揭秘“天宫一号”的变轨及交会对接技术

孟德飞

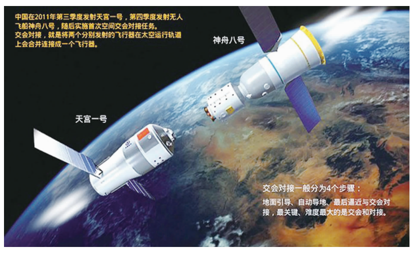
2016 年又是中国航天事业的一个繁忙之年，包括长征七号/五号火箭首发、“天宫二号”空间实验室发射、神舟十一号飞船上发射、天舟一号货运飞船发射等等。中国航天事业近年的主要工作是建立我国的空间实验室（Space Laboratory）。空间实验室是一种可重复使用和多用途的载人航天科学实验空间站。中国首个空间实验室的主体“天宫一号”已于 2011 年 9 月 29 日 21 时 16 分在酒泉发射升空。

“天宫一号”飞行的主要任务是为实施空间交会对接试验提供目标飞行器，初步建立长期无人在轨运行、有人照料的载人空间平台等。按照计划，神舟八号、神舟九号、神舟十号飞船已经依次与“天宫一号”完成无人或有人交会对接任务，并建立中国首个空间实验室。据当时新闻报道，2011 年 9 月 29 日晚 9 时 25 分，“天宫一号”进入近地点约 200 公里，远地点 346.9 公里，周期为 5382 秒的椭圆轨道运行。9 月 30 日凌晨“天宫一号”第一次变轨。11 月神舟八号与“天宫一号”进行交会对接。在神舟八号发射之前 20 天，北京飞控中心将通过 3 至 4 次轨道控制，对“天宫一号”的运行轨道进行相应调整，使其进入预定的交会对接轨道，等待神舟八号到来。

同学们是否对“天宫一号”在太空中为什么要变轨及如何变轨、“天宫一号”与神舟八号如何对接等问题有疑问呢？我们在对万有引力定律的学习中就会知道，在太空中运行的“天空一号”时速到达 28000 公里以上，即“天空一号”1 秒就要跑 7800 多米。这么高的时速要实现对接是非常困难而且非常危险的。下面我们一一对它进行解密。

一、“天宫一号”的变轨原因及技术

1.“天宫一号”为什么要变轨？



卫星在轨道运行期间自主改变运行轨道的过程称为变轨。

我们根据高中物理中万有引力与航天的知识知道，火箭发射所携带的燃料不能过多，过多的燃料会“拖累”火箭的运行，也就是火箭说不能把卫星直接送到所需要的高轨道上，因此为了节省发射火箭燃料，“天宫一号” 需要先在低轨道上运行，再变轨到高轨道上运行。

其次，受地球引力影响，“天宫一号”运行轨道会以每天 100 米左右的速度下降，这样会影响“天宫一号”的正常工作。因此，在轨道运行的过程中，也常常需要变轨。

另外，卫星还需要变轨避开“太空垃圾”的碰撞，以延长其运行的寿命。

2.“天宫一号”如何进行变轨？

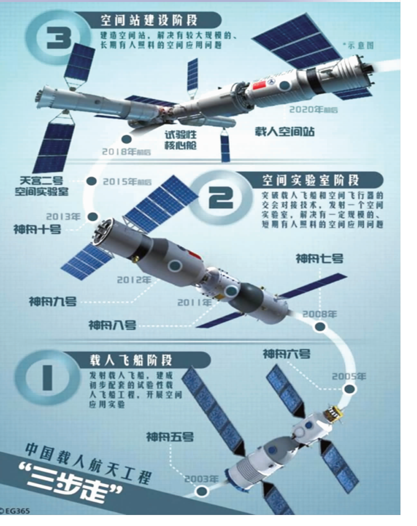
那么，“天宫一号” 是如何进行变轨的呢？我们知道，卫星运行轨道是椭圆的，科学家需要先把卫星发射到椭圆轨道上运动。当卫星运动到椭圆轨道远地点的时候，进行点火加速，此时万有引力 $F=G\frac{Mm}{r^2}$ 没有发生变化，但卫星运动所需要的向心力 $F_n=m\frac{v^2}{r}$ 由于 v 变大而随之变大，万有引力 F 就不足以提供卫星在该轨道运动所需要的向心力 F_n，卫星做离心运动。之后卫星保持远地点的高度作为运行半径，这样就可以让卫星的轨道变成需要的高度。这也是 “天宫一号”变轨的原理。

“天宫一号” 变轨需要进行多次，这就需要精确计算卫星变轨的时间，并由地面指令控制。

二、“天宫一号”的对接技术

空间交会对接的原理是通过轨道参数的协调，让两个或两个以上的航天器在同一时间到达太空同一位置，然后在交会的基础上再通过专门的对接机构将其连为一个整体，实现两个航天器在太空交会对接。空间交会对接技术难度很大，因为在太空中的空间实验室和航天飞机都是高速运行的，时速到达 28000 公里以上，在对接过程中，计算需要十分准确。

在我们的常识中，两物体要对接很简单：只要两物体在同一轨道上运动，后面的物体加速或者前面物体减速，都可以实现对接。但在太空中，根据万有引力定律，卫星加速运动会变轨到更高轨道上；如果减速，运行轨道又会降低，卫星到低轨道上运行。即，在同一轨道上的两卫星加速或者减速都不能实现对接。那么要如何才能实现对接呢？



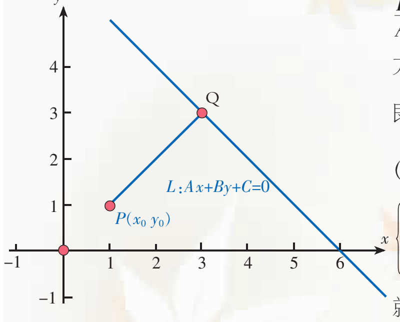
具体的方法是，先将目标飞行器发射到轨道上并精确测定其运行轨道，当其运行到待发射的飞行器上空时，经过精密计算，再选择合适的位置及时间发射，使后者与前者运行在相同的轨道上，并且将距离控制一定范围内，随后再依靠飞行器本身的机动能力让两者逐渐连为一体。

现在，空间交会对接控制方法一般是人工控制或自动控制。用人工控制来完成太空交会对接可以提高交会对接的成功率；而自动控制交会对接可靠性特别。

解析几何中关于“点到直线的距离”一节的教学处理

蔡源淮

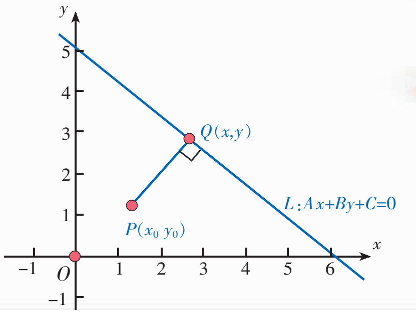
本节课是一个问题的方式的提出，属于典型的问题教学，问题是已知点 P 的坐标为 $P(x_0,y_0)$，直线 l:$Ax+By+C=0$，如何求点 P 到直线的距离？首先我们从定义出发，点到直线的距离即为点到直线的垂线段的长度，所以过点 P 作直线 PQ 垂直于 l 于 Q 点（如图）由于 $PQ\perp l$，以及直线 l 的斜率是 $-\frac{A}{B}$，可得 l 的垂线 PQ 的斜率是 $\frac{B}{A}$，垂线 PQ 的方程可以求出，即为：$y-y_0=\frac{B}{A}(x-x_0)$，由方程组



$$\begin{cases}Ax+By+C=0\\ y-y_0=\frac{B}{A}(x-x_0)\end{cases}$$

就可以求出垂足点 Q 的坐标，再由两点间的距离公式即可求出点 P 到直线 l 的距离 $|PQ|$。过程是：由 $y-y_0=\frac{A}{B}(x-x_0)$ 得 $Bx-Ay=Bx_0-Ay_0$，用它与 l:$Ax+By+C=0$ 联列得 $x=\frac{B^2x_0-ABy_0-AC}{A^2+B^2}$，$y=\frac{A^2y_0-ABx_0-BC}{A^2+B^2}$ 即 Q 的坐标为 $(\frac{B^2x_0-ABy_0-AC}{A^2+B^2},\frac{A^2y_0-ABx_0-BC}{A^2+B^2})$，所以点 P 到直线 l 的距离 $=|PQ|=\sqrt{(x_0-\frac{B^2x_0-ABy_0-AC}{A^2+B^2})^2+(y_0-\frac{A^2y_0-ABx_0-BC}{A^2+B^2})^2}$ $=\sqrt{\frac{A^2(Ax_0+By_0+C)^2}{(A^2+B^2)^2}+\frac{B^2(Ax_0+By_0+C)^2}{(A^2+B^2)^2}}=\frac{|Ax_0+By_0+C|}{\sqrt{A^2+B^2}}$，用字母 d 表示点 P 到直线 l 的距离，则 $d=\frac{|Ax_0+By_0+C|}{\sqrt{A^2+B^2}}$ 然后再讨论当 $A=0$ 或者 $B=0$（注意 A，B 不同时为 0）这两种特殊情况下上述公式是否成立即可。

上述方法虽然直接，但具体运算需要一定的技巧，于是我们试图进一步改进方法，让学生更容易接受这一知识点，减轻学生的学习负担。那么是不是就没有更简单的算法了呢？是不是一定要换方法，用书中的通过构造直角三角形（学生似乎并不理解为什么一定要构造直角三角形），然后转化为求直角三角形的高的方法，显然不是。2015 年 7 月 19 日至 7 月 26 日在深圳参加《全国数学名师教育高峰论坛》学习在张鹤（北京市数学特级教师，数学学科教学带头人）老师的启发下，通过深挖教材、认真演算，终于在书中方法一（书中我认为太难，不可行！）的基础上找到了一种更为简便的算法，改进方法如下：设



$A\neq0$，$B\neq0$，也就是直线 l 不与坐标轴垂直，$\because y-y_0=\frac{B}{A}(x-x_0)$，$\therefore\frac{y-y_0}{x-x_0}=\frac{B}{A}$ 所以可设 $y-y_0=BK$，$x-x_0=AK$，$\therefore y=y_0+BK$，$x=x_0+AK$，点 (x,y) 就是点 Q 的坐标，而点 Q 显然在 l 上，于是将它们代入 l:$Ax+By+C=0$ 中得：$A(x_0+AK)+B(y_0+BK)+C=0$，即 $(A^2+B^2)K=-Ax_0-By_0-C$，$\therefore K=\frac{-(Ax_0+By_0+C)}{A^2+B^2}$，所以点 P 到直线 l 的距离 $|PQ|=\sqrt{(x-x_0)^2+(y-y_0)^2}=\sqrt{(AK)^2+(BK)^2}=\sqrt{A^2K^2+B^2K^2}=\sqrt{A^2+B^2}\,|K|=\sqrt{A^2+B^2}\cdot\frac{|Ax_0+By_0+C|}{A^2+B^2}=\frac{|Ax_0+By_0+C|}{\sqrt{A^2+B^2}}$，设点 P 到直线 l 的距离 $|PQ|$ 为字母 d，则 $d=\frac{|Ax_0+By_0+C|}{\sqrt{A^2+B^2}}$，然后再讨论当 $A=0$ 或者 $B=0$（注意 A，B 不同时为 0）这两种特殊情况，通过对比用定义计算的距离和用上述公式计算的距离，结果发现两者相等，所以上述点到直线的距离公式适用于求一切点到直线的距离。

通过对上述问题的研究说明，只要我们认真研究教材、吃透教材的内涵、改进优化计算方法，就一定能把问题化难为易、化繁为简，再把这心得教给自己的学生，定能使学生的成绩有更大的提高。