

Company  
LOGO



# 广州市大规模供水管网实时在线校验水力模型的构建与应用

许刚 高级工程师

# 国内外给水管网水力模型软件简介

## 国内外给水管网水力模型软件简介

- ◆ WaterCAD/WaterGEMS
- ◆ Infowoks WS
- ◆ infoWater/H2ONET/H2OMAP Water
- ◆ MIKE URBAN WD
- ◆ Pipe2010: KYPipe
- ◆ EPANET
- ◆ 三高弘扬

主要考虑离线模型，供工程师和研究人员使用，通常使用起来比较复杂，效率也较低，难以满足在线运行调度决策的需求

# 供水管网在线水力水质模型构建的背景

## 在线水力水质模型需求背景

- 政府、社会对应急响应要求越来越高
- 供水企业精细化管理要求
  - 优化调度（多水源泵阀的联调联控）
  - 漏失管理（压力管理、分区管理）
  - 系统诊断分析
- 新水质国标实施后，对管网水质保障的需要

# 供水管网在线水力水质模型构建的背景

## 供水管网在线水力水质模型构建的可行性

- ◆ 在线监测设施的普及
- ◆ 供水系统GIS的普及和完善
- ◆ 海量数据挖掘和建模技术趋于成熟

# 供水管网在线水力水质模型构建的背景

## 传统建模

- 人工进行模型
- 水泵曲线现场
- 编制离线水力方案
- 针对特定制定方案
- 每半年到一年大型维护

## 在线模型

- 接入SCADA全厂数据
- 通过SCADA系统提取水泵曲线
- 在线泵阀联调
- 根据实际需要制定应急预案
- 在线实时维护

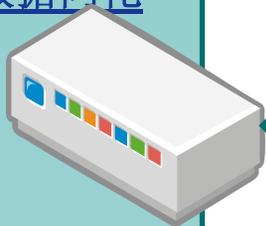
# 供水管网实时监控与调度系统CWaterNet系统简介

## CWaterNet系统体系结构

CWaterNet是以运行调度、管理为中心，集建模与优化调度为一体的系统平台

### CWaterNet后台服务模块

- 1、管网模型与SCADA数据同化
- 2、实时的水力分析
- 3、实时的供水分区分析
- 4、实时的余氯分析
- 5、实时的水龄分析



### 客户端应用

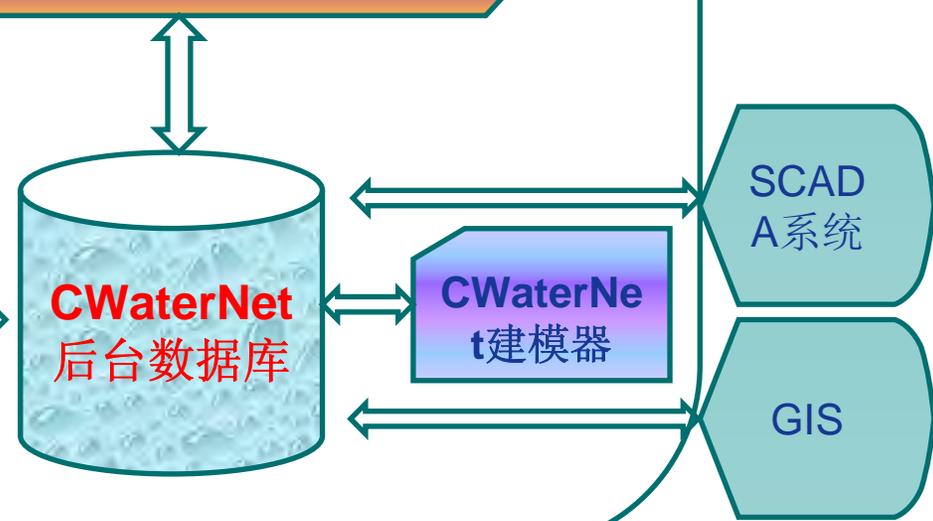
查看遥测信息

实时水力水质结果展示

供水路径追踪

突发事件应急处置

管网科学调度决策支持



# 主要功能简介

## CWaterNet系统应用层模块

管网实时监测

管网实时水力模拟

管网实时供水分区模拟

管网实时余氯模拟

管网实时水龄模拟

管网在线分析

管网辅助调度

管网历史数据

管网路径追踪

管网GIS

管网SCADA

# 主要技术难题突破

## 模型构建中的技术难题

### 节点流量的估计

#### 常规的方法：

- 1、建立用水模式曲线
- 2、根据水表统计结果进行分配

#### 在线模型：

根据SCADA系统直接进行模型在线校核

### 水泵曲线的提取：

#### 传统方法：

现场实测或厂家提供

#### 新方法：

通过SCADA监测资料反推

# 节点流量的估计

节点流量估计的数学模型

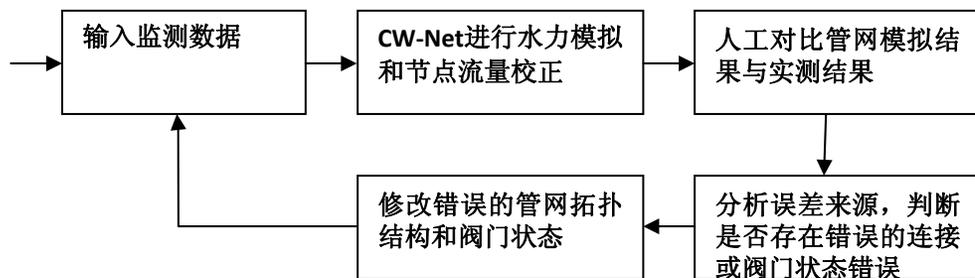
矩阵式校验技术

$$J_{\min} = \sum_{i=1}^{nh} (W_i^h)^2 (h_i^o - h_i^p)^2 + \sum_{j=1}^{nq} (W_j^q)^2 (q_j^o - q_j^p)^2 + \sum_{k=1}^{nk} (W_k^{qt})^2 (qt_k^o - qt_k^p)^2$$

$$G(H, Q, R, C) = 0$$

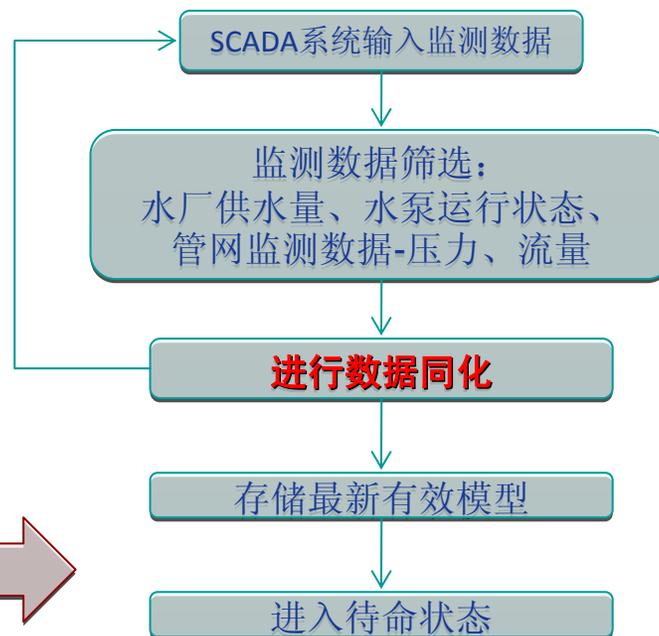
$$Q_l \leq Q \leq Q_u$$

Weiping Cheng, Zhiguo He. Calibration of Nodal Demand in Water Distribution System. Journal of water resource and plan [J]. 2011,137(1):31-40

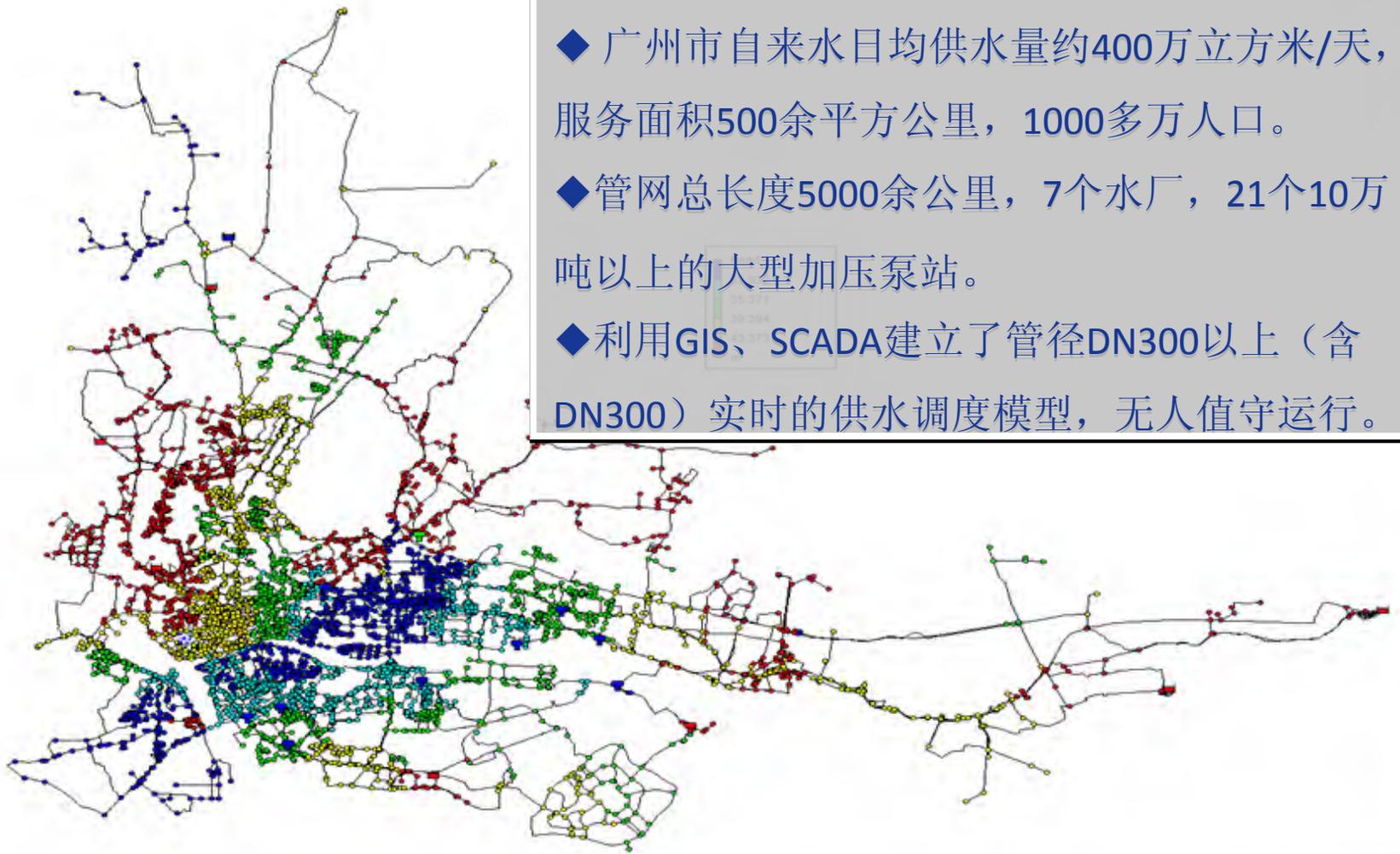


节点流量估计的离线校验

节点流量估计的在线校验

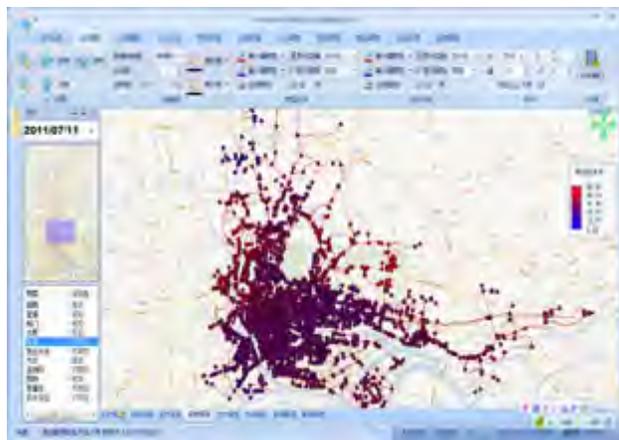


# 广州在线水力模型

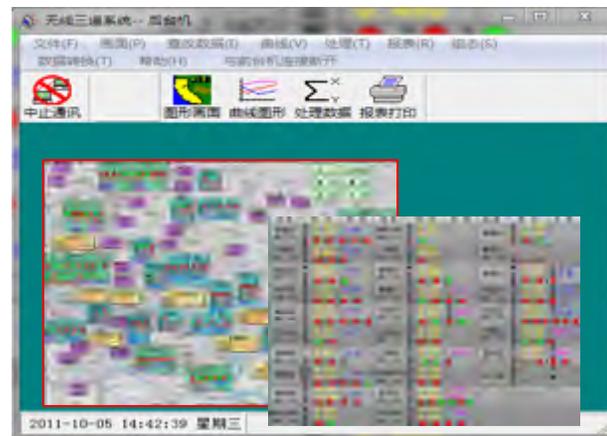


- ◆ 广州市自来水日均供水量约400万立方米/天，服务面积500余平方公里，1000多万人口。
- ◆ 管网总长度5000余公里，7个水厂，21个10万吨以上的大型加压泵站。
- ◆ 利用GIS、SCADA建立了管径DN300以上（含DN300）实时的供水调度模型，无人值守运行。

# 在线管网模型的结构



用户端



SCADA系统



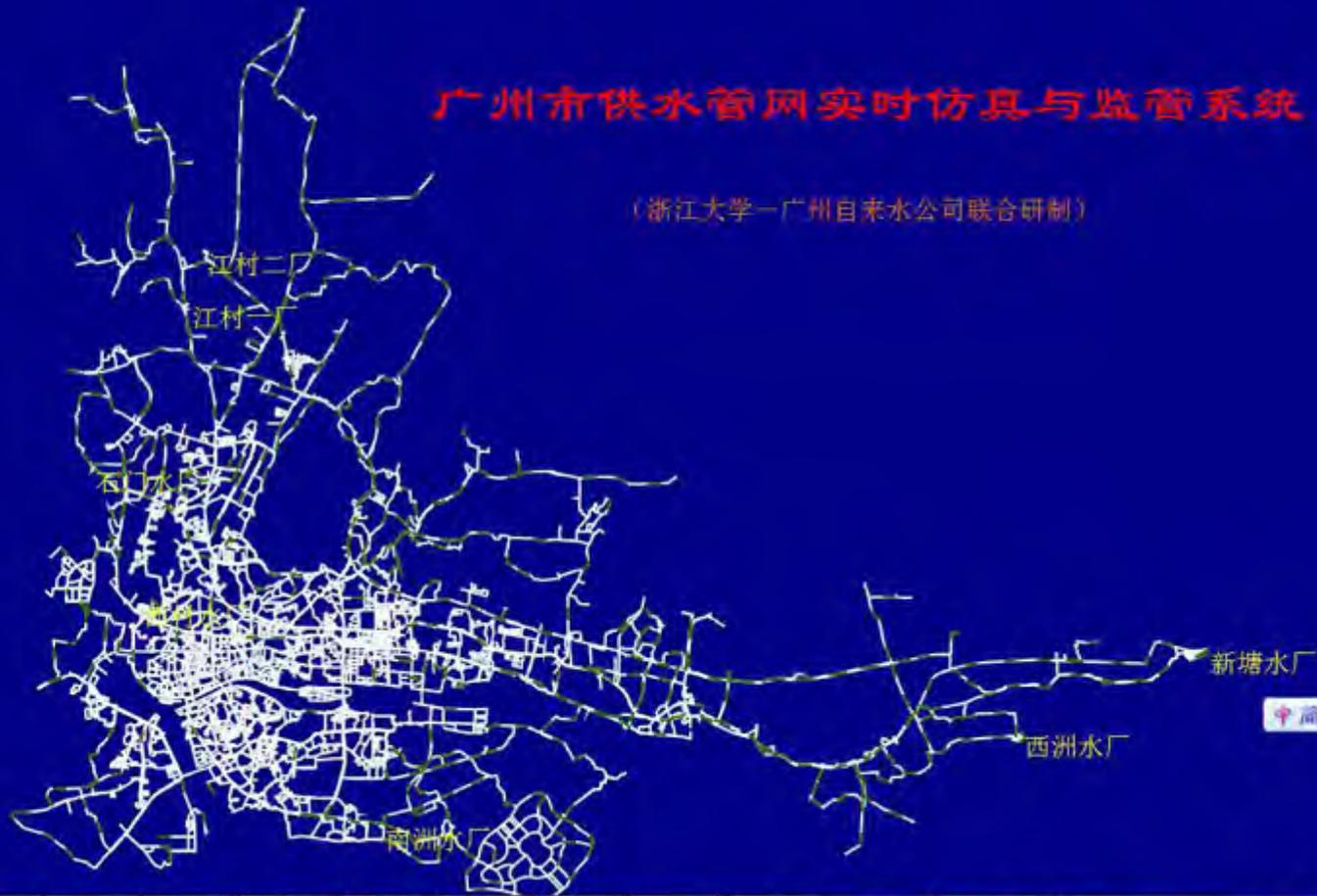
Dell 710: two cpu,8 core ,16G memory  
provide database and solver service

后台计算服务器

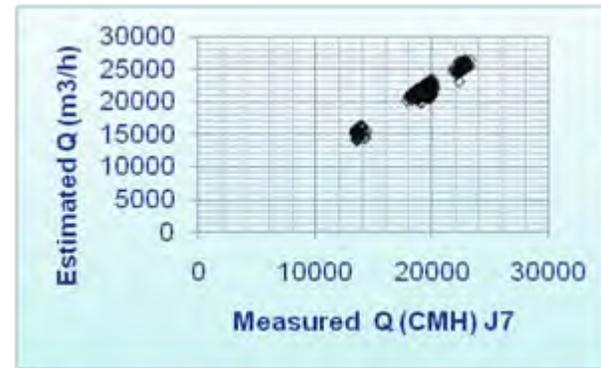
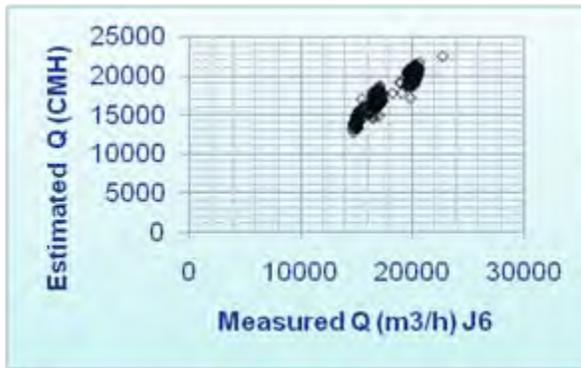
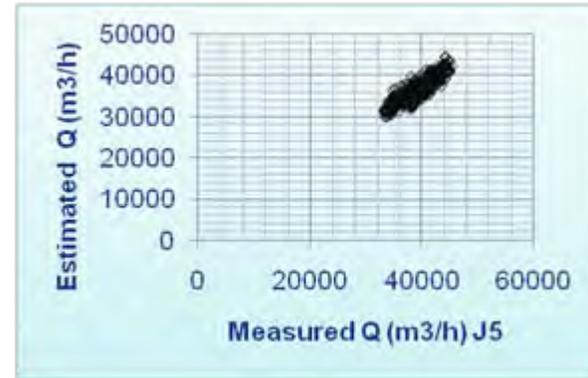
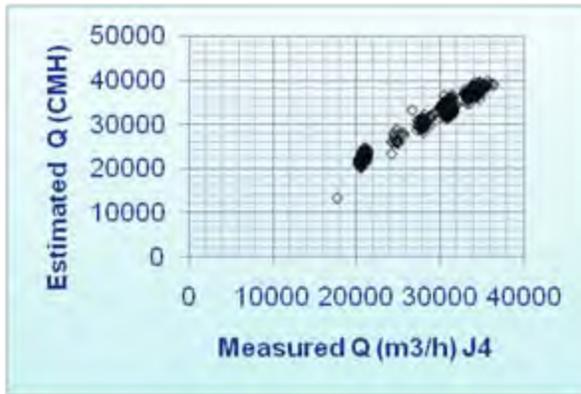
# 在线管网模型的结构

## 广州市供水管网实时仿真与监管系统

(浙江大学—广州自来水公司联合研制)

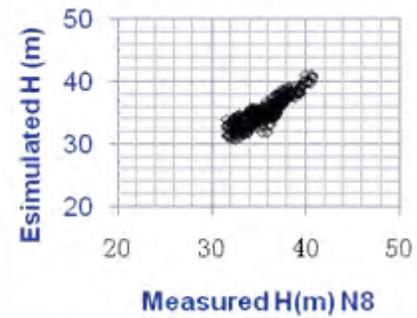
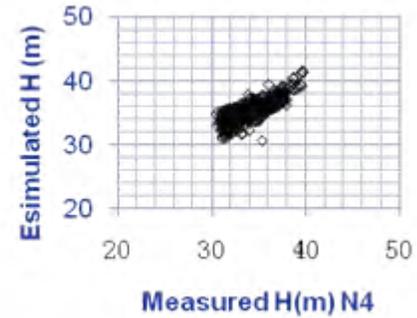
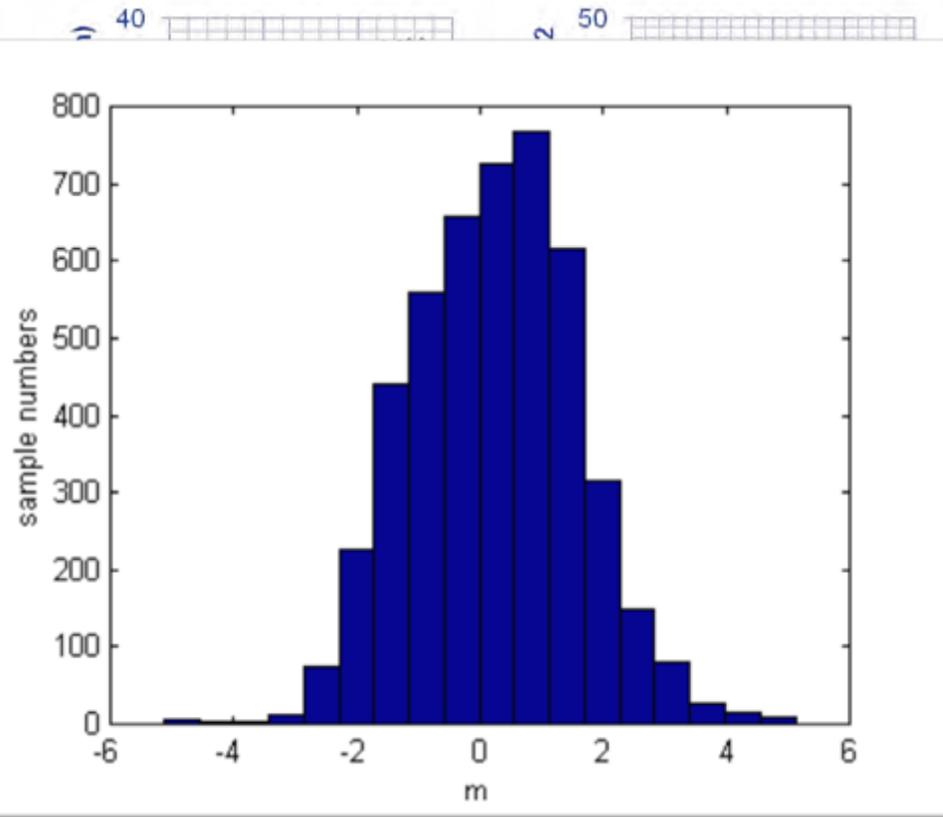
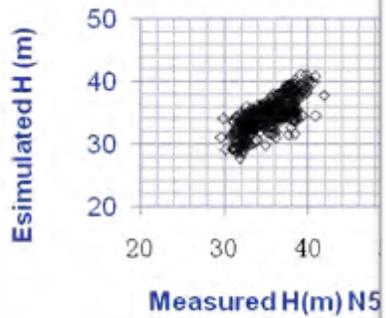
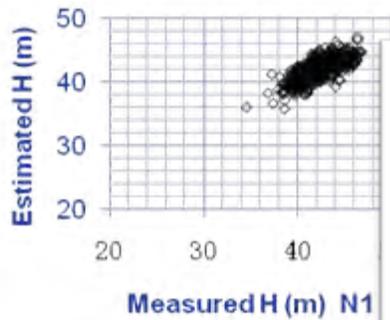


# 在线水力模型的准确性



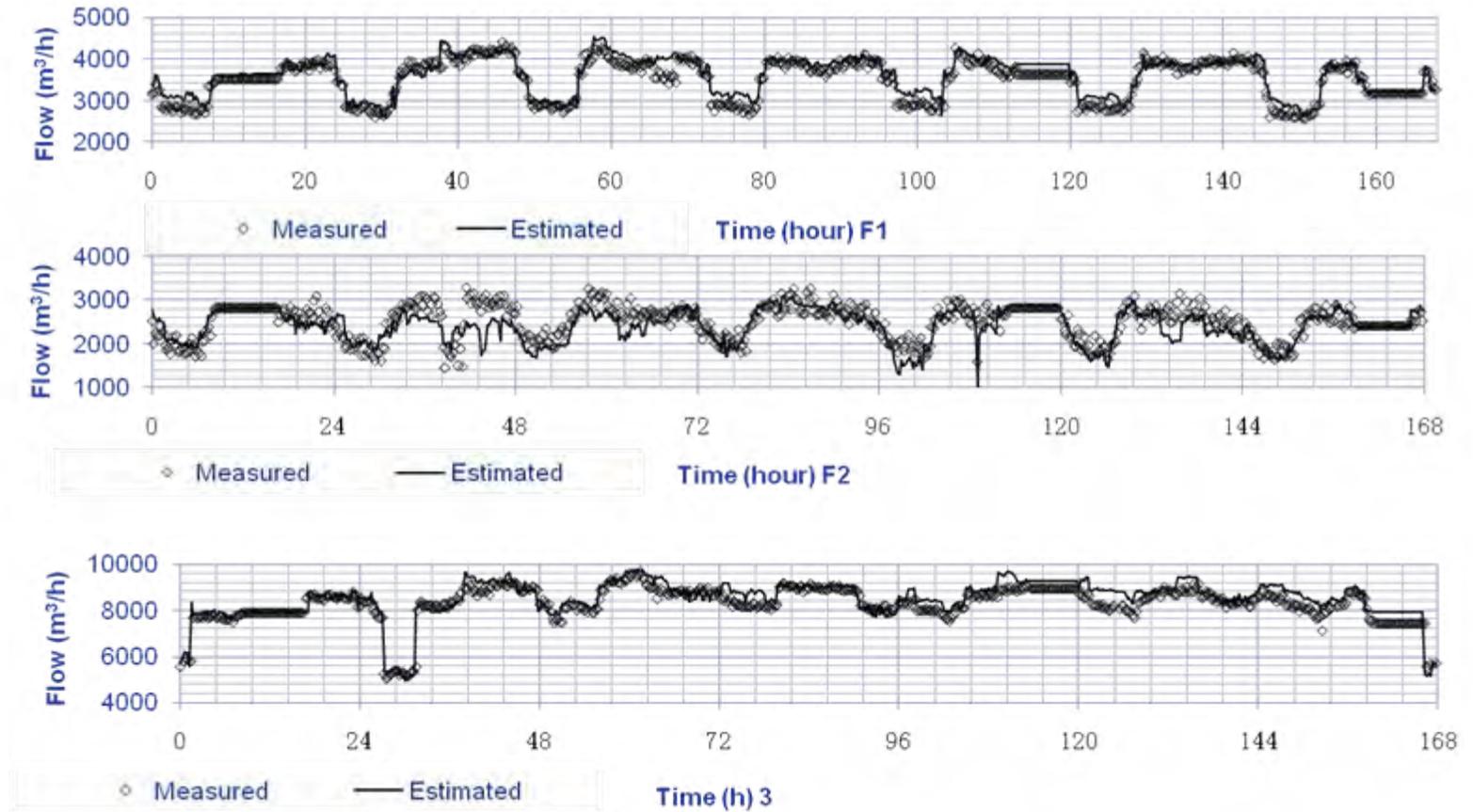
水源供水量实时模拟结果

# 在线水力模型的准确性



管网关键点实时模拟结果

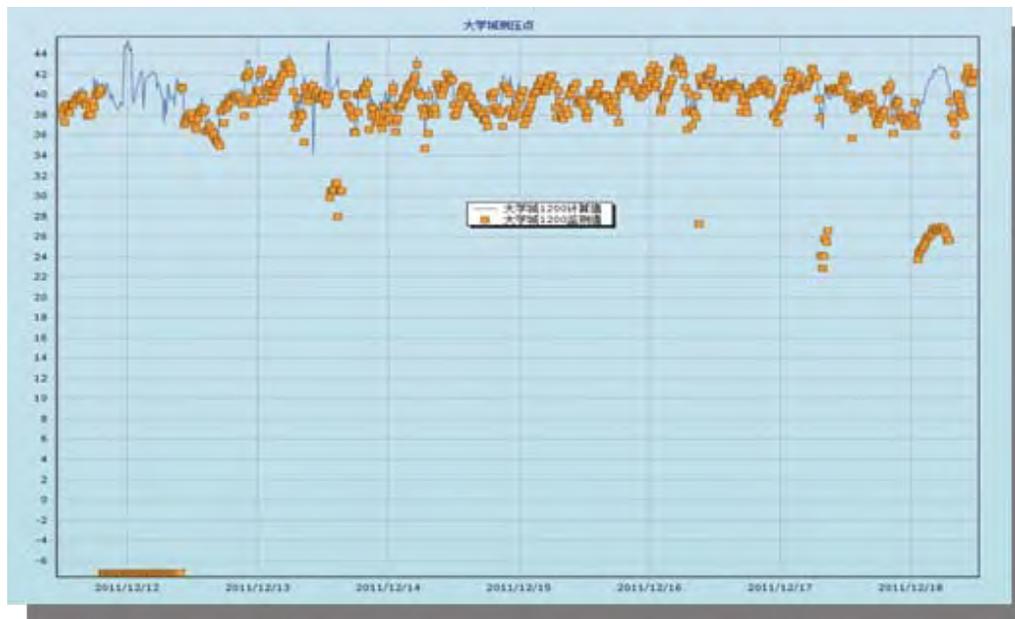
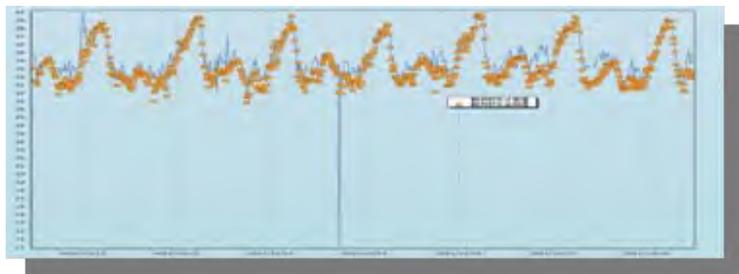
# 在线水力模型的准确性



重点管线流量实时模拟结果

# 在线水力模型的稳定性

由于水厂SCADA数据异常引起的错误，系统在下一个时刻能够自动回调到正常状态，无需人工干预



系统具有高精度、高稳定性特点：（1）90%以上节点水头误差小于1.5m，95%以上误差小于2m，能够控制在国家规范要求的用水器具压力范围内；（2）即使在SCADA系统提供了错误数据的情况下，仍能够自动修复。

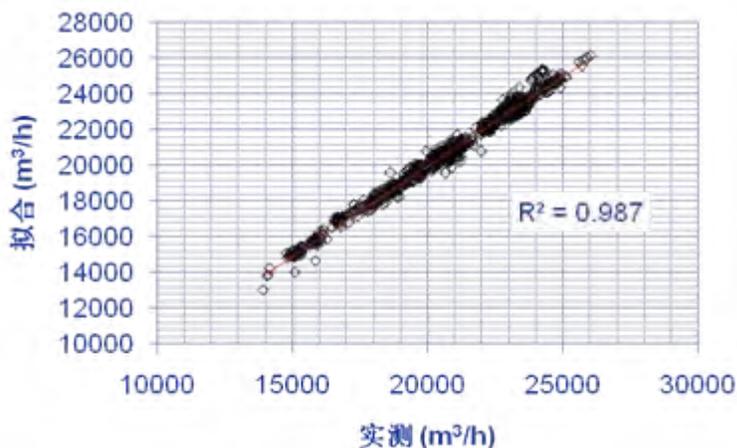
# 水泵曲线的提取

## 水泵曲线提取的数学模型

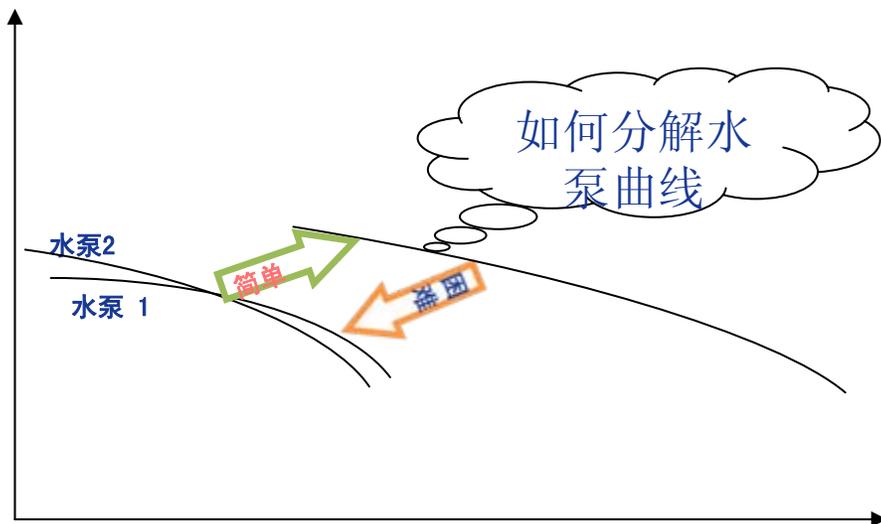
$$\min \sum \left( Q_i^* - \sum_{j=1}^{j_n} \pi_i^j q(h_i^j) \right)^2$$

$\pi_i^j$  : 水泵状态

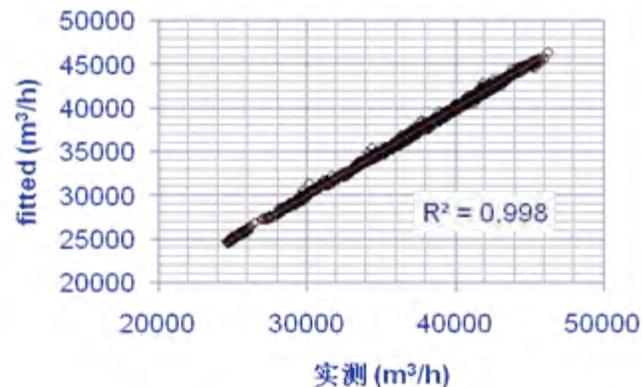
$\pi_i^j \begin{cases} 1 & \text{开} \\ 0 & \text{关} \end{cases}$



广州新塘水厂水泵拟合成果

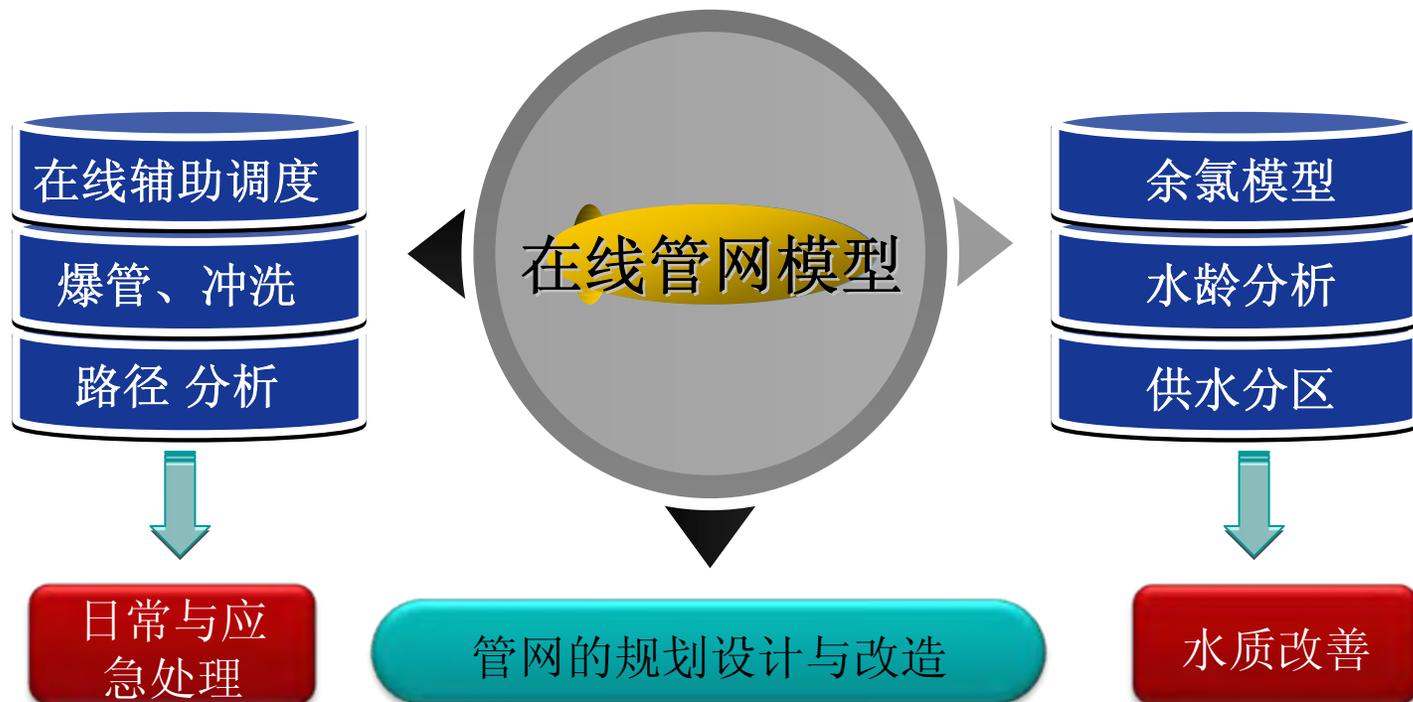


1周内完成广州121台水泵曲线的分析



广州南洲水厂水泵拟合成果

# 在线管网模型的应用



# 在线辅助调度

不仅可以用于在线压力调控，也可以用于日常的  
压力控制指标编制

广州市供水压力调控敏感度分析



通过管网的压力控制敏感度分析，可以直接指导水厂压力调控，制定管网压力调度方案，接入自控系统，进行压力调控。



# 在线辅助调度

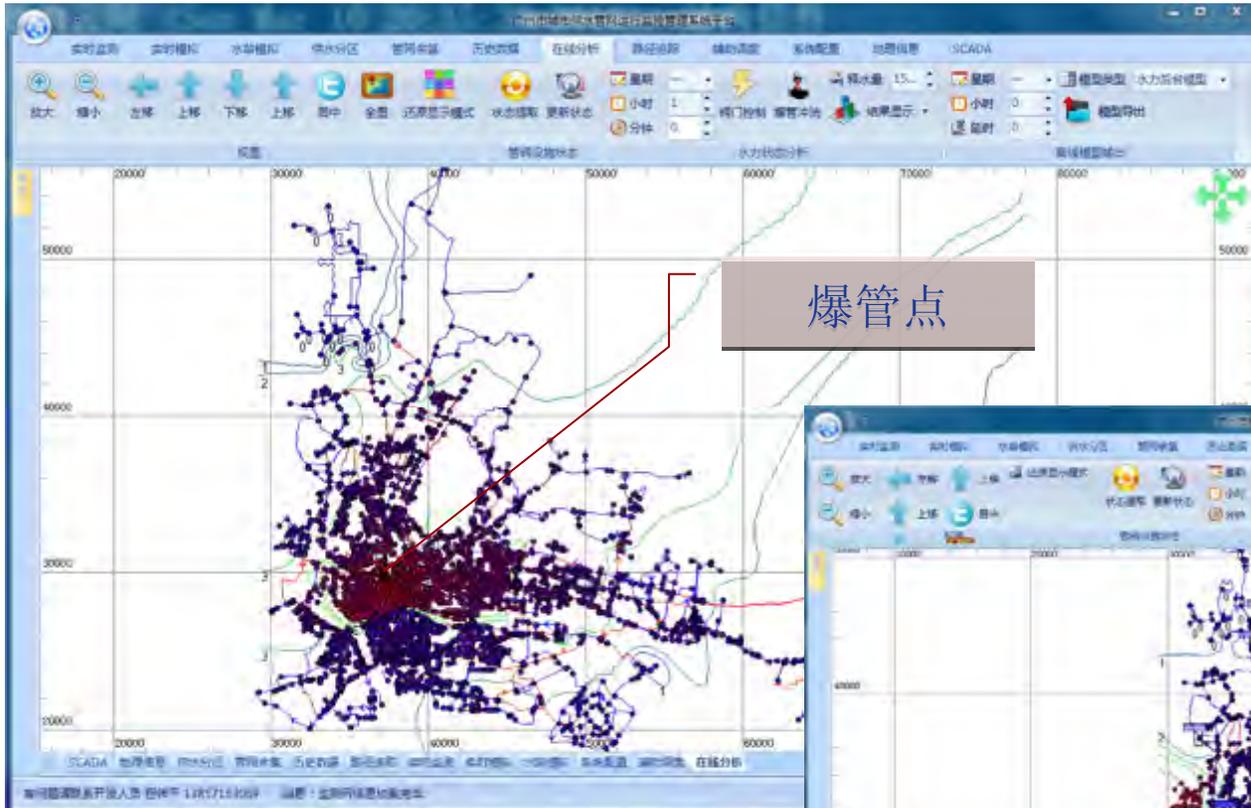


广州市在线水泵  
辅助调度

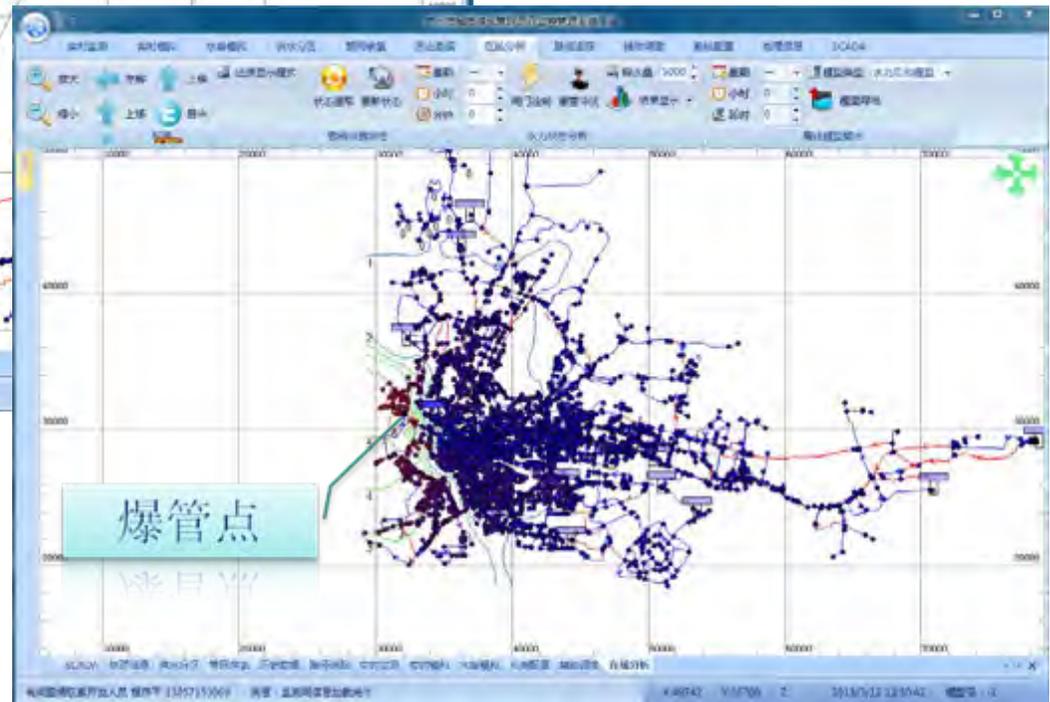
例：广州西村水厂增加启动一台水泵，系统在10s中内分析出水泵启动后西村水厂增加流量1059立方米/小时，同时引起石门水厂、南洲水厂分别减少479立方米/小时和300立方米/小时的流量。管网中心去的压力普遍增加0.5~0.7m水头。调度员可以直接了解水泵启闭后的管网运行状态，避免了靠经验决策中的不确定性。

水源名称	水源ID	当...	优...	变化...	监...	实测水...	实测压...	调压后...
江村一厂B	jc1_B	375...	375...	0.000	103	32.131	0.2270	32.765
江村二厂A	jc2_A	180...	179...	-43.918	324...	48.455	0.2240	48.941
江村二厂B	jc2_B	0.000	0.000	0.000	283...	53.061	0.0890	53.639
石门水厂	sm	349...	344...	-479.670	364...	60.460	0.1490	60.957
西村水厂	xc	456...	467...	1059.503	283...	37.158	0.0890	37.859
南洲水厂	nz	437...	434...	-300.836	284...	36.108	0.2050	36.607
西州水厂	xz	209...	208...	-82.900	72	34.285	0.1460	34.770
新德水厂	xt	205...	205...	-44.215	245...	44.527	0.3420	44.892
					324...	54.085	0.1420	54.563
					244...	35.563	0.2620	36.065
					41	45.883	0.3110	46.249
					285...	47.010	0.3660	47.366
					284...	34.558	0.1220	35.064
					284...	34.852	0.1880	35.401
					998	-995.000	-0.0000	-995.999

# 爆管分析



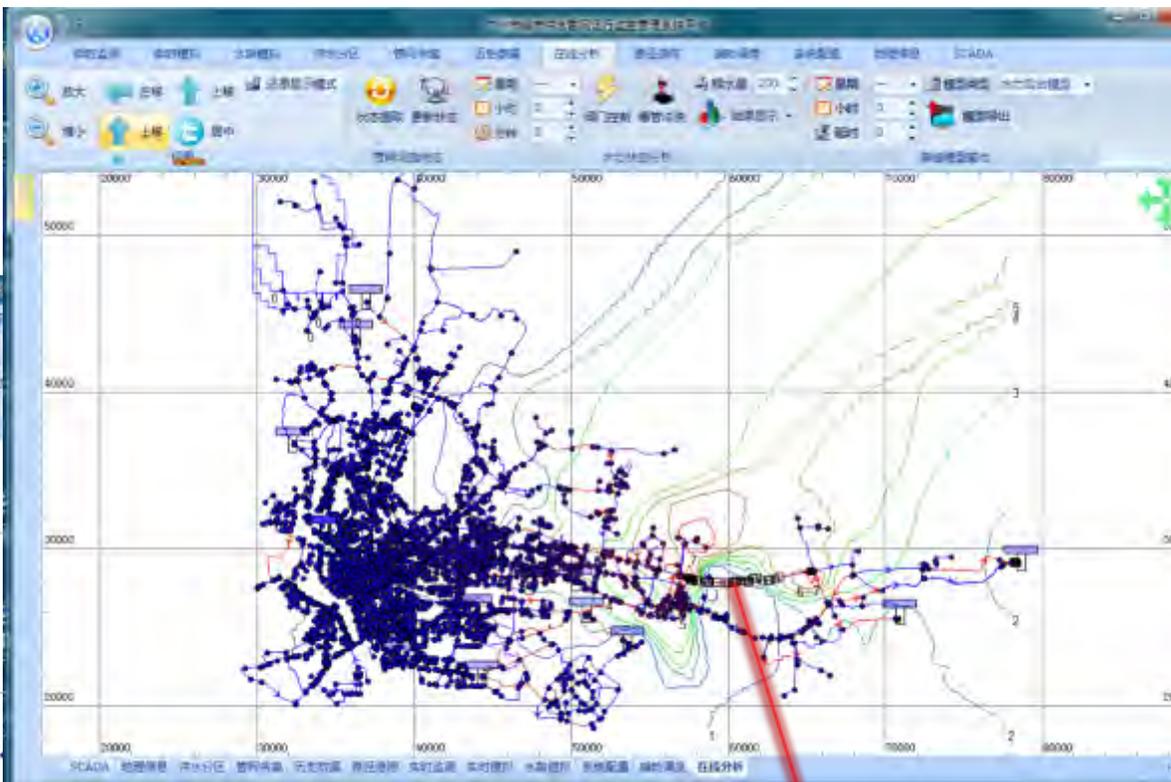
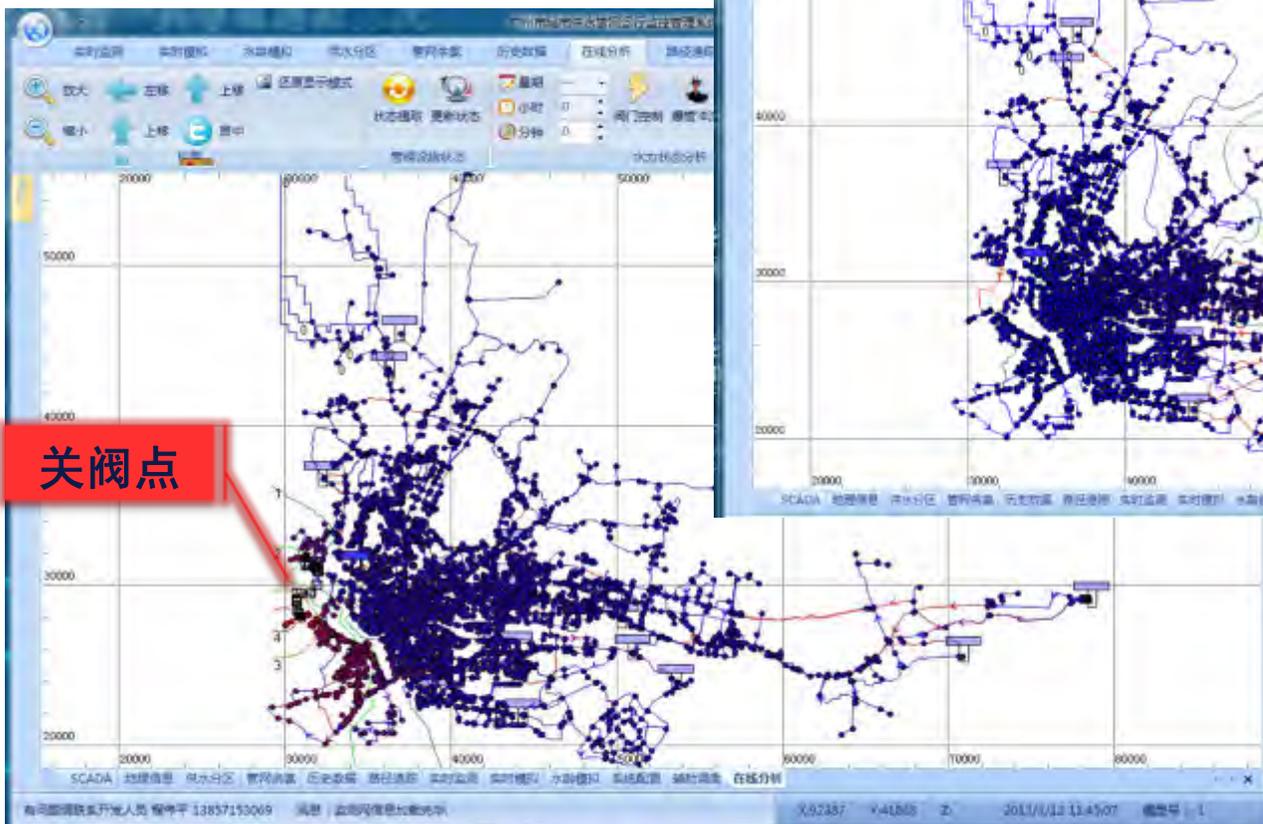
广州市供水系统在线事故分析



既可在线模拟爆管后对管网的冲击，也可以进行爆管事故预案编制

# 阀门控制变化辅助分析

可在线发布各种阀门调整对管网的影响



关阀点

# 正反路径分析

源点



通过路径追踪技术，可以辅助分析各类水质污染事故

- ◆分析污染物扩散范围
- ◆研究污染物可能的来源

逆向

逆向追踪  
点

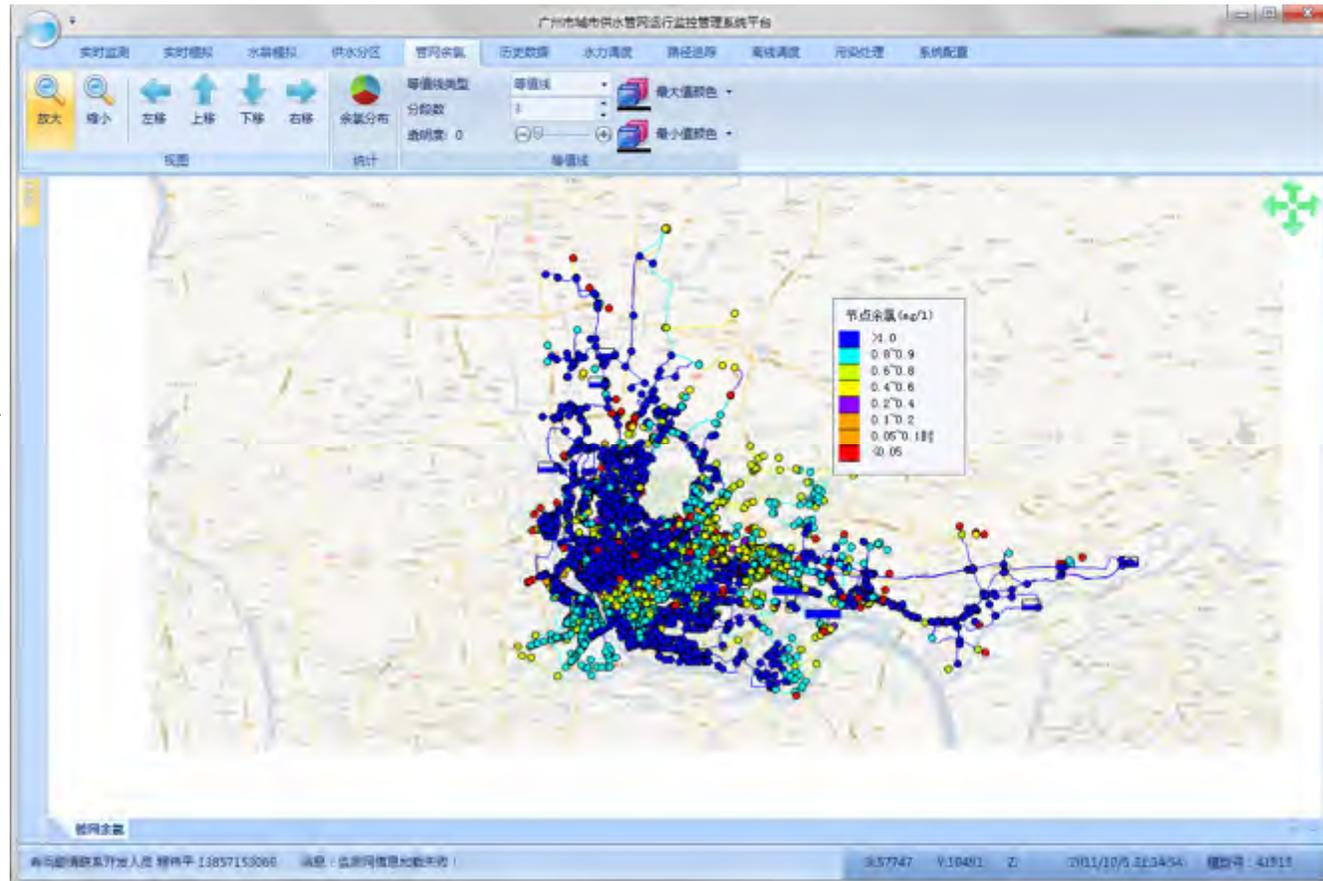




# 余氯在线预报

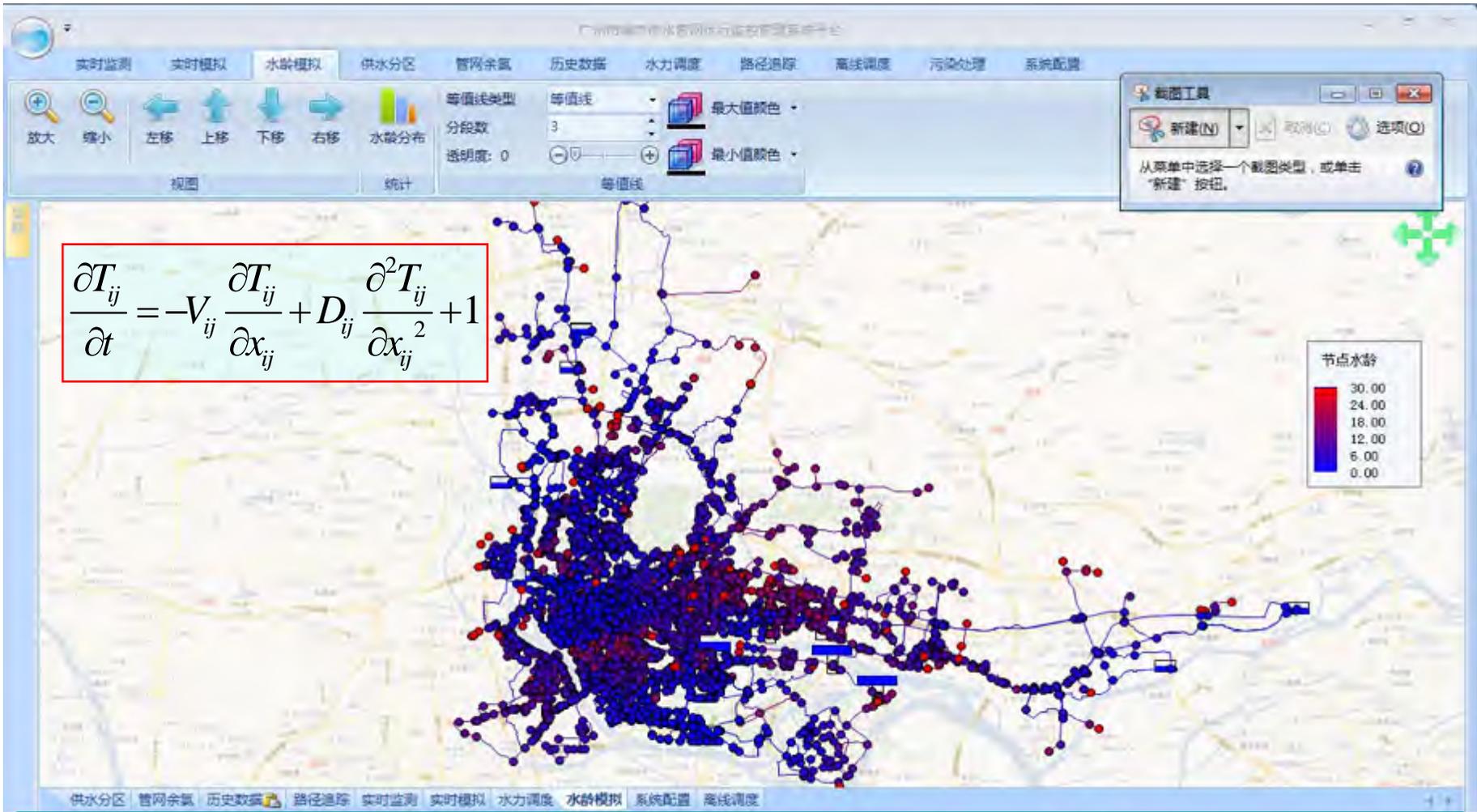
$$\frac{\partial C_j}{\partial t} = -V_j \frac{\partial C_j}{\partial x} - R(C_j)$$

$$C_i|_{x=0} = \frac{\sum_{j=1}^{\Omega_i} q_j C_k|_{x=L_j} + q_{i,ext} C_{i,ext}}{\sum_{j=1}^{\Omega_i} q_j + q_{i,ext}}$$



根据SCADA系统监测到的水温实时调整反应系数

# 水龄在线预报



$$\frac{\partial T_{ij}}{\partial t} = -V_{ij} \frac{\partial T_{ij}}{\partial x_{ij}} + D_{ij} \frac{\partial^2 T_{ij}}{\partial x_{ij}^2} + 1$$

通过水龄分析更容易指导管网水质控制

# 在线管网模型应用中的不利因素

1

## 监测网的布置问题

监测网不是按照管网建模的需要建立的

- ◆布置在多大管径上
- ▲空间分布合理性

2

## 通信问题

经常出现通信中断问题

3

- ◆压力传感器  
可靠性问题
- ◆流量计精度  
管道式、插入式，运行环境

加强一线人员的培训，提高应用水平

# 改扩建应用



- 进行现场试验
- 根据数值模拟和现场试验确定最后改造方案
- 根据模型进行各类工况分析
- 从在线模型中导出模型

花都供水相关流量和压力数据

厂站和压力点	供水总量 418万 m <sup>3</sup> /d					供水总量 422万 m <sup>3</sup> /d, 向花都供水 42万 m <sup>3</sup> /d					供水总量 425万 m <sup>3</sup> /d, 向花都供水 8万 m <sup>3</sup> /d					供水总量 430万 m <sup>3</sup> /d, 花都供水 12万 m <sup>3</sup> /d					
	最大可流量 (m <sup>3</sup> /h)	日供水总量 (m <sup>3</sup> /d)	总水头 (m)	标高 (m)	自由水头 (m)	最大可流量 (m <sup>3</sup> /h)	日供水总量 (m <sup>3</sup> /d)	总水头 (m)	自由水头 (m)	水头比较 (m)	最大可流量 (m <sup>3</sup> /h)	日供水总量 (m <sup>3</sup> /d)	总水头 (m)	自由水头 (m)	水头比较 (m)	最大可流量 (m <sup>3</sup> /h)	日供水总量 (m <sup>3</sup> /d)	总水头 (m)	自由水头 (m)	水头比较 (m)	
高压	往镇场 DN1200	2602				3046					3142					3426					
	往镇场 DN1000	1504				2790					4080					5413					
	往镇场 DN800	965				935					625					628					
各水厂具体情况	江村一厂	4610	84205	50	16.19	34	4610	84205	50	34	0	4610	84205	50	34	0	4610	84205	50	34	0
	江村二厂 DN1200	16259	322010	51	6.16	45	16259	322010	50	50	9	16640	326205	60	62	17	20611	408020	71	65	20
	江村二厂 DN1000	11160	24590	30	5.15	30	11160	24590	30	30	0	11160	24590	30	30	0	11160	24590	30	30	0
	江村合计	32029	452304				32029	452304				32029	452304				32029	452304			
管网关键节点	太和			41.5	23.43	18.2				45.3	21.3	3.7				50.6	27.2	6.0			
	车场			40.5	26.94	4.6				46.6	9.7	5.1				54.2	17.3	12.7			
	新镇场			40.0	17.1	23.5				48	23.0	0.4				40.7	23.6	0.7			

方案研究实施简便快捷  
可以在极短时间内完成，已经过实际工程运行检验，运行平稳

# 管网建模中的问题与经验总结

- 1、要注重应用与维护工作
- 2、有胜于无
- 3、加强应用推广工作，包括人员培训，应用指导。
- 4、加强应用研究（如何在精度等不足情况下进行应用）

# 特别感谢

◆ **浙江大学**

为课题的顺利实施提供了技术支持。

Company  
LOGO

感谢您的关注!