「功率因数」

电气化铁路牵引供电系统功率因数的改善

文/中铁二院工程集团有限责任公司电气化设计研究院　刘晓卉

电力牵引负荷的功率因数低，不但使牵引变压器等牵引供电系统设备的能力不能充分利用，而且会对电力系统产生不良影响。有效改善电气化铁路牵引供电系统功率因数，可以减少电能损失、节省电费支出，提高电气化铁路的经济效益。

电气化铁路牵引供电系统功率因数的高低，直接关系到电力网中的功率损耗和电能损耗，关系到牵引网的电压损失和电压波动，而且关系到节约电能和整个供电区域的供电质量。本文分析影响电网功率因数的主要因素，同时总结了有效改善功率因数的措施。

功率因数与电力系统的关系

电气化铁路是单相负荷，在牵引变电所采用三相交流进线，分两组单相功率向接触网供电以减少三相侧的不平衡。由于近年来牵引负荷增加，在小容量电源系统中三相电压不平衡及电压波动较大。

牵引变电所将来自电力系统的三相交流电利用牵引变压器变换成相位差为90°的A、B两个单相交流，分别向牵引网两供电臂供电。这种牵引变压器是按A、B分别相等的单相负荷功率供电，当功率因数相等时，三相侧则能完全平衡。但是电力机车负荷由于按运行图运行频繁地加减速，从牵引到再生负荷功率在大幅度的变化。另外，目前运行的电力机车、动车组各自的功率因数不同而且是混合运行，单相负荷总体的功率因数也在时刻变化。

电气化铁路的功率因数

功率因数是指电力网中线路的有功功率与视在功率的百分比。在电力网的运行中，希望功率因数越大越好，如能做到这一点，则电路中的视在功率将大部分用来供给有功功率，以减少无功功率的消耗。用户功率因数的高低，对于电力系统发、供、用电设备的充分利用，有着显著的影响。适当提高用户的功率因数，不但可以充分地发挥发、供电设备的生产能力、减少线路损失、改善电能质量，而且可以提高用户用电设备的工作效率和为用户本身节约电能。因此，提高用户功率因数，并且能够有效地降低电能损失，减少用户电费。其社会效益及经济效益都会是非常显著的。

目前我国电气化铁路所采用的电力机车主要是整流型的电力机车，其自然功率因数为0.80～0.85左右。受牵引网阻抗的影响，牵引变电所牵引变压器低压侧的功率因数要降低0.01～0.05，为0.80～0.84，通常取0.80～0.82。受牵引变压器阻抗的影响，其高压侧的功率因数还要降低约0.05，只有0.75～0.79，平均值取0.77～0.78。

电气化铁路功率因数低的不良影响

电力牵引负荷的功率因数低，不但使牵引变压器等牵引供电系统设备的能力不能充分利用，而且对电力系统产生下列不良影响。

1）降低发电机组的输出能力和输变电设备的供电能力，使电气设备的效率降低，发电和输变电的成本提高。电气设备的有功功率为

$$P = S\cos\varphi = \sqrt{S^2 - Q^2}$$

式中，S，P，Q分别为电气设备输送的视在功率、有功功率和无功功率；$\cos\varphi$为电力负荷的功率因数。

由上式可见，电气设备如果低于额定或规定的功率因数运行，当视在功率不变时，输送的有功功率就要减少，从而降低了发电设备的输出能力和输变电设备的供电能力，使电气设备的效率降低，发电和输变电的成本提高。

2）增加输电网络中的电能损失。当电流流过输电网络时，产生的有功功率损失为

$$\Delta P = 3I^2 r \times 10^{-3} = 3\left(\frac{P}{U\cos\varphi}\right)^2 10^{-3}$$

$$= \frac{3P^2 r}{U^2}\cdot\frac{1}{\cos^2\varphi}\times 10^{-3}$$

式中，ΔP为有功功率损失；I为每相电流；r为输电网络的每相电阻；P为电力负荷每相有功功率；U为输电网络的相电压；$\cos\varphi$为电力负荷的功率因数。

由上式可知，有功功率损失与功率因数的二次方成反比。功率因数低，将引起输电网络中的电能损失大大增加。

3）增加输电网络中的电压损失，往往引起电力用户的供电电压不足。如果功率因数低于规定值，在输送同样的有功功率情况下，视在功率要增大，与此相应的电流随之增大，从而输电网络中的电压损失增大。

4）电力部门对电气化铁路牵引用电的计费方式为两部制电价，并征收功率因数调整电费，将功率因数考核标准定为0.9。功率因数调整电费的支出，大大增加了铁路运营部门的成本。

由此可见，电气化铁路牵引供电系统功率因数影响了电气化铁路经济效益。

有效改善功率因数的措施

（1）电力机车技术

国内外广泛使用的电力机车大多数为交直型电力机车。该类型机车将接触网提供的工频交流电变换为直流电，供牵引电动机用。交直型电力机车分为整流型和相控整流型，如国产SS_4型电力机车为相控整流型电力机车。交直型电力机车的致命弱点是功率因数低，其功率因数为0.80左右。目前我国研制的新型交直交型电力机车，其功率因数理论上普遍大于0.95，可以彻底解决电力机车功率因数低的问题，大大促进了我国电力机车行业的发展。

（2）牵引变电所技术

以110 kV牵引变电所为例。由于受牵引变压器阻抗的影响，110 kV测功率因数降低0.01～0.05左右。为了提高牵引供电系统功率因数，可在牵引变电所27.5 kV母线A、B两相上分别安装并联电容补偿装置。

为更加有效地改善功率因数，每个供电臂安装的补偿装置应根据电力牵引负荷情况而定，按轻重负荷臂设计电容补偿容量，实现电容分组补偿。根据近期、远期运输及负荷情况，分组投入补偿装置，使电容补偿装置产生适量无功，补偿电力机车取用无功的需求，尽量不产生过补偿。

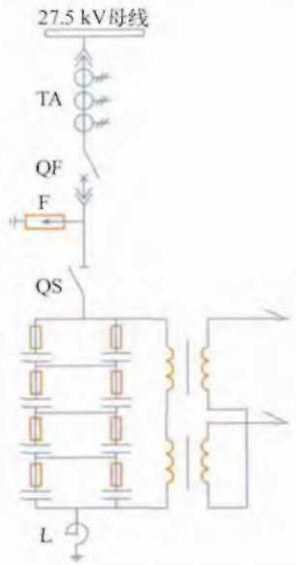

图1　直供方式下并联电容补偿接线图

应用实例

本文以宝成铁路为例进行说明。宝成铁路是山区铁路，运量大、铁路沿线电力系统电源薄弱。

据调查，宝成铁路货车大多为SS_3型电力机车，自然功率因数无法满足≥0.9的要求。为提高牵引供电系统功率因数，需对宝成线既有牵引变电所进行改造或将牵引机型更换成交直交型电力机车。

（1）牵引变电所技术

2007年，成都铁路局成都供电段对宝成线既有牵引变电所进行改造，分相设置并联电容补偿装置。改造完成后，成都铁路局成都供电段提供的“宝成线牵引供电设备运行概况表”中清晰反映出牵引供电系统功率因数的大大提高。

（2）电力机车技术

2012年，宝成线牵引机型更换成交直交型电力机型，由成都铁路局成都供电段提供的“宝成线牵引供电设备运行概况表”中可以看出，功率因数基本达到0.95以上。

表1 2007年宝成线牵引供电设备运行概况表

变电所	牵引变压器容量/MV·A	受电量/GW·h	损失电量及损失率				无功电量/Gvar·h	功率因数
			变电所/GW·h	%	接触网/GW·h	%		
广元	25	2.953	0.02	/	/	/	1.173	0.93
沙溪坝	20	1.594	0.017	/	/	/	0.457	0.96
竹园坝	25	2.836	0.020	/	/	/	0.891	0.95
马角坝	31.5	5.484	0.030	/	/	/	1.856	0.95
江油	31.5	4.219	0.023	/	/	/	0.908	0.98
绵阳	25	3.492	0.021	/	/	/	0.857	0.97
罗江	/	/	/	/	/	/	/	/
德阳	20	3.026	0.017	/	/	/	0.689	0.98

表2 2012年宝成线牵引供电设备运行概况表

牵引变电所	线别	牵引变压器容量		受电量/GW·h	无功电量/Gvarh	功率因数
		/MV·A	/台			
广元	宝成	25	1	16.614	4.818	0.96
沙溪坝	宝成	20	1	9.900	2.866	0.96
竹园坝	宝成	25	1	17.596	5.867	0.95
马角坝	宝成	31.5	1	34.458	12.010	0.94
江油	宝成	31.5	1	27.849	5.899	0.98
绵阳	宝成	25	1	22.115	5.984	0.97
罗江	宝成	—	—	—	—	—
德阳	宝成	20	1	19.073	4.952	0.97

结束语

电气化铁路牵引供电系统功率因数是一个系统工程，既有一般电力系统的特点，又有自己的独特性和复杂性；有技术原因同时也受科技发展和经济发展的影响。铁路作为能源消耗大户能否实现经济运营意义重大，通过对电气化铁路牵引供电系统功率因数的不断分析和研究，不断提高功率因数，提高能源利用率和运输效益，利国、利企、利民。EA

（收稿日期：2014.12.25）
[责任编辑：白文亭]

（上接第51页）

经检查发现，原因为孔板流量计测量流量，流量与压力差的平方根成正比，变送器表头上已进行一次开平方，在流量控制器上我们又进行了一次开平方操作，将控制器上开平方取消后，流量显示正常。闭合开关QF，变频器上电后，对变频器参数进行设定，首先将电动机参数输入变频器，设定频率给定为模拟量4～20 mA电流信号输入，设定运行方式为外部给定，FWD、CM端子控制起停，设定30B、30C为总报警输入，并故障取反。

（3）调试

将电动机脱开，选择开关S1在手动位置，按下SB2起动变频器，并调整液位控制器上液位设定值，观察变频器频率输出是否正常变化，调试后按下SB1停止变频器。

（4）带负载调试

将变频器连上电动机，再次按下SB2，起动变频器，确认电动机旋转方向正确，继续调整液位设定值，观察电动机转速变化情况，正常时，按下SB1停止电动机，将S1选择在自动位置，设定液位低限报警值高于实际液位值，观察电动机是否正常起动，并正常调节转速变化；将液位高报报警值设定在实际液位以下，观察电动机是否正常停止。

结束语

补水泵改自动控制以后，锅炉水位一直保持较稳定，无需人员一直现场跟踪进行调整，为公司节省了人力，并消除了由于人员补水不及时造成事故的安全隐患。EA

（收稿日期：2014.12.25）
[责任编辑：白文亭]