

10

44-47

核子密度仪在双溪水库率定试验

张继云 李香丽 Tu 415
(水电五局, 广元, 628007)

摘要 核子密度仪是测量压实土及碾压混凝土密度及含水量的仪器。水电第五工程局试验室在双溪水库土石坝防渗斜墙施工中, 将该仪器与环刀取样法进行比较, 共取得试验55组, 其中35组是两种试验方法比较, 试验结果表明两种方法测得土样干密度平均值基本相等。其余20组试验用于评定仪器的测量精度。对试验资料进行统计计算, 核子密度仪的试验误差为0.8%。本次试验为核子密度仪用于密度检测工作提供了科学依据。

关键词 核子密度仪 环刀取样法 干密度 试验误差 仪器常数

压实土. 试验.

土作为筑坝材料, 密度是重要的设计指标, 填筑土料的各种力学性能都与压实密度有关。密实土, 其抗剪强度大, 压缩变形小, 抗渗性能好, 使建筑物安全稳定。反之, 密度达不到设计指标则会影响建筑物的运行安全。因此, 检测填筑土料的湿密度, 干密度, 含水率是土坝施工质量控制的基本项目。规范规定的检测方法是: 密度用环刀取样法, 含水率用烘干法。采用核子密度仪测量填土的密度及含水率是一项先进技术, 在土坝施工中逐渐被采用。目前, 碾压砼筑坝技术正在发展, 压实砼的湿密度和含水率的现场质量检测, 则基本只用核子水分密度仪一种测量工具。该仪器的优点是测量速度快, 精度高, 不破坏被检测物等。试验过程中可加密检测点, 使试验资料有代表性, 试验离散数据可立即重复测试, 校准数据, 消除试验误差。该类仪器主要用于测量压实土, 碾压砼, 沥青等建筑材料。

仪测量方法有透射法和反向散射法两种。采用透射法时测深范围有0~300mm, 0~500mm两种, 散射法测深较浅, 一般不大于200mm。

从美国进口的表面型核子水分密度仪有: 3411、3440、MC-2、MC-3、DOR-1000型等系列产品。这些仪器一般都有微处理机, 显示屏幕, 打印机等部件, 可以进行人机对话的先进仪器。具有测量水分和密度二种功能。

国产核子密度仪型号较多。ND-50表面型, 由杭州机械研究所同上海海安电子厂共同研制生产。由微处理机、显示屏幕、打印机等组成, 测深500mm, 在国内属较深型的。FT-628, 南京水利科学研究院与北京核子仪器厂共同研制生产, 透射法测量方式, 测深300mm, 数据经微机处理后, 屏幕显示。

水电五局试验室原有一台ND-A核子土基密度仪, 长沙电子仪器二厂生产, 反向散射法测量, 测深200mm。于1992年3月在四川省双溪水库进行了率定试验。为了碾压砼现场密度检测, 1992年5月购进美国乔克希勒(TROXLER)公司生产的3440表面型核子水分密度仪三台。在1992年6月现场碾压砼试验时进行实地测量, 性能良好。

核子密度仪有两种放射源, 铯137 γ 射线源及镅-241-铍 α 中子放射源。 γ 射线用于测

1 核子密度仪的性能及工作原理

不同型号的核子密度仪测量密度及深度范围有所不同, 要求被检测物质的密度一般在: 1.4~2.7g/cm³范围内。表面型核子密度

量密度。 γ 射线从放射源射出后,经过被测物质与物质的原子外围电子进行非弹性碰撞,产生康普顿散射,散射后 γ 射线能量减少,方向改变。探测器接收到的射线计数值与被测物质的密度有关,密度越大,计数值越小。二者成指数函数关系。

$$R = Ae^{-BD} + C \quad (1)$$

式中 A, B, C , 为仪器试验常数, D 是被检测物质密度, R 是规定时间内仪器计数频率值。 e 是自然对数的底。

α 射线通过轰击铍产生快中子,快中子遇物质原子核后产生慢化作用变成慢化中子。物质中的氢原子核多,产生的慢化中子就多,探测器接收射线计数就多,从而可以计算出被检物质的含水率。

$$N = E + FM \quad (2)$$

式中 N —— 探测器的计数频率;
 E, F —— 仪器率定常数;
 M —— 被测物质含水率。

2 ND-A 土基核子密度计在双溪水库实测及率定

双溪水库位于四川省荣县旭水河上游,坝址在双溪书阁,距荣县城1.5km,工程枢纽包括土石拦河坝,开敞式溢洪道,引水隧洞及放空隧洞四部分。其中拦河大坝为粘土斜墙石渣坝,最大坝高49.4m,坝顶长度400.3m,坝顶宽度8.0m,斜墙土料性质如表1。

表1*

高程(m)	土料性质
344.0~368.0	粉质粘土。
368.0~380.0	粉砂质粘土岩风化料。
380.0~394.0	粉质粘土。

* 按老规程分类标准及试验方法。

粉质粘土性质(土料分类CI);土中有浅黄色夹黑色斑点及网状薄膜,可塑及硬塑状态,含铁锰氧化物,质较纯,质地较疏松,粘粒含量30%~40%,中等压缩性,土料场勘测试

验结果如表2。

ND-A 核子土基密度计主要技术参数:系统精度 $0.03\text{g}/\text{cm}^3$,测量误差 $<1\%$ 。该项技术指标符合土工试验规程要求;仪器测量范围 $1.4\sim 2.3\text{g}/\text{cm}^3$,适合量测土及砂砾料,工作温度 $0\sim 40^\circ\text{C}$,具有二档16s,32s半自动定时功能,放射源为铯137 γ 射线源。

表2*

项 目	天然密度		土粒比重 G_s	液限 W_L	塑限 W_P	塑性指数 I_P	颗粒组成		
	湿 ρ	干 ρ_d					砂粒 $z > 0.075$	粉粒 $0.075 \sim 0.005$	粘粒 < 0.005
单位	%	g/cm^3	g/cm^3	%	%		%	%	%
组数	15	15	15	4	4	4	15	15	15
均值	22.68	1.95	2.59	27.73	15.45	12.28	77.47	17.47	5.81

* 按老规程分类标准及试验方法。

这次仪器测试精度比较试验是在粘土斜墙351m高程以上三层土料中进行的,按照试验计划用两种方法检测评定仪器的试验精度,一种方法是与环刀取样法进行比较,另一种方法是统计计算仪器本身的误差范围。分述如下:

2.1 与环刀取样法比较检测试验

在土层的测试点清理出测试基面,先用仪器测读数值(一点读4个值);在同一位置用环刀取二块土样,此为一组对比样。分别计算出土料的湿密度,干密度,用烘干法测得土料的含水率,同时计算出一组两个干密度的差值, $\Delta = \gamma_{d1} - \gamma_{d2}$ 。该项试验共测35组,试验资料列于表3,对表中两种试验方法分别进行计算,各种指标见表4中1,2二项。

由表4知,两种方法所测土料干密度平均值基本相等。用核子密度仪检测时试验点离散性略大于环刀法,这主要是数据计算时取舍方法不同而形成的。环刀法按土工试验规程规定两个平行样差值大于 $0.03\text{g}/\text{cm}^3$ 时重新取样,因此离散性小些。密度计法是直接用4个测值平均值,因此离散性大些。两种测试方法测试精度无显著差异,都可满足土工试验规程要求。

表3 环刀法与核子密度仪对比试验成果表

试样编号	环刀法		核子密度仪		含水量 (%)	误差值 Δ (g/cm)	仪器率定后		Δ'
	密度 (g/cm³)		密度 (g/cm³)				密度		
	湿	干	湿	干			湿	干	
1	2.03	1.69	2.06	1.71	20.3	0.02	2.04	1.70	0.01
2	1.98	1.64	1.96	1.62	20.6	-0.02	1.98	1.64	0
3	1.99	1.65	2.06	1.70	20.9	0.05	2.04	1.69	-0.04
4	1.99	1.63	2.05	1.67	22.4	0.04	2.04	1.67	0.04
5	1.96	1.60	1.97	1.61	22.4	0.01	1.98	1.62	0.02
6	1.98	1.69	1.91	1.63	17.1	-0.06	1.95	1.66	-0.03
7	1.99	1.70	2.00	1.71	17.1	0.01	2.01	1.72	0.02
8	2.00	1.64	1.99	1.63	22.0	-0.01	2.00	1.64	0
9	2.04	1.67	2.10	1.72	22.6	0.05	2.08	1.70	0.03
10	2.05	1.68	2.03	1.66	22.3	-0.02	2.03	1.66	-0.02
11	2.06	1.68	2.06	1.68	22.6	0	2.05	1.67	-0.01
12	2.00	1.67	1.98	1.65	19.8	-0.02	1.99	1.66	-0.01
13	1.99	1.66	1.98	1.65	20.2	-0.01	1.99	1.66	0
14	2.05	1.69	2.06	1.69	21.6	0	2.05	1.69	0
15	2.03	1.64	1.97	1.61	22.3	-0.03	1.98	1.62	0.02
16	2.03	1.66	2.02	1.65	22.6	-0.01	2.02	1.65	-0.02
17	2.01	1.65	2.04	1.67	21.8	0.02	2.04	1.67	0.02
18	2.02	1.66	1.99	1.64	21.4	-0.02	2.00	1.65	-0.01
19	2.04	1.68	2.05	1.69	21.6	0.01	2.04	1.68	0
20	2.03	1.64	2.05	1.66	23.6	0.02	2.00	1.62	-0.02
21	2.03	1.65	2.02	1.64	23.1	-0.01	2.02	1.64	-0.02
22	2.06	1.67	2.07	1.68	23.1	0.01	2.02	1.64	-0.03
23	2.02	1.66	2.03	1.67	21.9	0.01	2.03	1.67	0.01
24	1.99	1.63	1.91	1.57	21.8	-0.06	1.95	1.60	-0.03
25	2.00	1.65	2.00	1.65	21.3	0	2.00	1.65	0
26	2.03	1.67	2.03	1.67	21.3	0	2.02	1.67	0
27	2.04	1.67	2.08	1.70	22.5	0.03	2.05	1.67	0
28	2.03	1.65	2.04	1.66	22.8	0.01	2.03	1.65	0
29	2.05	1.68	2.04	1.67	22.1	-0.01	2.03	1.66	-0.02
30	2.02	1.65	2.01	1.64	22.5	-0.01	2.01	1.64	-0.02
31	2.01	1.63	1.98	1.62	22.6	-0.01	1.99	1.62	-0.01
32	2.05	1.69	2.12	1.74	21.3	0.05	2.08	1.71	0.02
33	2.05	1.72	2.10	1.76	19.4	0.04	2.07	1.73	0.01
34	2.02	1.67	2.06	1.71	20.7	0.04	2.05	1.70	0.03
35	2.02	1.67	2.04	1.69	20.6	0.02	2.03	1.68	0.01

表4

序号	项 目	组数	平均值 g/cm³	均方差 g/cm³	变差系数
1	环刀法测干密度 γ_d	35	1.662	0.024	0.014
2	ND-A 计测干密度 $\gamma_{d\#}$	35	1.666	0.039	0.024
3	仪器率定后干密度 $\gamma_{d\#}$	35	1.667	0.030	0.018

考察两种方法的差值、 $\Delta = \gamma_{d\#} - \gamma_d$ ，在35组数据中， Δ 为“+”18组，为“-”13组，为“0”4组。最大正差 0.05g/cm^3 ，最小负差 -0.06g/cm^3 ，平均值 $\bar{\Delta} = 0.004\text{g/cm}^3$ 。可见两种方法的差值没方向性，属随机试验误差。

2.2 率定仪器试验误差

将核子密度仪在同一位置搁置三次测读，以率定仪器自身的试验误差。资料详见表5。表中列出每组三个湿密度值及组内试验极差值，共计20组。20组湿密度平均值为 2.031g/cm^3 ，极差平均值 0.0265g/cm^3 。极差值小于等于 0.03g/cm^3 的共16组，占总数80%。各级极差频数如表6。

表5 核子密度仪误差试验成果表

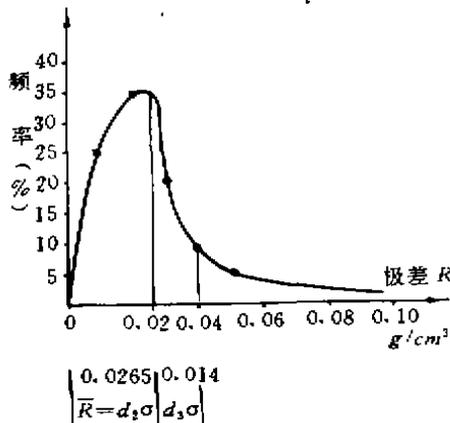
试样编号	高程 (m)	密度 (g/cm³)			平均值 \bar{X}	极差 R
		1	2	3		
1	380.9	2.02	2.01	2.01	2.01	0.01
2	380.9	2.05	2.04	2.05	2.05	0.01
3	380.9	1.99	1.96	1.99	1.98	0.03
4	380.9	2.04	2.02	2.03	2.03	0.02
5	380.9	1.99	2.01	1.99	2.00	0.02
6	380.9	2.02	2.02	2.00	2.01	0.02
7	380.9	2.07	2.02	2.05	2.04	0.05
8	351.0	2.03	2.04	2.05	2.04	0.02
9	351.0	2.00	2.01	2.00	2.00	0.01
10	351.0	2.00	1.96	1.99	1.98	0.04
11	351.0	2.05	2.03	2.03	2.04	0.02
12	351.0	2.08	2.07	2.08	2.08	0.01
13	351.0	2.04	2.01	2.02	2.02	0.03
14	351.0	2.04	2.05	2.04	2.04	0.01
15	351.0	2.01	2.00	2.04	2.02	0.04
16	381.4	1.98	2.00	2.00	1.99	0.02
17	381.4	2.12	2.10	2.11	2.11	0.02
18	381.4	2.10	2.07	2.10	2.09	0.03
19	381.4	2.06	2.09	2.09	2.08	0.03
20	381.4	2.04	2.01	1.95	2.00	0.09
					$\Sigma = 40.61$	0.53
					均值	0.0265

注：重复试验误差 $V = (0.53/40.61)(1/1.7) = 0.8\%$

表6

极差 (g/cm³)	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
次数	0	5	7	4	2	1	0	0	0	1
频率 (%)	0	25	35	20	10	5	0	0	0	5

对极差值进行统计如附图。



附图 极差偏态分布图

湿密度均值 $\bar{X} = 2.031 \text{g/cm}^3$; 极差均值 $\bar{R} = 0.0265 \text{g/cm}^3$; 极差系数: $d_2 = 1.7, d_3 = 0.888$; 重复试验方差 $\sigma = \bar{R}/d_2 = 0.016 \text{g/cm}^3$; 重复试验误差 $\sigma/\bar{X} = 0.0076$; 极差标准离差 $\sigma_R = d_3 \sigma = 0.014 \text{g/cm}^3$ 。

由统计资料可知:该仪器在土基上测量时,同一组三个测值重复试验误差 $V = 0.0076$ 小于出厂误差指标值 0.01 。

2.3 率定仪器回归公式常数

ND-A 仪采用反向散射法进行检测,采用的回归关系式为:

$$K = N_{\pm} / N_{\text{湿}} = b/a = Ae^{-BD} \quad (3)$$

式中 a —— 仪器在标准件上读数;

b —— 仪器在土基上读数;

D —— 土的湿密度值, g/cm^3 ;

A, B —— 仪器常数, 出厂时, $A = 6.521$ $B = 0.636$, 相关系数 $\rho = 0.996$ 。

对(3)式取对数:

$$D = \frac{1}{B} \ln(A) + \frac{1}{B} \ln\left(\frac{1}{K}\right) \quad (4)$$

将试验数据归结为表7:

对表中资料进行回归计算,得到率定后

的仪器常数:

$$A = 5.092, B = 0.9685, \rho = 0.873.$$

利用率定后公式对表3中的仪器测值重新计算,列于表3最后三列。对其进行统计计算得到:干密度均值 $\gamma'_{\text{干}} = 1.667 \text{g/cm}^3$, 均方差 0.03g/cm^3 , 变差系数 0.018 , 各项指标均优于公式率定以前。率定前后仪器法与环刀法测干密度差值 Δ, Δ' 列于表8。

表7

$\frac{1}{K}$	湿密度 (g/cm^3)	$\frac{1}{K}$	湿密度 (g/cm^3)
0.5357	1.96	0.5549	2.02
0.5265	1.98	0.5531	2.03
0.5478	1.99	0.5744	2.04
0.5435	2.00	0.5717	2.05
0.5517	2.01	0.5620	2.06

表8

项 目	最大(小)差值 g/cm^3		组 数		
	+	-	+	-	0
用出厂公式计算 Δ	0.05	-0.06	18	13	4
率定后公式计算 Δ'	0.04	-0.05	12	14	9

由统计表8看出:率定后公式比出厂时公式有较好的符合性。这表明对特定土料,仪器在使用前要进行必要的率定以确定仪器性能,减小试验误差。

3 结束语

在双溪水库大坝粘土斜墙施工中,ND-A 仪检测土的密度试验是成功的,核子密度仪测量精度符合土工试验规程要求。这也为核子密度仪在碾压砼施工中应用提供了科学依据。试验过程中我们注意到,在仪器附近有振动源时,仪器显示跳动,且数字偏大,因此仪器测量时应停止有振动的设备工作。

(收稿日期:19921218,退修回日期:19930119)