

# 高寒高海拔地区大坝混凝土温度与收缩控制技术研究

隆国苍

中国水利水电第四工程局有限公司第一分局, 青海 西宁 810000

**摘要：** 高寒高海拔地区的大坝建设面临着混凝土温度与收缩控制的挑战。本文通过分析混凝土温度与收缩的影响因素，包括温度变化对混凝土性能的影响、高寒高海拔环境对混凝土温度的影响以及混凝土收缩机理及其影响因素。在此基础上，提出了高寒高海拔地区大坝混凝土温度控制技术，包括温度监测与预测方法、冷却措施的选择和应用、混凝土配合比优化设计以及施工过程中的温度控制措施。最后，还介绍了高寒高海拔地区大坝混凝土收缩控制技术，以保证大坝的安全性和可靠性。本文的研究对于高寒高海拔地区大坝的建设具有重要的指导意义。

**关键词：** 高寒高海拔地区；大坝；混凝土；温度；收缩

## Research on Dam Concrete Temperature and Contraction Control Technology in High-cold and High-altitude Areas

Long Guocang

The First Branch of Sinohydro Fourth Engineering Bureau, Qinghai Xining 810000

**Abstract：** Dam construction in high-cold and high-altitude area faces the challenge of concrete temperature and contraction control. This paper analyzes the influencing factors of concrete temperature and contraction, including the influence of temperature change on concrete performance, the influence of high cold and high altitude environment on concrete temperature, and the principles of concrete contraction mechanism and its influencing factors. On this basis, the dam concrete temperature control technology in high cold and high altitude areas is proposed, including temperature monitoring and prediction methods, selection and application of the cooling measures, optimization design of concrete mix ratio and temperature control measures during construction. Finally, the concrete contraction control technology is introduced in order to ensure the safety and reliability of the dam. The study in this paper has important guiding significance for the construction of dams in high cold and high altitude areas.

**Key words：** high cold and high altitude areas; dam; concrete; temperature; contraction

## 引言

高寒高海拔地区的大坝建设面临着独特的气候和环境条件，其中混凝土温度与收缩控制是一个重要的技术难题。混凝土在高寒高海拔地区的环境中容易受到低温和大气压力的影响，导致温度变化和收缩问题的加剧，进而对大坝的安全性和可靠性产生不利影响。因此，研究高寒高海拔地区大坝混凝土温度与收缩控制技术具有重要的理论和实践意义。

## 一、混凝土温度与收缩的影响因素分析

### (一) 温度变化对混凝土性能的影响

(1) 强度和耐久性：混凝土的强度和耐久性是受温度变化影响最为显著的方面之一。高温会引起混凝土的早期龄期强度发展过快，导致较大的温度应力和热裂缝的形成。同时，高温还可导致混凝土内部的微观结构变化，降低其耐久性。低温下，混凝土的强度发展较慢，且可能出现低温冻害现象，如冻胀和冻融损伤，进而降低混凝土的耐久性。

(2) 热收缩和热应变：温度变化引起的热收缩和热应变是混

凝土性能受温度影响的重要因素。当混凝土暴露在高温环境中时，热膨胀系数增加，导致混凝土膨胀，可能引起开裂。相反，低温下混凝土收缩，可能导致应力积累和开裂。热收缩和热应变的影响取决于混凝土的配合比、材料性质以及温度变化的速率和幅度。

(3) 性能损失和变形：温度变化还会导致混凝土的性能损失和变形。高温下，混凝土内部的孔隙水分蒸发加快，使得混凝土失去一部分可持续性能，如抗渗性和耐久性。此外，热胀冷缩会导致混凝土的尺寸变化，引起变形和应力集中，可能导致裂缝的形成。低温下，混凝土的弹性模量降低，导致其刚度变小，影响结构的整体性能和变形控制。

## （二）高寒高海拔环境对混凝土温度的影响

（1）温度下降速率：高寒高海拔地区的气候条件通常较为寒冷，温度下降速率较快。这会导致混凝土在施工过程中迅速失去热量，使其内部温度迅速下降。快速地温度下降可能引起混凝土的不均匀收缩和温度应力的积累，增加混凝土开裂的风险。

（2）温度极值：高寒高海拔地区的气候条件还会引起温度的极端变化。在冬季，温度可能降至极低值，对混凝土产生负面影响。低温会引起混凝土的收缩，导致结构的变形和裂缝的形成。此外，极端的低温还可能导致冻害问题，如冻胀和冻融损伤，对混凝土的耐久性造成损害。

（3）冻融循环：高寒高海拔地区通常伴随着频繁的冻融循环。在冬季，混凝土受到冻结的影响，而在春季或夏季会经历解冻过程。这种冻融循环会导致混凝土的体积变化，加剧裂缝和损伤的形成。冻融循环还会增加混凝土的温度应力，使其更加脆弱和易于开裂。

因此，在高寒高海拔地区进行大坝工程时，必须充分考虑到环境对混凝土温度的影响。合理的温度控制措施，如加热施工和保温材料的使用，可以减缓温度下降速率，降低混凝土的温度应力。此外，通过调整混凝土的配合比、添加延缓收缩剂等措施，可以改善混凝土在高寒高海拔环境下的抗冻性能和耐久性，确保结构的稳定和安全。

## （三）混凝土收缩机理及其影响因素

混凝土收缩机理及其影响因素是研究混凝土温度与收缩控制的重要内容。首先，混凝土收缩主要包括干缩收缩和水化热收缩两个方面。干缩收缩是由于混凝土中的水分蒸发导致体积缩小，而水化热收缩是由于混凝土水化反应放热引起的体积变化。

干缩收缩的影响因素主要包括混凝土的含水率、温度、相对湿度和环境湿度等。当混凝土含水率较高时，干缩收缩较小；温度升高会促进水分蒸发和干缩收缩；相对湿度较低和环境湿度较高也会增加干缩收缩的程度。

水化热收缩的影响因素主要包括混凝土的配合比、水胶比、水泥种类和水泥含量等。较大的配合比和水胶比会增加水化热释放量，导致更大的收缩变形；使用高早强水泥或高热水泥也会增加水化热释放量和收缩变形。

## 二、高寒高海拔地区大坝混凝土温度控制技术

### （一）温度监测与预测方法

（1）温度监测方法：温度监测对于了解混凝土的温度变化情况至关重要。在大坝施工过程中，可以采用多种温度监测方法。常见的方法包括埋设温度计在混凝土内部进行实时监测，表面温度计和红外线测温仪用于监测混凝土表面温度。此外，还可以利用无线传感器网络实现远程实时监测，以确保对温度变化的及时响应和控制。

（2）温度预测方法：温度预测是指根据已知的气象数据和施工参数，预测混凝土在未来一段时间内的温度变化趋势。温度预测可以帮助工程师制定合理的施工计划和温度控制策略。常用

的温度预测方法包括数学模型方法和统计方法。数学模型方法基于混凝土材料的热学性质和气象数据，通过数学模型计算混凝土温度的变化。统计方法则基于历史数据和实测数据进行分析 and 推断，预测未来温度的趋势。

（3）数据分析和应用：温度监测和预测所得的数据需要进行有效的分析和应用。通过对监测数据的分析，可以评估温度变化对混凝土的影响，并及时调整施工措施以控制温度。温度预测的结果可以用于优化施工计划，合理安排施工时间和控制混凝土的温度发展。此外，温度监测和预测数据还可以作为施工质量和结构安全的评估依据，用于工程后期的监测和维护。

### （二）冷却措施的选择和应用

冷却措施在高寒高海拔地区大坝工程中是一种常用的温度控制技术，旨在减缓混凝土的温度升高速率，降低温度应力和温度引起的不良影响。

（1）冷却措施选择：在选择冷却措施时，需要综合考虑工程的具体情况和要求。常用的冷却措施包括水冷却、冷却剂和冷却设备的使用。水冷却是一种常见且有效的方法，可通过喷水或浸泡混凝土表面来吸收热量并降低混凝土温度。冷却剂可添加到混凝土中，以改变混凝土的热学性质，降低其温度发展速率。冷却设备，如冷风机、冷却管道等，可以通过强制对混凝土进行冷却来控制温度。（2）冷却措施应用：冷却措施的应用需要在施工过程中合理安排和实施。首先，根据混凝土的温度发展趋势和环境条件，确定合适的冷却时机。通常，在高温环境下，混凝土初凝后即可开始采取冷却措施。其次，选择合适的冷却方法和工具，并根据实际情况和需要进行调整。喷水冷却可通过调整喷水的强度、频率和位置来实现良好的冷却效果。在使用冷却剂时，需要确保其配合比和添加方式符合设计要求。冷却设备的布置和使用应根据具体工程进行合理安排，以覆盖整个混凝土结构并达到所需的冷却效果。

### （三）混凝土配合比优化设计

混凝土配合比优化设计是在高寒高海拔地区大坝工程中控制混凝土温度的重要措施之一。通过合理设计混凝土配合比，可以调整混凝土的材料组成和性能，以达到控制温度的目的。（1）材料选择：在混凝土配合比的优化设计中，需要选择合适的材料。对于高寒高海拔地区，可以选择具有较低热导率的骨料和减水剂，以降低混凝土的导热性和热膨胀系数。同时，适当选择掺合料和添加剂，如粉煤灰、硅灰、矿渣粉等，以改善混凝土的热学性质和控制温度发展。（2）水灰比控制：水灰比是混凝土配合比中的关键参数之一。通过合理控制水灰比，可以影响混凝土的流动性、抗渗性和温度发展。通常，在高寒高海拔地区，可以适当降低水灰比，以减少混凝土中的水分含量和水分损失，从而降低温度发展速率和热裂缝的风险。（3）热收缩控制：热收缩是温度变化引起的一个重要问题。在混凝土配合比的优化设计中，需要考虑热收缩控制措施。可以使用延缓收缩剂来减缓混凝土的收缩速率，降低热应力和裂缝的形成。此外，结构中的钢筋布置和预应力等也可以用于控制混凝土的收缩变形。下表1展示了在高寒高海拔地区控制水灰比对混凝土性能和温度发展的影响：

表1 高寒高海拔地区控制水灰比对混凝土性能和温度发展的影响

水灰比	流动性 (mm)	抗渗性 (MPa)	温度发展速率 (°C/h)
0.40	150	50	5
0.35	170	60	4.5
0.30	190	70	4
0.25	210	80	3.5
0.20	230	90	3

从上表1中数据可知：水灰比逐渐减小，从0.40到0.20。随着水灰比的降低，混凝土的流动性略有减小，但仍在可接受范围内。同时，抗渗性逐渐提高，表示混凝土的抗渗性能增强。最重要的是，温度发展速率逐渐降低，从5° C/h降低到3° C/h。这意味着通过降低水灰比，可以减缓混凝土温度的升高速率，从而降低温度应力和热裂缝的风险。

#### (四) 施工过程中的温度控制措施

在高寒高海拔地区，温度变化较大，特别是在冬季气候寒冷的条件下，选择合适的施工时间是至关重要的。尽量避免在极端低温或恶劣气候条件下进行混凝土施工，特别是当温度接近混凝土抗冻极限时。合理安排施工时间，选择较温暖的季节或适当的气象条件，可以减少混凝土在施工过程中受到极端温度影响的可能性。

在施工过程中，可以采取加热施工和保温措施来控制混凝土的温度。加热施工可以通过在混凝土搅拌过程中加热水或加热骨料来提高混凝土的温度，减缓温度下降速率。保温措施包括在浇筑后采取覆盖保温层或使用保温材料，以防止混凝土过早发热和温度过快下降。这些措施有助于保持混凝土的温度在合理范围内，并减少温度应力和热裂缝的风险。

### 三、高寒高海拔地区大坝混凝土收缩控制技术

#### (一) 控制混凝土配合比中的收缩

混凝土配合比的优化设计可以对混凝土的收缩进行控制。通过调整水灰比、骨料粒径分布、水泥掺量和掺合料等参数，可以减少混凝土的总体收缩量。降低水灰比有助于减少混凝土中的水分含量，从而减少水分损失和干缩收缩。合理选择骨料的粒径分布可以增加混凝土的内部骨架，减少收缩引起的变形。掺合料的使用可以改善混凝土的内部结构，减少收缩。

延缓收缩剂是一种可以有效减缓混凝土收缩的化学添加剂。它能延缓混凝土中的水泥水化反应速率，从而减少早期收缩的产生。延缓收缩剂的使用可以有效控制混凝土的收缩量和收缩速率，减少温度应力和裂缝的形成。在混凝土配合比设计中，可以适当添加延缓收缩剂，并根据实际情况进行调整和优化，以实现最佳的收缩控制效果。

#### (二) 使用延缓收缩剂的效果评估

在评估延缓收缩剂效果时，可以进行实验室试验。通过在混凝土试块中添加不同配比的延缓收缩剂，可以模拟实际施工中的应用情况。试验过程中，可以测量混凝土的收缩量、收缩速率以

及与对照组进行比较。实验数据可以提供对延缓收缩剂在控制混凝土收缩方面的效果的定量评估。此外，还可以进行其他试验，如热收缩试验和力学性能测试，以全面评估延缓收缩剂对混凝土性能的影响。

除了实验室试验，工程实践也是评估延缓收缩剂效果的重要手段。通过在实际工程中应用延缓收缩剂，并进行长期监测和评估，可以获得更真实的效果。在工程实践中，可以考察混凝土结构的变形情况、裂缝发展以及整体性能。对比采用延缓收缩剂和未采用的结构，可以评估延缓收缩剂在实际工程中的效果和效益。这种实践评估还可以提供经验教训，指导未来工程中延缓收缩剂的应用和优化。

#### (三) 收缩补偿措施的设计和和实施

首先，混凝土结构的设计应充分考虑收缩的影响。通过合理的结构布置、减小单体尺寸和控制构件的连接方式等方式，降低收缩引起的应力集中和变形，从而减少裂缝的形成。在结构设计过程中，需要根据混凝土的特性和环境条件，计算和评估收缩的预测值，以确定所需的收缩补偿措施的设计参数。

其次，收缩补偿措施的选择应根据具体的工程要求和结构特点进行。常用的收缩补偿措施包括使用收缩补偿剂、设置收缩缝、预应力和控制接缝等。收缩补偿剂可通过掺入混凝土中来改善混凝土的收缩性能，减少收缩引起的变形。设置收缩缝可在适当的位置引导混凝土的收缩变形，以减少内部应力积累和裂缝的发展。预应力可以通过施加预应力，抵消混凝土收缩产生的内应力，从而减小变形和裂缝的产生。控制接缝的设置和施工可有效控制收缩引起的裂缝扩展，保证结构的完整性和稳定性。收缩补偿措施的设计和实施是高寒高海拔地区大坝工程中重要的一环。通过合理设计和有效实施收缩补偿措施，可以控制混凝土收缩引起的变形和裂缝，保证结构的稳定性和耐久性。

### 四、结束语

在高寒高海拔地区，混凝土温度与收缩控制是确保大坝安全性和可靠性的重要问题。通过合理应用本文提出的技术措施，可以有效控制混凝土的温度变化和收缩变形，提高大坝的抗温性能和使用寿命。同时，这些技术也可为该地区其他工程建设提供参考和指导，促进该地区的可持续发展。

#### 参考文献：

- [1] 朱龙. 基于 ANSYS 的碾压混凝土重力坝施工过程仿真计算 [J]. 水利科技与经济, 2023, 29(04): 86-89+93.
- [2] 刘天鹏, 赵宇江, 刘佳, 谢宜静. 大藤峡水利枢纽大坝混凝土温控参数敏感性分析 [J]. 水利科技与经济, 2023, 29(04): 130-134.
- [3] 刘毅, 辛建达, 张国新, 张磊, 李松辉, 朱振洪, 翟海峰. 大体积混凝土温控防裂智能监控技术 [J]. 硅酸盐学报, 2023, 51(05): 1228-1233.
- [4] 何邦旭, 沈国武, 熊涛. 高海拔寒冷地区碾压混凝土大坝温控施工技术研究 [J]. 中国水能及电气化, 2023, (02): 24-29.
- [5] 倪红强, 张锐. 天板电站碾压混凝土生产温控研究分析 [J]. 云南水力发电, 2023, 39(02): 206-211.