

工程测试技术丛书

光线示波器



人民铁道出版社

79.88
755

工程测试技术丛书

光线示波器

铁道部科学研究院铁道建筑研究所编

人民铁道出版社

1978年·北京

D450/18
内 容 简 介

光线示波器是研究各种动态参数的记录仪器。它和电阻应变片，电阻应变仪等组成一个测量系统，可以测试并记录工程结构在动荷载作用下，压力、应力、应变、速度、加速度、位移、扭矩等力学参数随时间变化的过程。因此，光线示波器在铁路、航空、造船、建筑、机械制造和国防等科学研究工作中得到了广泛应用。

本书重点叙述光线示波器的原理和使用方法，同时对它的维修技术和发展方向以及光源、记录纸等附属设备也作了简单的介绍。

本书可供从事科学研究试验工作人员参考。

工程测试技术丛书

光 线 示 波 器

铁道部科学研究院铁道建筑研究所编

人民铁道出版社出版

(北京市东单三条14号)

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民铁道出版社印刷厂印

开本787×1092 $\frac{1}{2}$ 印张：3.25 插页：1 字数：70千

1978年1月 第1版

1978年1月 第1版 第1次印刷

印数：0001—12,000册 定价：0.28元

毛主席语录

抓革命，促生产，促工作，促战备。

鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义。

自力更生，艰苦奋斗，破除迷信，解放思想。

前 言

目前在铁路桥梁、隧道、房屋建筑等工程结构的研究、设计、建造和使用当中，为了验证设计理论，选定设计方案，鉴定工程质量和分析使用中产生的问题等等，往往需要对工程结构进行静态或动态试验。测试技术，特别是电测技术，乃是获得各种试验数据的基本手段。此外，电测技术在机车、车辆、飞机、船舶和各种机械设备的研究试验工作中，也得到了广泛应用。

随着我国社会主义革命和社会主义建设事业的迅速发展，国防、工农业生产和科学研究部门，需要进行工程结构的试验日益增多，测试技术本身也相应地向前发展。为了便于有关从事工程结构测试人员初步掌握测试技术，并不断总结和提高测试技术水平，我们根据各兄弟单位的宝贵经验和有关资料，同时加上自己在实际工作中的粗浅体会，编写了这套工程测试技术丛书。内容主要有：电阻应变片、电阻应变仪、光线示波器，振动、压力等力学参数的测量。重点介绍测试技术中的基本知识，传感器及测量仪器的原理、使用方法和一般的维修技术。

由于我们水平有限，难免有错误和不当之处，请读者批评指正。

目 录

第一章 概论	1
第一节 光线示波器特性术语简介	1
第二节 光线示波器的特点	2
第三节 光线示波器的分类	3
第二章 光线示波器的工作原理和结构	6
第一节 光学系统	7
第二节 传动系统	9
第三节 电气系统	12
第四节 磁系统	14
第五节 振动物子	16
第六节 其它一些附属设备	56
第三章 光线示波器的使用与维修	60
第一节 光线示波器的一般使用程序	60
第二节 振动物子的选择	65
第三节 振动物子的阻尼和匹配	67
第四节 测量误差	69
第五节 光线示波器的维修	74
第四章 光线示波器的发展	81
第一节 光线示波器的发展过程	82
第二节 光线示波器的发展趋向	83
附 录	85
一、记录线速度的定义	85
二、紫外线记录纸	85
三、白炽光直接记录纸	86

四、紫外线感光纸的显、定影药配方及操作过程.....	87
五、超高压水银灯.....	88
六、国内外部分光线示波器产品一览表（见附表 2 及附表 3）.....	89

第一章 概 论

第一节 光线示波器特性术语简介

光线示波器特性术语，主要有以下几个。

1. **线数** 光线示波器的线数是指一台示波器能够同时记录被测信号的个数。

2. **光臂** 光臂是指从振动子反射小镜到记录带表面的最短光路长度，它是光线示波器中重要的指标之一。光臂愈长，表示这台示波器的灵敏度愈高，记录的分辨力愈强。

3. **振动子** 振动子是一个将电信号转变为光信号的器件，它把示波器光源投射来的光线反射到记录带上，且能记录数值大小不等的输入信号的变化过程。振动子是光线示波器的**心脏**。

4. **记录带** 光线示波器的记录带是指记录输入信号变化过程的相纸或胶片。示波器可依不同的光源，分别选用照像感光相纸（或胶片）紫外线感光纸和白炽灯感光纸来记录信号。

5. **带速** 带速是指驱动示波器记录带的速度。记录带输送得快，记录曲线展开得愈宽。对于频率较高的输入信号，宜采用较快的带速。

6. **线速度** 示波器的光点在移动着的记录带上运动的相对速度叫记录带的线速度（详见本书附录），它表征一台光线示波器的光源、光学系统和记录带的效能。

7. **时标** 时标是指在记录带上能够给出一定时间信号的标记，供分析记录波形时使用。一般光线示波器的时标机构和带速是联动的，某一范围的带速出现某一**间隔的时标**。

8. **分格线** 分格线又称横格线。它是指在记录带上能够给出尺寸标记的横向线条。示波器的分格线一般都是每隔2毫米有一条细线,每五格有一条粗线。它相当于直角坐标中的纵坐标,供度量记录波形的幅度时使用。

9. **光源** 光线示波器的光源是指为示波器中的振动物子、时标和分格线等提供光线的机构。它可以是一般的或是高效能的白炽灯,也可以是超高压水银灯,视各类型的示波器和记录方式而定。有的示波器还可以使用两种光源。

10. **选点机构** 光线示波器的选点机构或称光点开关,是指示波器上设置在每个振动物子前面的那一块活动挡板。根据测试记录的需要,可以用它遮掉某些不必要的光点。

11. **定长机构** 光线示波器的定长机构是指根据测试记录的需要,由示波器内部自动控制驱纸长度的机构。

12. **供电** 供电是指供给示波器用电的种类和功率大小。供电种类一般可以是交流或直流,也可以是交直流两用。使用紫外线光源的示波器其消耗功率多在数百瓦,而使用白炽灯光源的示波器其消耗功率只有几十瓦。

13. **体积和重量** 光线示波器的体积是指它的外轮廓的长度、宽度及高度的乘积;其重量是指它的主机重量。

第二节 光线示波器的特点

光线示波器之所以得到广泛使用,主要是因为它和其他类型记录器相比较,具有以下几个特点。

1. 可以记录频率较高的输入信号。振动物子是光线示波器的主要测量机构,其活动部分惯量极小,固有频率可做到高达15,000赫芝,故无畸变的工作频率可测到7,000赫芝。

2. 灵敏度高。因为光线示波器中的光学系统本身具有放大作用,可以使测量机构的灵敏度大大提高。如当输入信

号的频率为10赫芝时，其灵敏度可达 10^{-6} 安/毫米/米以上。这样，在一些测量系统中，不需要加放大器而直接与传感器相连，就可以清晰地记录受试波形，从而简化了测量系统。

3. 能记录幅值较大的波形。由于光线示波器的光臂长度可以加大到200毫米以上，因此它记录波形的幅值就可以增大，且能很好地进行交叉记录。

4. 记录测点的数量多。光线示波器的振子一般可以做得很小（最小的直径约为3毫米），因此在一台示波器中可以使用十几个甚至几十个振子。适当增加记录纸的宽度，就可以在同一张记录纸上同时记录十几个至几十个不同信号的变化过程，以便于对受试参数进行分析，这是其它记录仪器难以做到的。

5. 体积小、重量轻。由于示波器主要测量机构振子尺寸小，因此它的体积和重量可以大大减小，便于携带和进行野外、航空等方面的测量。

第三节 光线示波器的分类

光线示波器的种类较多，概括起来可按下面三种情况分类。

一、按振子磁系统的结构分

（一）单磁式光线示波器

单磁式光线示波器采用的振子和磁系统是一个单独的组件，即每一个振子具有一套磁系统，因此体积较大。国产SC1型八线示波器（上海电表厂——以下简称上表厂）就是这类单磁式光线示波器。

（二）共磁式光线示波器

共磁式光线示波器采用的振子是插在一组公共的磁系统中，即振子中只有可动的线圈部分，而磁系统为许多振

动子所公用，因此可以使示波器的结构做得较小。目前各国生产的各种光线示波器大都属于这种类型，例如国产的SC16型十六线，SC60型六十线示波器（上表厂）和日本生产的2902、2915型十二线和十八线示波器（横河厂）以及RMV-33型十二线示波器（共和厂）等都是共磁式光线示波器。

二、按记录的方式分

（一）白炽光显、定影记录

这种示波器采用普通的白炽光灯做光源，信号波形记录在胶卷或照像感光纸上，然后在暗室中进行显、定影处理。例如国产SC1型八线示波器是用35毫米宽的胶卷记录，SC10十线示波器（上表厂）用61毫米宽的照像感光纸、35或61毫米宽的胶卷记录。苏联早期生产的H-700型十四示波器（莫尔达维亚基什涅夫仪器厂）用120毫米宽的照像感光纸记录。

（二）白炽光直接记录

同上述白炽光显、定影记录不同之处，就在于这类示波器中使用了一种特殊的感光纸，它在高效能白炽灯照射下形成潜影，然后在荧光灯或室内光下进行二次曝光后即显示出记录波形。如国产SC9型六线示波器（上表厂）SC14型十线（或十五线）示波器（永青电表厂——以下简称永青厂）和日本生产的PR-101型六线示波器（三荣厂）等均属于这种记录方式的光线示波器。

（三）紫外线直接记录

这种示波器采用含有丰富紫外线的超高压水银灯作光源，用有特种银盐乳剂涂布的紫外线感光纸作记录纸，其作用原理同白炽光直接记录。这种类型的示波器目前生产的型号颇多，如国产的SC14、SC20、SC16、SC60等型号，日

本横河厂生产的2901、2902、2915型，共和厂生产的RMV-33型以及英国生产的SE2005型十二线示波器都是利用紫外光直接记录的形式。

目前我国生产的光线示波器大都具有两种以上的记录方式，因而增加了示波器的适应性。例如上表厂生产的SC11型十六线示波器，可用照像感光记录纸或紫外线感光纸记录。永青厂生产的SC20型十线（或十六线）示波器，可用宽120毫米的紫外线感光纸，或35毫米电影胶卷记录。SC14型示波器可用高效能白炽灯或用紫外光作直接记录。

三、按供电方式分

（一）交流供电

一般在实验室和具有交流电源的场所，大都使用交流供电的光线示波器，如国产的SC14、SC16、SC18、SC20等型号的光线示波器。

（二）直流供电

结构较小的、记录线数较少的、用于野外测量的光线示波器多采用直流供电方式，如国产的SC9、SC17和SC19型等光线示波器。

（三）交直流两用

既能用交流供电，又能用直流供电的示波器，如国产SC1、SC10、SC11型示波器，日本三荣厂生产的100A型示波器等。

1106369

第二章 光线示波器的工作原理和结构

顾名思义，光线示波器就是用光线来显示记录波形的仪器。光线示波器的主要结构和工作原理如图 2—1 所示。

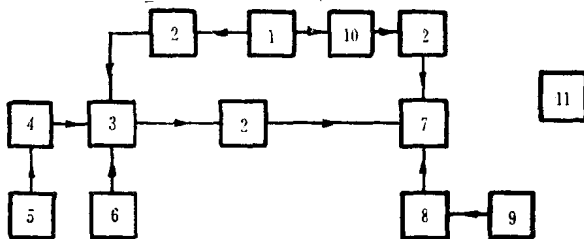


图 2—1 光线示波器工作原理方框图

- 1——光源； 2——光学系统； 3——振动子； 4——磁体；
5——恒温装置； 6——信号输入装置； 7——记录带； 8——驱动装置； 9——遥控及定长机构； 10——计时及分格线装置； 11——电源。

点光源 1 产生的光线（白炽光或紫外光）通过光学系统 2 的聚会、反射到达振动子 3 上，再经振动子 3 的反射和光学系统 2 的会聚，在记录带 7 上形成一个点像。被测信号由输入装置 6 输入，振动子 3 在输入信号和磁体 4 的作用下产生与外界被测信号相应的摆动，通过光学系统 2 的放大，便在记录带 7 上形成一条亮线。记录带 7 由驱动机构 8 按需要速度往前移动，于是使光点在记录带上形成一条与输入信号相应的且随时间变化的波形曲线。

光线示波器是利用光学、电学、磁学以及机械学等多种学科知识制成的一种记录仪器。本章将重点介绍光线示波器的光学系统、传动系统、磁系统、振动子和电气系统，同时对它的附属设备也作一些简单介绍。

第一节 光学系统

一般光线示波器的光学系统由光源、光栅、各种透镜和反射镜等组成。下面以国产 SC20 型示波器用紫外光作直接记录时的光学系统为例来说明，如图 2—2 所示。

一、振动子和分格线的光学系统。由超高压水银灯 1 产生的光线分成两条光路。其中一路（称主光路）经过亮度调节光栅 2、聚光镜 3、反射镜 4，在振动子 5 的小镜前形成一条狭长的、亮度很强的光带，光线经过振动子小镜的反射，以及柱面镜 7 聚焦后落在记录纸 17 上，成为一个明亮的光点。涂有感光乳剂的记录纸，经感光后留下一个潜像，再经二次曝光（紫外线感光或白炽光直接记录）后，记录光点的像便显示出来。

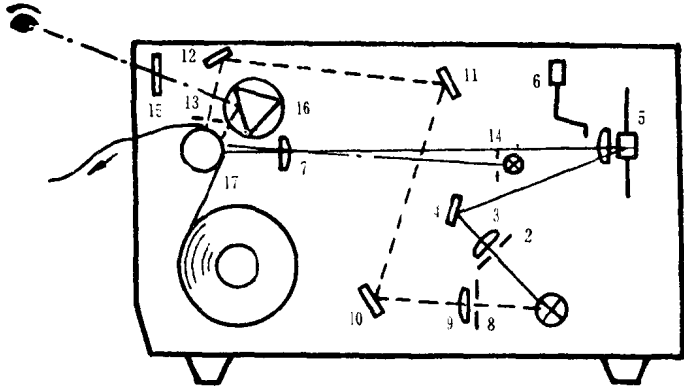


图 2—2 SC20型示波器光学系统

1——超高压水银灯；2——调节光栅；3——聚光镜；4——反射镜；5——振动子；6——光线开关；7——柱面镜；8——分格线调节光栅；9——聚光镜；10、11、12——反射镜；13——格子光栅；14——调节光栅；15——观察窗；16——三棱镜；17——记录纸。

另一路光线，通过分格线调节光栅 8 和聚光镜 9，以及

反射镜10、11、12，最后经过格子光栅13，在记录纸17上留下间隔相等的分格线潜影，同样，经过二次曝光即显示出连续的分格线。

尽管光线示波器的种类很多，但其光学系统的主光路基本上都是一样的，不同的只不过是结构形状，光路经过的途径，所用的聚光镜和反光镜数目和设置位置有所差别而已。

二、时标和观察窗光学系统。光线示波器的类型不同，它的时标装置和光学系统也不相同，下面分三种情况介绍。

(一) 频闪灯。如图2—2所示，由脉冲频闪灯发出的且具有一定频率闪光的时标信号光线，经过调节光栅14，投射到聚光镜7上，经聚光后在记录纸17上形成横贯纸幅的时标信号潜影，经二次曝光后显示出来。

(二) 刻口鼓轮。在日本横河厂生产的2902型十二线紫外线示波器中，采用了一种叫做刻口鼓轮的时间标记装置，见图2—3，光源1和主光源共用，经聚光镜2聚光后投射在刻口鼓轮中的反光镜3上。刻口鼓轮4是由一只转速稳定的同步电机带动的圆筒，在圆筒上按一定间隔刻有一条条缝隙。记时光线通过反射镜3的反射，穿过旋转着的刻口鼓轮缝隙，投射在反射镜5上。经反射镜5、6的反射，记时线就在记录纸7上形成时间线的潜影，经二次曝光后显示出来。

(三) 外时标。所谓外时标，就是用外接晶体管振荡器（有的示波器内部附有晶体管时标振荡器）和示波器中的一只振动物子连通，让这只振动物子随振荡器振荡的频率而变化，并通过如图2—2的主光路，在记录纸17上形成时标信号。

为操作者方便，示波器中设有观察窗如图2—2中15所示，用来直接观察光点在记录纸上移动的幅度大小。有些示波器还设有可以转动的三棱镜16，作为扫描机构，以便从观察窗用肉眼观察到记录波形的虚像。

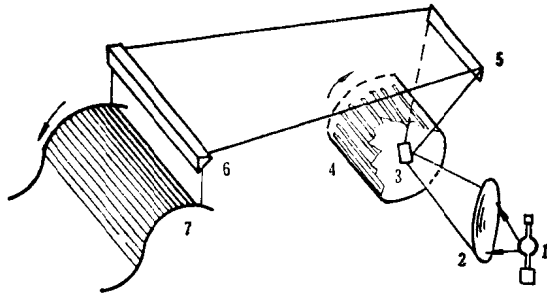


图 2—3 刻口鼓轮时标装置示意图

- 1——光源；2——聚光镜；3——反光镜；4——刻口鼓轮；
5——反射镜；6——反射镜；7——记录纸。

图 2—2 中的光点开关 6，用来遮挡在测量记录过程中不需要的振动子光点。

第二节 传动系统

光线示波器传动系统的功能是使记录带按一定速度作定向运动，它的主要组成部分有电动机，变速箱、拍摄机构、定长机构、曲线分辨机构、传动带和收卷机构等，如图 2—4 所示。

电动机 1 为传动系统的力源，它带动一个用电磁弹簧离合器控制的变速箱 2，转速经过变速箱变速后，驱动拍摄机构 4，记录带在拍摄机构的作用下，按选定的速度将记录带由出口处送出。

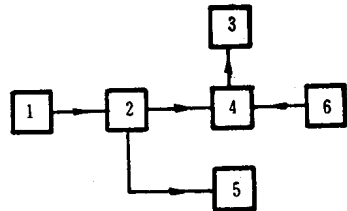


图 2—4 传动系统方框图

- 1——电动机；2——变速箱；
3——曲线分辨器；4——拍摄机构；
5——收卷机构；6——遥控定长机构。

有的光线示波器还有自动收卷机构 5，它能将拍摄机构 4 中送出的记录带按与记录

带相适应的速度自动地接收起来，这对遥控或时间较长的记录是很方便的。

光线示波器使用的电动机主要有直流电动机、交流异步或交流同步电动机。使用交流电源供电的示波器，一般多用交流同步电动机，其优点是转速稳定、过渡时间短；使用直流电源供电的示波器，多用永磁式直流电动机，其优点是变速范围广，加速性能好，但转速稳定性差。为了使转速稳定，在一些先进的示波器中，采用了直流电动机——电子伺服控速系统作为记录带的传动动力，其带速误差可降低到士 2%。而一般采用同步电动机或永磁式直流电动机光线示波器，其带速误差达士 5%。

另外，由转速不稳定造成的记录带的不均匀性还可以由精确的时标线来得到补偿，如国产的 SC16 型示波器的时标误差为士 1%，而性能较好的 SC60 型示波器（上表厂）的时标误差仅为士 0.01%。

表 2—1 列出几种国产示波器所使用的电动机性能。

示波器中的定长机构 6 能够按照预先调节的长度来控制记录带的拍摄长度，定长机构实际上是一个凸轮接点装置，如图 2—5 所示。图中位置表示拍摄机构处于停止工作的状态。调节凸轮的位置，例如调到 B 点，接点接通了拍摄机构的电路，拍摄机构启动后，凸轮沿 B—C—A 转动，当转动到 A 位置时，自动断开拍摄机构的电路，拍摄停止。如果预先将凸轮调节在 C 点，则拍摄的时间就比在 B 点短。这样，通过调节凸轮的位置起到定长拍摄的作用。

在性能较好的光线示波器中，多采用晶体管——继电器

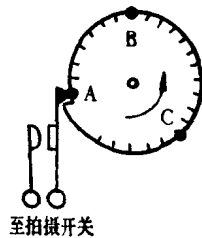


图 2—5 机械式定长机构示意图