

高級中学課本物理第一冊

教学参考資料（草稿）

（內部交流・仅供参考）

第六章（第一部分）

上海市教育局教学研究室編

一九五八年四月

第六章 机械能

全章概述

本章的中心内容，是在学习运动学和动力学的基础上，通过实例、实验和数学论证，引出机械运动中的能的转变和守恒定律。为了能的转变是通过做功来达成的，而做功的多少又可以用来量度机械能的量值，所以本章是从功、功率和功与功率的量度开始的。在学生已掌握了功与功率的概念和量度后，紧接着就运用功的概念，对学生所熟悉的杠杆进行分析研究，并归结出机械的功的原理。随着又运用功的原理对斜面，劈和螺旋等简单机械进行讨论，来阐明它们的性能和在实际应用上的价值。这是最好的理论联系实际的学习方法，教师应当掌握这个基本精神进行教学。能这个概念本来是很抽象的，现在从“做功的本领”出发，就是为了照顾到学生的接受水平，使他们首先对能有一个较具体的，但不一定很全面的认识，为将来进一步地抽象打好基础。先孤立地学习势能和动能，再学习功能关系，最后再引出机械能转变和守恒定律，这是循序渐进的学习方法，惟有这样做才有可能使学生正确理解机械能转变和守恒定律的精神实质。第81节的教材——运动物体克服摩擦力和媒质阻力所做的功。不仅是有了扩大学生的知识面，更要紧的是使前面所讨论的一些理论更切合于实际。当然，也只有在第81节教材的基础上才能引出自然界的普遍规律（第82节的内容）——能的转变和守恒定律。

“本章的全部教材，都是遵循着毛主席所著的实践论的精神安排的。它一般都是从日常生活中的实际事例出发，经过分析、归纳，得出理论，然后再运用理论解决实际问题，并从而得出进一步

的理論指導進一步的實踐。這樣由淺入深，由具體到抽象，由個別到一般再回到個別的学习方法是完全符合人類認識客觀事物的發展規律的。本章的重點教材可以分為下列四個單元：

- (1) 功和功率 (§65—§69)
- (2) 簡單機械 (§70—§74)
- (3) 機械能 (§75§76, §78—§80)
- (4) 功能關係 (§77§79, §81§82)

教學目的：

1. 在學習動力學的基础上，使學生掌握功和功率的概念和量度。
2. 通過學習機械的功的原理及其應用，培養學生運用理論與實踐一致的学习方法，並通過簡單機械的實驗培養學生的熟練技巧。
3. 使學生明確機械能的物理意義以及機械能與功之間的關係——能是物體做功的本領，而功是物體能量變化的量度。
4. 使學生了解機械能的轉變和守恆定律的真實意義。
5. 通過克服摩擦力和媒質阻力做功發熱的實例，進一步推出能的轉變和守恆定律，使學生認識到自然界一切現象的內在聯繫。

課時分配

第一建議：

		原理機械效率	
1. §65—§66	功, 功的量度	5. 實驗三	簡單機械的
2. §67	功的單位		效率
3. §68—§69	功率, 功率的單位	6. §72	斜面
		7. §73	劈
4. §70—§71	機械的功的	8. §47	螺旋

- | | |
|---|---------------------------------|
| 9. 習題課 | 原理机械效率 |
| 10. 檢查課 | 5. 实验三 簡單机械的效率 |
| 11. §76—§77 能, 势能 | 6. §72 斜面 |
| 12. §79 动能 | 7. §73 劈 |
| 13. §78, §80 在外力对物体做功时, 物体势能的增加, 在外力对物体做功时, 物体动能的增加 | 8. §74 螺旋 |
| 14. §81 机械能 | 9. 学題課 |
| 15. §82—§83 运动物体克服摩擦力和媒質阻力所做的功, 机械能轉变成其他形式的能, 能的轉变和守恒定律 | 10. §76—§77 能, 势能 |
| 16. 習題課 | 11. §79 动能 |
| 17. 复習課 | 12. §78 在外力对物体做功时, 物体势能的增加 |
| 18. 檢查課 | §80 在外力对物体做功时, 物体动能的增加 |
| 第二建議: | 13. §81 机械能 |
| 1. §65—§66 功, 功的量度 | 14. §82 运动物体克服摩擦力和媒質阻力所做的功 |
| 2. §67 功的單位 | 15. §83 机械能轉变成其他形式的能, 能的轉变和守恒定律 |
| 3. §68—§69 功率, 功率的單位 | 16. 習題課 |
| 4. §70—§71 机械的功的 | 17. 复習課 |
| § 65 功 | 18. 檢查課 |

通过本节的講述和討論使学生了解: 什么是机械功? 为什么要引出功这一个物理量? “功”与一般的“工作”有什么区别? 功有那两个要素? 誰在做功? 等問題。

学生在初中物理里早就接触到“机械功”这个物理概念。它是从物体的举高和用力使物体运动等实例来向学生引出的。因此，在讲述时可以从复习初中物理开始，然后再通过更多的事例来加深和巩固这个概念。例如：用手把锄头举高；在枪膛中用爆炸的气体把弹丸射出；木杆的锯断；用蒸汽轮机使发电机转动，等。在这些事例里：举高的锄头，可以掘开坚硬的泥土；爆炸的气体，能使弹丸得到很大的速度；木杆锯断，杆和锯条都发了热；蒸汽轮机带动发电机能输出电流。它们的结果虽然各不相同，但从力学观点来看，它们却有着相同的地方。第一，物体上都有力在作用着；第二，物体都在力的作用下运动。对任何运动着的物体来说，如果它具备了这两个条件，我们都可以说力在做功，或说力在做机械功。

必须指出，功是一个很重要的物理概念，它在科学研究和生产技术方面都有很大的意义。我们可以通过做功的情况来研究机械的性能和它们的基本原理，我们也可以通过做功的效应来研究能量的变化和能量的大小。这样，才能使重视本节的学习，和增加学习的积极性。

“功”这个概念是从生产劳动中逐渐形成的，它和“工作”、“劳动”等概念有着一定的联系，但在物理学里所说的“功”，是具有比较狭窄而严格含义的，必须把它们严格区别开来。教师必须强调指出在物理学上，功的两个主要因素是“力”和“路程”。前者是指作用在物体上的力，后者是指受力物体或力的作用点，在力的方位上所通过的路程。这里必须特别举例说明，如果作用力的方向和物体运动的方向垂直，这个作用力并不做功。

讲到这里，教师可以举例说明下列三种不做功的情况：

- (1) 物体在外力作用下静止不动。
- (2) 物体在不受外力的情况下，依靠惯性作匀速直线运动。

(3) 物体所受外力的方向与运动的方向垂直。

按照習慣的說法，如果作用力的方向跟物体运动的方向相同，我們就說这个作用力(或产生这个力的物体)是在对运动物体做功，用“+”号表示它，可以叫它做“正功”，也可以叫它做“动力功”。如果作用力的方向跟物体运动的方向相反，我們就說，运动物体是在克服这个作用力做功，用“-”号表示它，可以叫它做“负功”，也可以叫它做“阻力功”。

例如，当我们举起重物时，物体就受到两个力，一个是我們用的向上的托力，一个是向下的重力，托力和物体运动的方向一致，它就做了“正功”，重力和物体运动的方向相反，它就做了“负功”。

教师可以提問类似下列的一些問題来檢查学生对本节的学习質量，例如：

- (1) 在起重机的鋼索上悬挂着重物，当重物静止时，鋼索的拉力有沒有做功？重力有沒有做功？为什么？
- (2) 在水平桌面上滚动的小球，桌面的彈力有沒有做功？重力有沒有做功？为什么？
- (3) 当機車拉着車廂在平直軌上作匀速运动时，哪一个力做了正功？哪一个力做了负功？为什么？

§ 66 功的量度

根据上节的分析，功既是由力和路程两个物理量所構成，那么功本身当然也是一个物理量，它的大小也必然由力的大小和路程的長短来决定。功的量度方法，“在物理学里，功是用力 and 受力物体在力的方向上所通过的路程的乘积来量度的”就是根据这个关系规定的。建議在講解功的量度公式 $W = FS$ 之后，举几个实际事例来闡明公式的用法。例如：(1) 一个60千克重的大人和一个30千克重的小孩从山脚一同爬到山頂，那个做的功多？为什

么？多几倍？从学生的答案里，就可以导出：当路程不变时功和力成正比。(2) 在劳动竞赛中，甲生能把一块黑板从楼下搬上五楼，但乙生只能把它搬上三楼，你看那个做的功多？为什么？多几倍？从学生的正确答案里，教师可以对学生说明：当力一定时功与路程成正比。

最后还应当指出，只有当作用力的方向和物体运动的方向一致时，运用这个公式才是正确的。

力跟物体运动的方向并不是经常一致的。有时物体的运动是受到限制的，不能沿着作用力的方向运动。如课本中图130所示，马拉滚子压地的例子；或岸上的船夫用牵索拉船的例子，都说明了力的方向跟运动的方向不一致。

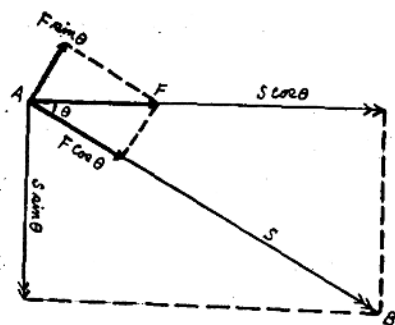


图 (1)

在马拉滚子压地这个例子里，马作用于滚子上的力 F 跟滚子通过的距离 S 成 θ 角，马对滚子所做的功(正功)就不等于 F 与 S 的乘积，而应如课本中所说的“在一般情形里，功等于力、路程、力和路程之间的夹角的余弦的乘积”，即， $W = FS \cos \theta$ 。

在讲述功的一般公式时，可以应用上面的图示用两个方法来说明。

(1) 在这个图示里， F 可以分解成 $F \sin \theta$ 和 $F \cos \theta$ 两个分力。分力 $F \sin \theta$ 与 S 垂直，不做功；另一个分力 $F \cos \theta$ 与 S 方向一致，做功，功的大小 $W = F \cos \theta S$ 。

(2) 在这个图示里我们还可以把路程 S 分解成 $S \sin \theta$ 和 $S \cos \theta$ 两个路程。分路程 $S \sin \theta$ 与 F 垂直，它与做功无关；另一个

分路程 $S\cos\theta$ 的方向与 F 的方向一致, 所做的功 $W = F \cdot S\cos\theta$ 。

从(1)、(2)兩法都可以証明 $W = FS\cos\theta$ 。这是一个求功量的一般公式, 至于 $W = FS$ 只是一个求功量的特殊公式。

根据功的一般公式: $W = F\cos\theta$, 教师可以对学生提出下列几点进行討論:

(1) 当 $\theta = 0^\circ$ 时, F 和 S 的方向一致, $W = FS$ (正功)

(2) 当 $\theta = 90^\circ$ 时, F 和 S 垂直, $\cos 90^\circ = 0$, $W = 0$ (无功)

(3) 当 $0^\circ < \theta < 90^\circ$ 时, $W > 0$ (正功)

(4) 当 $\theta = 180^\circ$ 时, $\cos 180^\circ = -1$, F 与 S 反向, $W = -FS$ (負功)

(5) 当 $90^\circ < \theta < 180^\circ$ 时, $W < 0$ (負功)

除此, 还当对学生指出, 力和距离虽是兩個矢量, 但功量却不是矢量。平行四边形的加法规則不适用于功量。它与力和路程的方向无关, 只与力和路程之間的夾角有关。至于正功和負功, 只不过用来表达誰在作功, 或用来表示力与路程同向还是反向, 并不說明功有方向性。

§ 67 功的單位

在講功的單位之前, 先提問复習功的概念、功的量度和公式 (一般公式和特殊公式), 要求学生能作圖表示公式中各量之間的关系。功的單位是从力和路程的單位推导出的。在不同的單位制里, 力和路程的單位是各不相同的, 所以功的單位也各不相同。

在初中物理里, 力的單位是“1千克重”, 路程的單位是“1米”因此功的單位就是“1千克重, 米”。这个單位我們叫它功的实用工程制單位。由于这是学生已有的知識, 我們建議从复習它开始。

介紹功的厘米·克·秒單位——1尔格, 和功的米·千克秒制單位——焦耳的时候, 建議仍用公式 $W = FS$ 來說明。着重指

出:1尔格就是1达因·厘米,它和基本單位的關係是 $1 \frac{\text{克}(\text{厘米})^2}{\text{秒}^2}$;

1 焦耳就是1牛頓·米,它和基本單位的關係是 $1 \frac{\text{千克} \cdot \text{米}^2}{\text{秒}^2}$ 。

最后还要指出各种單位間的換算關係,最好用边談話边填表的方法进行教学。(附表)

單位制	力(F)	路程(S)	功(W)	換算
厘米,克,秒制	1 达因	1 厘米	1 尔格	$1 \text{ 尔格} = 10^{-7} \text{ 焦耳} = 1/9.8 \times 10^{-7} \text{ 千克} \cdot \text{厘米}$
米,千克,秒制	1 牛頓	1 米	1 焦耳	$1 \text{ 焦耳} = 10^7 \text{ 尔格} = 1/9.8 \text{ 千克} \cdot \text{厘米}$
实用工程制	1 千克重	1 米	1 千克重·米	$1 \text{ 千克重} \cdot \text{米} = 9.8 \text{ 焦耳} = 9.8 \times 10^7 \text{ 尔格}$

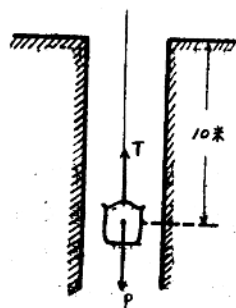


圖 (2)

第140頁上的習題1和習題4可用作巩固教材,采用师生談話法对問題进行分析和板演。討論第1題时,建議由教师先在黑板上作圖表示題意(先不画力),然后問学生:(1)求功需要知道哪些条件?为什么?(2)水桶上一共受到几个力?(根据正确的答案补画在圖上)(3)現在哪一個力做功?抵抗哪一個力做功?(4)这两个力的大小各等于多少?为什么?(5)怎样求人所做的功(叫一个学生上黑板演算,

全体在座位上演算)。

討論第4題时,也可以在黑板上画圖表示題意然后提問学生:

(1)当物体自由降落时它受到几个力的作用?做不做功?为什么?

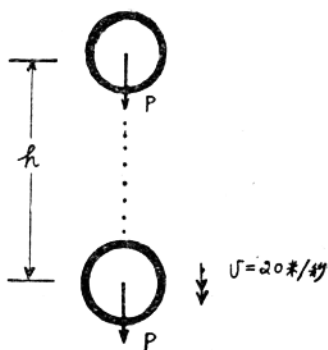


圖 (3)

(2) 求功需要知道哪几个物理量? 已知什么? 还缺什么?(h)

(3) 先求h, 后求功(一个学生板演其余在座位上演)。

第2·3·5题留给学生课外作业, 要求学生正确使用单位。

§ 68 功率

在讲解功率这个物理概念的时候, 可先从两个物体在相同的时间里完成不同的功量, 或从两个物体完成同一功量需要不同的时间,

等事例引出做功有快慢之分的观念, 然后再引出功率这一概念。

§ 功量是做功的多少; 功率是做功的快慢, 它是功和做功所历时间的比值。功和功率是显然不同的两个物理量, 必须把它们严格区分开。用一架手摇起重机或用一架电动起重机都能把一台汽轮机从地面吊到楼上, 它们所做的功量是完全相同的, 但是前者做得很慢, 历时很长, 后者做得很快, 历时很短, 所以它们的功率大不相同。为了把功做得又快又多, 无论在运输上、车间里或建筑工地上都要求设置功率较大的机械。

在介绍功率的公式 $N = \frac{W}{t}$ 时, 教师应对学生指明下列几点:

(1) 公式中的时间t必需是完成功量W所经历的时间, 否则就没有意义。

(2) 公式中的N一般指在t时间内的平均功率。例如, 火车头在t时间内把列车从甲站牵引到乙站, 总共做功W, 由于在这一段路程里火车头的功率不一定均匀一致的, 所以 $N = \frac{W}{t}$ 只能表示

它的平均功率。若把功率定义成單位時間里做功的多少，显然是不妥当的。

(3) 如果某一个力或某一个机械，做功的快慢均匀不变，或在任何相等的時間里能够完成同样的功量，这样的功率就叫做匀功率。如果說某一机械的匀功率是多少單位，那就等于說，这个机械在每單位時間內能做这些單位的功量。对匀功率的机械来講，我們才可以說，功率等于單位時間里做功的多少。

(4) 为了描述某一个力或某一个机械在某一时刻的真正功率，我們还可以引入即时功率这一个概念，求即时功率的方法和求即时速度的方法一样，那就是說：某一时刻的即时功率，就是以这一时刻为中心的極短時間里的平均功率。

(5) 使用机械的目的是为了要它們做功。从功率的公式 $N = \frac{W}{t}$ 导出公式 $W = Nt$ 是很有实用意义的，从这里可以看到，当 t 一定时，功量大小与功率成正比 ($W \propto N$)。那就是說，如果要在一个限定的時間內完成很多的功，就得选用功率很大的机械；反之，只要选用功率較小的机械就够了。任何机械的功率都是有大有小的，它們都是按照需要設計的。

从 $W = Nt$ 还可以看出，当功率 N 一定时，做功的多少与做功的時間成正比，($W \propto t$) 那就是說，当机械的功率一定时，做功的多少可以用做功的時間来度量。例如，某車床平均每小时能加工 100 件产品，那么在 5 小时内就可以加工 500 件同样的产品，或者說要完成 500 件产品，就得預計 5 个小时。

(6) 从 $N = \frac{W}{t}$ 与 $W = FSCos\theta$ 可以推导出 $N = FV Cos\theta$ 这个公式。它說明功率等于力和在力的方位上的分速度的乘积。如果力和速度間的夾角 $\theta = 0$ ，則上式簡化为 $N = FV$ 。 N 是平均功率还

是即時功率，由 V 是平均速度還是即時速度來決定。從這個式子可以看出，當發動機的功率保持不變時，它的牽引力跟速度成反比($F \propto \frac{1}{V}$)。這是一切機械的基本原理。

在討論到上面所述的問題時，學生往往會提出這樣的問題：

(1) 當 F 等於 0 時，它的運動速度是不是要大到無窮大呢？
或(2) 當機械的運動速度接近於零時，它的動力是不是大到可以移山倒海呢？對於這些問題教師必須給以說明。機械在做功的時候，動力 F 是不可能等於零的，任何機械都要受到阻力，即使在沒有負載時，機件間的摩擦阻力也還是存在的，為了維持連續運轉，它的作用就不能小於阻力，所以它的速度是有限度的，是不可能無限增加的。從 F 與 V 成反比的关系看來，好像當機械的運動速度小到零時，作用力應當大到無窮大。但這樣講是不切合實際的，一切機械除了有它的正常功率之外，它的作用力還要受到機械構造和運轉條件的限制，不可能超過一定的限度。例如，騎自行車的人，在上斜坡時或在逆風駛車時，因為人的力是有限制的，所以我們不能想像當運動速度小接近於零的時候，使車前進的力應當無限大。因此，在講課本圖 132 的時候，教師必須主動說明：作用力和速度成反比這一关系不但要受功率不變這一條件的限制，同時還要受作用力不超過限度的限制，它是不應當無限地外推的。

§ 69 功率的單位

學生對於功和功率的單位是很容易混淆起來的。講述功率單位時應說明各種單位的意義及換算法，並通過例題的演算使學生分清功和功率的單位。

功率的公式雖有 $N = \frac{W}{t}$ 和 $N = FV$ 兩個，但在同一單位制里

功率的單位却是統一的。這一點必須告訴學生，并舉例加以說明。

在厘米、克、秒單位制里，力的單位是“1 達因”，路程的單位是“1 厘米”，時間的單位是“1 秒”，功率的單位是“1 達因·厘米/秒”或“1 尔格/秒”。它和基本單位的關係是 $1 \frac{\text{克(厘米)}^2}{\text{秒}^3}$ 。

這個單位很小，是不切合實用的。

在米、千克、秒單位制里，力的單位是“1 牛頓”；路程的單位是“1 米”，時間的單位是“1 秒”，功率的單位是“1 牛頓·米/秒”或“1 焦耳/秒”。它和基本單位的關係是 $1 \frac{\text{千克米}^2}{\text{秒}^3}$ 。這個單位比“尔格/秒”大 10^7 倍，比較切合實用，我們叫它“1 瓦特”。

在實際工作中，我們常常採用比“1 瓦特”更大的單位，“1 千瓦”，它是“/瓦特”的一千倍。上海第一次制成的蒸汽輪機是 6000 千瓦，第二次制成的是 12000 千瓦，改建後的丰满水電站的設計功率是 5.7×10^5 千瓦，黃河三門峽水電站的設計功率是 100 萬千瓦，太陽輸送給地球的總功率是 9×10^{13} 千瓦等。

在實用工程單位制里；力的單位是“1 千克重”，路程的單位是“1 米”，時間的單位是“1 秒”，功率的單位是“1 千克重米/秒”。

馬力是一個很重要的功率單位。一匹馬力 (1H.P.) 並不是真正一匹普通馬的功率，普通馬的功率只不過是 0.4~0.5 馬力。馬力只是一種功率單位的名稱，不可與一匹馬的功率混為一談。

“/馬力”相等於 75 千克重·米/秒，亦相當於 735 瓦特，約等於 $4/3$ 千瓦（設 $g = 10 \text{ 米/秒}^2$ ）。

講完上述各種單位制的功率單位後，可把功與功率的各種單位列表對比，以免混淆。

單位制	力 F	路程 S	時間 t	功 w	換算率	功率 N	換算率
厘米, 克, 秒	1 达因	1 厘米	1 秒	1 尔格	1 尔格 = 10^{-7} 焦耳 1 尔格 = $1/9.8 \times 10^{-7}$ 千克重米	1 尔格/秒	1 尔格/秒 = 10^{-7} 瓦特 = $1/9.8 \times 10^{-7}$ 千克重米/秒
米, 千克, 秒	1 牛顿	1 米	1 秒	1 焦耳	1 焦耳 = 10^7 尔格 1 焦耳 = $1/9.8$ 千克重米	1 焦耳/秒 或 1 瓦特	1 瓦特 = 10^7 尔格/秒 = $1/9.8$ 千克重米/秒
实用工程	1 千克重	1 米	1 秒	1 千克重·米	1 千克重米 = 9.8 焦耳 = 9.8×10^7 尔格	1 千克重米/秒	1 千克重米/秒 = 9.8 瓦特 = 9.8×10^7 尔格/秒
						1 馬力	1 馬力 = 75 千克重米/秒 = 735 瓦特 (約 3/4 千瓦)

144頁第8題是一條結合生產技術的練習題，它有很豐富的內容，建議教師能提出來與學生分析和討論，並在黑板上把它一步一步的計算出來，作為鞏固新課之用。本題應把速度450米/分化成7.5米/秒，功率5.8馬力化成435千克重·米/秒或4263瓦特，然後按公式， $N = FV$ 求 $F = \frac{N}{V} = \frac{435 \text{ 千克重} \cdot \text{米/秒}}{7.5 \text{ 米/秒}} = 58 \text{ 千克重}$

力，或 $F = \frac{4260 \text{ 瓦特}}{7.5 \text{ 米/秒}} = 568 \text{ 牛頓}$ 。如果增大了切削速度，那麼

消耗的功率將隨之增大，因在阻力一定時，功率與速度成正比。題中“車刀受到的阻力”應理解為車床受到的阻力，這是一個有用的阻力。刀口吃入切削品越深，阻力越大。車床在工作時的功率是可以變化的，但不能超過它的設計限度。高速切削法是很先進

的操作方法之一。

144頁的習題可以分兩次布置；第1,2,4三題可在講完第68~69節後布置；第6,7,9三題可以放在上完實驗課布置。

§ 機械的功的原理

本節的主要內容是對學生所熟悉的槓桿進行系統地分析，從而引出一條適用於任何機械的功的原理——任何機械都不能省功。

在提出了械機這一概念之後，應向學生指出：使用機械是為了改善人類勞動條件和提高勞動成果的質量，不是為了不勞而獲；沒有能夠使人不勞而獲的機械。

任何複雜的機器都是由簡單機械組成的。簡單機械又可以分為兩大類型：槓桿類型簡單機械（包括槓桿、輪軸、滑輪和齒輪等），和斜面類型的簡單機械（包括斜面、尖劈和螺旋等）。

任何機械，在工作時，都要受到兩種不同性質的作用力，一種是促使它運動的力，叫做“動力”，另一種是阻礙它運動的力，叫做“阻力”。建議對學生在初中學過的滑輪、槓桿和輪軸等實例進行分析，來闡明那個是動力，那個是阻力；那些是省力的，那些是省時的，和那些是用來改變方向的。機械在運動時，動力對機械做功，機械對阻力做功，前者叫做動力功，後者叫做阻力功。

應用槓桿來闡明“機械不能省功”的原理是有其重要意義的：

(1) 裝置簡單直觀；(2) 動力與阻力容易分清；(3) 除了有用的阻力之外，無用的阻力（摩擦力）很小；(4) 很容易導出結論，說服力很強。

在講課本里的圖133時，必須注意，一切推論是建立在三個假設的基礎上的：(1) 槓桿的重量小到可以忽略不計；(2) 無用的阻力（摩擦力）小到可以忽略不計；(3) 運動的速度接近均勻。只有在符合這三個假定的條件下，槓桿轉動軸兩側的力矩才會相

等，才可以根据 $FL_2 = PL_1$ （槓杆原理），导出 $\frac{F}{P} = \frac{L_1}{L_2}$ 。

在講解課本里的圖134时，为了与圖133取得統一，建議把圖134里的 L_1 和 L_2 改为 L_1' 和 L_2' ，然后根据力矩原理 $PL_1' = FL_2'$ 和相似三角形里的 $\frac{L_1'}{L_2'} = \frac{h_1}{h_2}$ ，导出 $Fh_2 = Ph_1$ 。式中的 Fh_2 就是动力

对槓杆所做的功， Ph_1 就是槓杆克服重力（有用阻力）所做的功。这个公式訴告我們，在前面所述的三个假設的情况下，动力对槓杆所做的功（輸入功）等于槓杆克服阻力所做的功（輸出功），并从而得出“利用槓杆不能省功”的結論。在講过这个結論之后，必須告訴学生：不仅对槓杆进行研究得到这样的結論，对任何簡單的或复杂的机械进行研究，同样可以得到这样的結論。惟有这样交代清楚，才有可能邏輯地提出最后結論机械的功的原理——“利用任何机械都不能省功”。

在很古的时代，已經有人得出一个使用机械的所謂“金科玉律”：如果在力的方面占了便宜，随之而来的一定是路程方面的吃亏，相反地，如果在路程方面占了便宜，一定在力的方面吃了亏。那就是說，任何机械都不能使我們在力和路程方面同时得到便宜，这和我們所提出的功的原理是完全一致的。

必須注意，公式 $F_1S_1 = F_2S_2$ 里的 F_2 所代表的阻力应包括有用阻力和无用阻力。无用阻力就是机械在沒有負載情况下运动所必須克服的阻力，它包括摩擦力和机械本身的重量等。

§ 71 机械的效率

在初中物理里早就指出：“使用各种机械来做功，我們除了必須完成所需要的功，还得做一些額外的功。”所謂所需要的功，就是指有用的功，也就是指机械抵抗有用阻力所做的功，工程師們叫它做机械的輸出功。所謂額外的功，就是指机械抵抗无用阻

力所做的功，工程師們叫它做機械的消耗功。兩者之和總稱為阻力功。

當機械在作勻速運動時，根據機械的功的原理，動力功等於阻力功，也就是說，

動力功（輸入功）＝有用阻力功（輸出功）＋無用阻力功（消耗功）。

至於輸出功究竟佔據輸入功（或總阻力功）的多少，那就要看機械的性能與工作的條件來決定。

“輸出功與輸入功的百分比”。叫做機械效率，它是用來表示機械性能的一個物理量，並可用公式表示如下：

$$\eta = \frac{W_{出}}{W_{入}} \times 100\%。$$

因為輸出功和輸入功是在同一時間內完成的，所以機械效率還可寫成

$$\eta = \frac{N_{出}}{N_{入}} \times 100\%。$$

對實際機械來說，輸出功總是小於輸入功的，或是說輸出功率總是小於輸入功率的，因此機械效率總是小於100%。實用機械的機械效率各不相同，有些高到90~99%，有些低到10~20%。一般的講，機械效率高的都是一些輕巧的、精細的、簡單的機械，機械效率低的都是一些笨重的、複雜的、功率大的機械。至於如何提高機械的機械效率，乃是今日工程技術上努力的方向。拿動力機械來說，蒸汽機的效率就很低，蒸汽輪機的就高一些，內燃機的又高一些。

在講 147 頁上的例題時，應向學生指出：

(1) P 在這裡只代表有用的阻力，此外還有無用的阻力存在，所以動力 F 不等於 P 。