

精准施肥决策模型与数据库系统*

马晓蕾 范广博 李永玉 徐 杨 彭彦昆 汤修映

(中国农业大学工学院, 北京 100083)

【摘要】 以华北地区小麦及玉米为研究对象,以北京市昌平区崔村镇大辛峰村种植区为例,研究了精准施肥决策系统中施肥参数,并建立了相应的数学模型。将算法模型与数据库相结合,采用线性回归的方法,计算施肥时土壤对氮、磷、钾的需求量,利用二维插值的方法,建立了实验区中已知肥力样点与区域内未知肥力样点的相关关系,从而建立了土壤肥力查询数据库。通过以上方式,结合土壤的养分含量、作物种类及目标产量等相关参数来确定实验区域的施肥量。结果表明,该系统可实现施肥量的精确控制。

关键词: 精准施肥 决策模型 数据库

中图分类号: S147.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)05-0193-05

Establishment of Precision Fertilization Decision-making Model and Database System

Ma Xiaolei Fan Guangbo Li Yongyu Xu Yang Peng Yankun Tang Xiuying

(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract

Northern region wheat and corn were taken as the research main bodies, and the field of Da Xinfeng village in Cuicun Town, Changping District, Beijing was taken as an example, the parameters of precision fertilization decision-making system was researched and corresponding mathematical model was established, the algorithm model and the database were unified, linear regression method to calculate fertilizer needed like N, P, K of soil was used. Two-dimensional interpolation method was applied to calculate unknown point of the region with the test samples in the region, thus soil fertility information database was established. Through the above ways and combined with the soil nutrient, crops type and the target yield and so on, the fertilizer needed of the region was determined, which could provide theory basis for circulation agriculture.

Key words Precision fertilization, Decision model, Database

引言

作物产量受自然环境和社会生产等因素的影响,自然环境和生产要素的区域差异性导致作物产量明显的地域分异。化肥可以提高农作物产量,但长期以来,我国化肥投入结构不合理,肥料利用率低,造成养分比例失调,不仅增加了生产成本,同时对环境和农作物造成严重污染。精准施肥就是根据作物生长的土壤性状和目标产量,分析作物对

氮、磷、钾的需求规律,进行按需定量施肥。农业信息管理系统在精准农业中占有重要的地位,其中,土壤资源管理与施肥决策信息系统通过对农田养分进行动态监测,结合作物生长和作物管理信息对农田土壤养分进行评价,并以此为依据指导耕作、施肥,从而调控农田土壤养分的供给情况,提高养分的有效利用,达到高产、优质、高效的目的,促进农业可持续发展。GIS、GPS等技术已在国外的精准施肥中应用,并获得了突出的社会、经济和生态效益^[1~3]。我

收稿日期: 2010-07-19 修回日期: 2010-09-10

* “十一五”国家科技支撑计划资助项目(2007BAD89B04)

作者简介: 马晓蕾,硕士生,主要从事机械制造及其自动化研究,E-mail: maxiaoleij@163.com

通讯作者: 李永玉,讲师,主要从事农产品检测及分析研究,E-mail: yyli@cau.edu.cn

国在精准施肥网格识别、信息系统建立和养分管理的研究中取得一些成果,但还没有形成完善的技术体系^[4-7]。本文以北京市昌平区崔村镇大辛峰村土壤为研究区域,结合土壤肥力测定技术,以相关数据库技术为基础,构建土壤施肥决策系统,使施肥量在提高作物产量的同时,兼顾经济价值和生态效益,为循环农业精准减量施肥提供理论依据。

1 土壤信息采集

1.1 土壤信息采集方法与检测

采用栅格采样的方式采集冬小麦及夏玉米轮作土壤样品。按 20 m 间隔采集耕层土壤样品,每个样点充分混合后采用四分法,取大约 1 kg 土样带回实验室进行土壤养分测试,采集样品 100 个。

土壤采样深度为土壤耕作层深度(0~20 cm),除 GPS 导航仪外主要采样工具有土钻、铁铲、小刀、塑料布、软尺、自封袋、口曲纸、笔、托盘等^[8]。

测试的土样养分包括全氮、有效磷和速效钾,其测定方法分别为半微量凯氏法、碳酸氢钠浸提-钼锑抗吸光光度法和醋酸铵浸提-火焰光度法。

1.2 数据分析

考虑到样品采集或实验检测中可能产生测量误差,通常进行数据预处理,将样点数据与总体数据的均值及标准差进行比较,与总体均值差值超出数倍标准差范围则认为可疑数据。在判断样点是否可疑时,除了将该数据与总体数据进行比较外,还应将数据与周围临近的 8 个样点数据进行比较。如果该数据与总体数据比较值偏高,且与周围数据点比较也偏高,则该数据点值偏高,也为可疑点。同样如果该数据与总体数据比较值偏低,且与周围数据点比较也偏低,则该数据点值偏低,为可疑点^[9]。过滤窗口如图 1 所示,中间

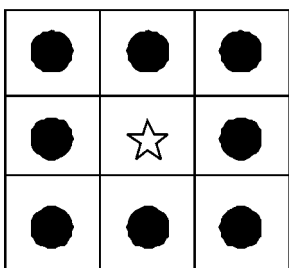


图 1 过滤窗口示意图

Fig. 1 Filtering window

星状图案为筛选样点,周围为 8 个相邻样点。具体算法为:对于某个样点 A 的土壤养分数据,如果该值是总体肥力均值 5 倍以上或 1/5 以内,同时与临近 8 点肥力均值的差值在 3 倍标准差以上或标准差的 1/3 以内,则为可疑数据点。以上两种情况均为予以删除数据。

2 施肥参数与施肥量

2.1 目标产量与施肥量的关系

本文的实验数据是应用于农业施肥机械上的配

方处理,现主要分析氮、磷、钾的基肥推荐量。基肥施用量主要与产量及土壤的基础养分含量相关,其中华北地区冬小麦与夏玉米两种作物土壤肥料推荐量分别如表 1、2 所示^[10]。

表 1 基于目标产量及土壤养分含量的冬小麦肥料用量

Tab. 1 Wheat fertilizer confirmation based on yield and soil nutrient content kg/hm^2

土壤养分种类	土壤养分含量 $/\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	冬小麦目标产量/ $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$			
		4 500	6 000	7 500	9 000
硝态氮	30	58	70	82	105
	45	43	55	67	90
	60	28	40	52	75
	75	13	25	37	60
	90	0	10	22	45
	105	0	0	7	30
有效磷	120	0	0	0	15
	<7	105	140	160	180
	7~14	85	110	130	150
	14~30	60	80	100	120
	30~40	30	40	50	60
速效钾	>40	0	0	0	30
	<90	60	60	60	75
	90~120	30	30	30	60
	120~150	0	0	0	30
>150	0	0	0	0	

表 2 基于目标产量及土壤养分含量的夏玉米肥料用量

Tab. 2 Corn fertilizer confirmation based on yield and soil nitrogen content kg/hm^2

土壤养分种类	土壤养分含量 $/\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	夏玉米目标产量/ $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$			
		6 000	7 500	9 000	10 500
硝态氮	30	60	70	77	97
	45	45	53	62	85
	60	30	38	47	75
	75	15	23	32	65
	90	0	8	20	55
	105	0	0	10	40
有效磷	120	0	0	0	30
	<7	60	80	100	120
	7~14	40	60	75	95
	14~30	30	40	50	70
	30~40	15	20	25	35
速效钾	>40	0	0	0	20
	<90	75	75	75	105
	90~120	60	60	60	75
	120~150	30	30	30	45
>150	0	0	0	0	

为实现精准施肥配方系统的生成,应该将施肥推荐量与目标产量、土壤养分含量两因素建立函数

关系。对推荐施肥量做二元线性回归^[11~12],并利用SPSS软件建立小麦、玉米推荐施肥量的二元线性回归模型。设某养分施肥量与目标产量及土壤中该养分含量模型关系为： $\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2$ 。以小麦氮含量为例，利用二元线性回归得到： $\beta_0 = 43.739$, $\beta_1 = 0.009$, $\beta_2 = -0.865$, $R^2 = 0.952$, $F = 247.810$ 。其中 R^2 为相关系数的平方, F 为假设检验统计量。得到初步的回归方程为

$$\hat{y} = 0.009x_1 - 0.865x_2 + 43.739$$

利用检验统计量 R 、 F 的值判断模型是否合适：

(1)一般相关系数 R 绝对值在 0.8 ~ 1.0 范围内,可判断回归方程因变量与自变量具有较强的线性相关性。研究中的 R 绝对值为 0.976,表明相关性较强。

(2)当 $F > F_{1-\alpha}(m, n - m - 1)$,即认为因变量 \hat{y} 与自变量 x_1, x_2, \dots, x_m 之间呈显著线性相关关系;否则认为因变量 \hat{y} 与自变量 x_1, x_2, \dots, x_m 之间线性相关关系不显著。实验中 $F = 247.810 > F_{1-0.05}(2, 97) = 3.07$ 。

以上两种统计推断方法推断的结果是一致的,说明因变量 \hat{y} 与自变量之间呈显著线性相关关系,所得线性回归模型可用。由于所得的 \hat{y} 结果为肥料中有效养分含量,所以在进行施肥量的指导中,需要考虑到肥料中有效成分的含量(即质量分数 m_0),结合 m_0 后的冬小麦施肥拟合模型为

$$y_N = (0.009x_1 - 0.865x_2 + 43.739) / m_0 \quad (1)$$

$$y_P = (0.011x_1 - 3.755x_2 + 90.613) / m_0 \quad (2)$$

$$y_K = (0.004x_1 - 0.737x_2 + 90.375) / m_0 \quad (3)$$

式中 y_N, y_P, y_K ——冬小麦所需的氮、磷、钾肥料的施肥量, kg/hm^2

x_1 ——作物目标产量, kg/hm^2

x_2 ——对应养分含量, kg/hm^2

夏玉米施肥量模型为

$$y'_N = (0.009x_1 - 0.785x_2 + 21.513) / m_0 \quad (4)$$

$$y'_P = (0.008x_1 - 2.269x_2 + 28.632) / m_0 \quad (5)$$

$$y'_K = (0.003x_1 - 0.925x_2 + 131.250) / m_0 \quad (6)$$

式中 y'_N, y'_P, y'_K ——夏玉米所需的氮、磷、钾肥料的施肥量, kg/hm^2

实验中,由于地块较一致,根据调研结果选用实验区小麦及玉米的平均产量,分别为 $4\,500\text{ kg}/\text{hm}^2$ 和 $9\,000\text{ kg}/\text{hm}^2$,肥料分别采用尿素、过磷酸钙和氯化钾肥料,根据肥料特征,其有效成分质量分数分别取 46.2%、12.0% 和 52%。

2.2 土壤区域施肥量的确定

2.2.1 二维插值方法预测区域未知点

假设实验区域处于 xy 平面内,所采样点为平面

内给定插值点,记为 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$,每个插值点对应的肥力值记为 c_i ,实验中需要获得一个光滑并且容易计算的函数 F ,使得 $F(x_i, y_i) = c_i$ ($1 \leq i \leq n$)。该插值可用一元插值的张量积来求解。此时结点集记为 $N, N = \{x_1, x_2, \dots, x_p\} \times \{y_1, y_2, \dots, y_q\}$ 。因此, N 是所有 (x_i, y_j) 的集合,记为

$$N = \{(x_i, y_j) : 1 \leq i \leq p, 1 \leq j \leq q\}$$

假设结点 x_1, x_2, \dots, x_p 为一元插值,得到算子 P

$$(\bar{P}f)(x) = \sum_{i=1}^p f(x_i)u_i(x)$$

其中 $u_i(x) = \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^p \frac{x - x_j}{x_i - x_j}$ ($1 \leq i \leq p$)

式中 u_i ——基函数

若 f 是 (x, y) 的函数,有

$$(\bar{P}f)(x, y) = \sum_{i=1}^p f(x_i, y)u_i(x)$$

则 $\bar{P}f$ 是在垂直线上插值 f 的一个二元函数,垂直线为

$$L_i = \{(x_i, y) : -\infty < y < \infty\} \quad (1 \leq i \leq p)$$

同样另一个算子 \bar{Q} 用于结点 y_1, y_2, \dots, y_q 的插值,推广到二元函数上,即

$$(\bar{Q}f)(x, y) = \sum_{j=1}^q f(x, y_j)v_j(y)$$

$\bar{Q}f$ 在水平线上插值 f ,水平线为

$$L^j = \{(x, y_j) : -\infty < x < \infty\} \quad (1 \leq j \leq q)$$

可利用 \bar{P} 和 \bar{Q} 构造两个有用的二元插值算子,有 $\bar{P} \oplus \bar{Q} = \bar{P} + \bar{Q} - \bar{P}\bar{Q}$,可以导出 $\bar{P} \oplus \bar{Q}$ 公式^[13]为

$$\begin{aligned} [(\bar{P} \oplus \bar{Q})f](x, y) &= \\ (\bar{P}f)(x, y) + (\bar{Q}f)(x, y) - (\bar{P}\bar{Q}f)(x, y) &= \\ \sum_{i=1}^p f(x_i, y)u_i(x) + \sum_{j=1}^q f(x, y_j)v_j(y) - \\ \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q f(x_i, y_j)u_i(x)v_j(y) \end{aligned}$$

2.2.2 区域精准施肥量

通过二元线性回归的方法计算出各个样点的土壤基础肥力与施肥量的相互关系,利用 Matlab 中二维插值函数命令 `interp2()` 来计算整个区域的基础肥力,从而得到整个区域推荐施肥量的连续量^[14]。如图 2、3 所示,其中经纬度代码是根据 GPS 设备测量地块得到的经纬度信息网格化的结果。

3 土壤施肥决策系统

土壤肥力信息系统包括数据输入模块、数据库查询与计算模块和数据输出模块。

通过 Matlab 软件的计算功能及 GUI 组件图形界面设计功能,实现了土壤肥力信息系统的建立。

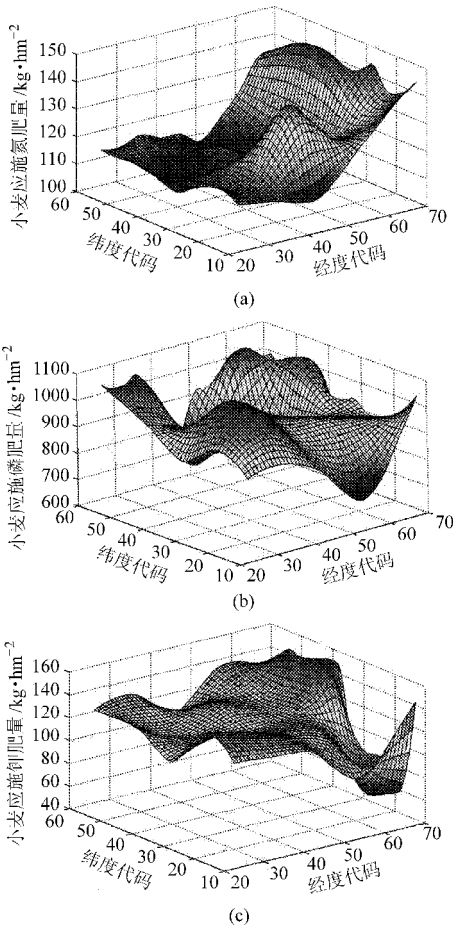


图2 小麦施肥量分布

Fig. 2 Wheat fertilizer quantity distribution

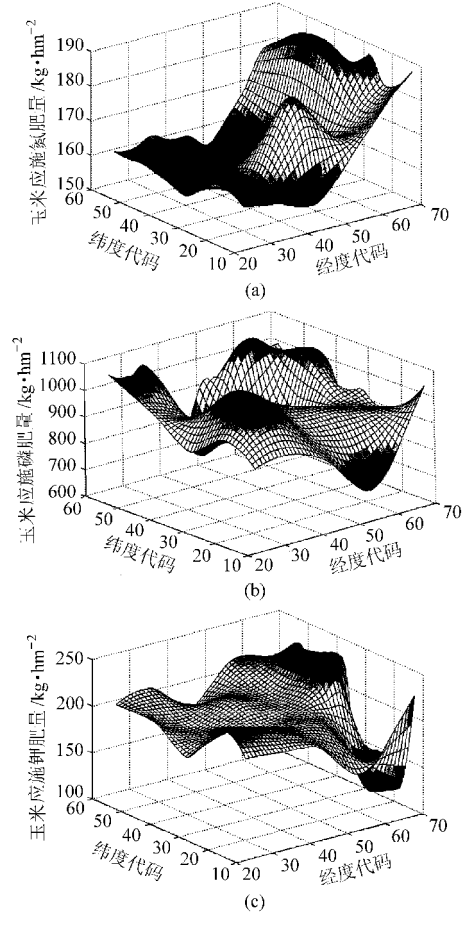


图3 玉米施肥量分布

Fig. 3 Corn fertilizer quantity distribution

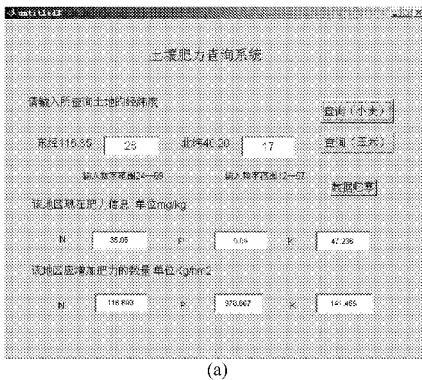
界面图形如图4所示。

如图4a中,依据“请输入所查询土地的经纬度”数据对应的经纬度代码,根据上文中提到的经纬度的编码方式,经度代码的输入范围为24~69,纬度代码的输入范围为12~57,图中示例输入26,17,表示查询的土地位置为东经116.352 6°,北纬40.201 7°的位置信息。

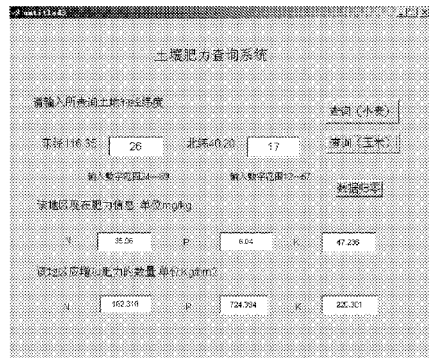
根据查询的作物选择,可查询小麦及玉米的信息,如图中点击“查询(小麦)”项,则输出“该地区

现在肥力信息”(mg/kg)分别为N,35.06,P,6.04,K,47.236,其中N、P、K分别为土壤中硝态氮、有效磷、速效钾的含量信息。同时在“该地区应增加肥力的数量”(kg/hm²)中显示N,116.693,P,978.607,K,141.466,其中根据默认的肥料分别为尿素、过磷酸钙、氯化钾,显示中的3个数值分别为该化肥的需求数量。

图4b中,可以看出当选择“查询(玉米)”,输入同样经纬度,在肥力信息框中显示同样的肥料信息,



(a)



(b)

图4 土壤施肥决策系统界面

Fig. 4 Interface of fertilize soil decision-making system

(a) 小麦 (b) 玉米

但是在推荐施肥量中的数值是不同的。这是因为,该点的肥力信息是相同的,但是由于不同作物的施肥拟合模型不同,所以生成的推荐施肥量也不相同。

图中“数据归零”项,可将查询的各项数据清零。

4 结束语

本文针对我国农业生产中存在的问题,以精准

农业思想为指导,围绕土壤肥力信息系统,从土壤采样与成分分析、数据处理及分析、施肥量拟合模型建立以及土壤肥力信息系统建立四个方面,研究了精准施肥的方法和技术,并进行相应的测试。以 Matlab 为计算平台,建立了土壤肥力信息系统,该系统为华北地区小麦、玉米的氮、磷、钾需肥量精准控制提供了良好的技术平台。

参 考 文 献

- 1 Reetz H F. Site-specific nutrient management systems for the 1990s [J]. *Better Crops with Plant Food*, 1994, 78 (4):14 ~ 19.
- 2 Richard E Engel, Dan S Long, Gregg R Carlson, et al. Method for precision nitrogen management in spring wheat: I fundamental relationships [J]. *Precision Agriculture*, 1999, 1(3):327 ~ 339.
- 3 Orghum. Comparison of uniform and variable rate nitrogen and phosphorus fertilizer applications for grains [J]. *American Society of Agricultural Engineers*, 2001, 44:201 ~ 203.
- 4 吴才聪,马成林,张书慧,等. 精确农业倾斜网格划分及其应用[J]. *农业工程学报*,2003,19(1):137 ~ 141.
Wu Caicong, Ma Chenglin, Zhang Shuhui, et al. Method and application of making leaning field grid cell in precision agriculture[J]. *Transactions of the CSAE*, 2003,19(1):137 ~ 141. (in Chinese)
- 5 何勇,方慧,冯雷. 基于 GPS 和 GIS 的精细农业信息处理系统研究[J]. *农业工程学报*,2002,18(1):145 ~ 149.
He Yong, Fang Hui, Feng Lei. Information processing system for precision agriculture based on GPS and GIS [J]. *Transactions of CSAE*, 2002, 18(1): 145 ~ 149. (in Chinese)
- 6 赵军,王熙,庄卫东. 基于 GPS 的变量施肥播种机的试验研究[J]. *农机化研究*,2006,28(12):154 ~ 156.
Zhao Jun, Wang Xi, Zhuang Weidong. Experiment research of variable rate seeding machine based on GPS[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*,2006,28(12):154 ~ 156. (in Chinese)
- 7 杨俐苹,白由路. 土壤测试实验室数据自动采集处理与推荐施肥系统[J]. *中国土壤与肥料*,2008,45(4):65 ~ 68,72.
Yang Liping, Bai Youlu. Soil testing and fertilizer recommendation system[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2008, 45(4):65 ~ 68,72. (in Chinese)
- 8 奚廷孔,张艳新. 土壤样品的采集和处理技术[J]. *广西农学报*,2007,22(3):36 ~ 43.
Xi Tingkong, Zhang Yanxin. Collection and treatment technology and soil samples [J]. *Journal of Guangxi Agriculture*, 2007, 22(3):36 ~ 43. (in Chinese)
- 9 陈立平. 精准农业变量施肥理论与试验研究[D]. 北京:中国农业大学,2003.
Chen Liping. Theoretical and experimental studies on variable-rate fertilization in precision farming [D]. Beijing: China Agricultural University, 2003. (in Chinese)
- 10 张福锁,陈新平,陈清. 中国主要作物施肥指南[M]. 北京:中国农业大学出版社,2009.
- 11 冯力. 回归分析方法原理及 SPSS 实际操作[M]. 北京:中国金融出版社,2004.
- 12 区靖祥. 试验统计学[M]. 广州:广东高等教育出版社,2003.
- 13 David Kincaid. 数值分析[M]. Ward Cheney,译. 北京:机械工业出版社,2005.
- 14 周品,何正凤. MATLAB 数值分析[M]. 北京:机械工业出版社,2009.

(上接第 230 页)

- 4 寇子明,廉红珍. 液压振动系统的建模及其运动参数的仿真[J]. *机床与液压*,2009,37(11):179 ~ 181.
Kou Ziming, Lian Hongzhen. Modeling and motion simulation of hydraulic vibration system[J]. *Machine Tool & Hydraulics*, 2009, 37(11):179 ~ 181. (in Chinese)
- 5 Wylie E B, Streeter V L. *Fluid mechanics*[M]. Sixth ed. New York: McGraw-Hill Book Co., 1983.
- 6 孙玉东,刘忠族,刘建湖,等. 水锤冲击时管路系统流固耦合响应的特征线分析方法研究[J]. *船舶力学*,2005,9(4):130 ~ 137.
Sun Yudong, Liu Zhongzu, Liu Jianhu, et al. Application of MOC to calculation of fluid-structural coupling response of piping system under impact of water hammer[J]. *Journal of Ship Mechanics*, 2005,9(4):130 ~ 137. (in Chinese)
- 7 Ansari, Mohammad R, Davari, et al. Numerical analysis of pipeline equipment effect on water hammer using characteristic method[C]//*Proceedings of the ASME/JSME Joint Fluids Engineering Conference*, ASME,2003:2 821 ~ 2 826.
- 8 Abbasi A, Sabbagh-Yazdi S R, Wegian F M. Accurate water hammer pressure modeling for automatic modification of stress distribution along multi-segment pipelines [J]. *Water Science and Technology: Water Supply-WSTWS*, 2009, 9(3): 269 ~ 278.