重载交通下水泥混凝土路面碎石化技术

谢　沙
江西赣北公路勘察设计院　江西九江　332000

摘　要：重载交通量的不断攀升，让现有的水泥混凝土路面结构性能遭遇严峻的考验。裂缝、断板等各类病害频繁出现，而传统的维修技术很难在修复效果与经济成本方面做到兼顾。碎石化技术作为一种把旧路面转变成新型基层的创新性方式，能够切实解决旧路改造过程中资源浪费以及结构不相容的问题。该技术利用专门的设备对旧路面进行破碎处理，让其成为新路面基层的材料，达成资源的循环利用。本文主要围绕重载交通的实际情况，详细说明碎石化技术的应用价值，深入剖析其核心原理以及适用的条件，对施工过程中关键的控制要点以及质量保障手段展开探讨，为提高重载路段路面改造的质量、延长路面的使用寿命提供理论层面和实践方面的参考依据。

关键词：重载交通；水泥混凝土路面；碎石化技术；路面改造；结构性能

引言

伴随物流行业与重型运输产业的发展，公路交通呈现出明显的重载化特点。大量重载车辆的反复行驶，致使早期修建的水泥混凝土路面出现板块断裂、错台等结构损坏状况，道路的通行能力有所下降，也对行车安全造成影响。传统的改造方式秉持“大破大立”的模式，施工周期长，成本较高，并且还会产生大量的建筑垃圾，不符合绿色发展的理念要求。碎石化技术将旧路面破碎成具备特定级配的颗粒，直接当作新路面的基层，实现资源的循环利用。此技术应用在重载路段，能够吸收旧路剩余的强度，增强新路面的承载能力，从而成为道路养护改造领域的热门。

1. 重载路面病害与碎石化技术适配性

1.1 重载交通的路面损伤机制

重载交通对水泥混凝土路面所造成的损伤，源自于荷载的叠加效果与重复作用。当车辆轴载超出设计标准之时，就会让路面结构产生远远超出正常范围的应力与应变。水泥混凝土材料本身具有脆性特点，在反复的弯拉应力作用之下，其内部的微小裂缝会不断拓展延伸。一旦应力超过材料的极限强度，裂缝就会贯穿整个板块，进而形成断板现象。与此同时，重载车辆的制动和转向动作会产生水平方向的作用力，这会加剧路面表层的磨损程度以及板块之间的错动位移。这种损伤并非一下子就发生，而是通过荷载的累积作用逐渐表现出来。在初始阶段，表现为路面表面出现细小的裂缝，随着荷载作用次数的持续增多，裂缝会不断伸展、变宽，最终使得路面结构的功能完全丧失，对道路的正常使用产生不良影响。

1.2 重载路段的典型病害特征

重载路段水泥混凝土路面所呈现的典型病害，具备较为明显的规律性与严重性特征。其中，板块断裂这一病害十分常见，多以横向裂缝、纵向裂缝以及交叉裂缝等形式表现出来，于车辆频繁通行的车道轮迹带区域分布得尤为密集。错台病害主要出现在板块的接缝之处，由于基层出现不均匀沉降以及车辆荷载产生冲击作用，使得相邻板块形成高度差，进而影响到行车的平稳性。唧泥现象与水的作用紧密相关，当雨水渗透进入基层后，在重载车辆的振动影响下会形成泥浆，并且通过接缝或者裂缝被挤压至路面表层。

1.3 碎石化技术的核心适配优势

碎石化技术在应对重载路面病害的工作中，彰显出较为显著的优势。与传统的改造技术相比较，它最为突出的优势在于能够达成旧路资源的循环再利用，把破损的路面转变为新路面的基层材料，以此减少建筑垃圾的产生以及资源的消耗。该技术可以充分留存旧路面的残余强度，破碎之后的颗粒材料能够形成嵌锁结构，其承载能力要优于普通的基层材料。与此同时，碎石化处理能够彻底消除旧路面存在的反射裂缝隐患，避免新铺设的面层受到旧路裂缝的不良影响。

2. 碎石化技术的原理与体系

2.1 破碎机理与能量传递

碎石化技术的破碎机理是以冲击荷载与材料力学特性

之间的相互作用为依据的。专门用于破碎的设备通过锤头以高速状态冲击水泥混凝土路面，所产生的能量会以应力波的形式在材料的内部进行传递。当应力波碰到材料内部存在的裂缝、孔隙等缺陷时，便会发生反射以及叠加现象，使得局部应力超出材料的强度极限，最终造成路面破碎。在能量传递的过程当中，表层与基层的破碎程度呈现出差异，表层需要达到较为细小的颗粒级配，以便有利于与面层相结合，而基层则保留一定的颗粒尺寸来保证承载能力。

2.2 颗粒级配的控制标准

碎石化颗粒级配的控制对于保障技术效果而言是至关重要的，必须要符合相关的规范以及工程方面的要求。一般而言，破碎之后的颗粒最大粒径最好不要超过 37.5mm，其中粒径小于 4.75mm 的颗粒含量应当控制在特定的范围之内，从而确保颗粒之间的嵌锁作用与透水性能够达到平衡状态。不同区域对于颗粒级配的要求存在不同之处，表层的颗粒需要更细小一些，以此增强与新面层之间的粘结力，基层颗粒则可以稍粗大一些，以提升承载性能。控制标准的制定需要全面综合考虑旧路面混凝土的强度、厚度以及当地的气候条件等因素，通过开展现场试验来确定最为适宜的级配范围，保证破碎之后的基层具备良好的稳定性与承载能力，能够满足重载交通的实际需求。

2.3 重载工况下的特殊参数设定

在重载工况条件之下，碎石化技术鉴于更高承载需求，要采用具有特殊性的技术参数。就破碎深度而言，需要依据旧路面的厚度以及基层实际状况适当地予以增加，一般应把控在 15 至 25 厘米范围之内，目的在于保证经破碎后的基层能够对重载车辆所产生的应力进行有效分散。破碎频率应当结合设备功率与路面强度来加以调整，通常会选用中高频破碎形式，以此防止因低频破碎引发的颗粒级配不均衡情况。

3. 施工前期准备与方案设计

3.1 旧路面状况的检测评估工作

针对旧路面结构状况开展全面的检测与评估，这是碎石化施工的一项基础性工作。检测的内容涵盖路面混凝土强度、板块破损程度、基层厚度以及承载能力、裂缝分布状况以及排水系统情况等诸多方面。常见的检测方法包含运用回弹法检测混凝土强度、借助地质雷达探测基层厚度、使用贝克曼梁测定路面弯沉等。在检测过程当中，要按照规范所提出的要求合理布设检测点，确保检测数据具备代表性以及准确性。通过对检测数据进行整理与分析，评估旧路面剩余价值以及破损等级，明确碎石化施工的重点区域以及技术方面的难点，为后续制定施工方案提供可靠依据，避免由于检测不到位造成施工质量方面的问题。

3.2 碎石化施工方案的制定

以路况评估为基础来制定碎石化施工方案，该方案需要突出针对性和可行性。方案要明确施工范围、施工顺序以及施工进度计划，根据路面破损等级划分不同施工区域，对于破损较为严重的区域要采取强化破碎举措。与此同时，要确定破碎设备的类型与数量，制定设备调度方案。在施工方案当中，还应当包含质量控制标准以及安全保障措施，明确颗粒级配、破碎深度等关键指标的控制要求。

3.3 施工设备的选型及调试相关事项

施工设备的选型以及参数调试工作，对碎石化施工的质量起着直接性的影响。要依据旧路面混凝土的强度大小以及施工规模情况，选择功率与之相匹配的破碎设备，像多锤头破碎机、共振破碎机等都是较为常见的。多锤头破碎机适用于强度中等偏高的混凝土路面，而共振破碎机在处理低强度路面的破碎时，能达到更为理想的效果。在完成设备选型后，要开展全面的调试工作，对锤头重量、冲击频率以及行进速度等各项参数予以调整。调试过程通过在现场进行试破碎操作，对破碎后的颗粒级配以及破碎深度进行检测，依据检测得到的结果优化参数设置，确保设备处于最佳运行状态，为接下来的规模化施工在设备方面做好保障。

4. 施工过程中的关键控制技术

4.1 破碎深度与频率的调控

破碎深度与破碎频率的动态调控，是整个施工过程里的核心控制部分。在施工期间，要安排专门人员运用测深仪实时对破碎深度进行检测，并依照旧路面的厚度以及基层的实际状况进行动态调整。当碰到基层强度较低的区域时，应适当把破碎深度减小，避免对路基造成破坏；在混凝土板块较厚的区域，要增加破碎深度，以此保证破碎彻底。破碎频率需要结合设备的功率以及路面的强度来加以调控，针对高强度的混凝土路面，提高破碎频率，从而实现充分破碎；针对低强度路面，则降低破碎频率，防止出现过度破碎的情况。通过这样的动态调控，保证各个区域的破碎效果都能够符合设计所规定的要求。

4.2 颗粒分布均匀性的控制

破碎之后颗粒分布的均匀程度，对基层的承载性能有着直接影响。在施工过程中，需要通过对破碎设备的行进速度以及重叠宽度进行控制，来保障颗粒分布的均匀性。设备的行进速度一般要控制在 3 – 5m/min，相邻破碎幅宽的重叠量不能小于 10cm。与此同时，安排专人对破碎之后的路面展开巡查，一旦发现颗粒级配不均匀的区域，要及时进行补破碎处理。对于局部出现的大颗粒，采用小型破碎设备进行二次破碎；对于颗粒过细的区域，适当补充粗颗粒材料并且进行碾压。通过这些控制手段，确保破碎后的颗粒分布均匀，形成稳定的嵌锁结构。

4.3 施工安全与交通保障

施工过程中的行车干扰以及安全保障工作，是重载路段施工的重要方面。要在施工区域的两端设置醒目的警示标志以及限速标志，安排专门的交通协管员来引导车辆通行。采取半幅施工、半幅通行的方式，减少施工对交通产生的影响，在施工区域与通行区域设置刚性隔离设施，防止车辆闯入施工区域。施工人员必须佩戴安全防护用品，设备操作人员需要经过专业培训后才能上岗。此外，还要建立应急预案，针对施工过程中可能出现的交通拥堵、设备故障等各种情况制定应对办法，确保施工过程既安全又有序，兼顾施工进度以及交通通行的安全。

5. 基层后续处理与质量验收

5.1 碾压工艺及压实度把控要点

碎石化基层的碾压工艺和压实度控制，对于提高基层的稳定性起到至关重要的作用。在碾压方面，要遵照“先轻后重、先慢后快、先两侧再中间”的准则，使用振动压路机来开展碾压操作。一开始用轻型压路机实行初压，把颗粒间的间隙消除掉；接着用重型压路机做复压，让基层的密实程度得以增强；最后再用轻型压路机进行终压，使得基层表面变得平整。压实度的控制得通过现场测试来达成，运用灌砂法或者环刀法来检测压实度，保证压实度能够达到 96% 以上。在碾压期间，要依据天气状况来调整碾压的时机，不要在下雨天或者基层含水率太高的时候碾压，以免出现翻浆的问题。

5.2 平整度与承载力的检测要点

碎石化基层顶面平整度以及承载力的检测，是质量管控的关键部分。在平整度检测上，采用 3m 直尺或连续式平整度仪，每 200m 检测 2 处，每个地方检测 3 点，使得平整度的偏差能够控制在允许的范围之内。承载力检测使用贝克曼梁法来测定路面的弯沉值，依据弯沉值对基层的承载能力进行评估，弯沉值要符合设计要求。在检测过程中，要是发现有平整度超出标准或者承载力不够的区域，需要马上采取处理办法。对于平整度超标的区域，进行局部的再次碾压或者铣刨处理；对于承载力不足的区域，则需要补充破碎或者增加补强层，从而确保基层质量符合标准。

5.3 重载工况的验收标准细则

处于重载工况下，碎石化基层的质量验收标准要比普通路段高一些，这样才能满足重载交通的承载需求。验收内容涵盖颗粒级配、压实度、平整度、承载力等关键指标。就颗粒级配而言，粒径大于 26.5mm 的颗粒含量最好不要超过 15%，粒径小于 4.75mm 的颗粒含量应控制在 20% – 30%。压实度必须达到 96% 以上，平整度偏差不能超过 5mm/3m，弯沉值要小于设计允许的数值。在验收过程中，必须严格按照规范要求进行抽样检测，同时检测频率要适当提高，以此保证验收结果可靠。

6. 结论

在重载交通的情形下，水泥混凝土路面的病害治理是公路养护范畴内的重要课题，碎石化技术因其独特的优势，为解决这个问题给出了有效的办法。本文研究显示，碎石化技术能够充分运用旧路面的资源，留存残余强度，有效地消除反射裂缝的隐患，能够匹配重载路段改造的需求。其关键之处在于，通过精确调控破碎的原理与颗粒级配，形成稳固的嵌锁结构，提高基层的承载能力。

参考文献：

[1] 卢建松 . 重载交通水泥混凝土路面滑模摊铺接缝传荷能力优化 [J]. 交通世界 ,2025,(24):71–73.

[2] 袁梓晴 . 重载交通条件下水泥混凝土路面再生中的微裂均质化技术应用 [J]. 中国公路 ,2024,(23):104–105.

[3] 徐邦 . 公路水泥混凝土路面动力承载性能研究 [D]. 福州大学 ,2023.

[4] 刘佳涛 . 重载交通高速公路路面设计方案研究 [J]. 建筑技术 ,2023,54(06):707–710.

[5] 林娜 . 重载交通及耐重载水泥混凝土路面材料的研究 [J]. 运输经理世界 ,2022,(14):152–154.

作者简介：谢沙 (1998.5–)，女，汉，江西人，硕士，研究方向：公路与桥梁工程