

基于 Aspen Plus 技术的流动腐蚀实时专家诊断监管系统开发^①

叶伊莎, 任 佳, 偶国富, 程宏伟, 吴学华, 金浩哲

(浙江理工大学 流动腐蚀研究所, 杭州 310018)

摘 要: 针对石化企业炼油系统流动腐蚀失效频繁发生的现状、结合现场系统可靠性和安全性的需求, 在企业现有信息化管理系统基础上, 设计并开发了基于 Aspen Plus 技术的流动腐蚀实时专家诊断监管系统. 该系统采用面向对象的设计原则, 以 .NET 为开发平台和 MySQL 为数据后台, 采用 Visual Basic(VB)的 ActiveX 技术与 Aspen Plus 工艺仿真模型连接, 结合 Windows Communication Foundation(WCF)与 .Net Remoting 通信技术进行数据通讯. 该系统框架可应用于多种炼油系统腐蚀监控平台的开发, 以此框架开发了常压塔顶实时流动腐蚀监控平台, 该监管平台能够实现装置数据的动态监测、历史数据查询、超限报警和措施指导等功能, 具有有效的腐蚀防控作用.

关键词: 流动腐蚀; 监管系统; Aspen Plus; .NET; VB; WCF 与 .Net Remoting

Development of a Real-Time Expert Diagnostic and Supervision System for Flow Corrosion Condition Based on Aspen Plus Technology

YE Yi-Sha, REN Jia, OU Guo-Fu, CHENG Hong-Wei, WU Xue-Hua, JIN Hao-Zhe

(The Institute of Flow Induced Corrosion, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Aiming at decreasing the flow corrosion failure happened frequently in refining system, considering the requirements of onsite system reliability and security, on the basis of enterprise's existing information system, a real-time expert diagnostic and supervision system for flow corrosion condition based on Aspen Plus technology is developed. The system uses object-oriented design principles, with .NET as the development platform and MySQL as the backend database. Using the ActiveX technology of Visual Basic (VB), and Aspen Plus, process simulation model is connected with the system. Windows Communication Foundation (WCF) and .Net Remoting techniques are used for data communication. This structure given previously can be applied to a variety of oil refining systems. An application instance in atmospheric overhead system has been developed, which can achieve the dynamic data monitoring, the query of historical data, guidance and measures of limiting alarm, with effective function in corrosion prevention and control.

Key words: flow corrosion; supervision system; Aspen Plus; .NET; VB; WCF and .Net Remoting

我国石化企业加工炼制的原油多为劣质油, 涉及到高硫高酸、高硫低酸、高硫含氯、低硫含氯等不同类型. 由于各类原油的加工周期短, 导致设备的生产负荷多变, 由此引起的非计划停工已成为制约安全生产的重要瓶颈. 近年来, 炼油低温系统换热器管束穿孔、原油内漏等事故频发, 虽然工业现场采用了原油

泄漏监测系统、腐蚀探针等, 但仍没能有效控制系统的腐蚀失效.

为便于现场监管、保证安全生产, 工业现场还布置了大量数据采集点与企业信息系统通信. 其信息系统数据主要分为 DCS 数据和 LIMS 数据, 目前存在几点问题: 1)DCS 数据和 LIMS 数据信息分散, 装置针对

① 基金项目: 国家自然科学基金(61203177);国家自然科学基金委员会-神华集团有限公司煤炭联合基金(U1261124);浙江省公益技术应用研究计划(2015C31013)

收稿时间:2015-11-22;收到修改稿时间:2015-12-21 [doi:10.15888/j.cnki.csa.005271]

性分析不充分; 2) 虽然 DCS 系统基本实现 DCS 数据的实时采集, 但 LIMS 化验分析数据要 8 小时甚至更长时间才分析一次, 数据实时性差; 3) 工业现场还有部分数据的监测使用现场显示仪表, 这些仪表没有相关的接口将数据传输到数据库. 上述原因导致了现场数据库信息分散且不完整、数据统计不及时、装置运行状况分析不准确等现象.

流动腐蚀^[1,2]是原料油劣质化、装置大型化、运行工况苛刻化发展过程中普遍存在的失效现象, 其失效具有明显的局部性与突发性. 针对影响石化炼油装置长周期运行的流动腐蚀失效以及现场实际监管系统问题, 本文设计了基于流动腐蚀失效机理分析、参数二次建模的流动腐蚀实时专家诊断监管系统. 系统通过对装置信息的实时采集、统计分析和数据处理, 实现该装置运行信息的集中展示、监管报警和措施指导等功能, 提高炼化企业生产系统的安全水平. 系统设计基于 Aspen Plus 技术, 充分考虑炼化装置的工艺环境, 使分析计算更合理准确; 同时采用 C/S(Client/Server) 架构^[3], 具有响应速度快、安全性能高、减轻服务端负荷等特点.

1 系统设计

流动腐蚀实时专家诊断监管系统以 .NET^[4,5] 为开发平台, 其 C/S(Client/Server) 整体架构如图 1 所示. 服务端的设计包括通信机制、数据采集、参数导入、Aspen 建模仿真、监管报警和用户信息存储调用等, 实现现场 DCS 数据和 LIMS 数据的实时采集, 并对相关数据进行仿真计算. 客户端将服务端送来的信息以历史数据、报警记录、监管措施及报表生成等界面形式集中显示, 并可以对用户进行操作权限管理, 实现用户监管的可视化人机交互.

流动腐蚀实时专家诊断监管系统整体设计架构如图 2 所示, 服务端基于工业现场系统 WCF 通信框架, 采用服务引用(Service Reference)实现对 DCS 数据和 LIMS 数据的实时采集, 并将相关数据写入 MySQL 后台数据库, 同时利用 Visual Basic 的 ActiveX 技术与 Aspen Plus 软件进行工艺仿真模型的交互与计算分析, 最后通过 .NET Remoting 通信技术实现与客户端的双向通信, 将消息实时推送至客户端.

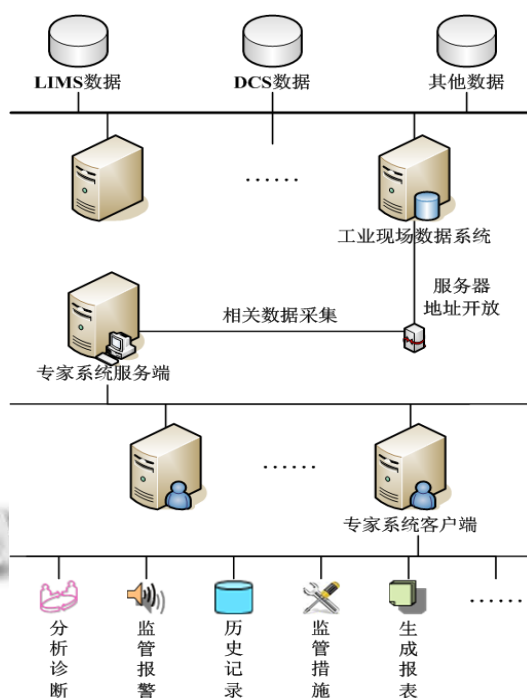


图 1 系统 C/S 整体架构

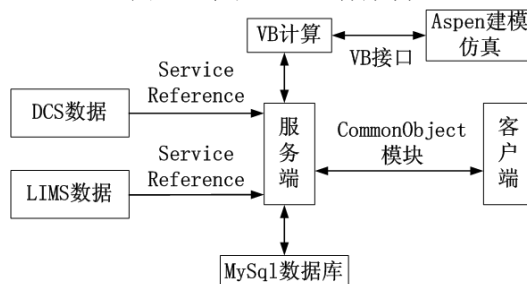


图 2 系统服务端整体设计架构

1.1 系统通信机制

1.1.1 WCF 客户端

WCF^[6]是一种支持数据通信的分布式应用程序框架, 其基于 SOAP(Simple Object Access Protocol 简易对象访问协议)的通信机制保证了系统的互操作性和安全性. 流动腐蚀实时专家诊断监管系统在工业现场系统实行 WCF 服务的前提下, 配置 WCF 客户端. 专家系统(WCF 客户端)根据 WSDL 文件, 按照 WebService 客户访问机制生成 WebService 代理类. 该代理类在 WCF 客户端的配置文件 App.config 中指定 endpoint 来访问指定的 Url.

专家系统通过 WCF 框架客户端服务实现 DCS 数据和 LIMS 数据的 WebService 通信采集. 以 DCS 数据采集为例, 在添加 Service Reference 服务引用后, 针对

DCS 现场位号数据请求-响应步骤: 1)服务实例化(开启服务); 2)调用方法; 3)关闭服务. 若不及时关闭 WCF 服务, WCF 客户端会在设置的会话后才自动关闭, 此期间任何客户端无法使用该功能.

1.1.2 .Net Remoting 技术

流动腐蚀实时专家诊断监管系统服务端与客户端之间的通信采用 .Net Remoting^[7-9] 分布式处理技术, 包括客户端订阅事件与服务端订阅事件. 客户端订阅事件是指由服务端发送消息, 所有客户端均捕获该消息, 激发事件; 服务端订阅事件是由客户端发送消息, 服务端捕捉该消息, 然后响应该事件. 基于此, 专家系统设计了服务端与客户端之间通信的公共程序集 CommonObject.dll, 该程序集中定义了相应的公共委托, 系统中所响应的事件类型就是公共程序集中定义的委托类型. 该类继承于 MarshalByRefObject^[10] 类, 通过使用代理交换消息来进行跨域通信. 继承此类的对象可以跨越应用程序域边界被引用, 甚至被远程引用. 服务端采用消息实时推送功能, 设计消息广播以实现服务端数据与客户端的实时推送, 同时保证系统数据的安全性. 服务端与客户端分别引用 CommonObject.dll 实现两者之间的事件响应.

1.2 Aspen 建模及其接口

Aspen Plus^[11] 具有完备的物性系统与强大的模型分析能力, 是生产装置设计、稳态模拟和优化的大型通用流程模拟系统. 本专家系统根据现场装置及其典型工况数据进行 Aspen 建模仿真, 并嵌入到系统中. 该仿真结合工业现场实际, 在部分入口物料成分数据无法采集的情况下, 采用出口物料成分数据“逆推”方式, 根据物料守恒定律推定系统的油-气-水三相平衡.

Aspen 模型通过 VB 接口读取服务端后台数据库的工况数据, 自动运算和模拟得到失效控制参数的实时值, 为专家系统监管诊断提供专业指导. 客户端中设计有仿真模拟界面, 通过该界面可调用服务端的 Aspen 模型, 得到仿真模拟工况下的数据分析结果.

1.2.1 Aspen 接口

Aspen 模型与 .NET 平台的连接由 VB^[12] 编程实现, 其数据读取可分为三类: 1)入口纯介质; 2)入口混合性介质; 3)出口三相分离介质. 纯介质数据读取按照其在 Aspen 模型的 Variable Explorer 中的树状存储位置来读取, 以纯介质 H₂O 温度的读取为例如下: ihAPsim.Tree.Data.Streams.Elements("H2O").Elements(

"Input").Elements("TEMP").Elements("MIXED"), 即为 Root-->Data-->Streams-->H2O-->Input-->TEMP-->MIXED. 混合性介质读取与纯介质读取的不同之处在于其大类下包含多种组分, 因此增加了相应的组分数组, 以数据遍历的形式读取并存放混合性介质的不同组分数据.

1.2.2 Aspen 调用

工业现场监控装置的相关控制参数中, 一部分是由 Aspen 仿真计算得出, 另一部分则是通过 VB 计算模块中的工艺理论公示计算得到. 该 VB 计算模块调用 1.2.1 中所述的 Aspen 接口模块, 利用现有 DCS 数据、LIMS 数据以及 Aspen 仿真数据综合计算.

1.3 MySQL 数据库

MySQL^[13] 是一种关系数据库管理系统, 具有反应速度快、易用性好、多用户支持等特点, 提供面向各种编程语言的 API, 支持 ISAM、MyISAM、InnoDB、BDB 和 HEAP 等引擎. 流动腐蚀实时专家诊断监管系统采用 MySQL 数据库, 同时使用 MyISAM 和 InnoDB 存储引擎, 并在两个引擎之间平均分配资源. 系统数据库关键的几个数据表为: 报警数据表、化验分析数据表、监控数据表、DCS 数据表、参数上下限及措施数据表、设置数据表 and 用户数据表, 其关系如图 3 所示.

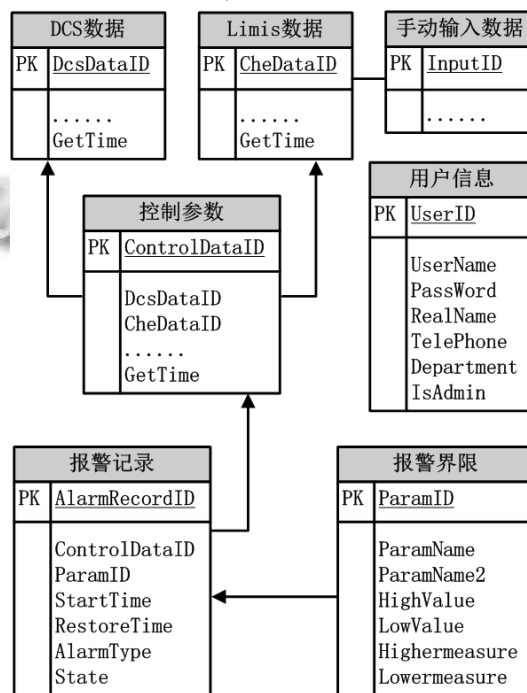


图3 系统 MySQL 数据库关系图

系统采用 ADO.NET Driver for MySQL 将 C#程序

与 MySQL 数据库相连, 引用 MySQL.Data.dll 文件, 并在 App.config 对数据库进行相应数据库、用户名及密码等配置.

1.4 客户端架构

客户端作为流动腐蚀实时专家诊断监管系统的人机交互, 要求具有良好的可视性、数据直观性、措施指导性和用户可操作性等. 基于此, 客户端采用基于 .NET Framework 的 Windows 窗体应用程序设计, 其页面架构包括登录界面、监控主界面和监控子界面. 其中, 客户端监控主界面如图 4 所示, 分为 4 大块: 现场系统装置图、腐蚀控制指标、防控参数实时值和交互式按钮. 腐蚀控制指标为静态值, 根据流动腐蚀仿真建模与机理分析得出. 防控参数实时值根据现场实时工况与建模计算实时更新, 更新周期可根据现场实际情况设定. 交互式按钮可根据监控操作需要进行选择, 包括仿真模拟、手动输入、历史数据、报警记录、监管措施和用户管理, 为现场提供更加可观的记录与操作指导, 实现监控主-子界面的链接.



图 4 系统客户端设计图

2 系统实现与应用

2.1 系统实现

本文设计开发的流动腐蚀实时专家诊断监管系统, 开发前期的主要任务包括: 1) 针对炼化系统装置进行

过程工艺过程分析及流动腐蚀机理分析; 2) 结合流动腐蚀失效的关键因素进行相关系统建模; 3) 采用流动腐蚀的思想选择和制定专家系统设计所需的 DCS 参数和 LIMS 参数, 并计算提取相关腐蚀控制参数.

专家系统的客户端设置了用户权限, 分为管理员权限和普通用户权限, 以保障系统的数据、运行及维护安全. 同时系统可以设置后台自动运行, 为系统的实时诊断监管提供有力保障.

2.2 应用实例

基于 .NET 的流动腐蚀实时专家诊断监管系统以炼化某厂的常压塔顶系统为应用实例. 根据该系统装置的现场工艺流程图进行 Aspen 仿真建模, 模型结构如图 5 所示. 由于系统入口物料成分等相关数据无法直接监测, 模型采用物料守恒定理, “逆推”系统入口成分, 将原本出口瓦斯气、一级油、二级油和含硫污水中的 H₂O、H₂S、HCl 及 NH₃ 等价“逆推”为入口成分, 出口为油-气-水三相分离. 最后将某典型工况相应数据输入 Aspen 模型, 工况及组成如表 1-表 5 所示.

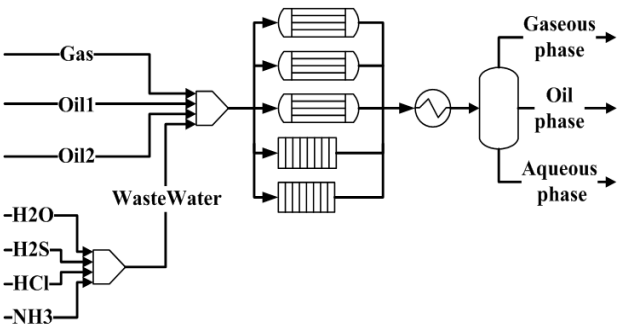


图 5 Aspen 建模图

表 1 瓦斯气工况

工况	流量(Nm ³ /h)	温度(℃)	压力(MPa)
1	4610.9	40	0.08

表 2 瓦斯气组成

	H ₂	空气	甲烷	乙烷	乙烯	丙烷	丙烯	异丁烷	正丁烷
%V/V	0.04	7.35	1.60	10.26	0.00	35.23	0.00	8.51	24.03
	正异丁烯	反丁烯	顺丁烯	C5	CO	CO ₂	H ₂ S	总计	密度
%V/V	0.00	0.00	0.00	11.74	0.04	0.64	0.56	100.00	1.6880

表 3 常顶含硫污水工况及组成

流量(t/h)	温度(℃)	压力(MPa)	NH ₃ -Nmg/L	硫化物 mg/L	pH	Fe ppm	Cl ppm
22+12	40	0.1	78.6	76.5	7.86	2.7	80

表 4 常顶一级油工况及蒸馏曲线

工况				组成(V%)				
工况	流量(Nm ³ /h)	温度(℃)	压力(MPa)	5%	10%	50%	90%	100%
1	110	36	0.1	71	82	121	158	178

表 5 常顶二级油工况及蒸馏曲线

工况				组成(V%)				
工况	流量(Nm ³ /h)	温度(℃)	压力(MPa)	0%	10%	50%	90%	100%
1	60	40	0.1	22	42	77	153	154

表 6 常顶系统腐蚀控制指标

露点温度	Kp 值	注水量	脱后盐含量	Fe 离子浓度	V102pH	V103pH	NH ₄ Cl 结晶温度
<换热器出口温度	<10 ⁻⁹	>25%液态水	<3ppm	<3ppm	6.5-8.9	6.5-8.9	<换热器出口温度

本文设计的基于 C/S 架构的流动腐蚀实时专家诊断监管系统的监控主界面如图 6 所示, 图中系统装置为常压塔顶系统. 专家系统根据流动腐蚀失效分析, 结合 API932-B、API570 等相关标准规范, 确定腐蚀控制指标: 露点温度、Kp 值、注水量、V102pH 值、V103pH 值、脱后盐含量、铁离子浓度和 NH₄Cl 结晶温度, 其

控制范围如表 6 所示. 系统的数据采集频率可根据现场监控需求设置, 默认值为 1 分钟/次. 腐蚀控制实时数据的报警分为偏高、正常和偏低, 分别以红灯、绿灯和黄灯来对应表示, 一旦实时值出现偏高或者偏低, 系统会自动声光报警. 监控主界面中的 8 个用户交互式按钮分别链接到系统的监控子界面.

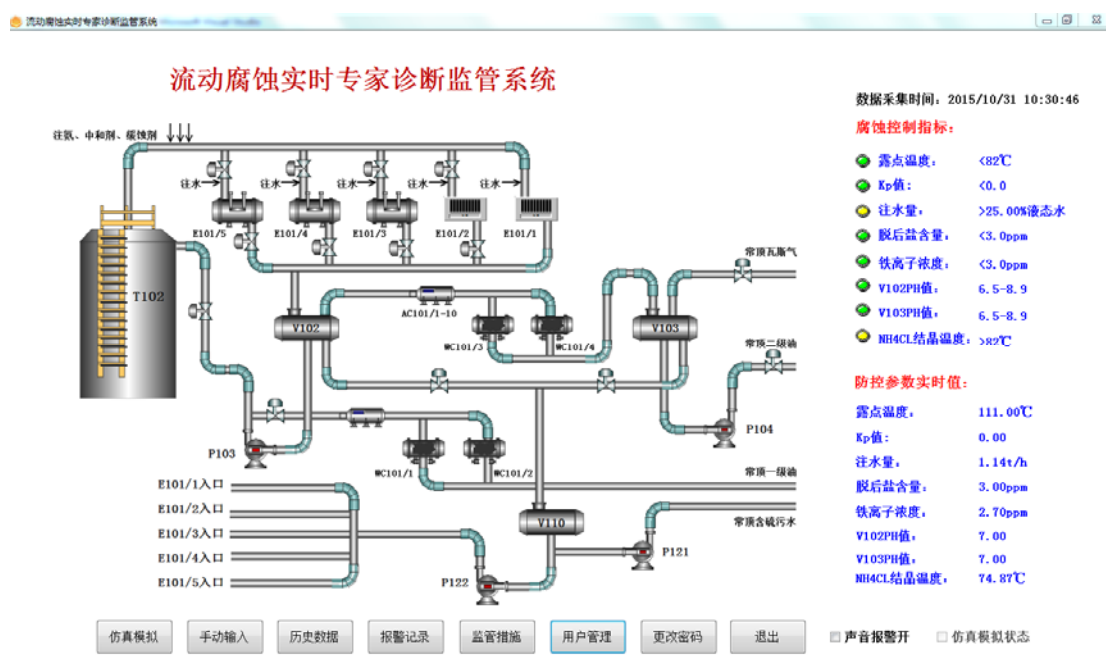


图 6 监控主界面

流动腐蚀实时专家诊断监管系统的监控子页面包括手动输入界面、仿真模拟界面、历史数据查询界面、报警记录界面、监管措施界面和用户管理界面等, 分别如图 7-图 12 所示. 系统监控子界面通过完整数据与简略文字的形式对现场设备及物料进行实时监控与预

警指导. 其中历史数据查询界面和报警记录界面具有数据报表导出功能, 方便进一步数据分析. 监控子界面所显示的所有值都可以在后台 MySQL 数据库查看.

3 结语

本文设计开发的基于 Aspen Plus 技术的流动腐蚀实时专家诊断监管系统可应用于多种炼油低温系统,为企业的安全生产提供有效预警与防控。目前,该系统已在扬子石化、扬子芳烃厂、上海高桥、镇海炼化等多家石化企业实际应用,取得了良好的效果。

图 7 手动输入界面

图 8 仿真模拟数据界面

ControlSheet	Sheet	Sheet	Sheet	Sheet	Sheet	Sheet
001	001	001	001	001	001	001
002	002	002	002	002	002	002
003	003	003	003	003	003	003
004	004	004	004	004	004	004
005	005	005	005	005	005	005
006	006	006	006	006	006	006
007	007	007	007	007	007	007
008	008	008	008	008	008	008
009	009	009	009	009	009	009
010	010	010	010	010	010	010
011	011	011	011	011	011	011
012	012	012	012	012	012	012
013	013	013	013	013	013	013
014	014	014	014	014	014	014
015	015	015	015	015	015	015
016	016	016	016	016	016	016
017	017	017	017	017	017	017
018	018	018	018	018	018	018
019	019	019	019	019	019	019
020	020	020	020	020	020	020
021	021	021	021	021	021	021
022	022	022	022	022	022	022
023	023	023	023	023	023	023

图 9 历史记录界面

报警名称	原因	发生时间	报警正常时间	报警描述
氯化钠结晶温度	Q02	2015/7/9 20:24		Q02注水和...
注水量	Q15	2015/7/9 8:22		Q02注水和...
氯化钠结晶温度	Q02	2015/7/9 8:22		Q02注水和...
注水量	Q15	2015/7/9 9:06		Q02注水和...
氯化钠结晶温度	Q02	2015/7/9 9:06		Q02注水和...
注水量	Q15	2015/7/9 20:46		Q02注水和...
氯化钠结晶温度	Q02	2015/7/9 20:46		Q02注水和...
脱后盐含量	Q15	2015/7/9 20:47		Q02注水和...
注水量	Q15	2015/7/10 11:52		Q02注水和...
氯化钠结晶温度	Q02	2015/7/10 11:52		Q02注水和...
脱后盐含量	Q15	2015/7/10 11:53		Q02注水和...
注水量	Q15	2015/7/10 14:01		Q02注水和...
氯化钠结晶温度	Q02	2015/7/10 14:01		Q02注水和...
脱后盐含量	Q15	2015/7/10 14:02		Q02注水和...
氯化钠结晶温度	Q02	2015/7/10 14:09		Q02注水和...
注水量	Q15	2015/7/10 14:09		Q02注水和...

图 10 报警记录界面

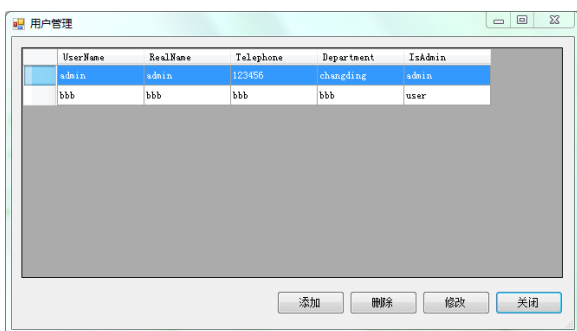


图 11 用户管理界面

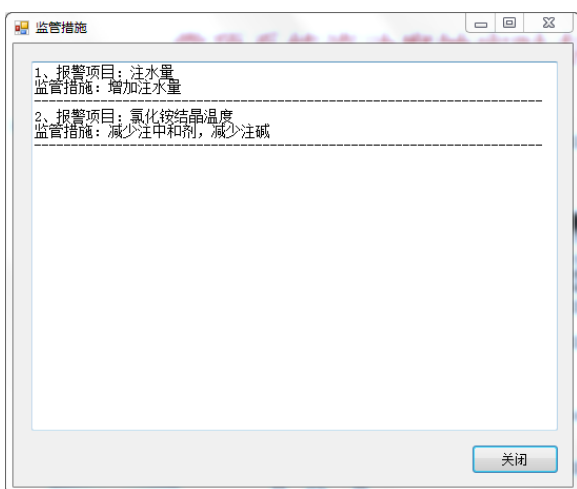


图 12 监管措施界面

参考文献

- 1 闫康平,陈匡民.过程装备腐蚀与防护.北京:化学工业出版社,2009.
- 2 偶国富,郑智剑,金浩哲,曹晶,黄军辉,谢浩平,杨波.复杂特种设备系统流动腐蚀预测及工程应用.中国机械工程学会压力容器分会第七届压力容器及管道使用管理学术会议暨

使用管理委员会七届二次会议论文集.中国机械工程学会压力容器分会,合肥:合肥工业出版社,2011:54-62.

- 3 程茂,蔡金金,温静.多层 C/S 系统构架的设计与实现.河北农业大学学报,2010,33(4):104-108.
- 4 王新宇.基于.Net 架构的科研管理系统.计算机系统应用,2014,23(5):48-53.
- 5 Andrew Troelsen. 王少葵,张大磊,朱晔等,译.C#与.NET 3.0 高级程序设计.北京:人民邮电出版社,2008.
- 6 Scott Klein. 赵利通,译.WCF 高级编程.北京:清华大学出版社,2008.
- 7 戴建华,蔡铭,林兰芬,董金祥.面向网络化制造的 ASP 服务平台若干关键技术研究.计算机集成制造系统,2005,11(1):48-52.
- 8 马保国,王文丰,侯存军,钱方正.基于.NET Remoting 的分布式系统实现.计算机技术与发展,2006,3(3):50-52.
- 9 偶国富,方华平,王凯,任佳,金浩哲,邱东声,黄爱斌.常压塔顶回流系统流动腐蚀实时防控平台开发.浙江理工大学学报,2015,33(4):537-542.
- 10 明日科技.ASP.NET 从入门到精通.北京:清华大学出版社,2012.
- 11 熊杰明,杨索和.Aspen Plus 实例教程.北京:化学工业出版社,2012.
- 12 薛庆文,史波,屈会芳,石秦峰,杨晓东.Visual Basic 程序设计.北京:清华大学出版社,2013.
- 13 吴吉义,王中友等.MySQL 原理与 Web 系统开发.北京:清华大学出版社,2009.