物理与生活

高铁决战无人能敌 钱江弄潮还看中国

——高铁不停车过站的运动学探究

吴迪青

（余姚市第四中学　浙江 宁波　315400）

（收稿日期：2016－09－13）

摘　要：讲述了不停车过站高铁的运动学模型及运动学可能性讨论、基本方案吊舱式、改进方案并列驳接式和优化方案顶推离合式.

关键词：丝绸之路　不停车上下客　驳接　吊舱式　并列驳接式　顶推离合式

$G20$ 杭州峰会成果丰硕，世界经济注入中国动力，其中作为国家战略新丝绸之路经济带建设走出去的国家名片之一，中国高铁勇立潮头，无人能敌，中国高铁运行里程世界第一，至 2016 年 9 月 10 日郑徐高铁开通，中国高速铁路营业里程已超 2 万 km，以高速铁路为骨架，包括区际快速铁路、城际铁路及既有线提速线路等构成的快速铁路网基本建成，总规模达 4 万 km 以上，基本覆盖 50 万人口以上城市，7 月 15 日中国标准动车组，分别以 420 km 的时速交会而行，眨眼之间，乘客 1 s 飞过 117 m，这是世界最高速的动车组交会试验，中国高铁走出国门、冲向世界，与俄罗斯、德国、印度尼西亚、泰国等家国签署承建高铁或零部件出口协议，实现高铁全产业链出口，在中国高铁如火如荼勇闯世界的同时，不停车过站再一次进入人们的视线.

1　不停车过站的基本运动学模型

设计师陈建军提出高速不停站火车，而乘客可上下车的设想，他的方案如下：就是在传统火车轨道的正上方再铺设一组轨道，用于一个吊舱运行，乘客在火车到站前进入吊舱等待，如图 1(a) 所示. 当火车头到达吊舱所在位置的下方时，吊舱开始加速启

3　吴茜. 初中生物学核心概念教学的问题与对策研究：[硕士学位论文]. 长春：东北师范大学，2013. 2 ～ 3

4　Paul Dehart Hurd. New Directions in Teaching Secondary School. Chicago：RandMcNally&Company. 1971. 247

5　National Council of Teachers of Mathematics. Principles and Standards for School Mathematics. Reston，VA：Author，2000

6　普莱斯顿·D·费德恩，罗伯特·M·沃格尔. 教学方法——应用认知科学，促进学生学习. 王锦，等译. 上海：华东师大出版社，2006. 462

7　H·林恩·艾利克森. 概念为本的课程与教学. 兰英，译. 北京：中国轻工业出版社，2003

8　张颖之，刘恩山. 核心概念在理科教学中的地位和作用. 教育学报，2010(2)：57 ～ 60

9　National Research Council. A Framework for K－12 Science Education：Practices，Crosscutting Concepts，and Core Ideas. Washington. D. C.：The National Academies Press，2011. 34

10　叶善专. 关于小学科学课程标准科学知识内容修订的思考. hltp://nsse. handsbrain.)com/article. php/175，2009－12－13

11　胡卫平. 科学概念在教学中思维能力的培养. 中国教学学刊，2004(9)：44 ～ 46

12　Joseph D. Novak & D. B. Gowin. Learning How to Learn. England：Cambridge University Press. 1984. 15

13　中华人民共和国教育部. 义务教育物理课程标准(实验). 北京：人民教育出版社，2003. 3

14　中华人民共和国教育部. 普通高中物理课程标准(实验). 北京：人民教育出版社，2003. 3

15　王铭志，陈秉初，周阳. 基于核心概念的生物学探究实验研究. 中学生物学，2011，27(1)：10 ～ 11

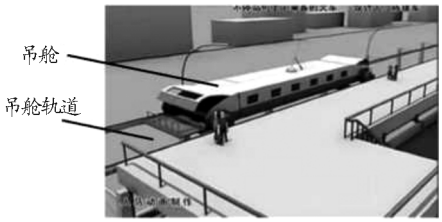
16　李丽. 初中物理概念教学中核心提问策略研究：[硕士学位论文]. 曲阜：曲阜师范大学，2008. 14

动，当吊舱速度与火车相同时，吊舱锁住火车车顶，乘客通过一个楼梯进入或离开底下的火车车厢，如图 1(b) 所示. 乘客上下车完毕时，吊舱解除和火车的锁定.

如果不停站火车过站台时速度控制在 $v=72$ km/h 匀速运行，已知吊舱加速和减速过程的加速度大小恒定且为 $a=2\ \mathrm{m/s^2}$，吊舱锁住火车给乘客上下车的时间为 $t=5$ min. 求：

(1) 火车正上方提供吊舱运行的轨道至少要多长；

(2) 如果传统火车过站也停 5 min 来让乘客上下车，已知传统火车加速和减速的加速度大小均为 $a_0=1\ \mathrm{m/s^2}$，北京到广州中间经过 30 个站台，则新方案使火车从北京到广州缩短了几 min?



(a) 乘客从吊舱停靠站上下吊舱

(b) 行驶途中示意图

图 1

运动学解：

(1) 列车运动速度

$$v=72\ \mathrm{km/h}=20\ \mathrm{m/s}$$

吊舱加速和减速时间

$$t=\frac{v}{a}=10\ \mathrm{s}$$

轨道长度

$$s=\frac{1}{2}at^2+vt_0+\frac{1}{2}at^2=6\ 200\ \mathrm{m}$$

到北京的辅助轨道总长

$$s_{总}=30s=186\ 000\ \mathrm{m}=186\ \mathrm{km}$$

(2) 传统火车过站

减速进站和加速出站的时间

$$t_1=t_2=\frac{v}{a_0}=20\ \mathrm{s}$$

减速和加速的位移

$$x_1=x_2=\frac{v^2}{2a_0}=200\ \mathrm{m}$$

停车时间

$$t_0=5\ \mathrm{min}=300\ \mathrm{s}$$

以 72 km/h 车速经过 x_1+x_2 所需时间

$$t_3=\frac{x_1+x_2}{v}=20\ \mathrm{s}$$

相比传统火车过一站节约时间

$$\Delta t=t_1+t_2+t_0-t_3=320\ \mathrm{s}$$

到北京节约时间

$$t_{总}=30\Delta t=9\ 600\ \mathrm{s}=160\ \mathrm{min}$$

2　不停车过站高铁的运动学模型

现在我们国家的高铁行驶速度为 300 km/h，如果按此速度过站计算，从运动学的角度看看有没有可能性.

(1) 列车运动速度

$$v=300\ \mathrm{km/h}=83.33\ \mathrm{m/s}$$

吊舱加速和减速时间

$$t=\frac{v}{a}=41.67\ \mathrm{s}$$

轨道长度

$$s=\frac{1}{2}at^2+vt_0+\frac{1}{2}at^2=28\ 472\ \mathrm{m}=28.5\ \mathrm{km}$$

到北京的辅助轨道总长

$$s_{总}=30s=855\ \mathrm{km}$$

(2) 传统高铁火车过站

减速进站和加速出站的时间

$$t_1=t_2=\frac{v}{a_0}=83.33\ \mathrm{s}$$

减速和加速的位移

$$x_1=x_2=\frac{v^2}{2a_0}=3\ 472\ \mathrm{m}$$

停车时间

$$t_0=5\ \mathrm{min}=300\ \mathrm{s}$$

以 300 km/h 车速过这 x_1+x_2 所需时间

$$t_3=\frac{x_1+x_2}{v}=83\ \mathrm{s}$$

相比传统高铁火车过一站节约时间

$$\Delta t=t_1+t_2+t_0-t_3=383\ \mathrm{s}$$

到北京节约时间

$$t_{总}=30\Delta t=11\ 490\ \mathrm{s}=191.5\ \mathrm{min}$$

讨论：

(1) 广州到北京的铁路里程是 2 300 km，辅道长超过全程长的$\frac{1}{3}$，从建设投资来看性价比不高；

(2) 如此高的速度吊舱与主车近距离耦合技术难度有待商榷；

(3) 吊舱能达到如此高的速度安全性是不是能否保证？目前世界上缆车都是低速的，其中最大的原因在于安全性.

3　高铁不停车过站改进方案的运动学模型

克服上面提出的问题的解决方案：

(1) 过站减速，例如减速到 72 km/h 过站；

(2) 采用并列式驳接方式，辅道与主道平行.

高速不停站火车，而乘客可上下车，改进方案如下：在传统火车轨道旁边再铺设一组平行轨道，用于驳接舱运行，乘客在驳接舱里等待，主火车到站前减速到 72 km/h 的速度，当火车头到达驳接舱所在位置时，驳接舱开始加速启动，当驳接舱速度与火车相同时，驳接舱锁住火车，乘客有驳接舱进入火车车厢. 乘客上下车完毕时，吊舱解除和火车的锁定. 不停站火车过站台时速度控制在 $v=72$ km/h 匀速运行，已知主火车和驳接舱加速和减速过程的加速度大小恒定且为 $a=2$ m/s^2，驳接舱锁住火车给乘客上下车的时间为 $t=5$ min，火车正常行驶速度为 300 km/h. 求：

(1) 火车辅道提供驳接舱运行的轨道至少要多长；

(2) 如果传统火车过站也停 5 min 来让乘客上下车，已知传统火车加速和减速的加速度大小均为 $a_0=1$ m/s^2，北京到广州中间经过 30 个站台，则新方案使火车从北京到广州缩短了几 min?

运动学解：

这个模型的运动学计算不能用基本模型的计算方法，必须与正常速度过站相比.

(1) 列车进站速度

$$v=72\ \text{km/h}=20\ \text{m/s}$$

驳接舱加速和减速时间

$$t=\frac{v}{a}=10\ \text{s}$$

轨道长度

$$s=\frac{1}{2}at^2+vt_0+\frac{1}{2}at^2=6\ 200\ \text{m}$$

到北京的辅助轨道总长

$$s_{总}=30s=186\ 000\ \text{m}=186\ \text{km}$$

(2) 传统高铁火车过站

减速进站和加速出站的时间

$$t_1=t_2=\frac{v}{a_0}=83.33\ \text{s}$$

减速和加速的位移

$$x_1=x_2=\frac{v^2}{2a_0}=3\ 472\ \text{m}$$

停车时间

$$t_0=5\ \text{min}=300\ \text{s}$$

以 300 km/h 车速经过 x_1+x_2 所需时间

$$t_3=\frac{x_1+x_2}{v}=83\ \text{s}$$

相比正常速度过站传统高铁火车过一站耽搁时间

$$\Delta t_1=t_1+t_2+t_0-t_3=383\ \text{s}$$

(3) 降速不停车过站

减速和加速时间

$$t_4=t_5=\frac{\Delta v}{a}=\frac{83.33-20}{2}s=31.67\ \text{s}$$

减速和加速的位移

$$x_4=x_5=\frac{v^2-{v_0}^2}{2a}=1\ 636\ \text{m}$$

驳接时间

$$t_0=5\ \text{min}=300\ \text{s}$$

驳接距离

$$x_3=v_0t_0=6\ 000\ \text{m}$$

以 300 km/h 车速经过 $x_3+x_4+x_5$ 所需时间

$$t_6=\frac{x_3+x_4+x_5}{v}=111.27\ \text{s}$$

相比正常速度过站降速不停车过一站耽搁时间

$$\Delta t_2=t_4+t_5+t_0-t_6=252\ \text{s}$$

所以降速过站比传统过站节约时间

$$\Delta t=\Delta t_1-\Delta t_2=131\ \text{s}$$

到北京节约时间

$$t_{总}=30\times\Delta t=3\ 930\ \text{s}=65.5\ \text{min}$$

从现行高铁运行时间的基础上还要节约一个多小时，效果尚可，但与投入相比性价比还是不高.

4　高铁不停车过站优化方案的运动学模型

降速以后节约时间上损失很大，性价比还是不

高，克服上面降速大的解决方案：

(1) 过站减速，例如减速到 250 km/h 过站；

(2) 采用顶推离合式驳接方式，辅道与主道平行，驳接舱与主车一起运行，驳接舱进站轮换.

高速不停站火车，而乘客可上下车，优化解决方案如下：

在火车进站时，轨道旁边再铺设一组平行轨道，用于驳接舱进站，如图 2 所示. 主线上驳接舱 1 与主车一起运行，上下乘客在驳接舱 1 和 2 里等待，主火车到站前减速到 250 km/h 的速度，驳接舱 1 不减速，此时驳接舱脱离主车，待到一定安全距离后进入辅道，立刻减速至站台，驳接舱 2 提前在站台启动，保证加速到正常速度恰好进入主道与主车结合，完成上下客驳接舱的互换，经计算主车在距离站台 2 500 m时减速能与驳接舱2安全结合，已知主火车和驳接舱加速和减速过程的加速度大小恒定且为 $a=3\ \mathrm{m/s^2}$，火车正常行驶速度为 300 km/h. 求：

(1) 火车辅道提供驳接舱运行的轨道至少要多长；

(2) 如果传统火车过站停 5 min 来让乘客上下车，已知传统火车加速和减速的加速度大小均为 $a_0=1\ \mathrm{m/s^2}$，北京到广州中间经过 30 个站台，则新方案使火车从北京到广州缩短了几 min?

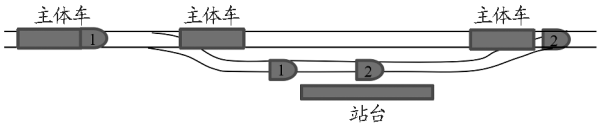


图 2　主体车不停站，乘客通过驳接舱上下车

运动学解：

(1) 驳接舱进站速度

$$v=300\ \mathrm{km/h}=83.33\ \mathrm{m/s}$$

驳接舱加速和减速时间

$$t=\frac{v}{a}=27.78\ \mathrm{s}$$

辅助轨道长度

$$s=\frac{1}{2}at^2+\frac{1}{2}at^2=2\ 314.63\ \mathrm{m}$$

(2) 传统高铁火车过站

减速进站和加速出站的时间

$$t_1=t_2=\frac{v}{a_0}=83.33\ \mathrm{s}$$

减速和加速的位移

$$x_1=x_2=\frac{v^2}{2a_0}=3\ 472\ \mathrm{m}$$

停车时间

$$t_0=5\ \mathrm{min}=300\ \mathrm{s}$$

以 300 km/h 车速经过 x_1+x_2 所需时间

$$t_3=\frac{x_1+x_2}{v}=83\ \mathrm{s}$$

相比正常速度过站传统火车过一站耽搁时间

$$\Delta t_1=t_1+t_2+t_0-t_3=383\ \mathrm{s}$$

(3) 降速不停车主车过站

减速后的速度

$$v_0=250\ \mathrm{km/h}=69.44\ \mathrm{m/s}$$

减速和加速时间

$$t_4=t_5=\frac{\Delta v}{a}=\frac{83.33-69.44}{3}s=4.63\ \mathrm{s}$$

减速和加速的位移

$$x_4=x_5=\frac{v^2-{v_0}^2}{2a}=353.66\ \mathrm{m}$$

匀速位移

$$x_6=2\ 500+\frac{s}{2}-x_4-x_5=2\ 950\ \mathrm{m}$$

主车匀速过站时间

$$t_6=\frac{x_6}{v_0}=42.48\ \mathrm{s}$$

以 300 km/h 车速经过 $x_4+x_5+x_6$ 所需时间

$$t_7=\frac{x_4+x_5+x_6}{v}=43.89\ \mathrm{s}$$

相比正常速度过站降速不停车过一站耽搁时间

$$\Delta t_2=t_4+t_5+t_6-t_7=7.85\ \mathrm{s}$$

所以优化方案降速过站比传统过站节约时间

$$\Delta t=\Delta t_1-\Delta t_2=375.15\ \mathrm{s}$$

到北京节约时间

$$t_{总}=30\times\Delta t=11\ 254.5\ \mathrm{s}=187.58\ \mathrm{min}=3.13\ \mathrm{h}$$

从现行高铁运行时间的基础上还要节约 3 个多小时，效果凸显.

可以预见，随着中国高铁技术的不断进步和成熟，在不远的将来，高铁不停车上下客将为你提供更加便捷的出行，期待这一天的早日到来.

参 考 文 献

1　黄鉴，彭其渊. 高速列车停站优化问题的两阶段求解算法. 西南交通大学学报，2016(3)