

一种模拟人体掩埋应急救援训练中掩埋材料

王 飞¹ 张 伟² 张哲鹏³ 张健强⁴ 马 帅³

1. 甘肃省消防救援总队平凉市支队华亭市大队 甘肃 平凉 730030
2. 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司 陕西 西安 710000
3. 陕西中洋建设工程有限公司 陕西 西安 710000
4. 甘肃省地震局 甘肃 兰州 730000

摘要：模拟人体掩埋应急救援训练中，掩埋材料至关重要。本文阐述其对材料的性能要求，包括真实、安全、易操作及经济环保性。介绍材料研发制备，涵盖成分选择、配方设计等环节。论述材料性能测试与分析方法，及在应急救援训练中的应用验证，包括训练场景设计、应用过程和应用效果评估，为模拟人体掩埋材料的研究与应用提供参考。

关键词：模拟人体；应急救援训练；掩埋材料

1 模拟人体掩埋应急救援训练对掩埋材料的性能要求

1.1 真实性要求

在模拟人体掩埋应急救援训练中，掩埋材料的真实性至关重要，它直接关系到训练效果能否真实反映实际救援场景。首先，从外观上看，掩埋材料应尽可能模拟真实掩埋环境的视觉特征。其次，物理性质方面，掩埋材料的密度、硬度等参数应与真实掩埋物相符。不同灾害场景下，掩埋物的物理性质差异较大，如在山体滑坡中，掩埋的泥土和岩石具有不同的密度和硬度。模拟材料需要能够准确再现这些差异，使救援人员在训练中能体验到与实际救援相似的挖掘阻力、物体移动难度等，更好地掌握应对不同掩埋情况的技巧。材料与人体模型的相互作用也应具有真实性。当救援人员进行挖掘操作时，掩埋材料与人体模型的接触、摩擦等行为要符合实际情况，避免出现过于光滑或过于黏连等不真实的情况，确保救援人员能够准确判断人体模型的位置和状态，提高训练的针对性和有效性。

1.2 安全性要求

安全性是模拟人体掩埋应急救援训练中掩埋材料必须满足的首要条件。由于训练过程中救援人员会与掩埋材料频繁接触，且可能会使用各种救援工具进行挖掘操作，因此材料本身不能对人员造成伤害。一方面，掩埋材料应无毒无害，在材料的成分选择上，要避免使用含有有害化学物质的原料，防止救援人员在接触材料或吸入材料扬起的粉尘后，出现过敏、中毒等健康问题^[1]。另一方面，材料的物理安全性也不容忽视，材料的边缘应光滑，避免出现尖锐棱角，以免在挖掘过程中划伤救援人员的手部或其他部位。材料的结构要稳定，在受到外

力作用时不会轻易崩裂或产生飞溅物，确保训练过程的安全进行。另外，对于一些可能产生粉尘的材料，要采取有效的防尘措施，如添加防尘剂或进行表面处理，降低粉尘对救援人员呼吸系统的危害，保障他们的身体健康。

1.3 操作性要求

良好的操作性能够提高模拟人体掩埋应急救援训练的效率和质量。在搬运方面，材料的重量和体积要适中，过重的材料会增加搬运难度，浪费大量的人力和时间；而过轻的材料则可能在搬运过程中容易被风吹散，影响训练场地的布置。因此，需要根据训练的规模和频率，选择合适重量和体积的材料，确保搬运过程方便快捷。铺设环节要求材料具有良好的可塑性和流动性，能够根据训练场景的设计要求，快速、准确地铺设成各种形状和厚度的掩埋层，模拟出不同的掩埋情况。训练结束后，掩埋材料的清理工作也应简便易行，材料应易于收集和整理，不会残留在训练场地或设备上，以便快速恢复训练场地的原状，为下一次训练做好准备。

1.4 经济性与环保性要求

在经济性方面，模拟人体掩埋材料的成本应尽可能降低，提高训练的可行性和普及性。一方面要选择价格低廉、来源广泛的原材料，避免使用昂贵的稀有材料或进口材料。另一方面要优化材料的制备工艺，提高生产效率，降低生产成本。通过改进生产工艺、减少生产环节等方式，实现大规模、低成本的生产，满足大规模应急救援训练的需求。环保性也是模拟人体掩埋材料研发和应用过程中必须考虑的重要因素。材料在使用过程中不应对环境造成污染，训练结束后，材料要易于回收处理或自然降解。对于可回收的材料，要建立完善的回收

体系，确保材料能够得到再次利用；对于不可回收的材料，应选择对环境影响较小的材料，并采用合理的处理方式，如填埋或焚烧（在符合环保要求的前提下），减少对土壤、水源和空气的污染。

2 模拟人体掩埋材料的研发与制备

2.1 材料成分选择

模拟人体掩埋材料的成分选择需要综合考虑真实性、安全性、操作性和经济性等多方面因素。常见的材料成分包括天然矿物、有机聚合物和添加剂等。天然矿物如沙子、黏土、石子等是模拟掩埋材料的基础成分。沙子可以提供材料的颗粒感和流动性，黏土则能增加材料的粘结性和可塑性，使材料能够更好地成型。石子可以模拟真实掩埋物中的碎石，增加材料的真实感和硬度。这些天然矿物来源广泛、价格低廉，且具有良好的环保性能，是理想的模拟掩埋材料成分。有机聚合物如聚乙烯、聚丙烯等可以用于改善材料的性能。但有机聚合物的使用要适量，避免因添加过多而影响材料的环保性能和成本。添加剂在模拟掩埋材料的制备中也起着重要作用。防尘剂可以减少材料在搬运和使用过程中产生的粉尘，保护救援人员的健康；着色剂可以调整材料的颜色，使其更符合真实掩埋环境的视觉特征；固化剂可以加速材料的凝固和成型，提高生产效率^[2]。

2.2 配方设计

配方设计是模拟人体掩埋材料研发的关键环节，需要根据材料的性能要求和使用场景，合理确定各种成分的比例。在确定天然矿物的比例时，要考虑材料的真实性和操作性。有机聚合物的添加量要根据材料的强度和韧性要求进行调整。一般来说，添加量不宜过多，以免影响材料的环保性能和成本。同时要选择合适的有机聚合物种类，使其与天然矿物能够良好地相容，发挥协同作用。添加剂的用量要精确控制，以达到最佳的效果。防尘剂的添加量要根据材料的粉尘产生情况确定，既要有效减少粉尘，又不能影响材料的性能；着色剂的用量要根据所需颜色进行调整，确保材料的颜色均匀、逼真。

2.3 制备工艺研究

制备工艺直接影响模拟人体掩埋材料的质量和性能。混合搅拌是将各种原材料充分混合均匀的过程。在搅拌过程中，要控制好搅拌速度和时间，确保各种成分能够均匀分散，避免出现局部成分过多或过少的情况。可以采用机械搅拌或人工搅拌的方式，对于大规模生产，机械搅拌更为高效、均匀。成型是将混合好的材料制成所需形状的过程。根据不同的训练场景和要求，采用不同的成型方法，如压制成型、浇筑成型等。压制成

型适用于制作形状规则的材料，如砖块状的掩埋物；浇筑成型则可以制作形状复杂的材料，如模拟建筑物倒塌后的废墟形状。固化是使成型后的材料具有一定强度和稳定性的过程。对于一些需要快速固化的材料，可以添加适量的固化剂；对于自然固化的材料，要控制好固化环境，如温度、湿度等，以确保材料能够正常固化，达到所需的性能要求。

2.4 材料形态调控

材料形态调控是为了使模拟人体掩埋材料更好地满足不同训练场景的需求。通过调控材料的形态，可模拟出各种真实的掩埋情况，提高训练的针对性和有效性。可通过改变材料的颗粒大小和形状来调控其形态。材料的堆积方式也会影响其形态。采用不同的堆积角度和密度，可以模拟出不同的掩埋结构，如松散的堆积模拟轻微的掩埋情况，紧密的堆积模拟严重的掩埋情况。还可以利用模具和造型工具对材料进行进一步的形态塑造。通过制作各种形状的模具，可以制作出具有特定形状的掩埋物，如模拟家具、车辆等被掩埋的物体，使训练场景更加逼真。

3 模拟人体掩埋材料的性能测试与分析

3.1 物理性能测试

物理性能测试是评估模拟人体掩埋材料性能的重要手段，密度测试可以通过测量材料的质量和体积来计算得出。不同灾害场景下的掩埋物密度差异较大，通过测试模拟材料的密度，可以判断其是否符合真实掩埋物的密度要求，从而为训练提供更真实的环境。硬度测试可以采用硬度计进行测量，硬度反映材料的抵抗外力压入的能力，对于模拟不同硬度的掩埋物，如坚硬的岩石和柔软的泥土，硬度测试可以帮助评估材料的真实性和适用性。强度测试包括抗压强度、抗拉强度等，抗压强度测试可以确定材料在受到垂直压力时的承载能力，抗拉强度测试可以了解材料在受到拉伸力时的抗拉性能。这些强度指标对于评估材料在训练过程中的稳定性和耐用性非常重要。流动性测试主要针对一些需要模拟流动掩埋物的材料，如泥石流掩埋材料。通过测试材料的流动性，可以判断其在模拟流动过程中的行为是否符合实际情况，为训练提供准确的参考。

3.2 安全性能测试

安全性能测试是确保模拟人体掩埋材料在使用过程中不会对救援人员造成伤害的关键环节。主要包括毒性测试、刺激性测试和粉尘浓度测试等。毒性测试可以通过动物实验或化学分析的方法，检测材料中是否含有有害化学物质，如重金属、有毒气体等^[3]。确保材料在使用

过程中不会对救援人员的身体健康产生危害。刺激性测试主要是检测材料对皮肤、眼睛和呼吸道的刺激性。通过让志愿者接触材料或其提取物，观察是否出现过敏、红肿、流泪、咳嗽等刺激症状，评估材料的安全性。粉尘浓度测试是在材料搬运和使用过程中，测量空气中粉尘的浓度。粉尘浓度过高会对救援人员的呼吸系统造成损害，因此要确保材料在使用过程中产生的粉尘浓度符合相关安全标准。

3.3 功能性测试

功能性测试主要评估模拟人体掩埋材料在实际训练中的应用效果，包括与人体模型的相互作用、挖掘难度模拟等方面。与人体模型的相互作用测试可以观察材料在覆盖人体模型时的贴合程度、稳定性等。材料应能够紧密地贴合人体模型，模拟出真实的掩埋状态，在挖掘过程中，材料与人体模型的分离情况要符合实际救援情况。挖掘难度模拟测试是让救援人员使用真实的救援工具对模拟掩埋材料进行挖掘操作，评估挖掘过程中的阻力、速度等指标。通过与实际救援情况进行对比，判断材料是否能够准确模拟出不同掩埋情况下的挖掘难度，为训练提供有效的反馈。

3.4 对比分析

将模拟人体掩埋材料的测试结果与真实掩埋物的性能进行对比分析，评估模拟材料的逼真度和适用性。通过对比分析，可以发现模拟材料与真实掩埋物之间的差异，找出存在的问题和不足之处，为材料的改进和优化提供依据。同时，还可以将不同配方和制备工艺的模拟材料进行对比分析，选择性能最优的材料用于应急救援训练。对比分析可以从物理性能、安全性能和功能性等多个方面进行综合评估，确保选用的模拟材料能够满足训练的要求。

4 模拟人体掩埋材料在应急救援训练中的应用验证

4.1 训练场景设计

根据不同的灾害类型和救援任务，设计多样化的训练场景是应用验证的关键。例如，可以设计地震废墟掩埋场景，模拟建筑物倒塌后形成的复杂废墟结构，包括狭窄的空间、不稳定的结构等；设计山体滑坡掩埋场景，模拟大量的泥土和岩石掩埋道路和村庄的情况；设计泥石流掩埋场景，模拟泥石流携带的大量泥沙和杂物对人员和设施的掩埋。在训练场景设计中，要充分考虑模拟人体掩埋材料的特点和性能，合理布置掩埋物的位置、厚度和形状，使训练场景尽可能接近真实灾害现

场。要设置不同的救援难度级别，以满足不同层次救援人员的训练需求。

4.2 训练应用过程

在训练应用过程中，救援人员按照实际救援的流程和规范，使用各种救援工具对模拟掩埋材料进行挖掘和救援操作^[4]。在操作过程中，要记录救援人员的工作效率、操作技巧和遇到的问题等信息。观察救援人员与模拟掩埋材料的相互作用情况，如挖掘阻力、材料与人体模型的分离情况等，评估模拟材料的真实性和适用性。同时，要注意救援人员的安全，确保训练过程在安全的环境下进行。

4.3 应用效果评估

应用效果评估是对模拟人体掩埋材料在应急救援训练中实际效果的全面评价。可从救援效率、救援质量、救援人员反馈等方面进行评估。救援效率评估主要考察救援人员在规定时间内完成救援任务的情况，包括挖掘速度、救援人数等指标。通过与实际救援情况进行对比，评估模拟材料对救援效率的影响。救援质量评估主要关注救援过程中对人体模型的保护情况，如是否造成二次伤害、救援方法是否正确等。模拟材料应能够使救援人员在训练中掌握正确的救援技巧，提高救援质量。

结束语

模拟人体掩埋材料在应急救援训练里意义重大，其性能优劣直接影响训练成效。通过对材料性能要求、研发制备、测试分析及应用验证等多方面的研究，能不断优化材料，提升训练的真实性、安全性与有效性。未来，还需持续探索创新，推动材料发展，为应急救援训练提供更有力支持，保障救援人员技能提升与救援行动顺利开展。

参考文献

- [1]刘刚.信息技术在应急救援训练安全中的应用[J].科海故事博览,2023(23):100-102.
- [2]蒋德娟,姚叶豹,殷爱民,等.核应急医学救援训练中辐射侦检工作的实践与思考[J].中国急救复苏与灾害医学杂志,2025,20(6):734-736,741.
- [3]杨三军,王昆,高笛,等.应急救援人群高强度功能训练的应用效果与作用机制研究进展[J].体育科学,2023,43(3):58-68.
- [4]商宇慧,刘虎,杨帅,等.基于虚拟仿真的航空应急救援协同训练技术研究[J].航空工程进展,2024,15(6):268-278.