

混凝土结构耐久性设计与施工质量控制

● 张鸿发



[摘要] 混凝土结构在建筑工程中极为重要,但随着服役年限的增长,其耐久性成为关键问题。本文就其耐久性设计与施工质量控制进行深入探究。设计上,应依据环境选择适配水泥、骨料等材料,并科学地进行掺料加剂,同时从构件、节点连接、设缝及防护等多方面着手进行构造优化。在施工过程中,应根据要求精确确定各项配合比,以确保其特性。同时,在搅拌、运输等环节中,要严格规范工艺操作。此外,应建立检测与维护体系,涵盖多环节的检测评估及巡检修复与防护措施。通过这些综合措施,可以有效提高耐久性,推动行业的发展。混凝土结构的力学性能表现与施工便利性使其成为现代建筑工程体系的基石,广泛用于基础设施、工业建筑以及民用住宅等建筑项目中。然而,随着建筑服役年限的增长,混凝土结构的耐久性问题逐渐成为制约其长期性能发挥的关键瓶颈。

[关键词] 混凝土结构;耐久性设计;施工质量控制;材料选择

混凝土结构在现代建筑工程领域中占有举足轻重的地位,是构建众多基础设施、工业与民用建筑的关键要素,被广泛用于城市的高楼大厦、桥梁隧道、水利水电设施等各类建筑工程之中。其凭借着良好的抗压性能、相对低廉的成本以及易于成型等诸多优势,成为建筑行业的首选材料之一。

然而,在长期的使用过程中,混凝土结构不可避免地面临着来自内外部多重挑战。外部环境因素极为复杂多变,如大气中的湿度波动、温度差异所引发的热胀冷缩效应,以及酸雨、海水等所含化学物质的侵蚀作用。内部则长期承受着各种荷载的持续作用,包括静荷载、动荷载以及交变荷载等。同时混凝土和钢筋这两种主要材料自身的性能也会随着时间的推移而发生变化,例如混凝土的碳化、钢筋的锈蚀等。

这些因素共同作用,使得混凝土结构的耐久性问题愈发凸显,成为威胁其长期稳定服役的核心隐患。耐久性的不足不仅会导致结构表面出现裂缝、剥落、变色等外观损坏现象,致使其美观性大打折扣,更会逐步削弱其结构的承载能力,使建筑功能无法正常发挥,严重时甚至可能引发突然的结构坍塌等灾难性事故,给人们的生命财产安全带来难以估量的损失,给社会经济发展造成巨大的负面影响。因此,深入且全面地研究混凝土结构耐久性设计与施工质量控制,已然成为建筑工程领域中刻不容缓的重要任务,这对于确保建筑结构在设计使用年限内安全可靠地运行、促进建筑行业

可持续发展具有极为关键的战略意义。

Q 混凝土结构耐久性设计的基本原则

混凝土结构的耐久性设计是确保其在长期使用过程中维持安全性、适用性和美观性的关键环节。以下将详细阐述混凝土结构耐久性设计的基本原则。

(一) 环境适应性原则

混凝土结构所处的环境条件千差万别,包括自然环境中的大气、土壤、水等,及可能存在的特殊工业环境或海洋环境等。在设计之初,必须对结构所处的特定环境进行全面且深入地评估。例如,在沿海地区,由于空气中含有大量的氯离子,海水具有强腐蚀性,混凝土结构面临着严重的氯离子侵蚀和干湿循环破坏风险。因此,在设计时应选用抗氯离子侵蚀性能强的水泥品种,如硅酸盐水泥,并适当增加矿物掺合料(如粉煤灰、矿渣粉)的掺量,以提高混凝土的密实度和抗渗性,从而有效抵抗氯离子的侵入。对于处于寒冷地区的混凝土结构,要重点考虑冻融循环对结构的破坏作用。通过优化混凝土配合比,掺入适量的引气剂,使混凝土内部形成微小的封闭气泡,为冰晶膨胀提供缓冲空间,从而防止混凝土因冻融作用而剥落、开裂,确保结构在寒冷环境下的耐久性。

(二) 材料选择与优化原则

材料是混凝土结构的物质基础,其质量和性能直接影响结构的耐久性。水泥的选择应综合考虑工程需求和环境特

点,除了上述抗侵蚀性要求外,还需关注水泥的强度发展特性、水化热等因素。对于大体积混凝土结构,为避免因水化热过高导致内部温度裂缝,宜选用中低热水泥。骨料作为混凝土的骨架,应具备良好的物理力学性能,质地坚硬、级配良好的骨料能显著提高混凝土的密实度和强度。同时,要严格控制骨料中的含泥量和有害物质含量,防止其对混凝土耐久性产生不利影响。矿物掺合料的合理应用是提高混凝土耐久性的重要手段。粉煤灰具有火山灰活性,能与水泥水化产物发生二次反应,填充混凝土孔隙,提高其抗渗性;矿渣粉则能增强混凝土的后期强度和抗化学侵蚀能力。外加剂的选用也不容忽视,减水剂可降低水灰比,提高混凝土的强度和密实度;阻锈剂可有效抑制钢筋锈蚀,对于钢筋混凝土结构的耐久性保障具有重要意义。

(三)结构构造合理性原则

合理的结构构造能够有效减轻因环境因素对混凝土结构产生的不利影响,并提高结构的整体耐久性。在构件设计方面,应避免出现尖锐的转角和截面突变,以减少应力集中现象。例如,在梁与柱的连接部位,采用适当的过渡圆弧或渐变截面,可使应力分布更加均匀,降低裂缝产生的风险。对于承受较大荷载或处于恶劣环境中的结构构件,需适当增加其截面尺寸或配筋率,提高结构的承载能力和抗裂性能。在结构的整体布局上,要合理设置伸缩缝、沉降缝和变形缝,并做好相应的防水、密封处理。伸缩缝能够适应混凝土因温度变化产生的伸缩变形,沉降缝可解决因地基不均匀沉降引起的结构差异变形,变形缝则可应对结构在地震等偶然作用下的变形需求。通过这些构造措施,防止水分、有害气体等侵蚀介质渗入结构内部,避免钢筋锈蚀和混凝土腐蚀等耐久性问题的发生。此外,对于可能遭受撞击、磨损等局部破坏的部位,应设置防护层或加强构造,如在混凝土桥墩的易撞部位设置防撞护舷,在工业厂房地面的磨损区域采用耐磨混凝土或铺设耐磨材料等,以提高结构局部的耐久性。

Q 环境因素对混凝土结构耐久性的影响

(一)化学侵蚀

化学侵蚀是影响混凝土结构耐久性的重要因素之一。常见的化学侵蚀包括酸侵蚀、碱侵蚀和盐侵蚀等。例如,在工业环境中,酸性气体或液体可能会与混凝土中的碱性成分发生化学反应,导致混凝土结构的强度和耐久性下降。又如,在含有硫酸盐的土壤或地下水中,硫酸盐会与混凝土中的氢氧化钙反应,生成膨胀性产物,使混凝土产生裂缝,进而破坏结构的整体性。

(二)物理作用

物理作用主要包括冻融循环、干湿交替等。在寒冷地

区,混凝土结构可能会遭受反复的冻融循环作用。当混凝土中的水分结冰时,体积膨胀,这会对混凝土内部结构产生压力,导致混凝土表面剥落、内部损伤,长期积累会使结构强度降低。干湿交替作用会使混凝土内部的水分不断变化,加速混凝土的风化和侵蚀过程,尤其是在有侵蚀性介质存在的情况下,干湿交替会促进侵蚀作用的进行。

Q 混凝土结构耐久性设计中的材料选择与配合比设计

(一)水泥品种的选择

不同品种的水泥具有不同的特性,对混凝土结构耐久性影响显著。例如,硅酸盐水泥具有早期强度高、水化热大的特点,适用于一般环境下的混凝土结构;而抗硫酸盐水泥则具有较好的抗硫酸盐侵蚀能力,适用于存在硫酸盐侵蚀风险的环境。在选择水泥品种时,应根据混凝土结构所处的环境类别和作用等级,结合水泥的性能特点,综合确定。

(二)骨料的质量要求

骨料在混凝土中占据较大体积,其质量对混凝土结构耐久性至关重要。骨料应具有良好的颗粒形状、强度和稳定性。例如,粗骨料的针片状颗粒含量应控制在一定范围内,否则会影响混凝土的和易性和强度。对于有抗冻要求的混凝土结构,应选用坚固性好的骨料,以防止在冻融循环过程中骨料发生破坏。同时,骨料中的有害物质含量,如含泥量、泥块含量等,也应严格控制,以免影响混凝土的耐久性。

(三)配合比设计要点。混凝土的配合比设计应综合考虑耐久性要求。在满足强度要求的基础上,应合理控制水胶比、水泥用量等参数。较低的水胶比有助于提高混凝土的密实度和抗渗性,从而增强其耐久性。同时,可适量掺入矿物掺合料,如粉煤灰、矿渣粉等。矿物掺合料能够改善混凝土的微观结构,提高其抗化学侵蚀能力和后期强度发展。例如,粉煤灰的火山灰效应可以消耗混凝土中的氢氧化钙,降低混凝土的碱性,减少碱骨料反应的风险,同时提高混凝土的抗渗性。

Q 混凝土结构施工质量控制关键环节

(一)混凝土浇筑

在混凝土浇筑过程中,应确保浇筑的均匀性和连续性,避免出现混凝土分层、离析现象。对于大体积的混凝土结构,应合理安排浇筑顺序和分层厚度,防止因混凝土内部水化热积聚导致温度裂缝。例如,可采用分层浇筑、分层振捣的方法,每层浇筑厚度不宜过大,一般控制在300mm~500mm之间。同时,在浇筑过程中,应注意对钢筋和预埋件的保护,防止其发生位移。

(二)混凝土振捣

混凝土振捣是保证混凝土密实度的关键工序。振捣应采用合适的振捣设备和振捣方法，确保混凝土内部气泡充分排出，使混凝土密实。振捣时间应适宜，过短会导致混凝土振捣不密实，过长则可能使混凝土产生离析。振捣时间一般以混凝土表面不再显著下沉、不再出现气泡、表面泛浆为准。对于钢筋密集部位或薄壁结构，应采用小型振捣棒或辅以人工振捣，以保证混凝土振捣质量。

（三）混凝土养护

混凝土养护对其耐久性影响极大。在混凝土浇筑完成后，应及时进行养护。养护的目的是保持混凝土表面湿润，防止混凝土因水分散失过快而产生干缩裂缝。对于普通混凝土结构，养护时间一般不少于7天；对于有抗渗要求或大体积混凝土结构，养护时间应适当延长，一般不少于14天。养护方法可采用洒水养护、覆盖养护等。在冬季施工时，还应采取保温养护措施，防止混凝土受冻。

Q 提高混凝土结构耐久性的措施与建议

（一）混凝土表面防护

对混凝土结构表面进行防护处理是提高其耐久性的有效措施。例如，可采用涂刷防腐涂料、防水涂层等方法。防腐涂料能够在混凝土表面形成一层保护膜，阻止侵蚀性介质与混凝土接触，从而降低化学侵蚀的风险。防水涂层则可以提高混凝土的抗渗性，减少水分和侵蚀性介质的侵入。对于处于恶劣环境中的混凝土结构，如海洋环境中的码头、桥梁等，表面防护尤为重要。

（二）定期检测与维护

建立混凝土结构的定期检测与维护制度是保障其长期耐久性的必要手段。定期对混凝土结构进行外观检查、强度检测、耐久性指标检测等，及时发现结构存在的问题，如裂缝、剥落、钢筋锈蚀等。对于发现的问题，应及时进行修复和处理。例如，对于轻微裂缝可采用灌浆修补的方法，对于钢筋锈蚀严重的部位，应进行除锈、补强处理，并采取相应的防护措施，防止问题进一步恶化。

Q 结束语

混凝土结构的耐久性设计与施工质量控制对于建筑工程的全生命周期性能保障具有关键意义，二者紧密相连、相辅

相成，共同构成一个综合性的系统工程。在耐久性设计方面，通过对材料科学且合理的筛选，例如精准匹配不同环境需求的水泥品种、严格把控骨料品质、巧妙运用矿物掺合料与外加剂优化混凝土性能等，以及对结构构造精心的规划与优化，如有效规避应力集中区域、增强节点连接的稳固性、妥善处理伸缩缝与沉降缝的构造细节并合理采用表面防护技术等多维度举措，为混凝土结构的耐久性奠定了坚实基础。而在施工阶段，从严谨制定混凝土配合比、精确确定水灰比及各类材料用量，满足设计性能要求，到规范执行混凝土搅拌、运输、浇筑与振捣等一系列施工工艺流程，确保混凝土成型质量，再到强化全过程质量检测，如原材料的严格检验、对拌合物性能的动态监测、对实体结构质量的精准检测，以及建立系统完善的结构维护机制，及时发现并修复结构在使用过程中出现的损伤与病害等，这些施工质量控制措施是实现耐久性设计目标的有效保障。只有将耐久性设计理念贯穿于设计与施工的各个环节，并在后续的使用过程中持续进行维护管理，才能切实提高混凝土结构的耐久性，显著延长其使用寿命，为建筑结构在设计使用年限内的安全性、可靠性与稳定性提供全方位保障。这不仅有利于减少因耐久性问题引发的频繁维修与重建所造成的资源浪费与经济损失，还能有力推动建筑行业向绿色、可持续方向稳健发展，为社会基础设施的长期稳定运行贡献关键力量。

参考文献

- [1]陈肇元.混凝土结构的耐久性设计方法[J].建筑技术,2003(05):328-333.
- [2]卫军,张晓玲,赵晋龙.混凝土结构耐久性的研究现状和发展方向[J].低温建筑技术,2003(02):1-4.
- [3]肖建庄,雷斌.再生混凝土碳化模型与结构耐久性设计[J].建筑科学与工程学报,2008(03):66-72.
- [4]混凝土结构设计规范进行全面修订新修订的规范将于2000年颁布实施[J].混凝土,2000(01):34.
- [5]缪昌文,穆松.混凝土技术的发展与展望[J].硅酸盐通报,2020,39(01):1-11.

作者简介:

张鸿发(1996—),男,汉族,山东潍坊人,本科,港投工程咨询有限公司,研究方向:建筑工程。