

港航工程施工中混凝土的质量控制探析

杨 博

(四川省交通建设集团有限责任公司, 四川 成都 610041)

摘 要 港航工程是我国水运交通基础设施建设的重要载体, 混凝土作为码头、防波堤、航道护岸等结构的主要用材, 其质量直接决定工程的结构安全与服役寿命。本文结合港航工程海洋侵蚀环境的特殊性, 系统梳理了混凝土施工全流程的质量控制要点, 从原材料管控、配合比优化、施工工序管控、养护管理四个维度构建了标准化质量控制体系, 分析了常见质量病害的形成原因, 归纳了对应的防控与处置对策, 以为同类港航工程施工提供技术参考。

关键词 港航工程; 混凝土施工; 养护工序; 混凝土裂缝; 抗侵蚀性能

中图分类号: U654

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.22.027

0 引言

随着我国水运事业的快速发展, 沿海港口、内河航道、跨海枢纽等港航工程的建设规模持续扩大, 混凝土结构凭借强度高、整体性好、造价可控等优势, 成为港航工程的主流结构形式。港航工程多处于海洋潮汐、干湿交替、氯离子侵蚀、硫酸盐腐蚀等复杂恶劣环境中, 对混凝土的强度、抗渗性、抗侵蚀性与长期耐久性提出了极高要求^[1]。当前港航工程混凝土施工中, 仍存在原材料管控不严、施工工艺不规范、养护措施不到位等问题, 易引发结构裂缝、钢筋锈蚀、强度不足等质量病害, 大幅缩短工程服役寿命。基于此, 本文系统梳理港航工程混凝土施工全流程的质量控制技术, 分析常见病害的形成机理, 提出标准化的防控与处置对策, 为港航工程混凝土施工的精细化管控提供参考。

1 港航工程混凝土性能要求与前期质量管控

1.1 港航工程混凝土的特殊性能要求

港航工程混凝土与普通建筑混凝土的关键差异在于其需长期承受海洋复杂环境的侵蚀作用, 需同时满足结构强度与长期耐久性双重要求。根据港航工程所处环境, 可划分为大气区、浪溅区、水位变动区、水下区四个区域, 其中浪溅区与水位变动区受干湿交替、氯离子渗透、冻融循环的耦合作用, 是腐蚀最严重、对混凝土性能要求最高的区域^[2]。港航工程混凝土需重点控制抗氯离子渗透性能、抗硫酸盐侵蚀性能、抗冻融性能、抗渗性能与抗裂性能, 其中抗氯离子渗透

性能是决定结构长期服役寿命的关键指标, 需通过原材料选型与配合比优化实现精准管控。

1.2 原材料质量管控

原材料的性能是混凝土质量的基础, 需针对港航工程的环境特点, 执行全批次、全流程的质量检验与管控, 各类原材料的关键管控要求如表 1 所示。原材料进场前需核对质量证明文件, 按批次开展复检, 重点检测氯离子含量、强度、级配等关键指标, 不合格材料严禁进场。水泥需根据施工工况选型, 大体积混凝土优先选用中低热水泥, 降低水化热风险; 骨料需严格控制含泥量与有害杂质含量, 避免影响混凝土的密实度与耐久性; 掺合料可通过活性效应优化胶凝体系, 减少水泥用量, 同时提升混凝土的抗侵蚀性能; 外加剂需与水泥开展适应性试验, 确保混凝土工作性符合施工要求。

2 港航工程混凝土施工关键工序质量控制技术

2.1 拌合与运输质量控制

混凝土拌合需严格按照经审批的配合比执行, 计量设备需定期校验, 确保计量精度符合规范要求, 严禁擅自调整用水量与胶凝材料用量。拌合时间需根据设备类型与混凝土性能确定, 强制式搅拌机拌合时间不得少于 90 s, 掺加掺合料与外加剂的混凝土需适当延长拌合时间, 确保拌和均匀, 无离析、泌水现象。混凝土运输需根据施工工况选用适配设备, 水上施工需采用专用运输船, 控制运输时间与路径, 避免因运输时间过长导致坍落度损失过大、工作性下降。混凝

作者简介: 杨博 (1988-), 男, 本科, 研究方向: 港口与航道工程。

表 1 港航工程混凝土原材料管控要点与技术要求

原材料类型	关键管控指标	技术要求
水泥	强度等级、水化热、 抗硫酸盐侵蚀性	优先选用 P·II 型硅酸盐水泥或中低热硅酸盐水泥， 氯离子含量≤ 0.06%，严禁使用过期、受潮结块水泥
骨料	含泥量、氯离子含量、颗粒级配	粗骨料含泥量≤ 1%，针片状颗粒含量≤ 15%； 细骨料严禁使用未淡化海砂，氯离子含量≤ 0.03%
掺合料	活性指数、细度、需水量比	优先选用 I 级粉煤灰、S95 级矿粉，通过活性效应 优化胶凝体系，提升混凝土抗侵蚀性能
外加剂	减水率、含气量、水泥适应性	选用聚羧酸系高效减水剂，可搭配阻锈剂、引气剂， 严禁使用对钢筋有锈蚀作用的外加剂
拌合用水	氯离子含量、pH 值、硫酸盐含量	严禁使用海水拌合，氯离子含量≤ 200 mg/L，pH 值≥ 4.5

土到场后，需逐车检测坍落度、扩展度等工作性指标，不符合要求的严禁使用，严禁在运输或浇筑过程中随意加水^[3]。

2.2 浇筑与振捣施工管控

浇筑与振捣是决定混凝土实体质量的关键工序，需针对港航工程特殊工况制定专项管控措施。大体积混凝土需采用分层分段浇筑方式，分层厚度不得超过 500 mm，控制浇筑速度，避免水化热集中释放；水下混凝土浇筑需采用导管法施工，严格控制导管埋深在 2 m～6 m 范围内，严禁提管过快导致断桩、离析等缺陷；混凝土振捣需遵循“快插慢拔、分层振捣”的原则，振捣间距不得超过振动器作用半径的 1.5 倍，振捣至表面泛浆、无气泡溢出为止，严禁漏振、欠振、过振；钢筋密集区、预埋件周边需采用小型振动器加强振捣，确保混凝土密实。

2.3 模板与钢筋工程配套管控

模板与钢筋工程的施工质量直接影响混凝土的成型质量与结构耐久性。模板需具备足够的刚度、强度与密封性，优先选用钢模板，表面平整光滑，拼缝处采用密封胶条封堵，避免浇筑过程中漏浆引发蜂窝麻面；水上施工的模板支撑体系需进行专项受力验算，加固牢固，具备足够的抗风浪能力，避免浇筑过程中模板移位、变形。钢筋工程需重点控制保护层厚度，采用与混凝土同强度的水泥砂浆或混凝土垫块，绑扎牢固、间距均匀，严禁使用塑料垫块；钢筋表面需彻底除锈，严禁使用锈蚀严重的钢筋，钢筋间距、锚固长度需符合设计与规范要求，避免因保护层不足引发钢筋锈蚀。

2.4 养护工序精细化管控

养护是保障混凝土强度增长、避免开裂、提升耐久性的重要环节，港航工程混凝土需执行精细化的养

护管控措施。混凝土浇筑完成后，需在初凝后及时覆盖土工布、保湿棉等材料，持续洒水养护，确保混凝土表面始终处于湿润状态，严禁出现干湿循环。普通硅酸盐水泥配制的混凝土养护时间不得少于 14 d，掺加粉煤灰、矿粉等掺合料的混凝土养护时间不得少于 21 d，抗渗、抗冻混凝土养护时间不得少于 28 d。大体积混凝土需采用温控养护措施，通过内降外保的方式，控制混凝土内外温差不超过 25 ℃，表面与环境温差不超过 20 ℃，避免温度裂缝产生。

3 港航工程混凝土常见质量病害与防控处置技术

3.1 混凝土裂缝病害防控处置

裂缝是港航工程混凝土最常见的质量病害，分为塑性收缩裂缝、温度裂缝、干缩裂缝、盐蚀裂缝等类型，不仅会影响结构外观，还会为氯离子、硫酸盐等侵蚀介质提供通道，加速结构腐蚀。裂缝的主要成因包括：配合比不合理、水化热管控不到位、养护措施缺失、环境侵蚀作用、施工工艺不当等。防控措施需从源头优化配合比，选用中低热水泥，掺加活性掺合料，降低水化热；大体积混凝土采用分层浇筑、温控养护，控制内外温差；加强全过程养护，避免混凝土表面干湿交替；优化结构设计，减少应力集中。处置措施需根据裂缝类型与宽度确定：宽度小于 0.2 mm 的表面裂缝，采用环氧树脂封闭处理；宽度大于 0.2 mm 的深层裂缝，采用环氧树脂低压灌缝处理；结构性裂缝需委托设计单位验算，采用粘贴碳纤维布、外包混凝土等方式加固处理^[4]。

3.2 抗侵蚀性能不足与钢筋锈蚀病害

抗侵蚀性能不足是港航工程混凝土特有的病害，主要表现为氯离子渗透引发的钢筋锈蚀、混凝土剥落、保护层开裂，严重影响结构的长期服役安全。主要成

因包括：原材料氯离子含量超标、配合比水胶比过大、混凝土密实度不足、保护层厚度不够、养护不到位等。防控措施需严格控制原材料氯离子含量，优化配合比降低水胶比，掺加阻锈剂、引气剂提升混凝土抗渗性能，严格控制钢筋保护层厚度，加强混凝土振捣与养护，提高密实度。处置措施包括：对锈蚀钢筋进行除锈、阻锈处理，对受损混凝土进行凿除，采用高性能修补砂浆或聚合物混凝土置换，结构表面涂刷防腐涂层，隔绝侵蚀介质。

3.3 外观与实体强度不足病害

外观缺陷主要包括蜂窝、麻面、露筋、孔洞等，实体强度不足则表现为混凝土抗压强度未达到设计要求，影响结构承载能力。外观缺陷的主要成因包括：模板密封性差、振捣不到位、拌合离析、钢筋保护层控制不当；强度不足的主要成因包括：原材料不合格、配合比管控不严、拌合计量偏差、养护不到位等。防控措施需加强模板密封与加固，规范振捣作业，严格

管控拌合、运输、浇筑全流程，加强养护管理。处置措施：轻微蜂窝麻面采用环氧修补砂浆找平处理；严重的孔洞、露筋需彻底凿除松散混凝土，采用高一级强度的微膨胀混凝土修补；实体强度不足的，需开展专项无损检测与结构验算，根据结果采取注浆加固、外包混凝土等补强措施。

3.4 特殊工况施工质量缺陷

港航工程水下、潮汐区、水上高空等特殊工况施工，易出现水下混凝土离析、断桩、潮水冲刷导致的混凝土表层损坏等缺陷。主要成因包括：水下浇筑导管埋深控制不当、潮汐窗口期选择不合理、浇筑过程防护措施不到位、施工工艺不规范等。防控措施需制定专项施工方案，规范水下浇筑工艺，严格控制导管埋深与浇筑速度^[5]；潮汐区精准计算低潮位窗口期，合理安排浇筑时间，浇筑完成后做好临时防护；水上施工做好防风浪措施，确保施工过程稳定。各类常见病害的标准化防控处置对策如表 2 所示。

表 2 港航工程混凝土常见病害与标准化处置对策

病害类型	主要形成原因	关键防控措施	标准化处置方法
混凝土裂缝	水化热管控不当、养护缺失、配合比不合理	优化配合比，大体积混凝土温控养护，全过程保湿养护	表面裂缝封闭处理；深层裂缝低压灌浆；结构性裂缝专项加固
钢筋锈蚀与侵蚀破坏	氯离子渗透、保护层不足、混凝土密实度差	严控原材料氯离子含量，优化配合比，保证保护层厚度，提升混凝土密实度	钢筋除锈阻锈，受损混凝土置换，表面涂刷防腐涂层
外观缺陷与强度不足	振捣不到位、模板漏浆、配合比管控不严、养护不到位	规范振捣作业，加强模板密封，严格配合比管控，延长养护时间	轻微缺陷修补砂浆找平；严重缺陷凿除后高一级混凝土修补；强度不足专项加固
特殊工况施工缺陷	浇筑工艺不当、窗口期选择不合理、防护措施不到位	制定专项施工方案，规范施工工艺，精准把控施工窗口期，加强防护	轻微缺陷表层修补；严重缺陷如断桩等，开展专项处置与结构补强

4 结束语

本文结合港航工程海洋侵蚀环境的特殊性，系统梳理了混凝土施工全流程的质量控制体系，明确了原材料管控、配合比优化、施工工序管控、养护管理等环节的技术要点，深入分析了各类常见质量病害的形成机理，归纳了标准化的防控与处置对策。当前，我国港航工程正向深水化、大型化、智能化方向发展，对混凝土结构的长期耐久性与服役安全性提出了更高要求，现有质量管控体系在精细化、智能化管控方面仍有优化空间。未来研究可聚焦绿色低碳海洋混凝土研发、智能化施工全过程管控技术、结构全生命周期耐久性监测方向，完善质量管控标准体系，提升港航工程混凝土结构的建设质量与长期服役能力。

参考文献：

- [1] 冯满红. 港航工程施工质量管理与控制措施研究[J]. 低碳世界, 2024, 14(08): 112-114.
- [2] 张雪娇. 新时代港航工程施工中基槽开挖与港池疏浚施工技术应用[J]. 科技资讯, 2024, 22(16): 151-153.
- [3] 史清波. 港航工程施工中混凝土的质量控制探析[J]. 工程建设与设计, 2024(12): 248-250.
- [4] 喻龙. 港航工程大体积混凝土底板施工温度控制[J]. 交通科技与管理, 2023, 04(18): 132-134.
- [5] 向溢. 港航工程中的混凝土病害与施工质量控制分析[J]. 工程技术研究, 2023, 08(13): 153-155.