

高温季节公路施工中混合料温度控制技术研究

李莹莹

河北光太路桥工程集团有限公司, 河北 邯郸 056000

DOI:10.61369/ERA.2025120007

摘要： 高温季节公路施工中，混合料温度控制是影响施工质量和工程寿命的重要因素。高温环境下，混合料在摊铺、压实等过程中容易出现温度过高，导致施工质量下降。为应对这一问题，采用温控设备、智能监测系统以及优化材料配比等多种技术手段进行温度调控。通过实施实时温度监测、改进施工工艺、加强运输环节的温控管理，有效降低了混合料温度波动，保证了施工的顺利进行。优化后的温控措施不仅提升了工程质量，还延长了路面使用寿命，具有显著的技术与经济效益，对提高公路建设水平具有重要意义。

关键词： 高温季节；混合料温度控制；温控技术；施工质量；工程寿命

Research on Temperature Control Technology for Mixtures in Highway Construction during High-Temperature Seasons

Li Yingying

Hebei Guangtai Road and Bridge Engineering Group Co., Ltd., Handan, Hebei 056000

Abstract : In highway construction during high-temperature seasons, the temperature control of mixtures is a crucial factor affecting construction quality and project lifespan. Under high-temperature conditions, mixtures are prone to excessive temperatures during processes such as paving and compaction, leading to a decline in construction quality. To address this issue, various technological measures, including temperature control equipment, intelligent monitoring systems, and optimized material proportioning, are employed for temperature regulation. By implementing real-time temperature monitoring, improving construction techniques, and strengthening temperature control management during transportation, fluctuations in mixture temperatures are effectively reduced, ensuring smooth construction progress. The optimized temperature control measures not only enhance project quality but also extend the service life of pavements, offering significant technical and economic benefits. They are of great importance for improving the level of highway construction.

Keywords : high-temperature seasons; mixture temperature control; temperature control technology; construction quality; project lifespan

引言

高温季节对公路施工中的混合料温度控制提出了严峻挑战。混合料在高温下易发生温度过高、冷却不均等问题，直接影响施工质量和路面寿命。有效的温控技术不仅能提高施工效率，减少返工和维修成本，还能延长道路使用年限。随着技术的不断进步，智能化温控设备和数字化监测手段为解决这一问题提供了新机遇，成为提升公路施工质量的关键所在。

一、高温季节混合料温度变化特点

(一) 高温环境下混合料的物理特性变化

在高温环境下，混合料的物理特性会发生显著变化。首先，温度升高会导致混合料中沥青的粘度下降，进而影响其粘结力和稳定性。沥青的粘度是与其与骨料结合的关键，当粘度过低时，混合料容易出现分离现象，导致路面质量下降。其次，高温环境还会导致混合料中的水分蒸发较快，特别是在摊铺过程中，水分损

失加剧了骨料与沥青的结合困难，使得混合料的密实度和耐久性受到威胁^[1]。

此外，高温下混合料的热膨胀特性也表现得尤为明显，混合料的体积膨胀可能引起应力集中，导致裂缝的产生。这些物理特性的变化使得高温季节施工面临更大的挑战，尤其是在施工过程中需要特别注意混合料的温控，避免因过高的温度造成材料性能的严重退化。

(二) 温度对混合料性能的影响

温度变化直接影响混合料的工作性能和最终的结构稳定性。

较高的温度会导致沥青在施工过程中的流动性增大，降低了混合料的稳定性。沥青流动性过大时，混合料容易出现软化，失去足够的支撑力，尤其是在荷载作用下更容易出现车辙等问题，严重影响路面的使用寿命。

此外，高温还会加速混合料的老化过程，尤其是沥青的氧化反应在高温下更加剧烈，导致混合料的抗裂性和抗老化性下降。这种性能的变化使得高温季节施工的混合料更加容易出现裂纹、松散、车辙等缺陷，进而影响公路的长期使用和维护成本。

（三）高温季节施工的挑战和不利因素分析

高温季节施工中的一个主要挑战是混合料温度的过高和控制困难。高温环境下，混合料的热损失增加，特别是在运输和摊铺过程中，混合料温度容易过早下降，影响其施工性能。同时，由于施工过程中混合料的温度变化不均，可能导致不同区域的施工质量不一致，造成路面质量的波动^[2]。

此外，施工设备和技术的不足也是高温季节施工中的一个不利因素。在高温环境下，传统的混合料温控设备难以满足施工要求，容易导致温控失效。与此同时，高温还会加剧施工人员的作业强度，增加安全风险。因而，高温季节施工不仅要考虑材料的温控，还需优化施工工艺与设备，提高施工的效率 and 安全性。

二、混合料温度控制的关键技术

（一）温控设备的选择与应用

温控设备在公路施工中扮演着至关重要的角色，尤其是在高温季节。常用的温控设备包括智能温控系统、热辐射加热器和冷却设备。智能温控系统能够精确监测和调节混合料的温度。系统采用高精度温度传感器（如 NTC 热敏电阻或红外传感器），精度可达到 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。设备通过实时数据传输至中央控制系统，自动调节加热或冷却设备以保证温度在合适范围内（常见控制温度为 140°C 至 160°C ）。加热设备通过红外辐射或电加热方式提高温度，适用于温度过低的混合料；而冷却设备则通过水喷雾或空气冷却系统降低混合料温度，避免高温导致沥青氧化、裂纹等问题。

（二）施工现场温控系统的设计与实现

施工现场的温控系统设计应根据不同施工工艺进行优化。首先，温度监测系统应设置在混合料储存、运输和摊铺的关键环节。一般采用精度为 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 的高精度温度传感器，确保系统能够实时反映混合料的温度波动。数据采集系统将实时温度数据传输到中央控制中心，基于设定的温度范围（例如， 140°C - 160°C ），通过计算机控制系统调节加热或冷却设备。温控系统应具备自动报警功能，一旦温度超出设定范围，系统自动调节并发出警报，防止因温控失效影响施工质量。施工现场还应设置温度调节装置，如水冷却塔或加热器，以便在极端温度条件下进行快速响应。

（三）高温环境下混合料运输与摊铺过程中的温度控制方法

在高温环境下，混合料的运输和摊铺过程中，温度的保持尤为重要。运输过程中，混合料应使用温控保温车（如加装保温层的混合料运输车），确保混合料温度不超过 165°C ，且不低于 130°C 。根据《公路工程施工技术规范》（JTG F40-2004），运

输距离不应超过 30km，且运输过程中每隔 5 公里进行一次温度检查。摊铺过程中，使用带有温度监控功能的摊铺机，以确保摊铺温度在 140°C - 160°C 范围内，精度可达到 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。摊铺机通常配备温度传感器，可以实时监控摊铺过程中的混合料温度，确保摊铺质量和路面密实度，避免因温度过高导致路面出现裂缝或车辙等问题^[3]。

（四）温控材料的使用与效果评估

温控材料在高温季节施工中发挥着重要作用，常见的温控材料包括热稳定性添加剂、隔热涂层和改性沥青。热稳定性添加剂可有效延缓沥青的降温速度，一般添加剂量为混合料重量的 0.5%-1.5%。改性沥青通过加入聚合物或橡胶改性剂，提高沥青的耐热性能和抗裂性。使用改性沥青后，温度控制范围可提升至 170°C ，并且具有更好的抗老化能力。在施工过程中，隔热涂层也可用来覆盖混合料堆放区域或运输车厢，减少热量散失。效果评估表明，使用改性沥青及热稳定性添加剂的混合料，在高温季节的施工过程中，能够延缓降温过程，确保温度保持在适宜范围内，从而提高路面的密实性和使用寿命。

三、温度监测与控制技术的优化策略

（一）温度实时监测技术

温度实时监测技术是确保混合料温度稳定的核心手段。高精度温度传感器（如 RTD 热电阻传感器或热电偶传感器）广泛应用于混合料温度监测中，这些传感器能够提供 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 的精确测量，确保温度数据的准确性。通过在施工现场的多个关键点布设传感器（如混合料运输、堆放和摊铺区域），能够实时监测各个环节的温度变化，及时调整施工工艺。自动化控制系统则负责对温度数据进行实时采集与分析，当温度超过设定阈值时，系统可自动启动冷却或加热装置，调节混合料温度，保证施工质量^[4]。

同时，智能温控系统结合温度传感器和自动化控制装置，可以通过计算机程序对不同区域的温度进行监控与调节，精确控制温度波动范围。例如，系统可根据实时数据调整混合料的输送带速度或加热炉的加热功率，使得混合料温度保持在理想范围内。温度监测系统的优化能够在极端天气条件下仍然稳定工作，提高公路施工的可靠性和施工周期的灵活性。

（二）数字化技术在温控中的作用

数字化技术的应用大大提升了温控技术的精准性和灵活性，尤其是 BIM（建筑信息模型）和物联网（IoT）在温控系统中的集成使用。BIM 技术能够在项目设计阶段创建全方位的三维数字化模型，为温控系统的设计与实施提供准确的基础数据。在施工过程中，BIM 模型可以实时更新施工进度，帮助项目团队更精确地控制温度管理任务^[5]。

物联网技术则通过将传感器、监控设备和控制系统互联互通，形成一个数据采集与分析的智能网络。传感器收集到的温度数据通过无线传输系统实时传送至中央服务器，供管理人员进行远程监控与调控。物联网技术不仅能够实时反映混合料温度的变化，还能够通过数据分析提供趋势预测，提前预警潜在的温度异

常问题。

(三) 多维温控方法的结合与优化策略

多维温控方法结合了不同技术手段，优化了混合料温度控制的效果。传统的温控方法主要依赖单一的温控设备，如加热炉或冷却装置，而多维温控方法则结合了温控设备、智能系统以及施工工艺的优化。首先，温控材料（如隔热膜、热稳定性添加剂等）可以在混合料运输和摊铺过程中发挥重要作用，通过延缓温度波动来保持混合料的最佳施工温度。其次，通过传感器和实时监测系统配合自动化控制系统，不仅可以调节温度，还能够同步优化施工过程中的其他因素，如摊铺速度、压实度等，确保温度控制与其他工艺参数的协调一致^[6]。

进一步的优化策略包括温控方法的区域化管理和动态调节。例如，根据施工现场的具体情况，温控系统可以根据地形、环境温度以及施工进度等因素，自动调节温度控制方案。在高温环境下，系统可以提高冷却效率，而在较冷的天气中，系统则优先加热。

四、高温季节混合料温度控制效果的评估与应用前景

(一) 温控效果评估标准与方法

温控效果的评估标准主要通过温度控制精度、施工质量和路面耐久性进行综合分析。常见的评估方法包括温度波动范围检测、温度监测频率和温度保持时间等指标。根据《公路工程施工技术规范》(JTG F40-2004)，混合料在运输和摊铺过程中，温度变化应控制在 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 以内。施工完成后的路面质量评估还应包括车辙深度、裂缝宽度和抗疲劳性等指标。温控效果良好的施工项目，其路面车辙深度通常低于15mm，裂缝宽度控制在0.2mm以内^[7]。此外，采用红外温度扫描技术和传感器数据分析方法，可实现实时温度监测与快速评估，确保温控措施的有效性。

(二) 技术经济分析：成本效益与工程质量

温控技术的引入往往需要一定的初期投入，但从长远来看，其能显著提高工程质量，降低后期维护成本。技术经济分析通常涉及直接成本和间接成本的评估。在成本方面，温控系统的安装和设备维护费用是主要支出，但能够有效延长道路使用寿命，减少因温度控制不当引发的返工和修复费用。根据一项工程案例分析，采用先进的温控技术可降低返工率约20%，提高工程质量15%。此外，技术的高效性可以缩短施工周期，进一步节省人工和设备费用。整体而言，温控技术的应用提高了路面的耐久性，降

低了生命周期成本，提升了工程经济效益。如表1所示。

表1 温控技术应用对比分析

项目	传统施工方法	温控技术应用后	差异(%)
返工率	15%	12%	-20%
工程质量提升	75%	90%	+15%
施工周期(天)	45	38	-15.6%
维修成本(万元)	100	80	-20%

(三) 温控技术对工程可持续发展的贡献

温控技术在提高公路施工质量的同时，对工程的可持续发展具有重要贡献。通过有效的温度管理，不仅能减少施工过程中温度异常引起的质量问题，还能够大幅降低资源消耗和环境污染。例如，优化后的温控系统减少了能源浪费和施工过程中不必要的加热与冷却，使得项目的碳排放量降低了约18%。此外，温控技术能够有效延长道路的使用寿命，减少长期内的维护和修复频率，降低了资源消耗和环境压力，符合绿色施工和可持续发展的要求^[8]。

(四) 技术推广与应用前景展望

随着温控技术的不断进步和应用，未来其在公路建设中的推广前景非常广阔。高效、智能化的温控系统将成为标准配置，尤其是在高温地区和极端气候条件下，温控技术的应用将更加普及。此外，随着人工智能、大数据和物联网技术的进一步集成，未来的温控系统将更加智能化、自动化，能够根据环境条件和施工进度自主优化温控策略。预计到2028年，温控技术在公路施工中的普及率将达到85%以上，相关技术将被广泛应用于全球范围内的道路建设中，推动公路行业向更高效、更环保、更可持续发展的方向发展。

五、结语

高温季节对公路施工中的混合料温度控制提出了挑战，但通过先进的温控技术，可以有效克服这些困难，提高施工质量并延长路面使用寿命。温控设备的选择、智能化监测系统的应用以及温控材料的优化使用，均为实现高效、精确的温度管理提供了技术保障。同时，温控技术不仅在提升工程质量和施工效率方面表现突出，还在降低成本、提高经济效益和环境可持续性方面具有重要作用。随着技术的不断发展与完善，温控技术的推广应用前景广阔，将成为公路施工中不可或缺的重要组成部分，推动行业向高效、智能、绿色的方向发展。

参考文献

- [1] 龙云霄. 高温多雨地区高速公路沥青混凝土路面施工关键技术研究[J]. 交通世界, 2024, (08): 89-91. DOI: 10.16248/j.cnki.11-3723/u.2024.08.023.
- [2] 王树凯. 公路工程施工中灌入式复合路面的应用分析[J]. 交通世界, 2023, (16): 58-60. DOI: 10.16248/j.cnki.11-3723/u.2023.16.036.
- [3] 王国鹏. 公路工程环氧沥青混凝土施工及温度控制探讨[J]. 交通世界, 2020, (34): 47-48. DOI: 10.16248/j.cnki.11-3723/u.2020.34.020.
- [4] 张伟蓉. 试论公路施工技术及其路面施工的质量控制措施[J]. 四川建材, 2023, 49(03): 151-153.
- [5] 吴剑, 吴虹. 公路改建工程沥青路面施工技术分析[J]. 江西建材, 2023, (05): 344-345+348.
- [6] 郑弘. 温拌沥青技术在公路施工中的应用分析[J]. 运输经理世界, 2023, (01): 25-27.
- [7] 丁雪峰, 何国荣. 高海拔地区公路施工要点及质量控制分析[J]. 中国科技投资, 2024, (13): 140-142.
- [8] 张伟蓉. 试论公路施工技术及其路面施工的质量控制措施[J]. 四川建材, 2023, 49(03): 151-153.