



## (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112818552 B

(45) 授权公告日 2023.09.22

(21) 申请号 202110171514.3

G06Q 10/04 (2023.01)

(22) 申请日 2021.02.08

G06Q 50/06 (2012.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

G06F 111/04 (2020.01)

申请公布号 CN 112818552 A

G06F 119/02 (2020.01)

(43) 申请公布日 2021.05.18

## (56) 对比文件

CN 112035984 A, 2020.12.04

(73) 专利权人 贵州电网有限责任公司

CN 111799777 A, 2020.10.20

地址 550002 贵阳市南明区滨河路  
17号

US 8583520 B1, 2013.11.12

专利权人 浙江大学

CN 112182907 A, 2021.01.05

(72) 发明人 唐学用 包铭磊 何鑫 丁一

CN 112016195 A, 2020.12.01

叶琳浩 张裕 李庆生 王盛  
陈巨龙 陈青 邓朴 罗宁

CN 108767852 A, 2018.11.06

(74) 专利代理机构 南京禹为知识产权代理事务  
所(特殊普通合伙) 32272李晖 等.“基于电气介数的电网故障无功规  
划选址与定容”.《控制与决策》.2019, 第34卷(第  
8期), 第1609-1615页.

专利代理师 王晓东

周景宏 等.基于发电系统可靠性分析的能  
效电厂有效容量确定.《电力系统自动化》.2011,  
第35卷(第8期), 第44-48页.

(51) Int. Cl.

审查员 王佩文

G06F 30/20 (2020.01)

权利要求书3页 说明书9页 附图1页

## (54) 发明名称

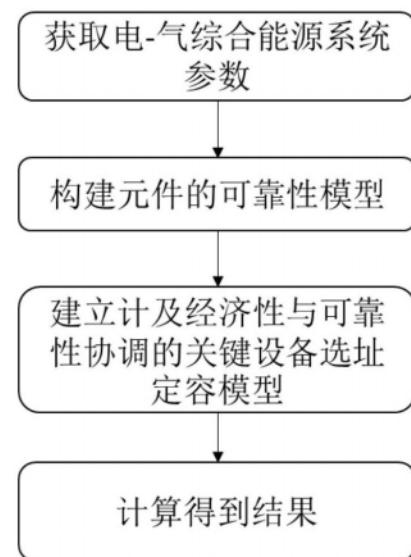
有重要意义。

一种经济性与可靠性协调的电-气系统设备

选址定容方法

## (57) 摘要

本发明公开了一种经济性与可靠性协调的电-气系统设备选址定容方法,包括:利用传感器获得设备的运行数据,将运行数据作为模型的输入;建立气源和发电机组的可靠性模型,并建立负荷模型;基于不同元件的可靠性模型构建经济性与可靠性协调的关键设备选址定容模型,利用内点法求解关键设备选址定容模型得到储气装置和发电机组的修建地址及容量。本发明在规划过程中兼顾了经济性与可靠性,其规划结果更为全面精确,本发明还可直接应用到现阶段电力规划软件中去,通过研究天然气与电力系统间可靠性的耦合关系,精确高效地规划天然气系统和电力系统中关键设备的选址定容,对于电-气综合能源系统的可靠性提升、保证系统的安全运行具

B  
CN 112818552 B  
CN

1. 一种经济性与可靠性协调的电-气系统设备选址定容方法,其特性在于,包括:  
 利用传感器获得设备的运行数据,将所述运行数据作为模型的输入;  
 使用的传感器包括电压传感器、电流传感器、功率传感器,其设备包括管道、线路、发电机和气源;  
 建立气源和发电机组的可靠性模型,并建立负荷模型;  
 所述气源和发电机组的可靠性模型包括,  
 定义所述发电机组g共拥有Kg个状态,每个状态h对应的发电容量为 $P_{hg}^{\max}$ ;  
 所述发电机组基于所述各个状态h的概率表示为 $p_{g,h}$ ;  
 所述发电机组的可靠性模型可用 $P_{hg}^{\max}$ 和 $p_{g,h}$ 两个参数表示;  
 所述气源的可靠性模型也可用气源w在状态h的产气容量 $W_{wh}^{\max}$ 和处于状态h的概率 $p_{w,h}$ 表示;

基于不同元件的可靠性模型构建及经济性与可靠性协调的关键设备选址定容模型,利用内点法求解所述关键设备选址定容模型得到储气装置和发电机组的修建地址及容量;

所述负荷模型包括,  
 在长期规划中,通常使用负荷持续时间曲线来模拟负荷的变化,定义电力负荷持续时间共包含 $K_s^E$ 个负荷块,在年度t时每个负荷块s对应的电力负荷为 $ED_{ts}^E$ ,相应的概率为 $p_s^E$ ;

与所述电力负荷类似,天然气负荷各状态s对应的负荷及概率分别为 $GD_{ts}^G$ 和 $p_s^G$ ;

所述关键设备选址定容模型包括建立目标函数及约束条件,

建立所述目标函数:

$$\min TC = IC + OC + CC$$

其中,TC表示系统规划的总计量值,IC表示关键设备规划的计量值,如气源和发电机组,CC表示规划期内天然气与电力负荷的切除成本;

所述TC、所述IC、所述CC的计算包括,

$$IC = \sum_{t \in CU} \sum_{e \in EG} K_t \cdot P_{et}^{\max} (z_{et} - z_{e(t-1)}) + \sum_{t \in CG} \sum_{k \in EW} K_t \cdot W_{kt}^{\max} (z_{kt} - z_{k(t-1)})$$

$$OC = \sum_{t \in b} \sum_{g \in EG} K_t \cdot \left( \sum_{g \in EG} C_g \cdot P_{gtb} + \sum_{e \in CU} C_e \cdot P_{etb} \right) \cdot DT_{tb} \\ + \sum_{t \in b} \sum_{w \in EW} K_t \cdot \left( \sum_{w \in EW} C_w \cdot W_{wbt} + \sum_{k \in CG} C_k \cdot W_{ktb} \right) \cdot DT_{tb}$$

$$CC = \sum_t (K_t \cdot EENS_t \cdot C_t^E + K_t \cdot EGNS_t \cdot C_t^G)$$

其中, $z_{et}$ 和 $z_{kt}$ 分别表示第t年新建机组e和储气装置k的投资状态, $P_{et}^{\max}$ 和 $W_{kt}^{\max}$ 分别表示第t年新建机组e和储气装置k的容量, $K_t = 1/(1+d)^{t-1}$ 表示净现值,d表示折现率,CU和CG分别表示待投资机组和储气装置的集合, $P_{gtb}$ 和 $P_{etb}$ 分别表示第t年状态b时机组g和新建机组e的输出功率, $C_g$ 和 $C_e$ 分别表示机组g和新建机组e的发电成本, $W_{wbt}$ 和 $W_{ktb}$ 分别表示第t年状态b时气源w和储气装置k的产气量, $C_w$ 和 $C_k$ 分别表示气源w和储气装置k的成本,EG和EW分别表示现有机组和气源的集合,DT<sub>tb</sub>表示第t年状态b的持续时间,状态b通过电力与天然气负荷的可靠性模型确定,EGNS<sub>t</sub>和EENS<sub>t</sub>分别表示第t年天然气系统与电力系统的平均负荷切除量, $C_t^E$

和 $C_t^G$ 分别表示电力负荷与天然气负荷切除成本；

所述约束条件包括可靠性约束、投资约束、天然气系统运行约束、电力系统运行约束；

所述可靠性约束包括，

定义规划过程中，天然气系统与电力系统的可靠性指标在给定范围内：

$EGNS_t \leq EGNS^{set}$

$EENS_t \leq EENS^{set}$

其中， $EGNS^{set}$ 和 $EENS^{set}$ 分别表示天然气与电力系统的可靠性指标设定值， $EGNS_t$ 表示在第t年天然气系统的可靠性指标， $EENS_t$ 表示在第t年电力系统的可靠性指标；

所述投资约束包括，

定义待建机组或储气装置在年度t-1时投资，则其接下来几年投资状态均为1，元件的投资状态满足以下约束：

$z_{e(t-1)} \leq z_{et}$

$z_{k(t-1)} \leq z_{kt}$ ；

所述天然气系统运行约束包括，

在天然气系统运行中，各节点天然气流入量与流出量相同，表示为：

$$\sum_{w \in EW} W_{mwtb} + \sum_{k \in CG} W_{mktb} - \sum_{p \in GL} \tau_{ptb} - \sum_{c \in GC} \tau_{ctb} - GD_{mtb}^G + LC_{mtb}^G = 0$$

式中， $\tau_{ptb}$ 和 $\tau_{ctb}$ 分别表示第t年状态b时管道p和压缩机c处流过的气流量， $GD_{mtb}^G$ 和 $LC_{mtb}^G$ 分别表示第t年状态b时节点m的天然气负荷及切除量，GL和GC分别表示管道和压缩机的集合；

管道p流过的流量可通过Weymouth方程计算，可表示为：

$$M_p \cdot (\sigma_{ptb}^+ - \sigma_{ptb}^-) \cdot (\pi_{mtb} - \pi_{ntb}) = \tau_{ptb}^2$$

其中， $\pi_{mtb}$ 表示第t年状态b时节点m气压的平方， $M_p$ 表示管道p的气流传输参数， $\sigma_{ptb}^+$ 和 $\sigma_{ptb}^-$ 为0-1变量，用于指代气流传输方向，还需满足以下约束：

$$\sigma_{ptb}^+ + \sigma_{ptb}^- = 1;$$

管道流量需满足以下约束：

$$-(1 - \sigma_{ptb}^+) \tau_p^{\max} \leq \tau_{ptb} \leq (1 - \sigma_{ptb}^-) \tau_p^{\max}$$

其中， $\tau_p^{\max}$ 表示管道p的容量；

节点气压需满足以下约束：

$$\pi_m^{\min} \leq \pi_{mtb} \leq \pi_m^{\max}$$

$\pi_m^{\max}$ 和 $\pi_m^{\min}$ 分别表示节点m气压平方的上限和下限；

压缩机在运行时需满足以下约束：

$$\Gamma_{ctb} = \pi_{cmtb} / \pi_{cntb}$$

其中， $\pi_{cmtb}$ 和 $\pi_{cntb}$ 分别表示第t年状态b压缩机c两端节点m和n气压的平方， $\Gamma_{ctb}$ 表示压缩机c的压缩系数的平方，其需满足以下约束：

$$\Gamma_c^{\min} \leq \Gamma_{ctb} \leq \Gamma_c^{\max}$$

其中， $\Gamma_c^{\max}$ 和 $\Gamma_c^{\min}$ 分别表示压缩机c的压缩系数平方的最大值和最小值；

压缩机c所在支路的气流量需满足以下约束：

$$-\tau_c^{\max} \leq \tau_{ctb} \leq \tau_c^{\max}$$

其中,  $\tau_c^{\max}$  表示压缩机c气流量的最大值；

在运行时气源与储气装置需要满足以下约束：

$$0 \leq W_{mwib} \leq W_{mw}^{\max}$$

$$-W_{mkt}^{\max} \cdot Z_{kt} \leq W_{mktb} \leq W_{mkt}^{\max} \cdot Z_{kt}$$

各节点的负荷切除量需满足以下约束：

$$LC_{mtb}^G \leq GD_{mtb}^G,$$

所述电力系统运行约束包括，

线路上流过的功率应小于线路容量：

$$-f_1^{\max} \leq f_{1tb} \leq f_1^{\max}$$

其中,  $f_l^{\max}$  表示线路l的容量；

节点i的燃煤机组、新建机组和天然气机组的输出功率分别满足以下约束：

$$0 \leq P_{igib}^C \leq P_{ig}^{\max}$$

$$-P_{ie}^{\max} \cdot Z_{et} \leq P_{ietb} \leq P_{ie}^{\max} \cdot Z_{et}$$

$$P_{igtb}^G = (GD_{mtb}^G - LC_{mtb}^G) \cdot \psi$$

所述节点的向角满足以下约束：

$$-9_i^{\max} \leq 9_{itb} \leq 9_i^{\max}$$

式中,  $9_i^{\max}$  表示节点i向角的最大值；

所述节点电力负荷的削减量满足以下约束：

$$LC_{itb}^E \leq ED_{itb}^E \circ$$

## 一种经济性与可靠性协调的电-气系统设备选址定容方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及综合能源系统可靠性管理的技术领域,尤其涉及一种经济性与可靠性协调的电-气系统设备选址定容方法。

### 背景技术

[0002] 在我国能源结构低碳清洁转型的背景下,天然气机组因灵活性高、效率高且污染排放低等优势,在发电系统中的占比不断提高。天然气发电的大规模引入使得电力系统与天然气系统间的耦合更加紧密,由此带来诸多可靠性问题。比如,天然气系统中出现的管道泄漏、气源故障等随机因素可能导致天然气机组因供气中断而迅速降低出力,危害电力系统的安全可靠运行。因此,在电力与天然气紧密耦合的背景下,亟需开展计及经济性与可靠性的关键设备选址定容研究,以实现电-气综合能源系统的安全可靠运行。

### 发明内容

[0003] 本部分的目的在于概述本发明的实施例的一些方面以及简要介绍一些较佳实施例。在本部分以及本申请的说明书摘要和发明名称中可能会做些简化或省略以避免使本部分、说明书摘要和发明名称的目的模糊,而这种简化或省略不能用于限制本发明的范围。

[0004] 鉴于上述现有存在的问题,提出了本发明。

[0005] 因此,本发明解决的技术问题是:电-气综合能源系统的安全性、可靠性差。

[0006] 为解决上述技术问题,本发明提供如下技术方案:利用传感器获得设备的运行数据,将所述运行数据作为模型的输入;建立气源和发电机组的可靠性模型,并建立负荷模型;基于所述不同元件的可靠性模型构建计及经济性与可靠性协调的关键设备选址定容模型,利用内点法求解所述关键设备选址定容模型得到储气装置和发电机组的修建地址及容量。

[0007] 作为本发明所述的经济性与可靠性协调的电-气系统设备选址定容方法的一种优选方案,其中:所述气源和发电机组的可靠性模型包括,定义所述发电机组g共拥有 $K_g$ 个状态,每个状态h对应的发电容量为 $P_{g,h}^{\max}$ ;所述发电机组基于所述各个状态h的概率表示为 $p_{g,h}$ ;所述发电机组的可靠性模型可用 $P_{g,h}^{\max}$ 和 $p_{g,h}$ 两个参数表示;所述气源的可靠性模型也可用气源w在状态h的产气容量 $W_{w,h}^{\max}$ 和处于状态h的概率 $p_{w,h}$ 表示。

[0008] 作为本发明所述的经济性与可靠性协调的电-气系统设备选址定容方法的一种优选方案,其中:所述负荷模型包括,

[0009] 在长期规划中,通常使用负荷持续时间曲线来模拟负荷的变化,定义电力负荷持续时间共包含 $K_s^E$ 个负荷块,在年度t时每个负荷块s对应的电力负荷为 $ED_{ts}^E$ ,相应的概率为 $p_s^E$ ;与所述电力负荷类似,天然气负荷各状态s对应的负荷及概率分别为 $GD_{ts}^G$ 和 $p_s^G$ 。

[0010] 作为本发明所述的经济性与可靠性协调的电-气系统设备选址定容方法的一种优选方案,其中:所述关键设备选址定容模型包括建立目标函数及约束条件,

[0011] 建立所述目标函数：

$$[0012] \min \text{TC} = \text{IC} + \text{OC} + \text{CC}$$

[0013] 其中,TC表示系统规划的总计量值,IC表示关键设备规划的计量值,如气源和发电机组,CC表示规划期内天然气与电力负荷的切除成本。

[0014] 作为本发明所述的经济性与可靠性协调的电-气系统设备选址定容方法的一种优选方案,其中:所述TC、所述IC、所述CC的计算包括,

$$[0015] IC = \sum \sum \kappa_t \cdot P_{et}^{\max} (z_{et} - z_{e(t-1)}) + \sum \sum \kappa_t \cdot W_{kt}^{\max} (z_{kt} - z_{k(t-1)})$$

$$[0016] OC = \sum_t \sum_b \kappa_t \cdot \left( \sum_{g \in EG} C_g \cdot P_{gtb} + \sum_{e \in CU} C_e \cdot P_{etb} \right) \cdot DT_{tb}$$

$$+ \sum_t \sum_b \kappa_t \cdot \left( \sum_{w \in EW} C_w \cdot W_{wbt} + \sum_{k \in CG} C_k \cdot W_{ktb} \right) \cdot DT_{tb}$$

$$[0017] CC = \sum_t (\kappa_t \cdot EENS_t \cdot C_t^E + \kappa_t \cdot EGNS_t \cdot C_t^G)$$

[0018] 其中,  $z_{et}$  和  $z_{kt}$  分别表示第  $t$  年新建机组  $e$  和储气装置  $k$  的投资状态,  $P_{et}^{\max}$  和  $W_{kt}^{\max}$  分别表示第  $t$  年新建机组  $e$  和储气装置  $k$  的容量,  $\kappa_t = 1 / (1+d)^{t-1}$  表示净现值,  $d$  表示折现率, CU 和 CG 分别表示待投资机组和储气装置的集合,  $P_{gtb}$  和  $P_{etb}$  分别表示第  $t$  年状态  $b$  时机组  $g$  和新建机组  $e$  的输出功率,  $C_g$  和  $C_e$  分别表示机组  $g$  和新建机组  $e$  的发电成本,  $W_{wbt}$  和  $W_{ktb}$  分别表示第  $t$  年状态  $b$  时气源  $w$  和储气装置  $k$  的产气量,  $C_w$  和  $C_k$  分别表示气源  $w$  和储气装置  $k$  的成本, EG 和 EW 分别表示现有机组和气源的集合,  $DT_{tb}$  表示第  $t$  年状态  $b$  的持续时间, 状态  $b$  通过电力与天然气负荷的可靠性模型确定,  $EGNS_t$  和  $EENS_t$  分别表示第  $t$  年天然气系统与电力系统的平均负荷切除量,  $C_t^E$  和  $C_t^G$  分别表示电力负荷与天然气负荷切除成本。

[0019] 作为本发明所述的经济性与可靠性协调的电-气系统设备选址定容方法的一种优选方案,其中:所述约束条件包括可靠性约束、投资约束、天然气系统运行约束、电力系统运行约束。

[0020] 作为本发明所述的经济性与可靠性协调的电-气系统设备选址定容方法的一种优选方案,其中:所述可靠性约束包括,定义规划过程中,天然气系统与电力系统的可靠性指标在给定范围内:

$$[0021] EGNS_t \leq EGNS^{set}$$

$$[0022] EENS_t \leq EENS^{set}$$

[0023] 其中,  $EGNS^{set}$  和  $EENS^{set}$  分别表示天然气与电力系统的可靠性指标设定值,  $EGNS_t$  表示在第  $t$  年天然气系统的可靠性指标,  $EENS_t$  表示在第  $t$  年电力系统的可靠性指标。

[0024] 作为本发明所述的经济性与可靠性协调的电-气系统设备选址定容方法的一种优选方案,其中:所述投资约束包括,定义待建机组或储气装置在年度  $t-1$  时投资,则其接下来几年投资状态均为 1, 元件的投资状态满足以下约束:

$$[0025] z_{e(t-1)} \leq z_{et}$$

$$[0026] z_{k(t-1)} \leq z_{kt}.$$

[0027] 作为本发明所述的经济性与可靠性协调的电-气系统设备选址定容方法的一种优选方案,其中:所述天然气系统运行约束包括,

[0028] 管道流量需满足以下约束:

[0029]  $-(1-\sigma_{ptb}^+)\cdot\tau_p^{\max} \leq \tau_{ptb} \leq (1-\sigma_{ptb}^-)\cdot\tau_p^{\max}$

[0030] 其中,  $\tau_p^{\max}$  表示管道p的容量;

[0031] 节点气压需满足以下约束:

[0032]  $\pi_m^{\min} \leq \pi_{mtb} \leq \pi_m^{\max}$

[0033]  $\pi_m^{\max}$  和  $\pi_m^{\min}$  分别表示节点m气压平方的上限和下限;

[0034] 压缩机在运行时需满足以下约束:

[0035]  $\Gamma_{ctb} = \pi_{cmtb}/\pi_{cntb}$

[0036] 其中,  $\pi_{cmtb}$  和  $\pi_{cntb}$  分别表示第t年状态b压缩机c两端节点m和n气压的平方,  $\Gamma_{ctb}$  表示压缩机c的压缩系数的平方, 其需满足以下约束:

[0037]  $\Gamma_c^{\min} \leq \Gamma_{ctb} \leq \Gamma_c^{\max}$

[0038] 其中,  $\Gamma_c^{\max}$  和  $\Gamma_c^{\min}$  分别表示压缩机c的压缩系数平方的最大值和最小值;

[0039] 压缩机c所在支路的气流量需满足以下约束:

[0040]  $-\tau_c^{\max} \leq \tau_{ctb} \leq \tau_c^{\max}$

[0041] 其中,  $\tau_c^{\max}$  表示压缩机c气流量的最大值;

[0042] 在运行时气源与储气装置需要满足以下约束:

[0043]  $0 \leq W_{mwtb} \leq W_{mw}^{\max}$

[0044]  $-W_{mkt}^{\max} \cdot Z_{kt} \leq W_{mktb} \leq W_{mkt}^{\max} \cdot Z_{kt}$

[0045] 各节点的负荷切除量需满足以下约束:

[0046]  $LC_{mtb}^G \leq GD_{mtb}^G$ 。

[0047] 作为本发明所述的经济性与可靠性协调的电-气系统设备选址定容方法的一种优选方案, 其中: 所述电力系统运行约束包括,

[0048] 线路上流过的功率应小于线路容量:

[0049]  $-f_1^{\max} \leq f_{1tb} \leq f_1^{\max}$

[0050] 其中,  $f_1^{\max}$  表示线路1的容量;

[0051] 节点i的燃煤机组、新建机组和天然气机组的输出功率分别满足以下约束:

[0052]  $0 \leq P_{igtb}^C \leq P_{ig}^{\max}$

[0053]  $-P_{ie}^{\max} \cdot Z_{et} \leq P_{ietb} \leq P_{ie}^{\max} \cdot Z_{et}$

[0054]  $P_{igtb}^G = (GD_{mtb}^G - LC_{mtb}^G) \cdot \psi$

[0055] 所述节点的向角满足以下约束:

[0056]  $-\theta_i^{\max} \leq \theta_{itb} \leq \theta_i^{\max}$

[0057] 式中,  $\theta_i^{\max}$  表示节点i向角的最大值;

[0058] 所述节点电力负荷的削减量满足以下约束:

[0059]  $LC_{itb}^E \leq ED_{itb}^E$ 。

[0060] 本发明的有益效果: 在规划过程中兼顾了经济性与可靠性, 本发明相较于传统方

法更为经济可靠,所得的规划结果也更为全面精确,此外,本发明还可直接应用到现阶段电力规划软件中去,通过研究天然气与电力系统间可靠性的耦合关系,精确高效地规划天然气系统和电力系统中关键设备的选址定容,对于电-气综合能源系统的可靠性提升、保证系统的安全运行具有重要意义。

## 附图说明

[0061] 为了更清楚地说明本发明实施例的技术方案,下面将对实施例描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动性的前提下,还可以根据这些附图获得其它的附图。其中:

[0062] 图1为本发明一个实施例提供的经济性与可靠性协调的电-气系统设备选址定容方法的基本流程示意图;

[0063] 图2为本发明一个实施例提供的经济性与可靠性协调的电-气系统设备选址定容方法的实验模拟仿真图。

## 具体实施方式

[0064] 为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂,下面结合说明书附图对本发明的具体实施方式做详细的说明,显然所描述的实施例是本发明的一部分实施例,而不是全部实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都应当属于本发明的保护的范围。

[0065] 在下面的描述中阐述了很多具体细节以便于充分理解本发明,但是本发明还可以采用其他不同于在此描述的其它方式来实施,本领域技术人员可以在不违背本发明内涵的情况下做类似推广,因此本发明不受下面公开的具体实施例的限制。

[0066] 其次,此处所称的“一个实施例”或“实施例”是指可包含于本发明至少一个实现方式中的特定特征、结构或特性。在本说明书中不同地方出现的“在一个实施例中”并非均指同一个实施例,也不是单独的或选择性的与其他实施例互相排斥的实施例。

[0067] 本发明结合示意图进行详细描述,在详述本发明实施例时,为便于说明,表示器件结构的剖面图会不依一般比例作局部放大,而且所述示意图只是示例,其在此不应限制本发明保护的范围。此外,在实际制作中应包含长度、宽度及深度的三维空间尺寸。

[0068] 同时在本发明的描述中,需要说明的是,术语中的“上、下、内和外”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系,仅是为了便于描述本发明和简化描述,而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作,因此不能理解为对本发明的限制。此外,术语“第一、第二或第三”仅用于描述目的,而不能理解为指示或暗示相对重要性。

[0069] 本发明中除非另有明确的规定和限定,术语“安装、相连、连接”应做广义理解,例如:可以是固定连接、可拆卸连接或一体式连接;同样可以是机械连接、电连接或直接连接,也可以通过中间媒介间接相连,也可以是两个元件内部的连通。对于本领域的普通技术人员而言,可以具体情况理解上述术语在本发明中的具体含义。

[0070] 实施例1

[0071] 参照图1,为本发明的一个实施例,提供了一种经济性与可靠性协调的电-气系统设备选址定容方法,包括:

[0072] S1:利用传感器获得设备的运行数据,将运行数据作为模型的输入;需要说明的是,

[0073] 使用的传感器包括电压传感器、电流传感器、功率传感器,其设备包括管道、线路、发电机和气源。

[0074] S2:建立气源和发电机组的可靠性模型,并建立负荷模型;需要说明的是,

[0075] 气源和发电机组的可靠性模型包括,

[0076] 考虑到系统中元件的随机故障,此处首先建立发电机组的可靠性模型,在该模型中,定义发电机组g共拥有 $K_g$ 个状态,每个状态h对应的发电容量为 $P_{g,h}^{\max}$ ;此外,发电机组基于各个状态h的概率表示为 $p_{g,h}$ ;由此发电机组的可靠性模型可用 $P_{g,h}^{\max}$ 和 $p_{g,h}$ 两个参数表示;

[0077] 进一步的,与发电机组类似,气源的可靠性模型也可用气源w在状态h的产气容量 $W_{w,h}^{\max}$ 和处于状态h的概率 $p_{w,h}$ 表示。

[0078] 负荷模型包括,

[0079] 在长期规划中,通常使用负荷持续时间曲线来模拟负荷的变化,定义电力负荷持续时间共包含 $K_s^E$ 个负荷块,在年度t时每个负荷块s对应的电力负荷为 $ED_{ts}^E$ ,相应的概率为 $p_s^E$ ;

[0080] 与电力负荷类似,天然气负荷各状态s对应的负荷及概率分别为 $GD_{ts}^G$ 和 $p_s^G$ 。

[0081] S3:基于不同元件的可靠性模型构建及经济性与可靠性协调的关键设备选址定容模型,利用内点法求解关键设备选址定容模型得到储气装置和发电机组的修建地址及容量;需要说明的是,

[0082] 关键设备选址定容模型包括建立目标函数及约束条件,

[0083] 具体的,建立目标函数:

[0084]  $\min \text{TC} = \text{IC} + \text{OC} + \text{CC}$

[0085] 其中,TC表示系统规划的总计量值,IC表示关键设备规划的计量值,如气源和发电机组,CC表示规划期内天然气与电力负荷的切除成本。

[0086] 上式中,TC、IC、CC的计算包括,

$$[0087] IC = \sum \sum \kappa_t \cdot P_{et}^{\max} (z_{et} - z_{e(t-1)}) + \sum \sum \kappa_t \cdot W_{kt}^{\max} (z_{kt} - z_{k(t-1)})$$

$$OC = \sum_t \sum_b \kappa_t \cdot \left( \sum_{g \in EG} C_g \cdot P_{gtb} + \sum_{e \in CU} C_e \cdot P_{etb} \right) \cdot DT_{tb}$$

$$[0088] + \sum_t \sum_b \kappa_t \cdot \left( \sum_{w \in EW} C_w \cdot W_{wtb} + \sum_{k \in CG} C_k \cdot W_{ktb} \right) \cdot DT_{tb}$$

$$[0089] CC = \sum_t (\kappa_t \cdot EENS_t \cdot C_t^E + \kappa_t \cdot EGNS_t \cdot C_t^G)$$

[0090] 其中, $z_{et}$ 和 $z_{kt}$ 分别表示第t年新建机组e和储气装置k的投资状态, $P_{et}^{\max}$ 和 $W_{kt}^{\max}$ 分别表示第t年新建机组e和储气装置k的容量, $\kappa_t = 1 / (1+d)^{t-1}$ 表示净现值,d表示折现率,CU和CG分别表示待投资机组和储气装置的集合, $P_{gtb}$ 和 $P_{etb}$ 分别表示第t年状态b时机组g和新建

机组e的输出功率,  $C_g$  和  $C_e$  分别表示机组g和新建机组e的发电成本,  $W_{w,1}$  和  $W_{k,1}$  分别表示第t年状态b时气源w和储气装置k的产气量,  $C_w$  和  $C_k$  分别表示气源w和储气装置k的成本, EG和EW分别表示现有机组和气源的集合,  $DT_{tb}$  表示第t年状态b的持续时间, 状态b通过电力与天然气负荷的可靠性模型确定,  $EGNS_t$  和  $EENS_t$  分别表示第t年天然气系统与电力系统的平均负荷切除量,  $C^E$  和  $C^G$  分别表示电力负荷与天然气负荷切除成本。

[0091] 进一步的, 同时建立如下约束条件: 约束条件包括可靠性约束、投资约束、天然气系统运行约束、电力系统运行约束。

[0092] 可靠性约束包括,

[0093] 定义规划过程中, 天然气系统与电力系统的可靠性指标在给定范围内:

[0094]  $EGNS_t \leq EGNS^{set}$

[0095]  $EENS_t \leq EENS^{set}$

[0096] 其中,  $EGNS^{set}$  和  $EENS^{set}$  分别表示天然气与电力系统的可靠性指标设定值,  $EGNS_t$  表示在第t年天然气系统的可靠性指标,  $EENS_t$  表示在第t年电力系统的可靠性指标。

[0097] 具体的, 天然气系统的可靠性约束受负荷变化与元件故障的双重影响, 为此通过状态聚合, 天然气系统的状态r可在状态空间选取:

[0098]  $r \in \left\{ \left[ GD_1^G, W_{w,1}^{\max} \right], L \left[ GD_s^G, W_{w,h}^{\max} \right], L \left[ GD_{K_s^G}^G, W_{w,K_s^G}^{\max} \right] \right\}$

[0099] 此时, 天然气系统状态r的概率对应于负荷  $GD_{ts}^G$  对应概率  $p_s^G$  和气源容量  $W_{w,h}^{\max}$  对应概率  $p_{w,h}$  的乘积, 系统的总状态数为  $K_r^G$ , 对于状态r, 天然气系统的负荷切除量可用所有气源的容量与系统负荷的差值来衡量。因此, 在第t年天然气系统的可靠性指标  $EGNS_t$  可以表示为:

$$[0100] EGNS_t = \sum_{r=1}^{K_r^G} \left( GD_{ts}^G - \sum_w W_{w,h}^{\max} - \sum_k W_{kt}^{\max} \cdot z_{kt} \right) \times \xi_r \times \prod_w p_{w,h} \times p_s^G \times 8760$$

[0101] 其中,  $\xi_r$  为0-1变量, 用于表征状态r时系统是否需要切除负荷, 当状态r时系统负荷切除量大于0,  $\xi_r$  为1, 否则为0。

[0102] 电力系统的可靠性除受本身的负荷变化与元件故障影响, 还与天然气系统的负荷切除量有关, 考虑到天然气机组与管网公司签的多是可中断合约, 因此当天然气系统故障时会优先切除天然气机组的供气量。定义电力系统总状态数为  $K_r^E$ , 则第t年电力系统的可靠性指标  $EENS_t$  可以表示为:

$$[0103] EENS_t = \sum_{r=1}^{K_r^E} \left[ ED_{ts}^E - \left( \sum_g P_{g,h}^{\max} - EGNS_t \cdot \psi / 8760 \right) - \sum_e P_{et}^{\max} \cdot z_{et} \right] \times \xi_r \times \prod_g p_{g,h} \times p_s^E \times 8760$$

[0104] 其中,  $\psi$  表示气电转换效率, 发电机组g同时表示天然气机组和煤电机组。

[0105] 在规划过程中, 天然气系统与电力系统的可靠性指标在给定范围内:

[0106]  $EGNS_t \leq EGNS^{set}$

[0107]  $EENS_t \leq EENS^{set}$

[0108] 其中,EGNS<sup>set</sup>和EENS<sup>set</sup>分别表示天然气与电力系统的可靠性指标设定值。

[0109] 投资约束包括,

[0110] 定义待建机组或储气装置在年度t-1时投资,则其接下来几年投资状态均为1,元件的投资状态满足以下约束:

[0111]  $z_{e(t-1)} \leq z_{et}$

[0112]  $z_{k(t-1)} \leq z_{kt}$ 。

[0113] 此外在规划周期内,电力系统与天然气系统的源端容量均需要大于负荷和备用需求,分别表示为:

[0114]  $\sum_{e \in CU} P_{et}^{\max} \cdot z_{et} + \sum_{g \in EG} P_g^{\max} \geq ED_{tb}^E + ER_{tb}$

[0115]  $\sum_{k \in CG} W_{kt}^{\max} \cdot z_{kt} + \sum_{w \in EW} W_w^{\max} \geq GD_{tb}^G + GR_{tb}$

[0116] 式中,ER<sub>tb</sub>和GR<sub>tb</sub>分别表示第t年状态b时电力系统与天然气系统的备用需求。

[0117] 天然气系统运行约束包括,

[0118] 在天然气系统运行中,各节点天然气流入量与流出量相同,表示为:

[0119]  $\sum_{w \in EW} W_{mwtb} + \sum_{k \in CG} W_{mktb} - \sum_{p \in GL} \tau_{ptb} - \sum_{c \in GC} \tau_{ctb} - GD_{mtb}^G + LC_{mtb}^G = 0$

[0120] 式中,τ<sub>ptb</sub>和τ<sub>ctb</sub>分别表示第t年状态b时管道p和压缩机c处流过的气流量, GD<sub>mtb</sub><sup>G</sup> 和 LC<sub>mtb</sub><sup>G</sup> 分别表示第t年状态b时节点m的天然气负荷及切除量, GL和GC分别表示管道和压缩机的集合。

[0121] 管道p流过的流量可通过Weymouth方程计算,可表示为:

[0122]  $M_p \cdot (\sigma_{ptb}^+ - \sigma_{ptb}^-) \cdot (\pi_{mtb} - \pi_{ntb}) = \tau_{ptb}^2$

[0123] 其中,π<sub>mtb</sub>表示第t年状态b时节点m气压的平方,M<sub>p</sub>表示管道p的气流传输参数, σ<sub>ptb</sub><sup>+</sup> 和 σ<sub>ptb</sub><sup>-</sup> 为0-1变量,用于指代气流传输方向,还需满足以下约束:

[0124]  $\sigma_{ptb}^+ + \sigma_{ptb}^- = 1$ 。

[0125] 管道流量需满足以下约束:

[0126]  $-(1 - \sigma_{ptb}^+) \cdot \tau_p^{\max} \leq \tau_{ptb} \leq (1 - \sigma_{ptb}^-) \cdot \tau_p^{\max}$

[0127] 其中, τ<sub>p</sub><sup>max</sup> 表示管道p的容量;

[0128] 节点气压需满足以下约束:

[0129]  $\pi_m^{\min} \leq \pi_{mtb} \leq \pi_m^{\max}$

[0130] π<sub>m</sub><sup>max</sup> 和 π<sub>m</sub><sup>min</sup> 分别表示节点m气压平方的上限和下限;

[0131] 压缩机在运行时需满足以下约束:

[0132]  $\Gamma_{ctb} = \pi_{cmtb} / \pi_{cntb}$

[0133] 其中,π<sub>cmtb</sub>和π<sub>cntb</sub>分别表示第t年状态b压缩机c两端节点m和n气压的平方, Γ<sub>ctb</sub> 表示压缩机c的压缩系数的平方,其需满足以下约束:

[0134]  $\Gamma_c^{\min} \leq \Gamma_{ctb} \leq \Gamma_c^{\max}$

[0135] 其中,  $\Gamma_c^{\max}$  和  $\Gamma_c^{\min}$  分别表示压缩机c的压缩系数平方的最大值和最小值;

[0136] 此外, 压缩机c所在支路的气流量需满足以下约束:

$$-\tau_c^{\max} \leq \tau_{ctb} \leq \tau_c^{\max}$$

[0138] 其中,  $\tau_c^{\max}$  表示压缩机c气流量的最大值;

[0139] 在运行时气源与储气装置需要满足以下约束:

$$0 \leq W_{mwtb} \leq W_{mw}^{\max}$$

$$-W_{mkt}^{\max} \cdot Z_{kt} \leq W_{mktb} \leq W_{mkt}^{\max} \cdot Z_{kt}$$

[0142] 各节点的负荷切除量需满足以下约束:

$$LC_{mtb}^G \leq GD_{mtb}^G$$

[0144] 电力系统运行约束包括,

[0145] 在运行过程中, 电力系统需要满足以下几个约束, 具体如下:

[0146] 在电力系统运行时, 各节点流入与流出功率相同, 可表示为:

$$\sum_{e \in CS} P_{ietb} + \sum_{g \in EG} (P_{igtb}^G + P_{igtb}^C) - \sum_{l \in EL} f_{ltb} = ED_{itb}^E - LC_{itb}^E$$

[0148] 其中,  $P_{igtb}^G$  和  $P_{igtb}^C$  分别表示第t年状态b天然气机组和燃煤机组的输出功率,  $f_{ltb}$  表示第t年状态b时线路l的传输功率,  $ED_{itb}^E$  和  $LC_{itb}^E$  分别表示第t年状态b时节点i的电力负荷及切除量, EL表示电力线路的集合。

[0149] 电力线路l流过的功率可表示为:

$$f_{ltb} = (\theta_{itb} - \theta_{jtb}) / x_l$$

[0151] 其中,  $\theta_{itb}$  表示第t年状态b时节点i的向角,  $x_l$  表示线路l的阻抗。

[0152] 此外, 线路上流过的功率应小于线路容量:

$$-f_l^{\max} \leq f_{ltb} \leq f_l^{\max}$$

[0154] 其中,  $f_l^{\max}$  表示线路l的容量;

[0155] 节点i的燃煤机组、新建机组和天然气机组的输出功率分别满足以下约束:

$$0 \leq P_{igtb}^C \leq P_{igtb}^{\max}$$

$$-P_{ie}^{\max} \cdot Z_{et} \leq P_{ietb} \leq P_{ie}^{\max} \cdot Z_{et}$$

$$P_{igtb}^G = (GD_{mtb}^G - LC_{mtb}^G) \cdot \psi$$

[0159] 节点的向角满足以下约束:

$$-\theta_i^{\max} \leq \theta_{itb} \leq \theta_i^{\max}$$

[0161] 式中,  $\theta_i^{\max}$  表示节点i向角的最大值;

[0162] 节点电力负荷的削减量满足以下约束:

$$LC_{itb}^E \leq ED_{itb}^E$$

[0164] 进一步的, 通过内点法求解关键设备选址定容模型得到储气装置和发电机组的修建地址及容量。

[0165] 本发明构建了计及经济性与可靠性协调的关键设备选址定容模型, 确定储气装置

和发电机组的修建地址和容量,所提出的计及经济性与可靠性协调的电-气综合能源系统关键设备选址定容方法,可有效保证系统的容量充裕度,对于电-气综合能源系统的安全可靠运行具有重要意义。

[0166] 实施例2

[0167] 参照图2,为本发明的另一个实施例,为对本方法中采用的技术效果加以验证说明,本实施例采用传统技术方案与本发明方法进行对比测试,以科学论证的手段对比试验结果,以验证本方法所具有真实效果。

[0168] 传统技术方案:传统对于电-气综合能源系统关键设备选址定容方法通常仅把经济性作为关键因素考虑到模型中,忽略了可靠性这一影响因素,可靠性因素的忽略可能使得规划结果无法满足要求,导致系统无法按照预期安全可靠运行,因此,传统技术方案在精确性、有效性与实际应用方面存在缺陷。

[0169] 为验证本方法相对传统方法具有较高的精确性与实际应用能力,本实施例中将采用传统仅考虑经济性的规划模型与本模型分别对测试系统进行规划,并比较相应的规划方案。

[0170] 测试环境:将两种规划模型分别应用于IEEE 30节点的标准电力系统和比利时20节点的标准天然气系统组成的测试系统,分别对相同的待选择发电机组集和储气装置集开展规划。两种模型均采用MATLB软件编程,实现仿真测试,根据实验结果得到仿真数据,包括关键设备的规划结果等,基于得到的规划结果,分别对两类规划结果进行可靠性分析,比较不同规划结果下的可靠性。

[0171] 结果如图2所示,传统模型所得到的规划结果不能满足可靠性约束(1000MWh),在规划第4年和第10年的时候可靠性计算结果甚至远超可靠性约束。相反,本文所提模型的规划结果均能使得系统在可靠性约束下,说明本文模型的实际应用性与有效性。

[0172] 应说明的是,以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非限制,尽管参照较佳实施例对本发明进行了详细说明,本领域的普通技术人员应当理解,可以对本发明的技术方案进行修改或者等同替换,而不脱离本发明技术方案的精神和范围,其均应涵盖在本发明的权利要求范围当中。

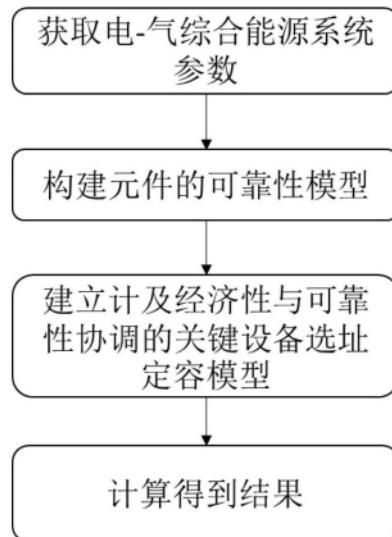


图1

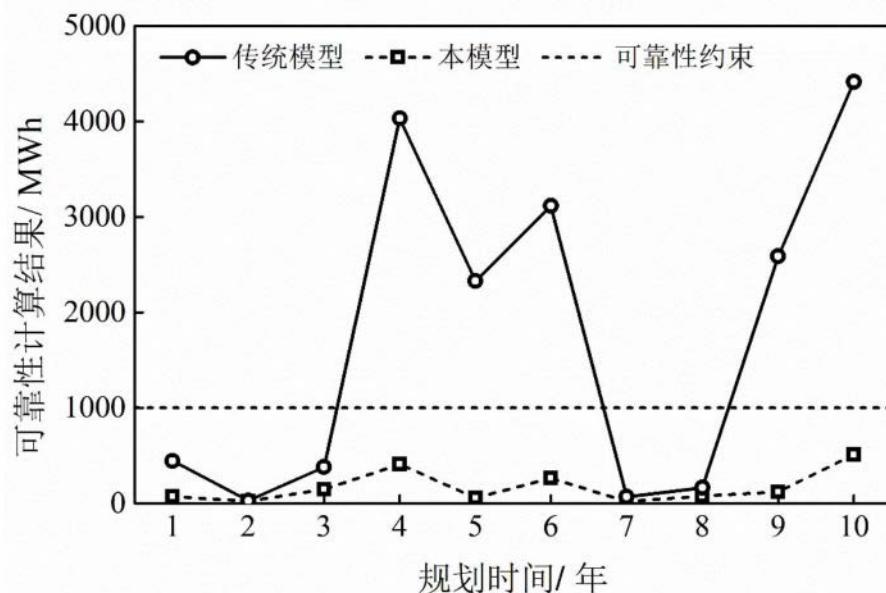


图2