

# 高原环境下预制箱梁混凝土工作性能与泵送机械适配性研究

李中生

葛洲坝集团试验检测有限公司 湖北 宜昌 443000

**摘要：**随着高原交通建设加速，预制箱梁混凝土施工面临极端环境挑战。本文聚焦高原环境下预制箱梁混凝土工作性能与泵送机械适配性展开研究。首先剖析高原低气压、大温差、强紫外线等环境因素对预制箱梁混凝土工作性能的影响机制；接着探讨优化混凝土工作性能的技术，涵盖配合比、外加剂及施工工艺方面。随后研究高原环境对泵送机械动力、液压、电气系统的影响及适配性。最后提出泵送机械适配性优化策略，包括设备选型配置、性能优化改造以及维护保养管理，旨在为高原地区预制箱梁施工提供理论与技术支持。

**关键词：**高原环境；预制箱梁混凝土；工作性能；泵送机械；适配性

**引言：**在高原地区进行预制箱梁施工时，独特的高原环境给工程建设带来诸多挑战。高原的低气压、大温差以及强紫外线等自然条件，对预制箱梁混凝土的工作性能产生显著影响，导致混凝土流动性、凝结时间等指标发生变化，进而影响箱梁质量。与此同时，这些环境因素也作用于泵送机械，影响其动力、液压及电气系统正常运行，降低施工效率与机械可靠性。因此，深入研究高原环境下预制箱梁混凝土工作性能与泵送机械适配性，探索有效的优化技术及策略，对于保障高原地区预制箱梁施工质量、提高施工效率、降低工程成本具有重要意义。

## 1 高原环境对预制箱梁混凝土工作性能的影响机制

### 1.1 低气压对混凝土性能的影响

在高原低气压环境下，混凝土内水分蒸发速度大幅加快。在混凝土搅拌、运输及浇筑过程中，水分过快散失导致混凝土坍落度迅速降低，流动性变差，难以均匀填充模板，使得混凝土密实度下降，内部易形成孔隙和蜂窝等缺陷，降低结构强度。同时，低气压改变了混凝土内部的气泡结构，气泡变大且分布不均，削弱了混凝土抗渗性，外界水分和侵蚀性介质更易侵入，影响耐久性。此外，低气压还可能使混凝土凝结时间提前，施工操作时间缩短，若不能及时完成振捣、抹面等工序，混凝土表面会出现起皮、麻面等质量问题，影响外观与结构性能。

### 1.2 大温差对混凝土性能的影响

高原昼夜温差大，对混凝土性能影响明显。白天高温时，混凝土水化反应剧烈，早期强度增长快，但水分快速蒸发易引发塑性收缩裂缝。夜晚低温时，水化反应

减缓甚至停滞，已形成的强度使混凝土内部应力无法有效释放，产生温度裂缝。大温差还会造成混凝土内部与表面温度梯度大，热胀冷缩程度不同，产生温度应力。长期作用下，温度应力会导致混凝土结构出现微裂缝并逐渐扩展，降低混凝土整体性和耐久性，影响预制箱梁的使用寿命和承载能力<sup>[1]</sup>。

### 1.3 强紫外线对混凝土性能的影响

高原强紫外线长期照射会使混凝土表面发生物理和化学变化。紫外线会破坏混凝土中水泥水化产物的化学结构，导致表面强度降低、粉化脱落，影响外观质量。同时，加速混凝土中有机添加剂的分解，改变混凝土的工作性能，如使减水剂效果减弱，降低流动性和保水性。此外，强紫外线会降低混凝土表面的抗碳化能力，使钢筋更易受到腐蚀。碳化会使混凝土碱性降低，破坏钢筋表面的钝化膜，加速锈蚀过程，锈蚀产物体积膨胀会进一步导致混凝土开裂，影响预制箱梁的结构安全和耐久性。

## 2 高原环境下预制箱梁混凝土工作性能优化技术

### 2.1 配合比优化设计

在高原环境下，优化预制箱梁混凝土配合比是提升其工作性能的关键举措。针对低气压导致水分快速蒸发的问题，需适当降低水胶比。减少用水量可降低水分散失对混凝土流动性的不利影响，同时增加胶凝材料用量，能增强混凝土的粘聚性和保水性，有效控制坍落度损失，确保混凝土在运输和浇筑过程中保持良好的工作状态。考虑到大温差的影响，应选用低热水泥。低热水泥水化热低，可减少混凝土内部因温度升高产生的应力，降低温度裂缝出现的风险。并且，要合理确定砂

率,使混凝土具有适宜的和易性,便于施工操作,保证混凝土能充分填充模板。此外,掺入适量的矿物掺合料十分必要。粉煤灰、矿渣粉等矿物掺合料不仅能改善混凝土内部结构,提高密实性和耐久性,还能在一定程度上降低混凝土成本。

### 2.2 外加剂选择与应用

在高原环境下,科学选择与合理应用外加剂对优化预制箱梁混凝土工作性能起着至关重要的作用。减水剂是常用且关键的外加剂之一。高原低气压加速水分蒸发,选用高效减水剂可显著减少用水量,在降低水胶比的同时,有效提高混凝土流动性,减少坍落度损失,使混凝土在运输和浇筑过程中保持良好的工作性,确保能充分填充模板。引气剂能引入大量均匀分布的微小气泡,改善混凝土的和易性,提高其抗冻性和抗渗性,这对于缓解高原大温差带来的冻融破坏以及增强混凝土耐久性意义重大。缓凝剂可延长混凝土凝结时间,为施工争取更多操作时间。在高原昼夜温差大的情况下,合理使用缓凝剂能避免因温度变化导致混凝土过快凝结而影响施工质量。选择外加剂时,要充分考虑其与水泥的适应性以及在高原特殊气候条件下的稳定性。

### 2.3 施工工艺改进

高原特殊环境对预制箱梁混凝土施工工艺提出了更高要求,改进施工工艺是保障混凝土工作性能与施工质量的关键。在搅拌环节,采用二次搅拌工艺。先进行干拌,使骨料、水泥等材料充分混合,再加入水和外加剂进行湿拌,这样能让各成分分散更均匀,提高混凝土质量,减少因搅拌不均导致的性能差异。运输过程中,选用密封性良好的运输车,并采取遮阳、保温措施。遮阳可降低阳光直射导致的温度升高,减少水分蒸发;保温能避免因高原昼夜温差大,使混凝土温度急剧变化,影响其工作性能。浇筑时,合理控制浇筑速度和高度。分层浇筑能保证混凝土均匀上升,避免出现离析现象;振捣要密实,采用合适的振捣设备和工艺,确保混凝土内部无气泡和孔洞。养护工作也不容忽视。根据高原气候特点,采用覆盖保湿膜、喷洒养护剂等方式,保持混凝土表面湿润,防止因强紫外线照射和干燥气候导致混凝土开裂,提高混凝土的强度和耐久性,确保预制箱梁质量达标。

## 3 高原环境对泵送机械的影响及适配性研究

### 3.1 低气压对动力系统的影响

高原低气压环境对泵送机械动力系统影响显著。低气压导致空气密度降低,进入发动机气缸的空气量大幅减少,使得燃油燃烧不充分,功率下降明显。例如,自

然吸气发动机在海拔每升高1000米时,功率、扭矩下降8%—13%,油耗上升6%—9%。同时,低气压还使水的沸点降低,冷却系统散热能力下降,发动机热负荷增加,进一步影响动力性能。此外,低气压对涡轮增压器与发动机的匹配运行线产生影响,气压机效率降低,增压器出现超速、低速喘振的趋势增加,扭矩特性变差。为应对这些问题,可采用涡轮增压技术,通过优化燃油系统、燃烧室等,提高进气量,促进燃油充分燃烧,恢复发动机损失功率,提升泵送机械在高原环境下的工作性能<sup>[2]</sup>。

### 3.2 大温差对液压系统的影响

高原地区昼夜温差极大,这一特殊气候条件对泵送机械的液压系统产生了多方面不利影响。在高温时段,液压油黏度降低,流动性增强,但内泄漏增加,导致系统压力下降,泵送效率降低,还可能使液压元件因润滑不足而加速磨损。同时,高温会加速液压油氧化变质,生成沉淀物和胶质,堵塞滤油器,影响液压系统正常工作。而在低温时段,液压油黏度急剧增大,流动性变差,液压泵吸油困难,易产生气蚀现象,降低液压泵的使用寿命。并且,低温会使液压系统中的密封件收缩,密封性能下降,出现漏油问题,不仅造成液压油浪费,还会污染环境。为应对大温差影响,可选用黏温性能好的液压油,根据不同季节和温度范围进行更换。同时,为液压系统配备加热和冷却装置,在低温时预热液压油,高温时冷却降温,保证液压系统在适宜温度下稳定运行。

### 3.3 强紫外线对电气系统的影响

高原地区强紫外线长期辐射,对泵送机械的电气系统产生了诸多不良影响。强紫外线会加速电气系统外部绝缘材料的老化。绝缘材料在紫外线持续照射下,分子结构会逐渐被破坏,导致绝缘性能下降,出现绝缘层开裂、变脆等现象,增加了电气短路和漏电的风险,严重威胁操作人员的安全以及设备的正常运行。对于电气系统中的电子元件,强紫外线会干扰其正常工作。电子元件对环境变化较为敏感,紫外线可能使元件内部的半导体材料性能发生改变,引发信号传输错误、控制失灵等问题,降低泵送机械的控制精度和可靠性。此外,强紫外线还会使电气系统中的显示屏、指示灯等部件的显示效果变差,出现颜色失真、亮度降低等情况,影响操作人员对设备运行状态的准确判断。为减少强紫外线的影响,可对电气系统采取遮阳防护措施,选用抗紫外线性能好的绝缘材料和电子元件,以保障电气系统的稳定运行。

## 4 高原环境对泵送机械适配性的优化策略

### 4.1 设备选型与配置

在高原环境下,合理选型与配置泵送机械是保障其适配性和高效运行的关键。(1)动力系统方面,优先选择涡轮增压发动机。相较于自然吸气发动机,涡轮增压发动机能在低气压条件下增加进气量,提高燃油燃烧效率,有效弥补因空气稀薄导致的功率损失,确保泵送机械有足够的动力输出。同时,根据高原不同海拔区域,精确匹配发动机功率,避免出现“大马拉小车”或动力不足的情况。(2)液压系统配置上,选用黏温性能优良的液压油,以适应大温差环境。并且,配备先进的液压冷却和加热装置,在高温时及时散热,防止液压油黏度过低引发内泄漏;低温时预热液压油,保证其流动性,使液压系统稳定工作。此外,采用高性能的液压泵和液压阀,提高液压系统的可靠性和响应速度。(3)电气系统选型时,挑选抗紫外线能力强的电气元件和绝缘材料,降低强紫外线对电气系统的损害。同时,配置智能化的电气控制系统,具备故障诊断和自动调整功能,能根据高原环境变化实时优化设备运行参数,提升泵送机械在高原环境下的整体适配性和工作性能。

#### 4.2 性能优化与改造

为提升泵送机械在高原环境的适配性,需从多方面开展性能优化与改造工作。(1)动力性能优化上,对发动机进行深度调校。通过优化进气系统,如增大进气管道直径、采用高效空气滤清器,提升进气效率;对燃油喷射系统进行精准控制,根据高原不同海拔调整喷油量和喷油时机,确保燃油充分燃烧,恢复并提升发动机功率。同时,安装发动机辅助预热装置,在低温环境下快速提升发动机温度,改善冷启动性能。(2)液压系统改造方面,升级液压泵和液压马达,采用变量泵和变量马达技术,根据泵送工况实时调整流量和压力,提高液压系统效率,降低能耗。加强液压管路的密封性,选用耐低温、抗老化的密封件,减少液压油泄漏。此外,增加液压系统的过滤精度,安装多级过滤装置,防止杂质进入系统,延长液压元件使用寿命。(3)电气系统优化时,对电气线路进行重新布局和加固,采用抗干扰能力强的线缆,减少强电磁环境对信号传输的干扰。为电气元件配备防护罩,防止强紫外线直射。同时,开发适用于高原环境的电气控制软件,实现设备运行的智能监测和自动调节,提升泵送机械在高原复杂环境下的稳定性和可靠性。

#### 4.3 维护保养与管理

高原特殊环境对泵送机械的维护保养与管理提出了更高要求,科学合理的维护策略是保障设备适配性和延长使用寿命的关键。(1)日常维护精细化。日常需加强设备清洁,高原风沙大,沙尘易进入设备内部,影响零部件运转。每天作业结束后,应仔细清理设备表面的灰尘和杂物,尤其要清理散热装置,防止堵塞影响散热效果。同时,定期检查设备的紧固件,高原昼夜温差大,零部件易因热胀冷缩出现松动,及时紧固可避免故障发生。(2)定期保养系统化。按照设备使用说明书和高原环境特点,制定详细的定期保养计划。定期更换适合高原环境的机油、液压油和滤清器等耗材,确保设备动力和液压系统正常运行。对发动机、液压泵等关键部件进行深度检查和保养,如清洗发动机积碳、检查液压泵的密封性能等。(3)管理措施科学化。建立完善的设备管理档案,记录设备的运行状况、维护保养情况和故障维修历史等信息,为设备维护和管理提供依据。加强操作人员的培训,使其熟悉高原环境下设备的操作规范和维护要点,提高设备使用的安全性和效率。此外,利用信息化技术对设备进行远程监控和管理,及时发现并解决潜在问题<sup>[3]</sup>。

#### 结束语

高原环境独特的低气压、大温差、强紫外线等条件,给预制箱梁混凝土工作性能与泵送机械适配性带来了诸多挑战。通过研究,我们在混凝土配合比优化、外加剂选择应用、施工工艺改进,以及泵送机械的设备选型配置、性能优化改造、维护保养管理等方面取得了一系列成果。这些成果有效提升了混凝土在高原环境下的工作性能,增强了泵送机械的适配性。然而,高原环境复杂多变,未来仍需持续深入研究,不断探索更优方案,以进一步保障高原地区预制箱梁建设质量,推动相关工程技术的持续进步。

#### 参考文献

- [1]陈维华,张见会.桥梁预制箱梁架设施工关键技术[J].山东交通科技,2018(3):127-129.
- [2]李顶顶.浅谈高原高寒地区箱梁冬期施工质量控制措施[J].中国公路,2022(15):100-101.
- [3]李兵.超高层建筑泵送混凝土施工技术研究[J].砖瓦,2020(09):162-163.