

ICS

CCS

团 体 标 准

T/CMES XXXX—202X

代替 T/CMES XXXX—201X

轨道交通 城轨车辆 牵引系统仿真软件技术要求 Simulation Technical Conditions for Rail Transit Traction Systems (征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国机械工程学会 发布

中国机械工程学会标准征求意见稿

中国机械工程学会（英文简称 CMES）是具备开展国内、国际标准化活动资质的全国性社会团体。制定中国机械工程学会团体标准，以满足企业需要和市场需求，推动机械工业创新发展，是中国机械工程学会团体标准的工作内容之一。中国境内的团体和个人，均可提出制、修订中国机械工程学会团体标准的建议并参与有关工作。

中国机械工程学会团体标准按《中国机械工程学会标准化管理办法》进行制定和管理。

中国机械工程学会团体标准草案经向社会公开征求意见，并得到参加审定会议的 3/4 以上的专家、成员的投票赞同，方可作为中国机械工程学会团体标准予以发布。

在本标准实施过程中，如发现需要修改或补充之处，请将意见和有关资料寄给中国机械工程学会，以便修订时参考。

本标准版权为中国机械工程学会所有。除了用于国家法律或事先得到中国机械工程学会正式许可外，不许以任何形式复制、传播该标准或用于其他商业目的。

中国机械工程学会地址：北京市海淀区首体南路 9 号主语国际 4 座 11 层

邮政编码：100048 电话：010-68799027 传真：010-68799050

网址：www.cmes.org 联系人：袁俊瑞 电子信箱：yuanjr@cmes.org

目 次

目 次..... II

前 言..... IV

引 言..... V

1 范围..... 6

2 规范性引用文件..... 6

3 一般要求..... 6

 3.1 符号及计量单位..... 6

 3.2 主要物理量的单位及取值规定..... 6

 表 1 主要物理量的单位及取值规定..... 6

4 仿真功能概述..... 7

 4.1 整车动力仿真设计..... 7

 4.2 运行工况仿真评估..... 7

5 仿真输入..... 7

 5.1 车辆参数..... 7

 5.2 环境参数..... 9

 5.3 时刻表信息..... 9

 5.4 运行参数..... 10

 5.5 其它..... 10

6 仿真要求..... 10

 6.1 列车阻力仿真..... 10

 6.2 列车运动学仿真..... 11

 6.3 制动距离仿真..... 11

 6.4 牵引传动系统电特性仿真..... 11

 6.5 牵引传动系统温升仿真..... 11

 6.6 列车运行能耗仿真..... 12

7 仿真后处理要求..... 12

 7.1 仿真结果展示要求..... 12

7.2 仿真数据导出要求.....13

7.3 仿真报告要求.....13

参考文献.....14

中国机械工程学会标准征求意见稿

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国机械工程学会提出并归口。

本文件起草单位：中车株洲电力机车研究所有限公司、清华大学、北京金风科创风电设备有限公司、苏州同元软控信息技术有限公司、襄阳中车电机技术有限公司。

本文件主要起草人：XXXXX、XXXXX、XXXXX、XXXXX、XXXXXX、XXXXX、XXXXX、XXXXX、XXXXX、XXXXX、XXXXX、XXXXX。

本文件首次制定。

中国机械工程学会标准征求意见稿

引 言

当前轨道交通牵引系统仿真软件技术正处于不断发展和完善的过程中，尽管目前尚未完全稳定，但通过持续的研究和技术进步，预计未来将逐步实现技术稳定，通过本标准明确轨道交通列车牵引系统仿真软件功能需求及所用的主要技术参数、术语，通过构建牵引系统仿真软件实现以上功能要求及参数计算要求，为列车牵引系统的设计、优化、验证提供强有力的技术支持。

中国机械工程学学会标准征求意见稿

1 范围

本文件规定了城市轨道交通列车牵引系统仿真软件一般要求，仿真功能，仿真输入，仿真要求仿真后处理要求等。

本文件适用于城市轨道交通列车，其它列车或动车组可参照适用。

2 规范性引用文件

1) 下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

2) TB/T 1407.1-2018 列车牵引计算

3) GB/T 4549.3 铁道车辆词汇

3 一般要求

3.1 符号及计量单位

所有参数均采用国家法定计量单位。

3.2 主要物理量的单位及取值规定

主要物理量的单位及取值规定见表1。

表1 主要物理量的单位及取值规定

主要物理量的名称	单位	取值规定
区间距离	km	取至5位小数
坡段长度	m	取至2位小数
坡道坡度	‰	取至2位小数
牵引力、制动力	kN	取至2位小数
单位牵引力、单位阻力、单位制动力	N/kN	取至2位小数
速度	km/h	取至2位小数

主要物理量的名称	单位	取值规定
牵引质量	t	取至3位小数
区间运行时间	s	以整数计
电流	A	以整数计
耗电量	kW·h	取至2位小数
单位时间耗电量	kW·h/min	取至2位小数
单位耗电量	kW·h/(t·km)	取3位有效数字
弯道长度	m	取至2位小数
弯道半径	m	以整数计
隧道长度	m	以整数计

4 仿真功能概述

4.1 整车动力仿真设计

设定列车不同载荷信息(AW0\AW1\AW2\AW3)、列车编组数,额定工况下整车特性功率拐点(包括牵引恒功区间起始速度、恒功区间结束速度、电制动恒力矩起始点速度、电制动恒力矩退出点速度),列车额定工作网压值,启动阻力及基本阻力计算公式,列车运行需求(最大速度、最大牵引加速度、最小制动减速度)。仿真设计整车牵引/制动特性,并验证整车是否满足加/减速度运行要求、救援工况要求、故障工况要求。

4.2 运行工况仿真评估

基于设定的车辆参数、线路参数、运行参数、运行模式、网压参数,实现列车不同运行工况的仿真计算,不同运行工况下整车运行能耗计算,关键部件、设备(如牵引电机、牵引变流器、电抗器等)电气特性、温升特性。

5 仿真输入

5.1 车辆参数

车辆参数包括基本参数、载荷信息、牵引传动系统参数、环境参数，时刻表信息、运行参数等。

5.1.1 基本参数

车辆参数应包括：列车长度、载荷信息、列车动力配置（动车数量、拖车数量）、列车轮径、齿轮箱传动比、齿轮箱效率。

5.1.2 载荷信息

列车载荷信息包括：AW0，AW1，AW2，AW3，载荷信息描述如下表 2 所示：

表2 列车载荷信息描述

名称	载荷描述
AW0	列车空载重量
AW1	列车满座时重量
AW2	列车满载时的重量情况（按 6 人/m ² ，即定员载荷、按每人/60kg）
AW3	列车超载时的载荷重量（按 9 人/m ² ，每人/60kg）

5.1.3 牵引传动系统参数

a) 牵引电机特性参数

电机参数包括：电机转速、电机转矩、转差频率、定子电流、效率、功率因数。其中，牵引电机特性参数应可以采用效率包络线（如图 1）、电机效率 map（如图 2）两种模式输入。

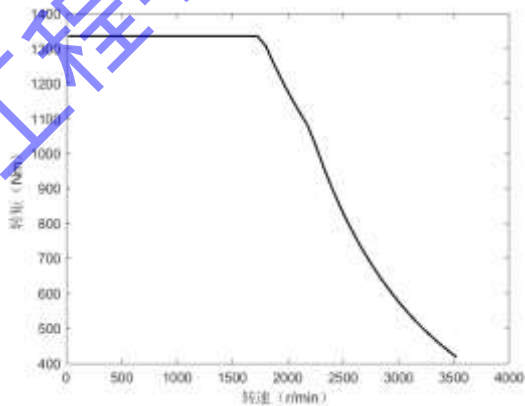


图1. 电机特性包络曲线

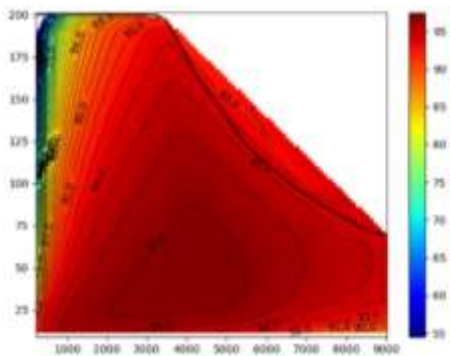


图2. 电机效率 map 示意图

b) 逆变器参数

逆变器参数包括：拓扑结构参数（如两电平、三电平）、工作电压、器件参数、开关频率等参数。

其中器件参数包括：开关器件导通压降、导通电阻值、反向恢复二极管导通压降、导通电阻值、开关管额定电压、电流、额定工况下器件单次开关损耗、额定工况下二极管反单次向恢复损耗。

c) 电抗器参数

电抗器参数应包括：电感值、等效电阻值、

5.2 环境参数

环境信息定义为列车运行依赖的线路条件、供电电压等级信息。

5.2.1 线路信息

列车线路条件信息包括：站台信息、线路限速信息、坡道信息、弯道信息，如下表 3 所示：

表3 线路信息描述

站名	站公里 标[m]	坡道公里 标[m]	坡度值[%]	曲线公里 标[m]	曲线半径 [m]	限速公里 标[m]	限速值[km/h]
站台 1	0	0	2	0	0	0	80
站台 2	1027.3	228.164	2	228.164	363	228.164	68.59
站台 3	2205.3	238.3	8	238.3	363	238.3	68.59
站台 4	4245.3	638.3	-25	638.3	363	638.3	68.59

5.2.2 牵引供电信息

描述不同网压对列车电流的限制，可参考标准：EN 50388-2012。

5.3 时刻表信息

列车运行信息包括：列车站台信息、区间运行时间信息、站台停站时间信息、跳停信息，如下

表 4 所示：

表4 时刻表信息描述

站名	是否停站[是/否]	停站时间[s]	到站时刻[hh:mm:ss]	离站时刻[hh:mm:ss]
站台 1	是	60	06:30:00	06:31:00
站台 2	是	60	06:33:00	06:34:00
站台 3	否	60	06:36:00	06:37:00
站台 4	是	60	06:39:00	06:40:00

5.4 运行参数

5.4.1 运行条件

仿真计算运行输入条件应包括：列车最高运行速度、最大加速度、最小减速度、最大冲击率、运行折返时间。

5.4.2 运行模式

列车运行模式可分为：快速运行模式、等级运行模式、节能运行模式。

a) 快速运行模式

指基于线路条件、列车动力等约束，列车以最短的运行时间达到运行目的地的列车运行策略。

b) 等级运行模式

指基于线路条件、列车动力等约束，列车以最快速的牵引方式达到给定的运行速度等级，以最大减速度（绝对值）从运行终点反向计算达到运行速度等级，中间过程采取恒速运行模式。

c) 节能运行模式

指基于列车运行时间、线路条件、列车动力等约束，以区间运行能耗最低为目标的列车运行策略。

5.5 其它

软件可根据仿真需求，输入配置仿真步长、仿真模式等参数。

6 仿真要求

6.1 列车阻力仿真

软件可计算单位基本阻力、单位曲线附加阻力、单位隧道阻力计算、单位坡道阻力。

a) 单位基本运行阻力计算

软件可支持戴维斯公式输入、或者基本阻力曲线输入，仿真计算单位基本阻力。

b) 单位附加曲线阻力计算

软件可根据线路条件中的曲线半径，仿真计算单位曲线附加阻力。

c) 单位附加隧道阻力计算

软件可根据线路数据中的隧道长度，仿真计算单位附件隧道阻力。

d) 单位坡道阻力计算

软件可根据线路条件中的坡道值，列车长度，根据需求支持单质点、多质点单位坡道阻力仿真计算。

6.2 列车运动学仿真

软件可根据列车受力条件计算作用在列车上的单位合力、列车的加速度、列车速度、列车运行时间和距离。

6.3 制动距离仿真

软件可根据列车不同制动模式（包括紧急制动、电空紧急制动、常用制动、电空常用制动），仿真计算出制动空走时间、制动距离。

6.4 牵引传动系统电特性仿真

软件可仿真计算列车牵引系统关键部件（如电机、逆变器、电抗器等）电特性。

6.4.1 牵引电机电特性仿真

软件可仿真计算每个运行工况点下牵引电机的电流、损耗、效率。

6.4.2 变流器电特性仿真

软件可仿真计算每个运行工况点下牵引变流器的电流、开关损耗、效率。

6.4.3 电抗器热特性仿真

软件可仿真计算每个运行工况点下电抗器的电流、损耗、效率。

6.5 牵引传动系统温升仿真

软件可仿真计算列车牵引系统关键部件（如电机、逆变器、电抗器等）热特性。

6.5.1 牵引电机温升仿真

软件可仿真计算线路运行工况下电机的温升曲线。

6.5.2 变流器温升仿真

软件可仿真计算线路运行工况下牵引变流器的结温曲线。

6.5.3 电抗器温升仿真

软件可仿真计算线路运行工况下电抗器的温度曲线。

6.6 列车运行能耗仿真

软件可根据列车运行工况，仿真计算区间电耗、牵引运行耗电量、惰性及空气制动、电阻制动耗电量、停站耗电量，再生制动运行发电量、单位耗电量。

7 仿真后处理要求

7.1 仿真结果展示要求

仿真结束后，软件应可通过界面观测结果波形，包括但不限于下述项点：

- 列车牵引力-时间曲线、牵引力-里程曲线；
- 列车制动力-时间曲线、制动力-里程曲线；
- 列车基本阻力-时间曲线、基本阻力-里程曲线；
- 列车加速度-时间曲线、加速度-里程曲线；
- 列车运行速度-时间曲线、速度-里程曲线；
- 牵引电机电流-时间曲线、牵引电机电流-里程曲线；
- 牵引电机效率-时间曲线、牵引电机效率-里程曲线；
- 牵引电机温度时间曲线、牵引电机温度-里程曲线；
- 牵引变流器损耗-时间曲线、牵引变流器损耗-里程曲线；
- 牵引变流器效率-时间曲线、牵引变流器效率-里程曲线；
- 牵引变流器温度时间曲线、牵引变流器温度-里程曲线；
- 列车牵引能耗-时间曲线、牵引能耗-里程曲线；
- 列车制动能耗-时间曲线、制动能耗-里程曲线；

7.1.1 速度和时间曲线绘制规则

图上应具有纵、横坐标轴及必要的格线。在纵横坐标轴线旁注明代表变量的符号及单位。线路平纵断面、公里标置于图下方，车站、隧道等标志应置于纵断面上方。列车到发时，列车中心应对准到发场（线）中心。

同时，所绘制的速度曲线应可直观的判别出列车运行工况，如表 5 所示：

表5 速度曲线绘图标记

标记类型	标记	意义
------	----	----

速度线	—	牵引运行
	...—	部分牵引或限速牵引
	-----	惰力运行
	—.—.—.—	空气制动
	—○—○—	电制动
	—○—.—○—.	电制动与空气制动并用

7.2 仿真数据导出要求

软件应支持常见的数据格式（如 Excel、CSV 等）进行数据的导入和导出。

7.3 仿真报告要求

软件可根据仿真需求，自动生成仿真报告。报告内容应包括但不限于仿真输入参数、仿真配置参数，列车运行工况曲线、能耗数据等内容。

中国机械工程学会儿标准征求意见稿

参考文献

- [1] A GB/T 4549.3 铁道车辆词汇。
[2] A TB/T 1407.1-2018 列车牵引计算。
-

中国机械工程师学会标准征求意见稿