

城市轨道交通列车运行节能控制导则

签发时间： 2018 年 12 月

签发版本： 第一版 (V1.0)

签发人： 

城市轨道交通列车通信与运行控制国家工程实验室由交控科技股份有限公司牵头，采用“产学研用”协同创新模式，联合北京交通大学、北京市轨道交通建设管理有限公司、北京地铁车辆装备有限公司共同申报，并经国家发改委批复成立的第一个国家级城轨信号系统科技平台。白皮书是国家工程实验室的重大研究成果发布形式之一，旨在为城市轨道交通建设业主方提供决策依据，为设计方提供设计指南，为运营方提供运营维护指导。

《城市轨道交通列车运行节能控制导则》白皮书，旨在为解决目前城市轨道交通列车运行节能控制策略普遍存在的设计参数不完整、欠缺系统处理、不宜操作等问题，需要规范城市轨道交通列车运行能耗计算标准，提出节能措施和评价通则，满足工程设计、工程检验、节能管理的需求。

对本书有任何问题或建议，欢迎与我们联系。

联系电话：010-52824660；邮箱：whitepaper@bj-tct.com

城市轨道交通列车运行节能控制导则

前言

节约能源是我国社会 and 经济发展的一项长远战略方针，也是当前轨道交通建设和运营管理的一项极为紧迫的任务，是降低运营成本，提高运营效率，保持城市轨道交通可持续发展的重要对策。

随着城市轨道交通大规模、快速发展，城市轨道交通已成为城市用电大户，其用电能耗主要为列车运行能耗和运营系统设备能耗两大部分，约各占轨道交通总能耗的 50%左右。其中，运营系统设备耗能取决于列车运行能力需求、运营管理模式、设备配置以及本身技术水平，属于相对固定能耗；而列车运行能耗与客流分布、客运需求和行车组织以及与其配套的列车运行控制策略等关系密切，属于相对动态能耗。本导则立足于节省列车运行能耗，系统性研究列车运行节能控制策略，以降低列车运行牵引能耗为基本目标，在保障城市轨道交通安全、效率、服务的前提下，节省列车运行牵引电能。结合运营管理需求、列车运行特性、线路条件、车辆性能，系统性地提出列车运行节能控制策略和评估方法，降低运营成本，为全面研究列车运行节能奠定基础，实现绿色运输。

近些年多个大专院校、设计、建设及运营管理等单位，针对节能问题组织了多项专题研究，积累大量经验，但是关于牵引能耗专项研究受专业边界条件影响，缺乏对车辆性能、线路条件、列车运行组织、供电系统配置等方面的关联性综合研究，尚未形成综合性的相关技术规范，缺失技术引导。为此，有必要从单列车控制到多列车网络化控制、从静态基础条件到列车运行动态控制、从节能仿真测试到现场节能效果检验，实现专业间一体化、系统性、闭环控制和管理，更好地提高牵引节能效果。

为解决目前城市轨道交通列车运行节能控制策略普遍存在的设计参数不完整、欠缺系统处理、不宜操作等问题，需要规范城市轨道交通列车运行能耗计算标准，提出节能措施和评价通则，满足工程设计、工程检验、节能管理的需求，特编制本导则。

本导则由城市轨道交通列车通信与运行控制国家工程实验室组织编写。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这些专利的责任。

主要编写人：牛英明、沈景炎、唐 涛、张艳兵、王道敏、徐 鼎、张 良、张通利、喻智宏、李晓刚、付义龙、马芳平、荀 径、杨兴山、刘东辉、黄旭虹、刘 超、张 强、肖 骁、罗 铭。

主要审查人：施仲衡、郜春海、田桂艳、郭景英、牛建华、朱 宏、李新文、赵万才、丘庆球、梁东升、代津岳、张琼燕、朱东飞、任 敬、王路萍、吴 明、朱 翔、郑生全、王向阳、贾 萍、侯久望、李德堂、肖培龙、王 伟。

目录

1. 总则.....	1
2. 术语.....	2
3. 列车运行节能控制策略.....	5
3.1 一般要求.....	5
3.2 行车组织.....	5
3.3 列车运行节能控制措施.....	7
4. 列车运行节能控制仿真平台.....	15
4.1 一般要求.....	15
4.2 性能要求.....	15
4.3 功能要求.....	17
4.4 数据库管理.....	21
5. 列车牵引电能计量评估.....	23
5.1 一般要求.....	23
5.2 能耗计量.....	23
5.3 能耗计算与评估.....	26

1. 总则

- 1.0.1 为提高城市轨道交通列车运行节能效率，指导列车运行节能一体化设计及检验，在新线和既有线改造工程中，使列车运行节能策略、效果得以有效实施及评估，积极贯彻国家节约能源政策，降低运营成本，特编制本导则。
- 1.0.2 本导则适用于城市轨道交通不同运量、80km/h 及 100km/h 速度等级、钢轮钢轨全封闭线路的列车运行节能控制。
- 1.0.3 本导则综合基础设施、车辆性能、列车运行控制模式、行车组织管理模式及旅行速度等因素，提出列车运行节能控制技术措施、节能计划运行图、节能检验仿真及能耗计算计量方法，实现列车运行节能控制策略的可操作性和节能效果的可检验性。
- 1.0.4 本导则提出的列车运行节能控制策略应在不影响行车安全、效率、服务质量的前提下，将行车组织、车辆牵引/制动、列车运行控制及牵引供电分区划分等进行节能一体化、综合设计，实现节能效益最大化。
- 1.0.5 本导则从节能设计与效果检验的角度出发，提出列车运行节能控制仿真平台（简称“节能平台”）的技术要求；该节能平台以《城市轨道交通行车能力设计与检验平台需求导则》（简称“行车能力平台”）为基础，补充相应的性能、功能要求和数据库中的数据类型。
- 1.0.6 本导则以行车设备系统、列车运行处于正常状态为前提，制定列车运行节能控制策略，评估节能效果。系统设备故障、突发行车状况、极端恶劣天气等异常情况不纳入导则范围。
- 1.0.7 本导则提出的列车运行节能控制策略基于列车自动运行模式和全自动运行模式。
- 1.0.8 本导则遵循《中华人民共和国节约能源法》及《地铁设计规范》（GB50157）、《城市轨道交通工程项目建设标准》（建标 104）等相关法律法规、规范和标准。

2. 术语

- 2.1 城市轨道交通——采用专用轨道进行承重和导向运行的城市公共客运交通系统，包括地铁系统、轻轨系统、单轨系统、有轨电车、磁浮系统、自动导向轨道系统、市域快速轨道系统等。
- 2.2 线路速度等级——依据线路条件和运营需求所确定的列车最高运行速度等级。
- 2.3 车辆基地——轨道交通车辆停放、维修和保障基地，通常包括车辆段（停车场）、综合维修中心、物资总库、培训中心等部分，以及相关的生活设施。
- 2.4 线路设计能力——为满足城市交通线路运输能力要求，基于基础设施、列车编组长度、最高运行速度、信号系统配置等因素，确定的单位小时内、单一方向上线路所通过最大列车数。
- 2.5 折返能力——折返站在单位小时内，实现列车连续折返的最大对数。
- 2.6 系统设计最小行车间隔——根据轨道交通基础设施、设备设施和运营管理模式，列车自动控制系统监控同方向列车追踪运行所能达到的最小间隔时间。
- 2.7 旅行速度——正常运行情况下，列车从起点站发车至终点站停车的平均运行速度。
- 2.8 技术速度——正常运行情况下，列车从起点站发车至终点站停车，不含站停时间的平均运行速度。
- 2.9 线路最高限制速度——平直段、曲线段、道岔、车站等不同地段线路不允许列车运行超过的最高速度。
- 2.10 线路允许最高运行速度——平直段、曲线段、道岔、车站等不同路段线路允许列车可达到并持续运行的最高速度。
- 2.11 车辆构造速度——根据车辆设计和制造工艺，为保证车辆整体结构强度和运行安全，规定不允许超过的速度。

- 2.12 车辆最高运行速度——车辆设计在规定的载荷、平直线路条件下，可保证持续运行的最高速度。
- 2.13 列车运行最高限制速度——信号专业综合车辆构造速度、线路最高限制速度和运营条件，确定的列车运行不得超过的最高速度。
- 2.14 列车最高运行速度——信号专业综合线路允许最高运行速度、车辆最高运行速度和运营条件，确定的列车运行可达到的最高速度。
- 2.15 ATP 系统限制速度——根据列车运行最高限制速度和实际运行状况，ATP 系统监控列车运行不得超过的速度。
- 2.16 ATO 运行速度——在 ATP 系统防护下，ATO 系统计算的列车运行控制曲线规定的速度。
- 2.17 列车运行巡航速度——ATO 系统加速运行至列车最高运行速度时，保持列车定速运行且允许少量波动的速度。
- 2.18 行车组织——利用城市轨道交通设施设备，根据列车计划运行图组织列车运行的活动。
- 2.19 运行交路——轨道交通列车在规定区段内往返运行的回路，通过设置交路来合理分配轨道交通运输能力，以发挥轨道交通最大的运输效率。
- 2.20 计划运行图——列车运行的时间和空间关系的图解，表示列车在各区间运行及在各车站停车或通过状态的二维线条图。
- 2.21 节能计划运行图——在轨道交通运营设定的某种条件下，以降低运行能耗为目标编制的计划运行图。
- 2.22 站停时间——列车进站停稳至列车重新启动所需要的时间，即从车轮停止转动至再次启动时所需要的时间。站停时间由列车开关门动作时间、乘客乘降时间及人工操作及其确认时间构成。
- 2.23 全周转时间——列车按运行交路往返一周所需要的全部时间，包括列车在终点站的折

返时间、往返运行时间及沿途车站站停时间。

- 2.24 列车运行等级——按照不同列车运行速度曲线或区间运行时间划分的用于控制列车运行的等级。
- 2.25 列车自动防护（ATP）——自动实现列车运行间隔、超速防护、进路安全和车门等监控技术的总称。
- 2.26 列车自动运行（ATO）——自动实现列车运行速度、停车和车门等监控技术的总称。
- 2.27 列车自动监控（ATS）——自动实现行车指挥控制、列车运行监视和管理技术的总称。
- 2.28 全自动运行（FAO）——无人驾驶列车运行（DTO）或无人干预列车运行（UTO）方式的总称。
- 2.29 列车运行能耗——列车在运行过程中消耗的电能，包括牵引能耗和列车辅助设施能耗。
- 2.30 牵引能耗——列车运行过程中牵引做功所消耗的电能。
- 2.31 列车惰行——在断开牵引电源、不施加制动的情况下，列车利用车辆自身的惯性自由运行。
- 2.32 再生制动——列车制动工况下，将牵引电机的能量反馈到电网或储能装置的动力制动。
- 2.33 列车辅助设施能耗——列车在运行过程中空调、照明等列车辅助设备/设施所消耗的电能。
- 2.34 再生制动能量——列车在运行过程中，通过再生制动反馈的能量。
- 2.35 牵引传动总效率——牵引系统供能路径各个部件（牵引电机、变流器、驱动装置等）效率的乘积。
- 2.36 牵引供电分区——正线牵引变电所正常供电范围内在接触网上电气相互断开的供电区段。

3.列车运行节能控制策略

3.1 一般要求

- 3.1.1 行车组织应以客流规模和特征为基础，充分利用轨道交通的基础设施和设备系统，合理确定运营管理模式，兼顾运营的经济效益和社会效益。
- 3.1.2 行车组织宜针对高峰/平峰或特殊时段，制定行车组织方案、编制列车节能计划运行图，提高能源利用效率。
- 3.1.3 行车组织应充分利用车辆基地咽喉区接发车能力，缩短高峰前后接发列车作业时间，减少列车空驶。
- 3.1.4 轨道交通建设初期或平峰客流较小时，为兼顾客运服务水平和行车组织经济性，可采取小编组高密度或大小编组列车混合运行的策略。
- 3.1.5 列车运行控制应采取合理的运行速度控制策略，减少牵引、制动转换的次数。
- 3.1.6 ATO 系统应结合 ATS 系统基于节能计划运行图制定的节能策略，通过节能控制算法，实现列车运行节能控制。
- 3.1.7 高峰时段宜采用能够充分发挥列车最高运行速度效率的控制策略，平峰时段应采用降低列车运行能耗的控制策略。

3.2 行车组织

3.2.1 运行交路

行车组织在运行交路中应采取以下措施，减少列车空驶，提高列车满载率：

1. 当轨道交通线路断面客流分布差异性较大时，宜采用多交路(两个交路或三个交路)行车组织方式。
2. 高峰/平峰列车运行间隔调整时，应充分利用配线实现多点接发车作业。

3. 当高峰时段上行/下行方向断面客流不均衡性较大时,可利用车辆基地或沿线配线,向大客流方向单向加车,组织列车不对称运行。

4. 当局部区段存在可预见性的大客流时,可采取利用车辆基地或沿线配线向大客流方向组织多点发车的策略。

3.2.2 高峰/平峰作业时间调整

1. 在全周转时间基本不变(不增加在线运行车组数)的前提下,高峰/平峰时段可采用不同站停时间,降低平峰时段列车在区间的最高运行速度。

2. 上行/下行方向客流差异性较大时,可减少客流较小方向车站的站停时间或列车不载客跳停,以减少列车站停次数,提高旅行速度。

3.2.3 进站/出站作业

1. 处于同一供电分区内运行的列车,出站牵引工况与进站制动工况宜合理衔接,提高再生制动能量的利用率。

2. 在满足必要的乘降、设备设施动作和人工作业时间的前提下,宜压缩站停时间,减少车厢内外热量交换,降低列车空调运行能耗。

3.2.4 列车运行调整

1. 在高峰时段,当行车间隔达到或接近系统设计最小行车间隔时,宜避免行车间隔不均匀引起列车运行调整、区间停车、再启动等。

2. 在平峰时段,列车运行控制系统可采取适当减小牵引加速度的控制策略。

3. 当站间距较小时,列车运行控制曲线宜采用牵引-惰行-制动工况;当站间距较大时,列车运行控制曲线宜采用牵引-巡航-惰行-制动运行工况,维持合理运行速度,减少再牵引次数。

4. 依据列车运行控制曲线，合理确定列车运行速度调整范围，减少列车在区间运行中运用不必要的制动和牵引工况。
5. 列车出站利用节能坡加速运行时，宜在节能坡段终点，达到最高运行速度；进站减速运行时，宜在节能坡起点进入制动工况。
6. 应按照高峰/平峰分别设置列车运行早点/晚点时间偏差，高峰不宜超过 $\pm 15\text{s}$ ，平峰不宜超过 $\pm 30\text{s}$ 。
7. 在非限速区段，列车运行控制应自动调整运行等级。

3.3 列车运行节能控制措施

3.3.1 系统要求

1. ATO 系统应与 ATS 系统和 ATP 系统结合，合理控制牵引、惰行、制动工况转换的频率。
2. ATS 系统根据节能计划运行图规定的列车进站/出站时间，统筹控制同一牵引供电分区内的列车运行，适当调整进出站时间，充分利用再生制动能量。
3. 当列车运行正点时，列车运行控制应充分利用惰行工况；当列车运行晚点时，应结合运行秩序、服务水平和节能策略，以渐进的方式恢复运行计划。
4. ATO 系统自动控制列车运行的曲线应平滑，避免出现尖峰。
5. ATO 系统控制列车运行过程中，应结合线路节能坡的设计，合理控制牵引/制动的转换时机。

3.3.2 列车运行等级自动调整

1. 当列车运行偏离了运行计划，ATS 系统应根据运营高峰/平峰时段相应的允许偏差值，判断列车早点或晚点运行状况及偏离时差，计算合理区间运行时间，并下达给 ATO

系统执行。

2. ATO 系统应能按 ATS 计划运行图规定的站停时间和区间运行时间控制列车运行，区间运行时间误差应控制在 2%以内。

3. 列车运行等级设置宜不少于 4 级，等级间允许速度的差值宜为列车最高运行速度的 10%，等级 4 的允许速度宜与列车最高运行速度一致。不同列车最高运行速度所对应的列车运行等级允许速度设置见表 3.3.2。

表 3.3.2 列车运行等级允许速度设置参照表

列车最高运行速度 允许速度 运行等级	80 (km/h)	100 (km/h)
	列车运行等级 4	80
列车运行等级 3	72	90
列车运行等级 2	64	80
列车运行等级 1	56	70

4. 高峰时段宜以运行等级 4 控制列车运行，平峰时段宜以运行等级 3 控制列车运行。以最高运行速度 80km/h 为例，按照等级 4、等级 3 控制列车运行示意图，分别见图 3.3.2-1、图 3.3.2-2。

5. 当行车调度人员人工关闭列车运行等级自动调整功能时，ATO 系统应按默认的等级 3 控制列车运行，直到人工恢复自动调整功能。

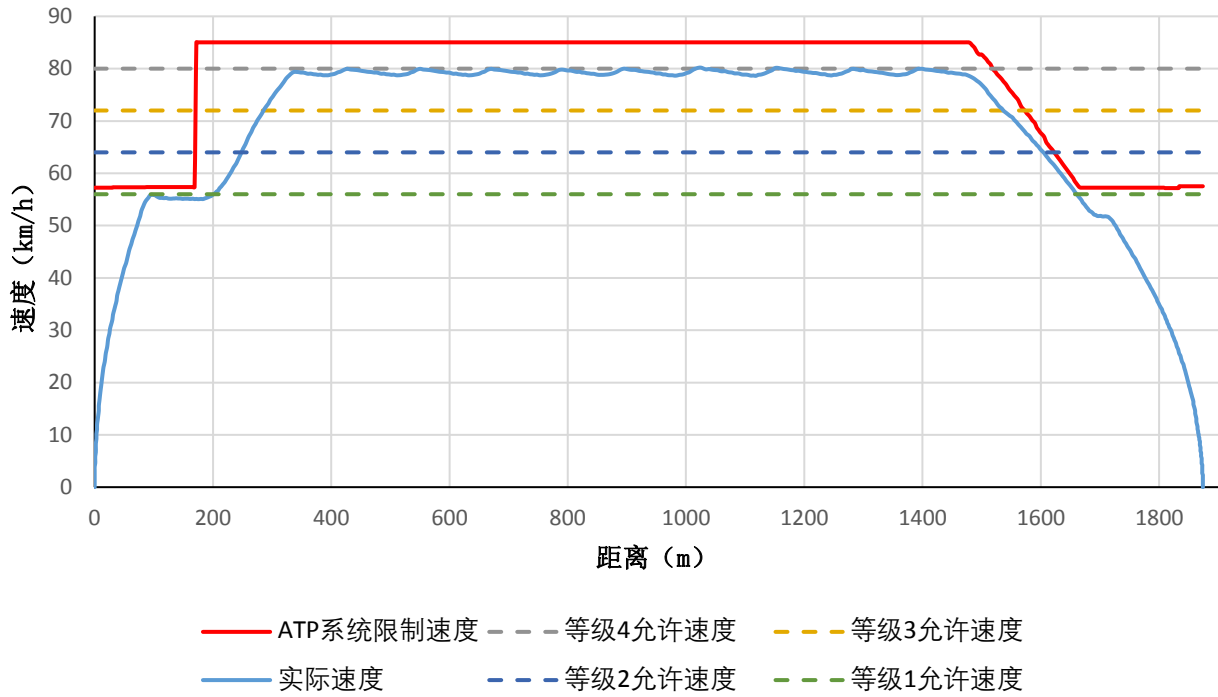


图 3.3.2-1 按等级 4 控制列车运行示意图

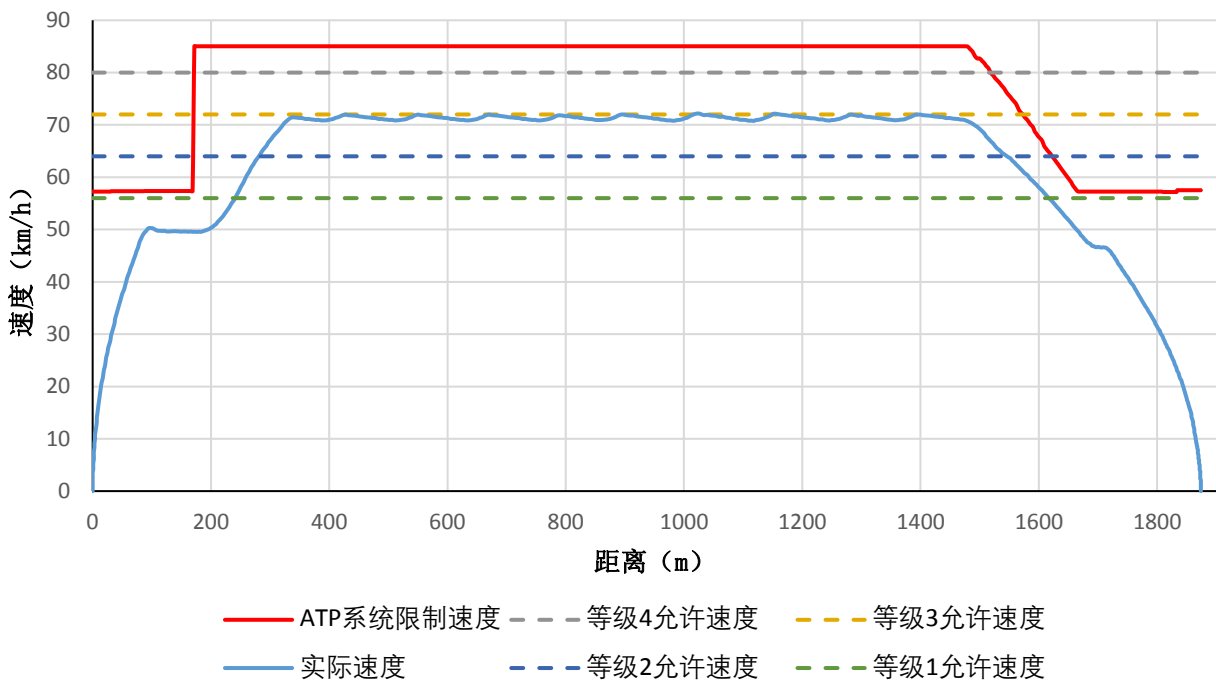


图 3.3.2-2 按等级 3 控制列车运行示意图

3.3.3 列车运行节能控制实现方式

1. 列车出站时，ATO 系统应在保证乘客舒适度的前提下，宜以不低于 0.6m/s^2 的加速度控制列车加速至列车运行等级规定的允许速度。
2. 在列车出站加速过程中，当列车速度接近站台或区间允许速度时，应及时减小请求的牵引力。
3. 遇区间下坡道牵引加速时，ATO 系统应综合考虑坡度、坡道长度等因素，减小请求的牵引力，区间下坡道加速度控制示意图 3.3.3-1。

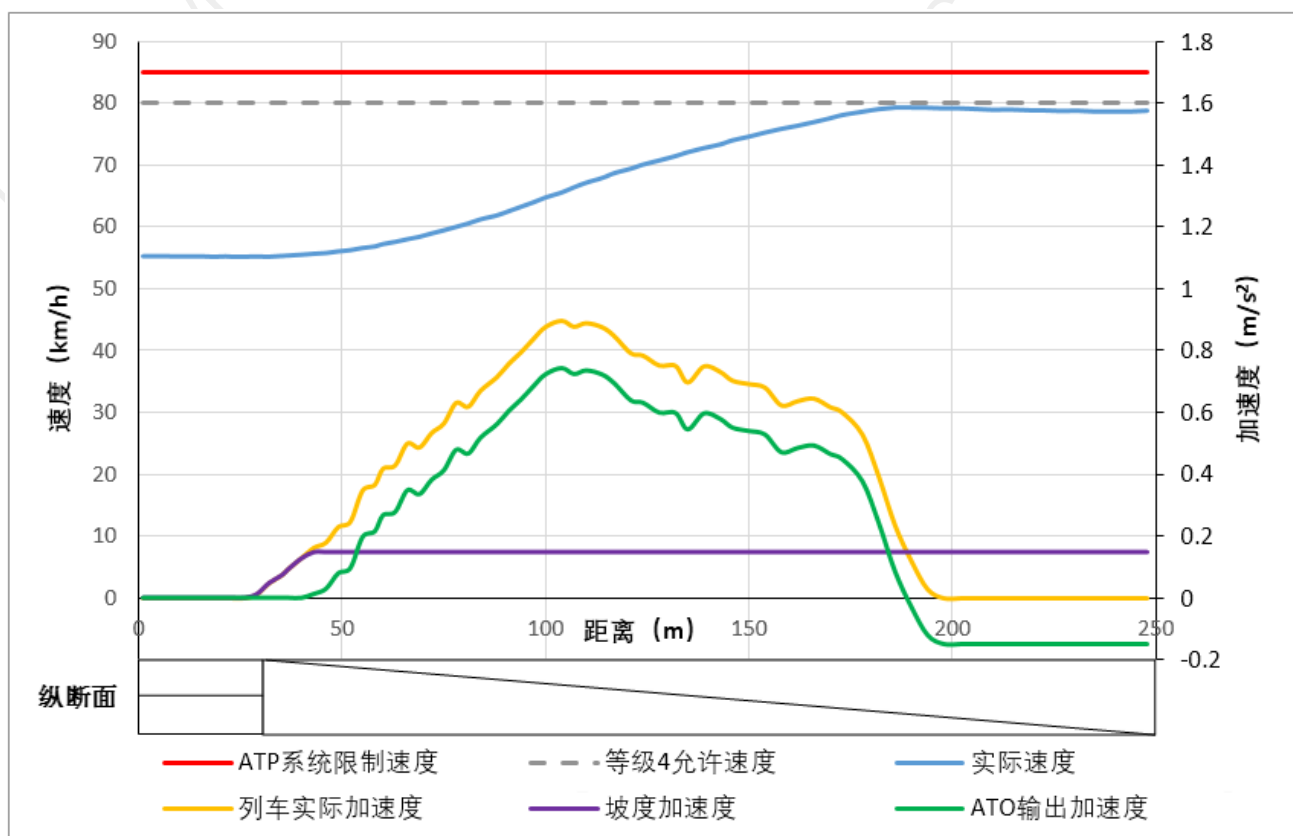


图 3.3.3-1 区间下坡道加速度控制示意图

4. 遇区间上坡道制动减速时，ATO 系统应综合考虑坡度、坡道长度等因素，减小请求的制动力，避免减速度过大，偏离目标速度曲线引起不必要的再次牵引。区间上坡道减速度控制示意图 3.3.3-2。

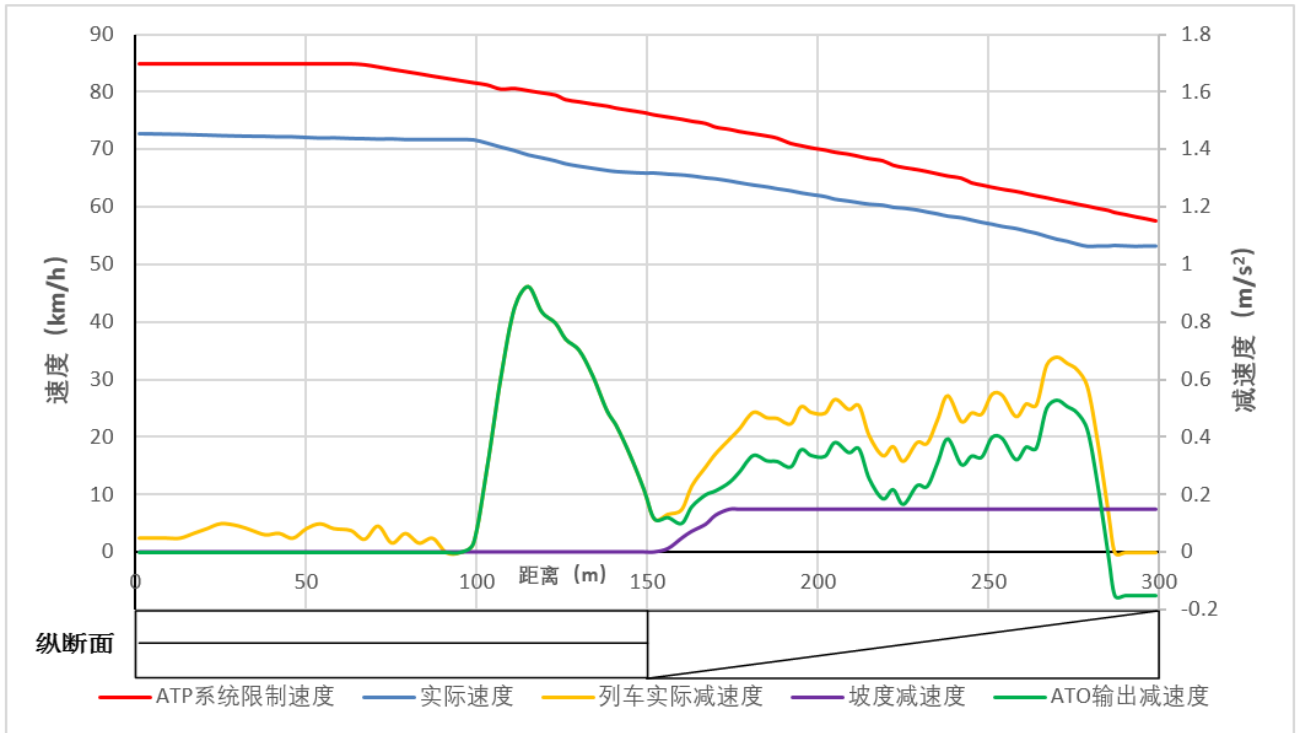


图 3.3.3-2 区间上坡道减速度控制示意图

5. ATO 系统控制列车在区间以惰行工况运行时，再次牵引的实际速度宜不低于列车运行等级规定的允许速度的 85%。区间惰行运行速度控制以列车最高运行速度 80km/h、运行等级 3 为例，示意见图 3.3.3-3。

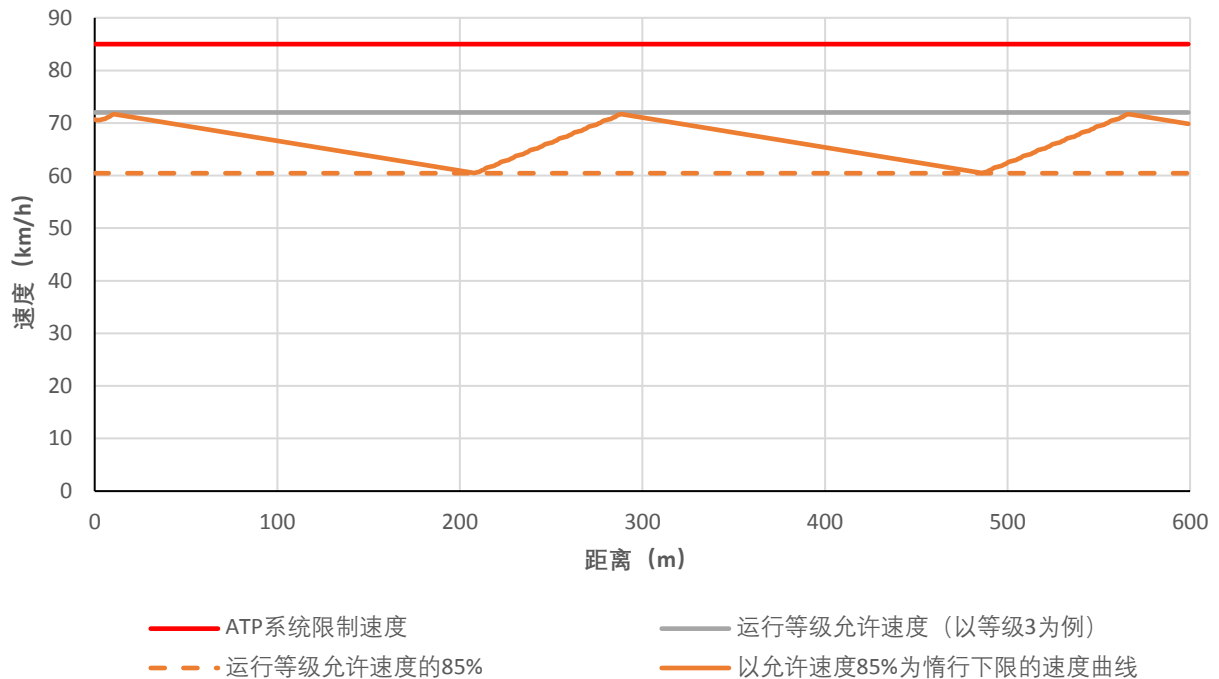


图 3.3.3-3 区间惰行运行速度控制示意图

6. ATO 系统应在保证乘客舒适度和停车精度的前提下，宜以不高于 0.8m/s^2 的减速度控制列车减速进站停车。列车进站时 ATO 系统减速控制示意图 3.3.3-4 所示。

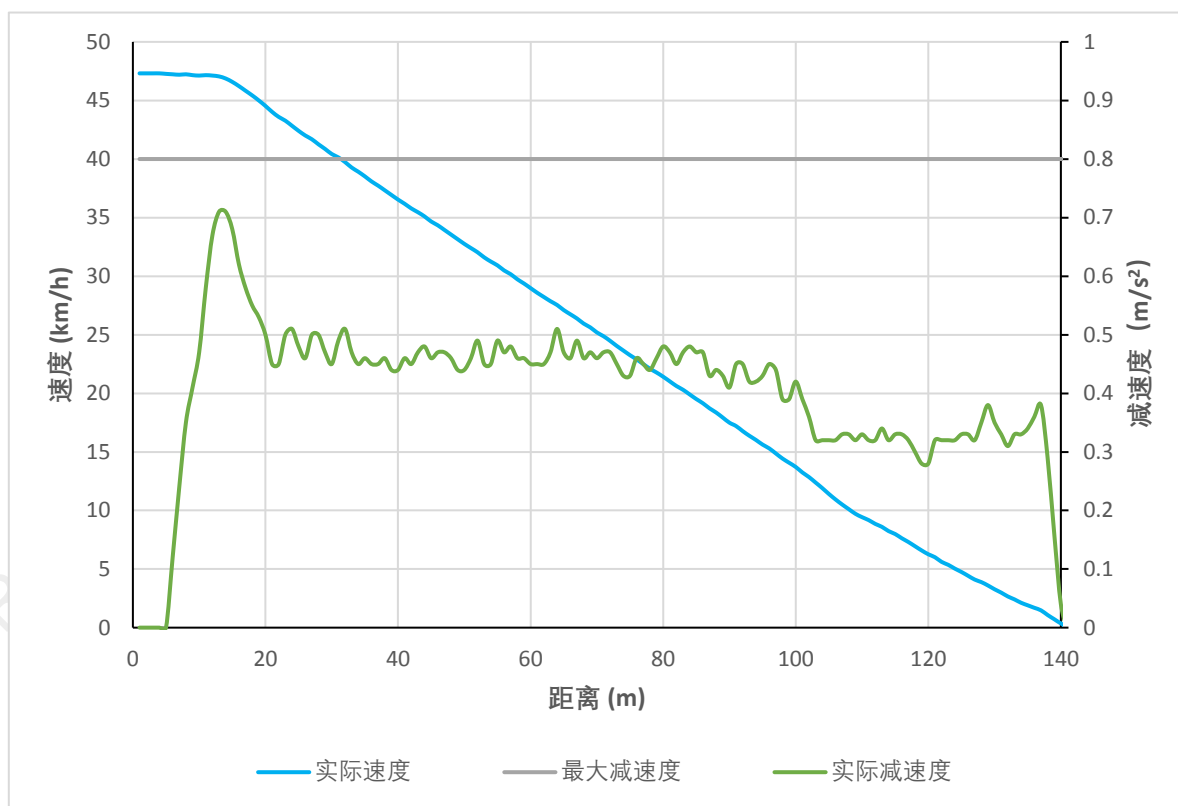


图 3.3.3-4 列车进站时 ATO 系统减速控制示意图

7. 列车进站时，ATO 系统应避免因停车不对位引起的再次启动和停车。

8. 列车在限速较低的区间运行时，ATO 系统宜以该区段线路允许的最高运行速度运行，提升线路瓶颈区段的通过效率。ATO 系统控制列车通过限速区间示意图 3.3.3-5。

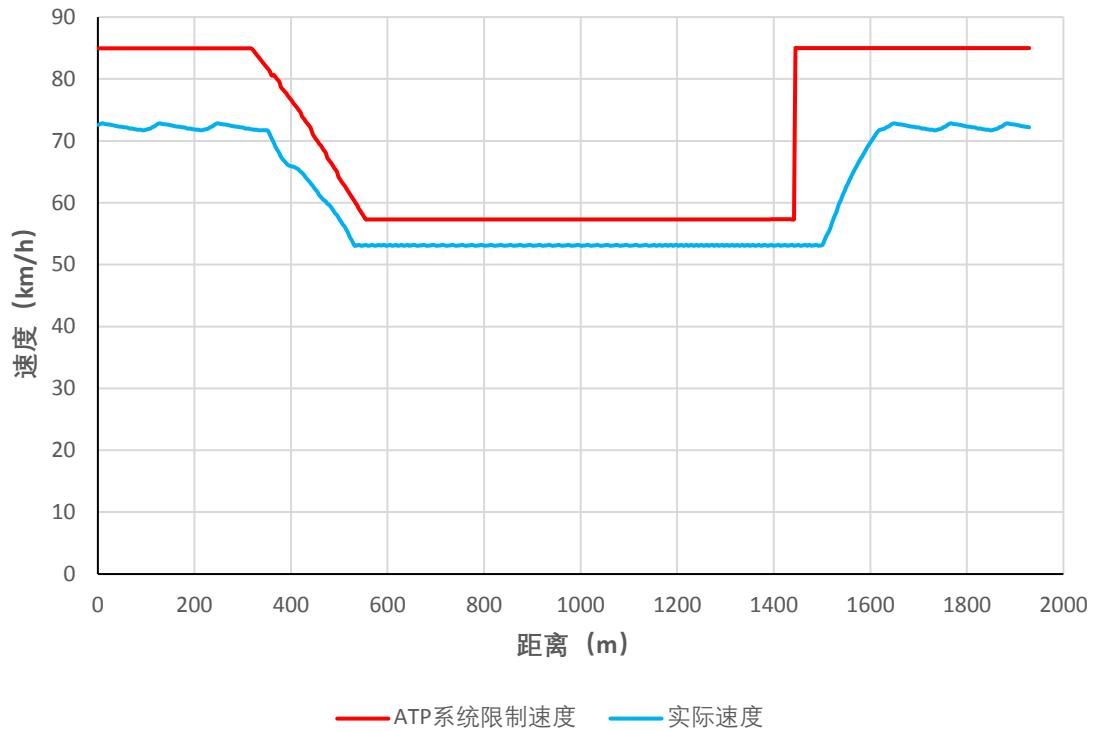


图 3.3.3-5 限速区间列车运行示意图

3.3.4 节能计划运行图编制

1. 节能计划运行图应围绕客运组织需求，在满足运输效率和客运服务水平的条件下，合理设置运行交路、配置运用车组，降低牵引能耗。
2. 节能计划运行图应分别设置高峰/平峰时段的站停时间和区间运行时间。
3. 节能计划运行图对于同一供电分区内运行列车的进站和出站作业时间宜最大程度重叠，充分利用再生制动能量。
4. 节能计划运行图的平峰时段区间运行时间宜以运行等级 3 的区间运行时间为基础确定，为实际运行预留调整空间。
5. 节能计划运行图应标识列车运行能耗计算数值。
6. 节能计划运行图应标注行车组织说明，并且按照运营的高峰/平峰时段所对应的站停时间、区间运行时间绘制计划运行图，如图 3.3.4-1 所示：

运行图类型：平日图

线路名称：北京XX号线

运行能耗：XXX

说明：

1. 开行列车数：xx列
2. 运用车组数：8组
3. 列车编组数：6辆
4. 列车最小间隔：2'
25'30"
5. 列车单程运行时分：上行25'35"，下行25'30"
6. 旅行速度：上行 xx km/h, 上行 xx km/h
7. 技术速度：上行 xx km/h, 上行 xx km/h
8. 首末班车时间：
首车 上行 xx站 04: 40
下行 xx站 04: 47
- 末车 上行 xx站 22: 30
下行 xx站 22: 20
9. 走行公里：xxx车公里

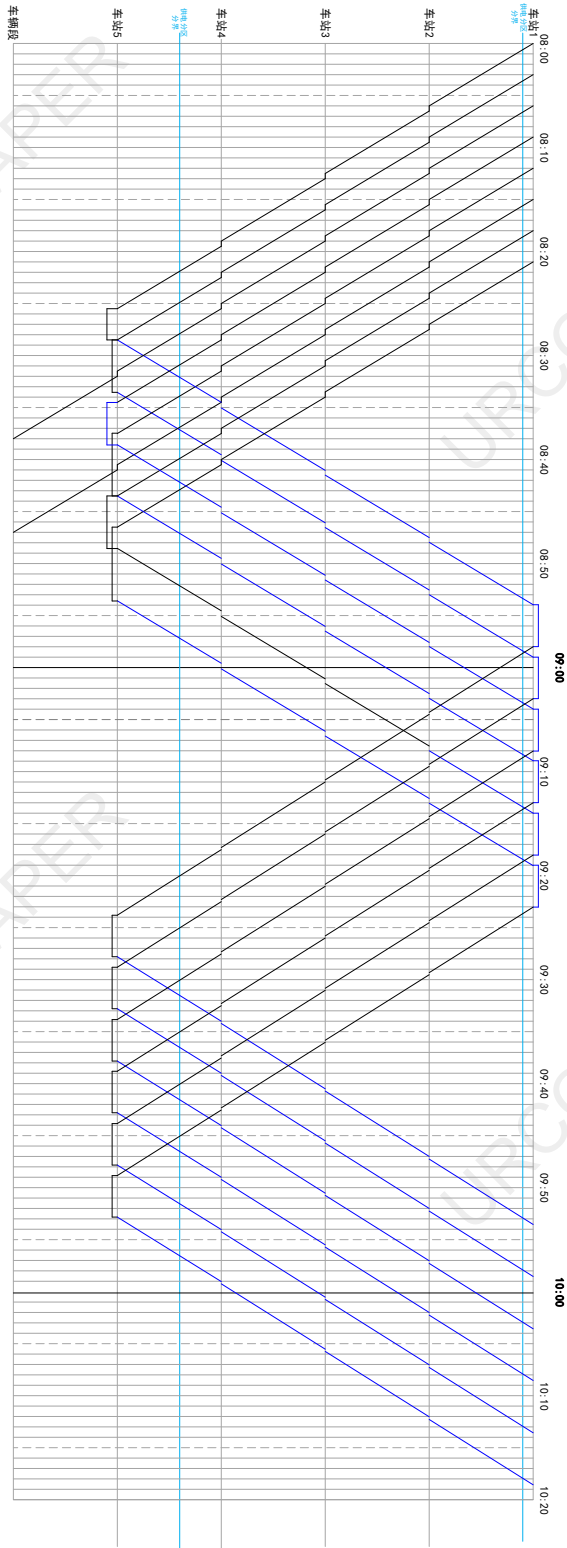


图 3.3.4-1 节能计划运行图示例

4.列车运行节能控制仿真平台

4.1 一般要求

- 4.1.1 节能平台应能检验列车运行节能控制策略的有效性并为列车运行节能设计提供技术支持。
- 4.1.2 节能平台建设应以行车能力平台为基础，增加与列车运行节能控制相关因素，实现城市轨道交通行车能力和列车运行节能控制的一体化设计。
- 4.1.3 节能平台建设应遵循行车能力平台的技术要求及性能要求，在满足行车能力平台原有功能基础上，增加列车运行节能控制相关功能，且不对行车能力平台造成影响。
- 4.1.4 节能平台应根据不同轨道交通项目的线路条件、车辆特性、供电制式、行车组织、列车运行等级等数据，进行单列车、多计划列车的牵引能耗和再生制动能量利用的仿真计算及验证，并生成节能评估报告。
- 4.1.5 节能平台数据库应能独立配置和导入列车运行牵引能耗计算及验证相关的数据，满足能耗计算的要求。

4.2 性能要求

- 4.2.1 牵引能耗计算应与列车运行状态相吻合，动态模拟运算。

1. 列车运行过程中，牵引能耗或制动能量的计算按下列公式计算：

$$J = \int_0^T P dt = \int_0^T F \cdot \frac{S}{t} dt = \int_0^T F \cdot v dt \quad (4.2.1-1)$$

式中：

J----牵引能耗或制动能量（kWh）

P----功率（kW）

F----牵引力或制动力（N）

v----列车速度（km/h）

T----计算时长（h）

S----列车运行距离 (m)

t----列车运行时间 (h)

2. 对于牵引工况，上式变为：

$$J = \int_0^T \frac{P}{\eta} dt = \int_0^T \frac{F \cdot \beta \cdot v}{\eta} dt \quad (4.2.1-2)$$

将积分简化为单位时间片求和，则上式简化为：

$$J = \sum_0^T \frac{F \cdot \beta \cdot v \cdot \Delta t}{\eta} \quad (4.2.1-3)$$

式中：

β ----ATO 系统请求的牵引力百分比

η ----牵引传动总效率

Δt ---- ATO 系统处理周期 (h)

3. 对于制动工况，上式变为：

$$J = \int_0^T P \cdot \eta dt = \int_0^T F \cdot \beta \cdot v \cdot \eta dt \quad (4.2.1-4)$$

或将积分简化为单位时间片求和，则上式简化为：

$$J = \sum_0^T F \cdot \beta \cdot v \cdot \eta \cdot \Delta t \quad (4.2.1-5)$$

式中：

β ----ATO 系统每周期请求的制动力百分比

4.2.2 节能平台可基于计算模型，实时计算每个运算周期的能耗情况，并通过求和得到整个运行过程中的能耗数据。

4.2.3 列车运行能耗计算中的列车运行速度曲线和能耗曲线应以列车多质点模型进行计算，并且可绘制相应曲线。

4.2.4 节能平台可支持计算结果快速导出图表，并支持对所需要导出的结果数据进行选择。

4.3 功能要求

4.3.1 牵引能耗计算

1. 节能平台应根据线路、车辆、信号系统、供电系统及运营相关数据，实时、自动计算在任意指定时间、区段的牵引能耗。

2. 列车运行牵引能耗的计算应包括以下几个方面：

1) 单列车任意工况运行，如：线路全周转运行、任意交路、任意区段和不同列车运行加/减速度等；

2) 计划运行图的多列车运行，如：平日图、节假日图、大小交路运行图、不对称运行图、快慢车混运图、不同编组混运图等；

3) 节能控制措施，如：列车运行等级控制、区间运行时间、站停时间、区间运行调整等；

4) 供电系统配置，如：供电分区划分、再生制动方式；

5) 车辆性能，如：车辆型号、列车长度、牵引/制动响应时间等；

6) 线路条件，如：线路速度等级、线路长度、配线、站间距、道岔型号、曲线半径、坡道等。

3. 可按照使用人员任意指定的时间或起始/终止时间段累计计算牵引能耗。

4. 牵引能耗计算结果应与列车运行相关工况相呼应，并能够以连续曲线形式表示。以列车最高运行速度 80km/h 为例，能耗曲线示例见图 4.3.1-1 所示。

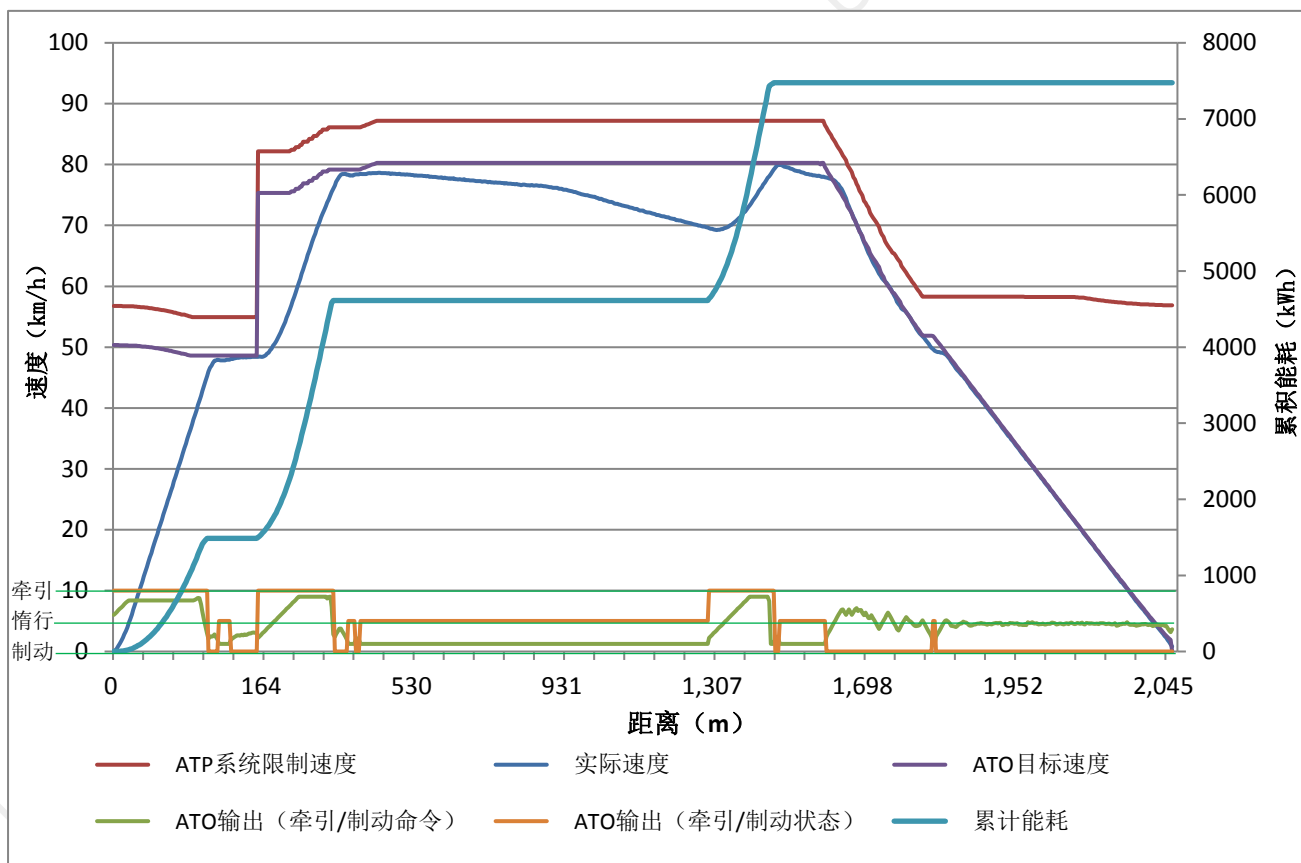


图 4.3.1-1 牵引能耗与列车速度-距离曲线对照示例图

4.3.2 再生制动能量计算

1. 节能平台应根据牵引传动总效率，计算单列车运行制动过程中所产生的能量。
2. 节能平台应能计算按照不同的计划运行图，全天列车运行所产生的再生制动能量。
3. 再生制动能量计算结果应以连续曲线形式予以展现，列车最高运行速度 80km/h 情况下的计算结果示例见图 4.3.2-1。

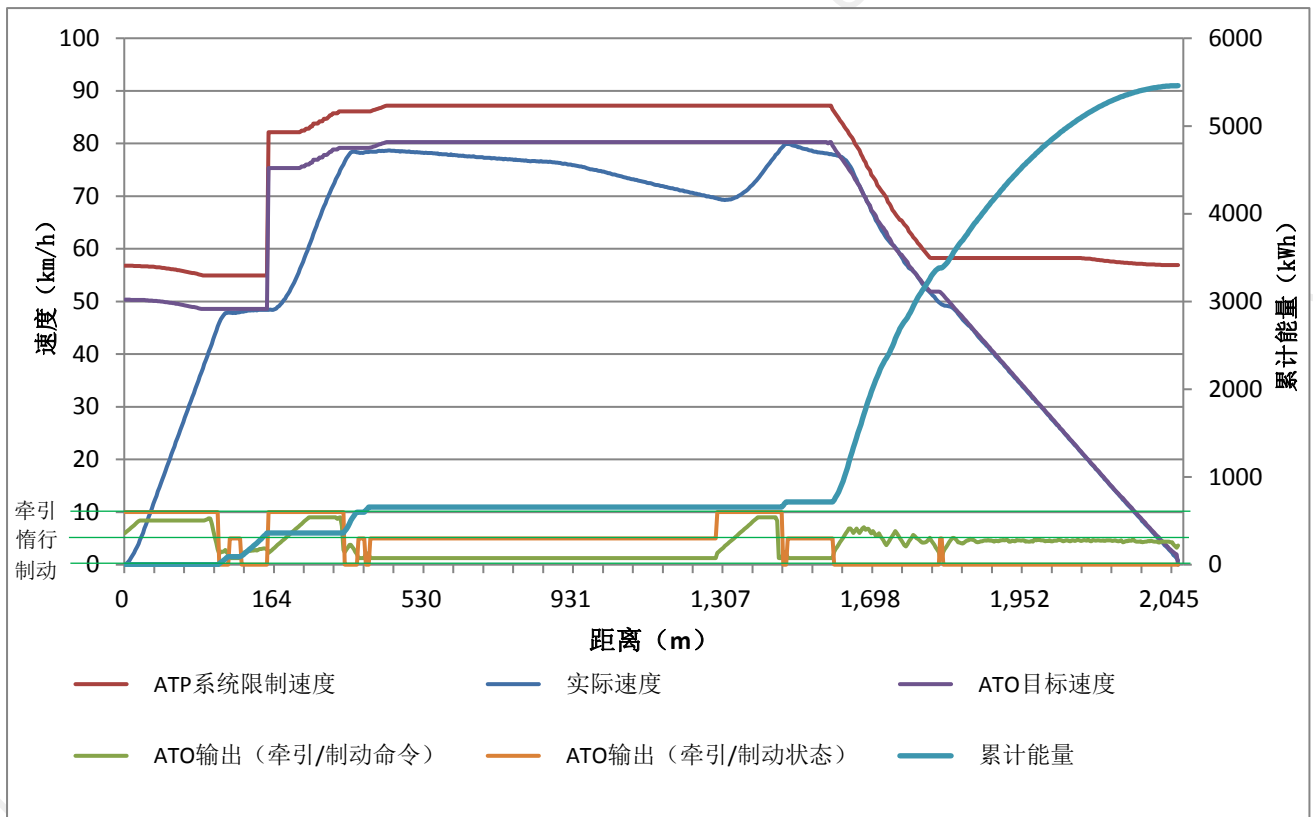


图 4.3.2-1 再生制动能量与列车速度-距离曲线对照示意图

4.3.3 系统仿真与演示

1. 单列车运行能耗曲线应与以下曲线同图显示：

- 1) 列车运行防护速度控制曲线；
- 2) 列车运行目标速度控制曲线；
- 3) 列车运行速度-距离曲线；
- 4) 列车运行牵引能耗-距离曲线；
- 5) 线路坡度/半径曲线；
- 6) 牵引/制动状态曲线；
- 7) 牵引/制动命令曲线。

2. 全线列车运行与累计牵引能耗曲线演示；
3. 全线列车运行与再生制动能量曲线演示；
4. 列车运行状态仿真演示应包括以下设计参数：
 - 1) 项目基础数据，包括：线路名称、线路速度等级、线路长度、平均站间距、车辆型号、列车编组、牵引供电形式等；
 - 2) 计划运行图说明，如：运营时间、列车运行最小间隔、运用车组数、全周转运行时间、全天列车运行总公里等；
 - 3) 列车运行控制制式，如：移动闭塞或固定闭塞等；
 - 4) 列车运行模式，如：全自动运行或自动运行；
 - 5) 仿真用例说明。
5. 列车运行状态仿真演示应包括以下动态内容：
 - 1) 线路允许最高运行速度；
 - 2) ATP 系统限制速度；
 - 3) ATO 控制目标速度；
 - 4) 列车实际运行速度；
 - 5) 列车运行位置；
 - 6) 牵引/制动状态；
 - 7) ATO 输出的牵引/制动状态；
 - 8) ATO 请求的牵引/制动力；

9) 累积至当前的牵引能耗；

10) 累积至当前的再生制动能量。

4.3.4 节能评估报告生成

1. 节能平台应能按照用户选择的时间、区间等生成评估报告。

2. 评估报告应包括牵引能耗总量、再生制动能量总量、单车百公里牵引能耗、旅行速度、列车运行最小间隔、运用车组数等列车运行牵引能耗结果。

3. 评估报告内容应包括以下基本信息：

1) 项目基础数据，包括：线路名称、线路速度等级、线路长度（分别标注地下、地面、高架长度）、车站数量、平均站间距、最小半径、最大坡道、轨道形式、道岔型号、牵引电压制式、授流方式、车辆型号；

2) 系统设计指标，包括：列车运行最小间隔、旅行速度、折返能力、高峰/平峰时段正/晚点偏差和站停时间等；

3) 行车组织信息，包括：运营时间、运行车组数、车次数、走行公里数、正点率、兑现率、高峰/平峰起止时间。

4.4 数据库管理

4.4.1 节能平台数据库应与行车能力平台数据库整体设计，实现数据共享、数据检测与误操作提示等功能，并遵循能力设计平台相关要求。

4.4.2 节能平台数据库应管理与列车运行节能控制相关的各类型数据，具体内容见表 4-1 所示。

表 4-1 平台数据库参数表示例

线路名称		车站数量		线路长度		速度等级	
车辆基地配置		运营方式(独立/共线)		车辆满载率		运行等级	
车辆选型		列车编组		供电制式		列车长度	
最小运行间隔		旅行速度		授流方式		配车数量	
最大供电能力		高峰站停时间		平峰停站时间		折返能力	
最小站间距		供电分区数量		最大牵引力		最大制动力	
节能计划运行图号		列车运行等级间的速度偏差值		列车运行早/晚时间偏差值		惰行工况运行速度下限值	
牵引传动总效率				牵引变电所数量及位置			

5. 列车牵引电能计量评估

5.1 一般要求

- 5.1.1 为满足列车运行节能控制策略的节能效果评估需求，电力监控系统或电能管理系统可提供列车运行能耗数据，行车组织可提供列车运行的车公里数据。
- 5.1.2 基于不同线路车辆、供电系统的设备设施配置的差异性，对列车牵引能耗与再生制动能量等数据的读取行为有影响，本导则以列车运行能耗为节能评估指标，计量单位为 kWh/（百车·km）。
- 5.1.3 结合电力监控系统或电能管理系统提供的列车运行能耗数据、行车组织提供的列车运行总里程与列车总数，经过人工计算，对比分析不同列车运行节能控制策略下的节能效果。

5.2 能耗计量

- 5.2.1 统计期内，用于评估列车运行节能控制策略节能效果的列车运行相关数据可从下列工作站取得：

1. 电力监控系统或电能管理系统的中心工作站；
2. 电力监控系统的复示工作站。

5.2.2 工作站的数据

1. 当变电所安装并投入再生制动能量吸收装置时，可从工作站读取牵引变压器输出电能累计值和再生制动能量吸收装置的反馈有功电度累计值；

列车运行能耗计算公式如下：

$$D = D_Q - D_Z \quad (5.2.2)$$

式中：

D----列车运行能耗（kWh）；

D_o ----牵引变压器输出电能累计值 (kWh) ;

D_z ----再生制动能量吸收装置的反馈有功电度值 (kWh) 。

2. 当变电所未安装或安装后未投入再生制动能量吸收装置时, 可从工作站读取列车运行能耗累计值。

5.2.3 工作站应能对列车运行能耗以及再生制动能量等各类数据进行分类、分项统计, 对统计期内的各类数据平均值进行统计与计算, 并采用表格、折线图等形式显示; 数据存储时间不应少于 90 天。

5.2.4 工作站数据表格、折线形式示意分别见图 5.2.4-1、图 5.2.4-2。

The screenshot shows a web-based data management interface. At the top, there are navigation links: '数据查询', '数据统计', '数据对比', and '统计数据验证'. Below this is a filter bar with '电' (Electricity) selected, and options for '水' (Water) and '气' (Gas). The main area contains a search form with '选择类型: 10kV牵引变压器', '统计类型: 按日统计', '开始时间: 2016/1/1', and '结束时间: 2016/2/29'. A '确认查询' button is on the right. Below the search form are tabs for '表格形式' (Table View) and '图形格式' (Chart View), with '表格形式' selected. There are also buttons for '导出报表' (Export Report) and '打印' (Print). The main content is a table with the following data:

统计日期	类别名称	能耗量
2016-01-21	10kV牵引变压器	36274
2016-01-22	10kV牵引变压器	38777
2016-01-23	10kV牵引变压器	40961
2016-01-24	10kV牵引变压器	40064
2016-01-25	10kV牵引变压器	37777
2016-01-26	10kV牵引变压器	37492
2016-01-27	10kV牵引变压器	38370
2016-01-28	10kV牵引变压器	36789
2016-01-29	10kV牵引变压器	38608
2016-01-30	10kV牵引变压器	39095
2016-01-31	10kV牵引变压器	40382
2016-02-01	10kV牵引变压器	38388
2016-02-02	10kV牵引变压器	37230
2016-02-03	10kV牵引变压器	35560
2016-02-04	10kV牵引变压器	35974
2016-02-05	10kV牵引变压器	34313
2016-02-06	10kV牵引变压器	36412
2016-02-07	10kV牵引变压器	36671
2016-02-08	10kV牵引变压器	33999
2016-02-09	10kV牵引变压器	34178

At the bottom, there is a pagination bar showing '每页显示20条', '第2页', and '共3页 跳转到: []'.

图 5.2.4-1 工作站数据表格形式示意图

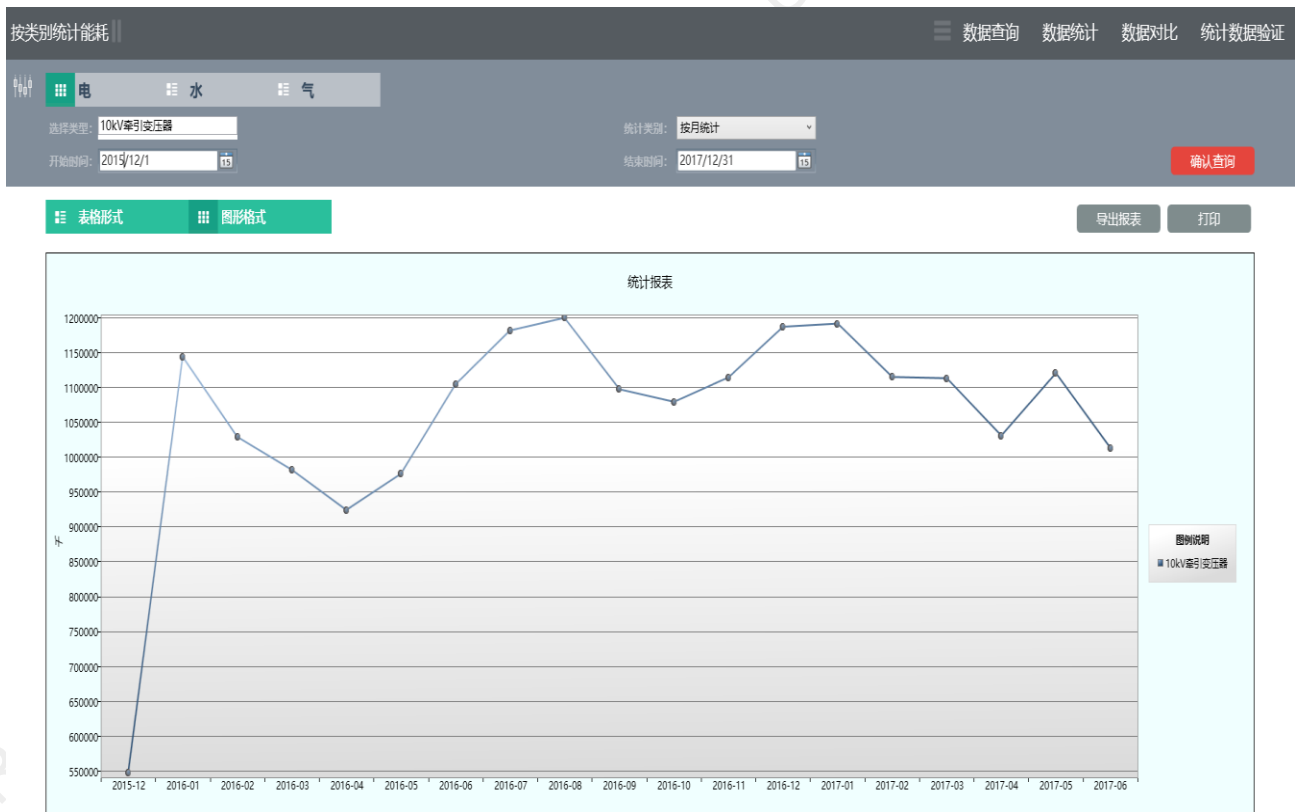


图 5.2.4-2 工作站数据折线形式示意图

注：

① 示意图以 10kV 牵引变压器为例，同样适用于 35kV 牵引变压器。

② 示意图显示的数据为全线牵引变压器的输出电能累计值，也可读取单台牵引变压器的输出电能累计值。

③ 图 5.2.4-1 显示格式以日为统计类型，图 5.2.4-2 显示格式以月为统计类型，两图均可通过周、月、季等统计类型读取数据。

5.2.5 工作站可按照任意指定的时间或起始/终止时间提供列车运行相关数据。

5.2.6 当列车安装列车运行能耗数据采集装置时，可指导列车运行节能控制策略的优化、各种能耗精细化分析工作。

5.2.7 列车运行能耗数据采集装置应对列车运行能耗、列车辅助设施能耗以及产生的再生制动能量等各类数据进行采集和分时、分项统计计算，计量精度应不低于电力监控系统

或电能管理系统要求的精度；数据存储时间不宜少于 90 天。

5.3 能耗计算与评估

5.3.1 统计期内，从工作站直接或间接读取列车运行能耗累计值，经列车运行不同控制策略下的差值对比，可得出被评估线路的节能效果结论；采用列车运行能耗平均值，同时可指导网络化运营的技术工作。

5.3.2 列车运行能耗平均值计算

列车运行能耗平均值按下列公式计算：

$$E = \frac{D}{(\sum_1^m L_{a \cdot A} + \sum_1^n L_{b \cdot B} + \dots) / 100} \quad (5.3.2)$$

式中：

E----列车运行能耗平均值（kWh/（百车·km））；

D----统计期内工作站直接或间接读取的列车运行能耗累计值（kWh）；

A、B----分别为线路中混跑列车的编组数（车）；

L_a ----第 a 列 A 节编组列车运行里程（km）；

L_b ----第 b 列 B 节编组列车运行里程（km）；

m、n-----节能评估统计期内，对应混跑线路中 A、B 编组列车运行的总量。

5.3.3 列车运行能耗平均值对比

当评估采用两种不同的列车运行控制策略节能效果时，列车运行能耗平均值之间的差值按下列公式计算：

$$\Delta E = E_2 - E_1 \quad (5.3.3)$$

式中：

ΔE ----两种列车运行控制策略下列车运行能耗平均值的差值(kWh/(百车·km))；

E_1 ----列车采用第一种运行控制策略时的列车运行能耗平均值(kWh/(百车·km))；

E_2 ----列车采用第二种运行控制策略时的列车运行能耗平均值(kWh/(百车·km))。

当 $\Delta E < 0$ 时，表明第二种运行控制策略的节能效果优于第一种；当 $\Delta E \geq 0$ 时，表明第一种运行控制策略的节能效果优于第二种。

5.3.4 统计期为列车的完整运行周期，宜按周、月、季度考虑，最短统计期不应少于 1 周。

5.3.5 评估列车运行节能控制策略效果时，应在下列前提下对比分析：

1. 同一线路；
2. 车辆、供电等基础设施条件固定；
3. 列车辅助设施的运行工况相同；
4. 运营基础条件一致，包括：运输能力、运营时间、高峰/平峰划分；
5. 统计时长一致。