

基于云计算和 4G 通信网的危险品生产设施 分布式监测方案

深圳市简测科技有限公司

2014 年 6 月

石油化工工业生产是一个高风险的产业体系，安全生产在石油化工工业生产中具有十分重要的地位。在生产过程中，原料和产品多为易燃易爆、有毒有害的物质，生产技术复杂，稍有不慎，容易发生事故，造成人员的伤亡和国家财产的损失。近年来，化工事故时有发生（如图一所示），给人民生命财产安全与社会经济发展造成了严重的影响，因此，多数化工企业都在寻找保证生产安全的解决方案。同时如何防止化工事故造成损失也成为科技工作者的紧迫课题。



图一

二、目前问题与不足

经过对数百起石油化工安全事故的调查发现，引发事故的主要原因归类如下：

- 1、设备变形、腐蚀损坏导致事故发生

- 2、工作人员违反操作规程
- 3、温度变化或者引发明火造成爆炸事件
- 4、气体浓度发生变化引发爆炸
- 5、工业用料发生泄漏引发事故
- 6、管道压力变化导致泄漏引发事故

经分析事故原因我们发现，目前石油化工生产在安全方面主要面临如下的挑战：

- 1、设备出现异常无相应的监测手段，一旦人员疏忽导致无法及时发现，形成安全事故隐患。
- 2、人工巡检效率低：传统油田采用人工巡检的方式采集生产数据或者防范非法人员的入侵，周期长，收集现场信息的延迟较大。
- 3、无报警或报警不及时：当一些风险事故发生时，如油气泄漏、燃烧，现场缺乏气体探测设施，报警不及时，容易导致事故扩大化和人员伤亡。
- 4、应急指挥效率低：多种监控系统孤立，管理人员无法掌握足够信息；现有通信方式主要为语音，手段单一，不能快速协调各方资源快速定位和解决问题，容易扩大影响。

三、挑战与目标

本方案的总体目标是解决复杂环境下的不同监测传感器类型的有效融合、采用最先进的 4G 无线网络传输技术，通过云计算方式建立统一的防灾减灾安全监测系统平台。

1、信号数据采集融合技术：由于化工行业生产的特殊性，所需监测的内容种类繁多，导致所需的传感器也非常之广，主要常用的有压力传感器、应变传感器、温度传感器、风向传感器、加速度传感器、烟雾传感器、火焰传感器、气体传感器、灰尘传感器、湿度传感器、腐蚀传感器等。目前，在该领域的数据采集设备，普遍只能实现对单一物理量测量的多传感器同步采集。对于不同类型传感器需要不同采样率的情况，缺乏相应的同步采集功能，针对监测中的传感器种类多、数量大、分布广、信号测量精度和同步性要求高、信号分析处理实时性强的需求，本项目拟采用基于 PAC 平台的嵌入式硬件平台架构，并研制开发出一种多信号采集解调系统，实现对不同传感器原始信号的有效采集。

2、4G 无线通信技术：针对化工行业采用的传感器种类多、数量大、分布广，难布线等特点，该项目将开发针对性较强的 4G 通信传输设备，将分散的大量现场采集数据高速、实时的传输到监测数据中心，由数据中心统一进行分析处理。

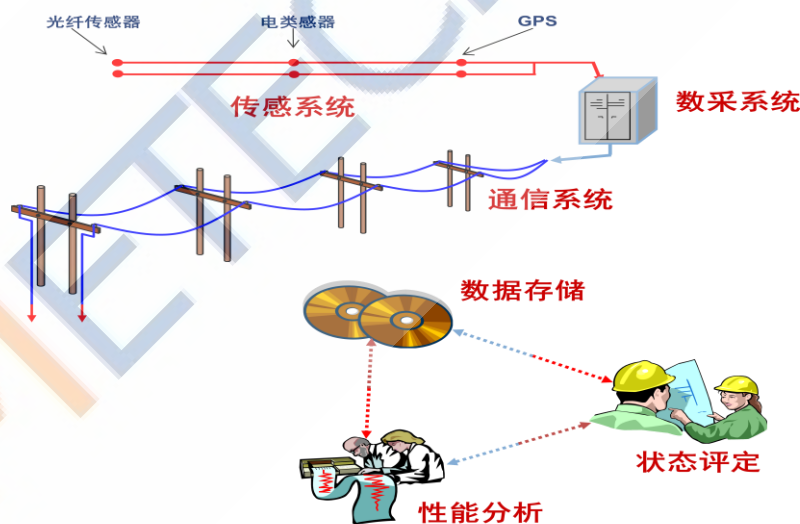
3、云计算技术：该项目将利用云计算技术建立数据监测中心，可对所有不同类型数据进行存储、智能分析、实时预警、应急响应，保障化工企业的安全运营。

四、拟采取的研究方案及可行性分析

本课题从监测的实际需求出发，解决监测数据采集、处理、分析、相应、反馈、存储的一些关键难题。主要研究方案如下：

4.1 总体设计模式研究方案

本项目采用分布式云数据中心端到端解决方案，将传统的分散、异构、分级的传感数据采集业务架构整合替换为物理分散、逻辑集中的分布式云数据中心架构，将不同地点、不同时期、不同规模的传感数据采集点整合为一个统一的信号“逻辑资源池”，实现统一分析、统一管理、统一监测、统一呈现。工作架构图如下：



4.2 可行性分析

- 基于 PAC 平台的分布式多类传感器同步采集系统

本项目采用嵌入式实时控制器和 FPGA 作为基础硬件平台，实时控制器通过 FPGA 控制数据采集 I/O 模块(电压、电流、数字 I/O 信号)和光纤光栅解调模块采集到的信号并通过运行在 FPGA 上的算法对信号进行实时“硬”分析处理，并采用 GPS 信号作为设备间的定时/同步采集触发信号，系统与上位机之间采用网络通信方式传输数据和控制命令

- 基于 LTE 技术的 4G 的无线通信传输模型

目前，数据传输采用的通信方式可分为有线方式和无线方式，其中，有线方式包括电力线载波、音频电缆、光纤通信，无线方式包括微波通信、数传电台、租用公网的无线通信（短信数据采集系统、GPRS 无线数据采集、CDMA 无线数据采集）等。而对于目前普遍采用的公网的无线传输方式，传输速率低、可靠性低、保密安全性差、不利于以后扩展。鉴于以上原因，在众多的通信方式中，LTE 宽带无线技术以其频带宽、传输速率高、覆盖范围广、业务支撑能力强、可靠、安全等特点，成为公认的无线通信传输技术发展趋势。非常适用于本项目中传感信号大规模、异构化、实时性、数据量大的特点。

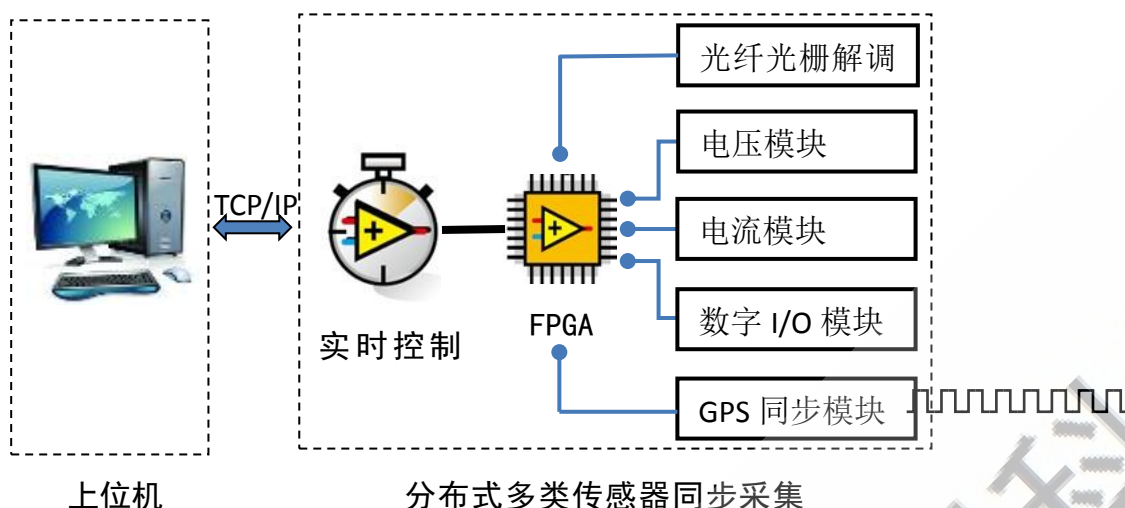
- 基于云计算的数据监测平台

此平台为该项目提供由内到外统一的基础架构平台服务，建设基于云计算平台的新一代数据中心。基于云计算的数据中心将改变模式单一、重复建设、各自为阵的状态，消除异构化传感数据之间障碍，实时动态的监测数据，最终实现归一化管理，

五、方案实施

5.1 分布式结构健康监测数据同步采集

该系统工作原理图如下：



- 光纤光栅解调模块：将光纤光栅波长信号转换为电压信号，实现数据采集功能
- 电压、电流、数字 I/O 模块：分别采集传感器输出的电压、电流和数字 I/O 信号。

本仪器采用 NI 公司成熟的工业数据采集 I/O 模块实现高稳定性高精度的数据采集功能；

- GPS 同步模块：通过 GPS 接收器接收 GPS 同步信号，做相应的处理得到时钟同步信号和绝对时间戳并通过 FPGA 发送给实时控制器，详细可行性分析见 GPS 同步模块部分；

- 可编程逻辑门阵列(FPGA)：配置以及使用定时同步 while 循环读取数据采集模块，从而实现通道间同步采集功能，通过开发基于 FPGA 的实时信号滤波、频域计算和传感器信号阈值触发算法实现对传感器信号的实时分析，将采集到的数据和分析后的信号写入 FIFO 数据缓冲器中；

- 实时控制器：通过 FIFO 读取 FPGA 传输来的数据，读取并实时处理时钟同步信号和绝对时间戳以实现设备间同步采集，通过“波长显微镜”算法实时计算出光纤光栅的波长值，按照数据类型在内存中建立缓存池，实时的以“先入先出”机制将采集或分析处理后的数据通过 TCP/IP 协议发送至 PC 上位机，接收上位机命令并通过 FPGA 控制模块的数据采集参数；

- 上位机：实现人机界面的交互，显示并存储实时采样数据，通过逻辑命令控制仪器的数据采集参数。

该系统新之处主要有：

- (1) 基于波长扫描型光纤激光器的光纤光栅解调模块；
- (2) 多类传感器硬件级别的数据同步采集能力；
- (3) 基于 GPS 同步触发信号的设备间同步采集；

（4）基于 FPGA 的传感器信号实时“硬”分析处理算法。

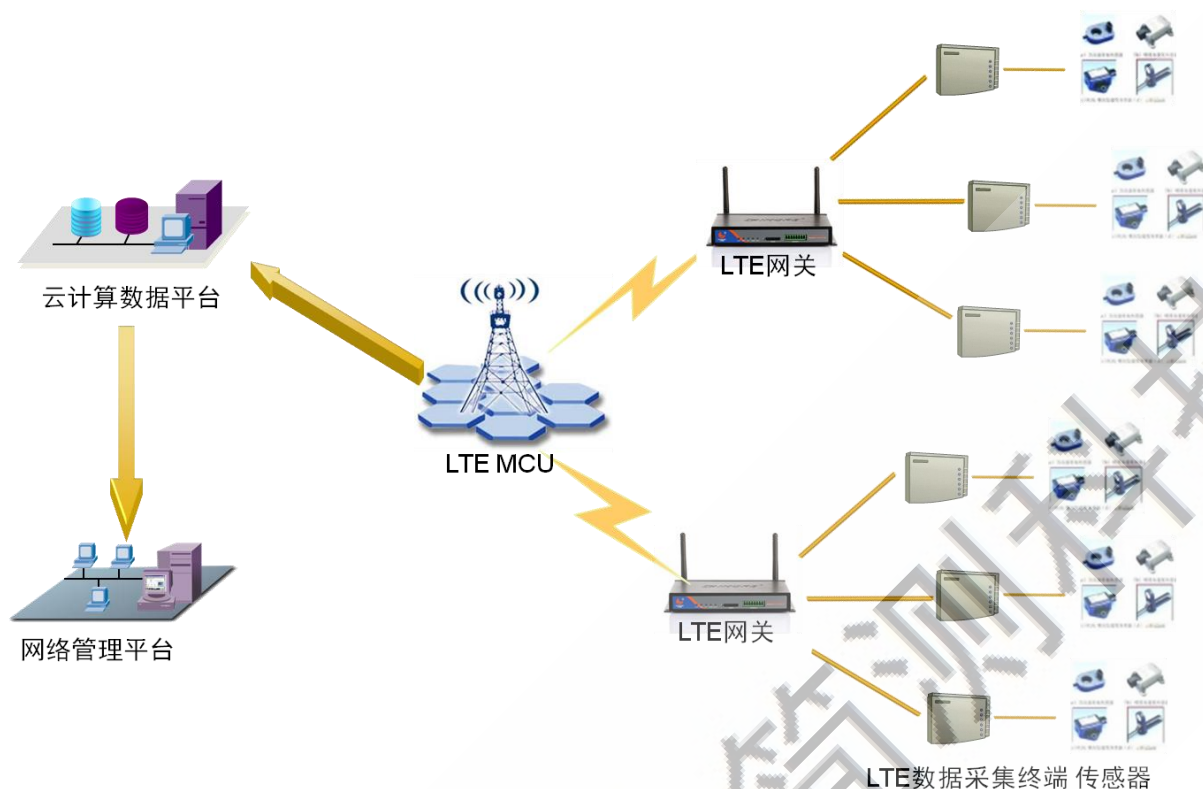
该系统可以满足传感器种类多、数量大、分布广、信号测量精度、同步性要求高以及信号分析处理实时性强的需求，为结构分析提供详实准确的数据，将会极大的提高现有监测技术水平。

5.2 基于 LTE 数据高速无线传输

该项目应用此技术可以支持高带宽：在 20MHz 频宽和 2*2 MIMO 的条件下，最高可支持下行 100Mbps，上行 50Mbps 的数据速率。由于高带宽，可以用一张网络同时支持专业的数据采集业务，实时信号传输，远程数据采集和宽带数据接入，实现防灾减灾，助力生产安全。主要有以下特点：

- **大容量：**配用设施中的传感器终端分布较广且数量巨大，大量的数据采集对网络容量需求巨大。LTE 的大容量特点能够满足安全监测的需求，并且，随着 LTE 技术的不断演进，未来网络传输升级潜力巨大，速率可达到 1Gbps。
- **高安全性：**安全监测都有高度安全需求，LTE 是多种技术融合演进的结果，在继承已有技术安全性的特点外，还在设备自恢复、业务 QoS 自保障、网络及业务层面数据加密鉴权方面得到了提升，能够满足化工设施安全监测的要求。
- **业务灵活性：**化工设施安全监测以控制计量点、数据采集为主，这些业务有上行带宽高、终端位置固定等特点。LTE 具备上行业务带宽可调、低时延、系统扁平化设计的特点，并且对传感节点分等级进行保障。

5.2.1 工作原理图如下：



5.2.2 研究开发主要内容

开发一款集成 LTE 无线广域网通信、ZIGBEE 短距离网格通信以及 RS232/RS485 有线通信的 LTE 数据采集终端。

- 工作方式

LTE 数据采集终端接收来自 RS232 接口(或者 RS485 接口)以及 ZIGBEE 无线网络传输过来的数据，然后通过 LTE 无线网络，把数据送到监控中心后台服务器。LTE 数据采集终端和监控中心后台服务器通过移动 LTE 网络，使用透明 TCP 方式或者透明 UDP 方式来进行数据交互。

LTE 数据采集终端和端末设备采用 ZIGBEE 通信方式时，LTE 数据采集终端可以作为下面三种通信方式类型中的其中一类通信方式来使用：协调器(Coordinator)、路由器(Router)、终端节点 (End Device)。三种类型模式具备不同的网络功能：当协调器模式时，LTE 数据采集终端成为网络的中心节点，负责网络的发起组织、网络维护和管理功能；当路由器模式时，LTE 数据采集终端负责数据的路由中继转发；当终端节点模式时，LTE 数据采集终端只进行本节点数据的发送和接收。

- 产品开发思路

LTE 数据采集终端采用工业级高性能嵌入式处理器，以实时操作系统为软件支撑平台，超大内存，内嵌自主开发的 TCP/IP 协议栈；接口支持串口 RS232、RS485 接口、RS422 接口、TTL 接口、USB 接口以及 ZIGBEE；该终端设备支持双数据中心备份，以及多数据中心同步接收数据等功能；保持数据终端永久在线，保持数据链路任何时候畅通，实现高速、稳定、可靠的 TCP/UDP 透明数据传输功能。

● 产品主要技术特性

1、工业级设计

- 1) 工业级 CPU：工业级高性能嵌入式处理，400MHz；带 16KB Dcache，高速缓存数据，加快高速数据访问速度；带 16KB Icache，高速指令缓存，加强了指令处理速度。
- 2) 工业级无线模块：采用工业级无线模块，抗干扰强，传输稳定。
- 3) 实时操作系统：采用 LINUX2.6 操作系统，带内存管理单元，实时性强，功能升级快，系统稳定，带完善 TCP/IP 协议栈；或者嵌入式 UCOS 操作系统。
- 4) 强化电路板：PCB 采用遵循 20H 和 3W 原则，确保板材的稳定可靠。
- 5) 工业级元器件：整机元器件采用严格筛选的工业级元器件来生产。
- 6) 工业级电源：宽压电源设计，电源适应范围为 DC5V~DC35V，内置电源反向保护和过压过流保护。

2、高可靠性

- 1) 三层系统保护：在原来两级（软件保护+CPU 内置看门狗 WDT 保护）系统保护的基础上，增加一级系统虚拟值守 VWM（Virtual Man Watch）检测保护功能，网络异常、或者系统收到强干扰异常时，系统会重新彻底复位。
- 2) UIM/SIM 卡 ESD 保护：1.8V/3V/5V 标准的推杆式用户卡接口，内置 15KV ESD 保护。
- 3) 串口 ESD 保护：RS232/RS485/TTL/RS422，内置 15KV ESD 保护。
- 4) 金属外壳：采用金属外壳，防辐射，抗干扰；外壳和系统安全隔离，防雷设计；符合电力安规要求；防护等级为 IP41；特别适合于环境恶劣的工业控制领域。
- 5) 高速处理 CPU：采用高速的工业级 CPU，可以更加高速地处理各种协议数据转换；解决了业内“假在线”、“假死机”、“当机”等疑难问题。
- 6) 超大内存：FLASH64Mbits，DDR2，1024Mbits，有超大的内存来缓存客户发送数据，同时接收超大数据包，数据不丢失。

7) DNS 自动获取：自动获取 DNS，不再需要人工配置输入 DNS；规避了因为选择的 DNS 服务器异常，导致 DTU 设备当机的严重现象。

8) 完善的协议栈：新系统加载了完善的 TCP/IP 协议栈，采用了完善的 TCP/IP 协议栈；使网络通信性能优异，掉线概率极大降低。

● 产品主要功能

1) ZIGBEE 通信支持协调器(Coordinator)、 路由器(Router)、终端节点 (End Device) 三种不同的通信方式。

2) LTE 数据采集终端内置信号放大功能，极大增强信号强度，最大传输距离可达 2000 米。

3) LTE 数据采集终端和中心服务器之间采用 TCP 透明数据传输或者 UDP 透明数据传输；支持多种工作模式。

4) 支持 RTC 实时时钟，可以实现定时开关机功能，关机功耗<1mA。

5) 支持虚拟数据专用网 (APN/VPDN)。

6) 支持双数据中心备份及多数据中心 (8 个) 接受数据，最大支持发送中心达 256 个。

7) 智能防掉线，支持在线检测，在线维持，掉线自动重拨，确保设备永远在线。

8) 远程唤醒：支持短信、语音、数据等唤醒方式以及超时断开网络连接。

9) 支持中心服务器固定 IP；中心动态 IP，支持 DDNS 动态域名通信方式。

10) 支持短信远程配置，远程控制；支持短消息告警。

11) 数据包传输状态报告。

12) 支持 RS232 通信方式，支持 RS485 通信方式，支持 ZIGBEE 通信方式。

13) 支持 RSA，RC4 加密算法。

14) 标准的 AT 命令界面。

15) 支持 telnet 功能。

16) 可以用做普通拨号 MODEM。

17) 低功耗设计：休眠功耗<1mA。

18) 支持串口软件升级。

19) 同时支持 LINUX、UNIX 和 WINDOWS 操作系统。

5.3 云计算数据中心平台搭建

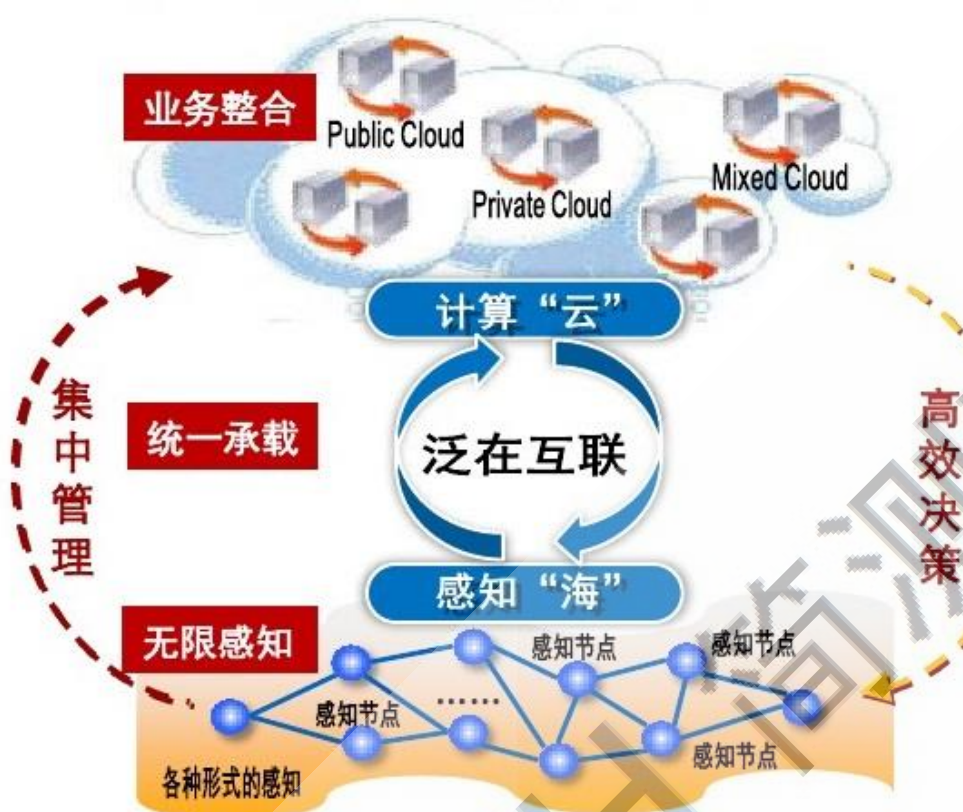
以数据技术为基础，整合集成现场采集数据，并采用源数据描述的方式集成各个子系

统的异构数据。永久存储宝贵的第一手数据。利用在线数据分析、统计、报表等技术和方法提供以数据中心为核心的全方位应用。以决策支持为核心目标。提供一个信息技术的整体解决方案，为整个生产安全实施环节服务。在降低防灾减灾信息处理劳动强度的同时，突出数据和信息。数据中心的解决方案覆盖了信息系统的各个领域和信息处理的整个流程（从数据采集、处理和传输，到信息管理、分析和共享）。将简单的现场作业延伸到数据分析和数据共享，从信息中提炼，为决策提供充足的信息支持。如图所示



5.3.1 云计算数据中心平台基础架构由三层组成：

- 感知层：提供基础的信号采集资源，包括传感信号资源、计算数据、网络资源、安全资源及采集仪机位资源等多种物理资源，物理资源可通过虚拟平台云化后成为云资源池，由云监控管理平台管理、调用，通过云运营服务平台提供服务；
- 平台层：实现物理资源池的云化，通过监控管理平台和运营服务平台提供运维、运营服务，支撑业务运营。
- 业务应用层：包括数据整理业务、数据分析业务、数据管理业务、应急报警业务等；满足化工企业本身的生产安全建设。



5.3.2 云计算平台层无阻塞高速网络整合架构

- 云计算资源池：由一组可以实现自动供应和回收的预先定制的 CPU 和存储资源形成，具体包括服务器节点设备和元存储设备。由于云平台的很多特性，需要再一个大的资源池中才能够体现，比如动态迁移、负载均衡和高可用性，所以我们建议，最少采用 2 台 X3850 服务器，一台磁盘阵列搭建云平台。
- 云计算基础架构管理服务器：为一台 X86 服务器，安装操作和管理整个云基础设施的工具包。
- 云计算应用软件（基本软件包）：基于 Web2.0、根据服务请求进行资源供应和回收（如 Web 服务器、Web 应用服务器、数据库服务器、目录服务等）。

云计算平台可以整合 XenServer 作为计算资源的虚拟化平台。也可以扩展支持 KVM、IBM AIX 虚拟化、Vmware 等其他虚拟化技术。有了虚拟化平台后，利用云服务管理能力就可以实现从服务申请到虚拟化部署、从系统标准化安装到软件部署等。为充分利用云计算的优势，建议硬件资源全部采用 X86 架构的服务器作为服务器的资源池。服务器的整合在

保持原有的服务器平台硬件和软件的前提下，在服务器裸设备上安装虚拟化管理软件，再虚拟化出来若干系统环境，相当于多个云主机。。

5.3.3 云计算网络结构

云计算系统是众多节点集中的管理系统，其系统特点是主机存放密集、服务范围广、网络结构复杂、安全程度要求高。在云计算中心的网络设计中应充分考虑这些特性。

1) 网络设计原则

云计算网络建设要实现内部全方位的资源共享，

应用三层交换，使网络安全可靠，必须具备高性能、高安全性、高可靠性，可管理、可增值特性以及开放性、兼容性、可扩展性。

2) 核心网络设计

基于云计算平台的需要，把整个云计算网络分为两个区域，其中出口和核心作为一个整体区域，采用两台核心交换机，接入汇聚作为另一个区域，整个网络就是由上述系列产品构成了三层网络架构。网络采用双核心，两台核心交换机之间通过特殊协议互为备份。在核心层与汇聚层之间所选用的设备建议支持万兆平滑过渡的设备，充分考虑了设备的投资以及对下一代技术发展趋势的兼容性。

在骨干层设计的时候充分考虑冗余设计，在两台核心交换机之间通过千兆链路连接起来。这样就构成了一个全冗余式的骨干层，充分保证了整个云计算网络业务的稳定。

在云计算就网络设计出口时，我们主要考虑了以下几个需求：首先，对于双出口的网络，要求出口设备支持策略路由；

其次，其次要求对于队列以及业务类型的 QoS 有良好的控制，可以提供灵活的控制方法；

第三，要在保证双出口之间的灵活切换的同时，保证整个云计算网络的安全。

3) 存储与备份

云计算平台充分可以利用现有的存储设备，形成一个可以充分利用的存储资源池。如果没有存储设备，也可根据用户存储容量和数据传输效率要求，配备专门的云平台共享存储设备。

由于基于云计算平台的搭建方案，所有虚拟机的操作系统和应用程序等都存储在共享存储中，所以对于存储设备本身和传输网络都有一定的要求。根据我们的经验，建议用户选择光纤 SAN 的存储结构，以满足云计算平台对数据传输和存储的需求。

因为数据集中，为了更好的保证数据的安全性，建议配备一台备份存储设备。在所有业务服务器上部署相应的备份代理软件模块。这样，在定义好备份系统资源和策略后，在指定的时间，备份系统就会自动的将数据库服务器上的数据从共享存储上、采用指定的方式备份到备份存储设备中。

4) 基础设施及网络部分

主要需要投入的设备和软件如下表（以上设备可以利用现有设备或者按照实际情况补充）：

名称	描述或配置	数量
核心交换机	根据实际需求配置	视现有设备情况
汇聚交换机	三层汇聚层交换机，用来汇聚网络(根据客户现有情况扩充)	视现有设备情况
SSL VPN 设备	用来远程用户的安全连接	根据实际需要可选
入侵检测防护系统	用来保护内部网络的安全设备	根据实际需要可选
负载均衡设备	酌情配置	根据实际需要可选
防火墙	安全控制设备	视现有设备情况
中央存储设备	采用 SAN 磁盘阵列，容量根据需要确定，建议采用 DS3000 以上存储，AS 15000krpm 以上硬盘	1 台
SAN 交换机	采用冗余连接	2 台
备份存储设备（含备份软件）	备份使用	根据实际需要可选
服务器	四路四核 64G 内存	1 台
云计算系统软件	按照服务器 CPU 计算	

六、预期研究成果

1、理论成果

- ◇ 适用于异构传感信号监测的状态机架构设计理论
- ◇ 光纤光栅“波长显微镜”波长解调算法
- ◇ 云计算在大规模传感监测信号处理中的运用

2、技术成果

- ◇ 电压、电流、数字 I/O 模块的通道间同步采集技术
- ◇ 基于 GPS 的设备间同步采集技术
- ◇ 嵌入式实时操作系统平台模块化程序，其中包括：数据采集引擎、网络通信引擎、本地存储引擎、网络存储引擎、调试引擎
- ◇ 运用 4G 无线传输技术进行传感数据大规模实时传输

3、工艺成果

- ◇ 一种基于波长扫描型光纤激光器的光纤光栅解调模块
- ◇ 一种基于 RIO 平台的 GPS 时钟同步模块

4、仪器成果

- ◇ 基于 PAC 平台的分布式结构监测数据同步采集仪器一台
- ◇ 基于状态机架构的传感信号监测与分析系统软件
- ◇ 基于云计算平台的数据网管系统

七、创新水平及技术先进程度

- ◇ 在国内首次采用此方案实施分布式传感监测研究
- ◇ 首次开发异构化传感数据同步采集系统

◇ 采用最先进的 4G 传输技术应用于此监测研究

八、项目实施基础

近几年我们一直在进行结构健康监测领域的研究，在传感技术、数据监测系统开发以及实际工程应用方面取得过一系列的研究成果。具备了开发此项目的相关基础性工作，主要如下：

1) 质量敏感型有毒有害气体传感器及阵列研究

通过对质量敏感型传感器的质量敏感效应、敏感薄膜与气体分子的吸附特性以及气体分子在敏感薄膜上吸附作用的线性溶剂化能关系等的研究，建立敏感机理的物理化学模型。用多物理场耦合模型实现了对声波气体传感器的仿真，利用仿真过程大大减少了原型机的实验量，缩短传感器开发周期，降低开发成本。

2) 基于无线传感器网络的化工装备数据采集技术研究

根据化工装备状态监测系统的总体架构,开发设计了基于虚拟仪器软件 LabVIEW 2011 的监测中心上位机软件平台系统,利用仿真信号,模拟验证与实现了对网关设备上传的设备状态数据的各种处理功能,包括采集、显示、分析、存储以及远程数据共享与发布等。

3) 加速度、应变及水压力动态同步采集系统的开发。

针对近海与海岸工程国家重点实验室的实验测量需求，我们开发了一款可以实现加速度、应变及水压力三个物理量的硬件级别同步采集仪器。同步精度达到 10^{-7} 秒，采样速率为 512Hz。