工程笔记 · 设计清单

充电器怎么满足 MIL-STD-1275、810、461：车载加固充电器设计清单

一份加固充电器的规格书，背后可能牵出约 1,400 页军用标准，但真正改变设计的不到 150 页。这份清单把每条要求对应到它逼出来的设计决策和证明它的试验，难点附上算式。

谭帅 · tanshuai.com · i@tanshuai.com

2026 年 11 月 23 日

摘要

车载和野战用的加固型 24 V 电池充电器，本质上是一台普通的开关电源充电器，外面裹着四道难关。MIL-STD-1275 在输入端加一个来自 0.5 Ω 源阻的 100 V 浪涌，任何钳位二极管都吸收不了，所以前端必须用 150 V 级器件做串联浪涌抑制。MIL-STD-461 的难点在发射而不在抗扰：每个电源输入都要在连接器壁上做两级滤波，机箱不仅要机械密封，还要电气密封。MIL-STD-810 要的是一个密封箱：+55 °C 日晒下能散热，能扛 26 次跌落，到了高海拔能呼吸却不进水。40,000 小时的 MTTF 则容不下一台风扇。其余各项，从湿热、盐雾到静电、触摸温度和可靠性报告，都按成熟做法设计，再用试验或文件证明。多数规格书仍引用 1980 和 1990 年代的版本；按现行版本设计、再附一张新旧对照表，几乎不花钱，还能免去返工。一套可信的鉴定试验需要三台样机、8 到 16 周；按中国大陆公开的实验室收费，约 2 万到 5.5 万美元（约 13 万到 37 万元人民币，按 1 美元 = 6.67 元折算）。

为什么写这篇

加固充电器的需求，来的时候通常是一页要求加一串标准：环境看 MIL-STD-810，电磁兼容看 MIL-STD-461，车载电源看 MIL-STD-1275，再加一个安全标准、一个 MTTF 数字和几条人机工程规定。这串标准背后的文件加起来约 1,400 页。逐字照做，充电器就成了科研项目；只是扫一眼，又会漏掉真正决定方框图、机箱和价格的那三四条。

我最近把这样一份规格书逐行过了一遍，读的是标准原文而不是二手摘要，并把每一条按它对设计的影响分了类。这篇就是结果，写成一份清单：给要把这类规格书变成硬件的工程师，也给想弄清自己到底在要什么的买方。文中数字截至 2026 年 11 月，金额以美元计。

结论一览

图 1. 约 1,400 页标准中，决定设计的不到 150 页，其余是成熟做法和文书工作。

一份典型加固充电器规格书背后的文件，以及每部分对工作的影响。



来源: 作者对所引标准的阅读；页数为已发布文件的页数。

清单本身：从要求，到它逼出来的设计决策，再到怎么证明：

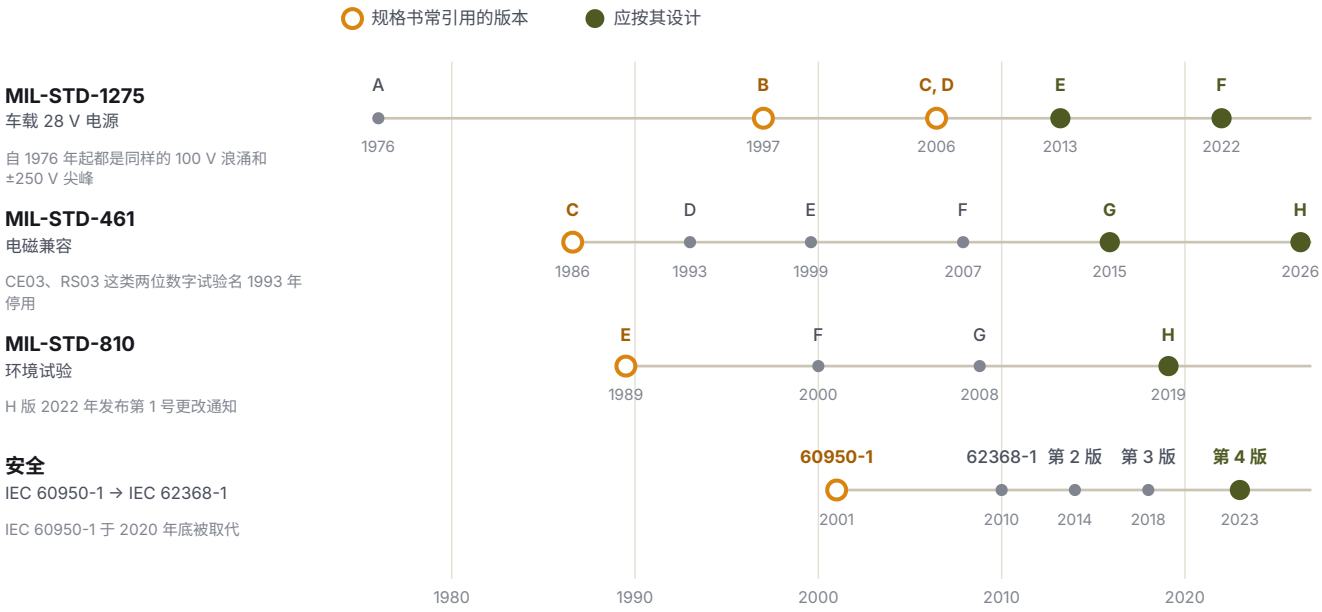
要求	对设计的影响	怎么验证
MIL-STD-1275，24 V 车载电源	串联 MOSFET 浪涌抑制，器件 150 V 级；TVS 吸收尖峰；反极性保护不用二极管压降；16 到 33 V 照常充电，发动机起动时自动暂停、自动恢复	用对应版本的瞬态发生器试验
MIL-STD-461，电磁兼容	每个电源输入两级 LC 滤波，装在连接器壁上；每条接缝用导电密封条；规划各变换器的开关频率；首台样机就做预扫描	先内部预扫描，再进暗室正式测试
MIL-STD-810，环境	电子舱密封、无风扇，热量经散热鳍导出；ePTFE 透气阀应对海拔；角护块和凹装连接器应对跌落；器件按 −40 至 +71 °C 存储选型	一台样机走气候链，一台走力学链
锂电池充电温度	测每块电池的温度，只在其窗口内充电，一般为 0 至 45 °C；超出就暂停、提示原因、自动恢复；可选预热	在温度极限下试验
安全，IEC 62368-1	电气间隙按标准表格的较大读数设计；100 W 以上要防火外壳；提手和旋钮用聚合物，以满足触摸温度	CB 测试报告加检查
静电放电	手能碰到的地方都做 4 kV 接触放电，8 kV 作余量	试验，约半天
MTTF 40,000 小时	整机失效率预算只有每百万小时 25 次：不用风扇，器件降额	按 MIL-HDBK-217F 预计，方法事先约定
人机工程，MIL-STD-1472	提手按戴手套尺寸，旋钮档距 15 至 40°，字符在一臂距离可读	检查，加戴手套演示

第零步：按现行版本设计

加固设备的规格书往往比看上去老。常见的情况是 MIL-STD-810E（1989 年）、MIL-STD-461C（1986 年）和早已作废的安全标准并列，因为采购部门是沿用旧模板写的。461C 那种两位字母加两位数字的试验名，比如 CE03 和 RS03，1993 年就已停用。MIL-STD-810 现在是 H 版（2019 年 1 月，2022 年发布第 1 号更改通知）；MIL-STD-461 是 G 版（2015 年 12 月），2026 年 4 月又出了 H 版；MIL-STD-1275 是 E 版（2013 年 3 月）和 F 版（2022 年）。IEC 62368-1 在 2020 年底取代了 IEC 60950-1，现行为第 4 版（2023 年）。还常出现在充电器规格书里的 EN 50091-1，其实是 UPS 标准，2005 年已经撤销。

图 2. 规格书仍在引用 1980 和 1990 年代的版本。按现行版本设计，两头都出报告。

加固充电器要满足的四类标准的版本演进。按现行版本设计，按客户引用的版本出报告。



来源: 版本日期取自标准原文和一家美国测试实验室的版本清单；IEC 出版日期。

MIL-STD-810 的默认严酷度在 1989 到 2019 年之间几乎没变，决定 MIL-STD-1275 前端的两项应力自 1976 年起也一直没变，所以按现行版本设计几乎不增加成本。换来的是：客户哪天更新规格书，设计照样能过；实验室也还开着这些方法。我的做法是：按 810H、461G 或 H、1275E 或 F、IEC 62368-1:2023 设计，试验结果按客户引用的方法号出报告，另附一页新旧对照表。某些老方法只剩少数实验室还在做，比如 461C 的 CE03 传导发射，订暗室前就要和客户约定用哪个现行等效方法。

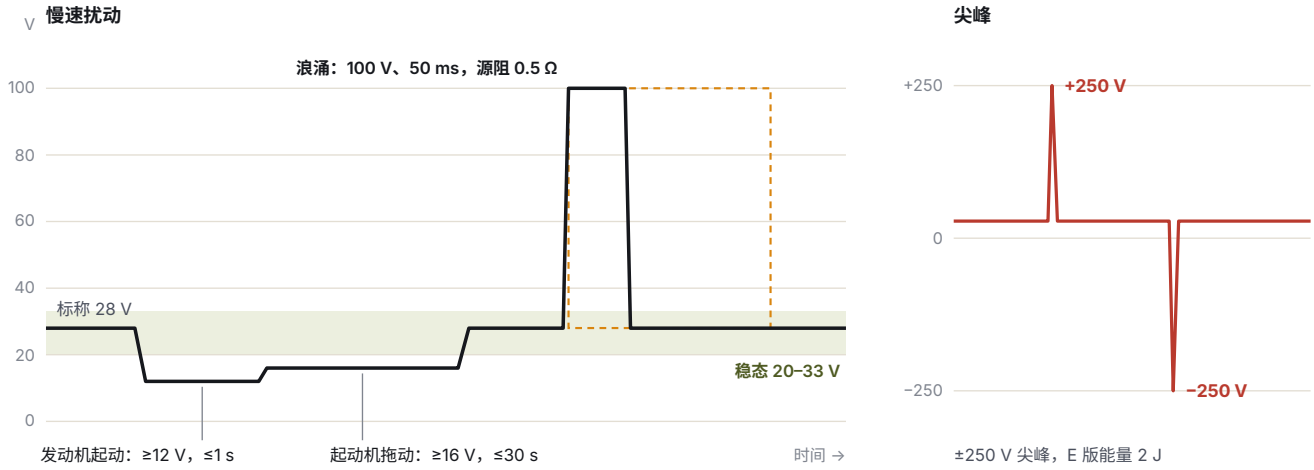
有两个问题要写进第一封邮件，因为答案会改变成本：适用 MIL-STD-1275 的哪个版本、按什么判据；"EMP 防护"指什么。线缆注入阻尼正弦（CS116，或 461C 的 CS10 和 CS11）大约只要一个暗室日；辐射脉冲试验（RS105，或 461C 的 RS05）是另一个预算量级，而且 461H 只对明确有 EMP 要求的设备才适用。

MIL-STD-1275：24 V 输入决定方框图

MIL-STD-1275 从 1976 年的 A 版到 2013 年的 E 版，都包含同样两项决定设计的应力：一个从 0.5 Ω 源阻打进来、持续 50 ms 的 +100 V 浪涌，以及 ±250 V 的尖峰。各版之间改的是记账方式：工作模式、尖峰能量（B、D 版 15 mJ，E 版 2 J）、发动机起动跌落的下限（旧版本不低于 6 V、持续不超过 1 s，E 版提高到 12 V；之后起动机拖动期间不低于 16 V、最长 30 s），以及稳态窗口（E 版为 20 至 33 V）。从为 F 版制造的测试发生器的说明书推断，F 版把浪涌延长到约 500 ms，源阻更低，尖峰能量则降到 250 mJ。

图 3. MIL-STD-1275E 对 28 V 车载母线的包络。

充电器车载输入必须承受、并照常工作的电压包络。时间轴不按比例。



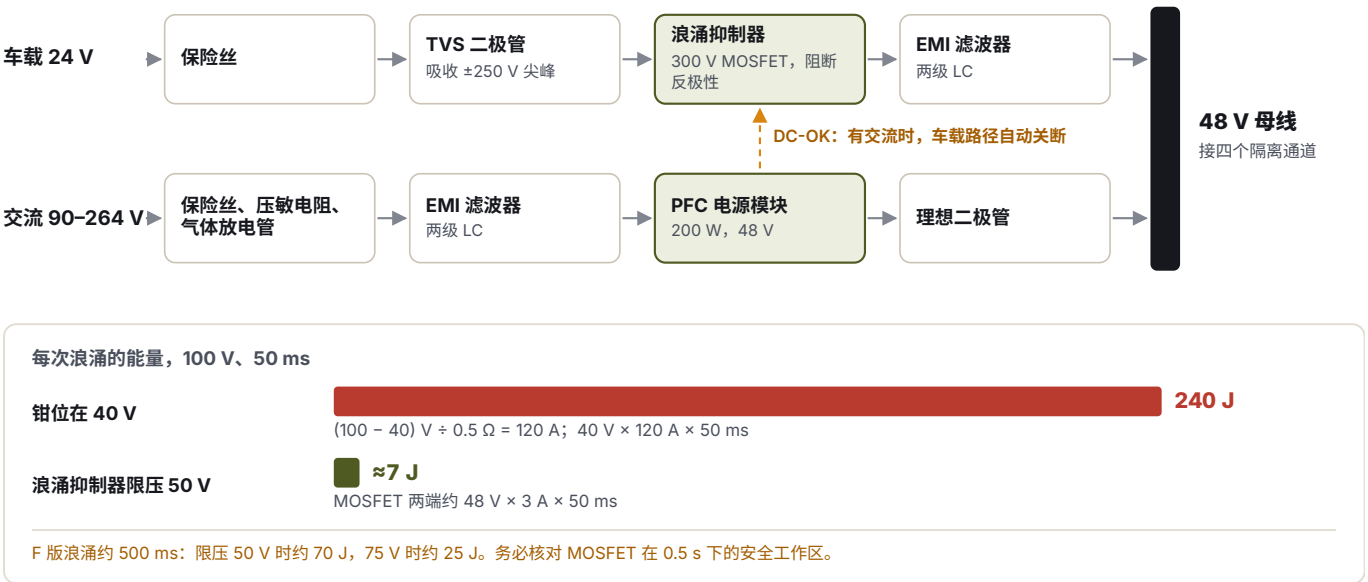
F 版：浪涌持续约 500 ms，源阻低得多

来源: MIL-STD-1275E（2013 年）；F 版说明由 F 版测试发生器的资料推断。

正是这个浪涌，排除了最直观的做法。用 TVS 二极管或压敏电阻把它钳在 40 V，源端会向钳位器件灌入 (100 − 40) / 0.5 = 120 A，持续 50 ms，一个器件要吃下 40 V × 120 A × 0.05 s = 240 J。尺寸合理的钳位器件，没有一个能反复承受。串联浪涌抑制器的思路不同：电源路径上的 MOSFET 把输出限制在设定电压，多出来的电压由它自己承担，所以它的耗散只是浪涌电压与设定电压之差乘以负载电流。负载 150 W、输出限在 50 V 时，大约是 48 V × 3 A，即约 150 W 持续 50 ms，约 7 J，比钳位少三十倍。

图 4. 钳位要吸收 240 J，浪涌抑制器只耗散约 7 J。

加固充电器的两路输入，以及排除用钳位对付 MIL-STD-1275 浪涌的那笔账。



来源: 作者的设计；能量按 150 W 负载计算。

前端其余部分由此推出：

- **浪涌路径上的器件要 150 V 级以上。** 我用的是 300 V 的 MOSFET，对尖峰也留足余量。

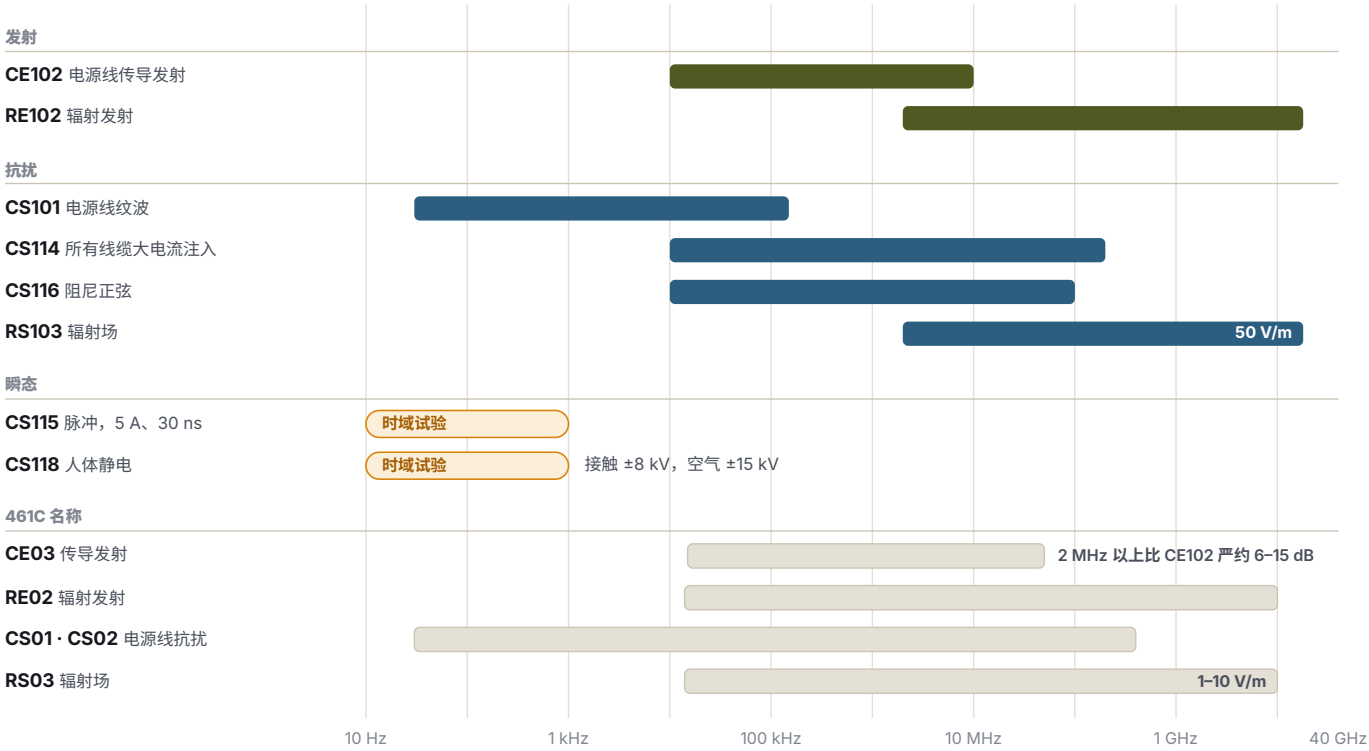
- **F 版会改变数字。** 浪涌长到 500 ms，同样限在 50 V，MOSFET 要承受约 70 J。把限压点提到约 75 V（18–75 V 输入的 DC-DC 模块可以长期承受），电流降到 2 A，MOSFET 两端电压降到约 24 V，总共约 25 J。无论哪种，都要核对 MOSFET 在 0.5 s 下的安全工作区。
- **尖峰仍交给 TVS。** 2 J（F 版为 250 mJ）在它的能力范围内。
- **反极性用理想二极管控制器驱动的背靠背 MOSFET 阻断，** 不用串联二极管，否则要白白浪费好几瓦。
- **发动机起动是一种工况，不是故障。** 能充就一直充到 16 V；低于 16 V 时暂停，但显示和日志保持工作，结束后无需任何人操作，自动恢复。答复规格书时要写明这一点。
- **18–75 V 输入的模块帮了大忙。** 它们一般能承受 100 V、1 s，所以前面一级浪涌保护就够了。
- **纹波也要算。** 1275D 允许最高 200 kHz、峰值 7 V 的纹波，输入滤波器要能处理而不发生谐振。

MIL-STD-461：难点在发射

对陆军地面设备，MIL-STD-461G 适用八项试验：CE102 电源线传导发射（10 kHz 至 10 MHz）、RE102 辐射发射（地面设备 2 MHz 至 18 GHz）、CS101 电源线低频纹波抗扰（30 Hz 至 150 kHz）、CS114 所有线缆的大电流注入（10 kHz 至 200 MHz）、CS115 快速脉冲、CS116 阻尼正弦（10 kHz 至 100 MHz）、CS118 人体静电（接触 ±8 kV，空气 ±15 kV），以及 RS103 辐射抗扰，2 MHz 至 18 GHz、50 V/m。2026 年 4 月的 461H 保持陆军地面设备的限值不变，收紧的是试验程序。

图 5. MIL-STD-461G 对陆军地面设备的试验项目，以及旧规格书仍在引用的 461C 试验。

对数轴上的频率范围，以及旧规格书仍在引用的 MIL-STD-461C 试验。



来源: MIL-STD-461G（2015 年）表 V 及各试验章节；MIL-STD-461C（1986 年）第 4 部分。

电池充电器在发射上是个难对付的品类。它里面有好几级开关变换器：功率因数校正一级，每个通道一个隔离变换器，每个通道再一个升降压充电级。四个通道的开关频率略有差异，会产生拍频；电池引线和车辆线缆又是很好的天线。抗扰通常是相对容易的一侧，不过 RS103 的 50 V/m 也不能轻视。旧版规格书会让天平更偏向发射：461C 的 CE03 在 2 MHz 以上，28 V 输入比 CE102 严约 6 dB，230 V 输入严约 15 dB，而且要测到 50 MHz 而不是 10 MHz；它的辐射抗扰要求却只有 1 到 10 V/m。

管用的做法：

- **每个电源输入一个两级 LC 滤波器，** 装在连接器壁上，让滤波前后的走线永远不在同一个腔里。按我的估算，充电器要在开关频率处提供 40 到 60 dB 衰减，在 2 到 50 MHz 提供 50 到 70 dB，才能有余量地通过 CE03。
- **密封电子舱兼作屏蔽体。** 每条接缝用导电密封条、连续搭接，机箱就成了法拉第笼，不必额外花钱。
- **规划各变换器的频率。** 让各通道变换器同步或扩频，在效率允许的范围内放慢开关沿。
- **给电池引线加共模扼流圈。** 每个输出口一个，防止电池线缆向外辐射。
- **尽早测量。** 首台样机用 LISN 加频谱仪做一次传导发射预扫描，只要一天；到正式暗室才发现问题，要搭进去几周。

MIL-STD-810：能散热、会呼吸、扛得住跌落的密封箱

充电器规格书里常见的十种环境，正好一一对应 810E 的 500.3、501.3、502.3、505.3、506.3、507.3、509.3、510.3、514.4 和 516.4 方法，在 810H 中分别变为 500.6、501.7、502.7、505.7、506.6、507.6、509.7、510.7、514.8 和 516.8。三十年来，这些方法的默认严酷度几乎没变。单看每一项都不难，合起来描述的是一个密封箱，而密封箱有三个问题：热、气压和冲击。

方法（810E / 810H）	默认严酷度	设计对策
低气压（500.3 / 500.6）	4,570 m，57 kPa	密封箱内外压差约 44 kPa，作用在 340 × 240 mm 的盖板上约 3.6 kN。ePTFE 透气阀平衡气压，同时挡住水。
高温（501.3 / 501.7）	干热循环：环境 32 至 49 °C，车内和箱内诱发温度 33 至 71 °C	无风扇，靠散热鳍自然对流；所有发热件都传导到鳍板；50 °C 以上由固件降低充电功率。
太阳辐射（505.3 / 505.7）	1,120 W/m²，24 小时循环	浅色涂装减少吸热；与客户约定能否用分析代替试验。
低温（502.3 / 502.7）	基本寒冷型约 −32 °C，更冷的类别另行约定	器件和显示屏按 −40 °C 选型；电池在 0 °C 以下不充（见下文）。
淋雨（506.3 / 506.6）	10 cm/h，风速 18 m/s，每面 30 分钟	电子舱 IP67，盖板连续密封条，电池井设排水阀。
湿热（507.3 / 507.6）	10 天循环	密封电子舱加三防漆。
盐雾（509.3 / 509.7）	5% NaCl、35 °C，湿 48 小时加干 48 小时	粉末或 CARC 涂层下做转化膜，紧固件用不锈钢，避免异种金属直接接触。
砂尘（510.3 / 510.7）	粉尘 10.6 g/m³、8.9 m/s；沙尘 1.1 g/m³、18 至 29 m/s	电子舱密封；涂层和显示窗耐磨。
振动（514.4 / 514.8）	轮式或履带式车辆谱，需问清是哪种	重器件加固；盖内海绵压住电池；试验时给真电池充电，证明行驶中可用。
冲击与运输跌落（516.4 / 516.8）	从 122 cm 跌落 26 次	角护块预留约 10 mm 的可控变形；连接器凹装；任何姿态都不让连接器先着地。

最容易出问题的组合是散热加密封。+55 °C 的满日照下，密封箱用不上外部空气，全部损耗只能靠传导和自然对流带走。输出 120 W、效率 79% 到 83% 时，损耗为 25 到 32 W，带散热鳍的铝壁散得掉；但 AC-DC 模块在 50 °C 以上每度要降额 2% 到 3%，选型时必须算进去。如果 +55 °C 下必须给出全功率，要么模块升一档，要么由固件降低充电电流并如实显示。

不用风扇，是 MTTF 决定的

要求 MTTF 40,000 小时，等于整台充电器的失效率预算只有每百万小时 25 次。常规的证明方法是按 MIL-HDBK-217F Notice 2、在地面移动环境下做元器件应力法预计；这个环境下电容的环境系数是良性环境的 20 倍。风扇轴承的特征寿命在 60 °C 时约 35,000 小时，70 °C 时约 22,000 小时；在这套预计里，一台风扇就贡献约每百万小时 43 次失效，比

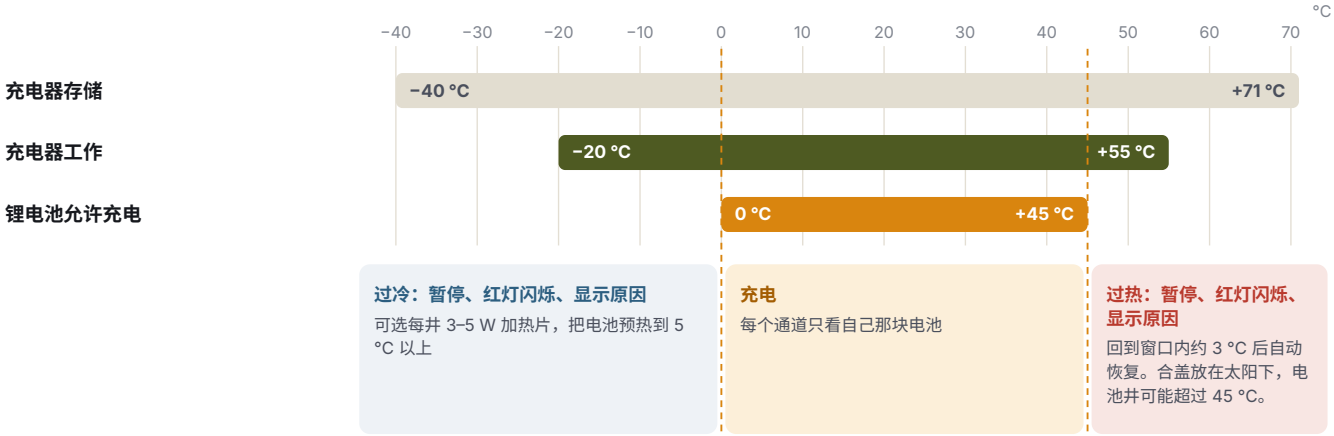
整机预算还多。结论很明确：内部不装风扇，器件降额，预计方法、环境和温度在动笔前就和客户约定。想用试验证明这个数字不现实：标准的验证方案需要几万个无故障台时。

电池有自己的温度窗口

锂电池只能在制造商允许的温度窗口内充电，一般是 0 至 45 °C；而充电器通常被要求在 −10 或 −20 °C 到 +55 °C 之间工作。低温充电会析锂、损坏电芯；高温充电会缩短寿命。所以充电器必须知道每块电池的温度，来自电池包的热敏电阻或智能电池数据，并且每个通道单独判断。

图 6. 充电器的工作范围比电池允许充电的范围宽。

加固充电器和典型锂电池的温度范围，以及每个通道在边界上的行为。



来源: 典型锂电池充电窗口取自电池规格书；充电器范围和行为来自作者的设计。

我规定的行为是：超出窗口时，该通道停止充电，但显示、数据读取和自检照常工作；它的指示灯红色闪烁，屏幕用操作者的语言说明原因；电池回到窗口内、留约 3 °C 回差后，无需任何人操作自动继续充电。如果客户要求在 −10 °C 也能充，可在每个电池井加 3 到 5 W 的加热片，先把电池预热到 5 °C 以上。另外，合盖放在太阳下时，电池井温度可能超过 45 °C，所以承诺的充电时间只在中等温度下成立，这一点要写进书面假设。

安全、触摸温度、静电与人机工程

安全。 IEC 62368-1 在 2020 年底取代了 IEC 和 UL 60950-1，2023 年版修订了电池充电条款。各方对它的电气间隙表读法不一（一份测试报告读作 1.5 和 3.0 mm，一家半导体厂商读作 1.8 和 3.6 mm），我按较大值设计：海拔 2,000 m 以下，基本绝缘至少 1.8 mm，加强绝缘至少 3.6 mm；5,000 m 时乘以 1.48。输出超过 100 W 属于 PS3 电路，需要防火外壳，金属机箱即可满足。最省事的证明方式，是一份覆盖电池充电附录的 CB 测试报告。

触摸温度。 MIL-HDBK-454 在 25 °C 环境下允许：操作件 49 °C，其他可触及部位 60 °C，其余表面 70 °C。环境到了 +55 °C，裸露金属本身就已超过 49 °C，所以提手、旋钮和角护块用聚合物或弹性体，高温表面加警示标识。同一条指南还要求漏电流不超过 3.5 mA、搭接电阻不超过 0.1 Ω、电容在 2 s 内放电到 30 V 以下。

静电。 常见要求是：操作者能碰到的每个操作件、每个面的中心，做 4 kV 人体模型接触放电；不通电的接口针脚做 2 kV。再按 461G 的 CS118 加测 8 kV 作为余量，几乎不增加成本。工厂还要有自己的静电控制程序，按 ANSI/ESD S20.20 或 IEC 61340-5-1 执行。

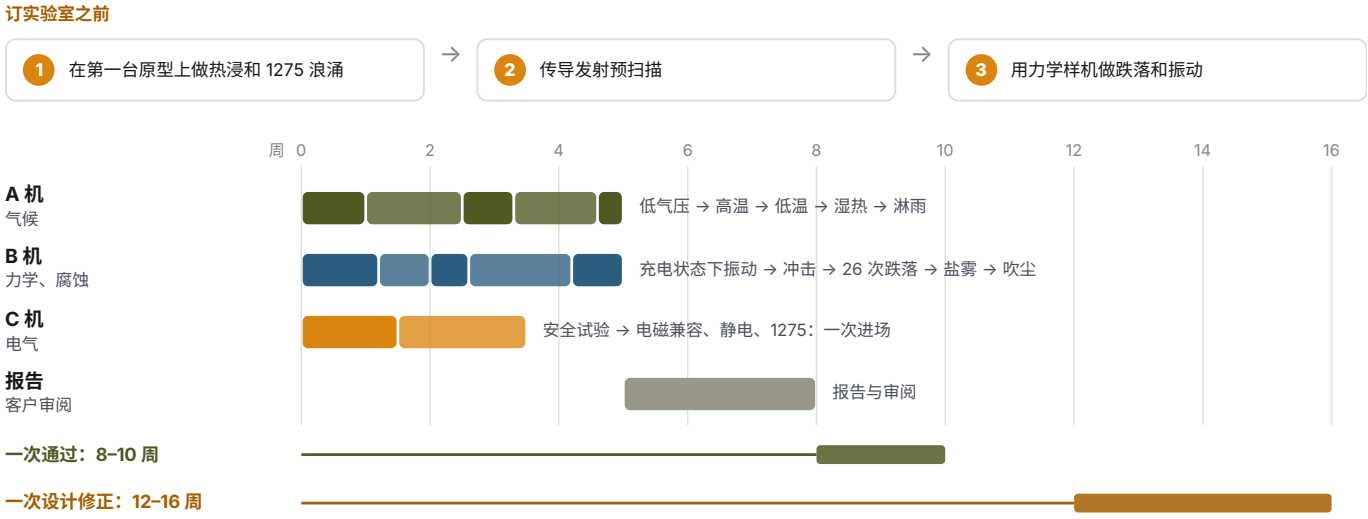
人机工程。 MIL-STD-1472 规定，戴手套单手提手的内宽 125 mm、指隙 50 mm、深度 100 mm（裸手为 111、48、75 mm，戴连指手套为 135、75、150 mm）；旋钮力矩 115 至 680 mN·m，档距 15 至 40°；视距 710 mm 时字符高 2.5 至 5 mm。这些都靠检查加戴手套演示来验证，不产生实验室费用。

鉴定试验：三台样机、两条并行链、一次电磁兼容进场

鉴定试验三台样机比较从容，两台是底线。A 机走气候链：低气压、高温存储与工作、低温、太阳辐射（如需实测）、湿热、淋雨。B 机走力学与腐蚀链：充电状态下振动、运输、功能冲击与工作台操作、26 次跌落、盐雾、吹尘。C 机走电气链：安全型式试验、MIL-STD-461、静电和 MIL-STD-1275。前两条链并行约 4 到 5 周；电磁兼容和电源瞬态 1.5 到 2 周；报告和客户审阅再加 2 到 3 周。一次全部通过是 8 到 10 周，需要一次设计修正则是 12 到 16 周。

图 7. 三台样机的鉴定计划：一次通过 8–10 周，一次设计修正 12–16 周。

按周计的鉴定试验计划，从第一项试验算起；此前已在样机上排除主要风险。



按公开收费估算的实验室费用

中国大陆	美国或欧洲
$18,000–45,000	**≈$70,000–115,000**
含 20% 复测预备金为 $22,000–54,000	估算

来源: 作者的计划；实验室费率来自江苏一家省级检验研究院（2025 年）、台湾地区标准检验局和两家美国实验室。

顺序比实验室更重要。订实验室之前，先在第一台原型上做热浸和 1275 浪涌，再做电磁兼容预扫描，然后用力学样机做跌落和振动。这样一来，几项节省几乎白来：高低温工作放在同一次温箱预约里做完；振动时让样机真的给电池充电，同时证明行驶中可用；+55 °C 恒温时顺便采集安全报告需要的温升数据；静电和 1275 与电磁兼容同一次进场完成；一份试验大纲覆盖 810、461 和 1275，客户批准一次，之后只需见证电磁兼容、跌落和振动这几天。低气压、太阳辐射和辐射型 EMP 脉冲，往往可以用分析代替试验。

没有实验室公开军标测试的价目，所以费用只能用公开收费表自下而上地估。江苏一家省级检验研究院公布的价格是：气候箱每小时 4.5 到 37 美元，电磁兼容暗室每小时 119 到 149 美元；台湾地区标准检验局公布的价格是振动约 121 美元、跌落约 73 美元、静电约 364 美元、整套电磁兼容约 2,610 美元；在美国，一家实验室的 MIL-STD-461 测试报价"3,999 美元起"，另一家的工程师工时为每小时 157 到 377 美元。按这些费率估算，一整套试验（461、1275、静电、十个 810 方法和一份安全报告）在中国大陆约 1.8 万到 4.5 万美元（约 12 万到 30 万元人民币），加 20% 复测预备金后为 2.2 万到 5.4 万美元；在美国或欧洲，我估计要 7 万到 11.5 万美元。按公开收费，台湾地区的公立实验室并不比大陆贵。买方是否接受某家实验室的报告，是商务问题，最好在第一次预约前就谈定。

需要按这份清单做一台充电器？

这份清单来自一次实际设计：一台密封、无风扇的四工位充电器，有交流和 24 V 车载两路输入，做成一个可从两工位扩展到八工位的平台。它怎么造、规格书里的空缺怎么补、怎样在 16 周内从规格书做到工程样机，写在《2026 加固多工位电池充电器定制：从规格书到工程样机只要 16 周》里；这类充电器卖多少钱，见《2026 多工位军用电池充电器价格调

研》。

如果你有电池需要一台加固充电器，请把电池型号或规格书、工位数、输入电源、需要满足的标准和数量发到 i@tanshuai.com。我会回复那几个决定设计的问题。

资料来源

1. MIL-STD-1275E, Characteristics of 28 Volt DC Input Power to Utilization Equipment in Military Vehicles (2013). https://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-1100-1299/MIL-STD-1275E_45886/
2. MIL-STD-1275B (1997). https://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-1100-1299/MIL_STD_1275B_777/
3. Transient Specialists, PG-1275F transient generator user manual (revision F waveforms). https://transientspecialists.com/cdn/shop/files/Users_manual_PG-1275F_rev2.pdf
4. Texas Instruments, TIDUDG1, MIL-STD-1275 protection reference design guide. https://ti.com/lit/pdf/tidudg1
5. MIL-STD-461G, Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Characteristics (2015). https://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-0300-0499/MIL-STD-461G_53571/
6. MIL-STD-461C (1986). https://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-0300-0499/MIL-STD-461C_19034/
7. In Compliance Magazine, MIL-STD-461H: a review. https://incompliancemag.com/mil-std-461h-a-review/
8. MIL-STD-810E, Environmental Test Methods and Engineering Guidelines (1989), and 810H (2019) method equivalents. https://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-0800-0899/MIL-STD-810E_13775/
9. MIL-STD-1472F, Human Engineering. https://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-1400-1499/MIL-STD-1472F_208/
10. MIL-STD-1686C, Electrostatic Discharge Control Program. https://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-1600-1699/MIL-STD-1686C_5522/
11. MIL-HDBK-217F Notice 2, Reliability Prediction of Electronic Equipment. https://everyspec.com/MIL-HDBK/MIL-HDBK-0200-0299/MIL-HDBK-217F_NOTICE-2_14590/
12. MIL-HDBK-454, General Guidelines for Electronic Equipment (listing). https://everyspec.com/MIL-HDBK/MIL-HDBK-0300-0499/
13. Texas Instruments, SLUP419, insulation requirements of IEC 62368-1. https://www.ti.com/lit/pdf/slup419
14. Genorma, EN 50091-1-1:1996 status. https://genorma.com/en/standards/en-50091-1-1-1996
15. Battery University, BU-410: Charging at high and low temperatures. https://batteryuniversity.com/article/bu-410-charging-at-high-and-low-temperatures
16. Jiangsu Administration for Market Regulation, product testing fee schedule (June 2025). https://scjgj.jiangsu.gov.cn/attach/0/7298087b18cf41529a3e43ac75aab677.pdf
17. Bureau of Standards, Metrology and Inspection (Taiwan), test fee table. https://www.bsmi.gov.tw/wSite/public/Attachment/f1784081743483.pdf
18. Sunfire Testing, MIL-STD-461 testing. https://www.sunfiretesting.com/military_device_mil-std-461/
19. Hi-Test Laboratories, 2023 rates. https://hitestlabs.com/s/2023-Rates_Update.pdf

关于作者

谭帅，技术专家和创业者，在芯片、硬件和系统软件领域工作二十多年，拥有 20 项授权专利。他的工作经历遍及硅谷、纽约、芝加哥、台湾地区、粤港澳大湾区（深圳和香港）、越南和马来西亚，长期关注先进制造和供应链。如今他是一名 AI 研发者，同时与深圳的制造伙伴一起做定制加固电子产品。

加固充电器项目与技术交流：i@tanshuai.com。