

桥梁混凝土施工病害与防治办法

姜 飞

中铁三局集团有限公司 山西 太原 030032

摘 要：桥梁混凝土施工中，外观缺陷、内部结构病害及裂缝问题普遍存在，严重制约工程质量与结构安全。本文围绕混凝土浇筑成型阶段的病害类型展开系统梳理，从表面缺陷、形体偏差、色泽异常到内部空洞、层间夹渣、钢筋结合部位病害逐一分析，并深入剖析原材料、拌合运输、现场浇筑及养护环境四方面成因。在此基础上，提出涵盖原材料管控、拌合运输优化、施工工艺规范、养护环境适配及针对性修补的综合防治体系，为桥梁混凝土施工质量控制提供系统参考。

关键词：桥梁混凝土；施工病害；裂缝防治；质量控制；修补技术

引言：桥梁工程中混凝土施工质量直接关乎结构安全与使用寿命，然而受工艺水平、作业环境及操作规范等多重因素制约，施工阶段病害频发，外观缺陷与内部结构损伤并存。病害类型多样、成因复杂，单一手段难以有效应对。从浇筑成型到养护全过程，各工序衔接处均可能成为质量薄弱环节。系统梳理病害表现与成因，构建覆盖全流程的防治措施，对提升桥梁混凝土施工质量具有重要工程价值。

1 桥梁混凝土外观施工病害

1.1 表面缺陷类病害

桥梁混凝土现场浇筑成型过程受施工工艺、作业环境及操作手法多重影响，容易产生不同类型的表层破损问题，直接影响结构外观规整度与表层密实程度^[1]。麻面与蜂窝是混凝土施工阶段极为常见的表层病害，成型结构表层砂浆覆盖不够饱满，粗细骨料分布状态失衡，表层形成粗糙错落的外观形态，结构表层密实程度出现明显下降。气泡与气孔病害多由混凝土拌合及浇筑过程中气体未充分排出导致，多余气体堆积在结构表层位置，固化后形成数量不等、孔径不一的孔隙孔洞，密集分布的孔隙会打乱表层平整状态，弱化混凝土成型后的外观质感。起皮与起砂病害多发生于混凝土初凝之后及养护周期内，表层砂浆层粘结性能弱化，表层松散物料逐步脱离结构主体，细腻砂浆颗粒持续脱落，让构件表层整体成型状态遭到破坏，表层整体均匀质感持续弱化。

1.2 形体偏差类病害

桥梁混凝土构件形体成型质量依托模板体系与浇筑施工管控水平，施工过程中的细节把控疏漏会引发各类形体偏差问题。构件尺寸偏差与线型不顺会打乱桥梁结构预设的形体设计形态，构件整体线条走向失去规整性，各分段结构衔接过渡不够顺滑，整体外观规整度无法满

足施工质量标准。错台与漏浆病害主要和模板拼装施工质量相关，模板拼接贴合紧密程度不足，接缝位置出现细微缝隙，混凝土浇筑作业开展时流动浆液从缝隙位置溢出，结构固化成型后拼接位置会形成高低错位的形体缺陷，留存明显的施工成型痕迹。大面积混凝土浇筑作业中，布料厚度控制不均、收面作业不够细致，容易造成构件表面凹凸不平的问题，基面整体起伏无序，平整状态失衡，大幅影响桥梁混凝土构件的整体外观成型效果。

1.3 外观色泽类病害

桥梁混凝土构件成型后的表层色彩状态，能够直观反映现场施工与养护作业的规范程度，各类色泽异常问题属于典型的外观施工病害。混凝土表层出现的色差与泛白问题，多源于原材料拌合均匀性不足、养护用水分布不均或表层水化反应不均衡，构件表层会呈现深浅交错的色彩状态，局部区域呈现灰白暗沉的色泽变化，整体色彩均匀程度被打破，结构外观视觉观感大幅降低。混凝土构件成型之后的养护周期与露天存放阶段，外界雨水、养护用水会持续附着构件表层，水体缓慢挥发后会留存各类杂质印记，形成分布杂乱的污渍与水痕残留。这类印记难以通过自然方式消除，长期附着于构件表层，持续破坏结构表层的整洁状态，造成桥梁混凝土外观质量整体下降。

2 桥梁混凝土内部及结构施工病害

2.1 密实度缺陷病害

桥梁混凝土整体结构的成型质量依托内部密实状态，施工工序操作不规范会引发多种密实度缺陷病害，直接削弱结构整体承载与耐久性能^[2]。混凝土内部空洞与疏松多出现于浇筑作业深度较大或钢筋排布密集的施工区域，混凝土浆料无法充分填充构件内部空间，固化成型后内部留存空置区域，周边混凝土物料排布松散，整体结构

致密性大幅降低。层间粘结不密实与夹渣问题常见于分层浇筑施工场景,前期浇筑的混凝土表层留存杂物或浮浆,后续浇筑物料无法与底层结构形成有效融合,层间界面形成薄弱夹层。夹层区域物料粘结强度不足,内部整体连续性遭到破坏,结构整体受力传递状态受到干扰,埋下长期结构质量隐患。

2.2 裂缝类结构性病害

混凝土结构成型过程中受材料形变、环境温度与结构受力变化影响,会产生多种类型结构性裂缝,对桥梁整体稳定性造成不利影响。塑性收缩裂缝产生于混凝土初凝阶段,表层水分散失速度过快,内部浆料尚未完成固化形变,表层收缩形变与内部本体形变产生差异,进而形成不规则表层裂缝,裂缝宽度通常在 $0.1 \sim 0.5\text{mm}$ 之间,深度多在 $10 \sim 30\text{mm}$ 范围。温度裂缝源于混凝土成型阶段内外温度梯度变化,内部水化热积聚形成较高温度,大体积混凝土内部峰值温度可达 $60 \sim 75^\circ\text{C}$,表层散热速度更快,结构内部产生温度应力,应力超出物料抗拉极限便会引发开裂问题。沉降裂缝出现于结构基底受力不均或浇筑物料沉降不均的工况,结构成型过程中产生不均匀沉降形变,牵引混凝土本体形成贯穿性或深层裂缝,裂缝深度可达结构截面高度的 $1/3 \sim 1/2$ 。施工缝与变形缝开裂多由接缝位置处理不到位引发,接缝界面处理粗糙、后续浇筑衔接质量不佳,接缝位置整体性不足,后期受力形变过程中极易出现开裂问题。

2.3 钢筋结合部位病害

钢筋与混凝土的结合状态直接决定桥梁结构受力性能,结合部位施工管控不到位会引发各类衔接病害。钢筋保护层厚度失衡源于钢筋定位作业精度不足,绑扎固定稳定性不足或浇筑振捣过程中产生位移,保护层厚度出现偏大或偏小的问题。厚度不足会造成钢筋防护性能下降,厚度过大会削弱构件有效受力截面,影响结构承载能力。钢筋外露与贴合不紧密问题多因钢筋排布偏移、浆料包裹不充分导致,振捣作业不到位会让钢筋周边留存空隙,钢筋无法与混凝土浆料形成完整贴合包裹状态。钢筋直接裸露或贴合间隙过大,会弱化钢筋与混凝土的协同受力能力,提升钢筋锈蚀风险,逐步影响桥梁结构长期使用性能。

3 桥梁混凝土施工病害成因分析

3.1 原材料因素成因

混凝土原材料的选用与适配状态是决定结构施工质量的基础条件,物料选用管控疏漏会为各类施工病害埋下隐患^[3]。胶凝材料与骨料的选型需要匹配桥梁施工工况,物料性能与施工需求不匹配会降低混凝土成型稳定性,

干扰水化反应正常推进,造成结构密实度与成型质感不达标。外加剂的掺量控制与品类选择直接影响混凝土工作性能,掺配比例把控失衡、物料适配程度不足,会打乱混凝土原有性能指标,引发形变异常、成型缺陷等各类问题。拌合用水的洁净程度会直接干预混凝土水化反应效果,水体中掺杂杂质或有害物质,会削弱物料粘结性能,影响混凝土整体成型质量与结构稳定性。

3.2 拌合与运输因素成因

混凝土拌合及转运环节的作业管控,会直接影响物料均匀性与成型品质。拌合作业流程管控不到位会造成物料混合均匀性不足,各类原料无法充分融合,混凝土整体性能分布不均衡,成型结构易出现局部质量缺陷。混凝土场外运输过程中会持续受环境与时长影响,原生和易性逐步衰减,物料流动性能大幅下降,不利于现场浇筑填充作业。长途转运过程中物料静置颠簸,容易引发骨料与浆液分离的离析现象,表层多余水分持续析出形成泌水问题,破坏混凝土物料整体均匀状态,增加现场施工病害发生概率。

3.3 现场浇筑施工因素成因

现场浇筑作业的工序规范性,是把控混凝土结构成型质量的核心环节。浇筑分层分段方式不合理,会造成新旧物料衔接紊乱,结构内部连续性遭到破坏,产生各类内部缺陷与裂缝问题。振捣作业力度、范围、时长把控不规范,会出现振捣缺失或振捣过度的情况,引发内部疏松、表层缺陷等质量问题。模板安装精度不足、支护体系稳定性欠缺,会造成拼装缝隙偏大、形体支撑不稳,诱发漏浆、尺寸偏差等外观及结构病害。施工缝与后浇带的界面清理、衔接处理未达到施工标准,会形成结构薄弱区域,后期使用阶段易出现开裂与粘结失效问题。

3.4 养护与环境因素成因

混凝土成型后的养护作业与现场环境条件,深刻影响结构固化成型效果与长期稳定性。养护开展时间把控不准、养护手段选用不当,会打乱混凝土正常水化固化节奏,造成表层收缩异常、粘结性能弱化。养护作业时长无法满足固化需求,水化反应未充分完成,结构强度增长受限,耐久性能与整体稳定性大幅降低^[4]。施工现场的温度、湿度及风力变化,会改变混凝土表层水分散失速度,干扰固化形变节奏,诱发收缩形变、色泽异变及各类表层结构性病害。

4 桥梁混凝土施工病害综合防治措施

4.1 原材料质量管控防治措施

原材料质量管控是从源头规避混凝土施工病害的核心手段,完整的管控体系能够有效减少物料问题引发的

结构缺陷。施工开展前需落实完善的原材料筛选与进场管控方法,依据桥梁施工技术标准核验各类物料性能指标,杜绝不合格物料投入施工使用。落实系统化原材料分类存放与保护方法,根据物料性能差异划分专属存放区域,做好防潮、防尘及防变质防护工作,维持物料原始稳定性能。结合施工现场工况与结构受力需求落实配合比精准适配调整方法,结合现场环境微调物料掺配比例,保障混凝土固化强度与工作性能适配施工标准。

4.2 拌合运输环节防治措施

拌合与运输环节的规范化管控,能够稳定混凝土物料状态,规避转运过程产生的各类质量问题。搭建标准化拌合作业管控方式,规范拌合时长、投料顺序与拌合转速,保障各类物料充分融合,提升混凝土整体均匀程度。落实运输设备防护与全程管控方式,对运输罐体做好密闭防护处理,保持罐体匀速运转,规避物料静置分层问题。针对到场混凝土落实状态预处理方式,浇筑作业前检查物料和易性与均匀状态,对存在轻微泌水的物料进行二次拌合调整,保证入模物料性能稳定统一。

4.3 现场施工工艺防治措施

规范现场施工全流程工艺,可有效规避浇筑成型阶段的多数结构与外观病害。落实模板安装、清理与密封处理工艺,施工前彻底清除模板表面杂物与残留浆体,做好拼接位置密封处理,保证模板结构平整稳固。严格执行分层浇筑、连续浇筑规范工艺,把控单次浇筑厚度与浇筑节奏,保持作业连续性,弱化结构衔接产生的质量隐患。推行标准化振捣作业施工工艺,依照规范把控振捣范围与作业时长,消除结构内部孔隙与疏松区域。落实施工缝、后浇带规范化处理工艺,做好界面清理与凿毛处理,保障新旧混凝土衔接紧密。严格执行钢筋保护层精准控制工艺,通过定型垫块固定钢筋位置,规避钢筋偏移引发的结构病害。

4.4 养护及环境适配防治措施

科学的养护作业可以保障混凝土水化反应稳定推进,提升结构成型质量与耐久性能。搭建分时段标准化养护作业流程,根据混凝土初凝、终凝不同阶段特性启动对应养护作业,初凝后2~4小时内开始洒水养护,终凝后立即覆盖保湿,把控养护作业的整体节奏。制定不同环境条件下的养护适配方案,日均气温低于5℃时应采用保

温养护,高于35℃时应增加洒水频次至每2小时一次,结合场地温湿度、风力状态调整养护方式,规避环境因素引发的表层形变与开裂问题。落实成型混凝土表面防护管控方式,养护周期不少于14天,关键受力构件不少于28天,对成型构件表层进行遮挡防护,减少外界气流、杂质与水体对表层结构的侵蚀影响。

4.5 各类病害针对性修补防治措施

针对成型后出现的各类病害落实专项修补手段,能够修复结构缺陷、恢复构件使用性能。采用适配工艺开展表面缺陷病害修补处理,对表层粗糙、破损区域进行砂浆修补找平,恢复构件表层平整状态。通过专用封堵材料开展裂缝病害封堵、修复处理,阻断裂缝延展路径,恢复结构整体完整性。针对密实度缺陷、夹层病害处理,剔除内部松散物料与夹层杂质后重新填充适配浆料,强化结构内部整体性。对成型后出现的形体偏差病害开展规整处理,通过打磨、修补等方式修正构件形体误差,保障结构外观与形体参数符合施工标准。

结束语

桥梁混凝土施工病害的防治是一项贯穿原材料选用、拌合运输、现场浇筑及后期养护的系统工程。外观缺陷、内部损伤与裂缝病害虽表现形式各异,但根源多可追溯至工艺管控与环境适配层面。通过原材料源头把控、拌合运输过程稳定、现场浇筑工艺规范化及养护手段科学化,能够从根本上降低病害发生概率。针对已形成的缺陷,采用分类型专项修补手段可有效恢复结构性能。工程实践中应坚持全流程质量意识,将防治措施融入每一道施工工序,方能切实保障桥梁混凝土结构的长期稳定性与耐久性。

参考文献

- [1]熊永磊.混凝土桥梁养护常见病害分析及施工阶段预防措施[J].建材与装饰,2022,18(28):144-146.
- [2]陈墨冲.特殊环境下混凝土桥梁施工病害分析[J].模型世界,2023(22):153-155.
- [3]章凡荣,王海钰,傅攀峰.桥梁工程施工中混凝土裂缝产生原因及控制措施[J].中国水泥,2026(3):125-127.
- [4]张龙.高性能纤维增强混凝土预制T梁施工常见病害及防治措施[J].交通世界,2025(31):152-154,158.