

与质量 m 就越大,因此系统的“弹性”就会降低,超调就会减小。在无阻尼状态 $\zeta=0$ 时,系统的“弹性”最大, $M_p=100\%$,即最大会超调 1 倍(参考图 5.3.4)。

(3) 稳定时间 T_s 。

这个指标一般是通过实验测试得到的,也可以采用估算的办法得到。根据其定义,可得

$$x(T_s) = 1 - e^{-\zeta\omega_n T_s} \sqrt{\frac{1}{1-\zeta^2}} \sin(\omega_d T_s + \varphi) = 0.98 \quad (5.4.8)$$

考虑在稳态时振动部分的最大值,即 $\sin(\omega_d T_s + \varphi) = 1$, 式(5.4.8)变为

$$e^{-\zeta\omega_n T_s} \sqrt{\frac{1}{1-\zeta^2}} = 0.02$$

$$\Rightarrow T_s = \frac{4}{\zeta\omega_n} \quad (5.4.9)$$

式(5.4.9)说明稳定时间与 $\zeta\omega_n$ 成反比,根据式(5.2.3b), $\zeta\omega_n$ 是传递函数系统极点的实部,将决定系统的收敛速度(参考图 5.3.2)。

5.4.2 二阶系统的性能分析

5.4.1 节中介绍了三个重要的二阶系统性能指标,本节将讨论它们在实际案例分析中的应用。重新思考本节提出的无人机案例,面对图 5.4.2 中的三条轨迹,可以使用上述性能指标来进行比较。在分析之前,还需要做一步工作,为评价这三种算法制定一个规则,并在此规则下为这三种算法排名和打分(1 分、2 分或 3 分)。我们将使用一种非常简单的打分方式,具体规则如下。

指标(1)是上升时间 T_r : 上升时间越短说明系统的反应速度越快。因此对这个指标评价时,越短得分越高。在图 5.4.2 中,轨迹 1 的响应速度最快,它最先上升到参考高度,所以得 3 分。紧接着是轨迹 2 和 3,分别得 2 分和 1 分。

指标(2)是最大超调量 M_p : 当无人机改变高度的时候,我们当然希望它可以一步到位,而不是先超过再回来的“矫枉过正”的运行轨迹。所以没有超调量的轨迹 3 得 3 分,而轨迹 1 则在这项评比中垫底得 1 分。

指标(3)是稳定时间 T_s : 这个指标也是越短分数越高。可以看到轨迹 3 最好得 3 分,轨迹 1 最差只得 1 分。

将上面的评分总结到表 5.4.1 中并用一个雷达图表示,如图 5.4.4 所示。

表 5.4.1 系统的性能指标与评分

轨 迹	性能指标得分		
	T_r	M_p	T_s
轨迹 1	3	1	1
轨迹 2	2	2	2
轨迹 3	1	3	3

读者如果是游戏玩家的话,就不会对图 5.4.4 感到陌生,这种雷达图被大量地使用在游戏中展示角色的各项能力。当然,根据打分的规则,这个三角形越大就越好,说明它在各项评比中都得到了高分。但是在现实生活中,各项指标都优秀的系统几乎是不存在的,尤其是