

温度应力对金刚砂耐磨地坪平整度影响及施工对策

闫虎成, 任华卫

中国化学工程重型机械化有限公司, 北京 102600

DOI:10.61369/ERA.2026080003

摘 要 : 金刚砂耐磨地坪因其高硬度、耐磨损的特性被广泛应用于工业厂房、仓储物流及公共建筑地面工程中, 但温度应力引发的平整度劣化问题在实际工程中较为突出。本文从温度应力与金刚砂耐磨层的作用机理入手, 分析温度变形、温度裂缝及应力累积对地坪平整度的具体影响, 并结合工程实践提出配合比优化、分仓缝设置及养护工艺等施工对策, 最后通过典型案例对施工质量控制要点进行归纳总结, 以期同类工程提供参考。

关 键 词 : 金刚砂耐磨地坪; 温度应力; 平整度; 裂缝控制; 施工对策

The Impact of Temperature Stress on the Flatness of Emery Wear-Resistant Flooring and Construction Countermeasures

Yan Hucheng, Ren Huawei

China National Chemical Engineering Heavy Machinery Corporation, Beijing 102600

Abstract : Emery wear-resistant flooring is widely used in industrial plants, warehousing logistics, and public building ground projects due to its high hardness and wear resistance. However, the issue of flatness deterioration caused by temperature stress is prominent in practical engineering. This article starts with the mechanism of temperature stress and emery wear-resistant layer, analyzes the specific impacts of temperature deformation, temperature cracks, and stress accumulation on floor flatness, and proposes construction countermeasures such as mix proportion optimization, setting of expansion joints, and curing process based on engineering practice. Finally, through typical cases, the key points of construction quality control are summarized, aiming to provide reference for similar projects.

Keywords : emery wear-resistant flooring; temperature stress; flatness; crack control; construction countermeasures

引言

金刚砂耐磨地坪在浇筑成型后, 受环境温差、水泥水化热及混凝土收缩等多重因素叠加影响, 内部极易产生不均匀温度应力, 进而导致地面翘曲、开裂乃至表层剥落, 严重影响地坪的使用功能和观感质量。与普通混凝土地面相比, 金刚砂耐磨层厚度薄、刚度大, 对温度变形的敏感性更强, 一旦温度应力超过材料抗拉极限, 平整度便难以保证。目前施工现场普遍存在对温度应力重视不足、养护不到位、分缝设置随意等问题, 是导致地坪质量缺陷频发的主要原因。因此, 系统研究温度应力对金刚砂耐磨地坪平整度的影响机制, 并制定切实可行的施工对策, 具有较强的工程实用价值。

一、温度应力与金刚砂耐磨地坪的关联机理

金刚砂耐磨地坪由基层混凝土与表面耐磨骨料层复合构成, 两者弹性模量、线膨胀系数存在一定差异, 在温度变化条件下变形不协调, 界面处随之产生剪切应力。混凝土浇筑初期, 水泥水化放热使内部温度急剧升高, 峰值过后随散热降温, 温降幅度往往达 20 ~ 40℃, 由此产生的收缩受到地基摩擦约束, 拉应力在板内持续积聚。金刚砂耐磨层因厚度仅 3 ~ 5mm、刚度较大, 对基层变形的跟随性较差, 当基层产生微小翘曲或错动时, 耐磨层率先承受集中拉应力。此外, 昼夜及季节温差形成周期性热胀冷

缩, 温度应力反复作用下材料疲劳损伤逐步累积, 加之金刚砂骨料与水泥基体的界面本身存在微缺陷, 裂缝萌生门槛相对较低, 这是金刚砂耐磨地坪在温度作用下易出现质量问题的根本原因^[1]。

二、温度应力对金刚砂耐磨地坪平整度的影响分析

(一) 温度变形引起的翘曲与起拱问题

混凝土板在厚度方向存在温度梯度时, 上下表面热膨胀量不一致, 板体被迫产生弯曲变形, 这一现象在大面积薄板结构中尤为突出。对金刚砂耐磨地坪而言, 白天太阳辐射或厂房内供暖散

热使板面温度高于板底，热膨胀差导致板角和板边向上翘起，脱离基层形成悬空；夜间降温工况下板面收缩快于板底，则表现为板中部微微隆起。翘曲变形量与板块尺寸的平方成正比，分仓间距越大，翘曲量越显著，这也是大间距分仓条件下板角破坏最为集中的根本原因。起拱则多发生在连续高温天气或室内持续供热阶段，板体膨胀受到相邻板块挤压约束，压应力积聚超过地基摩擦阻力时，板块沿薄弱截面整体隆起，轻则形成高低错台，重则出现板块崩碎^[2]。需要指出的是，翘曲和起拱往往交替出现，白天升温起拱、夜间降温翘曲，反复循环使板边角部位承受持续的疲劳应力，混凝土与金刚砂耐磨层之间的界面粘结强度逐渐削弱，一旦脱层，后续即便温度趋于稳定，平整度也难以自行恢复。工程检测中，板角翘曲引起的局部高差通常是最先被发现的外观缺陷，2m 靠尺测量偏差超出规范限值时，往往同步伴随空鼓和表层松散，说明翘曲变形已对结构整体性造成实质性损伤，单纯的表面修补难以解决根本问题。

（二）温度裂缝的形成规律及其对平整度的破坏

温度裂缝的形成具有明显的阶段性规律，大致可分为早期塑性开裂、硬化期收缩开裂和长期使用开裂三个阶段，各阶段成因不同，对平整度的破坏方式也有所差异。早期塑性阶段发生在浇筑后数小时内，此时混凝土尚未硬化，表面水分蒸发速率过快形成负压，叠加水化热升温导致的体积变化，极易在表面产生浅而密的发状裂缝，这类裂缝深度有限，初期对平整度影响不大，但会成为后续水分和有害物质侵入的通道，加速劣化进程。硬化期收缩开裂通常发生在浇筑后 24 ~ 72h，混凝土强度仍处于快速增长阶段，温降收缩产生的拉应力已超过材料当时的抗拉强度，裂缝在约束最弱处贯通，走向多垂直于板块长边或沿柱边、墙角呈放射状分布。这类裂缝一旦贯通全截面，两侧板块即形成独立受力单元，在荷载作用下发生差异沉降，直接造成可见高差，是影响平整度最主要的裂缝类型。长期使用阶段的开裂则源于温度应力的持续累积，既有微裂缝在反复温度循环中缓慢扩展，新的裂缝也可能在应力集中部位萌生。裂缝边缘在叉车、重型设备反复碾压下动态受力，骨料逐渐松动脱落，缝口扩大并伴随边缘破碎，形成肉眼可见的凹槽和高低差。实测数据表明，未经有效处理的贯通裂缝两侧，竖向错台在投入使用后一年内可从不足 1mm 扩展至 3mm 以上，在高频叉车作业区域甚至超过 5mm，已严重影响运营安全和地坪寿命。

（三）温度应力累积效应与地坪长期平整度退化

温度应力的累积效应是一个被工程界长期低估的问题，其危害往往在地坪使用数年后才集中显现。每次温度循环对混凝土内部微结构造成的损伤量极小，但年复一年的反复作用使损伤持续叠加，材料力学性能逐渐退化，具体表现为骨料与水泥石界面过渡区微裂缝密度增加、混凝土弹性模量下降、抗拉强度降低^[3]。对金刚砂耐磨层而言，其与基层混凝土的界面是整个地坪系统中最薄弱的环节，界面粘结强度随温度循环次数的增加呈非线性下降趋势，初期每次循环造成的强度损失微乎其微，但当累积损伤超过某一临界值后，粘结失效速率明显加快，空鼓面积迅速扩大。北方地区年均有效温度循环次数多，夏季高温与冬季严寒之间的

温差可达 60℃ 以上，地坪平整度退化速率显著高于气候温和地区；工业厂房内因冶炼、焊接、烘干等工艺产生局部持续高温，温度梯度在平面内分布极不均匀，高温区附近累积损伤尤为集中，往往成为地坪最先出现大面积损坏的区域。从工程寿命周期角度来看，缺乏有效温控措施的金钢砂地坪，在使用满三个完整冬夏周期后，平整度检测不合格率普遍超过 30%，修补频率与维护费用随使用年限呈指数级增长。因此，在工程设计和施工阶段对温度应力累积效应进行前瞻性预控，其全生命周期经济效益远优于依赖后期反复修补的被动应对策略。

三、温度应力影响下金刚砂耐磨地坪的施工对策

（一）材料配合比优化与温度应力的调控

从源头控制温度应力，关键在于降低混凝土水化热峰值并提高材料自身的变形协调能力。配合比设计上，宜采用低水化热的矿渣硅酸盐水泥或复合水泥，掺量控制在适宜范围，同时以粉煤灰或矿粉等掺合料替代部分水泥，可有效延缓水化放热速率、降低温峰；水胶比建议控制在 0.40 以下，减少多余自由水蒸发引起的收缩。骨料级配上，适当增大粗骨料粒径、减少细骨料用量，有助于降低浆体体积、减小收缩量。金刚砂耐磨骨料的撒布量与撒布时机同样影响温度应力传递路径，过早撒布会随基层混凝土大幅收缩而产生内应力集中，宜待基层混凝土初凝前后、表面泌水基本消失时分次撒布并压实，使耐磨层与基层形成良好咬合，增强界面协同变形能力。此外，在混凝土中掺加聚丙烯纤维或钢纤维，可有效提升材料抗裂韧性，延缓温度裂缝的扩展速度。

（二）分仓缝与伸缩缝的合理设置

分仓缝的本质是人为设置的应力释放通道，通过预先引导裂缝在设定位置形成，避免无序开裂对平整度和使用功能造成损害。分仓间距的确定需综合考虑板厚、混凝土强度、地区温差及地面荷载等因素：普通室内工业地坪，板厚 100 ~ 120mm 时，分仓间距一般控制在 5m × 6m 以内；昼夜温差超过 15℃ 的北方地区或有局部热源的厂房，建议缩减至 4m × 4m ~ 4m × 5m；对平整度要求较高的精密仓储或洁净厂房，可进一步压缩至 3m × 4m。分仓缝宜采用无齿锯切割，切割深度为板厚的 1/3 ~ 1/2，最小不低于 30mm；切割时机是关键控制点，一般在混凝土抗压强度达到 8 ~ 10MPa（约浇筑后 24 ~ 48h，具体视气温而定）时进行，过早切割锯缝边缘易崩边，过晚则自然裂缝已先行形成，切缝失去预控意义^[4]。切缝完成后应及时清理缝内锯末和灰尘，待地坪养护结束并完全干燥后再进行填缝处理，填缝材料应选用硬度适中的聚氨酯或环氧改性弹性嵌缝胶，既具备一定承压能力以传递荷载，又能允许缝两侧板块在温度变化时产生微小相对位移而不破坏密封性。伸缩缝设置位置应与结构伸缩缝、沉降缝重合，并在柱边 200mm 范围内、墙边 100mm 范围内设置分离缝，缝宽 10 ~ 20mm，防止结构变形传递至地坪造成集中开裂。平面布局上，应避免出现尖角板块和非矩形板块，锐角处在温度应力集中时最先破损，一旦发现布局不合理，宁可调整施工流水段划分，也不应迁就施工便利而留下隐患。

（三）养护工艺对温度应力控制的关键作用

养护是控制温度应力最直接、成本最低的手段，却常被施工现场忽视。金刚砂耐磨地坪收面完成后，应在12h内覆盖塑料薄膜或湿麻袋进行保湿养护，防止表面水分过快蒸发与内部温差叠加造成早期开裂。养护时间不得少于7d，在干燥、大风或高温环境下应延长至14d。冬季施工时，基层混凝土入模温度不宜低于5℃，浇筑后须覆盖保温材料，使内外温差控制在25℃以内，避免因骤冷引发温度冲击裂缝；夏季高温施工则应选择气温较低的早晨或傍晚浇筑，必要时对骨料和拌合水进行预冷处理，将入模温度控制在30℃以下。养护期间严禁在地坪上行车或堆载，防止早期荷载与温度应力叠加造成不可逆损伤。对于大面积地坪，有条件时可采用蓄水养护，利用水的热容量均衡表面温度波动，效果优于单纯覆盖养护。

四、工程实践与质量控制要点

（一）典型工程案例分析与平整度检测评价

某北方物流仓储项目，建筑面积约2万m²，采用金刚砂耐磨地坪，施工时值夏末秋初，昼夜温差约18℃。初期因分仓间距设置为8m×8m、养护覆盖不及时，地坪完工后约10d出现大量不规则裂缝，板角翘曲明显，2m靠尺检测最大偏差达6mm，远超规范4mm限值，局部区域叉车行驶时产生明显颠簸。问题确认后，施工单位对裂缝进行环氧灌缝处理，并对翘曲板角采用切割重新灌浆压平，同时补切分仓缝将间距缩减至5m×5m。整改后平整度检测合格率由不足60%提升至91%，但修补痕迹影响观感，部分区域仍存在轻微色差^[5]。该案例说明，分仓间距过大和养护滞后是温度裂缝与翘曲的直接诱因，事后补救代价远大于前期预防投入，也证明平整度检测应作为过程控制手段而非竣工验收的终点，建议在养护结束后、正式交付前分批检测，发现偏差及时处置。

（二）施工质量控制标准与验收要点

金刚砂耐磨地坪的质量控制应覆盖原材料进场、配合比确认、浇筑成型、养护及验收全过程。原材料方面，金刚砂骨料须提供出厂检验报告，莫氏硬度不低于7级，含泥量不超过1%；水泥应附水化热检测数据，进场后抽样复验。浇筑过程中，每工作班应至少留置一组标准养护试块和一组同条件试块，用于跟踪强度发展情况，指导分仓缝切割时机。平整度验收采用2m靠尺和楔形塞尺检测，普通厂房地面允许偏差不超过4mm，有精密设备或高标准物流要求的场所应控制在2mm以内；地坪表面不得有空鼓，用250g钢锤轻击检查，空鼓面积超过400cm²或位于板角、缝边者须返工处理。验收时还应检查分仓缝的切割深度、填缝质量及耐磨层厚度，厚度偏差不超过±1mm。交付后建议在使用满一个冬夏循环后进行一次复查，重点排查温度应力累积引发的新增缺陷，及时封缝处理，以延长地坪整体使用寿命。

五、结论

温度应力是影响金刚砂耐磨地坪平整度的核心不利因素，其作用贯穿施工期与使用全周期。从机理层面看，水化热温降、环境温差及耐磨层与基层的变形不协调共同构成温度应力的来源；从表现层面看，翘曲起拱、温度裂缝及长期累积损伤是平整度劣化的三种主要形式。针对上述问题，施工阶段应从材料配合比优化、合理分仓缝设置和精细化养护三方面协同介入，将温度应力控制在材料承受范围之内；工程实践表明，分仓间距控制在5m×6m以内、养护时间不少于7d、切缝时机准确，可大幅降低裂缝发生率，平整度合格率显著提升。质量控制须贯穿全过程，验收标准应结合使用功能合理选取，并在交付后定期复查，做到早发现、早处置，从而有效保障金刚砂耐磨地坪的长期使用质量。

参考文献

- [1] 徐浩, 伍佳明. 金刚砂耐磨地坪施工及控制要点[J]. 四川建材, 2026, 52(2): 165-168.
- [2] 夏海鹏. 超大面积金刚砂耐磨地坪施工技术研究[J]. 陕西建筑, 2025(9): 95-101.
- [3] 丁华柱, 金建杰, 尹建明, 等. 金刚砂耐磨地坪施工要点及常见质量问题预防[J]. 四川建材, 2024, 50(7): 116-118.
- [4] 傅成伟. 金刚砂耐磨地坪施工与养护技术探讨[J]. 四川水泥, 2024(4): 150-152.
- [5] 陈大伟. 大面积金刚砂耐磨地坪面层施工工艺及质量控制分析[J]. 中国建筑装饰装修, 2023(12): 162-164.