

城市轨道交通列车运行节能控制导则 条文说明

签发时间：2019年08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。

本文为《城市轨道交通列车运行节能控制导则》白皮书的条文说明。

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
条文说明

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《城市轨道交通列车运行节能控制导则》以及条文说明。

导则及条文说明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.....	4
3. 列车运行节能控制策略.....	15
3.1 一般要求.....	15
3.2 行车组织.....	17
3.3 列车运行节能控制措施.....	22
4. 列车运行节能控制仿真平台.....	35
4.1 一般要求.....	35
4.2 性能要求.....	36
4.3 功能要求.....	39
4.4 数据库管理.....	45
5. 列车牵引电能计量评估.....	46
5.1 一般要求.....	46
5.2 能耗计量.....	47
5.3 能耗计算与评估.....	51

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。

条文说明：

列车运行节能效率的提升主要是以信号系统列车控制为核心，使列车运行控制的节能策略与线路设计、行车组织方案相匹配，进行系统设计，在工程实施中，实现信号系统的节能控制策略的可实施，通过搭建节能控制仿真平台达到节能效果的可检验，贯彻《中华人民共和国节约能源法》的相关内容，最终降低列车牵引能耗。

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。

条文说明：

本导则各种运行节能策略涵盖 80km/h、100km/h 速度等级的钢轮钢轨制式，其他制式或速度等级的线路可参照执行。

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。

条文说明：

本导则提出的节能控制策略综合考虑与列车运行节能控制关联的因素，将节能控制策略中所运用的各项数据通过节能检验仿真平台进行分析运算，形成节能评估报告；并能够根据仿真运算结果对节能控制策略进行优化调整，最终达到节能增效的目的。

列车运行节能控制关联的主要因素如下：

1. 基础设施：线路长度、坡度、站间距、车站设置、供电制式等；
2. 车辆牵引能耗数据；
3. 列车控制系统在不同工况、不同运行等级的控制模式；
4. 行车组织在运行交路、高峰/平峰作业时间调整、进站/出站作业等管理模式；
5. 节能计划运行图的编制和使用。

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。

条文说明：

列车运行节能的各项控制策略如行车组织方案、车辆牵引/制动、列车运行控制与牵引供电分区划分等，应在确保行车安全、不降低运营效率和客运服务水平的前提下实施，统筹将基础设施条件、行车效率、乘客舒适度等各项因素纳入节能控制策略实施方案，实现轨道交通行车安全、高效与低能耗、低成本相协调的目标。

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。

条文说明：

为实现列车运行节能效果的测试和检验，搭建列车运行能耗仿真平台，以评估列车运行节能效果。列车运行节能控制仿真平台以城市轨道交通行车能力设计与检验平台框架为基础，将列车运行节能控制策略进行仿真分析所需的相关数据以及新增功能，在原行车能力平台基础之上进行补充，以满足节能评估的需要。

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。

条文说明:

本导则涉及的行车设备系统主要指与行车相关的信号、车辆、供电系统等设备，运行节能策略是在列车按图正常运行，且各项基础设施等条件不变时采取的不同控制策略，并对各种节能策略进行节能效果的评估，对于行车设备故障或出现火灾、应急抢险等突发事件采取的临时行车组织方案，暴雨、大雪、大风等极端天气的列车运行组织和控制策略均不在本导则节能控制策略的范畴内。

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。

条文说明:

本导则的列车运行节能控制策略是充分考虑了列车自动运行和全自动运行模式下的各种控制方案，适用于ATO、DTO、UTO不同列车运行工况节能控制策略的实施和节能效果的评估，不适用于人工驾驶模式。

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。

条文说明：

以列车最高运行速度值对线路的速度能力进行分级，80km/h 或 100km/h 的线路速度等级，表示该线路轨道、限界、车辆等相关专业允许列车按最高 80km/h 或 100km/h 速度值持续行驶。

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。

条文说明：

车辆基地是轨道交通车辆段、停车场的统称。一般而言，轨道交通运营的设备设施维修保养、物资材料存放、人员技能培训及相关生产生活等功能设施布置在车辆段范围内。

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。

条文说明：

线路设计能力是保证轨道交通线路运输能力实现的重要指标，是基于基础设施配置条件（诸如线路条件、配线形式、站型布置、道岔选型等）、列车编组长度、最高运行速度、信号系统配置标准及技术水平经过理论或仿真计算而得出，是理论计算结果，应与正线设计行车密度相适应。

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。

条文说明：

列车折返是指列车到达折返站后转线运行，列车折返有站后折返和站前折返两种方式。折返能力主要取决于车站折返线的布置方式（折返方式）、信号控制方式、折返站的站停时间、列车折返运行速度以及列车折返换端时间等因素。

列车运行的折返模式包括：全自动驾驶折返模式（FA0 下）、ATO 有人/无人自动折返模式、ATP 监督下的人工折返模式、限制人工折返模式、非限制人工折返模式。为实现列车运行节能控制，应采用全自动驾驶折返模式、ATO 有人/无人自动折返模式。

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。

条文说明：

系统设计最小行车间隔是轨道交通信号系统设备水平的重要体现，其受制于基础设施条件、列车最高运行速度、设备设施配置、运营管理模式等。系统设计最小行车间隔也是制约系统设计运输能力实现的重要综合性指标参数。系统设计最小行车间隔应在满足线路设计能力的基础上，留有不小于 10% 的余量。例如：某 8 辆编组的线路，线路设计能力为满足 2 分钟运营间隔的要求，正线设计追踪间隔要求不大于 100 秒；交路折返站的设计折返追踪间隔不大于 108 秒；列车出入段设计追踪间隔不大于 108 秒。

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。

条文说明：

旅行速度是衡量城市轨道交通运营速度和运输效率的重要指标。旅行速度是包括在中间站站停时间及起停车附加时间在内的列车平均运行速度。列车运行速度和站停时间、停站次数是决定旅行速度的关键因素。

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。

条文说明：

技术速度是不包括中间站的站停时间,但包括起停车附加时间在内的列车平均运行速度。列车运行速度、停站次数是决定技术速度的关键因素。

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。

条文说明：

线路最高限制速度是根据曲线、道岔、站台限速条件计算的列车在相应路段线路上运行时不允许超过的最高速度。线路最高限制速度为列车运行最高限制速度的考虑因素之一。

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。

条文说明：

线路允许最高运行速度是根据线路条件计算的允许列车在平直段、曲线、道岔、车站站台等不同路段线路持续运行的速度。通常信号系统控制列车可持续以该最高速度值运行。

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。

条文说明：

车辆的构造速度又称结构速度,是考虑到车体和转向架运行的安全如结构强度、牵引传动系统转速限制、基础制动装置的热容量以及制动距离等而限定的速度,在实际列车运行控制中,不允许触碰该速度值。

- 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。

条文说明：

车辆最高运行速度是根据车辆性能在规定的条件下，可持续运行的最高速度。通常信号系统控制列车可持续以该最高速度值运行。

- 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。

条文说明：

列车运行最高限制速度值应结合车辆构造速度、道岔/曲线/站台等特殊区段的线路最高限制速度及临时限速确定。列车运行最高限制速度为信号系统计算 ATP 系统限制速度的因素之一。信号系统控制列车运行时，在任何情况下 ATP 系统监控列车运行的速度均不能触碰该速度值。

- 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。

条文说明：

列车最高运行速度是信号专业综合考虑线路允许最高运行速度、车辆最高运行速度和运营条件因素确定的在不同路段线路上列车运行可达到的最高速度。信号系统控制列车运行时，为实现运营效率的最大化，在不触发紧急制动或全常用制动的前提下，宜控制列车以该速度持续运行。

- 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。

条文说明:

在 ATP 系统设计中,结合列车运行最高限制速度、与前行列车的距离等因素实时计算的控制列车安全运行的限制速度,保证列车在各种最不利条件下均不触碰列车运行最高限制速度。

- 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。

条文说明:

在 ATO 模式下,ATO 系统根据 ATP 的目标速度、目标距离结合列车性能参数,在保证列车运行平稳、乘客舒适度的情况下,实时计算控制列车运行的速度曲线,ATO 运行速度定义为该曲线上所规定的速度。

- 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。

条文说明:

列车运行巡航速度是自动驾驶设备监控列车以规定速度稳定持续运行而设定的速度。在 ATO 自动驾驶情况下,达到所计算的最佳运行速度后,ATO 将通过惰行和小幅度牵引、制动的措施,使列车保持在最佳运行速度附近。

- 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。

条文说明:

行车组织是通过运营管理措施实现对列车运行统一管理的整套有效措施,是以客流规模和特征为前提条件下制定的。在运营实践中,列车运行计划图是指导行车组织的具体文件。

- 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。

条文说明：

计划运行图是在对客流规模及出行特征分析的基础上，结合运营管理水平、规章制度、线路条件等，编制的指导列车有序运行，完成对乘客运输的文件，同时，也是运营内部考核的重要依据。

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。

条文说明：

在计划运行图编制过程中，充分考虑列车运行图要素与能耗之间的关联关系，采取优化区间运行时间、实现同一供电分区内不同列车牵引/制动工况同步等技术手段降低列车运行能耗，形成节能计划运行图。

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。

条文说明：

站停时间是轨道交通运营直接面对乘客提供服务的时间。确定列车站停时间时，应在满足客运组织作业需要的前提下，最大限度地缩短列车站停时间，以提高线路通过能力和旅行速度。站停时间取决于下列因素：

- 车站乘客乘降量；
- 平均上、下一位乘客所需时间，该项时间取决于车辆的车门数、车门宽度等因素；
- 车站客运组织措施；

- 车辆/站台门开、关门的时间；
- 确认车门关门状态良好及发车确认时间。

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。

条文说明：

全周转时间反映的是列车从某一点开始运行，直至再次回到起点位置的全部时间之和，与线路长度、旅行速度、停站时间、终点站折返时间等密切相关。在实际运营中，依据全周转时间和行车间隔确定上线运行列车数量。

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。

条文说明：

信号系统根据线路条件、车辆参数、运行控制策略、乘客舒适度、节能控制等因素确定不同控制级别下的列车运行速度曲线或区间运行时间。

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。

条文说明：

无人驾驶列车运行（driverless train operation）是指列车工作人员不控制列车加速及减速，也不负责在司机室监视路况和紧急制动操作；而列车的安全离站（包括

车门关闭)由列车工作人员负责,或由系统自动完成列车紧急状态下的检测及处理。无人干预列车运行(unattended train operation)是指列车在不配置车上工作人员的条件(所有功能均由系统负责实现)下的运行。

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。

条文说明:

列车通过接触网(轨)取得供电电源,用于实现车辆的电力驱动和空调、照明等辅助设施的正常运转,因此而产生的能耗即为列车运行能耗。列车运行所消耗的电能绝大部分为牵引用电量,也是起决定性作用的部分,列车辅助设施能耗仅占很小一部分。对于大客流线路,列车运行能耗约占运营总用电量的50%~60%。

列车运行能耗是列车运营中的一项重要经济指标,同运营成本的高低和运营组织效率的高低有着重要的关联关系。列车运行能耗同线路条件、车辆类型、车辆性能、载客量、运行速度、站停时间、列车运行控制策略等方面均有着直接的关系。

2.30 牵引能耗——列车运行过程中牵引做功所消耗的电能。

条文说明:

牵引能耗是指列车为加速或保持速度运行而消耗的电能。列车进行电力驱动时,需将电能转化为动能,产生牵引力,克服轮轨间摩擦力。列车牵引能耗的大小与诸多因素有关,如线路的敷设形式、线路纵断面、活塞风阻力、载客量、运行速度、平均旅行速度、列车运行控制策略等,其中列车载荷大小为决定性因素。同样牵引能耗也是衡量列车牵引效率的一项指标,是列车运行能耗的主要组成部分,提高牵引传动效率也是降低牵引能量消耗的方法之一。

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。

条文说明:

惰行是列车运行模式之一,在该模式下列车既无牵引力也无制动力,列车靠惯性运行。在保证列车满足运营需求的前提下,在具备条件的线路上可以通过增加惰行次数和惰行时间,达到降低列车运行牵引能耗的目的。

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。

条文说明:

列车电制动包括再生制动和电阻制动两种方式,其中再生制动也是我国轨道交通电动客车目前常用的一种制动技术。再生制动是指通过将列车的动能转换为电能,达到列车减速的目的。再生制动时电动机切换成发电机运转,利用车辆自身的惯性带动电动机转子旋转而产生反转力矩,将一部分的动能或势能转化为电能,并通过牵引变流器、受电弓(或受流器)、牵引接触网(轨)反馈给供电网或储能装置,供列车所在供电区段上的其他相邻列车牵引和本车的辅助系统使用,也可通过逆变装置供本线路的车站使用,因此这是一个能量回收的过程。

在接触网(轨)电压上升到牵引设备所能承受的网压限定值时,牵引系统通过开通制动斩波器将电机发出的电能送给车载制动电阻转化为热能消耗到空气中。

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。

条文说明:

列车辅助设施能耗是指除牵引系统外的,车辆其他各用电子系统设备所消耗的电能,主要包括空调与通风系统、照明系统、电加热系统、风源系统、视频监控系统以及制动、信号、车门、网络、列车广播等控制系统设备。其中以空调、空气压缩机、照明和电加热等辅助设备消耗的电能居多,约占列车辅助设施总能耗的80%以上。不同编组的列车用电负荷会略有差异,使用空调的季节所消耗的电能要远高于非使用空调的春秋季节。

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。

条文说明：

再生制动能量是指列车再生制动过程中，由动能转换的电能。再生制动能量主要通过以下三种途径被再利用：一是被其他相邻列车吸收利用；二是通过地面设置的再生能量吸收装置，将列车再生制动能量存储于储能型装置中，当列车启动需要牵引电能时，储能装置通过接触网（轨）向列车释放能量；三是经过地面逆变装置将再生制动能量上传至城市轨道交通内部中压或低压供配电系统。其中，再生能量的吸收利用率与列车运行密度和区间距离有直接的关系，当列车发车密度较低时，再生能量被其他车辆吸收的概率会大大降低。当回馈接触网（轨）的电流不能完全被其他车辆或车站用电设备所吸收时，则通过车辆自身制动电阻吸收多余的回馈电流，以发热的形式消耗掉，从而防止接触网（轨）电压升高超限。再生制动能量越大，表示列车动能转换为电能越多，越有利于列车牵引能耗的降低。

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。

条文说明：

牵引传动总效率是指列车牵引系统将电能转变为动能时总的能量利用率指标，其中包括从供电网到牵引电机各电气部件效率和牵引电机到轮轴的各机械部件效率的乘积。

在从供电网侧电能转换为驱动列车运行动能的整个供能路径中，按能量传递顺序依次分布了牵引变流器、牵引电机、齿轮传动装置等主要部件。

牵引变流器和牵引电机作为牵引系统的重要能量转换和动力输出设备，其结构特点和电气性能决定了在直-交逆变过程和电能转换为动能的过程中均存在一定的能量损失；同样，电机旋转带动齿轮箱，齿轮传动时也存在齿面摩擦、振动和其它能量损失，因此对于牵引变流器和牵引电机等电气设备而言，通常以输出效率指标对其电气输出能力进行衡量，而对于机械传动部件则以传动效率指标对其传动能力进行衡量。

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。

条文说明：

牵引供电分区是指相邻牵引变电所共同向同一接触网（轨）供电的区段，或者线路始末端牵引变电所单独向始末端接触网（轨）供电的区段。为了便捷查找接触网（轨）的故障点，以及缩小故障范围，接触网（轨）在牵引变电所附近实施电气隔离，形成相对独立的供电区段；实际上，全线牵引供电分区通过牵引变电所直流母线是电气联通的。

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。

条文说明：

本条属原则性规定，明确轨道交通行车组织以客流为基础，在此基础上确定的运营管理模式，应兼顾运营的经济效益和社会效益，这与轨道交通的经济属性和社会属性相一致。

- 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。

条文说明：

轨道交通不同运营时段、地段，客流差异性较大，有针对性的、精细化的制定运营组织方案，可提高运营效率，降低运营成本，减少行车能耗。在运营实际中，常常采用针对不同时段、地段的客流差异性需求制定相应的行车组织方案，达到提高满载率，减少列车空驶，降低运行能耗的目的。特别要强调的是，这里提到的特殊时段，既包含诸如节假日等时段，也包含沿线部分站点可能产生的规律性突发客流的时段，轨道交通行车组织应将特殊时段纳入到行车方案制定范围。

- 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。

条文说明：

轨道交通运营是一个系统工程，只有充分发挥本系统内所有设备、设施的效率，才能够确保系统运营效率的充分发挥。从当前轨道交通运营实际来看，车辆基地咽喉区接发车作业能力对轨道交通运营效率影响较大。客流高峰时段前后，车辆基地存在较长时

间大量的接发车作业，提高咽喉区接发车效率，可减少接发车作业时间，减少列车空驶。故本导则在这里指出要充分利用车辆基地咽喉区的接发车能力，可缩短接发车作业时间，利于节能。

- 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。

条文说明：

轨道交通建成通车初期往往处于客流培育阶段，客流规模可能不大，部分轨道交通线路特别是连接外围组团与中心城通勤客流出行的线路，平峰时段客流规模往往不大，从兼顾服务水平和运营经济性角度出发，本条针对运营初期或平峰时段可采用小编组高密度或大小编组混合运行的方式，在满足客流需求的前提下，实现列车节能运行。

- 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。

条文说明：

轨道交通线路站间距、平面及纵断面特征差别较大，列车在区间运行状态千差万别。列车运行过程中通过采取合理的运行速度控制策略，可减少列车在运行过程中频繁切换牵引、制动工况，利于降低列车运行能耗，同时，也利于提高列车运行的舒适度水平。

- 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。

条文说明：

ATS 系统结合列车实际运行时间、时刻表时间及设定的允许偏差值，动态计算区间运行时间。ATO 系统根据 ATS 系统下发的区间运行时间，结合线路的坡度、车辆特性、乘客舒适度等因素，根据不同的条件选择最佳的运行工况，达到节能及列车自动调整的目的。

- 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。

条文说明：

轨道交通运营早、晚高峰时段总时间约占全日运营时间的 25%，高峰时段应在保证高效运输的前提下，再考虑节能运行，即充分发挥轨道交通运行效率，完成对高峰大客流出行需求的运输组织，这与轨道交通建设按照高峰高断面进行设计的基本理念相匹配。平峰时段约占全日运营时间的 75%，占比较大，应追求节能运行，适当降低列车最高运行速度。故本条针对平峰时段提出应充分考虑列车节能运行的控制策略。

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。

条文说明：

多交路运行是提高列车满载率、减少列车空驶、降低列车运行能耗的重要行车组织方式，在当前轨道交通运营线路中，大小交路运行方式已在国内轨道交通运营广泛应用。

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。

条文说明：

轨道交通计划运行图编制中，当运行间隔调整涉及有接发车作业需求时，可充分利用沿线配置的停车线实现接发空车，可减少从车辆基地接发车引起的收发时间长、列车走行距离长等不足，故利用配线接发车可大大降低列车运行能耗。

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。

条文说明:

这里提到不对称运营概念,也是减少列车空驶,降低能耗的重要途径,当前已被广泛应用于运营实践中。诸如南京地铁1号线,在早高峰时段,由南向北单向加车7列,应对早高峰大量的进城客流出行需求。故这里针对轨道交通线路上下行方向客流断面差异性较大的情况,即一个方向客流断面大、对运能要求高,另一方向客流断面小、对运能要求低时,可利用车辆基地或沿线分布的配线向大客流方向加车(断面客流较小方向则不加车),通过不对称行车对数行车组织,达到既可有效应对大客流方向的运能需求,同时,又能够减少另一方向上的行车对数,减少列车空驶,进而达到降低列车运行能耗的目的。

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。

条文说明:

当局部区段(诸如商业中心、体育场馆、火车站等)发生可预见性的大客流时,可通过利用车辆基地或沿线配置的停车线向大客流方向组织多点发车的运行组织方式,应对突发性客流,利于降低列车运行能耗。多点发车的行车组织策略,可避免从车辆基地发车带来的走行距离长、行车能耗高等问题。

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。

条文说明:

这里明确保证全周转时间基本不变为前提,是考虑到不会因全周转时间调整引起

增加运用列车的数量，否则会得不偿失。轨道交通站停时间长短主要取决于车站乘降量，往往高峰时段客流较大，站停时间较长；但平峰时段客流较小，若按照高峰时段配置站停时间取值，则存在无效的站停时间。无效站停时间不但降低了轨道交通运输效率，而且由于列车车门长时间打开状态，也增加车厢内外热量交换，增加了空调能耗。为此，本导则提出高峰/平峰时段配置不同的站停时间，即高峰时段站停时间取值大，平峰时段取值小。在运营平峰时段，站停时间适当减少，将减少时间值调至区间运行时间，可适当降低列车在区间的运行速度，以实现节能运行的目的，同时，亦可基本保证旅行速度不变。

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。

条文说明：

轨道交通列车运行能耗中，列车出站起动能耗占比最大。本条针对轨道交通上下行方向客流断面差异性较大情况，在客流断面较小的方向上，采用部分列车单方向不载客过站的行车组织方式，减少列车每次站停出站牵引加速所消耗的电能，实现降低牵引能耗的目的。需要明确的是，当采用此方式时，不应采取列车在部分车站停车、部分不停车的方式，而是采取部分列车在起点站开始，即采用不停车通过的运行方式直达终点或车辆基地，避免给客流组织带来不必要的麻烦。此行车组织方式，在深圳4号线运营实践中得以应用。

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。

条文说明：

目前国内地铁列车再生制动的节能效果是很明显的。同一供电分区内各列车之间的起动加速和制动减速的时机配合恰当，则再生制动能量被同一供电分区内的相邻列车吸收得越充分，其再生制动能量利用率最高。在计划运行图编制过程中，尽可能做到

处于同一供电分区内的列车，在出站起动加速、进站制动减速的合理衔接，使得进站制动列车产生的再生制动能量，尽可能被出站起动加速的列车所利用，达到降低列车运行能耗的目的。

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。

条文说明：

列车运行能耗包含牵引能耗、空调能耗以及车上其他辅助设备设施能耗。其中空调能耗与站停时间内车门处于打开状态的时间长短关系密切。在满足设备动作、乘客乘降时间基础上，适当减少车门处于打开状态的时间，可以减少车厢内外热量交换，可降低列车空调能耗，进而达到降低列车运行能耗的目的。

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。

条文说明：

当轨道交通运营的行车间隔达到或接近系统设计最小行车间隔时，留给列车在区间运行时间的可调整裕量较小。从轨道交通线路列车运行指挥角度出发，尽可能保证全线列车运行间隔的均匀性，否则列车在运行区间极有可能产生不必要的制动、牵引工况频繁转换的应用情况，甚至会引起列车区间停车。当出现行车间隔不均匀情况时，对轨道交通节能运行是非常不利的，故本条针对列车运行间隔均匀性提出要求。

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。

条文说明：

在平峰时段，客流量会大幅度下降，行车间隔较大情况下，系统设计能力不成为运输能力的制约点，为此，适当减小出站牵引加速度，可降低列车牵引能耗。

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。

条文说明：

本条是综合列车运行节能、系统运行效率、舒适性等因素从多角度对列车在区间运行提出的要求，尽可能在兼顾能耗、效率、舒适性的基础上维持相对稳定的运行速度，减少二次或多次再牵引次数，减少列车运行能耗。

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。

条文说明：

轨道交通列车按照追踪方式运行，追踪间隔受到列车站停、折返或非正常因素影响，列车间的运行间隔呈现过程的动态性。为此，针对列车控制曲线提出合理的调整范围要求，目的是在满足合理的列车动态追踪间隔条件下，不会出现由于调整范围不足或过大的情况。当调整范围不足时，会引起列车在区间实施制动、牵引工况的可能；当调整范围太大时，则会降低系统运行效率。

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。

条文说明：

轨道交通线路采用高站台、低区间的节能坡形设计理念，利于降低列车运行能耗。结合工程实例，根据工程建设经验得知，当列车出站加速至节能坡终点，达到列车最高运行速度；列车进站减速，从节能坡坡底开始进入惰行状态或制动状态时，此运行曲线是最有利于节能的。

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±15s，平

峰不宜超过 $\pm 30\text{s}$ 。

条文说明：

轨道交通列车运行控制系统应按照高峰、平峰分别配置早/晚点时间偏差，高峰时段不超过 15s ；平峰时段不超过 30s 。高峰时段取值 15s ，这与系统设计能力与运营行车间隔之间的裕量 10% 相匹配；平峰时段，系统对能力要求有所降低，调整裕量可适当加大。

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。

条文说明：

ATO 系统在计算站间速度—距离曲线时，应充分考虑列车牵引及制动特性、线路条件、列车运行阻力、列车载荷等各种因素对列车运行能耗的影响，在保证乘客舒适度、准点到达的前提下，采取不同的牵引、制动、惰行控制策略，尽量减少不同工况之间的转换频率，以使每一运行等级下的列车牵引能耗是所确定区间运行时分下的最低能耗。

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。

条文说明：

信号系统控制列车运行时充分利用列车运行的加速、惰行、制动工况，结合线路平纵断面参数、牵引供电分区划分、列车运行间隔、再生制动，既达到单列列车在 ATO 运行模式下的可控性，减低牵引能耗，又满足同一供电分区内多列车牵引电能均衡，实

现全线列车的节能运行及运行调整的有机统一。制定节能计划运行图是实现在同一牵引供电分区内的列车协同运行的有效手段，按照节能计划运行图控制列车运行是实现节能的措施之一。

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。

条文说明：

充分利用惰行工况是列车运行节能的有效手段，ATO 系统自动控制列车运行时，在满足区间运行时间约束的前提下，控制列车运行时应充分利用惰行工况。当列车运行晚点时，从节能角度出发，结合线路条件、运行秩序及服务水平需求，宜逐步提高运行速度，缩减站停时间及区间运行时分，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。

条文说明：

城市轨道交通线路设计有节能坡。列车从车站起动后，借助下坡的势能增加列车加速度，缩短列车牵引时间，从而达到节能的目的。列车进站停车时，可借助坡度阻力，降低列车速度。因此，ATO 系统控制列车运行过程中，需将线路节能坡的条件纳入系统控制中，实现：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。

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。

条文说明：

ATS 系统应结合列车实际运行时间、时刻表时间及设定的允许偏差值，计算区间运行时间。

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。

条文说明：

“区间运行时间误差应控制在 2%以内”的要求引自《城市轨道交通信号系统用户需求书（范本）》。ATO 控制列车运行时的区间走行时分误差与运行区间的长度无关，仅与精确运行时分控制算法、车辆响应延时相关，典型的区间走行时分误差一般不会超过 1s。

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	100
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

条文说明：

列车运行等级是按照不同列车运行速度曲线或区间运行时间划分的。不同的信号厂家对列车运行等级的划分不统一，本导则综合各信号厂家列车运行等级划分情况及各等级下的节能效果，提出了列车运行等级设置宜不少于 4 级。

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。

条文说明：

信号系统应能够针对高峰和平峰时段采取不同的列车控制策略，高峰时段为保证运行效率，推荐以运行等级 4 控制列车运行；平峰时段推荐以运行等级 3 控制列车运行，利于列车运行节能控制。

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。

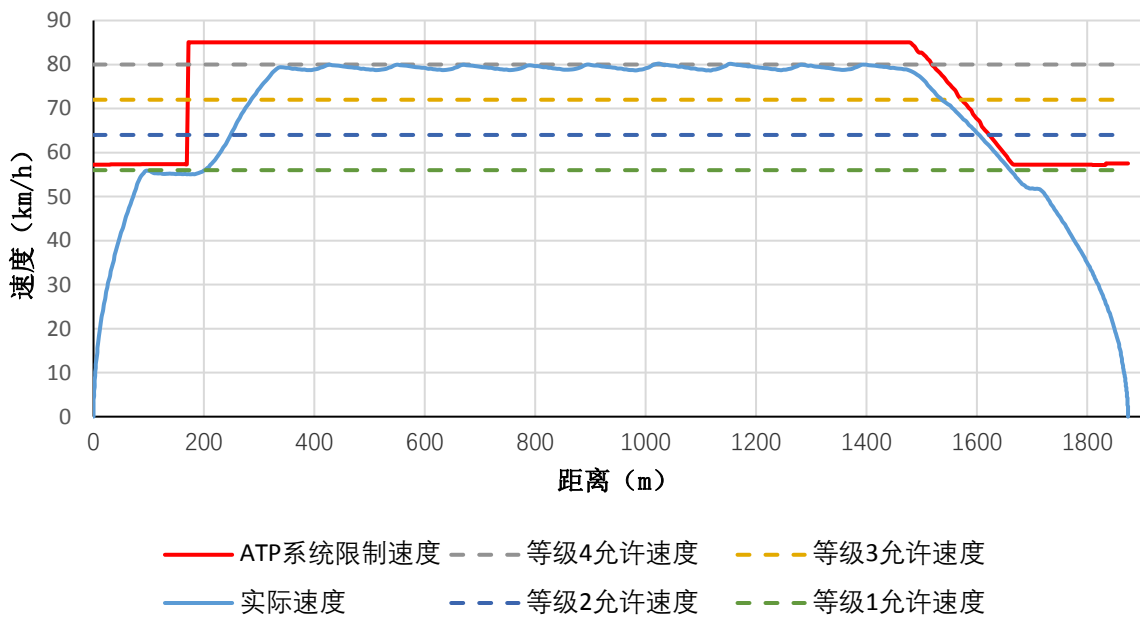


图 3.3.2-1 按等级 4 控制列车运行示意图

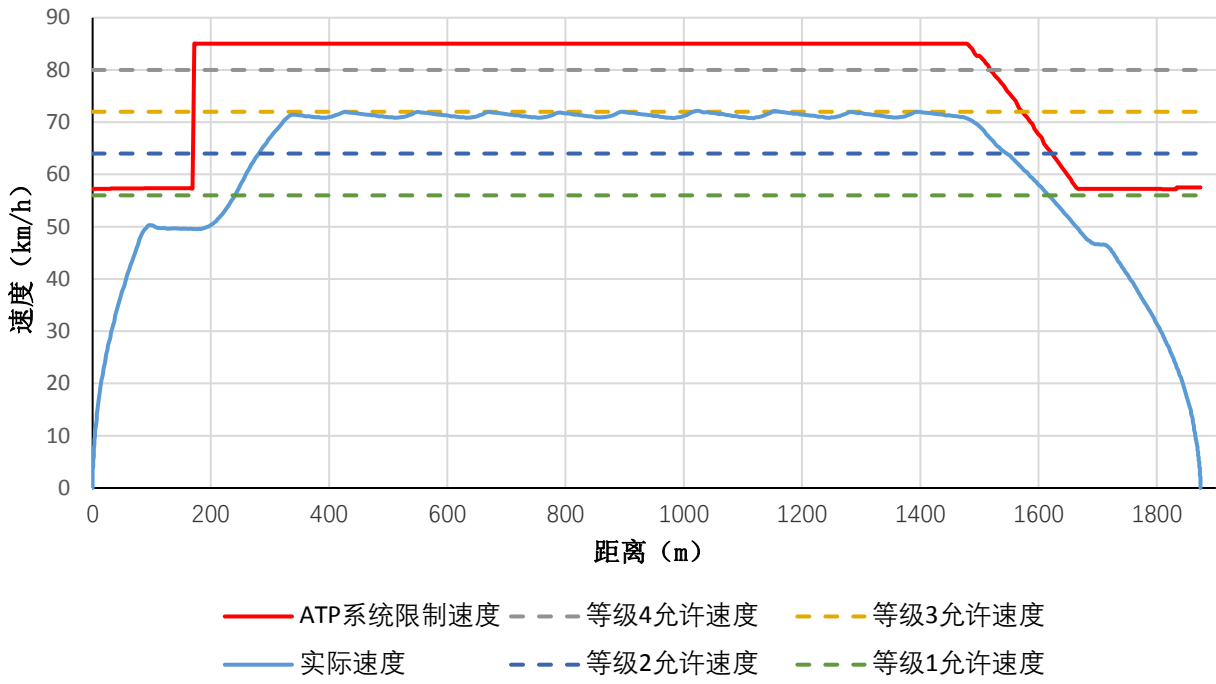


图 3.3.2-2 按等级 3 控制列车运行示意图

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。

条文说明：

在不考虑供电区间多车再生能量利用的前提下，尽可能提高出站加速度，提高出站效率，将节约出来的运行时间分配到站间的合理位置，是对节能更为有利的控制策略。ATO 应在控制层面针对出站期间较高的加速度予以适当优化，保证乘客舒适度在可接受范围。出站加速度过低会较大程度延长站间运行时间， 0.6m/s^2 的加速度值是通过大量不同线路进行仿真和现场测试，从站间运行时间角度普遍能够接受的下限值。

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。

条文说明：

ATO 系统控制列车加速达到站台或区间允许速度时，都应通过控制上的优化，尽可能避免速度上的超调，超调意味着实际速度超过了速度控制预期的目标，即使不会触发 ATP 超速制动防护，ATO 也可能在后续的速度调整中主动降速，造成牵引能耗的增加。在站间距较短的情况下，更应着力避免上述情况。

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。

条文说明：

下坡道列车重力做功，重力势能部分转化为动能，从而可以适当减少牵引电能做功。在出站节能坡、高架入隧道等区段采用该控制策略可收到较明显的节能效果。

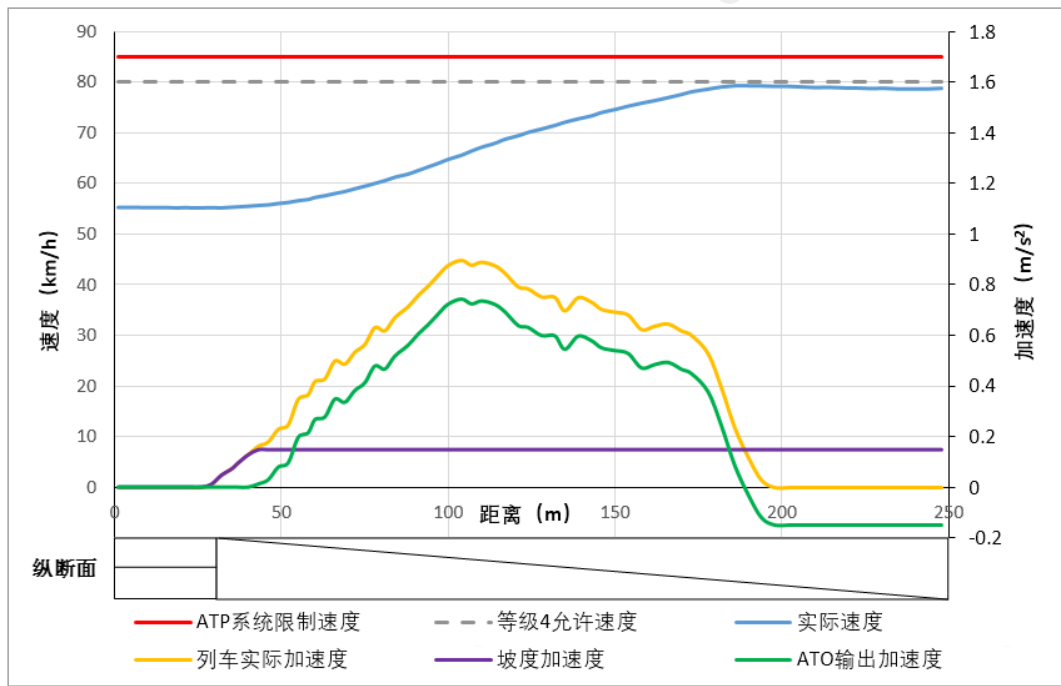


图 3.3.3-1 区间下坡道加速度控制示意图

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。

条文说明：

在进站节能坡、隧道上高架等区段实施制动控制时，应考虑坡道势能的影响，避免在牵引和制动之间多次切换，造成牵引能耗的增加。

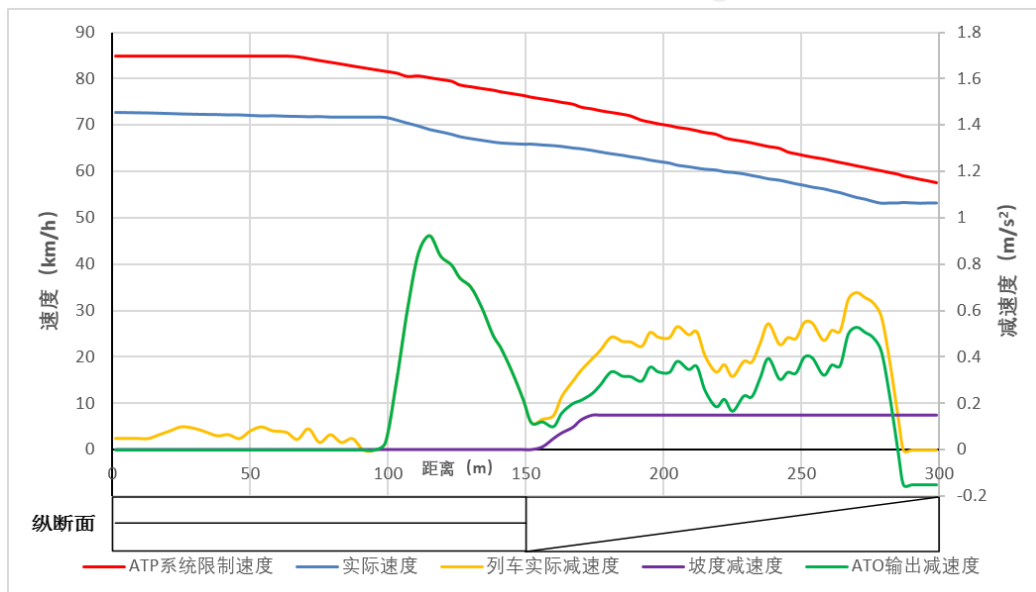


图 3.3.3-2 区间上坡道减速度控制示意图

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。

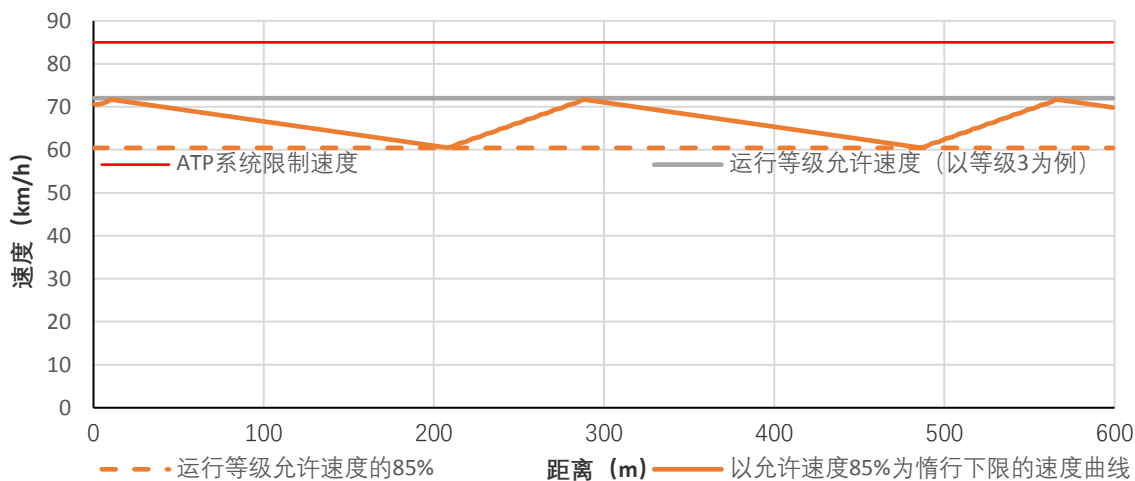


图 3.3.3-3 区间惰行运行速度控制示意图

条文说明：

列车在区间以惰行工况运行，能够在付出一定站间运行时间成本的前提下，有效降

低牵引能耗。惰行工况在不同速度、线路条件、运行时间下的“投入产出比”并不能用简单的线性规律概括。通过对大量不同线路（列车最高运行速度均为 80km/h）运行仿真和现场测试数据的统计分析，ATO 系统从运行等级规定的允许速度开始惰行，并在速度不低于允许速度 85%的工况下再次牵引，普遍能够取得较为理想的节能效果和较高的“投入产出比”。由于条件有限，未能对列车最高运行速度高于 80km/h 的线路进行深入的测试和研究。

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。

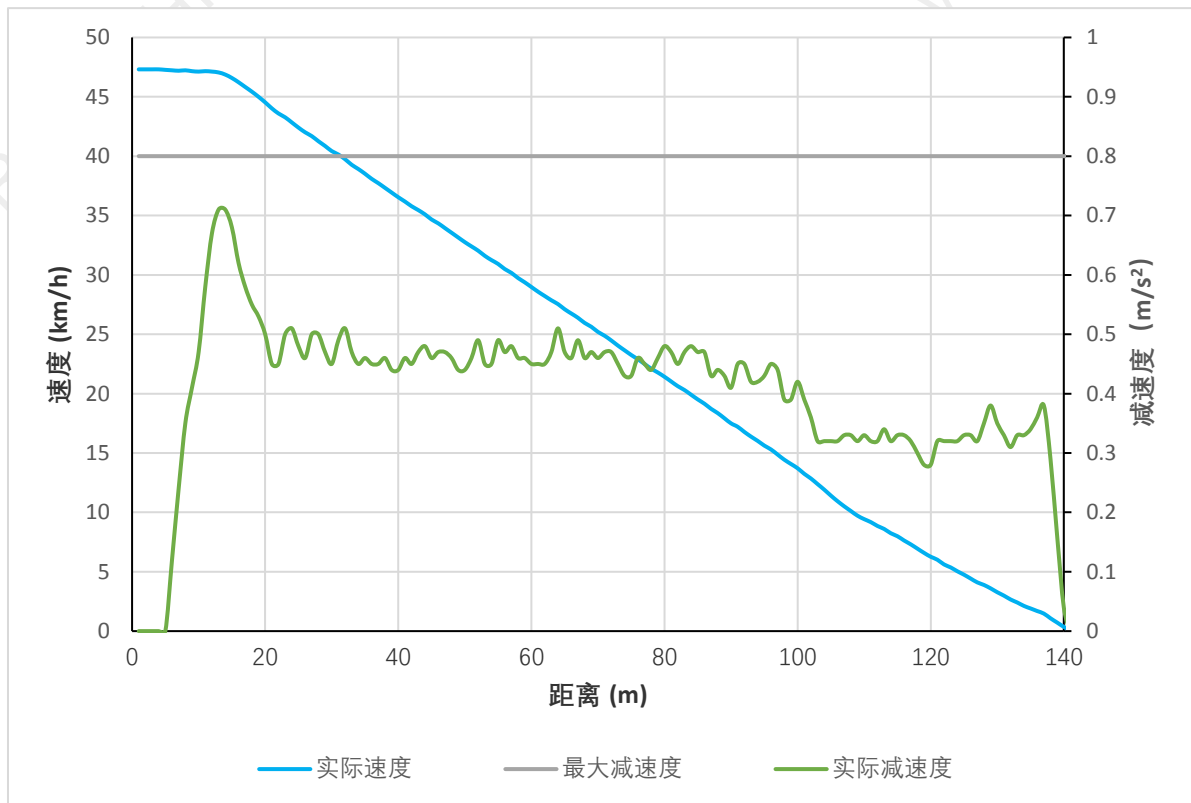


图 3.3.3-4 列车进站时 ATO 系统减速控制示意图

条文说明：

在不考虑同一牵引供电分区内多车再生能量利用的前提下，尽可能提高进站减速度，提高进站效率，将节约出来的运行时间分配到站间的合理位置，是对节能更为有利的控制策略。出于舒适度和减少设备损耗的考虑，ATO 系统尽可能保持恒定减速度进站制动停车，避免在牵引和制动之间多次切换，影响舒适度，并导致牵引能耗的增加。

0.8m/s² 的加速度值是通过在大量不同线路进行现场测试，兼顾控制和舒适度普遍能够接受的上限值。

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。

条文说明：

精确停车是 ATO 系统的基本功能，因停车不对位导致列车再次启动将带来时间和能耗双重损失，是 ATO 系统应着力避免的问题。

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。

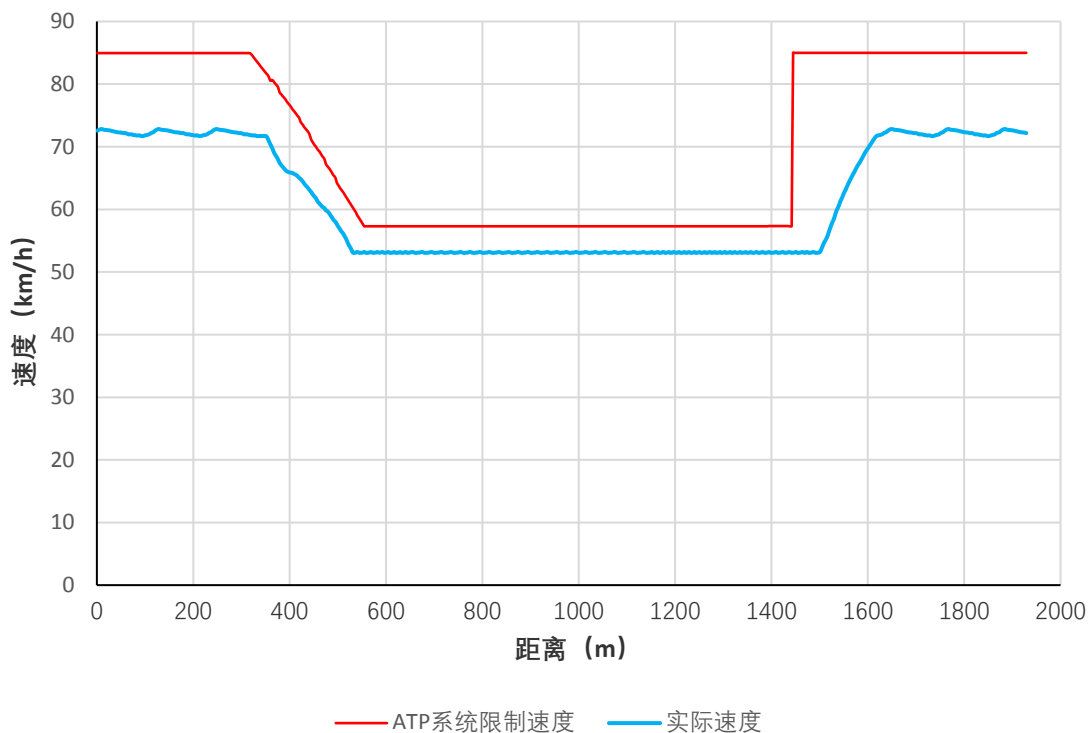


图 3.3.3-5 限速区间列车运行示意图

条文说明：

限速较低的区间是整个线路运行能力的瓶颈，此时运行效率应是系统保证的首要指标。瓶颈区段在整个线路中只占很小的比重，节能控制在瓶颈区段起到的效果非常有

限，但却会对通过效率造成较大影响。因此，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。

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。

条文说明：

节能计划运行图编制时，在满足客运组织需求的前提下，可采用本导则提出的基于节能的行车组织原则及控制措施编制节能计划运行图，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。

条文说明：

为了实施列车运行节能控制，本导则提出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。因此，要求节能计划运行图应能分别设置高峰/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。

条文说明：

列车运行的节能控制是一个多目标控制问题，在单列车运行节能控制的基础上，需要考虑多列车运行的节能控制，实现再生制动能量的利用。在编制节能计划运行图时，通过技术手段调整列车的发车间隔或者追踪距离，使得处于同一供电分区内的不同列车之间牵引和制动的的时间重叠，实现再生制动能量的有效利用。

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。

条文说明：

节能计划运行图标识能耗计算数据是直观体现节能的效果。

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

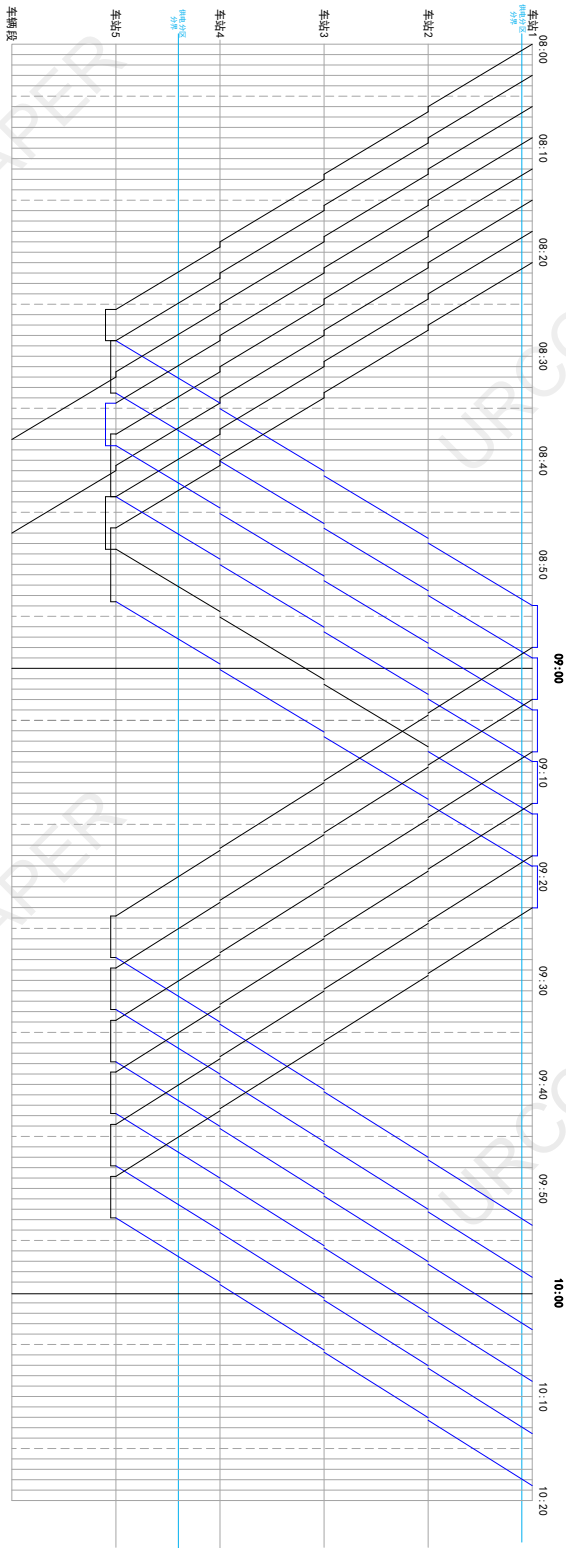


图 3.3.4-1 节能计划运行图示例

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。

条文说明:

节能平台应遵循行车安全第一的原则，在此前提条件下，通过该平台，实现列车运行节能策略的仿真计算，并对节能策略的效果进行验证。

- 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。

条文说明:

节能平台的列车牵引能耗、再生制动能量计算对线路资源的需求与行车能力平台一致，因此可作为功能模块之一添加至行车能力平台，使得列车运行的节能控制设计与行车能力设计统筹考虑，协调一致。

- 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。

条文说明:

节能平台节能策略的实施应作为独立的功能模块添加至行车能力平台，集成为行车能力计算的几大影响因素之一，与其他影响因素相互作用，平衡系统能力及节能的需求，在满足线路运营能力需求的前提下，尽可能实施节能策略。

- 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。

条文说明:

节能平台应在行车能力平台的既有数据库基础上,增加牵引传动总效率、牵引变电所数量及位置、最大牵引力、最大制动力、节能计划运行图编号等用于进行节能计算的数据项,在行车能力平台的计算过程中,添加对牵引能耗和再生制动能量利用的特征曲线,并可产出针对线路、节能策略或车辆特性、供电制式、行车组织形式的节能报告,对采用节能策略后的牵引能耗和再生制动能量利用变化情况进行分析,输出分析结果,形成节能评估报告。

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。

条文说明:

节能平台所使用的新增数据不应对行车能力平台的功能造成影响,并可根据用户需求,对多种参数组合进行独立配置及储存,节能平台应支持此类配置数据的导出和满足格式的外部配置数据的导入。

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

条文说明：

列车的运行是动态过程，根据物理学定义，功=功率·时间，即 $J= P \cdot t$ ，对于动态过程，一定时间内的累积状态一般采用对时间积分的形式进行计算，因此得出 $J=$

$\int_0^T P dt$ 。同样根据物理学定义， $P = F \cdot S/t = F \cdot v$ ，因此得出式 4.2.1-1。

牵引传动总效率，即车辆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，为体现列车牵引、再生制动过程中能量转换效率的参数。牵引传动总效率在车辆系统各部件物理特性确定后即可确定，并不再变化。

对于牵引能耗而言，传动过程中存在牵引电机、变流器、驱动装置等多个环节，因此最终体现在列车动能的转换结果相对于牵引能量而言有所损失，因此需将牵引传动总效率作为除数，进行加权计算，故得出式 4.2.1-2。对于再生制动能量利用而言，能量传输过程相反，列车动能变化所产生的能量差需逆向传输，因此需将牵引传动总效率作为因数，进行加权计算，故得出式 4.2.1-4。

从数学的角度，整个列车运行过程时间上的最小精度为信号系统车载设备的运算周期（通常为 200ms~500ms），精度相对于列车运行过程足够小且可度量，符合黎曼积分区间中子区间长度值相等的有限点列定义，因此为便于计算将上述公式简化为黎曼和形式，得出式 4.2.1-3 和式 4.2.1-5。

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。

条文说明：

式 4.2.1-3 及式 4.2.1-5 均为黎曼和形式，时间片长度 Δt 即为信号系统控制周期。由于对于牵引能耗、再生制动能量的计算基于牵引传动总效率、列车运行速度、列车运行时间、ATO 请求的牵引、制动百分比等可计量参数进行计算，因此对于列车在不同线路、不同位置、不同速度等级的情况均可准确计算列车牵引能耗及再生制动能量。

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。

条文说明：

节能平台的能耗曲线、再生制动能量利用曲线均与行车能力平台的列车运行速度曲线相对应，与行车能力平台计算采用相同的多质点模型进行计算，并与列车运行速度曲线同步绘制。当进行多列车运行计算时，节能平台将分别计算每一列车的牵引能耗、再生制动能量，并通过求和获得整体的牵引能耗及再生制动能量。若线路可给出牵引能耗与再生制动能量的转换比例参数，可进行单独设置，并参与整体牵引能耗、再生制动能量的计算。

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。

条文说明：

节能平台的能耗曲线、再生制动能量利用计算结果除在界面上进行展示以外，可根据用户的需求进行选择，对用户选定的数据、曲线进行导出，导出的格式应包括：图片格式、Excel 图表格式、文本文件格式等。

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。

条文说明：

节能平台可支持对于选定配置（线路、车辆、信号系统、供电系统等）、选定区段、选定时间、选定计划运行图情况下的牵引能耗及再生能量利用情况进行计算，并实时展示计算结果，无需每次均进行全线计算。

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、大小交路计划运行图、不对称计划运行图、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。

条文说明：

本条文所列内容均为可能对牵引能耗及再生能量利用产生影响的因素，节能平台可支持对于上述内容的灵活组合，用以对不同情况下的牵引能耗及再生能量利用进行计算。

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。

条文说明：

节能平台的牵引能耗计算与列车实际运行情况计算同步进行，由于牵引能耗仅在牵引阶段产生累加，因此通过图 4.3.1-1 可以看出，牵引能耗随牵引工况持续时间增加而增加，在非牵引阶段（惰行及制动）牵引能耗无变化。

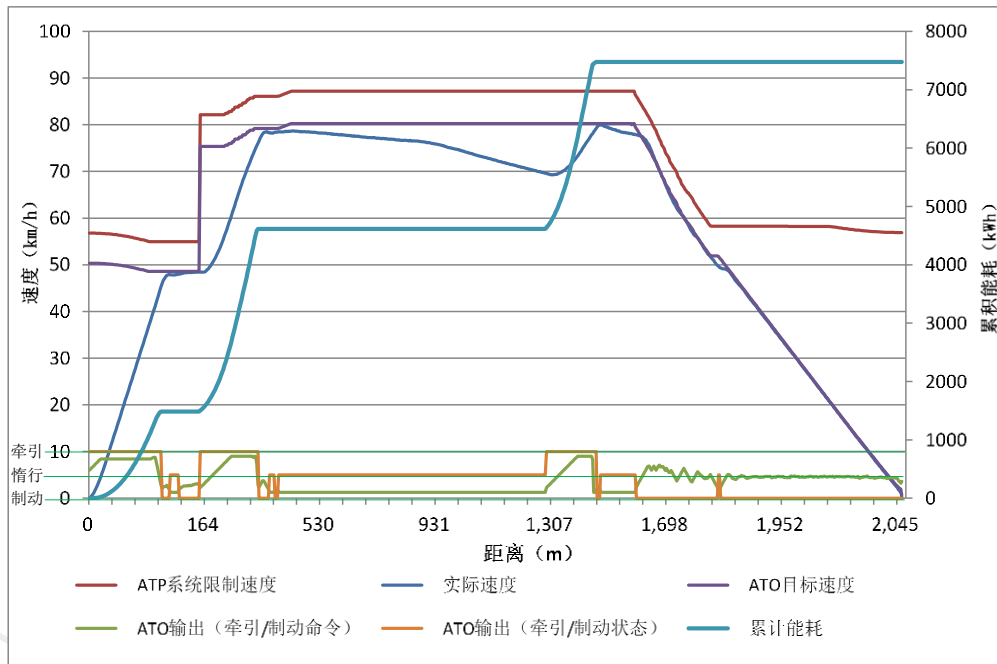


图 4.3.1-1 牵引能耗与列车速度-距离曲线对照示例图

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。

条文说明：

节能平台对于再生制动能量利用的计算以单车为单位进行计算，牵引传动总效率是计算中最为关键的计算参数，此参数的变化将直接影响计算结果。

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。

条文说明：

对于不同的计划运行图，列车在线运行的实际曲线将随之发生变化，节能平台应根据所选择的配置参数和计划运行图，对在线列车同时进行再生制动能量利用的计算，并通过累加得出全天的再生制动能量总和。

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。

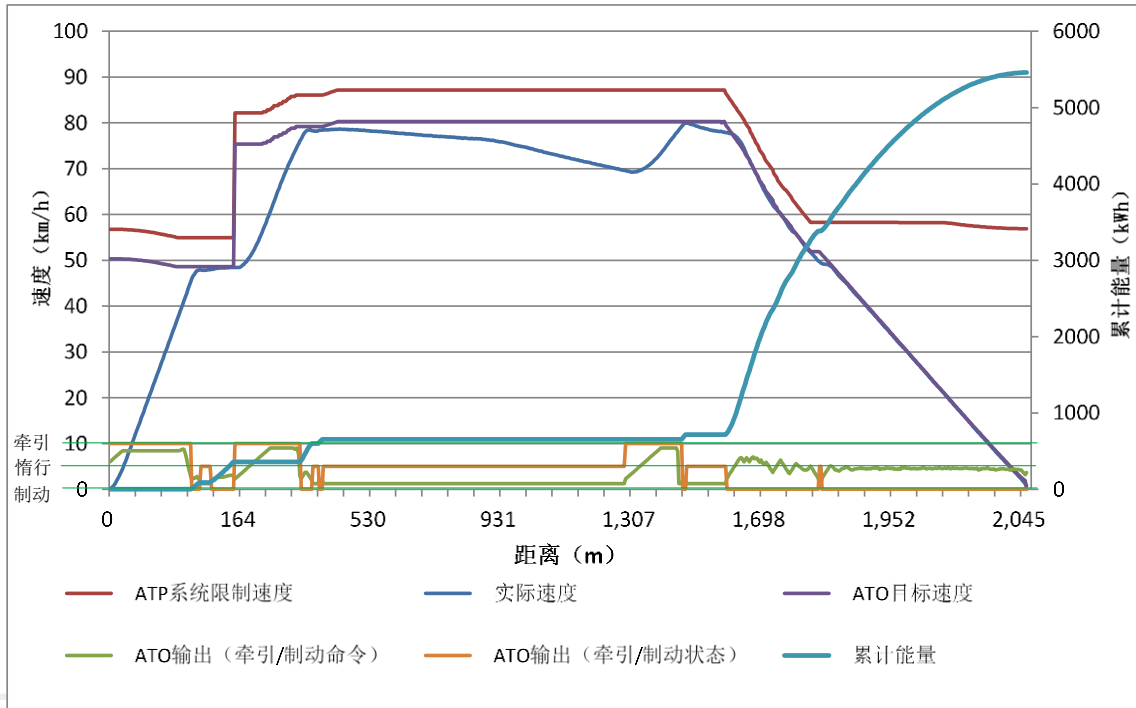


图 4.3.2-1 再生制动能量与列车速度-距离曲线对照示意图

条文说明:

节能平台的再生制动能量计算与列车实际运行情况计算同步进行，由于再生制动能量仅在制动阶段产生累加，因此通过图 4.3.2-1 可以看出，再生制动能量随制动工况持续时间增加而增加，在非制动阶段（牵引及惰行）再生制动能量无变化。

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。

条文说明:

节能平台计算所得的牵引能耗和再生制动能量利用计算结果应在能力分析平台的既有计算展示界面上进行叠加显示,并不对能力分析平台的既有计算展示界面造成影响。所有用于节能平台计算的参数及结果应可以进行调用显示。

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。

条文说明:

节能平台对于牵引能耗和再生制动能量计算的评估报告应可按照用户指定的时间段或选定的线路范围进行计算,除能力分析平台产出的内容外,对于节能相关计算所使用的相应参数应在报告中体现,并可根据用户的选择,列出牵引能耗总量、再生制动能量总量、单车百公里牵引能耗等结果。

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			

条文说明：

节能平台对于牵引能耗和再生制动能量计算所需的参数应在能力分析平台既有数据库的基础上进行补充，而不是另行建立新的数据库。数据库的录入及管理均应遵循能力分析平台的相关要求。

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。

条文说明：

列车运行节能控制策略节能评估指标的计量单位采用 kWh/（百车·km），其涉及统计期内列车运行能耗数据、列车运行的车公里数据。列车运行能耗数据已通过变电所综合自动化系统上传至电力监控系统，国内也有一些运营线路将该数据同时上传至电能管理系统。车辆基地内的接触网（轨）在向进出场/段的列车提供电能外，同时向场/段内的列车提供维修电源，且该能耗值较大，因此列车运行节能控制策略节能效果评估范围不包括车辆基地。

- 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）。

条文说明：

正线的牵引变压器输出电能累计值为牵引能耗、列车辅助设施能耗、再生制动能量（采用储能装置时为负值）和直流牵引供电系统本身能耗等数据的代数和。理论上，牵引变压器输出电能累计值减去列车运行能耗数据采集装置各数据之代数和即为直流牵引供电系统本身能耗数值。由于直流牵引供电系统本身能耗数值占比较小，牵引变压器输出电能累计值可等同于列车运行能耗值。经调查，国内运营线路的列车大多以 5%~100% 不同比例配置列车运行能耗数据采集装置，南方城市的安装率较高，该装置能详细提供列车牵引能耗、辅助设施能耗、再生制动能量等数据，如果出于列车运行节能控制策略的节能效果的评估需求，要求所有列车安装列车运行能耗数据采集装置，是不现实的。以列车牵引能耗为节能评估指标，能恰当地反应列车运行节能控制策略的节能效果，但考虑到上述不同线路车辆、供电系统的设备设施配置的差异性，本导则以列车运行能耗

作为节能评估指标。当前，牵引变电所采用的列车再生制动能量吸收装置类型呈多样化（如消耗型、储能型和逆变型），对牵引变压器输出电能累计值有一定的影响，详细情况参见 5.2.2 条文。

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。

条文说明：

电力监控系统或电能管理系统的中心工作站设在控制中心，电力监控系统的复示工作站设在供电车间，从两个场所的工作站读取的数据是一致的。

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) 。

条文说明:

本条文所指的再生制动能量吸收装置为逆变型, 该装置接入变电所的交流中压母线或低压母线, 将列车制动能量反馈到变电所交流侧, 与牵引变压器无直接的电气关系, 牵引变压器输出电能累计值不能反映列车再生制动能量数据。为体现列车运行节能控制策略的节能效果, 从牵引变压器输出电能累计值中剔除再生制动能量吸收装置的反馈有功电度累计值, 可得到列车运行能耗。逆变+电阻型、电阻消耗型再生制动能量吸收装置也适用于本条文。

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。

条文说明:

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(储能型装置除外), 列车制动能量要么被行驶中的邻车吸收, 要么通过列车自身配置的制动电阻以发热的形式消耗掉, 或两种情况兼有, 工作站读取的牵引变压器输出电能累计值即为列车运行能耗累计值。当储能型装置安装并投入运行时, 牵引变压器输出电能累计值已反映了储能型装置的反馈有功电度累计值对其影响, 因此, 工作站读取的牵引变压器输出电能累计值也为列车运行能耗累计值。

5.2.3 工作站应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。

条文说明:

电力监控系统或电能管理系统已将牵引变压器输出电能累计值上传至工作站, 并

能实现分类、分项统计，对统计期内的各类数据平均值进行统计与计算。国内运营及在建线路基本上都采用表格、折线等形式显示上述数据，且数据存储时间不少于 90 天，能满足列车运行节能控制策略的节能效果评估需求。工作站内有无再生制动能量数据，取决于再生制动能量吸收装置是否安装并投入使用。

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 tabs for '数据查询' (Data Query), '数据统计' (Data Statistics), '数据对比' (Data Comparison), and '统计数据验证' (Data Verification). Below this, there are filters for '电' (Electricity), '水' (Water), and '气' (Gas). The selected category is '电', and the specific item is '10kV牵引变压器'. The date range is set from '2016/1/1' to '2016/2/29'. A '确认查询' (Confirm Query) button is present. Below the filters, there are options for '表格形式' (Table Format) and '图形格式' (Graph Format), with '表格形式' selected. There are also buttons for '导出报表' (Export Report) and '打印' (Print). The main area contains 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 of the table, there is a pagination bar showing '每页显示20条' (Show 20 items per page), '第2页' (Page 2 of 2), and '共2页' (Total 2 pages).

图 5.2.4-1 工作站数据表格形式示意图

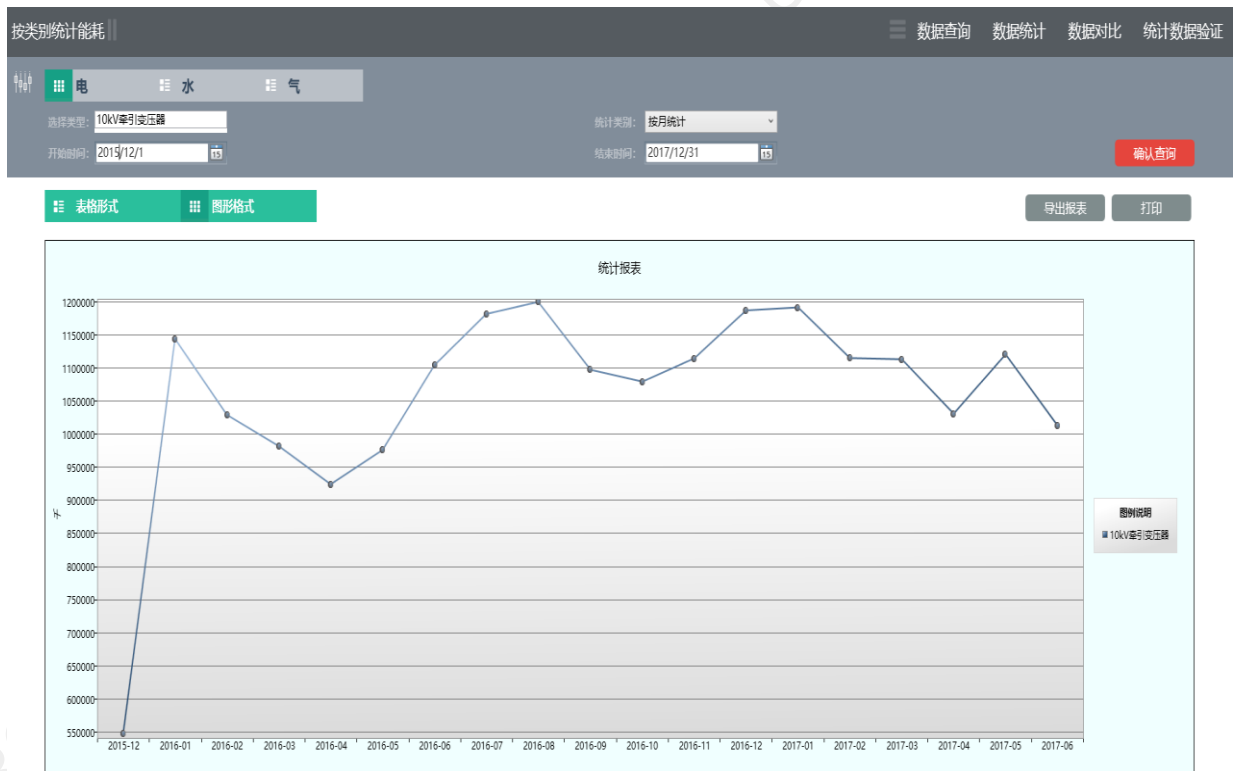


图 5.2.4-2 工作站数据折线形式示意图

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。

条文说明：

相对于电力监控系统或电能管理系统所提供的列车运行能耗数据，列车运行能耗

数据采集装置可提供列车牵引能耗、照明及风机等辅助设施能耗、再生制动能量等数据，能更好地反映列车运行节能控制策略实际的整体节能效果，有利于列车运行节能控制策略关于能耗的精细化分析工作。数据存储装置中。

5.2.7 列车运行能耗数据采集装置应能对列车运行能耗、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。

条文说明:

某运营线路的不同区间、不同运营时段因客流需求以及行车组织安排,会有不同编组数的列车行驶在正线上,公式中列出了两种混跑列车的情况。当出现更多不同编组数的列车行驶在正线上时,可按公式同理计算出总的百车·km数。

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。

条文说明:

统计期是指在进行列车运行节能控制策略的节能效果评估工作时所确定的正线列车完整运行周期,为保证评估工作的有效性,统计期内不应出现系统设备故障、突发行车状况等异常情况。列车的完整运行周期分周、月和季度三个时期,统计期越长,评估工作的有效性越接近于实际。

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。

条文说明：

列车运行节能控制策略的节能效果评估是基于同一线路、同一工况下列车采用运行节能控制策略前后时期的列车运行能耗数据对比情况，此时，线路、车辆和供电等基础设施条件不变，信号与行车组织等因素将影响列车运行节能控制策略的节能效果。列车上的通风、加热或空调等辅助设施受季节气候影响较大，因此，列车运行节能控制策略采用前后的统计期内应保证列车辅助设施的运行工况相同。在运输能力、运营时间、高峰/平峰划分等运营条件方面，也应是一致的。不应忽视的是，对于地面线路，风阻对列车牵引能耗有较大影响。统计期的时长不同，列车运行节能控制策略的节能效果评估的有效性则有差异，两个统计期的时长应该相同。