

新型水囊式容积测定仪测试精度室内试验研究

李小勇

(北方工业大学,北京 100041)

徐瑞军

(衢州市柯城公路段,衢州 324000)

吕忠新

(衢州市交通建设集团,衢州 324002)

【摘要】 介绍了新型水囊式容积测定仪的结构和原理。通过标准罐的室内试验,对新型水囊式容积测定仪测试精度及其对干密度的影响进行了研究。研究表明,新型水囊式容积测定仪的研制是成功的,并具有较大的应用前景。

【关键词】 水囊式容积测定仪;标准罐;密度试验

【中图分类号】 TU 415

Experimental Research for the Measuring Accuracy of A New Type of Rubber Balloon with Water Volumometer

【Abstract】 The organization and principle of the new type of rubber balloon with water volumometer are introduced. Its measuring accuracy and effect on dry density are studied by tests with standard jar in lab. It is suggested that the development of the volumometer should be succeeded.

【Key words】 rubber balloon with water volumometer; standard jar; density test

0 引言

1998年10月,铁道部颁发了秦沈客运专线《时速200公里新建铁路线桥隧站设计暂行规定》,《暂规》对路基基床底层粗粒土填料和基床表层除 K_{30} 检测标准外,又增加了孔隙率检测标准,这在我国铁路建设史上还是首次。今后,在高速铁路建设中,将会增加这一检测标准。根据孔隙率定义导出的公式,计算孔隙率必须先测出土壤的干密度。目前,国内测定粗粒土及级配砂砾石等填料的干密度多采用灌水法。然而,灌水法由于以下原因会产生较大偶然误差或系统误差:台秤感量精度低;水面目测不准;水的密度随温度变化;地表面不水平。这些因素产生的误差,有的可以消除,

但增加了检测的工作量。为提高测试精度,确保路基施工质量,研制一种测试精度高且操作简便的仪器实有必要。经多方调研,认为水囊式容积测定仪是替代灌水法的理想仪器。

1 国内外调研

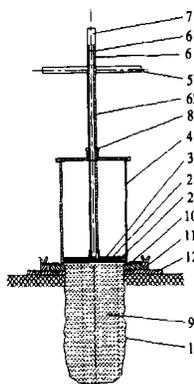
水囊式容积仪用于土壤密度现场测试源于美国,1963年正式列入标准(ASTM D2167-63)。1966年、1990年、1994年作过三次修订,现执行的是1994年修订的标准。德国将水囊式容积测定仪正式列入土壤密度现场测试标准仪器是在1975年(DIN 18125 part 2),1986年作了一次修订,现执行的仍是1986年标准。

作者简介: 李小勇,男,汉族,1970年生,山西翼城人,工学博士,浙江大学站内博士后,研究方向为路基压实质量检测技术的研究。

1985年,我国交通部参照美国 AASHTO 1974年的试验规程,将水囊式容积测定仪测定土壤密度的方法列入《公路土工试验规程》(JTJ-051-85),称为“水袋法”。由于仪器加工工艺不能满足使用要求,该规程1993年修订版(JTJ051-93)舍弃了水袋法标准。

2 新型水囊式容积测定仪结构和工作原理

国内外现有不同类型的容积测定仪,结构型式各异,但工作原理类同。相比之下,德国仪器不需附属气泵,结构较为简单,但也存在水囊不能完全收缩的缺点。2000年5月,在充分汲取国内外经验教训的基础上,铁道建筑研究设计院研制出了具有独立知识产权的国内新型水囊式容积测定仪。这种仪器的基本结构见图1。



1—水囊 2—隔离片 3—活塞 4—缸筒 5—手柄
6—活塞杆 7—排气阀 8—游标 9—水 10—底板
11—紧固螺栓 12—护坑钢环 21—隔离片孔眼
61—水位标志 62—mm 刻度标尺

图1 水囊式容积测定仪结构示意图

使用时,将附件护坑钢环(12)置于测试位置(地面不要求平整),随后,将本仪器置于其上并用紧固螺栓(11)紧紧扣住仪器底板(10)(此时介质水全部在缸筒内)。打开排气阀(7),用手柄(5)慢慢向下推动活塞(3),直至空心活塞杆(6)中的液面升至水位标志(61)。关上排气阀(7),待液面稳定后,通过游标(8)读取初读数(L_0)并作记录(初读数可事前在任一硬的平地面上读取)。提起活塞(3),水全部汲入缸筒中。松开紧固螺栓(11),将仪器移离

护坑钢环(12)。接着,按护坑钢环(12)内圆直径开挖试坑,直至挖到测试深度。挖出的土全部称重,并留部分试样作含水量试验。试坑挖好后,将仪器重新置于护坑钢环(12)上并固定。按上述方法慢慢向下推动活塞(3),液面再次升至水位标志时,读取终读数(L_1)并作记录,按下式计算试坑容积:

$$V = A(L_1 - L_0) \quad (1)$$

式中: V ——试坑容积, cm^3 ;

A ——活塞面积, cm^2 ;

L_1 ——终读数, cm ;

L_0 ——初读数, cm 。

3 仪器可靠性评定

3.1 模拟试坑标准罐制作

3.1.1 主要参数

模拟填料最大粒径:20 mm。

模拟试坑标准罐尺寸:直径约15 cm,深度约20 cm。

3.1.2 制作方法

将模拟填料装入预制木箱内,分层夯实。

按 TBJ102-96 标准开挖试坑^[1]。

在开挖好的试坑内灌入熔融石蜡,等石蜡冷凝后,拆掉木箱,取出蜡芯。

用蜡芯做内模,塑料桶做外模,浇注混凝土,等混凝土达到一定强度后,取出蜡芯,将罐顶用石膏抹平。

3.1.3 模拟试坑标准罐体积标定

标定前,先在罐内灌满水,存放24 h后,将水舀干,用纯净自来水进行标定。当三次标定相差不大于罐体积的0.1%时,取三次标定的平均值。标定时,水温 12°C ,每克水的体积为 1.00048 cm^3 ,考虑了温度影响的标定结果,第一次为 3254.16 cm^3 、第二次为 3255.34 cm^3 、第三次为 3255.80 cm^3 。三次标定的均值为 3255.10 cm^3 ,最大极差 1.64 cm^3 ,为均值的0.05%。因此标准罐体积标真值为 3255.10 cm^3 。

3.2 室内试验

对已知体积标准罐用水囊法进行30次试

验,试验结果、误差分析和随机因子^[2~4]列于表1。表1中绝对误差为实测值减去标准罐体积真值,相对误差为绝对误差与标准罐体积真值比值的百分数,随机因子为标准罐体积真值与实测值的比值。室内试验测定值和随机因子的特征值见表2。

表1 模拟试坑标准罐体积室内试验结果分析

| 试验编号 | 水 囊 法 | | | 随机因子 |
|------|----------------------|-----------------------|---------|------|
| | 实测值 /cm ³ | 绝对误差 /cm ³ | 相对误差 /% | |
| 1 | 3 218 | -37 | -1.14 | 1.01 |
| 2 | 3 219 | -36 | -1.11 | 1.01 |
| 3 | 3 217 | -38 | -1.17 | 1.01 |
| 4 | 3 214 | -41 | -1.26 | 1.01 |
| 5 | 3 214 | -41 | -1.26 | 1.01 |
| 6 | 3 230 | -25 | -0.77 | 1.01 |
| 7 | 3 223 | -32 | -0.99 | 1.01 |
| 8 | 3 224 | -31 | -0.96 | 1.01 |
| 9 | 3 219 | -36 | -1.10 | 1.01 |
| 10 | 3 226 | -29 | -0.88 | 1.01 |
| 11 | 3 226 | -29 | -0.89 | 1.01 |
| 12 | 3 215 | -40 | -1.23 | 1.01 |
| 13 | 3 217 | -38 | -1.18 | 1.01 |
| 14 | 3 219 | -36 | -1.11 | 1.01 |
| 15 | 3 203 | -52 | -1.61 | 1.02 |
| 16 | 3 234 | -21 | -0.65 | 1.01 |
| 17 | 3 225 | -30 | -0.91 | 1.01 |
| 18 | 3 209 | -46 | -1.42 | 1.01 |
| 19 | 3 213 | -42 | -1.28 | 1.01 |
| 20 | 3 227 | -28 | -0.86 | 1.01 |
| 21 | 3 213 | -42 | -1.28 | 1.01 |
| 22 | 3 218 | -37 | -1.14 | 1.01 |
| 23 | 3 222 | -33 | -1.02 | 1.01 |
| 24 | 3 212 | -43 | -1.31 | 1.01 |
| 25 | 3 207 | -48 | -1.47 | 1.01 |
| 26 | 3 220 | -35 | -1.08 | 1.01 |
| 27 | 3 220 | -35 | -1.08 | 1.01 |
| 28 | 3 216 | -39 | -1.20 | 1.01 |
| 29 | 3 219 | -36 | -1.11 | 1.01 |
| 30 | 3 240 | -15 | -0.46 | 1.00 |

表2 水囊法标准罐体积实测值特征值

| 试验方法 | 测 定 值 | | 随 机 因 子 | |
|------|--------------------|---------------------|---------|---------|
| | 均值/cm ³ | 标准差/cm ³ | 均值 | 标准差 |
| 水 囊 | 3 219 | 7.735 6 | 1.011 1 | 0.002 4 |

3.3 体积相对误差与干密度相对误差的关系
 体积相对误差 Δ_v 为:

$$\Delta_v = \frac{V_c - V_s}{V_s} = \frac{V_c}{V_s} - 1 \quad (2)$$

式中: V_c——标准罐测试体积, cm³;

V_s——标准罐体积真值, cm³。

干密度相对误差 Δ_m 为:

$$\Delta_m = \frac{\rho_c - \rho_s}{\rho_s} \quad (3)$$

式中: ρ_c——由标准罐测试体积计算的干密度, g/cm³;

ρ_s——由标准罐体积真值计算的干密度, g/cm³。

因为

$$\rho_c = \frac{m}{V_c} \quad (4)$$

$$\rho_s = \frac{m}{V_s} \quad (5)$$

式中: m——试样质量, g。

$$\Delta_m = \frac{\rho_c - \rho_s}{\rho_s} = \frac{\frac{1}{V_c} - \frac{1}{V_s}}{\frac{1}{V_s}} = \frac{V_s}{V_c} - 1 \quad (6)$$

由式(1)和式(2)可得干密度的相对误差与体积的相对误差关系式为:

$$\Delta_m = \frac{1}{\Delta_v + 1} - 1 \quad (7)$$

干密度相对误差与体积相对误差数据比较见表3。由表3可知,干密度相对误差与体积相对误差符号正好相反;干密度相对误差绝对值与体积相对误差绝对值成正比;在相对误差较小时(小于2%),两者绝对值基本相等。

据表1试验结果可知,水囊法测出的体积较标准罐体积真值偏小,体积相对误差为: -0.46%~ -1.61%,由式(6)可得干密度

相对误差为 0.46 %~1.64 %。

表 3 干密度相对误差与体积相对误差数据比较

| 编号 | 干密度相对误差/% | 体积相对误差/% | 编号 | 干密度相对误差/% | 体积相对误差/% |
|----|-----------|----------|----|-----------|----------|
| 1 | 0.10 | -0.10 | 31 | 1.60 | -1.57 |
| 2 | 0.15 | -0.15 | 32 | 1.65 | -1.62 |
| 3 | 0.20 | -0.20 | 33 | 1.70 | -1.67 |
| 4 | 0.25 | -0.25 | 34 | 1.75 | -1.72 |
| 5 | 0.30 | -0.30 | 35 | 1.80 | -1.77 |
| 6 | 0.35 | -0.35 | 36 | 1.85 | -1.82 |
| 7 | 0.40 | -0.40 | 37 | 1.90 | -1.86 |
| 8 | 0.45 | -0.45 | 38 | 1.95 | -1.91 |
| 9 | 0.50 | -0.50 | 39 | 2.00 | -1.96 |
| 10 | 0.55 | -0.55 | 40 | 2.05 | -2.01 |
| 11 | 0.60 | -0.60 | 41 | 2.10 | -2.06 |
| 12 | 0.65 | -0.65 | 42 | 2.15 | -2.10 |
| 13 | 0.70 | -0.70 | 43 | 2.20 | -2.15 |
| 14 | 0.75 | -0.74 | 44 | 2.25 | -2.20 |
| 15 | 0.80 | -0.79 | 45 | 2.30 | -2.25 |
| 16 | 0.85 | -0.84 | 46 | 2.35 | -2.30 |
| 17 | 0.90 | -0.89 | 47 | 2.40 | -2.34 |
| 18 | 0.95 | -0.94 | 48 | 2.45 | -2.39 |
| 19 | 1.00 | -0.99 | 49 | 2.50 | -2.44 |
| 20 | 1.05 | -1.04 | 50 | 2.55 | -2.49 |
| 21 | 1.10 | -1.09 | 51 | 2.60 | -2.53 |
| 22 | 1.15 | -1.14 | 52 | 2.65 | -2.58 |
| 23 | 1.20 | -1.19 | 53 | 2.70 | -2.63 |
| 24 | 1.25 | -1.23 | 54 | 2.75 | -2.68 |
| 25 | 1.30 | -1.28 | 55 | 2.80 | -2.72 |
| 26 | 1.35 | -1.33 | 56 | 2.85 | -2.77 |
| 27 | 1.40 | -1.38 | 57 | 2.90 | -2.82 |
| 28 | 1.45 | -1.43 | 58 | 2.95 | -2.87 |
| 29 | 1.50 | -1.48 | 59 | 3.00 | -2.91 |
| 30 | 1.55 | -1.53 | | | |

据表 2 中特征值可知,水囊法测定值均值比较接近标准罐体积的真值,而且其标准差较小;水囊法随机因子的均值都大于 1,可认为是对标准罐体积真值的负偏估计^[4],水囊法随机因子的标准差较小,远小于 0.1,因此水囊法测试结果的可靠性较高。

3.4 水囊法测试特点

灌砂法和灌水法是目目前密度试验的常用

方法。灌砂法已沿用多年,技术比较成熟,测试精度较高,工作原理、操作方法都比较简单,所用设备也比较便宜,主要缺点是工效低。灌水法主要优点是设备简单,操作简便,主要缺点是测试精度低。水囊法兼有灌砂法和灌水法所具有的主要优点,并克服了灌砂法和灌水法的缺点。水囊式容积测定仪有以下主要特点:

1) 结构简单,操作方便;

2) 测试精度不受上述灌水法那几种因素影响;

3) 主体结构材料由有机玻璃制作,重量轻,携带、搬运方便;

4) 薄壁(壁厚 0.25~0.30 mm)乳胶水囊在 0.8 m 水头压力下可与坑壁充分密贴,从而保证了测试精度。

4 结论

水囊法密度试验方法的测试精度较高,能够满足土工测试的要求。水囊式容积测定仪结构简单、操作方便、性能稳定,用户易于接受。

研究表明,水囊式容积测定仪的研制是成功的,具有较大的应用前景。

本研究得到了铁道建筑研究设计院富志根、张贵珍、王安生三位高工指导,在此表示感谢。

参 考 文 献

- 1 TBJ102-96 铁路工程土工试验规程
- 2 Ronold K O, Bjerager P. Model uncertainty representation in geotechnical reliability analysis. ASCE, J Geotech Engrg, 1992, 118(3): 394~405
- 3 李小勇,贾新征,谢康和. 地基土抗剪强度指标测定方法的不确定性研究. 太原理工大学学报, 2000, 31(5): 581~584
- 4 李小勇,谢康和,虞颜. 岩土参数试验方法不确定性的评定方法. 科技通报, 2001, 17(5): 21~25

收稿日期:2002-07-05