

# 沥青水泥砂浆车液压三点调平系统研究

黄莉, 杨建红, 张认成

(华侨大学 机电及自动化学院, 福建 厦门 361021)

**摘要:**为了提高车载沥青水泥砂浆车搅拌平台的调平精度、减少调平时间,研制开发了基于PLC的液压三点自动调平系统.该系统基于搅拌平台倾斜角度与支腿伸长量之间的定量关系,将调平问题转化为各支撑点与最高支撑点之间的几何高度差的预测控制,从而实现三腿齐动的控制.实验结果表明,该系统调平精度达到 $\pm 0.3^\circ$ ,调平时间小于6 s,实现了砂浆车的快速自动调平.

**关键词:**沥青水泥砂浆车;液压三点调平;PLC

**中图分类号:**TH137;TP272 **文献标志码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.2095-476X.2013.04.017

## Research of hydraulic leveling system of three points for asphalt cement mortar vehicle

HUANG Li, YANG Jian-hong, ZHANG Ren-cheng

(College of Mechanical Engineering and Automation, Huaqiao University, Xiamen 361021, China)

**Abstract:** In order to improve the leveling precision and reduce the leveling time of the vehicle asphalt cement mortar mixing platform, the automatic leveling system was developed based on PLC. The leveling problem of the system turns into predictive controlling to the geometric height difference between the each point and the highest point based on the mathematical relationship between the slant angles and the leg elongations to realize the control of three legs moving together. The results showed that the leveling accuracy of the system reaches  $\pm 0.3^\circ$  and the leveling time is less than 6 s, realized the mortar vehicle mixing platform fast automatic leveling.

**Key words:** asphalt cement mortar vehicle; hydraulic leveling of three points; PLC

## 0 引言

目前,我国铁路主要采用板式无碴轨道铺设.与有碴轨道相比,无碴轨道具有刚度均匀、稳定性高、耐久性好、维护工作量少等突出优点,故随着我国高速铁路建设事业蓬勃发展,无碴轨道得到了越来越广泛的应用.而沥青水泥砂浆车作为板式无碴轨道系统中的关键组成部分,其搅拌台工作时必须保持水平状态,以保证砂浆车性能的稳定,以及电

子计量、搅拌和传送等各系统的正常工作.

使搅拌平台保持水平的核心技术是液压调平技术<sup>[1]</sup>.车载调平系统中,三点调平系统在军事上有很多应用,如车载雷达、导弹发射平台等<sup>[2-3]</sup>.但民用工程商的应用技术相对落后,很多还是基于两点调平,且自动化水平较低,不适合复杂的路况,且容易出现角度耦合现象.本文拟以PLC为控制核心,设计基于轮胎的弹性支撑实时调平的沥青水泥砂浆车液压三点调平系统,以期减少施工的辅助时

收稿日期:2013-04-20

基金项目:福建省自然科学基金项目(010J01294);国家自然科学基金培育计划项目(JB-ZR1102)

作者简介:黄莉(1987—),女,福建省厦门市人,华侨大学硕士研究生,主要研究方向为测试计量技术与仪器、智能控制.

间,提高需要频繁移动位置时的效率,实现沥青水泥砂浆车搅拌平台快速自动调平。

## 1 沥青水泥砂浆车液压自动调平原理

液压三点调平系统主要由沥青水泥砂浆车搅拌平台、4个调平支腿、倾斜角度传感器和控制器组成,其原理如图1所示。

实验给定的调平精度为 $\pm 0.3^\circ$ ,采样周期为0.2 s。控制器经过A/D模块采集反应调平平台横向(X轴)和纵向(Y轴)倾斜情况的倾斜角度传感器信号,并通过模拟数字转换后传送到PLC中与给定精度进行比较。当差值超出允许范围,PLC将采用保持最高点不动,其他3条腿齐动升高的调平方法,即由X轴倾角 $\alpha$ 和Y轴倾角 $\beta$ 的正负分析最高点,根据公式计算出其他各支点应该伸高的长度和电液比例阀的开度,通过数字模拟量转换输出模块,控制各支腿电液比例阀动作,驱动各支腿液压缸分别运动,从而带动平台水平倾斜角度向 $\alpha, \beta$ 减小的方向改变,再由A/D模块反馈到PLC输入端和给定精度进行比较,循环检测倾角控制输出,形成闭环控制,直到 $\alpha, \beta$ 达到精度要求。

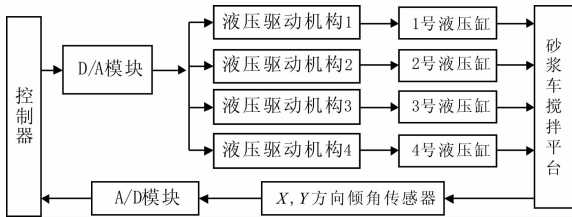


图1 调平控制系统原理图

## 2 沥青水泥砂浆车搅拌平台倾斜角度与支腿伸缩量关系分析

假设调平支腿在上下运动过程中无压缩变形、倾斜和弯曲,且4个调平支腿均受力,即无“虚”腿情况,此时沥青水泥砂浆车调平系统就可认为是纯刚性的系统。当已知初始状态和倾斜角度时,平台的最终状态和支腿变化量之间的关系是可以确定的。这样系统就简化成一个关于初始状态和最终状态的纯几何关系模型,对应于平台的每个位置状态,4个支腿都有唯一的一组长度与之对应。在平台上定义一个直角坐标系来衡量平台的倾斜状态,如图2所示,以O点(4号液压缸的支撑点)为坐标原点,以4,3支撑点的连线为X轴,4,1支撑点的连线

为Y轴建立直角坐标系,根据倾斜角度传感器的信号确定平台沿2个指定的正交方向(X轴和Y轴)的倾斜角度。平面 $Ox_0y_0$ 为水平的砂浆车平台平面,平面 $OXY$ 为倾斜的砂浆车平台平面。根据砂浆车平台坐标变换前后的几何关系,可以得到平台处于某一状态时各个支腿长度的向量<sup>[4]</sup>为

$$\vec{L}_i(t) = Q(t)\vec{a}_i + \vec{R}_0 - \vec{b}_i \quad (1)$$

其中,坐标关系变换矩阵

$$Q(t) = ROT(Y, \beta) * BOR(X, \alpha) = \begin{bmatrix} \cos\alpha & 0 & -\sin\alpha \\ -\sin\beta\sin\alpha & \cos\beta & -\sin\beta\cos\alpha \\ \cos\beta\sin\alpha & \sin\beta & \cos\beta\cos\alpha \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中, $\vec{a}_i$ 为砂浆车平台倾斜时平台中心到第*i*支腿的向量; $\vec{b}_i$ 为砂浆车平台水平时平台中心到第*i*支腿的向量; $\vec{R}_0$ 为砂浆车平台水平和倾斜时的中心点之间的向量。

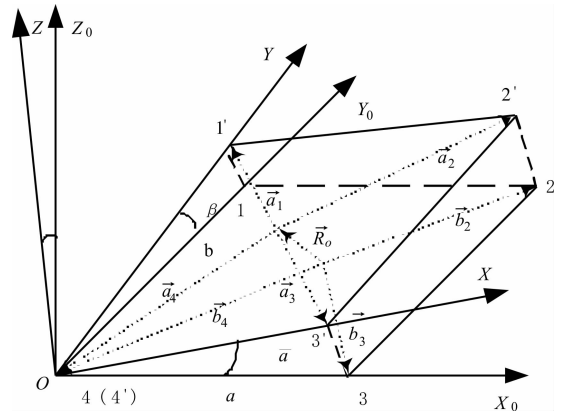


图2 平台的倾斜示意图

设沥青水泥砂浆车搅拌平台长为 $a$ ,宽为 $b$ ,砂浆车平台水平时其4个支撑点的坐标依次为 $(0, b, 0), (a, b, 0), (a, 0, 0), (0, 0, 0)$ ,中心点坐标为 $(\frac{a}{2}, \frac{b}{2}, 0)$ ;砂浆车平台倾斜时其4个支撑点坐标依次分别为

$$P_1 = (0, b\cos\beta, b\sin\beta)$$

$$P_2 = (a\cos\alpha, -a\sin\alpha\sin\beta + b\cos\beta, a\cos\beta\sin\alpha + b\sin\beta)$$

$$P_3 = (a\cos\alpha, -a\sin\alpha\sin\beta, a\sin\alpha\cos\beta)$$

$$P_4 = (0, 0, 0)$$

中心点坐标为

$$P_c = \left( \frac{1}{2}a\cos\alpha, -\frac{1}{2}a\sin\alpha\sin\beta + \frac{1}{2}b\cos\beta, \frac{1}{2}a\sin\alpha\cos\beta + \frac{1}{2}b\sin\beta \right)$$

因此可得到各个支腿的向量值为

$$\vec{a}_1 = (0, b, 0) - \left( \frac{a}{2}, \frac{b}{2}, 0 \right) = \left( -\frac{a}{2}, \frac{b}{2}, 0 \right)$$

$$\vec{a}_2 = (a, b, 0) - \left( \frac{a}{2}, \frac{b}{2}, 0 \right) = \left( \frac{a}{2}, \frac{b}{2}, 0 \right)$$

$$\vec{a}_3 = (a, 0, 0) - \left( \frac{a}{2}, \frac{b}{2}, 0 \right) = \left( \frac{a}{2}, -\frac{b}{2}, 0 \right)$$

$$\vec{a}_4 = (0, 0, 0) - \left( \frac{a}{2}, \frac{b}{2}, 0 \right) = \left( -\frac{a}{2}, -\frac{b}{2}, 0 \right)$$

$$\vec{b}_1 = P_1 - P_c = \left( -\frac{1}{2}a\cos\alpha, \frac{1}{2}a\sin\alpha\sin\beta + \frac{1}{2}b\cos\beta, -\frac{1}{2}a\sin\alpha\cos\beta + \frac{1}{2}b\sin\beta \right)$$

$$\vec{b}_2 = P_2 - P_c = \left( \frac{1}{2}a\cos\alpha, -\frac{1}{2}a\sin\alpha\sin\beta + \frac{1}{2}b\cos\beta, \frac{1}{2}a\sin\alpha\cos\beta + \frac{1}{2}b\sin\beta \right)$$

$$\vec{b}_3 = P_3 - P_c = \left( \frac{1}{2}a\cos\alpha, -\frac{1}{2}a\sin\alpha\sin\beta - \frac{1}{2}b\cos\beta, \frac{1}{2}a\sin\alpha\cos\beta - \frac{1}{2}b\sin\beta \right)$$

$$\vec{b}_4 = P_4 - P_c = \left( -\frac{1}{2}a\cos\alpha, \frac{1}{2}a\sin\alpha\sin\beta - \frac{1}{2}b\cos\beta, -\frac{1}{2}a\sin\alpha\cos\beta - \frac{1}{2}b\sin\beta \right)$$

$$\vec{R}_0 = P_c - \left( \frac{a}{2}, \frac{b}{2}, 0 \right) = \left[ \frac{1}{2}a(\cos\alpha - 1), \right.$$

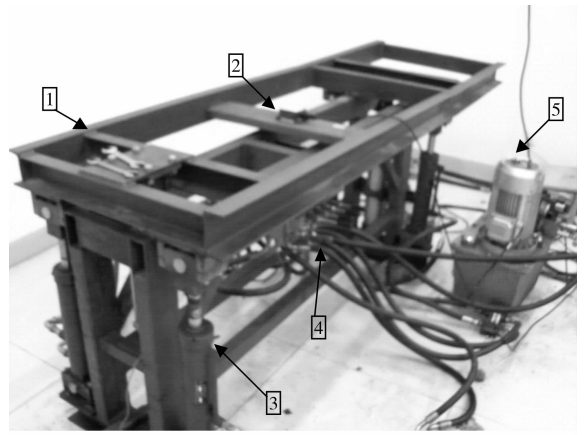
$$\left. -\frac{1}{2}a\sin\alpha\sin\beta + \frac{1}{2}b(\cos\beta - 1), \frac{1}{2}a\sin\alpha\cos\beta + \frac{1}{2}b\sin\beta \right]$$

将得到的  $\vec{a}_i, \vec{b}_i, \vec{R}_0$  代入式①就能得到砂浆车平台倾斜角度与调平支腿伸长量的变化关系. 根据存在的倾斜角度, 每个支腿的伸长量就确定了, 可作为调平软件的设计依据.

### 3 液压三点调平系统试验研究

#### 3.1 总体方案

**3.1.1 平台搭建** 利用选择的各个部件, 根据相似性理论<sup>[5]</sup>, 按照 1:5 的比例搭建砂浆车调平试验平台, 平台长  $a = 7\ 600\ \text{mm}$ , 宽  $b = 2\ 300\ \text{mm}$ , 由 4 个液压支腿、倾斜角度传感器、电液比例阀和液压泵组成, 如图 3 所示. 其中倾斜角度传感器选用 AT201—SIA—EGOT—8 双轴倾斜角度传感器, 其量程为  $\pm 8^\circ$ , 分辨率为  $\pm 0.02^\circ$ , 可输出 4 ~ 20 mA 的电流. 此平台能够反应实际平台的工作性能, 在支腿有同样的位移时, 试验平台的角度变化更灵敏, 在试验平台上能够实现的调平精度, 在实际砂浆车平台上



1.调平平台 2.角度传感器 3.液压支腿  
4.电液比例阀 5.液压泵

图 3 试验平台

更容易实现.

**3.1.2 PLC 程序设计** 三腿调平是指最高点的支腿不动, 其他 3 个支腿一起向最高点方向伸缩, 最终达到搅拌平台为水平状态的调平方式. 故调平问题就转化为各支撑点与最高支撑点之间的几何高度差的预测控制问题<sup>[6-7]</sup>. PLC 程序设计流程图如图 4 所示. 步骤如下:

1) 试验开始前, 为了防止砂浆车搅拌台卡死, 由 PLC 发出指令驱动 4 条支腿上升一定的距离, 使平台脱离支撑面, 变成完全由液压支腿支撑的刚性支撑状态.

2) 支撑阶段, 通过电液比例阀手动给平台一个初始倾斜角,  $X$  轴方向为  $\alpha$ ,  $Y$  轴方向为  $\beta$ . 根据这 2 个倾斜角度即可确定一个最高支撑点  $A$ .

3) 调平阶段, 通过倾角传感器读取  $\alpha$  和  $\beta$  值, 判断是否满足  $|\alpha| \leq 0.5^\circ, |\beta| \leq 0.5^\circ$ , 若  $\alpha$  或  $\beta$  不在调平范围内, 则输出警报; 若都在调平范围内, 继续判断是否满足水平精度要求  $|\alpha| \leq 0.3^\circ, |\beta| \leq 0.3^\circ$ ; 若均满足要求, 则系统认为试验平台处于水平状态, 不进行调平; 若  $\alpha$  或  $\beta$  不满足要求, 则开始进行三点自动调平, 直至满足要求为止. 为了保证在支腿调平过程中, 避免出现液压缸升降超过行程的情况, 在液压缸两端设置限位器, 当液压缸的行程到达限位器, 自动调平停止. 此外, 为能够在出现突发情况下停止所有的调平工作, 设计时加入了紧急情况处理程序.

4) 收腿阶段, 当砂浆车结束工作或者需要转移工作地点时, 需要收回支腿, 故在程序设计中增加了自动收腿过程.

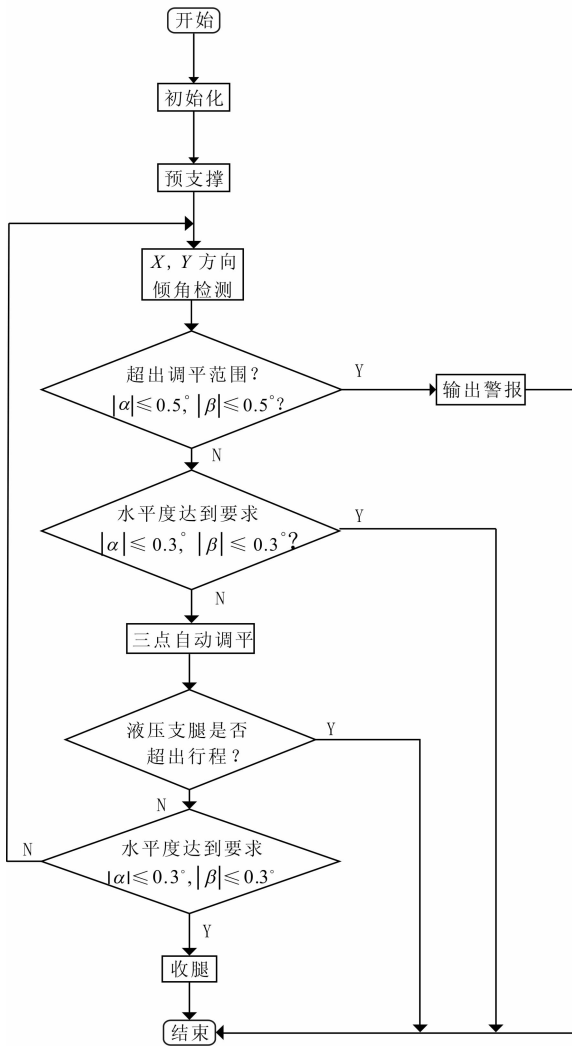


图 4 PLC 程序设计流程图

### 3.2 液压三点调平系统试验结果分析

通过应用软件 GX Developer 编写和仿真调平系统的 PLC 程序进行试验。在进行试验前,为了模仿平台实际存在的倾斜角度,通过手动让平台分别在 X 轴方向倾斜、Y 轴方向水平、Y 轴方向倾斜、X 轴方

向水平以及 X, Y 轴方向都具有一定的倾斜这 3 种情况下进行调平试验。根据实际情况,4 个支腿所有高低顺序排列情况见表 1。

表 1 最高支腿列表

最高支腿编号	中间支腿编号	最低支腿编号	调平伸腿编号
1	2 高于 4 2 等于 4 2 低于 4	3	升高 2,3,4
2	1 高于 3 1 等于 3 1 低于 3	4	升高 1,3,4
3	2 高于 4 2 等于 4 2 低于 4	1	升高 2,1,4
4	1 高于 3 1 等于 3 1 低于 3	2	升高 2,3,1
1,3 等高	2,4 等高	2,4 等高	升高 2,4
2,4 等高	1,3 等高	1,3 等高	升高 1,3
3,4 等高	1,2 等高	1,2 等高	升高 1,2
1,2 等高	3,4 等高	3,4 等高	升高 3,4

实验设定调平精度为  $\pm 0.3^\circ$ , 采样周期为 0.2 s, 实验结果如图 5 所示。任意角度调平的实验结果见表 2。

从图 5a) — d) 可以看出, 同时调平 X 轴方向倾角和 Y 轴方向倾角时, 都能平稳地实现调平过程, 没有出现较大的波动。调平结束后 X, Y 轴倾角都达到水平精度要求, 即  $|\alpha| \leq 0.3^\circ, |\beta| \leq 0.3^\circ$ 。从图 5e) — h) 可以看出, 单独调平 X 轴角度或者 Y 轴的角度时, 相互间的影响较小, 有效解决了两点调平的角度耦合问题。由表 2 可知, 所设计的软件能够平稳地实现自动调平, 解决了两点调平的角度耦合问题, 调平精度达到  $\pm 0.3^\circ$ , 调平时间小于 6 s, 提高了沥青水泥砂浆车搅拌平台的调平效率。

表 2 任意角度调平试验结果

设定精度/(°)	角度初始情况	初始角度/(°)	最终角度/(°)
±3	X 轴方向有角度	$\alpha = 2.883, \beta = 0.231$	$\alpha = 0.181, \beta = 0.227$
		$\alpha = -3.292, \beta = 0.287$	$\alpha = -0.038, \beta = 0.157$
±3	Y 轴方向有角度	$\alpha = 0.258, \beta = 0.883$	$\alpha = 0.275, \beta = 0.219$
		$\alpha = -0.203, \beta = -1.628$	$\alpha = -0.184, \beta = -0.148$
±3	X, Y 轴方向都有角度	$\alpha = 2.605, \beta = 0.765$	$\alpha = 0.175, \beta = 0.224$
		$\alpha = -2.498, \beta = 0.959$	$\alpha = -0.231, \beta = -0.042$
		$\alpha = 2.514, \beta = -0.916$	$\alpha = 0.157, \beta = -0.200$
		$\alpha = -2.792, \beta = -0.556$	$\alpha = -0.152, \beta = -0.142$

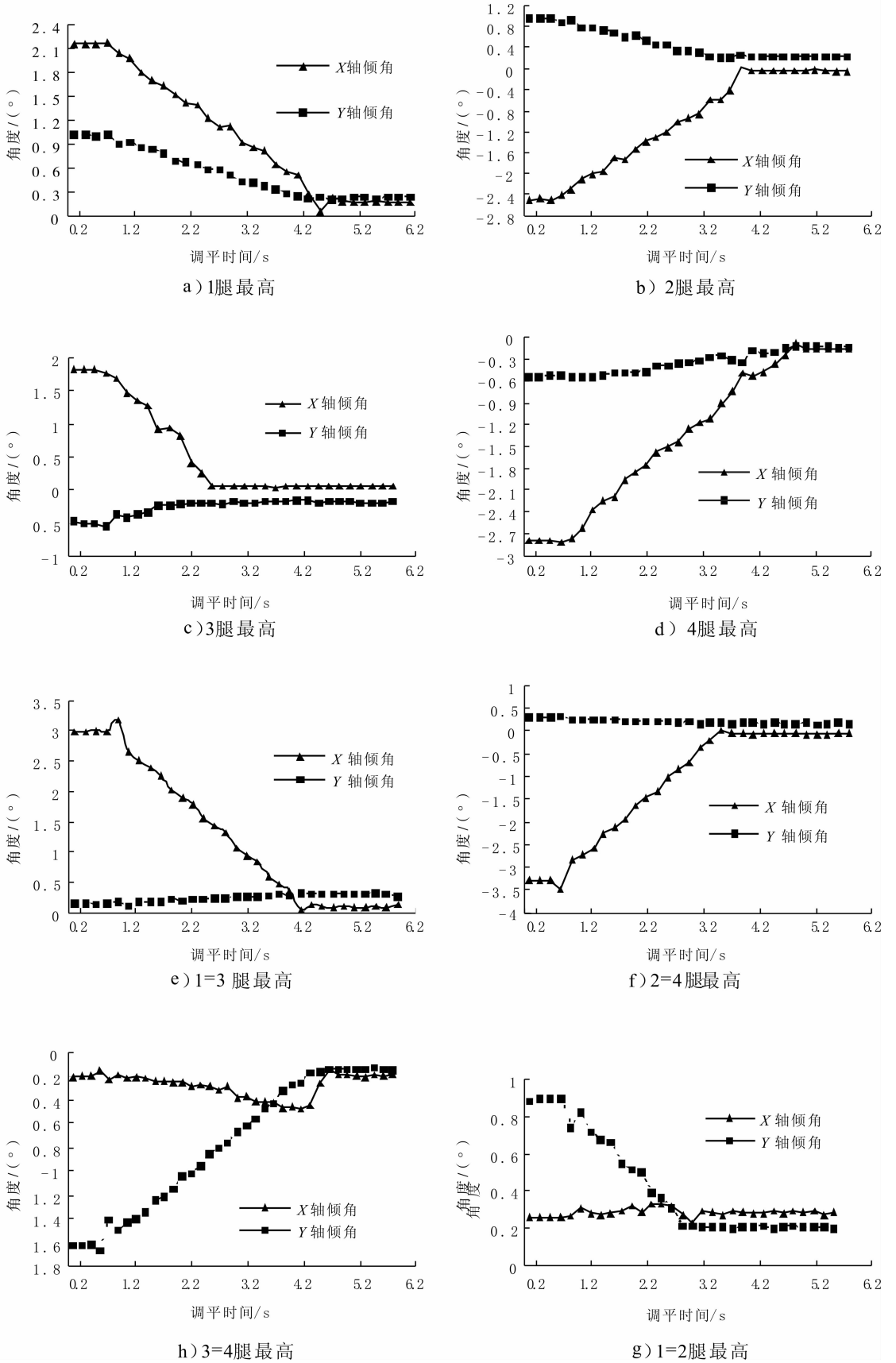


图5 任意角度调平实验

计算机组成,软件平台为 Windows XP 操作系统,JSK 1.6 和 Gridsim 5.2. 仿真实验模拟了域内、域间实体间的认证,并与文献[6]提出的 CSS、文献[7]提出的 NCSS 认证模型进行对比. 实验结果见图 5,图 6.

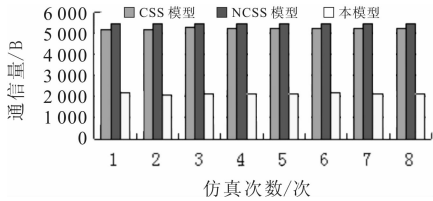


图5 本模型与 CSS,NCSS 通信量对比

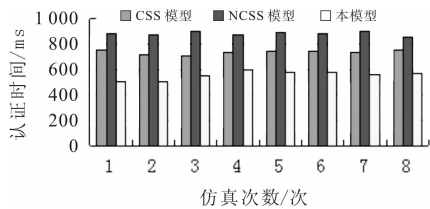


图6 本模型与 CSS,NCSS 认证时间对比

由图 5 可以看出,本文给出的模型的通信量约为 2 100 B,而其他 2 个模型的通信量大约为 5 200 B,本文给出的模型的通信量约为其他模型的 40%. 由图 6 可以看出,本文提出的模型的认证时间约为 450 ms,而其他 2 个模型的认证时间约为 700 ~ 890 ms,本文提出的模型的认证时间约为其他模型的 50% ~ 64%. 图 5 和图 6 表明,与其他模型相比,本文提出的模型的认证过程相对于其他模型来说,具有较低的通信量和较短的认证时间.

本文认证模型,以虚拟组织和信任度为基础,

在现有的组合 PKI 和 IBC 认证模型中引入临时信任域的概念,减少了认证次数,提高了认证效率.

## 4 结论

本文描述了网格环境下域内和域间信任关系,以虚拟组织和信任度为基础,并在该模型中引入临时信任域的概念,设计了网格环境下的组合 PKI 和 IBC 的跨域认证模型. 仿真实验表明,该模型具有网格环境下认证模型轻量、高效的特点.

## 参考文献:

- [1] Butley R, Welch V, Engert D, et al. A national scale authentication infrastructure [J]. IEEE Computer, 2000, 33 (12):60.
- [2] 杨斌. IBC 和 PKI 组合应用研究 [D]. 郑州:解放军信息工程大学,2009.
- [3] 王珊,高迎,程涛远,等. 服务网格环境下基于行为的双层信任模型的研究 [J]. 计算机应用, 2005, 25 (9):1974.
- [4] 于代荣,杨扬,李盛阳,等. 基于身份的网络安全体系结构研究 [J]. 四川大学学报:工程科学版, 2009 (2):200.
- [5] 张红旗,张文波,张斌,等. 网格环境下基于身份的跨域认证研究 [J]. 计算机工程, 2009 (19):160.
- [6] Liu Z, Hu Y, Zhang X, et al. Certificateless signcryption scheme in the standard model [J]. Information Sciences, 2010, 180 (3):452.
- [7] Wu C, Chen Z. A new efficient certificateless signcryption scheme [C]//Information Science and Engineering, [s. l.]:International Symposium on, 2008:661-664.

(上接第 73 页)

## 4 结论

本文通过借鉴其他自动调平系统的经验,结合砂浆车的实际应用情况,设计了基于 PLC 的液压三点自动调平系统. 该系统以汽车轮胎为支撑基准面,箱体和汽车底盘分离,液压缸直接支撑在汽车底盘上,施工结束后,沥青水泥砂浆车可以同时移动和收腿,而分别设定不同倾角进行试验,试验结果表明,设计的系统能够实现精度为  $\pm 0.3^\circ$ ,调平时间  $< 6$  s 的沥青水泥砂浆车搅拌平台快速自动调平.

## 参考文献:

- [1] 宋刚. 沥青水泥砂浆车在无砟轨道施工中的应用 [J].

现代城市轨道交通, 2008 (4):42.

- [2] 褚新峰,杨曙东. 车载雷达电液自动调平系统 [J]. 液压与气动, 2007 (5):56.
- [3] 郭晓松,占金春,冯永保,等. 导弹发射台新型通用调平系统设计 [J]. 机床与液压, 2007, 35 (2):114.
- [4] 单春贤. 车载雷达天线全自动调平控制模型的建立及系统仿真 [D]. 扬州:江苏大学, 2007.
- [5] 邓颀,邱义,张宝生. 基于电液比例技术的快速自动调平系统 [J]. 兵工自动化, 2009, 28 (1):70.
- [6] 卫国爱,许平勇,亓迎川,等. 基于 PLC 的液压调平升降控制系统 [J]. 液压与气动, 2004 (5):11.
- [7] 房怀英,杨建红,吴仕平. 基于模糊 PID 控制沥青砂浆车液压调平系统 [J]. 长安大学学报:自然科学版, 2011, 31 (1):98.