

矿山剥离废石在井下混凝土制备中的循环利用技术研究

焦小波

焦作千业新材料有限公司 河南 焦作 454100

摘要: 本文聚焦于矿山剥离废石中的含土石粉,探讨其在井下混凝土制备中的循环利用技术。通过对含土石粉组分构成与粒度分布的精细检测,将其作为骨料制备喷射混凝土,并深入检测其抗压强度。同时,运用多种手段优化混凝土流动性能、降低回弹率,开展煤矿井下支护试验,形成科学支护工艺,优化喷射混料集的混合、包装、运输、制备方式,形成新型成套技术。该技术不仅提高了资源利用率,缓解资源紧张局面,还具有良好的环境效益和经济效益,为同类型企业的低附加值产品利用提供技术支持与示范。

关键词: 矿山剥离废石; 含土石粉; 井下混凝土制备; 循环利用技术

1 引言

随着矿山开采规模的不断扩大,矿山剥离废石的产生量日益增加。这些废石中往往含有大量的含土石粉,传统的处理方式主要是堆积或填埋,不仅占用大量土地资源,还可能对环境造成污染。而含土石粉成分与建筑原材料相近,具有资源化利用的潜力。将含土石粉用于井下混凝土制备,不仅可以实现废石的有效利用,降低混凝土生产成本,还能减少天然建筑材料的开采,符合绿色矿山的发展理念。因此,开展矿山剥离废石在井下混凝土制备中的循环利用技术研究具有重要的现实意义。

2 含土石粉特性分析

2.1 组分构成检测

含土石粉的组分构成对其作为混凝土骨料的性能有着重要影响。采用多种先进的分析方法对其进行检测。首先运用化学分析方法,通过溶解、沉淀、络合等化学反应,确定其主要元素成分,如硅、铝、铁、钙、镁等的含量。例如,使用氢氟酸-硫酸溶解样品,然后用重量法测定二氧化硅的含量;采用EDTA络合滴定法测定钙、镁的含量。同时,结合X射线衍射(XRD)技术,对含土石粉的矿物组成进行分析。将样品研磨至一定细度后,放置在X射线衍射仪中,通过测量不同角度下的衍射强度,与标准矿物图谱进行对比,确定其主要矿物相,如石英、长石、云母等。此外,还利用扫描电子显微镜(SEM)结合能谱分析(EDS),观察矿物的微观形貌和元素分布情况,进一步了解含土石粉的微观结构。检测结果显示,含土石粉中石英和长石含量较高,石英具有较高的硬度和化学稳定性,能够为混凝土提供一定的强度和耐久性;长石则在水泥水化过程中起到一定的活性作用,促进水泥的水化反应。同时,还含有少量的黏土矿物,如高岭石、蒙脱石等,这些黏土矿物可能会影

响混凝土的流动性和收缩性能。

2.2 粒度分布检测

粒度分布是评价含土石粉能否作为混凝土骨料的重要指标之一。采用激光粒度分析仪对含土石粉进行检测。该仪器利用激光散射原理,通过测量不同角度下的散射光强度,计算出颗粒的粒度分布。在检测过程中,将适量的含土石粉样品分散在分散介质中,超声处理一段时间,使颗粒充分分散。然后将样品放入激光粒度分析仪的测量池中,仪器自动测量并输出粒度分布结果。结果显示其粒度分布范围较广,从几微米到几毫米不等^[1]。合理的粒度分布有助于提高混凝土的密实度和强度。过细的颗粒(小于75 μm)可能会增加混凝土的需水量,降低流动性,同时还可能导致混凝土的收缩增大;过粗的颗粒(大于4.75mm)则可能导致混凝土内部出现缺陷,影响强度。因此,在后续的研究中,需要根据混凝土的性能要求,对含土石粉的粒度分布进行调整和优化。

3 含土石粉基喷射混凝土性能研究

3.1 抗压强度检测

将含土石粉作为骨料,按照不同的配比与水泥、外加剂等制备成喷射混凝土。在制备过程中,严格控制原材料的质量和称量精度,采用强制式搅拌机进行充分搅拌,确保混凝土的均匀性。分别检测其3天、7天、28天的单轴抗压强度。采用压力试验机进行抗压强度测试,将标准立方体试件放置在压力试验机的下压板上,以规定的加荷速度施加荷载,直至试件破坏,记录最大荷载值,根据公式计算抗压强度。实验结果表明,随着含土石粉掺量的增加,喷射混凝土的早期强度(3天、7天)有所降低。这可能是由于含土石粉中的部分矿物成分早期活性较低,水化反应速度较慢,导致混凝土早期强度增长缓慢。但后期强度(28天)逐渐接近甚至超过普通

喷射混凝土。这可能是由于含土石粉中的活性矿物成分在后期发生二次水化反应,生成更多的水化产物,填充了混凝土内部的孔隙,提高了混凝土的密实度和强度。

3.2 流动性能优化

喷射混凝土的流动性能直接影响其施工质量和效率。通过添加高效减水剂等外加剂,优化混凝土的配合比,降低混凝土的黏度和屈服应力,提高其流动性。在优化过程中,采用正交试验设计方法,研究不同减水剂掺量、水胶比、含土石粉掺量等因素对混凝土流动性能的影响^[2]。通过测量混凝土的坍落度和扩展度来评价其流动性能。坍落度是衡量混凝土流动性的重要指标,扩展度则反映了混凝土的流动范围和均匀性。实验发现,当减水剂掺量达到一定比例时,混凝土的流动性能得到显著改善。例如,采用聚羧酸系高效减水剂,掺量为胶凝材料总量的0.8%-1.2%时,混凝土的坍落度可从初始的80mm-100mm提高到180mm-220mm,扩展度可达到400mm-500mm,能够满足井下喷射施工的要求。

3.3 回弹率降低

回弹率是衡量喷射混凝土施工效果的重要指标之一。过高的回弹率不仅会造成材料的浪费,还会增加施工成本。通过优化混凝土的配合比、调整喷射工艺参数等方法,降低喷射混凝土的回弹率。在配合比优化方面,根据含土石粉的特性和混凝土的性能要求,合理调整水泥、含土石粉、砂的比例,增加混凝土的黏聚性。同时,选择合适的外加剂,改善混凝土的工作性能。在喷射工艺参数调整方面,控制喷射压力、喷射角度和喷射距离。喷射压力过高会导致混凝土颗粒反弹严重,回弹率增加;喷射压力过低则会使混凝土无法充分填充到受喷面,影响施工质量。一般将喷射压力控制在0.3MPa-0.5MPa之间。喷射角度应垂直于受喷面,以保证混凝土能够均匀地附着在受喷面上。喷射距离一般控制在0.8m-1.2m之间,过远会使混凝土在飞行过程中发生离析,过近则会使喷射设备受到过多的反弹物料影响。实验结果表明,采用优化后的配合比和喷射工艺,回弹率可降低至8%以下,有效提高了材料的利用率。

4 含土石粉基喷射混凝土支护工艺研究

4.1 煤矿井下支护试验

在煤矿井下选择典型的巷道进行含土石粉基喷射混凝土支护试验。试验前,对巷道的围岩情况进行详细勘察,包括岩石的强度、节理裂隙发育情况、地下水状况等。根据勘察结果,制定合理的支护方案。在试验过程中,严格控制喷射混凝土的配合比、喷射厚度、喷射角度等参数。采用湿喷工艺进行喷射施工,确保混凝土

的均匀性和密实性。同时,对喷射施工过程进行实时监测,记录喷射压力、喷射速度、混凝土用量等数据。通过对支护后的巷道进行长期监测,观察巷道的变形情况和支护效果。监测内容包括巷道的收敛变形、顶板下沉、两帮移近量等。采用收敛计、测杆等仪器进行监测,定期记录监测数据。监测结果显示,含土石粉基喷射混凝土支护能够有效地控制巷道的变形,保证巷道的稳定性。在支护后的6个月内,巷道的收敛变形量控制在30mm以内,顶板下沉量和两帮移近量也均满足设计要求。

4.2 支护工艺形成

根据井下支护试验的结果,总结出含土石粉基喷射混凝土支护工艺。该工艺包括巷道表面处理、喷射混凝土制备、喷射施工、养护等环节。在巷道表面处理环节,要求清除巷道表面的杂物和松动岩石,对不平整的部位进行修整,确保喷射混凝土与巷道表面的粘结强度。采用高压水枪或风镐进行清理和修整工作。在喷射混凝土制备环节,严格按照优化后的配合比进行配料。采用自动计量系统,确保各种原材料的称量精度。在搅拌过程中,先干拌1-2分钟,使各种干料充分混合均匀,然后再加入水和外加剂进行湿拌,湿拌时间不少于3分钟,保证混凝土的均匀性。在喷射施工环节,控制喷射速度和喷射距离,保证喷射混凝土的均匀性和密实性。采用螺旋式喷射方式,使混凝土能够均匀地覆盖在受喷面上。同时,注意喷射顺序,先墙后拱,自下而上进行喷射。在养护环节,采用喷水养护等方法,确保喷射混凝土的强度增长。在喷射后的1-3天内,每2-3小时喷水养护一次;3-7天内,每天喷水养护3-4次;7天后,根据混凝土的实际情况适当减少喷水次数。

5 新型含土石粉基干混湿喷混凝土成套技术研究

5.1 混合方式优化

为了提高含土石粉基干混湿喷混凝土的混合均匀性,对混合方式进行了优化。采用先干混后湿混的两步混合法。在干混阶段,将含土石粉、水泥、粉煤灰等干料放入卧式强制式干混机中,搅拌时间为3-5分钟,使干料充分混合均匀。干混机的搅拌速度控制在15-20r/min,确保各种干料能够充分分散^[3]。在湿混阶段,将干混好的物料输送到双卧轴强制式湿混机中,加入水和外加剂,搅拌时间为5-7分钟。湿混机的搅拌速度控制在25-30r/min,使混凝土达到良好的工作性能。实验结果表明,两步混合法能够有效提高混凝土的混合均匀性,减少离析现象的发生。通过检测混凝土的均匀性指标,如含气量、坍落度经时损失等,发现采用两步混合法制备的混凝土均匀性明显优于一次混合法。

5.2 包装、运输方式研究

针对含土石粉基干混湿喷混凝土的特点,研究了合适的包装和运输方式。采用专用的包装袋进行包装,包装袋采用高强度、防潮、防漏的材料制成,确保混凝土在运输过程中不受污染和损坏。在包装过程中,采用自动包装机进行定量包装,保证每袋混凝土的重量误差控制在 $\pm 0.5\text{kg}$ 以内。同时,在包装袋上标明混凝土的品种、强度等级、生产日期等信息。优化运输路线和运输工具,减少运输时间和颠簸。选择平坦、畅通的运输路线,避免在运输过程中出现急刹车、急转弯等情况。运输工具采用混凝土搅拌运输车,在运输过程中,搅拌罐保持 $2\sim 4\text{r/min}$ 的慢速转动,防止混凝土发生离析。

5.3 制备方式创新

开发了一种新型的含土石粉基干混湿喷混凝土制备设备。该设备主要由干混系统、湿混系统、计量系统、输送系统和控制系统组成。干混系统采用卧式强制式干混机,具有搅拌速度快、混合均匀等优点。湿混系统采用双卧轴强制式湿混机,能够有效保证混凝土的搅拌质量。计量系统采用高精度的电子秤和流量计,对各种原材料的称量精度控制在 $\pm 1\%$ 以内。输送系统采用螺旋输送机和皮带输送机,实现原材料的自动输送。控制系统采用PLC控制系统,实现设备的自动化操作和监控。通过该设备制备的混凝土质量稳定,能够满足井下施工的要求。同时,该设备具有生产效率高、占地面积小等优点,能够有效降低生产成本。

5.4 成套技术形成

综合以上研究成果,形成了新型含土石粉基干混湿喷混凝土成套技术。该成套技术包括含土石粉检测与预处理、干混湿喷混凝土制备、包装运输、井下喷射施工等环节。在含土石粉检测与预处理环节,采用先进的检测方法和设备,对含土石粉的组分构成和粒度分布进行检测,并根据检测结果进行预处理,如筛分、粉磨等,使其满足混凝土骨料的要求。在干混湿喷混凝土制备环节,严格按照优化后的配合比和制备工艺进行生产,确保混凝土的质量稳定。在包装运输环节,采用专用的包装袋和运输工具,保证混凝土在运输过程中不受损坏。

在井下喷射施工环节,按照支护工艺要求进行施工,确保支护效果。

6 经济效益与环境效益分析

6.1 经济效益分析

含土石粉基喷射混凝土的生产和应用具有显著的经济效益。一方面,利用含土石粉作为骨料,降低了混凝土的生产成本^[4]。另一方面,含土石粉基喷射混凝土的应用提高了施工效率,缩短了工期。由于该混凝土具有良好的流动性能和较低的回弹率,施工过程中无需多次清理回弹物料,减少了施工时间。

6.2 环境效益分析

该技术具有良好的环境效益。一方面,将含土石粉资源化利用,减少了废石的堆积和填埋,降低了对土地资源的占用和环境污染。另一方面,减少了天然建筑材料的开采,保护了生态环境。同时,含土石粉基喷射混凝土的生产和应用过程中,能耗较低,符合节能减排的要求。

结语

本研究聚焦矿山剥离废石中含土石粉的循环利用技术,成果显著。明确了其组分构成与粒度分布,为作混凝土骨料提供依据;优化了含土石粉基喷射混凝土性能,确定合理配比;形成支护工艺与新型成套技术。该技术兼具经济与环境效益,助力矿山企业可持续发展。未来可从三方面深入:一是探究含土石粉化学成分与矿物组成对混凝土作用机理的影响,优化性能;二是开展其不同地质条件下的应用研究,拓宽应用范围;三是加强与企业合作,推动产业化应用,实现效益最大化。

参考文献

- [1] 张晓刚,宋少民,刘枫,等.矿山废石制备砂石骨料的现状研究综述[J].粉煤灰综合利用,2023,37(06):55-63.
- [2] 张存仁,杨健康,李新,等.矿山剥离废石在水泥生产中的综合利用[J].中国水泥,2017,(04):122-123.
- [3] 高天龙,尹兴思.四川某矿山废石资源化再利用高效综合回收[J/OL].矿产综合利用,1-12[2025-04-24].
- [4] 李思拓.某石材矿山废石加工砂石骨料综合利用方案[J].石材,2023,(08):145-147.