

# “四客体”模型解决相对运动问题

韩文娟

六盘水师范学院, 贵州 六盘水  
Email: hanwenjuanying@163.com

收稿日期: 2021年8月22日; 录用日期: 2021年9月17日; 发布日期: 2021年9月26日

---

## 摘要

使用“四客体”(四客体分别是观察者、运动物体、静止参考系、运动参考系)模型举例分析相对运动问题, 让学生提高解决相对运动问题的准确率和效率, 从而提高学生的思维能力。

## 关键词

“四客体”模型, 相对运动, 问题

---

# The Problems of Relative Motion Are Solved by Using the “Four Objects” Model

Wenjuan Han

Liupanshui Normal University, Liupanshui Guizhou  
Email: hanwenjuanying@163.com

Received: Aug. 22<sup>nd</sup>, 2021; accepted: Sep. 17<sup>th</sup>, 2021; published: Sep. 26<sup>th</sup>, 2021

---

## Abstract

The relative motion problems are analyzed with examples by using the “four objects” model (the four objects are observer, moving object, static system and dynamic system in this paper). In this way, students improve the accuracy and efficiency of solving relative motion problems, so as to improve the thinking ability.

## Keywords

“Four Objects” Model, Relative Motion, Problem

---

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

物理学中,在低速宏观领域、绝对时空观下,对同一物体的运动在不同的参考系中的描述可能是不一样的,即对运动的描述具有相对性[1]。现实生活中会遇到许多相对运动问题,相对运动涉及绝对运动、相对运动、牵连运动等,相对运动问题是运动学中的一大难点,教学发现学生在处理相对运动问题时常常会计算出错。鉴于此,本文结合相对运动教学中的常见问题,提出了“四客体”模型,所谓“四客体”即为观察者、运动物体、静止参考系、运动参考系。运动物体是相对于观察者运动的物体,是被研究的物体,被研究物体静止是运动物体速度为零时的特殊情况,运动物体一般选择质点或发生平动的物体;静止参考系(文中简称静系)是相对于观察者静止的参考系,一般选择地面或地面上的静止物体作为静止参考系;运动参考系(文中简称动系)是相对于观察者运动的参考系。本文提出“四客体”模型,在模型基础上总结出便于记忆的相对运动矢量关系式  $\mathbf{A}_{\text{物对静}} = \mathbf{A}_{\text{物对动}} + \mathbf{A}_{\text{动对静}}$  (具体物理意义及解释见下文),结合实例切入分析相对运动问题,以让学生提高解决相对运动问题的准确率和效率,从而提高学生的思维能力[2]。

## 2. 相对运动中常见问题分析及“四客体”模型解题的优点

### 2.1. 相对运动中常见问题分析

运动的合成包括位移、速度、加速度等合成,以往教材、教参中把质点(或平动物体,以下同)相对于地面(或地面上的静止物体,以下同)的运动称为绝对运动,质点相对于运动参照系(一般为运动的车、船等)的运动称为相对运动,而运动参照系相对于地的运动称为牵连运动,存在矢量关系式  $\mathbf{A}_{\text{绝对}} = \mathbf{A}_{\text{相对}} + \mathbf{A}_{\text{牵连}}$ , 矢量  $\mathbf{A}$  代表位移、速度、加速度等,但此式在学生运用于相对运动问题求解时常常出现两类问题: 1) 学生对绝对运动、相对运动、牵连运动的概念混淆,问题情境稍微复杂就不能准确确定运动物体、静止参考系、运动参考系等,对具体问题中的  $\mathbf{A}_{\text{绝对}}$ 、 $\mathbf{A}_{\text{相对}}$ 、 $\mathbf{A}_{\text{牵连}}$  各矢量张冠李戴,对绝对运动、相对运动、牵连运动所对应的矢量关系式  $\mathbf{A}_{\text{绝对}} = \mathbf{A}_{\text{相对}} + \mathbf{A}_{\text{牵连}}$  运用时出错; 2) 计算出错: ① 对矢量关系式  $\mathbf{A}_{\text{绝对}} = \mathbf{A}_{\text{相对}} + \mathbf{A}_{\text{牵连}}$  中的  $\mathbf{A}_{\text{绝对}}$ 、 $\mathbf{A}_{\text{相对}}$ 、 $\mathbf{A}_{\text{牵连}}$  各矢量的正、负号易出错; ② 对矢量关系  $\mathbf{A}_{\text{绝对}} = \mathbf{A}_{\text{相对}} + \mathbf{A}_{\text{牵连}}$  进行矢量合成时易出错。因此,学生对相对运动问题解题的准确率偏低。

### 2.2. “四客体”模型解题方法的优点

解题时,根据相对运动的具体物理问题情景定出观察者、运动物体、静止参考系、运动参考系这“四客体”是比较容易的,“四客体”确立后,能够比较直接地写出矢量  $\mathbf{A}_{\text{物对静}}$  (即运动物体相对于静止参考系的矢量或矢量变化)、 $\mathbf{A}_{\text{物对动}}$  (即运动物体相对于运动参考系的矢量或矢量变化)、 $\mathbf{A}_{\text{动对静}}$  (即运动参考系相对于静止参考系的矢量或矢量变化),矢量  $\mathbf{A}$  可以是位移、速度、加速度等,具体情况见图1。矢量确定后,写出矢量关系式  $\mathbf{A}_{\text{物对静}} = \mathbf{A}_{\text{物对动}} + \mathbf{A}_{\text{动对静}}$ , 式中各矢量分别与 2.1 中的  $\mathbf{A}_{\text{绝对}} = \mathbf{A}_{\text{相对}} + \mathbf{A}_{\text{牵连}}$  式中各矢量对应。相比较而言,  $\mathbf{A}_{\text{物对静}}$ 、 $\mathbf{A}_{\text{物对动}}$ 、 $\mathbf{A}_{\text{动对静}}$  各矢量可根据实际物理问题去确定是较为直接和容易的,即使在较复杂的物理问题背景中也较易准确定出,利用矢量关系式  $\mathbf{A}_{\text{物对静}} = \mathbf{A}_{\text{物对动}} + \mathbf{A}_{\text{动对静}}$  结合物理问题分析时各矢量区分度较高不易搞混。学生在熟练掌握了“四客体”模型处理相对运动的分析方法后,可以提高他们解决相对运动问题的准确率和效率,进而提高其思维能力。

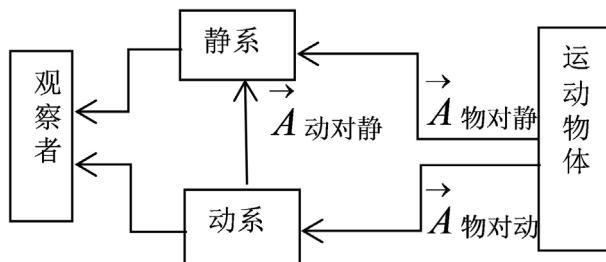


Figure 1. The “four objects” model  
图 1. “四客体”模型

### 2.3. “四客体”模型解题方法及实例

#### 2.3.1. 解题方法

1) **坐标投影法** 一般方法是根据题意，确立“四客体”后，写出  $A_{物对静}$ 、 $A_{物对动}$ 、 $A_{动对静}$  各矢量，再确定矢量关系式  $A_{物对静} = A_{物对动} + A_{动对静}$ ，建立坐标系，将矢量关系式  $A_{物对静} = A_{物对动} + A_{动对静}$  在所建坐标系中进行各矢量投影，然后代入数值进行求解。需注意的是，符号只需在矢量投影时考虑，与坐标规定方向相同取正，相反取负，后面只需代入题目所给的具体数值计算即可，若符号考虑多次，一旦考虑不清楚，反而计算易出错；

2) **矢量几何法** 根据题意，确立“四客体”、写出  $A_{物对静}$ 、 $A_{物对动}$ 、 $A_{动对静}$  各矢量及矢量关系式  $A_{物对静} = A_{物对动} + A_{动对静}$  后，画出  $A_{物对静} = A_{物对动} + A_{动对静}$  的矢量关系图利用矢量合成及几何关系进行求解。

教学中较为常见的有电梯、行船、风、雨等相对运动问题，笔者结合教学实际，使用“四客体”模型从简单到复杂，由浅入深，对相应问题进行举例分析。

#### 2.3.2. 利用坐标投影求解相对运动问题

##### (一) 电梯问题

电梯问题中“四客体”一般选为观察者、运动物体(即上下电梯的人)、静系(地面)、动系(电梯)，一般将矢量式写为  $A_{人对地} = A_{人对梯} + A_{梯对地}$ ，然后建立坐标系进行投影，代值求解。若问题情景稍复杂时，需根据具体问题进行计算形式的变换，顺着相应问题的思路进行逐步求解。

**举例** 商场中有一自动扶梯，某顾客沿开动上行的自动扶梯走上楼时，数得走了 16 级，当他用同样的速度相对扶梯向下开动的自动扶梯走上楼时，数得走了 48 级，则静止时自动扶梯露出的级数为多少？

解：根据题意，写出矢量式  $v_{人对地} = v_{人对梯} + v_{梯对地}$ ，取向上为正，顾客沿开动上行的自动扶梯走上楼时，矢量式  $v_{人对地} = v_{人对梯} + v_{梯对地}$  的投影为  $v_{人对地} = v_{人对梯} + v_{梯对地}$ ，设所花时间为  $t$ ，则

$$v_{人对地} t = v_{人对梯} t + v_{梯对地} t \Rightarrow v_{人对地} t = 16 + v_{梯对地} t, \tag{1}$$

他用同样的速度相对扶梯向下开动的自动扶梯走上楼时，矢量式  $v_{人对地} = v_{人对梯} + v_{梯对地}$  的投影则为  $v_{人对地} = v_{人对梯} - v_{梯对地}$ ，设所花时间为  $t'$ ，则

$$v_{人对地} t' = v_{人对梯} t' - v_{梯对地} t' \Rightarrow v_{人对地} t' = 48 - v_{梯对地} t', \tag{2}$$

由于他用同样的速度相对扶梯运动，即  $v_{人对梯}$  不变，即  $t' = 3t$ ，由于梯层高度一样，即人对地的距离一样，联立(1)、(2)式，则有  $v_{人对地} t = 16 + v_{梯对地} t = 48 - v_{梯对地} 3t \Rightarrow 4v_{梯对地} t = 32 \Rightarrow v_{梯对地} t = 8$ 米，所以

$v_{人对地} t = 16 + v_{梯对地} t = 16 + 8 = 24$ 米，此即为静止时自动扶梯露出的级数。

##### (二) 行船问题

河流行船问题中“四客体”一般选为观察者、运动物体(行船的人)、静系(地面)、动系(河流)，写出

矢量关系式  $A_{\text{船对岸}} = A_{\text{船对水}} + A_{\text{水对岸}}$ ，顺流时： $A_{\text{船对岸}} = A_{\text{船对水}} + A_{\text{水对岸}}$ ；逆流时： $A_{\text{船对岸}} = A_{\text{船对水}} - A_{\text{水对岸}}$ 。

举例：小船以速度  $v$  从河边 A 点沿河岸划至 B 点又返回 A 点。不计船掉头时间，若水不流动时往返时间为  $t$ ，那么水速为  $v_0$  时，求往返时间。

解：水不流动时， $v_{\text{船岸}} = v_{\text{船水}} = v$ ，A、B 之距  $s = \frac{1}{2}vt$ ，顺水时  $v_{\text{船岸}} = v + v_0$ ，逆水时  $v_{\text{船岸}} = v - v_0$ ，往返时间  $t' = \frac{s}{v + v_0} + \frac{s}{v - v_0} = \frac{2sv}{v^2 - v_0^2} = \frac{v^2}{v^2 - v_0^2}t$  为所求。

### 2.3.3. 矢量几何法求解

#### (一) 风问题

求风的相对问题的一般方法是“四客体”选为观察者、运动物体(风)、静系(地面)、动系(车)，根据题意写出矢量式  $A_{\text{风对地}} = A_{\text{风对车}} + A_{\text{车对地}}$ ，画出相应矢量关系图进行求解。举例：一人骑自行车向东行，在速度为  $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  时，觉得有南风；速度增至  $15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  时，觉得有东南风。求：风的速度[3]。

解：由题意列出矢量关系式  $v_{\text{风对地}} = v_{\text{风对车(人)}} + v_{\text{车(人)对地}}$ ，并画出相应图 2、图 3，人骑车速度为  $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  即  $v_{\text{车(人)对地}}$  为  $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  时，

$$v_{\text{风对地}1} = v_{\text{风对车(人)1}} + v_{\text{车(人)对地}1} \tag{3}$$

人骑车速度为  $15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  即  $v_{\text{车(人)对地}}$  为  $15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  时，

$$v_{\text{风对地}2} = v_{\text{风对车(人)2}} + v_{\text{车(人)对地}2} \tag{4}$$

因风对地的速度不变，由图 2、图 3 和(3)、(4)式有：

$$v_{\text{风对车(人)1}} + v_{\text{车(人)对地}1} = v_{\text{风对车(人)2}} + v_{\text{车(人)对地}2}$$

$$\Rightarrow v_{\text{风车(人)}} = v_{\text{风对车(人)1}} - v_{\text{风对车(人)2}} = v_{\text{车(人)对地}2} - v_{\text{车(人)对地}1} = 5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}, \quad \tan \theta = \frac{5}{10}, \theta = 27^\circ,$$

$$v_{\text{风}} = \sqrt{10^2 + 5^2} \approx 11.2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}.$$

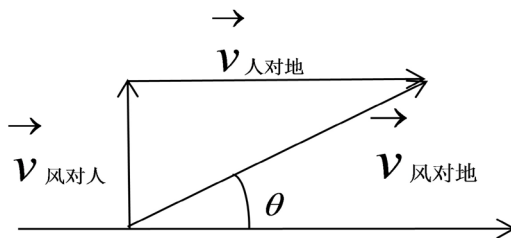


Figure 2. The “four objects” diagram when  $v_{\text{车(人)对地}}$  is  $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

图 2.  $v_{\text{车(人)对地}} = 10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  时的“四客体”图

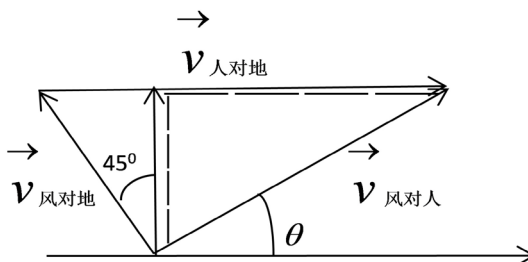


Figure 3. The “four objects” diagram when  $v_{\text{车(人)对地}}$  is  $15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

图 3.  $v_{\text{车(人)对地}} = 15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  时的“四客体”图

## (二) 雨问题

求雨的相对问题的一般方法是“四客体”一般选为观察者、运动物体(雨)、静系(地面)、动系(车),根据题意写出矢量式  $\mathbf{A}_{\text{雨对地}} = \mathbf{A}_{\text{雨对车}} + \mathbf{A}_{\text{车对地}}$ , 画出相应矢量图进行求解。

举例: 一火车以速率  $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  向东行驶, 雨相对于地面竖直下落, 在列车窗上形成的轨迹偏离竖直方向  $30^\circ$ , 则雨滴对地和对列车的速率分别为多少?

解: 由题意写出矢量式  $\mathbf{v}_{\text{雨对地}} = \mathbf{v}_{\text{雨对车}} + \mathbf{v}_{\text{车对地}} \Rightarrow \mathbf{v}_{\text{雨对车}} = \mathbf{v}_{\text{雨对地}} - \mathbf{v}_{\text{车对地}} = \mathbf{v}_{\text{雨对地}} + (-\mathbf{v}_{\text{车对地}})$ , 并画出相应矢量关系图见图 4。

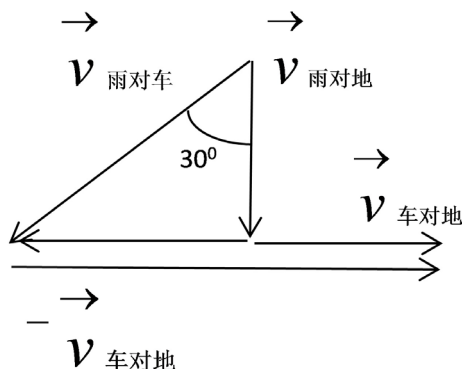


Figure 4. The “four objects” diagram when  $v_{\text{车(人)对地}}$  is  $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

图 4.  $v_{\text{车(人)对地}} = 10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  时的“四客体”图

在图 4 三角形中利用几何关系得出  $v_{\text{雨}} = v_{\text{车}} \cot 30^\circ = 10\sqrt{3} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $v_{\text{雨对地}} = \frac{v_{\text{车}}}{\sin 30^\circ} = 20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

此外, 还有很多运用“四客体”模型对相对运动问题求解的实例, 限于篇幅, 这里不再一一列举。本文提出“四客体”模型, 非常实用, 即使再复杂的相对运动问题的物理背景, “四个客体”很容易准确确定, 矢量关系式  $\mathbf{A}_{\text{物静}} = \mathbf{A}_{\text{物动}} + \mathbf{A}_{\text{动静}}$  便于区分和正确写出。学生熟练掌握了“四客体”模型处理相对运动的分析方法, 可以提高他们解决相对运动问题的准确率和效率, 有利于提高其思维能力。相对运动是运动学部分的一个重要概念, 它是理解复杂运动的基础, 学好相对运动对学生学习后续的许多课程和其今后在生活和工程上较好地处理相对运动问题均具有重要的意义。

## 基金项目

2019 年教育部高等学校大学物理课程教学研究立项项目(DJZW201934xn); 六盘水师范学院教学内容和课程体系改革研究项目(LPSSYjg-2021-20); 六盘水师范学院一流课程《热学》课程建设项目(LPSSYylkc202105); 六盘水师范学院科技创新团队项目(LPSSYKJTD201901); 国家自然科学基金项目(12065016); 关于混合式教学模式下的大学物理课程教学实践和应用(2018520116); 六盘水师范学院硕士学位培育点学科建设项目(LPSSYSSDYPY201704)。

## 参考文献

- [1] 李小平, 胡五生. 常见相对运动问题研究[J]. 高师理科学刊, 2021, 41(3): 84-88.
- [2] 韩文娟. 用“糖葫芦”模型解决“热力学第一定律”问题[J]. 中学物理教学参考, 2015, 44(12): 34.
- [3] 赵近芳. 大学物理学上[M]. 第 5 版. 北京: 北京邮电大学出版社, 2017.