸盐矿物的骨料,反应生成的产物同样会引起体积膨胀。

碱骨料反应的影响因素包括骨料的活性、混凝土中的碱含量以及环境条件。高活性骨料更容易引发反应,而混凝土中的碱主要来源于水泥中的氧化钠和氧化钾。环境中的湿度和温度也会影响反应的速度和程度,潮湿环境会加速反应进程,导致混凝土结构的早期劣化。

为了预防碱骨料反应,可以采取多种措施。选择低碱水泥或掺加矿物掺合料如粉煤灰、矿渣等,可以有效降低混凝土中的碱含量。使用经过筛选的非活性骨料,或在混凝土中添加抑制剂,也能显著减少反应的发生。这些措施有助于提高混凝土的耐久性和长期稳定性。

Q 混凝土结构耐久性提升策略

(一)优化水泥选择

优化水泥选择是提高混凝土结构耐久性的关键。应选择碱含量低的水泥,以减少碱骨料反应的风险。碱含量高的水泥容易与活性骨料发生化学反应,生成膨胀性产物,导致混凝土开裂。水化热低的水泥有助于防止温度裂缝。大体积混凝土施工时,水泥水化产生的热量可能导致内部温度过高,引发温差裂缝。选用低水化热的水泥可以有效控制温升,减少裂缝风险。

干缩性小的水泥能够降低混凝土在硬化过程中因水分蒸发而产生的收缩裂缝。干缩裂缝不仅影响美观,还会削弱结构的整体性和耐久性。耐热性好的水泥则适用于高温环境下的工程,如工业炉窑、烟囱等,能确保混凝土在高温条件下保持稳定性能。

抗水性和抗腐蚀性也是重要考量因素。抗水性好的水泥可以防止水分渗透,避免钢筋锈蚀和混凝土内部劣化。抗腐蚀性水泥则能在含有氯离子、硫酸盐等腐蚀介质的环境中,有效抵抗化学侵蚀,延长结构使用寿命。抗冻性能优异的水泥能够在寒冷地区防止冻融循环对混凝土的破坏,确保结构在极端气候条件下的安全性与耐久性。

(二)集料质量控制

集料质量控制是确保混凝土耐久性的关键环节。应严格控制集料的碱活性。碱活性高的集料容易与水泥中的碱发生反应,生成膨胀性产物,导致混凝土开裂。选择低碱活性的集料可以有效减少这种风险。耐蚀性也是重要考量因素。在含有氯离子、硫酸盐等腐蚀介质的环境中,耐蚀性差的集料会加速混凝土的劣化。选用耐蚀性强的集料能够提高混凝土在恶劣环境中的稳定性。

吸水率对混凝土性能有直接影响。高吸水率的集料会导致混凝土内部水分分布不均,增加干缩裂缝的风险。应选择吸水率低的集料,以保持混凝土的均匀性和稳定性。必须限制黏土、淤泥、粉屑等有害杂质的含量。这些杂质不仅会降低集料的强度,还会影响水泥浆与集料之间的粘结

力,进而削弱混凝土的整体性能。

合理的级配同样不可忽视。通过优化粗细集料的比列,可以改善混凝土拌合物的和易性,使其更容易施工。良好的级配还能提高混凝土的密实度,减少孔隙率,增强其抗渗性和耐久性。严格的集料质量控制是提升混凝土结构耐久性的基础保障。

(三)合理使用外加剂

通过合理使用外加剂,可以显著改善混凝土的性能,提高其耐久性。高效减水剂是其中之一,它能够减少拌合用水量,降低水灰比,从而提高混凝土的强度和密实度。减水剂还能改善混凝土的和易性,使其在施工过程中更容易操作,减少离析现象,确保均匀分布。引气剂的作用也不可忽视。引气剂能够在混凝土中生成大量微小、均匀分布的闭气孔,这些气孔不仅能够有效缓冲冻融循环中的压力变化,防止混凝土内部开裂,还能提升其抗渗性和抗冻融性,特别适用于寒冷地区。膨胀剂的加入可以补偿混凝土在硬化过程中的收缩,减少因收缩引起的裂缝,增强结构的整体性和稳定性。缓凝剂和早强剂等其他外加剂也能根据工程需求调节混凝土的凝结时间和早期强度发展,进一步优化其性能。综上所述,合理选择和搭配不同类型的外加剂,能够全面提升混凝土的耐久性和适用性。

(四)掺入矿物掺合料

掺入矿物掺合料是提升混凝土耐久性的重要手段。常见的矿物掺合料包括磨细粒化高炉矿渣、硅灰、粉煤灰等,它们在混凝土中发挥多重作用。

矿物掺合料能够有效填充混凝土中的微小孔隙,改善其内部结构。磨细粒化高炉矿渣具有较高的活性,能够在水化过程中与水泥反应,生成更多的水化产物,填充孔隙,减少水分和有害物质的渗透路径,从而提高混凝土的密实度和抗渗性。硅灰颗粒极细,能够深入填充混凝土中的微小空隙,进一步增强其致密度,减少裂缝的产生和发展。

矿物掺合料还能抑制碱集料反应(AAR)。碱集料反应是指混凝土中的碱性物质与某些活性集料发生化学反应,导致体积膨胀,进而引发开裂和破坏。磨细粒化高炉矿渣和硅灰等掺合料通过消耗混凝土中的氢氧化钙,减少其碱性环境,有效抑制AAR的发生,延长混凝土的使用寿命。

矿物掺合料还可以调节混凝土的水化热,延缓早期水化进程,减少温度裂缝的产生。这不仅提高了混凝土的强度,还增强了其长期稳定性。总体而言,合理使用矿物掺合料能够显著提升混凝土的耐久性和性能。

(五)应用密实抗渗剂

应用密实抗渗剂是提升混凝土耐久性的重要措施。密实抗渗剂如氯化铁、氯化铝等,能够在混凝土内部形成胶体

或络合物,有效填充毛细孔缝,显著提高其抗渗能力和耐久性。

密实抗渗剂通过化学反应生成微细颗粒,这些颗粒能够深入混凝土的微小孔隙和裂缝,形成致密的填充层。这不仅减少了水分和有害物质的渗透路径,还增强了混凝土的整体密实度,降低了渗透风险。

密实抗渗剂在水化过程中与水泥浆中的成分发生反应,生成稳定的水化产物。这些产物进一步填充混凝土内部的空隙,提高了混凝土的抗压强度和抗裂性能。密实抗渗剂还能延缓混凝土的早期水化进程,减少因温度变化引起的裂缝,从而增强其长期稳定性。

密实抗渗剂还能改善混凝土的表面性能,形成一层防护膜,防止外界环境中的化学物质侵蚀。这种防护作用特别适用于暴露在恶劣环境中的混凝土结构,如桥梁、隧道和海洋工程等,能够有效延长其使用寿命。

合理使用密实抗渗剂不仅能提高混凝土的抗渗能力,还能增强其整体性能,确保其在长期使用中的耐久性和安全性。

Q 结束语

本文通过分析影响混凝土结构耐久性的关键因素,提出了一系列针对性的提升策略。这些策略对于改善混凝土结构的耐久性、延长其使用寿命具有重要意义。在实际工程中,应根据具体情况选择适当的措施,以确保混凝土结构的长期安全使用。

参考文献

- [1]郑志荣.变电所土建工程设计中结构安全性与耐久性问题探讨[J].科技资讯,2006(30):54.
- [2]李群.影响土建结构耐久性的因素与提升策略研究[J].建材与装饰,2018(12):41.
- [3]任嵘.影响钢筋混凝土耐久性的因素[J].科技信息,2009(36):245-246.
- [4]蒋萌.氯盐腐蚀环境下混凝土结构的耐久性与安全性研究[D].上海:上海交通大学,2013.
- [5]刘彩玲,刘杰.混凝土结构耐久性的研究现状与展望[J].科教导刊,2010(18):60-61.

作者简介:

曲栋(1984—),男,汉族,山东青岛人,本科,工程师,青岛高园建设咨询管理有限公司,研究方向:建设工程。

蔡卫超(1989—),男,汉族,山东青岛人,本科,工程师,青岛高园建设咨询管理有限公司,研究方向:建设工程。