

高温高湿环境下土建施工混凝土的水化热控制与裂缝预防技术

许新波

372926*****3930

摘要: 在土建工程施工中,混凝土作为核心建筑材料,其性能稳定性直接决定工程质量与使用寿命。高温高湿环境会显著改变混凝土的水化反应进程,引发水化热积聚与裂缝问题,对工程结构安全性构成威胁。本文结合高温高湿环境的气候特征,分析该环境下混凝土水化热异常产生的机理及裂缝形成的主要诱因,从原材料优化、配合比设计、施工过程管控、养护技术创新四个维度,系统阐述混凝土水化热控制与裂缝预防的关键技术,为同类环境下的土建施工提供理论参考与实践指导。

关键词: 高温高湿环境;水化热控制;裂缝预防

DOI: 10.69979/3060-8767.25.10.062

引言

随着我国基建工程向南方湿热地区、沿海高湿区域延伸,高温高湿环境下的混凝土施工场景日益增多。高温环境会加速混凝土中水泥的水化反应速率,导致水化热在短时间内大量释放,而高湿环境虽能在一定程度上缓解混凝土表面水分蒸发,但会干扰水化热的正常散发,形成“内热难散、外湿易渗”的矛盾。这种矛盾易使混凝土内部产生较大温度应力,当应力超过混凝土自身抗拉强度时,便会引发裂缝。裂缝的出现不仅会降低混凝土结构的承载能力,还会为水分、腐蚀性介质提供渗透通道,加剧钢筋锈蚀与混凝土碳化,缩短工程服役年限。因此,深入研究高温高湿环境下混凝土的水化热控制与裂缝预防技术,对保障土建工程质量具有重要现实意义。

1 高温高湿环境对混凝土水化反应及裂缝形成的影响机理

1.1 对混凝土水化反应的影响

混凝土的水化反应是水泥颗粒与水发生化学反应,生成水化产物(如水化硅酸钙、氢氧化钙等)并释放热量的过程,该过程受温度与湿度双重影响。在高温环境下,水分子运动速率加快,水泥颗粒表面的水化反应活性显著提升,初期水化反应速率大幅提高,导致水化热在浇筑后 1-3 天内集中释放,使混凝土内部最高温度可达 60-80℃。而高湿环境会使混凝土表面与空气之间的

湿度差减小,水分蒸发速率减缓,虽然能降低表面干缩风险,但会在混凝土内部形成“温度梯度屏障”——外部环境湿度高导致热量难以通过表面对流散发,内部高温持续积聚,进一步扩大内外温差。当内外温差超过 25℃ 时,混凝土内部产生的温度应力会超过其早期抗拉强度,引发温度裂缝。

1.2 对混凝土裂缝形成的叠加效应

高温高湿环境不仅会通过水化热积聚引发温度裂缝,还会通过其他途径加剧裂缝风险。一方面,高温会加速混凝土的初凝与终凝时间,缩短施工操作窗口,若振捣不充分或浇筑间歇时间过长,易在混凝土内部形成蜂窝、孔洞,这些缺陷会成为裂缝的起始点;另一方面,高湿环境下,混凝土表面长期处于湿润状态,若养护不及时或养护方式不当,表面水分会与内部水化产物发生二次反应,导致表面层与内部结构的收缩不一致,产生干缩裂缝与塑性裂缝。此外,高温高湿环境下,混凝土中的水泥水化程度较高,水化产物之间的孔隙结构易受环境湿度影响而发生变化,当环境湿度出现波动时,混凝土内部孔隙水压力变化会引发微裂缝扩展,最终形成宏观裂缝。

2 高温高湿环境下混凝土水化热控制技术

2.1 原材料优化选择

原材料的性能直接影响混凝土的水化热释放速率,

在高温高湿环境下,需通过优化原材料选择降低水化热生成量。在水泥选择上,应优先选用低热矿渣硅酸盐水泥、中热硅酸盐水泥或粉煤灰硅酸盐水泥,这类水泥的矿物组成中,硅酸三钙(C3S)与铝酸三钙(C3A)含量较低,水化反应速率较慢,水化热释放量比普通硅酸盐水泥低15%-25%。在骨料选择上,应选用表观密度大、热传导系数高的碎石或卵石作为粗骨料,如花岗岩骨料,其热传导系数可达 $2.0\sim 3.0\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$,能加快混凝土内部热量的传递;细骨料宜选用级配良好的中砂,减少砂率,避免因砂率过高导致水泥用量增加,间接降低水化热。在掺和料选择上,可掺入粉煤灰、矿渣粉等活性掺和料,这类掺和料能与水泥水化产物中的氢氧化钙发生二次水化反应,不仅能减少水泥用量(每掺入10%的粉煤灰可减少5%-8%的水泥用量),还能延缓水化反应进程,降低水化热峰值。

2.2 配合比科学设计

配合比设计是控制混凝土水化热的核心环节,需在满足强度、工作性要求的前提下,通过调整各组分比例降低水化热。一是控制水泥用量,根据工程设计强度等级,在保证混凝土抗压强度达标的情况下,将水泥用量控制在 $300\sim 350\text{kg}/\text{m}^3$ 以内,通过掺入活性掺和料替代部分水泥,替代率可控制在20%-30%(粉煤灰替代率不超过30%,矿渣粉替代率不超过40%);二是优化水胶比,采用低水胶比($0.40\sim 0.45$),减少水分用量,减缓水化反应速率,同时提高混凝土的密实度,降低热量积聚;三是掺入缓凝型外加剂,如聚羧酸系缓凝减水剂,这类外加剂不仅能降低混凝土的用水量(减水率可达20%-30%),还能延缓水泥水化反应,使水化热释放时间延长,避免水化热集中释放,将水化热峰值出现时间从浇筑后1-2天推迟至3-5天,降低内部最高温度。

2.3 施工过程温度管控

施工过程是水化热控制的关键执行阶段,需通过合理安排施工时间、优化浇筑工艺、加强温度监测实现对水化热的动态控制。在施工时间安排上,应避开高温时段(通常为10:00-16:00),选择在夜间或清晨(温度 25°C 以下)进行浇筑,减少环境高温对混凝土初始温度的影响;若需在白天浇筑,应采取遮阳措施,如搭设遮

阳棚、覆盖遮阳布,避免阳光直射混凝土拌合物,降低拌合物入模温度(控制在 30°C 以下)。在浇筑工艺优化上,采用分层浇筑方式,分层厚度控制在30-50cm,每层浇筑间隔时间不超过混凝土的初凝时间(通过试验确定,通常为2-3小时),使下层混凝土在初凝前与上层混凝土结合,减少分层处的温度应力;同时,采用溜槽、布料机等设备辅助浇筑,避免混凝土在运输过程中因温度升高导致水化热提前释放。在温度监测方面,采用热电偶温度传感器或无线温度监测系统,对混凝土内部、表面及环境温度进行实时监测,监测频率为浇筑后1-3天每2小时一次,3-7天每4小时一次,7天后每8小时一次;当监测到混凝土内外温差超过 25°C 时,及时采取温控措施,如在混凝土内部预埋冷却水管,通入循环冷却水(水温控制在 $15\sim 20^{\circ}\text{C}$),通过热交换降低内部温度,冷却水管的布置间距应根据混凝土浇筑厚度确定,通常为1.5-2.0m。

3 高温高湿环境下混凝土裂缝预防技术

3.1 浇筑后早期养护技术

浇筑后早期养护是预防混凝土裂缝的关键措施,在高温高湿环境下,需通过科学养护控制混凝土表面温度与湿度,减少温度应力与干缩应力。一是采用“保湿+保温”双重养护方式,在混凝土浇筑完成并初凝后(通常为浇筑后4-6小时),及时覆盖保湿材料,如土工布、麻袋等,再在保湿材料外侧覆盖保温材料,如阻燃保温被、聚苯板等,保温材料的导热系数应小于 $0.15\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$,确保混凝土表面温度不低于内部温度的80%,避免表面温度骤降引发温度裂缝;同时,定期向保湿材料喷水,保持材料湿润,使混凝土表面湿度维持在90%以上,防止表面水分蒸发过快导致干缩裂缝。二是延长养护时间,高温高湿环境下混凝土的水化反应持续时间较长,养护时间应比常温环境延长50%以上,对于普通混凝土,养护时间不少于14天;对于大体积混凝土或高强度混凝土(强度等级C60及以上),养护时间不少于21天,确保混凝土充分水化,提高抗拉强度。

3.2 裂缝控制结构措施

在工程设计与施工中,可通过采取结构措施减少混凝土裂缝的产生。一是设置后浇带与膨胀加强带,对于

长度超过 40m 的混凝土结构，应每隔 30-40m 设置一道后浇带，后浇带宽度为 80-100cm，浇筑时间应在两侧混凝土浇筑完成后 28 天以上，待两侧混凝土收缩基本稳定后，采用补偿收缩混凝土（掺入膨胀剂，膨胀率为 0.02%-0.03%）进行浇筑，通过膨胀剂的膨胀作用抵消混凝土的收缩变形；对于要求连续浇筑的结构，可设置膨胀加强带，膨胀加强带宽度为 200-300cm，采用比两侧混凝土强度等级高一级的补偿收缩混凝土，在浇筑过程中与两侧混凝土同时浇筑，实现无缝施工，减少裂缝风险。二是优化钢筋配置，在混凝土结构的薄弱部位（如梁端、柱角、墙板转角处）增加构造钢筋，如抗裂钢筋网片，钢筋直径选用 6-8mm，间距为 150-200mm，提高薄弱部位的抗拉强度，阻止裂缝扩展；同时，控制钢筋保护层厚度，保护层厚度应符合设计要求，避免因保护层过薄导致钢筋锈蚀引发裂缝，或因保护层过厚导致混凝土表面收缩过大产生裂缝。

3.3 后期裂缝监测与修复

即使采取了前期预防措施，混凝土在使用过程中仍可能因环境变化或荷载作用产生裂缝，需通过后期监测与修复确保结构安全。在裂缝监测方面，采用裂缝宽度观测仪对混凝土表面裂缝进行定期监测，监测频率为每月一次，对于重要结构（如桥梁、大坝、高层建筑基础），监测频率应提高至每两周一次；监测内容包括裂缝的位置、长度、宽度及发展趋势，当发现裂缝宽度超过 0.3mm（普通混凝土）或 0.2mm（防水混凝土）时，及时进行修复。在裂缝修复方面，根据裂缝宽度与深度选择合适的修复方法：对于宽度小于 0.2mm 的微裂缝，采用表面封闭法，使用环氧树脂浆液或水泥基渗透结晶型防水材料涂抹在裂缝表面，形成封闭层，阻止水分与腐蚀性介质渗透；对于宽度在 0.2-0.5mm 的裂缝，采用压力注浆法，使用注浆泵将水泥浆（水灰比 0.4-0.5）或环氧树脂浆液注入裂缝内部，浆液固化后与混凝土形成整体，恢复结构的密实度与承载能力；对于宽度大于 0.5mm 的裂缝，需先采用钢筋网片加固，再进行注浆修复，确保

修复后的结构强度满足设计要求。

4 结论与展望

高温高湿环境下，混凝土的水化热控制与裂缝预防是土建施工中的重点与难点问题。通过原材料优化选择、配合比科学设计、施工过程温度管控等技术手段，可有效降低混凝土水化热的释放速率，减少温度应力；通过浇筑后早期养护、裂缝控制结构措施、后期裂缝监测与修复等方法，能显著降低裂缝产生的风险，保障混凝土结构的安全性及稳定性。在实际工程应用中，需根据具体环境条件（如温度、湿度、风速）与工程特点（如结构类型、浇筑厚度），灵活组合运用上述技术，实现对混凝土水化热与裂缝的精细化控制。

未来，随着建筑材料技术的发展，可进一步研发低热、高抗裂性能的新型混凝土材料，如纳米改性混凝土、纤维增强混凝土等，从材料本质上提升混凝土在高温高湿环境下的性能；同时，结合 BIM 技术、物联网技术等智能化手段，构建混凝土施工全过程的数字化管控平台，实现水化热与裂缝风险的实时预警与智能调控，推动高温高湿环境下混凝土施工技术向智能化、绿色化方向发展。

参考文献

- [1] 赵琳, 黄磊, 于娜. 大体积混凝土基础温度裂缝控制施工技术研究[J]. 建材与装饰, 2013.
- [2] 单兴木. 浅析建筑施工中的混凝土裂缝控制技术[J]. 文摘版: 工程技术, 2015(5): 12-12.
- [3] 李威. 混凝土墙体施工温度裂缝控制技术研究与应用[J]. 四川水泥, 2024(9): 138-140.
- [4] 史有明. 耐磨混凝土地坪裂缝控制及预防技术研究[C]//2021 年中国地坪行业年会暨地坪技术研讨会. 石家庄超硕地坪工程有限公司, 2021.
- [5] 王远坤. 大体积混凝土施工技术及水化热引起裂缝的预防措施[J]. 建筑·建材·装饰, 2021, 000(020): 68-69.