运用能量转化方向性规律解决装置“效率”真问题

——缘起2023年皖、陕中考物理卷“效率”计算题

刘雪荣 （徐州市东苑中学 江苏 221000）

摘 要 初中学业水平考试(中考)是初中学生学业质量最有权威的结果评价，体现新中考试题注重素养立意的导向性作用。文章以真实问题解决为导向，在综合机械装置模型试题解答中发现问题，在真实模型建构与科学推理中分析问题，在运用能量转化的方向性规律中解决问题。立足于在能量转化、转移中，有用能量总是朝向逐渐减小的方向性视角，巧妙地解决“系统综合效率”问题。站位高，效果好。

关键词 能量转化的方向性 机械效率 系统综合效率 问题解决

文章编号 1002-0748(2024)4-0042 **中图分类号** G633·7 **文献标识码** B

1 问题的缘起

2023年7月底，随着全国初中学业水平考试(中考)的陆续结束，关于中考物理试题，关键词“效率”上了热搜。安徽省、陕西省两道有关“效率”方面的试题进入大家的视野，“组合机械效率”与“系统的综合效率”等中考题成为一线教师讨论的头条。细想之后发现，北师大版初中物理教材在学习机械效率后第一次提出有关效率问题，在学习能量的转化后也提到了效率，如炉子的效率、热机的效率、电热器的效率和电动机的效率[1]。对这些“效率”如何去科学理解？它们有什么内在联系呢？

《义务教育物理课程标准(2022年版)》(以下称“新课标”)的课程内容将“能量”作为五个一级主题之一，足以见得能量观念在新课标中的重要地位。其中，对于“机械效率”的学业要求是“知道机械效率，了解提高机械效率的意义和途径”；对于“能源与可持续发展”的教学策略有“知道能量的利用存在效率问题；从能量转化的角度认识提高效率的重要性；从能量转化和转移具有一定方向性角度，体会节能减排与可持续发展的重要性”[2]。在学业水平评价上，要求“试题内容源于真实情境，内含物理学科本质，展示科学思维过程，反映最新科技成就等价值导向”。在实际教学中要实现“教—学—评”的科学衔接，体现“知识本位”向“素养本位”的变革，充分发挥中考评价的育人功能和核心概念的育人价值。

2 在模型分析中发现问题

例1 (2023年安徽省)如图1所示，一固定斜面顶端装有定滑轮，为测量该装置提升物体时的机械效率，用弹簧测力计连接细绳，跨过定滑轮将重为6 N的物体沿斜面向上匀速拉动0.6 m，物体上升的高度为0.3 m，弹簧测力计的示数为4 N。求：(1)此过程中做的有用功；(2)该装置的机械效率。

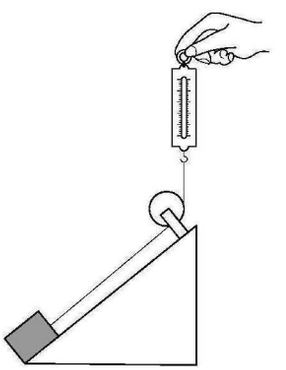


图1

这是一道“机械效率”综合计算题，其中考查的知识点多，综合性强。整个试题的内容不多，给出的物理量也只有4个，其正确的解题过程是：

(1) 克服物体重力做的有用功为

$$W_{有}=Gh=6\,\mathrm{N}\times 0.3\,\mathrm{m}=1.8\,\mathrm{J}$$

(2) 弹簧测力计示数就是绳端拉力大小，故该装置做的总功为

$$W_{总}=Fs=4\,\mathrm{N}\times 0.6\,\mathrm{m}=2.4\,\mathrm{J}$$

该装置的机械效率为

$$\eta=\frac{W_{有}}{W_{总}}\times 100\%=\frac{1.8\,\mathrm{J}}{2.4\,\mathrm{J}}\times 100\%=75\%$$

回顾以上解题过程发现，整个机械装置是由斜

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

面与定滑轮两种单个机械共同构成的一套混合装置，也就是所谓的“组合机械装置”。其中对于题目中的第二小题“求该装置的机械效率”的提法，让有些考生犯了难，如何去理解“该装置”的含义？因为这套组合装置中的斜面与定滑轮在做功过程中都有各自的机械效率。依据物理教材内容：“有用功”就是指在使用机械做功的过程中，机械对物体所做的功，可以简单理解为不使用机械而是直接用手来完成相应的任务所做的功；而对于额外功，可认为是所做的无用之功，但又不得不做的功[3]。例1中给出四个已知物理量，学生在计算第二小题中的机械效率时，正好将试题中已知量按部就班地代入到有用功 $W_{有用}=Gh$ 与总功 $W_{总}=Fs$ 公式中，顺理成章地实施运算，大家有一种“被成功”的感觉。如果试题中再增加一个已知量：“若细绳对物体的拉力大小为 $F_{拉}=3.5\,\mathrm{N}$”，那么，考生又会如何处理呢？其中不乏有这样的理解：由绳子对物体的拉力 $F_{拉}=3.5\,\mathrm{N}$，既可以理解为外力对斜面装置做的总功，也可以理解为定滑轮装置做的有用功。所以两个装置都有各自的机械效率，即

$$\eta_1=\frac{Gh}{F_{拉}s}\times100\%=\frac{6\,\mathrm{N}\times0.3\,\mathrm{m}}{3.5\,\mathrm{N}\times0.6\,\mathrm{m}}\approx85.7\%$$

$$\eta_2=\frac{F_{拉}s}{Fs}\times100\%=\frac{3.5\,\mathrm{N}}{4.0\,\mathrm{N}}\times100\%=87.5\%$$

毋庸置疑，考生对机械效率公式中各物理量的内涵，在理解上还有一定的局限性。对滑轮(组)与斜面这两种机械而言，在具体的题目中对“有用功”“额外功”的理解还是存在一些差异的。下面将这两个机械实施拆解，分别进行阐述。

2.1　对滑轮(组)机械效率的分析

学生在使用滑轮(组)的机械效率公式解题时会出现如下两种情况：①如图2(a)所示，滑轮(组)在竖直方向上提起重物做功，此时滑轮(组)的机械效率为

$$\eta=\frac{Gh}{Fs}\times100\%=\frac{G}{nF}\times100\%$$

其中：G 为物体的重力，h 为物体提升的高度；F 为对绳子的拉力，s 为拉力 F 沿拉力方向移动的距离，n 为吊起动滑轮绳子的股数。这种情况下，吊起重物做的功是有用功，而该机械所做的额外功基本上由三部分构成(除非忽略其中某些因素)，分别为克服动滑轮自重所做的功，克服滑轮与其轴心、滑轮与绕绳之间的摩擦力以及克服绳子自重所做的功。

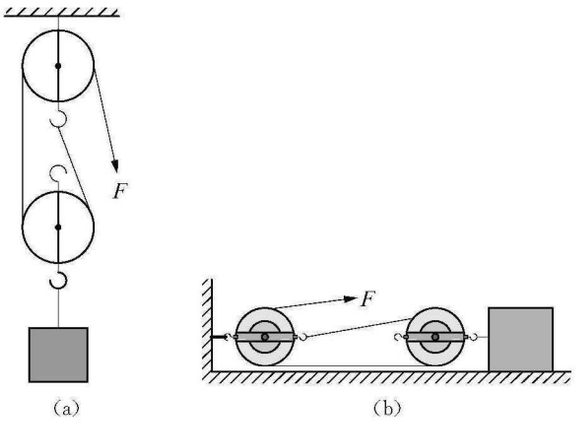


图2　运用滑轮(组)对重物做功

②如图2(b)所示，如果滑轮(组)在水平地面上匀速拖动物体做功时，取而代之是克服物体与水平地面之间的摩擦力所做的功为有用功。此时滑轮(组)的机械效率公式可以写为

$$\eta=\frac{fs}{Fns}\times100\%=\frac{f}{nF}\times100\%$$

其中：f 为物体与水平地面之间的滑动摩擦力，s 却是物体在水平面上移动的距离。通过以上分析发现：同样性质的滑轮(组)装置，由于其放置的方式不同，其有用功的内涵也存在很大的差异。

2.2　对斜面机械效率的分析

斜面作为一种常见的省力机械而被广泛用于工、农业生产中。以沿着斜面向上提升重物为例，如图3(a)所示，以斜面上的重物作为研究对象进行受力分析，当物体沿斜面向上被拉动的过程中，物体受到沿斜面向上的拉力 $F_{拉}$、重力 G、滑动摩擦力 f，以及斜面的支持力 $F_{支}$，如图3(b)所示。则使用斜面

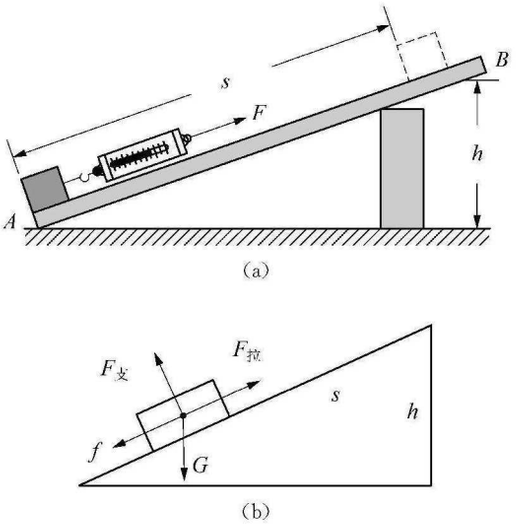


图3　利用斜面拉动物体做功

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

提升重物所做的总功为 $W_{总}=F_{拉}s$；额外功为 $W_{额}=fs$；有用功为 $W_{有}=Gh=W_{总}-W_{额}=Fs-fs$。

斜面的机械效率为

$$\eta=\frac{Gh}{Fs}\times100\%=\frac{Fs-fs}{Fs}\times100\%$$
$$=\left(1-\frac{f}{F}\right)\times100\%$$

通过以上分别对滑轮(组)与斜面模型机械效率的分析，学生自然会产生质疑：将滑轮(组)安装在斜面顶端，沿斜面匀速拉动物体做功时，相对于滑轮(组)这一装置而言，在拉动物体沿斜面向上运动过程中，是将重物 G 举高做的功为有用功，还是克服物体与斜面之间的滑动摩擦力做的功为有用功呢？

3　在真实模型建构与科学推理中分析问题

运用滑轮与斜面两个组合模型装置来提起重物，曹可攀老师的解释比较合适，简单机械有用功的理解应该从“机械”本身出发，机械对外输出的功相对于机械而言就是有用功[4]。据此推理发现，例1装置中绳子对物体沿斜面拉力(记为 $F_{拉}$) 所做的功 $W=F_{拉}s$ 就有如下理解：①对斜面而言，绳子对物体沿斜面的拉力所做的功是总功，然而对定滑轮来说，恰是其有用功。②由于使用斜面与定滑轮做功时，可能均有摩擦力的存在而做额外功，所以它们各自的机械效率不可能是100%。那么例1中的组合机械的总效率与两个装置(斜面与定滑轮)的单一机械效率之间有什么关系呢？绳子对物体的拉力 $F_{拉}$ 的大小是否在物重 G 与测力计拉力 $F_{示}$(4 N～6 N)之间呢？下面通过构建真实模型进行验证，因为实验是解决物理问题的最好方法。

3.1　真实模型的建构与实验探究

3.1.1　实验器材与模型装置的组装

(1) 实验器材

白色免漆板一块，定滑轮、长方体物块、弹簧测力计(0～5 N)各一件，木工锯、热熔胶枪各一把，直角金属卡槽一只，透明毫米刻度尺(0～50 cm)2把，细线等。

(2) 模型装置的组装

取一大块白色免漆板，用木工锯截取60 cm×8 cm×2 cm的长木板制成倾斜坡面。在斜面顶端的中间部位用手工锯开一长方形的小豁口，将定滑轮框架嵌入豁口内，用热熔胶将框架粘合好。再截取60 cm×10 cm×2 cm的木板做斜面底座，用热熔胶将斜面的下端与底座固定住。再取25 cm×10 cm×2 cm的两块木板，用直角金属卡槽将其固定做成相互垂直的斜面支架，使斜面保持一定的倾角待用。再用热熔胶分别在斜面侧面与竖直支架上固定一把毫米刻度尺(零刻度线分别与斜面底端和支架底部对齐)。模型装置搭建完成，如图4所示。

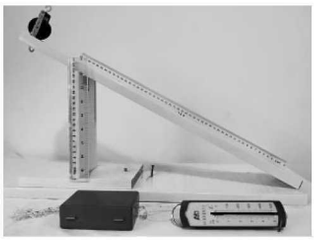
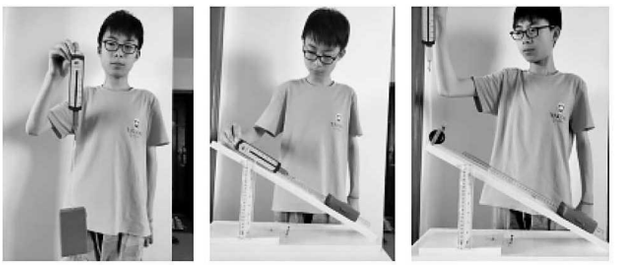


图4　定滑轮与斜面组合模型装置

3.1.2　实验探究过程

① 用校零好的弹簧测力计测出长方体物块重为 $G=3.0$ N，如图5(a)所示；用细线系好物块，用弹簧测力计钩住细线的另一端，沿着斜面方向匀速向上拉动，读出测力计的示数 $F_{拉}=2.0$ N。分别从两把毫米刻度尺上读出物块在斜面上移动的距离 $s=50$ cm，物体上升的高度 $h=20$ cm，如图5(b)所示。将测得的数据代入斜面机械效率公式，算出此时斜面的机械效率 $\eta_1=60\%$。



(a)　(b)　(c)

图5　搭建斜面与滑轮组合装置测量机械效率

② 再将系物块的细线一端绕过定滑轮，用弹簧测力计钩住细线竖直向上匀速拉动，仍然使物块沿着斜面向上运动，读出测力计的示数 $F=2.5$ N，如图5(c)所示。将测量数据代入滑轮(组)机械效率公式，算出此时滑轮的机械效率 $\eta_2=80\%$。

③ 将组合装置看成一个整体，将测量数据代入机械效率公式(上文例1中第二小题的公式)，算出综合机械效率为 $\eta_{总}=48\%$。从计算结果上看，很容易得出综合机械效率与各装置机械效率之间的关系是：$\eta_{总}=\eta_1\cdot\eta_2$。在对实验数据的收集与处理中，发现综合机械效率与各装置机械效率之间是满足乘积关系的，在对这一结论进行实验验证的基础上，下面

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

再对该结论进行理论推导。

3.2　科学推理与科学论证

根据机械效率公式，例1中斜面的机械效率为：

$$\eta_1=\frac{Gh}{F_{拉}s}$$

而定滑轮的机械效率为：$\eta_2=\frac{F_{拉}s}{F_{示}s}=\frac{F_{拉}}{F_{示}}$，则第二小题中组合装置的机械效率为：$\eta_{总}=\frac{Gh}{F_{示}s}\times 100\%=\frac{Gh}{F_{拉}s}\times\frac{F_{拉}s}{F_{示}s}\times 100\%=\eta_1\cdot\eta_2$（其中$F_{示}$为簧测力计的示数）。例如：在例1中，假设重物受到绳子的拉力大小为$F_{拉}=3.5\text{N}$的情况下，组合装置的机械效率$\eta_{总}=\eta_1\cdot\eta_2=85.7\%\times 87.5\%=75\%$，这也进一步佐证了以上结论的正确性。因此，从理论推导可得出，组合机械的机械效率大小等于其中每一个机械装置机械效率大小的乘积。从能量的转化角度看，外界对整个装置所做的总功将全部转化为物体的机械能和所有摩擦产生的内能。

4　在运用能量转化的方向性规律中解决问题

能量守恒定律告诉我们，能量既不会凭空消灭，也不会凭空产生，在能量转化过程中总能量保持不变。但是无论是能量转移还是能量转化都具有方向性，因为我们在利用能量时总会有一部分能量转化成内能散失到环境中，但内能无法自动转化为其他形式的能量，很难再利用，这就是有用的能量具有朝向逐渐减小的方向性[5]。所以自然界的能量经过转化后，人们可利用的能量只会减少，不会增加。节约能源和提高能源利用率是一个永恒的话题，开发新能源满足日益增长的经济发展需求是人类不懈的追求。

以下再通过一道中考试题来加深物理规律的理解。

例2　（2023年陕西省）重力储能是一种新型储能方式，它通过提升或放下重物实现能量的储存或释放，能量转化过程如图6所示。重力储能可有效提升风能、太阳能等新能源的综合开发利用水平。某风力发电、重力储能综合项目，某次风能充沛时，系统利用风能发电的富余电能，将2个质量均为3×10^4 kg的重物从地面提升至30 m的高度处，实现能量储存，如图7所示。根据相关信息，完成以下问题（g取10 N/kg）。

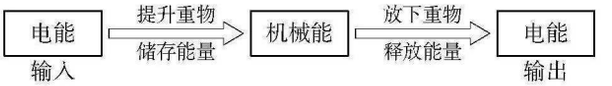


图6

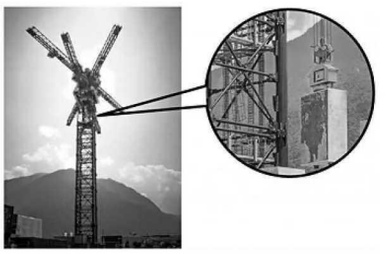


图7

……（3）储能系统将2个重物匀速提升至30 m高处的过程中，系统对重物所做的功是多少_____？（4）储能系统将2个重物从30 m高处放回地面的发电过程中，产生的电能为1.44×10^4 J，则该过程的发电效率是多少_____？（5）据某资料介绍，重力储能系统的综合效率（输出电能与输入电能之比）可达70%以上，请你通过计算，判断这一数据是否可信_____？（已知系统提升重物的效率为90%）

该题考查学生的做功公式计算及应用能力，学生基本上都可以达标。但是针对系统在用电低谷时，利用富余的电能通过机械装置提起重物，将电能转化为机械能进行储能，到用电高峰时，再通过该机械装置放下重物将机械能转化为电能释放出的过程，如果学生在阅读试题过程中，没有领会如图所示能量转化过程中的层级关系，对能量转化中的系统综合效率与整个转化过程中每一次转化效率之间的关系没有深入的理解，则很难正确地解决问题。

例2第三小题中系统对重物所做的功是

$$\begin{aligned}W&=Gh=mgh\\&=2\times3\times10^4\text{kg}\times10\text{N/kg}\times30\text{m}\\&=1.8\times10^7\text{J}\end{aligned}$$

第四小题中重力储能系统放下重物的发电效率是

$$\eta=\frac{W_{输出}}{W}\times100\%=\frac{1.44\times10^7\text{ J}}{1.8\times10^7\text{ J}}\times100\%=80\%$$

第五小题中重力储能系统提升重物所需要的总电能量

$$W_{输入}=\frac{W}{\eta}=\frac{1.8\times10^7\text{ J}}{90\%}=2\times10^7\text{ J}$$

最后得到重力储能系统的综合效率为

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

$$\eta_{总}=\frac{W_{输出}}{W_{输入}}\times 100\%=\frac{1.44\times 10^{7}\mathrm{J}}{2\times 10^{7}\mathrm{J}}\times 100\%$$
$$=72\%>70\%$$

可见得到的这一数据是可信的。

其实，根据上文推导得出的系统综合效率与各装置机械效率之间的乘积关系，可以得出系统综合效率等于整个转化过程中每一次转化效率的乘积，即 $\eta_{总}=\eta\cdot\eta'$，因此就能够一次性计算出例2第五小题中系统的综合效率。

从能量转化的视角看，所有机械对物体做功实质是利用机械这个载体，由外界向机械输入能量，机械通过做功的形式将有效的能量转移到下一个目标物体上，有目的地增加该物体的机械能、内能等能量。但是能量不是转化一次就停止了，可能经历无数次的层层转化，其中每一次的机械效率反映该次能量转化过程中，下一目标物体从中获得有价值能量的传递效率，总功的大小等于外界对机械输入的能量，有用功的大小等于机械对下一目标物体输出的有价值的那部分能量[6]。而系统的综合效率等于整个能量转化过程中，每个目标物体从机械做功中获得有价值能量的效率的乘积，如图8所示。

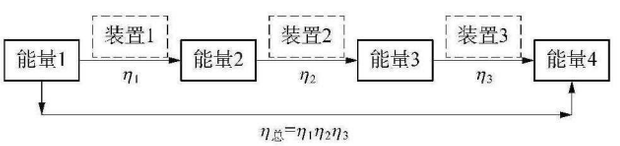


图8

5　结　语

新课标中物理学科核心素养目标是初中学业水平考试(中考)命题的重要依据，中考试题命制变革方向对学校课堂教学具有导向性作用。在真实问题解决中培养学生的科学思维能力是未来教学变革的重点，科学思维是正确解决问题的基础和保障，科学地解决问题是科学思维的目标与价值。本文以中考试题真实问题的解决为导向，在对相关组合型机械装置的模型分析、模型建构、推理论证、质疑创新中发现问题、分析问题与解决问题，培养学生的科学思维能力与问题解决能力。落实“为思维而教”的教学理念，使科学思维得到升华。同时进一步培养学生节能环保、可持续发展的意识，自觉践行低碳生活方式。

参考文献

[1] 殷欧霞. 初中物理有关效率的教学体会[J]. 陕西教育(教学版)，2015(Z1)：62.
[2] 中华人民共和国教育部. 义务教育物理课程标准(2022年版)[S]. 北京：北京师范大学出版社，2022.
[3] 华东地区初中物理教材编写组. 义务教育教科书·物理(九年级　上册)[M]. 上海：上海科学技术出版社；广州：广东教育出版社，2020：11　13.
[4] 曹可攀. 由“提水桶”问题到突破滑轮组机械效率的计算问题[J]. 物理教师，2020(5)：43　44.
[5] 陈云霞. 能量转化有方向　节约环保要增强[J]. 中学生数理化(初中版)(中考版)，2014(12)：27　28.
[6] 吴清周. 浅谈机械效率中有用功的定义及教学实践[J]. 物理教学探讨，2022(10)：56　59.

(上接第51页)

高低是思维能力强弱的主要标志，因此在物理教学过程中，教师要有意识地利用包括习题课在内的多种方式、途径训练学生的思维品质，全面提升学生的学科核心素养[15]。

参考文献

[1] 李鸿，李建，李群. 基于深度学习的初中物理习题教学实践与思考[J]. 物理教学，2022(10)：29　32.
[2] 卢玉龙，邵云. 从一道例题看习题教学中思维能力的进阶[J]. 物理教学，2022(8)：59　61，20.
[3] 黄永顺. 加强习题教学研究，培养学生物理思维[J]. 物理教学，2018(2)：53　56.
[4] 孙春成. 物理实验习题变式教学培养学生创新思维[J]. 物理教师，2022(3)：31　34.
[5] 卢敏翔. 指向深度学习的习题教学探索[J]. 物理教师，2023(4)：11　14.
[6] 沈伟云. 基于灵活性思维品质发展的科学实验教学研究[J]. 化学教与学，2017(5)：87　88.
[7] 沈伟云. 基于发展学生思维品质的中考科学试题评析策略[J]. 中学物理教学参考，2017(7)：49　51.
[8] 沙琦波. 丰富实验探究　提升思维品质　以自制教具“平面镜成像仪器”为例[J]. 物理教学，2022(3)：25　28.
[9] 张霞. 应用广泛的电磁继电器[J]. 初中生学习指导，2023(3)：42　43.
[10] 孙龙周. 指向学生科学思维的初中物理教学[J]. 物理教师，2023(5)：45　47，50.
[11] 孙龙周. 初中物理学业水平考试中填空题命题评析[J]. 物理之友，2023(1)：12　15.
[12] 孙龙周. 初中物理学业水平考试中选择题命制技术探讨[J]. 物理之友，2023(2)：5　7，18.
[13] 孙龙周. 基于课标的初中物理学业水平考试命题技术　以实验题的命题技术为例[J]. 实验教学与仪器，2023(5)：5　8.
[14] 沈伟云. 初中科学思维教学[M]. 杭州：浙江科学技术出版社，2018.
[15] 中华人民共和国教育部. 义务教育物理课程标准(2022年版)[S]. 北京：北京师范大学出版社，2022.

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net