

建筑工程激光水准面自动测控系统

Abstract. The article introduces briefly the principle, structure of the automatic measurement and control system of the laser level plane and its engineering test in the construction of slipform and rooftruss lift.

激光水准面自动测控技术是七十年代发展起来的新技术。它应用于建筑施工实时测量,提高水准测量效率、精度;节约工时与材料。它还应用于大面积土方工程、农田平整及土地改良工程。我国在七十年代初期开始研究建筑工程激光水准面自动测控系统,本文介绍该系统的构造原理,以及其在刚性、柔性滑模平台上的应用实例。

一、原理与构造

从建筑工程测量的角度来看,激光束提供的是一条一维的基准线。当激光束被扩展成扇形平面或全方位平面(不是曲面)时,则可为工程提供二维的基准面。激光平面被安置在适当的高度,具有一定的水准精度或坡度后,就具有了工程实用价值。施工面上的作业人员以此控制各工序、各部位的高程、平整度或坡度。作业机具的光电测控装置不断将作业点与激光平面进行比较,作出超高、适当、过低等三种判断,在显示器上向司机发出声光信号,或通过自动控制机构,控制机具群体的动作。

我所研制的激光水准面自动测控系统包括两部分,即激光平面发生器及光电测控装置。

1. 激光平面发生器

激光平面发生器有两类,即静态光学元件扩展式及转镜扫描式。我们所研制的是扫描型激光平面发生器。它的主要构成部分是:激光铅直器及其安平机构、五棱镜全方位扫描器及其安平机构、激光电源与扫描电源。该发生器既可作为一个整体工作,也可以分解为两个部分配合工作,以适应不同工程应用的需要。其原理框图见图1。

(1) 激光铅直器

激光铅直器用单模氦-氖激光管做光源,激光功率为1.5~3毫瓦。它用橡胶片、校正环、校正螺丝固定在准直圆筒内轴线上。定焦式25×伽利略望远镜与准直器圆筒同轴联接,缩小出射光束的发散角,并使成为 $\phi 20$ 毫米平行光束。有六种孔径的光阑板安装在物镜前,用来调节光束直径,控制激光平面的厚

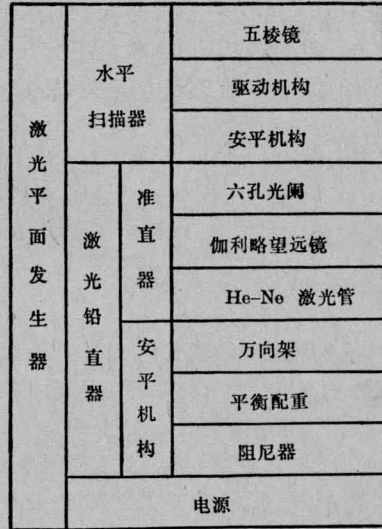


图1 激光平面发生器框图

度。

(2) 激光铅直器自动铅直机构

激光铅直器被万向架竖直悬挂着,可以自由摆动。调节尾端配重,可使激光束与重力线重合,成为铅直光束。万向架轴系选用精密微型轴承,悬挂部件灵敏度很高,归位精度可达 10^{-6} 以上。

在激光铅直器受扰动而偏离铅直位置时,将在重力作用下摆动,最后回归原位。专用阻尼器可缩短摆动时间。

用重力安平原理自动铅直的激光铅直器发出的铅直光束,可保持优于 10^{-5} 的精度。这样,即使在逐步提升的施工面上,激光束的铅直精度与稳定性也能满足工程施工要求。

(3) 五棱镜全方位水平扫描器

扫描器有单面振镜、多面转镜、旋转棱镜等多种。为了获得全方位的激光水平面,我们选用棱镜旋转扫描方式。

五棱镜的入射面被安置水平,其旋转轴竖直,并与入射光束同轴。棱镜转轴由微型直流电机经减速

机构驱动,转速在0~10周/秒内可调。

激光铅直器发出的铅直光束自下而上地入射棱镜,经两反射面反射成为水平光束。棱镜以0~10周/秒旋转时,激光束以同一转速做全方位扫描,发出扫描型激光平面。

(4) 扫描器安平机构

五棱镜全方位水平扫描器由三只安平脚螺旋及8'圆水准器安平。

五棱镜具有自动补偿镜体安平误差的功能。当扫描器水平安置的误差为小角度 α 时,在铅直入射光束与出射光束间的90°夹角中的误差仅为 $\sin^2\alpha$ 。将扫描器倾角控制在8'(3/1000)以内,则 $\sin^2\alpha=9\times 10^{-6}$,即2''角值以内。因此,只需粗略安平扫描器,激光平面就能保持工程技术所需的水准精度。

(5) 电源

激光电源系高压硅堆倍压整流方式。

扫描电源系直流可调稳压电源,交流电网供电,输出0~24伏,1安倍。调节输出电压,可改变电机扫描速度,电机转速稳定度满足测控要求。

2. 光电测控装置

光电测控装置将测控点的高程与激光水准面不断地比较,给出测量结果;并按照预定的指令对施工机具发出控制指令,使施工作业面以激光平面为基准,按照允许误差同步地水平提升。

光电测控装置由下述部份构成:光电探头、脉冲放大器、脉冲-直流变换器、显示逻辑电路、显示器、控制指令给定器、群控逻辑电路、稳压电源等。原理框图见图2。

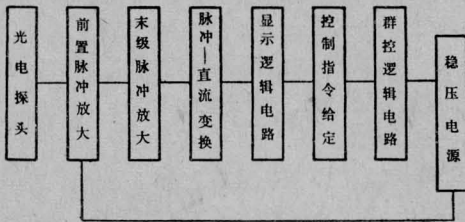


图2 光电测控装置原理框图

测控装置有分散及集中两种方式。本文仅介绍分散测控方式。

(1) 光电探头

光电探头是将激光扫描给出的光脉冲信号转换成电脉冲的部件。它由纵向硅光电池阵列及前置放大器、遮光罩构成。

两片10×10毫米²及四片10×20毫米²硅光电池纵向排列,组合为四个光电池组,形成受光面积高

120毫米、宽10毫米的光电探测器。遮光罩降低背景光的干扰。

激光束扫描光电探测器时,硅光电池输出电脉冲信号。其脉冲宽度由下式估算:

$$t_u = \frac{L+2\phi}{V} = \frac{(L+2\phi)T}{2\pi R}$$

式中 L ——硅光电池被扫描宽度,

ϕ ——激光束直径,

V ——激光束扫描线速度,

R ——探测器至扫描器的距离,

T ——扫描器扫描周期。

在 $L=10$ 毫米、 $R=10$ 米、 $\phi=20$ 毫米、 $T=0.2$ 秒时, $t_u\approx 150$ 微秒。

考虑到光电池的响应时间为 $10^{-3}\sim 10^{-4}$ 秒,脉冲宽度还有所增加。

扫描器以一定频率旋转时,硅光电池输出光电脉冲序列。由于扫描频率不高,光电脉冲重复频率低。脉冲序列占空比约为 $10^{-3}\sim 10^{-4}$ 。

当激光束功率为2毫瓦, $R=10$ 米时,2CR52型硅光电池可输出幅度为250毫伏的脉冲信号。距离过大,背景光增强,激光束功率衰减时,脉冲幅度有所下降。

(2) 前置脉冲放大器

为了将毫伏级脉冲信号通过数十米长电缆传输到中央控制台,需要将光电脉冲序列放大。每只光电探头内均有二个前置放大器,每个放大器与两组光电池相连。前置脉冲放大器用高增益集成运算放大器组成。放大器为双端输入差分放大型,由同相输入端输入的光电脉冲放大后成为正脉冲,反相输入端输入的光电脉冲放大后成为负脉冲。闭环增益 10^2 ,输出脉冲幅度可达伏级。这种双端输入差分放大器有利于光电探头抗日光共模干扰。

前置放大器输出的光电脉冲幅度受激光大气传输衰减的影响,激光器光功率漂移和衰老、背景光强度变化也有影响。

(3) 末级脉冲放大器

前置放大器输出的光电脉冲经屏蔽电缆传输到中央控制台的末级放大器。末级放大器前的衰减电位器可控制输出脉冲幅度,使之保持相对稳定,以利后续电路正常工作。由高增益集成运算放大器组成的脉冲放大器输出幅度为12伏的脉冲。

(4) 脉冲-直流变换器

占空比为 $10^{-3}\sim 10^{-4}$ 的扫描激光脉冲序列,脉

冲宽度仅 $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 秒。为了使显示电路及控制电路不出现断续式振荡, 必须将脉冲展宽, 实现脉冲-直流变换。

我们设计了恢复时间为零的串联式单稳态脉冲展宽器, 它分正脉冲触发型与负脉冲触发型两种。每个脉冲展宽器由一个主触发器与一个辅触发器及或门电路构成。主触发器与辅触发器串联工作, 以接力方式交替输出正脉冲, 使或门电路持续导通。只要扫描激光脉冲序列不断, 或门电路就持续导通, 从而实现脉冲-直流变换。

(5) 显示器逻辑电路

光电探头中的四组硅光电池, 不仅可以输出“-3”、“-1”、“+3”、“+1”四种信号。当激光束同时扫描相邻两组硅光电池时, 还可以经过逻辑电路组合出“-2”、“±0”、“+2”等三种信号。从而获得七种高程信号, 并由边光显示器给出七态高程显示。

(6) 控制指令给定器

给定器是一只选择开关。根据工程需要可以选择作业机具的启、停指令。例如, 当显示器出现“+3”时, 机具停止工作。

当施工面有必要人为制造某种倾斜时, 可以对不同位置上的机具, 选择不同的控制指令。

(7) 群控逻辑电路

激光平面法水准自动控制技术是以激光平面发生器为基准控制各测控点提升高差的。测控点提升快慢既决定于提升机具的工作性能, 负载大小, 也受到激光平面的控制。但是, 激光平面发生器的提升速度不能任意, 应该受到各测控点的限制。只要各点出现过低信号, 激光平面发生器就应该停止提升, 等过低点赶上后再提升。

群控逻辑电路就是各测控点控制激光平面发生器提升的电路。该电路采用光电耦合方式的或门电路, 并有开关选择群控信号。

(8) 稳压电源

测控系统由 50 赫交流电网供电, 先经电子稳压器稳压, 使系统在电网电压波动 $\pm 10\%$ 时, 能正常工作, 以适应施工现场电网电压的大幅度波动。各测控器所需各种不同电压统一由直流稳压电源供给。

二、工程试验与应用

自 1975 年 8 月起, 测控系统在北京一些民用住宅滑模工程中进行试验。78 年 4 月, 在北京化工二厂盐仓群滑模工程中, 试验取得成功。在 706 米²的

平台上, 六个测控点共水准面误差小于 ± 20 毫米的统计数为 75%, ± 30 毫米的占 15%, 保证了平台的结构安全及筒仓的垂直精度。

1978 年 10 月, 某机构大型机库 54×48 米²、110 吨钢网屋架整体提升及群柱滑模工程中, 应用了该测控系统。激光平面发生器架设在屋架顶部, 靠近一个测控点。廿四棵混凝土柱顶部各设一个测控点。应用情况较好, 达到了两个测控点间高差不超过 25 毫米的技术要求, 保证了价值十余万元的钢网屋架的结构安全及顺利就位, 也保证了混凝土柱群的滑模施工铅直精度。与逐点设人观察手控的方法、机械限位方法比较, 提升速度快、同步精度高、效率高。图 3 为该工程应用现场的照片。右边是激光平面发生器, 左边是排列成行的光电探头, 其下方为分散式光电测控装置。

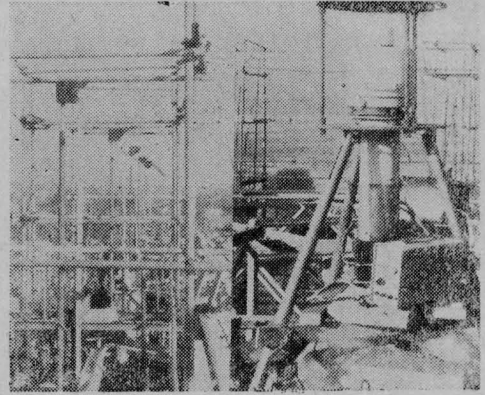


图 3 在某机库工程中应用的现场照片

1979 年 5~10 月, 在首都钢铁公司动力厂双曲线冷却塔工程中, 利用与平台脱开的、独立升降于九孔井架专用轨道上的激光平面发生装置, 对直径数十米的环形柔性施工平台进行了集中方式的水准面测控研究。

1982 年 10 月, 采用集成化电路, 集中测控方式的 JJ-81 型激光平面光电测控柜, 在北京丰台桥梁厂水泥筒仓滑模工程中进行考核。这一个五点型测控柜样机, 每点所占体积缩小至单点测控装置的 30%, 重量减至 30%, 成本下降 50%。抗电磁干扰性能、整机可靠性均有明显提高。

本工作的合作者还有陈中生、马承志、周慧玲等同志。

(北京市建筑工程研究所激光组 欧阳立

1983 年 9 月 15 日收稿)