### 2.2.1 变质心实现原理

变质心控制，其本质思想是改变飞行器质心位置，进而利用气动配平力对质心的力矩形成控制力矩。以平飞状态为例进行说明

|  |  |
| --- | --- |
| （a）质心位置处于机身中轴线示意 | （b）质心位置沿翼展向右偏移示意 |

图 3 横向变质心示意

如上图所示，曲线表示作用在机翼表面的气动力，G点为质心位置，G\*为发生质量转移后质心位置（变质心）。对于图5，当质心位置处于机身中轴线时，气动力对G点的和力矩为0，此时不存在控制力矩，而当处于图6状态，即质心位置沿翼展方向偏移至G\*时，气动分布力对质心的合力矩将会产生一个控制力矩，利用该机制即可通过改变质心位置产生滚转力矩进而实现滚转姿态的控制。

### 2.2.2 变质心动力学方程推导

为开展变质心飞行器动力学特性分析，现假设飞行器处于完全配平飞行状态，即飞行状态水平，升力与重力相平衡，在此假设下考虑滚转姿态的变质心动力学特性。

易知，对于液体质量转移，只需考虑液体从一个容器中转移至另一容器的变化，而途径传输管时刻保持充满状态，不会影响质心的位置。现假设液体由中部储存容器至外部储存容器的水平传输距离为Lh，即两侧外部储存容器中心点距离为2L（为简化运算不计储存容器体积，将其视作质点），故当单侧机构从中部向外部转移质量时，质心位置的偏移量有公式，



其中M为飞行器非流动部分重量（包含机构与飞行器本体），2m为单侧变质心机构内所含液体重量，其中中部与外部初始所含液体质量相等。

在配平状态下，飞行器升力与重力平衡，作用焦点位于飞行器体轴上，当飞行器质心位置偏移后，等效的俯角滚转力矩Mｒ可近似为，



由理论力学平行移轴定理与叠加原理可知，对于偏移后的质心位置，滚转方向绕其的转动惯量为，



进而有飞行器滚转通道的动力学方程，



其中ω为飞行器滚转角速率，Md为滚转气动阻力矩。

此外考虑俯仰方向质心偏移量，用于后续数据处理，假设液体中部储存容器原点距离质心竖直距离为Lv，储存容器截面积为S，故当单侧机构从中部向外部转移质量时，质心位置的偏移量有公式

