

聚氯乙烯废塑料对充填体热学性能影响实验研究

李婷婷¹, 郭进平¹, 王小林¹, 刘亚雄², 侯展娜¹, 吴琼¹

1. 西安建筑科技大学 资源工程学院, 陕西 西安 710055;
2. 河南发恩德矿业有限公司, 河南 洛阳 471700

中图分类号: TD853.34 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2025)01-0001-07
DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2024.08.024

摘要 为缓解深井开采高温热害, 探明聚氯乙烯(PVC)充填体的隔热性能, 对 PVC 粉末替代水泥掺量为 0~20% 的充填体进行热重、导热系数、比热容测试及其微观形貌特征分析。结果表明: 添加 PVC 粉末能改善充填体的隔热性能; PVC 颗粒与充填体结合形成致密均匀的结构, 但由于 PVC 的弱黏结性, 过量的 PVC 粉末会使充填体各成分之间的黏结性丧失, 内部孔隙和裂纹增多, 降低充填体的抗压强度, 且抗压强度随 PVC 粉末含量添加呈先增大后减小的趋势。在料浆质量浓度 78%、灰砂比 1:4 和 PVC 粉末替代水泥掺量为 10% 的条件下, 充填体性能最佳, 此时抗压强度最大, 为 10.782 MPa, 导热系数为 0.921 W/(m·K) 且降幅最大, 比热容则为 1.391 kJ/(kg·K)。本文分析了 PVC 粉末充填体的热学性能, 为缓解深井开采热害提供新思路。

关键词 深井开采热害; PVC 粉末充填体; 热学性能; 隔热性能; 导热系数

0 引言

随着开采深度的增加, 深井热害问题日益突出, 传统的热害防治手段不仅存在冷量利用率低、系统维护难度大、降温效果差等问题, 而且还造成了矿井通风、空调等多个环节的能源消耗等问题。为了改善深井开采热害的防治效果, 应在矿井开采过程中实施主动降温措施, 而加强充填体的隔热性能是实现深井工作面降温的一种新路径^[1]。塑料制品无法在自然环境中被降解, 废弃塑料已造成严重的环境污染问题, 迫切需要有效的处置方式^[2]。2021 年《“十四五”塑料污染治理行动方案》中支持用项目建设等方式加大对塑料废弃物的利用, 推动“十四五”白色污染治理^[3]。目前塑料废物主要应用在建筑领域, 适量添加塑料废物可对混凝土的力学性能、耐久性和可加工性等产生一系列积极影响, 改善隔热性能、韧性、抗压强度、冲击强度、弹性模量、延展性和透水性^[4-6]。其中, 聚氯乙烯(PVC)废塑料因具有低导热、超强的抗冲击性能、耐用性、化学性质稳定等特点而备受关注^[7]。因此, 利用 PVC 的低导热特性提升充填体的隔热性能, 降低开

采热害, 可实现 PVC 废塑料回收利用, 也是降低深井开采热害的一种绿色、环保、安全的方法。

国内外学者对混凝土掺入塑料废物的热学性能进行了大量研究。在混凝土中添加废塑料纤维或颗粒能增加混凝土的孔隙率^[8], 降低体积密度^[9]和导热系数^[8,9], 导热系数的降低可显著改善混凝土的隔热特性^[10], 其中, 塑料的厚度、温度梯度、表面积、特点和类型也是影响混凝土热学性能的因素^[11]。在替代骨料方面, 用废塑料粉末作为天然骨料的部分替代品, 对混凝土微观结构和热性能进行分析发现, 随着废塑料替代含量的增加, 混凝土成分之间的黏结强度不断降低, 热重分析表明, 废塑料粉末具有较好的热稳定性^[12]; 用 PVC 废料取代骨料, PVC 掺量越高混凝土导热系数越低^[13], 对于 20% 的替代塑料废物, 热导率下降约一半^[14]。加入塑料的混凝土在试件底面的温度降低了 2.5 °C, 混凝土在 300~480 °C 之间表现出显著的质量损失, 导热系数降低, 保温性能及隔热性能更优^[15]。在替代水泥方面, 将 PVC 粉末代替部分水泥, 发现随着 PVC 粉末含量的增加, 混凝土导热系数不断降低, 5% 的 PVC 粉末替代水泥可获得性能更好的混凝土^[16]。

收稿日期: 2024-06-03

基金项目: 陕西省自然科学基金项目(2024JC-YBQN-0507); 国家资助博士后研究人员计划项目(GZC20232063); 陕西省博士后科研项目(2023BSHYDZZ142)

作者简介: 李婷婷(1996—), 女, 硕士, 从事矿山充填开采理论与技术研究, E-mail: 1776813949@qq.com。

通信作者: 郭进平(1970—), 男, 副教授, 硕士生导师, 从事矿山开采、安全与应急管理, E-mail: 414075711@qq.com; 王小林(1991—), 男, 讲师, 博士, 从事膏体充填理论与技术研究, E-mail: 18706841567@163.com。

综上所述,使用适量的 PVC 粉末代替骨料或水泥可以增强混凝土的隔热能力。但是, PVC 废塑料用于改善充填体热学性能的报道还较为少见^[7]。而针对 PVC 废塑料替代充填体中部分水泥的研究还未见报道,基于此,本文将 PVC 粉末替代部分水泥制成 PVC 粉末充填体,利用扫描电子显微镜获取并分析 PVC 粉末充填体的微观形貌,采用导热系数仪和差示扫描量热仪等仪器测试其导热系数和比热容等参数,从而分析 PVC 粉末对充填体热学性能的影响,以期填补 PVC 粉末在充填体的热学性能相关方面研究的空白,为深井开采热害提供新思路。

1 实验

1.1 实验材料与配比

充填骨料选用铁矿全尾砂,粒度分布如图 1。采用 P.O 42.5 普通硅酸盐水泥作为胶凝材料,实验用水为自来水, PVC 粉末来源于某塑料厂回收废塑料的原料粉末。料浆质量浓度 78%,灰砂比 1 : 4, PVC 粉末掺量 (PVC 质量与水泥、PVC 总质量之比) 为 0、5%、10%、15% 和 20%。PVC 粉末物理性质见表 1。

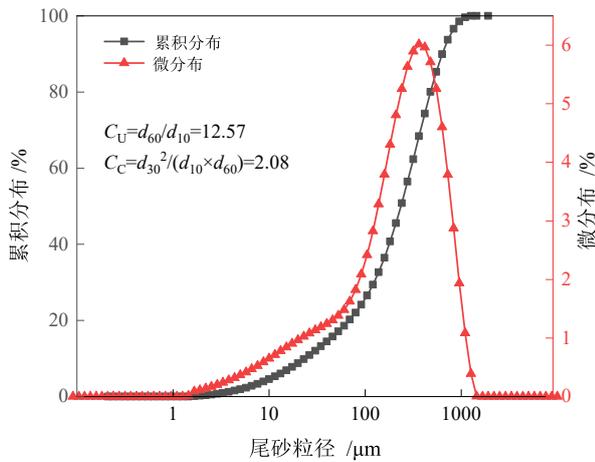


图 1 尾砂粒度分布
Fig. 1 Particle size distribution of tailings

表 1 PVC 粉末物理性质

Table 1 Physical properties of PVC powder

堆积密度/(g·cm ⁻³)	相对黏度/(mL·g ⁻¹)	粒径大于 250 μm/%
0.52	113.00	0.80
粒径小于 3 μm/%	挥发物含量/%	残留单体/(μg·g ⁻¹)
98.80	0.08	1.00

1.2 试件制备

按配比方案计算并称取水、尾砂、水和 PVC 粉末,料浆充分搅拌 5 min,然后浇筑得到直径 50 mm、高度 50 mm 的圆柱形试件,每组配比 3 个,共 5 组。

浇筑完成 24 h 后脱模,试件放入恒温恒湿养护箱中标准养护 28 d。养护结束后将试件切割成直径 50 mm、高度 25 mm 的圆饼形试件用于导热系数测试。

1.3 测试项目

对处理好的试块进行称重并测量体积,根据公式 $\rho = m/V$ (质量/体积) 计算表观密度。选取部分试件碎块提前进行干燥和现场喷金处理,用 Gemini SEM 300 型扫描电子显微镜 (SEM) 观察 PVC 粉末掺量对充填体微观形貌的影响。热重分析用 TGA/DSC3+同步热分析仪检测,检测温度 30~100 °C,氮气气氛,升温速率为 5 °C/min。比热容测试采用差示扫描量热仪 (DSC),用蓝宝石法。导热系数测试利用 Hot Disk TPS 2500S 型导热系数仪,用瞬态平面热源法。

2 实验结果与分析

2.1 PVC 粉末充填体的表观密度

对每组配比 3 个试件的表观密度取平均值, PVC 粉末掺量对充填体表观密度的影响如图 2 所示。

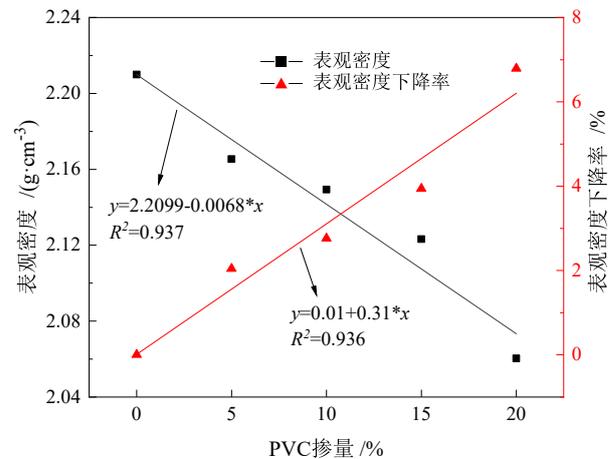


图 2 不同 PVC 粉末掺量的充填体表观密度
Fig. 2 Apparent density of backfill with different content of PVC powder

由图 2 可知, PVC 粉末掺量 0 的充填体表观密度为 2.210 g/cm³, PVC 粉末掺量为 5%、10%、15% 和 20% 的充填体表观密度分别为 2.165 g/cm³、2.149 g/cm³、2.123 g/cm³ 和 2.060 g/cm³, 对比 PVC 粉末掺量 0 的充填体,添加 5%、10%、15% 和 20% 的充填体表观密度下降率分别为 2.0%、2.8%、3.9% 和 6.8%。相邻组别对比显示: 20% 相对 15% 掺量的表观密度降幅最大,为 3.0%; 掺量 10% 相对掺量 5% 的表观密度降幅最小,为 0.7%。对 PVC 粉末掺量与表观密度和表观密度下降率进行线性拟合,相关系数分别是 0.937 和 0.936,说明 PVC 粉末掺量可影响充填体的表观密度,随着 PVC 粉末掺量的增加,充填体表观密度逐渐降低,对

充填体的承载能力和稳定性造成不利影响。充填体表现密度随着 PVC 粉末掺量增加呈现下降的趋势是由多种因素决定的, 其主要原因在于 PVC 粉末的密度低于硅酸盐水泥, 随着 PVC 粉末掺量的增加, 充填体的密度也逐渐下降。同时, 随着 PVC 粉末掺量增加, 易在充填体成型过程中产生气泡, 增大了充填体的孔隙率, 导致其密度降低。此外, PVC 粉末的不渗透性使得游离水在 PVC 颗粒周围沉积, PVC 颗粒和充填体基质之间存在更多孔隙^[18], 从而导致充填体的密度降低。

2.2 PVC 粉末充填体的热重分析

热重分析 (TGA) 测试是热分解稳定性的表征。图 3 所示为不同掺量 PVC 粉末充填体试件热重测试的结果。

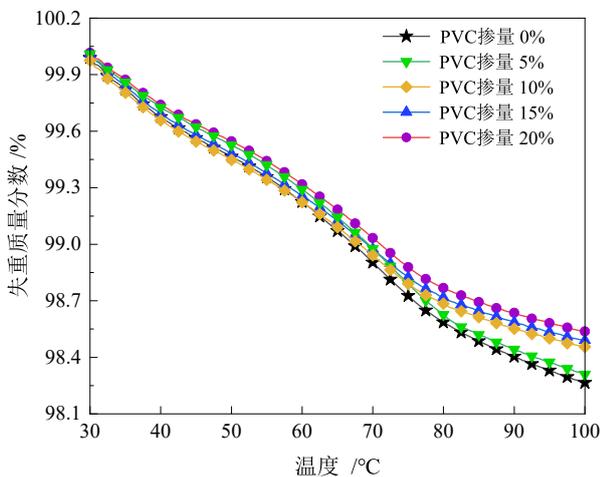


图 3 不同 PVC 粉末掺量的充填体质量随温度变化曲线
Fig. 3 Curve of backfill mass of different PVC powder content with temperature

如图 3 所示, 在 30~100 °C 的温度范围内, 充填体的质量随着温度的升高而降低, 不同 PVC 粉末掺量充填体的质量-温度曲线变化不大, PVC 粉末掺量与充填体的质量减少幅度呈正相关性, 试件都呈现类似失重趋势^[15]。相对未添加 PVC 粉末的充填体, 添加 5%、10%、15% 和 20% PVC 粉末充填体在低于 75 °C 时的质量损失梯度变化较小, 在大于 75 °C 时质量损失梯度变缓, 10%、15% 和 20% 相对 0、5% PVC 粉末的充填体质量损失增幅加大。根据 PVC 粉末的物理化学性质可知, 在 30~100 °C 的温度范围内 PVC 化学性质比较稳定, 较少发生质量损失的现象^[19]。温度升高可以减小 PVC 分子链之间的相互作用力, 使其分子间滑动性增强, 从而表现出软化的特性, 可以更容易产生被挤压、拉伸或塑变的形状变化。同时, PVC 粉末在这个温度范围内表现出更高的黏性, 温度升高会提高 PVC 分子的运动速度, 使其更容易黏附在充填体骨料表面。说明在 30~100 °C 之内, PVC 粉末具有较好的

热稳定性, 充填体的质量损失主要是由于硅酸钙水化物、碳铝酸盐、钙矾石等水合物的蒸发所致^[12]。

2.3 PVC 粉末充填体的导热系数

为了解 PVC 粉末对充填体导热系数的影响, 测试了不同 PVC 粉末掺量充填体的导热系数, 结果如图 4 所示。PVC 粉末掺量为 0 的充填体导热系数为 1.110 W/(m·K), PVC 粉末掺量为 5%、10%、15% 和 20% 的充填体导热系数分别为 1.038 W/(m·K)、0.921 W/(m·K)、0.863 W/(m·K) 和 0.855 W/(m·K), 随着 PVC 粉末含量的增加, 充填体导热系数逐渐降低。对比 0 掺量的 PVC 粉末充填体, 添加 5%、10%、15% 和 20% 的充填体导热系数下降率分别为 6.5%、17.0%、22.3% 和 23.0%。相邻组别对比发现: 掺量 10% 相对 5% 的导热系数降幅最大, 为 22.3%, 如图中阴影部分所示, 掺量 20% 相对 15% 的导热系数降幅最小, 为 0.9%。实验结果表明, 添加 PVC 粉末能降低充填体的导热系数, PVC 粉末的掺量和充填体导热系数降幅呈正相关。其原因在于充填材料 (水泥、尾砂)、充填体孔隙和 PVC 粉末共同影响了充填体导热系数, 加入 PVC 粉末增大了充填体的孔隙率, 由于孔隙中的空气和 PVC 粉末的导热系数均小于充填材料^[20], 使得充填体导热系数降低。对掺入不同含量 PVC 粉末充填体的表观密度和导热系数进行拟合 (图 5), 高达 0.999 的相关系数证实了导热系数和表观密度之间显著关联^[21]。对 PVC 粉末掺量与充填体导热系数和导热系数下降率进行非线性拟合, 相关系数都为 0.994, 说明 PVC 粉末掺量可显著影响充填体导热系数。因此, 充填体导热系数随着 PVC 粉末掺量的增加而逐渐降低, 添加 PVC 粉末能改善充填体的隔热性能。

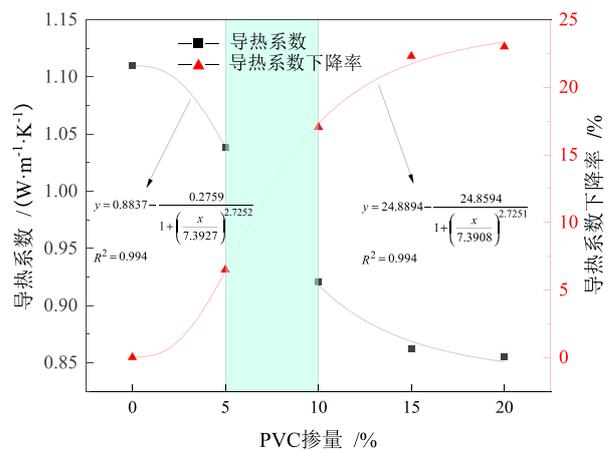


图 4 不同 PVC 粉末掺量的充填体导热系数
Fig. 4 Thermal conductivity of backfill with different content of PVC powder

2.4 PVC 粉末充填体的比热容

对不同 PVC 粉末掺量的充填体进行比热容测试,

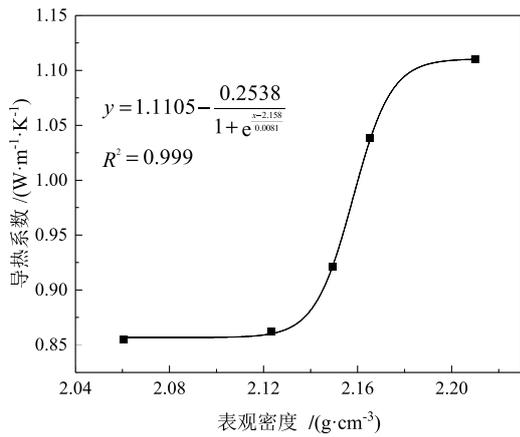


图5 表观密度和导热系数拟合
Fig. 5 Fitting diagram of apparent density and thermal conductivity

结果如图6所示。分析可知, PVC 粉末掺量为 0 的充填体的比热容为 1.670 kJ/(kg·K), PVC 粉末掺量为 5%、10%、15% 和 20% 的充填体比热容分别为 1.549 kJ/(kg·K)、1.391 kJ/(kg·K)、1.241 kJ/(kg·K) 和 0.998 kJ/(kg·K), 对比 0 掺量的 PVC 粉末充填体, 添加 5%、10%、15% 和 20% 的充填体比热容下降率分别为 7.3%、16.7%、25.7% 和 40.2%。PVC 粉末掺量从 0 增加到 20% 时比热容下降幅度最大, 为 19.5%; PVC 粉末掺量由 0% 到 5% 比热容降低幅度最小, 为 7.3%。对 PVC 粉末掺量与充填体的比热容和比热容下降率进行非线性拟合, 相关系数分别是 0.995 和 0.996, 说明 PVC 粉末掺量对充填体的比热容影响程度较高, 40.2% 的降幅也证明了这一点。从图6可以看出, 添加 PVC 粉末使得充填体比热容降低, 这是因为 PVC 粉末的比热容比硅酸盐水泥低, 随着 PVC 粉末替代水泥量的增加, 充填体比热容逐渐降低。同时随着 PVC 粉末的逐渐增加使硅酸盐水泥用量减少, 导致充填体水化反应的放热量减少。由此可知, 添加 PVC 粉末在降低充填体

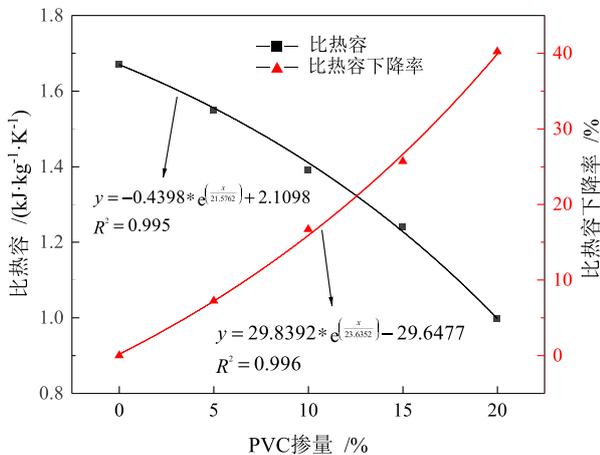


图6 不同 PVC 粉末掺量的充填体比热容
Fig. 6 Specific heat capacity of backfill with different content of PVC powder

比热容的同时也降低了充填体水化放热能力。

2.5 PVC 粉末充填体的微观形貌

为了观察 PVC 粉末对充填体微观形貌的影响, 对普通充填体和含有 PVC 粉末的充填体小块试件进行了扫描电镜测试。

选用掺量 15% PVC 粉末充填体试件的 SEM 图像为例。如图 7a 所示, PVC 与硅酸钙水化物 (C-S-H) 附着在尾砂和水泥表面, 且存在孔隙和裂纹; 加入 PVC 后, 水泥不能充分将 PVC 包裹, 导致尾砂胶结材料与 PVC 的结合面处存在明显微裂隙。图 7b 中的叶片型 C-S-H 凝胶是水泥和水反应的产物。钙矾石晶体在水泥中形成稳定的晶体结构, 有助于减少水泥基体的收缩和膨胀, 提高水泥的体积稳定性, 并填充水泥基体中的微裂缝, 促进水泥颗粒的紧密结合, 增强水泥的抗裂性能, 提高水泥的耐久性^[22-23]。图 7c 显示 PVC 呈现粗糙表面, 氯乙烯 (Vinyl Chloride) 单体通过聚合反应形成聚合物链, 这些链状结构相互交织形成了 PVC 的整体结构并存在一定程度的孔隙结构。具有粗糙表面结构的 PVC 被认为是充填体复合材料中存在裂缝的原因, 同时 PVC 这种链状粗糙的表面也为 PVC 颗粒与充填体之间提供较强的复合结构^[9], 使得 PVC 颗粒与充填体充分结合且致密均匀(图 7d)。添加 PVC 粉末的充填体微观形貌分析表明, 适量的 PVC 粉末可填充充填体孔隙, 使其内部更致密, 增强充填体的强度。但是过量的 PVC 粉末阻碍了水泥水化过程, 影响 C-S-H 凝胶的形成, PVC 的弱黏结性^[15]导致充填体各成分之间的黏结性降低, 内部孔隙和裂纹增多, 会降低充填体的强度。由单轴压缩实验数据可知, 充填体强度随 PVC 粉末含量呈先增大后减小的趋势, PVC 粉末掺量为 15% 时, 抗压强度处于下降阶段, 为 8.289 MPa; 掺量为 10% 时, 充填体强度最大, 为 10.782 MPa, 综合本文热学性能的研究可知, PVC 粉末最佳掺量是 10%, 此时充填体性能最佳。

3 结论

(1) PVC 粉末掺量影响充填体的表观密度和质量。随着 PVC 粉末掺量的增加充填体表观密度逐渐降低, 从而影响充填体的强度, 充填体表观密度降幅最大为 6.8%, PVC 粉末掺量与充填体的表观密度相关系数是 0.937。PVC 掺量与充填体的质量减少幅度呈正相关性, PVC 粉末充填体在 30~100 °C 范围内较少发生质量损失的现象。

(2) PVC 粉末能有效降低充填体的导热性能和比热容。导热系数随着 PVC 粉末掺量的增加而逐渐降低, 最大降幅为 23.0%, 添加 PVC 粉末能改善充填体的隔热性能; 添加 PVC 粉末在降低比热容的同时也降低了充填体水化放热能力, 比热容最大降幅为 40.2%。

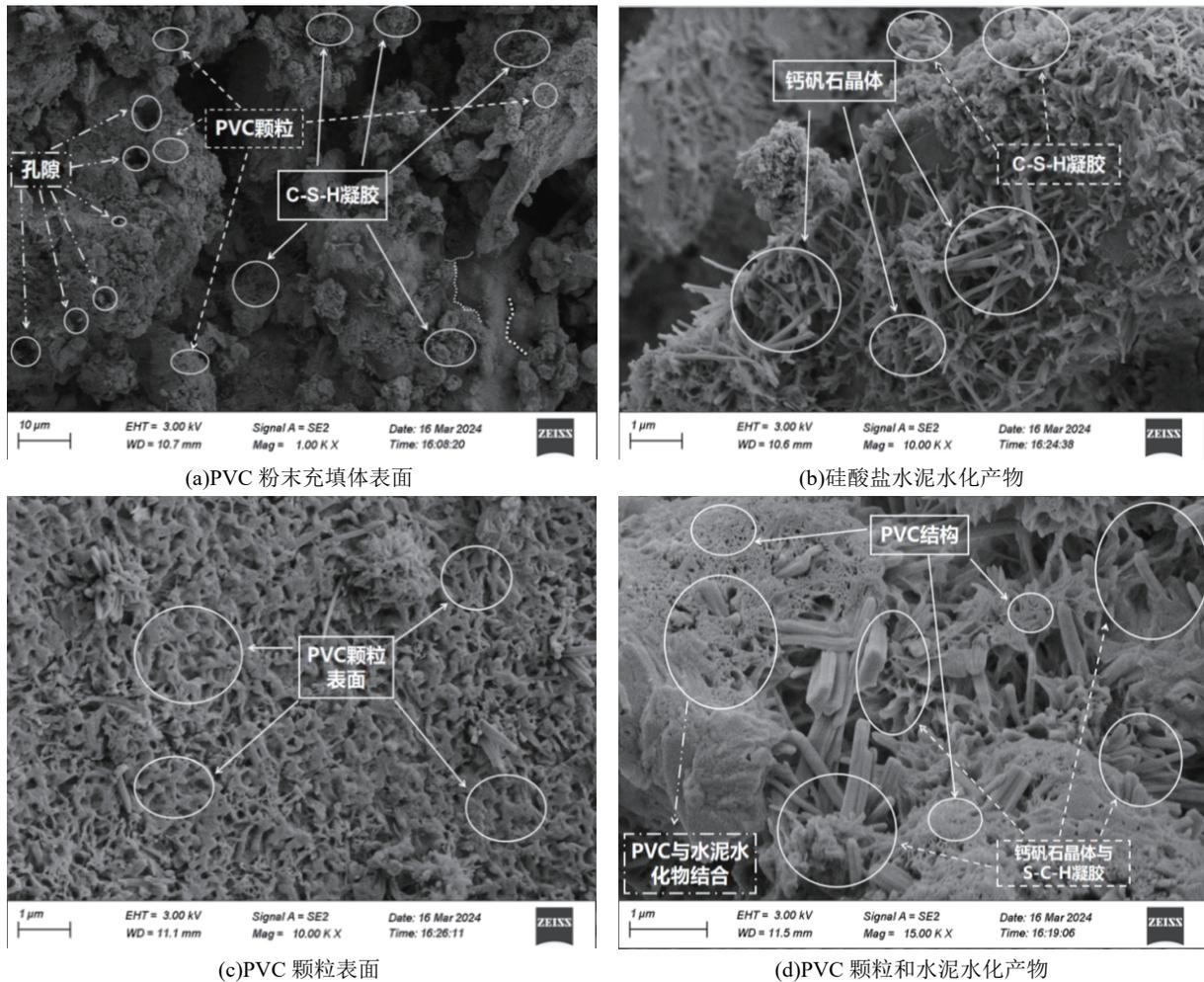


图 7 PVC 粉末掺量为 15% 的充填体的微观形貌

Fig. 7 Microscopic morphology of backfill with 15% PVC powder (a—Surface of PVC powder backfill; b—Hydration products of Portland cement; c—PVC particle surface; d—PVC particles and cement hydration products)

PVC 粉末掺量与充填体的导热系数和比热容的相关系数分别是 0.994 和 0.995, 导热系数与表观密度存在 0.999 的强相关性。

(3) 适量的 PVC 粉末与充填体结合形成致密均匀的结构, 过量的 PVC 粉末阻碍了水泥水化过程, 影响 C-S-H 凝胶的形成, 且由于 PVC 的弱黏结性, 过量的 PVC 粉末会使充填体各成分之间的黏结性降低, 内部孔隙和裂纹增多, 劣化充填体的强度。

实验表明, 在料浆质量浓度 78%、灰砂比 1:4 和 PVC 粉末的掺量为 10% 的条件下, 充填体性能最佳, 此时强度最大, 为 10.782 MPa, 导热系数为 0.921 W/(m·K) 且降幅最大, 比热容则为 1.391 kJ/(kg·K)。本研究是实现合理处置 PVC 废塑料的有效路径, 也是缓解深井开采热害的一种绿色、环保、安全的降温方法。本文仅研究了 PVC 粉末掺量对充填体热学性能的影响, 但其前提是不影响充填体强度要求, 通过相关实验发现适量的 PVC 粉末添加可提升充填体的强度, 后续将开展 PVC 粉末掺量对充填体力学特性以及微观损伤特性的影响, 从而研究不同 PVC 粉末掺量下充填

体的强度变化机理。

参考文献:

- [1] CAI M F, LI P, TAN W H, et al. Key engineering technologies to achieve green, intelligent, and sustainable development of deep metal mines in China[J]. *Engineering*, 2021, 7(11): 1513–1517.
- [2] 康君. 废旧塑料回收利用现状及建议对策[J]. *资源再生*, 2022(5): 30–33.
KANG J. Status quo of waste plastics recycling and countermeasures[J]. *Regeneration*, 2022(5): 30–33.
- [3] 陈伟强, 简小枚, 汪鹏, 等. 全球塑料循环体系演化与我国的应对策略[J]. *资源再生*, 2020(1): 38–39.
CHEN W Q, JIAN X M, WANG P, et al. The evolution of global plastic cycle system and our countermeasures[J]. *Regeneration*, 2020(1): 38–39.
- [4] AHMAD J, ALI M, AHMED B E, et al. A step towards sustainable concrete with substitution of plastic waste in concrete: overview on mechanical, durability and micro structure analysis[J]. *Crystals*, 2022, 12(7): 944.
- [5] EDE A N, GIDEON P O, AKPABOT AI, et al. Review of the properties of lightweight aggregate concrete produced from recycled plastic waste and periwinkle shells[J]. In *Key Engineering Materials*, 2021(876): 83–87.
- [6] KHATIB J M, JAHAMI A, ELKORDI A, et al. Structural assessment of

- reinforced concrete beams incorporating wasteplastic straws[J]. *Environments*, 2020, 7(11): 96.
- [7] FAEZ A S, USMAN F, HAYDER G, et al. Evaluation of some beneficial environmental impacts and enhanced thermal properties resulting from waste plastic integration into concrete[J]. *Annales de Chimie. Science des Matériaux*, 2023, 47(3): 165–178.
- [8] POONYAKAN A, RACHAKORNKIJ M, WECHARATANA M, et al. Potential use of plastic wastes for low thermal conductivity concrete[J]. *Materials (Basel, Switzerland)*, 2018, 11(10).
- [9] CERAN Ö B, ŞİMŞEK B, UYGUNOĞLU T, et al. PVC concrete composites: Comparative study with other polymer concrete in terms of mechanical, thermal and electrical properties[J]. *The Journal of Material Cycles and Waste Management*, 2019, 21(4): 818–828.
- [10] HALIM N F A, TAIB N, AZIZ Z A. The performance of thermal property in concrete containing waste pet (polyethylene terephthalate) as an alternative sustainable building material[J]. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020, 452(1): 012108.
- [11] BAHJI S, OMARY S, FEUGEAS F, et al. Fresh and hardened properties of concrete containing different forms of plastic waste—A review[J]. *Waste Management*, 2020(113): 157–175.
- [12] BAMIGBOYE G O, TARVERDI K, UMOREN A, et al. Evaluation of eco-friendly concrete having waste PET as fine aggregates[J]. *Cleaner Materials*, 2021(2): 100026.
- [13] ACIU C, ILUTIU-VARVARA D A, MANEA D L, et al. Recycling of plastic waste materials in the composition of ecological mortars[J]. *Procedia Manufacturing*, 2018(22): 274–279.
- [14] RUIZ-HERRERO J L, VELASCO NIETO D, LÓPEZ-GIL A, et al. Mechanical and thermal performance of concrete and mortar cellular materials containing plastic waste[J]. *Construction and Building Materials*, 2016(104): 298–310.
- [15] ALI K, SAINGAM P, MUHAMMAD IQ, et al. Influence of recycled plastic incorporation as coarse aggregates on concrete properties[J]. *Sustainability*, 2023, 15(7): 5937.
- [16] SHARMA N. Influence of PVC waste powder and calcined clay on the properties of concrete[J]. *AIP Conference Proceedings*, 2023, 2721(1): 020001.
- [17] 李庆坤. 聚氯乙烯塑料改性胶结充填体力学特性试验研究[D]. 青岛: 青岛科技大学, 2023.
- LI Q K. Experimental study on mechanical properties of polyvinyl chloride modified cemented backfill[D]. Qingdao: Qingdao University of Science and Technology, 2023.
- [18] FRIGIONE M. Recycling of PET bottles as fine aggregate in concrete[J]. *Waste Management*, 2010(30): 1101–1106.
- [19] 徐敏, 雷俊伟, 高瑞通, 等. 聚氯乙烯热解动力学及热解产物组成研究[J]. *石油学报 (石油加工)*, 2024, 40(2): 462–471.
- XU M, LEI J W, GAO R T, et al. Study on the pyrolysis kinetics and pyrolysis products composition of polyvinyl chloride[J]. *Journal of Petroleum (petroleum processing)*, 2024, 40(2): 462–471.
- [20] 王晓军, 蒋旭, 王石, 等. 加气混凝土相变充填体强度及热学特性研究[J]. *地下空间与工程学报*, 2023, 19(2): 391–399.
- WANG X J, JIANG X, WANG S, et al. Study on strength and thermal properties of aerated concrete phase change backfill[J]. *Journal of underground space and engineering*, 2023, 19(2): 391–399.
- [21] SENGUL O, AZIZI S, KARAOSMANOĞLU F, et al. Effect of expanded perlite on the mechanical properties and thermal conductivity of lightweight concrete[J]. *Energy and Buildings*, 2011(43): 671–676.
- [22] ŞİMŞEK B, UYGUNOĞLU T. Multi-response optimization of polymer blended concrete: a TOPSIS based Taguchi application[J]. *Construction and Building Materials*, 2016(117): 251–26211.
- [23] ŞİMŞEK B, UYGUNOĞLU T. A full factorial-based desirability function approach to investigate optimal mixture ratio of polymer concrete[J]. *Polymer Composites*, 2018, 39(9): 3199–3211.

Effect of Polyvinyl Chloride Waste Plastic on the Thermal Properties of Backfill

LI Tingting¹, GUO Jinping¹, WANG Xiaolin¹, LIU Yaxiong², HOU Zhanna¹, WU Qiong¹

1. School of Resources Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, Shaanxi, China;

2. Henan Fender Mining Co., LTD, Luoyang 471000, Henan, China

Abstract: In order to alleviate the heat damage caused by high temperature in deep wells and explore the thermal insulation performance of the polyvinyl chloride (PVC) backfill, thermogravimetry, thermal conductivity, specific heat capacity and micro-morphology of the backfill with 0%~20% PVC powder were measured. The results showed that adding PVC powder can improve the thermal insulation performance of the backfill; PVC particles were combined with the backfill to form a dense and uniform structure. However, due to the weak adhesion of PVC, excessive PVC powder could lead to a loss of adhesion between the components of the backfill, an increase in internal pores and cracks, and a decrease in the compressive strength of the backfill. The compressive strength showed a trend of first increasing and then decreasing with the content of PVC powder. Under the conditions of a slurry mass concentration of 78%, a cement to sand ratio of 1 : 4, and a PVC powder replacement cement content of 10%, the backfill had the best performance. At that time, the compressive strength was the highest, at 10.782 MPa, the thermal conductivity was 0.921 W/(m·K), and the decrease was the largest. The specific heat capacity was 1.391 kJ/(kg·K). This article analyzed the thermal properties of PVC powder backfill, providing new ideas for alleviating thermal hazards in deep well mining.

Keywords: deep well heat damage; PVC powder; thermal performance; thermal insulation performance; thermal conductivity

引用格式: 李婷婷, 郭进平, 王小林, 刘亚雄, 侯展娜, 吴琼. 聚氯乙烯废塑料对充填体热学性能影响实验研究[J]. 矿产保护与利用, 2025, 45(1): 1-7.

LI Tingting, GUO Jinping, WANG Xiaolin, LIU Yaxiong, HOU Zhanna, WU Qiong. Effect of polyvinyl chloride waste plastic on the thermal properties of backfill[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2025, 45(1): 1-7.

投稿网址: <http://kcbhyly.xml-journal.net>

E-mail: kcbh@chinajournal.net.cn