



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107229796 A

(43)申请公布日 2017.10.03

(21)申请号 201710411213.7

(22)申请日 2017.06.05

(71)申请人 东北大学

地址 110819 辽宁省沈阳市和平区文化路
三巷11号

(72)发明人 胡筱敏 姜秋俚 张佳琪 付东

(74)专利代理机构 沈阳优普达知识产权代理事
务所(特殊普通合伙) 21234
代理人 张志伟

(51)Int.Cl.

G06F 17/50(2006.01)

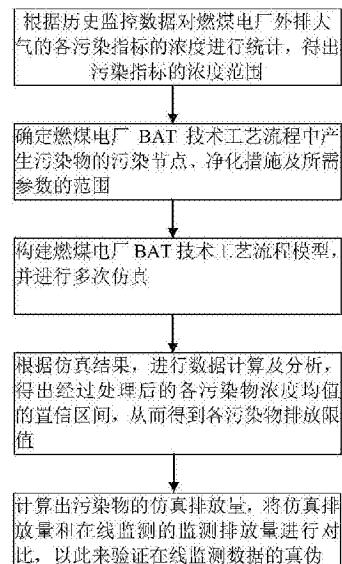
权利要求书1页 说明书9页 附图13页

(54)发明名称

一种燃煤电厂大气污染物排放仿真方法

(57)摘要

本发明的一种燃煤电厂大气污染物排放仿真方法，包括如下步骤：根据历史监控数据对燃煤电厂外排大气的各污染指标的浓度进行统计，得出污染指标的浓度范围；确定燃煤电厂BAT技术生产工艺流程中产生污染物的污染节点、净化措施及所需参数的范围；构建燃煤电厂BAT技术生产工艺流程模型，并进行多次仿真；根据仿真结果，进行数据计算及分析，得出经过处理后的各污染物浓度均值的置信区间，得到各污染物排放限值；计算出污染物的仿真排放量，将仿真排放量和监测排放量进行对比，以此来验证在线监测数据的真伪。这种基于面向对象Petri网的仿真方法，可为制定污染物排放限值提供有力依据，对验证企业监测数据的真伪有一定的参考意义。



1. 一种燃煤电厂大气污染物排放仿真方法,其特征在于,包括以下步骤:

根据历史监控数据对燃煤电厂外排大气的各污染指标的浓度进行统计,得出污染指标的浓度范围,污染指标包括颗粒物、二氧化硫、氮氧化物;

确定燃煤电厂BAT技术工艺流程中产生污染物的污染节点、净化措施及所需参数的范围;

构建燃煤电厂BAT技术工艺流程模型,并进行多次仿真;

根据仿真结果,进行数据计算及分析,得出经过处理后的各污染物浓度均值的置信区间,从而得到各污染物排放限值;

计算出污染物的仿真排放量,将仿真排放量和在线监测的监测排放量进行对比,以此来验证在线监测数据的真伪。

2. 如权利要求1所述的燃煤电厂大气污染物排放仿真方法,其特征在于,利用面向对象Petri网的仿真平台构建燃煤电厂BAT技术工艺流程模型。

3. 如权利要求2所述的燃煤电厂大气污染物排放仿真方法,其特征在于,构建燃煤电厂BAT技术工艺流程模型包括如下步骤:

(1) 确定所要建立模型的主要功能;

(2) 建立层次模型,将所要建立模型的系统分成若干个子系统,并确立子系统间的层级关系,进而将系统描述成一个树状结构模型;

(3) 以子系统作为一个对象,建立对象模型,按照层级关系,列出对象的名称、属性、方法、消息即操作;

(4) 标识对象之间的关系,建立事件关系列表,并分析对象内部行为及各对象之间的联系;

(5) 确定对象的初始标识,明确各对象的初始状态,并将表示对象实例的Token放入与对象初始状态相对应的库所中;

(6) 建立系统初始模型,在初步分析的基础上,通过使用OOPN的语法进行说明、表示,建立起初始的系统OOPN模型;

(7) 对初始模型进行优化,并与(2)、(3)、(4)构成一个迭代过程;

(8) 集成模型,确立整个系统的OOPN模型;

(9) 对模型进行分析并确定其完整性;

(10) 系统的详细设计,如果对(9)的结果满意,则可以对系统进行详细的设计,否则转到(2),循环后面的过程,直到得到正确、完整的模型。

4. 如权利要求1所述的燃煤电厂大气污染物排放仿真方法,其特征在于,计算出污染物的仿真排放量,将仿真排放量和在线监测的监测排放量进行对比,以此来验证在线监测数据的真伪,具体为:

根据仿真结果,通过量化关系以及质量守恒定律计算出污染物的仿真排放量,根据仿真排放量与监测排放量相对误差是否小于10%,判定验证在线监测数据是否真实。

5. 根据权利要求1所述的气污染物排放仿真方法,其特征在于,燃煤电厂BAT技术工艺流程模型包括:燃煤电厂总系统模型和锅炉系统模型、汽机系统模型、水循系统模型环、脱硝系统模型、电除尘系统模型、脱硫系统模型。

一种燃煤电厂大气污染物排放仿真方法

技术领域

[0001] 本发明属于环境保护技术领域,具体涉及一种基于面向对象Petri网的模拟仿真平台的燃煤电厂大气污染物排放仿真方法。

背景技术

[0002] 污染防治最佳可行技术(Best Available Technology,BAT)是减少生产过程中污染物排放的一种有效手段,是环境污防、污控工作的重要组成部分,是为了实现高水平环境保护而提出的可行且先进的污染防治工艺及技术。自欧盟执行委员会提出IPPC指令至今,欧盟已有能源、钢铁、有色、化工和造纸等27个行业的BAT参考文件(BREF)被相继颁布实施,此外6个跨行业的BREFs也提出了相应的BAT。我国BAT是从2007年颁布实施《国家环境技术管理体系建设规划》才开始起步的,而且一直以来发展都比较缓慢,并于2010年正式发布了《燃煤电厂污染防治最佳可行技术指南(试行)》。目前我国实行的大气污染物超低排放标准为颗粒物 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 、二氧化硫 $35\text{mg}/\text{m}^3$ 、氮氧化物 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 。

[0003] BAT属离散事件动态系统,污染物的产生排放属随机过程,Petri网是一种有严格的数学基础的可用图形表示的直观组合模型,易于理解,方便使用,具有较强的表达能力,因此Petri网非常适合应用BAT制定污染物排放限值中。但是当所要描述的系统较为复杂,用普通Petri网来表述时,对象之间动作函数关联矩阵的维数过大,状态空间便会很拥挤。

发明内容

[0004] 本发明提供一种基于面向对象Petri网的模拟仿真平台的燃煤电厂大气污染物排放仿真方法,可以为制定污染物排放限值提供有力的依据,并对验证企业监测数据的真伪有一定的参考意义。

[0005] 本发明的一种燃煤电厂大气污染物排放仿真方法,包括以下步骤:

[0006] 根据历史监控数据对燃煤电厂外排大气的各污染指标的浓度进行统计,得出污染指标的浓度范围,污染指标包括颗粒物、二氧化硫、氮氧化物;

[0007] 确定燃煤电厂BAT技术工艺流程中产生污染物的污染节点、净化措施及所需参数的范围;

[0008] 构建燃煤电厂BAT技术工艺流程模型,并进行多次仿真;

[0009] 根据仿真结果,进行数据计算及分析,得出经过处理后的各污染物浓度均值的置信区间,从而得到各污染物排放限值;

[0010] 计算出污染物的仿真排放量,将仿真排放量和在线监测的监测排放量进行对比,以此来验证在线监测数据的真伪。

[0011] 在本发明的燃煤电厂大气污染物排放仿真方法中,利用面向对象Petri网的仿真平台构建燃煤电厂BAT技术工艺流程模型。

[0012] 在本发明的燃煤电厂大气污染物排放仿真方法中,构建燃煤电厂BAT技术工艺流程模型包括如下步骤:

- [0013] (1) 确定所要建立模型的主要功能；
- [0014] (2) 建立层次模型，将所要建立模型的系统分成若干个子系统，并确立子系统间的层级关系，进而将系统描述成一个树状结构模型；
- [0015] (3) 以子系统作为一个对象，建立对象模型，按照层级关系，列出对象的名称、属性、方法、消息即操作；
- [0016] (4) 标识对象之间的关系，建立事件关系列表，并分析对象内部行为及各对象之间的联系；
- [0017] (5) 确定对象的初始标识，明确各对象的初始状态，并将表示对象实例的Token放入与对象初始状态相对应的库所中；
- [0018] (6) 建立系统初始模型，在初步分析的基础上，通过使用OOPN的语法进行说明、表示，建立起初始的系统OOPN模型；
- [0019] (7) 对初始模型进行优化，并与(2)、(3)、(4)构成一个迭代过程；
- [0020] (8) 集成模型，确立整个系统的OOPN模型；
- [0021] (9) 对模型进行分析并确定其完整性；
- [0022] (10) 系统的详细设计，如果对(9)的结果满意，则可以对系统进行详细的设计，否则转到(2)，循环后面的过程，直到得到正确、完整的模型。
- [0023] 在本发明的燃煤电厂大气污染物排放仿真方法中，计算出污染物的仿真排放量，将仿真排放量和在线监测的监测排放量进行对比，以此来验证在线监测数据的真伪，具体为：
- [0024] 根据仿真结果，通过量化关系以及质量守恒定律计算出污染物的仿真排放量，根据仿真排放量与监测排放量相对误差是否小于10%，判定验证在线监测数据是否真实。
- [0025] 在本发明的燃煤电厂大气污染物排放仿真方法中，燃煤电厂BAT技术工艺流程模型包括：燃煤电厂总系统模型和锅炉系统模型、汽机系统模型、水循系统模型环、脱硝系统模型、电除尘系统模型、脱硫系统模型。
- [0026] 本发明的仿真方法有益效果：本发明利用面向对象Petri网的仿真平台构建燃煤电厂BAT技术工艺流程模型，就是将BAT工艺与面向对象Petri理论结合在一起，即通过把工艺流程、化学反应原理、物料计算等结合起来。利用面向对象Petri网建立离散事件BAT制定污染物排放限值的仿真模型，将传统BAT制定污染物排放限值形式转换为对象Petri网形式，从而将流程图转换成Petri网图形、手工计算转换成计算机计算、自然语言转化成计算机语言。基于面向对象Petri网的仿真平台建立的典型燃煤电厂污染物外排模型，此模型可以为制定污染物排放限值提供有力的依据，并对验证企业监测数据的真伪有一定的参考意义。

附图说明

- [0027] 图1为本发明的燃煤电厂大气污染物排放仿真方法的流程图；
- [0028] 图2为本发明具体实施方式的燃煤电厂BAT生产工艺的OOPN模型；
- [0029] 图3为本发明具体实施方式的燃煤电厂锅炉子系统的OOPN模型；
- [0030] 图4为本发明具体实施方式的燃煤电厂汽机子系统的OOPN模型；
- [0031] 图5为本发明具体实施方式的燃煤电厂水循环子系统的OOPN模型；

- [0032] 图6为本发明具体实施方式的燃煤电厂脱硝子系统的OOPN模型；
- [0033] 图7为本发明具体实施方式的燃煤电厂电除尘子系统的OOPN模型；
- [0034] 图8为本发明具体实施方式的燃煤电厂脱硫子系统的OOPN模型；
- [0035] 图9为本发明具体实施方式的燃煤电厂BAT技术工艺的OOPN模型第一步仿真示意图；
- [0036] 图10为本发明具体实施方式的燃煤电厂BAT技术工艺的OOPN模型第二步仿真示意图；
- [0037] 图11为本发明具体实施方式的燃煤电厂BAT技术工艺的OOPN模型第三步仿真示意图；
- [0038] 图12为本发明具体实施方式的燃煤电厂BAT技术工艺的OOPN模型第四步仿真示意图；
- [0039] 图13为本发明具体实施方式的燃煤电厂BAT技术工艺的OOPN模型第五步仿真示意图；
- [0040] 图14为本发明具体实施方式的燃煤电厂BAT技术工艺的OOPN模型第六步仿真示意图；
- [0041] 图15为本发明具体实施方式的燃煤电厂BAT技术工艺的外排颗粒物最终浓度仿真结果；
- [0042] 图16为本发明具体实施方式的燃煤电厂BAT技术工艺的外排二氧化硫最终浓度仿真结果；
- [0043] 图17为本发明具体实施方式的燃煤电厂BAT技术工艺的外排氮氧化物最终浓度仿真结果；
- [0044] 图18为本发明具体实施方式的燃煤电厂BAT技术工艺中生成的石膏理论值仿真结果；
- [0045] 图19为本发明具体实施方式的燃煤电厂BAT技术工艺中生成的石膏理论值与实际值对比图。

具体实施方式

- [0046] 下面结合附图对本发明的具体实施方式做详细说明。
- [0047] OPMSE是由国防科技大学信息系统与管理学院研制的基于面向对象Petri网的模拟仿真平台。本发明燃煤电厂大气污染物排放仿真方法中采用OPMSE仿真平台建立燃煤电厂BAT技术工艺流程模型，就是将BAT工艺与面向对象Petri理论结合在一起(Best Available Technology Object-Oriented Petri Net,BAT-OOPN)，即通过把工艺流程、化学反应原理、物料计算等结合起来，利用面向对象Petri网建立离散事件BAT制定污染物排放限值的仿真模型，将传统BAT制定污染物排放限值形式转换为对象Petri网形式，从而将流程图转换成Petri网图形、手工计算转换成计算机计算、自然语言转化成计算机语言，基于OPMSE仿真平台建立的典型燃煤电厂污染物外排模型，此模型可以为制定污染物排放限值提供有力的依据，并对验证企业监测数据的真伪有一定的参考意义。
- [0048] 对象Petri网的优势在于可以将系统模块化，可以应用软件进行动态建模。OPMSE就是由国防科技大学信息系统与管理学院研制的基于对象Petri网的仿真软件。它主要包

含以下四个部分：

[0049] (1) 对象Petri网模型编辑器：基于OPDL语言以图示化的方式建立Petri网类模型，支持语法修改和检查，是人机交互的主要界面。

[0050] (2) 对象Petri网模型运行器：基于编译后的Petri网模型开展仿真工作，观察模型的运行流程，采集仿真数据，控制仿真运行的进程。

[0051] (3) 组件化Petri网仿真环境：将对象Petri网模型封装为组件化的仿真模型，对子模型的动态创建和接口动态的设置。

[0052] (4) 组件化仿真模型管理器：统一管理组件化仿真模型。

[0053] 本实施方式采用OPMSE仿真平台构建典型燃煤电厂BAT生产工艺的OOPN模型并对其进行模拟仿真。如图1为本发明的燃煤电厂大气污染物排放仿真方法的流程图。本发明的燃煤电厂大气污染物排放仿真方法，包括以下步骤：

[0054] 根据历史监控数据对燃煤电厂外排大气的各污染指标的浓度进行统计，得出污染指标的浓度范围，污染指标包括颗粒物、二氧化硫、氮氧化物；

[0055] 同时进行现场调研确定典型燃煤电厂BAT技术工艺流程，确定BAT燃煤电厂技术工艺流程中产生污染物的污染节点、净化措施及所需参数的范围；

[0056] 构建燃煤电厂BAT技术工艺流程模型，并进行多次仿真；

[0057] 根据仿真结果，进行数据计算及分析，得出经过处理后的各污染物浓度均值的置信区间，从而得到各污染物排放限值；

[0058] 计算出污染物的仿真排放量，将仿真排放量和在线监测的监测排放量进行对比，以此来验证在线监测数据的真伪。具体为：根据仿真结果，通过量化关系以及质量守恒定律计算出污染物的仿真排放量，根据仿真排放量与监测排放量相对误差是否小于10%，判定验证在线监测数据是否真实。

[0059] 构建燃煤电厂BAT技术工艺流程模型包括如下步骤：

[0060] (1) 确定所要建立模型的主要功能；

[0061] (2) 建立层次模型，将所要建立模型的系统分成若干个子系统，并确立子系统间的层级关系，进而将系统描述成一个树状结构模型；

[0062] (3) 以子系统作为一个对象，建立对象模型，按照层级关系，列出对象的名称、属性、方法、消息即操作；

[0063] (4) 标识对象之间的关系，建立事件关系列表，并分析对象内部行为及各对象之间的联系；

[0064] (5) 确定对象的初始标识，明确各对象的初始状态，并将表示对象实例的Token放入与对象初始状态相对应的库所中；

[0065] (6) 建立系统初始模型，在初步分析的基础上，通过使用OOPN的语法进行说明、表示，建立起初始的系统OOPN模型；

[0066] (7) 对初始模型进行优化，并与(2)、(3)、(4)构成一个迭代过程；

[0067] (8) 集成模型，确立整个系统的OOPN模型；

[0068] (9) 对模型进行分析并确定其完整性；

[0069] (10) 系统的详细设计，如果对(9)的结果满意，则可以对系统进行详细的设计，否则转到(2)，循环后面的过程，直到得到正确、完整的模型。

[0070] 燃煤电厂BAT技术工艺流程模型包括：燃煤电厂总系统模型和锅炉系统模型、汽机系统模型、水循环系统模型、脱硝系统模型、电除尘系统模型、脱硫系统模型。以每个系统作为一个对象，建立对象模型，按照层级关系，列出对象的名称、属性、方法、消息即操作。下面介绍一下燃煤电厂总系统OOPN模型以及锅炉子系统的OOPN模型、汽机系统的OOPN模型、水循环系统的OOPN模型、脱硝系统的OOPN模型、电除尘系统的OOPN模型、脱硫系统的OOPN模型的建立过程。

[0071] 如图2所示，典型燃煤电厂基本BAT技术工艺流程为：煤粉经传送带运输至磨煤机磨成煤粉，煤粉为子系统输入端口，煤粉在锅炉里燃烧产生烟气和热量，烟气经过脱硝、除尘、脱硫经烟囱排入大气，通过热交换加热水产生蒸汽使汽轮机做功。在总系统中，P1,P2,P3,P4,P5,P6分别表示煤(初始进煤量)、煤(经过传送带传输进入磨煤机的量)、灰尘(电除尘系统运输至储灰场的灰尘量)、发电量(发电机的实际发电量)、烟气(烟囱排放的烟气量)、石膏(脱硫系统运输至石膏间的石膏量)，并包含一个输入端口和一个输出端口，分别表示为蒸汽(进入发电机的蒸汽量)、煤粉(从磨煤机传输锅炉的煤粉量)；其中T0,T1,T2,T3,T4,T5,T6分别表示为煤的运输(从煤厂运到给煤机)、煤的运输(从给煤机运到磨煤机)、煤的研磨(磨煤机里磨成煤粉)、灰尘的转移(从电除尘器到储灰场)、烟气的转移(脱硫系统到烟囱)、石膏的运输(脱硫过程产生的石膏运至石膏储存间)、蒸汽做功。

[0072] 如图3所示，典型燃煤电厂锅炉子系统中，P1,P2,P3分别代表空气(二次风机送风量)、热能(煤粉在锅炉中燃烧产生的热量)、蒸汽(冷却水加热产生的蒸汽量)，并包含两个输入端口和两个输出端口，分别表示为煤粉(进入锅炉的煤粉量)、水(冷却水量)、烟气(煤粉在锅炉中燃烧产生的烟气量)、蒸汽(运送到汽机的蒸汽量)；其中G1,G2,G3,G4分别表示为煤粉与空气混合、煤粉燃烧、冷却水加热、水蒸气的运输。

[0073] 如图4所示，典型燃煤电厂汽机子系统中，P1,P2,P3,P4,P5分别代表蒸汽(进入高压缸的蒸气量)、蒸汽(进入中压缸的蒸气量)、蒸汽(进入低压缸的蒸气量)、蒸汽(进入凝汽器的蒸气量)、蒸汽(进入除氧器的蒸气量)，并包含一个输入端口和两个输出端口，分别表示为蒸汽(进入汽机的蒸气量)、水(凝结的水量)、发电负荷；其中Q1,Q2,Q3,Q4,Q5,Q6,Q7分别表示为做功(蒸汽在高压缸做功)、做功(蒸汽在中压缸做功)、做功(蒸汽在低压缸做功)、低温加压、冷凝(在凝汽器中冷凝)、高温加压、做功。

[0074] 如图5所示，典型燃煤电厂水循环系统中，P1,P2分别表示水(进入给水泵的水量)、水(进入省煤器的水量)，并包含一个输入端口和一个输出端口，分别表示为水、水(进入锅炉的水量)；其中W1,W2,W3分别表示为水运输至给水泵、水从给水泵运送至省煤器、水从省煤器运送至锅炉。

[0075] 如图6所示，典型燃煤电厂脱硝子系统中，P1,P2,P3,P4,P5,P6分别表示液氨(进入脱硝系统的液氨量)、液氨(进入液氨蒸发器的液氨量)、液氨(进入液氨缓冲器的液氨量)、空气(通入的空气量)、氨气和空气混合气(进入SCR反应器的混合气量)、烟气(进入SCR反应器的烟气量)，并包含一个输出端口表示为烟气(待除尘烟气量)；其中N1,N2,N3,N4分别表示为液氨运输(运至液氨蒸发器)、液氨运输(液氨蒸发器运至液氨缓冲器)、液氨转变为氨气、SCR反应。

[0076] 如图7所示，典型燃煤电厂电除尘子系统中，包含一个输入端口、两个输出端口，分别表示烟气(进入电除尘器的烟气量)、烟气(进入吸收塔的烟气量)、灰尘(电除尘器拍打下

的灰尘量)；其中C1表示电除尘。

[0077] 如图8所示，典型燃煤电厂脱硫子系统中，P1，P2分别表示为石灰浆液、空气(鼓入吸收塔的空气量)，并包含一个输入端口和两个输出端口，分别表示为烟气(进入吸收塔的烟气量)、烟气(吸收塔处理后的烟气量)、石膏；其中S1、S2、S3分别表示石灰石研磨成石灰粉、混合成石灰浆、吸收SO₂反应氧化反应。

[0078] 由于实际过程中污染物产生量、处理效率不是一个确定的值，因此将煤粉燃烧产生的烟气量、脱硝效率、电除尘效率、脱硫效率在OPMSE设置为具有一定范围的随机数，使计算出的结果更具有准确性和科学性。

[0079] 如图9所示，采用OPMSE模拟仿真平台构建的燃煤电厂BAT技术工艺的OOPN模型单步仿真过程step1，过程描述：输送煤粉至磨煤机。

[0080] 如图10所示，采用OPMSE模拟仿真平台构建的燃煤电厂BAT技术工艺的OOPN模型单步仿真过程step2，过程描述：磨煤机产生煤粉。

[0081] 如图11所示，采用OPMSE模拟仿真平台构建的燃煤电厂BAT技术工艺的OOPN模型单步仿真过程step3，过程描述：煤粉经一次风机吹入锅炉，二次风机吹入助燃风，此机组采用低氮燃烧技术80%的煤粉在锅炉主燃区燃烧，20%的煤粉在锅炉再燃区燃烧。

[0082] 如图12所示，采用OPMSE模拟仿真平台构建的燃煤电厂BAT技术工艺的OOPN模型单步仿真过程step4，过程描述：产生的烟气进入脱硝系统脱硝，采用SCR技术。

[0083] 如图13所示，采用OPMSE模拟仿真平台构建的燃煤电厂BAT技术工艺的OOPN模型单步仿真过程step5，过程描述：脱硝后的烟气进入电除尘系统，采用三级除尘技术。

[0084] 如图14所示，采用OPMSE模拟仿真平台构建的燃煤电厂BAT技术工艺的OOPN模型单步仿真过程step6，过程描述：除尘之后的烟气进入脱硫系统，采用石灰石—石膏湿法烟气脱硫技术，有副产物石膏产生，脱硫后的烟气经烟囱排入大气。

[0085] 典型燃煤电厂BAT技术工艺模拟仿真结果分析：通过对绥中电厂3#发电机组分析研究，对基于OPMSE的典型燃煤电厂BAT技术工艺进行了模拟仿真，且通过模拟仿真得到了最终排放的颗粒物浓度、二氧化硫浓度、氮氧化物浓度。图15、图16、图17分别给出了典型燃煤电厂BAT技术工艺的外排颗粒物最终浓度仿真结果、典型燃煤电厂BAT技术工艺的外排二氧化硫最终浓度仿真结果、典型燃煤电厂BAT技术工艺的外排氮氧化物最终浓度仿真结果。

[0086] 模拟仿真100次以后，对得到结果的均值、标准差、最大值以及最小值进行统计，表1给出了上述所有项。表1为典型燃煤电厂BAT仿真数据分析表。

[0087]

指标	仿真次数	均值/mg/m ³	标准差/mg/m ³	最大值/mg/m ³	最小值/mg/m ³
[0088]					
颗粒物	100	4.5	1.6	7.5	1.7
二氧化硫	100	12.5	6.3	31.0	2.0
氮氧化物	100	37.0	7.5	47.9	19.8

[0089] 根据上表1的数值,得出颗粒物、二氧化硫、氮氧化物浓度在用正态分布统计时不同置信水平下的置信区间,如下表2所示:表2为典型燃煤电厂BAT污染物排放质量浓度置信区间。

[0090]

置信水平	90%/mg/m ³	95%/mg/m ³	99%/mg/m ³
颗粒物	(4.2, 4.7)	(4.1, 4.8)	(4.0, 4.9)
二氧化硫	(11.5, 13.6)	(11.3, 13.8)	(10.9, 14.2)
氮氧化物	(35.8, 38.3)	(35.6, 38.6)	(35.1, 39.1)

[0091] 从上表2可以看出,绥电BAT对该厂的污染物去除的总体效果还是较好的,大气污染物排放满足国家环保部与国家能源局联合印发《关于做好煤电机组达到燃机排放水平环保改造示范项目评估监测工作的通知》(环办[2015]60号),要求机组实施改造后,在基准氧含量为6%的条件下,颗粒物、二氧化硫、氮氧化物(含一氧化氮、二氧化氮)排放浓度分别不高于10mg/m³、35mg/m³、50mg/m³。表1仿真结果中的最小值指出了处理效率达到最大化时所能达到的效果,即通过人为提高净化效率之后,所能达到的排放效果。建议所有燃煤电厂在采用该BAT基础上,提高各处理工段的工作效率,达到更好的污染物减排效果和最低的排放浓度。下表3给出了理想状况下最佳和最差的排放浓度。表3典型燃煤电厂外排污污染物BAT净化处理后最佳及最差排放浓度。

[0092]

污染指标	颗粒物/ mg/m ³	二氧化硫/ mg/m ³	氮氧化物/ mg/m ³
最佳质量浓度	1.7	2.0	19.8
最差质量浓度	7.5	31.0	47.9

[0093] 历史监测数据、现场实测数据均在99%置信区间范围内,根据仿真结果的置信区间、历史监测数据、现场实测数据以及现有的标准进行对比,得出下表4。表4结果与现有排放限值的对比。

[0094]

污染指标	颗粒物/ mg/m ³	二氧化硫/ mg/m ³	氮氧化物/ mg/m ³
99%置信区间	(4.0, 4.9)	(10.9, 14.2)	(35.1, 39.1)
历史监测数据	(4.1, 4.7)	(11.2, 13.7)	(36.2, 38.1)
现场实测数据	(4.3, 4.8)	(11.8, 14.0)	(36.6, 38.9)
直接排放标准	10	35	50

[0095] 从表4中可以看出历史检测数据与现场实测数据以及仿真结果在99%置信区间内的数据对比发现,在颗粒物、二氧化硫、氮氧化物排放限值三个方面均在允许误差范围内,且远低于现行排放标准,综合考虑到测量方法产生的系统误差、燃煤电厂降低污染物技术的改进及限制,初步拟定基于BAT的燃煤电厂污染物排放限值一份,结果见表5。表5基于BAT的燃煤电厂污染物排放限值。

[0096]

污染指标	颗粒物/ mg/m ³	二氧化硫/ mg/m ³	氮氧化物/ mg/m ³
排放限值	5.0	15	40

[0097] 经过文献查询及现场调研,对典型燃煤电厂产生污染物的各个指标浓度包括颗粒物、二氧化硫、氮氧化物进行统计,得出外排污染物的浓度值范围。进而通过OPMSE的仿真计算,得出BAT处理典型燃煤电厂污染物排放浓度正态分布均值在90%、95%、99%置信水平下的置信区间。在置信水平为99%时,颗粒物的置信区间为(4.0,4.9),二氧化硫的置信区间为(10.9,14.2),氮氧化物的置信区间为(35.1,39.1)。然后将仿真结果与现有排放标准对比,并据此对典型燃煤电厂的污染物排放限值进行研究,拟定燃煤电厂的外排污染物直接排放限值,证实了将Petri网技术用于典型污染行业水污染物的防治研究具有一定的可行性。

[0098] 电厂煤电机组脱硫部分采用的是全烟气石灰石-石膏湿法脱硫装置,其原理为石灰石粉制成浆液作为脱硫吸收剂,与经降温后进入吸收塔的烟气接触混合,烟气中的二氧化硫与浆液中的碳酸钙以及加入的氧化空气进行化学反应,最后会生成副产物石膏。故选取烟气在脱硫系统的一系列反应过程作为入手点,通过计算生成石膏量推算出理论脱硫量后与实际数据进行对比分析,从而判断出企业数据是否真实。

[0099] 如图18所示,为经过100次仿真后的石膏理论值。如图19所示,为石膏理论值与实际值进行比对。对100次仿真模拟的均值,标准差,方差,最大值以及最小值进行了统计,如表6所示。表6脱硫系统石膏产量数据分析表。

指标	仿真次数	均值	标准差	方差	最大值	最小值
[0100]	石膏理论值	100	7.615	1.313	1.716	9.7
	石膏实际值	100	7.627	1.253	1.549	9.7

[0101] 对100次仿真的理论值与实际值之间误差做出了分析,结果见表7:表7脱硫系统石膏产量理论值与实际值对比的误差分析。

指标	仿真次数	最大值	最小值	平均值
[0102]	误差	100	14%	1.4% 3.8%

[0103] 从表6、表7中可以看出,经过多次仿真,石膏理论值与实际值最大误差为14%,最小误差仅为1.4%,平均误差为3.8%,属于可结束范围之内,可以初步判定监测数据的真实性。

[0104] 本实施以绥中电厂3#发电机组作为研究范例,通过OPMSE模拟仿真平台对典型燃煤电厂BAT进行模拟仿真,对其BAT削减能力进行了仿真计算,并得出了以下结论:

[0105] (1)对BAT削减能力的仿真计算得出了典型燃煤电厂外排污染物经过BAT技术处理之后颗粒物、二氧化硫、氮氧化物的浓度正态分布,均值在不同置信水平下的置信区间,在置信水平为99%时,典型燃煤电厂排放的颗粒物置信区间为(4.0,4.9),二氧化硫的置信区间为(10.9,14.2),氮氧化物的置信区间为(35.1,39.1)。

[0106] (2)经过仿真可以得到典型燃煤电厂外排污染物经过BAT技术处理之后的最佳浓度和最差浓度,最佳浓度分别为颗粒物 $1.7\text{mg}/\text{m}^3$ 、二氧化硫 $2.0\text{mg}/\text{m}^3$ 、氮氧化物 $19.8\text{mg}/\text{m}^3$;最差浓度分别为颗粒物 $7.5\text{mg}/\text{m}^3$ 、二氧化硫 $31.0\text{mg}/\text{m}^3$ 、氮氧化物 $47.9\text{mg}/\text{m}^3$ 。最佳污染物排放的各指标浓度可以为污染物削减潜力和企业减排的空间给出指导意义,而最差排放浓度也可以为污染源预警提供指导。

[0107] (3)仿真结果表明,典型燃煤电厂BAT技术处理工艺对该厂的污染物去除的总体效果还是较好的。根据仿真结果并结合现有的排放标准,在综合考虑到测量方法产生的系统误差、燃煤电厂降低污染物技术的改进及限制,初步拟定基于BAT技术的燃煤电厂污染物排放限值:颗粒物、二氧化硫、氮氧化物分别为 $5.0\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $15\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $40\text{mg}/\text{m}^3$ 。

[0108] (4)仿真结果表明,通过石膏副产物的理论值与实际的比对可以对企业在线监测数据的真伪进行验证,以此为依据,防止企业在日常监测数据上造假,可以有效的禁止偷排、乱排等现象,从而有效监管企业污染物的排放,也为环保部门的监督、监察提供了真实、可靠、有效的数据。

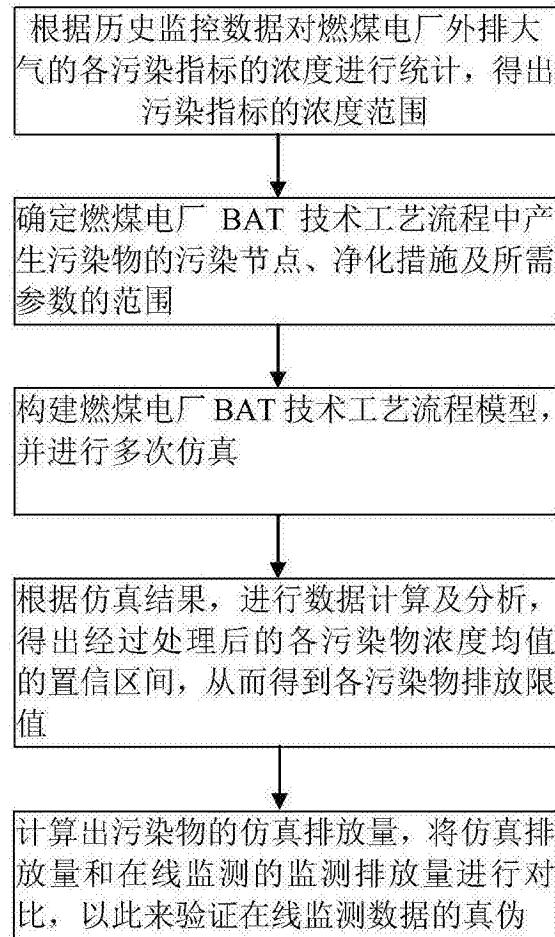


图1

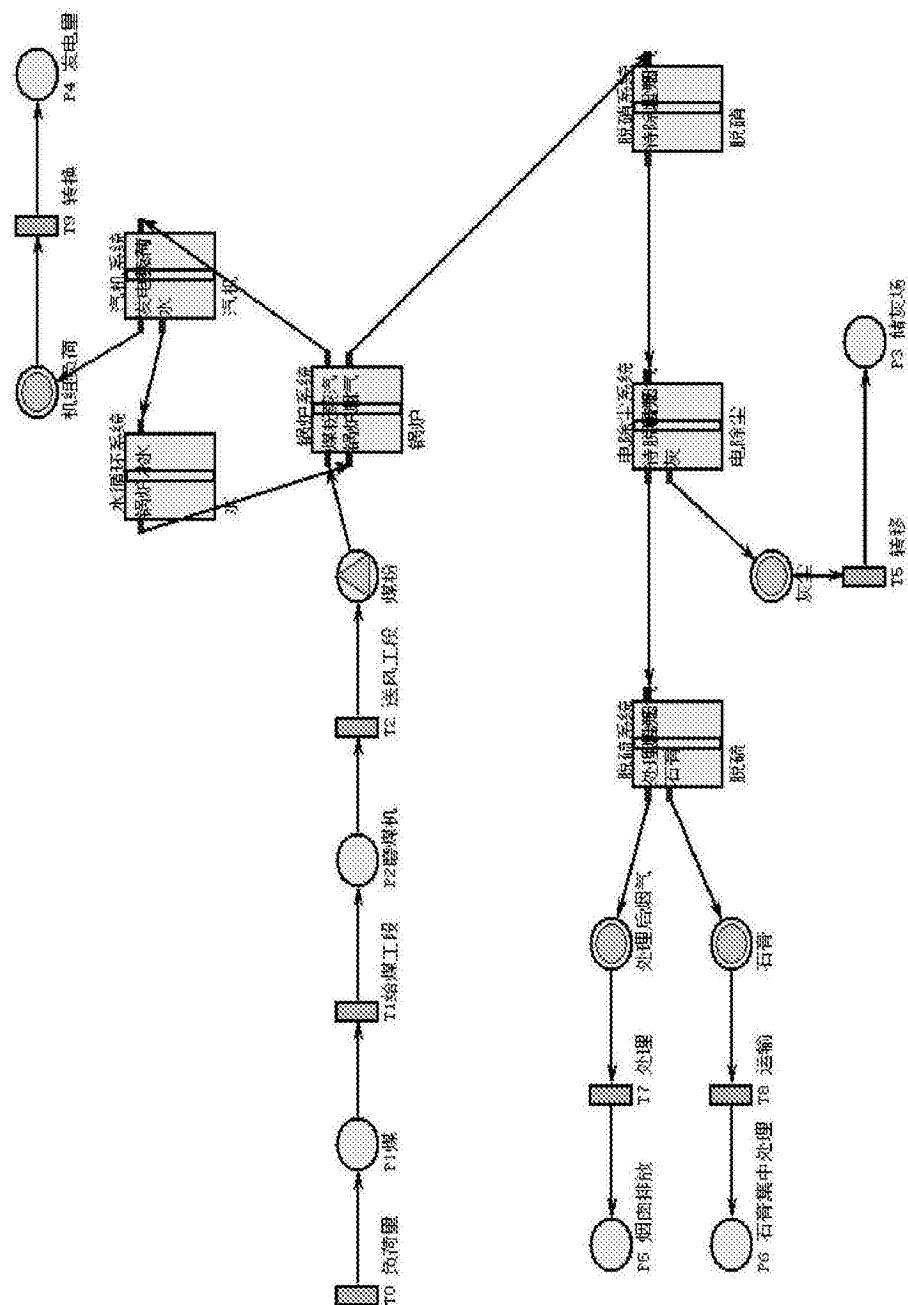


图2

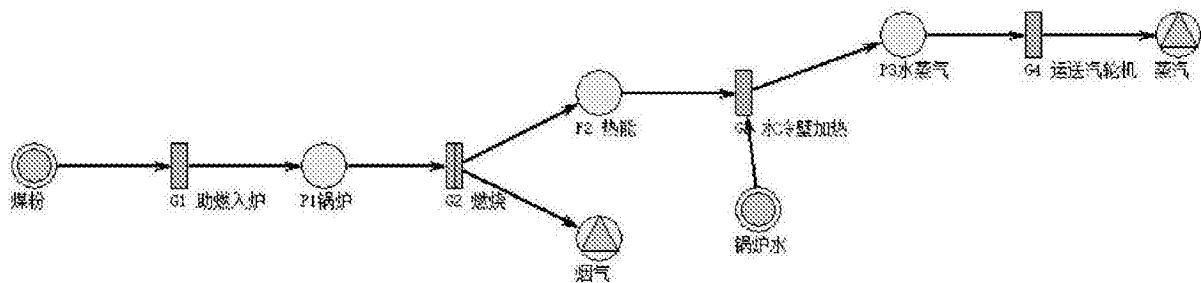


图3

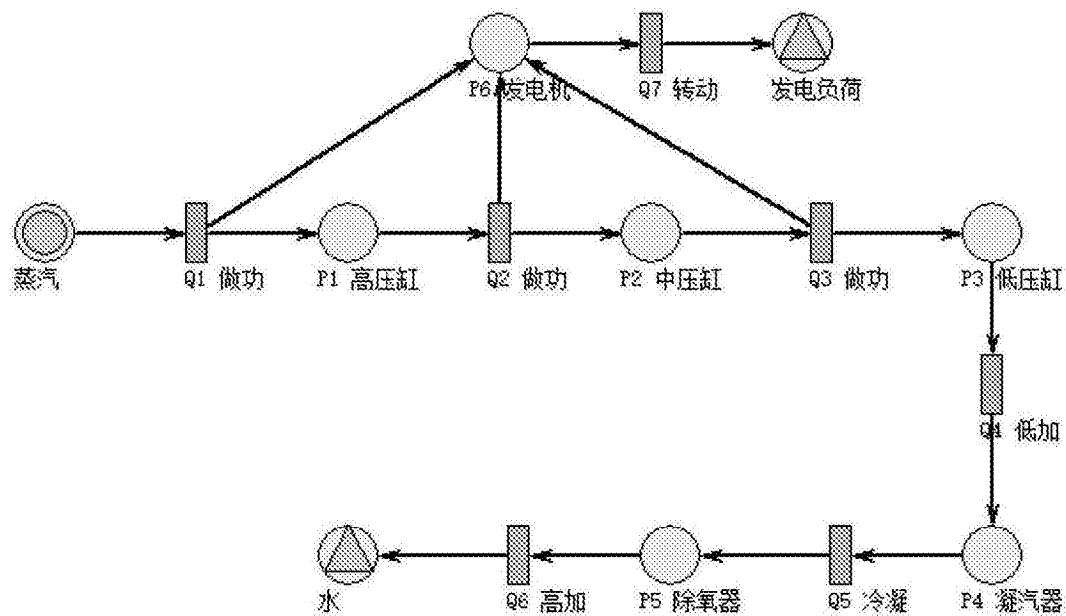


图4

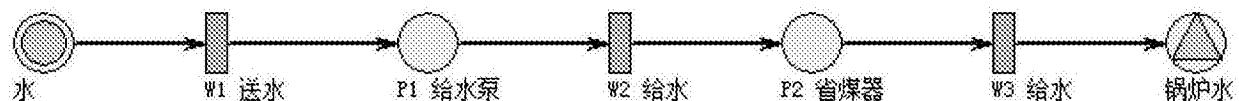


图5



图6

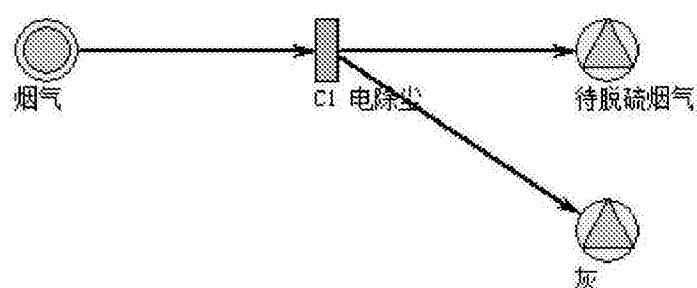


图7

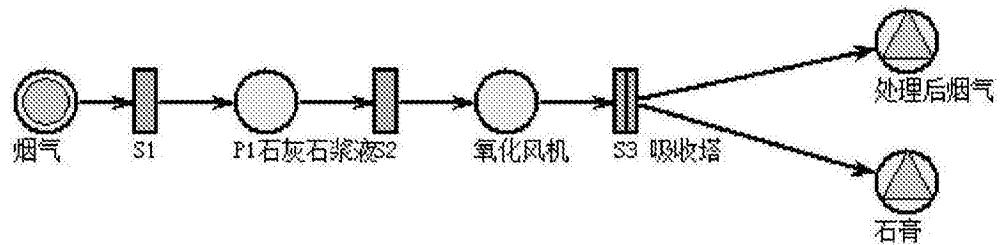


图8

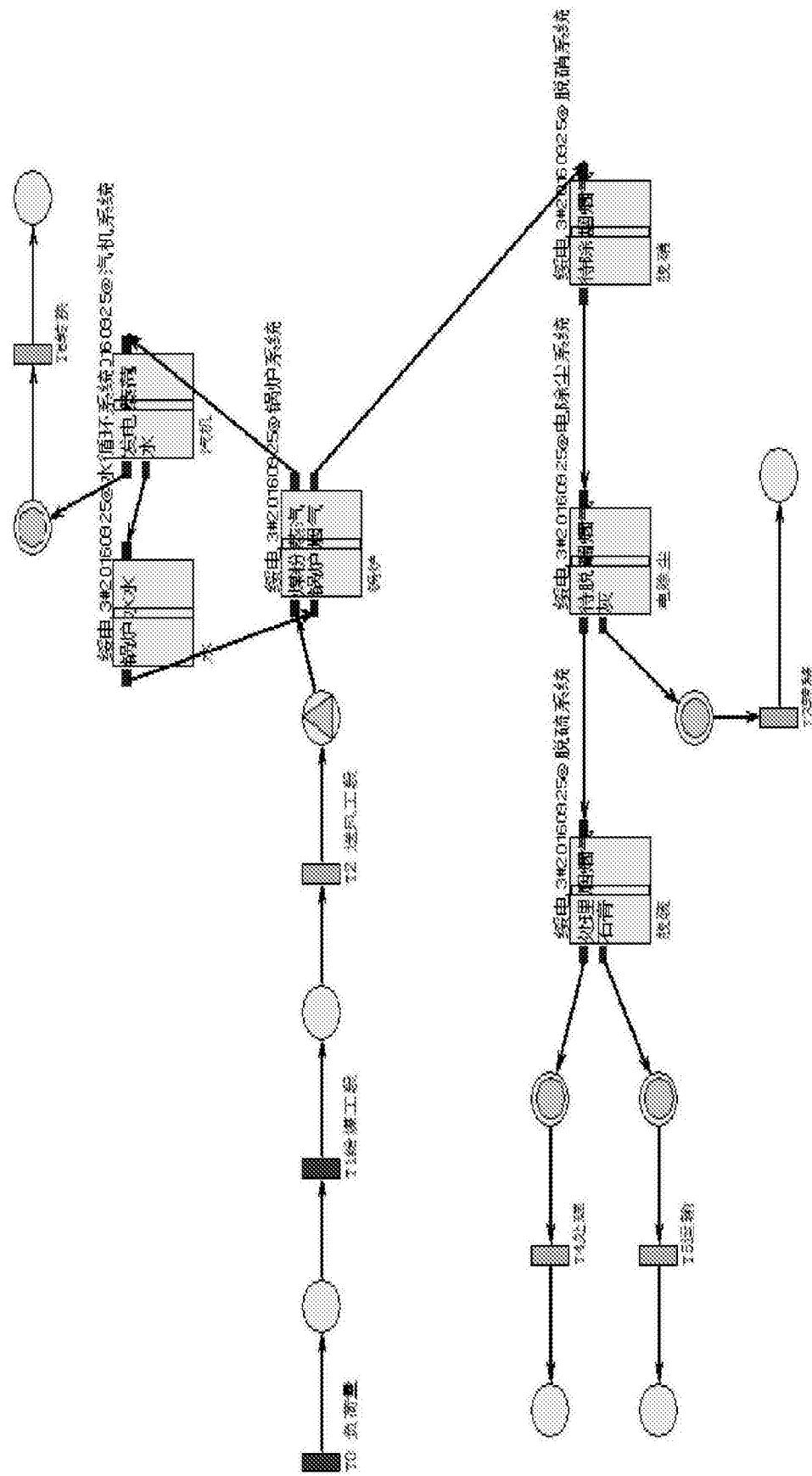


图9

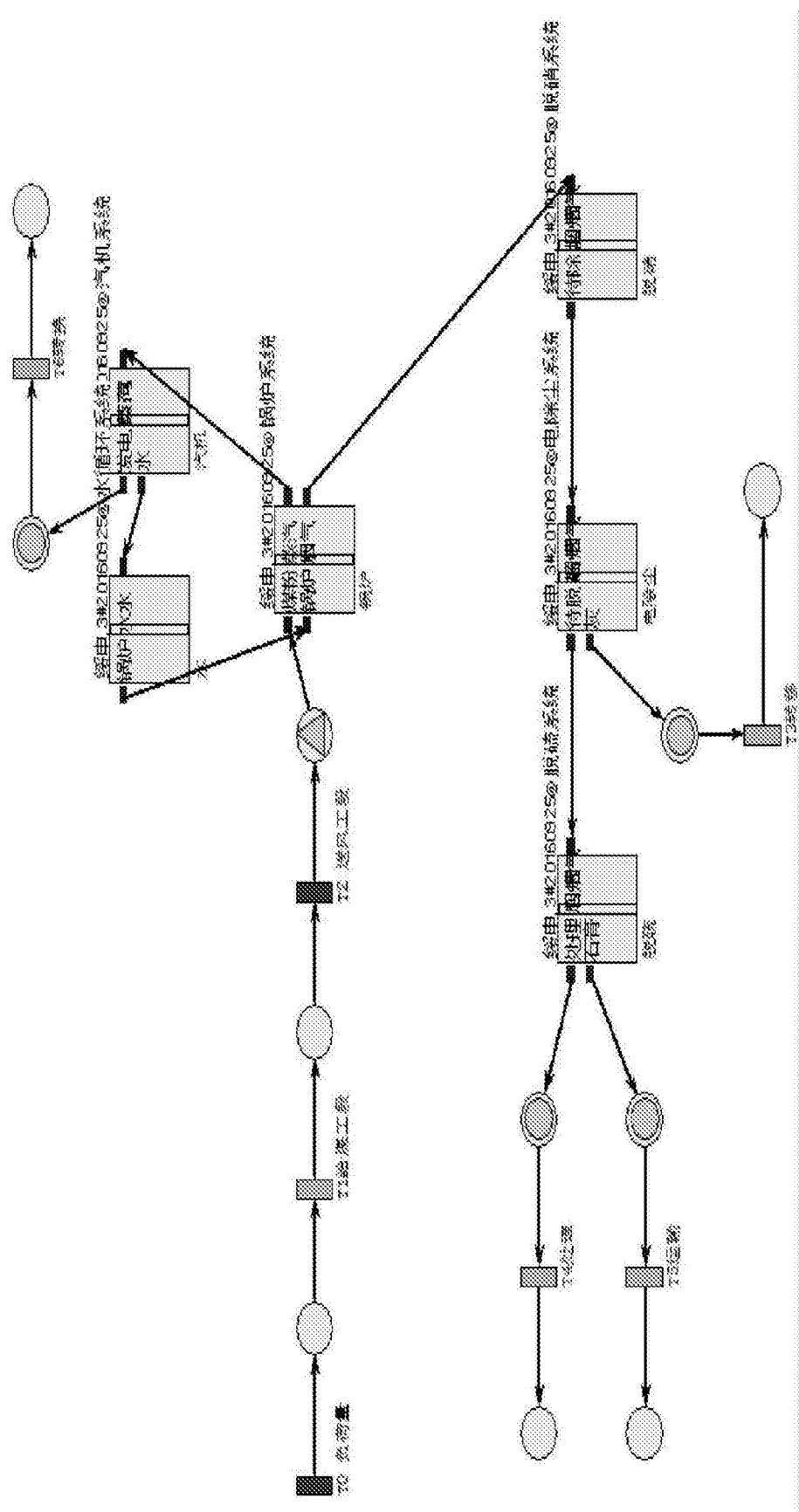


图10

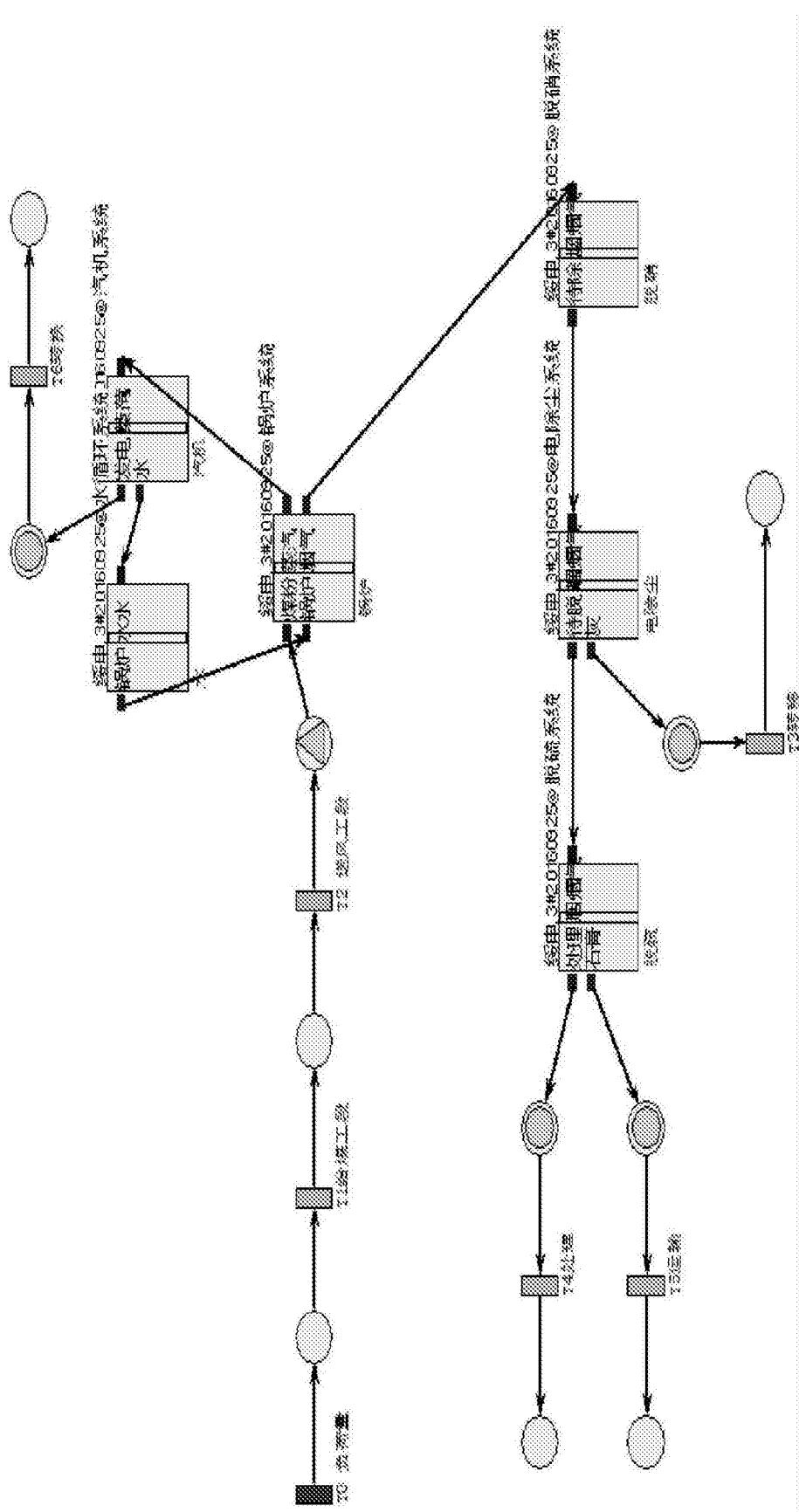


图11

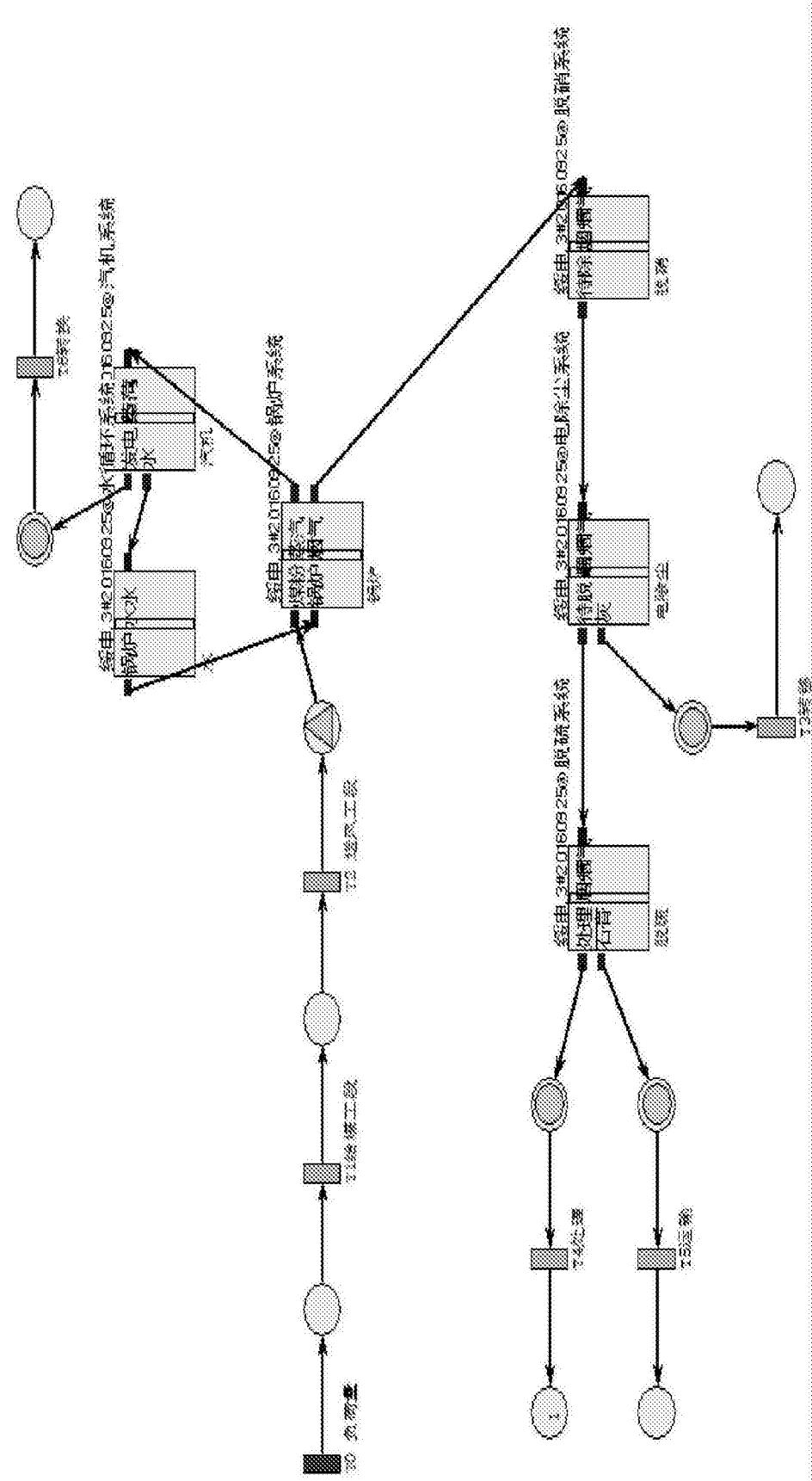


图12

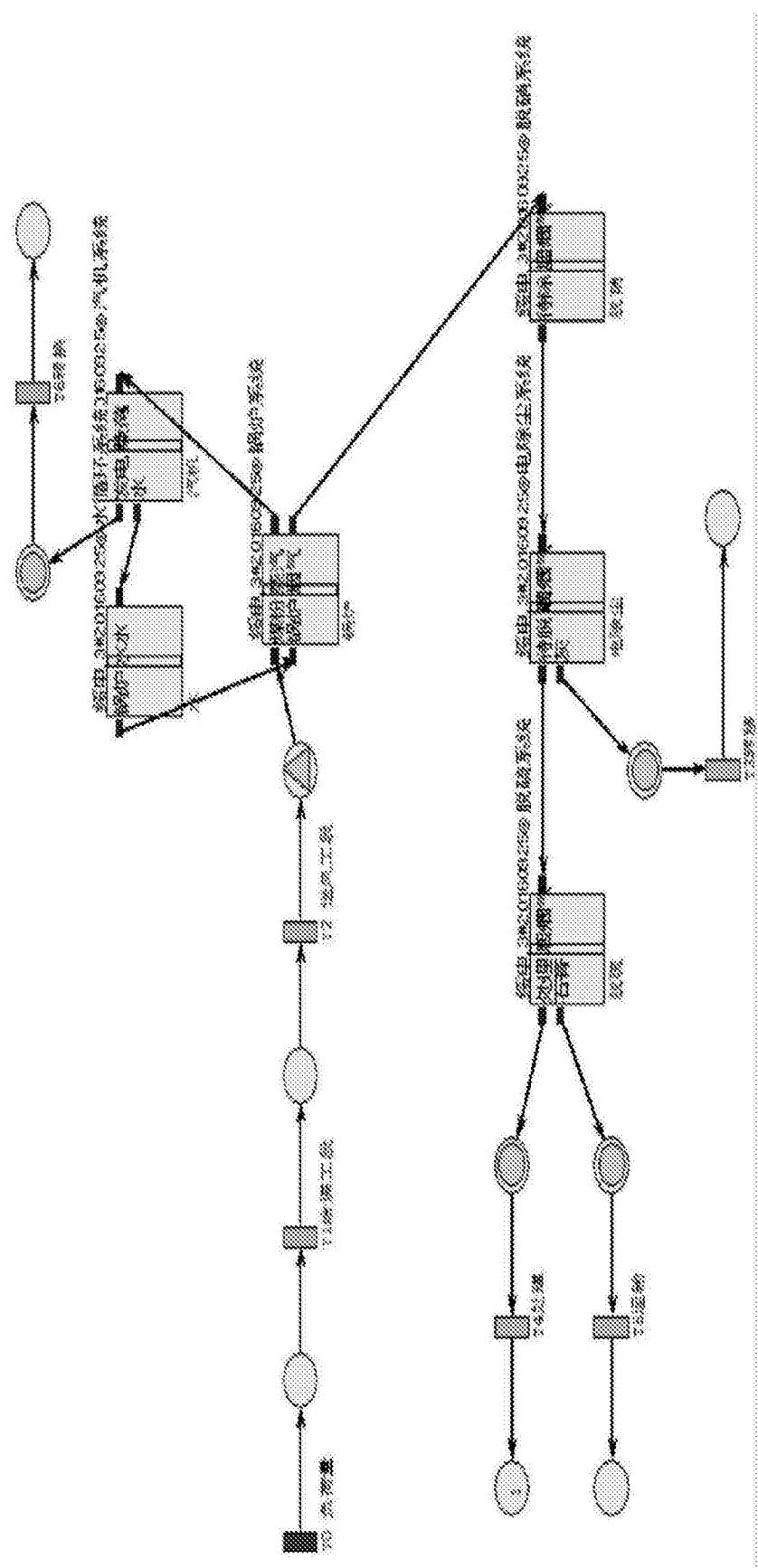


图13

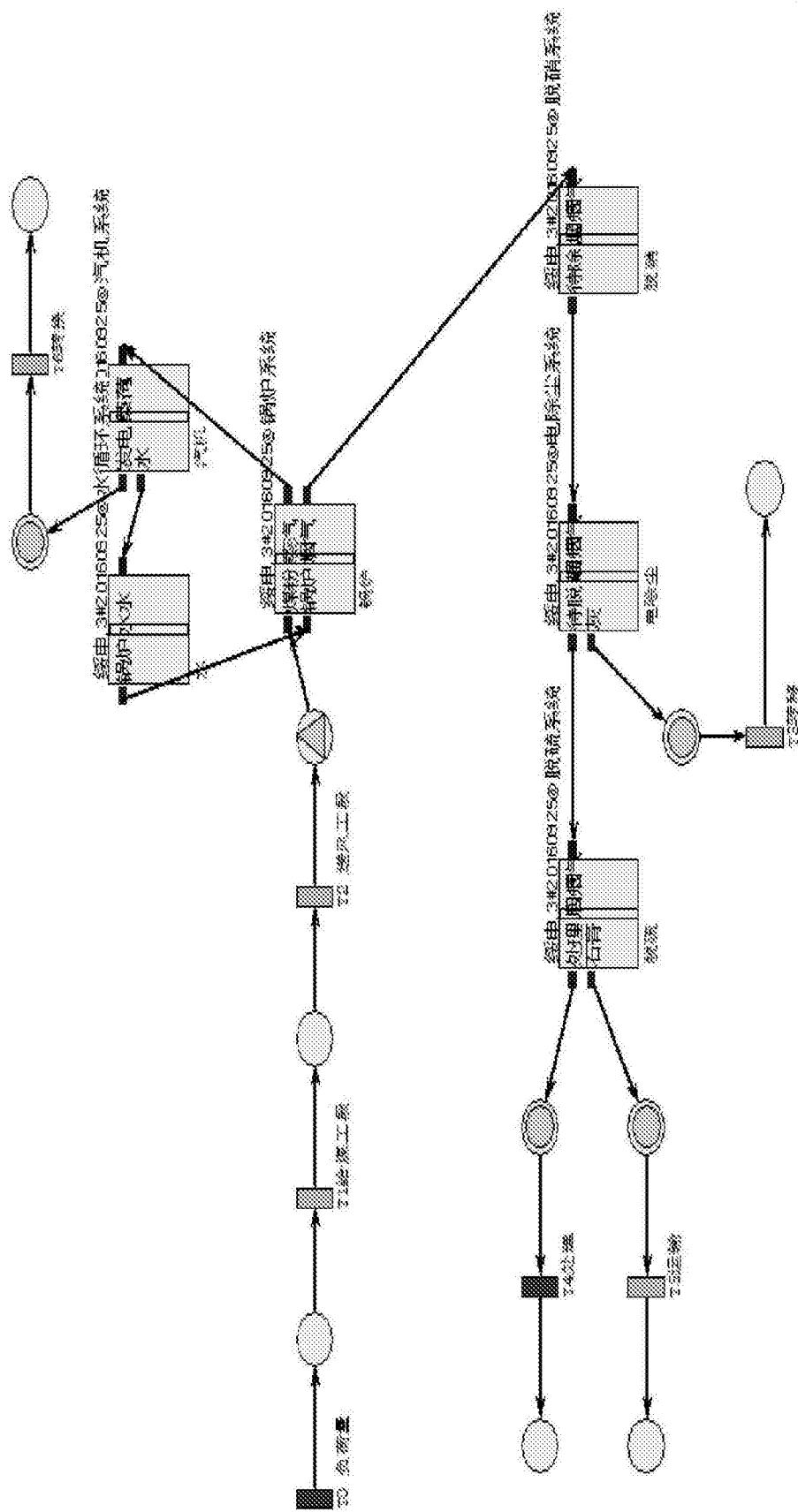


图14

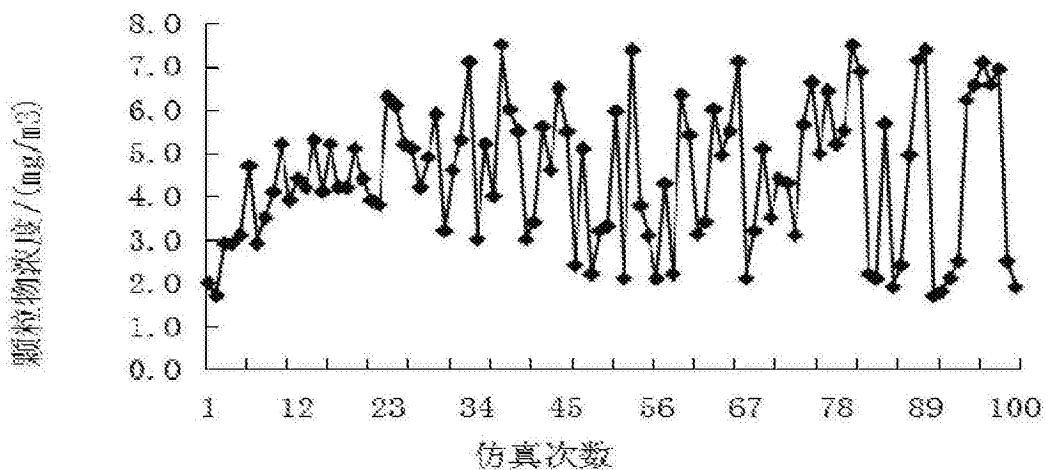


图15

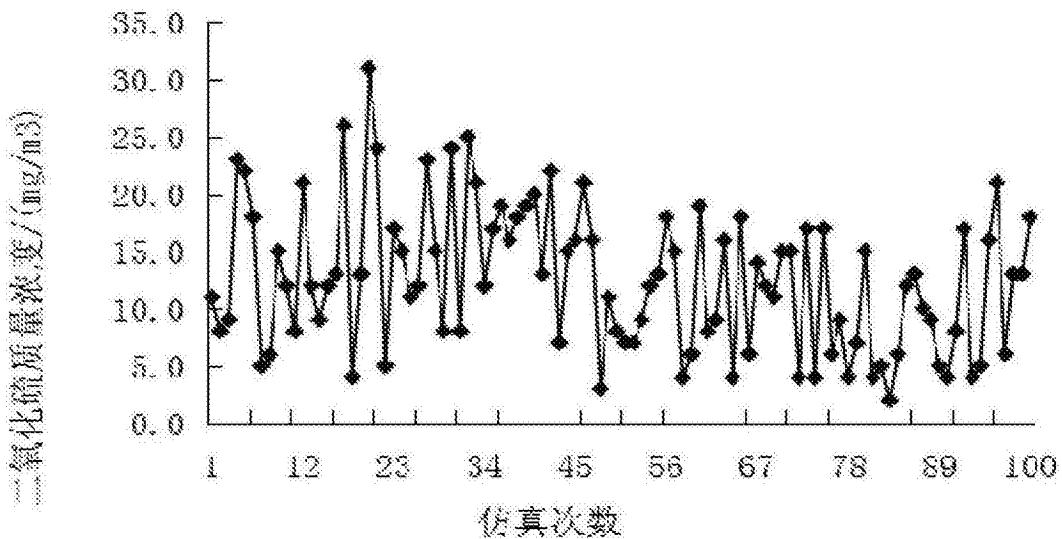


图16

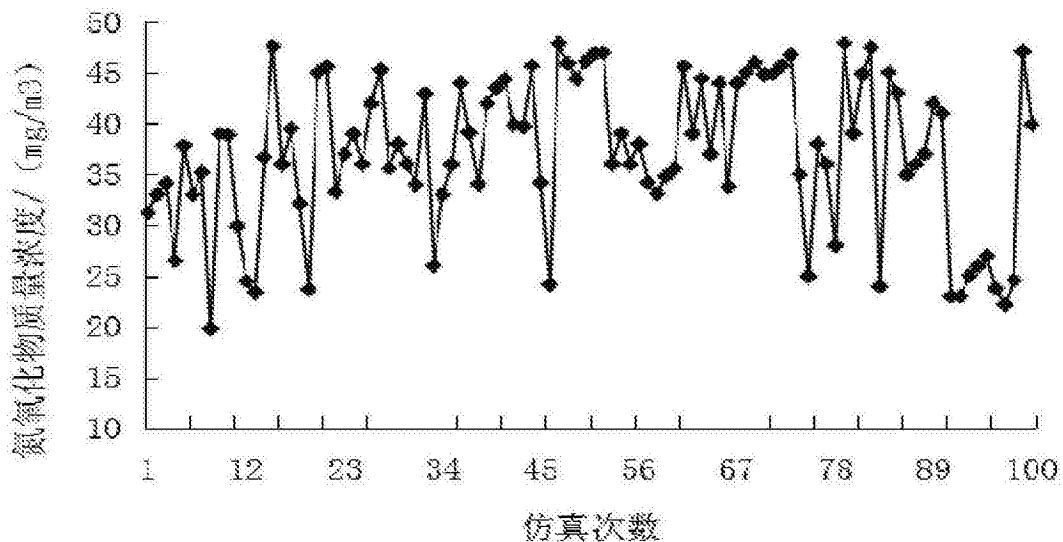


图17

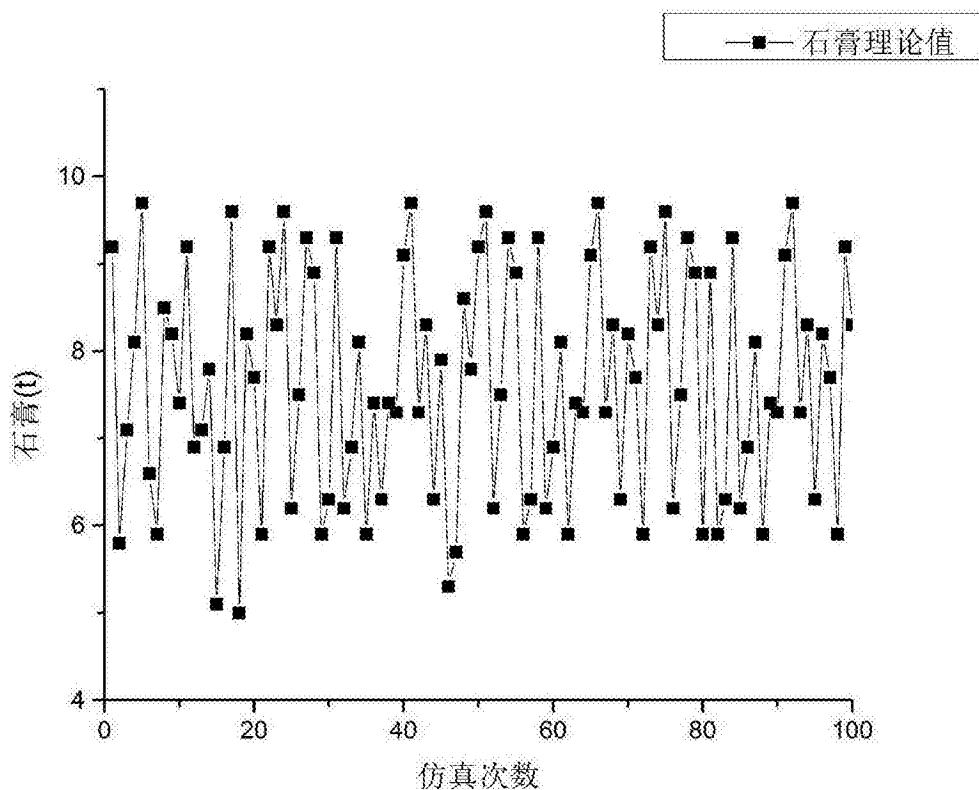


图18

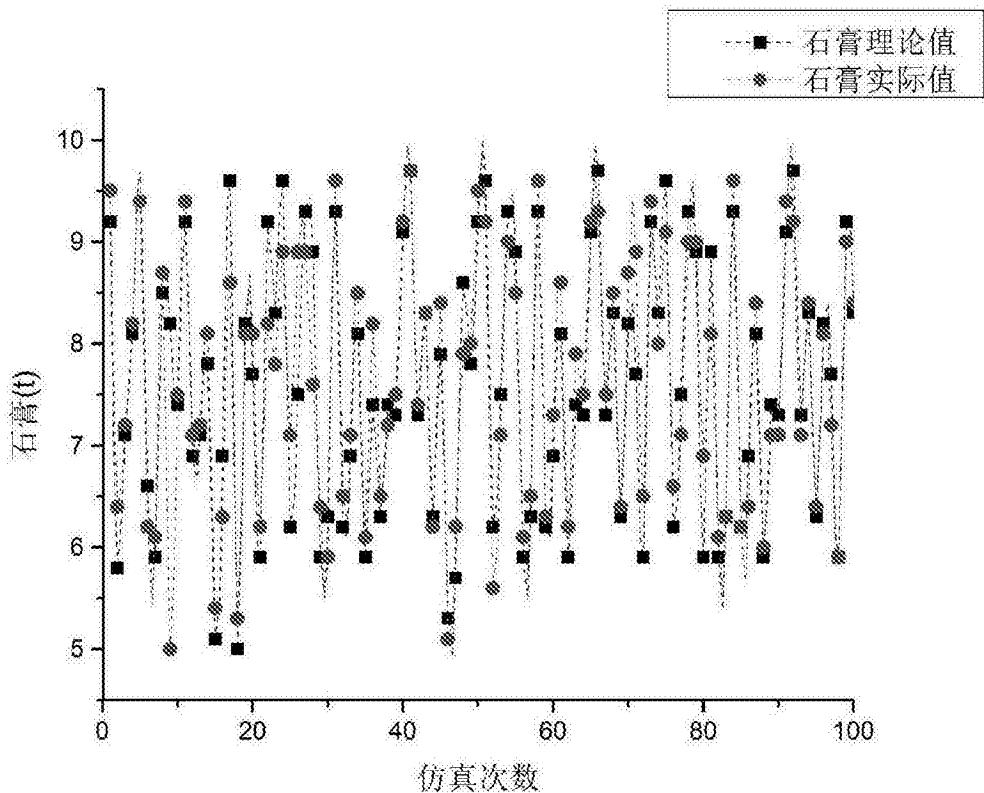


图19