

## 掌序 PALMFORM

# 双通道机械采能与工作—休息分离交互的理论框架

PALMFORM: A Theoretical Framework for Dual-Channel Mechanical Energy Harvesting and Work–Rest Separation in a Computer Mouse

### 摘要

目的：探索桌面指点设备如何容纳可选择的侧向握压、垂直掌压及可解释能量反馈。方法：结合相关工作比较、状态分离设计与参数化分析，提出固定指点底座、可锁定独立掌托、可展开侧握柄和混合供电架构，建立双通道做功、储能边界及日收支模型。分析结果：在本文明确假设下，侧握与掌压每次储能分别为0.125 J和0.015 J；每日各100次产生14 J储能收入，对28.44 J储能端日支出的覆盖率为49.2%。相同动作次数下，双通道不必提高能量产出，其设计价值在于动作选择与活动组织。结论：本文提出机械输入、行为状态与能量表征的一体化设计框架，并给出可证伪命题。研究为理论探索，不含样机、用户试验或医疗效果证据。

关键词：人机交互；机械能采集；掌压；握压；能量反馈；理论设计



图1 掌序的整体概念。前部指点按键、后部掌托和两侧握柄各有独立结构语义。图像由imagegen生成，用于设计表征。

## Abstract and research framing

This conceptual study investigates how a desktop pointing device can support optional lateral gripping, vertical palm pressing, and interpretable energy feedback without making routine computer use dependent on exertion. PALMFORM combines a rigid pointing chassis, a lockable independent palm island, deployable side paddles, and USB-supported rechargeable storage. A deterministic model links generalized mechanical work to stored energy and daily energy balance. Under explicitly hypothetical parameters, a grip event stores 0.125 J and a palm event stores 0.015 J. One hundred events of each type yield 14 J per day, covering 49.2% of a 28.44 J storage-side daily demand. At a fixed event budget, adding an input modality does not necessarily improve energy yield; its conceptual benefit is optionality and the organization of activity. The contribution is a synthesis of mechanically separated inputs, work/rest/activity states, and auditable energy accounting. No physical prototype, empirical user study, clinical outcome, or validated autonomy is claimed.

### 研究问题

- RQ1 如何在同一指点设备中定义互不混淆的指点、侧握与掌压输入？
- RQ2 两路主动做功在何种假设下可以形成可解释的净储能与日收支？
- RQ3 如何把工作、休息、自主手部活动和供电反馈组织为可区分的状态？

### 本文贡献

| 贡献         | 表达形式               | 可检验性           |
|------------|--------------------|----------------|
| C1 结构与状态统一 | 三类接触结构、四类行为状态、共享储能 | 可比较模式边界与误触路径   |
| C2 能量边界一致  | 广义做功、净储能、日负载、持有损耗  | 公式与CSV可复算      |
| C3 行为与反馈分离 | 休息、自主活动、电量分别呈现     | 可独立评价理解、舒适性与行为 |
| C4 产品设计语法  | 材料、交互、包装与软件的统一概念   | 可讨论一致性，不替代效果验证 |

本文采用概念设计与确定性情景分析方法。设计表征说明形态，方程说明假设关系，参考研究说明背景；三类证据在正文中分别使用。

## 1 引言：从指点工具到可选择的身體交互

桌面鼠标同时承担指向、点击与掌部接触等功能，其外壳既是输入工具，也是手部长期接触的物理界面。现有产品通过传感器、按键、滚轮及软件扩展提高操作能力，触觉反馈亦已进入高端办公鼠标[13]。在这一背景下，鼠标的研究范围可以进一步延伸至可控制的结构形变、主动机械做功以及动作过程的可解释反馈，使日常工具在保持指向功能的同时，容纳与工作相互独立的手部活动。

握压交互与鼠标结合已有研究基础。Mousegrip将弹簧握力器与鼠标电子部件相连，通过握压驱动游戏输入[1]；后续研究探索了形变对象内部电子元件的布置，以及点击、滑动等动作的能量采集[2][3][4][5]。这些工作分别展示了用力输入、柔性结构与采能的可能性，但它们的作用条件和输出尺度并不相同。将其置于同一产品概念时，需要说明动作如何进入机械路径、采集结果如何进入储能，以及这些过程何时与正常办公隔离。

本文提出掌序PALMFORM，一种结合可锁定下压掌托、可展开侧握柄、双通道机械采能、力与位移感知以及混合供电的理论鼠标概念。其核心设计对象是状态之间的关系。办公状态维持稳定接触与轻握操作；休息状态允许用户松手和离开设备；自主活动状态开放侧向握压或垂直掌压，并提供动作及能量反馈。USB充电与充电电池承担基础供电，机械采能作为独立可观察的补充来源。

研究采用概念设计、相关工作比较与参数化能量分析，提出结构分区、模式切换和反馈表达框架，并讨论可用于后续验证的问题。本文不含样机、人体试验或实际续航测量，所有输入力、行程、效率和储能计算均属于明确假设下的理论情景。贡献在于把机械路径、行为边界与能量表达组织为一致的设计方案，为可形变办公输入设备提供可检验的研究命题，而非报告已实现的产品性能或健康效果。

### 1.1 相关工作的演进起点

握压输入的早期代表是Mueller于2007年提出的Mousegrip[1]。该装置采用商用弹簧握力器和机械鼠标部件，将握压量转为单轴鼠标输入，并用于控制Pong游戏。其设计意图是使游戏交互包含明显的身体用力。它说明握力器能够借用既有鼠标输入通道建立交互，但其结构不承担发电功能，原文亦没有提供长期训练收益的受控证据。掌序沿用可感知阻力与动作反馈的思路，同时将自主活动与常规指向任务分离。

2016年，Cha等研究了鼠标点击动作的压电采能[3]。其压电材料置于手指手套中，通过机器人手指和人的食指实验建立模型与电负载关系，采集能量处于数十纳焦耳量级。2019年，Chandrasekhar等提出与鼠标相关的滑动摩擦纳米发电结构，出版社摘要报告了电容与锂离子电池充电测试[4]。两类研究分别依赖受力形变和接触滑动，不能将其电压峰值或特定装置输出直接迁移到另一种鼠标结构，更不能直接支持本概念的单次储能目标。

研究对象为一个理论产品系统。本文比较公开研究所使用的机制与交互结构，不将其他装置的电压、功率或健康论述迁移为本产品性能。

## 2 相关工作与设计位置

同在2019年，Worgan等将形变手势数据用于电子元件布置，研究对象包括硅胶鼠标[2]。其方法依据用户施力产生的应力分布，区分电池等刚性元件应避免的区域，以及传感或采能元件可利用的形变区域。ZHAW的De Vittori项目摘要则从供能与负载共同设计出发，研究太阳能和掌部热电供能、低功耗检测及电源管理[7]。前者提供软硬分区依据，后者说明自主供电需要同时处理能量来源与电子耗电；二者均不能代替掌序结构的实测。

可变刚度与多模态采能进一步扩展了设计空间。He等于2021年研究可控刚度触觉层，用于腹部触诊模拟，比较颗粒和层状阻塞机制[12]。其意义在于说明刚度能够成为可设计的物理反馈变量，而非证明某种阻力适于办公训练。Jian等于2023年在鼠标垫中结合摩擦电与压电结构，感知滑动、按压等动作并采能，报告特定条件下最高48  $\mu\text{W}$ 输出及电容充电[5]。该工作将感知与供能置于同一材料系统，但其鼠标垫尺度、动作条件及负载与掌序不同。

2025年的picoRing通过半无源感应遥测降低指环与腕带之间的通信能耗，展示了从系统负载侧延长输入设备工作时间的另一条路径[8]。同年，MX Master 4官方发布将可定制触觉反馈、软件快捷交互和USB-C充电整合为商业办公产品体验[13]。2026年Feng等的出版社摘要又描述了鼠标垫摩擦电、滚轮电磁与按键压电三路采能[6]。因此，多源采能或触觉鼠标本身均不构成本文的首次性主张；本文关注独立掌压与侧握、机械锁止及不同活动状态之间的组织方式。

横向比较可将相关工作分为用力交互、形变集成、采能系统、低功耗输入及能量反馈五类。掌序采用可分辨的两个主动做功通道，共享储能与电子系统，并保留基础充电。电磁、压电与摩擦电属于不同能量转换机制，理论比较应统一到存入储能端的净能量，而非比较开路电压。反馈层面，Froehlich等指出环保反馈研究需要区分界面呈现与实际行为改变[11]。据此，掌序将做功及回收电量作为可解释记录，将训练坚持、休息行为与舒适性保留为后续独立研究问题。

### 2.1 跨研究路径的结构化比较

| 研究路径             | 主要关注点          | 掌序的理论承接     |
|------------------|----------------|-------------|
| 用力与形变交互 [1,2,12] | 输入方式、刚柔区域、物理反馈 | 指点区域与活动区域分离 |
| 鼠标相关采能 [3–7]     | 转换机制、采能与储能     | 以净储能统一比较边界  |
| 低功耗与触觉产品 [8,13]  | 系统功耗、界面反馈      | 混合供电与可解释交互  |
| 工效与反馈研究 [9–11]   | 轻握、休息、行为解释     | 状态分离及分开评价   |

### 3 产品架构：三类结构，两路做功

掌序以固定指点底座承载光学定位、前部按键和滚轮；后部独立掌托沿垂直方向活动；左右侧握柄沿侧向活动。每种活动件有明确的锁止与解锁状态。这样的分区为普通操作提供稳定参照，同时为自主活动定义独立位移坐标。材料表面可连续，运动边界在视觉与触感上保持可辨。



图2 功能模块分层概念。后掌托、侧握柄、采能模块、共享电子层和刚性底座形成分区。内部几何为生成式表征，图示不参与力学数值计算。

#### 3.1 双通道及混合供电

侧握通道将两握柄间距的缩短量定义为 $s$ ；掌压通道将掌托相对底座的垂直位移定义为 $z$ 。两路分别产生电能后进入共享储能。USB提供初始及补充充电，使电量与用户是否愿意开展自主活动相分离。传动、发电与感知模块在理论架构上分别定义，避免用“有电压”代替完整能量链。

同时握压与掌压时，手部实际输入须用同步力与位移描述。共享框架可能产生耦合，用户也可能在两种动作之间重新分配用力。本文先给出独立输入情景作为可解释基线，再用耦合系数分析其偏离；独立情景不被视为现成机械性能。

4 双通道做功与净储能模型

W定义为压缩或下压输入行程中的外部正功。侧向坐标s为两侧总缩短量，不能因左右各移动一半行程而再次将能量乘二。本文假定释放由回位机构驱动；其采能若存在，包含在完整循环效率η中，不再增加一次机械输入。若用户在回程主动额外做功，应另行计入输入边界。

$$W_s = \int_0^{\Delta s} F_s(s) \, ds \approx F_s \, \Delta s$$

(1)

$$W_p = \int_0^{\Delta z} F_p(z) \, dz \approx F_p \, \Delta z$$

(2)

$$e_s = \eta_s \, W_s ; e_p = \eta_p \, W_p$$

(3)

$$E_{H,d} = N_{s,d} \, e_s + N_{p,d} \, e_p$$

(4)

| 参数     | 侧握通道 s  | 掌压通道 p  | 参数性质       |
|--------|---------|---------|------------|
| 平均输入力  | 50 N    | 20 N    | 情景假设，非训练处方 |
| 总位移    | 10 mm   | 3 mm    | 理论行程       |
| 储能效率 η | 25%     | 25%     | 全循环储能假设    |
| 机械输入 W | 0.500 J | 0.060 J | 由力与位移计算    |
| 单次储能 e | 0.125 J | 0.015 J | 由W及η计算     |

η表示从机械输入到净储能端的综合效率，包含结构耗散、传动、发电、整流与充电损耗；不等同某一芯片的最高转换效率。上述参数用于界定理论问题，未据装置输出或人体实验估计。后续代入其他参数时，结论应随之更新。

4.1 耦合与相同动作预算

$$E_{pair} = \kappa (e_s + e_p)$$

(5)

κ为相对于两路独立参考动作的系统偏离系数，综合表达共享结构及用力重新分配对净收入的影响。它不是额外能量来源，具体值尚无数据。在固定200次动作预算下，全侧握储能25J、各100次储能14J、全掌压储能3J。由此可见，多通道的理论价值是选择性，不能仅凭通道数断言发电更高。

### 5 储能与日收支：容量和收入分别建模

B为储能端能量；L为鼠标及感知、控制、反馈等负载端日需求； $\eta_o$ 为供电效率； $\ell$ 为储能端持有损耗。U为USB外部充电收入。所有通路必须在相同边界下比较，避免供电损耗扣除两次。

$$D_d = L_d / \eta_o + \ell_d$$

(6)

$$B_{d+1} = \text{clip}(B_d + E_{H,d} + U_d - D_d, 0, B_{\max})$$

(7)

取L=24 J/日、 $\eta_o$ =85%、 $\ell$ =0.2 J/日，则储能端日支出 $D \approx 28.44$  J。取3.7 V、100 mAh，标称 $B_{\max} \approx 1332$  J。以下无USB输入，初始储能为50%，按日聚合计算；未模拟日内动作时间、启动门槛、电压依赖或充电末期效率。

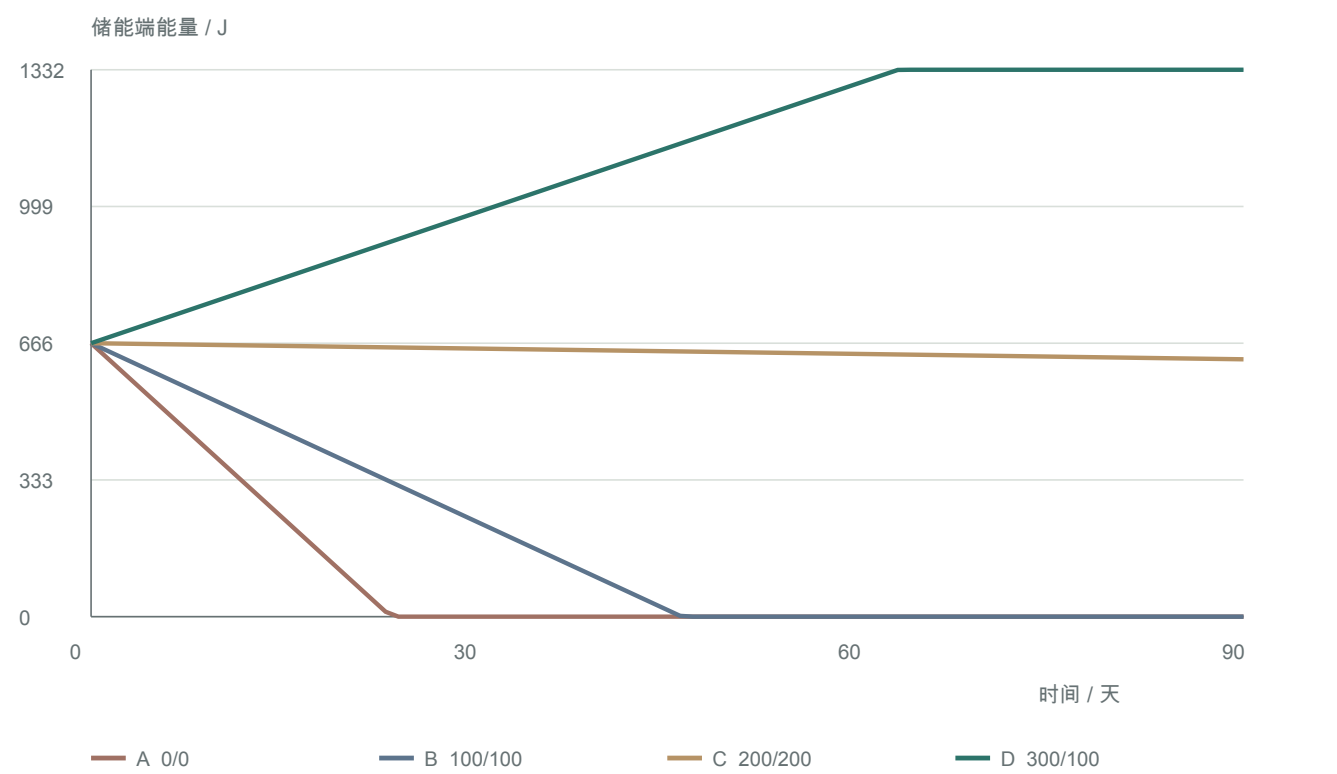


图3 四种假设动作组合的90日储能轨迹。图例数字分别为每日侧握/掌压次数。零值表示储能不足、不能据此假定持续提供服务；上限截断表示潜在弃能。

| 情景 | 次数 s / p  | 日收入  | 日结余      |
|----|-----------|------|----------|
| A  | 0 / 0     | 0 J  | -28.44 J |
| B  | 100 / 100 | 14 J | -14.44 J |
| C  | 200 / 200 | 28 J | -0.44 J  |
| D  | 300 / 100 | 39 J | +10.56 J |

## 6 理论结果：动作组合与敏感性

定义 $\rho=EH/D$ 为储能端日覆盖率。在独立输入情景中， $\rho=1$ 对应日总量收支边界，而非自动保证瞬时功率或日内连续运行。侧握与掌压次数为分析变量，不作为对用户的活动要求。

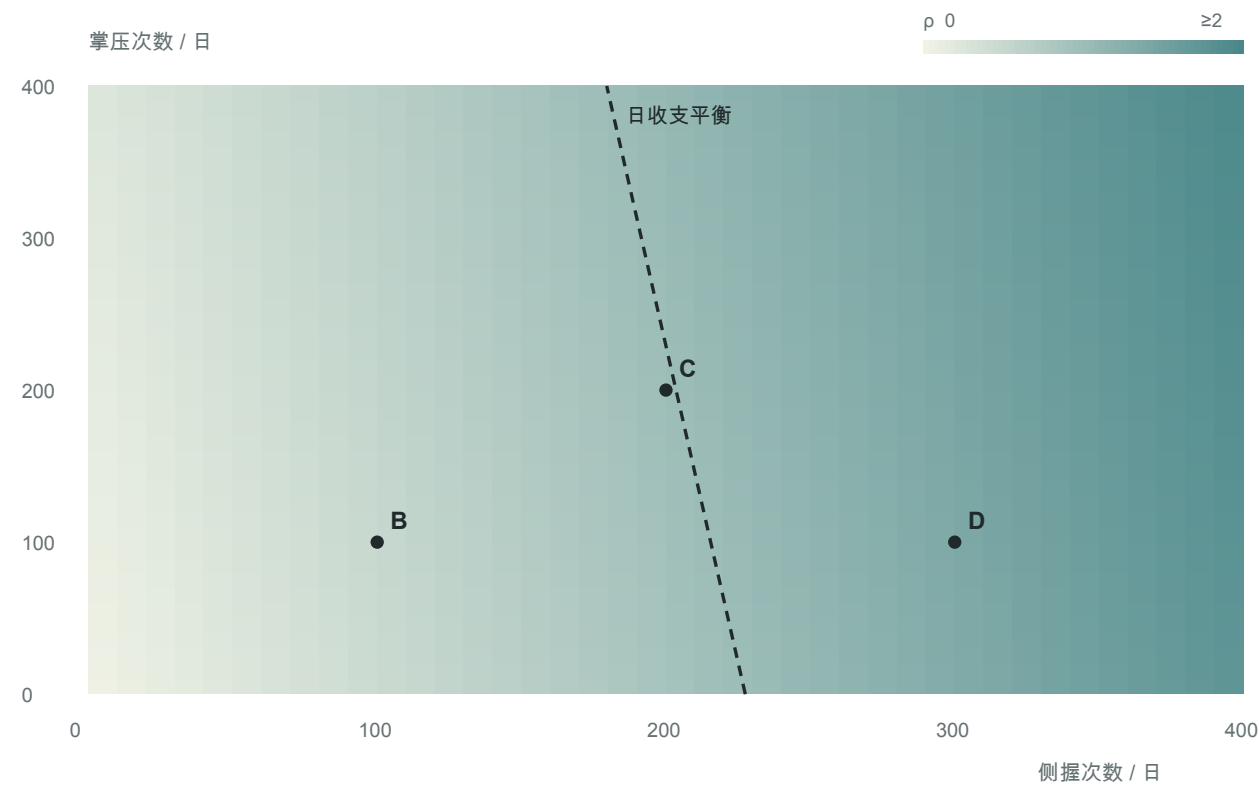


图4 次数参数网格的日覆盖率分区。颜色由浅至深表示收入增加；虚线为 $\rho=1$ 的解析边界。B、C、D为图3相同情景。数值由方程计算，无经验样本或统计置信区间。

$$N_{s,min} = \lceil (D - N_p e_p) / e_s \rceil_+$$

(8)

正部取整记号表示向上取整后与0取较大值。在本情景下，不含掌压时约需228次侧握实现日总量平衡；掌压100次时约需216次侧握。每日各100次覆盖率为49.2%，各200次为98.5%，300次侧握加100次掌压为137.2%。持有损耗略微提高了边界，说明低功耗系统需要保留附加支出项。

| 共同储能效率*   | $\eta=10\%$ | $\eta=20\%$ | $\eta=25\%$ | $\eta=35\%$ |
|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 各100次的日收入 | 5.6 J       | 11.2 J      | 14.0 J      | 19.6 J      |
| 相同日支出下覆盖率 | 19.7%       | 39.4%       | 49.2%       | 68.9%       |

\*仅改变两通道共同效率，其余参数固定。该扫参展示条件依赖性，不估计实际效率分布。 $\kappa=0.8$ 时，一对基准动作的0.140 J独立参考值降为0.112 J。

## 7 身体活动语义与状态分离

掌序的健康关联首先体现为活动边界。OSHA指导要求鼠标适配手型、维持中立腕姿并以轻触方式操作，避免为控制光标持续紧握[9]。因此，办公状态中的活动掌托和侧握柄保持锁止，正常输入不要求额外克服发电阻力。传感系统可描述本机接触力随时间的变化，但不把高用力设为办公表现良好的条件。外形、接触面积与锁止位置仍需后续人体适配研究，概念渲染不等于工效结论。

真实休息与自主手部活动在交互上分别成立。HSE建议休息或活动变化应允许用户起身走动，至少伸展并改变姿势，且尽可能由用户选择时机[10]。掌序的休息模式因此指向松手、离开设备或改变工作姿势。展开握柄进行重复握压属于另一种主动活动，具有自身的用力与动作负荷，不能仅因发生在办公间隙就被自动记为手部休息。模式记录呈现活动发生的事实，不预设其恢复效果。

自主活动由用户主动进入，可分别选择侧向握压、垂直掌压及其阻力设置。力传感与位移传感共同描述动作幅度、持续时间、节律及力—位移积分；采用一致标定时，也可观察同一人在本机上的相对变化。由于接触位置、手型、腕姿和机械传动均影响测量，这些输出是特定设备和动作定义下的指标，不能直接等同标准握力计读数，也不用于健康诊断、疾病风险判定或跨个体健康排名。

能量反馈与身体活动反馈采用不同解释。机械做功表示输入过程，净储能表示转换后存入电池的结果，二者同时受行程、阻力、速度与效率影响。较多电量既不直接代表更好的动作，也不代表更高健康收益。掌序以电能记录表达动作的物理后果，不以电量建立健康评分或强迫完成供电任务；USB供电使设备可用性无需依赖用户反复施力。环保反馈文献同样提示，信息可见与行为改善之间存在需要研究的环节[11]。健康关联由此保持为可检验的设计意图，而非无实证的疗效承诺。



图5 四类行为状态。USB充电为可并行的供电状态；从办公进入自主活动需要用户明确选择，真实休息不要求继续与鼠标交互。

## 8 理论产品化：形态、数据与反馈的一致性

理论产品化将研究对象从单个采能机构扩展为具有一致语义的产品系统。掌托的圆润独立岛形表达下压方向，侧面纹理表达握持区域，刚性底座表达指点参照。锁止状态下的完整轮廓服务于常规办公，自主活动状态通过可感知的结构边界提示可用动作。材料与接缝承担信息表达，视觉效果图不被用作尺寸或机理验证。

### 8.1 三本分开的记录

| 记录   | 内容                 | 解释边界              |
|------|--------------------|-------------------|
| 操作记录 | 输入活跃时间、模式切换、持续接触力  | 描述设备使用，不等同久坐或疲劳诊断 |
| 动作记录 | 侧握/掌压、力、位移、节律与机械做功 | 表示本机动作特征，不作跨人健康排名 |
| 电能记录 | 净储能、负载支出、USB收入与储能量 | 表示物理收支，不折算健康分     |

个体化首先体现为用户可选择的提醒时机、阻力偏好、动作方式和反馈密度。理论控制可在动作预算、用户自述感受及状态边界约束下选择提示，而不以“电池缺电”为提高活动量的依据。动态感知和显示的新增耗电纳入L；静态接触力需要独立力传感，不能仅由发电机电压反推。

### 8.2 多目标表达

$$\max U_{\text{interaction}} + \lambda E_{\text{usable}} - \mu C_{\text{effort}} - \nu C_{\text{interruption}}$$

(9)

该表达是设计目标的形式化陈述。U表示交互可理解性与选择性，Ceffort表示用户感知的用力成本，Cinterruption表示提示干扰；这些量尚无经验权重，λ、μ、ν不由本文拟合。因此，本文不报告最优阻力、最佳训练次数或自动健康推荐。更高采能量与更低动作负担之间的取舍，保留给后续研究。



图6 材料与接缝的概念表征。微纹理、金属岛面与柔性接触区共同表达结构分区。

## 9 讨论、研究命题与结论

本文的理论结果表明，主动侧握、掌压、储能容量和用户活动选择不能用单一指标替代。扩大电池主要改变备用容量，增加动作收入主要改变净消耗速度；新增掌压通道则改变可选择的身体动作。后者的产品意义不必依赖更高发电量，在相同动作预算下甚至可能降低能量收入。健康关联因此应由行为和体验研究独立评价。

### 9.1 后续可证伪命题

| 命题       | 可比较的问题               | 结果可能否定什么      |
|----------|----------------------|---------------|
| P1 状态可辨  | 用户是否能区分办公、休息、侧握和掌压   | 结构语义与模式设计是否清晰 |
| P2 能量可解释 | 用户是否理解做功、储能与备用容量的区别  | 能量反馈是否造成错误推断  |
| P3 动作可选择 | 双通道是否提高偏好与可接受性       | 多通道是否只有结构复杂度  |
| P4 工作低干扰 | 办公模式的指点表现与用力是否接近普通鼠标 | 机械分区能否保护主任务   |
| P5 收支可复算 | 计量后的日收支是否符合相同边界模型    | 模型假设与参数是否适用   |

### 9.2 范围与局限

本研究未实施物理原型、用户试验或临床评价，未估计机构尺寸、质量、成本及生产条件。图像只表达理论形态；参数扫掠展示模型条件，不构成经验性能区间。文献[4]和[6]仅核验出版社摘要及书目，未据其结果建立本系统性能；[7]为院校项目摘要。未开展系统专利检索，因而不提出首次性或可授权性主张。

## 10 结论

掌序PALMFORM将独立侧握与掌压、可锁定指点结构、混合供电和分离的反馈记录组织为同一理论产品框架。在明确的独立输入情景下，单次储能为0.125 J与0.015 J，每日各100次覆盖储能端日支出的49.2%。理论分析进一步说明，多模态价值应从动作选择、工作干扰与意义表达评价。本文提供可审阅的概念结构、可复算的能量模型及可证伪命题，为后续设计研究建立共同讨论对象。

数据与图像声明：参数、网格CSV、储能轨迹CSV、完整参考证据、8幅imagegen原图及提示词随稿保存。界面和场景均为概念，不含真实用户数据。

## REFERENCES / PRIMARY SOURCES

## 参考文献

- [1] Florian 'Floyd' Mueller. 2007. How to Build a Hard-to-Use Mouse. Proceedings of ACE '07, pp. 244–245.  
<https://doi.org/10.1145/1255047.1255106>
- [2] Paul Worgan, Kevin Reuss, Stefanie Mueller. 2019. Integrating Electronic Components into Deformable Objects Based on User Interaction Data. Proceedings of TEI '19.  
<https://doi.org/10.1145/3294109.3295629>
- [3] Youngsu Cha, Jin Hong, Jaemin Lee et al.. 2016. Flexible Piezoelectric Energy Harvesting from Mouse Click Motions. Sensors, 16(7), 1045.  
<https://doi.org/10.3390/s16071045>
- [4] Arunkumar Chandrasekhar, Venkateswaran Vivekananthan, Gaurav Khandelwal et al.. 2019. Sustainable Human-Machine Interactive Triboelectric Nanogenerator toward a Smart Computer Mouse. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 7(7), 7177–7182.  
<https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b00175>
- [5] Gang Jian, Ning Yang, Shangtao Zhu et al.. 2023. A Mousepad Triboelectric-Piezoelectric Hybrid Nanogenerator (TPHNG) for Self-Powered Computer User Behavior Monitoring Sensors and Biomechanical Energy Harvesting. Polymers, 15(11), 2462.  
<https://doi.org/10.3390/polym15112462>
- [6] Jinyan Feng, Yiyan Zhang, Kai Zhang et al.. 2026. A Self-powered Intelligent Wireless Electronic Mouse with User Identity Recognition Based on Multi-source Energy Harvesting. Chemical Engineering Journal, 536, 176050; volume date 2026-05-15.  
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2026.176050>
- [7] Michel De Vittori. 2019. Wireless Computer Mouse Powered with Harvested Energy. ZHAW School of Engineering, INES, thesis project summary.  
<https://www.zhaw.ch/storage/engineering/institute-zentren/ines/masterarbeiten/2019/wireless-computer-mouse-en.pdf>
- [8] Yifan Li, Masaaki Fukumoto, Mohamed Kari et al.. 2025. Ultra-low-power Ring-based Wireless Tnymouse. arXiv:2504.03253v3; related publication ACM UIST 2025.  
<https://doi.org/10.1145/3746059.3747615>
- [9] Occupational Safety and Health Administration. n.d.. Computer Workstations—Workstation Components—Pointer/Mouse. OSHA eTools.  
<https://www.osha.gov/etools/computer-workstations/components/pointer-mouse>
- [10] Health and Safety Executive. 2025. Working Safely with Display Screen Equipment—Work Routine and Breaks. HSE guidance; updated 2025-03-20.  
<https://www.hse.gov.uk/msd/dse/work-routine.htm>
- [11] Jon Froehlich, Leah Findlater, James Landay. 2010. The Design of Eco-Feedback Technology. Proceedings of CHI '10, pp. 1999–2008.  
<https://doi.org/10.1145/1753326.1753629>
- [12] Liang He, Florence Leong, Thilina Dulantha Lalitharatne et al.. 2021. A Haptic Mouse Design with Stiffening Muscle Layer for Simulating Guarding in Abdominal Palpation Training. Proceedings of ICRA 2021, pp. 12588–12594.  
<https://doi.org/10.1109/ICRA48506.2021.9561959>
- [13] Logitech. 2025. Remastering an Icon: Introducing Logitech MX Master 4. Logitech press release, 2025-09-30.  
<https://news.logitech.com/press-releases/news-details/2025/Remastering-an-Icon-Introducing-Logitech-MX-Master-4/default.aspx>

参考信息核验截至2026-10-21。正文中的数字均可在source/model.py和导出的CSV中复算；引用研究用于界定相关工作，不作为掌序的实测证据。