

基于 PLC 的搅拌车电液调平控制系统研究与开发

曹学峰¹, 高 斌², 高 兰¹

(1. 石家庄铁道大学 机械工程学院, 河北 石家庄 050043; 2. 四川威远钢铁有限公司, 四川 内江 642463)

摘要:混凝土拌合设备在使用前需处于水平状态, 以保证配料的计量精度和搅拌质量。本文设计了 4 点支撑的车载集装箱式水泥拌和设备自动调平控制系统, 采用三菱 FX2N 系列 PLC 为控制核心, 以触摸屏作为有线遥控, 以液压元件作为支撑和动力系统, 解决了传统水泥拌和设备调平时间长、调平精度低和工作量大等问题。给出了总体设计方案, 设计了硬件电路和软件程序, 试制了样机。经实验和现场使用证明, 该系统调平速度快、精度高、性能稳定, 较好地解决了四点支撑机构出现的虚腿问题。市场前景广阔。

关键词:车载拌合设备; PLC; 自动调平; 电液控制

中图分类号: TP23 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0373(2015)04-0075-06

0 引言

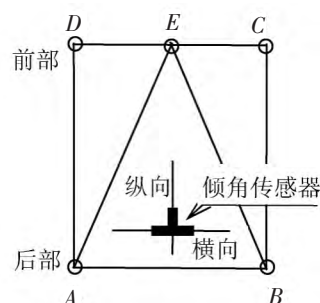
高速铁路和高速公路施工中, 大量使用混凝土拌合设备, 根据要求的混凝土工程强度不同, 拌合时水泥砂浆的配比也不同, 在拌合之前需要对水泥砂浆按配比进行称重。中铁十七局集团有限公司研制的移动沥青水泥砂浆拌合设备, 满足了路基施工中混凝土拌合称重配比的要求。

该拌合设备属于车载集装箱式, 生产前要求快速使设备处于水平状态, 以保证拌合设备配料的计量精度和搅拌质量, 对调平的时间和精度提出了较高要求。因此, 本文设计了一种四点支撑的车载集装箱式混凝土拌设备平台自动调平控制系统。

该系统应用位置逆解法和箱体与拖车转向架的运动干涉防止技术, 采用三菱 FX2N 系列 PLC^[1] 为控制核心, 以触摸屏作为有线遥控, 以液压元件作为支撑和动力系统, 解决了移动式混凝土拌和设备调平时间长、调平精度低和工作量大等问题, 保证了施工质量。

1 调平机构设计

混凝土拌设备平台具有 3 个自由度, 采用 3 点支撑的原理来进行设计, 同时综合 4 点支撑^[2]的优点。由于 3 个点或两条相交直线确定一个平面, 所以要使搅拌车平台达到水平, 需要横向和纵向两个相垂直方向上分别布置一个倾角传感器, 如图 1 所示。对于 ABE3 点式支承, 可分别控制和调整 A、B、E3 点的高低, 得到一个唯一的水平支承面。而对于 ABCD4 点式支承, 结构上出现了一次超静定问题, 在进行调平时, 必然就会有一个支承腿处于不受力的悬空状态, 即产生了“虚腿”现象。为解决这一超静定箱体调平问题, 通常的方案是在 4 个支承点上同时设置压力传感器, 根据水平传感器和压力传感器的检测信号, 通过复杂的逻辑控制, 反复调整 4 个支承点的高低, 保证在 4 个支承点都完全着地承力的情况下达



A-左后油缸位置; B-右后油缸; C-右前油缸;
D-左前油缸; E-前部油缸连接的等价支点

图 1 自动调平原理示意图

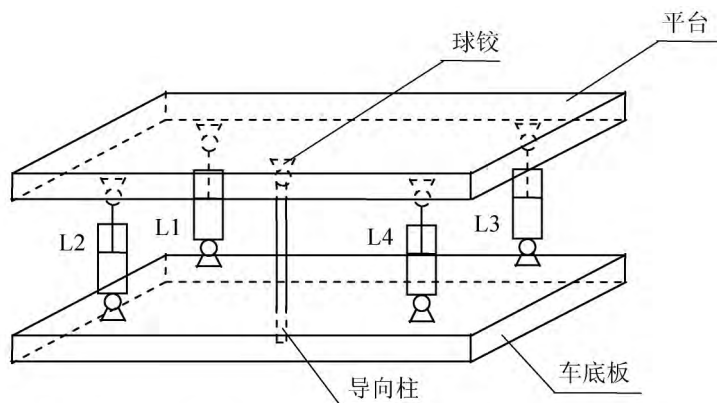
收稿日期: 2014-07-11 责任编辑: 刘宪福 DOI: 10.13319/j.cnki.sjztdxxxbzrb.2015.04.14

作者简介: 曹学峰(1973-), 男, 工程师, 研究方向为工程机械设计与应用。E-mail: gaolanshow@163.com

曹学峰, 高斌, 高兰. 基于 PLC 的搅拌车电液调平控制系统研究与开发[J]. 石家庄铁道大学学报: 自然科学版, 2015, 28(4): 75-80.

到水平,所以其调平方法控制复杂、调整周期长、精度难以提高。

本设计中平台采用 4 个结构尺寸完全相同的液压缸支撑,前部两个油缸的油路却是相连的,其后两个液压缸是独立的,如图 2 所示。左前 L3、右前 L4、左后 L1、右后 L2 油缸和导向支腿上端与箱体及拖车之间采用球铰连接,导向柱的下端与拖车之间垂直连接。在调平的运动过程中,各油缸能绕其两端的球铰自由转动,保证了液压缸和平台及车底板之间不会出现运动干涉。后部油缸 L1 和 L2 缸分别用两个比例电磁阀控制,它们能独立地进行伸缩,前部液压缸 L3、L4 用一个比例电磁阀控制,液压回路连接如图 3 所示,当一只液压缸伸长(缩短),则另一只液压缸就缩短(伸长)相同的长度,两油缸(L3、L4)铰点(D、C)连线的中点(E)的位置不随两油缸的伸缩而变化。从效果上看,相当于后两油缸(L1、L2)的铰点(A、B)和此中点(E)组成一平面,形成 3 点支撑(A、B、E),如图 1 所示。此时前两个油缸就相当于一个油缸,位于 D(L3)和 C(L4)连线的中点 E 处,因两油缸油路相通,L3、L4 油缸都不存在虚腿现象,从而解决了 4 点支撑中出现的虚腿问题。



L1: 左后油缸 L2: 右后油缸 L3: 左前油缸 L4: 右前油缸

图 2 调平机构

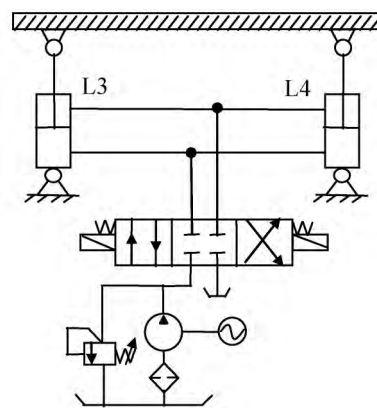


图 3 前部油缸结构图

2 控制系统总体方案

整个电液控制调平系统由电控系统、导向支撑系统和液压系统 3 大部分组成。控制系统采用位置逆解法^[3],根据箱体上的双轴倾角传感器(横向/纵向)的信号,计算出油缸在当前状态下经调平后达到水平位置时的目标长度,经理论修正算法后,通过 PLC 控制内置位移传感器的调平油缸 L1、L2、L3、L4 动作,改变拌合平台与拖车底盘的相对位置,使拌合设备达到水平状态。系统的整体设计方案参见图 4 所示。系统具有预调平、自动调平、手动调平、参数设置、状态显示等功能。

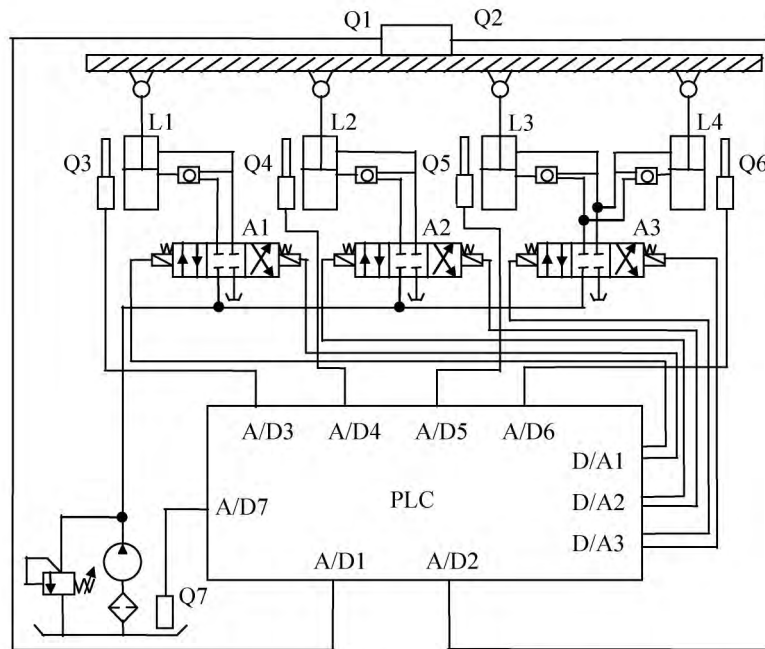
3 控制算法

该集装箱式混凝土搅拌设备平台,属车载移动设备,体积大、质量重、机构复杂,调平系统包含机、电、液 3 部分,很难建出精确数学模型且调平速度要求不高,所以本设计采用位置逆解算法进行控制。控制过程为:首先设定水平位置,根据横向 Q1、纵向 Q2 倾角传感器和油缸位移传感器 Q3~Q6 采集的信号,计算出 4 个油缸 L1~L4 的目标长度→然后送出控制量→油缸伸缩到目标长度→横向 Q1、纵向 Q2 倾角传感器检测是否水平,若未平→再根据传感器信号计算目标长度→继续输出控制量→直到 Q1、Q2 检测平台达到水平位置为止。

3.1 目标长度的计算方法

(1)根据调平前平台的倾角和机构的相关尺寸,通过位置逆解法计算平台处于某一水平位置时各油缸的理论目标长度。

(2)根据平台位置最低的原则,同时考虑平台与拖车之间的运动极限(以不发生干涉为限)对计算结果进行修正,计算出每个油缸的最终目标长度。



L1:左后油缸 L2:右后油缸 L3:左前油缸 L4:右前油缸 A1、A2、A3:电磁阀
Q1:纵向倾角传感器 Q2:横向倾角传感器 Q3:左后位移传感器 Q4:右后位移传感器
Q5:左前位移传感器 Q6:右前位移传感器 Q7:温度传感器

图 4 系统总体控制方案

3.2 位置逆解法计算油缸伸缩量

位置逆解法就是根据调平前平台的倾角和平台的相关尺寸计算出平台到达某一水平状态时各油缸在坐标系中所处的位置。

首先建立平台调平前后的坐标系,即静坐标系和动坐标系。如图 5 所示,两个坐标系的原点 O 和 O' 均与导向柱球铰的球心重合,调平前坐标系的 $X-Y$ 平面与集装箱底面平行,调平后坐标系的 $X'-Y'$ 平面处于水平,且两坐标系 $X、Y$ 轴朝向一致。两坐标系 $X-Y$ 平面之间的夹角就是集装箱调平前纵横两个方向的倾角。

设原坐标系中坐标原点到油缸的距离矢量为 A_i ,在箱体调平后即坐标系旋转后在新坐标系中,矢量变为 B_i , L_i 为原坐标系中从 A_i 到 B_i 的矢量。则有

$$L_i = A_i - B_i \quad (1)$$

B_i 由油缸位移传感器 $Q3 \sim Q6$ 得到, A_i 未知。为求得 L_i ,需先求得 A_i ,可利用相应的已知 B_i ,利用牛顿—欧拉角转换公式求得。对于已知的箱体角位移 θ_z (等于 0)、纵向倾角 θ_x 、横向倾角 θ_y ,按此顺序转换方式如下

$$B_i = A_i [T]^T。$$

$\theta_x、\theta_y$ 分别由 $Q1、Q2$ 倾角传感器得到, $[T]$ 为正交矩阵, $[T]^T = [T]^{-1}$ 。由于箱体没有绕 Z 轴旋转的自由度,所以, θ_z 为 0,这样,矩阵 $[T]$ 为

$$[T] = \begin{bmatrix} \cos \theta_y & \sin \theta_y \sin \theta_x & \sin \theta_x \sin \theta_y \\ 0 & \cos \theta_x & -\cos \theta_x \\ -\sin \theta_y & \cos \theta_y \sin \theta_x & \cos \theta_y \sin \theta_x \end{bmatrix}。$$

代入式(1)得理论目标长度矢量

$$L_i = B_i ([T]^T - E) \quad (2)$$

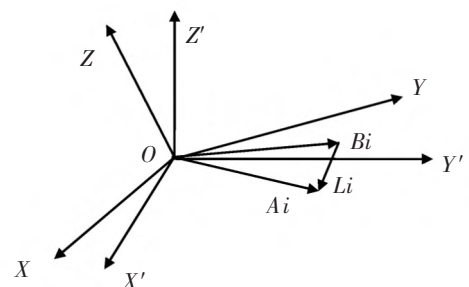


图 5 调平前后两坐标转动关系

$$Li = \begin{bmatrix} x & y & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta_y - 1 & \sin \theta_y \sin \theta_x & \sin \theta_x \sin \theta_y \\ 0 & \cos \theta_x - 1 & -\cos \theta_x \\ -\sin \theta_y & \cos \theta_y \sin \theta_x & \cos \theta_y \sin \theta_x - 1 \end{bmatrix},$$

$$Li = [x(\cos \theta_y - 1) \quad x \sin \theta_y \sin \theta_x + y(\cos \theta_x - 1) \quad \sin \theta_x \sin \theta_y - \cos \theta_x]。$$

液压缸的理论目标长度为

$$|Li| = \sqrt{[x(\cos \theta_y - 1)]^2 + [x \sin \theta_y \sin \theta_x + y(\cos \theta_x - 1)]^2 + (\sin \theta_x \sin \theta_y - \cos \theta_x)^2}。$$

3.3 理论目标长度的修正算法

平台在达到理论目标长度后需进行修正最终达到实际目标长度。平台在调平后会出现以下两种情况:一是调平前和调平后的平面箱体横截面范围内有交线;二是调平前和调平后的平面箱体横截面范围外有交线。经过理论计算,这两种情况下,修正量的表达式均可用下式表示

$$X = -(b-a) \frac{s_1}{s_2} + a \quad (3)$$

式中, a 为前部油缸平均伸缩量; b 为后部油缸平均伸缩量; X 为修正量(有正负之分); s_1 为平台前部距前部油缸的距离; s_2 为前部油缸和后部油缸的距离。

4 控制系统硬件设计

控制系统主要由 PLC 主单元、A/D 模块、D/A 模块、位移传感器、倾角传感器、温度传感器(带变送器)、触摸屏、比例放大器、电磁阀、继电器、风机等电气元件组成。控制系统框图如图 6 所示。

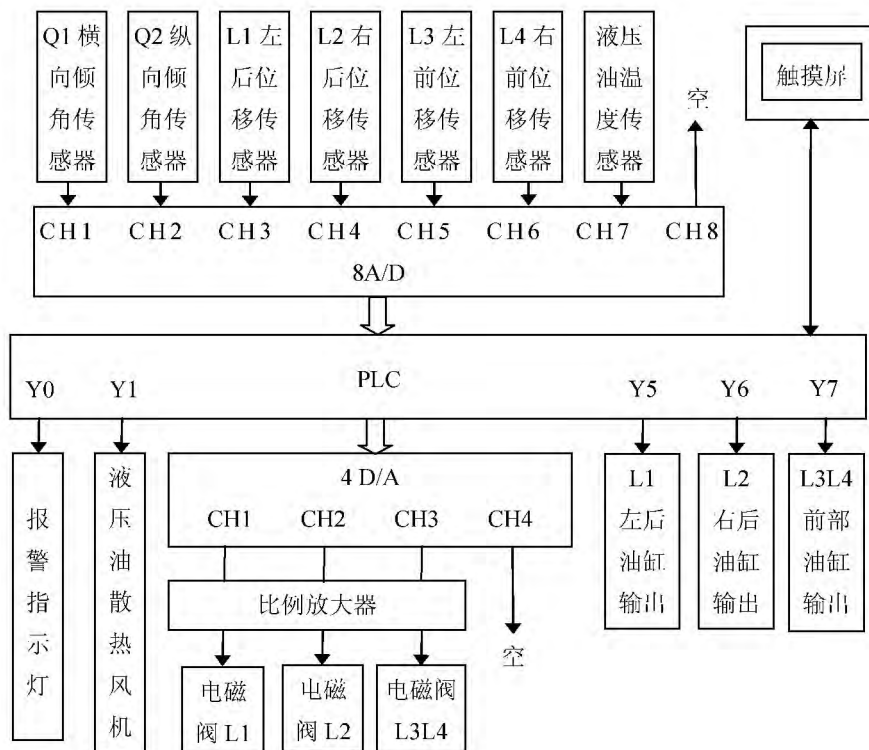


图 6 硬件设计框图

角度传感器 Q1、Q2 和油缸位移传感器 Q3~Q6 的信号,通过 A/D 转换后送到 PLC,PLC 经过处理和相关算法后输出控制量到比例电磁阀和油缸 L1~L4,构成闭环控制系统,控制液压油缸的伸缩速度和位移,从而快速将平台调到水平状态。系统设计有自动调平、手动调平和预调平工作模式。触摸屏设计为有线遥控方式,可在设备周围方便操作。当液压系统温度超限时,能自动启动风机散热。

5 控制系统软件设计

软件设计主要由传感器标定程序、预调平程序、自动调平程序、手动调平程序、退出调平程序和触摸屏程序几部分组成。主程序流程图如图 7 所示。

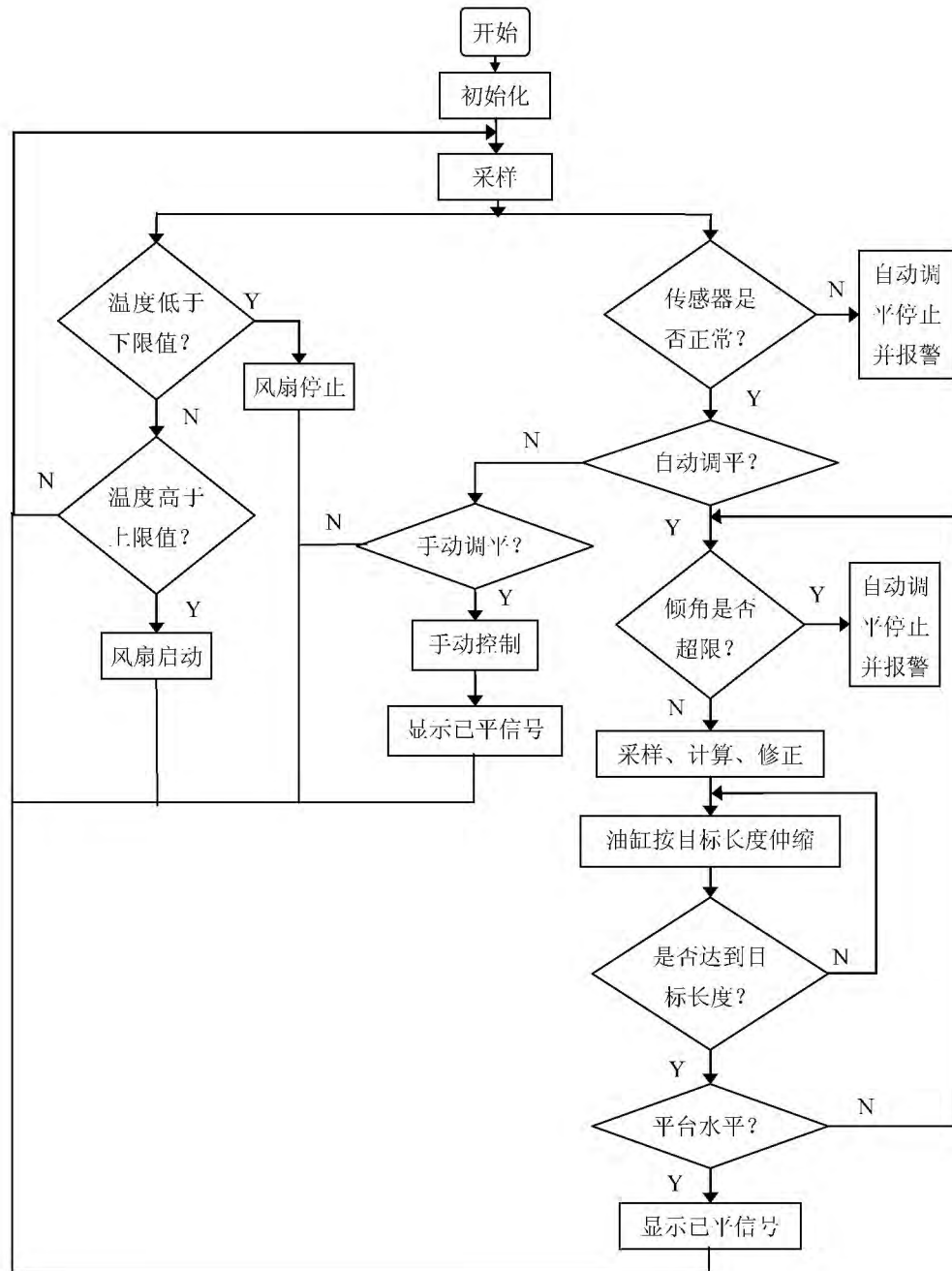


图 7 主程序流程图

6 结论

本文设计的调平控制系统样机经中国铁道建筑总公司第十七局集团有限公司在移动沥青水泥砂浆拌合设备上的现场使用证明:位置逆解算法控制取得了良好效果。采用 CS2092DH 动态测试分析仪在现场进行了对比测试,控制系统工作可靠,性能稳定,倾角调平精度达 $\pm 0.2^\circ$,位移精度达 $\pm 1\text{ mm}$,调平时间 1 min 左右。同时该系统较好地解决了四点支撑机构出现的虚腿问题,市场应用前景广阔。

参 考 文 献

- [1] 于庆广. 可编程控制器原理及系统分析[M]. 北京:清华大学出版社, 2004:61-62.
- [2] 曹勇,王洪应. 机电式四点自动调平系统设计[J]. 零八一科技, 2004(2):42-44.
- [3] 张二江,李永刚. 新型四自由度并联机构位置逆解分析[J]. 天津职业技术师范大学学报, 2011(4):7-11.

The Research and Development of the Electro-hydraulic Leveling Control System for Mixers Based on PLC

Cao Xuefeng¹, Gao Bin², Gao Lan¹

(1. School of Mechanical Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China;

2. Tranvic Group, Neijiang 642463, China)

Abstract: To ensure the measurement precision of the ingredients and the quality of stir, the concrete mixing equipment must be in a level state before using. A automatic leveling control system with four support vehicle-mounted container type cement mixing plant is depicted in this paper. With mitsubishi FX2N series PLC as the control core, a touch screen as a wired remote control, hydraulic components as support and motivation, this control system has solved these problems of the traditional cement mixing plant such as long leveling, low precision and big workload. In this paper, according to the overall design scheme, the hardware circuit and software program and a prototype are designed. Proved by experiments and field use, this system has fast leveling speed, high precision, stable performance and has better solved the four-point supporting virtual leg problems, which has a broad application prospect in the market.

Key words: vehicle-mounted mixing equipment; PLC; automatic leveling; electric hydraulic control

~~~~~

(上接第 57 页)

## Analysis of Dynamical Behavior of a Van Der Pol Oscillator Coupled to a Duffing Oscillator

Wang Xiaodong<sup>1,2</sup>, Yang Shaopu<sup>1,2</sup>, Zhao Zhihong<sup>2</sup>

(1. School of Mechanical Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China;

2. Key Laboratory of Traffic Safety and Control in Hebei, Shijiazhuang 050043, China)

**Abstract:** For complex dynamic behaviors of coupling nonlinear chaotic oscillators, this paper makes a Van der Pol oscillator couple to a duffing oscillator and establishes a duffing oscillator and Van der Pol oscillator coupling model, which, compared with the single oscillator, shows rich dynamics. With Simulink simulation method, by coupling the phase diagrams and Poincaré maps of nonlinear chaotic oscillators under different amplitudes of the driving motivation, different coupling coefficients and different frequencies, this paper analyzes the dynamics of coupling nonlinear oscillators, and studies the coupling oscillator sensitivity to the weak periodic signals and the immunity of noise and has applied this model in weak signal detection.

**Key words:** chaos; coupling oscillators; weak signal detection; simulation