

DOI: 10.3724/SP.J.1187.2011.00360

基于 DSP 的生化分析仪温控系统设计

冷 雪 周九飞 付金宝 李友一

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033)

摘 要: 在生化分析二点法、速率法中, 试剂加入样品后的反应过程是在比色杯中完成的, 该反应过程对温度极其敏感, 能否按要求准确控制反应液的温度, 直接影响检测结果的可信度。由于反应液与比色杯有迅速的热交换, 实际是通过控制比色杯的温度来达到控制反应液温度。为了实现反应杯温度的快速、精确检测与控制, 系统硬件采用高精度铂电阻作为测温元件, DSP 作为控制器, 半导体制冷片作为温度调节器, 软件采用 PID 控制算法。实验结果表明, 比色杯温度控制精度达到 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$, 控制时间小于 30 s, 满足生化分析仪的设计要求。

关键词: 生化分析仪; DSP; PID 算法; 温控精度

中图分类号: TP29 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.80

Design of temperature control system of biochemical analyzer based on DSP

Leng Xue Zhou Jiufei Fu Jinbao Li Youyi

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and physics, Chinese Academy of Science, Changchun 130033, China)

Abstract: In two-point and velocity methods in biochemical analysis, the reaction is accomplished in a cuvette when the reagent is added into the sample. The reaction is so susceptible to temperature that temperature control becomes a key factor to the reliability of the measurement. By using the exchange of heat between reaction liquid and cuvette, system actually controls the cuvette temperature instead of the reaction liquid temperature. In order to fulfill quick and accurate temperature control, system takes high-precision platinum resistance as the temperature sensor, DSP as the controller and semiconductor Peltier as heat interchanger. PID is adopted as the software Algorithm. From the result of operation, the precision of cuvette temperature control has achieved $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ within 30 seconds, which has satisfied the design requirement.

Keywords: biochemical analyzer; DSP; PID algorithm; temperature precision

1 引 言

生化检验是医生确定病人病情的重要手段之一。当病人某些组织发生病变时, 其血液或尿液中的某些成分就会与正常人的指标不同, 医生以此来确定病情。它可以准确、快速地为医生和化学检验员提供检验数据, 在临床诊断和化学检验中具有重要作用。世界上第一台自动生化分析仪是美国 Technicon 公司于 1957 年制造的, 称为 Autoanalyzer, 国外自动生化分析仪经过多年发展, 在技术上已非常成熟。如美国贝克曼、Applied Biosystem、雅培、强生等, 日本日立、荷兰 Stalat、瑞士 Tecal 等公司业已推出品种齐全的自动化分析仪器。国外生化分析仪发展特点是采用的尖端技术、可测的反应类型和

相应的项目多; 测定的准确性、精密度高并且速度快; 软件功能丰富; 灵活性和自动化程度高。与之相对应的是样品量减少; 试剂消耗量减少; 硬件部分减少; 人工参与减少。目前, 国内自行研制的品种绝大多数是半自动的。2000 年后才开始出现中、低档全自动生化分析仪, 主要是由合资企业研制开发的。这些产品由于产品的型号种类少、分析速度慢、试剂耗量大, 其自动化程度、精度、可靠性和稳定性与国外产品相比, 还有相当大的差距。

为了加快检验速度, 新的生化分析仪采用先进的 DSP 作为控制器, 高精度传感器进行温度采样, 通过 PID 控制算法对样品温度进行快速准确的控制, 同时 DSP 还对码盘光源选择, 步进电机进排样控制, 数据存储和用户界面信息操作等进行迅速有效的控

本文于 2011 年 1 月收到。

制。实验结果表明, 该生化分析仪在样品分析时间和用户操作简易性上有很大提高。

2 系统硬件设计

已有的控制系统以单片微处理器 MCS-51 为核心, 信号的检测、放大处理等电路部分构成单片机的外围电路, 步进电机及相应机械装置作为系统的进排样部分, 外围电路复杂, 系统联机调试和实时性差, 由于单片机既要完成对检测信号的处理和测试数据的保存, 同时又要显示和通信, 一个单片机很难完成对整个系统的控制功能, 至少需要 2 个单片机共同完成系统的要求, 增加了系统的复杂程度, 也不利于系统升级和维护。

新的系统以 DSP 芯片 TMS320LF2407A 作为整个系统的控制处理器, 芯片内部集成了 A/D 转换器, SCI 串口模块, 多路 PWM 输出以及定时等模块, 减少了系统对其他硬件的需要, 使得外围电路简单。上位机选用系统机(PC 机)对测试结果进行处理、显示、打印, 可以对实现对整个系统的自动控制。对 C 语言的完全支持也使得程序的编写, 维护和升级简单。

整个系统最终要完成的是对被测量液体样品进行血清或尿液的生化项目进行准确检验。因此, 整个系统需要有如下模块构成:

- 1) 对被测量液体样品进排样的机械系统装置;
- 2) 由于对不同的测试项目要采用不同的单色光源, 故需要分光光源选择机构;
- 3) 液体样品的测试需要对光信号进行检测、光电转换、放大处理等;
- 4) 整个系统的控制及相关处理要实现自动化, 需要由单片微处理器实现;
- 5) 测试数据的存储需要存储器;
- 6) 采样数据的处理、测试报告的显示、打印, 系统参数的设置都需要由上位机或触摸键盘完成。

综上, 整个控制框图如图 1 所示。

2.1 温度信号采集

温度传感器选用的是接触式铂电阻 Pt100, 它稳定性好、精度高、电阻率较高、温度系数大, 被广泛用来测量 -100~300℃ 范围的温度。在 0~100℃ 范围内近似有关系:

$$R_{pt} = R_0 \times (1 + A t) \Omega$$

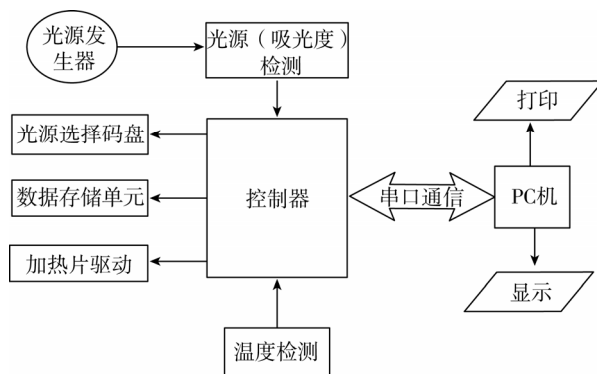


图 1 系统控制框图

Fig. 1 System control block diagram

式中: A 为正温度系数, 约为 $3.901 \times 10^{-3} \Omega / ^\circ\text{C}$, R_0 为 0°C 时的铂电阻阻值, 为 100Ω , t 为铂电阻实际温度, 允许通过的最大电流 $I_m < 2.5 \text{ mA}$ 。例如温度 37°C 时 R_{pt} 的阻值为 $100 \times (1 + 3.901 \times 10^{-3} \times 37) = 114.4337 \Omega$ 。也可以根据铂电阻分度表进行查找。由于生化分析时对于血清或尿液所含不同物质的测量需要在几种特定温度下进行, 如 20°C 、 30°C 、 37°C 等, 因此对反应杯的溶液温度可以通过检测铂电阻 Pt100 两端电压来测量, 从而计算铂电阻的温度。根据测温点布线短的特点, 采用两线测温的法, 高精度标准电阻 R_s 则用来产生基准 100Ω , 最后通过软件算法来校准和计算溶液的温度。由于热电阻随温度变化而引起的变化值较小, 因此在传感器与测量仪器之间的引线过长会引起较大的测量误差, 布线时需充分考虑。温度采集采用图 2 接线方式。

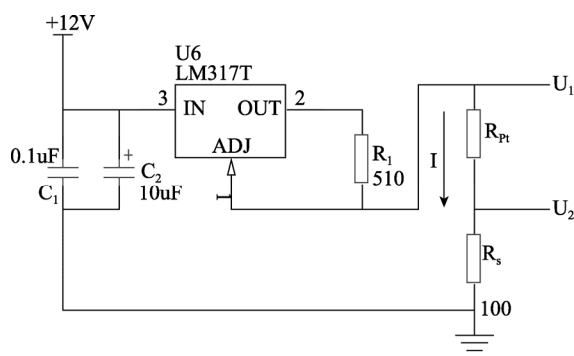


图 2 传感器接线图

Fig. 2 Sensor wiring scheme

图中恒流源利用三端稳压集成器件 LM317 和 R_1 构成, LM317 的 IN 端给它提供工作电压后, 可以保持 OUT 端比 ADJ 端电压高 1.25 V。因此电流电压满

足下列关系式:

$$\begin{aligned}
 I &= 1.25/R_1 \\
 U_2 &= I \times R_S \\
 U_1 &= I \times (R_{pt} + R_S) \\
 U_{pt} &= U_1 - U_2
 \end{aligned}$$

式中: U_{pt} 为铂电阻两端电压, 除以电流 I 就可以得到铂电阻的电阻值, 根据 R_1 为 560Ω , 可以计算出铂电阻测量的温度值。

2.2 温度信号处理

对于采集到的温度(电压)信号, 通过 A/D 变成 DSP 可以识别的数字信号, 并输入的 DSP 中进行运算处理, 电路如图分两部分, 第一部分如图 3 所示。

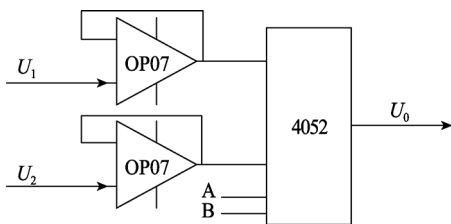


图 3 温度信号处理前级电路
Fig. 3 Fore circuit of temperature signal

代表温度信号的 2 个电压值 U_1 和 U_2 , 通过两个 OP07(电压跟随器)连接到模拟开关 4052, 模拟开关 4052 是由 DSP 两个 I/O 口(IOPF2 和 IOPF3 通过光耦)分时选择并输出 U_0 , 第二部分电路如图 4 所示。

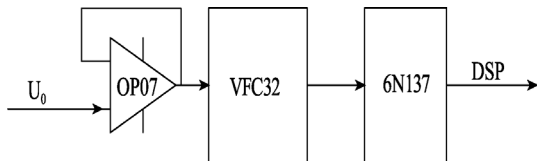


图 4 温度信号处理后级电路
Fig. 4 Back circuit of temperature signal

采用运算放大器 OP07、压控振荡器 VFC32 以及高速光电耦合器 6N137 构成信号处理后级电路, U_0 再次经过放大器 OP07 的电压跟随器, 进入模数转换器 VFC32 并通过光耦 6N137 接入 DSP 定时器计数。通过 1 V 对应 100 kHz 算出铂电阻 R_{pt} , 从而可以精确测量出温度。

2.3 传感器的标定

铂电阻 Pt100 的标定采用半导体恒温箱和高精度数字万用表来标定, 根据 Pt100 的分度表, 分别测量 5 个温度点下的铂电阻阻值, 并与分度表同温度下的电阻值比较, 阻值误差不超过 1‰时, 可按照分

度表阻值计算实际温度值, 否则认为器件不合格。其中 0°C , 20°C , 25°C , 37°C , 50°C 下的分度表如表 1 所示。

表 1 Pt100 五点温度下的分度表
Table 1 Graduation in degrees of five temperature points

温度/ $^\circ\text{C}$	0	20	25	37	50
电阻值/ Ω	100	107.794	109.735	114.382	119.397

2.4 PID 温度控制系统

采用两片半导体元件帕尔贴, 夹在比色杯对应的两端, 一片用来加热贴在比色杯一端, 另一片用来制冷贴在比色杯对应另一端, 根据热平衡原理, 加热端制冷端产生的热交换, 可以快速控制比色杯温度。在实际工程中, PID 控制是连续系统控制理论中最成熟, 应用最广泛的一种控制技术。它具有原理简单, 易于实现, 适用面广, 控制参数相互独立, 参数调整方便等优点。当被控对象的结构和参数不能完全掌握, 或得不到精确的数学模型时, 控制理论的其他技术难以采用时, 系统控制的结构和参数必须依靠经验和现场调试来确定, 这时应用 PID 控制技术最为方便。即不完全了解系统和被控对象, 或不能通过有效的测量手段来获得系统参数时, 适合采用 PID 控制技术。原理框图如图 6 所示。

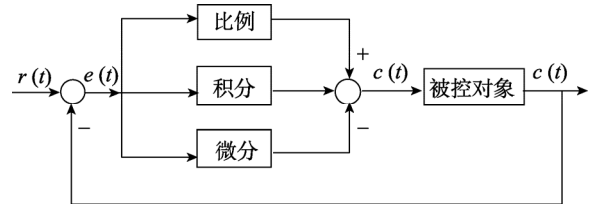


图 5 PID 控制原理框图
Fig. 5 PID control block diagram

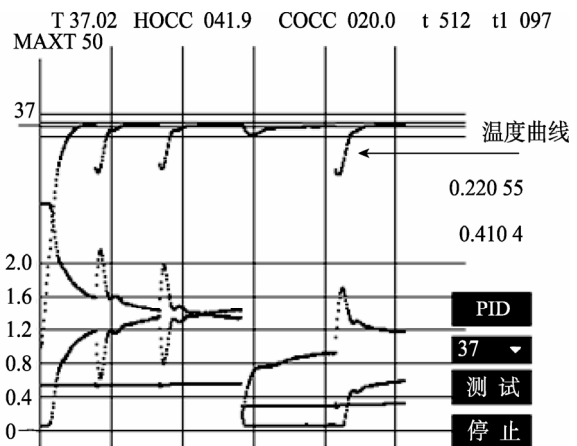


图 6 实测温控曲线图
Fig. 6 Real-time temperature control curve

本系统控温 37℃时的实际温度曲线如图 7 所示, 是由上位机实时监控得到的。

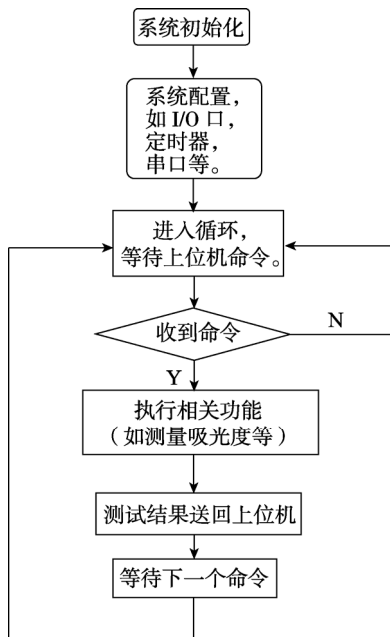


图 7 系统主程序图

Fig. 7 System program flow diagram

其中黄色线为实际温度曲线, 每次的抖动是由于吸进新的样品导致比色杯内温度下降, 通过实验

表明, 在室温 25℃左右, 控制目标分别是 20℃, 30℃, 37℃时, 每次比色杯吸入新的样品时, 达到目标温度的时间如表 2 所示, 每次温控的时间均小于 30 s。

表 2 不同目标温度下的实测温控时间
Table 2 Control time of different target temperatures

测试次数	目标温度		
	20℃	30℃	37℃
第一次	27s	21s	25s
第二次	26s	22s	25s
第三次	25s	19s	26s
第四次	27s	20s	24s
第五次	26s	21s	26s

3 系统软件设计

系统采用模块化的编程方法, 将功能分散化、单一化。下位机完成吸液、控温、数据采集与处理、模块的监测、通信等操作。测试项目的参数设置、测试结果编辑、病例报告的输出、历史数据的浏览以及下位机的相关执行命令由上位机来完成。整机以菜单的导引方式工作, 上位机使用 Visual Basic 语言编制, 采用下拉菜单式结构, DSP 采用 C 语言编程系统 DSP 主程序实际流程如图 7 所示。上位机用户界面如图 8 所示。

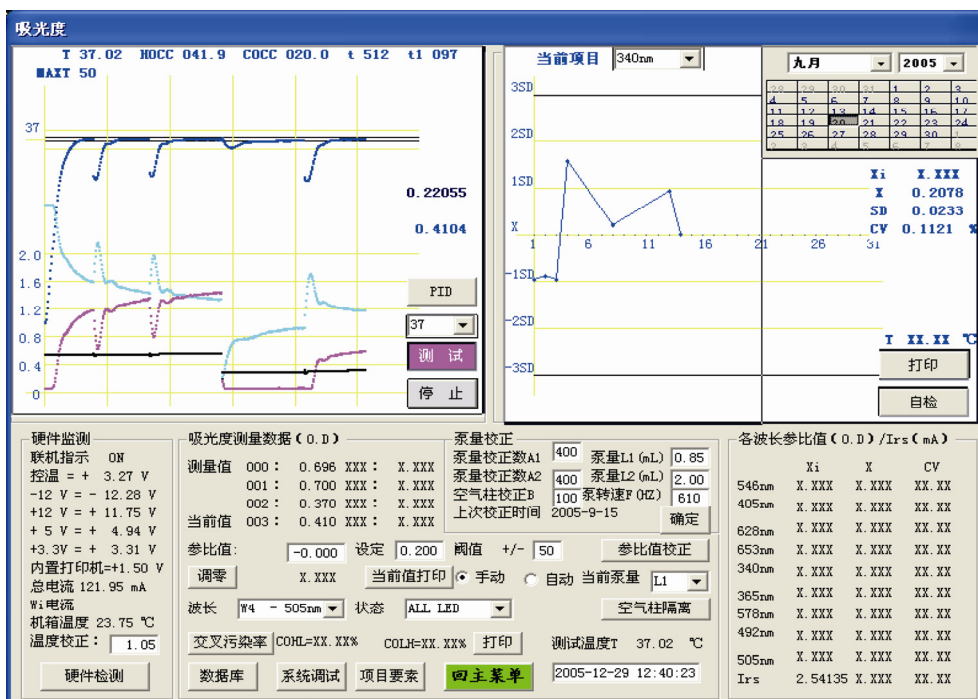


图 8 上位机用户主界面

Fig. 8 Client interface of PC

图9是生化分析仪的实物图。



图9 生化分析仪实物图

Fig. 9 Real picture of biochemical analyzer

4 结 论

系统选用高性能的 DSP TMS320LF2407A 为核心控制器, 高精度铂电阻作为温度传感器, 并通过软件 PID 实现了生化分析仪比色杯的温度控制。结果证明, 该系统能快速准确地实现对比色杯溶液的温度控制, 从而有效地提高了生化分析仪的检测精度和准确度, 该生化分析仪已经投放市场。

参考文献:

- [1] 王继贵, 邓宝爱, 周衍权, 等. 临床生化检验[M]. 湖南: 湖南科学技术出版社, 1995: 80-95.
WANG J G, DENG B A, ZHOU Y Q, et al. Clinic biochemical analysis[M]. Hunan: Hunan Technology Press, 1995:80-95.
- [2] 朱健铭, 陈真诚, 金星亮, 等. 基于 DSP 技术的便携式无创血糖检测仪[J]. 电子测量与仪器学报, 2009: 108-112.
ZHU J M, CHEN ZH CH, JIN X L, et al. Portable non-invasive blood glucose apparatus based on DSP[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2009: 108-112.
- [3] 李学军, 周元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23(10): 37-40
LI X J, ZHOU Y, BIN G F, et al. Temperature control system for cement decomposing furnace based on three-dimensional fuzzy and PID control strategy[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2009, 23(10): 37-40.
- [4] 谢海鹤, 邹文栋, 黄长辉, 等. 基于 PWM 比较放大的 LD 温控系统[J]. 仪器仪表学报, 2009, 30(7): 1530-1533.
XIE H H, ZHOU W D, HUANG C H, et al. LD temperature control system based on PWM comparison amplifier [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2009, 30(7): 1530-1533.
- [5] 刘建锋, 江勇, 丁传红, 等. 基于内模的光纤陀螺温控系统设计[J]. 仪器仪表学报, 2007, 28(4): 187-192.
LIU J F, JIANG Y, DING CH H et al. Internal model design of temperature control system based on fiber optic gyroscope [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2007, 28(4): 187-192.
- [6] 林海军, 滕召胜, 凌菁. 水分测定天平的温度复合智能控制方法研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2007, 21(6): 109-113.
LIN H J, TENG Z S, LING Q. Study on complex intelligent temperature control method of balance for moisture content measurement [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2007, 21(6): 109-113.
- [7] 廖红华. 温度控制系统中双模糊 PID 控制器的研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2006, 20(6): 98-101.
LIAO H H. Research of temperature control system based on double fuzzy-PID controller [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2006, 20(6): 98-101.
- [8] 李东玲, 温志渝, 冯小飞. 微型生化分析仪样品室温度控制系统研究[J]. 信息技术, 2008, 4: 28-32.
LI D L, WEN Z Y, FENG X F. Research on temperature control system for sample's chamber of miniature biochemical analyzer [J]. Information and Technology, 2008, 4: 28-32.
- [9] 刘克平, 曹书权, 李岩. ARM9 在高精度生化分析仪温度控制系统中的应用[J]. 自动化技术与应用, 2008, 27(12): 25-28.

- LIU K P, CHAO S Q, LI Y. High-accuracy temperature control for an automatic biochemistry analyzer base on ARM9[J]. *Techniques of Automation and Applications*, 2008, 27(12): 25-28.
- [10] 刘金琨. 先进PID控制MATLAB仿真[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- LIU J K. Advanced PID control and MATLAB emulation[M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2004.
- [11] 安毓英, 曾小东. 光学传感与测量[M]. 北京: 电子工业出版社, 2001.
- AN M Y, ZENG X D. Optical sensor and measurement[M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2001.
- [12] 郑万华. 全自动生化分析仪的发展及市场概况[J]. *上海生物医学工程*, 2007, 28(2): 124-126
- ZHENG W H. The development of automatic clinical chemistry analyzer and market summary [J]. *Shanghai Biomedicine Engineering*, 2007, 28(2): 124-126.
- [13] 孙丽飞, 田小建. 基于半导体制冷器的高精度PWM功率驱动器[J]. *光电子·激光*, 2004, 15(9): 1026-1030.
- SUN L F, TIAN X J. High precision PWM power amplifier based on thermoelectric cooler [J]. *Journal of Optoelectronics-Laser*, 2004, 15(9): 1026-1030.
- [14] 陶永华. 新型PID控制及其应用[M]. 北京: 中国机械出版社, 2002.
- TAO Y H. New PID control and application[M]. Beijing: China Machine Press, 2002.
- [15] 王晓明, 王玲. 电动机的DSP控制-TI公司DSP应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2003.
- WANG X M, WANG L. DSP Control of Motor-TI DSP Applications[M]. Beijing: Beihang University Press, 2003.

作者简介:

冷 雪: 1999年于大连海事大学获得学士学位, 2006年于长春理工大学获得硕士学位, 现为中国科学院长春光学精密机械与物理研究所任助理研究员, 主要研究方向为信号检测技术。

E-mail: kramer@126.com.

Leng Xue: received BS from Dalian Maritime University in 1999 and in 2006 received MS from Changchun University of science and technology. Now he is an assistant researcher in Changchun institute of optics, fine mechanics and physics Academy of Sciences. His main research is signal detection technology.

2011年首届全国虚拟仪器设计大赛决赛入围名单出炉

2011年首届全国虚拟仪器设计大赛初赛于4月15日落下帷幕, 经过激烈角逐, 共有40支队伍入围最终决赛。

本次大赛由“中国仪器仪表学会”与“教育部高等学校仪器科学与技术教学指导委员会”联合主办, 清华大学等多个单位承办, 美国国家仪器公司(NI)协办, 旨在培养高校学生创新能力, 以满足学生相互交流学习的愿望, 提高虚拟仪器技术水平的愿望。

自2010年底比赛启动以来, 一共吸引了来自全国各省市的184所高校共915支队伍报名参赛, 历时一个半月共收到递交作品462份。经过严格的专家评审, 40支队伍递交的设计作品脱颖而出, 进入决赛。同时, 106支队伍获得大赛鼓励奖。

本次大赛分为软件组和综合组。入围决赛的综合组作品涵盖了工业自动化、绿色节能、汽车、机器人、结构健康监测、生物医电等多个应用领域, 软件组的作品则包括了通讯、控制、信号处理、生物医电、力学、光学等各类教学课件, 充分体现了参赛大学生在虚拟仪器设计上的软硬件应用水平和创新能力。

根据赛程安排, 所有进入决赛的队伍将于5月11-15日在北京的清华大学参加决赛和颁奖仪式。决赛将重点考验入围决赛选手的编程设计、现场演示及答辩水平。

敬请访问<http://gsdzone.net/vicontest/>, 关注大赛最新进展。

关于全国虚拟仪器设计大赛:

为了培养高校在校生的科学兴趣、锻炼综合素质、展现创新能力; 推动高校学生课外科技活动向更广和更深的层次发展; 构建高校、行业协会和企业共同支持的拔尖创新人才培养的有效载体和卓越工程师培养平台。2011年起, 中国仪器仪表学会、教育部高等学校仪器科学与技术教学指导委员会将定期主办“全国虚拟仪器设计大赛”。

2011年大赛由清华大学、“中国仪器仪表学会虚拟仪器与网络化系统分会”、“中国仪器仪表学会电子测量与仪器分会”“精密测试技术及仪器国家重点实验室”共同承办, 美国国家仪器(NI)公司协办。