

## 化工工业园区无功补偿方案仿真研究

李宏强, 高峰, 张爽, 李旭涛

(国网宁夏电力公司电力科学研究院, 宁夏 银川 750011)

**摘要:** 针对某化工工业园区电石炉群运行时造成园区功率因数低的问题, 利用电力系统分析综合程序(Power System Analysis Software Package, PSASP)建立园区电石炉群仿真模型, 提出合理的无功补偿方案, 并通过仿真分析和计算, 对方案的有效性进行了验证。仿真结果表明: 该无功补偿方案能够有效提高园区功率因数, 减少电石炉群运行时对电网的影响。

**关键词:** 电石炉; 功率因数; 无功补偿; PSASP

**中图分类号:** TM714.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-3643(2015)01-0001-05

**有效访问地址:** <http://dx.doi.org/10.3969/j.issn.1672-3643.2015.01.001>

### Simulation research of reactive power compensation for a chemical industrial park

LI Hongqiang, GAO Feng, ZHANG Shuang, LI Xutao

(Power Research Institute of State Grid Ningxia Power Co., Yinchuan Ningxia 750011, China)

**Abstract:** Aiming at the problem of low power factor when operating the calcium carbide furnace group in a chemical industrial park, using the Power System Analysis Software Package (PSASP) to construct the simulation model of the calcium carbide furnace group, puts forward the scheme of reactive compensation, and validates the validity of this scheme by simulation result analysis and calculation. The simulation result shows that the scheme of reactive compensation can advance power factor of the chemical industrial park effectively, and reduce the influence of calcium carbide furnace group on power grid.

**Key words:** calcium carbide furnace; power factor; reactive compensation; PSASP

**DOI:** 10.3969/j.issn.1672-3643.2015.01.001

电石炉是一种利用电热效应所产生的热能对物料加热的高能耗冶炼炉, 具有电阻电弧炉的特性, 由于电石炉比其他电冶炼炉的电阻弱, 故其功

率因数也相应较低, 电石炉容量越大, 功率因数越低。电石炉群运行时需要吸收电网大量的无功功率, 如不能就地平衡, 将对电网造成很大冲击<sup>[1-3]</sup>。

**基金项目:** 国家电网公司科技项目(国家电网发展发[2013]170号)

**收稿日期:** 2014-11-15

**作者简介:** 李宏强(1990), 男, 工学硕士, 从事电力系统仿真计算工作。

本文以某化工工业园区为研究对象,对宁夏电网主网进行合理的等值,利用电力系统分析综合程序(Power System Analysis Software Package, PSASP)建立园区仿真模型,基于仿真模型分析园区内的无功问题,提出并选择合理的无功补偿方案,并验证所提无功补偿方案的有效性。

### 1 园区情况介绍

化工工业园区目前有6台电石炉,每台电石炉额定容量81 MVA,正常运行时功率因数为0.57,远期规划为8台电石炉。每台电石炉通过电石炉变压器和乙炔甲、乙、丙、丁4条110 kV线路连接至园区变电站,园区变电站接至宁夏电网蒋家南330 kV变电站,而园区内2台330 MW 热电机组接至园区变电站,此时园区内的负荷主要是由这2台热电机组供电。而园区未来将改造成2台热电机组接入宁夏电网蒋家南330 kV变电站,此时园区内的负荷将由蒋家南330 kV变电站供电,而园区内现有的无功补偿装置无法满足改造后的无功需求。需要对园区无功配置进行重新计算。改造后园区主接线图如图1所示。

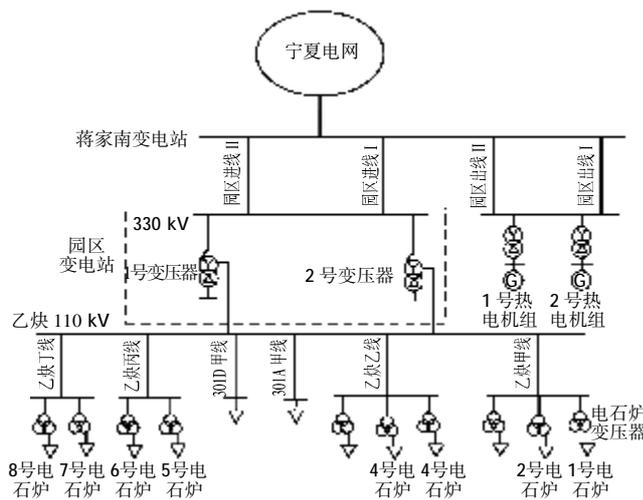


图1 改造后园区主接线

### 2 园区无功补偿方案研究

电石炉变压器补偿方案按补偿装置安装位置可分为高压补偿、中压补偿和低压补偿3种,即分别接入电石炉变压器高、中和低压侧<sup>[4]</sup>。目前园区

内已投入的6台电石炉均采用中压侧补偿电容器,额定补偿容量为36 Mvar,最高补偿容量为51 Mvar。当园区6台或8台电石炉运行时,单靠电石炉变压器中压侧补偿36 Mvar或51 Mvar电容器,园区内功率因数仍然比较低,因此需要在乙炔110 kV母线再补偿一定容量的电容器,其补偿容量的大小可根据式(1)计算得到:

$$Q_c = P(\tan \phi_1 - \tan \phi_2) \quad (1)$$

式中:P—负荷功率;

$\phi_1$ —补偿前的功率因数角;

$\phi_2$ —补偿后的功率因数角。

为了使补偿后110 kV母线功率因数达到0.95以上,本文选取以下两种补偿方案:

方案1:电石炉变压器中压侧补偿电容器36 Mvar,乙炔110 kV母线补偿电容器325 Mvar。

方案2:电石炉变压器中压侧补偿电容器51 Mvar,乙炔110 kV母线补偿电容器190 Mvar。

### 3 园区无功补偿方案仿真分析

#### 3.1 园区仿真建模

本文在PSASP上对园区进行建模,园区仿真模型如图2所示。仿真模型主要包括宁夏等值主

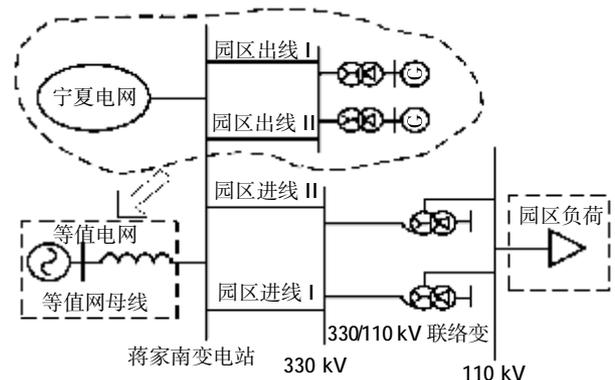


图2 园区仿真模型

网模型、330 kV架空线、110 kV架空线、330/110 kV联络变压器模型,电石炉变压器和电石炉负荷等模型,主要模型参数如下:

(1)330/110 kV联络变压器额定容量为360/360/110 MVA,额定电压为345±8×1.25%/121/35 kV,YNa0d11接线方式。

(2)电石炉变压器额定容量81 MVA,中压侧

补偿电容 36 Mvar, 每台电石炉额定容量 81 MVA, 功率因数 0.57。

(3) 园区内其他化工负荷模型功率因数都按照 0.9 计算。

为了仿真计算的方便, 本文将宁夏电网等值为经一定大小的电抗接于蒋家南变电站 330 kV 母线的无穷大电源, 电抗的大小可根据宁夏电网蒋家南变电站 330 kV 母线发生三相短路时的短路功率计算得到。

宁夏电网 2014 冬大方式下, 经计算蒋家南 330 kV 母线短路容量为 MVA, 母线电压为 345.206 kV, 等值电抗<sup>[5]</sup>大小可由式(2)计算得到。

$$x_s = \frac{S_B}{S_s} \quad (2)$$

式中:  $S_B$ —基准容量, 取 100 MVA;

$x_s$ —以  $S_B$  为基准功率的电抗标么值。

经计算, 宁夏电网等值电抗为 0.003 46 p.u.。

### 3.2 仿真计算分析

为了验证所提两种补偿方案的补偿效果, 在建立的园区仿真模型上对该两种补偿方案进行仿真分析, 比较其补偿效果。

#### 3.2.1 方案 1 仿真计算分析

园区无功补偿配置采用方案 1 时, 等值主网母线、蒋家南变电站 330 kV 母线和园区变电站乙炔 110 kV 母线电压、功率和功率因数仿真计算结果如表 1 所示。

表 1 方案 1 仿真计算结果

| 母线名称              | 补偿前后 | 电压/kV   | 功率/MVA         | 功率因数    |
|-------------------|------|---------|----------------|---------|
| 等值主网              | 补偿前  | 345.206 | 584.97+j930.37 | 0.532   |
|                   | 补偿后  | 345.206 | 580.96+j257.64 | 0.914 1 |
| 蒋家南变电站 330 kV 母线  | 补偿前  | 334.48  | 581.32+j833.68 | 0.520   |
|                   | 补偿后  | 341.912 | 577.96+j241.2  | 0.922 9 |
| 园区变电站乙炔 110 kV 母线 | 补偿前  | 96.13   | 577.72+j665.2  | 0.655 7 |
|                   | 补偿后  | 109.652 | 576.58+j182.1  | 0.953 6 |

表 1 给出了园区无功补偿配置采用方案 1 时, 等值主网母线、蒋家南变电站 330 kV 母线和园区变电站乙炔 110 kV 母线电压、功率和功率因数仿真结果。

由表 1 可知, 电石炉中压侧补偿电容器 36 Mvar, 乙炔 110 kV 母线补偿电容 325 Mvar 后, 等值主

网母线电压不变, 功率因数由 0.532 提高到 0.914 1; 蒋家南变电站 330 kV 母线电压提高了 7.432 kV, 功率因数由 0.52 提高至 0.922 9; 园区变电站乙炔 110 kV 母线电压提高了 13.522 kV, 功率因数由 0.655 7 提高至 0.953 6, 补偿效果良好, 达到了补偿要求。

#### 3.2.2 方案 2 仿真计算分析

园区无功补偿配置采用方案 2 时, 等值主网母线、蒋家南变电站 330 kV 母线和园区变电站乙炔 110 kV 母线电压、功率和功率因数仿真结果如表 2 所示。

表 2 方案 2 仿真计算结果

| 母线名称              | 补偿前后 | 电压/kV   | 功率/MVA         | 功率因数    |
|-------------------|------|---------|----------------|---------|
| 等值主网              | 补偿前  | 345.206 | 583.18+j709.13 | 0.635 2 |
|                   | 补偿后  | 345.206 | 580.66+j249.04 | 0.919 0 |
| 蒋家南变电站 330 kV 母线  | 补偿前  | 335.968 | 580.14+j674.78 | 0.651 9 |
|                   | 补偿后  | 342.040 | 577.64+j232.8  | 0.927 5 |
| 园区变电站乙炔 110 kV 母线 | 补偿前  | 99.005  | 577.24+j540.5  | 0.73    |
|                   | 补偿后  | 109.854 | 576.28+j174.25 | 0.957 1 |

表 2 给出了园区无功补偿采用方案 2 时, 等值主网母线、蒋家南变电站 330 kV 母线和园区变电站乙炔 110 kV 母线电压、功率和功率因数仿真结果。

由表 2 可知, 电石炉变压器中压侧补偿电容器 51 Mvar, 乙炔 110 kV 母线补偿电容器 190 Mvar, 等值主网母线电压补偿前后不发生变化, 功率因数由补偿前的 0.653 2 提高至 0.919 0; 蒋家南变电站 330 kV 母线电压比补偿前提高了 6.072 kV, 功率因数由 0.651 9 提高至 0.927 5; 园区变电站乙炔 110 kV 母线电压比补偿前提高了 10.849 kV, 功率因数由 0.73 提高至 0.957 1, 补偿效果良好。

#### 3.2.3 电石炉变压器因故障依次断开仿真分析

为了进一步分析方案 1 与方案 2 的补偿效果, 对两种方案下电石炉变压器因故障断开时, 园区内主要母线的电压和功率因数情况进行仿真分析。8 台电石炉变压器因故障依次断开时, 方案 1 与方案 2 下等值主网母线、蒋家南变电站 330 kV 母线和园区变电站乙炔 110 kV 母线电压、功率和功率因数仿真结果分别如表 3 至表 8 所示。

表 3 方案 1 下电石炉因故障断开时等值主网  
母线电压、功率和功率因数仿真结果

| 断炉台数 | 电压/kV   | 功率/MVA         | 功率因数    |
|------|---------|----------------|---------|
| 1    | 345.206 | 534.03+j137.79 | 0.968 3 |
| 2    | 345.206 | 487.40+j43.37  | 0.996 1 |
| 3    | 345.206 | 440.85-j37.05  | 0.996 5 |
| 4    | 345.206 | 394.44-j106.03 | 0.965 7 |
| 5    | 345.206 | 348.05-j167.47 | 0.901 1 |
| 6    | 345.206 | 301.77-j221.76 | 0.805 8 |
| 7    | 345.206 | 255.47-j271.28 | 0.685 6 |
| 8    | 345.206 | 209.26-j315.70 | 0.552 5 |

表 4 方案 1 下电石炉因故障断开时蒋家南变电站  
330 kV 母线电压、功率和功率因数仿真结果

| 断炉台数 | 电压/kV   | 功率/MVA         | 功率因数    |
|------|---------|----------------|---------|
| 1    | 343.483 | 531.02+j125.38 | 0.973 2 |
| 2    | 344.706 | 484.38+j33.56  | 0.997 6 |
| 3    | 345.748 | 437.84-j45.08  | 0.994 7 |
| 4    | 346.635 | 391.42-j112.86 | 0.960 9 |
| 5    | 347.437 | 345.04-j173.54 | 0.893 3 |
| 6    | 348.141 | 296.76-j227.44 | 0.793 7 |
| 7    | 348.763 | 252.46-j276.84 | 0.673 8 |
| 8    | 349.359 | 206.26-j321.36 | 0.540 1 |

表 5 方案 1 下电石炉因故障断开时园区变电站乙炔  
110 kV 母线电压、功率和功率因数仿真结果

| 断炉台数 | 电压/kV   | 功率/MVA         | 功率因数    |
|------|---------|----------------|---------|
| 1    | 112.372 | 529.98+j83.42  | 0.987 8 |
| 2    | 114.508 | 483.58+j2.8    | 1       |
| 3    | 116.327 | 437.18-j34.12  | 0.997 0 |
| 4    | 117.888 | 390.88-j130.94 | 0.948 2 |
| 5    | 119.283 | 344.56+j188.48 | 0.877 3 |
| 6    | 120.520 | 298.3-j240.7   | 0.778 2 |
| 7    | 121.655 | 252.02-j288.12 | 0.658 4 |
| 8    | 122.678 | 205.78-j334.9  | 0.523 5 |

表 3、表 4 和表 5 给出了园区无功配置采用方案 1,8 台电石炉因故障依次断开时等值主网母线、蒋家南变电站 330 kV 母线和园区变电站乙炔 110 kV 母线电压、功率和功率因数变化情况。

由表 3、表 4 和表 5 可以看出,方案 1 下 8 台电石炉因故依次断开运行,等值电网母线电压不发生变化,功率因数先增大,后因过补偿而减小,最低降至 0.552 5;蒋家南变电站 330 kV 母线电压升高,最高升至 349.359 kV,功率因数先增大后减小,最低减至 0.540 1;园区变电站乙炔 110 kV 母线电压升高,最高升至 122.678 kV,功率因数先

增大后减小,最低减至 0.523 5。

表 6 方案 2 下电石炉因故障断开时等值主网  
母线电压、功率和功率因数仿真结果

| 断炉台数 | 电压/kV   | 功率/MVA         | 功率因数    |
|------|---------|----------------|---------|
| 1    | 345.206 | 533.89+j164.22 | 0.955 8 |
| 2    | 345.206 | 487.32+j97.15  | 0.980 7 |
| 3    | 345.206 | 440.80+j40.33  | 0.995 8 |
| 4    | 345.206 | 394.38-j7.67   | 0.999 8 |
| 5    | 345.206 | 347.98-j49.83  | 0.989 9 |
| 6    | 345.206 | 301.66-j86.32  | 0.961 4 |
| 7    | 345.206 | 255.33-j119.12 | 0.906 2 |
| 8    | 345.206 | 209.06-j147.81 | 0.816 5 |

表 7 方案 2 下电石炉因故障断开时蒋家南变电站  
330 kV 母线电压、功率和功率因数仿真结果

| 断炉台数 | 电压/kV   | 功率/MVA         | 功率因数    |
|------|---------|----------------|---------|
| 1    | 343.136 | 530.88+j151.5  | 0.961 6 |
| 2    | 344.001 | 484.3+j87.06   | 0.984 2 |
| 3    | 344.734 | 437.78+j32.3   | 0.997 3 |
| 4    | 345.352 | 391.36-j14.08  | 0.999 4 |
| 5    | 345.895 | 344.98-j54.94  | 0.987 6 |
| 6    | 346.365 | 298.66-j90.42  | 0.957 1 |
| 7    | 346.788 | 252.32-j122.42 | 0.899 7 |
| 8    | 347.158 | 206.04-j150.52 | 0.807 5 |

表 8 方案 2 下电石炉因故障断开时园区变电站乙炔  
110 kV 母线电压、功率和功率因数仿真结果

| 断炉台数 | 电压/kV   | 功率/MVA         | 功率因数    |
|------|---------|----------------|---------|
| 1    | 111.745 | 529.8+j108.14  | 0.979 8 |
| 2    | 113.231 | 483.46+j54.84  | 0.993 6 |
| 3    | 114.489 | 437.12+j8.82   | 0.999 8 |
| 4    | 115.550 | 390.84-j30.62  | 0.996 9 |
| 5    | 116.485 | 344.56-j66     | 0.982 1 |
| 6    | 117.297 | 298.32-j97.14  | 0.950 9 |
| 7    | 118.032 | 252.06-j125.86 | 0.894 7 |
| 8    | 118.681 | 205.84-j151.56 | 0.805 3 |

表 6、表 7 和表 8 给出了园区无功配置采用方案 2,8 台电石炉因故依次断开时等值主网母线、蒋家南变电站 330 kV 母线和园区变电站乙炔 110 kV 母线电压、功率和功率因数变化情况。

由表 6、表 7 和表 8 可知,方案 2 下电石炉变压器因故障依次断开时,等值电网母线电压不发生变化,功率因数先增大后减小;蒋家南变电站 330 kV 母线电压升高,最高升至 347.158 kV,功率因数先增大后减小,最低减至 0.807 5;园区变电站乙炔 110 kV 母线电压升高,最高升至 118.681 kV,

功率因数先增大后减小,最低降至 0.805 3。

将两种补偿方案下电石炉变压器依次断开时的蒋家南变电站 330 kV 母线和园区变电站乙炔 110 kV 母线的电压和功率因数作对比,对比结果如图 3 和图 4 所示。

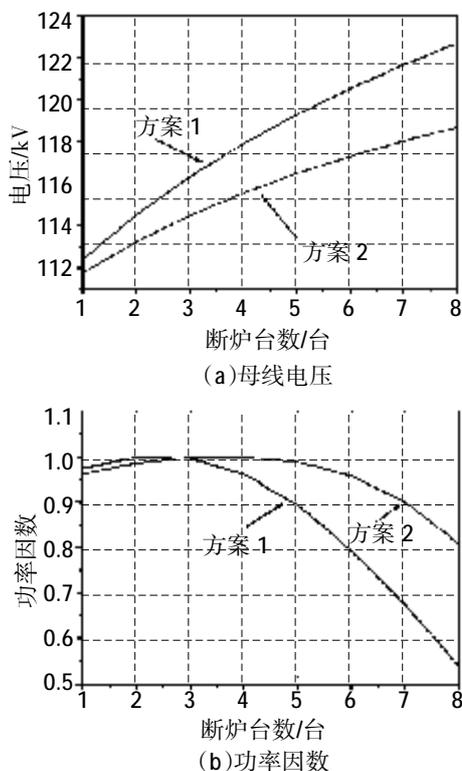


图3 园区变电站乙炔 110 kV 母线两种方案对比

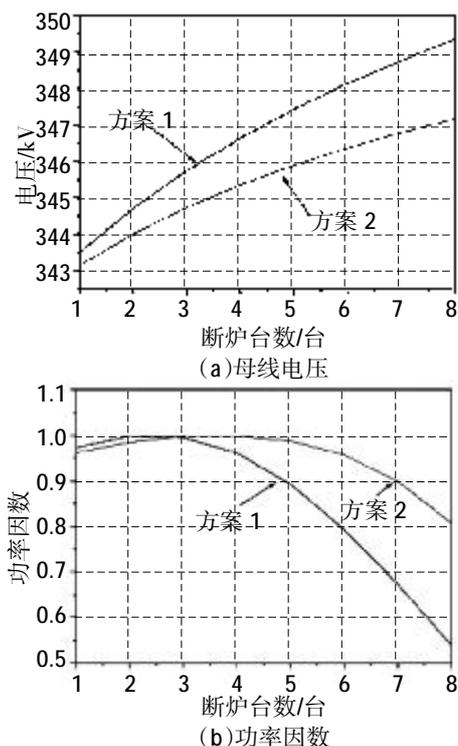


图4 蒋家南变电站 330 kV 母线两种方案对比

从图 3 与图 4 可以看出,当电石炉变压器因故障依次断开时,两种补偿方案下园区变电站乙炔 110 kV 母线和蒋家南变电站 330 kV 母线电压升高,功率因数先升高后降低。但是当采取补偿方案 2 时,母线电压增大幅度较小,功率因数降低幅度也较小。

## 4 结果评价

仿真计算结果显示,方案 1 与方案 2 的补偿效果均很好,均能使园区内功率因数达到 0.95 以上。但是当电石炉因故障依次断开时,方案 2 下园区内母线电压增幅和功率因数降幅都比较小,因此园区无功配置优先选择方案 2。

## 5 结论

(1)当电石炉变压器中压侧补偿电容 36 Mvar 时,为了提高园区的功率因数,需在乙炔 110 kV 母线安装 325 Mvar 电容器组。如果电石炉变压器中压侧补偿电容 51 Mvar 时,需在乙炔 110 kV 母线安装 190 Mvar 电容器组。

(2)当电石炉变压器因故障依次断开时,两种补偿方案下,园区内母线电压增大,功率因数先增大后减小,但是当采取方案 2 时,园区内母线电压增幅和功率因数降幅都较小。

(3)本文的研究结果可为园区无功补偿装置设计提供依据。

### 参考文献:

- [1] 王佳,云洋,张萍.110 kV 电石炉变压器故障原因及无功补偿方案分析[J].2012,30(4):73-75.
- [2] 刘洪.电石炉短网无功补偿节能改造[J],2013(03):121-122.
- [3] 冯少勇.浅谈电石炉的无功补偿[J].宁夏石油化工,2005(2):33-36.
- [4] 赵增胜,白杰,李郑刚.电石炉无功补偿与谐波抑制[J].电网与清洁能源,2009,25(01):76-78.
- [5] 何仰赞,温增银.电力系统分析(上册)(第三版)[M],华中科技大学出版社,2001.