

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

C21B 5/00 (2006.01)

G05B 15/02 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200610165340.5

[45] 授权公告日 2009年5月6日

[11] 授权公告号 CN 100485047C

[22] 申请日 2006.12.18

[21] 申请号 200610165340.5

[73] 专利权人 冶金自动化研究设计院

地址 100071 北京市丰台区西四环南路 72 号

[72] 发明人 徐化岩 何 岱 祝小欧 朱文功

代晓莉 董 逵 王丽娜

[56] 参考文献

JP11080820A 1999.3.26

CN1038146C 1998.4.22

CN1403594 A 2003.3.19

CN1224720C 2005.10.26

审查员 徐建锋

[74] 专利代理机构 北京华谊知识产权代理有限公司

代理人 刘月娥

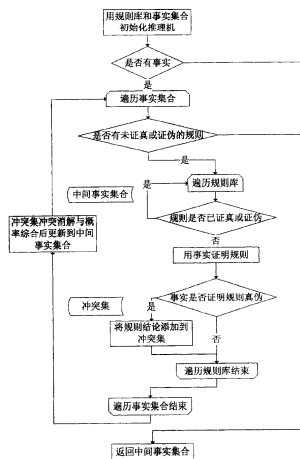
权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 6 页

[54] 发明名称

高炉智能诊断与决策支持系统

[57] 摘要

一种高炉智能诊断与决策支持系统，属炼铁过程自动化技术领域。包括：高炉运行参数检测及控制 PLC 共 5 个，PLC 分别为高炉本体 PLC、热风炉 PLC、上料 PLC、喷煤 PLC、化验室 PLC，PLC 与服务器、服务器与客户端通过工业以太网通讯，构成了系统的硬件平台；在服务器上运行数据采集软件模块和数据库，所说的数据采集软件模块将 PLC 检测参数处理后存储在数据库中，高炉智能诊断与决策支持系统软件模块运行在客户端上；服务器上的数据采集软件模块与客户端上的高炉智能诊断与决策支持系统软件模块都采用了应用程序 - 数据库两层结构。优点在于，提供了丰富的分析手段，方便工长挖掘冶炼知识，总结规律，找到最佳操作制度。



1、一种高炉智能诊断与决策支持系统，包括：高炉运行参数检测及控制 PLC 共 5 个，分别为高炉本体 PLC、热风炉 PLC、上料 PLC、喷煤 PLC、化验室 PLC，数据采集与数据库服务器、客户端各一台，连接到客户端上的打印机一台，PLC 与服务器、服务器与客户端通过工业以太网通讯，构成了系统的硬件平台；在服务器上运行数据采集软件模块和数据库，数据采集软件模块将 PLC 检测参数处理后存储在数据库中，数据库存储了高炉一代炉龄数据；在客户端上运行高炉智能诊断与决策支持系统软件模块，通过将规则本体与阈值分开、阈值自学习的方式进行炉况诊断。

2、按照权利要求 1 所述的系统，其特征在于，运行在服务器上的数据采集软件模块分 10 秒、1 分钟、1 小时和 1 天周期对来自高炉本体、热风炉、上料系统、化验室和喷煤 PLC 的检测数据，包括温度、压力、流量、出铁出渣成分、铁水重量和加料组成及重量，进行处理后存储到数据库；数据库记录了所有采集的过程数据和手工录入数据；每张表保存数据条数可以设置，数据库中的删除过期数据存储过程定期清理超过存储数目的记录确保数据库不过度膨胀；数据库阈值自学习存储过程定期进行数据阈值的自学习。

3、按照权利要求 1 所述的系统，其特征在于，运行在客户端上的高炉智能诊断与决策支持系统软件模块，提供了用于生产数据补充录入和报表生成的生产管理模块，包括变料 Excel 导入、出铁管理、化验煤气成分录入、风口参数录入、风口工作状态录入和交接班管理，日报、月报和加料报表的生成及打印；用于诊断炉况的专家系统模块，包括在线诊断和推理过程解释；用于决策支持的数据分析模块、工艺计算模块和数学模型模块，数据分析模块包括趋势分析、频度分析、回归分析、相关分析和主影响因素分析，工艺计算模块包括物料平衡计算、热平衡计算、直接还原度计算、理论焦比计算和 Rist 操作线，数学模型模块包括炉热推断模型和下料轨迹模型；辅助功能模块，包括阈值设置和炼铁工艺规程。

4、按照权利要求 2 所述的系统，其特征在于，运行在服务器上的数据采集软件模块自动完成不同时钟周期数据的采集和间接量的计算，自动将数据存储到数据库；数据库定期自动清理过期数据，自动进行阈值自学习。

高炉智能诊断与决策支持系统

技术领域

本发明属炼铁过程自动化技术领域，特别是提供了一种高炉智能诊断与决策支持系统。

背景技术

高炉炼铁是炼钢铁水的主要来源，是从原料到钢成品整个流程中工艺最复杂、影响因素最多、能耗最大的环节。

现有高炉操作技术包括完整的基础自动化系统，操作人员主要在主控室完成生产。(1)接班时根据上一班手抄报表工长对炉况进行初步分析；(2)工长随时观看热风压力、冷风流量、透气性指数、料尺等趋势画面和十字测温、炉顶温度、炉身温度等实时数据来判断炉况；(3)工长根据炉况水平进行配料操作，配料在一个 Excel 程序中完成，配料后将料单递给上料工；(4)上料工接到工长传递的料单，在上料计算机上设定后由上料系统自动执行；(5)当热风炉到达换炉时间时工长下达是否换炉命令，由烧炉工在热风炉计算机上设定后由热风炉燃烧系统自动执行；(6)当需要进行炉况调节时工长可以在高炉本体计算机上直接设置风量，或打电话通知改变喷煤量、富氧量；(7)一炉冶炼结束时工长确认铁水包到位，炉前出铁准备工作完成后下达出铁命令，由开口机钻开铁口，铁水流入铁水包后经地磅站称量，重量直接传递到化验室 PLC 上显示在主控室计算机；(8)取样人员从铁水中取样送化验室，化验室自动化验后将铁和渣成分发送到化验室 PLC 上显示在主控室计算机；(9)工长、上料工、烧炉工把温度、流量、产量、化验成分、加料量、热风温度等手抄到报表上，一天结束时工长使用计算器计算累计产量、消耗、指标等。

可见，在配料、上料、热风炉烧炉、铁水化验称量等环节基础自动化水平较高，但这些系统的衔接调度要依赖工长的指挥，指挥是否正确则取决于工长基于其所观察的仪表数据及趋势结合经验所作判断是否准确。仪表数据有几百个，炉长只能考虑一小部分，有些短期变化不明显人用眼睛很难发现问题，这就可能使对炉况判断不准；各高炉差别大需要分析既往数据才能总结出得当的操作制度，不保存数据或没有分析工具这些分析无从谈起；一班下来要抄很多数据特别是每天最后一班交班要计算指标，一方面容易抄错，一方面分散了工长的精力，影响了交接班质量。

从 20 世纪 50 年代起，国内外进行了很多高炉过程控制方面的研究。从早期的单一静态模型到 70 年代的基于理论推理的炉况综合判断 (GO-STOP) 系统，80 年代出现了基于规则库和推理机的炉况诊断专家系统，90 年代结合数学模型的多目标专家系统，近年又出现了直接参与控制的闭环专家系统。

中国专利局 1987 年 12 月 23 日公布的日本钢管株式会社申请的专利《控制高炉运行的方法》(CN87103633)、1995 年 1 月 25 日公布的首钢公司申请的专利《人工智能专家系统高炉冶炼的方法》(CN1097804)、1996 年 10 月 22 日公布的宝山钢铁(集

团)公司申请的专利《高炉综合判断系统》(CN1132253)和2003年3月19日公布的浙江大学申请的专利《智能控制高炉冶炼的系统》(CN1403594),前三者属专家系统,各自从不同角度建立专家知识库和推理机,用大型计算机帮助高炉工长加强高炉的运行管理与控制,进行炉况诊断,及时提示工长采取适当的措施,控制炉温发展,避免高炉故障和保障生产的正常进行。后者则使用优选法帮助工长选择操作制度。

以上系统都没有把专家系统与决策支持结合起来;不提供建立在一代炉龄数据库基础上的数据分析方法;未将规则分为本体和域值两部分,也未建立规则域值的自学习机制。

发明内容

本发明目的在于提供一种高炉智能诊断与决策支持系统,解决了工长凭经验判断炉况片面性问题、工艺改进缺乏数据和分析方法问题、手抄报表费时易错问题,通过替工长思考、帮工长思考和给工长省力,发挥计算机人工智能与辅助决策的综合作用,降低异常炉况频率保障顺行,达到“高产、优质、低耗、长寿”的目的。

本发明的高炉智能诊断与决策支持系统,包括高炉运行参数检测及控制 PLC 共 5 个,分别是高炉本体 PLC、热风炉 PLC、上料 PLC、喷煤 PLC、化验室 PLC,数据采集与数据库服务器(以下简称服务器)、客户端各一台,连接到客户端上的打印机一台,PLC 与服务器、服务器与客户端通过工业以太网通讯,构成了系统的硬件平台;在服务器上运行数据采集软件模块和数据库,所说的数据采集软件模块将 PLC 检测参数处理后存储在数据库中,高炉智能诊断与决策支持系统软件模块运行在客户端上。

上述服务器上的数据采集软件模块与客户端上的高炉智能诊断与决策支持系统软件模块都采用了应用程序-数据库两层结构。

运行在服务器上的数据采集软件模块分 10 秒、1 分钟、1 小时、1 天周期对来自高炉本体、热风炉、上料系统、化验室、喷煤 PLC 的检测数据,包括温度、压力、流量、出铁出渣成分、铁水重量、加料组成及重量,进行处理后存储到数据库。数据库记录了所有采集的过程数据、手工录入数据;每张表保存数据条数可以设置,数据库中的删除过期数据存储过程定期清理超过存储数目的记录确保数据库不过度膨胀;数据库域值自学习存储过程定期进行数据域值的自学习。

运行在客户端上的高炉智能诊断与决策支持系统软件模块,提供了用于生产数据补充录入和报表生成的生产管理模块,包括变料 Excel 导入、出铁管理、化验煤气成分录入、风口参数录入、风口工作状态录入、交接班管理,日报、月报、加料报表的生成及打印;用于诊断炉况的专家系统模块,包括在线诊断、推理过程解释;用于辅助决策的数据分析模块、工艺计算模块、数学模型模块,数据分析模块包括趋势分析、频度分析、回归分析、相关分析、主影响因素分析,工艺计算模块包括物料平衡、热平衡、直接还原度、理论焦比计算、Rist 操作线,数学模型模块包括炉热推断模型、下料轨迹模型;辅助功能模块,包括域值设置、炼铁工艺规程等。

所说的服务器为奔腾 IV 服务器,客户端为奔腾 IV 工业控制计算机。

高炉冶炼应用本发明时，运行在服务器上的数据采集软件模块自动完成不同时钟周期数据的采集、间接量的计算，自动将数据存储到数据库。数据库定期自动清理过期数据，自动进行域值自学习。服务器上述过程不需要人为参与。

高炉冶炼应用本发明时，工长可以在客户端上进行生产管理、数据分析，炉况诊断由系统自动完成。(1)工长在客户端上进行生产管理时，如果使用了高炉配料计算 Excel 程序进行了配料则使用变料单窗体导入高炉配料计算 Excel 文件；有新出铁时在出铁出渣画面输入估计成分、铁水去向；化验室电话通知炉顶煤气化验成分时在混合煤气成分画面输入煤气成分；调整风口后在风口参数画面输入风口直径、长度等参数；班次结束时在交接班画面输入交接班记录；每天结束时在高炉日志画面生成日报并打印，在加料报表画面生成加料报表并打印；每月结束时在高炉月报画面生成高炉月报并打印。(2)工长打开在线炉况诊断画面，系统每隔 1 分钟进行短期诊断，针对边缘过分发展、边缘不足、中心过分发展、中心不足、偏料、悬料、崩料、管道；每隔 15 分钟进行中期诊断，针对炉温向凉、炉温向热、碱害、低料线；每隔 2 小时进行长期诊断，针对炉缸堆积、炉墙结厚；显示诊断结果及操作指导。(3)工长可以在数据趋势分析画面进行趋势分析、频度分析、回归分析、相关分析、主影响因素分析；可以在分布趋势分析画面进行分布分析。系统中所有随时间数量增长的数据都可以进行上述分析，分析后可以导出 Excel 格式的分析报告，还可以保存/打开一个分析避免重复设置。(4)工长可以在工艺计算画面进行物料平衡、热平衡、直接还原度、理论焦比计算，在 Rist 操作线画面查看 Rist 操作线图，在炉热推断模型中计算 T_c 指数和铁水温度，在下料模型计算某溜槽角度的炉料落点。(5)工长可以在辅助功能模块设定数据的域值、检索工艺规程。

本发明的有点在于：

(1)全面记录生产过程中的数据，完全替代手抄报表，较手抄数据准确且更有代表性，减轻了工长的负担；

(2)诊断 14 种异常炉况，考虑了 80 个检测量，300 条规则，帮助工长及早发现炉况异常，减少损失；

(3)建立了一代炉龄数据库，并在其基础上为工长提供了丰富的分析手段，方便工长挖掘冶炼知识，总结规律，找到最佳操作制度；

(4)相比进口的同类产品，本发明需要的检测设备少，不要求原燃料品味高成分稳定，费用只有其 30%且适合中小高炉。

附图说明

图 1 为专利系统的硬件结构图。

图 2 为高炉炉况诊断推理机结构流程图。

图 3 为高炉炉渣中二元碱度分布柱状图。柱上的数字是软件原有的频数。

图 4 为高炉炉渣中二元碱度与高炉鼓风动能回归散点图。

图 5 为高炉炉顶煤气利用率与鼓风动能、喷煤率、富氧量相关分析图。

图 6 为高炉炉顶煤气利用率与鼓风动能、喷煤率、富氧量主影响因素分析图。

具体实施方式

参照图 1 虚线外部分，炼铁厂原有位于主控室的监控高炉本体的工业计算机两台、监控上料的工业计算机两台、监控热风炉的工业计算机两台，采集数据的 PLC 包括高炉本体 PLC、热风炉 PLC、上料 PLC、喷煤 PLC、化验室 PLC，构成生产局域网。本发明在在主控室增加两台计算机：服务器、客户端，一台打印机，如图 1 中的虚线内部分。其中服务器可以通过公司网与信息中心、厂办连接。客户端可以增加为多个，只要能连接服务器的均可。

工长在客户端上进行生产管理时，如果使用了高炉配料计算 Excel 程序进行了配料则使用变料单窗体导入高炉配料计算 Excel 文件；有新出铁时在出铁出渣画面输入估计成分、铁水去向；化验室电话通知炉顶煤气化验成分时在混合煤气成分画面输入煤气成分；调整风口后在风口参数画面输入风口直径、长度等参数；班次结束时在交接班画面输入交接班记录；每天结束时在高炉日志画面生成日报并打印，在加料报表画面生成加料报表并打印；每月结束时在高炉月报画面生成高炉月报并打印。

工长打开在线炉况诊断画面，系统自动每隔 1 分钟进行短期诊断，每隔 15 分钟进行中期诊断，每隔 2 小时进行长期诊断；诊断结果按照概率从高到低排列，并以醒目的饼图的方式显示各种异常炉况，颜色愈红表示发生的几率越大，反之越绿越小。相应每种异常炉况给出操作指导。规则库以 XML 文件的形式保存，规则库的编辑在专门的专家系统开发工具（该工具为我们独立开发的产品）中完成，修改规则就像编辑文档一样方便，改好直接覆盖旧规则库文件就实现了规则库的更新。推理机使用规则库和已知事实进行推理，其推理流程如图 2。所用规则属于产生式规则，规则形如：

“If 风量 > 正常值上限 and 热风压力 < 正常值下限 then 炉况=炉温向凉 概率=30”

If 表示前提，then 表示结论，本规则可解释为：如果风量偏大且风压偏小则 30%的情况下炉温向凉。对应每种异常炉况都有多条规则，这样当两条规则同时推出炉温向凉时，如果概率分别为 20，30 则经过概率综合运算后的概率为 $(1 - (1 - 0.2) * (1 - 0.3)) * 100 = 44$ ，我们称这种概率综合方式为独立乘积。有了概率综合就可以将多影响因素放在多条简单的规则中，简化了规则复杂度。注意规则中的“正常值上限”、“正常值下限”是可以通过域值自学习或在辅助功能模块的数据界限值画面设置来修改的域值，这是本发明的创新点之一，通过将规则分为本体和域值而不是直接在规则中写死如：

“if 风量 > 1500 and 热风压力 < 200 then 炉况=炉温向凉 概率=30”

区分了规则的变与不变，规则本体是不变的，域值是变的，抓住了高炉冶炼问题的本质。一方面，规则本体反映的冶炼规律是国内外多年炼铁经验的积累，在不同高

炉上都适用，属于质的层面；另一方面，域值反映了不同高炉及同一座高炉不同时期的差异性，属于量的层面。

工长可以在数据趋势分析画面进行趋势分析、频度分析、回归分析、相关分析、主影响因素分析；可以在分布趋势分析画面进行分布分析。系统中所有随时间数量增长的数据都可以进行上述分析，分析后可以导出 Excel 格式的分析报告，还可以保存/打开一个分析避免重复设置，这部分是本发明的创新点之一。进行趋势分析时，工长只需设定好时间范围后在备选列表中选好要分析的表的列名，用鼠标拖拽到绘图区；系统就会绘制趋势图，工长只需拖动红色拉杆就能查看某时刻的具体值，工长还可以切换到柱状图画面如图 3 看分布状况。进行回归分析如图 4 时，工长只需选择 2 个以上绘图变量拖拽到绘图变量框，系统即绘制散点图并计算回归方程，回归方程可以是线性的或多项式。进行相关分析如图 5 时，工长只需拖拽至少一个原因变量和至少一个结果变量，系统自动计算变量间相关系数，越接近 1 表示越正相关，越接近-1 表示越负相关，接近 0 表示不相关。在操作上都是拖拽后计算即可。进行主影响因素分析如图 6 时，操作类似相关分析，最后以贡献图的形式显示结果。分布分析的一个典型应用是分析一段时间内十字测温表征的煤气流分布曲线。上述这些强大的分析方法使工长可以轻易分析过去某时刻的炉况，找到量与量之间的关系，对于总结经验挖掘冶炼知识很有帮助。

工长可以在工艺计算画面进行物料平衡、热平衡、直接还原度、理论焦比计算，在 Rist 操作线画面查看 Rist 操作线图。通过工艺计算，工长可以检验高炉是否存在丢料、不明热损失，高炉还有多少节焦潜力。炉热推断模型中计算 Tc 指数，该指数帮助工长间接了解炉温水平。下料模型计算某溜槽角度的炉料落点，使工长调整矿石、焦炭的溜槽角度时不再盲目。

实验表明本发明对异常炉况诊断命中率在 90%以上，有助于保障炉况稳定顺行；数据分析使工长的冶炼知识细化、量化，帮助工长总结经验制定最佳操作制度；生产管理使工长从抄录数据的工作中解脱出来集中精力调好炉况。本发明实现了替工长思考、帮工长思考和给工长省力的目的，取得了增产降耗的显著经济效益。

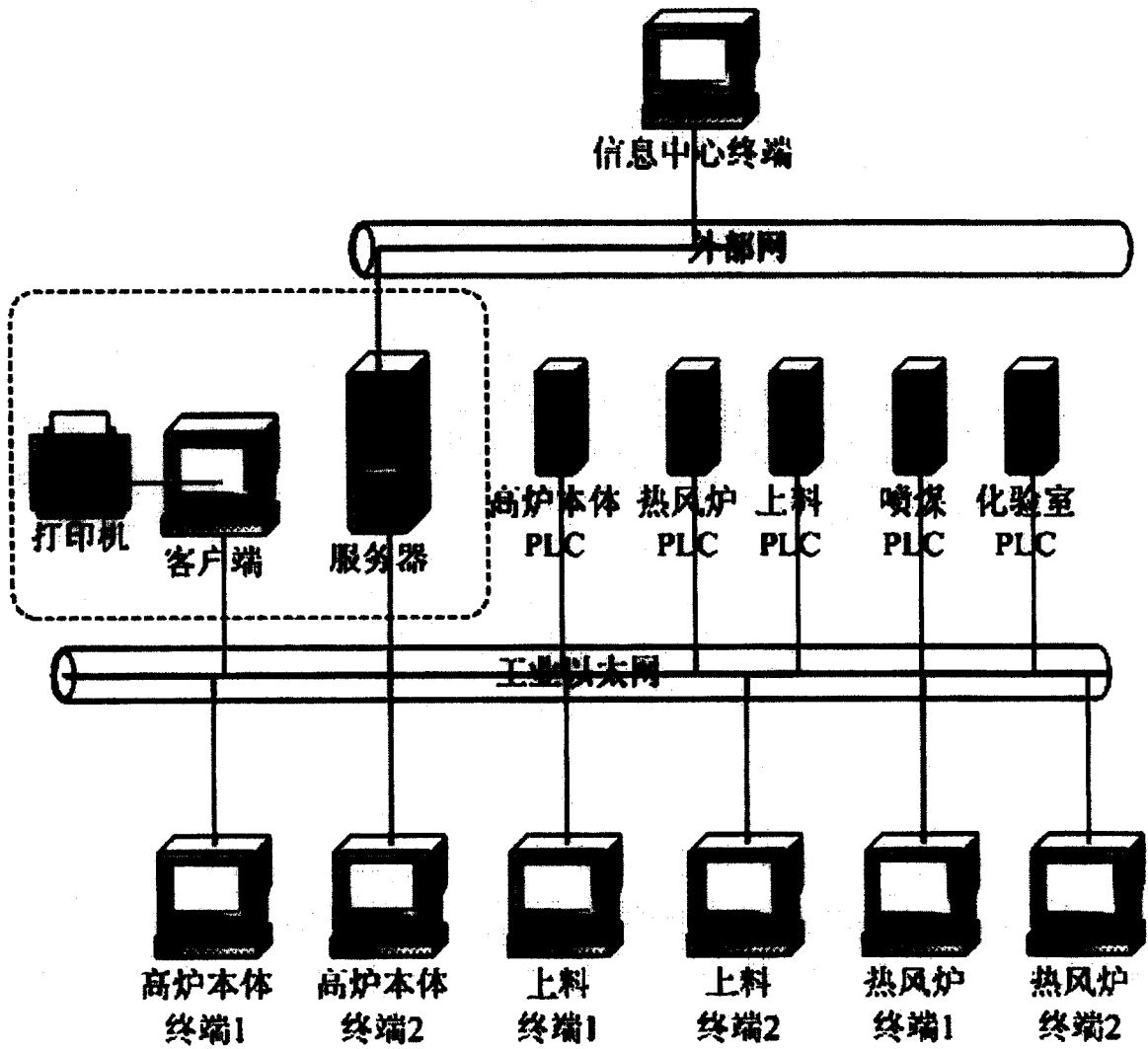


图 1

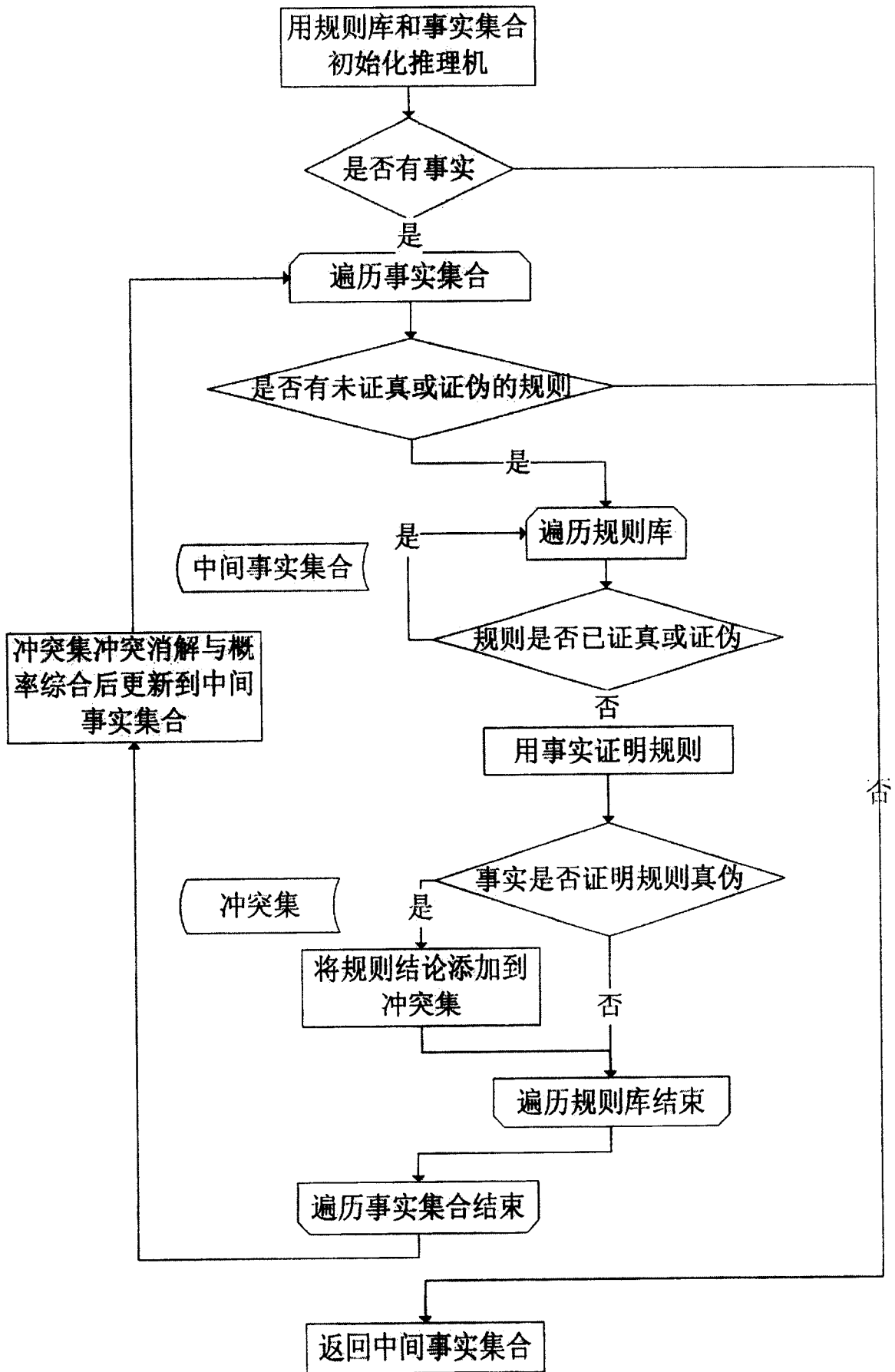


图2

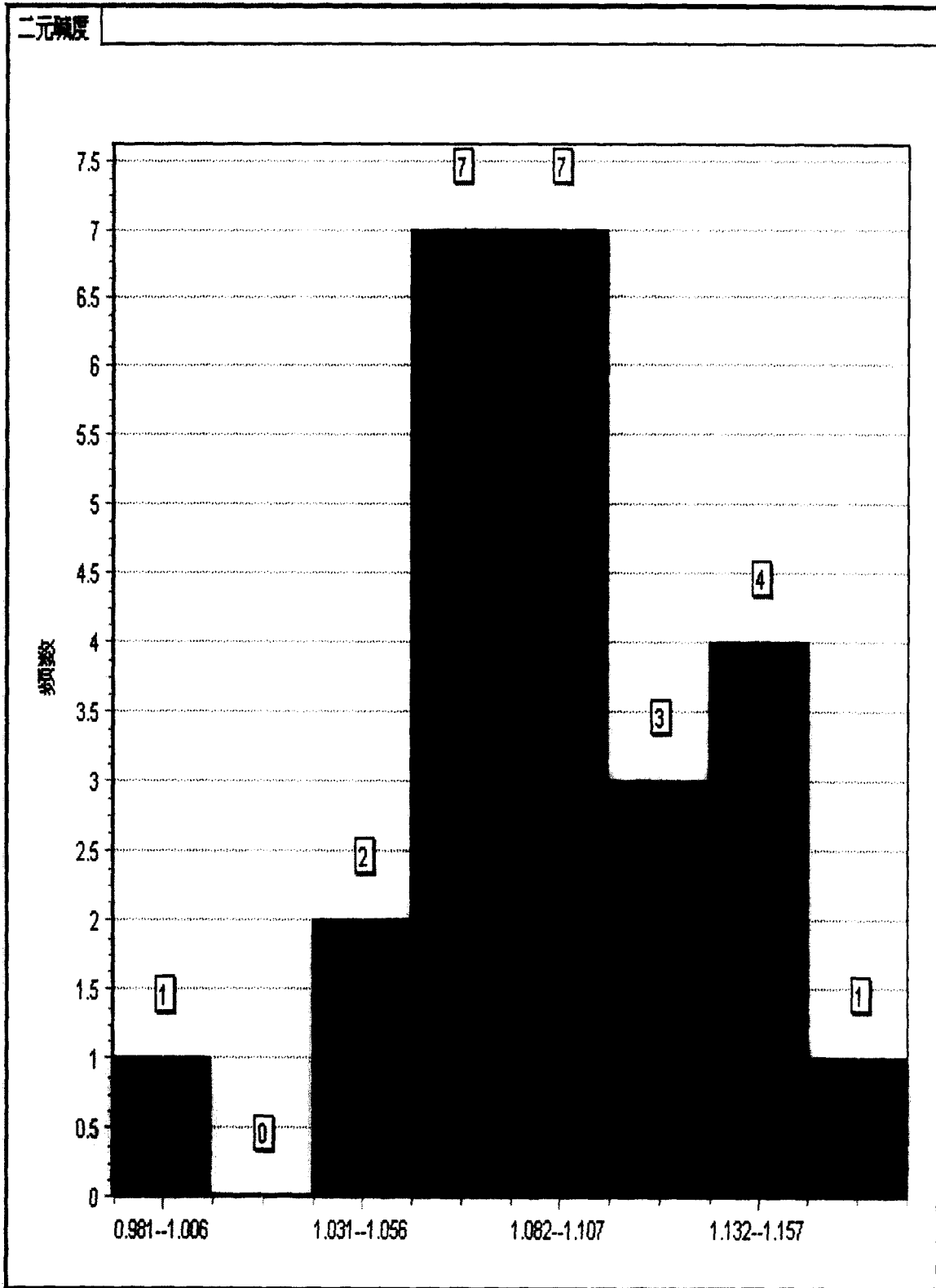


图 3

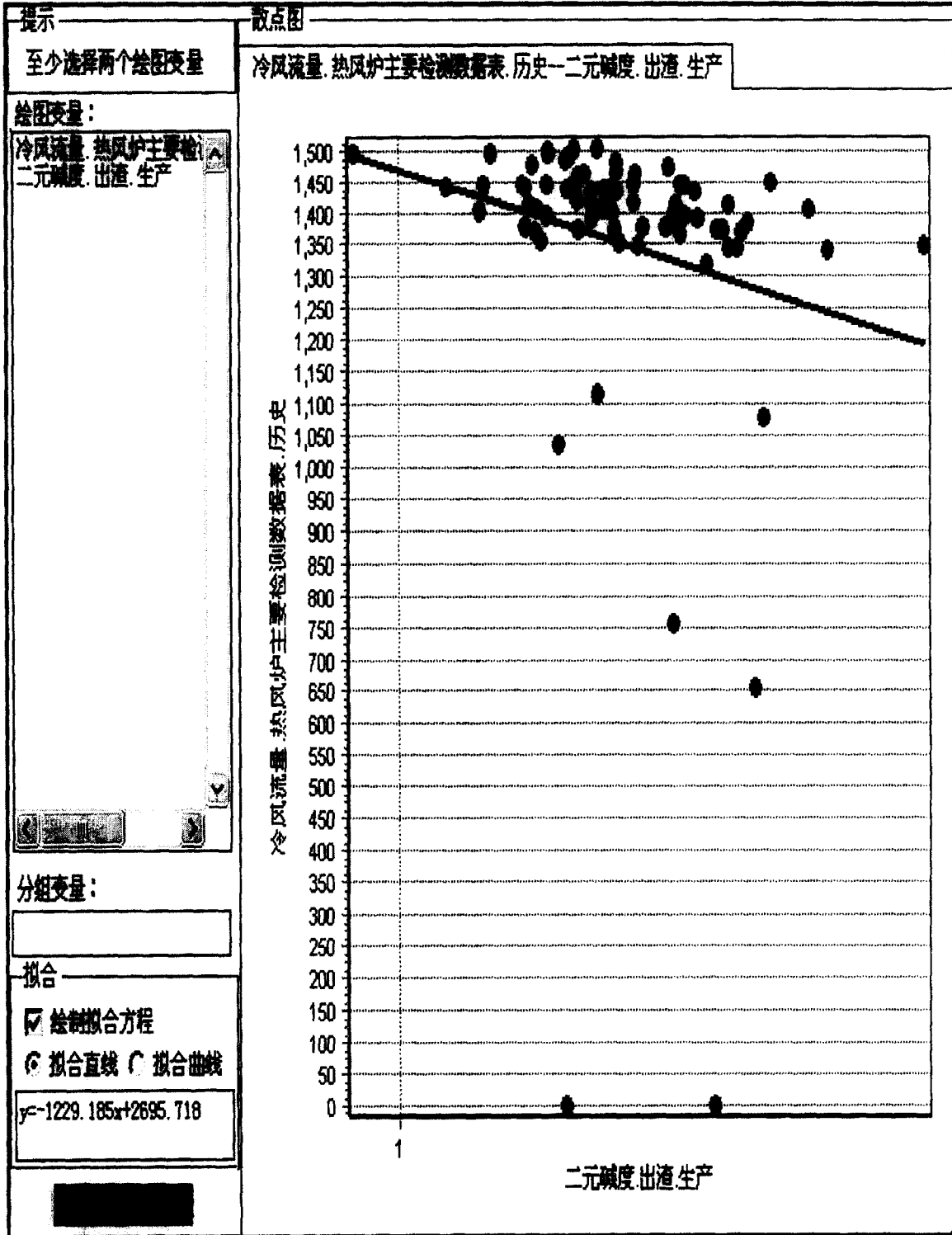


图 4

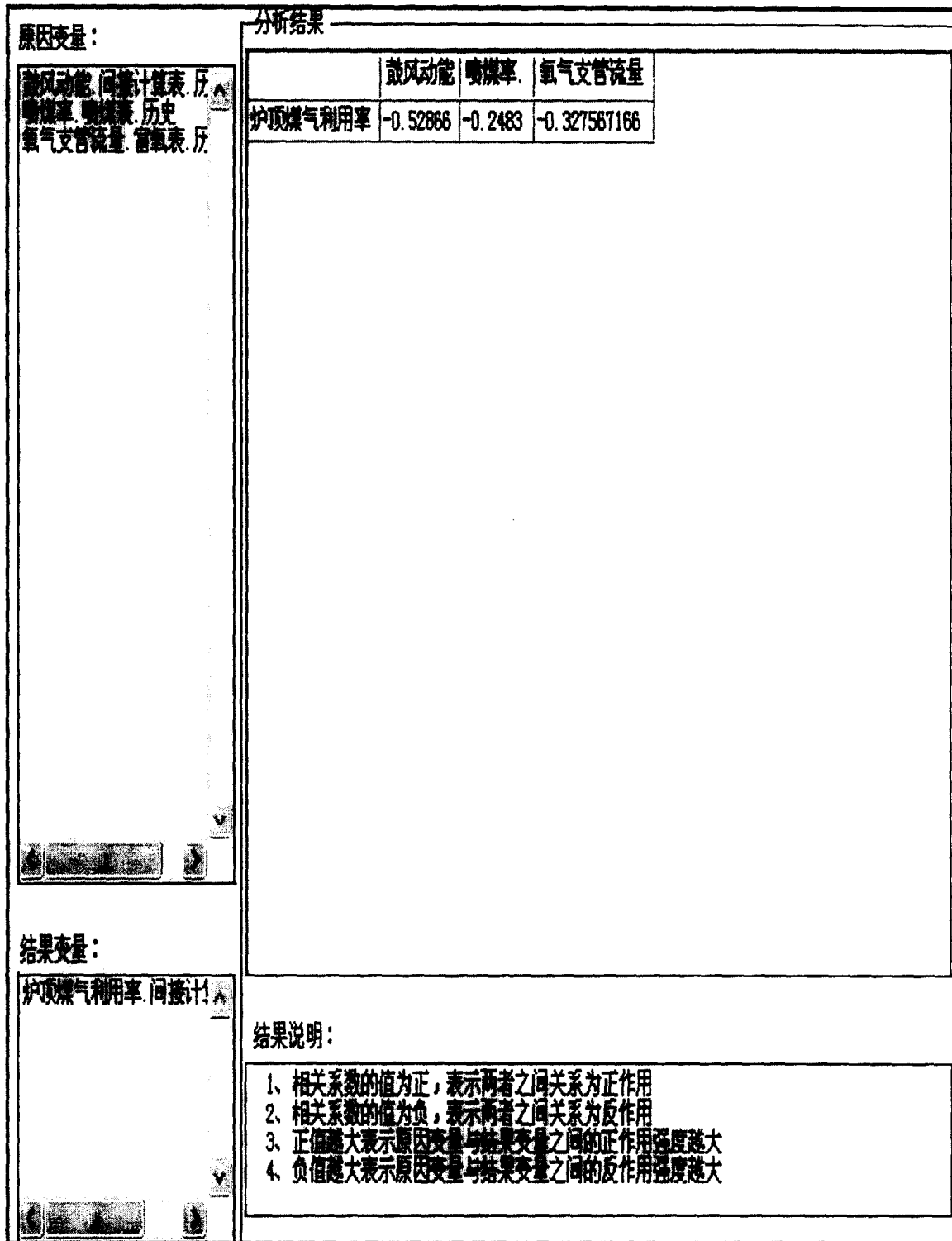


图 5

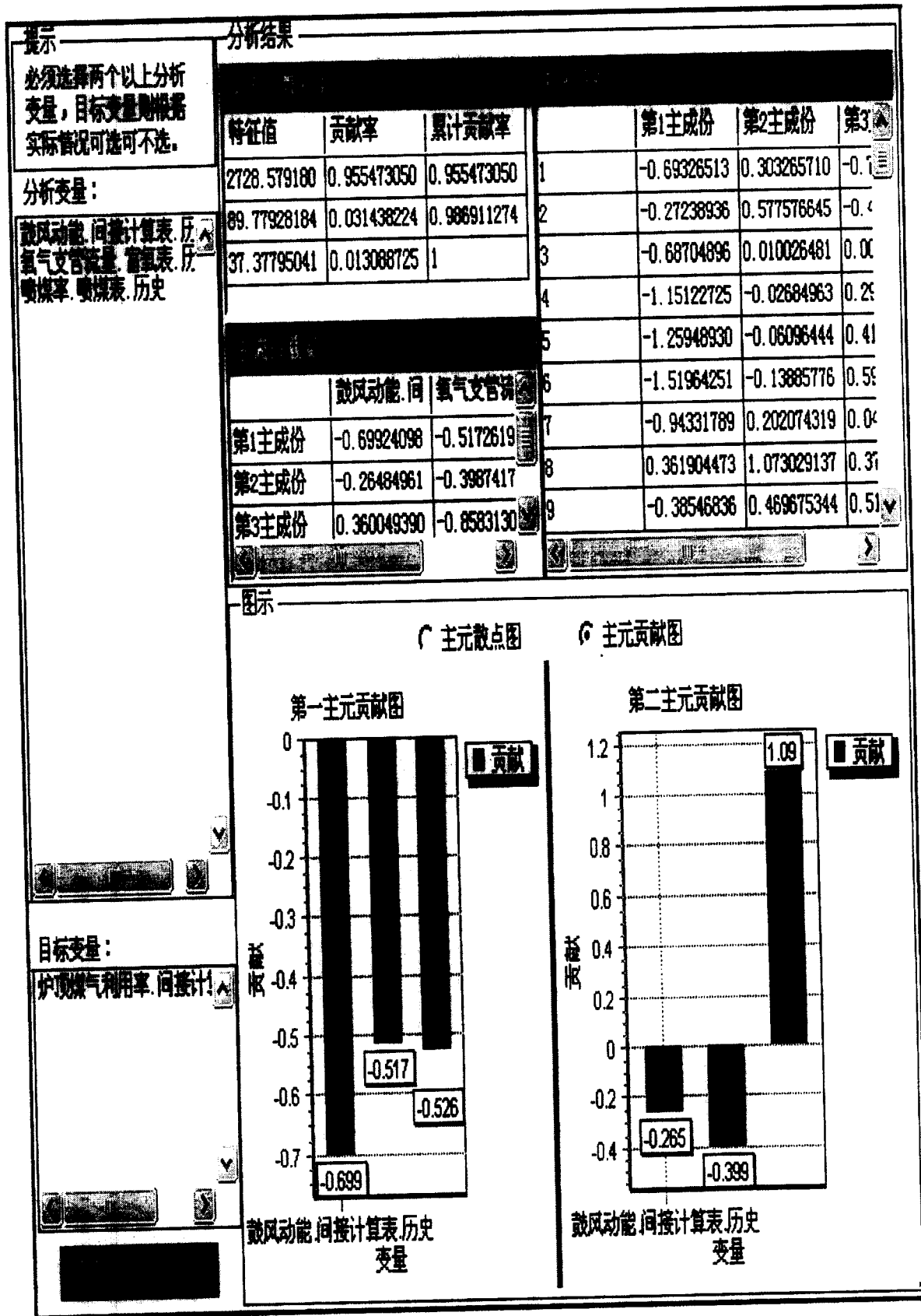


图 6