

# 超高分子量聚乙烯（UHMWPE）防弹数据库构建及软件著作权申请研究方案评估报告

## I. 执行摘要

本报告对“超高分子量聚乙烯（UHMWPE）防弹数据库构建及软件著作权申请”研究方案（以下简称“方案”）进行全面而深入的评估。方案旨在构建一个综合性的 UHMWPE 防弹材料数据库，并申请相应的软件著作权，以期为 UHMWPE 材料的研发、性能预测、质量监控及应用推广提供关键数据与技术支持。

总体而言，该方案具有显著的科学价值和应用前景。UHMWPE 材料因其卓越的性能，在防弹领域的应用日益广泛，一个专门的、高质量的数据库无疑将推动该领域的发展。方案提出的数据库模块化设计思路清晰，涵盖了材料管理、性能数据管理、文献管理、工具及系统管理等核心功能，体现了对材料数据复杂性的基本认知。数据采集策略考虑了文献、实验、历史数据和模拟仿真等多种途径，并强调了测试条件的可追溯性和数据标准化，这些均为构建高质量科学数据库的关键要素。同时，方案对软件著作权申请流程的规划也较为完整。

然而，方案在若干关键方面尚需深化和完善。首先，虽然提及了材料基因数据库的构建理念，但方案在如何具体实践数据驱动的材料研发新范式，特别是如何实现数据的深度关联、挖掘与智能应用方面着墨不多。其次，数据采集的难度，尤其是核心防弹性能数据和企业专有数据的获取，可能被低估，需要更具体的合作机制和激励措施。第三，在数据标准化和质量控制方面，虽然提出了要求，但具体执行方法、工具以及如何确保不同来源数据的语义一致性和可比性，有待进一步细化。第四，数据库功能方面，尽管提及了数据可视化，但其重要性应予提升，并应考虑加入更高级的数据分析与挖掘工具，以充分发挥数据库的潜力。第五，技术路线虽然合理，但对于这样一个涉及多源异构数据、需要长期维护和更新的科研数据库，采用更为敏捷和迭代的开发模式可能比传统的瀑布模型更为适宜。最后，方案对风险的识别尚可，但在应对策略的深度和广度上，尤其是在数据共享的知识产权问题、数据库长期可持续运营等方面，需要更周全的考虑。

本报告将从项目目标、研究内容与方法、技术路线、预期成果及风险对策等多个维度，结合相关研究文献和行业最佳实践，对方案进行详细评述，并提出针对性的改进建议，旨在帮助项目团队优化方案，提升项目成功实施的概率及其最终成果的影响力。

## II. 引言

### 报告目的

本报告旨在对提交的“超高分子量聚乙烯（UHMWPE）防弹数据库构建及软件著作权申请”研究方案进行专业、深入的审查与评估。此次评估将全面考察方案的科学价值、技术可行性、方法论的合理性以及其为达成既定目标所制定计划的充分性。

## 方案范围与目标概述

该研究方案规划了一个旨在建立全面 UHMWPE 防弹材料数据库的项目，该数据库将系统整合 UHMWPE 纤维、树脂、复合材料及其最终产品（如防弹衣、头盔）的性能数据，特别是关键的防弹性能数据。方案明确指出，数据库的建立将为材料研发、性能预测、质量监控及应用推广提供数据支持和技术支撑。项目的一个核心目标是为此数据库系统申请软件著作权。方案详细阐述了预期的数据库结构、数据采集方法、核心功能、技术实现路径以及风险管理策略。

## UHMWPE 在防弹应用中的重要性

超高分子量聚乙烯（UHMWPE）由于其卓越的强度重量比、高耐磨性、低比重以及出色的能量吸收能力，已成为现代防弹保护领域中的关键材料<sup>1</sup>。从单兵防护装备（如防弹衣、头盔）到车辆和航空器的装甲防护，UHMWPE 及其复合材料的应用显著提升了防护效能并减轻了系统负重。因此，构建一个专门针对 UHMWPE 防弹性能的综合数据库，对于推动该材料的持续优化、加速新型防护产品的开发以及制定相关的材料与测试标准具有重要的现实意义和战略价值。

## III. 项目目标与意义评估

### 项目既定目标的评估

方案提出的核心目标是建立一个“全面的超高分子量聚乙烯（UHMWPE）防弹材料数据库”，并基于此数据库申请软件著作权。此主要目标具备充分的科学依据，并切中了材料科学与国防工业领域的实际需求。方案准确地预见到了该数据库在支持材料研发、性能预测、质量监控及应用推广方面的潜力。将软件著作权申请作为次级目标，是保护项目开发过程中产生的知识产权的务实步骤。

### 重要性与潜在影响

一个集中化、精心管理和维护的 UHMWPE 防弹数据库，其潜在影响深远。首先，它能够显著加速研究进程，通过减少重复性的数据搜集工作，并为数据分析和模型开发提供一个通用平台。这与“材料基因组工程”（Materials Genome Initiative, MGI）等国际倡议的核心宗旨相契合，即通过数据共享和集成化的计算与实验工具来加速新材料的发现与应用<sup>25</sup>。其次，该数据库有望促进科研机构与产业界之间的合作，通过提供标准化的数据资源，推

动产学研协同创新。例如，行业大数据平台的构建被认为是推动国产 UHMWPE 纤维创新发展的重要支撑<sup>34</sup>。再次，通过整合分析数据库中的数据，研究人员能够更有效地识别材料组分、微观结构、加工工艺与宏观性能（尤其是防弹性能）之间的复杂关系，从而指导新型高性能 UHMWPE 基防弹材料的设计。

## 深层关联与启示

方案对“防弹性能数据”的侧重是正确的，然而，该数据库的真正价值将在这些防弹数据与材料的微观结构信息、加工工艺参数以及其他力学、热学性能数据深度融合时才能得到最大程度的体现。这种多维度数据的整合，使得研究人员能够进行更全面的多变量分析，探索材料性能的内在驱动因素。例如，数据库若能支持诸如“查询在特定加工条件下，结晶度大于 X%、纤维取向度为 Y 的 UHMWPE 复合材料的防弹数据”这样的复杂请求，其对于材料设计的指导意义将远超简单罗列各项孤立性能的数据库。目前，方案已提及将搜集多种类型的性能数据，包括纤维的分子量、力学性能（常温/变温拉伸、蠕变、动态拉伸）、热性能（DSC, TGA, 热导率），微观结构特征（固态 NMR、拉曼光谱、声速模量、SEM、XPS），树脂及界面性能，以及复合材料的结构与性能等。这些数据的全面性是构建高级关联分析的基础<sup>5</sup>。而防弹性能本身也涉及复杂的测试参数，如枪械类型、子弹规格、穿透层数、凹陷深度等<sup>2</sup>。

关于软件著作权的申请<sup>67</sup>，其成功不仅取决于数据库本身的构建，更依赖于围绕数据库开发的软件工具的创新性和实用性。例如，如果能开发出独特的弹道数据检索算法、针对 UHMWPE 特性的可视化方法或集成的数据分析模块，这将大大增强软件的著作权价值。中国的软件著作权登记主要保护软件代码和结构的表达形式，而非数据本身<sup>67</sup>。因此，方案中应更详细地阐述这些潜在的软件创新点，而不仅仅是标准的数据库操作功能。

从更广阔的视角看，此项目若能成功实施，特别是在整合国内标准（如方案中提及的 GA 141-2010<sup>34</sup>）与国际通用数据格式和规范方面取得突破，将可能为中国其他特种材料数据库的建设树立一个标杆，从而在推动国内材料数据化、信息化的同时，促进与国际研究界的接轨和数据共享。

## IV. 研究内容与方法评述

### A. 数据库设计与架构

方案提出的数据库模块化结构，包括材料管理、性能数据管理、文献管理、工具模块和系统管理模块，是构建科学数据库的合理且常规的起点。

- **材料管理模块：**对 UHMWPE 相关的纤维、树脂、复合材料及终端产品（如防弹衣、头盔）的基本信息，如材料牌号、批号、生产日期、来源等进行分类管理，这是确保

数据可追溯性的基础。

- **性能数据管理模块**：作为核心模块，负责管理各类材料的物理、化学、力学、热学、微观结构、界面性能及最重要的防弹性能数据。方案强调记录详细的测试条件（试验类型、测试方法/标准、测试单位、时间、环境参数等），这对于保证数据的科学性和可比性至关重要，符合科研数据管理的基本要求<sup>28</sup>。
- **文献管理模块**：整合与 UHMWPE 防弹性能相关的重要参考文献、测试标准和方法索引，为数据提供必要的背景信息和验证依据。
- **工具模块**：实现数据的增删改查、导入导出及动态更新等基本功能，是数据库可用性的基本保障。
- **系统管理模块**：负责用户权限管理，确保数据安全和分级访问，这对于包含敏感或专有数据的数据库尤为重要。

方案提及“依据《数据库技术报告》中的材料基因数据库构建理念”，这表明项目团队认识到需要遵循现代材料数据管理的前沿思想。材料基因工程（MGI）的核心理念在于通过整合计算、实验和理论数据，并利用数据科学方法，来加速新材料的发现和应用<sup>25</sup>。传统的材料数据库往往只收集处理后的分析结果，而源数据分散且格式各异，不利于再利用<sup>26</sup>。MGI 则倡导捕获更原始的数据和详尽的元数据，以支持数据的再分析和新知识的发现。方案中对测试条件详细记录的承诺是朝此方向迈出的一步，但对于原始数据（例如，完整的应力-应变曲线数据点、高速摄像的原始视频、传感器原始信号等）与处理后的参数（如平均强度、V50 值）的存储策略，方案需要更明确的阐述。

FAIR 原则（Findable, Accessible, Interoperable, Reusable）是 MGI 和现代科学数据管理的核心<sup>28</sup>。方案在设计阶段应明确如何具体落实这些原则：

- **Findable（可发现）**：如何确保数据易于查找？例如，是否会为每条记录或数据集分配持久唯一标识符（如 DOI）？元数据是否足够丰富以支持高效检索？
- **Accessible（可获取）**：数据将如何被访问？访问权限如何管理？对于非结构化数据（如方案中提及的图片、PDF），其访问机制如何？
- **Interoperable（可互操作）**：如何确保数据能与其他系统或数据库交换和使用？是否会采用标准化的数据模型、术语（本体）和交换格式（如 JSON, XML）？
- **Reusable（可重用）**：如何确保数据能被有效地重用？这需要详尽的元数据，清晰的数据许可，以及对数据质量和来源的透明记录。

与现有的材料数据库进行比较，可以为本方案提供有益的借鉴。例如，PoLyInfo 数据库系统地提供了聚合物材料设计所需的各种数据，包括性能、化学结构、IUPAC 名称、样品处理方法、测量条件以及相关的单体和聚合信息，其数据主要来源于学术文献<sup>80</sup>。

MatWeb 则提供了大量工程材料（包括聚合物）的性能数据表，支持按材料类型、性能参数、制造商等进行搜索<sup>85</sup>。NIST 弹道工具痕迹研究数据库（NBTRD）则专注于弹道痕



迹数据，包含 2D 图像和 3D 形貌数据，旨在为法庭科学提供支持<sup>95</sup>。这些数据库在数据组织、检索功能和用户界面方面均有其特点，值得本方案在设计时参考。

关于数据库后端技术选型，方案建议采用 SQL Server。SQL Server 作为一款成熟的关系型数据库管理系统（RDBMS），具备处理大规模数据集、提供安全保障以及集成报表与分析服务（如 SSRS, SSAS, SSIS）的能力<sup>97</sup>。然而，对于科学数据，特别是方案中提及的“图片、PDF 等非结构化数据”，其存储方式需要审慎考虑。若此类文件较大（例如大于 1MB），直接以 BLOB 形式存储于数据库内可能会影响性能，而 SQL Server 的 FILESTREAM 特性允许将这些文件存储在文件系统中，同时保持与数据库的事务一致性，这可能是一个更优的选择<sup>99</sup>。数据库的模式设计对于支持涉及多维度参数（材料组分、加工工艺、微观结构、性能参数、弹道测试结果等）的复杂查询至关重要，SQL Server 虽能支持大规模数据，但高效查询的实现高度依赖于优化的表结构和索引策略<sup>97</sup>。

一个值得深入探讨的设计方向是材料数据表示的灵活性。UHMWPE 材料体系本身具有层级性：从纤维到纱线，再到织物/单向带（UD）预浸料，然后是层压板，最终形成复合材料部件和终端产品。每一层级都有其特定的属性和加工参数。传统的二维关系模型在表达这种复杂的层级关系和多对多关联时可能显得笨拙。相比之下，图数据库模型（Graph Database Model）或者基于图模型的材料数据结构，如 CRIPT（Community Resource for Innovation in Polymer Technology）项目所采用的，可能为表示聚合物材料的复杂性提供更高的灵活性和查询效率<sup>31</sup>。CRIPT 的数据模型包含项目（Project）、集合（Collection）、实验（Experiment）、材料（Material）、过程（Process）、数据（Data）等核心节点，这种结构化方式更易于遵循 FAIR 原则并表达材料从合成到应用的完整生命周期。虽然 SQL Server 本身是关系型的，但也可以通过设计来模拟图结构，或者在项目后期考虑引入图数据库技术作为补充。

此外，方案中“工具模块”当前定义的功能较为基础（增删改查、导入导出）。为了真正体现 MGI 的理念，即利用数据加速材料创新，该模块应被赋予更高级的数据分析与信息学功能。例如，集成统计分析工具、机器学习模型接口，以支持基于数据库内容的性能预测或材料设计优化。SQL Server 本身也提供机器学习服务，支持 R 和 Python 语言的集成<sup>97</sup>，这为在数据库平台内构建高级分析功能提供了可能性。方案中已将“性能预测”列为目标之一，工具模块正是实现这一目标的技术载体。

数据库技术和模式的选择对未来与其他 MGI 兼容数据库的互操作性具有长远影响。从项目伊始就采纳通用的 MGI/FAIR 数据原则，并尽可能采用材料科学领域的标准化本体和数据格式，对未来的数据整合与协作至关重要<sup>28</sup>。

表 1：方案数据库模块与现有材料数据库特性对比

方案模块	核心功能 (据方案)	PoLyInfo 对 应特性	MatWeb 对 应特性	CRIPT 对应 节点/特性	MGI/FAIR 原则符合性 评估
材料管理模块	UHMWPE 纤维、树脂、复合材料、终端产品（牌号、批号、日期、来源）分类管理	聚合物名称、分类、化学结构、分子量、聚合信息、商品名、制造商	材料类型、制造商、商品名搜索；材料数据表	材料节点（Material）：标识符（SMILES, BigSMILES, 名称）、组分、化学式；清单节点（Inventory）	支持可查找性（F）、可获取性（A）的基础；需定义清晰的材料标识符体系以增强互操作性（I）和可重用性（R）
性能数据管理模块	物理、化学、力学、热学、微观结构、界面、防弹性能数据管理；测试条件追溯	约 100 种性能（热、电、力学等）；测量条件、样品处理方法记录	详细的材料性能数据表（物理、力学、热学、电学等），常引用测试标准	数据节点（Data）：链接原始/处理后的实验或计算数据；属性（Property）子对象：记录具体性能值、单位、条件	核心在于元数据丰富性。详细记录测试条件、方法（标准）是实现可重用性（R）和互操作性（I）的关键。
文献管理模块	重要参考文献、测试标准、测试方法索引管理	数据来源于学术文献，提供文献引用信息	数据来源于制造商、手册、专业协会，部分数据表可能含文献来源	参考文献节点（Reference）：引用外部文献；文件节点（File）：可链接至标准文档 PDF	支持数据的可验证性和可追溯性，是可重用性（R）的重要组成部分。
工具模块	数据增删改查、导入导出、动态更新	多种搜索方式（基本、高级、结构、单体）；数据预	高级搜索（需注册）、按属性/类别/制造商等搜索；数	API 接口；数据上传/下载；图形用户界面（GUI）	基本功能满足可获取性（A）和部分可重用性

		测系统； NMR 数据库	据下载（高级 功能）	进行数据操作	（R）：高级 分析工具的缺 乏可能限制其 在 MGI 框架 下的深度应 用。
系统管理模块	用户权限管 理，数据安 全，分级访问	用户注册，有 使用条款（如 禁止大量下 载）	免费访问大部 分数据，高级 功能需注册/ 付费	用户 （User）和 组（Group） 节点管理访问 权限：公共 （public）属 性控制数据共 享	保障数据的安 全性和可控共 享，是可获取 性（A）和部 分可重用性 （R）的必要 条件。

通过此表对比可见，方案的模块设计具备了科学数据库的基本框架。然而，与 CRIPT 等更现代的、深度贯彻 FAIR 原则的材料数据平台相比，方案在数据模型的灵活性、过程（Process）和计算（Computation）数据的显式表达、以及高级分析工具的集成方面尚有提升空间。

B. 数据采集策略与内容范围

方案提出的数据来源包括公开文献与标准、实验测试、历史实验数据收集以及模拟仿真，这是一个全面且合理的策略。

- **公开文献与标准：**收集研究论文、专利、行业标准和测试方法是构建数据库内容的基础，能够快速积累一定量的数据，并为实验设计和数据解读提供依据<sup>2</sup>。
- **实验测试：**自行开展或委托专业机构进行测试，特别是防弹性能测试，并参考如“《超高分子量聚乙烯纤维布防弹试验》”的流程，是获取高质量、高可信度数据的关键。方案中明确了需记录射击距离、枪械、弹药类型、靶板及样品固定方式、弹着点观察、标定及凹陷深度等数据，这对于保证弹道测试数据的完整性和可比性非常重要。
- **历史实验数据：**收集整理已有的实验数据可以丰富数据库内容，但必须严格把控其完整性和准确性。
- **模拟仿真：**收集或开展材料及结构在冲击载荷下的模拟仿真结果，作为实验数据的补充和验证，体现了计算材料工程的思想，与 MGI 的目标一致。

为了确保数据库的全面性和实用性，建议纳入以下关键数据类别：

- **UHMWPE 纤维性能:**

- 基本信息: 制造商 (如 DSM Dyneema, Honeywell)、牌号 (如 Dyneema SK75, SK76, SK78, SK99, DM20; Spectra Shield SR-3136, Tensylon 等<sup>9</sup>)、纤度 (denier)、生产工艺 (如凝胶纺丝<sup>5</sup>)。
- 分子量与分布: 这是 UHMWPE 的核心特征之一<sup>5</sup>。
- 力学性能: 拉伸强度、模量、断裂伸长率 (需注明测试温度、应变速率等条件)<sup>8</sup>; 蠕变行为 (蠕变速率、蠕变寿命, 与温度和载荷相关)<sup>9</sup>; 疲劳性能 (S-N 曲线、疲劳极限)<sup>45</sup>。
- 热学性能: 差示扫描量热分析 (DSC) 数据 (熔点、结晶度)、热重分析 (TGA) 数据 (热分解温度)、热导率<sup>5</sup>。
- 微观结构特征: 结晶度、取向度 (可来源于广角 X 射线衍射 WAXD、小角 X 射线散射 SAXS、声速模量测试)、相结构 (固态核磁共振 NMR、拉曼光谱 Raman)、微观形貌 (扫描电子显微镜 SEM)、表面特性 (X 射线光电子能谱 XPS)<sup>5</sup>。

- **UHMWPE 树脂性能:**

- 基本信息: 制造商、牌号、分子量等<sup>35</sup>。
- 力学性能: 拉伸强度、模量、伸长率, 弯曲强度/模量, 压缩强度, 硬度, 冲击强度 (Izod/Charpy) 等, 需注明测试标准 (如 ASTM D638, D790, D695, D2240, D256)<sup>35</sup>。
- 热学性能: 熔点 (ASTM D3418)、热变形温度 (HDT, ASTM D648)、热膨胀系数 (CTE, ASTM D696)、最高/最低连续使用温度<sup>121</sup>。
- 物理性能: 密度 (ASTM D792)、吸水率 (ASTM D570)<sup>121</sup>。

- **UHMWPE 复合材料性能:**

- 基本信息: 所用纤维类型/牌号、树脂类型、纤维体积/重量含量、增强体结构 (单向 UD、机织、交叉铺层等)、制造工艺 (如热压成型参数: 温度、压力、时间<sup>6</sup>)、铺层顺序、层数、厚度、面密度。
- 力学性能: 拉伸、压缩、弯曲、剪切 (如层间剪切强度 ILSS, ASTM D2344) 等性能数据<sup>6</sup>。高应变率性能数据 (如分离式霍普金森压杆 SHPB 测试结果)<sup>6</sup>。
- 热学性能: 如适用。
- 微观结构特征: 如界面结合情况、孔隙率等。

- **终端产品防弹性能:**

- 产品类型: 防弹衣 (型号、制造商)、防弹头盔 (型号、制造商)。
- 测试标准: GA 141-2010<sup>34</sup>、NIJ 0101.06/0101.07<sup>2</sup>、STANAG 2920<sup>65</sup> 及其他国际标准 (如 VPAM, HOSDB, GOST<sup>71</sup>)。
- 测试条件: 弹丸类型 (如 GA 141-2010 中规定的各级别测试弹种, 包括 7.62x25mm 铅芯弹、7.62x39mm 钢芯弹等<sup>71</sup>; NIJ 标准中的各类手枪弹和步枪



弹<sup>2)</sup>、弹丸规格（质量、材料、几何形状）、冲击速度、射击次数、弹着点分布、靶板材料（如罗马 IV 号油泥）、环境条件（温度、湿度）<sup>3)</sup>。

- 性能指标：V50 弹道极限、背面变形（BFS）/凹陷深度（如 GA 141-2010 规定 BFS≤25mm<sup>71)</sup>）、穿透/未穿透情况、穿透层数<sup>2)</sup>。

方案中强调记录详细测试条件和元数据是至关重要的，这直接关系到数据的可重用性和比较分析的有效性。例如，V50 值若无详细的弹丸类型、靶体结构和测试设置信息，则失去比较意义<sup>52)</sup>。元数据模式应足够丰富，不仅包括方案中列出的参数，还应涵盖样品制备细节、设备校准信息和数据处理步骤，这与材料数据基础设施的建设建议相符<sup>28)</sup>。

一个关键问题是方案中提及的“《超高分子量聚乙烯纤维布防弹试验》”这一参考文献。项目团队必须明确这是否为正式发布的国家标准（如 GB/T 系列）、行业标准（如 FZ/T 系列<sup>102)</sup>）或公安部标准（如 GA 141-2010），亦或是一个内部的、非标准化的测试方法。如果属于后者，那么基于此方法产生的数据在普适性和可比性上可能存在局限。数据库应优先收录基于公认的国家标准（如 GA 141-2010<sup>62)</sup>）和国际标准（如 NIJ, STANAG<sup>2)</sup>）进行的测试数据，以确保其广泛的适用性和可比性。若采用非标方法，则必须在数据库中对该方法进行详尽的描述和验证记录。此外，近期中国对 UHMWPE 纤维实施出口管制<sup>136)</sup>可能会对某些特定牌号纤维的获取或相关数据的国际合作与共享带来影响，这一点也应作为数据采集策略中的一个风险因素加以考虑。

对于方案中包含的“模拟仿真结果”，其前瞻性值得肯定。然而，数据库必须为这些仿真数据建立清晰的元数据规范，包括所使用的仿真软件及版本、材料本构模型及其参数、边界条件、加载条件、网格划分细节以及与实验数据的验证对比情况等。缺乏这些详尽的元数据，仿真结果将难以被其他研究者理解、复现或信任。MGI 原则鼓励计算数据与实验数据的集成与相互验证<sup>25)</sup>，数据库的设计应促进这种集成，而不仅仅是存储孤立的仿真输出数据。

表 2：建议纳入的 UHMWPE 材料及其防弹性能关键数据类别

材料类别	性能子类	具体性能参数	常用单位	相关测试标准举例	需记录的关键测试条件参数
UHMWPE 纤维	基本信息	制造商、牌号、纤度、生产工艺	-	-	分子量、纺丝工艺参数

	分子量	分子量 (Mw ,Mn), 分布	g/mol	GPC (SEC)	测试溶剂、温度、校准标准
	力学性能-拉伸	拉伸强度、杨氏模量、断裂伸长率	GPa, cN/dtex, %	ASTM D3822, ISO 11566	温度、湿度、应变速率、标距长度
	力学性能-蠕变	蠕变应变、蠕变速率、蠕变寿命	%, %/h, h	ASTM D2990	恒定载荷/应力水平、温度、时间
	力学性能-疲劳	S-N 曲线、疲劳极限	MPa, cycles	ASTM D3479 (类似)	应力比、频率、波形、温度
	热学性能-DSC	熔融峰温度 (Tm)、结晶度 (χc)	°C, %	ISO 11357-3, ASTM D3418	升/降温速率、气氛
	热学性能-TGA	热分解起始/峰值温度	°C	ISO 11358, ASTM E1131	升温速率、气氛
	热学性能-导热	热导率 (λ)	W/(m·K)	ASTM E1530, ISO 22007-2	测试方向、温度
	微观结构-结晶	结晶度、晶粒尺寸	%, nm	WAXD (ASTM D3354 类似), SAXS	X 射线源、波长、扫描参数
	微观结构-取向	取向因子/角度	-	WAXD, 声速模量, 拉曼光谱	-
	微观结构-形貌	纤维直径、表面形貌、缺陷	μm, nm	SEM	加速电压、放大倍数

	微观结构-表面	元素组成、化学态	at. %	XPS	X 射线源、分析区域、刻蚀条件（若有）
<b>UHMWPE 树脂</b>	基本信息	制造商、牌号、分子量	-	-	-
	力学性能-拉伸	拉伸强度、杨氏模量、断裂伸长率	MPa, %	ASTM D638, ISO 527	试样类型、测试速率、温度
	力学性能-弯曲	弯曲强度、弯曲模量	MPa	ASTM D790, ISO 178	试样尺寸、跨距、加载速率
	力学性能-压缩	压缩强度、压缩模量	MPa	ASTM D695, ISO 604	试样几何、加载速率
	力学性能-硬度	肖氏 D 硬度、洛氏硬度	Shore D, HRR	ASTM D2240, ASTM D785	压头类型、加载力、保持时间
	力学性能-冲击	Izod/Charpy 冲击强度 (带/无缺口)	J/m, kJ/m <sup>2</sup>	ASTM D256, ISO 179, ISO 180	试样类型、摆锤能量、温度
	热学性能-熔点	熔融峰温度 (T <sub>m</sub> )	°C	ASTM D3418, ISO 11357-3	升温速率
	热学性能-HDT	热变形温度 (0.455/1.82 MPa)	°C	ASTM D648, ISO 75	载荷、升温速率
	热学性能-CTE	线膨胀系数	μm/(m·°C)	ASTM D696, ISO 11359-2	温度范围

	物理性能-密度	密度	g/cm <sup>3</sup>	ASTM D792, ISO 1183	测试方法（浸渍法、比重瓶法）
	物理性能-吸水	吸水率 (24h, 饱和)	%	ASTM D570, ISO 62	浸泡时间、温度
<b>UHMWPE 复合材料</b>	基本信息	纤维/树脂类型、含量、结构、制造工艺	-	-	热压温度、压力、时间、铺层方式
	力学性能-拉伸	拉伸强度、模量、泊松比	MPa, GPa, -	ASTM D3039, ISO 527-4/5	试样几何、加载方向、速率
	力学性能-压缩	压缩强度、模量	MPa, GPa	ASTM D3410, ASTM D6641, ISO 14126	试样几何、加载方向、速率
	力学性能-弯曲	弯曲强度、模量	MPa, GPa	ASTM D790, ISO 14125	试样几何、跨距、加载方向、速率
	力学性能-ILSS	层间剪切强度	MPa	ASTM D2344, ISO 14130	试样几何、跨厚比、加载速率
	力学性能-高应变率	动态压缩/拉伸强度、应力-应变曲线	MPa	SHPB (无统一标准, 需详述装置)	弹丸速度、杆材料、试样尺寸、应变片位置
<b>终端产品防弹性能</b>	产品信息	防弹衣/头盔型号、制造商、防护等级	-	-	产品结构（层数、材料组合）

		宣称			
	弹道测试-V50	V50 弹道极限	m/s	NIJ 0101.06, STANAG 2920, GA 141-2010	弹丸类型、质量、速度、靶体、环境
	弹道测试-BFS	背面变形/凹陷深度	mm	NIJ 0101.06, GA 141-2010	同 V50，油泥类型、标定方法
	弹道测试-穿透	穿透/未穿透，穿透层数	-	各标准	同 V50

此表为数据库“性能数据管理模块”的数据字段设计提供了蓝图。它通过系统地列出不同材料类别下的性能参数，并关联至相关测试标准（参考<sup>1</sup>）和关键测试条件，确保了数据的全面性，直接支持方案构建“综合性”数据库的目标。

C. 数据管理、标准化与质量控制

方案中提到“设计标准化的数据录入模板，确保数据格式的一致性”，并列举了如 **BIGINT**, **VARCHAR**, **DECIMAL**, **DATETIME** 等字段类型，这是数据标准化的基础。然而，标准化工作远不止于此，它还需要扩展到单位制（优先采用国际单位制 **SI**，并提供单位转换功能）、术语（建立受控词表或本体，如材料牌号、性能名称、测试方法描述等）以及材料标识符的规范化。例如，对于材料牌号，应确保命名的一致性，避免同一种材料因不同来源或录入习惯而出现多种名称。方案支持单条数据录入和批量导入（如通过 **Excel** 模板），这些模板的设计必须经过严格定义，并包含校验规则，以确保导入数据的准确性和一致性。

关于数据质量控制，方案提出“建立数据审核机制，对录入数据的准确性、完整性和规范性进行校验”。这是至关重要的环节。科学数据库的数据验证最佳实践包括<sup>76</sup>：

- **基本校验：**数据类型校验、值域校验（如性能参数是否在合理范围内）、格式校验（如日期格式）、存在性校验（确保关键字段不为空）。
- **唯一性校验：**例如，确保每个样品 ID 或测试记录 ID 的唯一性。
- **交叉字段校验：**验证不同字段间的逻辑一致性，例如，确保测试温度与材料在该温度下的预期状态相符。



- **统计学校验：**通过统计分析识别异常值或离群点，提示潜在的数据错误。
- **源系统环回验证：**如果数据是从其他数字化系统导入，可与源系统进行聚合数据的比对。方案应详细说明这些校验将如何实施，是依赖人工审核，还是开发自动化脚本，或是两者结合。同时，应明确领域专家在数据审核流程中的角色和职责。

对于方案中提及的“图片、PDF 等非结构化数据”，支持文件路径关联和在线查阅、下载功能是基本需求。然而，仅存储文件路径存在链接失效的风险。更稳健的做法是将这些文件存储在一个受控的仓储中，例如，如果文件大小适中，可以考虑使用 SQL Server 的 FILESTREAM 功能<sup>99</sup>，或者链接到一个专门的数字资产管理系统。至关重要的是，必须为这些非结构化数据关联丰富的元数据<sup>139</sup>。例如，一张 SEM 图片应包含拍摄设备型号、加速电压、放大倍数、样品制备方法等信息；一份 PDF 格式的测试报告应记录其来源、发布日期、核心结论等。方案中提到对“图表征数据、应力-应变曲线等，提供可视化展示功能”，这意味着需要从这些图像或 PDF 中提取结构化的数据点（例如，曲线上的(x,y)坐标对），而不仅仅是存储图像本身。可以考虑采用图像识别或数据提取工具来辅助这一过程，以增强这些非结构化数据的可检索性和分析价值。

数据质量控制不应仅仅是一次性的录入检查，而是一个贯穿数据库整个生命周期的持续过程。随着新数据的不断加入（来自文献、新增实验或未来可能的模拟计算），数据的不一致性或错误仍可能引入。因此，方案应考虑建立数据质量监控仪表盘或定期生成数据质量审计报告，以便及时发现并纠正问题。<sup>137</sup> 中提及的“数据问题追踪（Data-Issue tracking）”和“统计数据收集（Statistics collection）”是值得借鉴的做法。这种主动的、持续的质量控制方法，将确保数据库长期保持其可靠性和权威性。

此外，“标准化的数据录入模板”是保障数据质量的源头。这些模板的开发应由材料科学、弹道学和数据库技术等领域的专家共同参与，并尽可能与现有的材料信息学标准或通用数据格式（Common Data Formats, CDFs）进行协调和统一，以增强数据的互操作性和与 MGI 生态系统的兼容性<sup>28</sup>。高质量、标准化的数据是未来应用高级数据分析或机器学习技术进行材料性能预测和新材料设计的前提。因此，在项目初期就对数据质量和标准化给予高度重视和充分投入，将为数据库的长远发展奠定坚实基础。

## D. 数据库功能实现

方案中规划的数据库功能模块为用户提供了必要的操作和信息获取途径。

- **用户登录与权限管理：**这是保障数据安全和受控访问的标准功能。方案提及设定不同用户角色并分配相应的数据访问和操作权限，是合理的。
- **数据检索：**方案提出支持根据材料牌号、性能参数（可设置范围）、测试标准等一个或多个条件进行精确检索和模糊检索。这是一个良好的起点。为提升用户体验和检索

效率，建议引入更高级的检索机制，例如：

- **分面检索 (Faceted Search)**：允许用户通过选择多个预定义的分类维度（如材料类型、制造商、性能范围、测试标准等）逐步筛选和缩小检索结果。
- **相似性检索**：如果数据库中包含材料微观结构图像，并且提取了图像特征，可以考虑支持基于图像相似性的材料检索。
- **化学结构/子结构检索**：若详细记录了聚合物的化学结构信息（如使用 SMILES 或 BigSMILES 编码），则可借鉴 PoLyInfo 等数据库提供基于化学结构或子结构的检索功能<sup>81</sup>。
- **数据可视化**：方案中将其列为“可选，但建议”，并提及对关键性能数据如图表征数据、应力-应变曲线等提供可视化展示。鉴于科学数据，尤其是材料性能数据的复杂性和多维性，数据可视化应被视为核心功能而非可选。有效的可视化能极大地方便用户理解数据、发现趋势和进行比较分析。可考虑采用现代 Web 可视化库（如 D3.js, Chart.js, Plotly, Vega-Lite<sup>141</sup>）实现以下功能：
  - **交互式图表**：例如，用户可以缩放、平移应力-应变曲线，并获取曲线上任意点的数据值。
  - **对比可视化**：支持将多个样品或材料的性能数据在同一图表上进行对比展示。
  - **微观结构图像展示**：在线展示 SEM、TEM 等图像，并关联显示相关的元数据和表征参数。
  - **弹道数据可视化**：例如，在靶板示意图上标注弹着点位置，或用热图等形式展示 BFS 的分布。
- **数据导入与导出**：方案支持将检索结果或特定数据集导出为 Excel 等常用格式。考虑到科研数据的交换需求，建议同时支持 CSV、JSON 等更通用的数据格式，甚至可以考虑支持一些结构化的科学数据交换格式（如基于 XML 或 HDF5 的格式），以方便与其他分析软件或数据库对接。
- **动态更新与维护**：方案指出数据库应支持数据的动态更新，定期补充新的研究成果和实验数据。这需要建立一套清晰、规范的数据提交流程、审核流程和集成流程。

数据可视化对于材料科学数据库而言，其重要性不容低估。材料的性能往往通过曲线（如应力-应变曲线、DSC/TGA 曲线）、图像（如 SEM/TEM 显微照片）和多维数据集来呈现。一个仅提供表格数据的数据库，其用户友好性和数据洞察力将大打折扣。方案本身也提及了绘制应力-应变曲线的需求，这进一步印证了可视化功能的必要性。

关于“动态更新”机制，需要一个定义明确的数据管理和策展（curation）路径。如何审查新提交的数据以确保其质量和一致性？是否需要数据集进行版本控制以追踪变更？这些都是确保数据库长期可靠性的关键问题。NIST 的可配置数据策展系统（CDCS）为管理数据采集、转换和发布的流程提供了一个可参考的范例<sup>79</sup>。

最后，数据库的用户界面（UI）和用户体验（UX）设计将直接影响其被科研社区接受和使用的程度。即使数据库在技术上非常先进，如果其操作复杂、检索不便或可视化效果不佳，其实际效用也会大打折扣。因此，在软件开发阶段，应充分重视 UI/UX 设计，并最好能让潜在用户参与到设计和测试过程中，以确保最终产品能真正满足科研人员的需求。

## E. 软件著作权申请计划

方案中关于软件著作权申请的规划涵盖了主要步骤，符合中国相关的法律法规要求。

- **软件名称：**拟定为“超高分子量聚乙烯防弹性能数据库软件 V1.0”或类似名称，清晰且具有描述性。
- **软件功能说明：**详细撰写数据库软件的各项功能模块、实现的技术以及创新点，这是申请材料的核心内容之一。
- **源代码整理：**准备数据库设计文档、前后端主要功能的源代码。根据中国的《计算机软件著作权登记办法》，通常需要提交源程序前、后各连续 30 页（共 60 页），若整个程序不足 60 页则提交全部。对于保密部分，可以用黑色宽斜线覆盖，但覆盖部分不得超过交存源程序的 50%<sup>69</sup>。
- **用户手册编写：**编写详细的数据库使用说明书，包括登录、数据录入、查询、导出等操作流程。这也是重要的申请材料，通常也要求提交前、后各连续 30 页。
- **知识产权分析：**确保数据库设计及所用代码不侵犯他人知识产权，这是合规性的基本要求。
- **申请材料准备：**按照国家软件著作权登记要求准备完整的申请材料。

根据中国的著作权法和《计算机软件保护条例》，软件著作权自软件开发完成之日起自动产生，无需登记即可获得保护。但是，进行著作权登记具有重要意义，登记证书是软件著作权有效性的初步证明，在发生侵权纠纷时可以作为证据，并且是申报软件产品、软件企业、高新技术企业以及享受相关税收优惠政策的重要依据<sup>67</sup>。

在准备申请材料时，方案中提及的“创新点”将对软件的整体价值评估（尽管不直接影响著作权授予本身）产生影响。这些创新点应着重突出该数据库软件与通用数据存储软件相比的独特性，例如，是否包含了针对 UHMWPE 弹道数据分析的专用算法、新颖的可视化技术，或特别为材料科学研究设计的先进检索功能等。这些能够体现软件技术含量和实用价值的方面，虽然著作权主要保护代码的表达形式，但清晰阐述创新性有助于提升软件的整体评价。

方案中将“数据库设计文档”列为源代码整理的一部分。需要明确的是，虽然数据库设计文档对软件开发和维护至关重要，但软件著作权登记的核心“识别材料”是软件程序本身（源代码或目标代码）和说明性文档（如用户手册）<sup>69</sup>。设计文档更多是支持性的，而非著作

权保护的主要客体。

成功获得软件著作权，将为项目团队提供法律依据来控制该数据库软件的复制、发行、修改等行为，这对于维护数据的统一管理、确保后续更新的质量以及在未来可能的软件共享或许可中保护自身权益，都具有重要意义。

## V. 技术路线与时间进度评估

方案提出的技术路线遵循了软件开发项目的常规阶段，包括：需求分析、数据库设计、软件编码与实现、数据迁移与录入、测试与优化、文档撰写以及软件著作权申请。这一系列步骤逻辑清晰，覆盖了项目从启动到完成的主要环节。

- **需求分析：**“明确数据库用户需求和功能需求”。这是项目成功的基石。关键在于深入了解目标用户群体（如材料研发人员、结构设计师、质量控制工程师、弹道性能分析师等）的核心需求、他们通常如何使用数据、以及他们期望数据库能解决哪些痛点问题。
- **数据库设计：**“参照《数据库技术报告》中的结构，完成数据库的逻辑结构设计和物理结构设计”。如前文所述，除了参考报告，还应广泛借鉴现有优秀材料数据库的设计经验和 MGI/FAIR 原则，确保设计的先进性和可扩展性。
- **软件编码与实现：**“进行数据库的搭建和用户界面的开发”。这是将设计蓝图转化为实际产品的阶段。
- **数据迁移与录入：**“将收集整理的数据录入数据库”。这一阶段的工作量和复杂度往往容易被低估，特别是当数据来源多样、格式不一、质量参差不齐时。
- **测试与优化：**“对数据库功能、性能、安全性进行全面测试，并根据测试结果进行优化”。这是确保数据库质量和用户体验的关键步骤。
- **文档撰写：**“完成数据库技术报告、用户手册等相关文档”。
- **软件著作权申请：**“提交申请材料”。

关于项目的时间进度，方案中未提供明确的排期。然而，考虑到项目的综合性——需要构建一个内容丰富的数据库（涉及文献调研、可能的实验、历史数据整理、模拟数据集成）、开发一套功能完善的软件系统，并完成著作权申请——这无疑是一个需要持续投入数年的项目。其中，数据采集、清洗、标准化和录入阶段尤其耗时耗力。

从技术路线的执行层面来看，传统的瀑布式开发模型（即严格按照上述阶段顺序推进）对于一个研究性质强、需求可能在探索过程中不断演进的数据库项目而言，可能缺乏足够的灵活性。科学研究本身具有不确定性，例如，在数据采集过程中可能会发现新的重要参数，或者用户的核心需求会随着对数据理解的深入而发生变化。若采用更为敏捷

（Agile）或迭代（Iterative）的开发方法，可能会更适合本项目。例如，可以先集中力量



开发数据库的核心模块和基础功能，录入一部分关键数据，然后快速发布一个原型版本供核心用户试用并收集反馈。基于反馈进行调整和优化，再逐步扩展数据内容和功能模块。这种方式有助于降低项目风险，确保最终产品能更好地满足用户需求。

特别需要关注的是“数据迁移与录入”阶段。手动录入大量来自文献、报告或历史记录的科学数据，不仅效率低下，而且极易出错。方案应考虑投入资源开发半自动化的数据提取工具（例如，从 PDF 文档的表格中提取数据、从图表中数字化曲线数据）以及功能强大的批量导入验证脚本。这将显著提升数据录入的效率和准确性，为后续的数据分析和应用打下坚实基础。

总而言之，项目的成功不仅依赖于技术路线的合理规划，更取决于对各阶段工作量（尤其是数据处理相关工作）的准确评估和充足的资源配置。一个清晰的时间表和里程碑设定，结合灵活的项目管理方法，将是确保项目按计划推进并达成预期目标的重要保障。

## VI. 预期成果与交付物分析

方案中列出的预期成果清晰地反映了项目的核心目标和潜在价值：

1. **建成一个结构合理、功能完善、数据丰富的超高分子量聚乙烯防弹数据库：**这是项目的核心产出。其“结构合理”和“功能完善”取决于前述数据库设计和功能实现的质量。“数据丰富”则依赖于数据采集策略的有效执行。若能成功实现，该数据库将成为领域内的宝贵资源。
2. **形成一套规范化的 UHMWPE 材料及其防弹性能数据采集、管理和应用流程：**这一成果具有方法论层面的意义。它不仅包括数据库本身，还意味着项目将沉淀下一套行之有效的 workflows 和标准规范，这对于后续的数据更新维护以及类似数据库的构建都具有指导价值。其中，“应用流程”的形成尤为关键，它暗示了项目不仅仅是数据的堆砌，更要探索如何有效地利用这些数据。
3. **成功申请软件著作权，保护自主知识产权：**这是一个明确的法律成果，对于保护项目团队的劳动成果和后续可能的成果转化具有实际意义。根据中国的相关规定<sup>67</sup>，只要按要求提交材料，获得登记的可能性较高。
4. **为 UHMWPE 防弹材料的研发、应用和标准化提供有力的数据支持：**这是项目的最终目标和影响力体现。一个高质量的数据库无疑能够为材料科学家、工程师和标准制定者提供决策依据，从而推动整个领域的发展。

这些预期成果的实现，将对 UHMWPE 防弹材料领域产生积极贡献：

- **加速材料开发周期：**通过提供便捷的数据检索和对比功能，减少重复实验，帮助研究人员快速筛选候选材料或优化材料配方。
- **深化对材料行为的理解：**通过整合多维度数据（组分、结构、工艺、性能），有助于



揭示 UHMWPE 防弹体系中复杂的“结构-性能-服役”关系。

- **促进仿真模型的验证与改进：**数据库中的高质量实验数据可以作为校准和验证计算机仿真模型的基准，提升仿真预测的准确性。
- **支持标准制定与修订：**系统化的数据积累可以为相关材料标准和测试方法标准的制定或修订提供数据支撑。

在这些预期成果中，“形成一套规范化的...应用流程”尤其值得关注。这表明项目团队有志于超越一个静态数据仓库的范畴，致力于探索和建立一套指导用户如何有效利用数据库信息解决实际问题的方法论或工具集。例如，如果项目能开发出基于数据库数据材料选型指南、性能预测初步模型，或者针对特定弹道威胁场景的材料体系优化建议流程，那么这个数据库的实用价值和影响力将得到极大提升。这与 MGI 倡导的“数据驱动发现”的理念高度契合。

“数据丰富”是另一个需要深入考量的方面。其内涵不仅指数据的数量，更重要的是数据的多样性（覆盖不同牌号、不同加工工艺、不同测试条件）和元数据的深度与完整性。一个数据点稀疏、标注不清或缺乏上下文信息的数据库，即使数据量庞大，也难以称得上“丰富”，其科研价值也会大打折扣。因此，数据采集策略必须兼顾广度和深度，优先确保核心数据集的完整性和高质量标注，而非盲目追求数据条目的数量。

若该项目能成功实现其预期成果，特别是建立起一个高质量、易使用且具备一定分析能力的数据库平台，并辅以规范化的数据管理和应用流程，它不仅能服务于 UHMWPE 防弹领域，更有可能成为中国在其他先进材料领域构建专业化数据库的一个示范案例，从而推动更广泛的材料研发模式向数据驱动转型。

## VII. 风险评估与对策分析

方案对项目实施过程中可能遇到的主要风险进行了识别，并提出了初步的应对策略。这些风险在科研数据库建设项目中具有一定的普遍性。

1. **数据获取困难：**方案指出“部分核心数据可能难以从公开渠道获取”。这确实是一个核心风险，尤其对于涉及商业敏感信息（如特定材料牌号的详细配方、工艺参数）或国防敏感信息（如先进防弹材料的详细性能数据、特定武器系统的测试结果）的数据。
  - **方案对策：**“加强与科研机构、生产企业的合作，开展自主测试”。这是一个正确的方向，但其有效性高度依赖于合作的深度和广度。与企业合作获取专有数据通常需要建立互信互利的机制，例如签订严格的数据保密与使用协议，或者提供数据分析服务、共享非敏感的聚合分析结果作为回报。自主测试虽然能保证数据质量和所有权，但成本高昂且周期较长，需要充足的经费和实验资源保障。近期中

国对 UHMWPE 纤维实施出口管制<sup>136</sup>，也可能间接影响从国际渠道获取某些特定牌号纤维样品或相关数据的难度，增加了数据获取的不确定性。

2. **数据标准不统一：**方案意识到“不同来源的数据可能存在标准不一致的问题”。这是构建集成数据库时必然面临的挑战，涉及术语、单位、测试方法、数据格式等多个层面。
  - **方案对策：**“在数据录入前进行严格的筛选和标准化处理”。这是必要的步骤，但“标准化处理”本身是一个复杂的过程。需要项目团队在项目早期就投入力量，联合材料学、弹道学和信息技术领域的专家，共同制定详细的数据字典、本体（ontology）以及数据转换规则。应尽可能采用或兼容现有的国际国内材料信息学标准<sup>28</sup>，以提高数据的互操作性。
3. **软件开发技术风险：**方案提及“数据库开发过程中可能遇到技术难题”。
  - **方案对策：**“组建专业的技术团队，或寻求外部技术支持”。这是常规的风险缓解措施。技术风险还可能包括选择了不适应长期发展或难以维护的技术栈（例如，某些前端可视化库更新迭代迅速，可能存在兼容性问题），以及低估了开发用户友好且功能强大的科学数据检索与可视化工具的复杂性。

除了方案中已识别的风险，还应考虑以下几个方面：

- **数据质量持续下降的风险：**数据质量控制不仅仅是初始录入时的把关，更需要在数据库的长期运行和数据更新过程中持续进行。如果后续数据录入和策展（curation）的规范性和严格性未能保持，数据库的整体质量可能会逐渐下降。
- **用户采纳度不高的风险：**即使数据库在技术上是完善的，如果其用户界面不友好、检索功能不便捷、响应速度慢，或者未能准确把握并满足目标用户的核心需求，也可能导致用户采纳率低，数据库的价值无法充分发挥。
- **知识产权复杂性风险：**除了软件著作权，数据库中收录的数据本身可能涉及复杂的知识产权问题。例如，从文献中提取的数据，其使用是否需要原出版商的许可？从合作企业获取的数据，其所有权、使用权和共享范围如何界定？这些都需要在数据采集前有明确的协议和规范。
- **项目长期可持续性风险：**科研数据库的建设和维护需要长期投入。项目资金结束后，数据库如何持续运营、更新和维护是一个必须提前规划的重大问题。缺乏可持续性计划是许多科研数据项目面临的共同困境<sup>29</sup>。

针对上述风险，建议在方案中进一步细化和补充应对策略：

- **针对数据获取困难：**除了加强合作和自主测试外，应设计具体的数据共享激励机制和知识产权保护方案，以打消数据提供方的顾虑。可以考虑分阶段的数据采集策略，初期以公开数据和项目自测数据为主，逐步扩展到合作共享数据。
- **针对数据标准不统一：**应将数据标准化方案的制定作为项目的早期核心任务之一，形

成详细的《数据规范与提交流程指南》，并开发相应的校验工具辅助标准化过程。

- **针对软件开发技术风险：**采用成熟且有良好社区支持的技术栈；在关键技术选型上进行充分调研和论证；考虑采用迭代开发模式，尽早让用户参与测试并反馈。
- **针对新增风险：**
  - **数据质量：**建立常态化的数据质量监控和审计机制。
  - **用户采纳：**项目初期即开展广泛的用户需求调研，并在开发过程中持续与潜在用户互动，邀请用户参与原型测试。
  - **数据知识产权：**制定清晰的数据提交、共享和使用政策，明确各方权利与义务。
  - **可持续性：**在项目规划阶段即开始探索多种可持续运营模式，如争取后续维护经费、提供增值数据服务、寻求与国家级数据中心的整合等。

对“数据获取困难”风险的评估需要特别强调，弹道性能数据因其敏感性和商业价值，获取难度极大。仅仅依靠“加强合作”的意愿可能不足以解决问题。项目团队需要制定非常具体的合作方案，清晰地阐述数据贡献者能够获得的价值回报，例如，优先获取数据库的访问权、参与数据分析成果的共享（在不泄露原始数据的前提下）、利用数据库进行自身产品的性能对标等。

“数据标准不统一”的风险与数据库的最终分析价值和可重用性直接相关。“严格的筛选和标准化处理”是核心对策，这一过程本身就被视为一项重要的研究内容，并作为方案预期成果中“规范化的...管理...流程”的关键组成部分进行详细记录和输出。例如，对于弹道测试中的 V50 值，其可比性高度依赖于测试设置的标准化程度<sup>52</sup>。如果这些设置细节没有被完整捕获并进行标准化描述，那么不同来源的 V50 数据就无法进行有意义的比较。这项标准化工作本身就是一项需要投入大量专家智慧和时间的系统工程。

有效管理这些风险，将是决定该数据库项目能否从一个数据汇集平台提升为一个真正有价值、可持续发展的科研基础设施的关键。

## VIII. 整体评估与战略建议

### 整体评估

该研究方案“超高分子量聚乙烯（UHMWPE）防弹数据库构建及软件著作权申请”具有明确的科学目标和重要的应用前景。UHMWPE 作为关键的防弹材料，针对其建立一个全面的、高质量的数据库，无疑将对材料研发、性能优化、产品设计及标准制定等多个方面产生积极的推动作用。方案在数据库的模块化设计、数据采集的多源性考虑、以及对测试条件记录和软件著作权申请流程的规划等方面，均展现了较为清晰的思路和一定的专业性。

**主要优势：**

1. **需求明确，意义重大：**项目精准把握了 UHMWPE 防弹材料领域对系统化、集成化数据的迫切需求，其建成将为行业发展提供重要的数据支撑。
2. **基础框架合理：**提出的数据库模块（材料管理、性能数据、文献、工具、系统管理）为构建一个功能全面的科学数据库奠定了良好基础。
3. **数据类型覆盖较广：**方案计划收录从纤维、树脂到复合材料及终端产品的多层次数据，并涵盖了物理、化学、力学、热学、微观结构及弹道性能等多种属性，体现了构建综合性数据库的意图。
4. **重视国家标准：**方案提及参考中国相关标准（如 GA 141-2010<sup>34</sup>），有助于数据库在国内的推广应用和与本土产业的结合。

#### 待改进的关键领域：

1. **MGI/FAIR 原则的深化实践：**虽然提及 MGI 理念，但方案在如何具体实现数据的深度关联、可发现性、可访问性、互操作性和可重用性（FAIR 原则）方面缺乏细致的规划和技术路径描述。例如，数据模型是否能够有效支持跨尺度、多物理场的关联分析？如何确保元数据的标准化和丰富性以满足 FAIR 要求？
2. **数据获取策略的现实性：**获取高质量、特别是具有专有性或敏感性的核心弹道数据和企业生产数据，其难度和复杂性可能被低估。需要更具操作性的数据共享机制、激励措施和知识产权解决方案。
3. **数据标准化与质量控制的深度：**方案虽强调标准化和审核，但对于如何处理来源各异、标准不一的数据，如何建立具体的、可操作的标准化流程和质量校验规则（例如，利用受控词表、本体、自动化校验脚本等），着墨不足。
4. **数据库高级功能的缺失：**目前“工具模块”的功能定义偏向基础的数据管理。一个真正服务于材料研发的数据库，应具备更强的数据分析、挖掘和可视化能力，以辅助用户从数据中提取知识，实现“性能预测”等高级目标。
5. **非结构化数据管理的挑战：**对于图片、PDF、曲线等非结构化数据，仅通过文件路径关联可能不足以实现有效管理和利用。需要考虑元数据提取、内容索引、甚至特征提取等技术，以提升其价值。
6. **技术路线的灵活性：**传统的瀑布式开发模型对于需求可能动态演进的科研数据库项目，可能缺乏足够的适应性。
7. **长期可持续性规划的缺失：**方案未涉及数据库建成后的长期维护、更新和运营模式，这是科研基础设施建设中普遍存在且至关重要的问题。

#### 战略性建议：

为提升方案的可行性和项目的最终影响力，兹提出以下战略性建议：

1. **强化数据模型的先进性与 FAIR 原则的贯彻：**



- 建议深入研究并借鉴如 CRIPT 等现代材料数据平台的数据模型设计理念<sup>31</sup>，考虑引入更灵活的数据结构（如图模型思想）来表达 UHMWPE 材料从微观到宏观、从制备到性能的复杂关联。
- 在数据库设计初期即制定详尽的 FAIR 原则实施方案，包括持久唯一标识符（PID）策略、丰富的元数据标准（基于现有国际标准或本体，如 NIST、CODATA 的推荐<sup>28</sup>）、标准化的数据交换格式等。
- 2. 制定精细化的数据采集与共享策略：**
  - 针对不同类型的数据（公开文献、自测数据、合作方数据、模拟数据），制定差异化的采集、验证和整合流程。
  - 对于企业合作，应设计包含明确数据权益、保密条款和互惠条件的合作框架，探索建立数据联盟或共享社区的可行性。
  - 优先采集和录入依据公认标准（如 GA 141-2010, NIJ, STANAG 等<sup>2</sup>）产生的高质量、完整记录的实验数据，特别是弹道性能数据。
- 3. 构建严格且自动化的数据质量保障体系：**
  - 开发包含数据类型、值域、格式、单位、逻辑一致性等多维度校验规则的自动化数据验证工具和流程<sup>137</sup>。
  - 建立由领域专家参与的数据审核和仲裁机制，确保数据的准确性和科学性。
  - 对非结构化数据，建立严格的元数据著录规范，并探索利用 AI 等技术进行内容分析和特征提取，将其转化为可检索、可分析的结构化信息<sup>139</sup>。
- 4. 提升数据库的智能化分析与可视化服务能力：**
  - 将数据可视化提升为核心功能，集成交互式图表、多维数据展示、弹道事件复现等高级可视化工具，可考虑利用 SQL Server 的机器学习服务<sup>97</sup>或集成外部专业库<sup>141</sup>。
  - 规划在“工具模块”中逐步集成数据统计分析、关联规则挖掘、初步的性能预测模型等功能，使用户不仅能“查数据”，更能“用数据”产生新知识。
- 5. 采用敏捷迭代的项目管理与开发模式：**
  - 鉴于科研项目需求的不确定性，建议采用敏捷开发方法，通过短期迭代、快速原型、用户参与测试和持续反馈的方式，逐步完善数据库功能和内容，确保最终产品能最大程度满足用户需求。
- 6. 规划项目的长期可持续发展路径：**
  - 在项目初期即开始思考数据库建成后的运营模式、经费来源、数据更新机制、技术维护团队等问题，争取将其纳入更长期的科研基础设施建设计划或寻求与国家级材料数据平台的整合。
- 7. 加强用户社区建设与互动：**
  - 项目启动后，应积极与 UHMWPE 材料研究、生产和应用领域的潜在用户（科研院所、企业、检测机构等）建立联系，通过研讨会、用户调研等方式，充分了解



其需求，并在开发过程中邀请其参与测试，以提升数据库的实用性和用户粘性。

## IX. 结论

“超高分子量聚乙烯（UHMWPE）防弹数据库构建及软件著作权申请”研究方案所提出的项目，对于推动中国 UHMWPE 防弹材料领域的技术进步具有重要的潜在价值。方案在顶层设计和核心功能规划方面展现了良好的开端。然而，要将这一宏伟蓝图成功转化为一个真正实用、权威且可持续发展的科研基础设施，项目团队需要在数据模型的先进性、数据获取与共享的策略、数据质量保障的深度、智能化分析功能的集成以及项目管理模式的灵活性等多个方面进行深化和创新。

通过采纳本报告中提出的各项建议，特别是强化 FAIR 原则的落地实施、构建更为精细和现实的数据采集与标准化流程、提升数据库的分析与可视化能力、并制定长期的可持续发展规划，该项目有望克服潜在的挑战，不仅能成功建成预期的数据库并获得软件著作权，更能使其成为 UHMWPE 防弹领域一个有影响力的、数据驱动的创新引擎。有效执行这些建议，将是确保项目成功的关键，并能最大化其对科学研究和产业应用的贡献。

## Works cited

1. UHMWPE | FIBER-LINE®, accessed May 17, 2025, <https://www.fiber-line.com/cn/fibers/uhmwpe>
2. Ballistic benefits of multiaxial UHMWPE - Innovation in Textiles, accessed May 17, 2025, <https://www.innovationintextiles.com/ballistic-benefits-of-multiaxial-uhmwpe>
3. Numerical and experimental analysis of body armor polymer ..., accessed May 17, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11751424/>
4. Full article: Experimental investigation of the performance of ballistic ..., accessed May 17, 2025, <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15376494.2025.2486740?src=exp-la>
5. Current research status of high-performance UHMWPE fiber: A review - ResearchGate, accessed May 17, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/387567195\\_Current\\_research\\_status\\_of\\_high-performance\\_UHMWPE\\_fiber\\_A\\_review](https://www.researchgate.net/publication/387567195_Current_research_status_of_high-performance_UHMWPE_fiber_A_review)
6. Effect of Moulding Pressure on High Strain Rate Performance of UHMWPE Composite | Request PDF - ResearchGate, accessed May 17, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/388574433\\_Effect\\_of\\_Moulding\\_Pressure\\_on\\_High\\_Strain\\_Rate\\_Performance\\_of\\_UHMWPE\\_Composite](https://www.researchgate.net/publication/388574433_Effect_of_Moulding_Pressure_on_High_Strain_Rate_Performance_of_UHMWPE_Composite)
7. Ballistic impact of a KEVLAR((R)) helmet: Experiment and simulations - ResearchGate, accessed May 17, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/223468275\\_Ballistic\\_impact\\_of\\_a\\_KEV](https://www.researchgate.net/publication/223468275_Ballistic_impact_of_a_KEV)

[LARR helmet Experiment and simulations](#)

8. Effect of Hot-Pressing Process on Mechanical Properties of UHMWPE Fiber Non-Woven Fabrics - PMC, accessed May 17, 2025,  
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11173827/>
9. (PDF) High Performance Ballistic Fibres: Ultra-High Molecular ..., accessed May 17, 2025,  
[https://www.researchgate.net/publication/292147035\\_High\\_Performance\\_Ballistic\\_Fibres\\_Ultra-High\\_Molecular\\_Weight\\_Polyethylene\\_UHMWPE](https://www.researchgate.net/publication/292147035_High_Performance_Ballistic_Fibres_Ultra-High_Molecular_Weight_Polyethylene_UHMWPE)
10. Current research status of high-performance UHMWPE fiber: A review - ResearchGate, accessed May 17, 2025,  
[https://www.researchgate.net/publication/386100750\\_Current\\_research\\_status\\_of\\_high-performance\\_UHMWPE\\_fiber\\_A\\_review](https://www.researchgate.net/publication/386100750_Current_research_status_of_high-performance_UHMWPE_fiber_A_review)
11. Effect of Material and Structure of Ultra-High-Molecular-Weight Polyethylene Body Armor on Ballistic Limit Velocity: Numerical Simulation, accessed May 17, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11548530/>
12. UHMWPE: Discover the Strength & Versatility - IMPACT MATERIALS, accessed May 17, 2025, <https://ictfibers.com/uhmwpe-discover-the-strength-versatility/>
13. Understanding UHMWPE Properties: A Quick Guide - IMPACT MATERIALS, accessed May 17, 2025, <https://ictfibers.com/understanding-uhmwpe-properties-a-quick-guide/>
14. Analysis of Water-Based Polyurethane Properties in the Ballistic Behavior of Ultra-High Molecular Weight Polyethylene Fiber Composites - PMC, accessed May 17, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11991217/>
15. The Efficiency of Ultra-High Molecular Weight Polyethylene ..., accessed May 17, 2025,  
[https://www.researchgate.net/publication/285400040\\_The\\_Efficiency\\_of\\_Ultra-High\\_Molecular\\_Weight\\_Polyethylene\\_Composite\\_Against\\_Fragment\\_Impact](https://www.researchgate.net/publication/285400040_The_Efficiency_of_Ultra-High_Molecular_Weight_Polyethylene_Composite_Against_Fragment_Impact)
16. Design and Ballistic Performance of Hybrid ... - ResearchGate, accessed May 17, 2025, [https://www.researchgate.net/journal/Applied-Composite-Materials-1573-4897/publication/309184181\\_Design\\_and\\_Ballistic\\_Performance\\_of\\_Hybrid\\_Composite\\_Laminates/links/5fb9329992851c933f4a3cee/Design-and-Ballistic-Performance-of-Hybrid-Composite-Laminates.pdf](https://www.researchgate.net/journal/Applied-Composite-Materials-1573-4897/publication/309184181_Design_and_Ballistic_Performance_of_Hybrid_Composite_Laminates/links/5fb9329992851c933f4a3cee/Design-and-Ballistic-Performance-of-Hybrid-Composite-Laminates.pdf)
17. spectra shield® - protection you can trust - Energy & Sustainability Solutions, accessed May 17, 2025,  
<https://ess.honeywell.com/content/dam/advancedmaterials/en/documents/document-lists/spectra/marketing/Spectra-armor-brochure.pdf>
18. DSM Protective Materials Factbook 2020, accessed May 17, 2025,  
[https://www.dsm.com/content/dam/dsm/corporate/en\\_US/documents/investors-key-market-data-factbook-dsm-protective-materials.pdf](https://www.dsm.com/content/dam/dsm/corporate/en_US/documents/investors-key-market-data-factbook-dsm-protective-materials.pdf)
19. Body Armor Market to Rise at a CAGR of 3.11% during Forecast Period 2022-2031, observes TMR Study - PR Newswire, accessed May 17, 2025,  
<https://www.prnewswire.com/news-releases/body-armor-market-to-rise-at-a-cagr-of-3-11-during-forecast-period-2022-2031--observes-tmr-study->

[301621220.html](#)

20. sci-hub.se, accessed May 17, 2025, <https://sci-hub.se/downloads/2019-12-20/86/10.1016@j.polymeresting.2019.106293.pdf>
21. apps.dtic.mil, accessed May 17, 2025, <https://apps.dtic.mil/sti/trecms/pdf/AD1166228.pdf>
22. www.fibtex.lodz.pl, accessed May 17, 2025, [http://www.fibtex.lodz.pl/pliki/Fibtex\\_\(ak92588zrz1aze8t\).pdf](http://www.fibtex.lodz.pl/pliki/Fibtex_(ak92588zrz1aze8t).pdf)
23. yadda.icm.edu.pl, accessed May 17, 2025, [https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-7947be6c-8c93-4f29-857b-64402d5cffb8/c/10\\_Fejdys\\_Effect\\_2020\\_1.pdf](https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-7947be6c-8c93-4f29-857b-64402d5cffb8/c/10_Fejdys_Effect_2020_1.pdf)
24. Mechanical Characterization of Advanced Ultra-High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE) Composites by Ultrasonic Method - DTIC, accessed May 17, 2025, <https://apps.dtic.mil/sti/trecms/pdf/AD1146645.pdf>
25. 材料基因组计划与先进材料, accessed May 17, 2025, <https://www.engineering.org.cn/engi/CN/10.15302/J-ENG-2015056>
26. 数据+人工智能是材料基因工程的核心 - 欢迎访问 HTML 服务, accessed May 17, 2025, <https://html.rhhz.net/kjdb/20181404.htm>
27. E06.材料基因组, accessed May 17, 2025, [http://www.medmeeting.org/Upload/user/1064920/file/20180626/20180626093403\\_4951.pdf](http://www.medmeeting.org/Upload/user/1064920/file/20180626/20180626093403_4951.pdf)
28. Advanced Manufacturing Office: Workshop on Artificial Intelligence Applied to Materials Discovery and Design - Department of Energy, accessed May 17, 2025, [https://www.energy.gov/sites/prod/files/2018/03/f49/AI%20Applied%20to%20Materials%20Discovery%20and%20Design\\_Workshop%20Summary%20Report.pdf](https://www.energy.gov/sites/prod/files/2018/03/f49/AI%20Applied%20to%20Materials%20Discovery%20and%20Design_Workshop%20Summary%20Report.pdf)
29. Building a Materials Data Infrastructure: Opening New Pathways to Discovery and Innovation in Science and Engineering - NSF, accessed May 17, 2025, <https://www.nsf.gov/attachments/297691/public/Building-a-Materials-Data-Infrastructure-Study.pdf>
30. A data analytic methodology for materials informatics - High Performance Computing Collaboratory - Mississippi State University, accessed May 17, 2025, <https://www.hpc.msstate.edu/publications/docs/2014/04/12457final.pdf>
31. Community Resource for Innovation in Polymer Technology (CRIPT ..., accessed May 17, 2025, <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acscentsci.3c00011>
32. Concepts for a Semantically Accessible Materials Data Space: Overview over Specific Implementations in Materials Science - ResearchGate, accessed May 17, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/387174843\\_Concepts\\_for\\_a\\_Semantically\\_Accessible\\_Materials\\_Data\\_Space\\_Overview\\_over\\_Specific\\_Implementations\\_in\\_Materials\\_Science](https://www.researchgate.net/publication/387174843_Concepts_for_a_Semantically_Accessible_Materials_Data_Space_Overview_over_Specific_Implementations_in_Materials_Science)
33. DOE/NSF Materials Genome Initiative, accessed May 17, 2025, [https://www.mgi.gov/sites/mgi/files/2015\\_MGI\\_PI\\_Meeting\\_Abstract\\_Book.pdf](https://www.mgi.gov/sites/mgi/files/2015_MGI_PI_Meeting_Abstract_Book.pdf)

34. 质量和技术优势显现我国超高分子量聚乙烯纤维占全球产能 67%以上, accessed May 17, 2025, <https://www.cinn.cn/p/291192.html>
35. Ultra-High-Molecular-Weight-Polyethylene (UHMWPE) as a Promising Polymer Material for Biomedical Applications: A Concise Review, accessed May 17, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7077409/>
36. Properties of UHMWPE fiber-reinforced composites - ResearchGate, accessed May 17, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/257394650\\_Properties\\_of\\_UHMWPE\\_fiber-reinforced\\_composites](https://www.researchgate.net/publication/257394650_Properties_of_UHMWPE_fiber-reinforced_composites)
37. (PDF) Thermal Conductivity of High-Strength Polyethylene Fiber and Applications for Cryogenic Use - ResearchGate, accessed May 17, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/258403243\\_Thermal\\_Conductivity\\_of\\_High-Strength\\_Polyethylene\\_Fiber\\_and\\_Applications\\_for\\_Cryogenic\\_Use](https://www.researchgate.net/publication/258403243_Thermal_Conductivity_of_High-Strength_Polyethylene_Fiber_and_Applications_for_Cryogenic_Use)
38. Effect of consolidation pressure on the impact behavior of UHMWPE composites, accessed May 17, 2025, <https://publica-rest.fraunhofer.de/server/api/core/bitstreams/6b7d7c90-5842-46da-8920-4b58e3be48b6/content>
39. DISS. ETH NO. 27928 Unraveling nascent disentangled ultra-high molecular weight polyethylene A thesis submitted to attain the de, accessed May 17, 2025, <https://www.research-collection.ethz.ch/bitstream/handle/20.500.11850/516836/1/thesis.pdf>
40. Origin of high thermal conductivity in disentangled ultra-high molecular weight polyethylene films: ballistic phonons within enlarged crystals - ResearchGate, accessed May 17, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/356455503\\_Origin\\_of\\_high\\_thermal\\_conductivity\\_in\\_disentangled\\_ultra-high\\_molecular\\_weight\\_polyethylene\\_films\\_ballistic\\_phonons\\_within\\_enlarged\\_crystals](https://www.researchgate.net/publication/356455503_Origin_of_high_thermal_conductivity_in_disentangled_ultra-high_molecular_weight_polyethylene_films_ballistic_phonons_within_enlarged_crystals)
41. Three-dimensional thermal expansion of neat and irradiated (U)HMWPE materials at elevated temperatures - ResearchGate, accessed May 17, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/364618596\\_Three-dimensional\\_thermal\\_expansion\\_of\\_neat\\_and\\_irradiated\\_UHMWPE\\_materials\\_at\\_elevated\\_temperatures](https://www.researchgate.net/publication/364618596_Three-dimensional_thermal_expansion_of_neat_and_irradiated_UHMWPE_materials_at_elevated_temperatures)
42. Structure-morphology correlation in electrospun fibers of semicrystalline polymers by simultaneous synchrotron SAXS-WAXD - ResearchGate, accessed May 17, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/274095845\\_Structure-morphology\\_correlation\\_in\\_electrospun\\_fibers\\_of\\_semicrystalline\\_polymers\\_by\\_simultaneous\\_synchrotron\\_SAXS-WAXD](https://www.researchgate.net/publication/274095845_Structure-morphology_correlation_in_electrospun_fibers_of_semicrystalline_polymers_by_simultaneous_synchrotron_SAXS-WAXD)
43. X-ray photoelectron spectroscopy: Towards reliable binding energy referencing, accessed May 17, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/334765188\\_X-ray\\_photoelectron\\_spectroscopy\\_Towards\\_reliable\\_binding\\_energy\\_referencing](https://www.researchgate.net/publication/334765188_X-ray_photoelectron_spectroscopy_Towards_reliable_binding_energy_referencing)
44. X-ray Diffraction Techniques for Mineral Characterization: A Review for Engineers of the Fundamentals, Applications, and Research Directions - MDPI,

- accessed May 17, 2025, <https://www.mdpi.com/2075-163X/12/2/205>
45. Composite Materials: High Strain Rate Studies [1 ed.] 1032402938, 9781032402932 - DOKUMEN.PUB, accessed May 17, 2025, <https://dokumen.pub/composite-materials-high-strain-rate-studies-1nbsped-1032402938-9781032402932.html>
  46. Biomimetic Approaches for the Design and Fabrication of Bone-to-Soft Tissue Interfaces | ACS Biomaterials Science & Engineering - ACS Publications, accessed May 17, 2025, <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsbiomaterials.1c00620>
  47. Morphology and Electrical Conductivity of Compatibilized Thermoplastic Polyurethane/single-walled Carbon Nanotube Composites - SciSpace, accessed May 17, 2025, <https://scispace.com/pdf/morphology-and-electrical-conductivity-of-compatibilized-2srb9lzobs.pdf>
  48. (PDF) Physical, mechanical, and microstructural characterisation of an innovative thermal insulating render incorporating silica aerogel - ResearchGate, accessed May 17, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/338664645\\_Physical\\_mechanical\\_and\\_microstructural\\_characterisation\\_of\\_an\\_innovative\\_thermal\\_insulating\\_render\\_incorporating\\_silica\\_aerogel](https://www.researchgate.net/publication/338664645_Physical_mechanical_and_microstructural_characterisation_of_an_innovative_thermal_insulating_render_incorporating_silica_aerogel)
  49. General purpose lifting slings | Dyneema®, accessed May 17, 2025, <https://www.dyneema.com/sectors/manufacturing-and-construction/general-purpose-lifting-slings>
  50. assets.ctfassets.net, accessed May 17, 2025, [https://assets.ctfassets.net/q6qgec8ud5tq/2GdmBkj3dwBbrFJRH3Sj1z/068235c750ac99651aa87581d121a317/CIS\\_YA104\\_Creep\\_Resistance\\_of\\_UHMPE\\_fiber\\_from\\_DSM\\_Dyneema.pdf](https://assets.ctfassets.net/q6qgec8ud5tq/2GdmBkj3dwBbrFJRH3Sj1z/068235c750ac99651aa87581d121a317/CIS_YA104_Creep_Resistance_of_UHMPE_fiber_from_DSM_Dyneema.pdf)
  51. Effects of spacing and ply blocking on the ballistic resistance of UHMWPE laminates | Request PDF - ResearchGate, accessed May 17, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/348720287\\_Effects\\_of\\_spacing\\_and\\_ply\\_blocking\\_on\\_the\\_ballistic\\_resistance\\_of\\_UHMWPE\\_laminates](https://www.researchgate.net/publication/348720287_Effects_of_spacing_and_ply_blocking_on_the_ballistic_resistance_of_UHMWPE_laminates)
  52. Effects of fabric target size, shape, and clamping on the V50 ballistic impact performance of aramid soft body armor | Request PDF - ResearchGate, accessed May 17, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/287037696\\_Effects\\_of\\_fabric\\_target\\_size\\_shape\\_and\\_clamping\\_on\\_the\\_V50\\_ballistic\\_impact\\_performance\\_of\\_aramid\\_soft\\_body\\_armor](https://www.researchgate.net/publication/287037696_Effects_of_fabric_target_size_shape_and_clamping_on_the_V50_ballistic_impact_performance_of_aramid_soft_body_armor)
  53. An experimental study on the ballistic performance of ultra-high hardness armor steel (Armox 600T) against 7.62 mm 5, accessed May 17, 2025, <https://openaccess.iyte.edu.tr/bitstream/11147/13217/1/1-s2.0-S2215098623000149-main.pdf>
  54. HighCom-Armor-2024-Digital-Product-Catalog-web.pdf, accessed May 17, 2025, <https://www.highcomarmor.com/wp-content/uploads/2024/08/HighCom-Armor-2024-Digital-Product-Catalog-web.pdf>
  55. Aged Body Armour Testing in Development of a Replacement Protocol -



- Biokinetics, accessed May 17, 2025, <https://biokinetics.com/wp-content/uploads/2024/04/Withnall-et-al-2010-Aged-Armour-Body-Armour-Testing-Replacement-PASS.pdf>
56. Evaluation of IKTS Transparent Polycrystalline Magnesium Aluminate Spinel (MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) for Armor and Infrared Dome - GovInfo, accessed May 17, 2025, <https://www.govinfo.gov/content/pkg/GOVPUB-D101-PURL-gpo136165/pdf/GOVPUB-D101-PURL-gpo136165.pdf>
  57. SPECIFICATIONS & SCOPE OF WORK BODY ARMOR & CUSTOM FITTING SERVICES The successful Bidder shall provide the specified br, accessed May 17, 2025, <https://eservices.sccgov.org/scopeofwork/Home/Document/256>
  58. Interceptor Small Arms Protective Insert (SAPI) MANTECH Product Enhancement Test Report 2 - DTIC, accessed May 17, 2025, <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA400185.pdf>
  59. IMPROVEMENT OF THE ROBUSTNESS OF BALLISTIC HELMETS TO RIFLE AMMUNITION - RiUBU, accessed May 17, 2025, [https://riubu.ubu.es/bitstream/10259/5967/1/Miranda\\_Vicario.pdf](https://riubu.ubu.es/bitstream/10259/5967/1/Miranda_Vicario.pdf)
  60. PERSONAL ARMOUR SYSTEMS SYMPOSIUM 2023 DRESDEN, GERMANY - Kemono, accessed May 17, 2025, <https://n2.kemono.su/data/f5/a5/f5a59cc8100af787081563064f231a85e6f6d4d98e622395333b7681e959a270.pdf?f=PASS+2023+fulltexts.pdf>
  61. pdfs.semanticscholar.org, accessed May 17, 2025, <https://pdfs.semanticscholar.org/6dea/799158610ac959e1d965e48925c032b87ea9.pdf>
  62. Full Body Armor for Military Army Bullet Proof Vest - Bulletproof ..., accessed May 17, 2025, <https://jiangsu-crown.en.made-in-china.com/product/Knfpsijcgzhx/China-Full-Body-Armor-for-Military-Army-Bullet-Proof-Vest.html>
  63. Nij III Level for M80 Side Insert Bulletproof Plate for Army Tyz-Bp ..., accessed May 17, 2025, <https://bjtyz-pe.en.made-in-china.com/product/GFEQBWzlvfhr/China-Nij-III-Level-for-M80-Side-Insert-Bulletproof-Plate-for-Army-Tyz-Bp-C010.html>
  64. (PDF) Analysis of bulletproof performance of structurally optimized ceramic composite armor through numerical simulation and live fire test - ResearchGate, accessed May 17, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/387536178\\_Analysis\\_of\\_bulletproof\\_performance\\_of\\_structurally\\_optimized\\_ceramic\\_composite\\_armor\\_through\\_numerical\\_simulation\\_and\\_live\\_fire\\_test](https://www.researchgate.net/publication/387536178_Analysis_of_bulletproof_performance_of_structurally_optimized_ceramic_composite_armor_through_numerical_simulation_and_live_fire_test)
  65. Lightweight Ballistic Composites: Military and Law-enforcement Applications [1 ed.] 1855739410, 9781855739413, 9781845691554 - DOKUMEN.PUB, accessed May 17, 2025, <https://dokumen.pub/lightweight-ballistic-composites-military-and-law-enforcement-applications-1nbsped-1855739410-9781855739413-9781845691554.html>
  66. Lightweight ballistic composites - National Academic Digital Library of Ethiopia,

- accessed May 17, 2025,  
<https://www.ndl.ethernet.edu.et/bitstream/123456789/77254/1/26.pdf>
67. China: How to register the copyright of a computer software? - Lehman, Lee & Xu, accessed May 17, 2025, <http://lehmanlaw.com/resource-centre/faqs/intellectual-property/copyright/how-to-register-the-copyright-of-a-computer-software.html>
  68. Copyright registration in China... - CCPIT Patent, accessed May 17, 2025, <https://www.ccpit-patent.com.cn/news/Intellectual/other/2021/0317/863.html>
  69. 中华人民共和国国家版权局令（第1号）计算机软件著作权登记办法, accessed May 17, 2025, [https://www.gov.cn/gongbao/content/2003/content\\_62202.htm](https://www.gov.cn/gongbao/content/2003/content_62202.htm)
  70. Measures for the Registration of Computer Software Copyright, China - WIPO, accessed May 17, 2025, <https://www.wipo.int/wipolex/en/legislation/details/6477>
  71. Armor specs Chinese GA141 2010 – BMI® | Beyond Mission & Impossible, accessed May 17, 2025, <https://bmi.army/about/home/armor-specs/armor-specs-chinese-ga141-2010/>
  72. List of body armor performance standards - Wikipedia, accessed May 17, 2025, [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_body\\_armor\\_performance\\_standards](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_body_armor_performance_standards)
  73. 中华人民共和国公共安全行业标准, accessed May 17, 2025, [https://img.antpedia.com/standard/files/pdfs\\_or/CN-GA/2ff/GA%20141-2010.pdf](https://img.antpedia.com/standard/files/pdfs_or/CN-GA/2ff/GA%20141-2010.pdf)
  74. 期刊论文- 法信- 懂法，更懂法律人, accessed May 17, 2025, <https://www.faxin.cn/v2/qklw/list.html?param=W3sia2V5ljojYXV0aG9yX2NsdXNOZXliLCJrZXI0YW1lIjoj5L2c6ICFlwidHlwZSI6ImFkd mFuY2VklwidmFsdWUiOiLlrovjl avkuJws5p2o5p2wliwidmFsdWVOYW1lIjoj5a6L5Y2r5LicO%252BadqOadsCJ9XQ%253D%253D&isadvanced=1>
  75. CN113481715A - 一种用于改善纤维织物防护性能的浸渍液及其应用 - Google Patents, accessed May 17, 2025, <https://patents.google.com/patent/CN113481715A/zh>
  76. citizen science for environmental monitoring - European Parliament, accessed May 17, 2025, [https://www.europarl.europa.eu/RegData/docs\\_autres\\_institutions/commission\\_europeenne/swd/2020/0149/COM\\_SWD\(2020\)0149\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/docs_autres_institutions/commission_europeenne/swd/2020/0149/COM_SWD(2020)0149_EN.pdf)
  77. broadband seismic sensors: Topics by Science.gov, accessed May 17, 2025, <https://www.science.gov/topicpages/b/broadband+seismic+sensors>
  78. NATIONAL MATERIALS INNOVATION STRATEGY - Henry Royce Institute, accessed May 17, 2025, [https://www.royce.ac.uk/content/uploads/2025/01/National\\_Materials\\_Innovation\\_Strategy\\_FINAL\\_WEBSITE.pdf](https://www.royce.ac.uk/content/uploads/2025/01/National_Materials_Innovation_Strategy_FINAL_WEBSITE.pdf)
  79. National Institute of Standards and Technology (NIST) NIST, founded in 1901, is a non-regulatory federal agency within the Depar, accessed May 17, 2025, <https://www.nist.gov/document/formattednistopengovernmentplan2018finalpdf>
  80. Resources - Polymeric Materials: Science and Engineering (PMSE), accessed May

- 17, 2025, <https://pmsedivision.org/resources/>
81. [PoLyInfo HELP] Instruction, accessed May 17, 2025, <https://polymer.nims.go.jp/PoLyInfo/guide/en/instruction.html>
  82. Polymer Database(PoLyInfo) - DICE :: National Institute for Materials Science (NIMS), accessed May 17, 2025, <https://polymer.nims.go.jp/en/>
  83. [PoLyInfo HELP] Outline of PoLyInfo - NIMS, accessed May 17, 2025, [https://polymer.nims.go.jp/PoLyInfo/guide/en/what\\_is\\_polyinfo.html](https://polymer.nims.go.jp/PoLyInfo/guide/en/what_is_polyinfo.html)
  84. Full article: NIMS polymer database PoLyInfo (II): machine-readable standardization of polymer knowledge expression - Taylor & Francis Online, accessed May 17, 2025, <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/27660400.2024.2354651>
  85. Materials for Sustainable Design: Databases - Research Guides, accessed May 17, 2025, <https://libguides.umn.edu/c.php?g=1406733&p=10463040>
  86. FAQ on MatWeb Property Features, accessed May 17, 2025, <https://www.matweb.com/reference/faq.aspx>
  87. The Online Materials Information Resource - MatWeb, accessed May 17, 2025, <https://www.matweb.com/services/databaselicense.aspx>
  88. Property Data Availability - MatWeb, accessed May 17, 2025, <https://www.matweb.com/help/PropertyDataAvailability.aspx>
  89. Description: MatWeb - Material Property Data - Forschungszentrum Jülich, accessed May 17, 2025, <https://julich.fz-juelich.de/vufind/Record/374682>
  90. Celanese GUR® 4130 UHMWPE Polyolefin Resin - MatWeb, accessed May 17, 2025, <https://www.matweb.com/search/datasheettext.aspx?matguid=7192ef521f654635b61a766b1e85f1ad>
  91. Polikim ULPOLEN® 500 UHMWPE Standard - MatWeb, accessed May 17, 2025, <https://apm.matweb.com/search/datasheettext.aspx?matguid=e6f135cc9c044ae888668c396453307b>
  92. Thermoplastic Elastomers 9789535103462 - DOKUMEN.PUB, accessed May 17, 2025, <https://dokumen.pub/thermoplastic-elastomers-9789535103462.html>
  93. Fiber Selection for Reinforced Additive Manufacturing - MDPI, accessed May 17, 2025, <https://www.mdpi.com/2073-4360/13/14/2231>
  94. Carbon Fibers and Their Composite Materials - MDPI, accessed May 17, 2025, [https://mdpi-res.com/bookfiles/book/1431/Carbon\\_Fibers\\_and\\_Their\\_Composite\\_Materials.pdf?v=1739671288](https://mdpi-res.com/bookfiles/book/1431/Carbon_Fibers_and_Their_Composite_Materials.pdf?v=1739671288)
  95. NBTRD - National Institute of Standards and Technology, accessed May 17, 2025, <https://tsapps.nist.gov/nrbtd>
  96. NIST Ballistics Toolmark Research Database - PMC, accessed May 17, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9015427/>
  97. What is SQL Server and how does it work? - Quest Software, accessed May 17, 2025, <https://www.quest.com/learn/what-is-sql-server.aspx>
  98. MySQL vs SQL Server: A Comprehensive Comparison of RDBMS - Sprinkle Data,

- accessed May 17, 2025, <https://www.sprinkledata.com/blogs/mysql-vs-sql-server-a-comprehensive-comparison-of-two-leading-relational-database-management-systems>
99. SQL Server (Transact-SQL) difference between Filestream and BLOB - Stack Overflow, accessed May 17, 2025, <https://stackoverflow.com/questions/47739994/sql-server-transact-sql-difference-between-filestream-and-blob>
  100. FILESTREAM is a storage - Microsoft, accessed May 17, 2025, <https://download.microsoft.com/download/d/2/0/d20e1c5f-72ea-4505-9f26-fef9550efd44/filestreamstorage.docx>
  101. Reliability-based composite pressure vessel design optimization with cure-induced stresses and spatial material variability - ResearchGate, accessed May 17, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/385132508\\_Reliability-based\\_composite\\_pressure\\_vessel\\_design\\_optimization\\_with\\_cure-induced\\_stresses\\_and\\_spatial\\_material\\_variability](https://www.researchgate.net/publication/385132508_Reliability-based_composite_pressure_vessel_design_optimization_with_cure-induced_stresses_and_spatial_material_variability)
  102. BULETIN ȘTIINȚIFIC SUPLIMENT - Cadet INOVA, accessed May 17, 2025, [https://www.cadetinova.ro/documente/Supliment\\_Inova\\_20.pdf](https://www.cadetinova.ro/documente/Supliment_Inova_20.pdf)
  103. High modulus, high tenacity yarns - ScienceDirect, accessed May 17, 2025, <http://dx.doi.org/10.1533/9781845699475.2.329>
  104. A comprehensive review of natural fibers and their composites: An eco-friendly alternative to conventional materials - ResearchGate, accessed May 17, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/371988184\\_A\\_comprehensive\\_review\\_of\\_natural\\_fibers\\_and\\_their\\_composites\\_An\\_eco-friendly\\_alternative\\_to\\_conventional\\_materials](https://www.researchgate.net/publication/371988184_A_comprehensive_review_of_natural_fibers_and_their_composites_An_eco-friendly_alternative_to_conventional_materials)
  105. Selection and Application Guide to Personal Body Armor - Office of Justice Programs, accessed May 17, 2025, <https://www.ojp.gov/pdffiles1/nij/189633.pdf>
  106. Natural Fiber Composite Filaments for Additive Manufacturing: A Comprehensive Review, accessed May 17, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/375796924\\_Natural\\_Fiber\\_Composite\\_Filaments\\_for\\_Additive\\_Manufacturing\\_A\\_Comprehensive\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/375796924_Natural_Fiber_Composite_Filaments_for_Additive_Manufacturing_A_Comprehensive_Review)
  107. GB 12014-2019 English Version, GB 12014-2019 Protective clothing—Static protective clothing (English Version) - Code of China, accessed May 17, 2025, <https://www.codeofchina.com/standard/GB12014-2019.html>
  108. Methods of providing high purity SiOC and SiC materials - Patent US-11014819-B2 - PubChem, accessed May 17, 2025, <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/patent/US-11014819-B2>
  109. Proceedings of 1 International Conference on Advances in Mechanical, Materials ,Mechatronics and Energy Engineering - UET Taxila, accessed May 17, 2025, <https://web.uettaxila.edu.pk/ConferenceData/icame2024/ICAME-2024-BookOfProceddings.pdf?random=638724798042362444>
  110. (PDF) Influence of experimental conditions on conductivity of electrospun nanocomposite fibers - ResearchGate, accessed May 17, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/365843846\\_Influence\\_of\\_experimental](https://www.researchgate.net/publication/365843846_Influence_of_experimental)

- [conditions on conductivity of electrospun nanocomposite fibers](#)
111. Probing Deformation Mechanisms of Nanostructured Mg Alloys for Unprecedented Strength and Good Ductility - DTIC, accessed May 17, 2025, <https://apps.dtic.mil/sti/trecms/pdf/AD1059572.pdf>
  112. A framework proposal for new multiaxial fatigue damage and extreme response spectra in random vibrations frequency analysis - DOI, accessed May 17, 2025, <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2024.111338>
  113. Novel Model for Mean Stress Effect on High-Cycle Fatigue Performance of Threaded Fasteners - ResearchGate, accessed May 17, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/339134746\\_Novel\\_Model\\_for\\_Mean\\_Stress\\_Effect\\_on\\_High-Cycle\\_Fatigue\\_Performance\\_of\\_Threaded\\_Fasteners](https://www.researchgate.net/publication/339134746_Novel_Model_for_Mean_Stress_Effect_on_High-Cycle_Fatigue_Performance_of_Threaded_Fasteners)
  114. Papers - VCADS, accessed May 17, 2025, <http://vcads.org/vcads/publications/publications-papers.php>
  115. Hydroxyl Radical Induced Ultra-Weak Photon Emission from Tyrosine Solutions - Communications - Scientific Letters of the University of Zilina, accessed May 17, 2025, <http://komunikacie.uniza.sk/contents/csl/2015/04.pdf>
  116. (U)SAXS characterization of porous microstructure of chert: insights into organic matter preservation - IUCr Journals, accessed May 17, 2025, <https://journals.iucr.org/paper?uu5001>
  117. 2D Raman, ATR-FTIR, WAXD, SAXS and DSC data of PET mono - ScienceOpen, accessed May 17, 2025, [https://www.scienceopen.com/document\\_file/802db379-2ce4-45ba-bd35-0aeba2caf753/PubMedCentral/802db379-2ce4-45ba-bd35-0aeba2caf753.pdf](https://www.scienceopen.com/document_file/802db379-2ce4-45ba-bd35-0aeba2caf753/PubMedCentral/802db379-2ce4-45ba-bd35-0aeba2caf753.pdf)
  118. Handbook of Monochromatic XPS Spectra, Polymers and Polymers Damaged by X-Rays | Request PDF - ResearchGate, accessed May 17, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/241595766\\_Handbook\\_of\\_Monochromatic\\_XPS\\_Spectra\\_Polymers\\_and\\_Polymers\\_Damaged\\_by\\_X-Rays](https://www.researchgate.net/publication/241595766_Handbook_of_Monochromatic_XPS_Spectra_Polymers_and_Polymers_Damaged_by_X-Rays)
  119. ANALYSIS OF CHAIN MICROSTRUCTURE BY<sup>1</sup>H AND <sup>13</sup>C NMR SPECTROSCOPY Yury E. Shapiro NMR Laboratory Yaroslavl Polytechnic Institute U - ISMAR, accessed May 17, 2025, [https://ismar.org/wp-content/uploads/2021/09/BMR\\_07\\_027-058\\_1985.pdf](https://ismar.org/wp-content/uploads/2021/09/BMR_07_027-058_1985.pdf)
  120. Laser Raman spectroscopy as a technique for identification of seafloor hydrothermal and cold seep minerals - Woods Hole Oceanographic Institution, accessed May 17, 2025, [https://www.whoi.edu/cms/files/White\\_09\\_pre\\_46611.pdf](https://www.whoi.edu/cms/files/White_09_pre_46611.pdf)
  121. UHMWPE | High-Performance Plastics, accessed May 17, 2025, <https://www.pbyplastics.com/material-series/uhmwpe>
  122. UHMW Plastic | UHMWPE Properties & Material Uses | Curbell ..., accessed May 17, 2025, <https://www.curbellplastics.com/materials/plastics/uhmw/>
  123. Basic Properties Of Ultra-high Molecular Weight Polyethylene ..., accessed May 17, 2025, <https://www.honyplastic.com/news/basic-properties-of-ultra-high-molecular-weight-polyethylene-uhmwpe-259805.html>
  124. Enhancing Wear Resistance of UHMWPE Composites with Micro MoS<sub>2</sub> and Nano Graphite: A Taguchi-DOE Approach | ACS Omega - ACS Publications,



- accessed May 17, 2025, <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.4c00864>
125. COMPOSITES AND THEIR PROPERTIES, accessed May 17, 2025, [http://www.issp.ac.ru/ebooks/books/open/Composites\\_and\\_Their\\_Properties.pdf](http://www.issp.ac.ru/ebooks/books/open/Composites_and_Their_Properties.pdf)
126. (PDF) Numerical Modelling of Ultra-High Molecular Weight Polyethylene Composite Under Impact Loading - ResearchGate, accessed May 17, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/277930004\\_Numerical\\_Modelling\\_of\\_Ultra-High\\_Molecular\\_Weight\\_Polyethylene\\_Composite\\_Under\\_Impact\\_Loading](https://www.researchgate.net/publication/277930004_Numerical_Modelling_of_Ultra-High_Molecular_Weight_Polyethylene_Composite_Under_Impact_Loading)
127. Deformation and Fracture in Materials Advances in Experimental and | PDF - Scribd, accessed May 17, 2025, <https://www.scribd.com/document/750244149/Deformation-and-Fracture-in-Materials-Advances-in-Experimental-And>
128. Experimental Investigation of Ultra-High Molecular Weight Polyethylene Fibers and Fabric for Flexural Reinforcement in Ultra-High-Performance Concrete - MDPI, accessed May 17, 2025, <https://www.mdpi.com/1996-1944/18/9/2002>
129. hic entropia excitacion: Topics by Science.gov, accessed May 17, 2025, <https://www.science.gov/topicpages/h/hic+entropia+excitacion>
130. Investigations on the spall and delamination behavior of UHMWPE composites - Fraunhofer-Publica, accessed May 17, 2025, <https://publica.fraunhofer.de/bitstreams/c56e3c43-3d6e-4c73-bc5e-6df12b74fe17/download>
131. Publications — Inatech - Welcome - Universität Freiburg, accessed May 17, 2025, [https://www.inatech.uni-freiburg.de/start\\_en/departement/publications](https://www.inatech.uni-freiburg.de/start_en/departement/publications)
132. Composite Materials | High Strain Rate Studies | R. Velmurugan, Dong R - Taylor & Francis eBooks, accessed May 17, 2025, <https://www.taylorfrancis.com/books/edit/10.1201/9781003352358/composite-materials-velmurugan-dong-ruan-gurusideswar>
133. MaterialCenter Databanks | Hexagon, accessed May 17, 2025, <https://hexagon.com/products/materialcenter-databanks>
134. Military Textiles, accessed May 17, 2025, [https://ftp.idu.ac.id/wp-content/uploads/ebook/tdg/ADVANCED%20MATERIAL%20DESIGN/epdf.pub\\_military-textiles.pdf](https://ftp.idu.ac.id/wp-content/uploads/ebook/tdg/ADVANCED%20MATERIAL%20DESIGN/epdf.pub_military-textiles.pdf)
135. GB 8410-2006english | PDF | Combustion | Length - Scribd, accessed May 17, 2025, <https://www.scribd.com/document/720300753/GB-8410-2006english>
136. 三部门：对超高分子量聚乙烯纤维相关物项实施出口管制- 资讯, accessed May 17, 2025, <https://www.chemnews.com.cn/c/2024-05-31/738270.shtml>
137. 5 Best Practices for Data Validation | DS Stream DevOps, accessed May 17, 2025, <https://www.dsstream.com/post/5-best-practices-for-data-validation>
138. 11 Essential Data Validation Techniques - Twilio Segment, accessed May 17, 2025, <https://segment.com/data-hub/data-validation/techniques/>
139. Unstructured Data - Shinydocs Blog, accessed May 17, 2025, <https://shinydocs.com/blog-home/topic/unstructured-data>
140. Unstructured Data Management: Why It's a Different and Tougher Beast Than Structured Data - Shelf.io, accessed May 17, 2025,

<https://shelf.io/blog/unstructured-data-management-why-its-a-different-and-tougher-beast-than-structured-data/>

141. Best 10 JavaScript Libraries for Data Visualization in 2024 - DataBrain, accessed May 17, 2025, <https://www.usedatabrain.com/blog/javascript-data-visualization-libraries>
142. The Most Advanced Libraries for Data Visualization and Analysis on the Web, accessed May 17, 2025, <https://towardsdatascience.com/the-most-advanced-libraries-for-data-visualization-and-analysis-on-the-web-e823535e0eb1/>
143. All About the Stress-Strain Curve - Xometry, accessed May 17, 2025, <https://www.xometry.com/resources/3d-printing/stress-strain-curve/>
144. A Data-Driven Methodology for Obtaining the Stress-Strain Curves of Metallic Materials Using Discrete Indentation Tests - MDPI, accessed May 17, 2025, <https://www.mdpi.com/2075-4701/15/1/40>