



# STANLEY横向控制算法说明

2020年11月

# 1 STANLEY简介

Stanley 控制器对转向角的控制结合三个需求：1. 减小航向角误差。 2. 减小横向误差。  
3. 满足最大转向角限制。

$$\delta = \begin{cases} \delta_{\min}, & \text{if } \operatorname{atan}\left(\frac{ke}{v_f}\right) + \varphi < \delta_{\min} \\ \delta_{\max}, & \text{if } \operatorname{atan}\left(\frac{ke}{v_f}\right) + \varphi > \delta_{\max} \\ \operatorname{atan}\left(\frac{ke}{v_f}\right) + \Delta\varphi, & \text{else} \end{cases}$$

$\delta$ 为期望转向角

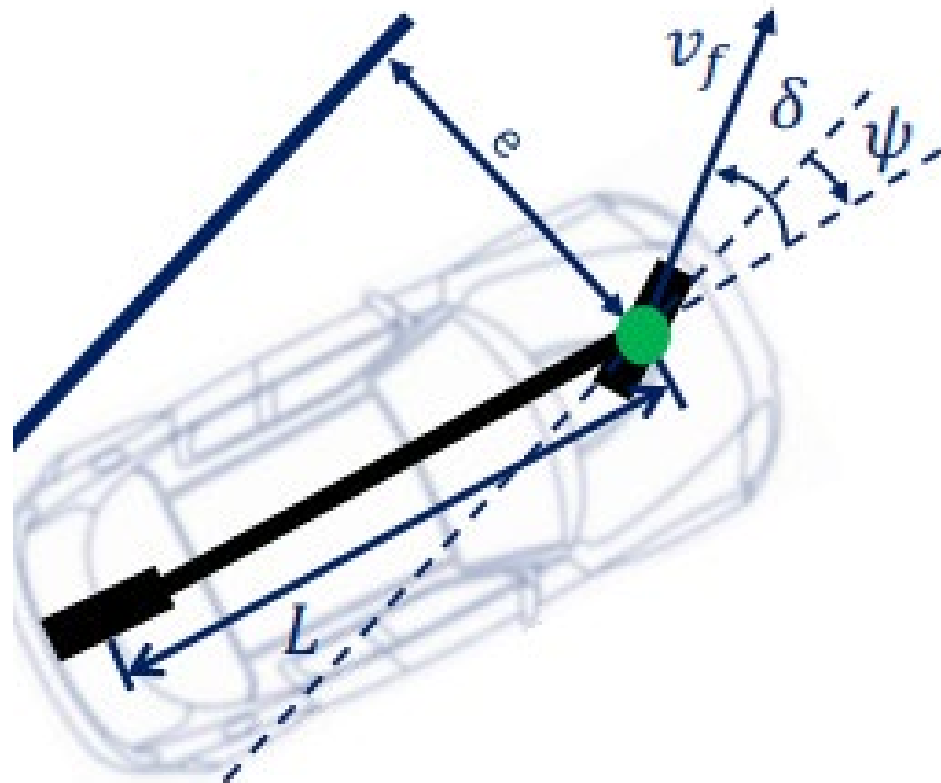
$\delta_{\min}$ 为右转的最大转向角（为负）

$\delta_{\max}$ 为左转的最大转向角（为正）

$v_f$ 为车辆速度

$e$ 为横向误差

$\varphi$ 为角度误差



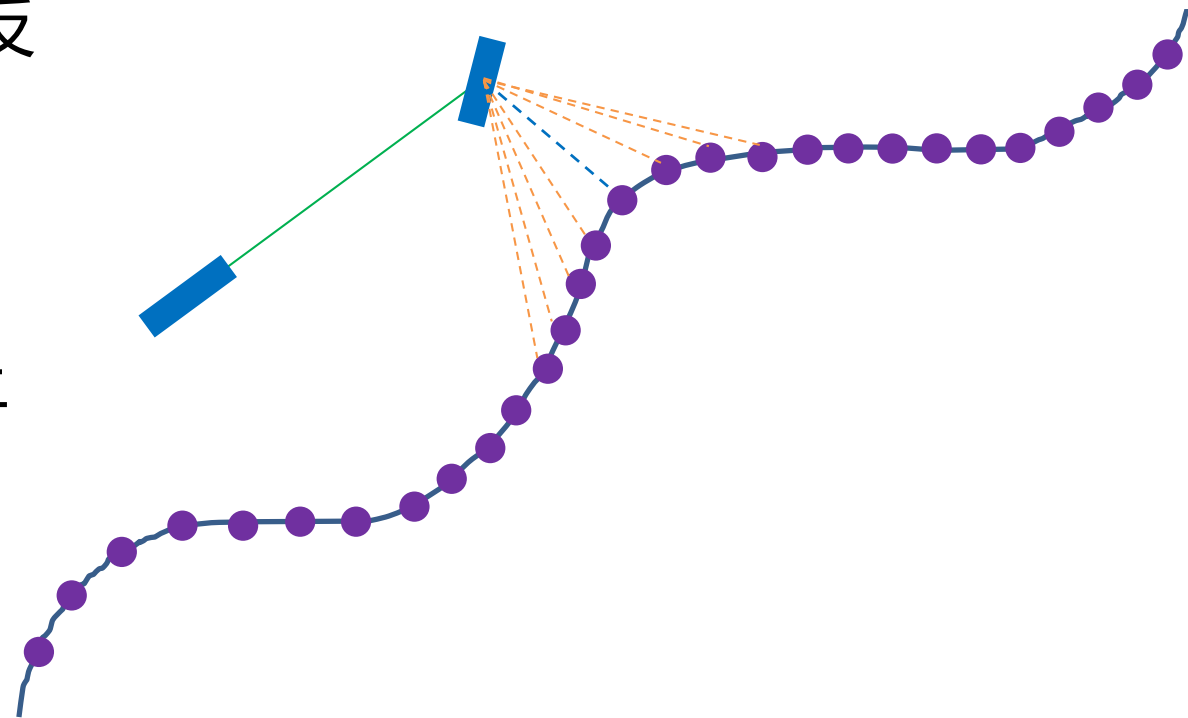
## 2 如何寻找最近点

Stanley 控制器需要找到与最近点的角度误差和横向误差，如何寻找最近点？

1. 从第一个路点开始往后遍历，直到找到与前轴中心最近点。
2. 遍历过程中，对角度做一个约束，防止找到反向的道路。

$$|\text{mod}(\varphi_r - \varphi_v + 3\pi, 2\pi) - \pi| < \pi/2$$

3. 为提高效率，第2次找最近点时只需在上一个最近点前后找即可。



### 3 如何计算横向距离

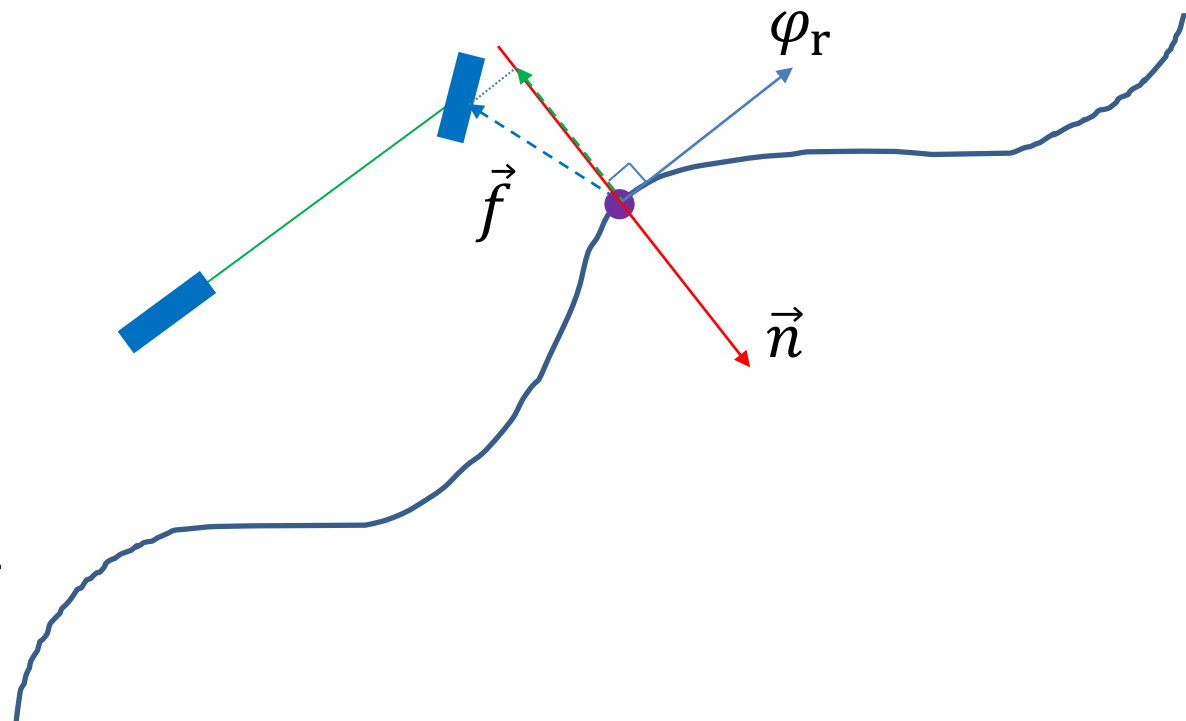
Stanley 控制器需要找到与最近点的横向误差，如何计算横向误差？

1. 车辆位于道路右侧，横向误差为正，车辆位于道路左侧，横向误差为负。
2. 采用向量投影方法。
3. 先将最近点方向向量顺时针选择90度。

$$\vec{n} = \begin{bmatrix} \cos(\varphi_r - \pi/2) \\ \sin(\varphi_r - \pi/2) \end{bmatrix}$$

4. 而后将最近点与车辆前轴连线向量往旋转后向量上投影。

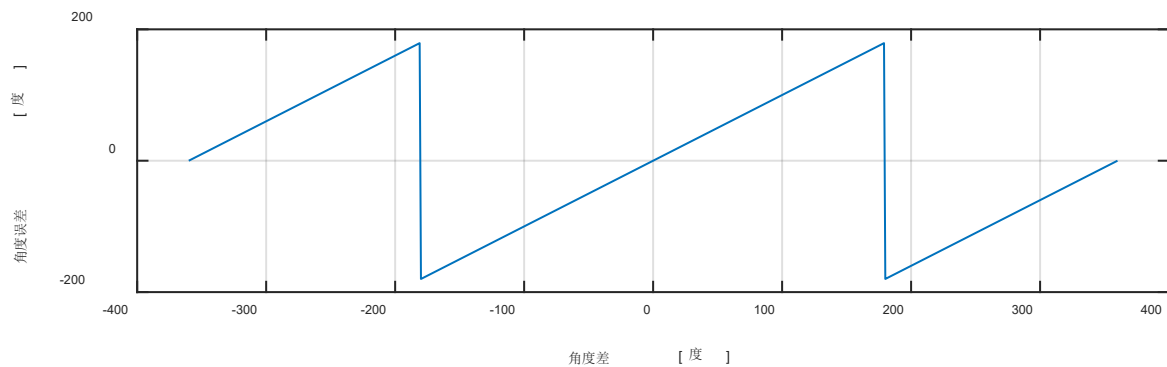
$$\begin{aligned} e = \vec{n} \cdot \vec{f} &= \begin{bmatrix} \cos(\varphi_r - \pi/2) \\ \sin(\varphi_r - \pi/2) \end{bmatrix}^T \cdot \begin{bmatrix} x_v - x_r \\ y_v - y_r \end{bmatrix} \\ &= (x_v - x_r) \cos(\varphi_r - \pi/2) \\ &\quad + (y_v - y_r) \sin(\varphi_r - \pi/2) \end{aligned}$$



# 4 如何计算角度误差

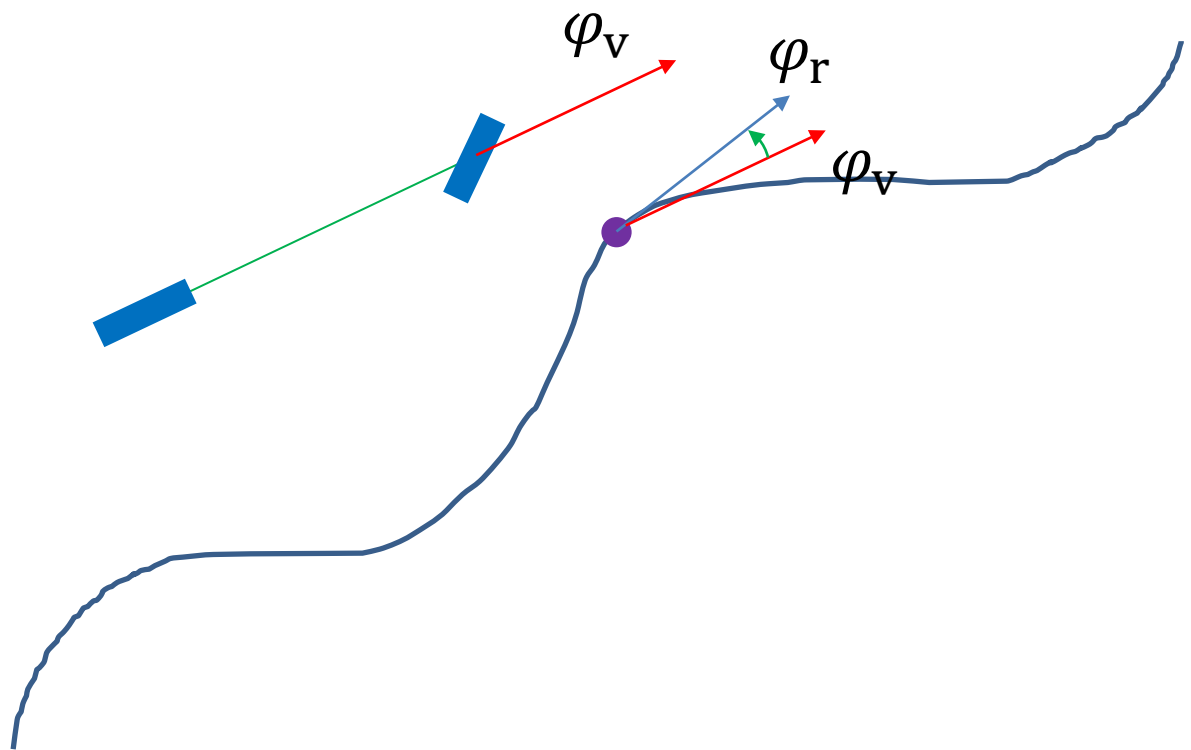
Stanley 控制器需要找到与最近点的角度误差，如何计算角度误差？

1. 道路方向位于车辆方向逆时针方向，角度误差为正；道路方向位于车辆方向顺时针方向，角度误差为负。
2. 角度误差需要整理到 $(-\pi, \pi]$ 。



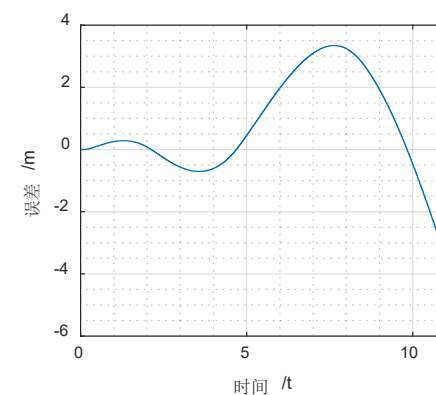
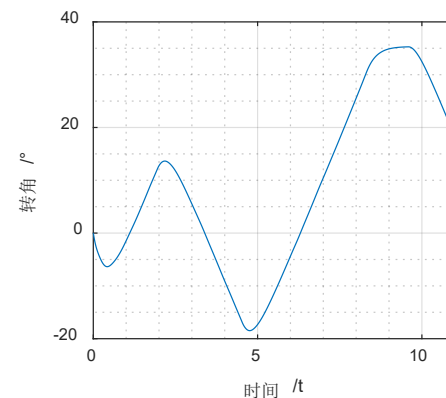
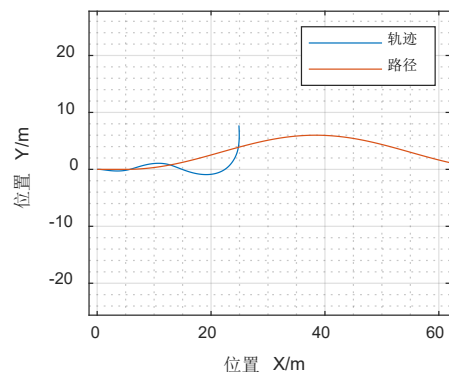
3. 角度误差计算公式为：

$$\varphi = \text{mod}(\varphi_r - \varphi_v + 3\pi, 2\pi) - \pi$$

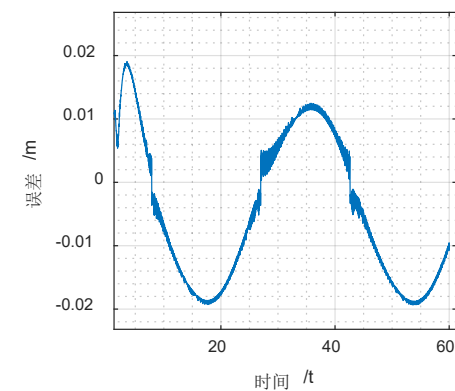
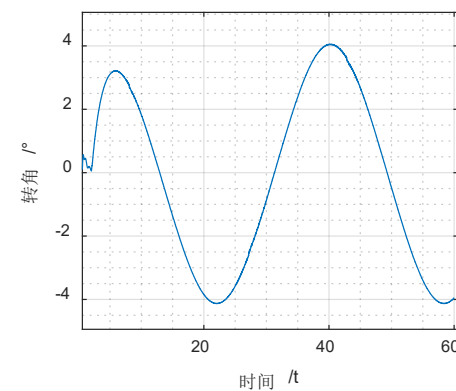
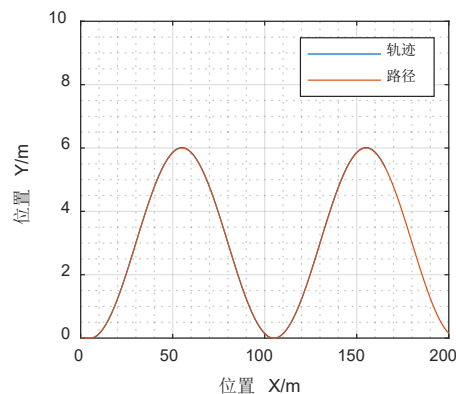


# 5 系数有何影响

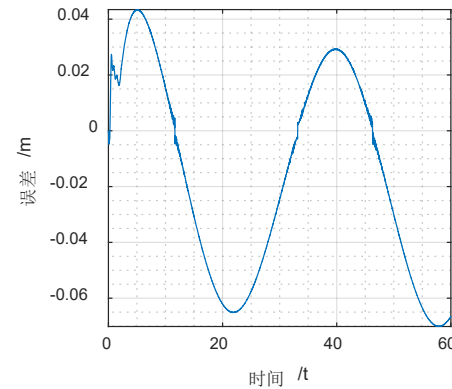
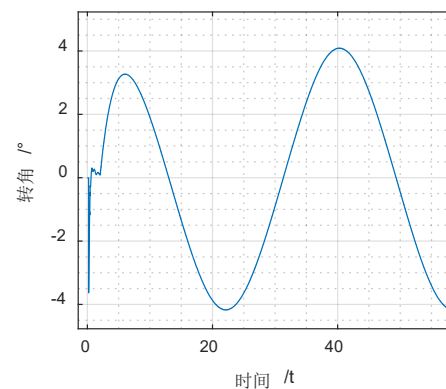
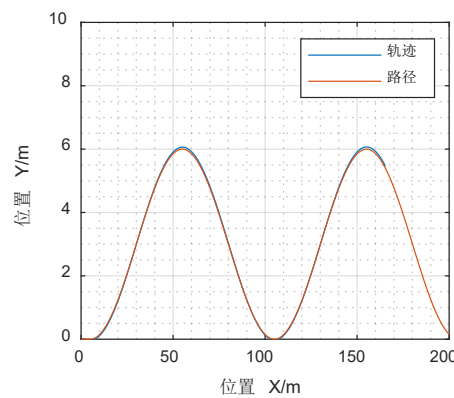
速度10km/h,  $k = 8$   
K值过大, 发散



速度10km/h,  $k = 0.6$   
K值适中

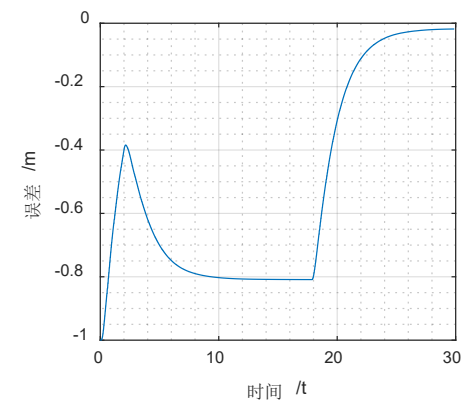
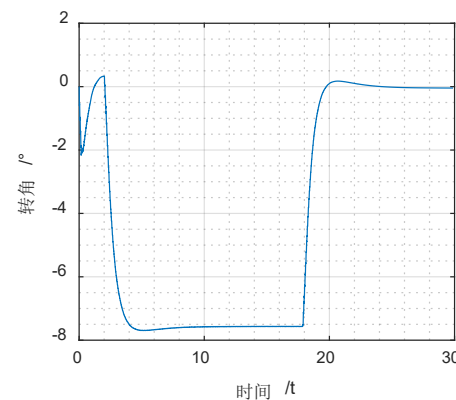
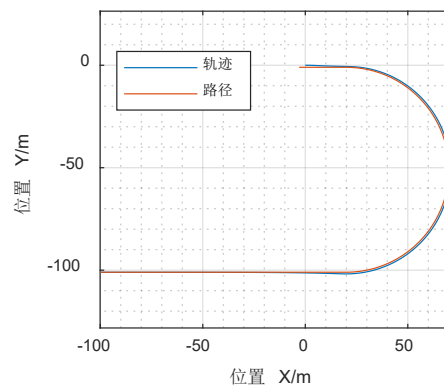


速度10km/h,  $k = 0.1$   
K值过小, 误差较大

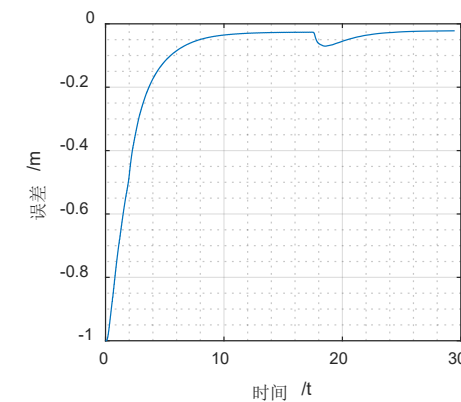
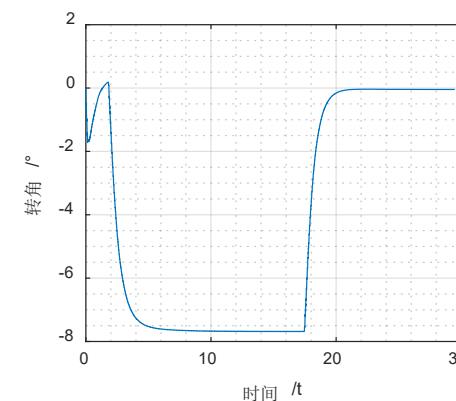
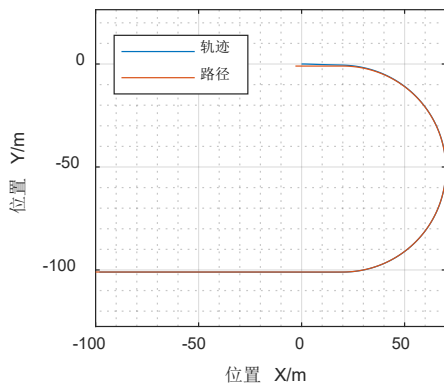


# 6 是否需要预瞄

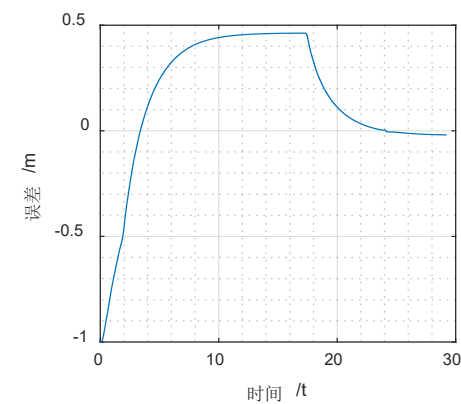
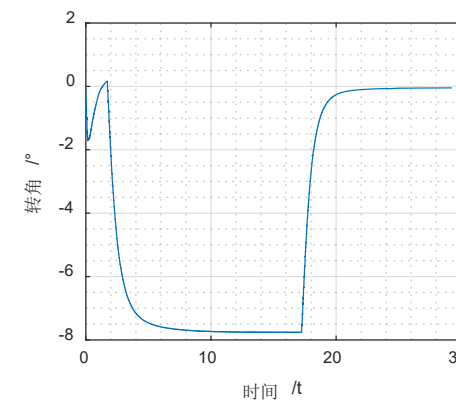
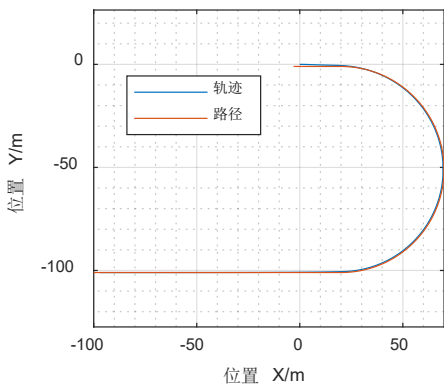
速度36km/h,  $k = 0.5$ ,  
无预瞄, 转弯偏外侧



速度36km/h,  $k = 0.5$ ,  
预瞄2m, 平衡



速度36km/h,  $k = 0.5$ ,  
预瞄3m, 转弯偏内侧



## 7 其他注意事项

1. 所有计算，请全部采用弧度进行，防止出现三角函数的计算错误。
2. 车辆坐标系，左转为正，右转为负。角度误差和距离误差的正负号判断请根据上述标准进行判断。
3. 待车辆角度范围设定为 $0\sim 360$ 度，路点的角度范围设定为 $0\sim 360$ 度。
4. 路点密一些，控制效果将更佳。
5. 车辆横摆角方向一定要正，否则将产生恒定的横向偏差。
6. 系数不宜调的过大，容易画龙，最后造成失稳。
7. 计算横向距离的点不要预瞄，计算角度误差的点可适当预瞄以防止偏外侧行驶。
8. 低速时，为避免除0，车速需设置下限。





# 湖南大学智能运载系统创新中心



谢谢聆听  
期待指正