

# 垃圾焚烧电厂垃圾坑混凝土裂缝控制技术与防渗性能探析

邓波

重庆三峰卡万塔环境产业有限公司 重庆 404100

**摘要:** 垃圾贮坑是垃圾焚烧厂重要的构筑物之一,作用是对生活垃圾进行暂存、堆积和搅拌,垃圾坑内混凝土受到垃圾焚烧过程中产生的高温垃圾热侵蚀、渗滤液化学腐蚀和垃圾车频繁碾压产生的物理力破坏,易出现裂缝。当垃圾坑混凝土出现裂缝后,必然会对结构的整体性、耐久性和稳定性产生影响,更严重的将会产生渗漏现象,进而污染地下水。基于此,下文将根据垃圾坑工作运行特点,从裂缝形成原因出发,对垃圾坑混凝土裂缝控制技术以及提高混凝土防渗能力措施进行了详细分析,以供垃圾焚烧电厂设计及运行人员参考使用。

**关键词:** 垃圾焚烧电厂;垃圾坑;混凝土;裂缝;控制;防渗性能

## 一、垃圾坑混凝土裂缝成因分析

### (一) 温度应力作用

垃圾贮坑结构中采用大体积混凝土浇筑,截面尺寸大,由于水化反应初期放出大量的水化热,导致温度升高,热量不易散发而使混凝土内部温度迅速升高。当外界环境温度明显低于混凝土内温度时,由于温度高而混凝土内外产生很大的温差梯度,这样就形成了非均一的温度场,在此阶段结构内部体积膨胀受到限制,在其中产生较大的温度拉应力。此时如果其拉应力大于材料早期抗拉强度,就会在混凝土表面和内部产生裂缝。另外初期养护不到位,会加速表面失水,削弱了混凝土表面的结构强度,加大了内外温差,使产生裂缝的风险加大。温度应力的累加是不可逆的,一旦产生裂缝,很难再自动闭合,对结构的整体性和今后使用的影响较大。

### (二) 干缩与自收缩效应

垃圾贮坑混凝土结构施工时,因配合比设计中水胶比偏大、水泥用量偏多,在硬化的过程中必然会出现体积收缩。干缩是因为在硬化的后期产生毛细孔隙水流失所引起的;自缩是因为水泥水化产生内部湿度梯度变化所引发的内应力演化的结果,在二者的作用下,使混凝土早期龄期内分布不均的拉应力场在累积到大于材料的早期抗裂能力时,就会使局部组织结构产生一些裂纹,逐渐发展成为贯通性的裂损<sup>[1]</sup>。同时,干缩自缩影响跟环境的湿度、温度以及养护条件有着十分密切的关系,

如果不加以控制,会使微裂缝延伸至界面过渡区,并且造成混凝土密实度降低和力学性能下降。

### (三) 钢筋锈蚀引起的裂缝

由于混凝土垃圾坑的施工质量控制不利或设计中保护层厚度不够等原因,使得外界腐蚀介质很容易由混凝土的表层进入混凝土内部,并加速侵入到混凝土与钢筋的界面区。二氧化碳入侵混凝土后发生碳化反应,使得混凝土局部碱性环境被破坏,pH值降低,钢筋表面原有钝化膜失去作用。再者,氯化物进入钢筋表面,一旦氯离子含量高于钢筋临界点,将会打破钢筋钝化状态,从而引起铁素体、混凝土孔隙中的水和氧之间的电化学腐蚀反应。腐蚀产物体积较大,使混凝土保护层产生环向拉应力,应力作用下沿钢筋方向出现纵裂,在表层出现破裂和剥离。随着钢筋截面面积逐渐减小,握裹力减小,结构协同作用变差,给裂缝的进一步扩展创造了有利条件,加速了整个劣化的进程。

### (四) 施工工艺因素

若垃圾坑混凝土结构各环节工艺存在偏差时,如模板未密闭严实、振捣不到位、混凝土浇筑间的休止时间过长或者分层过厚等都会造成垃圾坑结构内部分区域应力集中或者接合面间的黏结力不够从而产生裂缝。如果起模时没有把握好混凝土早期强度发展情况而提前起模,则会导致边角部位产生拉裂;运输、吊装过程如果支点布置不合理或者荷载转移不均匀会使结构构件受到附加弯矩作用从而导致构件沿轴线方向或者沿对角线方向产生裂缝;细长形和薄壁形构件由于自身重量较轻以及横向刚度较小,所以在搬运、堆放过程中更容易受到外力干扰产生贯通型或层间剥离型的裂损。而裂缝空间分布

**作者简介:** 邓波(199105-),汉族,男,四川省遂宁市,本科学士,中级职称,研究方向:土木建筑/生活垃圾焚烧发电相关。

形态各异，很大程度上是由于具体的施工工序出现失控点所决定的。

## 二、垃圾坑混凝土裂缝控制技术

### (一) 优化温控措施以削弱温度应力影响

垃圾贮坑大体积混凝土结构施工时，早期水化反应所释放出的热量会引起内外温差较大，并形成较大的温差梯度应力，为了防止因温差集中形成拉应力破坏，在材料选用、浇筑施工以及养护措施上都需要做好相应的措施。第一，配合比设计时应选择低水化热性胶凝材料，并合理添加硅灰、偏高岭土二次矿物掺合料，减少水泥熟料的掺量，从源头控制水化放热速率和热量累积总量。第二，按照分层对称和跳仓法布设浇筑，按间歇节段施工方式，来调整混凝土内部热量释放速度，减少局部热集中现象。第三，设置循环冷却系统，在结构核心区域配置冷却水管，将循环冷却水灌入，利用冷却水管中的冷却水与外界空气进行热交换，调控核心温度。第四，保持混凝土中心与表层之间温差不大于临界应力限值<sup>[2]</sup>。养护阶段延长保温时间，养护层由外向内覆盖三层：最外层用麻袋包裹保湿；中层使用塑膜隔绝水汽交换；最里层涂覆养护剂锁水防裂，避免表层混凝土失水过度而出现早爆裂。

### (二) 控制干缩与自收缩效应

为了减弱垃圾坑混凝土硬化和干燥过程中混凝土体积收缩产生的应变集中，要从垃圾坑混凝土本身的收缩潜力出发进行多方面技术调整，一是根据实际工程要求选择干缩系数相对较小的胶凝材料，并通过合理的级配设计，改善粗细集料填充密实度，形成稳定骨料骨架，降低浆体约束比，避免出现收缩集中区域应力集中；二是向配合比中引入膨胀剂以及收缩补偿型掺合料，比如氧化钙基、铝酸钙系微膨胀类材料等，利用其体积膨胀作用来抵消一部分收缩产生的拉应力，提高早期抗裂能力；三是适当降低水胶比，在保证施工性能的前提下，提升浆体的致密程度，减少自由水析出以及其脱离浆体后的蒸发路径，延迟毛细负压的发展速度。

### (三) 防护层耐久性提升与钢筋防腐蚀措施

为预防垃圾坑混凝土结构中由于钢筋锈蚀而诱发的裂纹的发展，必须从整体上提升混凝土保护层的物理致密度和耐久性。首先，在结构设计时，根据结构所处环境的暴露等级确定钢筋保护层厚度的大小并严格控制其最小取值，尽量不要因埋置深度不够而使钢筋与腐蚀介质的接触时间过长。其次，从材料角度讲，采用低水胶比高致密性的混凝土体系，通过对水灰比进行调整从而

达到优化孔隙结构的目的，再通过添加硅灰、矿渣粉等高活性微细掺合料来填充毛细孔道，构筑多重抗渗屏障，最终起到封堵CO<sub>2</sub>和氯离子渗透路径的效果。此外，要加强对现场施工的振捣控制，尽可能保证好界面过渡区的密实度、连续性；同时，加强使用高质量模板封闭系统避免出现脱模缺陷。最后可根据腐蚀风险等级的不同分别采用环氧涂层包裹法、锌层热镀法或者牺牲阳极电化学保护法来防止钝化膜破坏时间的到来。

### (四) 施工工艺精细化控制

施工时通过合理设置各个过程（包括拌制、运输、浇筑、振捣、起模和构件安装）的时间节点来规避工艺性裂缝。一是混凝土搅拌需要严格把控配合比，合理确定搅拌时间和出机温度，防止胶凝组分分离或者早起发生水化反应。二是运输限制时间窗口，限制车次之间停留间隔，防止坍落度过大造成流动性消失。三是浇筑过程中应进行分层斜面浇筑，交错前进；进行高频次的机械振捣、人工复核的工艺处理，使得骨料分布均匀，排气充分。四是脱模工序需要按照实际测试数值判断模板拆除的时间，确定不同气温、龄期的不同强度级值，避免龄期较小受外力作用导致裂缝发生。五是构件吊装应计算好受力平衡点，多点对称起吊，控制好吊运的路径、升降速度，尽量消除惯性应力波；对于长细比较大或截面尺寸偏小的构件应采取临时支撑和限位方式，避免搬运和拼装过程出现偏载，避免构件因局部变形大而导致裂缝产生。

## 三、垃圾焚烧电厂垃圾坑混凝土防渗性能提升措施

### (一) 使用高性能混凝土材料

提高垃圾焚烧电厂垃圾坑的混凝土防渗性能的方法主要是通过添加性能好的混凝土以提高其整体密实性以及抗渗透性能。第一种方法是选择抗腐蚀水泥，如硅酸盐铁铝酸盐复合水泥，此类水泥可通过对矿物组成进行优化使抗化学侵蚀性得到明显提高，在垃圾坑内使用的条件非常苛刻，垃圾内含有大量的酸性气体、水溶液，会使普通硅酸盐水泥和粉煤灰水泥等都很容易被侵蚀。并且硅酸盐铁铝酸盐复合水泥的热膨胀系数较小，耐久性好，能很好地避免由环境引起的裂纹产生。第二种方法是加入抗渗外加剂，比如膨胀剂和憎水剂来进一步提高混凝土的致密度和耐久度。膨胀剂在混凝土硬化后能产生一定的微膨胀作用，能在一定范围内填补由于失水或受温变等因素造成的微小裂缝，减小混凝土渗透性；憎水剂使用可以使混凝土水接触角增大，使得混凝土表面形成良好的防水膜而达到阻止水分渗入的效果，另外

这类外加剂还能增加混凝土在长期承重和受潮下的稳定性,使得混凝土在极端工况下寿命更长<sup>[1]</sup>。

## (二) 表面防护层设置

为提高垃圾坑混凝土的防渗效果,设置表面防护层很重要。针对垃圾坑内壁的渗透问题,可以通过采用厚度 $\geq 3\text{mm}$ 的环氧树脂防腐涂层来解决,环氧树脂涂层粘结力强、耐化学腐蚀,可在混凝土表面形成一层牢固致密的隔离层来隔断渗滤液。环氧树脂涂层具有耐酸碱性能,能抵制垃圾渗滤液中有害物质的作用,延长混凝土的使用寿命,而且可以在恶劣条件下长期保持其物理和化学性质不变。也可用耐腐蚀型高分子板材(如HDPE防渗膜)复合衬里作垃圾坑外壁防渗层,HDPE膜的抗渗性好、抗环境应力开裂能力强,可防止渗滤液从垃圾坑混凝土微裂缝进入到地下水系统中去;高密度聚乙烯材料的化学稳定性和垃圾坑内渗滤液成分兼容度可以避免其长期浸泡而出现膜材降解、失效的情况。HDPE膜柔性好、易于施工的特点有助于实现其与垃圾坑混凝土结构之间的完全吻合以及使二者之间没有相互间缝隙,从而加强垃圾坑外壁防渗效果。

## (三) 接缝防水处理

接缝防水是提高垃圾坑混凝土防渗能力的关键性工艺技术,在后浇带、变形缝等温度变化大、混凝土存在收缩沉降应力集中的地方容易形成渗水的通道。对于这部分常用的做法是在此处埋设两道遇水膨胀止水条或者钢边橡胶止水带进行防水。遇水膨胀止水条的遇水膨胀性能能够使其有效填塞变形缝里的缝隙,成为阻止渗水的通道。而且耐水性能好,并能在结构发生微小位移时仍能保持较好的密封作用,密封性能持久;钢边橡胶止水带的机械强度和耐老化性强,易于施工时保证其抗压性和稳定性,钢边可提高止水带的抗拉强度,增强止水带用于复杂应力环境下的使用时间长,橡胶的部分利用其弹性以及密封性更好等优点加强了止水效果。为使接缝处更好的起到防水效果还可以配合内外两道密封胶一起做防水,以使密封胶填补好接缝内细小的空隙,提高止水条与混凝土之间的密封程度,这样合理的搭配使用防水材料后能达到使接缝位置达到整体防渗的效果,不会因为接缝处的渗漏造成污染或者破坏结构。

## (四) 定期检测与维护

为了保证垃圾坑混凝土长期处于良好的防渗状态,应当对其进行定期的检测和养护工作,其中超声波检测

方法可对混凝土内的空洞、裂缝等质量问题进行检测,并能及时发现影响结构整体性的隐患,经检测回波数据能够准确判断出混凝土内存在的问题,并进行前期处置。这种方法适合于大型结构,安全高效精准。红外成像检测是垃圾坑混凝土超期服役的一项检测内容,利用红外成像可以对垃圾坑混凝土地表温度场进行测量并记录下来,以垃圾坑混凝土在有水分渗透的情况下不同局部温度的对比判定其是否产生渗漏的情况。通过这种方式,垃圾坑混凝土地表会出现与周围环境的温差,而这种温差主要是由水分的渗透造成的,在此情况下采用红外成像技术能更好地反映渗漏的地方,通过这种手段进行修补更有针对性。与传统的人眼观察方式相比,使用红外成像仪对垃圾坑混凝土结构来说,更加精确地反应了结构的热特性,更具有灵敏性。渗漏监测系统可通过对预埋渗漏检测装置(传感器)进行监测,不间断地采集水分渗透的数据,并且当监测到有水分渗入时可进行及时报警,以便第一时间做出封堵加固等工作。同时还可配合人工定期巡查,既能保证垃圾坑混凝土在使用过程中一直保持很好的防渗效果,又能在一些细小的渗漏处得到较为彻底的处理。

## 结论

垃圾焚烧电厂垃圾坑混凝土结构面临着复杂严苛的工作环境,在此恶劣条件下,需要从材料、施工及运维各环节共同采取措施防止或修补垃圾坑裂缝和保证垃圾坑的防渗功能。采取科学合理的裂缝控制手段以及完善的防渗体系能够提高垃圾坑耐久性和安全性的同时有助于垃圾焚烧系统整体高效稳定运行,为促进绿色环保作出巨大贡献。展望未来应加强研究开发新的防渗材料及智能监控系统来促进垃圾焚烧的绿色化、高质化发展。

## 参考文献

- [1]朱江.垃圾焚烧发电厂垃圾储坑各部位构造工艺改进[J].建筑与装饰,2023(11):136-138.
- [2]冀国东,化伟.混凝土裂缝形成机理及预防研究[C]//2024年全国工程建设行业施工技术交流会论文集(下册).2024.
- [3]黄燕,许瑶怡,范萌萌,吕政凡.环氧树脂基混凝土裂缝快速修复材料的制备及性能研究[J].西部交通科技,2024(4):54-57.