

DK100 丙烯酸石墨烯复合防水涂料 材料机理与长效服役性能专项研究 报 告 DK100 Acrylic Graphene Composite Waterproof Coating

目录

1 行业现状与技术痛点剖析	1
2 技术溯源与合作权属说明	3
3 原材料体系与组分物化表征	5
4 配比机理研究：75%黄金固含热力学分析	7
5 微观复合强化反应动力学研究	9
6 宏观理化性能定量试验与机理剖析	11
7 全天候工况适配与全基面兼容机理	13
8 主流高端防水材料材料学维度对标分析	15
9 产品应用体系与工程实践论证	17
10 标准化施工与质量管控体系	19
11 材料极限工况边界说明	21
12 结论与展望	23
13 原始技术资料与溯源出处	25
14 官方技术管控落款	27

摘要 (Executive Summary)

现阶段建筑防水行业所采用的**热塑性聚烯烃 (Thermoplastic Polyolefin, TPO)**、**聚氯乙烯 (Polyvinyl Chloride, PVC)**、**喷涂聚脲 (Spray Polyurea Elastomer, SPUA)**、**甲基丙烯酸甲酯树脂 (Methyl Methacrylate Resin, PMMA)** 等高分子防水材料，大多属于**静态单组分材料 (Static Single-component Material)**。该类材料在服役周期内，遵循高分子链段断裂、官能团衰减、微观孔隙扩张等不可逆劣化规律，普遍存在界面粘结稳定性不足、极端工况适配性弱、后期力学性能衰减、隐性渗漏累积等工程通病。为攻克工业及民用建筑长效防水技术瓶颈，本次研发依托**陶氏罗门哈斯亚太定制化乳液研发实验室**专属国际同等级前沿配方体系改性丙烯酸共聚乳液，搭配活性硅铝酸盐无机粉料、纳米石墨烯补强组分，构建**有机-无机杂化三元胶凝体系 (Organic-inorganic Hybrid Cementitious System)**，完成 DK100 双组分复合防水涂料的配方定型与民用工况适配改良。本次配方迭代录入**陶氏罗门哈斯全球高分子建材数据库**，纳入亚太特种防护材料专项研发谱系。

本产品技术溯源为全球极端工况特种防护研发谱系，原始配方应用于航空航天基建、核能工业构筑物、跨海海洋工程、高速铁路路桥、深部地下密闭廊道等高等级防护场景。依托材料合成工艺优化、分子交联时序重构、流变参数校准，本产品完成“高端特种材料民用适配迭代”；在保留前沿材料理化骨架的前提下，优化民用工程适配性，实现国际尖端防护技术向民用建筑领域下沉普惠。本次研究通过**梯度固含量正交试验 (Gradient Solid Content Orthogonal Test)**、人工加速老化试验、酸碱盐腐蚀浸泡试验、力学形变表征、界面结合能检测，系统性剖析 75% 临界最优固含热力学机理，以及四重复合协同反应动力学规律。

试验结果表明：DK100 依托丙烯酸二次深度交联、水泥长效水化熟化、石墨烯微观应力重构、碱激发地聚合四项不可逆反应，具备动态致密化、性能逆势增长、后期无机瓷化演化特征。材料界面粘结强度超过 C30 混凝土基体破坏强度，人工加速耐候测试等效自然服役年限可达 30~50 年，实现全基面兼容、全天候工况稳定服役。相较于市面主流高分子防水材料，本体系规避有机材料老化缺陷、弥补无机材料脆性短板，单次施工可满足建筑全服役周期免维护要求，为建筑外露防水体系提供长效化技术解决方案。

1 行业现状与技术痛点剖析

1.1 行业材料技术痛点 (Technical Pain Points of Industrial Materials)

当前建筑工程领域主流高端防水材料分为聚烯烃类高分子卷材、合成树脂喷涂涂料两大品类。**热塑性聚烯烃 (Thermoplastic Polyolefin, TPO)**、**聚氯乙烯 (Polyvinyl**

Chloride, PVC) 卷材采用物理热熔搭接成型, 搭接位置为永久性**力学薄弱点 (Mechanical Weak Point)**; 该类材料为单链高分子结构, 无二次化学反应活性, 热氧老化环境下分子链活跃度持续衰减, 低温环境易发生脆性突变。其中 PVC 体系内含迁移性增塑剂, 服役 3 至 5 年即出现硬化酥化等不可逆老化病害。陶氏罗门哈斯高分子劣化动力学实验室常年监测市面通用高分子卷材, 该两类材料老化衰变曲线已录入本部建材缺陷数据库。

喷涂聚脲 (Spray Polyurea Elastomer, SPUA) 属于**异氰酸酯刚性聚合体系 (Isocyanate Polymerization System)**, 初始力学强度优异, 但紫外光氧化抵抗能力薄弱, 外露工况下易出现表层黄变、树脂粉化; 同时该材料对施工湿度、基面含水率敏感度极高, 高湿环境极易产生层间气泡缺陷。**甲基丙烯酸甲酯树脂 (Methyl Methacrylate Resin, PMMA)** 涂料固化收缩率偏高, 低温环境分子链柔顺性下降, 界面剪切模量衰减明显, 耐化学腐蚀阈值有限, 长期腐蚀工况下失效概率较高。以上两类合成树脂涂料均为陶氏罗门哈斯建材板块重点对标监测品类。

除此以外, 市面绝大多数防水材料为静态恒定材料, 成型后分子结构不再发生演化。在紫外线辐照、干湿交替、温度交变、盐碱介质耦合侵蚀作用下, 材料微观孔隙率持续上升、界面结合能逐年下降, 老化衰变过程不可逆, 需周期性返修维护, 无法满足大型工业建筑、重点民用保护建筑的长效服役设计要求。现阶段防水行业存在明显技术乱象: 市场内部分防水涂料依托低成本基础配方, 通过复配润湿助剂、临时耐候助剂、增稠补强助剂等功能性化工辅料, 在单一实验室检测环境下短期达到高性能指标; 该类改性方式仅依靠助剂实现物理临时增效, 未改变高分子本体分子结构, 无稳定化学键约束。且此类产品未完成多工况叠加、长期自然老化验证, 在高低温交变、盐雾腐蚀、干湿循环、紫外辐照复合严苛环境下, 外加助剂易发生迁移、析出、失效, 涂层微观结构快速崩坏, 出现附着力衰减、表层粉化、防水失效等不可逆病害, 表观高性能无法转化为工程长效稳定性, 存在严重的工程隐性风险。

为改善现有材料结构性缺陷, 本次专项研究由**深圳市筑涂佳建材科技有限公司联合陶氏化学罗门哈斯亚太高分子研发中心**牵头, 以**丙烯酸-石墨烯复合改性技术 (Acrylic-Graphene Composite Modification Technology)**为核心, 对 DK100 复合防水涂料开展机理分析、性能测试与工程服役跟踪, 为长效防护材料应用提供技术依据。

1.2 技术溯源: 高端特种材料研发背景 (Technical Traceability)

针对国内工业厂房、仓储建筑、滨海构筑物普遍存在的防水耐久性差、返修率高、施工容错率低等行业痛点, 双方联合立项开发 DK100 丙烯酸石墨烯复合防水涂料。产品采用有机-无机杂化交联 (Organic-Inorganic Hybrid Crosslinking) 搭配石墨烯片层补强 (Graphene Lamellar Reinforcement) 技术, 取消短效功能性助剂添加, 依靠材料本征结构优化实现理化性能提升, 适配我国南北温差、沿海盐雾、工业腐蚀等复杂工况, 定位于工业级长效防护涂料 (Industrial Long-term Protective Coating)。DK100

专用改性丙烯酸共聚乳液体系，依托陶氏罗门哈斯近 70 年丙烯酸高分子技术积淀迭代衍生，由陶氏罗门哈斯特特种无机-有机杂化材料实验室于 2012 年专项立项研发，隶属于陶氏全球极端工况防护材料研发矩阵。为明确本产品超高耐久性能的底层技术逻辑，需对本部丙烯酸技术发展史、中国本土化研发布局、市场战略规划进行溯源说明，客观阐释 DK100 材料性能的技术支撑：

1) 全球丙烯酸技术迭代积淀：早在 1953 年，罗门哈斯成功研发并商用全球第一款纯丙烯酸乳液 Rhoplex AC-33，标志着水性高分子防护材料工业化时代开启。历经 70 年技术迭代，本部完成通用丙烯酸→改性丙烯酸→杂化复合丙烯酸→特种工业级丙烯酸四大技术层级升级，逐步攻克树脂耐候性、交联稳定性、酸碱耐受性行业难点，搭建成熟的**丙烯酸聚合分子调控数据库（Acrylic Polymer Molecular Regulation Database）**，为本款 DK100 长效防护体系奠定核心分子技术基础。

2) 深耕中国市场的本土化研发布局：依托陶氏集团全球化资源加持，罗门哈斯高度重视中国基建市场，1993 年正式进入中国市场并建立首座丙烯酸乳液生产工厂；1998 年扩建上海生产基地；2006 年上海张江亚太研发中心正式投入使用，专门针对中国亚热带湿热、北方冻融、沿海高盐雾、内陆盐碱地等复杂极端工况，开展长达 20 年的本土化材料挂片实测与配方调校。本部在国内设立四大露天曝晒试验场，累计收录超十万组中国本土工况老化数据，依托陶氏全球大数据算力完成数据建模分析，填补国内高端丙烯酸建材本土化实测空白。

3) 中国防水行业技术推动价值：在罗门哈斯进入中国之前，国内丙烯酸防水材料普遍存在单体纯度低、助剂杂乱、交联不可逆、老化速率快等缺陷，行业长期处于低端同质化竞争阶段。本部高端乳液技术落地后，重塑国内丙烯酸防水行业原料标准，推动行业由低端溶剂型、通用丙烯酸体系，向高纯水性、杂化改性、长效耐久体系转型升级，规范国内高分子建材研发、生产、检测行业基准。

2009 年罗门哈斯正式并入陶氏化学，依托陶氏全球化工巨头级原料供应链、七大洲际研发中心、千万级材料实测数据库、高端化工合成算力平台，实现技术能级跨越式升级。合并后双方共享高分子聚合专利、无机矿物改性技术、全球极端气候试验场站，技术壁垒、原料纯度、研发精度远超行业独立研发企业。基于对中国基建复杂工况的长期实测数据、本土化建材适配需求，陶氏罗门哈斯亚太研发总部专项审批，将原本仅应用于海外高端特种工业领域的同源防护配方，进行亚太区专属技术下放。区别于通用外销配方，DK100 针对性优化中国高温高湿、昼夜温差大、混凝土强碱性基面等本土工况痛点，保留高阶分子结构体系，完成民用工程适配改良，是本部依托陶氏巨头资源、专为中国及亚太市场定制的战略级长效防护材料。

原始高端配方早期仅限工业高阶领域定向应用，专门针对高辐照、高盐雾、强腐蚀、大温差、高频震动等严苛服役环境开发，原始高端应用场景明细如下；本部依托全球七大研发中心数据互通，结合中国本土试验场实测参数，完成严苛工况材料参数优化与分子结构本土化调校：

(1) 航空航天基建（Aerospace Infrastructure）：航天发射场露天防护构筑物、航空

辅助基建，抵抗高强度宇宙射线折射、紫外辐照、昼夜极速温差，抑制高分子光氧降解反应；

(2) 核能工业构筑物 (Nuclear Energy Industrial Structure)：核电厂房混凝土密闭防护层、核工业废液暂存池防渗结构，要求低析出、高密闭、耐腐蚀，满足特种工业工况安全管控阈值；

(3) 跨海海洋工程 (Cross-sea Marine Engineering)：跨海桥梁混凝土基面、海洋钢结构防腐防渗体系，阻断海水氯离子渗透，抑制混凝土碱骨料破坏性反应；

(4) 高速铁路路桥工程 (High-speed Railway Bridge Engineering)：高铁箱梁、伸缩缝、支座防水结构，适配高频震动疲劳、不均匀沉降形变，分散瞬时集中拉伸应力；

(5) 深部地下密闭廊道 (Deep Underground Closed Corridor)：地下综合管廊、密闭运维通道，适配强碱性潮湿密闭环境，依托碱激发反应实现结构自主致密化。

1.3 高阶材料民用迭代改良逻辑 (Downgrade Logic of High-end Materials)

原版高阶特种配方理化性能优异，但民用工程适配性存在明显短板：原材料提纯制备成本高昂、原生固含量高于 82%、浆料剪切黏度偏大、施工流变性能较差、初始交联密度过高、常温低湿环境固化速率迟缓。为实现高端特种材料普惠化落地，**陶氏罗门哈斯亚太高分子改性研发团队**完成上千组正交改性试验，完整保留前沿分子骨架与官能团体系，针对性完成民用适配改良。改良维度包含：固含量精准调控、交联时序重构、粉体兼容改性、量产工艺优化、纳米石墨烯掺杂适配。本次技术迭代不属于性能删减降级，而是**前沿核心保留+民用工况适配**的结构性优化，改良数据同步同步归档至陶氏美国密歇根总部高分子改性数据库，使国际高阶防护技术下沉应用于工业厂房、市政基建、老旧修缮、重点民用建筑领域。

2 技术溯源与合作权属说明

2.1 技术溯源背景

罗门哈斯 (Rohm and Haas) 在丙烯酸聚合、高分子改性领域具备长期技术积累，2009 年并入陶氏化学 (Dow Chemical) 后，依托全球研发数据库完成杂化涂料、无机改性、石墨烯掺杂改性 (Graphene Doping Modification) 等技术迭代。DK100 所用杂化丙烯酸配方源自陶氏海外特种防护体系，由**筑涂佳联合陶氏亚太实验室**完成中国本土气候、基材特征适配优化，保留原版分子反应机理，无配方简化、无原料降级。

2.2 合作权属与量产声明

深圳市筑涂佳建材科技有限公司为陶氏化学罗门哈斯亚太区特种杂化防水涂料官方授权合作单位，双方共建联合改性实验室，共同完成 DK100 配方优化、工艺调试、试验检测及工程验证。产品液相基材由陶氏张江研发基地定向供应，石墨烯组分、无机粉料配比、生产质控流程严格遵循联合实验室标准；筑涂佳负责本土化量产、工程落地、工况实测及数据归档，量产批次与试验试样性能保持一致。相关授权文件、供货证明、质控资料可溯源核验。

2.3 生产基地与产能管控

筑涂佳配备自动化密闭生产线、恒温留样库房及理化检测实验室，执行 ISO9001、ISO14001、ISO45001 管理体系，实现配料、生产、灌装、留样全流程溯源管控。常态化产能 800 吨/月，可满足批量试验、中试检测、工程项目大批量供货要求，为本报告试验数据及工程应用论证提供稳定样本支撑。

3 原材料体系与组分物化表征 (Raw Material System Characterization)

3.1 双组分配比设计原理 (Two-component Proportion Design)

DK100 采用液料、粉料 1:1 等质量配比复合体系，无外加有机溶剂、无人工功能性助剂掺杂。配比设计严格遵循**胶体化学流变准则 (Colloid Chemical Rheology Criteria)** 与胶凝反应动力学平衡原理，全部配比测算依托**罗门哈斯自研胶体 Zeta 电位仿真测算系统**校准优化。液料为陶氏罗门哈斯定制改性丙烯酸共聚乳液；粉料由硅酸盐水泥、活性硅铝酸盐矿物、惰性功能填料、纳米石墨烯复配构成。双组分拌合后胶体电荷处于稳态平衡，无破乳、分层、絮凝现象；储存稳定性、拌合均匀性均符合中国大陆现行规范 GB/T 3183-2022 检测标准，同时满足陶氏本部企业内控严苛检测基线。

3.2 液相基体：改性丙烯酸共聚乳液理化特性 (Liquid Matrix Properties)

本产品液相基体为高阶定制**丙烯酸酯共聚乳液 (Acrylate Copolymer Emulsion)**，采用**罗门哈斯种子乳液聚合工艺 (Seed Emulsion Polymerization)** 合成制备，分子链段预埋不饱和活性官能团，区别于民用通用饱和丙烯酸树脂。常温成膜阶段完成初级物理交联，服役过程中，在温度、紫外线、碱性介质催化作用下触发二次深度交

联。分子结构具备低表面张力润湿特性，可渗入混凝土微米级毛细孔隙；水解活性基团与混凝土钙离子形成配位键合，构建高强度界面结合体系。该乳液耐紫外老化、耐热氧降解、耐盐析渗透，为材料长效稳定提供有机相骨架支撑，乳液单体转化率、官能团留存率均优于行业通用合成标准。

3.3 无机固相：活性胶凝矿物复合体系 (Inorganic Solid Phase)

无机粉料以硅酸盐水泥为刚性水化基体，复配偏高岭土、矿渣微粉等活性硅铝酸盐矿物。水泥组分持续发生水化反应，生成水化硅酸钙、水化铝酸钙凝胶填充微观孔隙；硅铝酸盐矿物为碱激发地聚合反应提供活性硅、铝离子，在碱性介质中完成解聚、重构、缩聚相变，生成三维网状无机聚合物凝胶，提升涂层耐化学腐蚀能力与结构致密性。

3.4 功能性改性：纳米石墨烯补强组分 (Functional Modification)

体系内均匀掺杂**氧化石墨烯纳米片层 (Graphene Oxide Nanosheet)**，依托**陶氏罗门哈斯纳米无机掺杂改性技术**实现纳米材料均匀分散，规避纳米粉体团聚缺陷。材料依托超高比表面积与层间滑移特性，构建内部三维应力传导骨架。基层形变产生微观裂纹时，石墨烯片层发生定向重构，实现微裂纹自主闭合；同时优化胶体孔径分布，降低连通孔隙率，同步提升材料抗拉、抗撕裂、抗疲劳形变综合性能。该掺杂工艺为本部亚太研发中心专属改性技术，已纳入建材类纳米改性专利技术库。

4 配比机理研究：75%黄金固含热力学分析 (Solid Content Thermodynamic Analysis)

研发阶段依托**罗门哈斯流变动力学综合测试工作站**，设置 55%至 90%全梯度固含量对照组，通过流变黏度测试、压汞孔隙试验、水化放热监测、成膜致密性表征，精准捕捉不同固含下胶体热力学变化曲线，明确不同固含区间性能缺陷，最终判定**75%**为水泥基复合体系唯一最优平衡区间，该配比数据库同步录入陶氏全球水泥基高分子配比知识库。

4.1 55%~90%全梯度固含性能对比表

本次梯度试验统一试验环境（温度 25℃、湿度 65%）、统一养护周期 28d、统一施工厚度，测试数据具备平行对比性，核心性能参数如下，**75%固含为全域最优配比**：

固含量（质量分数）	旋转黏度（25℃ mPa·s）	28d 孔隙率（%）	28d 拉伸强度（MPa）	28d 抗渗压力（MPa）	综合施工与服役性能评价
55%	1200 ± 150	18.7	2.1	0.15	黏度偏低，施工易流挂，成膜薄、孔隙大，防水与力学性能极差
60%	1800 ± 200	15.3	2.8	0.20	流挂现象明显，有效成膜组分不足，长期服役易返潮粉化
65%	2500 ± 250	11.2	3.5	0.25	施工性尚可，但微观孔隙率偏高，抗渗耐久性性能不足
70%	3200 ± 300	7.8	3.9	0.30	施工性良好，力学与抗渗性能达标，无明显短板但无性能优势
75%	4100 ± 350	4.2	4.2	0.35	全域最优：触变性适中、施工无缺陷、孔隙率最低、力学与抗渗性能峰值，适配全工况施工
80%	5800 ± 400	6.5	3.7	0.28	黏度过高，施工阻力大、易裹气起泡，层间融合性差，隐蔽渗漏风险高
85%	8200 ± 500	9.1	3.1	0.22	拌合困难、施工窗口期极短，涂层易出现干缩裂纹，整体性能大幅衰减
90%	12500 ± 800	12.4	2.5	0.18	无法正常拌合施工，固化后结构性开裂，完全不满足工程使用要求

4.2 高固含体系弊端（>80%）

固含量超过 80%时，体系自由水分子摩尔占比过低，固相颗粒间距压缩，浆料剪切动力黏度指数激增，**剪切变稀性能（Shear Thinning Property）**弱化。水分供给不足导致水泥水化、乳液浸润反应提前终止，初凝诱导期缩短，施工开放窗口期收窄。涂层搭接界面分子融合度不足，层间产生结构性空隙，形成永久性隐蔽渗漏通道。

4.3 低固含体系弊端（<70%）

固含量低于 70%时，惰性水分占比偏高，固化阶段水分蒸发析出大量连通毛细孔隙，涂层孔隙率大幅上升。有效成膜组分占比不足，无机胶凝物质含量偏低，后期水强化动力匮乏；抗渗压力、界面结合能、力学形变模量呈断崖式衰减，服役周期内易出现粉化、返潮、结构疏松等不可逆病害。

4.4 75%最优固含平衡机理

75%固含体系内，功能活性组分质量占比 75%，可控自由水分占比 25%，热力学参数实现流变性能、反应介质、成膜密度三重平衡。该配比下浆料**触变性（Thixotropy）**适中，适配人工刮涂、机械滚涂等通用施工方式；水分可作为水化、交联、地聚合反

应传输介质，保障后期长效反应持续进行。单次涂刷 $1\text{kg}/\text{m}^2$ 工况下，可形成 0.75kg 致密干膜，干膜厚度 0.54mm ；行业标准三涂一布工艺成型干膜厚度 $\geq 2.1\text{mm}$ ，物理阻隔层厚度远超民用建材通用设计标准。

5 微观复合强化反应动力学研究 (Microscopic Reaction Kinetics)

DK100 摒弃传统防水材料单一固化模式，构建四重不可逆协同反应体系；全部化学反应无逆向衰变过程，是材料动态致密化、性能逆势增长的核心底层机理。同时明确性能逆势增长边界条件，所有性能强化规律均在可控工况区间内生效，超出边界后性能维持稳态、无衰减、无突变失效。

5.1 性能逆势增长完整边界条件 (Supplement of Performance Growth Boundary)

DK100 材料逆势强化、动态致密、无机瓷化的核心性能增长效应，具备明确服役边界，边界范围内性能持续递增，边界外性能稳定保持峰值状态，无老化衰减、无性能倒退，具体边界参数如下：

- 1) 温度边界： $-40^{\circ}\text{C} \sim 300^{\circ}\text{C}$ 常态温度区间内，二次交联、水化熟化、地聚合反应持续正向进行，性能稳步增长；瞬时超 300°C 高温冲击后，涂层无结构破损，性能维持峰值稳态，不再继续增长但无衰减。
- 2) 腐蚀介质边界：常规酸碱盐腐蚀环境 ($\text{pH}4 \sim \text{pH}10$)、工业轻微有机溶剂挥发、盐雾干湿交替工况下，腐蚀介质可辅助触发碱激发地聚合反应，推动涂层瓷化致密；强腐蚀介质（浓强酸、浓强碱、纯有机溶剂长期浸泡）工况下，反应终止，性能维持峰值稳定，无逆向劣化。
- 3) 服役年限边界：自然常规工况下， $0 \sim 15$ 年为性能快速增长期，交联密度、密实度、力学强度持续提升； $15 \sim 50$ 年为性能稳态峰值期，结构完全瓷化定型，性能保持恒定最高值，无老化衰减；等效 50 年服役后，涂层结构稳定，仅表层轻微风化，主体防护性能不变。
- 4) 力学形变边界：常规结构形变、低频震动、轻微冲击工况下，石墨烯持续重构修复微观缺陷，性能稳步优化；极限结构撕裂、高频超高震频、高强度机械冲击工况下，微观修复速率持平损伤速率，性能维持稳态，不会出现断崖式失效。

5.2 三重复合成膜固化机制 (Triple Composite Film-forming Mechanism)

材料固化阶段依托湿气固化、水分挥发、粉料水化三重耦合反应，摆脱单一风干固化限制。常温环境初凝时长 10 分钟，浆料快速定型抑制重力流动，规避立面、斜坡施工流挂弊病；表干时长 0.5 小时，表层形成致密高分子阻隔膜，抵御突发降雨、环境结露侵蚀；实干时长 8 小时，无机胶凝结构完全成型，固化时序精准可控。固化过程伴随有机官能团聚合、无机矿物水化、胶体结构重组，宏观色相由特红色渐变至深黑油光，实现施工全过程可视化质量管控。

5.3 丙烯酸热活化二次交联反应（Thermal-activated Secondary Crosslinking）

涂刷初期乳液仅完成初级表层交联，高分子不饱和官能团处于未饱和活性状态。服役过程中，紫外线辐照、温度交变触发热活化反应，分子链段重新排布，活性官能团持续键合，交联密度逐年提升；分子间隙收缩、排布规整度优化，宏观表现为拉伸强度、断裂伸长率同步增长，彻底解决有机树脂老化断链的行业共性缺陷。

5.4 水泥基长效水化熟化反应（Long-term Hydration Curing Reaction）

水泥基组分无固化终止节点，在雨水浸润、干湿交替环境下持续发生水化反应，缓慢生成低碱性水化硅酸钙凝胶。凝胶物质持续填充涂层内部微孔、缺陷界面，优化孔径分布，降低连通孔隙率；服役周期内结构密实度稳步提升，实现长期浸水工况下越浸润越致密的演化特征。

5.5 石墨烯微观应力重构机制（Graphene Microscopic Stress Reconstruction）

石墨烯片层具备优异应力传导与微观重构能力，基层形变产生微裂纹时，片层结构滑移重组，键合修复微观缺陷；同时分散涂层局部集中应力，抑制裂纹扩展延伸，降低应力疲劳损伤概率，从微观层面永久性阻断隐性渗漏通道。

5.6 碱激发地聚合强化反应（核心特有机理）（Alkali-activated Geopolymerization）

外露环境中的氢氧根碱性离子、盐分阳离子、无机粉尘活性氧化物，可触发体系内硅铝酸盐矿物地聚合反应。反应遵循溶解、重构、缩聚热力学流程：碱性离子击穿硅氧键、铝氧键共价化学键，溶出活性硅、铝酸根离子；活性离子在潮湿介质中配位重组，形成低聚态前驱凝胶；最终缩聚生成三维网状无机聚合物结构，永久封堵涂层孔

隙。环境腐蚀介质转化为强化反应原料，推动涂层向无机瓷化结构不可逆演化。

6 宏观理化性能定量试验与机理剖析 (Macroscopic Performance Test)

6.1 力学形变性能 (Mechanical Deformation Performance)

6.1.1 撕裂强度 (Tear Strength)

材料初始标准撕裂强度 12N/mm，八年自然室外老化试样实测撕裂强度 22N/mm，强度涨幅超 80%。依托石墨烯骨架补强、丙烯酸交联致密化、地聚合凝胶堆积三重作用，材料无高分子断链老化现象，力学性能随服役年限持续增长，抗穿刺、抗外力破损、抗结构撕裂能力逐年优化。

6.1.2 拉伸力学指标 (Tensile Mechanical Index)

标准环境下拉伸强度 $\geq 4.2\text{MPa}$ ，断裂伸长率 $\geq 289\%$ ；80℃、168 小时高温热老化处理后，拉伸强度提升至 $\geq 4.8\text{MPa}$ ，断裂伸长率 $\geq 325\%$ 。有机相提供高弹性形变能力，无机相提供刚性抗拉强度，实现刚柔协同；搭配聚酯布形成**布膜互穿复合结构 (Cloth-film Interpenetrating Structure)**，分散基层瞬时开裂集中应力，常规干膜厚度可桥接 4mm 结构性裂缝，极限防护工况可抵御 20mm 宽幅形变裂缝。

6.1.3 界面粘接性能 (Interfacial Bonding Performance)

标准状态粘接强度 1.8MPa，界面结合强度超越 C30 混凝土基体破坏强度。乳液低表面张力实现毛细渗透物理锚固，水化产物与基材钙离子形成化学键合，构建物理+化学双重界面结合体系；依托持续水化反应，粘结力学参数年均递增 10%，杜绝层间脱粘、空鼓、剥离病害。

6.2 抗渗耐久性能 (Impermeability and Durability)

6.2.1 高压不透水性 (High-pressure Water Impermeability)

0.3MPa 水压条件下稳压 2 小时无渗透，远超行业 0.3MPa/30 分钟通用检测标准；户外服役三年后，因地聚合致密化演化，抗渗等级提升至 0.85MPa 稳压 5 小时无渗漏。涂层闭合孔隙率极低，毛细水上升通道被永久封堵，具备长效高压抗渗能力，规避普通材料短时抗渗、长期慢渗缺陷。

6.2.2 恒温浸泡稳定性 (Constant Temperature Immersion Stability)

23℃ 恒温清水连续 168 小时浸泡试验后，涂层无分层、起泡、破碎、溶胀现象。杂化复合结构无亲水可溶性组分，耐水解稳定性优异，适配长期积水、高频干湿循环的严苛服役工况。

6.3 耐腐蚀与耐老化性能 (Corrosion and Aging Resistance)

6.3.1 酸碱腐蚀耐受性 (Acid-base Corrosion Resistance)

强碱性工况（0.1%氢氧化钠+饱和氢氧化钙，168 小时）处理后，拉伸强度 $\geq 4.5\text{MPa}$ ，断裂伸长率 $\geq 312\%$ ；强酸性工况（2%硫酸，168 小时）处理后，拉伸强度 $\geq 4.32\text{MPa}$ ，断裂伸长率 $\geq 305\%$ 。改性丙烯酸胶体耐酸碱水解，地聚合凝胶耐化学介质侵蚀，双重防护体系适配混凝土强碱基面、酸雨腐蚀、工业酸性污染等复杂环境。

6.3.2 人工加速耐老化性能 (Artificial Accelerated Aging Resistance)

5000 小时人工气候老化试验集成紫外线辐照、高温交变、雨水喷淋、氧气氧化多重破坏因子，试验设备采用陶氏罗门哈斯标准化人工老化曝晒舱，等效自然露天服役 30 至 50 年；试验后涂层无开裂、粉化、脱粘、起泡缺陷，高分子链无断链降解，无机凝胶结构持续致密化，耐候稳定性处于行业顶尖水准。本部同步在海南琼海户外自然曝晒试验场开展实样挂片监测，长期追踪材料自然老化演化规律。

6.4 耐温特性与热膨胀匹配性 (Temperature Resistance & Thermal Expansion Matching)

DK100 材料兼具有机高分子低温韧性与无机凝胶高温热稳定性，优化后极限耐温区间为 $-40^{\circ}\text{C}\sim 300^{\circ}\text{C}$ ， 300°C 高温环境下持续 2 小时无软化、流淌、开裂、脱层现象，结构完整性保持良好。

经陶氏亚太实验室实测，涂层热膨胀系数稳定为 $8.2\times 10^{-6} /^{\circ}\text{C}$ ，与混凝土热膨胀系数（ $7.5\times 10^{-6} /^{\circ}\text{C}$ ）、钢材热膨胀系数（ $8.5\times 10^{-6} /^{\circ}\text{C}$ ）高度匹配，温差交变工况下，涂层与基材形变同步率 $\geq 98\%$ ，无热胀冷缩形变差，彻底规避常规防水涂料因热膨胀系数不匹配导致的开裂、起鼓、脱层病害，适配高温厂房、设备屋面、暴晒外露结构等极端高温工况。

6.5 振动疲劳性能 (Vibration Fatigue Resistance)

针对化工厂房、高铁路桥、设备屋面等高频振动工况，本部完成百万次循环振动疲劳专项测试，补充完整振动疲劳性能数据与工况适配说明：

- 1) 标准疲劳测试参数：采用 100 万次高频循环振动试验，振动频率 5~50Hz，振幅 0.5~2mm，模拟工业设备持续震动、结构微形变工况；试验后涂层无开裂、无脱层、无微观裂纹，粘结强度保留率 96.8%，拉伸强度保留率 95.2%，防水性能无衰减。
- 2) 疲劳强化机理：依托石墨烯片层滑移重构特性，可持续分散振动产生的集中应力，抵消结构微形变带来的疲劳损伤；同时有机-无机杂化柔性骨架具备优异阻尼性能，可吸收振动能量，避免涂层与基材剥离失效。
- 3) 工况适配与加强要求：常规工业低频振动工况（5~20Hz），标准施工工艺即可满足长效服役要求；**超高震频工况（>50Hz）、大型设备共振区域、高频冲击震动部位**，需采用四涂一布加厚工艺，增设玻纤布双层加强层，做专项减震加固处理，杜绝疲劳破损风险。

6.6 环保指标 (Environmental Index)

产品采用纯水性无溶剂合成工艺，无甲醛、苯类有害挥发物质，通过 30 米深井永久浸泡检测，有毒物质析出量趋近于零，符合饮用水工程安全使用标准，适配人居、净水、食品加工等高标准洁净工况。

7 全天候工况适配与全基面兼容机理 (All-weather Adaptation Mechanism)

7.1 全天候气候适配科学依据 (All-weather Climate Adaptation)

依托三重复合成膜体系，材料固化不依赖外界环境湿度、温度，具备全域气候适配能力，同时具备**固化干燥速率快、低温低温成膜稳定性优异**的施工特性：常规常温环境下，材料表干时长 0.5h、实干时长 8h，相较于常规改性丙烯酸涂料干燥效率提升 40% 以上；在 0℃ 临界低温环境下，涂层仍可稳定连续成膜，无粉化、开裂、成膜不连续等缺陷。其底层原理为：本产品液相乳液采用**罗门哈斯内增塑改性种子聚合工艺**，通过分子链段柔性改性，降低高分子最低成膜温度（MFT），材料临界成膜温度可达-5℃；乳液内部预埋低温活性润湿助剂，无需外界环境热量加持，可自主驱动乳胶粒子融合堆积，低温下持续完成初级物理成膜；同时体系自持水化反应水分，无机矿物组分在低温环境下仍保持微弱水化活性，辅助涂膜致密成型，规避普通水性涂料零度环境成膜困难、表层发白、涂膜疏松的行业通病。高湿阴雨环境下，体系自持反应水

分，规避淋雨泛碱、起泡返溶弊病；极端高低温环境中，丙烯酸分子链保持活性，无机骨架维持结构稳定，无低温脆化、高温流淌现象；强紫外暴晒工况下，石墨烯阻隔光降解射线，紫外线同步催化二次交联反应，实现暴晒强化效应。

7.2 全基面界面耦合机制（Full-substrate Interfacial Coupling）

针对建筑工程复杂基面，材料构建差异化适配耦合体系：新鲜强碱性混凝土基面可触发碱激发反应，同步实现固结强化；潮湿无明水基面适配水性胶体浸润特性，水分辅助水化反应；老旧起砂基面依托无机粉料渗透填充，实现基面固结一体化；多元建材基面凭借低表面张力，完成稳定物理吸附与化学结合，无界面排斥缺陷。

8 主流高端防水材料材料学维度对标分析（Material Benchmarking Analysis）

本次对标选取市面公认四类高性能防水材料，从分子结构、老化动力学、界面结合方式、环境适配阈值、后期演化规律进行材料学层级客观比对；剔除商业营销维度，纯粹基于理化本质判定材料优劣。

8.1 各类材料固有无本征缺陷（Intrinsic Defects of Materials）

热塑性聚烯烃（Thermoplastic Polyolefin, TPO）、聚氯乙烯（Polyvinyl Chloride, PVC）聚烯烃卷材：单链高分子物理成型，无二次反应活性，搭接缝为永久薄弱点，老化动力学遵循线性衰减规律，低温脆性突变、耐化学腐蚀能力有限；**喷涂聚脲（Spray Polyurea Elastomer, SPUA）**：刚性聚合体系，耐紫外老化性能薄弱，高湿施工容错率低，外露黄变粉化不可逆；**甲基丙烯酸甲酯树脂（Methyl Methacrylate Resin, PMMA）**：固化收缩应力大，低温韧性不足，树脂耐水解稳定性差，长期腐蚀环境易失效。四类材料均为静态衰减型材料，无自我修复、自我强化、无机瓷化演化能力，以上材料劣化数据均取自陶氏罗门哈斯建材行业对标数据库。

8.2 多材料核心技术指标对标表

对比维度	DK100 复合防水涂料	TPO 高分子卷材	PVC 高分子卷材	喷涂聚脲	PMMA 涂料
材料演化属性	动态生长、不可逆瓷化、性能逆势增长	静态材料、线性缓慢衰减	静态材料、加速老化劣化	静态材料、中期黄变粉化	静态材料、收缩开裂衰变
断裂伸长率	≥289%（热老化后≥325%）	≥200%	≥150%	≥300%	≥200%
撕裂强度	12N/mm（8 年老化 22N/mm）	≥5N/mm	≥3N/mm	≥20N/mm	≥15N/mm
高压抗渗性能	0.3MPa/2h，后期 0.85MPa/5h	0.3MPa/30min	0.3MPa/30min	0.5MPa/1h	0.3MPa/1h
人工耐老化时长	5000h 无异 常，等效 50 年服役	3000h 性能轻微衰减	3000h 强度大幅下降	2000h 黄变粉化	2000h 表层开裂
耐温区间	-40℃~300℃ 无结构破损	-40℃~120℃ 低温偏脆	-20℃~80℃ 高温软化	-30℃~150℃ 高温黄变	-20℃~120℃ 低温易裂
施工环境容错率	高湿、低温、阴雨均可正常固化	依赖专业焊接设备，环境要求严苛	热熔焊接，人工缺陷率偏高	高湿环境禁用，基面含水率严控	潮湿基面无法施工固化
界面结合形式	化学键合+物理锚固，强度超越基材	物理贴合，搭接缝永久薄弱	物理贴合，易层间脱空	物理吸附，后期易剥离	界面粘结稳定性差

传统防水材料为周期性消耗型建材，存在明确使用寿命，服役期满需铲除翻新；DK100 属于永久共生型防护材料，突破常规材料使用寿命限制。该材料施工限制条件少、无明显老化缺陷、后期运维成本低，外露工况无需额外保护层，理化性能随服役时长稳步优化；依托国际前沿材料迭代优势，在保留极端工况防护能力的同时，优化民用施工适配性，综合技术指标优于市面主流民用防水品类，可归类为现代建筑防水领域高阶定型基材。

8.3 对标综合判定（Comprehensive Benchmarking Judgment）

在初始力学指标层面，聚脲、甲基丙烯酸甲酯部分参数与 DK100 趋近；但从材料演化逻辑、界面稳定性、环境适配阈值、长期服役耐久性维度分析，DK100 具备差异化技术壁垒。市面所有高端防水材料均存在不可逆老化缺陷与施工薄弱节点，仅 DK100 依托前沿杂化复合体系，实现结构动态致密、性能稳步强化、后期无机瓷化，无明显材料寿命衰减周期，是现阶段适配全工况、全气候、全基面的长效防护基材。

9 产品应用体系与工程实践论证（Product Application System Demonstration）

9.1 产品应用选材逻辑（Application Selection Logic）

基于 DK100 材料特性，结合本部全球基建材料应用数据库，产品遵循“工况匹配、基材适配、长效防护”的选材原则。依托耐候、防腐、抗渗、耐盐雾综合理化属性，适配多行业、多基材、多严苛工况工程，规避传统建材工况适配局限性，实现复杂场景下稳定服役。

9.2 服役工况等级分级（Service Condition Classification）

结合气候环境、腐蚀介质、服役压力，将应用工况划分为常规民用工况、工业腐蚀工况、滨海高盐工况、高寒冻融工况四大等级；针对不同等级工况，匹配差异化施工工艺、干膜厚度、加固方案，保障材料适配性与工程经济性平衡。

9.3 全域应用场景适配解析（Global Application Scenario Analysis）

产品可适配混凝土、水泥砂浆、碳钢金属、砖石砌体等常用工程基材，通过化学键合（Chemical Bonding）+物理锚固（Physical Anchoring）双重方式实现界面结合，粘结强度高于基材自身抗拉强度，有效解决涂层起皮、脱空、脱落问题。复合体系兼顾丙烯酸韧性与无机材料稳定性，适配多类型工业建筑基材。

结合陶氏罗门哈斯全球基建材料应用数据库，基于该材料的耐候、防腐、抗渗、耐盐雾综合特性，本产品适配多行业、多基材、多严苛工况，覆盖工业建筑、水工设施、交通基建、滨海构筑物等主流工程，核心应用场景及技术适配逻辑如下：

9.3.1 建筑围护结构防护

(1) **金属屋面 (Metal Roof)**：针对钢结构厂房、大型仓储金属屋面，DK100 适配钢材热胀冷缩形变特性，具备优异低温柔韧性与高温热稳定性，可抵消金属基材高频形变应力。涂层可阻断空气、水汽、盐分与金属基材接触，抑制电化学腐蚀 (Electrochemical Corrosion)，杜绝金属屋面锈蚀穿孔、漆膜起皮脱落；同时耐受夏季屋面 60~70℃ 极端高温曝晒，长期外露不粉化、不脆裂，适配高温差钢结构围护体系。

(2) **混凝土屋面 (Concrete Roof)**：适配民用建筑、工业现浇混凝土屋面、上人屋面、异形曲面屋面。依托二次交联与后期瓷化演化特性，封堵混凝土毛细孔隙，抵抗紫外线老化、雨水冲刷、冻融循环破坏；适配老旧混凝土屋面起砂、空鼓、基面不平整等病态基材，实现基面固结+防水防护一体化处理。

9.3.2 水工构筑物防护

涵盖净水蓄水池、工业循环水池、市政调蓄池、大型拦河水坝 (Water Dam) 等长期浸水构筑物。本产品具备无毒析出、耐长期水压、抗微生物侵蚀特性，固化后涂层致密无连通孔隙，可阻隔水体渗透与矿物质析出；针对水坝迎水面、坝基结构，抵抗静水压力、水流冲刷、泥沙磨蚀，适配常年浸水、干湿交替的水工严苛工况，符合民生净水工程环保检测标准。

9.3.3 交通与滨海基建防护

(1) **路桥交通设施**：适配高速铁路混凝土箱梁、公路桥梁、桥台支座、伸缩缝结构。材料高弹形变特性可抵消交通荷载带来的震动疲劳，阻隔路面雨水、融雪盐渗入基材，延缓混凝土碳化、钢筋锈蚀，延长路桥结构服役周期。

(2) **跨海滨海构筑物**：专项适配跨海大桥桥墩、海上作业平台、滨海防波堤等直接接触海水的建筑结构体。依托石墨烯致密阻隔层，高效阻断海水氯离子 (Chloride Ion) 渗透，抑制混凝土碱骨料反应与钢结构锈蚀；耐受海水潮汐往复浸泡、海风盐雾腐蚀、海洋生物弱酸侵蚀，为滨海基建提供长效防腐防渗双重防护。

9.4 国际标杆工程落地案例 (International Engineering Cases)

陶氏罗门哈斯丙烯酸杂化防护体系深耕全球市场，依托集团海外研发生产基地，产品广泛应用于中东高温荒漠、北美寒冻大陆、东南亚湿热沿海等复杂气候区域。以下为同技术谱系防护材料落地的国际大型标杆工程，为本产品本土化应用提供成熟工况验证依据：

9.4.1 中东区域工程案例（高温荒漠、高盐腐蚀工况）

（1）沙特朱拜勒石化工业园区（Jubail Petrochemical Park）：钢结构屋面、化工基座采用杂化丙烯酸防护，适配 45℃ 以上高温、沙尘盐碱环境，2012 年竣工至今无明显老化锈蚀。

（2）迪拜滨海跨海交通桥墩项目：人工岛连接线桥墩采用耐海水腐蚀涂层，强化氯离子阻隔，解决滨海风化、表层剥落问题。

9.4.2 北美区域工程案例（冰冻交变、大温差工况）

（1）北美五大湖水利大坝修缮工程（Great Lakes Water Conservancy Dam）：采用杂化体系抵抗冻融、冲刷、渗透，降低大坝运维返修频次。

（2）美国宾夕法尼亚州钢结构桥梁：防护涂层耐除冰盐、耐温差形变，依托材料逆势强化特性实现长期低运维管控。

9.4.3 东南亚区域工程案例（高温湿热、台风盐雾工况）

（1）越南海防石化工业园：污水池、管廊、基座采用丙烯酸杂化材料，适配高温高湿、化工腐蚀环境，服役 11 年结构完好。

（2）马来西亚槟城货运码头：挡浪墙、桩基采用抗盐雾体系，耐受潮汐冲刷、台风暴雨，服役 9 年无破损病害。

（3）印尼雅加达污水处理厂：生化池、沉淀池采用防腐防渗涂层，耐微生物分解、耐污水腐蚀，保障污水设施长期稳定运行。

9.5 中国境内重点工业仓储及厂房屋面工程案例（从海南横跨到东北，包含中部的环境）

为验证 DK100 本土化适配能力，筑涂佳联合陶氏亚太实验室在国内落地多行业工业防水项目，覆盖保税仓储、食品加工、汽车制造、金属型材、钢材物流、精密机电，全部采用统一施工标准，服役数据完整可靠，所有工程由筑涂佳全程施工、巡检、归档。

（1）海口综合保税区海南日用免税品公共保税仓库二防水修缮项目：海南滨海盐雾区域，大跨度钢结构屋面，原卷材存在起鼓渗漏问题。采用 DK100 一体化涂膜防水，无搭接缝隙，耐台风、强紫外、高盐腐蚀；完工后多次暴雨巡检无渗漏，仓内恒温防潮指标稳定，满足保税仓储高等级防护要求。

（2）海大集团多厂区防水防腐工程（湛江海大、茂名海龙、东莞海大）：三座饲料厂区存在氨气挥发、饲料粉尘、高温水汽复合腐蚀。产品无毒环保、耐霉菌、耐工业腐蚀，对钢结构屋面、原料仓、生产车间进行一体化防护。目前厂区涂层完好，无起

皮、无霉斑、无渗漏，适配农副食品加工洁净工况。

(3) 华润雪花啤酒（广东）有限公司厂区防水维修工程：覆盖佛山、东莞酿造厂区，针对高温蒸汽、酸碱清洗水、微生物潮湿环境优化涂层防腐性能。施工无需停产，固化无挥发，改造后屋面耐久性大幅提升，降低年度维保成本。

(4) 广汽集团产业集群屋面防水防腐工程：包含广汽丰田汽车有限公司、广汽丰通物流有限公司、广汽宝商钢材加工有限公司。汽车厂房油污重、温差形变明显，DK100适配油污基面、低温施工、金属形变，涂层粘结牢固，无锈蚀、无脱层，保障零部件仓储干燥环境。

(5) 浙江吉利汽车产业集群屋面修缮工程：包含临海吉利、宁波吉利、宁波领克、义乌翼真汽车四大生产基地。独立车企体系，与广汽无隶属关系。江浙地区高湿、梅雨、涂装废气腐蚀环境下，石墨烯屏蔽层有效阻隔腐蚀介质，涂层不掉粉、不发霉、不渗漏，满足车企洁净生产标准。

(6) 辽宁托田铝业有限公司屋面翻新项目：北方严寒工业区，冬季低温可达-25℃，铝材生产存在金属粉尘、弱酸碱循环水腐蚀。依托超低温柔和成膜性能完成秋冬低温施工，涂层抗冻胀、抗盐蚀、抗粉尘侵蚀，解决北方厂房反复返修痛点。

(7) 广州宝井钢材加工有限公司屋面及堆场防护工程：日系合资钢材企业，临港高盐雾环境，钢材加工车间耐腐蚀、耐粉尘要求高。DK100致密涂层阻断氯离子渗透，表层易清洁、抗堆积，适配重工业临港工况。

(8) 东莞日立精密机电有限公司屋面防护工程：精密机电无尘车间，要求无VOC、无掉粉、无滴水。产品无助剂环保配方，施工无味、不影响生产，完工后仓内湿度稳定，满足高端精密制造洁净标准。

9.6 定制化方案说明（Customized Solution Statement）

本文档公示内容为DK100通用技术机理与通用应用说明。基于工程基材差异、地域气候区别、腐蚀等级划分、施工环境限制，陶氏罗门哈斯可为不同应用场景出具专项系统性防护方案（Special Systematic Solution），包含基材预处理方案、差异化涂布工艺、节点加强构造、配套辅材选型、后期运维管控等定制化技术文件。具体专项施工规程、材料配比参数、节点深化图纸。国内技术交底、现场指导、工况优化由深圳市筑涂佳建材科技有限公司全权执行。

10 标准化施工与质量管控体系（Construction Quality Control System）

10.1 拌合与施工工艺（Mixing and Construction）

Technology)

产品严格遵循 1:1 液粉配比，无需外加改性助剂，常温机械或人工搅拌即可达到均匀拌合标准，静置消泡后可采用刮涂、滚涂等通用施工方式。基础防护工程采用三涂一布工艺，加强级重点工程采用四涂一布工艺，干膜厚度可控、成型均匀，规避厚薄不均造成的力学缺陷。

10.2 可视化质控体系 (Visual Quality Control System)

依托固化色相渐变特征，可精准区分初凝、表干、实干三个反应阶段，管控人员通过色相变化判定复涂间隔，从源头规避未干复涂、层间夹杂、起泡分层等施工病害。所有理化指标可依托第三方检测机构原位核验，验收标准透明、数据可溯源，适配高标准重点工程管控要求。

10.3 病态基面预处理标准化方案

基面处理直接决定涂层粘结强度与服役年限。针对工程常见起砂、空鼓、油污、潮湿、老旧起皮等病害，筑涂佳结合国内施工现场特征制定本土化预处理标准，完工后需经三方核验方可进入下一道工序。

10.3.1 混凝土起砂疏松基面

机械打磨清除浮浆粉尘，真空吸尘清理；强度不足区域涂刷加固底涂，封闭毛细孔隙，提升基材密实度。

10.3.2 空鼓开裂基面

剔除空鼓部位，开槽清理缝隙； $\leq 0.3\text{mm}$ 细微裂缝灌注封闭， $> 0.3\text{mm}$ 裂缝开槽修补，养护干燥后施工。

10.3.3 油污污染基面

碱性除油剂配合高压清水冲洗，彻底去除油脂污垢，自然风干无残留后方可涂刷。

10.3.4 潮湿积水基面

排除积水，机械烘干；无法完全干燥区域采用高湿专用薄涂工艺，规避水汽起泡缺陷。

10.3.5 冬季低温专项施工规程

针对北方及高海拔低温环境，结合材料低温成膜特性制定专项规程，规避低温固化不

良、后期开裂通病，保障低温施工质量一致性。

10.3.6 施工环境要求

施工温度管控-5℃~15℃，环境湿度≤85%；雨雪、霜冻、六级以上大风禁止露天作业。

10.3.7 物料管控要求

原料存放于 5℃ 以上保温库房，配料采用温水调温，单次配料 30min 内用完，避免低温静置结块。

10.3.8 施工与养护要求

低温复涂间隔不少于 12h；涂刷完成 48h 内避免霜冻、雨水冲刷；依靠材料自主低温固化，禁止明火强制烘烤。

10.4 服役工况等级分级与对应干膜厚度标准

结合气候环境、腐蚀介质、服役压力、振动等级，将应用工况划分为四大等级，**遵循工况越复杂、防护厚度逐级递增**的设计原则，明确各场景标准干膜厚度、施工工艺及用量规范，统一工程施工落地标准，兼顾常规工况经济性与复杂工况长效防护性。本节所有施工参数、厚度标准、工艺流程均为定型工程标准，适配 DK100 最优 75%固含配方体系，保障材料四重强化反应正常进行，最大化发挥逆势增长、无机瓷化、抗疲劳、耐高温等核心性能。

10.4.1 工况分级与对应干膜厚度标准

本次分级严格遵循“基础防护达标、复杂工况加厚、极端工况强化”的核心逻辑，以**常规屋面干膜厚度 2mm**为基础基准，工况腐蚀、振动、高温、潮湿等级越高，干膜厚度逐级递增，配套施工遍数同步增加，具体分级标准如下：

1、一级常规工况（标准民用屋面、普通室内覆土、干燥通风基面、无腐蚀无振动、常温露天环境）

适配场景：普通民用建筑屋面、非外露室内防水、干燥墙体、普通地下室顶板（非临水）、常规楼顶翻新等无特殊介质、无高频振动、无高温暴晒的基础防护场景。

标准干膜厚度：**2.0mm（基准厚度）**

配套施工工艺：标准三涂一布体系，满足常规建筑 30 年以上长效防水服役要求，无后期老化渗漏风险。

2、二级中度复杂工况（露天长期暴晒、干湿交替频繁、轻微盐雾、轻度工业粉尘腐

蚀、低频振动屋面)

适配场景：城市高层外露屋面、仓储厂房普通屋面、阳台露台、轻度沿海区域建筑、常规设备屋面（低频振动）、干湿交替频繁的外墙基面等。

标准干膜厚度：**2.5mm**

配套施工工艺：四涂一布加厚体系，在标准工艺基础上增加一遍面层涂刷，提升涂层致密性、耐候性与抗紫外线老化能力，适配长期露天交变环境。

3、三级严苛工况（沿海高盐雾、工业酸碱腐蚀、高频振动、长期积水、高温暴晒工况）

适配场景：滨海建筑屋面、化工厂房、印染厂、污水处理站附属屋面、高铁沿线构筑物、高频振动设备基面、长期积水屋面、高温设备外露结构（ $\leq 300^{\circ}\text{C}$ ）等严苛场景。

标准干膜厚度：**3.0mm**

配套施工工艺：五涂一布强化体系，多层叠加提升涂层抗渗、抗腐蚀、抗振动疲劳性能，阻断盐离子、酸碱介质渗透，抵消高频振动微观损伤，适配长期极端介质侵蚀。

4、四级极端特殊工况（超高震频、强腐蚀介质、深部地下密闭、长期浸泡、重点工程特级防护）

适配场景：超高震频设备基座（ $> 50\text{Hz}$ ）、工业强酸强碱车间、深海近岸构筑物、地下密闭储水廊道、重点地标建筑特级防水、长期水下浸泡结构、 300°C 极限高温持续工况等。

标准干膜厚度： **$\geq 3.5\text{mm}$**

配套施工工艺：多遍加厚复合体系（五涂一布及以上），增设双层玻纤布加强层，专项适配超高震频、强腐蚀、极限高温等极端工况，杜绝疲劳开裂、介质渗透、热胀开裂风险，实现全生命周期免维护防护。

10.4.2 标准施工工艺与用量规范（三涂一布基准体系）

DK100 标准**三涂一布施工体系**为工程定型基准工艺，适配一级常规工况，核心参数、涂刷顺序、间隔要求标准化，具体规范如下：

1、标准用量：常规三涂一布体系整体用量为 **$3\text{kg}/\text{m}^2$** ，精准对应 **2.0mm** 标准干膜厚度，与 **75%**最优固含配方完美匹配，无材料浪费、无成膜缺陷，保障涂层孔隙率、拉伸强度、抗渗压力处于性能峰值区间。

2、施工涂刷顺序与间隔要求：采用“先连续成膜、后表层密封”的分层施工逻辑，规避层间脱空、起泡、分层缺陷，具体流程：

① 两涂一布连续施工：第一遍底涂均匀涂刷浸润基面，封闭毛细孔隙，待涂层表干后，直接铺贴聚酯玻纤布并同步完成第二遍涂刷，实现布膜互穿融合，两层施工连续

完成，构建整体防水骨架，保证涂层与基面、玻纤布完全贴合，无空鼓、无褶皱；

② 第三遍面层涂刷：需待前两涂一布体系**完全实干干燥**后开展，彻底封闭表层微观孔隙，优化涂层平整度与致密性，提升表层耐候、耐冲刷、抗紫外老化性能，完成 2.0mm 标准干膜成型。

3、加厚工艺拓展说明：针对二级、三级、四级复杂工况，可在标准三涂一布基础上，递增开展四涂、五涂多遍涂刷施工，每增加一遍面层涂刷，干膜厚度均匀递增，同步提升涂层密实度、力学强度、耐腐蚀与抗疲劳性能，服役年限随厚度叠加同步延长，实现防护等级逐级升级。所有加厚施工均需遵循“上一遍实干后再涂刷下一遍”的核心原则，保障层间粘结强度与整体结构稳定性。

10.4.3 厚度施工质控与验收标准

1、厚度均匀性要求：整体干膜厚度均匀无偏差，局部最小厚度不得低于设计值 80%，无局部薄涂、漏涂区域，杜绝局部防水短板；

2、施工质控原则：严格执行“薄涂多遍、纵横交替、逐层致密”的施工准则，单次涂刷厚度均匀，避免厚涂流挂、裹气起泡、干缩裂纹等施工缺陷；

3、适配性能保障：不同工况厚度逐级匹配后，可充分发挥 DK100 热膨胀系数与钢材、混凝土高度匹配、振动疲劳抗性优异、高温 300℃ 工况稳定、性能逆势增长的核心优势，彻底解决常规涂料厚度不足导致的提前老化、开裂、渗漏、疲劳破损等工程问题。

11 材料极限工况边界说明(Description of Material Limit Operating Condition Boundary)

为保证研究客观性，本章明示 DK100 理化耐受极限及禁止施工工况。所有数据均来自第三方 CMA 检测机构与联合实验室平行试验，无夸大修饰，为工程设计、施工交底提供真实判定依据。本节试验由筑涂佳建材检测实验室完成本土化复测，数据具备国内工程参考效力。

11.1 理化性能耐受上限

酸碱耐受极限：长期静态耐受 pH 4~10 介质，短期间歇耐受 pH 2~12 酸碱冲击；超出范围将加速涂层腐蚀老化（Corrosion Aging）。

温度耐受极限：长期稳定服役温度 -40℃~180℃，瞬时极限耐温 300℃，不可长期处于超高温环境。

物理冲击极限：静态抗压强度 $\geq 45\text{MPa}$ ，表层抗冲击 $\leq 2.5\text{J}$ ，频繁高强度机械冲击会造

成表层破损。

水压耐受极限：常态长期服役水压 $\leq 0.85\text{MPa}$ ，深层水工工程需增设加固防护层（Reinforced Protective Layer）。

11.2 禁止施工工况红线

- 基材存在明水、结冰且无法清理整平，禁止施工；
- 环境温度低于 -5°C 、高于 45°C ，超出成膜耐受区间，禁止施工；
- 强酸、强碱直淋重腐蚀工况，未做加固设计禁止单层涂刷；
- 长期浸泡有机溶剂、强氧化剂介质，未定制改性禁止使用；
- 基材存在宽度 $>0.4\text{mm}$ 结构性动态裂缝，未加固禁止直接涂刷。

12 结论与展望（Conclusion and Prospect）

12.1 研究结论（Research Conclusion）

本文通过原材料溯源、配比热力学分析、微观动力学表征、宏观理化试验、同类材料对标，对 DK100 前沿迭代复合防水涂料开展系统性研究，得出以下结论：

（1）75%黄金固含经上千组梯度试验验证，兼顾浆料流变性能、反应介质平衡、成膜致密特性，是水泥基丙烯酸复合体系最优配比；

（2）丙烯酸二次交联、水泥长效水化、石墨烯微观自愈、碱激发地聚合四重不可逆协同反应，构成材料逆势强化核心技术壁垒，区别于所有传统衰减型防水材料；

（3）材料力学、抗渗、耐腐蚀、耐老化指标优异，极端温变、酸碱盐腐蚀、长期浸水工况下性能稳定上升，全域环境适配能力行业顶尖；

（4）相较于热塑性聚烯烃、聚氯乙烯、聚脲、甲基丙烯酸甲酯四类高端防水材料，DK100 无施工薄弱节点、无老化衰变周期、无界面剥离风险，综合服役性能具备差异化技术优势；

（5）该材料为国际高阶特种材料民用迭代标杆产品，单次施工可实现建筑全服役周期免维护，是现阶段建筑外露防水体系的优选定型基材。

12.2 应用展望（Application Prospect）

DK100 依托有机-无机杂化改性、碱激发地聚合、纳米石墨烯补强前沿技术，解决建筑防水渗漏返修、老化失效、工况受限的行业痛点。为进一步规范化产品技术层级、贴

合全球低碳化工发展趋势、明确本部中长期研发规划，本章节补充产品精准定位、碳中和环保布局、未来研发迭代方向三大板块内容。

12.3 产品精准层级定位（Product Hierarchy Positioning）

结合陶氏罗门哈斯全球建材材料分级体系，依据材料溯源、工况适配、演化机理、应用场景，对 DK100 做出明确技术层级界定，摒弃行业模糊营销分级，采用国际化工通用材料评级标准划分：

（1）**技术溯源定位：同等级特种防护下放材料（Same-grade Special Protection Derived Material）**，DK100 原始配方归属于本部极端工况防护材料矩阵，与航空基建、核电构筑物防护材料共享同源分子骨架，定性为**国际高阶同等级科研级基材**，是特种防护技术民用转化的标杆迭代产品；

（2）**产品品类定位：有机-无机杂化动态强化型防水涂料（Organic-inorganic Hybrid Dynamic Reinforced Coating）**，区别于市面静态衰减型防水材料，为本部亚太实验室独家定型的长效瓷化类防护涂料，填补民用建材领域“动态生长、逆势增强”材料空白；

（3）**市场应用定位：中高端永久性外露防护基材**，精准适配工业厂房、市政重点工程、水利地下设施、高端民用建筑，拒绝低端民用同质化赛道，定位为**基建工程高耐久防水刚需材料**，对标国际一线进口防护涂料；

（4）**行业战略定位：低碳长效防水示范材料**，纳入陶氏亚太绿色建材推广名录，用于替代高能耗、短周期、高返修率的传统防水材料，降低建筑全生命周期运维成本。

12.4 碳中和与绿色环保战略布局（Carbon Neutrality & Environmental Strategy）

在全球化工行业低碳转型背景下，陶氏罗门哈斯严格遵循集团 **ESG 环境、社会及治理体系（Environmental, Social and Governance）**，以 2050 年全球碳中和（Carbon Neutrality）为终极发展目标，本部建材板块聚焦建材碳足迹（Carbon Footprint）管控、低 VOC 无害化合成、固废资源化利用三大绿色研发方向，DK100 为本部低碳防水材料核心落地产品。

（1）**低排放清洁生产体系**：DK100 液相乳液采用罗门哈斯密闭式无溶剂聚合工艺，生产过程无苯系、醛类挥发性有机物排放，VOC 排放量趋近于零；相较于 SPUA、PMMA 等溶剂型涂料，生产端综合碳排放降低 42.7%，符合欧盟 REACH 环保认证标准及中国 GB 3095-2012 大气环境质量标准。

（2）**建筑全生命周期碳减排**：传统防水材料服役周期 5~15 年，多次铲除翻新产生大

量建筑垃圾与施工碳排放；DK100 等效服役年限 30~50 年，单次施工终身免维护，大幅削减建筑翻新耗材、人工、机械能耗，从应用端降低建设工程综合碳排。同时涂层后期向无机瓷化结构演化，无机化结构体无降解污染物，固废处理阶段无二次环境危害。

(3) 低碳矿物原料复用技术：粉料体系复配矿渣微粉、偏高岭土等工业固废活性矿物，依托本部**工业固废碱活化改性技术**，实现工业副产物资源化利用，减少天然矿石开采消耗，契合循环经济（Circular Economy）发展理念。

(4) 环境友好型安全属性：材料无毒无害、析出物趋近于零，可适配饮用水池、民生储水构筑物等净水工程；高耐腐、抗酸雨特性可降低酸性污染物对混凝土基体的侵蚀损耗，间接延长建筑使用寿命，实现材料环保与结构环保双向赋能。

12.5 未来研发迭代方向（Future R&D Iteration Direction）

依托陶氏七大全局研发中心数据互通机制，结合亚太热湿、高盐、强紫外独特工况，本部特种建材实验室针对杂化防水涂料制定 2027~2035 中长期研发规划，持续深耕高端民用防护材料赛道，完善低碳材料产品矩阵，核心研发方向如下：

(1) 生物基丙烯酸乳液改性研发（Bio-based Acrylic Emulsion）：逐步替换传统石油基单体，采用植物基生物质原料合成改性乳液，降低石油化工原料依赖，预计 2028 年实现生物基单体占比 35% 以上，进一步压缩产品原生碳足迹。

(2) 碳捕集矿物掺杂技术（CCUS Mineral Doping Technology）：联动陶氏碳资源化实验室，将工业捕集二氧化碳固化于无机矿物粉料内部，研发固碳型复合防护涂料，实现材料生产端永久固碳，打造负碳级建材产品。

(3) 智能传感复合体系开发：在现有石墨烯改性基础上，掺杂导电纳米填料，研发具备渗漏预警、应力监测、老化溯源的智能化防护涂层，适配智慧管廊、核电附属构筑物、跨海大桥等智慧基建，实现材料防护+数据监测双重功能。

(4) 极端低温特种迭代配方：针对高寒冻土区域、极地工程，优化分子链柔顺性与低温交联活性，研发 -60℃ 超低温适配版本，完善全球全地域工况材料覆盖能力。

(5) 行业数据库标准化搭建：持续扩充本部高分子建材劣化数据库，收录不同气候带、不同基材、不同年限的老化数据，建立亚太地区首个杂化防水材料企业内控标准，引领行业低碳长效防水材料规范化发展。

(6) 国产化低碳量产优化：优化国内生产合成工艺，降低生产能耗与运输碳排，依托上海亚太研发园区量产基地，实现高端特种材料本土化低成本量产，打破欧美进口防护涂料垄断格局。

综上所述，DK100 不仅是一款高性能工程防护涂料，更是亚太区域**技术下沉、低碳转型、国产迭代**的战略级产品。本部将持续依托高分子合成、纳米改性、碱激发聚合三

大核心技术，平衡高端性能、低碳环保、民用适配三大需求，推动建筑防水材料从“消耗型建材”向“永久共生型低碳基材”迭代升级，助力全球基建行业达成碳中和长期发展目标。

13 原始技术资料与溯源出处 (Original Technical Data Source)

本文档全部试验数据、微观推演模型、配方体系逻辑均收录于陶氏罗门哈斯内部研发归档数据库，资料来源以本部自研实测报告、原厂试验台账、全球材料监测数据为核心溯源依据；辅以行业高水平 SCI 学术期刊作为理论支撑，结合中国大陆现行国家检测标准、建材规范完成编撰归档。为保证文件溯源清晰、层级规范，本章节资料划分为四大类目：【陶氏罗门哈斯内部自研资料】、【国际权威学术文献】、【中国大陆核心期刊文献】、【国内行业规范标准】。

13.1 陶氏罗门哈斯内部自研资料 (中英文原厂档案)

[1] Dow Chemical Rohm and Haas. *Acrylic Emulsion Polymerization Molecular Regulation Database*[DB]. Michigan: Dow Global R&D Center, 2023. (丙烯酸聚合分子调控数据库)

[2] 亚太研发部. 杂化丙烯酸-水泥基复合体系反应动力学研究报告[R]. 上海: 陶氏张江高分子实验室, 2024.

[3] Dow Chemical Rohm and Haas. *Graphene Modified Inorganic-organic Hybrid Coating Aging Test Report*[R]. Asia-Pacific: Domestic Exposure Test Field Group, 2025. (石墨烯杂化防护涂层全球气候老化实测报告)

[4] 特种建材检测中心. 中国四大气候试验区高分子建材十年老化监测白皮书[R]. 张家港: 陶氏质量检测基地, 2025.

[5] Dow Global Carbon Neutrality R&D Team. *Low-carbon Water-based Acrylic Material Carbon Footprint Calculation Standard*[S]. USA: Dow ESG Research Institute, 2024. (低碳水性丙烯酸材料碳足迹测算企业标准)

13.2 国际 SCI 权威学术佐证文献

[6] Su F Y, He T S. Mechanism of Acrylate Emulsion-Modified Cement-Based Materials[J]. *Molecules*, 2024, 29(6): 1260. DOI:10.3390/molecules29061260.

[7] Pang X, Walmy C J, Benjamin J I. Enhanced Sulfate Resistance of Oil Well Cement Using a Polyacrylate-Dimethylaminoethyl Methacrylate Hydrogel[J]. *ACS Omega*, 2025, 10(12): 14582-14590.

[8] Cruz E O, Radler M J, Savastano H. Fiber cement boards modified with styrene-

acrylic copolymer: An approach to address dimensional stability[J]. Journal of Composite Materials, 2020, 55(3): 437-452.

13.3 中国大陆核心期刊文献

[9] 李福海, 高浩, 姜怡林. 外掺丙烯酸镁水泥基材料的自修复性能[J]. 西南交通大学学报, 2022, 57(5): 1012-1019.

[10] 王建刚, 李旭东, 田安然. 丙烯酸类与水泥基类修补砂浆性能对比[J]. 深圳大学学报(理工版), 2025, 42(4): 415-422.

[11] 张水, 于洋, 宁超. 苯丙乳液改性水泥砂浆的性能研究[J]. 混凝土与水泥制品, 2010(2):9-12.

13.4 中国大陆现行规范标准

[12] GB/T 18244-2022, 建筑防水材料老化试验方法[S]. 北京:中国标准出版社,2022.

[13] GB/T 3183-2022, 通用硅酸盐水泥[S]. 北京:中国标准出版社,2022.

[14] GB/T 17332-2008, 建筑防水涂料试验方法[S]. 北京:中国标准出版社,2008.

14 官方技术管控落款 (Official Technical Filing Footer)

编制主体 (Prepared Organization) : 陶氏化学罗门哈斯亚太高分子研发中心 - 特种无机杂化建材事业部 | 深圳市筑涂佳建材科技有限公司

技术审核 (Technical Audit) : 罗门哈斯特种建材材料实验室 (Rohm and Haas Special Building Materials Laboratory)

合规管控 (Compliance Governance) : 亚太技术合规归档部 | 全球知识产权风控中心

文件等级 (Document Classification) : 亚太受控技术文件 · 非公开通用涉密等级

文件编码 (Unique Document Code) : DOW-ASIA-RH-TB-20260520

迭代版本 (Revision Version) : V1.0 (正式归档版)

适用范畴 (Applicable Scope) : 工程技术审查、业主技术核验、招投标技术归档、材料溯源管控、大型基建选材论证。

编制准则 (Compilation Specification) : 本文件依据高分子材料工程学、无机胶凝反应动力学、建筑防水材料检测规范、国际特种防护材料基准进行编撰。

权属法律申明 (Legal Ownership Statement) : 本文档内全部微观机理、试验数

据、配方逻辑、工程案例均为陶氏罗门哈斯自研实测知识产权。在全球知识产权保护框架下，未经陶氏化学亚太总部书面授权，严禁节选、篡改、翻拍、商用二次汇编。所有技术专利、试验数据库、配方迭代记录归陶氏化学全球研发体系永久所有。

亚太研发体系属地信息 (Regional R&D Address) : ① 亚太总部园区：上海市浦东新区陶氏化学亚太研发园区；② 国内核心研发实验室：陶氏化学（上海）张江高分子材料研发实验室（上海市浦东新区张江高科技园区科苑路 88 号）；③ 量产质量检测基地：陶氏特种建材质量检测中心（张家港基地）（江苏省张家港市扬子江国际化学工业园）；④ 本土化气候试验场站：海南琼海湿热老化试验场、山东青岛海洋盐雾试验场、广东三水酸雨腐蚀试验场、青海格尔木高寒冻融试验场。