

别再只看螺栓强度！清洁度才是设备失效的隐形杀手

你可能遇到过这样的情况：一颗看似一尘不染的全新螺栓，装配至设备后却引发各类非预期故障：传感器误报、阀门卡滞，甚至电池包短路。问题根源往往不在螺栓力学性能本身，而是肉眼无法辨识的微观固体颗粒。这些微粒如同隐形磨料，侵入精密系统配合区域，成为高可靠性产品的重大隐患。本文结合盈锋志诚嘉全流程清洁度管控体系与主流行业标准，拆解紧固件技术清洁度的核心要点与落地方法。

为什么螺栓也要管控技术清洁度？

传统认知中，紧固件只需满足强度、力学性能要求。但在新能源汽车与高端精密制造领域，这套标准已经不再适用。

技术清洁度（Technical Cleanliness）现已成为紧固件核心质量特性。自动化装配产线、高精度传感组件对颗粒污染具备极高敏感性；即微米级金属碎屑，都足以引发系统异常。

尤其在电池包这类高压电气系统内部，导电金属微粒是最高等级风险源。一旦微粒残留，可能刺穿电池隔膜诱发电芯内部短路，或是搭接高压端子产生电弧、造成部件熔断。污染带来的不只是性能缺陷，更是直接的安全隐患。

哪些场景必须严格执行清洁度规范？

凡是涉及高压电气、精密电子元件、液压回路、光学组件的紧固连接位置，均需要明确清洁度指标。

重点应用场景：电池包壳体连接、电机控制器、自动驾驶感知部件（激光雷达、车载摄像头）等核心零部件紧固件。以电池包为例，微小颗粒会造成连接接触电阻异常，引发局部过热，

或是导致电池管理系统（BMS）采集信号失真、产生误告警。

简单概括：承载电能、信号传输、流体介质的紧固点位，都是清洁度管控的重点区域。

制造过程中如何系统性控制清洁度？

紧固件洁净度无法依靠人工擦拭实现，需要搭建覆盖全生命周期的管控体系。盈锋志诚嘉执行的管控框架如下：

源头把控（原料与工艺）

优先采用冷镦净成形工艺，从工艺源头减少切削加工产生的金属碎屑。同时优化去毛刺、滚丝、表面处理工序，持续降低微粒生成量。

生产监控（清洗与检测）

配置专用精密清洗产线，高等级产品清洗工序在洁净室内完成；在关键工序节点依据 VDA 19.1 开展颗粒抽样检测：采用光学粒度分析统计颗粒尺寸分布、重量法测定污染物总残留量；必要时借助扫描电镜（SEM/EDX）定性分析颗粒材质，追溯污染源。

包装防护（防范二次污染）

清洗合格后的螺栓，在洁净环境内完成真空封装或抗静电（ESD）内包装，阻隔仓储、运输环节的二次污染，保障交付客户时的洁净状态。

装配现场实操难点：涂层脱落如何处理？

装配环节管控核心思路：**优先预防微粒产生**，遵循 VDA 19.2 装配清洁度指导原则：

维持装配区域洁净，配套专用洁净工装与工具；

规范人员作业，穿戴洁净手套，避免皮屑、汗液造成污染；

管控物料暴露时长：紧固件真空包装开封后尽快装配，不要长期放置于非洁净环境。

若装配过程中螺栓表面涂层意外脱落，切忌简单清扫后继续使用。仅依靠吹扫清理治标不治

本，脱落的涂层碎片极易落入螺纹底孔或连接缝隙，形成游离污染物长期留存。

标准处置流程：

风险评估：判断涂层碎屑是否有进入高压电气区域的可能；

处置方案：电池包等关键安全区域优先更换全新紧固件；同时对螺纹孔采用符合 VDA 19 规范的萃取式清洁（喷淋、离线超声波清洗），不建议仅使用压缩空气直接吹扫；

根因追溯：定位涂层脱落诱因 —— 装配扭矩超限、涂层附着力不足、拧紧角度偏差、接触面异物等。

电池包装配后，是否需要专业除尘处理？

结论明确：需要，并且必须采用系统化专业除尘方案，普通民用吸尘器无法满足要求。

螺栓来料洁净只是基础，装配环境、作业动作仍会持续引入污染物；电池包合盖前，必须完成最终洁净处理。目前行业成熟方案采用风淋除尘、FFU 高效过滤、离子风除尘三级处理体系，分级清除不同粒径、受静电吸附的微颗粒。VDA 19.2 同样要求在关键装配工位设置颗粒捕捉与环境监测点位，保障下线产品满足清洁度规范。

第一级：风淋除尘 —— 物理初步清扫

目标：剥离部件表面附着力较弱的大粒径粉尘，依靠高压气流完成初净化。

核心装置：风淋气刀，通过狭缝喷射形成高速气幕。

实施方案：密闭腔体内多角度布置可调式气刀，从不同方向对电池包及零部件表面高压吹扫，剥离松散污染物；气刀角度可根据产品外形灵活调整，适配不同规格电池包。

第二级：FFU 高效过滤 —— 构建洁净作业环境

经过初级吹扫后，采用深度净化的洁净空气持续冲洗，同时维持工位环境洁净。

核心装置：FFU（风机过滤单元），集成风机与 H14 级高效过滤器。

实施方案

持续提供洁净气源：过滤器对 0.3 μm 颗粒过滤效率 $\geq 99.995\%$ ；

搭建层流洁净区：电芯堆叠、极耳焊接、电池包合盖等工位成组布置 FFU，形成自上而下垂直单向流，稳定维持区域洁净度达到 ISO 6 级（千级），抑制悬浮粉尘沉降造成二次污染。

作用：清除一级工序难以剥离的微细粉尘，打造持续稳定的洁净装配环境。

第三级：离子风除尘 —— 消除静电吸附效应

超细粉尘依靠单纯气流难以清除，根源在于塑料壳体、绝缘薄膜摩擦产生静电，牢牢吸附微粒。

核心装置：离子风机，释放正负离子中和物体表面静电荷。

实施方案：在除尘通道末端施加离子风，中和零部件表面静电；微粒失去静电吸附力后，更容易被负压气流带走，实现深度净化。

配套保障系统

分段隔离系统：各级处理区间配备自动隔离门，避免不同净化阶段交叉污染；

底部负压集尘系统：实时收集吹扫剥离的粉尘，防止微粒在腔体内二次飘散。

整套三级除尘方案，是行业落地 VDA 19.2《装配过程技术清洁度》标准的典型实践。该标准要求全面开展污染源风险分析，管控关键区域环境、人员、物料、工装；对于动力电池这类高安全等级产品，依据 VDA 19.2 实施全过程洁净监控，是降低失效风险的核心手段。

总结

紧固件技术清洁度管控，是覆盖原材料、生产清洗、封装运输、现场装配、下线终检的全流程防污染体系。遇到装配涂层脱落问题不可粗放处置，高风险区域务必遵循规范更换零件并

开展专业清洁。

迈入高压电连接、自动驾驶大规模应用时代，一颗螺栓的洁净程度，直接关系整套系统的安全底线。

盈锋志诚嘉精密五金（深圳）有限公司作为紧固件创新制造企业，在深圳坪山、湖北襄阳、印度、印尼布局全球化生产基地，月产能约 6.5 亿颗，持有数十项有效核心专利。我们不仅可以提供满足各类清洁度指标要求的紧固件产品，还能输出一站式紧固连接解决方案：包含清洁度专项技术培训、前期协同设计咨询、快速样品试制、第三方认可洁净度测试、失效拆解分析以及长期工艺持续优化。若您的项目对紧固件技术清洁度存在严苛要求，我们的技术团队可提供专业技术支撑。