

基于 MATLAB 的电梯系统 S 曲线优化研究

李超, 李自成, 张倬精, 周天浩, 温修林
成都理工大学工程技术学院, 四川 乐山 614000

摘要： 本文研究了电梯系统的 S 曲线优化问题，提出了一种基于 MATLAB 的优化算法。通过对传统电梯控制策略的分析，设计了响应时间和乘客舒适度的综合优化方案。在模拟仿真中，使用 MATLAB 工具对电梯运行进行了建模，通过 S 曲线轨迹控制电梯的加减速过程，从而降低机械冲击，提高乘客体验。最后，得到了优化结果，并进行对比分析，验证了该方案的有效性。

关键词： 电梯系统；S 曲线优化；MATLAB；控制策略；乘客舒适度

Study on the S-curve optimization of the elevator system based on MATLAB

Li Chao, Li Zicheng, Zhang Zhuojing, Zhou Tianhao, Wen Xiulin
School of Engineering and Technology, Chengdu University of Technology, Leshan, Sichuan 614000

Abstract： In this paper, we study the S curve optimization of the elevator system and propose an optimization algorithm based on MATLAB. Through the analysis of the traditional elevator control strategy, a comprehensive optimization scheme of response time and passenger comfort is designed. In the simulation, the elevator operation is modeled using the MATLAB tool, and the acceleration and deceleration process of the elevator is controlled through the S-curve trajectory to reduce the mechanical impact and improve the passenger experience. Finally, the optimization results were obtained and a comparative analysis was performed to verify the effectiveness of the scheme.

Keywords： elevator system; S-curve optimization; MATLAB; control strategy; passenger comfort

引言

随着城市建筑的高度不断增加，电梯作为主要的垂直交通工具，其性能直接影响到人们的出行效率与舒适度。传统电梯控制方法多采用简单的加减速控制策略，容易导致较大的机械冲击与乘坐不适。为了解决这一问题，本文提出了一种基于 S 曲线的优化方法，以提高电梯的运行平稳性和乘客舒适度^[1]。

一、电梯系统的基本原理

（一）电梯的结构和工作原理

电梯的基本结构包括变频器、制动器、缓冲器、安全钳、限速器、引入装置、自动开关、变压器等部件。

电梯的工作原理基于曳引系统。电梯的曳引绳一端连接轿厢，另一端连接对重，缠绕在曳引轮和导向轮上^[2]。曳引电动机通过减速器变速后带动曳引轮转动，依靠曳引绳与曳引轮摩擦产生的牵引力，实现轿厢和对重的升降运动，从而达到运输的目的。

（二）电梯的控制系统

电引系统：传递及输出动力，使电梯运作。

导向系统：对轿厢及对重的运行自由度进行控制。

电力拖动系统：由曳引电机、供电系统、速度反馈装置、调速装置等组成，负责对电梯进行速度控制。

轿厢：用于运送物品及乘客。

门系统：负责开启和关闭轿厢门和厅门，确保乘客安全。

重量平衡系统：通过补偿链或补偿绳，保持轿厢的平衡，减少能耗。

二、S 曲线优化理论

（一）S 曲线的定义与特点

S 曲线是一种在控制系统中广泛应用的平滑过渡曲线，由于其逐渐加速和减速的特点，可以有效减少机械冲击和提升乘客的舒适感^[3]。

（二）S 曲线在电梯控制中的应用

在电梯加速和减速过程中，使用 S 曲线可以在保障速度变化平稳的同时，减少对电梯部件的磨损。

曲线在电梯控制系统中有多种重要应用，主要体现在以下几

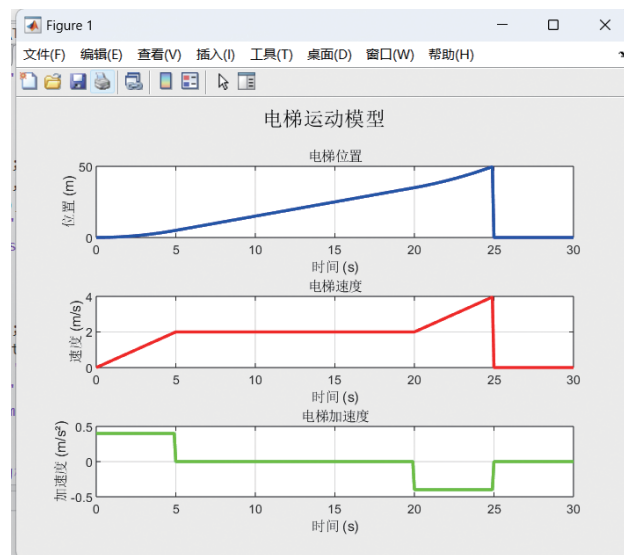
作者简介：李超（2002.12-），男，四川巴中人，单位：成都理工大学工程技术学院，本科在读，研究方向：电气工程及其自动化，邮箱：15520321204@163.com。

个方面：乘客流量预测，速度控制，调度算法，能耗管理，故障诊断。

三、基于 MATLAB 的电梯模型

(一) 电梯运动模型

使用 MATLAB 建立电梯运动方程，包括加速度、速度和位置的变化。可通过牛顿第二定律进行建模。如图 4-1



> 图 4-1 电梯运动模型

(二) S 曲线参数的选择

加速时间 (t_{acc})：电梯从静止状态加速到额定速度所需的时间。通常选择的范围为 1-3 秒，具体时间根据电梯的额定速度和载荷来调整。

减速时间 (t_{dec})：电梯从额定速度减速到静止所需的时间，通常与加速时间相同。为了确保乘客舒适，减速也应渐进。

最大加速度 (a_{max})：单位为 g (重力加速度，约为 9.81 m/s^2)。一般选择 $0.3g$ 到 $0.5g$ 的范围，具体数值依据电梯的设计和运行环境来确定。

最大减速度：减速度参数通常与加速度相似，但也可以略大于加速度，以实现更快的停止。很多情况下，建议不要超过 $0.7g$ 。

平稳段持续时间 (t_{flat})：达到额定速度后，电梯保持平稳行驶的时间。通常这个时间比较短，1-2 秒足够。

S 曲线的弯曲程度：影响加速和减速的平滑度。如果曲线过于陡峭，可能造成乘客的不适；如果过于平缓则可能影响电梯的效率^[4]。

四、优化算法设计

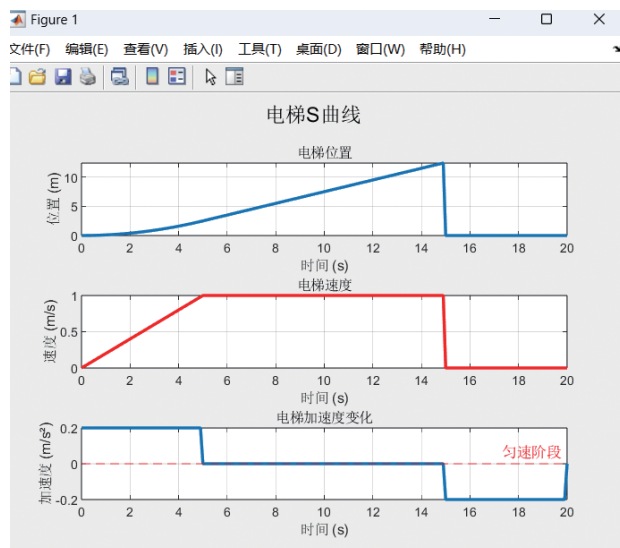
(一) 优化目标及约束

目标是 minimized 电梯的总运行时间和乘客的等待时间，约束条件包括电梯的最大速度和加速度。

(二) 算法实现

基于 MATLAB 的电梯模型的算法实现

1.S 曲线生成如图 5-2



> 图 5-2 电梯 S 曲线

2. 电梯调度算法

(1) 呼叫分配算法

当有多个楼层的呼叫请求时，需要合理分配电梯。一种常见的算法是基于距离原则。在 MATLAB 中，可以通过计算每个电梯当前位置与呼叫楼层的距离来确定响应的电梯。

(2) 路径规划算法

对于电梯的运行路径规划，要考虑效率和舒适性。在 MATLAB 中，可以使用图论算法，如 Dijkstra 算法的变体。将楼层看作节点，电梯的运行方向看作边的权重^[5]。当电梯有多个呼叫任务时，通过 Dijkstra 算法寻找最短路径。

matlab

```
function [path] = elevatorPathPlanning(floor_calls, current_floor)
```

```
graph = constructGraph(floor_calls);
```

```
[~,path] = dijkstra(graph, current_floor);
```

```
end
```

3. 算法优化

(1) 多目标优化

在电梯模型算法中，存在多个优化目标，如乘客等待时间最短、能耗最低、舒适性最佳等。在 MATLAB 中，可以使用多目标优化算法，如 NSGA-II。通过定义目标函数，例如等待时间函数、能耗函数和舒适性评价函数，利用 NSGA-II 算法寻找 Pareto 最优解。

```
function [pareto_front] = elevatorOptimization()
```

```
pop_size = 50;
```

```
num_generations = 100;
```

```
population = initializePopulation(pop_size);
```

```
for i = 1:num_generations
```

```
fitness_values = evaluateFitness(population);
```

```
new_population = selection(population, fitness_values);
```

```
new_population = crossover(new_population);
```

```
new_population = mutation(new_population);
```

```
population = new_population;
end
pareto_front = findParetoFront(population);
end
```

五、仿真实验

(一) 实验设置

1. 仿真实验环境搭建

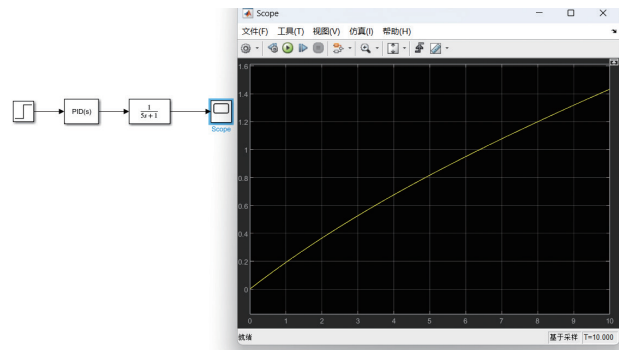
(1) MATLAB 软件平台

在 MATLAB 中，我们可以方便地定义系统参数、编写控制算法和实现数据可视化。其丰富的工具箱，如 Simulink，为我们模拟电梯的动态行为提供了有力支持。

(2) 电梯系统模型建立

控制系统模型

控制系统是实现 S 曲线优化的关键。建立包括速度控制器、位置控制器等在内的控制模型^[6]。速度控制器采用 PID 控制器（比例 - 积分 - 微分控制器），根据设定的速度值和实际轿厢速度的偏差来调整输出信号，控制曳引机的转速。例如，通过调整 PID 参数，使速度控制的超调量小于 5%，稳态误差趋近于零。



> 图6-1 电梯速度 PID 控制

位置控制器则根据目标楼层位置和当前轿厢位置的差值，结合速度控制，实现轿厢的精确停靠。同时，在控制系统中融入 S 曲线生成算法，根据设定的加速度、加加速度等参数生成电梯运行的理想 S 曲线。

2. 实验参数设置

(1) S 曲线参数

1) 加速度和加加速度

设定不同的加速度值，组合这些参数来生成不同特性的 S 曲线，研究它们对电梯运行性能的影响。

对于加速度为 1m/s^2 、加加速度为 1m/s^3 的情况，分析在启动和停止阶段轿厢速度和位置的变化情况，观察其过渡是否平滑。

2) 速度参数

设定电梯的额定速度，根据不同的额定速度，调整 S 曲线的其他参数，使电梯在达到额定速度过程中的加速和减速过程合理。

(2) 负载条件

1) 空载情况

在空载条件下，即轿厢内无乘客，模拟电梯的运行。

2) 不同负载率情况

分别设置轿厢负载率为 25%、50%、75% 和满载（100%）的情况。负载的变化会影响电梯的运行特性，尤其是对曳引机的负载转矩。

3. 实验步骤

(1) 基础 S 曲线运行实验

1) 单参数变化实验

保持其他参数不变，只改变加速度参数，运行仿真模型，记录轿厢的速度、加速度、位置等数据。观察在不同加速度下，电梯从启动到停止的整个运行过程，分析乘客可能感受到的舒适性和运行时间的变化。

对加加速度、额定速度等参数进行单参数变化实验，每次记录相应的数据，为后续的优化分析提供基础。

2) 多参数组合实验

选取不同的加速度、加加速度和额定速度组合，运行仿真模型。例如，加速度为 1m/s^2 、加加速度为 1m/s^3 、额定速度为 3m/s 的组合，以及加速度为 1.5m/s^2 、加加速度为 0.5m/s^3 、额定速度为 4m/s 的组合等。比较不同组合下电梯的整体运行性能，包括舒适性、运行效率和能耗等方面的表现。

(2) S 曲线优化实验

1) 优化算法应用

将基于 MATLAB 的 S 曲线优化算法应用到仿真模型中。例如，采用多目标优化算法，以提高舒适性、降低能耗和缩短运行时间为目标，对 S 曲线参数进行优化。

在优化过程中，观察算法对参数的调整情况，以及调整后的 S 曲线形状变化。通过 MATLAB 的可视化功能，直观地展示优化前后 S 曲线的对比。

2) 优化效果评估

在相同的负载条件和运行场景下，比较优化前后电梯的运行数据。评估舒适性指标，如乘客所受加速度的最大值和变化率，通过计算加速度的均方根值来量化舒适性的改善程度^[7]。

分析运行效率指标，包括平均运行时间和最长等待时间。对于能耗指标，根据曳引机的功率消耗情况，计算在一定运行次数下的总能耗变化。

(二) 结果分析

1. 基础 S 曲线实验结果分析

(1) 单参数变化对运行性能的影响

从加速度单参数变化实验结果来看，当加速度增大时，电梯的运行时间明显缩短，但乘客的舒适性会降低，表现为轿厢内的振动感增强，最大加速度值超过一定限度可能导致乘客站立不稳。

加加速度的变化对舒适性的影响更为敏感，较小的加加速度能使电梯启动和停止过程更加平滑，即使加速度较大，合理的加加速度也能在一定程度上缓解乘客的不适感^[8]。

额定速度的改变主要影响电梯的运行效率，较高的额定速度在长距离运行中能显著减少运行时间，但在加速和减速阶段需要更合理的 S 曲线参数来保证舒适性。

(2) 多参数组合对运行性能的影响

在多参数组合实验中，发现不同参数之间存在相互作用。如加加速度不合理，会导致电梯在启动和停止阶段出现明显的冲击。而合适的参数组合可以在保证一定舒适性的前提下，提高运行效率。

2. S 曲线优化实验结果分析

(1) 优化算法对参数的调整效果

通过优化算法，S 曲线参数得到了合理调整。例如，优化后的加速度和加加速度值在不同负载条件下都能更好地平衡舒适性和运行效率^[9]。在负载变化时，优化算法能够自适应地调整参数，使电梯的运行性能更加稳定。

从可视化的 S 曲线对比可以看出，优化后的曲线在启动和停止阶段更加平滑，加速和减速过程的过渡更加自然，减少了不必要的速度波动。

(2) 优化对运行性能的提升效果

在舒适性方面，优化后的电梯运行中乘客所受加速度的最大值和变化率都明显降低，加速度均方根值减小，乘客在轿厢内几乎感觉不到明显的振动和冲击，大大提高了乘坐体验。

运行效率方面，虽然在某些情况下优化后的单次运行时间可能略有增加，但从整体交通流量来看，平均运行时间和最长等待时间都有所减少，提高了电梯系统的输送能力^[10]。

能耗方面，通过优化 S 曲线参数，曳引机在加速和减速过程中的功率消耗更加合理，尤其是在频繁启停的情况下，总能耗有一定程度的降低，实现了节能效果。

六、结论与展望

本文提出的基于 MATLAB 的电梯系统 S 曲线优化方法有效改善了电梯的运动平稳性与乘客的舒适感。未来的工作可以扩展到多电梯合作调度优化以及对复杂建筑物的适应性研究。

参考文献

[1]王郝. 电梯控制系统的故障与维修技术分析 [J]. 集成电路应用, 2022, 39(01):238-239
[2]刘宏达. 智能技术在电梯控制系统中的运用研究 [J]. 现代工业经济和信息化, 2021, 11(04):121-122
[3]郭亮, 易荣伟. PLC 技术在电梯控制系统中的应用 [J]. 数字技术与应用, 2021, 39(04):19-21.
[4]张军. 基于可编程控制器的电梯控制系统的设计研究 [J]. 中国设备工程, 2020, (01):99-100.
[5]周振钢, 张桂香. 电梯控制系统中变频器改造的探索与实践 [J]. 郑州铁路职业技术学院学报, 2019, 31(04):1-4+7
[6]吴晓雪, 何南, 谷军. 基于组态软件的电梯控制与仿真 [J]. 计算机测量与控制, 2019, 27(11):79-81. 11-4762
[7]张松. 电梯控制系统软件的设计与实现 [D]. 西安电子科技大学, 2019019.002953.
[8]景群. PLC 技术在电梯控制系统中的应用与研究 [J]. 中小企业管理与科技, 2022, (03):187-189.
[9]李欣阳, 张博文, 王慧敏. 基于单片机的智能电梯控制系统设计 [J]. 电脑知识与技术, 2021, 17(32):126-128.2021.3239.
[10]李根. 基于 PLC 的电梯群控系统设计与研究 [D]. 广西: 广西大学, 2020.