

[电能质量]

机车对电能质量评估的影响思考

文/程冲
福州地铁建设有限公司

通过对地铁非线性设备谐波电流的特征进行分析，并对机车仿真频谱与国内同类机车实测频谱进行分析对比，可以认定同类型实测频谱替代机车仿真频谱理论上放大谐波电流。用该方式进行电能质量评估，结果失真，无法正确反映地铁线路接入后对电网的影响的结论，进而提出机车型式试验中的谐波电流数据进行电能质量评估的方法。

根据国家电网公司业扩办理流程要求，依托电能质量评估报告出具的评估意见，是国家电网系统接入批复的前置条件。2023年，A市地铁集团在该市机场地铁线路用电办理国家电网系统接入手续时，因双方对牵引机车谐波引用的意见不一致，造成电能质量评估意见无法出具，进而影响城际铁路项设备选型及项目的实施。

A市机场地铁线路电能质量评估报告编制过程中，因拟采用的牵引机车尚未生产完毕，故采用牵引机车的方针频谱作为基础数据进行电能质量的评估，该方式是目前国内地铁电能质量评估的常规做法。该市国网公司认为使用牵引机车的仿真数据无法完全展现出地铁机车在实际运营过程中真实情况，要求A市地铁集团使用国内同类型机车（如B市17号线）的地铁线路实测频谱替代仿真频谱进行电能质量评估工作。

频谱数据仿真情况对比

1. A市机场地铁线路设备基本情况及谐波频谱分析

（1）A市机场地铁线路设备基本情况

A市机场地铁线路全长62.4 km。为国家电网一级重要电力客户，沿线设置3座110 kV主变电站，3座主变电站兼有铁路牵引变功能。其中D主所配置电力主变压器2×40 MV·A，牵引变2×（16+16）MV·A，电力主变压器采用变比为110/35 kV的有载调压变压器，牵引变采用变比为110/27.5 kV无载调压变压器。D变

电站采用双电源供电，由国家电网两座220 kV变电站进行供电。另外两座主所的S1、S2主所配置情况与D主所类似。D主所最大用电负荷64.13 MV·A，其中非线性负荷57.96 MV·A，占比90.37%；S1主所最大用电负荷87.42 MV·A，其中非线性负荷68.93MV·A，占比78.85%；S2主所最大用电负荷51.51 MV·A，其中非线性负荷39.94 MV·A，占比77.54%。下面以D主所的配置为例进行论证。

D主所站用变配置型号为SCB11的干式变压器，200 kV·A，电压比35/0.4，联接组别Dyn11，短路阻抗4.0%，2台。站内35 kV最大负荷影响20.134 MV·A，功率因数0.92，站内35 kV非线性负荷13.96 MV·A。电能质量的非线性负荷情况，详见表1。

表1 D主所35 kV侧非线性负荷统计

区域	站名	动力照明负荷		通风空调、射流风机		电扶梯	
		计算容量/kV·A	功率因数	计算容量/kV·A	功率因数	计算容量/kV·A	功率因数
D主所	a	1 131	0.85	564.8	0.8	478	0.9
	b	796.5	0.85	271.4	0.8	456	0.9
	c	534.5	0.85	281.3	0.8	288	0.9
	d	460	0.85	336.2	0.8	354	0.9
	e	521.5	0.85	354.6	0.8	378	0.9
	f	593	0.85	285.2	0.8	/	/
	区间跟随所1	194	0.85	555	0.8	/	/
	g	588	0.85	/	/	720	0.9
	区间降压所1	65	0.85	/	/	/	/
	运用库降压变电所	2 469.5	0.85	/	/	/	/
D停车场	后勤楼跟随所	1 287	0.85	/	/	/	/

(2) 谐波频谱分析

35 kV 侧非线性设备动力照明、通风空调及射流风机、电扶梯谐波电流频谱见表2~表4。

表2 通风空调及射流风机谐波电流频谱

谐波次数	2	3	4	5	6	7
谐波电流 (%)	0.92	1.19	0.89	2.29	0.32	4.71
谐波次数	8	9	10	11	12	13
谐波电流 (%)	0.24	0.57	0.12	1.83	0.06	1.57
谐波次数	14	15	16	17	18	19
谐波电流 (%)	0.07	0.44	0.05	1.12	0.04	0.94
谐波次数	20	21	22	23	24	25
谐波电流 (%)	0.03	0.35	0.04	0.65	0.03	0.62

表3 动力照明谐波电流频谱

谐波次数	2	3	4	5	6	7
谐波电流 (%)	0.33	10.33	0.32	16.88	0.46	33.17
谐波次数	8	9	10	11	12	13
谐波电流 (%)	0.58	13.49	0.31	11.44	0.76	12.47
谐波次数	14	15	16	17	18	19
谐波电流 (%)	0.87	14.87	0.90	9.77	0.78	8.19
谐波次数	20	21	22	23	24	25
谐波电流 (%)	0.92	5.42	1.29	4.69	0.01	3.72

表4 电扶梯谐波电流频谱

谐波次数	2	3	4	5	6	7
谐波电流 (%)	0.32	0.86	0.54	31.31	0.45	7.24
谐波次数	8	9	10	11	12	13
谐波电流 (%)	0.31	0.23	0.35	8.79	0.22	4.25
谐波次数	14	15	16	17	18	19
谐波电流 (%)	0.16	0.22	0.11	3.55	0.25	3.22
谐波次数	20	21	22	23	24	25
谐波电流 (%)	0.23	0.31	0.18	2.43	0.32	2.00

2. A市机场地铁线路机车谐波仿真情况

A市机场地铁线路机车运行时的谐波电流频谱见表5。从表5中可知，2次、3次、5次谐波电流较高。

表5 机车运行时谐波电流频谱

谐波次数	2	3	4	5	6	7
谐波电流 (%)	0.19	0.15	0.1	0.15	0.08	0.09
谐波次数	8	9	10	11	12	13
谐波电流 (%)	0.06	0.09	0.07	0.07	0.04	0.02
谐波次数	14	15	16	17	18	19
谐波电流 (%)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03
谐波次数	20	21	22	23	24	25
谐波电流 (%)	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.04

3. 引用B市17号线机车谐波仿真情况

引用B市17号线机车运行时的谐波电流频谱见表6所示。从表6中可知，2次、3次、4次、5次谐波电流较高。其中2次谐波电流高达12.48%，已超过限值。

表6 机车运行时谐波电流频谱

谐波次数	2	3	4	5	6	7
谐波电流 (%)	12.48	4.34	2.11	5.69	1.31	2.21
谐波次数	8	9	10	11	12	13
谐波电流 (%)	0.99	1.12	0.61	2.19	0.96	2.27
谐波次数	14	15	16	17	18	19
谐波电流 (%)	0.40	0.35	0.34	0.34	0.15	0.17
谐波次数	20	21	22	23	24	25
谐波电流 (%)	0.11	0.17	0.13	0.21	0.09	0.16

从表5、表6的数据对比分析得出，不同的机车频谱，对谐波电流的仿真结果影响较大，B市17号线实测频谱是否可以真实反映A市机场地铁线路机车的实际情况，需进一步论证。

机车类型对比分析

B市17号线Y主所A市机场地铁线路D主所为例，进行对比分析。Y主所位于Y车辆段，D主所位于D停车场，两者功能定位相似。

1. 列车及运行工况差异

(1) 列车编组及牵引功率

A市机场地铁线路和B市17号线设计最高运行速度均为140 km/h，且都是25 kV/50 Hz供电制式，A市机场地铁线路列车采用的是3M1T的4节编组形式，牵引功率为12×230 kW=2.76 MW，而B市17号线列车为6M2T的8节编组形式，牵引功率为24×250 kW=6 MW。

(2) 变频器控制策略

A市机场地铁线路为主辅充一体，逆变有个模块带4台电动机，有一个逆变模块带两台电动机，D品牌。B市17号线动车变流器采用主辅一体，逆变均为车控带4台电动机。M品牌的变流器基本参数，整流控制策略，以及现车实际运行的网侧谐波数据等理论上也与滨海快线所采用的株洲时代设备都有所不同，这些因素均可能导致A市机场地铁线路和B市17号线的谐波电流频谱有所不同。

(3) 牵引制动曲线 (如图1~图4所示)

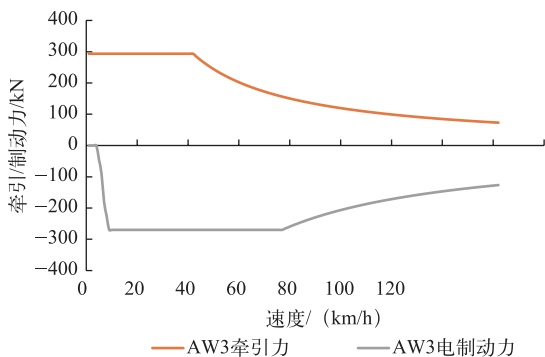


图1 A市机场地铁线路列车牵引制动力曲线

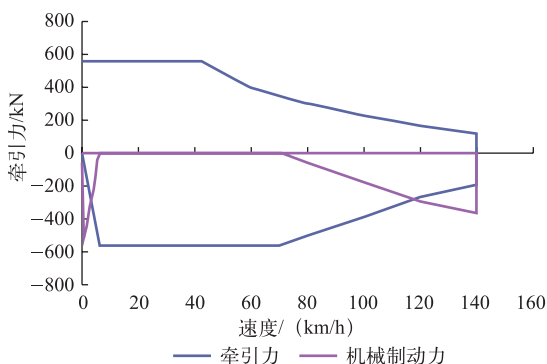


图2 B市17号线列车牵引制动力曲线

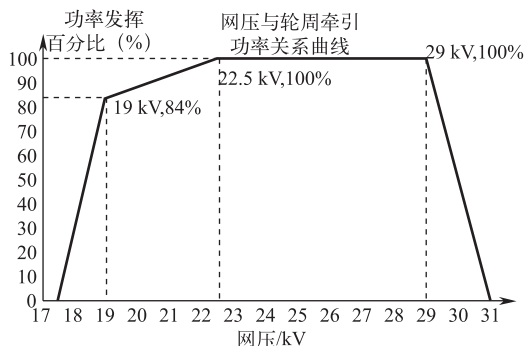


图3 A市机场地铁线路列车牵引特性曲线

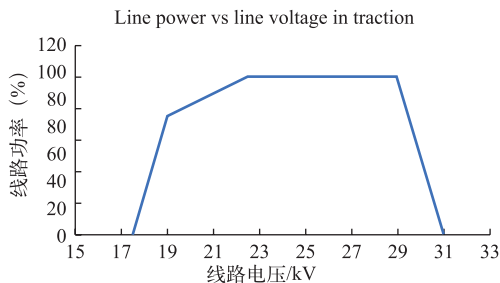


图4 B市17号线列车牵引特性曲线

从图1~图4可以看出, B市17号线、A市机场地

铁线路列车的牵引、制动曲线除了功率、牵引力上的差异外, 期形态完全相似, 可以认为这种差异就是由编组、单台列车的差异造成的, 车辆本身几乎没有差异。

(4) 运行工况

A市机场地铁线路初期行车交路为12对/h; B市17号线初期行车交路为15对/h; 早晚高峰时段, 供电臂上的列车对数不同, 变压器牵引功率不同, 注入公共连接点的谐波也不同。

1) 车站机电设备配置差异。A市机场地铁线路采用4/6 A编组, 车站长度约为240 m。B市17号线采用8 A编组, 车站长度约为280 m, 典型6 A及8 A车站风水电配置见表7。

表7 典型配置

	通风/kW	给排水/kW	动照/kV·A
6 A车站 (A市机场地铁线路)	1 540	263.8	1 250×2
8 A车站 (B市17号线)	1 726	277.4	1 600×2

车站规模不同, 车站主体中所设置的照明、通风空调、变频器等非线性设备容量完全不同, 注入公共连接点的谐波也不同。从上述数据看出, B市17号线车站非线性负荷更大, 产生的谐波也更大。

2) 谐波测试差异。A市机场地铁线路为单台列车仿真数据。B市17号线实测数据, 来源于当地电网220 kV变电站110 kV出线1间隔PCC采样点。该220 kV变电站110 kV共有出线间隔15处, 截至2019年9月, 已实施12处。该接入点包括110 kV电缆、Y主所2段母线上—台牵引变压器、—台动力变压器所产生的全部谐波。此外, 还包括了12处其他公网出线叠加的背景谐波。

(5) 结论

从上述分析可以看出, A市机场地铁线路的机车同B市17号线的机车是类似的。但A市机场地铁线路同B市17号线的实测数据相比, 存在着列车编组及牵引功率、变频器控制策略、运行工况、车站非线性设备配置及谐波数据测试来源等较多差异, 两者所产生的谐波数据, 理论上是完全不同的。

结束语

经过分析, 可以认定用B市17号线的实测频谱替代A市机场地铁线路单机车仿真频谱理论上放大

谐波电流。用该方式进行电能质量评估，结果失真，无法正确反映地铁线路接入后对电网的影响。而用此结论所设计的谐波治理设备，会出现选择容量大的情况，进而提高建设投资，而过剩的容量将对地铁项目建设产生负面影响。为保证设备选型的正确性，可考虑A市机场地铁线路的机车生产完毕后的型式试验中的谐波电流数据进行电能质量评估。该方式可以真实反映机车的实际运行情况，且可以排出其他设备的谐波污染。**EA**

(收稿日期：2024-07-24)

参考文献

- [1] 李钻钻. 山西晋中介休220 kV智能变电站设计[D]. 太原: 太原理工大学, 2020.
- [2] 孔波. 富阳电网的现状分析与规划研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2012.
- [3] 阮永丽. 昆明电网网络结构优化研究[J]. 云南电力技术, 2010,38(5), 21-23.

