

市政道桥施工中混凝土耐久性问题及其解决对策

文 / 汪少平 安徽省新同济工程咨询集团有限公司

摘要：为提升市政道桥混凝土结构的耐久性，通过分析施工中的常见问题，提出相应解决对策。以实际施工案例为基础，对混凝土材料质量、施工工艺控制及养护情况进行深入剖析。结果表明，混凝土耐久性受材料质量、施工工艺和养护等多因素影响。优化材料选择与配比，应用高性能水泥、矿物掺合料和优质外加剂；改进施工工艺，实施精细化管理，严格控制浇筑、振捣及养护环节；加强后期养护防护，设置外部防护层、合理设计排水系统等措施，可有效提高市政道桥混凝土的耐久性，保障道桥工程质量与使用寿命。

关键词：市政道桥；混凝土耐久性；施工；材料选择；养护对策

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.15.061

引言

随着城市化进程的加快，市政道桥作为城市交通运输网络的重要组成部分，其建设规模不断增大。混凝土以其低成本、高塑性和高强度等优点，成为城市道路桥梁建设的核心材料。然而，桥梁结构长期处于车辆荷载和自然环境侵蚀的复杂环境中，其耐久性要求苛刻。混凝土耐久性差，极易引起结构开裂和强度劣化，不仅影响桥梁的正常使用寿命，还可能存在安全隐患和维修费用。因此，对市政道桥建设中混凝土耐久性问题进行深入研究，提出切实可行的解决措施，对于保障市政道桥工程质量，延长其服役寿命，提高城市交通安全稳定具有重要的现实意义。

一、市政道桥施工中混凝土耐久性常见问题

（一）混凝土材料的质量问题

在市政道桥施工中，水泥作为混凝土的关键胶凝材料，若其安定性不合格，在混凝土硬化后，会因内部的物理化学反应持续进行，导致体积不稳定，进而产生膨胀应力，引发混凝土开裂，严重削弱混凝土的耐久性。同时，水泥强度等级若与工程设计要求不匹配，过低的强度无法满足道桥结构承载需求，过高则可能因水化热过大，造成混凝土内部温度应力集中，同样易形成裂缝。骨料的质量也至关重要。含泥量超标的骨料，会在骨料与水泥石之间形成薄弱界面，降低二者的黏结力，当混凝土承受荷载时，此处极易成为裂缝的发源地。此外，骨料的级配不合理，例如颗粒大小分布不均，会使混凝土内部产生空隙，降低其密实度，导致水分、有害介质更易侵入，加速混凝土的腐蚀进程。外加剂的使用不当同样会影响混凝土质量^[1]。减水剂掺量不准确，过多可能导致混凝土离析、泌水，过少则无法有效降低水灰比，难以提升混凝土的强度和耐久性；引气剂若使用不当，会在混凝土内部产生过多或过大的气泡，这些气泡在承受荷载时可能成为应力集中点，降低混凝土的抗冻融循环能力。

（二）施工工艺控制问题

在混凝土搅拌过程中，若搅拌时间过短，水泥、骨料、

外加剂等材料无法充分均匀混合，导致混凝土各部位性能不一致，薄弱区域在后续使用中易率先出现损坏。相反，搅拌时间过长，又可能破坏混凝土中已形成的结构，影响其和易性与强度。浇筑环节若控制不当，会留下诸多隐患。分层浇筑时，层间间隔时间过长，先浇筑层已初凝，后浇筑层与之结合不紧密，形成冷缝，成为混凝土结构的薄弱部位，严重影响整体强度与防水性能。另外，浇筑过程中若混凝土落差过大，会造成骨料与砂浆分离，产生离析现象，使混凝土质量不均匀。振捣对混凝土的密实度起着决定性作用。振捣不足，混凝土内部存在大量空隙，这些空隙不仅降低了混凝土的强度，还为水分和有害介质的侵入提供了通道，加速混凝土的劣化。而振捣过度，会导致骨料下沉、水泥浆上浮，出现分层现象，同样损害混凝土的耐久性（见图一）。



图一：振捣过度

（三）养护不到位问题

混凝土浇筑完毕后，必须有一个良好的湿度环境，以保证水化反应的充分进行。在养护过程中，如果湿度过低，混凝土表层的水分蒸发过快，水化反应受阻，混凝土强度增长缓慢，表面易出现开裂。这些裂缝为外界水分、空气和腐蚀性介质的侵入提供了通道，加速了钢筋的腐蚀，降低了混凝土的耐久性。温度是影响混凝土强度的一个重要因素。高温环境下，混凝土内部水分迅速蒸发，若不及时进行降温保湿，不仅会出现收缩开裂，

而且由于水泥水化热的集中释放,混凝土内部温度过高,温度应力过大,易产生裂缝。低温环境下,混凝土内部水分发生冻结和膨胀,会导致混凝土结构发生破坏,特别是在冻融循环作用下,其耐久性显著降低。没有足够的养护时间也是一个普遍的问题。水化反应为一连续过程,初期强度迅速提高,但需一段时间才能达到设计强度。

二、混凝土耐久性问题的解决对策

(一) 优化材料选择与配比

1. 高性能水泥的应用

高性能水泥具备诸多优异性能,是提升混凝土耐久性的关键材料。相较于普通水泥,其具有更高的强度等级,能够为市政道桥结构提供更强的承载能力,有效应对长期复杂的车辆荷载。例如,在一些大型跨江、跨海桥梁的建设中,采用高强度等级的硅酸盐水泥,其早期强度增长迅速,能缩短施工周期,同时后期强度稳定且持续增长,保障了桥梁在长期使用过程中的安全性。此外,高性能水泥的颗粒更细,分布更为均匀,这使得水泥在水化反应过程中更为充分,能有效降低混凝土内部的孔隙率,提高其密实度。密实的混凝土结构极大地阻碍了水分、氯离子等有害介质的侵入,从而显著增强了混凝土的抗渗性与抗侵蚀性。

2. 适当使用矿物掺合料

矿物掺合料在混凝土中发挥着不可或缺的作用。常见的矿物掺合料如粉煤灰、矿渣粉等,它们具有良好的火山灰活性。当将适量的粉煤灰掺入混凝土中时,其能够与水泥水化产生的氢氧化钙发生二次反应,生成具有胶凝性的水化硅酸钙等物质,填充混凝土内部的孔隙,改善孔隙结构,使混凝土更加密实^[2]。这不仅提高了混凝土的强度,还增强了其抗渗性和抗化学侵蚀能力。矿渣粉同样具有显著效果,它能够细化混凝土的微观结构,增强水泥石与骨料之间的黏结力。在一些处于恶劣环境中的市政道桥工程,如靠近海边易受氯离子侵蚀的桥梁,使用矿渣粉作为矿物掺合料,可有效提高混凝土抵抗氯离子渗透的能力,延长桥梁的使用寿命。但需要注意的是,矿物掺合料的掺量必须经过严格的试验确定,过多或过少都可能影响混凝土的性能,只有适当使用才能充分发挥其对混凝土耐久性的提升作用。

3. 高强度、抗渗透性能优越的外加剂的选用

外加剂对于改善混凝土性能、提升耐久性具有关键意义。高强度的减水剂能够在不影响混凝土工作性能的前提下,显著降低水灰比。较低的水灰比使得混凝土内部结构更加致密,孔隙率降低,从而有效提高混凝土的强度与耐久性。例如聚羧酸系高性能减水剂,减水率高,能使混凝土在低水灰比下仍具有良好的流动性,便于施工操作,同时大幅提升混凝土的抗渗性能。抗渗透性能

优越的外加剂,如防水剂,能够在混凝土内部形成憎水性的胶体,堵塞混凝土中的毛细孔通道,阻止水分及有害介质的侵入。在市政道桥工程中,尤其是处于潮湿环境或易遭受雨水冲刷的部位,使用防水剂能有效提升混凝土的防水性能,减少因水侵蚀导致的耐久性问题。此外,引气剂的合理使用也能改善混凝土的抗冻融性能,在混凝土内部引入微小、封闭且均匀分布的气泡,这些气泡如同缓冲垫,在混凝土遭受冻融循环时,能缓解因水分结冰膨胀产生的压力,避免混凝土结构破坏,进而提升混凝土在寒冷地区的耐久性。

(二) 改进施工工艺与方法

1. 精细化施工管理

精细化施工管理是市政道桥混凝土施工质量的保障核心。施工前,各方专业人员齐聚,对施工图纸进行全面会审。不放过任何一处技术细节,提前预见潜在风险,共同制定应对策略,避免施工时的盲目摸索^[3]。同时,构建严格的原材料管控体系,从采购源头抓起,确保每一批水泥、骨料、外加剂等符合设计要求。对运输、存储环节也严格把关,防止材料变质影响质量。施工中,明确各环节操作规范与质量标准,将责任细化到个人。例如实时监测混凝土搅拌参数,保证搅拌均匀;严格把控模板安装精度与密封性,杜绝漏浆现象。通过精细化管理,及时纠正施工偏差,确保每道工序都精准符合设计与规范,为混凝土耐久性筑牢根基。

2. 严格控制浇筑工艺

浇筑工艺直接关乎混凝土的密实度与整体质量。浇筑前,仔细清理现场,确保基层无杂物、积水,检查模板与钢筋安装情况,保证稳固且位置准确。分层浇筑时,依据振捣设备性能,将每层浇筑厚度控制在30-50厘米,以保证振捣效果。同时,精准把握层间间隔时间,务必在混凝土初凝前进行下层浇筑,防止冷缝出现。针对大体积混凝土,合理选择浇筑顺序,如分段分层或斜面分层,以此降低内部温度应力。还要调控混凝土入模温度,夏季降温,冬季保温,减少因温度变化引发的裂缝,确保混凝土浇筑质量上乘,提升其耐久性。

3. 适当延长养护时间

混凝土养护对其性能提升极为关键。水泥水化需要合适温湿度,养护初期,充足水分促使水泥充分水化,生成的水化产物填充孔隙,提升密实度。随着养护时间延长,混凝土内部微观结构持续优化,强度、抗渗与抗侵蚀性不断增强。一般普通混凝土养护不少于7天,抗渗混凝土则需14天以上。养护时,高温季节增加洒水次数,保持表面湿润;低温季节做好保温措施,防止混凝土受冻。适当延长养护时间,能让混凝土性能充分发展,有效延长市政道桥使用寿命。

4. 采用适宜的振捣技术

振捣技术决定混凝土的密实程度。选择振捣设备时，要综合考虑混凝土浇筑部位、坍落度与结构特点。大面积、大体积基础可采用插入式振捣棒配合平板振捣器，前者深入内部排出空气和水分，后者使表面平整密实。振捣时，严格控制时间与间距。时间过短，混凝土不密实；过长则会导致离析^[4]。振捣间距按振捣设备作用半径 1.5 倍左右确定，确保每处混凝土都被充分振捣，达到最佳密实状态，增强抵抗外界侵蚀能力，保障道桥结构长期稳定。

(三) 加强后期养护与防护措施

1. 定期检测与维护

定期检测与维护是保障市政道桥混凝土结构长期性能的关键环节。建立完善的检测制度，定期对道桥进行全面检查，包括外观检查、结构强度检测以及内部缺陷探测等。外观检查主要查看混凝土表面是否存在裂缝、剥落、露筋等现象，一旦发现早期病害，及时采取修补措施，防止病害进一步扩大。结构强度检测可通过回弹法、钻芯法等手段，准确评估混凝土的实际强度，判断其是否满足设计要求。内部缺陷探测则借助超声检测、雷达检测等技术，查明混凝土内部是否存在空洞、疏松等隐患。对于检测中发现的问题，制定针对性的维护方案。例如，对于微小裂缝，可采用表面封闭法进行处理，使用环氧树脂等材料填充裂缝，阻止水分与有害介质侵入；对于较大裂缝，需采用压力灌浆等方法进行修复。

2. 外部防护层的设置

在市政道桥混凝土结构表面设置外部防护层，能为混凝土提供一道有效的屏障，抵御外界环境侵蚀。防护层材料种类多样，常见的有涂料防护层与涂层防护层。涂料防护层如聚氨酯涂料，具有良好的耐候性、防水性与抗紫外线性能。在施工时，先对混凝土表面进行清洁、打磨处理，确保表面平整、无油污与灰尘，然后均匀涂刷聚氨酯涂料，形成连续、致密的防护膜，可有效阻止雨水、氯离子等对混凝土的侵蚀，延缓混凝土碳化进程。涂层防护层如环氧涂层钢筋，是在钢筋表面涂覆一层环氧树脂，在钢筋与混凝土之间形成隔离层。当混凝土结构中的钢筋被环氧涂层包裹后，能显著提高钢筋的耐腐蚀性能，防止钢筋锈蚀膨胀导致混凝土开裂。在设置外部防护层时，要严格按照施工工艺要求操作，确保防护层的厚度、附着力等指标符合标准，从而充分发挥防护层对混凝土结构的保护作用，提升道桥耐久性。

3. 采用抗冻、防水等特殊材料对道桥进行处理

在寒冷地区或潮湿环境下，采用抗冻、防水等特殊材料处理道桥，能有效提升混凝土的耐久性。抗冻材料方面，可在混凝土中添加引气剂，引入微小、封闭且均

匀分布的气泡。这些气泡在混凝土遭受冻融循环时，能缓解因水分结冰膨胀产生的压力，避免混凝土结构破坏。例如，在北方地区的市政道桥工程中，合理使用引气剂可使混凝土的抗冻等级大幅提高，延长道桥在严寒条件下的使用寿命。防水处理可采用喷涂防水剂或铺设防水卷材等方式。防水剂能在混凝土表面形成憎水性的防护膜，堵塞毛细孔，阻止水分渗透。防水卷材如 SBS 改性沥青防水卷材，具有良好的柔韧性与防水性能，在道桥的桥面、桥面板等部位铺设防水卷材，可有效防止雨水渗漏到混凝土结构内部，减少因水侵蚀引发的耐久性问题，确保道桥结构在潮湿环境下的长期稳定运行。

4. 设计合理的排水系统，避免水积存引发冻融损害

合理的排水系统对于市政道桥混凝土耐久性至关重要。在道桥设计阶段，精心规划排水路径，确保桥面与桥体表面的雨水能迅速、顺畅地排出。例如，在桥面设置一定坡度，一般为 1.5% - 2%，使雨水自然流向排水口。排水口的数量与分布要根据桥面面积与汇水情况合理确定，保证排水效率。同时，选用管径合适、排水能力强的排水管，防止排水管道堵塞导致积水。对于桥体结构，在桥台、桥墩等部位设置排水设施，排除可能积聚在结构内部的水分。在寒冷地区，排水系统的设计还要考虑防冻措施，如对排水管进行保温处理，防止管道内的水结冰膨胀损坏管道。通过完善的排水系统，避免道桥表面与结构内部积水，减少冻融循环对混凝土的损害，有效提升道桥混凝土结构在寒冷、潮湿环境下的耐久性。

结语

综上所述，市政道桥施工中混凝土耐久性受材料质量、施工工艺及养护等多因素制约。通过优化材料选择与配比、改进施工工艺与方法、加强后期养护与防护措施，可有效提升混凝土耐久性。展望未来，随着材料科学与施工技术的不断进步，有望研发出更优质材料、创新施工工艺，进一步提高市政道桥混凝土耐久性，为城市交通基础设施的长久稳定运行提供更坚实保障。

参考文献

- [1] 汪江龙. 市政道桥施工中钻孔灌注桩施工技术的应用[J]. 砖瓦, 2021, (02): 185-186.
- [2] 谭炜. 混凝土施工技术在市政道桥工程中的应用[J]. 中国高新科技, 2021, (22): 126-127.
- [3] 李勇, 郑伟, 陈清涛, 等. 市政道桥箱梁桥施工技术分析[J]. 运输经理世界, 2021, (35): 80-82.
- [4] 王立民. 混凝土骨料粒径对耐久性能的影响机制探讨[J]. 居舍, 2025, (05): 83-85.

作者简介：汪少平（1972.11-），男，汉族，安徽安庆人，工程师，本科学历，研究方向：市政工程。