

# 微重力落塔成功地实现上抛工作模式

\*  
张孝谦

(工程热物理研究所 北京 100080)

关键词 微重力, 落塔, 上抛技术

落塔是进行微重力科学实验研究的重要设施之一。它具有微重力水平高, 能使用先进复杂的测量仪器实现多种参数高精度的测量, 实验装置容易控制, 使用方便、快捷和费用低等优点。因而, 美国、俄罗斯、日本、德国等空间科学和技术发展较快的国家都建有多座落塔设施。

落塔的上抛工作模式是, 首先将实验装置向上抛起, 实验装置呈自由落体状态向上作减速运动, 达到上止点时实验装置的速度减为零, 然后转为呈自由落体状态向下作加速运动。这样就能在基本上不增加落塔高度的情况下, 成倍地增加微重力实验时间。上抛工作模式虽然具有这种优点, 但在工程技术上却存在着很大困难, 其中上抛加速过程中引起的初始扰动最难控制和消除。

工程热物理研究所 22m 落塔自由落体实验设施有效落差 18m。按照国际上现有落塔(井)设施均采用的自由下落工作模式, 此落塔仅能提供 1.7s、微重力水平  $\leq 10^{-4}g$  的微重力实验时间, 与国际上的落塔相比, 只能列为小型简易落塔。由于微重力燃烧实验研究和国家微重力实验室百米落塔自由落体实验设施二期工程的需要, 在 22m 落塔自由落体设施上发展了泛能上抛工作模式。

泛能上抛工作模式的工作原理为: 采用拉紧钢索的牵引系统以确保落舱组件上抛加速过程和自由落体运动状态时的准直度。三端泛能换能器内部的机-电转换装置在精确的实时数字过程控制指令下既可起电动机的作用, 将电网上提供的能量和动力加速上抛落舱组件, 又可起发电机的作用, 将同轴滚筒在减速时的动能、落舱阻尼罩下落时和落舱组件在减速回收时的动能转换为电能贮存于蓄电池组内。三端泛能换能器具有优良的起动特性, 其起动电流只有常规电机的 1/20, 从而完全避免了常规电机的起动过载。同时, 三端泛能换能器还具有全速同步(无滑差)的特性, 确保换能器准确地执行过程控制工作站的指令, 实现全过程的实时数字控制。

整个系统的工作程序为:

(1) 准备: 采用双舱结构, 外舱(阻力罩)在上升、下降的运动过程中承受周围大气的阻力。实验装置安装在内舱中。实验开始时内舱座落在外舱底部, 处于待命状态。内、外舱均密封。

(2) 起动、加速: 在过程控制工作站的指令下, 三端泛能换能器开始按照预置的加速曲线

---

\* 工程热物理研究所研究员

修改稿日期: 2000 年 5 月 24 日

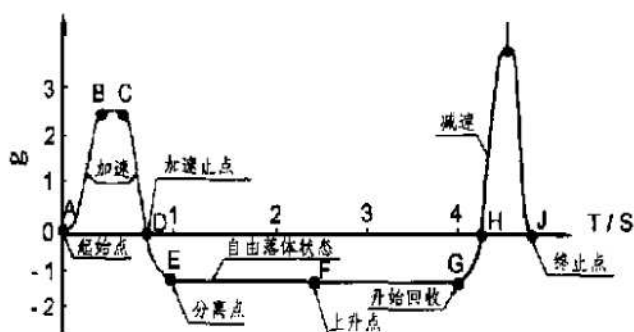
将落舱逐渐加速至所需的速度。一个典型的工作曲线如图所示。

(3) 内舱(实验装置)进入自由落体状态:落舱组件在加速终止点(D)后的 D-E 段逐渐减速,由于减速度仍然小于  $1g$ ,所以内舱仍然座落在外舱底部。内、外舱作为一个落舱组件一起运动。在到达 E 点时落舱组件达到  $1g$  的减速度,此后外舱以略大于  $1g$  减速度继续运动,此时内舱与外舱分离而悬浮于外舱之中,并以相对于外舱极小的相对速度呈自由落体状态运动,从而进入微重力状态。这个过程是一个渐变的过程,连续平衡地过渡,从而有效地控制和减小了上抛加速过程引起的初始扰动。

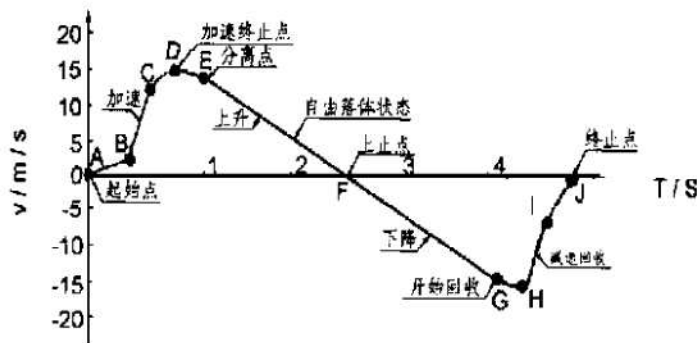
(4) 上升:内舱悬浮在外舱中以自由落体状态向上减速运动,沿 E-F 段直至达到上止点 F。此时,外舱在过程控制工作站的指令下以略大于  $1g$  的减速度运动。外舱略先于内舱达到上止点。

(5) 下落:内舱通过上止点后,仍然悬浮在外舱中以自由落体状态沿 F-G 段向下加速运动,直到开始减速回收为止。此时,外舱在过程控制工作站的指令下以略小于  $1g$  的加速度向下加速运动,直至开始减速回收为止。

(6) 减速回收:当内舱平稳座落到外舱底部时,内外舱又形成一个统一的组合件。此时在过程控制工作站的指令下,落舱组件按照预置的减速曲线运动,沿 G-H-I-J 段减速直至完全停止运动(终止点),从而实现平稳回收。



A. 加速度曲线



B. 速度曲线

落舱工作曲线图

由于采用了信息控制技术和泛能换能技术,工程热物理研究所 22m 落塔已经成功地实现了上抛工作模式。落塔的微重力实验时间已达 2.8s(这相当于一个 60m 高度的落塔能提供的微重力实验时间),实验成功率达 100%,加速过程产生的初始扰动的影响可控制在 0.1s 左右,微重力水平  $\leq 10^{-4}g$ ,领先于美国和德国实现了落塔上抛工作模式,在此项实验技术上处于国际领先地位。