

# 桥梁工程混凝土裂缝成因与防治措施

赵祖军

四川省公路规划勘察设计研究院有限公司

**摘要：**桥梁工程是国民经济发展的重要基础设施，其结构安全和使用寿命直接关系到社会运转的效率和公众出行的安全。近年来桥梁混凝土裂缝问题日益突出，对工程质量和使用寿命造成严重影响。本文以桥梁混凝土裂缝成因为切入点，全面剖析了设计、材料、施工和环境等多个层面的影响因素。在此基础上，提出了合理设计、严控材料、规范施工、定期养护等全方位防治对策，旨在最大程度预防裂缝产生，提高工程质量和使用年限。

**关键词：**桥梁工程；混凝土裂缝；防治

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.22.053

混凝土作为桥梁结构的主要材料，一旦出现裂缝，将极大影响到桥梁的承载能力和使用寿命，危及行车安全。近年来，国内多座大桥因裂缝问题被迫封闭维修，给社会经济发展带来了严重影响。探讨桥梁混凝土裂缝的成因，研究有效的预防和治理措施，对于保障桥梁工程质量、延长使用寿命、确保公众出行安全具有重要的现实意义。

## 一、桥梁工程中混凝土裂缝的危害

混凝土裂缝是影响桥梁结构使用性能和耐久性的关键因素之一，给桥梁安全运营带来极大隐患。裂缝不仅影响结构的承载能力，还会加速钢筋锈蚀、混凝土风化等退化过程，直接威胁结构安全，图1为某桥梁混凝土裂缝。



图1 某桥梁混凝土裂缝

裂缝会破坏混凝土的整体性和致密性，为潮湿环境和各种侵蚀性介质如氯离子、二氧化碳等提供了进入内部的通道。一旦钢筋锈蚀或混凝土碳化发生，钢筋与混

凝土的黏结就会逐渐被破坏，结构承载力将大幅下降。钢筋锈蚀还会导致其体积膨胀，进一步加剧裂缝扩展，形成恶性循环。严重时裂缝会贯穿整个截面，使钢筋完全暴露在外，失去混凝土的保护作用而加速锈蚀，最终可能导致结构失效甚至坍塌。裂缝也会加速混凝土结构本身的风化过程。通过裂缝，雨水、冰雪等自然环境因素不断冲刷侵蚀混凝土，使其不断风化剥落。动荷载作用下，裂缝会不断开合、延展，进一步加剧磨损开裂。尤其是塑性裂缝，会随着交通荷载的反复作用而逐步扩展、加深，使混凝土表面出现持续剥落，结构有效截面逐渐减小，承载能力大幅降低。桥梁上的裂缝还会影响其动力特性。随着裂缝扩展，结构刚度下降，从而改变了振动响应特征，进一步加速结构损坏。同时，裂缝也会影响桥面平整度，给车辆通行带来不利影响，积存雨水更可能引发危及行车安全的事故。

## 二、桥梁工程混凝土裂缝成因分析

### （一）设计因素导致的裂缝

设计因素是导致桥梁工程混凝土裂缝的重要原因之一。设计时如果结构布置不当可能导致应力集中，诱发裂缝。例如，在设计中忽视了温度、湿度等环境因素对桥梁的影响，未对结构进行适当的伸缩缝设置，就可能在温度变化或材料收缩时产生过大拉应力，从而引发裂缝。混凝土收缩变形是一个复杂的过程，包括塑性收缩、干燥收缩、自身收缩等多种形式。如果设计时对这些收缩量计算不准确，就可能低估了结构的实际变形量，从而引发开裂。以箱梁桥为例，若未充分考虑箱室腹板和底板的差异收缩，可能导致两者之间产生过大拉应力而开裂。构件尺寸设计不合理同样会诱发裂缝<sup>[1]</sup>。构件截面尺寸过小，就无法满足结构的受力需求，当应力超过混凝土抗拉强度时，裂缝就会出现。一些细小构件设计时没有考虑施工操作的影响，导致振捣困难混凝土密实度差，从而引发裂缝。预应力设计不当也可能引发裂缝。适当的预应力可以抵消外荷载和收缩引起的拉应力，但预应力过大或分布不均，反而会使构件产生新的裂缝。预应力梁在正常使用状态下，拉应力不宜超过混凝土抗拉强度的80%，否则容易发生开裂。

### （二）材料因素导致的裂缝

桥梁工程中混凝土裂缝的产生往往与材料因素存在密切关系，任何原材料的选择不当或存在质量缺陷，都可能导致混凝土在后续使用过程中出现裂缝等问题。从

水泥、粗细骨料、外加剂到混凝土配合比等，材料层面的种种因素都有可能引发裂缝。其中，水泥质量问题是常见的致裂因素之一。若水泥的化学成分不符合标准，如游离氧化钙含量过高或硫铝酸盐含量偏低，都会影响水泥的性能稳定性，增大混凝土的收缩开裂风险。骨料质量同样关系重大，如粗骨料中含有软质杂质，在混凝土内外力作用下极易引发骨料与浆体脱离形成裂缝；细骨料如粒形不良、级配不合理，也将增大混凝土收缩变形的可能性。除原材料外，配合比也很重要。如水灰比过大，混凝土强度和耐久性将大打折扣，且过量的水分会增加混凝土的塑性收缩和干燥收缩，加大裂缝风险；反之水灰比过小，混凝土拌合物将呈现黏聚状，极易形成蜂窝、孔隙和空穴，从而诱发裂缝。同时，粗细骨料的用量比例如果失衡，混凝土的密实度和均匀性也会受到影响，内部应力集中所致的裂缝便会随之而生。掺和料的选择运用也会影响裂缝的参数。适量的外加剂有助于改善混凝土的工作性、抗渗性和耐久性，但如添加剂种类、用量把控不当，反而会引发混凝土的体积变形、化学反应等，进而产生各种裂缝<sup>[2]</sup>。

### （三）施工因素导致的裂缝

在施工过程中，若操作不当、工艺控制不严格，极易导致混凝土产生裂缝，影响结构的耐久性和安全性。振捣作业不当可能引发混凝土裂缝。振捣是将混凝土浆体中的空气排出的关键工序，若振捣不足，混凝土内部会残留大量气泡，在凝结硬化时容易产生孔洞和裂缝；反之，过度振捣也会破坏混凝土内部结构，使其密实性下降，从而增加裂缝风险。拼装模板时如拼缝不密实，在浇筑混凝土时易发生漏浆现象，浆体流失严重会形成缩筑裂缝。同时，模板支撑受力不均或变形也可能导致结构产生裂缝。混凝土浇筑施工也是裂缝多发环节。浇筑作业中，如果混凝土自由落差过高，会加剧离析现象，影响浆体均匀性；或因振动器布置不当，局部振捣不足，都可能诱发裂缝。当分层浇筑且无适当的施工缝处理，层间咬合不良，也容易形成裂缝。此外，混凝土在初凝前期需要严格的温湿度控制，防止过快脱水或温差剧烈。如湿度过低，水分蒸发太快，混凝土体积收缩会产生塑性收缩裂缝；如温差过大，混凝土内外部温度梯度显著，也易引发温度裂缝。

### （四）环境因素导致的裂缝

桥梁工程混凝土终生持续受到周围环境的影响，温度变化会引起混凝土体积变化，进而产生温度裂缝。当混凝土内外温差较大时，由于不均匀收缩或膨胀，就会在混凝土内部产生拉应力，如果拉应力超过混凝土抗拉强度，就会开裂。当环境温度骤降时，混凝土外表面会首先收缩，内部仍保持原体积，从而在混凝土表面形

成拉应力，导致裂缝开裂。干湿循环也会引发混凝土裂缝。混凝土在干燥时会收缩，在湿润时会膨胀，这种体积变化在表层更为明显<sup>[3]</sup>。若混凝土抗拉强度较低，就会在干湿循环过程中产生裂缝。干湿循环不仅会直接导致裂缝扩展，还会加速混凝土中游离氯离子的内迁，促进钢筋锈蚀，从而进一步削弱混凝土结构。冻融循环也会严重损坏混凝土结构。在冰冻时，混凝土孔隙内的水会扩大体积，产生较大的压力，这种循环性的膨胀收缩作用会使混凝土开裂。混凝土冻融损伤程度与其抗冻性能密切相关，抗冻性能差的混凝土极易在冻融循环中开裂。冻融过程中，混凝土中的氢氧化钙也会发生如下反应： $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 = \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ，反应产生的 $\text{CaCO}_3$ 会增大混凝土体积，使裂缝扩展。化学腐蚀环境如酸雨、海洋环境中的氯离子等，也会加剧混凝土裂缝问题。酸雨中的 $\text{CO}_2$ 、 $\text{SO}_2$ 等气体与水发生反应形成 $\text{H}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{H}_2\text{SO}_4$ 等酸，侵蚀混凝土中的钙盐水化物，使其溶解并流失，进而降低混凝土强度，加大开裂风险。

## 三、桥梁工程混凝土裂缝防治措施

### （一）合理设计，做好预防措施

对于桥梁工程来说，合理设计是预防混凝土裂缝的关键环节。结构布置需要合理，避免应力集中区域。比如主梁的节点处，应采取合理的过渡措施，平滑断面变化，避免产生局部应力集中而开裂。变形计算要准确。桥梁在不同阶段均会产生一定变形，若忽视这些变形量，势必会影响构件间的相对位移，加剧裂缝扩展<sup>[4]</sup>。设计时需对各阶段的变形进行全面计算和控制，如混凝土收缩变形、蠕变变形、温度变形等，并将计算结果合理反映到构件尺寸和连接设计中。构件尺寸设计需谨慎把控。梁高、板厚等尺寸决定了构件的抗弯能力，若尺寸过小，极限状态下易因抗力不足而开裂。一般情况下，梁高宜控制在跨径的 $1/18 \sim 1/12$ 范围内，而板厚也需满足一定限值要求，如现浇板的厚度不应小于180mm。同时要充分考虑混凝土收缩变形对构件尺寸的影响，预留适当的余量。配筋设计需保证钢筋的配置密度和间距均满足抗裂要求。根据《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204-2015，箍筋间距不应超过最小边尺寸的 $1/3$ 。配筋密集可有效约束和分散混凝土收缩开裂，从根本上预防裂缝扩展。对于预应力构件，预应力设计需格外谨慎。正常使用时混凝土承受的拉应力不应超过抗拉强度的80%，预应力分布也需尽可能均匀以避免应力集中。

### （二）控制材料质量，规范原材料使用

全面落实材料质量控制措施，规范使用各种原材料，对于有效防治混凝土结构裂缝具有重要意义。从源头抓起，层层把关，才能确保结构的整体性和耐久性，

最终达到遏制裂缝、延长使用寿命的目标。在水泥选用时应严格按照规范要求,选用通过出厂检验合格的水泥,且其化学成分需满足《通用硅酸盐水泥》GB175-2023。如普通硅酸盐水泥的游离氧化钙不得超过1%,三氧化硫含量应低于3.5%,且需保证其矿物成分中的铝酸三钙含量在8%以下以规避碱骨料反应的风险。水泥标号的选择也需结合工程实际,如对于大体积混凝土工程,宜选用中热或低热水泥以减小温升导致的温度裂缝。对于粗细骨料,需重点检测其针片状颗粒含量、坚固性和级配。针片状颗粒不得超过15%,坚固性指标须符合要求,级配曲线应平顺,缺少中间粒径或存在断档现象均不可取。一般情况下,粗骨料的粒径应在5mm—40mm之间,细骨料粒径需控制在0.16mm—5mm范围内。此外,粗骨料的表观密度应大于2600kg/m<sup>3</sup>,泥块含量不超过0.25%,而细骨料的泥块含量更需控制在3%以内。外加剂的投加需纳入全局考量,对其种类、剂量做出明确规定。通常情况下,减水剂掺量不宜超过水泥质量的2%,而高效减水剂的适宜掺量为0.8%—1.5%。羧酸高性能减水剂能在低水灰比下获得良好的工作性能,其用量通常为0.2%—0.8%。气凝泡沫剂、早期强度剂等亦可适量投加使用。混凝土配合比设计时,需充分考虑拌合物各组分对终凝态性能的影响。对于普通混凝土,水灰比一般控制在0.5左右,而若对抗渗、抗冻要求较高,水灰比需降至0.4以下。骨料占比宜控制在65%—80%之间,外加剂用量则根据要求适当调节。在具体配比设计中,应优先满足工作性能指标,同时兼顾其他性能,确保混凝土的综合性能符合设计和使用需求。制备混凝土时,还需对原材料的存储、输送等流程作出规范化管理。水泥应远离湿气、严防潮解;骨料堆场要防止泥沙混入,并按粒径分开堆放;外加剂使用前需充分搅拌,确保溶液均匀<sup>[6]</sup>。

### (三) 优化施工工艺,严格执行规范

施工单位必须高度重视,从施工准备、操作规范、工艺控制等多个方面严格把关,将混凝土裂缝风险降到最低。施工准备阶段,要制定详细的施工方案和质量控制措施,充分论证每一个施工环节的可行性和潜在风险,做好应急预案。需对施工人员进行专业系统的培训,确保操作工符合现行国家标准。掌握各类防裂措施。在实际施工过程中,需要严格控制各环节,混凝土振捣时间通常控制在25—30秒,手持式振捣器振动频率应在8000—12000次/分,避免振捣不足或过振。可采用拖盘式振捣机,使振捣作用均匀覆盖全部混凝土面积。模板的拼装和支撑也需精心操作,拼缝处须严密不渗漏,支撑刚度要足够,变形不超过1/300张拉尺寸。

混凝土浇筑时,自由落差高度不得大于1.5米,防止离析。同时在浇筑面积大于20平方米时,须按梁、板等构件形式,合理布置振动器,且相邻两振动器有效振捣范围应重叠10—15厘米,避免局部振捣不足。对于分层浇筑,下层混凝土初凝前,须用1:2细石混凝土或者干拌浆在层间预留10—15厘米粗糙咬合面,增加层间结合力。施工过程中要注意混凝土温度的控制。浇筑阶段应控制混凝土温度在16~27摄氏度之间。对于大体积混凝土,须预先计算预测温升,根据实际情况采取冷却或加热措施,如铺设冷却管路、掺加冷却剂或热剂等,将温升控制在20摄氏度以内。混凝土初凝至终凝期间,内外温差控制在20摄氏度以内。除工艺控制外,全过程质量监督也不可或缺。应聘请第三方检测机构,对原材料质量、操作规范性和混凝土性能等进行抽检。如发现原材料不合格、操作违规或混凝土强度、耐久性等指标达不到设计要求,须及时改正。对于已发生的裂缝,要及时分析原因,采取修补或加固等必要措施,避免裂缝进一步扩展破坏结构。

### 结束语

综上所述,桥梁工程混凝土裂缝问题是一个涉及设计、材料、施工和环境等多方面因素的复杂问题。裂缝的产生不仅影响桥梁的使用性能,更会严重威胁结构安全,造成经济和社会损失。必须高度重视,从源头采取全方位防治措施。合理设计并做好预防,严格控制材料质量,优化施工工艺,加强日常养护,对于延长桥梁使用寿命,确保交通运输安全,具有重要意义。只有将裂缝防治工作落实到每个环节,才能真正避免和预防裂缝的发生,为桥梁工程的持续健康发展保驾护航。

### 参考文献

- [1] 袁伟财. 桥梁工程施工中大体积混凝土裂缝成因及处理措施研究[J]. 工程技术研究, 2022, 7(19): 111-113.
- [2] 王晓. 桥梁工程大体积混凝土裂缝问题分析及防治措施[J]. 居业, 2022, (01): 153-155.
- [3] 李征, 丁杰, 李贝贝. 公路桥梁施工混凝土裂缝防治探讨[J]. 居舍, 2021, (30): 49-50.
- [4] 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.
- [5] 杨锋. 桥梁施工混凝土裂缝成因及防治措施[J]. 交通世界, 2021, (Z1): 146-147.

作者简介: 赵祖军, 1992年, 男, 汉族, 四川达州, 硕士研究生, 四川省公路规划勘察设计研究院有限公司, 工程师, 研究方向: 桥梁勘察设计。