

电气化铁路高压电缆牵引网电气特性研究

郭鑫鑫¹, 李群湛¹, 解绍锋¹, 易 东¹, 王 辉¹, 宋静文²

(1. 西南交通大学 电气工程学院, 四川 成都 610031;

2. 国网四川省电力公司技能培训中心, 四川 成都 610072)

摘要: 基于电缆牵引网的等效模型推导出短回路内的电流分布特性及电缆牵引网等效阻抗。基于京沪高铁实际线路数据及行车安排, 建立高压电缆牵引供电系统模型, 对补偿系数及系统(包括电力系统和主变压器)漏抗对电缆牵引网电容效应的影响进行了仿真, 并对紧密运行工况下电缆牵引网的电压进行了校验。仿真结果表明, 当主变电所的数目分别为 3 个、4 个或 5 个时, 紧密运行工况下牵引网最低电压均满足动车组正常运行电压要求。

关键词: 牵引; 电缆牵引网; 电容效应; 阻抗特性; 补偿系数; 牵引供电系统; 模型

中图分类号: U 224.8

文献标识码: A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2015.12.020

0 引言

铁路是一种运量大、速度快、距离长的交通运输工具, 具有可靠性高及价格低等优点。截至 2015 年 1 月, 中国铁路运营总里程已达到 1.12×10^5 km, 其中高速铁路运营总里程超过 1.5×10^4 km, 中西部铁路达到 7×10^4 km, 总电气化里程超过 3×10^4 km。中国铁路总运营里程居全世界首位, 因此研究适用于中国铁路的牵引供电技术意义重大。

我国铁路采用单相工频制式, 随着交直交电力机车和动车组^[1-2]的广泛应用以及交直型电力机车的退出, 由于谐波得到显著改善, 而单车功率加大, 以负序、谐波^[3-5]为主的电能质量问题转变为以负序为主^[6]的电能质量问题。负序电流和电压会引起电力系统电压不对称、占用系统容量等问题, 甚至危及发电机及电网的安全运行^[7]。电力机车中的高次谐波会占用系统容量、增大损耗甚至引起系统谐波放大和牵引网的谐振等问题^[8]。

为减小对电力系统的负序影响, 电气化铁路供电采用换相连接^[9], 在两供电臂之间加装电分相装置。电分相是接触网中的薄弱环节, 会造成一个“硬点”, 影响电力机车的安全运行, 并且会限制高速铁路动车组速度的进一步提高。

基于此, 文献[10-11]提出一种新型电缆牵引供电系统, 当该方案用于电气化铁路时, 能够彻底解决影响电气化铁路的电能质量问题并取消电分相。该

方案采用 110 kV 电缆传输电能, 供电能力更强, 是一种技术上的进步, 为未来电气化铁路牵引供电系统性能提升提供了一种有效的解决方案。但目前并未见其他文献对其进行深入的研究, 本文将对电缆牵引网的电流分布特性、阻抗特性和电容效应进行研究。

1 新型电缆牵引供电系统结构

新型电缆牵引供电系统由主变电所(MSS)和电缆牵引网(CTN)构成, 主变电所由主变压器(MTT)和负序补偿装置(NCD)构成, 实现电压等级的变换和电能质量问题的治理; 电缆牵引网由电缆系统^[12-15](CS)、接触网(OCS)和牵引变压器(TT)构成, 实现电能的传输和电压等级的变换, 牵引变压器按照一定的间隔将电缆系统和接触网连接, 构成一个电缆分段, 如图 1 所示。

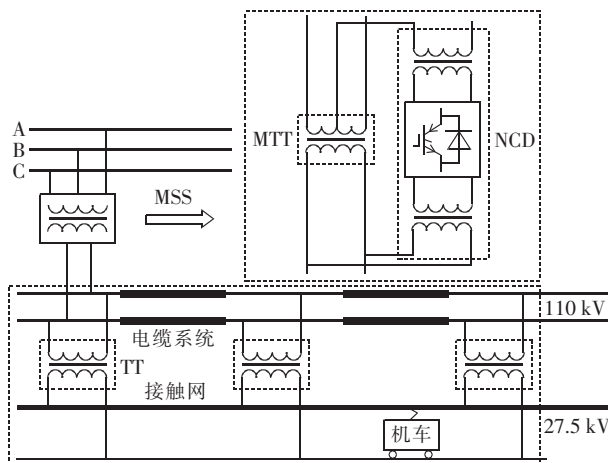


图 1 新型电缆牵引供电系统结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of novel cable traction power supply system

为方便起见, 将机车(动车组)所在两牵引变压器间隔的电缆和接触网称为短回路, 而该短回路到

收稿日期: 2015-07-07; 修回日期: 2015-10-16

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(U1134205, 51307143); 中国铁路总公司重点科技项目(2015J005-A); 朔黄铁路公司科技项目(2012-607)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China(U1134205, 51307143), the Technology Research and Development Program of China Railway Corporation(2015J005-A) and the Shuo-Huang Railway Company Projects(2012-607)

主变电所的电缆和接触网称为长回路。归算到同一电压等级下,长回路电缆阻抗远小于接触网阻抗,故在长回路中接触网的分流系数非常小,可忽略不计,由电缆承担主要的电能输送功能。短回路中,机车由相邻 2 个牵引变压器供电。

由于电缆牵引网阻抗小、电压等级高,且电缆电容效应可实现一部分无功补偿功能,因而供电能力远大于传统供电方式。此外,电缆牵引网具有较好的耦合效应,对机车及沿线通信线路的电磁干扰(EMI)较小。

2 电缆牵引网等效模型

由于电缆牵引网是一种复杂的链式多导体传输网络模型,且其内部存在 2 种电压等级,同时电缆的分布式参数也导致计算分析过程更加复杂,为分析电缆牵引网的特性,本节对电缆牵引网模型进行简化。

2.1 等效模型

为简化计算又满足精度,以短回路为单位将分布式参数模型等效为集中参数模型,同时,将 27.5 kV 侧参数折算到 110 kV 侧;进一步将 2 根电缆等效为 1 根电缆,得到电缆牵引网等效参数,如图 2 所示。

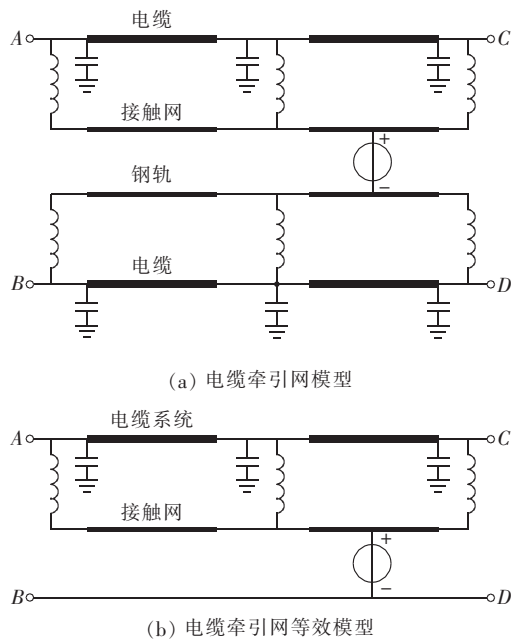


图 2 电缆牵引网等效模型

Fig.2 Equivalent model of CTN

2.2 等效参数计算

多导体传输线参数之间具有耦合效应,因此需要对其进行解耦合。图 3 中电缆和接触网的原始参数为:

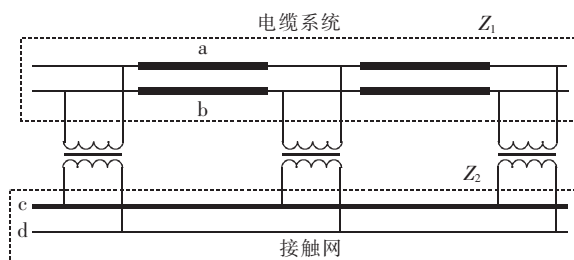
$$\begin{cases} Z_1 = R_1 + j\omega L_1 \\ Z_2 = R_2 + j\omega L_2 \end{cases} \quad (1)$$

$$R_1 = \begin{bmatrix} R_a & R_{ab} \\ R_{ab} & R_b \end{bmatrix}, \quad L_1 = \begin{bmatrix} L_a & L_{ab} \\ L_{ab} & L_b \end{bmatrix}$$

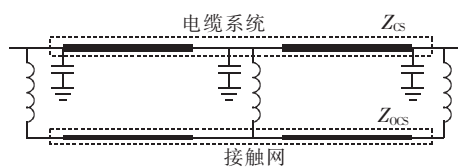
$$C_1 = \begin{bmatrix} C_a & C_{ab} \\ C_{ab} & C_b \end{bmatrix}, \quad R_2 = \begin{bmatrix} R_c & R_{cd} \\ R_{cd} & R_d \end{bmatrix}$$

$$L_2 = \begin{bmatrix} L_c & L_{cd} \\ L_{cd} & L_d \end{bmatrix}, \quad C_2 = \begin{bmatrix} C_c & C_{cd} \\ C_{cd} & C_d \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中, R_a, R_b, R_c, R_d 分别为电缆 a、电缆 b、接触网 c、钢轨 d 的电阻; L_a, L_b, L_c, L_d 分别为电缆 a、电缆 b、接触网 c、钢轨 d 的电感; C_a, C_b, C_c, C_d 分别为电缆 a、电缆 b、接触网 c、钢轨 d 的电容; R_{ab} 和 R_{cd} 、 L_{ab} 和 L_{cd} 、 C_{ab} 和 C_{cd} 分别为电缆 a、b 之间和接触网 c、钢轨 d 之间的电阻、电感、电容。



(a) 电缆牵引网模型



(b) 电缆牵引网等效模型

图 3 电缆牵引网等效参数

Fig.3 Equivalent parameters of CTN

则模型中等效参数为:

$$Z_{CS} = R_{CS} + j\omega L_{CS} = (R_a + R_b - 2R_{ab}) + j\omega(L_a + L_b - 2L_{ab}) \quad (3)$$

$$Z_{OCS} = R_{OCS} + j\omega L_{OCS} = 16[R_c + R_d - 2R_{cd} + j\omega(L_c + L_d - 2L_{cd})] \quad (4)$$

其中, Z_{CS}, Z_{OCS} 分别为电缆系统和接触网系统的等效阻抗。

通常接触网的容性效应可以忽略。由于 110 kV 电缆屏蔽层接地, 2 根电缆之间不存在互容, 故电缆对地等效电容为:

$$C_{CS} = \frac{C_a C_b}{C_a + C_b} = \frac{C_a}{2} \quad (5)$$

3 电气特性分析

在电缆牵引网等效模型中, 由于电缆阻抗远小于接触网阻抗, 故认为长回路中接触网的分流可忽略, 只有在机车所处区间短回路内, 电流通过相邻两牵引变压器为机车供电, 因此有必要研究在短回路中电流的分配规律及电缆牵引网的阻抗特性。

3.1 电流分配规律

在图 4 所示电流分配关系中, I 为机车负荷在 110 kV 侧的等效电流; I_1, I_2 分别为短回路内通过两牵引变压器的电流; I_{CS}, I_{OCS} 分别为长回路中流经电

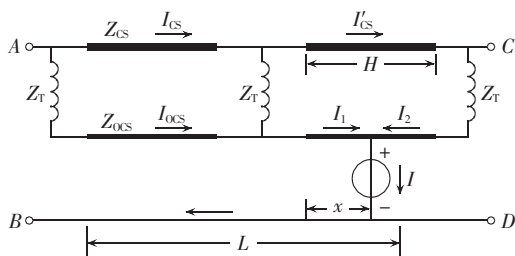


图 4 电流分配关系

Fig.4 Current distribution

缆系统和接触网系统的电流; I'_{CS} 为短回路内流经电缆系统的电流; x 为短回路内机车距牵引变电所侧最近的牵引变压器的距离; L 为机车距主牵引变电所的距离。由于接触网系统的阻抗远大于电缆系统的阻抗,其分流效应可忽略,且在分析短回路的电流分配规律和阻抗特性曲线时,不考虑电缆对地电容产生的容性电流,故通常可认为 $I_{CS}=I$, $I'_{CS}=I_2$,根据基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律,有:

$$\begin{aligned} I &= I_1 + I_2 \\ I_1(Z_T + Z_2x) &= I_2[Z_1H + Z_T + Z_2(H-x)] \end{aligned} \quad (6)$$

解方程组得:

$$\begin{cases} I_1 = \frac{Z_{CS}H + Z_T + Z_{OCS}(H-x)}{Z_{CS}H + 2Z_T + Z_{OCS}H} I = k_1 I \\ I_2 = \frac{Z_T + Z_{OCS}x}{Z_{CS}H + 2Z_T + Z_{OCS}H} I = (1-k_1)I \\ k_1 = \frac{Z_{CS}H + Z_T + Z_{OCS}(H-x)}{Z_{CS}H + 2Z_T + Z_{OCS}H} \end{cases} \quad (7)$$

3.2 等效阻抗

根据图 4,可得电缆牵引网等效阻抗计算公式:

$$\begin{aligned} Z &= \frac{\Delta U}{I} = Z_{CS}(L-x) + (Z_T + Z_{OCS}x)k_1 = Z_{CS}(L-x) + \\ & (Z_T + Z_{OCS}x) \frac{Z_{CS}H + Z_T + Z_{OCS}(H-x)}{Z_{CS}H + 2Z_T + Z_{OCS}H} \end{aligned} \quad (8)$$

根据式(8),电缆牵引网等效阻抗由长回路阻抗和短回路阻抗两部分构成。由于电缆阻抗远小于牵引变电所和接触网的等效阻抗,故长回路阻抗呈现斜率较低的直线;短回路阻抗呈现马鞍形,且由于电缆阻抗很小,牵引变压器漏抗不可忽略,因而电缆牵引网阻抗特性曲线在牵引变压器处(位置 0 、 H 、 $2H$ 、 $3H$)发生跳变。故电缆牵引网阻抗特性曲线示意图如图 5 所示。

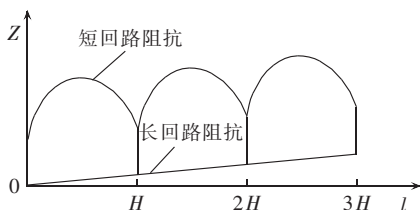


图 5 电缆牵引网阻抗曲线

Fig.5 Resistance characteristic curves of CTN

4 京沪高铁线路仿真

京沪高铁线路全长 1318 km,全线共有 28 个牵引变电所,采用 AT 供电模式,牵引变压器的容量均为 $(50+50)$ MV·A,动车组车型为 CRH380A $(9.9$ MV·A)和 CRH380AL $(20.44$ MV·A)2 种。动车组时速为 300 km/h,追踪间隔为 3.5 min,车辆按照 2 种车型 1:1 间隔排列。本节将分别对空载线路的电容效应和紧密运行时的牵引网电压进行仿真和校验。

4.1 空载线路的电容效应仿真

电缆线路的电容效应主要是由于容性电流流经感抗产生的与电源电压同相位的电压抬升造成的,GB/T11017 规定额定电压 110 kV 交联聚乙烯绝缘电力电缆最大运行电压为 126 kV^[16],因此需要对空载线路的电容效应进行抑制。

假设分别在京沪高铁沧州、徐州和丹阳设置 3 个主变电所,牵引变压器设置在原变电所及分区所处,容量等同采用原牵引变压器对应绕组容量。

本节将对京沪高铁青杨—徐州—方徐段进行仿真,并分别从补偿系数和主变压器漏抗对电缆牵引网电容效应的影响进行仿真分析。线路全长 $(254.8+245.7)$ km,主变电所设置在徐州牵引变电所。本仿真中采用截面积 1000 mm² 的电缆,电缆长度和原牵引变电所供电臂长度相同;根据电缆载流量和对应电缆区间内机车负荷大小,并采用“N+1”备用方式确定电缆回数,电缆参数见表 1。易知,采用新型电缆牵引供电模式后,铁路与电力系统的接口从 28 个减少到 3 个,电分相数目从 53 个减少到 2 个。

表 1 电缆参数

Table 1 Cable parameters

区间	长度/km	回数	区间	长度/km	回数
青杨—泰山	29.0	2	徐州—沙庄	28.1	6
泰山—泊家庄	28.4	3	沙庄—桃沟	28.9	6
泊家庄—王庄	28.8	3	桃沟—大负家	26.7	5
王庄—匡庄	29.4	4	大负家—固镇	27.2	4
匡庄—东郭	29.2	4	固镇—韦夏	24.5	4
东郭—望河	28.0	5	韦夏—蚌埠	23.2	3
望河—周营	29.0	5	蚌埠—小庄子	28.6	3
周营—江庄	27.4	6	小庄子—桑涧	29.9	2
江庄—徐州	25.6	6	桑涧—方徐	28.6	2

由于电缆线路电容效应明显,空载运行时会产生严重的电缆牵引网电压抬升,但在线路带负荷运行尤其是紧密运行时,电容效应有利于电缆牵引网供电能力的提升,因此应采用可控无功补偿装置对电缆的容性效应进行补偿。

通常可采用在二次侧加装可控无功补偿来减小容性充电电流,从而抑制空载条件下的电缆电容效应,补偿系数为:

$$\alpha = \frac{Q_L}{Q_c} = \frac{U_2^2/X_L}{U_1^2/B} \tag{9}$$

其中, U_1 为牵引变压器一次侧电压; U_2 为牵引变压器二次侧电压; B 为电抗器补偿电缆区间总电纳; X_L 为并联电抗。

图 6 为不同补偿系数时电缆牵引网的电压分布情况,从图中可以看出,补偿系数越大,电缆牵引网电压抬升越小,在全补偿情况($\alpha=1$)时,线路电压最接近 110 kV;当补偿系数为 0.4 时,线路电压抬升较大。一般情况下补偿系数为 0.7~0.8。

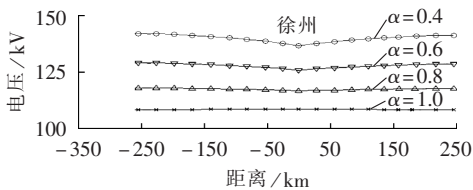


图 6 补偿系数对电缆牵引网空载电压的影响
Fig.6 Effect of compensation coefficient on no-load voltage of CTN

图 7 为主变压器漏抗对电缆牵引网空载电压的影响,从图中可以看出,主变压器漏抗越大,电缆牵引网电压抬升越大。故采用减小系统漏抗的方式也可以抑制电缆牵引网的空载电容效应。

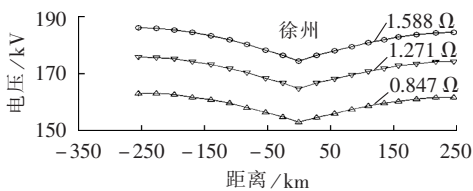


图 7 主变压器漏抗对电缆牵引网空载电压的影响
Fig.7 Effect of leakage reactance of main transformer on no-load voltage of CTN

在图 6 和图 7 的空载线路仿真结果中,系统电压抬升由主变压器和电缆上的电压抬升两部分组成,故空载线路电压最低点出现在中心变电所徐州处。

4.2 紧密运行工况仿真

为研究电缆牵引网的供电性能,需对其牵引网电压进行校验,即在紧密工况运行,线路没有无功补偿装置时进行接触网的最低电压校验,接触网最低电压需满足动车组正常运行最低电压 22.5 kV 的要求。本节分别对 3 个中心变电所、4 个中心变电所和 5 个中心变电所的电缆供电接触网最低电压进行校验。其中,3 个中心变电所以青杨—徐州—方徐段为例进行仿真,4 个中心变电所以王凤楼—王庄—沙庄段为例进行仿真,5 个中心变电所以畜牧场—王庄—江庄段为例进行仿真。电缆回数的选取与 4.1 节相同,此处不再赘述。

4.2.1 3 个中心变电所

图 8 以青杨—徐州供电臂为例,对仿真模型进

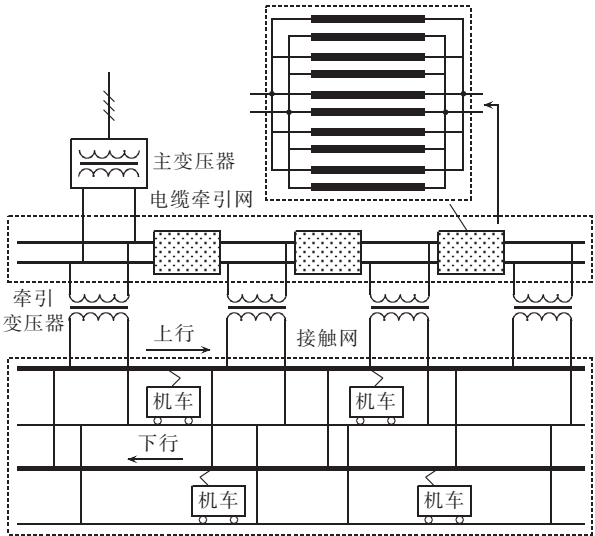


图 8 电缆牵引供电系统仿真模型
Fig.8 Simulation model of cable traction power supply system

行了详细说明。电缆牵引网和接触网通过牵引变压器连接起来,形成一个电缆分段。在长回路中,电流流经电缆;短回路内,电流流经两相邻牵引变压器对接触网分段内车辆进行供电。

图 9 所示为车辆紧密运行时电缆牵引网的电压情况,电压最大值 117.7 kV 出现在主变电所徐州处,电压最小值 112.1 kV 出现在徐州—方徐供电臂末端。

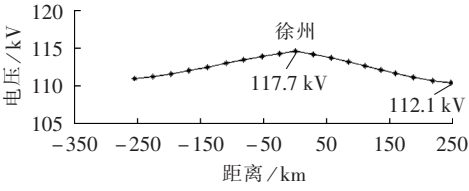


图 9 青杨—徐州—方徐段的电缆牵引网电压
Fig.9 CTN voltage of Qingyang-Xuzhou-Fangxu section

图 10 为上、下行接触网电压分布情况,由于每个接触网分段内车辆负荷不同,导致牵引变压器上的电压损失不同,故牵引变压器二次侧电压与牵引变压器一次侧变化规律不同。上行接触网最低电压为 24.33 kV,下行接触网最低电压为 24.8 kV,完全满足动车组正常运行最低电压要求。电缆供电方式

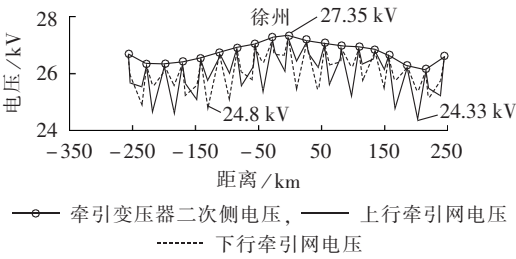


图 10 青杨—徐州—方徐段的接触网电压
Fig.10 OCS voltage of Qingyang-Xuzhou-Fangxu section

下,左、右 2 个供电臂长度均为 250 km 左右。

4.2.2 4 个中心变电所

图 11 为王凤楼—王庄—沙庄段车辆紧密运行时电缆牵引网的电压分布情况,电压最大值 107.6 kV 出现在主变电所王庄处,电压最小值 105.7 kV 出现在王庄—沙庄供电臂末端。

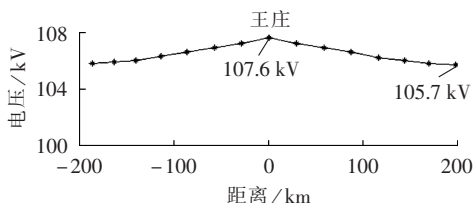


图 11 王凤楼—王庄—沙庄段的电缆牵引网电压
Fig.11 CTN voltage of Wangfenglou-Wangzhuang-Shazhuang section

图 12 为上、下行接触网电压。上行接触网最低电压为 22.92 kV,下行接触网最低电压为 23.07 kV,满足动车组正常运行最低电压要求。电缆供电方式下,左、右 2 个供电臂长度均为 190 km 左右。

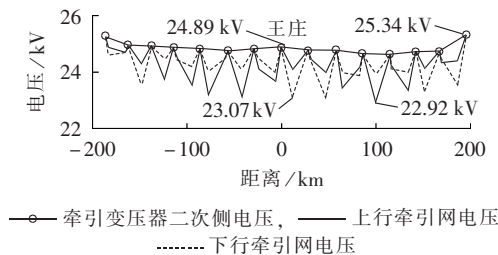


图 12 王凤楼—王庄—沙庄段的接触网电压
Fig.12 OCS voltage of Wangfenglou-Wangzhuang-Shazhuang section

4.2.3 5 个中心变电所

图 13 为畜牧场—王庄—江庄段车辆紧密运行时电缆牵引网的电压分布情况,电压最大值 108.8 kV 出现在主变电所王庄处,电压最小值 107.6 kV 出现在王庄—畜牧场供电臂末端。

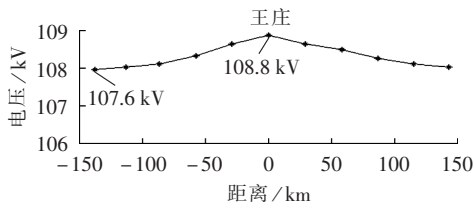


图 13 畜牧场—王庄—江庄段的电缆牵引网电压
Fig.13 CTN voltage of Xumuchang-Wangzhuang-Jiangzhuang section

图 14 为畜牧场—王庄—江庄段上、下行接触网电压。上行接触网最低电压为 23.31 kV,下行接触网最低电压为 23.35 kV,完全满足动车组正常运行最低电压要求。电缆供电方式下,左、右 2 个供电臂长度均为 140 km 左右。

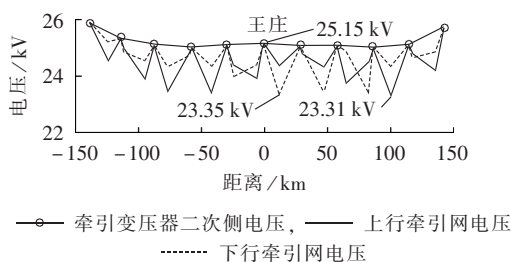


图 14 畜牧场—王庄—江庄段的接触网电压
Fig.14 OCS voltage of Xumuchang-Wangzhuang-Jiangzhuang section

5 结论

本文对电缆牵引网的电气特性进行了研究。在电缆牵引网等效模型的基础上得到了其短回路内的电流分布特性,并得到电缆牵引网的等效阻抗曲线;以京沪高铁实际线路参数为例进行了电缆供电的仿真,分别从补偿系数和系统漏抗对空载线路电容效应的影响及线路紧密运行时的接触网电压分布两方面对电缆牵引网的特性进行了研究。得到结论如下。

a. 电缆牵引网的阻抗特性曲线在短回路内呈现鞍型曲线;由于电缆阻抗小,且短回路内牵引变压器漏抗不可忽略,故电缆牵引网阻抗特性曲线在牵引变压器处发生跳变。

b. 电缆牵引网的电容效应是由容性电流流经系统漏抗引起的与电源同相的电压抬升造成的,无功补偿系数和系统漏抗均会影响电缆牵引网的电容效应。无功补偿系数越小,电容效应越明显,当补偿系数为 1 时,电缆上电压接近额定电压;系统漏抗越大,电容效应越明显。

c. 以京沪高铁实际线路参数为例,分别对设置 3 个中心变电所、4 个中心变电所和 5 个中心变电所时,紧密运行工况下的牵引网电压进行校验,当供电臂长度为 250 km、190 km 和 140 km 时,牵引网最低电压均满足动车组正常运行的要求。仿真结果表明电缆供电的供电能力更强,且可减少铁路与电力系统的接口,并大幅降低电分相数目。

参考文献:

- [1] 许龙,崔艳龙,魏建忠,等. 动车组不分闸过分相时牵引变压器差动保护误动分析[J]. 电力自动化设备,2013,33(4):105-108.
XU Long,CUI Yanlong,WEI Jianzhong,et al. Misoperation of traction transformer differential protection when train passes phase-separation with electrical load[J]. Electric Power Automation Equipment,2013,33(4):105-108.
- [2] 赵闻蕾,孔莉,王娟娟,等. 基于 MATLAB 和小波变换的电力机车谐波电流分析[J]. 电力自动化设备,2012,32(1):103-106.
ZHAO Wenlei,KONG Li,WANG Juanjuan,et al. Harmonic analysis based on MATLAB and wavelet transform for electrical locomotive[J]. Electric Power Automation Equipment,2012,32(1):103-106.

- [3] 黄小红,李群湛,杨乃琪,等. 同相牵引供电系统控制策略研究及仿真分析[J]. 电力自动化设备,2014,34(1):43-46.
HUANG Xiaohong,LI Qunzhan,YANG Naiqi,et al. Control strategy of co-phase traction power supply system and simulative analysis[J]. Electric Power Automation Equipment,2014,34(1):43-46.
- [4] 夏焰坤,李群湛,解绍锋,等. 高速和重载电气化铁路 V 型接线牵引变压器负序补偿研究[J]. 电力自动化设备,2014,34(2):73-78.
XIA Yankun,LI Qunzhan,XIE Shaofeng,et al. Negative sequence compensation of high-speed and heavy-haul electric railroad with V-connection transformer[J]. Electric Power Automation Equipment,2014,34(2):73-78.
- [5] 崔恒斌,冯晓云,宋文胜. 高速列车高次谐波负荷建模方法[J]. 电力自动化设备,2013,33(2):92-99.
CUI Hengbin,FENG Xiaoyun,SONG Wensheng. Modeling of high-order harmonic load for high speed train[J]. Electric Power Automation Equipment,2013,33(2):92-99.
- [6] 李群湛. 我国高速铁路牵引供电发展的若干关键技术问题[J]. 铁道学报,2010,32(4):119-124.
LI Qunzhan. On some technical key problems in the development of traction power supply system for high-speed railway in China [J]. Journal of the China Railway Society,2010,32(4):119-124.
- [7] 李群湛. 牵引变电所供电分析及综合补偿技术[M]. 北京:中国铁道出版社,2006.
- [8] 李群湛,贺建闽,解绍锋. 电气化铁路电能质量分析与控制[M]. 成都:西南交通大学出版社,2010.
- [9] 李群湛. 牵引供电系统分析[M]. 成都:西南交通大学出版社,2007.
- [10] 李群湛. 城市轨道交通的交流牵引供电系统及其关键技术[J]. 西南交通大学学报,2015,50(2):199-207.
LI Qunzhan. Industrial frequency single-phase AC traction power supply system and its key technologies for urban rail transit[J]. Journal of Southwest Jiaotong University,2015,50(2):199-207.
- [11] 李群湛,易东,吴积钦,等. 一种电气化铁道同轴电缆牵引供电系统:2014203245523[P]. 2014-11-05.
- [12] 张刚毅,李群湛. 电气化铁道异相供电方式向同相供电方式的转换[J]. 电力自动化设备,2012,32(11):142-145.
ZHANG Gangyi,LI Qunzhan. Transfer from out-phase power supply to in-phase power supply[J]. Electric Power Automation

Equipment,2012,32(11):142-145.

- [13] 邱大强,李群湛,余俊祥. 混合式电铁电能质量调节器补偿原理及容量分析[J]. 电力自动化设备,2012,32(10):59-64.
QIU Daqiang,LI Qunzhan,YU Junxiang. Compensation principle of hybrid power quality conditioner for electric railroads and capacity analysis[J]. Electric Power Automation Equipment,2012,32(10):59-64.
- [14] 张友鹏,董海燕. 基于 Y/△平衡变压器的同相牵引供电系统[J]. 电力自动化设备,2013,33(4):101-104.
ZHANG Youpeng,DONG Haiyan. Co-phase traction power supply system based on Y/△ balanced transformer[J]. Electric Power Automation Equipment,2013,33(4):101-104.
- [15] 马庆安,李群湛,解绍锋,等. AT 供电系统同相供电 PR 控制器设计[J]. 电力自动化设备,2013,33(11):154-159.
MA Qing'an,LI Qunzhan,XIE Shaofeng,et al. Design of PR regulator for co-phase AT-feeding traction power system [J]. Electric Power Automation Equipment,2013,33(11):154-159.
- [16] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 额定电压 110kV($U_m=126$ kV)交联聚乙烯绝缘电力电缆及其附件第 1 部分:试验方法和要求;GB/T11017.1—2014 [S]. 北京:中国标准出版社,2014.

作者简介:



郭鑫鑫

郭鑫鑫(1987—),女,山东乳山人,博士研究生,研究方向为牵引供电系统理论、电缆供电等(E-mail:xinxinguo435@163.com);

李群湛(1957—),男,河北元氏人,教授,博士研究生导师,博士,从事牵引供电系统理论、同相供电等方面的研究;

解绍锋(1976—),男,河北定州人,教授,博士,从事牵引供电系统理论、同相供电

等方面的研究;

易东(1971—),男,四川三台人,讲师,硕士,从事牵引供电系统理论、继电保护等方面的研究;

王辉(1989—),男,河北张家口人,硕士研究生,从事电能质量与控制、牵引供电系统的研究;

宋静文(1987—),女,四川遂宁人,助教,硕士,从事电能质量治理等方面的研究。

Electrical characteristic of cable traction network for electrified railway

GUO Xinxin¹,LI Qunzhan¹,XIE Shaofeng¹,YI Dong¹,WANG Hui¹,SONG Jingwen²

(1. School of Electrical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;

2. State Grid Sichuan Technical Training Center, Chengdu 610072, China)

Abstract: The current distribution characteristic in short loop and the equivalent impedance of CTN(Cable Traction Network) are deduced based on its equivalent model. The model of HV cable traction power supply system is established based on the actual line data and train running arrangement of Beijing-Shanghai high-speed railway, the impact of compensation coefficient and system leakage reactance(including electric power system and main transformer) on the capacitance effect of CTN is simulated and the CTN voltage in heavy load condition is verified. The simulative results show that, when there are three, four or five main transformer substations, the minimum CTN voltage in heavy load condition can satisfy the requirement of normal railway operation.

Key words: electric traction; cable traction network; capacitance effect; impedance characteristic; compensation coefficient; traction power supply system; models