

全自动维卡仪原理及关键技术*

陈浩¹, 李世六², 黄艳玲², 陈进¹

(1. 重庆大学 机械传动国家重点实验室, 重庆 400044; 2. 重庆大学 机械工程学院, 重庆 400044)

摘要:对现有的手动式维卡仪和自动维卡仪的工作原理和性能特点进行了对比分析,指出了其存在的缺陷和急需解决的问题。在此基础上,采用机电一体化技术和现代传感技术,研制开发了一种能完全满足水泥凝结时间测定国家标准、操作方便、测试精度高、测试结果能自动分析计算的全自动维卡仪。介绍了所研制的全自动维卡仪的工作原理、性能特点、技术关键以及应用前景。

关键词:维卡仪; 机电一体化; 容栅传感器; 水泥

中图分类号:TP23 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-7329(2005)06-0092-05

Principle and Key Technology of Full Automatic Vicat Apparatus

CHEN Hao¹, LI Shi-liu², HUANG Yan-Ling², CHEN Jin¹

(1. State Laboratory of Mechanical Transmission, Chongqing University, Chongqing 400044, P. R. China; 2. College of Mechanical Engineering, Chongqing 400044, P. R. China)

Abstract: In this paper the working principle and performance character of both the manual and automatic Vicat apparatuses in existence are compared and analyzed, and their existing weakness and the urgent problem to be solved are pointed out. On this basis, adopting the technology of mechatronics and modern sensors, a new sort of full automatic Vicat apparatus that can fully satisfy the national standard in testing the setting time of the cement has been developed. This apparatus can be operated expediently with high precision, the test results are to be analyzed and computed automatically. This paper presents the working principle, performance character, key technology and prospect of application for the full automatic Vicat apparatus.

Keywords: Vicat Apparatus; mechatronics; capacitive transducer; cement

水泥的物理性能及化学性能的好坏直接影响建设产品的强度和耐久性,关系到生命安全和国家财产安全。因此,对水泥性能指标的检测具有特别重要的意义。水泥的凝结时间是水泥性能的重要参数之一,而我国目前关于水泥凝结时间测定的技术水平却很低,基本上停留在手工操作阶段,这种测试方式不仅操作人员劳动强度高,而且测试结果受人为因素的影响较大。目前国外虽然出现了自动维卡仪,可实现测试过程的自动化,但是测试方法并不符合测试标准,测试结果还需要经过工作人员分析得出,同样受到一定人为因素的影响。因此,研制能完全满足水泥凝结时间测试国家标准、操作方便、测试精度高、测试结果能自动分析计算的全自动维卡仪,对提高水泥检测的自动化水平和检测质量具有十分重要的工程实用价值。

1 水泥凝结时间测试原理

水泥加水后拌成水泥静浆,由可塑状态转变到具有一定强度的固体状态的过程称为水泥的凝结。

* 收稿日期:2005-09-07

作者简介:陈浩(1979-),男,重庆万州人,硕士,主要从事机构优化研究。

开始失去可塑性的时间叫初凝时间;全部失去可塑性,并开始产生强度的时间叫终凝时间。凝结时间是水泥的重要物理性能,水泥凝结时间在施工过程中具有重要意义:初凝时间不宜过早,是为了有足够的时间对混凝土进行搅拌、运输、浇注和振捣;终凝时间不宜过长是为了使混凝土尽快硬化,拆去模板,提高模板周转率,从而提高施工效率。为了得到水泥凝结时间的准确数据,各国对水泥的初凝时间、终凝时间制定了专门的标准。而凝结时间的测定,世界绝大多数国家(包括中国)都采用“维卡仪法”。我国关于维卡仪测试法的标准为 GB/T 1346-2001《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》。其测试原理如下(见图1)。

水泥加水搅拌成标准稠度的水泥净浆后,装入高度为 40 mm 的试模,振动数次后刮平,并记录水泥全部加入水中的时间作为凝结时间的起始时间。

30 min 后进行第一次测定。测定时,降低试针使其与水泥净浆表面接触。拧紧螺丝 1 s~2 s 后,突然放松,试针垂直自由地沉入水泥净浆。观察试针停止下沉或释放试针 30 s 时指针的读数。当试针沉入至玻璃板 4 ± 1 mm 时,为水泥达到初凝状态;由水泥全部加入水中至初凝状态的时间为水泥的初凝时间。当试针只能沉入水泥净浆 0.5 mm 时,水泥达到终凝状态;由水泥全部加入水中至终凝状态的时间为水泥的终凝时间^[1]。

测试时,临近初凝,每隔 5 min 测定一次;临近终凝,每隔 15 min 测定一次。为保证测试的准确性,每次测定,试针不能落入已有的针孔^[1]。

2 测试仪器现状分析

2.1 手动式维卡仪

手动式维卡仪(图1)是一种完全人工操作的测试仪器,目前仍然被广泛使用。尤其在国内,基本上都是采用手动式维卡仪。该仪器的测试方式是人为的每隔一段时间释放一次试针,人工记录每一次沉入深度并最后得出水泥初凝和终凝时间。使用该仪器测试水泥凝结时间存在的主要不足之处是:

1) 水泥的终凝时间根据水泥型号的不同,从几个小时到十几个小时,甚至更多。所以完成水泥凝结时间的测定需时较长,增加了操作人员的劳动强度;

2) 不同操作人员由于操作技术和熟练程度不同,得出的结果往往不同,影响测定结果的准确性。

2.2 自动维卡仪

随着电子技术和自动控制技术的发展,英国、意大利、德国等国家相继研制出自动维卡仪,其中较典型的是英国 ELE 公司的自动维卡仪,见图2;原理图,见图3。该仪器通过单片机控制四个同步马达,驱动执行机构实现测试过程的自动化。其测试过程是:将盛装水泥净浆的试模放置在旋转托盘上,并在记录筒上固定一圈坐标纸;测试开始后,首先通过 SM2 带动一凸轮控制试针下落和提升,完成一次测试。在试针沉入水泥净浆过程中,与试针一体的记录笔在记录筒上同步记录下试针沉入水泥净浆的深度。等试针提起后,SM1 带动记录筒旋转一个角度,SM3 和 SM4 则控制旋转托盘移动一个位置(换一个测试点),一个测试循环完成。经过设定的等待时间后,将进

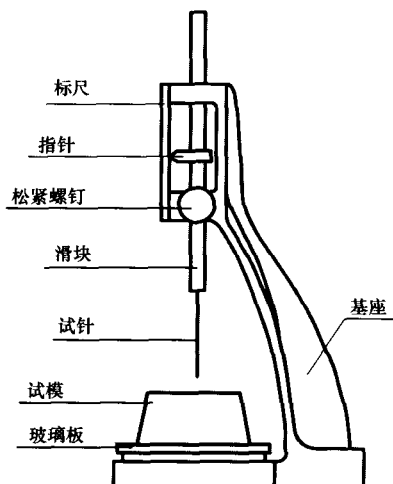


图1 手动式维卡仪



图2 国外自动维卡仪

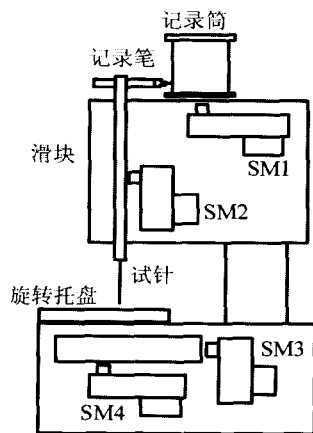


图3 国外自动维卡仪原理图

入下一个测试循环。在完成设定的测试循环后,测试结束,取下记录筒上的坐标纸,进行分析计算得到初凝和终凝时间,见图4。

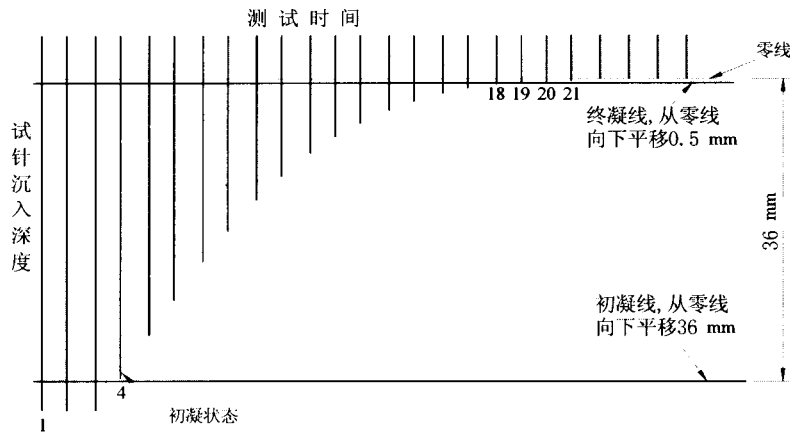


图4 坐标纸上数据记录示意图

计算分析的第一步是画出零线。在测试完成后,在坐标纸上右边出现一些沉入深度值相等的记录线(表示这些位置试针没有沉入水泥,因而记录线长度几乎相等),以这些线的底端划出一条水平线,即零线。然后以零线为基准,分别向下平移0.5 mm和36 mm,作出终凝线和初凝线。这时不难看出,离初凝线最近的是第四条记录线,因而可以判定第四次测试时达到初凝状态。如果每次测试间隔时间设定为15 min,那么可计算出初凝时间为60 min。同样,通过找到离终凝线最近的记录线,来计算出终凝时间。

表面上看,该方法似乎很方便,也很容易操作,但是事实上,通过该方法得到的终凝时间往往偏差很大,其主要原因是:

1) 在实际操作过程中,从零线平移作出终凝线比较困难,因为零线与终凝线的距离只有0.5 mm,很难控制。而且,一些水泥的测试数据显示,在0.5 mm附近会出现好几条差不多长度的记录线,如图4中的记录线18、19、20、21,这四个数据很接近,准确判定比较困难。因此,通过作图法计算出终凝时间受到一定人为因素的影响,会出现人为判断失误,使测试结果失真。

2) 更为重要的是,实际上离终凝线最近的值并不是终凝状态。水泥在凝结过程中会产生变形(绝大部分收缩),见图5。国外自动维卡仪对水泥进行测试时,每次都是从同一高度释放试针(释放高度大于等于试模表面高度),而没有按照测试标准,从测试点的水泥净浆表面释放,所以不能以释放处作为沉入深度的起点。因此,为了避免水泥收缩对数据的影响,在对自动维卡仪测得的数据进行分析的时候,以零线为基准而不是以释放位置为基准计算沉入深度(零线显然低于释放处)。该处理方式在一定程度上减小了收缩带来的影响,但是,记录的值并不是实际沉入值。

假设,自动维卡仪每次都是从试模表面处释放试针。在图5中,我们可以看到试针的实际沉入值是 b ,而坐标纸上数据分析值是 a ,中间的差值是因为不同测试位置收缩情况不同引起的。即使各点收缩情况一样,还有一个问题是通过数据分析无法解决的。由于试针不是从水泥表面释放,而是从试模表面释放,中间有个收缩值 c ,这个值会使试针在下降过程中首先会产生一个冲量,这对于试针沉入深度影响很大。通过对一水泥试样进行测试,在试样达到终凝时,从表面释放,沉入深度为0.5 mm;而从高于水泥表面0.5 mm处开始释放,沉入深度是0.8 mm;继续在这个高度释放试针,直到24 min后,试针的沉入深度才达到终凝判定值0.5 mm。这个实验说明,由于未按照测试标准进行测试,收缩值带来的冲量使自动维卡仪记录的沉入深度大

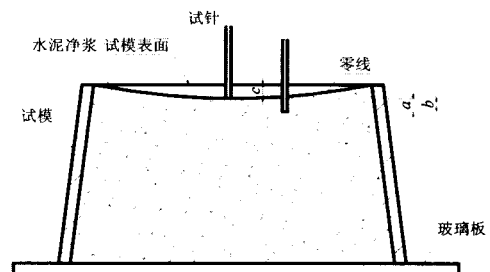


图5 水泥收缩对测试影响示意图

于实际沉入值,使“终凝”延后,造成了测试结果失真。而在实际测试中,大多数水泥终凝时测试点位置的收缩量大于0.5 mm。由于水泥型号不同,收缩情况和凝结进程也不同,很难通过分析来判断水泥收缩对终凝时间带来的误差有多大。

由此可见,国外的自动维卡仪虽然可做到测试过程自动化,但是不能准确的测定终凝时间,且偏差较大。国内少数几个测试机构尽管用昂贵的价格购进了国外的自动维卡仪,但由于上述存在的问题,都几乎没有使用。

3 全自动维卡仪原理

针对手动式维卡仪和国外自动维卡仪存在的不足,我们应用机电一体化技术和现代传感技术,研制开发了全自动维卡仪,原理图见图6。

该仪器由微机控制四个步进电机驱动各机构运动,实现了测试过程的自动化。与国外自动维卡仪不同之处在于,该仪器严格按照测试标准,在自动测试过程中实现了试针由水泥净浆表面释放,做到真正意义上的完全模仿人工测定水泥凝结时间全过程。其测试过程:步进电机1驱动凸轮控制试针慢慢下降到水泥净浆表面,并停留片刻,然后突然释放;30 s后,凸轮旋转提起试针,与此同时,步进电机2控制擦针机构,使试针在被提起的过程中,擦净试针上附着的水泥;步进电机3和步进电机4控制试模的移位,使试针每次测试不落入已有针孔。一次测试时循环完成,等待测试间隔时间后,进行下一个测试循环。该仪器通过步进电机3和步进电机4的联合驱动,使试模上测试点呈同心圆分布,见图7,测试点间距离符合测试标准。

同时,该仪器将计算机技术与测量控制技术结合,采用先进的位移传感器对试针沉入水泥净浆的距离进行精确采集,通过分析软件对采集的数据自动进行分析、处理,得到初凝和终凝时间。

全自动维卡仪严格按照标准进行测试,使试针每一次从水泥净浆的表面释放,避免了水泥净浆变形对测试的影响;数据的自动采集、自动分析计算,确保了测试精度,避免了人为因素对测试结果的影响。

4 全自动维卡仪关键技术

4.1 自动找平技术

准确测定试针每一次沉入深度,是保证凝结时间测定准确性的关键。为了解决这一问题,我们研究了自动找平技术,即试针在下降过程中接触到水泥净浆表面就立即停止,通过传感器采集此时试针的位移,再突然释放,30 s后,再次采集试针的位移。两次位移的差值就是试针真正的沉入深度。

为了实现自动找平技术,采用由步进电机驱动凸轮带动试针以较慢的速度下行,并在试针与水泥试样间加了一个合适的电阻。当试针一接触水泥净浆表面,电阻的变化引起电压变化,经过放大器放大反馈给步进电机,使其停止转动,通过步进电机的保持转矩使试针停留在水泥净浆表面。通过细分驱动器的细分设置,使步进电机每走一步,试针只下降0.02 mm,充分保证了试针停留在水泥净浆表面的精确度。

4.2 位移的采集

要实时采集试针的位移,必须采用适合于本设计方案的非接触式位移传感器——容栅位移传感器。

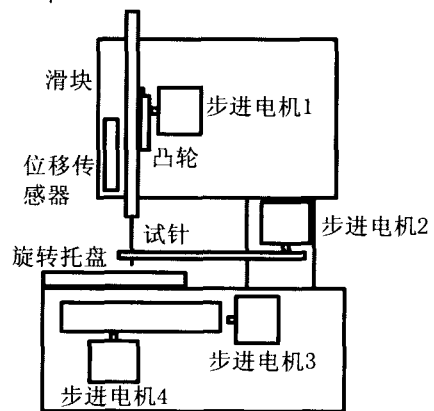


图6 全自动维卡仪原理图

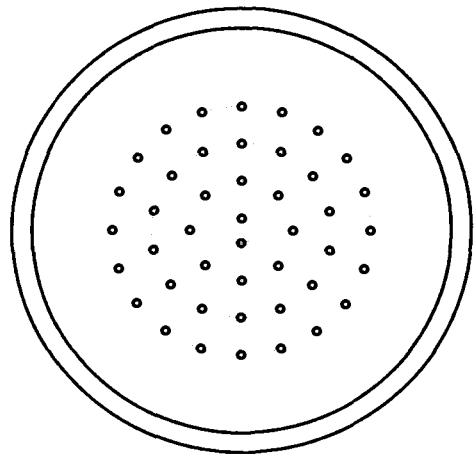


图7 全自动维卡仪测试点分布图

容栅传感器是瑞士 Trimz 公司在变面积型电容传感器的基础上开发的数字式传感器,是继光栅、磁栅、同步感应器之后出现的一种新型位移传感器。因其具有体积小、重量轻、测量速度快、功耗少、成本低等一系列优点,在各种小型量具(如数显卡尺、数显千分尺、数显高度尺等)上获得了广泛应用。近年来,随着制作精度的提高,已开始用于坐标测量机及机床的位移测量系统中^[2]。选择容栅传感器作为试针位移传感器主要基于以下几个因素:传感方式为非接触式,保证试针能靠重力自由下落;结构简单、体积小,便于在全自动维卡仪上安装;造价低、耗能少;环境适应性强,稳定性高;分辨率高、动态范围宽等。

所选用的容栅位移传感器,经过试验,能精确的测定试针每一次沉入深度。在此基础之上,能准确判定水泥试样的初凝和终凝状态,完全符合试验要求。

4.3 数据处理

维卡仪测试的最终目的是得到水泥试样的初凝和终凝时间。为了使测试结果不受人为主观因素影响,在全自动维卡仪上设置了测试结果自动分析功能。该功能建立在前面两项关键技术基础上。数据采集系统可自动储存试针每次的位移数据,试验结束时,仪器自动用数据分析软件对采集到的数据进行分析,通过该水泥试样的凝结特性曲线判定并计算出初凝和终凝时间,且初凝和终凝时间精确到1分钟。例如,计算终凝时间: $b=0.65\text{ mm}$ 、 $b=0.4\text{ mm}$,没有出现终凝判定值 0.5 mm ,分析软件将根据水泥凝结特性曲线计算出 $b=0.5\text{ mm}$ 对应的时间。本技术省去人工分析,也更为准确可靠。

5 全自动维卡仪的特点

全自动维卡仪除了测试过程自动化和自动采集、分析数据以外,还具有以下特点:

1) 试验完成自动停止。由于应用了位移传感器,当检测到试针沉入深度小于 0.4 mm 时(此时终凝已经完成),试验自动停止。国外仪器通常设定测试次数,只有完成测试次数试验才停止,而不是根据实际测试情况自动停止,缩短了测试时间。

2) 模式的自由选择。可根据实际情况选择试针测试的间隔时间,有3种模式可供选择: 5 min 、 10 min 、 15 min 。

3) 操作系统简单化、人性化,降低对操作人员要求。

4) 测试过程中断电保护技术。针对部分企业和用户用电情况不好,设置了这一功能,目的是在短暂停电过程中数据能够保存,来电继续进行测试。

5) 液晶显示。使结果一目了然,也易于工作人员进行操作和功能设定。

6) 性能扩展。根据用户需要,可在单台全自动维卡仪方案基础上设计扩展方案,即当要求多组水泥同时进行测试时,测试系统可扩充到几台甚至几十台维卡仪和PC机连接,数据由PC机统一处理,实时显示水泥凝结测试曲线,并可在打印纸上生成测试曲线并形成面向用户的测试报告等。扩展方案为大型企业和检测站的经济适用方案。

6 结论

随着电子技术和软件技术的发展,测试仪器越来越多地采用微电脑技术,使测试智能化,形成智能化测试仪器。基于这一趋势,我们研制的全自动维卡仪,使水泥凝结时间测试过程自动化,测试结果智能化,即自动测试、自动分析并显示初凝和终凝时间。该仪器的研制成功不但填补国内空白,而且技术上优于国外自动维卡仪,价格却只有国外自动维卡仪的 $1/3$,不仅能满足广大用户的需要,而且也代表了普通实验室最先进经济的解决方案。

参考文献:

[1] GB 1346-89,水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法[S].

[2] 王习文,齐欣,宋玉泉.容栅传感器及其发展前景[J].吉林大学学报,2003,33(2):89-94.