

# 220 kV 变电站低压侧电压等级选择研究

丁 诚

(连云港供电公司,江苏 连云港 222004)

**摘 要:**随着城市负荷密度的不断增大,35 kV 公用电网的作用逐渐削弱,对 220 kV 变电站低压侧电压等级选择提出了新的要求。文中综合考虑电网的成本费用,基于最小年费用法,构建了以负荷密度和 35 kV 负荷所占比例为变量的电网发展成本费用模型,通过算例分析,验证了模型在选择 220kV 变电站低压侧电压等级方面具有一定的指导意义。

**关键词:**220 kV 变电站;电压等级选择;负荷密度;最小费用

**中图分类号:**TM715

**文献标志码:**B

**文章编号:**1009-0665(2014)04-0052-04

随着城市负荷密度的不断增大,110 kV 变电站布点间距缩小,10 kV 电网可直接覆盖,35 kV 公用电网的作用将逐渐削弱,未来 35 kV 公用电网的规模也将不断减小。基于这种情况,新建及改造的 220 kV 变电站变比较多选用 220/110/10 kV,以充分利用 220 kV 变电站的 10 kV 间隔出线,优化中压电源布局。但是对于中小型工业用户,仍然适合采用 35 kV 电压等级的专线供电<sup>[1-4]</sup>。

## 1 电网发展成本费用模型

### 1.1 模型假设

设定在一个理想的圆形供电区域,负荷均匀分布,由 1 座 220 kV 变电站供电,位于圆形供电区域的圆心。220 kV 变电站容量为  $2 \times 180 \text{ MV} \cdot \text{A}$ ,考虑 1.8 的容载比,负荷为 200 MW。圆形供电区域的面积根据负荷密度变化而变化。在确定负荷密度后,在 35 kV 负荷所占比例变化的条件下,分别计算 2 种方案的综合费用。总费用有初始投资费用、网损费用和运行维护费用 3 部分组成。采用“现值转年值法”,按照“最小年费用法”对 2 种方案的综合费用进行比较,目标函数<sup>[5,6]</sup>:

$$F_n = Z \left[ \frac{r_0(1+r_0)^{n_s}}{(1+r_0)^{n_s} - 1} \right] + E_{\text{loss}} + E_{\text{rs}} \quad (1)$$

式(1)中: $F_n$ 为平均分布在  $n$  年内整个系统的年费用; $Z$ 为网络的初始投资; $n_s$ 为网络的经济使用年限,取 20 年; $r_0$ 为电力工业的投资回报率,现阶段取 10%; $E_{\text{loss}}$ 为网损费用; $E_{\text{rs}}$ 为运行维护费用。

### 1.2 计算条件

(1) 220 kV 电网。220 kV 变电站变比为 220/110/35 kV 时,35 kV 间隔为 12 个;220 kV 变电站变比为 220/110/10 kV 时,10 kV 间隔为 24 个。

(2) 110 kV 电网。110 kV 容载比为 2.0。110 kV

变电站容量为  $2 \times 50 \text{ MV} \cdot \text{A}$ ,变比为 110/10 kV,10 kV 间隔为 24 个。每座 110 kV 变电站进线为 2 条,需要占用 220 kV 变电站的 2 个 110 kV 间隔。

(3) 35 kV 电网。35 kV 负荷均为专用负荷,仅作为负荷点。每条 35 kV 线路限额电流为 400 A,极限输送容量为 23 MW,取负载率为 70%,输送容量为 16 MW。每条线路即为一个负荷点。

(4) 10 kV 电网。每条 10 kV 线路限额电流为 400 A,极限输送容量为 6.6 MW,专线负载率取 70%,输送容量为 4.6 MW;公线负载率取 50%,输送容量为 3.3 MW。

(5) 35 kV 负荷比例。在 220 kV 变电站变比为 220/110/35 kV 时,35 kV 负荷由 220 kV 变电站供电;在 220 kV 变电站变比为 220/110/10 kV 时,则假定的 35 kV 负荷由 10 kV 专线供电,随机由 220 kV 和 110 kV 变电站供电。35 kV 负荷的比例为 20%,30%,40%,50%,60%,70%。

(6) 供电半径计算。考虑负荷均匀分布,220 kV 变电站到每座 110 kV 变电站为等距离,每座 110 kV 变电站的供电区域的面积也相等,并近似为圆形。

在 220 kV 变电站变比为 220/110/35 kV 时,110 kV 变电站划分供电区域不考虑 220 kV 变电站,即 110 kV 变电站供电面积 = 供电总面积 / 110 kV 变电站座数,每条 110 kV 线路的长度可以近似等于 110 kV 变电站供电区域的半径。每条 10 kV 线路的长度等于 110 kV 变电站供电区域的半径。

在 220 kV 变电站变比为 220/110/10 kV 时,110 kV 变电站划分供电区域需要考虑 220 kV 变电站,即 110 kV 变电站供电面积 = 供电总面积 / (110 kV 变电站座数 + 1),所以每条 110 kV 线路的长度可以近似等于 110 kV 变电站供电区域的半径的 2 倍。每条 10 kV 线路的长度等于 110 kV 变电站供电区域的半径。同理,每条 35 kV 线路的长度为 35 kV 负荷点面积的半径。

(7) 投资单价。220 kV 变电站的单价为 12 000 万 / 座,110 kV 间隔的机会成本为 1000 万元 / 个;110

kV 变电站的单价为 5000 万元 / 座;110 kV 电缆线路的单价为 300 万元 / km;35 kV 电缆线路的单价为 200 万 / km;10 kV 电缆线路单价为 100 万元 / km。

## 2 算例分析

以负荷密度 10 MW/km<sup>2</sup> 为例。首先确定供电区域总面积为 20 km<sup>2</sup>,半径为 2.5 km,分别考虑 35 kV 负荷的比例为 20%,30%,40%,50%,60%,70%。

### 2.1 方案 A

220 kV 变电站变比为 220/110/35 kV。

#### 2.1.1 初始投资

(1) 根据 35 kV 用户负荷计算 110 kV 变电站降压负荷,110 kV 变电站降压负荷=供电区域总负荷-35 kV 负荷,然后根据容载比(110 kV 容载比取 2.0)计算出所需的 110 kV 变电容量及主变台数,最后确定所需的 110 kV 变电站座数。1 座 110 kV 变电站需 2 条 110 kV 进线,需占用 2 个 110 kV 间隔。根据 110 kV 变电站座数及供电半径计算所需 110 kV 线路的工程量。

(2) 根据 35 kV 用户负荷确定 35 kV 线路条数,供电半径计算所需 35 kV 线路的工程量。

(3) 根据 10 kV 总负荷,确定需要的 10 kV 公用线路总条数。然后根据 110 kV 变电站的数量确定 110 kV 变电站的供电半径,计算出 10 kV 主干线总长度。方案 A 初始投资费用的计算过程及结果如表 1 所示。

由表 1 可见,随着 35 kV 负荷的增加,初始投资费用会减少,主要原因是由于 10 kV 负荷比例的降低,110 kV 电网的投资减少。

#### 2.1.2 运行维护费用

为简单计算,年运行维护费用取初始投资的 8%。方案 A 运行维护费用的计算结果如表 2 所示。

#### 2.1.3 网损费用

线路损耗电量计算公式:

$$Q_L = 0.4 \times 3 \times I^2 \times r \times L \times \tau_{\max} \quad (2)$$

式(2)中: $I$ 为线路的最大电流; $r$ 为线路的导线电阻率; $L$ 为线路的主干线长度; $\tau_{\max}$ 为最大负荷损耗小时数。

方案 A 的网损费用的计算结果如表 3 所示。

#### 2.1.4 总费用

方案 A 总费用的计算结果如表 4 所示。

由表 4 可见,初始投资的费用所占比例最大,超过了 60%。

### 2.2 方案 B

220 kV 变电站变比为 220/110/10 kV。

#### 2.2.1 初始投资

(1) 将 220 kV 变电站视为 1 座容量为 2×50 MV·A 的 110 kV 变电站,供电负荷为 50 MW,110 kV 变电站降压负荷=供电区域总负荷-50 MW,然后根据

表 1 方案 A 初始投资

35 kV 用户 负荷比例 / %	20	30	40	50	60	70
35 kV 用户 总负荷 / MW	40	60	80	100	120	140
35 kV 专线 条数 / 条	3	5	6	7	9	10
110 kV 网供 负荷 / MW	160	140	120	100	80	60
110 kV 容载比	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
110 kV 变电 容量 / (MV·A)	320	280	240	200	160	120
110 kV 主变 台数 / 台	7	6	6	5	4	3
110 kV 变电站 座数 / 座	4	3	3	3	2	2
110 kV 线路 长度 / km	10.1	8.7	8.7	8.7	7.1	7.1
110 kV 间隔 数量 / 个	8	6	6	6	4	4
35 kV 线路 长度 / km	4.4	5.6	6.2	6.7	7.6	8.0
10 kV 线路 条数 / 条	60	52	45	38	30	23
10 kV 线路 供电半径 / km	1.3	1.5	1.5	1.5	1.8	1.8
10 kV 主干线 总长度 / km	76	76	66	55	54	41
110 kV 变电站 投资 / 万元	20 000	15 000	15 000	15 000	10 000	10 000
110 kV 线路 投资 / 万元	3029	2623	2623	2623	2141	2141
110 kV 间隔 投资 / 万元	8000	6000	6000	6000	4000	4000
35 kV 专线 投资 / 万元	874	1129	1236	1335	1514	1596
10 kV 主干线 投资 / 万元	7571	7577	6557	5537	5354	4105
初始总 投资 / 万元	39 474	32 328	31 416	30 495	23 009	21 842
初始投资 年值 / 万元	4737	3879	3770	3659	2761	2621

表 2 方案 A 运行维护费用

35 kV 用户 负荷比例 / %	20	30	40	50	60	70
初始总投 资 / 万元	39 474	32 328	31 416	30 495	23 009	21 842
年运行维 护费用 / 万元	3158	2586	2513	2440	1841	1747

容载比(110 kV 容载比取 2.0)计算出所需的 110 kV 变电容量及主变台数,最后确定所需的 110 kV 变电站座数。1 座 110 kV 变电站需要 2 条 110 kV 进线,需要占用 2 个 110 kV 间隔。根据 110 kV 变电站座数及供电半径计算所需 110 kV 线路的工程量。

(2) 10 kV 专线负荷,即为方案 A 的 35 kV 负荷,

表3 方案A网损费用

35 kV 用户 负荷比例 /%	20	30	40	50	60	70
35 kV 线路 长度 /km	4.4	5.6	6.2	6.7	7.6	8.0
10 kV 主干线 总长度 /km	76	76	66	55	54	41
35 kV 线路网损 电量 / (万 kW·h)	8	10	11	12	14	14
10 kV 线路网损 电量 / (万 kW·h)	70	70	61	51	49	38
网损总电量 / (万 kW·h)	78	80	72	63	63	52
网损总 费用 / 万元	23	24	22	19	19	16

表4 方案A总费用

35 kV 用户 负荷比例 /%	20	30	40	50	60	70
初始投资 费用 / 万元	4737	3879	3770	3659	2761	2621
运行维护 费用 / 万元	3158	2586	2513	2440	1841	1747
网损费用 / 万元	23	24	22	19	19	16
总费用 / 万元	7918	6490	6305	6118	4621	4384

由 10 kV 电压等级的专用线路供电,根据 110 kV 变电站的数量确定,确定 110 kV 变电站的供电半径,计算出 10 kV 专线总长度。

(3) 确定 10 kV 公用负荷,10 kV 公用负荷=供电区域总负荷-10 kV 专线负荷,根据 10 kV 公用负荷,确定需要的 10 kV 公用线路总条数。然后根据 110 kV 变电站的数量确定,确定 110 kV 变电站的供电半径,计算出 10 kV 主干线总长度。

方案 B 的初始投资费用的计算过程及结果如表 5 所示。

由表 5 可见,方案 B 的初始投资变化较小,主要原因是由于 110 kV 变电站座数一直维持不变。

### 2.2.2 运行维护费用

为简单计算,年运行维护费用取初始投资的 8%。方案 B 运行维护费用的计算结果如表 6 所示。

### 2.2.3 网损费用

计算公式同本文 2.1.3 节的式(2)。方案 B 网损费用的计算结果如表 7 所示。

### 2.2.4 总费用

方案 B 总费用的计算结果如表 8 所示。

由表 8 可见,初始投资费用所占的比例最大,超过了 60%。

## 2.3 经济性比较

重复以上步骤分别计算不同负荷密度下的综合费用并比较结果,不同负荷密度下 2 个方案总费用的对

表5 方案B初始投资

10 kV 专线 负荷比例 %	20	30	40	50	60	70
10 kV 专用 线路负荷 /MW	40	60	80	100	120	140
10 kV 公用 线路负荷 /MW	160	140	120	100	80	60
220 kV 供 10 kV 负荷 /MW	50	50	50	50	50	50
110 kV 网供 负荷 /MW	150	150	150	150	150	150
110 kV 容载比	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
110 kV 变电 容量 / (MV·A)	300	300	300	300	300	300
110 kV 主变 台数 / 台	6	6	6	6	6	6
110 kV 变电站 座数 / 座	3	3	3	3	3	3
110 kV 线路 长度 /km	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7
110 kV 间隔 数量 / 个	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
10 kV 专用 线路条数 / 条	10	15	20	25	29	34
10 kV 公用 线路条数 / 条	55	48	41	34	28	21
10 kV 线路 供电半径 /km	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
10 kV 主干线 总长度 /km	82.0	79.5	77.0	74.5	71.9	69.4
110 kV 变电站 投资 / 万元	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000
110 kV 线路 投资 / 万元	2623	2623	2623	2623	2623	2623
110 kV 间隔 投资 / 万元	6000	6000	6000	6000	6000	6000
10 kV 主干线 投资 / 万元	8202	7950	7698	7445	7193	6940
初始总 投资 / 万元	31 825	31 573	31 320	31 068	30 816	30 563
初始总投资 年值 / 万元	3819	3789	3758	3758	3698	3668

表6 方案B运行维护费用

10 kV 用户 负荷比例 /%	20	30	40	50	60	70
初始总投 资 / 万元	31 825	31 573	31 320	31 068	30 816	30 563
年运行维护 费用 / 万元	2546	2526	2506	2485	2465	2445

比结果如表 9 所示。

(1) 无论负荷密度如何变化,35 kV 用户负荷所占比例在 40%~50% 出现拐点,当 35 kV 用户负荷小于拐点时,方案 A 投资大于方案 B 投资,此时选择方案 B 更经济;当 35 kV 用户负荷大于拐点时,方案 B 投资大于方案 A 投资,此时选择方案 A 更经济。

表 7 方案 B 网损费用

10 kV 用户 负荷比例 /%	20	30	40	50	60	70
10 kV 线路 长度 /km	12.6	18.9	25.2	31.5	36.6	42.9
10 kV 公线 长度 /km	69.4	60.6	51.7	42.9	35.3	26.5
10 kV 专线网损 电量/(万 kW·h)	23	34	46	57	66	78
10 kV 公线网损 电量/(万 kW·h)	64	56	48	40	33	24
网损总电量 / (万 kW·h)	87	90	93	97	99	102
网损总 费用 / 万元	26	27	28	29	30	31

表 8 方案 B 总费用

10 kV 用户 负荷比例 /%	20	30	40	50	60	70
初始投资 费用 / 万元	3819	3789	3758	3728	3698	3668
运行维护 费用 / 万元	2546	2526	2506	2485	2465	2445
网损费用 / 万元	26	27	28	29	30	31
总费用 / 万元	6391	6342	6292	6243	6193	6143

(2) 方案 A 费用随着 35 kV 用户负荷所占比例的增大而降低的较为明显;而方案 B 费用变化则很小。

(3) 考虑到 35 kV 负荷具有一定的偶然性,采用方案 A 存在一定的风险。在不能确定 35 kV 负荷的情况下,采用方案 B 则可以有效地规避风险。

### 3 结束语

通过建立电网发展最小费用模型,针对不同负荷密度,在 35 kV 负荷所占比例变化的条件下,分别计算 2 种方案的综合费用。得出了以下结论:在确定 35 kV 负荷所占比例可以达到 40% 以上时,建议 220 kV 变电站低压侧采用 35 kV 电压等级;否则,建议采用 10 kV 电压等级。

#### 参考文献:

- [1] 张 斌,杨高才. 湖南电网 220 kV 变电站采用 35 kV 电压等级出线分析[J]. 湖南电力,2011,32(2):6-8.  
[2] 何春庚,钟 清. 广东 35 kV 电压等级电网的发展现状与趋势

表 9 不同负荷密度下两种方案的总费用

负荷密度 /[MW· (km <sup>2</sup> ) <sup>-1</sup> ]	方案	35 kV 用户负荷比例					
		20%	30%	40%	50%	60%	70%
1	方案 A/ 万元	12 931	11 441	10 856	10 265	8 558	7 809
	方案 B/ 万元	11 129	10 972	10 816	10 659	10 502	10 345
	差值 / 万元	-1802	-468	-40	394	1944	2536
5	方案 A/ 万元	8 878	7 438	7 177	6 912	5 375	5 040
	方案 B/ 万元	7 299	7 229	7 159	7 089	7 018	6 948
	差值 / 万元	-1580	-210	-18	176	1 643	1 908
10	方案 A/ 万元	7 918	6 490	6 305	6 118	4 621	4 384
	方案 B/ 万元	6 391	6 342	6 292	6 243	6 193	6 143
	差值 / 万元	-1527	-148	-13	125	1 572	1 759
20	方案 A/ 万元	7 239	5 819	5 688	5 556	4 088	3 920
	方案 B/ 万元	5 749	5 714	5 679	5 644	5 609	5 574
	差值 / 万元	-1490	-105	-9	88	1 522	1 654
50	方案 A/ 万元	6 637	5 224	5 141	5 058	3 614	3 508
	方案 B/ 万元	5 180	5 158	5 136	5 113	5 091	5 069
	差值 / 万元	-1457	-66	-6	56	1 477	1 561

[J]. 广东电力,2005,18(5):21-25.

- [3] 陈根永,张新民,孙启伟. 农网规划建设中配网电压等级的选择分析[J]. 电力系统保护与控制,2010,38(7):119-123.  
[4] 陈永明,杨茹,汤大海,等. 无后备灵敏度的 220 kV 变压器后备保护整定[J]. 江苏电机工程,2013,32(3):57-59.  
[5] WILLIS H L. 配电系统规划参考手册[M]. 2 版. 范明天,刘 健,张毅威,等译. 北京:中国电力出版社,2013:144-162.  
[6] 徐 悦,王天华,李宁可,等. 基于综合费用最小的 10 kV 开闭所容量选择实用算法[J]. 电网技术,2011,35(S2):867-869.

作者简介:

丁 诚(1972),男,江苏镇江人,高级工程师,从事电网规划工作。

## Low-side Voltage Level Selection of 220 kV Substations

DING Cheng

(Lianyungang power supply company, Lianyungang 222004, China)

**Abstract:** As urban load density increase, the role of 35 kV grid gradually weakened. Meanwhile, new demands are raised for the selection of 220 kV substation low-side voltage level. A grid development cost model considering load density and 35 kV load proportion is proposed based on the minimum annual cost method. Simulation results verify that the proposed model is with a certain significance in guiding the selection of 220 kV substation low-side voltage level.

**Key words:** 220 kV substations; voltage level selection; load density; minimum cost