

利用激光照准测定大坝位移

杭州大学物理系 富春江电厂水工分场

提 要

大坝位移的测定,是监视水工建筑物安全的重要措施。在视准线法基础上改进的激光照准法,能提高测定精度。大气中 660 米单次照准均方差,一般可小于 ± 0.4 毫米。目前,该方法已在富春江电厂投入夜间试用。

一、引 言

为了确保水电站水工建筑物合理长期地运行,保障下游人民生命和财产的安全,了解大坝变形情况,定期测定大坝水平位移,已引起人们的注意。富春江电厂现用视准线法观测大坝水平位移。视准线长 659.77 米,左端点高于坝顶 52.4 米,右端点高于坝顶 51.6 米。从左向右坝顶共设立 17 个测点,用精密经纬仪进行观测。自 1970 年 8 月至今,每月观测一次,已积累资料 50 多份,得出了大坝变形的一般规律。但是视准线法精度有限,虽经多次重复平均,仍难反映变化细节。

国外应用“激光测长法”监视大坝变形,有可能同时测定基(端)点的位移。但仪器结构复杂,还需另造基点,温度、压力和温度梯度、压力梯度引起的误差校正烦琐,温度梯度、压力梯度随时间变化(大气湍流)引起的误差影响较大。

遵照毛主席关于“我们必须打破常规,尽量采用先进技术”的教导,根据生产和教学的需要,从 1973 年 10 月起,在校、厂双方各级党组织领导下,在兄弟单位协助下,开展了“利用激光照准测定大坝位移”的试验。

二、提高精度的可能性

1. 和视准线法比较

视准线法是当前测定大坝位移最普遍的方法。方法简便,但测定精度受到人眼分辨率的限制。如图 1 所示,人眼分辨率由落在视网膜上的衍射图样所决定。一般把区分 A 、 B 两物体的极限角分辨率 α 写成

$$\alpha = 0.85 \theta = 0.85 \times 1.22 \lambda / D \quad (1)$$

式中 θ 是衍射中心到第一暗环的角度, λ 是波长, D 是通光孔径。以使用 T_3 经纬仪白天观测为例, λ 取 5560 埃, $D=70$ 毫米,则可算出: $\alpha=1.6$ 弧秒,这对 660 米距离来说,要分辨 4~5 毫米以下,就感到困难了。

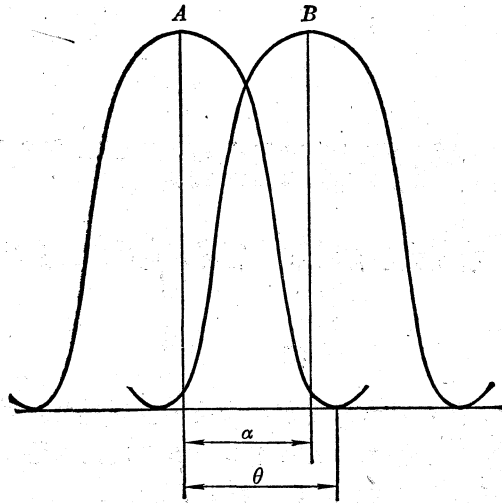


图 1

如果在现有视准线法基础上,利用激光光束代替人的视线,并用两象限光电接收,则上述人为误差可以消除,从而提高了测量精度。

2. 和激光测长法比较

利用调制的连续振荡激光束测长,为同时测定基点位移提供了途径。但仪器、设备、计算均较庞杂烦复,精度也受到限制。

激光测长误差由两部分组成:固定部分是仪器误差,在激光照准中可忽略。另一部分主要因大气湍流引起。温度梯度、压力梯度随时间的变化,投影到图 2 所示的三个分量,

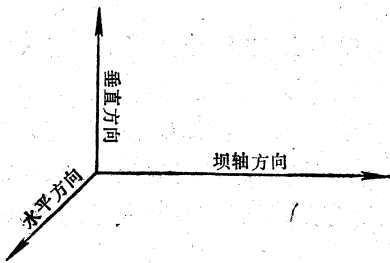


图 2

都会造成测量误差。而在激光照准中,只有水平方向的分量引起误差。因而,在端点较稳定的情况下,激光照准从原理上比激光测长精度略高。

三、技术上的几点考虑

近距离激光准直或照准,国内外在技术上已相当成熟。但测定大坝位移时,还必须顾及到:①工作距离长;②精度要求高;③仪器工作时要作多次仰俯,并应保证精度;④由于对测得数据要逐月、逐年进行比较,故仪器应有长期稳定性。综合上述要求,我们作了下述考虑。

1. 灵敏度设计

为保证精度和稳定性,仪器应尽可能简单。但也需要足够的灵敏度。

选用束散角 1.7 毫弧度的单模氦-氖激光,经 40 倍望远镜射至 660 米处,光斑直径约 3 厘米。激光功率 1.4 毫瓦,经望远镜和大气传输产生衍射、吸收和散射等损失,最后射到光电池上功率约 0.5 毫瓦,或光通量为 0.07 流明。用两象限 $\phi 45$ 毫米硒光电池接收,灵敏度为 15 微安/35 勒克斯,或 260 微安/流明。假定光斑呈圆形,光强分布均匀,光电池灵敏度均匀,光斑稳定,通过几何图形和三角运算可以知道:1 毫米位移,可产生 2 微安的电流差。对于臂为 2 千欧的电桥和内阻为 4.5 千欧、量程为 ± 10 微安的指零表来说,是可分辨的。实际上,光

强分布近高斯型,灵敏度更高一些。

2. 装配、同轴和调焦

装配、同轴和调焦是保证精度的重要措施。

根据仰俯测量精度要求,经纬仪水平轴隙动、串动差及激光管和经纬仪装配松动差的总和要小于 0.2 弧秒。装配还需轻便可调,避免经纬仪形变。

激光管和经纬仪望远镜的装配还需同轴。否则产生两项误差:仰俯时激光光束扫过的是斜面;调焦时光斑中心位置产生偏离。由此产生的误差绘于图 3。图中, α 是激光光束和望远镜主光轴的倾角。 f_1 、 f_2 分别为望远镜目镜和物镜的焦距。 L 是调焦点到望远镜的距离, l 是光斑中心与望远镜主光轴的偏离值。可以算出,由于 α 造成的 l 和 L 定量关系如下

$$l \doteq \alpha \cdot \frac{f_1}{f_2} \cdot L \quad (2)$$

根据测量时调焦最近、最远距离及望远镜参数和误差要求,就可算出安装时同轴的指标—— α 值。上述分析,还为利用调焦偏离来调整同轴、减小仰俯时激光光束的斜度,提供了依据。

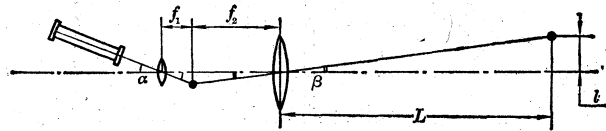


图 3

为了避免同轴误差和望远镜本身引起的调焦差,在测量过程中,把调焦固定在一定位置后,不再作调整。固定在中段效果较好。富春江电厂激光置于右端点,调焦固定在 1 测点,距离为 393 米,和最远点之比 $393 \text{ 米}/660 \text{ 米} \doteq 0.6$ 。1 测点光斑直径为 1~2 厘米,左端点光斑直径为 3~4 厘米。

3. 影响精度的主要因素

经上述考虑的装置,误差主要来源于大气湍流对激光束传输的影响。

无疑,利用真空管道会根除这一影响。在现有条件下,选择适当气候条件,可提高精度。试验表明:阴天、雾天、小雨天或晴天夜间 20 点以后进行的测量,光斑抖动较小,测定精度较高。

大气湍流的影响主要是由于温度梯度随时间变化,使空气密度梯度产生变化,导致激光光束通过湍流空气时折射率无规则变化而引起。因而,测定现场的设备条件也很重要。以在丰满电厂所做辅助试验为例。利用 1960 年建的被测系统:激光发射点高于坝顶约 10 米,距离 1100 米,十次重复测量单次均方差 ± 1.1 毫米,相对精度 $\pm 1 \times 10^{-6}$ 。利用 1954 年建的被测系统:激光发射点高于坝顶约 20 米,距离 1220 米,十次重复测量单次均方差 ± 0.5 毫米,相对精度 $\pm 0.4 \times 10^{-6}$ 。利用 1974 年在坝体内新建的电缆坑道中设置的被测系统:长度为 936 米,激光十次重复测量单次均方差 ± 0.4 毫米,相对精度 $\pm 0.4 \times 10^{-6}$ 。

4. 稳定性问题

为保证测定时稳定,要等激光管和经纬仪产生热平衡后才能工作。目前要求预热两小时。

为了符合逐月、逐年进行对比,仪器的长时稳定性特别重要。配有光电池的觇标每经测定后,应保存在暗处,避免疲劳。进行白天测定时,需在光电池前加置干涉滤光片。但由于所用干涉滤光片受潮、受振后性能极易变化。因此,目前白天只能试验,而在夜间投入使用。

四、性能鉴定

1. 激光照准误差

两端点间激光照准的单次均方差,代表了测定系统的最大误差。不同条件下进行了鉴定,现选择 1973 年 11 月 6 日——7 日 24 小时结果,列于表中。

表

时 间 (月·日·时)	天气	风向	风力 (级)	温度 (°C)	湿度 (%)	读 数 (毫米)										单次均方差 (毫米)
						2.5	1.9	-0.3	-0.6	-1.0	-1.0	-0.9	-0.8	-0.8	-1.3	
11. 6. 10	阴	东北	2~4	15.0	74	2.5	1.9	-0.3	-0.6	-1.0	-1.0	-0.9	-0.8	-0.8	-1.3	±1.25
11	阴	东北	2~4	14.5	74	-0.7	-1.0	-1.0	-0.8	-1.3	-1.6	-1.5	-1.3	-1.0	-1.8	±0.34
12	阴	东北	2~4	14.5	74	-2.2	-2.5	-2.7	-2.4	-2.9	0.6	0.3	-0.2	-0.7	-2.2	±1.27
13	阴	东北	2~4	16.0	64	-3.1	-2.7	-2.5	-2.0	-2.0	-2.3	-2.5	-2.6	-2.8	-2.8	±0.34
14	多云	东北	1~2	16.0	64	-1.3	-1.9	-2.0	-2.4	-3.3	-4.2	(日射仪器,气泡偏离,系统误差)				
15	多云	东北	1~2	16.5	60	-4.5	-4.8	-4.4	-5.4	-5.8	-5.9	-6.0	-5.9	-5.9	-6.4	±0.65
16	少云	东北	1~2	15.4	67	-0.3	-0.1	0.3	0.4	0.3	0.4	0.3	0.1	0.4	0.5	±0.23
17	少云	东北	1~2	13.9	74	2.2	2.1	1.7	1.9	2.1	1.5	1.4	1.4	2.1	1.9	±0.55
18	少云	东北	1~2	12.5	89	2.0	2.0	2.6	2.6	2.5	2.3	2.3	2.3	2.3	2.0	±0.22
19	少云	无风	0	11.8	85	0.8	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	1.0	1.0	0.9	0.8	±0.14
20	少云	无风	0	11.7	92	-0.5	-0.7	-0.7	-0.5	-0.7	-0.4	-0.5	-0.4	-0.4	-0.6	±0.12
21	少云	无风	0	11.3	92	1.1	1.6	1.6	1.7	1.7	1.7	1.8	1.8	1.8	1.8	±0.20
22	少云	东北	1~2	11.0	100	1.0	1.1	1.0	1.2	0.7	1.2	0.9	0.8	1.2	0.6	±0.21
23	少云	东北	1~2	10.0	100	1.0	0.9	0.8	0.9	0.7	0.8	0.6	0.1	0.5	0.9	±0.25
24	少云	东北	1~2	9.5	100	0.8	0.1	0.3	0.5	0.5	0.5	0.3	1.0	0.8	0.9	±0.28
11. 7. 1	少云	东北	1~2	9.0	100	1.0	0.7	0.5	0.9	1.1	1.0	1.1	0.9	1.0	0.8	±0.18
2	少云	东北	2~4	9.0	100	-1.4	-1.2	-1.0	-1.0	-0.6	-0.9	-0.9	-1.2	-1.4	-0.8	±0.25
3	少云	东北	2~4	9.0	100	-0.5	-1.0	-0.5	-0.8	-0.9	-0.4	-0.7	-0.8	-0.5	-0.5	±0.20
6	雾	北	1	8.5	96	1.1	0.6	0.5	1.0	1.0	1.1	1.1	1.0	1.0	1.2	±0.20
7	雾	北	1	10.0	100	-2.9	-3.2	-3.2	-2.8	-2.9	-3.1	-3.0	-3.1	-3.2	-3.0	±0.14
8	多云	北	1	11.5	92	-2.6	-1.8	-2.0	-1.9	-1.8	-3.8	-5.9	-6.0	-5.5	-6.1	(日出,系统误差)
9	多云	西北	2~4	12.6	79	-9.4	-9.3	-9.6	-9.8	-10.1	-9.7	-9.8	-10.0	-9.3	-10.8	±0.47

注: ① 右端发射,左端接收,间距 659.77 米。

② 不同时段的读数不发生关系,仪器均作调整。

从表中可以看出 660 米单次照准均方差,一般可以小于 ± 0.4 毫米。夜间及清晨,相对精度达到 $\pm 0.3 \times 10^{-6}$ 。

2. 仪器仰俯误差

测定大坝位移,仪器要作多次仰俯。仰俯误差包括经纬仪水平轴隙动、串动差及激光管和

望远镜的装配松动差。每当装配完毕后,要作鉴定。现以1974年11月30日21时12测点结果为例: -3.7(毫米)、-3.6、-3.7、-4.1、-4.0(鉴定值中包含了激光照准误差), 单次均方差 ± 0.2 毫米, 相对精度 1×10^{-6} 。和激光照准误差相近, 符合使用。

五、测定实例

自1973.12.13到1975.1.18, 边测边改, 共进行十次试测。1974.11.30试测后, 仪器、方法较稳定可靠。现将1974.11.30夜间试测结果和当天视准线法测定结果绘于图4。

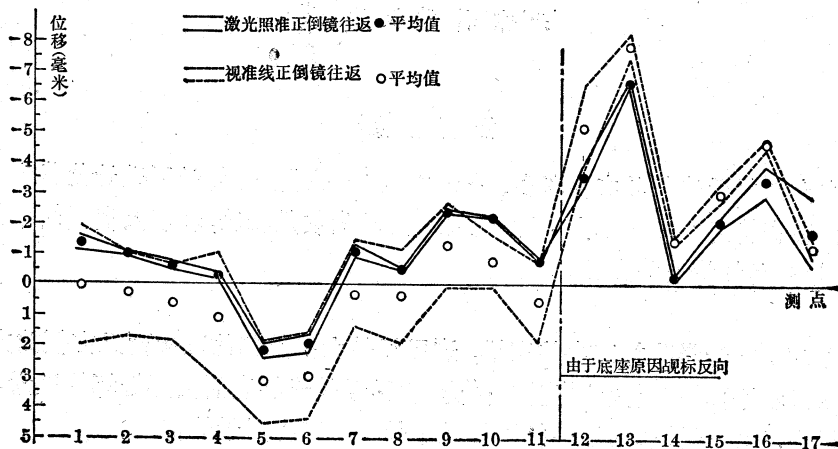


图 4

【视标率定, 以视准线视标为准。激光照准固定视标, 0.2 毫米; 激光照准活动目标: -0.7 毫米(1~11 测点), 0.7 毫米(12~17 测点)】

通过一年多的试验, 得出如下初步结论: ① 激光照准法和视准线法测定大坝水平位移所得结果, 规律是一致的, 数值是相近的。② 激光照准法测定精度高, 测定速度快。③ 生产上需要密切监视的雾天、小雨天, 是激光照准的良好工作条件; 而在此条件下, 视准线法则不能观测。

目前, 应用激光照准测定大坝水平位移, 已在富春江电厂投入夜间试用。

“激光在水利工程测量中的应用”短训班 将于今年第四季度举办

根据水电系统各生产单位需要, 水利电力部委托杭州大学、富春江电厂、丰满电厂等单位于今年第四季度举办为期两个月的“激光在水利工程测量中的应用”短训班。

短训班学员来自生产第一线, 将由水电厂观测班工人和技术人员组成。短训班以富春江电厂、丰满电厂、水电部第十二工程局和杭州大学合作的激光应用为基础, 以普及和提高“应用激光照准测定大坝水平位移”为重点, 并试验和讨论激光在水利工程中其他应用的可能性。