

公路工程混凝土施工裂缝成因及防治措施

马 德

延安新悦交通工程有限公司 陕西 延安 716001

摘 要：公路工程中混凝土结构的裂缝问题直接影响其安全性和耐久性。本文详细探讨了混凝土施工裂缝的主要类型，包括结构性裂缝、非结构性裂缝、表面裂缝和贯穿裂缝，并深入分析了裂缝产生的材料因素、施工工艺因素及环境与结构因素。基于成因分析，提出了从材料选用与配比优化、施工工艺改进到结构与环境适应性设计等多方面的防治措施。通过科学合理的管控措施，可以有效减少裂缝产生，提升混凝土结构的整体性能。

关键词：混凝土裂缝；材料因素；施工工艺；环境影响；防治措施

引言：在公路工程建设过程中，混凝土作为主要建筑材料，其质量直接关系到工程的安全与使用寿命。由于材料选择不当、施工工艺不规范以及环境变化等因素，混凝土结构常常出现各种类型的裂缝。这些裂缝不仅影响结构外观，更可能降低其承载能力和耐久性，严重时甚至威胁到公路工程的整体安全性。本文旨在系统分析裂缝形成机理，并提出相应的解决方案，以期为提高公路工程质量提供参考。

1 混凝土施工裂缝类型

1.1 结构性裂缝

结构性裂缝的产生源于结构受力失衡。在公路工程中，混凝土结构需承受车辆荷载、自身重力及其他外部作用力。当这些荷载超出结构设计承载能力，或荷载分布不均匀时，混凝土内部应力状态发生改变。例如，桥梁结构在长期重载车辆碾压下，梁体受弯区域承受过大弯矩，混凝土受拉区应力超过其抗拉强度，便会产生裂缝。地基变形也是引发结构性裂缝的重要因素，地基不均匀沉降使上部混凝土结构受力不均，薄弱部位因应力集中出现裂缝。此类裂缝通常与结构受力方向相关，多沿受力主筋方向延伸，或呈斜向、网状分布。裂缝宽度随荷载变化而改变，持续受力下宽度逐渐增大^[1]。结构性裂缝直接影响混凝土结构的承载能力，降低结构稳定性，严重时可能导致结构局部破坏甚至整体垮塌，危及公路工程的安全性及使用寿命。

1.2 非结构性裂缝

非结构性裂缝由多种非荷载因素引发。温度变化是常见诱因，混凝土具有热胀冷缩特性，在施工与使用过程中，环境温度波动使混凝土内部产生温度应力。浇筑后的混凝土在水化过程中释放大量热量，内部温度升高，体积膨胀；后期散热时温度降低，体积收缩。内外温差导致混凝土表面受拉，当拉应力超过混凝土抗拉强

度，便形成裂缝。混凝土收缩同样会引发裂缝。塑性收缩发生在混凝土浇筑后初凝前，此时混凝土尚处于塑性状态，表面水分快速蒸发，产生收缩变形，而内部混凝土仍有一定塑性，对表面收缩产生约束，导致表面开裂。干缩裂缝则在混凝土硬化后，因水分不断散失，体积逐渐缩小，受到基层或相邻构件约束，产生拉应力，从而形成裂缝。施工工艺不当，如搅拌不均匀、振捣不密实、养护不及时等，也会降低混凝土密实度与强度，增加裂缝产生风险。非结构性裂缝虽一般不直接影响结构承载能力，但会降低混凝土抗渗性，加速有害物质侵入，影响结构耐久性。

1.3 表面裂缝

表面裂缝仅存在于混凝土表层，深度较浅，通常不超过混凝土构件厚度的1/3。养护措施不当是表面裂缝产生的主要原因之一，混凝土浇筑后若未及时覆盖保湿，表面水分迅速蒸发，收缩变形过大，而内部混凝土因水分蒸发慢，对表面收缩产生约束，致使表面开裂。温度骤变也易引发此类裂缝，在昼夜温差大的环境中，混凝土表面温度快速下降，体积收缩，内部温度变化相对滞后，形成内外温差应力，导致表面产生裂缝。表面裂缝形态多样，有龟裂状、直线状等，宽度较窄。尽管表面裂缝对结构强度影响较小，但会破坏混凝土表面完整性，降低抗风化能力，使水分、有害化学物质易侵入混凝土内部，加速钢筋锈蚀，影响结构长期性能。

1.4 贯穿裂缝

贯穿裂缝从混凝土表面延伸至内部，完全穿透构件截面，对结构危害极大。其产生原因复杂，温度应力、收缩应力过大且未得到有效释放，是引发贯穿裂缝的重要因素。大体积混凝土浇筑时，内部水化热积聚，若散热措施不当，内外温差过大，产生的温度应力可能导致混凝土贯穿开裂。混凝土收缩过程中，当约束作用较

强,收缩应力超过混凝土极限抗拉强度,也会形成贯穿裂缝。贯穿裂缝严重削弱混凝土结构的整体性与承载能力,大幅降低结构刚度,使结构变形增大^[2]。同时贯穿裂缝破坏混凝土的防水、防渗性能,地下水、雨水等易通过裂缝渗入,加速钢筋锈蚀,降低结构耐久性,缩短公路工程使用寿命,需及时采取有效措施进行处理。

2 混凝土施工裂缝主要成因分析

2.1 材料因素

混凝土材料的选择与对比对结构的整体性能具有决定性影响,不当的材料组合容易引发早期或后期裂缝。水泥作为混凝土中的核心胶凝材料,在水化过程中会释放大热量,若未采取有效措施控制水化热,内部温度将迅速上升,形成内外温差,从而产生温度应力。当这种应力超过混凝土的抗拉强度时,便会在结构内部或表面形成裂缝。水泥标号选择不合理或用量过高也会加剧混凝土的收缩性能变化。高标号水泥通常具有较高的活性,其水化速度较快,容易造成早期收缩过大;而水泥用量过多则会增加混凝土的干缩趋势,进一步提升开裂风险。骨料质量同样不可忽视,若含泥量超标,会影响水泥浆体与骨料之间的粘结力,干扰正常的水化过程,进而导致收缩裂缝的出现。骨料级配不合理会使孔隙率增大,降低混凝土的密实度和抗裂能力。外加剂的使用在现代混凝土中十分普遍,但若掺量控制不当,也可能带来负面影响。例如,减水剂掺量过多或过少都会影响混凝土的工作性能和凝结时间,影响其硬化过程中的体积稳定性。早强剂虽能加快混凝土的硬化速度,但如果使用过量,会加速早期收缩,使结构更易出现裂缝。

2.2 施工工艺因素

施工过程中操作不规范是引发混凝土裂缝的重要原因之一。混凝土配合比设计是否合理直接影响其力学性能和变形特性。水胶比偏大会导致混凝土中自由水分较多,在蒸发过程中形成大量毛细孔道,进而引发干缩裂缝。砂率偏离合理范围不仅会影响混凝土的流动性,还会改变其收缩特性和抗压强度,增加开裂的可能性。浇筑与振捣环节的操作质量直接关系到混凝土的均匀性和致密性。如果浇筑速度过快,混凝土尚未充分沉降即被覆盖,容易发生离析现象,局部粗骨料集中,削弱整体结构性能。振捣不足会导致混凝土内部存在空洞、蜂窝等缺陷,降低承载能力和抗裂性能;而振捣过度则可能引起粗骨料下沉、浆体上浮,形成泌水层,导致表层薄弱区开裂。养护条件对混凝土早期性能至关重要。若养护起始时间滞后,混凝土在初凝阶段就可能发生失水,造成塑性收缩裂缝。养护期间温湿度控制不到位,无法

为水泥水化提供适宜环境,也会延缓强度增长,使混凝土处于低强度、高应力状态,极易产生裂缝。

2.3 环境与结构因素

外部环境的变化对混凝土结构的影响不容忽视。温度波动是引发裂缝的关键环境因素之一。昼夜温差较大时,混凝土结构表面与内部会出现明显的温度梯度,导致热胀冷缩不一致,产生较大的温度应力。这种应力若超出混凝土的极限抗拉强度,就会在结构表面形成网状或规则分布的裂缝^[3]。季节性气温变化还会引起周期性的膨胀与收缩,长期作用下可能造成疲劳损伤,逐渐发展为结构性裂缝。地基的稳定性也直接影响混凝土结构的安全性。如果基础处理不充分,地基压实度不够,可能导致结构受力不均,诱发结构性裂缝。特别是在软土地基区域,由于土壤承载力较低,地基可能发生缓慢下沉,导致混凝土结构产生不均匀变形,破坏其整体连续性。结构设计方面,若配筋率偏低或钢筋布置不合理,将削弱结构抵抗温度应力和收缩应力的能力。钢筋作为抗拉构件,在控制裂缝扩展方面起着关键作用。如果布设间距过大或位置不当,难以有效分散应力,容易造成局部应力集中,引发开裂。伸缩缝和沉降缝设置不合理,不能及时释放因温度变化或地基沉降引起的变形应力,也会导致裂缝的发生。

3 混凝土施工裂缝防治措施

3.1 材料选用与配比优化

水泥品种优选是控制水化热的关键。低热硅酸盐水泥的矿物成分中,铝酸三钙与硅酸三钙含量较低,这两种成分是水泥水化热的主要来源。选用此类水泥,能显著降低水化热峰值,避免混凝土内部因热量积聚产生过大温度应力。合理控制水泥用量需兼顾强度与收缩性能。水泥用量过高会加剧混凝土收缩,而用量不足又难以满足强度要求。通过试验确定适配用量,在满足设计强度标准的前提下,平衡水泥水化产生的收缩变形,从材料源头减少裂缝诱因。骨料质量管控直接影响混凝土密实性。严格筛选骨料,将含泥量及杂质指标控制在规范范围内。泥土附着在骨料表面,会干扰水泥水化反应,削弱骨料与水泥石的粘结力,增加收缩裂缝风险。优化骨料级配设计,通过调整不同粒径骨料的比例,形成连续或间断级配,使骨料颗粒相互填充,减少空隙率。密实的骨料堆积结构能降低混凝土收缩变形,提升抗裂性能,增强混凝土整体稳定性。外加剂使用需契合施工环境特性。根据季节与环境条件选择适配类型,夏季高温施工时,缓凝型减水剂可延缓混凝土凝结时间,避免因水分快速蒸发产生干缩裂缝;冬季低温环境下,

早强防冻剂能保证混凝土正常硬化。精确计量外加剂掺量尤为重要,掺量偏差会对混凝土性能产生负面影响。通过试验确定最佳掺量,并在施工中严格控制计量过程,确保外加剂均匀分散,充分发挥改善工作性能、增强抗裂性的作用。

3.2 施工工艺改进

混凝土拌制与浇筑管理决定配比精准度与施工质量。采用高精度计量设备,对水泥、骨料、水及外加剂进行精确称量,保证配合比准确无误。配合比偏差会直接影响混凝土强度与收缩性能,精准计量可避免因配比不当引发的裂缝隐患。分层分段浇筑是控制施工质量的有效方式,合理划分浇筑区域,严格控制浇筑速度与层间间隔时间。过快的浇筑速度易导致混凝土离析,层间间隔过长则会形成冷缝,规范的浇筑流程能确保混凝土均匀密实,减少裂缝产生几率。振捣工艺优化保障混凝土密实度。制定标准化振捣流程,明确振捣时间与间距。振捣时间过短,混凝土内部气泡无法排出,形成孔洞、蜂窝等缺陷;振捣时间过长则会导致骨料下沉、水泥浆上浮,出现泌水现象。合适的振捣间距确保混凝土各部位均得到有效振捣,避免过振或漏振。操作时采用垂直插入、快插慢拔的方式,使混凝土在振捣过程中充分密实,提高整体均匀性与强度,增强抗裂能力^[4]。养护体系完善对混凝土早期强度发展至关重要。及时覆盖保湿可缩短养护起始时间,在混凝土浇筑完成后,立即采用塑料薄膜、土工布等材料覆盖,防止表面水分快速蒸发。水分过度蒸发会导致混凝土干缩,早期保湿养护能有效减少干缩裂缝。采用温控措施维持混凝土内部与环境温差稳定,对于大体积混凝土,可通过预埋冷却水管、覆盖保温材料等方式,控制内部温升与内外温差。稳定的温湿度环境有助于减少温度应力,为混凝土强度增长创造有利条件。

3.3 结构与环境适应性设计

温度应力控制需从多维度着手。增设温度钢筋可有效分散收缩与温度应力,在混凝土结构易产生裂缝的部位,如板面、梁侧等,合理布置温度钢筋。这些钢筋与受力钢筋协同工作,将因温度变化产生的拉应力分散,防止裂缝扩展。优化混凝土配合比,除选用低热水泥

外,还可掺加矿物掺合料如粉煤灰、矿渣粉等。这些材料不仅能减少水泥用量、降低水化热,还能改善混凝土工作性能与耐久性,从材料角度进一步控制温度应力。地基处理强化是保障结构稳定的基础。对软弱地基进行换填、夯实或加固处理,根据土质情况选择合适方法。换填法将软弱土层替换为强度较高的材料,夯实法通过机械压实提高地基密实度,加固处理如采用桩基、地基注浆等方式增强承载能力。设置沉降观测点实时监控地基变形情况,在施工及使用过程中定期测量,及时发现不均匀沉降趋势。根据监测数据采取相应措施,避免因地基沉降引发混凝土结构裂缝。结构构造优化增强结构抗裂性能。合理增加配筋率,在混凝土结构受拉区域适当提高钢筋含量,使钢筋与混凝土协同承担荷载,提升抵抗拉应力的能力。科学设计伸缩缝、沉降缝间距,根据结构类型、长度、地基条件等因素确定合理数值。伸缩缝用于释放温度变化引起的变形应力,沉降缝应对地基不均匀沉降。合理的缝间距与构造形式,能有效增强结构变形适应性,使结构在环境变化与荷载作用下释放应力,减少裂缝产生。

结束语

通过对混凝土施工裂缝的类型、成因进行系统分析,明确了材料选择、施工工艺及环境因素对裂缝形成的影响。针对不同类型的裂缝,提出了材料选用与配比优化、施工工艺改进及结构与环境适应性设计等综合防治措施。实施这些措施能够有效控制裂缝产生,提升混凝土结构的稳定性和耐久性。未来工作中,需进一步关注新材料的应用和技术手段的创新,持续优化施工管理流程,确保公路工程长期安全可靠运行。

参考文献

- [1]朱峰.大体积混凝土施工裂缝成因及防治措施探讨[J].居舍,2023(22):102-104.
- [2]张云飞.大体积混凝土施工中裂缝成因分析及防治措施[J].四川建材,2021,47(10):134-135.
- [3]葛强,刘洋.公路桥梁施工中混凝土裂缝成因与防治措施[J].运输经理世界,2021,(22):15-17.
- [4]郭宝侠.公路工程施工中混凝土裂缝的成因及处治措施[J].工程技术研究,2024,9(12):223-225.