

# 公路桥梁混凝土的施工温度与裂缝防治策略

宋锦辉 黄文军

1. 江西龙臻路桥建筑有限公司 江西赣州 341300

2. 中龙茂林建设集团有限公司 江西赣州 341003

**【摘要】**本文探讨公路桥梁混凝土浇筑作业中遇到的主要问题及其解决方案，重点关注施工连续性、养护阶段温控、冷却管使用以及低温期间的保温养护等方面。通过合理的保温措施、控制浇筑厚度等来控制混凝土内部的约束应力和地基约束力，防止结构裂缝，保证公路桥梁的稳定性和安全性。

**【关键词】**公路桥梁；混凝土；施工温度；裂缝防治

## 引言：

混凝土在公路桥梁建设中扮演着至关重要的角色，其主要成分包括骨料、水泥、添加剂和水，这些成分赋予了混凝土出色的刚性和稳定性，特别适应于对耐久性要求极高的桥梁工程。然而，随着施工规模的不断扩大，以及混凝土结构对温度变化的敏感性，如果不能妥善管理施工温度，就会导致应力裂缝的出现，进而威胁到公路桥梁的稳定性和安全性。所以控制好施工温度，防止温度裂缝的产生，对于保证公路桥梁的整体性和安全性具有重大的意义。

## 1 公路桥梁混凝土裂缝的产生原因

### 1.1 混凝土本体出现自缩

在公路桥梁的建设过程中，混凝土构件的本体不可避免地会发生自缩现象，此现象的严重程度与混凝土原材料的选择密切相关。首先，水泥是造成混凝土自缩的主要因素之一。在水泥硬化过程中，会消耗并蒸发掉约20%的水分，随后的水分流失会继续进行，这种水分的减少会破坏混凝土自缩与体积稳定的平衡，如果超出临界值，就会导致严重的混凝土裂缝问题，对桥梁结构的稳定性构成威胁；其次，外加剂的使用也是影响混凝土自缩的重要因素。外加剂被用于改善混凝土的某些性能，如提高其密实度，但不同种类和用量的外加剂会对混凝土产生不同的反应，因此，必须精确控制外加剂的添加，防止因不当使用而加剧混凝土的自缩现象；最后，混凝土中的矿物材料也不容忽视。虽然不直接影响混凝土的性质，但过量或不适当的添加会改变水泥的自缩特性，从而对混凝土材料的性能产生间接但重要的影响，这也会诱导裂缝的产生，影响公路桥梁的耐久性和安全性<sup>[1]</sup>。

### 1.2 施工准备工作不充分

在施工前期，部分施工单位对配合比的精确控制不够重视，没有按照既定的科学标准来配置混凝土。例如水泥的添加量过多或计算水分需求时不准确，造成混凝土浆体内部的水泥与水分比例失调。这样的失衡状态会破坏混凝土的稳定性，引发分层或离析现象，进而在结构中形成微裂纹，为裂缝的产生创造了条件。另外，混凝土配制过程中，对拉应力的理解和控制也常被忽视。在混凝土固化和硬化过程中，由于外部约束或内部应力释放，会在内部产生较大的拉应力。如果这些拉应力超过了混凝土本身的抗拉强度，就导致混凝土开裂，裂缝的出现概率会显著增加。

### 1.3 混凝土的水化热反应

在混凝土施工过程中，水化热现象普遍存在。当水泥与水混合时，会发生化学反应，这个反应会释放出相当数量的热量。这些热量会逐渐渗透到混凝土结构内部，特别是在大规模的公路桥梁施工中，由于混凝土浇筑的面积大、体积大，内部积累的热量难以迅速消散。为了保证路面的强度，混凝土浇筑后通常需要维持一定的防护厚度，促进混凝土的聚合过程。这样一来，就形成了一个相对封闭的环境，阻碍了内部热量的有效排放。随着时间的推移，如果热量无法得到有效散发，混凝土内部和表面的温差会明显增大。这种温差产生的热应力如果超过了混凝土设计时的承受能力，就会对桥梁的结构完整性造成威胁。热应力会引发内部的微观裂纹，这些裂纹逐渐扩展并交织，最终导致公路桥梁表面出现可见的裂缝，对桥梁的安全性构成严重隐患<sup>[2]</sup>。

## 2 公路桥梁混凝土的施工温度与裂缝防治措施

## 2.1 优化混凝土配合比

在项目初步施工阶段，混凝土的科学布局成为保证工程品质的决定性因素。尤其在挑选混凝土原材料的过程中，应当首选那些水化热相对较低的水泥，例如火山灰质硅酸盐水泥和矿渣水泥。这些建材可以减少混凝土在硬化时的温度上升，避免产生裂痕，特别是在公路桥梁等大型基础建设项目中。因此，研究混凝土的配制方法具有重要意义。以粉煤灰混凝土为研究对象，其主要成分涵盖了SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaO以及MgO等元素。当温度升高时，这些成分将发生分解反应，释放出大量热量，导致混凝土内部升温速度加快，从而提高了混凝土的抗冻性。在高温的条件下，这些物质的活跃度相对较高，特别是SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和CaO的浓度应当维持在70%或更高，保证粉煤灰具有良好的活性。另外，还可通过添加少量的减水剂来改善粉煤灰混凝土的流动性，提高混凝土的强度。粉煤灰的颗粒大小需要控制在45 μm以下，而玻璃微珠的粒径应控制在10~30 μm范围内。为了满足高品质混凝土的需求，粉煤灰的颗粒结构差异会对其需水量产生影响。密实的玻璃体颗粒对水的需求量相对较小，而疏松的颗粒对水的需求量较大。因此在配置过程中，需要根据粉煤灰的颗粒结构进行相应的调整。通过对不同类型的外加剂及掺加方法进行对比分析发现，复合矿物外加剂能够提高粉煤灰的性能。确定原材料后，应开展配合比的实验，控制混凝土具有良好的和易性。在配制时加入一定量的引气剂，使混凝土具有良好的工作性能。并加入适当量的减水剂，对水泥、粉煤灰与减水剂之间的相容性进行实验。另外要对混凝土拌合物的工作性能、力学性能及耐久性能进行测试，使混凝土达到预期目标。在实验过程中，特别关注坍落度、泌水性、扩展度和流淌时间等关键参数。

## 2.2 做好施工过程的温度控制

### 2.2.1 设置测温管

在公路桥梁的建设过程中，混凝土施工质量控制至关重要，尤其是对温度的动态化监测。这是因为混凝土在硬化过程中，其内部和外部的温差是引发裂缝的主要因素。这些裂缝不仅影响桥梁的美观，更威胁到结构的安全性和耐久性。因此施工单位必须根据具体的工程规模和环境条件，制定出科学的温度监测策略。一方面，将混凝土结构划分为上、中、下三个层次。在每个层次中，应适量设置测温管，这些测温管如同桥梁的“神经末梢”，可以实时反馈混凝土内部的温度状况。同时也要对混凝土施工环境的温度进行监测，外部环境的温度变化也会影响混凝土的

冷却速度；另一方面，定时检测和记录数据是这一过程的关键环节。这要求施工人员严格按照施工规范，定期测量并记录混凝土的内外温差。一旦发现温差超过25℃的临界值，就需要立即采取措施，如调整冷却水的温度，或者使用保温材料，控制混凝土的冷却速率，防止温差过大导致的应力集中和裂缝产生<sup>[3]</sup>。

### 2.2.2 优选混凝土浇筑、振捣、摊铺工艺

在混凝土浇筑施工中，连续推移浇筑、分层浇筑选择尤为关键。这两种方法各有其优势，需要根据工程的实际情况，如结构复杂度、施工环境、时间限制等因素综合考虑。连续推移浇筑通常适用于大型、连续的结构，如桥梁或高层建筑，可以保证混凝土的连续性和整体性。而分层浇筑则适用于空间有限或需要分段施工的情况，可以有效控制混凝土的温度和应力变化，防止裂缝的产生。无论选择哪种浇筑方式，施工过程中必须保证浇筑的连续性，避免因中断导致混凝土表面出现冷缝或裂缝。如果采用泵送方式输送混凝土，摊铺厚度一般不得超过60cm，防止混凝土因自重过大而产生裂缝。若采取其他输送方式，摊铺厚度应控制在40cm以内，保证混凝土的均匀性和稳定性。此外，合理的施工流程规划是保证工程质量和效率的关键。这包括对混凝土的搅拌、输送、浇筑、振捣等各道工序的精细安排，以及对人力、设备、材料等资源的科学配置，实现各工序的无缝衔接和高效运行。在混凝土浇筑完成后，施工人员需要进行二次振捣，这是消除混凝土内部气泡、排出多余水分、提高混凝土密实度的重要步骤。通过二次振捣，可以有效提升混凝土构件的强度和耐久性，从而保证工程的长期安全使用<sup>[4]</sup>。

## 2.3 做好养护阶段的温控工作

### 2.3.1 科学选择养护手段

在公路桥梁混凝土浇筑作业中，施工单位必须依据环境条件，特别是温度因素，制定出科学的养护策略。在夏季高温环境下，需采取洒水养护程序，维持混凝土表面的湿度，防止因水分过快蒸发而引发的结构裂纹。涉及时间和水量控制，覆盖保湿材料，优化水分蒸发的速率<sup>[5]</sup>。而在冬季低温条件下，施工方则需实施保温养护措施，保证混凝土在适宜的温度范围内完成硬化过程。包括建立保温屏障、使用保温材料以及预防混凝土表面结冰的措施，需要使用防冻剂，并定期监测混凝土的温度变化和结构稳定性。防止因温度差异导致的内部应力，从而避免影响桥梁结构完整性的裂缝。

### 2.3.2 利用冷却管进行降温

当混凝土被浇筑到预定位置后，混凝土内部会迅速产生大量的热量。这种现象主要源于混凝土中水泥水化反应的放热过程，使得构件内部温度急剧升高，尤其是在夏季，外部环境温度的加持使得这一问题更为突出。为了应对这一挑战，在混凝土浇筑前需要预埋冷却管。当混凝土内部的热量积累到一定程度时，通过开启阀门，可以将冷却水引入构件内部，通过冷却管将热量带走。然后冷却后的水再通过出口排出，形成一个有效的冷却循环。在实际操作中，冷却管内部的水流速度和水温需精确控制，一般要求水温保持在10℃的范围内，水流速度控制在1500升/小时，保证冷却效果的稳定和均匀。不恰当的出水口位置会导致水流冲击混凝土表面，影响其成型质量。所以要根据构件的形状、尺寸以及浇筑过程中的温度变化情况，精确计算和设定出水口的位置，保证水流的平稳排出，同时保护混凝土表面的完整性。

在混凝土构件完成冷却过程并达到一定的强度后，冷却管的空隙需要被填充。主要通过注浆和真空压浆等技术来实现，保证冷却管留下的空间被充分填充，防止空隙影响混凝土的结构完整性和强度，从而保证建筑物的安全性。

### 2.3.3 低温期间的保温养护

在气温较低的冬季进行混凝土施工，必须采取特殊的保温保湿措施，防止混凝土构件出现裂缝，影响结构的稳定性和耐久性。首先，完成浇筑后的混凝土构件需要被保温材料覆盖，保持其表面的温度和湿度。这些保温材料如隔热毯、塑料膜、草帘等，可以形成一个微型的气候环境，阻止外部低温对混凝土的直接侵袭。隔热毯以其良好的保温性能，可以有效地阻止热量的流失，塑料膜则可以防止水分蒸发，保持混凝土的湿润状态。草帘则是一种经济且实用的选择，其良好的透气性可以防止混凝土表面因水分过快蒸发而产生的裂缝；其次，保温材料的覆盖厚度需要根据环境温度的实际情况进行调整。一般来说，温度越低，覆盖的保温材料就越厚。混凝土构件的边角部位由于散热更快，应进行重点保温，防止这些部位因温度骤降而产生应力集中，进而引发裂缝；最后，在必要情况下，可以采用蒸汽养护法。这是一种通过在混凝土构件周围产生蒸汽，保持其内部的温度和湿度在理想的范围内，从而更有效地抑制裂缝的产生。蒸汽养护法虽然在设备和操作上需要更大的投入，但其在防止混凝土裂缝方面的效果显著，对于大型或高精度的混凝土工程尤为适用。

### 2.4 加强混凝土约束力把控

在混凝土的硬化过程中，由于混凝土内部的化学反应会产生热量，导致内部温度升高，进而产生内部的约束应力。

这种约束应力会导致混凝土开裂，影响其结构性能。因此施工过程中应采取适当的保温措施，如使用保温材料，降低温度变化对混凝土内应力的影响，从而减少对桥梁结构的潜在威胁。对外部地基约束力的控制也不可忽视。在混凝土浇筑过程中，过厚的浇筑层会对地基产生过大的压力，引发地基的不均匀沉降。所以要合理控制混凝土的浇筑厚度，减轻对地基的负荷，同时保证混凝土内外部的温度均匀，防止因温差导致的应力集中和结构裂缝。移动层的优化设置也是控制约束力的重要手段。移动层是设置在混凝土结构与地基之间的缓冲层，其目的是吸收和分散地基的不均匀变形，防止这些变形直接传递到混凝土结构，引起结构的开裂或破坏。需要根据地基的地质条件和桥梁的结构特性，科学设计移动层的材料、厚度和位置，保证其与混凝土结构的协调性，有效防止公路桥梁出现裂缝，保证桥梁的稳定性和安全性。

### 3 结束语

综上所述，公路桥梁混凝土裂缝的产生与温度之间有着密不可分的关系。在预施工阶段，应精确优化混凝土配合比，严格掌控水泥、水、砂石等物料的用量。施工过程中，必须重视及时实施降温策略，维持混凝土组件内外温度差在要求范围内。养护阶段，应依据混凝土构造的规模采用适当的养护技术，并保证对混凝土内部温度进行严密监控。此外，施工单位需密切跟踪项目所在地的气候特征及温度动态，以科学的施工策略为指导，保证公路桥梁混凝土结构的稳定性和安全性，防范裂缝风险。

### 参考文献：

- [1]戴公连,王芬,葛浩,等.高速铁路桥梁混凝土高墩温度模式及极值研究[J].铁道科学与工程学报,2023,20(03):961-972.
- [2]江宏文.公路与桥梁施工中混凝土温度应力控制及裂缝优化措施[J].运输经理世界,2022,(05):79-81.
- [3]赵有富.公路与桥梁混凝土施工温度与裂缝防治分析[J].西部交通科技,2021,(10):24-26.
- [4]崔豪.公路与桥梁混凝土的施工温度及裂缝防治要点[J].交通世界,2021,(10):34-35.
- [5]周强.公路与桥梁混凝土施工的温度控制及其裂缝对策[J].散装水泥,2019,(03):56-57.

### 作者简介：

宋锦辉，性别：男，民族：汉，学历：大专，论文研究方向：公路与桥梁。

黄文军，性别：男，民族：汉，学历：大专，论文研究方向：公路与桥梁。