

砾石土料全级配击实仪研制及应用

胡建立

(中国水利水电第七工程局有限公司, 四川 成都 611730)

摘要:砾石土料最大粒径为 100 mm 全级配击实仪的成功研制与应用,提高了全级配击实试验的科学性,保证了试验结果准确可靠。特别在类似的工程中全级配击实仪首次采用锤击点角度为 53.5° ,实现了锤击点之间无击实盲区,在国内已建类似工程中未见相关文献资料。本文依托双江口水电站工程,研制全级配土料超大型击实仪(土料最大粒径为 100 mm),真实反映了土料全级配击实试验结果,为砾石土心墙料采用全料压实度控制碾压质量提供可靠的基础数据,具有较高的推广价值。

关键词:砾石土料;全级配击实仪;工作原理;基本技术参数;特点及优点

中图分类号:P619.22+8;TV443;P335+.1

文献标识码:B

文章编号:1001-2184(2021)01-0127-04

Development and Application Gravel Soil Full Grading Compaction Apparatus

HU Jianli

(Sinohydro Bureau 7 Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 611730)

Abstract: Successful development and application of full grading compaction apparatus for gravel soil with maximum size of 100 mm has improved the scientific nature of full grading compaction test and ensured the accuracy and reliability of the test results. Full grading compaction apparatus used in similar projects has realized a compaction angle of 53.5° for the first time, which leaves no blind spot between the hammering points. No relevant literature has been found on similar projects that have been built in China so far. Based on the engineering practice on Shuangjiangkou Hydropower Station, a new type of super-large full grading compaction apparatus named SD-500 which allows maximum particle size of 100mm is developed, and the full grading compaction test results provide reliable basic data for overall compaction control of gravel-soil core wall. The apparatus is worth popularizing.

Key words: gravel soil; full grading compaction apparatus; working principle; basic technical parameters; characteristics and advantages

1 概述

双江口水电站位于四川省阿坝藏族羌族自治州,是大渡河流域水电梯级开发的上游控制性水库,电站装机容量 2 000 MW,为一等大(1)型工程。拦河大坝为砾石土心墙堆石坝,坝顶高程 2 510.00 m,最大坝高 312 m,为世界第一高砾石土心墙堆石坝。心墙防渗料采用掺合砾石土料,心墙砾石土料最大粒径不大于 100 mm,心墙料全料压实度不小于 0.98(相应击实功能 $2\ 685\text{ kJ/m}^3$)。

目前国内已建、在建的大型砾石土心墙堆石坝防渗砾石土料最大粒径已大幅度超过《水电水

利工程粗粒土试验规程》DL/T5356^[1]和《土工试验方法标准》GB/T50123^[2]中“粗粒土击实试验最大粒径不大于 60 mm”的规定。如长河坝水电站心墙砾石土料最大粒径为 150 mm,糯扎渡水电站及两河口水电站心墙砾石土料最大粒径为 120 mm。按照试验规程的要求,土料最大粒径大于 60 mm 进行击实试验需对超径部分进行处理,按照《水电水利工程粗粒土试验规程》DL/T5356 规定,对超粒径颗粒的处理有剔除法、等量替代法、相似级配法和结合法四种方法。

不论采取何种方法对土样超粒径颗粒进行处理,经过处理的土样已改变其原始级配,击实试验结果不能真实反映原级配土样的最大干密度和最优含水率。为真实反映原级配土样的击实试验结

收稿日期:2020-11-10

果,笔者依托双江口水电站大坝工程,对最大粒径为 100 mm 的宽级配砾石土料,进行新型全级配击实仪及相适应的击实试验方法研究。

2 砾石土料全级配击实仪研制

2.1 砾石土料全级配击实仪基本技术参数的确定

最大粒径大于 60 mm 的砾石土料全级配击实试验没有相应的规程规范执行,参考《水电水利工程粗粒土试验规程》DL/T 5356“粗粒土击实试验”大型击实仪基本参数及《岩土工程仪器基本参数及通用技术条件》GB/T 15406^[3]的相关要求,对最大粒径为 100 mm 全级配击实仪的基本参数进行研究设计。研制的砾石土料全级配击实仪

表 1 砾石土料全级配击实仪 SD-500 型基本参数

击锤质量 /kg	击锤底 直径/cm	落高 /cm	击实筒尺寸			装土 层数	每层 击数	单位体积 击实功能 kJ·m ⁻³	单位面积 冲量 /kN·s/m ²	锤击点 角度
			直径 /cm	高度 /cm	体积 /cm ³					
99.6	25	60	50	48	94 248	3	144	2 685	7	53.5

注:锤击点角度是指在进行下一击时击实筒的转动角度。

2.2 砾石土料全级配击实仪研制技术难点

砾石土料全级配击实仪 SD-500 型研制的技术难点是如何保证锤击点均匀分布在土面上,实现锤击点之间无击实盲区。通过数学计算及 CAD 制图模拟锤击点击实轨迹,得出锤击点角度 53.5°较为适宜。

2.2.1 数学计算

击锤底直径为击实筒内径的 0.5 倍,计算锤击点转动轨迹,建立锤击一周的转角公式为:

$$\varphi \times n - \delta = 360^\circ \quad (1)$$

式中 φ 为每一击的转角; n 为一周的击数; δ 为修正角。

经计算及试验, φ 值取 53.5°,修正角 δ 值为 14.5°,锤击 7 击即完成一周击实,具体实现过程为:

锤击第 1 击时击实筒不转动,第 2 击击实筒开始转动 53.5°,以此类推,以后的每一击都转动 53.5°,在第 7 击时基本完成了第一周击实;在第 8 击(第 2 周第 1 击)较第 1 击(第 1 周)向前位移角度为 $53.5^\circ \times 7 - 360^\circ = 14.5^\circ$ 。以此类推,在第 22 击(第 4 周第 1 击)就将第 1 击和第 2 击(第 1 周)与击实筒之间的击实盲区全部覆盖(即 $14.5^\circ \times 4 - 53.5^\circ = 4.5^\circ > 0^\circ$)。以此类推,击实完成后不存在击实盲区。

SD-500 型的基本技术参数主要遵循以下五个原则^[4]:

(1)击实筒:击实筒应具有足够的强度和刚度,不变形,拆卸方便。击实筒内径不小于土料最大粒径的 5 倍,击实筒高度不小于内径的 0.96 且不大于 1.04。

(2)击锤:击锤底直径为击实筒内径的 0.5 倍。

(3)单位体积功能:2685 kJ/m³。

(4)单位面积冲量:7 kN·s/m²。

(5)确定锤击点角度^[5],锤击点均匀分布在土面上,锤击点之间无击实盲区、无重复击实面积。

按照上述规定,经计算确定砾石土料全级配击实仪 SD-500 型基本参数(见表 1)。

2.2.2 动态模拟

动态模拟锤击点击实轨迹示意图见图 1。动态制图模拟表明:锤击点角度为 53.5°,在第 8 击(第 2 周第 1 击)较第 1 击向前位移角度 14.5°,在第 22 击(第 4 周第 1 击)就将第 1 击和第 2 击(第 1 周)与击实筒之间的击实盲区全部覆盖。

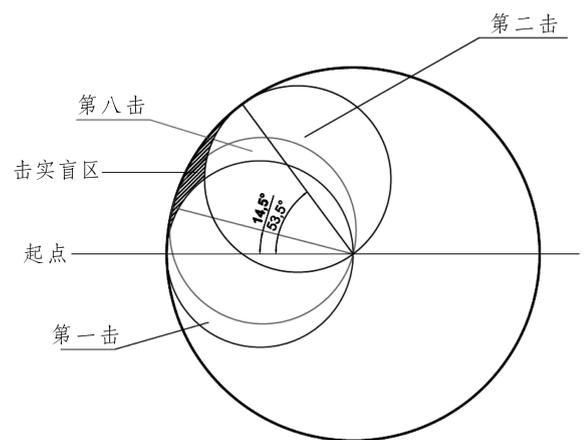


图 1 动态模拟锤击点轨迹示意图

2.3 砾石土料全级配击实仪的工作原理

砾石土料全级配击实仪 SD-500 型主要由底座、转盘及转盘传动机构、击实筒、套筒、击锤、导向杆、击锤提升系统、落高位移装置、击实筒提升装置、电器控制系统等组成,其结构示意图见图 2。其工作原理及工作步骤如下:

(1)开启电源,预热;

(2)采用手动方式将击锤提升,将击实筒安装在转盘上,将套筒安装在击实筒上部,并将击实筒及套筒固定在转盘上;

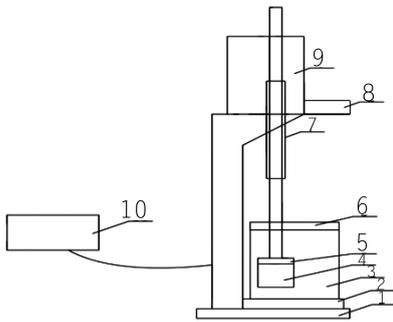
(3)将备好的土样分三层装入击实筒内,采取手动方式将击锤放在土样上,再将“手动模式”调整为“自动模式”;

(4)启动仪器工作,击锤自动提升,击锤提升到规定高度时触发限位装置,击锤抓手松开,击锤沿导向杆自由落体到土样表面,完成第一击;

(5)完成第一击后,击锤抓手沿导向杆下落抓住击锤,击锤上升,同时转盘传动机构工作,转动 53.5° ,击锤提升到规定高度时抓手松开,击锤沿导向杆自由落体到土样表面,完成第二击;

(6)按照本条(4)和(5)步骤依次循环,完成第一层土样击实;

(7)完成第一层击实后,将土样装入击实筒,按照步骤(4)~(6)依次完成第二层、第三次击实。



1:底座 2:击实筒底盘齿轮 3:击实筒 4:击实锤 5:击锤抓手 6:护筒 7:落高位移装置 8:击实筒提升装置 9:击锤提升系统 10:控制面板

图 2 SD-500 型全级配击实仪结构示意图

3 全级配击实仪 SD-500 型与传统击实仪相比所具有的特点及优点

根据双江口水电站砾石土料最大粒径为 100 mm,研制出击实筒直径为 500 mm 的砾石土全级配击实仪 SD-500 型。仪器研制时遵循简单、适用、方便、试验结果准确可靠的原则。该仪器于 2018 年 12 月投入使用,累计已完成 22 组 110 桶击实试验,累计击实 47 000 余次,设备运行状况良好。

在砾石土状况相同,单位体积击实功能、单位面积冲量相同的工况下,SD-500 型全级配击实仪与传统 $\varphi 300$ mm 击实仪比较具有以下特点及优点:

(1)将击实筒安装在转盘上,通过底盘齿轮旋转带动击实筒转动,实现锤击角度的调整,达到锤击点均匀分布,无死角、无盲区、无重复的目的。

(2)SD-500 型击实仪设置有击实筒提升装置,达到击实筒安装、拆卸方便的目的。

(3)SD-500 型击实仪设有光电位移落高装置控制系统,实现了自动控制击锤提升高度高,击锤落高精准,保证了单位体积击实功能、单位面积冲量不变。

(4)传统的 $\varphi 300$ mm 击实仪需对大于 60 mm 的超粒径颗粒处理后才能进行击实试验,其击实结果会产生一定程度的偏差。而对大于 60 mm 的超粒径颗粒 SD-500 型击实仪则不需进行处理,能够进行全级配击实试验。用双江口防渗掺合土料进行对比试验,当砾石掺量 30~60% 时,最大干密度增大 $0.01\sim 0.03$ g/cm^3 ,最优含水率降低 $0.6\sim 0.3\%$,由此可见,SD-500 型击实仪进行心墙防渗土料全级配击实试验结果,能更真实地反应宽级配防渗土料的压实特性,为制定大坝填筑质量控制标准与质量评价提供基础数据。SD-500 型击实仪与 $\varphi 300$ mm 击实仪的击实试验结果见表 2。

表 2 SD-500 型与 $\varphi 300$ mm 击实仪击实试验结果比较

序号	砾石掺量 /%	SD-500 型击实仪		$\varphi 300$ mm 击实仪		差值	
		最大干密度 / $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	最优含水率 /%	最大干密度 / $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	最优含水率 /%	最大干密度 / $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	最优含水率 /%
1	30	2.08	10.3	2.07	10.9	0.01	-0.6
2	40	2.10	9.4	2.08	9.9	0.02	-0.5
3	45	2.13	8.5	2.11	8.9	0.02	-0.4
4	50	2.16	7.7	2.13	8.1	0.02	-0.4
5	60	2.18	7.2	2.15	7.5	0.03	-0.3

4 结语

砾石土全级配击实仪 SD-500 型的成功研制并应用,其击实试验成果应用于大坝填筑质量评价中更加真实地反应了砾石土料的压实特性。砾石土全级配击实仪首次采用锤击点角度为 53.5°,实现了锤击点均匀分布、无击实盲区,在国内已建类似工程中未见相关文献资料,可供其他工程借鉴。

在双江口水电站大坝工程建设中,已采用全级配击实仪 SD-500 型的击实试验成果评价砾石土料的压实质量,在控制工程质量方面发挥了

显著作用,具有推广价值。

参考文献:

[1] DL/T 5356-2006,水电水利工程粗粒土试验规程[S].

[2] GB/T50123-2019,土工试验方法标准[S].

[3] GB/T 15406,岩土工程仪器基本参数及通用技术条件[S].

[4] 专利申请号,CN201120562735.5 一种超大型电动击实仪[P].

[5] 专利号,ZL 2019 2 1893595.2 锤击均匀的无盲区大型全料击实仪[P].

作者简介:

胡建立(1973-),男,四川广安人,高级工程师,从事水利水电工程试验检测技术工作。

(责任编辑:卓政昌)

(上接第 16 页)

诱发泥石流的启动,在运动过程中将沟内固体物质不断带走,最终发展为灾害性泥石流。笔者在充分现场调查的基础上,结合遥感卫星影像,从地震、降雨、物源和沟道侵蚀等方面揭示登溪沟泥石流的形成和发展过程,可提高对强震区泥石流的认识,有助于对其形成更为科学的治理方案,从而达到更为有效的治理效果。

参考文献:

[1] Guo X,Cui P,Li Y,et al. Intensity-duration threshold of rainfall-triggered debris flows in the Wenchuan Earthquake affected area,China[J]. Geomorphology,2016,253 (JAN. 15):208-216.

[2] Tang C,Asch T W J V,Chang M,et al. Catastrophic debris flows on 13 August 2010 in the Qingping area,southwestern China: The combined effects of a strong earthquake and subsequent rainstorms[J]. geomorphology,2012,139-140 (none):0-576.

[3] 陈兴长,游 勇,陈晓清,et al. 大渡河上游沙耳沟泥石流震后特征及其发展趋势[J]. 长江流域资源与环境,2010,19 (7):847-852.

[4] 陈晓清,游 勇,崔 鹏,等. 汶川地震区特大泥石流工程防治新技术探索[J]. 四川大学学报:工程科学版,2013,

045(001):14-22.

[5] 陈源井,余 斌,朱 渊,等. 地震后泥石流临界雨量变化特征——以汶川地震区小岗剑沟为例[J]. 山地学报,2013 (03):102-107.

[6] 胡卸文,顾成壮,牛彦博,等. 芦山地震触发大岩崩滑坡一碎屑流特征与运动过程[J]. 西南交通大学学报,2013,48 (4):590-598.

[7] 裴 钻,裴向军,张 雄,等. 汶川地震极震区泥石流动力特征及参数研究——以安县高川乡为例[J]. 灾害学,2015 (3):21-25.

[8] 唐 川. 汶川地震区暴雨滑坡泥石流活动趋势预测[J]. 山地学报,2010(03):87-95.

[9] 田述军,樊晓一. 基于临界雨量的震后泥石流预测预报研究——以白沙河流域为例[J]. 自然灾害学报,2015,v. 24 (04):178-184.

作者简介:

宁友云(1984-),男,藏族,四川小金人,工程师,学士,主要从事地质灾害防治方面的研究;

刘 波(1994-),男,四川成都人,西南交通大学在读博士研究生,主要研究强震区泥石流致灾机理与防控措施;

文 强(1997-),男,四川成都人,西南交通大学在读硕士研究生,主要研究泥石流灾害形成机理与风险评估。

(责任编辑:卓政昌)

(上接第 126 页)

[8] 简锐敏. 基于三维激光扫描技术的变形监测方法研究[J]. 西部资源,2019(3):197-198.

[9] 徐进军,王海城,罗喻真,等. 基于三维激光扫描的滑坡变形监测与数据处理[J]. 岩土力学,2010,31(7):2188-2196.

[10] 陈致富,陈德立,杨建学. 三维激光扫描技术在基坑变形监测中的应用[J]. 岩土工程学报,2012,34(S):557-559.

[11] 赵志祥,董秀军,吕宝雄,等. 地面三维激光扫描

技术应用理论与实践[M]. 北京:中国水利水电出版社,2018.

[12] 秦 臻,朱号东,羌云娟,等. 三维激光扫描噪声点分步剔除技术[J]. 测绘科学,2013,38(6):140-142.

[13] 李海波. 大渡河猴子岩水电站库区开顶变形体三维变形监测报告[C]. 成都:四川大学,2018.

作者简介:

覃事河(1984-),男,湖北五峰人,工程师,硕士,从事水电工程建设技术与管理工作。

(责任编辑:卓政昌)