



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103661434 A

(43) 申请公布日 2014. 03. 26

(21) 申请号 201310744119. 5

(22) 申请日 2013. 12. 30

(71) 申请人 北京交通大学

地址 100044 北京市海淀区上园村 3 号

(72) 发明人 刘建强 郑琼林 游小杰 林飞
魏远乐 邵天骢 王竟飞 刘绍凯
宋强 赵治博

(74) 专利代理机构 北京路浩知识产权代理有限公司 11002

代理人 李相雨

(51) Int. Cl.

B61C 17/00 (2006. 01)

B61H 11/00 (2006. 01)

B60T 8/32 (2006. 01)

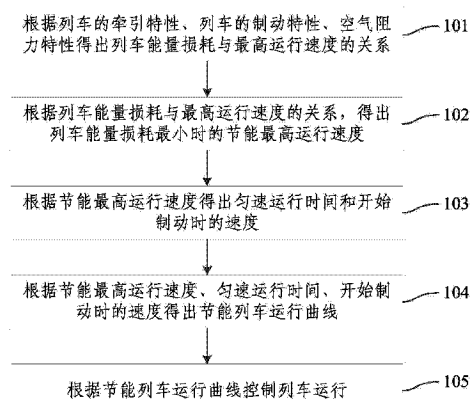
权利要求书3页 说明书6页 附图1页

(54) 发明名称

一种列车运行控制方法

(57) 摘要

本发明提供了一种列车运行控制方法,包括:根据列车的牵引特性、列车的制动特性、空气阻力特性得出列车能量损耗与最高运行速度的关系;根据列车能量损耗与最高运行速度的关系,得出列车能量损耗最小时的最高运行速度;根据所述最高运行速度得出匀速运行时间和开始最大制动时的速度;根据所述最高运行速度、所述匀速运行时间、所述开始最大制动时的速度得出节能列车运行曲线;根据所述列车节能运行曲线控制列车运行。通过本发明实施例提供的一种列车运行控制方法,根据列车的牵引特性、列车的制动特性、空气阻力特性能够得到列车能量消耗最小的情况下的列车运行曲线,得到的节能列车运行曲线更加准确,列车运行的节能效率更高。



1. 一种列车运行控制方法,其特征在于,包括:

根据列车的牵引特性、列车的制动特性、空气阻力特性得出列车能量损耗与最高运行速度的关系;

根据列车能量损耗与最高运行速度的关系,得出列车能量损耗最小时的节能最高运行速度;

根据所述节能最高运行速度得出匀速运行时间和开始最大制动时的速度;

根据所述节能最高运行速度、所述匀速运行时间、所述开始最大制动时的速度得出节能列车运行曲线;

根据所述节能列车运行曲线控制列车运行。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述根据列车的牵引特性、列车的制动特性、空气阻力特性得出列车能量损耗与最高运行速度的关系,包括:

根据列车的牵引特性、空气阻力特性得出牵引合力加速度、牵引运行距离、牵引运行时间和牵引能量损耗;

根据列车的制动特性、空气阻力特性得出制动合力加速度、制动运行距离、制动运行时间和制动再生能量;

根据空气阻力特性得出惰行合力加速度、惰行运行距离、惰行运行时间;

根据第一关系、第二关系、第三关系,得出列车能量损耗与最高运行速度的关系;

所述第一关系为牵引运行距离、制动运行距离、惰行运行距离、匀速运行距离之和等于总运行距离;

所述第二关系为牵引运行时间、制动运行时间、惰行运行时间、匀速运行时间之和等于总运行时间;

所述第三关系为牵引能量损耗与匀速能量损耗之和,减去制动再生能量等于列车能量损耗。

3. 根据权利要求2所述的方法,其特征在于,所述根据列车的牵引特性、空气阻力特性得出牵引合力加速度、牵引运行距离、牵引运行时间,包括:

根据列车的牵引特性、空气阻力特性得出牵引合力加速度为 $\phi_1(v) = a_1v^2 + b_1v + c_1$;

根据牵引合力加速度得出分段牵引运行时间为: $t_1(v_{z1}, v_1) = \int_{v_{z1}}^{v_1} \frac{1}{a_1v^2 + b_1v + c_1} dv$, 分段

牵引运行距离为: $x_1(v_{z1}, v_1) = \int_{v_{z1}}^{v_1} \frac{v}{a_1v^2 + b_1v + c_1} dv$;

将所有分段牵引运行时间相加得出牵引运行时间;

将所有分段牵引运行距离相加得出牵引运行距离;

其中, $\phi_1(v)$ 为牵引合力加速度, a_1 、 b_1 、 c_1 为常数, a_1 、 b_1 、 c_1 根据列车的牵引特性、空气阻力特性来确定, $t_1(v_{z1}, v_1)$ 为列车运行速度在 v_{z1} 和 v_1 之间时的牵引运行时间, $x_1(v_{z1}, v_1)$ 为列车运行速度在 v_{z1} 和 v_1 之间时的牵引运行距离。

4. 根据权利要求2所述的方法,其特征在于,所述根据列车的制动特性、空气阻力特性得出制动合力加速度、制动运行距离、制动运行时间,包括:

根据列车的制动特性、空气阻力特性得出制动合力加速度为

$\phi_2(v) = a_2v^2 + b_2v + c_2$;

根据牵引合力加速度得出分段制动运行时间为： $t_2(v_{z2}, v_2) = \int_{v_{z2}}^{v_2} \frac{1}{a_2 v^2 + b_2 v + c_2} dv$ ，分

段制动运行距离为： $x_2(v_{z2}, v_2) = \int_{v_{z2}}^{v_2} \frac{v}{a_2 v^2 + b_2 v + c_2} dv$ ；

将所有分段制动运行时间相加得出制动运行时间；

将所有分段制动运行距离相加得出制动运行距离；

其中， $\phi_2(v)$ 为制动合力加速度， a_2 、 b_2 、 c_2 为常数， a_2 、 b_2 、 c_2 根据列车的制动特性、空气阻力特性来确定， $t_2(v_{z2}, v_2)$ 为列车运行速度在 v_{z2} 和 v_2 之间时的制动运行时间， $x_2(v_{z2}, v_2)$ 为列车运行速度在 v_{z2} 和 v_2 之间时的制动运行距离。

5. 根据权利要求 2 所述的方法，其特征在于，所述根据空气阻力特性得出惰行合力加速度、惰行运行距离、惰行运行时间，包括：

根据空气阻力特性得出惰行合力加速度为：

$$\phi_3(v) = a_3 v^2 + b_3 v + c_3；$$

根据惰行合力加速度得出惰行运行时间为： $t_3 = \int \frac{1}{a_3 v^2 + b_3 v + c_3} dv$ ，惰行运行距离为：

$$s_3 = \int \frac{v}{a_3 v^2 + b_3 v + c_3} dv；$$

其中， $\phi_3(v)$ 为惰行合力加速度， a_3 、 b_3 、 c_3 为常数， a_3 、 b_3 、 c_3 根据空气阻力特性来确定， t_3 是惰行运行时间， s_3 是惰行运行距离。

6. 根据权利要求 3 所述的方法，其特征在于，

分段牵引能量损耗根据以下公式得出：

$$E_1(v_{z1}, v_1) = \int_{v_{z1}}^{v_1} \frac{f_1(v) \cdot v}{a_1 v^2 + b_1 v + c_1} dv，$$

将所有分段牵引能量损耗相加得出所述牵引能量损耗；

其中， $f_1(v) = a_{11} v^2 + b_{11} v + c_{11}$ ， $f_1(v)$ 为在最大牵引工况下的牵引力， a_{11} 、 b_{11} 、 c_{11} 、 a_1 、 b_1 、 c_1 为常数， a_{11} 、 b_{11} 、 c_{11} 、 a_1 、 b_1 、 c_1 通过列车的牵引特性、空气阻力特性来确定， $E_1(v_{z1}, v_1)$ 为列车运行速度在 v_{z1} 和 v_1 之间时的牵引能量消耗。

7. 根据权利要求 4 所述的方法，其特征在于，

分段制动再生能量根据以下公式得出：

$$E_2(v_{z2}, v_2) = \mu \int_{v_{z2}}^{v_2} \frac{f_2(v) \cdot v}{a_2 v^2 + b_2 v + c_2} dv，$$

将所有分段制动再生能量相加得出所述制动再生能量；

其中， $f_2(v) = a_{22} v^2 + b_{22} v + c_{22}$ ， $f_2(v)$ 为在最大制动工况下的制动力， μ 为列车制动时，电制动力做功产生的能量反馈到电网的效率， a_{22} 、 b_{22} 、 c_{22} 、 a_2 、 b_2 、 c_2 为常数， a_{22} 、 b_{22} 、 c_{22} 、 a_2 、 b_2 、 c_2 通过列车的制动特性、空气阻力特性来确定， $E_2(v_{z2}, v_2)$ 为列车运行速度在 v_{z2} 和 v_2 之间时的制动再生能量。

8. 根据权利要求 7 所述的方法，其特征在于，

当列车不具有制动能量反馈功能时，所述列车制动时，电制动力做功产生的能量反馈到电网的效率的取值为 0。

9. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述列车的牵引特性、列车的制动特性、空气阻力特性都能够通过分段的二次函数表示。

一种列车运行控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及列车控制领域,尤其涉及一种列车节能运行控制方法。

背景技术

[0002] 国内外众多的研究资料表明,列车运行的最节能的控制原则为最大牵引、匀速运行、惰行和最大制动四个运行工况组成。为了能够实现列车节能运行,需要绘制出列车运行曲线,并根据列车运行曲线来控制列车的运行。在最大牵引、匀速运行、惰行和最大制动四个运行工况下,只要确定各个列车工况转换点,就能确定列车运行曲线。而要确定各个转换点就要确定最高运行速度、匀速运行过程时间、开始最大制动时的速度

[0003] 现有技术中,确定工况转换点的方法主要通过启发式算法:设定一个最高运行速度,根据该最高运行速度和司机的驾驶经验来推算出对应的各个工况下的运行时间和开始最大制动时的速度,并判断得出的各个参数是否满足总运行距离和总运行时间的要求,如果不满足则重新设置新的最高运行速度,进行相同的处理,直到找到一组数据能够满足总运行距离和总运行时间的要求,根据这组数据确定各个工况转换点。

[0004] 通过上述描述可见,现有技术中的方法通过循环试验和列车驾驶经验来确定工况转换点,根据得出的列车运行曲线来控制列车运行,节能效率较低。

发明内容

[0005] 本发明提供了一种列车运行控制方法,能够达到更高的节能效率。

[0006] 本发明提供了一种列车运行控制方法,包括:

[0007] 根据列车的牵引特性、列车的制动特性、空气阻力特性得出列车能量损耗与最高运行速度的关系;

[0008] 根据列车能量损耗与最高运行速度的关系,得出列车能量损耗最小时的节能最高运行速度;

[0009] 根据所述节能最高运行速度得出匀速运行时间和开始最大制动时的速度;

[0010] 根据所述节能最高运行速度、所述匀速运行时间、所述开始最大制动时的速度得出节能列车运行曲线;

[0011] 根据所述节能列车运行曲线控制列车运行。

[0012] 进一步地,所述根据列车的牵引特性、列车的制动特性、空气阻力特性得出列车能量损耗与最高运行速度的关系,包括:

[0013] 根据列车的牵引特性、空气阻力特性得出牵引合力加速度、牵引运行距离、牵引运行时间和牵引能量损耗;

[0014] 根据列车的制动特性、空气阻力特性得出制动合力加速度、制动运行距离、制动运行时间和制动再生能量;

[0015] 根据空气阻力特性得出惰行合力加速度、惰行运行距离、惰行运行时间;

[0016] 根据第一关系、第二关系、第三关系,得出列车能量损耗与最高运行速度的关系;

[0017] 所述第一关系为牵引运行距离、制动运行距离、惰行运行距离、匀速运行距离之和等于总运行距离；

[0018] 所述第二关系为牵引运行时间、制动运行时间、惰行运行时间、匀速运行时间之和等于总运行时间；

[0019] 所述第三关系为牵引能量损耗与匀速能量损耗之和，减去制动再生能量等于列车能量损耗。

[0020] 进一步地，所述根据列车的牵引特性、空气阻力特性得出牵引合力加速度、牵引运行距离、牵引运行时间，包括：

[0021] 根据列车的牵引特性、空气阻力特性得出牵引合力加速度为 $\phi_1(v) = a_1 v^2 + b_1 v + c_1$ ；

[0022] 根据牵引合力加速度得出分段牵引运行时间为： $t_1(v_{z1}, v_1) = \int_{v_{z1}}^{v_1} \frac{1}{a_1 v^2 + b_1 v + c_1} dv$ ，

分段牵引运行距离为： $x_1(v_{z1}, v_1) = \int_{v_{z1}}^{v_1} \frac{v}{a_1 v^2 + b_1 v + c_1} dv$ ；

[0023] 将所有分段牵引运行时间相加得出牵引运行时间；

[0024] 将所有分段牵引运行距离相加得出牵引运行距离；

[0025] 其中， $\phi_1(v)$ 为牵引合力加速度， a_1 、 b_1 、 c_1 为常数， a_1 、 b_1 、 c_1 根据列车的牵引特性、空气阻力特性来确定， $t_1(v_{z1}, v_1)$ 为列车运行速度在 v_{z1} 和 v_1 之间时的牵引运行时间， $x_1(v_{z1}, v_1)$ 列车运行速度在 v_{z1} 和 v_1 之间时的牵引运行距离。

[0026] 进一步地，所述根据列车的制动特性、空气阻力特性得出制动合力加速度、制动运行距离、制动运行时间，包括：

[0027] 根据列车的制动特性、空气阻力特性得出制动合力加速度为

[0028] $\phi_2(v) = a_2 v^2 + b_2 v + c_2$ ；

[0029] 根据牵引合力加速度得出分段制动运行时间为：

$t_2(v_{z2}, v_2) = \int_{v_{z2}}^{v_2} \frac{1}{a_2 v^2 + b_2 v + c_2} dv$ ，分段制动运行距离为： $x_2(v_{z2}, v_2) = \int_{v_{z2}}^{v_2} \frac{v}{a_2 v^2 + b_2 v + c_2} dv$ ；

[0030] 将所有分段制动运行时间相加得出制动运行时间；

[0031] 将所有分段制动运行距离相加得出制动运行距离；

[0032] 其中， $\phi_2(v)$ 为制动合力加速度， a_2 、 b_2 、 c_2 为常数， a_2 、 b_2 、 c_2 根据列车的制动特性、空气阻力特性来确定， $t_2(v_{z2}, v_2)$ 为列车运行速度在 v_{z2} 和 v_2 之间时的制动运行时间， $x_2(v_{z2}, v_2)$ 列车运行速度在 v_{z2} 和 v_2 之间时的制动运行距离。

[0033] 进一步地，所述根据空气阻力特性得出惰行合力加速度、惰行运行距离、惰行运行时间，包括：

[0034] 根据空气阻力特性得出惰行合力加速度为：

[0035] $\phi_3(v) = a_3 v^2 + b_3 v + c_3$ ；

[0036] 根据惰行合力加速度得出惰行运行时间为： $t_3 = \int \frac{1}{a_3 v^2 + b_3 v + c_3} dv$ ，惰行运行距离

为： $s_3 = \int \frac{v}{a_3 v^2 + b_3 v + c_3} dv$ ；

[0037] 其中, $\phi_3(v)$ 为惰行合力加速度, a_3 、 b_3 、 c_3 为常数, a_3 、 b_3 、 c_3 根据空气阻力特性来确定, t_3 是惰行运行时间, s_3 是惰行运行距离。

[0038] 进一步地, 分段牵引能量损耗根据以下公式得出:

$$[0039] \quad E_1(v_{z1}, v_1) = \int_{v_{z1}}^{v_1} \frac{f_1(v) \cdot v}{a_1 v^2 + b_1 v + c_1} dv,$$

[0040] 将所有分段牵引能量损耗相加得出所述牵引能量损耗;

[0041] 其中, $f_1(v) = a_{11}v^2 + b_{11}v + c_{11}$, $f_1(v)$ 为在最大牵引工况下的牵引力, a_{11} 、 b_{11} 、 c_{11} 、 a_1 、 b_1 、 c_1 为常数, a_{11} 、 b_{11} 、 c_{11} 、 a_1 、 b_1 、 c_1 通过列车的牵引特性、空气阻力特性来确定, $E_1(v_{z1}, v_1)$ 为列车运行速度在 v_{z1} 和 v_1 之间时的牵引能量消耗。

[0042] 进一步地, 分段制动再生能量根据以下公式得出:

$$[0043] \quad E_2(v_{z2}, v_2) = \mu \int_{v_{z2}}^{v_2} \frac{f_2(v) \cdot v}{a_2 v^2 + b_2 v + c_2} dv,$$

[0044] 将所有分段制动再生能量相加得出所述制动再生能量;

[0045] 其中, $f_2(v) = a_{22}v^2 + b_{22}v + c_{22}$, $f_2(v)$ 为在最大制动工况下的制动力, μ 为列车制动时, 电制动力做功产生的能量反馈到电网的效率, a_{22} 、 b_{22} 、 c_{22} 、 a_2 、 b_2 、 c_2 为常数, a_{22} 、 b_{22} 、 c_{22} 、 a_2 、 b_2 、 c_2 通过列车的制动特性、空气阻力特性来确定, $E_2(v_{z2}, v_2)$ 为列车运行速度在 v_{z2} 和 v_2 之间时的制动再生能量。

[0046] 进一步地, 当列车不具有制动能量反馈功能时, 所述列车制动时, 电制动力做功产生的能量反馈到电网的效率的取值为 0。

[0047] 进一步地, 所述列车的牵引特性、列车的制动特性、空气阻力特性都能够通过分段的二次函数表示。

[0048] 通过本发明提供一种列车运行控制方法, 根据列车的牵引特性、列车的制动特性、空气阻力特性能够得到列车能量消耗最小的情况下的列车运行曲线, 本方法中不需要通过驾驶经验来确定参数, 得到的节能列车运行曲线更加准确, 列车运行的节能效率更高。

附图说明

[0049] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案, 下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍, 显而易见地, 下面描述中的附图是本发明的一些实施例, 对于本领域普通技术人员来讲, 在不付出创造性劳动的前提下, 还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0050] 图 1 是本发明实施例提供的一种列车节能运行控制方法流程图。

具体实施方式

[0051] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚, 下面将结合本发明实施例中的附图, 对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述, 显然, 所描述的实施例是本发明一部分实施例, 而不是全部的实施例, 基于本发明中的实施例, 本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动的前提下所获得的所有其他实施例, 都属于本发明保护的范围。

[0052] 本发明实施例提供了一种列车节能运行控制方法, 参见图 1, 具体包括:

[0053] 步骤 101: 根据列车的牵引特性、列车的制动特性、空气阻力特性得出列车能量损

耗与最高运行速度的关系；

[0054] 步骤 102 :根据列车能量损耗与最高运行速度的关系,得出列车能量损耗最小时的节能最高运行速度；

[0055] 步骤 103 :根据节能最高运行速度得出匀速运行时间和开始最大制动时的速度；

[0056] 步骤 104 :根据节能最高运行速度、匀速运行时间、开始最大制动时的速度得出节能列车运行曲线；

[0057] 步骤 105 :根据节能列车运行曲线控制列车运行。

[0058] 通过本发明实施例提供的一种列车运行控制方法,根据列车的牵引特性、列车的制动特性、空气阻力特性能够得到列车能量消耗最小的情况下的列车运行曲线,本方法中不需要通过驾驶经验来确定参数,得到的节能列车运行曲线更加准确,列车运行的节能效率更高。

[0059] 可选地,步骤 101 具体包括：

[0060] 根据列车的牵引特性、空气阻力特性得出牵引合力加速度、牵引运行距离、牵引运行时间和牵引能量损耗；

[0061] 根据列车的制动特性、空气阻力特性得出制动合力加速度、制动运行距离、制动运行时间和制动再生能量；

[0062] 根据空气阻力特性得出惰行合力加速度、惰行运行距离、惰行运行时间；

[0063] 根据第一关系、第二关系、第三关系,得出列车能量损耗与最高运行速度的关系；

[0064] 其中,第一关系为牵引运行距离、制动运行距离、惰行运行距离、匀速运行距离之和等于总运行距离；

[0065] 第二关系为牵引运行时间、制动运行时间、惰行运行时间、匀速运行时间之和等于总运行时间；

[0066] 第三关系为牵引能量损耗与匀速能量损耗之和,减去制动再生能量等于列车能量损耗。

[0067] 可选地,根据列车的牵引特性、空气阻力特性得出牵引合力加速度为 $\phi_1(v) = a_1 v^2 + b_1 v + c_1$ ；

[0068] 根据牵引合力加速度得出分段牵引运行时间为： $t_1(v_{z1}, v_1) = \int_{v_{z1}}^{v_1} \frac{1}{a_1 v^2 + b_1 v + c_1} dv$ ，

分段牵引运行距离为： $x_1(v_{z1}, v_1) = \int_{v_{z1}}^{v_1} \frac{v}{a_1 v^2 + b_1 v + c_1} dv$ ；

[0069] 将所有分段牵引运行时间相加得出牵引运行时间 t_1 ；

[0070] 将所有分段牵引运行距离相加得出牵引运行距离 s_1 ；

[0071] 其中, $\phi_1(v)$ 为牵引合力加速度, a_1 、 b_1 、 c_1 为常数, a_1 、 b_1 、 c_1 根据列车的牵引特性、空气阻力特性来确定, $t_1(v_{z1}, v_1)$ 为列车运行速度在 v_{z1} 和 v_1 之间时的牵引运行时间, $x_1(v_{z1}, v_1)$ 列车运行速度在 v_{z1} 和 v_1 之间时的牵引运行距离, t_1 为牵引运行时间, s_1 为牵引运行距离。

[0072] 根据列车的制动特性、空气阻力特性得出制动合力加速度为

[0073] $\phi_2(v) = a_2 v^2 + b_2 v + c_2$ ；

[0074] 根据牵引合力加速度得出分段制动运行时间为：

$$t_2(v_{z2}, v_2) = \int_{v_{z2}}^{v_2} \frac{1}{a_2 v^2 + b_2 v + c_2} dv, \text{ 分段制动运行距离为: } x(v_{z2}, v_2) = \int_{v_{z2}}^{v_2} \frac{v}{a_2 v^2 + b_2 v + c_2} dv;$$

[0075] 将所有分段制动运行时间相加得出制动运行时间 t_2 ;

[0076] 将所有分段制动运行距离相加得出制动运行距离 s_2 ;

[0077] 其中, $\phi_2(v)$ 为制动合力加速度, a_2 、 b_2 、 c_2 为常数, a_2 、 b_2 、 c_2 根据列车的制动特性、空气阻力特性来确定, $t_2(v_{z2}, v_2)$ 为列车运行速度在 v_{z2} 和 v_2 之间时的制动运行时间, $x_2(v_{z2}, v_2)$ 列车运行速度在 v_{z2} 和 v_2 之间时的制动运行距离, t_2 为制动运行时间, s_2 为制动运行距离。

[0078] 根据空气阻力特性得出惰行合力加速度为:

$$[0079] \quad \phi_3(v) = a_3 v^2 + b_3 v + c_3;$$

[0080] 根据惰行合力加速度得出惰行运行时间为: $t_3 = \int \frac{1}{a_3 v^2 + b_3 v + c_3} dv$, 惰行运行距离

$$\text{为: } s_3 = \int \frac{v}{a_3 v^2 + b_3 v + c_3} dv;$$

[0081] 其中, $\phi_3(v)$ 为惰行合力加速度, a_3 、 b_3 、 c_3 为常数, a_3 、 b_3 、 c_3 根据空气阻力特性来确定, t_3 是惰行运行时间, s_3 是惰行运行距离。

[0082] 分段牵引能量损耗根据以下公式得出:

$$[0083] \quad E_1(v_{z1}, v_1) = \int_{v_{z1}}^{v_1} \frac{f_1(v) \cdot v}{a_1 v^2 + b_1 v + c_1} dv,$$

[0084] 将所有分段牵引能量损耗相加得出牵引能量损耗 E_1 ;

[0085] 其中, $f_1(v) = a_{11} v^2 + b_{11} v + c_{11}$, $f_1(v)$ 为在最大牵引工况下的牵引力, a_{11} 、 b_{11} 、 c_{11} 、 a_1 、 b_1 、 c_1 为常数, a_{11} 、 b_{11} 、 c_{11} 、 a_1 、 b_1 、 c_1 通过列车的牵引特性、空气阻力特性来确定, $E_1(v_{z1}, v_1)$ 为列车运行速度在 v_{z1} 和 v_1 之间时的牵引能量消耗, E_1 为牵引能量损耗。

[0086] 分段制动再生能量根据以下公式得出:

$$[0087] \quad E_2(v_{z2}, v_2) = \mu \int_{v_{z2}}^{v_2} \frac{f_2(v) \cdot v}{a_2 v^2 + b_2 v + c_2} dv,$$

[0088] 将所有分段制动再生能量相加得出制动再生能量 E_2 ;

[0089] 其中, $f_2(v) = a_{22} v^2 + b_{22} v + c_{22}$, $f_2(v)$ 为在最大制动工况下的制动力, μ 为列车制动时, 电制动力做功产生的能量反馈到电网的效率, a_{22} 、 b_{22} 、 c_{22} 、 a_2 、 b_2 、 c_2 为常数, a_{22} 、 b_{22} 、 c_{22} 、 a_2 、 b_2 、 c_2 通过列车的制动特性、空气阻力特性来确定, $E_2(v_{z2}, v_2)$ 为列车运行速度在 v_{z2} 和 v_2 之间时的制动能量消耗, E_2 为制动再生能量。

[0090] 其中, 当列车不具有再生制动功能时, 列车制动时, 电制动力做功产生的能量反馈到电网的效率 μ 的取值为 0;

[0091] 当列车具有再生制动功能时, 列车制动时, 电制动力做功产生的能量反馈到电网的效率 μ 的取值通常小于 95%。

[0092] 其中, 当列车匀速运行时, 列车的牵引力与空气阻力大小相等, 根据空气阻力特性曲线, 得出匀速能量损耗, 具体包括:

$$[0093] \quad E_3 = f_3(v_0) \times s_4$$

[0094] 其中, $f_3(v_0)$ 为在匀速运行工况下的牵引力, v_0 是列车匀速运行时的速度, 即最高

运行速度, s_4 为匀速运行距离。

[0095] 第一关系式为: $S = s_1 + s_2 + s_3 + s_4$, 其中, s_1 为牵引运行距离, s_2 为制动运行距离, s_3 为惰行运行距离, s_4 为匀速运行距离, S 为总运行距离。

[0096] 第二关系式为: $T = t_1 + t_2 + t_3 + t_4$, 其中, t_1 为牵引运行时间, t_2 为制动运行时间, t_3 为惰行运行时间, t_4 为匀速运行时间, T 为总运行时间。

[0097] 第三关系式为: $E = E_1 - E_2 + E_3$, 其中, E_1 为牵引能量损耗, E_2 为制动再生能量, E_3 为匀速能量损耗。

[0098] 将第一关系式、第二关系式、第三关系式联立, 得出列车能量损耗与最高运行速度的关系, 作出列车能量损耗与最高运行速度的关系曲线, 找出列车能量损耗最小时的节能最高运行速度。

[0099] 需要说明的是: 总运行距离、总运行时间是已经确定的。列车的牵引特性、列车的制动特性、空气阻力特性都能够通过分段的二次函数表示。如果列车的牵引特性、列车的制动特性、空气阻力特性不能通过分段的二次函数表示, 则可以拟将列车的牵引特性、列车的制动特性、空气阻力特性分别拟合成分段的二次函数。

[0100] 通过上述描述可见, 本发明实施例具有如下有益效果:

[0101] 1、通过本发明实施例提供的一种列车运行控制方法, 根据列车的牵引特性、列车的制动特性、空气阻力特性能够得到列车能量消耗最小的情况下的列车运行曲线, 本方法中不需要通过驾驶经验来确定参数, 得到的节能列车运行曲线更加准确, 列车运行的节能效率更高。

[0102] 2、通过本发明实施例提供的一种列车运行控制方法, 考虑再生制动对能量的影响, 符合现在动车能量实际的损耗情况, 能够得到具有制动能量反馈功能的列车的节能列车运行曲线。

[0103] 3、通过本发明实施例提供的一种列车运行控制方法, 处理过程简单, 对计算机计算能力要求低。

[0104] 需要说明的是, 在本文中, 诸如第一和第二之类的关系术语仅仅用来将一个实体或者操作与另一个实体或操作区分开来, 而不一定要求或者暗示这些实体或操作之间存在任何这种实际的关系或者顺序。而且, 术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含, 从而使得包括一系列要素的过程、方法、物品或者设备不仅包括那些要素, 而且还包括没有明确列出的其他要素, 或者是还包括为这种过程、方法、物品或者设备所固有的要素。在没有更多限制的情况下, 由语句“包括一个……”限定的要素, 并不排除在包括所述要素的过程、方法、物品或者设备中还存在另外的相同因素。

[0105] 本领域普通技术人员可以理解: 实现上述方法实施例的全部或部分步骤可以通过程序指令相关的硬件来完成, 前述的程序可以存储在计算机可读取的存储介质中, 该程序在执行时, 执行包括上述方法实施例的步骤; 而前述的存储介质包括: ROM、RAM、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质中。

[0106] 最后需要说明的是: 以上所述仅为本发明的较佳实施例, 仅用于说明本发明的技术方案, 并非用于限定本发明的保护范围。凡在本发明的精神和原则之内所做的任何修改、等同替换、改进等, 均包含在本发明的保护范围内。

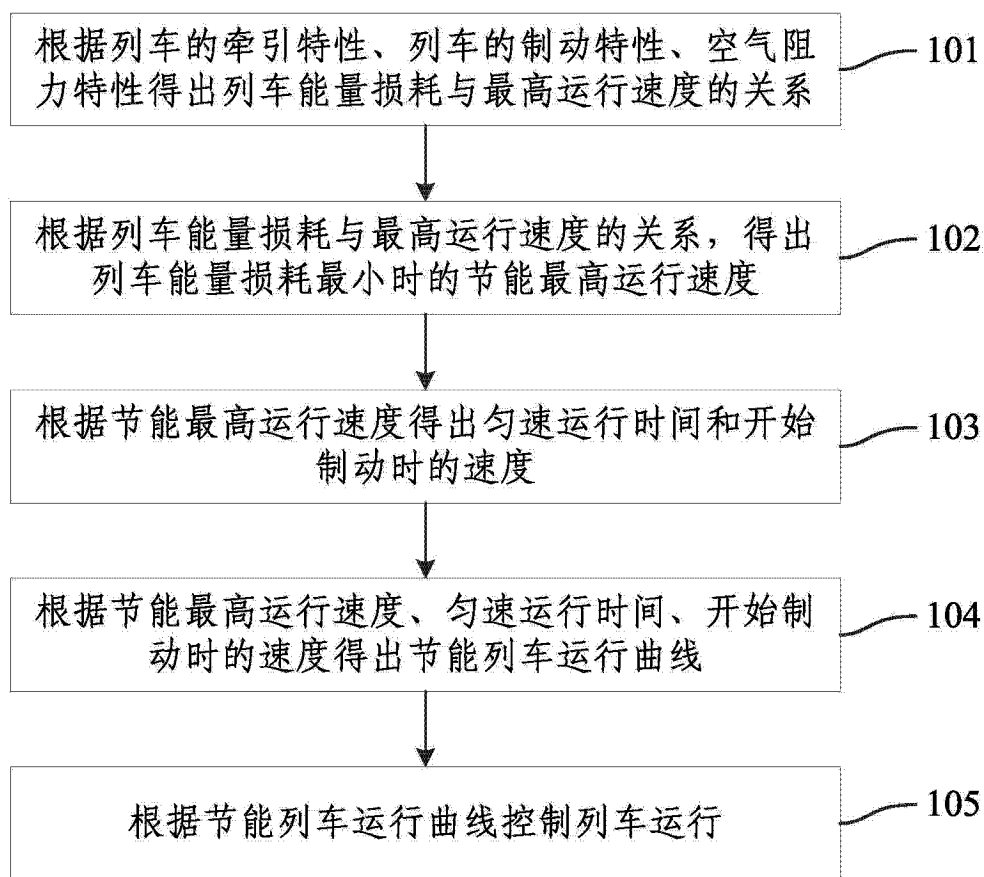


图 1