

高压无功自动跟踪补偿技术 在 10 kV 线路上的应用

周道明¹, 宁世红², 王 睦³

(1. 德阳什邡供电局, 四川 什邡 618400; 2. 德阳电业局, 四川 德阳 618000;
3. 四川电力试验研究院, 四川 成都 610072)

摘 要:通过在 10 kV 农村线路上引入高压无功自动跟踪补偿技术, 实现了提高线路输送功率、改善输送电压质量、无功分段就地平衡、降低 10 kV 线路线损的目的。对无功补偿技术在线路上的应用进行了效益分析。

关键词:无功自动跟踪补偿; 10 kV 线路; 效益分析

Abstract: By introducing HV reactive automatic tracking compensation devices, the transmitted power has been increased, the quality of transmitted voltage has been improved, and the losses of 10 kV line have been reduced. Finally, the benefits of the application of reactive compensation technique to transmission line are analyzed.

Key words: reactive automatic tracking compensation; 10 kV transmission line; benefit analysis

中图分类号: TM714.3 文献标识码: B 文章编号: 1003-6954(2008)01-0048-06

1 现状分析

什邡市是四川省的经济强县, 工农业比较发达, 综合经济实力在县级市中位列四川第二。什邡供电局经过多年来开展节能降耗工作, 到 2006 年底, 全网综合线损率达到了 3.7%, 全网损耗电量有 41.297 25 GWh, 其中 10 kV 公用线路损耗占总损耗比例为 56.92%, 专线及趸售损耗占 11.98%, 其它网络损耗占 31.10%。可见 10 kV 公用线路的线损比重最大, 问题也最多, 经常暴露出用户多、负荷分散、供电半径长、结构复杂、输出功率因数低、线损偏高、末端电压低的问题。例如 10 kV 土禾路, 系一条工业用户较多的农网公用线路, 共有配变 137 台, 总容量 13 120 kVA, 2006 年以前该线路最高线损率达到 15%, 且终端用户侧电压波动大, 电压最低仅有 180 V, 电压质量较差, 极大地影响了用户正常用电。

因此, 寻求一种既可以提高 10 kV 配电网有功功率的输送, 又可以提高电压质量、降低线路损耗的有效方法, 已是当务之急。

2 高压无功自动跟踪补偿装置选择

通常使用的补偿方式有变电站 10 kV 高压补偿, 用以完成主变和母线无功消耗补偿, 降低主变和母线

损耗。对用户, 采用低压补偿, 实现就地平衡。但是, 对于 10 kV 公用线路, 公用配变和线路两者都不能保证补偿量。全面实现低压补偿, 遍地开花, 成本无法承受, 管理也跟不上; 加大变电站补偿, 对线路作用不大。能否延伸母线定义, 把主线路看作母线, 引入一种好的高压无功补偿装置进行高压补偿, 实现 10 kV 线路高低压同时补偿。

针对 10 kV 公用线路存在的线损高、电压质量不合格、传输功率因数偏低等问题, 运用高、低压无功补偿技术是一种比较好的解决办法。目前国内传统的无功补偿装置产品很多, 但普遍存在两方面的技术缺陷: 一是补偿装置出力固定, 不能跟随负荷变化发生改变, 易造成过、欠补偿; 二是常规补偿设备由于采用带触点控制, 易在运行中产生操作过电压和谐波源, 给电网造成污染, 甚至造成补偿采样装置烧毁等故障。这些缺陷使各行业的客户在安装无功补偿装置后, 花了大量投资反而达不到预期的补偿效果, 仍然要受到功率因数和无功超标造成的考核。

德阳局选用的“DDK 高低压无功自动跟踪补偿装置”是近期国内新推出的一种较为先进的高科技产品, 其补偿技术、原理具有以下优点: ①采用三级补偿分组投切方式, 解决了过、欠补偿难题; ②采用无功功率取样, 经微电脑进行全日跟踪运算控制, 全自动跟踪投切电力电容器补偿量, 使功率因数随时保持在 1~0.92 范围之内; ③该产品具有“无触点控制”的独

特技术,采用无功功率取样,不存在无功返送、无投切振荡、无过补现象;④停电后自动恢复,能自动适应电网各种操作、各种故障,无需人工值守。

这种产品和技术能够解决 10 kV 公用线路存在的上述问题,故什邡供电局于 2006 年 10 月把 DDK 高压无功自动跟踪补偿技术应用到了较为典型的 10 kV 土禾路上。

3 采用 DDK 补偿前的情况

3.1 土禾路用户基本情况

10 kV 土禾路是一条农网的公用线路,共有配变 137 台,安装总容量 13 120 kVA,其中农村和乡镇公用配变 108 台,总容量 10 610 kVA,均未安装补偿电容;工业用户专用配变 29 台,15 台 100 kVA 以上的配变安装有电容补偿,配变容量 1 730 kVA,电容配置 700 kvar;14 台 100 kVA 以下的配变未安装电容补偿,其配变容量 780 kVA。最高负荷达到 7 000 kW。该线路供电量大,月均供电量约 2.42 GWh。用户详细情况见表 1。

3.2 土禾路线路结构情况

表 1 土禾路线路结构情况

线路名称	线路长度 (km)	导线半径 (mm ²)	配变容量/台 (kVA/台)
谷华支线	3.086	70/25	2 910/32
文顺支线	4.12	35	990/15
桔建支线	4.613	35	1 610/23
主线(镇江 1 组 4B)	8.227	120	3 395/26
慧剑支线	5.545	70/25	1 705/27

土禾路供电半径 15.84 km,支线多、用户多、负荷重,负荷随季节变化很大。

3.3 变电站母线侧输出无功和功率情况

通过分析 10 kV 土禾路 2005 年 10 月~2006 年 9 月的实际运行数据,发现该线路母线侧输出无功量很高,功率因素低。说明线路侧无功严重不足,不能实现就地平衡,尤其是末端用户电压很低。

虽然 10 kV 土禾路变电站侧安装有电容器,且均按照电业局下达电压曲线及时投退,但是变电站电容、电抗主要用于补偿主变、开关和母线无功消耗,对出线补偿比较小。并且,如果从变电站输出无功过

多,在 S 一定的情况下,输出有功必然减少,若要确保 P 一定,输出 S 就会增大, $S = UI$,输出电流 I 就会增大。结果是变电站多发无功增加网损,线路输出电力过大增加线路损耗,两种情况都会增加线损。同时, $\cos \phi = P / \sqrt{P^2 + Q^2}$,输出 Q 增大,输出 $\cos \phi$ 必然降低。

表 2 10 kV 土禾路变电站侧单日常平均负荷及功率因数情况

时 间	有功负荷 合计(kW)	无功负荷 合计(kvar)	功率因数
2006 年 1 月 15 日	3 200	1 400	0.916
2006 年 2 月 15 日	5 400	2 600	0.901
2006 年 3 月 15 日	7 000	3 200	0.909
2006 年 4 月 15 日	4 400	2 200	0.894
2006 年 5 月 15 日	3 400	1 400	0.926
2006 年 6 月 15 日	2 800	1 500	0.881
2006 年 7 月 15 日	2 200	1 200	0.878
2006 年 8 月 15 日	2 800	1 500	0.881
2006 年 9 月 15 日	3 400	1 400	0.926

表 3 10 kV 土禾路线路损率情况

时 间	供电量 (MWh)	售电量 (MWh)	线损率(%)
2005 年 10 月	2 040	1 900	6.86
2005 年 11 月	1 950	1 590	18.46
2005 年 12 月	1 780	1 580	11.24
2006 年 1 月	2 360	1 840	22.03
2006 年 2 月	2 390	2 240	6.28
2006 年 3 月	2 610	2 390	8.43
2006 年 4 月	2 340	2 200	6.38
2006 年 5 月	2 450	2 240	8.16
2006 年 6 月	2 140	1 950	8.88
2006 年 7 月	1 620	1 510	6.79
2006 年 8 月	2 340	1 940	17.09
2006 年 9 月	2 610	2 340	10.34
平均值	2 420	2 160	10.92

从土禾路 2005~2006 年一个年周期的线损统计结果看,平均线损值达到 10.92%,没有达到国电县级供电企业一流标准中农网线路单条线损率 $\leq 9.5\%$ 的要求。

表4 10 kV 土禾路支线末端配变低压侧电压(实测值)

监测点	电 压			
	A 相电 压(V)	B 相电 压(V)	C 相电 压(V)	最低功 率因数
谷华支线(砖桥 8 组 5B)	205.4	200.3	207.5	0.55
文顺支线(文顺 2 组 4B)	195.1	185	197	0.90
桔建支线(集泉 1 组 4B)	196.3	198.7	207	0.85
主线(镇江 1 组 4B)	207.7	210.7	213.6	0.90
平均电压	201.125	200.3	206.275	0.89

由于土禾路主供的负荷主要为公用小容量变压器和交流电动机、抽水机等感性负荷,需要吸收大量感性无功。而这些无功电流占用大量的供配电设备容量,增加了线路输送电流,因而增加了馈电线路损耗,使电力设备得不到充分利用,同时也降低线路末端电压。

解决这些问题通常方案是采用低压无功功率补偿装置,而低压无功补偿只能就地平衡配变和低压侧无功需求,不能补偿线路和未安装补偿电容的公用配变。因此 DDK 高压无功补偿装置正好填补这一需求,可以实现高压分段就地平衡,又杜绝了无功穿越引起的损耗,以及过补偿和欠补偿的缺陷,从而提高了功率因数,改善了用户低压侧电压质量。

4 实施方案

根据国家电网生[2004]435号《国家电网公司电力系统无功补偿配置技术原则》第二十五条的规定,配电网的无功补偿以配电变压器低压侧集中补偿为主,以高压补偿为辅。要合理进行无功补偿,线路无功补偿也要通盘考虑,按照“全面规划、合理布局、分

级补偿、就地平衡”的原则,尽量减少无功电流在设备和线路上的穿越。

由于土禾路是公用线路,从前面调查情况来看,输电线路长,分支多,用户多,负荷呈区域性分布。另外,受工业负荷影响,负荷波动大,一般性无功补偿,无法及时跟踪补偿,易发生欠过补偿的情况,产生投切振荡。

结合 DDK 无功自动跟踪补偿装置特点,考虑在 10 kV 土禾路上采用 6 套 DDK 无功自动补偿装置,分别安装在感性负荷相对集中的位置,自动跟踪补偿,以实现节能降耗的目的。

4.1 土禾路无功补偿方案选址

根据土禾路线路分支及负荷分配情况,确定 6 个负荷分配点(见表 5),并在每个分配点安装一台无功自动跟踪补偿装置。

4.2 土禾路无功容量配置

无功补偿装置容量配置是按当变压器最大负载率 75%、负荷自然功率因数为 0.85 时,补偿到变压器最大负荷时其高压侧功率因数不低于 0.95 来计算。也可按照变压器容量的 20%~40% 进行配置,专变已经配置低压补偿,不再考虑。表 6 为根据各分支容量计算出需配置无功容量表,配置比率=3 150/7 550 × 100%=41.72%。

5 效益分析

DDK 无功自动跟踪补偿装置在 10 kV 土禾路安装运行后,技术指标达到要求,但其经济价值如何,是否具有推广价值呢? 根据 10 kV 土禾路全线 DDK 高压无功自动跟踪补偿装置的配置情况,对其运行前后的经济效益作了分析。

表5 土禾路装载容量分类汇总统计表

序号	支线名称	农村公变		城镇公变		农村抽水变		工业专变		合计容量 (kVA)	合计 台数
		(kVA)	台数	(kVA)	台数	(kVA)	台数	(kVA)	台数		
1	慧剑支线	850	17	—	—	855	10	—	—	1 705	27
2	文顺支线	550	11	—	—	440	4	—	—	990	15
3	桔建支线	750	15	—	—	480	5	380	3	1 610	23
4	谷华支线	1 000	20	100	1	760	6	1 050	5	2 910	32
5	朝塘支线	1 350	7	—	—	300	3	860	4	2 510	14
6	土禾场镇	300	6	815	3	—	—	2 280	17	3 395	26
	合计	3 800	76	915	4	2 835	28	5 570	29	13 120	137

表6 10 kV 土禾路无功电容分段(分支线)配置表

序号	支线名称 (kVA)	农村公变 (kVA)	城镇公变 (kVA)	抽水变容量 (kVA)	容量合计 (kVA)	计算公式(根据厂家说明书提供)	配置容量 (kvar)
1	慧剑支线	850	0	855	1 705	$(850+0+855) \times 0.75 \times 0.4$	600
2	文顺支线	550	0	440	990	$(550+0+440) \times 0.75 \times 0.4$	300
3	桔建支线	750		480	1 230	$(750+480) \times 0.75 \times 0.4$	450
4	谷华支线	1 000	100	760	1 860	$(1 000+100+760) \times 0.75 \times 0.4$	600
5	朝塘支线	1 350		300	1 650	$(350+300) \times 0.75 \times 0.4$	600
6	土禾场镇	300	815		1 150	$(300+815) \times 0.75 \times 0.4$	600
	合计	3 800	915	2 835	7 550	$(3 800+915+2 835) \times 0.75 \times 0.4$	3 150

备注:配置容量已经根据负荷性质和电容器组设备容量作了调整。

表7 10 kV 土禾路全线安装 DDK 费用清单

产品名称	牌号商标	规格型号	计量单位	数量	单价(元)	金额(元)
高压电容无功 自动补偿装置	DDK	W-10-600-3	台	4	276 000	1 144 000
	DDK	W-10-450-3	台	1	274 000	274 000
	DDK	W-10-300-3	台	1	254 800	254 000
安装费用估算				6	30 000	180 000
合计						1 852 000

5.1 投资情况

表7是10 kV 土禾路全线安装 DDK 无功自动跟踪补偿装置的总费用清单。

5.2 经济效益预测

现状:平均线损率 10.92%;月度平均售电量 2.16 GWh,供电量 2.42 GWh;月度平均线损电量 0.26 GWh;理论线损率 12.566 8%;2005 年什邡供电局 10 kV 有损线平均线损率 5.20%,2006 年 1~9 月份 10 kV 有损线平均线损率 4.79%。

线损率预测:考虑到该条线路结构问题以及理论线损与实际线损之间距离,一般相差 1.0%~1.2%。该线路在加装无功补偿后,线路全线电压、输送功率因数达到理论计算的额定水平,线损率目标值定为 5.5%~6.0%。效益计算:

$$\text{年度降损电量} = 242 \times (10.92\% - 5.75\%) \times 12 = 1.501\ 368\ \text{GWh}$$

$$\text{经济效益} = 150.136\ 8 \times \text{平均电价} (0.549 \times 10\ 000) = 77.814\ 2\ \text{万元}$$

$$\text{投资回收期} = 185.2 / 77.8142 = 1.84\ \text{年,最多 2 年收回成本。}$$

5.3 效果验证

10 kV 土禾路上 DDK 无功自动跟踪补偿装置于 2007 年元月 5 日投运,至今运行情况良好。由于实现了自动跟踪补偿,当用户负荷发生变化时,能够自动投切不同组数电容。通过 1~6 月份的运行数据统计,该线路各项指标有了极大改善,且未出现无功倒送、装置故障等异常情况,降损效果最为明显,线损率同比降低 37.51%。

效果验证:2007 年 1~6 月份该线路平均线损率 6.73%。农村用电量自然增长(按照 7%)计算,2007 年月平均供电量应为 $242 \times 1.07 = 2.589\ 4\ \text{GWh}$ 。禾丰供电所 1~6 月平均电价 = 5.672 元/GWh,同期理论线损为 12.54%。

$$\text{年度降损电量} = 258.94 \times (12.54\% - 6.73\%) \times 12 = 1.805\ 3\ \text{GWh}$$

$$\text{取得经济效益} = 180.53 \times 0.5672 = 102.40\ \text{万元}$$

$$\text{投资回收期} = 185.2 / 102.4 = 1.81\ \text{年}(22\ \text{个月})$$

在 10 kV 土禾路全线安装 DDK 高压无功自动跟踪补偿装置后,节能降耗效果非常明显,其总投入可以在两年的时间内全部收回,与预测情况完全符合。

表8 2006年和2007年土禾路同期线损率比较

时 间	供电量(GWh)	售电量(GWh)	线损电量(GWh)	线损率(%)
2006年1月	1.991 46	1.905 66	0.085 8	4.31
2006年2月	1.957 74	1.590 864	0.366 876	18.74
2006年3月	1.882 72	1.806 611	0.076 109	4.04
2006年4月	2.365 56	1.844 948	0.520 612	22.021
2006年5月	2.399 64	2.241 16	0.158 485	6.60
2006年6月	2.612 88	2.398 45	0.214 427	8.21
小计	13.21	11.787 69	1.422 309	10.77
2007年1月	2.325 76	2.403 714	-0.077 954	-3.35
2007年2月	1.988 4	1.763 857	0.224 543	11.29
2007年3月	2.177 28	2.025 6	0.151 68	6.97
2007年4月	2.576 16	2.445 338	0.130 822	5.08
2007年5月	2.875 36	2.321 01	0.554 35	19.28
2007年6月	2.665 8	2.665 968	-0.000 168	-0.01
小计	14.608 76	13.625 49	0.983 273	6.73

表9 10 kV 土禾路 DDK 运行数据监测

(监测时间:2007年1月5日9:30)

序号	安装地点	前后比较	投入组数	电压(V)	电流(A)	cos φ	安装容量(kvar)	总路负荷
1	慧剑支线	投入前				0.68	200×3	投入前 3.3 MW
		投入后	2	225	15	0.99		/1.65 MW, cos φ
2	土禾路 40号杆	投入前				0.90	200×3	=0.89 投入后
		投入后	1	225	7	1.0		3.3 MW/
3	谷华支线	投入前				0.56	200×3	0.4 Mvar, cos φ
		投入后	3	225	16	0.99		=0.99
4	朝塘支线	投入前				0.92	200×3	
		投入后	0	220	6	1.0		
5	桔建支线	投入前				0.87	150×3	
		投入后	1	225	5	0.98		
6	文顺支线	投入前				0.90	100×3	
		投入后	1	220	5	1		

(监测时间:2007年2月27日19:30)

序号	安装地点	前后比较	投入组数	电压(V)	电流(A)	cos φ	安装容量(kvar)	总路负荷
1	慧剑支线	投入前				0.66	200×3	投入前 4.1MW/
		投入后	2	225	13	0.99		1.3 MW, cos φ =0.95
2	土禾路 40号杆	投入前				1.0	200×3	投入后 3.8MW/
		投入后	1	225	7	1.0		3.3 MW 0.3Mvar
3	谷华支线	投入前				0.68	200×3	cos φ
		投入后	3	225	18	1.0		
4	朝塘支线	投入前				1.0	200×3	
		投入后	3	220	18	1.0		
5	桔建支线	投入前				0.92	150×3	
		投入后	1	225	5	1.0		
6	文顺支线	投入前				0.67	100×3	
		投入后	1	220	5	0.98		
		投入后	1	220	5	1.00		

6 结论

(1) DDK 无功自动跟踪补偿技术在 10 kV 线路上安装应用成效显著。

通过 10 kV 土禾路 2007 年 1~6 月份的运行数据统计,该线路各项指标达到预期要求:①各支线功率因数都提高到 0.99~1.00 的水平,主干线功率因数从投入前的 0.88~0.90 提高到 0.98~0.996,大幅度提升了线路输送功率和母线电压。②线损率明显下降,该线路理论线损为 12.54%,应用 DDK 后从 2006 年同期 10.77%下降到 6.73%(见表 8),且未出现无功倒送、装置故障等异常情况。达到了节能降损、提

高电压质量的要求,取得了良好的经济效益和社会效益。

(2) DDK 技术针对公共用户多、负荷重的城农网配电线路,具有良好的推广应用价值。什邡供电局 10 kV 农村公用线路共有 16 条,2006 年全年售电量 169.780 9 GWh,线损电量 11.036 6 GWh。其中线损率大于 9.5%且与土禾路结构相似的线路有 6 条,年供电量 38.769 5 GWh,线损电量累计 6.661 GWh,平均线损率 17.18%。如果全面推广应用 DDK 无功自动跟踪补偿装置,线损率可下降到 7.0%,线损电量约减少 3.946 7 GWh,全年增长经济效益 216.67 万元。

(收稿日期:2007-11-13)

云南变压器电气股份有限公司简介

云南变压器电气股份有限公司于 1999 年 1 月 4 日在云南变压器厂(建于 1936 年)的基础上成立,属国有大二型企业、国家二级企业,是国家定点生产 220 kV 及以下电压等级的变压器专业制造厂家之一。

云南变压器电气股份有限公司占地面积 116 126 m²,现有职工 750 人,其中工程技术人员 113 人。公司技术力量雄厚,拥有一批从事变压器研制工作三十年以上,经验丰富的工程师、技术人员及管理人员。

公司拥有各类设备 400 台(套),其中引进的生产线和专业加工关键设备 68 台(套)。先进设备有:从德国乔格公司引进的硅钢片自动纵、横剪切线和德国海德里希公司的 300 m³ 煤油气相干燥设备、美国数控高速冲床、美国数控高速绕线机、意大利数控箔式绕线机、先进的表面处理车间、数控等离子切割机、500 t 折弯机、立式绕线机、片式散热器生产线、160 t 吊车、2 800 kV 冲击电压发生器、2 000 kVA 中频试验机组、7 500 kVA 工频试验机组及其全套试验设备。

公司目前年生产能力 600 万 kVA,主要生产和经营 10~240 000 kVA/10~220 kV 电力变压器、铁道电气化用牵引变压器、特种变压器、H 级绝缘干式变压器及组合式变压器,计有十几大系列,650 多个规格容量,全部采用国家标准和等效采用国际 IEC 标准。由法国 TRANSFIX 公司引进的专利技术,经消化吸收,二次开发出高原型 H 级绝缘“赛格迈(SECURAMID)”干式变压器,达到国际 20 世纪 90 年代末先进水平,投放市场后,即获得用户的好评和欢迎,且已通过两部鉴定。

为满足海拔 4 500 m 及以下高原地区的环境要求,公司特别设计了高原型系列变压器,该类变压器普遍运行于云、贵、川以及青海、西藏等地区,并赢得了良好的信誉;此外,公司还专门研制了耐雷变压器、矿用变压器、农用变压器和最新型的 S⁹、S¹⁰、S¹¹ 系列全密封配电变压器系列产品。

云南变压器电气股份有限公司多年来十分注重计算机应用与管理,在全国同行业中处于领先地位。目前拥有计算机 100 多台,CAD 及 CAPP 已广泛应用于产品设计及工艺、企业管理信息系统,MIS 已成熟应用多年,实现了管理信息联网、自动控制、绘制图表和数据处理。目前,公司四分之一的员工普及了计算机技术。

公司在巩固国内市场的同时,还积极开拓国际市场,且在多次国际招标中中标,产品出口巴基斯坦、缅甸、越南、也门、苏丹、喀麦隆等国家和地区(其中 1988 年一次就出口巴基斯坦 1850 台小型全密封配电变压器)。

公司已取得 ISO9001 质量体系认证,但此认证仅是一个起点。公司将本着“用户至上”的原则及“品质为本、不断创新、持续改进、增进顾客满意”的企业质量方针,积极向广大用户提供技术先进、性能优良、质量可靠、价格合理的产品及周到、及时的售前、售后服务;同时,公司坚持以“满足客户的需求”为中心,致力于与客户共同开发、研制新产品,使公司的产品具有广泛的适用性,且能更好地满足广大客户的需求;另外,公司也期望与广大海内外客商就产品销售、技术合作和资金引进等方面建立长期友好的合作关系。