



# 两级火箭失控保险系统

## UCI火箭计划

空气动力及制造工程师: Brandon Hernaez

系统及失控保险工程师: Yuan Zhang

顾问: 教授. Kenneth Mease, Dave McCue

加州大学,尔湾

二稿

*October 12, 2015*



# 目录

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| 部分 1 (Prepared by Brandon Hernaez) | 3  |
| 目标                                 | 3  |
| 简介                                 | 3  |
| 动机                                 | 3  |
| 串联还是并联                             | 3  |
| 发动机选择                              | 4  |
| 空气罩设计                              | 5  |
| Barrowman方程                        | 5  |
| 重心                                 | 8  |
| 设计                                 | 9  |
| 构建                                 | 11 |
| 发射前准备                              | 13 |
| 发射前问题                              | 16 |
| 发射                                 | 17 |
| 失败分析 1                             | 17 |
| 第二次机会 1                            | 18 |
| 结果与估测                              | 24 |
| 部分2 (Prepared by Yuan Zhang)       | 26 |
| 最终失控保险设计                           | 26 |
| 放弃的设计                              | 28 |
| 示意图                                | 29 |
| 航电系统构建                             | 30 |
| 失控保险系统逻辑                           | 35 |
| 流程图                                | 36 |
| 发射前测试                              | 37 |
| 发射分析                               | 37 |
| 飞行数据及录像                            | 38 |
| 失败分析 2                             | 41 |
| IMU失败分析                            | 50 |
| 第二次机会 2                            | 52 |
| 附录                                 | 59 |

## 部分 1 (Prepared by Brandon Hernaez)

### 目标

设计一套失控保险系统用于监测第二级火箭分离后上升阶段的方向。这套监测系统的目的在于控制第二级火箭是否进行点火。这套保险系统同时也用于监测并检查分离是否彻底。而性价比则是一个关键因素，因为我们的目标是交付一套低成本且易于构建的监测方式。

### 简介

在业余火箭中，多级火箭尤为难以制作并且经常失败。很多爱好者经常制作固态发动机的单级火箭来满足兴趣甚至大气研究。在二级或多级火箭中，发动机或采用串联或采用并联。多级火箭的好处在于飞行中重量抛弃并且携带新鲜的推进器。总飞行高度在增加的同时达到此高度的推进剂消耗在降低（如果对比单级火箭）。

### 动机

发射火箭时主要担心分离阶段。对于远距离火箭，重复利用率很低，所以需要反复制作新载体。在如何预判某级火箭能否顺利分离上，并没有简单的判定方法。地面分离测试能够看出火箭分离，但并不能看出上级火箭是否维持稳定朝向。空气动力因素是不可预见的不良影响。当进行分离时，任何对上级火箭的扰动都不会被修正并导致偏离预定飞行路径。主动控制系统能够修正这些扰动但并不在本计划范畴内。主动控制系统对于一般火箭爱好者来说制作和实施难度很大。本失控保险系统目标在于当分离后航线偏离时保护上级火箭免于浪费一个引擎。对于三级火箭发动机，一次重新装填（发动机）要花费700美刀以及一个M号的发动机。如果垂直状态点火，那是极好的，可要是与垂直偏离10度就不好了。

### 串联还是并联

串联的火箭具有比并联火箭更小的阻力，并且在重心与推力中心不重合上比并联问题更少。并联火箭需要在主体四周放置助推火箭，导致火箭重心向火箭尾部下移。

这导致火箭尾翼需要加大来使火箭保持平衡。而增加尾翼尺寸意味着增加尾翼附着部位的密度以及强度，这又增加了重量。串联火箭则很容易在箭体上分布重量。但是，一个稳定性问题又出现了，初级火箭导致上级火箭的尾翼形同一个亚音速的鸭翼。同时，上级火箭的尾翼也在扰乱主尾翼的下降气流。

串联方式的选用是为了减少阻力，同时这种方式也是我们期望的分离方式。常规2级火箭分离方式是通过套筒嵌套，这种方式将两级火箭简单地连接起来，不过是否为火箭设计者的常规选择有待明确。阻力的减少让廉价的固态推进剂成为可能，这也让更轻的推进剂用量及整体重量减轻成为可能。

## 发动机选择

发动机的选择需要综合考虑预算、箭体直径、可见高度以及输出推力。通过访问 Apogeerockets 网站，发动机按照不同类型的用途分门别类。火箭的外径固定为4寸。可选的发动机直径为24毫米、29毫米、38毫米和54毫米。我们试想让火箭在初级发动机燃尽时进行分离，并且当分离发生时能进行观测。因为火箭预计飞行高度在4-6KM，我们需要推力输出大约5倍于重量的发动机，这个数值来源于网络一些资深爱好者，他们认为发动机输出最好5倍于起步重量。38毫米为选定型号因为其较低成本、适当的推力和尺寸。当然，这也意味着火箭定型成功及合适尺寸的尾翼。

38毫米火箭选择因素主要有：总推力、最大推力、燃烧事件以及平均推力。第五稿设计总重接近5KG。所以J350-W选定为可行发动机。

表1: AeroTech J350参数，来自Thrustcurve.org

| J350-W            |                  |                |                     |                |
|-------------------|------------------|----------------|---------------------|----------------|
| Total Impulse/总推力 | Max. Thrust/最大推力 | Burn Time/燃烧时间 | Average Thrust/平均推力 | Prop Weight/重量 |
| 679.1Ns           | 822.5N           | 1.5s           | 445.0N              | 361g           |