

# 三维激光扫描技术在坝基岩体结构面 调查统计中的应用

——以锦屏一级水电站为例

李小波

(中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司,四川成都 610072)

**摘要:**三维激光扫描是一项新的测绘技术,它可以快速高效地获取测量目标的三维影像数据。介绍了三维激光扫描技术的基本原理,并将该项新技术应用于锦屏一级水电站施工期间对开挖揭示的坝基岩体结构进行调查测绘,突破了传统的测线法、精测网法,实现了快速编录目标。

**关键词:**工程地质;三维激光扫描;岩体结构特征;快速编录;锦屏一级水电站

中图分类号:TV7;[TV221.2];TV22.1

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2016)06-0084-04

## 1 概述

锦屏一级水电站位于四川省凉山彝族自治州盐源县和木里县境内,是雅砻江下游河段五级水电开发的第一级。坝型为混凝土双曲拱坝,坝高305 m,水库总库容77.6亿 $m^3$ ,装机容量3600 MW。

坝址区两岸山体雄厚,谷坡陡峻,基岩裸露,相对高差千余米,为典型的深切“V”型谷。地层岩性主要为三叠统杂谷脑组第3段的变质砂岩、板岩(T2-3z3)及第2段的大理岩夹绿片岩(T2-3z2),变质砂岩、板岩分为6层,大理岩分为8层,地层相变较大,地层岩性较复杂,区域地质构造背景较复杂,坝区小断层及层间挤压错动带较发育,节理裂隙发育,岩体完整性较差。

该水电站工程规模大,高拱坝对坝基岩体质量要求较高,而坝基岩体结构面性质、结构面特征指标(RQD、 $J_v$ 、RBI)等直接影响岩体质量评价。因此,施工期复核评价坝基岩体质量、全面开展坝基岩体结构面调查统计就显得尤为重要。面对复杂的地质条件和较差的现场工作环境条件,如何快速、高效地获得这些结构面分布、性状成为地质工程师关心的重要问题。传统的测线法、精测网法已受到严峻的挑战,迫切需要一种便捷、高效、准确的工程地质测绘新技术和新方法的出现。锦屏一级水电站施工期间对开挖揭示的坝基岩体结构调查测绘采用了地面三维激光扫描技术,并对数据资料进行了分析处理,取得了预期的效果。

收稿日期:2016-06-18

## 2 三维激光扫描技术

三维激光扫描技术的发展为人们空间信息获取方面提供了全新的技术手段,其又被称为“实景复制技术”。利用该项技术进行高效率、高质量、低成本的空间数据采集、处理,可以有效解决数字化信息采集的难题。由于空间数据具有复杂、交错、变化的特性,实体对象的数据获取工作复杂,工作量大,操作困难。正是由于三维激光扫描技术所拥有的技术优势可以解决一些传统测量方法难以解决或处理效果不理想的问题,因此,将其应用于工程领域具有重要的现实意义。

### 2.1 三维激光扫描技术的基本原理

三维激光扫描技术是基于测绘技术发展起来的,但其又不同于传统测绘技术。传统测绘技术是单点定位高精度测量目标,即对指定目标中的某一点位进行精确而确定的三维坐标数据测量,进而得到一个单独的或一些离散的点坐标数据,这类技术如三维坐标测量仪、经纬仪、全站仪、激光跟踪仪等。而三维激光扫描仪则是对确定目标的整体或局部进行完整的三维坐标数据测量,意味着激光测量单元必须进行全自动、高精度的扫描测量,进而得到完整、全面、连续、关联的全景点坐标数据,这些密集而连续的点数据称为“点云”,从而使三维激光扫描测量技术发生了质的飞越,这个飞越意味着三维激光扫描测绘技术可以真实地反映扫描目标体的整体形态特征,并通过扫描测量点云数据来逼近目标的完整原型及矢量化数据结构。三维激光扫描技术的核心原理就

是激光测距,三维激光扫描的工作过程实际上就是一个不断重复的数据采集和处理的过程。

## 2.2 三维激光扫描系统分类

三维激光扫描技术在近几年得到了飞速的发展,已成为多领域、多用途的一门应用技术。应用于不同领域的三维激光扫描仪的诞生代表了三维激光扫描技术的发展水平,目前应用的三维激光扫描系统种类繁多,类型、工作领域不尽相同。按照不同的研究角度、工作原理等可进行多种分类。笔者按操作的空间位置将其划分为四类:机载型激光扫描系统、地面型激光扫描系统、手持型激光扫描仪和特殊场合应用的激光扫描仪。以下主要介绍的是在锦屏一级水电站施工期间采用的地面三维激光扫描系统。

地面型激光扫描系统是一种利用激光脉冲对被测物体进行扫描,可以大面积、快速度、高精度、大密度的取得地物的三维形态及坐标的一种测量设备。根据测量方式还可将其划分为两类:一类是移动式激光扫描系统;一类是固定式激光扫描系统。

所谓移动式激光扫描系统是基于车载平台,由全球定位系统(GPS)、惯性导航系统(IMU)结合地面三维激光扫描系统组成(图1)。



图1 车载激光扫描系统

固定式激光扫描系统类似传统测量中的全站仪。该系统由激光扫描仪及控制系统、内置数码相机、后期处理软件等组成。与全站仪不同之处在于固定式激光扫描仪采集的不是离散的单点三维坐标,而是一系列的“点云”数据(图2)。

## 2.3 三维激光扫描技术具有的优势

三维激光扫描技术是一项新的测绘技术,它

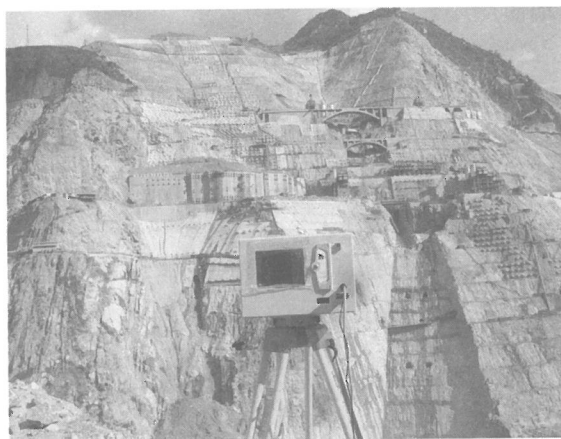


图2 固定式激光扫描仪(锦屏大坝右坝肩)

可以快速高效地获取测量目标的三维影像数据,使测绘技术人员突破传统的测量数据处理方法。作为一种新的地质勘察手段和技术,三维激光扫描仪与传统的工作方法相比较,其应用前景主要体现在以下几方面:

- (1)不需要接触扫描物体,外业测绘不受光线影响;
- (2)精度高,可以高精度表达研究物体的三维形态;
- (3)特别适合测绘表面复杂的高陡岸坡及其地质界线;
- (4)快速和准确地表达物体表面、体积、断面等几何信息,数据数字化,方便各专业软件相互调用。

## 2.4 三维激光扫描技术使用时存在的问题

三维激光扫描技术应用于水电工程地质勘察还处在一个不断发展、完善的过程当中,其在技术上还有很多地方需要改进和提高。目前使用时存在的主要问题有:

- (1)受安全激光功率的局限,扫描距离和范围有限;
- (2)特定材料对激光光源反射不够敏感,造成扫描范围内出现盲区,如潮湿的地表和绿色植被对扫描结果都有较大的影响;
- (3)三维激光扫描仪是一个黑箱系统,现场难以检验和检校;
- (4)需对所获取的各类地质界线进行少量的野外补充描述;
- (5)处理数据量大,需要采用特殊的软件,工



程地质应用软件还有待进一步完善和研发。

### 3 三维激光扫描技术在锦屏一级水电站大坝坝基岩体结构面调查统计中的应用

锦屏一级水电站施工期间,在对开挖揭示的坝基岩体结构面调查测绘时采用了地面三维激光扫描,并对数据资料进行了解译分析,取得了坝基岩体结构面分布图和岩体结构特征指标  $J_v$  等值线图。

#### 3.1 现场三维激光扫描

锦屏一级水电站施工期间,随开挖进度分梯段对坝基岩体结构面采用了三维激光扫描。扫描仪为徕卡公司最新推出的 STATION-2 型(该仪器为目前扫描速度较快的脉冲式激光扫描仪,其扫描速率可达 50 000 点/s)。该仪器内置数码相机并可配套使用高清晰的外置数码相机。借鉴古建筑恢复中所使用的“点云贴图”技术,可以获得工作面清晰的数字式彩色影像信息。在这张影像图上,可以准确识别和解译出长度 20 cm 以上的裂隙,包括其迹线位置和产状。三维激光扫描现场操作流程如下:

(1) 根据扫描对象,选择合理的扫描仪站点,合理的站点不但可以提高效率,减少遮挡空位,而且可以提高扫描数据质量,改善点云数据拼接精度;

(2) 扫描仪的架设通过粗调脚架及微调扫描仪底座使主机气泡居中;

(3) 连接电源,启动扫描控制软件,配置扫描仪相关参数,进入控制界面;

(4) 根据扫描目标放置控制标靶,一个扫描站点最少放置 3 个标靶,并由测量人员用全站仪测量标靶的坐标;

(5) 圈定扫描范围,获取扫描间距,设定采样间距,开始获取点云数据。可实时查看扫描点云数据及彩色信息情况,随时调整扫描参数;

(6) 采用高清数码相机进行拍照。

#### 3.2 三维激光扫描数据的分析与处理

对现场扫描获取的点云数据进行适当的处理、解译、分析,以获取其所包含的重要地质信息。操作流程如下:

(1) 坐标转换。三维激光扫描设备在数据采集过程中默认设备的中心点为坐标零点,其坐标系统的空间展布与扫描仪的空间位置直接相关,

是一套以扫描设备为中心的相对坐标系统。因此,应将扫描的点云数据坐标转换到与工程实际相符的大地坐标;

(2) 点云数据空间拼接;

(3) 在数码照片上进行断层、裂隙和绿片带的初步识别和解译;

(4) 采用“点云贴图”技术,将带有初步解译信息的彩色照片“蒙贴”于三维点云数据上,生成三维彩色影像;

(5) 对三维彩色影像进行旋转,结合现场调查对解译信息进行校核和修正,然后生成三维 CAD 文件;

(6) 将三维 CAD 数据导出,进行数据处理和结构面参数统计。由于裂隙信息量非常丰富,因此可以获得裂隙间距、 $J_v$  等岩体结构面参数指标。

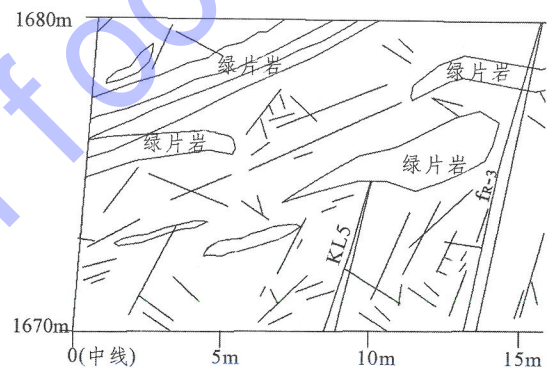


图3 右岸建基面结构面分布图

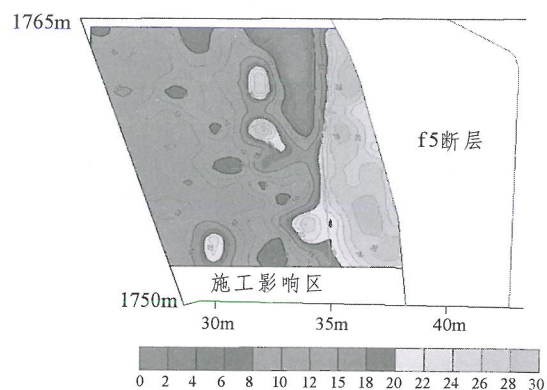


图4 左岸建基面解译- $J_v$ 等值线图

随开挖进度、分梯段对坝基岩体结构面进行了三维激光扫描,通过对点云数据进行适当解译、分析等数据处理,快速获取了各梯段结构面分布图和  $J_v$  等值线图。图3为右岸建基面高程 1 680 ~ 1 670 m 梯段结构面分布图中截取的一小部分。

图4为左岸建基面高程1765~1750m梯段Jv等值线图中截取的一小部分。

将各梯段结构面分布图拼接在一起,即可获得整个建基面结构面分布情况。根据结构面分布图,对断层、裂隙密集带和绿片岩带等软弱岩带即可一目了然。这些大坝建基面出露的软弱岩带多为Ⅲ2级或Ⅳ级岩体,已成为大坝建基面

地质缺陷,若其大面积出露则必须采取清除或置换等处理措施,通过结构面分布图即可对软弱岩带做到有的放矢的处置。

根据各梯段Jv等值线图,对Jv值进行各区段面积频度统计。笔者仅附左、右岸大坝建基面部分梯段统计结果作为代表(表1)进行分析论证。

表1 建基面部分梯段Jv分布频度汇总表

岸别	工程部位		梯段面积/m <sup>2</sup>	Jv值区段面积所占百分比/%				备注
	高程/m	桩号		<8	8~15	15~20	>20	
右岸	1610~1600	00-45~00+35	591	99.7	0.3	-	-	Ⅱ级,2(3)层大理岩
	1690~1680	00-40~00+35	745	96.9	2.6	0.5	-	Ⅱ级,2(4)层大理岩
	1700~1690	00-35~00+30	543	93.4	6.1	0.5	-	Ⅱ级岩体,2(4)层大理岩
左岸	1640~1620	00-30~00+45	1423	100	-	-	-	Ⅱ级,2(5)层大理岩
	1730~1710	00-30~00+35	985	22.5	75	2.5	-	Ⅲ1级,2(6)层大理岩
	1744~1735	00-30~00+50	574	25.7	36.2	2.8	35.3	Ⅲ2级,局部Ⅳ、Ⅴ级(f5、f8),2(7)层大理岩

从表1中Jv值区段面积所占百分比可以得出以下结论:

(1)Ⅱ级岩体中Jv值普遍小于8,按大理岩层位2(6)层→2(5)层→2(4)层→2(3)层,Jv值总体呈逐渐减小的趋势,亦即岩体中裂隙发育趋弱,岩体更加完整;

(2)断层及影响带附近岩体Jv值明显较大;

(3)按Jv数值判断岩体结构类型:Ⅱ级岩体结构以厚层状结构或块状结构为主,Ⅲ1级岩体以次块状为主,Ⅲ2级岩体结构以次块~镶嵌结构为主。

#### 4 结 语

将三维激光扫描技术应用于工程地质领域,可以快速、高效地获取测绘目标的三维影像数据,通过适当解译、分析,可以获得结构面分布、产状等重要地质信息,进而突破了传统的测绘方法。

(上接第48页)

#### 5 结 语

沙陀水电站升船机上下闸首门的成功制作,标志着中国水电七局公司制造能力的提升,为同类构件的制作积累了经验。

#### 参考文献:

[1] DL/T5018-2004,水电水利工程钢闸门制造、安装及验收规范[S].

锦屏一级水电站施工期间对开挖揭示的坝基岩体结构面调查测绘采用了地面三维激光扫描技术,并对所取得的数据资料进行了分析处理,获得了结构面分布图和Jv等值线图,实现了快速编录。在外业三维激光扫描过程中,需要克服上述章节提及的激光扫描技术存在的不足之处。但三维激光扫描技术具有众多的优点,这些是传统测绘方法难以比拟的,因此而其具有更加广阔的应用前景。

#### 参考文献:

[1] 马立广.地面三维激光扫描仪的分类与应用[J].地理空间信息,2005,3(3):60-62.  
 [2] 毛方儒,王 磊.三维激光扫描测量技术[J].宇航计测技术,2005,25(2):1-6.

#### 作者简介:

李小波(1976-),男,四川邻水人,高级工程师,硕士,从事水电工程项目管理与地质工作。(责任编辑:李燕辉)

[2] 陈祝年.焊接工程师手册[M].北京:机械工业出版社,2002.

#### 作者简介:

李友明(1983-),男,四川德阳人,助理工程师,学士,从事水利水电工程机械生产技术与管理工作;  
 黄 猛(1972-),男,四川广汉人,金结分厂副厂长,高级技师,从事金结分厂生产技术与管理工作。(责任编辑:李燕辉)