

# 用通俗中文讲清楚：DORAEMON 「一碰即充」完整说明

目标：先讲直觉，再讲问题—方案—为什么能成—方法细节—影响与应用，最后给一个小算例和如何用代码做验证的思路。整篇可直接当说明文/提案文使用。

## 1 1) 直觉：像“磁性插头 + 海绵”

把手机/设备轻轻一“贴”，两只线圈就像“磁性插头”一样对上了频率（共振），能量顺着近场磁场涌过来；设备里有一块能量海绵（超级电容），几十毫秒内瞬间吸能，然后在接下来的几分钟里慢慢把能量喂给电池。

关键点：这不是要在 50 ms 内把电池充满，而是先把能量塞进“海绵”（超级电容），再温和地给电池。——“快”与“稳”被时间上拆分。

## 2 2) 传统无线充电的痛点

1. 必须一直对准：放偏就掉速、掉效。
2. 速度慢：功率不高，要放很久。
3. 移动不友好：边走边充基本不现实。
4. 电池不耐“野蛮快充”：化学反应有上限，大电流易发热、掉寿命。

## 3 3) 为什么 DORAEMON 能工作（核心直觉）

- 共振放大：两线圈调到同一频率（如 6.78 MHz），近场磁耦合像“跷跷板”一样高效传能；对得准时，耦合效率可很高。
- 能量缓冲：超级电容（功率密度高）能在几十毫秒吸收大电流，这点电池做不到；相当于先把能量“存到小水缸”。
- 时间尺度解耦：50 ms 完成“吸能”，30 分钟完成“喂电池”。电池看到的是温和、可控的电流，更护寿命。
- 智能控流降损：电容电压低时若“猛灌”， $I^2R$  热损耗大。先小—再大—后小的电流波形显著提高“吸能效率”。

## 4 4) 系统全貌 (组成与分工)

### 发射端

- 高频驱动 (功放)
- 发射线圈
- 调谐/匹配网络 (可变)

### 接收端

- 接收线圈
- 低损整流 (优先同步整流)
- 超级电容 (能量腔)
- DC-DC 转换器 (给电池/负载)
- 保护与测量 (电流/电压/温度)

### 感知与控制

- 合法设备与对准检测 / 异物检测
- 频率/相位/占空比调节、自动匹配
- 电流限幅、过温/过压/欠压保护
- 充电策略 (入腔侧、给电池侧)

## 5 5) 方法细节：一次“贴靠”的全过程 (0 → 30 分钟)

### A. 0–50 ms : 瞬时吸能 (“海绵进水”)

1. 识别与对中：确认合法设备、线圈基本对中 (磁吸/定位结构辅助)。
2. 建立共振：两侧频率一致，近场磁耦合“通车”。
3. 整流入腔：接收侧把高频交流整流成直流，喂给超级电容。
4. 电流波形要点：
  - 起步 (电容电压低)：中等电流，避免  $I^2R$  占比过大；
  - 中段 (电压升高、效率更好)：逐步拉高电流，快速装能量；
  - 结束前：逼近电容安全电压或时间将尽，平滑回落防过冲。

5. 温控与保护：实时监温，必要时限流/停机；异物（硬币等）检测到立刻断能。

直觉总结：电容电压越高，同样电流带来的有效存能占比越大。先把“底”垫起来再加速，整体更省损、效率更高。

## B. 50 ms–30 min：温和给电池（“海绵放水”）

1. DC-DC 转换：把电容较高电压变成电池所需电压/电流。

2. 电池侧策略：

- 类似 CC-CV：前期用恒定且安全的电流（遵守电池 C-rate），电池电压接近上限时转为“电压受控”，电流自然回落；
  - 温度优先：温升过高立即降档。
3. 合理的工作区：不必把电容从 0 V 充到满，也不必榨到见底；让它在高效率电压区间来工作，平均效率高、发热低。

## 6 6) 一个小算例（把量级“算清楚”）

目标：在 50 ms 内注入 5 J（等效平均功率 100 W），向一个等效 10 F 的超级电容“加一点电”。理想能量关系：

$$E = \frac{1}{2} C \Delta V^2$$

代入：

$$5 = \frac{1}{2} \times 10 \times \Delta V^2 \Rightarrow \Delta V = 1 \text{ V}$$

50 ms 内的平均电流：

$$I = \frac{C \Delta V}{\Delta t} = \frac{10 \times 1}{0.05} = 200 \text{ A}$$

（峰值可由整流/滤波分担）

ESR 决定损耗：若等效 ESR = 0.2 mΩ，

$$I^2 R \Delta t = 200^2 \times 0.0002 \times 0.05 = 0.4 \text{ J}$$

吸能效率  $\approx \frac{5}{5+0.4} = 92.6\%$ （很可观）。

若 ESR = 1 mΩ，损耗变 2 J，效率掉到约 71%。

结论：要么把 ESR 做到极低（并联多颗、优选器件、同步整流、减小寄生），要么不要从 0 V “猛灌”——这正是三段式电流 + 合理电压工作区的价值。

注：很多应用不需要 10 F；几法拉更容易在 50 ms 内形成可观  $\Delta V$ ，功率与损耗也更可控。

## 7 7) 关键挑战与边界条件

- 对准容差：偏一点  $k$  下降，效率/功率跟着掉；用物理定位/磁吸 + 线圈形状优化提高容差。
- 电磁兼容与安全：6.78 MHz 属 ISM 频段，但仍需异物检测、屏蔽/导磁片、场强管理。
- 峰值电流能力：整流器件、母线、走线要承受 100–200 A 级短时冲击；优先同步整流、低寄生布局。
- 热管理：虽是 50 ms，但峰值功率带来瞬时发热；需要足够热容 + 散热路径，并限制“高频次连击”。
- 电池友好策略：温度与寿命优先，不要追求极限拉满。

## 8 8) 影响与应用场景

- 用户体验：手机/耳机/手表“一碰就走”，几十毫秒换来几分钟到半小时续航，摆脱“趴在充电板上”。
- IoT/工业：巡检机器人、AGV、传感节点，路过时“抬手一碰”即可补能，不停机。
- 交通/物流：对接“短停快充”（站台/工位），把等待压缩到肌肉记忆级。
- 电池寿命：把“暴力快充”交给超级电容，电池只见“柔电流”，更耐用。

## 9 9) 这套方法为什么靠谱（一句话）

物理有共振耦合保证短时高效传能；器件有超级电容承受巨瞬功率；控制用三段式电流/合适工作区把损耗压低；系统把快与稳拆开，电池安全、体验简单。

## 10 10) 如何用“代码做实验”（最小闭环思路）

不急做硬件，先把“数字样机”在电脑里跑起来，评估量级与敏感性。

### (1) 线圈耦合（近似）

- 用等效电源 + 负载模型，设置耦合效率  $\eta_{coupling}$ （如 85–95%），随偏移/频偏/距离变化。
- 输出：50 ms 内可提供到整流端的能量（J）。

## (2) 超级电容充电 ODE

- 核心方程：

$$\frac{dV_c}{dt} = \frac{I(t) - I_{\text{leak}}(V_c)}{C_{\text{eff}}(V_c)}, \quad P_{\text{loss}} = I^2 R_{\text{ESR}}$$

可加简单热模型 (热容 + 热阻)。

- 试三类电流：恒流、三段式 (先中后高再回落)、优化搜索 (把 50 ms 切段，求每段电流)。
- 记录：吸能效率、峰值温升、末端电压。

## (3) 电池侧放电

- 电池用简化 Randles 等效 ( $V_{\text{OCV}}(\text{SOC})$ 、 $R_{\text{int}}$ 、一阶 RC)。
- DC-DC 设“安全恒流上限 + 温度限流”，再过渡到“电压受控”。
- 记录：30 min 内 SOC 提升、温升、平均效率。

## (4) 端到端指标

$$\eta_{\text{total}} = \eta_{\text{coupling}} \times \eta_{\text{rect}} \times \eta_{\text{storage}} \times \eta_{\text{dc-dc}}$$

关注：每次贴靠注入能量 (J/次)、效率、热安全、以及对对准/ESR/频偏的敏感性。

## 小结 (要点速览)

- 问题：想要“又快又自由”的无线充电，传统“长时间趴板”做不到。
- 直觉：像磁性插头 + 海绵，先快吸能、后慢喂电。
- 方法：共振耦合高效传能 + 超级电容扛瞬时功率 + 三段式电流与温控保护 + CC-CV 给电池。
- 为什么能成：物理可行、器件能扛、控制能优化、系统把快与稳拆开。
- 应用：极简体验、不断电补能、对电池更友好；先从小功率场景快速落地。

## 附：公式/名词小抄 (便于查阅)

- 电容能量： $E = \frac{1}{2}CV^2$ 。

- 充电速率： $I = C \frac{\Delta V}{\Delta t}$ 。

- ESR 损耗： $E_{\text{loss}} = I^2 R_{\text{ESR}} \Delta t$ 。
- 吸能效率 (近似)： $\eta_{\text{storage}} = \frac{V_c I}{V_c I + I^2 R_{\text{ESR}}} = \frac{1}{1 + \frac{I R_{\text{ESR}}}{V_c}}$ 。
- CC-CV：恒流 (CC) 到达电压阈值后转恒压 (CV)，电流自然回落。
- 6.78 MHz：常用 ISM 频段之一 (近场共振耦合)。

### 想要进一步：下一步可做什么？

我们可以把上述“数字样机”的最简 Python/MATLAB 脚本搭起来：线圈耦合近似 + 超级电容 ODE (含 ESR/热) + 三段式电流生成器 + 电池侧 CC-CV 控制。一键跑完就能看到每次贴靠注入多少焦耳、热是否安全、以及对齐偏差/ESR 对效率的影响。