

高中物理“板块问题”综合复习笔记

Gemini AI

2025 年 9 月 10 日

目录

1 板块问题的核心思想与基本工具	2
1.1 两大核心分析方法	2
1.2 一个关键物理量：摩擦力	2
1.3 一个核心图像： $v-t$ 图像	2
2 情况一：板块间有摩擦，地面光滑	2
2.1 板/块具有初速度	2
2.2 板/块受到恒力 F	3
3 情况二：板块间有摩擦，地面粗糙	3
3.1 板/块具有初速度	4
3.2 板/块受到恒力 F	4
4 情况三：斜面上的板块问题	5
5 情况四：板上两滑块相向运动问题	5
5.1 地面光滑	5
5.2 地面粗糙	6
5.3 地面粗糙——复杂的多过程分析与能量视角	6
5.3.1 方法一：动力学过程分析法（基于牛顿第二定律）	6
5.3.2 展开分析：“后续阶段”的决策树	8
5.3.3 $v-t$ 图像：不同参数下的运动“故事线”	9
5.3.4 方法二：系统能量守恒视角	10
5.3.5 解题建议与总结	11
6 解题策略与思想总结	12

1 板块问题的核心思想与基本工具

板块问题是处理置于另一物体（通常是长木板）上的滑块的动力学问题。其核心在于分析物体间的相对运动，以及由相对运动决定的摩擦力类型（静摩擦或动摩擦）。

1.1 两大核心分析方法

- **隔离法**：分别对木板和滑块进行受力分析，根据各自的受力情况应用牛顿第二定律 ($F_{net} = ma$)。这是最基本、最常用的方法。
- **整体法**：在木板和滑块相对静止（即加速度相同）时，可以将它们视为一个整体进行分析。这能帮助我们快速求解系统的加速度或外部合力。

1.2 一个关键物理量：摩擦力

摩擦力是板块问题的灵魂，其方向和大小的判断至关重要。

- **静摩擦力 (f_s)**：作用在相对静止的物体之间。其大小在 $0 < f_s \leq f_{s,max}$ 范围内变化，方向与相对运动趋势相反。
- **动摩擦力 (f_k)**：作用在发生相对滑动的物体之间。其大小恒定， $f_k = \mu_k N$ ，其中 μ_k 是动摩擦因数， N 是正压力。方向与相对运动方向相反。

核心判断点：两物体能否保持相对静止，取决于它们之间的静摩擦力是否足以提供使它们加速度相同的“联系”。临界条件通常是静摩擦力达到最大值 $f_{s,max}$ 。

1.3 一个核心图像：v-t 图像

速度-时间 ($v-t$) 图像是解决板块问题最直观的工具。

- **斜率**：表示物体的加速度 a 。
- **面积**：表示物体的位移 s 。
- **两图像间的面积差**：表示两物体间的相对位移 $\Delta s = s$ 。这在计算摩擦生热 ($Q = f_k \cdot s$) 时极为有用。

2 情况一：板块间有摩擦，地面光滑

这是最经典的板块模型。系统在水平方向的总动量守恒。

2.1 板/块具有初速度

假设质量为 m 的滑块以初速度 v_0 滑上静止在光滑水平面上、质量为 M 的长木板。

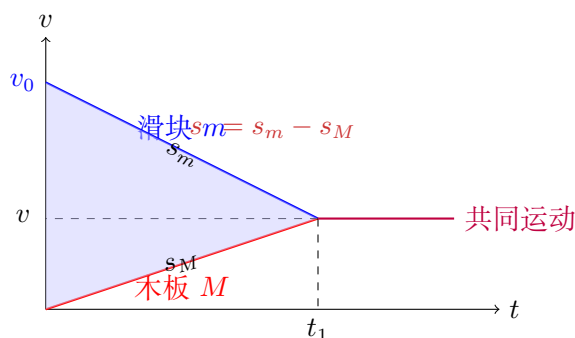
- **受力分析**：
 - 滑块 m ：受到木板对它向后的滑动摩擦力 $f_k = \mu_k mg$ 。
 - 木板 M ：受到滑块对它向前的滑动摩擦力 $f'_k = \mu_k mg$ 。

- 加速度:

$$a_m = \frac{f_k}{m} = \mu_k g \quad (\text{方向向左, 减速})$$

$$a_M = \frac{f'_k}{M} = \frac{\mu_k m g}{M} \quad (\text{方向向右, 加速})$$

- 运动过程分析: 滑块减速, 木板加速, 直到两者速度相等 (达到共同速度 v), 之后一起匀速运动。
- 共同速度: 系统动量守恒: $mv_0 = (M + m)v \Rightarrow v = \frac{mv_0}{M + m}$
- v-t 图像:



2.2 板/块受到恒力 F

假设用水平恒力 F 拉动木板 M 。

- 临界状态分析: 判断滑块与木板是否发生相对滑动的“临界点”。

1. 假设相对静止, 以整体为研究对象: $F = (M + m)a$ 。
2. 隔离滑块 m : 它所需要的静摩擦力为 $f = ma = m \frac{F}{M + m}$ 。
3. 比较: 滑块能获得的最大静摩擦力为 $f_{max} = \mu_s mg$ 。

- 运动情况讨论:

– 若 $f \leq f_{max}$ (即 $F \leq \mu_s(M + m)g$):

- * 两者相对静止, 以共同的加速度 $a = \frac{F}{M + m}$ 做匀加速运动。
- * 它们之间的静摩擦力为 $f_s = f$ 。

– 若 $f > f_{max}$ (即 $F > \mu_s(M + m)g$):

- * 两者发生相对滑动。
- * 滑块的加速度: $a_m = \frac{\mu_k mg}{m} = \mu_k g$ 。
- * 木板的加速度: $a_M = \frac{F - \mu_k mg}{M}$ 。显然 $a_M > a_m$ 。

3 情况二: 板块间有摩擦, 地面粗糙

地面存在摩擦力 f , 使得系统水平方向动量不再守恒。

3.1 板/块具有初速度

分析方法与情况一类似，但在分析木板 M 时，需要额外考虑地面的摩擦力。

• 受力分析:

- 滑块 m : 受力不变, $f_m = \mu_k mg$ (向后)。
- 木板 M : 水平方向受到滑块向前的摩擦力 $f_M = \mu_k mg$ 和地面向后的摩擦力 $f = \mu (M + m)g$ 。

• 加速度:

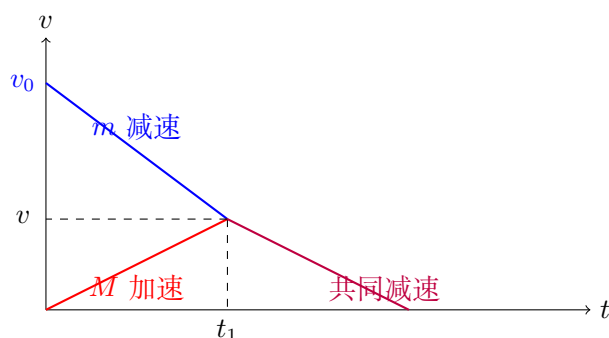
$$a_m = \mu_k g \quad (\text{减速})$$

$$a_M = \frac{\mu_k mg - \mu (M + m)g}{M} \quad (\text{可能加速, 也可能减速!})$$

• 复杂性讨论:

- 若 $\mu_k mg > \mu (M + m)g$: M 先加速, 共速后一起减速。
- 若 $\mu_k mg < \mu (M + m)g$: M 一开始就减速 (但加速度小于 m), 共速后一起减速。
- 若 $\mu_k mg = \mu (M + m)g$: M 保持静止直到 m 停下。

• v-t 图像 (以 $a_M > 0$ 为例):



3.2 板/块受到恒力 F

分析思路与地面光滑时相同，但整体法的加速度和隔离法中木板的受力都需计入地面摩擦。

- 临界状态: 假设相对静止, 整体 $a = \frac{F - \mu (M + m)g}{M + m}$ 。
- 滑块所需摩擦力: $f = ma = m \frac{F - \mu (M + m)g}{M + m}$ 。
- 比较:

- 若 $f \leq \mu_s mg$: 相对静止, 一起做匀加速运动。
- 若 $f > \mu_s mg$: 相对滑动。

$$a_m = \mu_k g$$

$$a_M = \frac{F - \mu_k mg - \mu (M + m)g}{M}$$

注意: 在计算地面摩擦力时, 正压力是 $(M + m)g$ 。

4 情况三：斜面上的板块问题

将场景置于倾角为 θ 的斜面上，重力的分力是主要的新增因素。假设滑块 m 与木板 M 间动摩擦因数为 μ_1 ，木板 M 与斜面间动摩擦因数为 μ_2 。

• 受力分析 (沿斜面方向):

– 滑块 m : $mg \sin \theta - f_1 = ma_m$ (假设 m 相对 M 向下滑动)

* 摩擦力 $f_1 = \mu_1 N_1 = \mu_1 mg \cos \theta$ 。

– 木板 M : $Mg \sin \theta + f'_1 - f_2 = Ma_M$

* 来自 m 的摩擦力 $f'_1 = \mu_1 mg \cos \theta$ 。

* 来自斜面的摩擦力 $f_2 = \mu_2 N_2 = \mu_2 (M + m)g \cos \theta$ 。

• 加速度:

$$a_m = g \sin \theta - \mu_1 g \cos \theta$$

$$a_M = \frac{Mg \sin \theta + \mu_1 mg \cos \theta - \mu_2 (M + m)g \cos \theta}{M}$$

• 核心分析:

– 比较 a_m 和 a_M 的大小来确定相对运动情况。

– 如果讨论相对静止的条件，则假设 $a_m = a_M = a$ 。

* 整体法: $(M + m)g \sin \theta - \mu_2 (M + m)g \cos \theta = (M + m)a \implies a = g(\sin \theta - \mu_2 \cos \theta)$ 。

* 隔离 m : $mg \sin \theta - f_s = ma$ 。 $\implies f_s = mg \sin \theta - mg(\sin \theta - \mu_2 \cos \theta) = \mu_2 mg \cos \theta$ 。

* 临界条件是: $f_s \leq f_{s,max} = \mu_1 mg \cos \theta \implies \mu_2 \leq \mu_1$ 。即如果板与斜面的摩擦因数不大于块与板的摩擦因数，它们就可以相对静止一起下滑。

5 情况四：板上两滑块相向运动问题

在长木板 M 上，有质量为 m_A, m_B 的两滑块，以大小为 v_A, v_B 的初速度相向运动。动摩擦因数均为 μ 。

5.1 地面光滑

系统动量守恒，最终三者将以同一速度 v 运动。

• 受力分析:

– A : 受向后的摩擦力 $f_A = \mu m_A g$ 。

– B : 受向后的摩擦力 $f_B = \mu m_B g$ 。

– M : 受 A 向前的摩擦力 f_A 和 B 向前的摩擦力 f_B 。(方向取决于 v_A, v_B 的方向)

• **木板的运动:** 假设 v_A 向右为正, v_B 向左。木板 M 受到的合力为 $f_{,M} = f'_A - f'_B = \mu(m_A - m_B)g$ 。

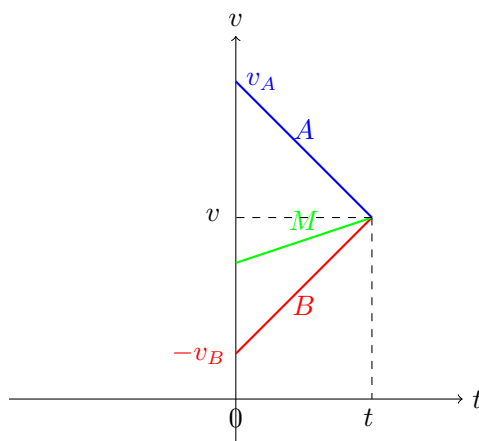
– 若 $m_A > m_B$, M 向右加速。

– 若 $m_A < m_B$, M 向左加速。

– 若 $m_A = m_B$, M 保持静止直到其中一个滑块停下。

- **最终状态:** 设向右为正方向, 系统总动量 $P = m_A v_A - m_B v_B$ 。最终共同速度 $v = \frac{P}{M + m_A + m_B} = \frac{m_A v_A - m_B v_B}{M + m_A + m_B}$ 。

- **v-t 图像 (以 $m_A > m_B$ 为例):**



5.2 地面粗糙

动量不守恒, 最终所有物体都将静止。

- **分析方法:** 必须全程使用隔离法和牛顿第二定律。
- **过程极其复杂:**
 1. 木板 M 的加速度取决于 $\mu(m_A - m_B)g$ 与地面摩擦力 f 的合力。
 2. 可能会出现某个滑块先与木板共速, 然后另一个滑块再与它们共速, 或者某个滑块先停下的情况。
 3. **解题关键是分段讨论**, 每一段的始末状态是某个运动状态发生改变的時刻 (如两物体速度相等, 某物体速度为零等)。
 4. **能量守恒**是解决此类问题的终极工具: 系统的总初动能最终将全部转化为摩擦产生的内能。 $E_{k,} = Q \quad \frac{1}{2}m_A v_A^2 + \frac{1}{2}m_B v_B^2 = Q_{AM} + Q_{BM} + Q_M$ 其中 $Q = f \cdot s$ 。

5.3 地面粗糙——复杂的多过程分析与能量视角

当板块放置在粗糙地面上时, 系统在水平方向受到地面的摩擦力, 这是一个外力, 因此**系统总动量不再守恒**。所有物体最终必然会停止运动。这类问题的复杂性急剧增加, 因为它演变成一个**多阶段、多变量的动力学过程**。

解决此类问题的两大核心思路是: **动力学过程分析法**和 **系统能量守恒视角**。

5.3.1 方法一: 动力学过程分析法 (基于牛顿第二定律)

这种方法是解决一切动力学问题的根本, 但过程可能非常繁琐。关键在于“**分段讨论**”, 以某个物体的运动状态发生改变 (如速度变为零、两物体达到共速) 的時刻为节点, 将整个过程切分成若干个阶段。

第一阶段：初始运动分析 假设 m_A 以 v_A 向右运动， m_B 以 v_B 向左运动。设向右为正方向。

- **对滑块 A:** $f_{MA} = -\mu m_A g \implies a_A = -\mu g$
- **对滑块 B:** $f_{MB} = +\mu m_B g \implies a_B = +\mu g$
- **对木板 M:** 这是最复杂的分析点。
 - M 受到 A 施加的向右的摩擦力 $f'_A = \mu m_A g$ 。
 - M 受到 B 施加的向左的摩擦力 $f'_B = -\mu m_B g$ 。
 - M 受到地面的摩擦力 f 。这个力的方向取决于 M 的**运动趋势**。M 受到的来自 A, B 的合力为 $F_{AB} = \mu(m_A - m_B)g$ 。
 1. 若 $m_A > m_B$: $F_{AB} > 0$ (向右)。M 有向右运动的趋势。地面摩擦力 f 向左，大小为 $f = \mu(M + m_A + m_B)g$ 。M 的加速度: $a_M = \frac{\mu(m_A - m_B)g - \mu(M + m_A + m_B)g}{M}$ (a_M 的符号决定了 M 是向右加速、减速还是保持静止)
 2. 若 $m_A < m_B$: $F_{AB} < 0$ (向左)。M 有向左运动的趋势。地面摩擦力 f 向右。M 的加速度: $a_M = \frac{\mu(m_A - m_B)g + \mu(M + m_A + m_B)g}{M}$
 3. 若 $m_A = m_B$: $F_{AB} = 0$ 。M 不受 A, B 的水平合力，因此在地面摩擦力作用下保持静止， $a_M = 0$ 。

阶段转换的“事件节点” 在算出初始加速度后，我们需要计算到达下一个“事件节点”所需的时间。可能的事件包括：

- A 与 M 达到共同速度 ($v_A(t_1) = v_M(t_1)$)。
- B 与 M 达到共同速度 ($v_B(t_2) = v_M(t_2)$)。
- A 的速度减为 0 ($v_A(t_3) = 0$)。
- B 的速度减为 0 (即 $v_B(t_4) = 0$ ，因其初速度为负)。
- M 的速度减为 0 ($v_M(t_5) = 0$)。

我们需要计算出以上所有可能事件发生的时间，**取其中最小的一个时间 t_{min}** 作为第一阶段的结束点。

后续阶段分析 当第一个事件发生后（例如， t_1 时刻 A 与 M 共速），系统的受力情况可能发生改变。

- **重新进行受力分析:** 如果 A 与 M 共速，它们之间可能会变为静摩擦力。此时需要把 A + M 作为一个整体，分析它与 B 以及地面的相互作用。
- **计算新的加速度:** 基于新的受力情况，计算出 A + M 整体、以及 B 的新加速度。
- **寻找下一个事件节点:** 重复上述步骤，直到所有物体都静止下来。

示例流程 (假设 $m_A > m_B$ 且 M 初始向右加速):

1. **Phase 1:** A 减速, B (速度由负向 0 增加), M 加速。计算 A, M 共速时间 t_1 和 B 停止时间 t_B 。若 $t_1 < t_B$ ，则在 t_1 时刻进入 Phase 2。

2. **Phase 2:** A, M 保持相对静止 (需验证最大静摩擦力是否足够), 视为整体 $(A + M)$ 。分析 $(A + M)$ 与 B 的相互作用及地面摩擦。计算 $(A + M)$ 和 B 的新加速度。

3. ... **后续阶段...**: 继续分析直到所有物体速度为 0。

可以看出, 这种方法逻辑严谨, 但计算量巨大且极易出错。

5.3.2 展开分析: “后续阶段”的决策树

在前文我们分析了系统的初始状态和第一阶段的运动。第一阶段的终点是某个“关键事件”的发生。从这个时间点开始, 系统进入第二阶段。整个问题的解决过程就像一个**决策树**, 充满了分支和判断。

我们以一个最常见的后续情况为例: 在第一阶段中, $m_A > m_B$, 木板 M 向右加速, 并且**滑块 A 首先与木板 M 达到共同速度** v_{AM} (在 t_1 时刻)。

第二阶段: A 与 M 尝试“绑定”运动 在 t_1 时刻之后, 由于 A 和 M 的速度相等, 它们之间有了保持**相对静止**的趋势。但是, 它们是否真的能保持相对静止, 取决于它们之间的静摩擦力是否“足够强大”。

1. 进行“绑定”可行性检验 (核心步骤):

- **假设绑定:** 暂时将 A 和 M 视为一个整体 $(A + M)$, 质量为 $(m_A + M)$ 。
- **分析新整体的受力:** 这个 $(A + M)$ 整体在水平方向上受到两个力:
 - 来自滑块 B 向左的滑动摩擦力 $f'_B = \mu m_B g$ 。
 - 来自地面向左的滑动摩擦力 $f = \mu (M + m_A + m_B)g$ 。
- **计算新整体的加速度:**

$$a_{(A+M)} = \frac{-\mu m_B g - \mu (M + m_A + m_B)g}{M + m_A}$$

这是一个负值, 表示 $(A + M)$ 整体将减速。

- **隔离 A, 检验静摩擦力:** 要让 A 以 $a_{(A+M)}$ 的加速度减速, 它需要一个来自 M 的静摩擦力 f_s 。根据牛顿第二定律:

$$f_s = m_A a_{(A+M)} = m_A \frac{-\mu m_B g - \mu (M + m_A + m_B)g}{M + m_A}$$

(负号表示方向向左)

- **比较判断:** 比较所需静摩擦力的大小与最大静摩擦力 $f_{max} = \mu_s m_A g$ 。
 - **情况 2a:** $|f_s| \leq f_{max}$: **绑定成功!** A 与 M 将保持相对静止, 作为一个整体以加速度 $a_{(A+M)}$ 继续运动。此时系统简化为 $(A + M)$ 整体与滑块 B 的“板块问题”。
 - **情况 2b:** $|f_s| > f_{max}$: **绑定失败!** 最大静摩擦力不足以维持 A 与 M 的共同运动。A 将相对于 M 向前滑动 (即 v_A 会比 v_M 减速得“更慢”)。A、M 之间恢复为滑动摩擦。此时必须重新对 A, B, M 三个物体单独进行受力分析, 计算它们各自新的加速度, 并寻找下一个“事件节点”。这种情况在高中阶段较为罕见, 但逻辑上是存在的。

2. **进入下一阶段:** 假设绑定成功 (情况 2a), 系统现在是 $(A + M)$ 整体和滑块 B 在运动。它们会继续运动, 直到发生下一个事件, 例如 B 与 $(A + M)$ 达到共速, 或者 B 的速度先减为 0。这个过程将一直持续, 直到所有物体的速度都归零。

这个分析过程清晰地表明，每一步都需要基于前一步的结果进行新的判断和计算，这也是此类问题难度所在。

5.3.3 v-t 图像：不同参数下的运动“故事线”

v-t 图像是理解这些复杂过程最直观的工具。每一幅图都像一个“故事板”，描绘了 A, B, M 三者的速度随时间演变的完整历程。

图像 1：对称情况 ($m_A = m_B$) 当两滑块质量相等时，它们对木板 M 施加的摩擦力大小相等、方向相反，相互抵消。

- 条件: $m_A = m_B$
- 分析:
 - 木板 M 在 A, B 都滑动时，水平方向合力为零，保持静止 ($a_M = 0$)。
 - 滑块 A 向右匀减速，滑块 B 向左匀减速（速度从负值增加到零）。
 - 当一个滑块（例如 B）先停在 M 上后，M 才会受到 A 的摩擦力而开始运动。

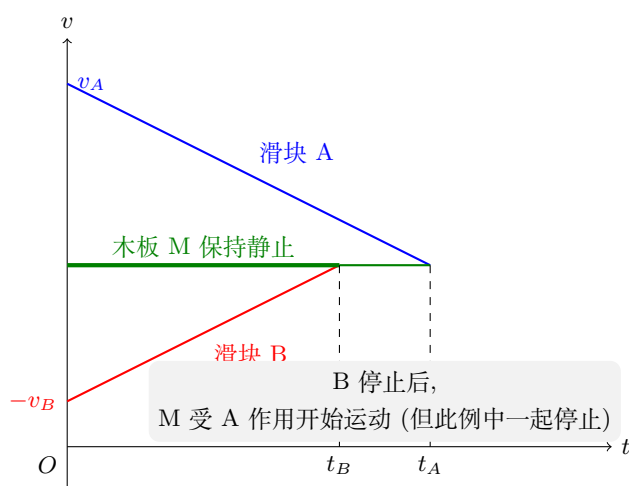


figure 对称情况 $m_A = m_B$ 的 v-t 图像。M 在 B 停止前保持不动。

图像 2：非对称情况 ($m_A > m_B$) 且最终共速 这是最典型的情况。M 被 A “拽”得更厉害，所以初始向右运动。

- 条件: $m_A > m_B$ ，地面摩擦力相对较小。
- 分析:
 - 第一阶段 ($0 - t_1$): A 减速, B 减速 (速度向 0 靠近), M 加速。在 t_1 时刻，所有物体达到共同速度 v 。
 - 第二阶段 ($t_1 - t_2$): 三者作为一个整体，在地面摩擦力作用下匀减速直到停止。

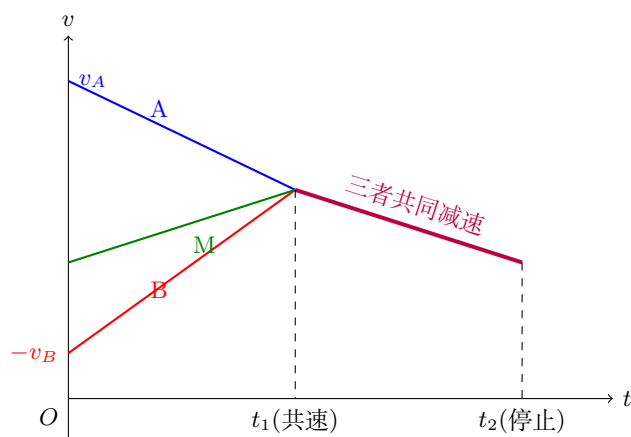


figure 非对称情况 $m_A > m_B$ ，发生“两阶段”运动的 v-t 图像。

图像 3：复杂情况（发生“阶段转换”） 某个物体中途停止，导致其他物体加速度发生突变。

- **条件：** $m_A > m_B$ ，但 B 的初速度 v_B 很小。
- **分析：**
 - **第一阶段** ($0 - t_B$): A, B, M 各自以恒定加速度运动。但在 t_B 时刻，B 的速度先减为 0，停在了地面坐标系中。
 - **阶段突变：** B 停止后，对 M 的摩擦力消失！M 的受力发生变化，其加速度 a_M 发生突变（v-t 图像斜率改变）。
 - **第二阶段** ($t_B - t_1$): A 继续在 M 上减速，M 在 A 和地面的摩擦力作用下以新的加速度运动，直到它与 A 共速。
 - **第三阶段** ($t_1 - t_2$): (A+M) 作为一个整体在地面摩擦力下减速至停止。

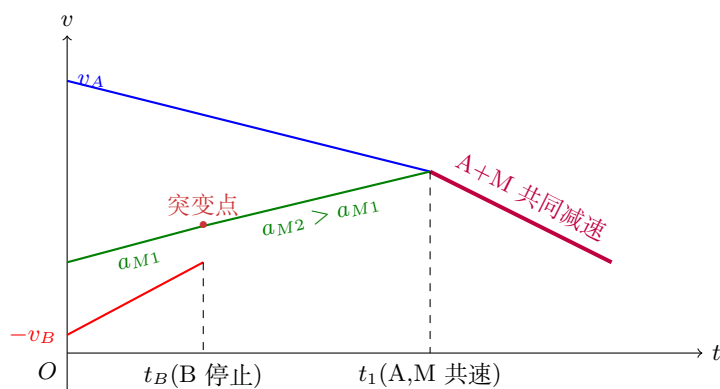


figure 复杂情况的 v-t 图像，B 中途停止导致 M 的加速度发生突变。

5.3.4 方法二：系统能量守恒视角

当问题不关心具体的运动时间、中间速度，而是关心**总位移**、**总生热**、或者**滑块是否滑出**等宏观结果时，能量视角是更为简洁高效的工具。

基本原理 整个系统（包括 A, B, M）的初动能，最终通过各种摩擦作用，全部转化为了内能（热量）。

$$\Delta E_k + \Delta E_p + \Delta E = W$$

在本问题中，重力势能不变，没有其他外力做功，所以：

$$E_{k_1} = Q = \Delta E$$
$$\frac{1}{2}m_A v_A^2 + \frac{1}{2}m_B v_B^2 = Q_{AM} + Q_{BM} + Q_M$$

各部分内能的计算 内能的产生源于摩擦力做功，其数值等于摩擦力乘以**相对位移**。

- A 与 M 之间产生的热量：** $Q_{AM} = f_{AM} \cdot s_{AM}$
其中 $f_{AM} = \mu m_A g$ ， s_{AM} 是 A 在 M 上滑行的总路程。
- B 与 M 之间产生的热量：** $Q_{BM} = f_{BM} \cdot s_{BM}$
其中 $f_{BM} = \mu m_B g$ ， s_{BM} 是 B 在 M 上滑行的总路程。
- M 与地面之间产生的热量：** $Q_M = f \cdot s_M$
其中 $f = \mu (M + m_A + m_B)g$ ， s_M 是 M 在地面上滑行的总路程（注意：如果 M 有往返，这里是路程而非位移）。

应用场景

- 求木板在地面滑行的总路程 s_M ：**如果我们能通过动力学分析，求出 A、B 在板上的相对滑行路程 s_{AM} 和 s_{BM} （例如，直到它们都停在板上），就可以反解出 s_M 。
- 判断滑块是否滑出：**设板长为 L 。A、B 不相碰且不滑出的条件是：

$$s_{AM} + s_{BM} < L$$

我们可以结合能量方程与位移关系来求解这个问题。

5.3.5 解题建议与总结

方法	优点	缺点
动力学过程分析	普适性强，可以求解任意时刻的速度、位移、加速度等所有运动学和动力学量。	过程极其繁琐，计算量大，尤其是在多阶段问题中非常容易出错。
系统能量守恒	思路简洁，计算量可能更小，尤其适合求解关于总路程、总生热和判断性问题。	无法提供过程中的细节信息（如时间、瞬时速度），对有往返运动的“路程”计算需要小心。

核心策略：

- 优先定性分析：**先根据 m_A, m_B 的大小关系，判断出木板 M 的初始运动趋势，画出简略的受力示意图和可能的 v-t 关系草图。
- 明确问题所求：**
 - 如果问题求解的是“时间”、“速度”等过程量，必须硬着头皮使用**动力学过程分析法**。
 - 如果问题求解的是“总路程”、“摩擦生热”、“能否滑出”等结果量，优先考虑**系统能量守恒视角**，往往能化繁为简。
- 结合使用：**有时需要先用动力学方法分析某一个关键阶段（例如，A 与 M 共速前），得出一些参数（如相对位移），再将这些参数代入总的能量方程中求解最终结果。

6 解题策略与思想总结

1. 程序化解题步骤:

1. **明确对象与过程**: 搞清楚有几个物体, 分为几个运动阶段。
2. **受力分析**: 对每个物体画出受力图, 特别是摩擦力的方向。
3. **判断相对运动**: 这是核心! 通过比较临界摩擦力与所需摩擦力, 或直接比较加速度, 来判断物体间是相对滑动还是相对静止。
4. **选取规律**: 根据运动状态, 应用牛顿第二定律、运动学公式、动量守恒 (条件满足时) 或能量守恒 (摩擦生热)。
5. **画出 v-t 图像**: 图像能极大地简化过程分析, 特别是对于多阶段或追及问题。

2. “一个临界, 两种观点”:

- **临界点**: “恰好”发生相对滑动是板块问题的临界状态, 此时静摩擦力达到最大值。这是求解最大拉力、最小板长等问题的突破口。
- **动力学观点**: $F = ma$, 关注力和加速度的瞬时关系。
- **能量观点**: $W_{net} = \Delta E_k$ 和 $E = E_k + Q$ 。能量观点在求解总路程、摩擦生热等问题时更具优势, 因为它不涉及中间过程的时间和加速度。

$$Q = f \times s$$