

超径无粘性粗粒土填筑标准的确定方法^{*}

田堪良, 张慧莉, 张伯平, 扈胜霞

(西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨陵 712100)

[摘 要] 受室内测试方法及模拟理论研究的限制, 超径无粘性粗粒土的最大、最小干密度应通过现场碾压试验来确定。基于黄河小浪底及陕西省黑河水利工程大坝填筑质量控制检测的实践, 提出了通过现场碾压试验来确定超径无粘性粗粒土的最大、最小干密度的密度试验桶法, 使试验用料的最大粒径由 100 mm 增大到 360 mm。介绍了用 4 因素 ($\rho_d \sim d_{\max} \sim p_5 \sim D_r$) 相关图进行质量控制的方法、超径无粘性粗粒土全料含水量计算的经验公式以及含特大粒径砾石料的无粘性粗粒土填筑质量的评价方法。

[关键词] 超径无粘性粗粒土; 填筑标准; 最大干密度

[中图分类号] TU 441⁺. 8

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387 (2002) 06-0193-05

随着高土石坝的研究以及大型土石方施工机械的研制, 重型振动碾的应用使超径无粘性粗粒土在土石坝工程中的应用越来越广泛, 被用作高土石坝堆石坝坝壳料的砂卵石、堆石料的最大粒径已达到 500~1 000 mm^[1, 2]。而在室内通过振动台法仅能测得最大粒径为 $D_{\max} = 80 \sim 100$ mm 的无粘性粗粒土的最大干密度。近几年来, 虽已提出了几种通过振动台法测定模拟级配料的最大干密度, 用外推法确定原型级配的最大干密度的方法^[1, 3, 4], 但这些方法均存在偏差, 尤其是对大粒径超径料, 偏差无法估计, 难以应用于工程实践。研究资料^[5]表明, 采用表面振动器能获得比振动台法更好的压实效果, 在室内与现场颗粒级配一致时, 室内通过振动台法测得的最大干密度也低于现场振动碾压测定的结果。为了探索一个科学、精确的超径无粘性粗粒土的填筑标准确定方法及填筑质量控制方法, 笔者基于在黄河小浪底及陕西省黑河水利工程大坝填筑质量控制检测的实践, 提出了用现场碾压试验, 采用原型级配料的密度试验桶法, 确定超径(最大粒径大于室内振动台法试验材料的最大粒径)无粘性粗粒土的最大、最小干密度, 并介绍了用 4 因素 ($\rho_d \sim d_{\max} \sim p_5 \sim D_r$) 相关图进行质量控制的方法, 给出了超径无粘性粗粒土全料含水量的经验计算公式, 以及含特大粒径(最大粒径大于现场密度试验桶法试验材料

的最大粒径)砾石料的无粘性粗粒土的填筑质量评价方法。

1 确定最大、最小干密度的方法

1.1 试验材料

用于测定最大、最小干密度的超径无粘性粗粒土按 5 条级配线配置, 分别为料场勘察颗粒级配曲线的上包线(a)、上平均线(b)、平均线(c)、下平均线(d)及下包线(e)。这 5 条代表性级配曲线的最大粒径分别为 $D_{\max}$, $D_{\max}$, $D_{\max}$, $D_{\max}$ 和 $D_{\max}$ 。如图 1 所示。

1.2 测定最大、最小干密度

最大干密度采用密度试验桶法测定。具体做法为: 加工直径为 140 cm, 高为 100 cm 的铁桶, 将配制好的原型级配料均匀装入试验桶内, 埋设在铺料厚度为 120 cm 的试验区内。用施工中振动压实效果最好的振动碾碾压 20~25 遍, 再在密度试验桶上方定点振压 15~20 min。然后测定密度试验桶中所装超径无粘性粗粒土的干密度, 该干密度可视为现有碾压设备所能达到的最大干密度。最小干密度采用人工松填法, 将试验材料均匀松填于密度试验桶内, 测定最小干密度。共计测定 25 组最大、最小干密度。

对以上 5 个代表性级配中的每 1 个, 按不同料含量 p_5 配制 5 个原型样。例如, 对平均级配线

^{*} [收稿日期] 2001-11-21

[作者简介] 田堪良 (1968-), 男, 陕西周至人, 工程师, 在读硕士, 主要从事岩土工程研究。

(c) 所配制的 5 个样的级配如图 2 所示, 平均级配线 (c) 的粗料含量 $p_5 = 75\%$, 则其余 4 条级配线的粗

料含量 p_5 分别为 55%, 65%, 85% 和 95%。5 个代表性级配线共配制 25 组原型试样。

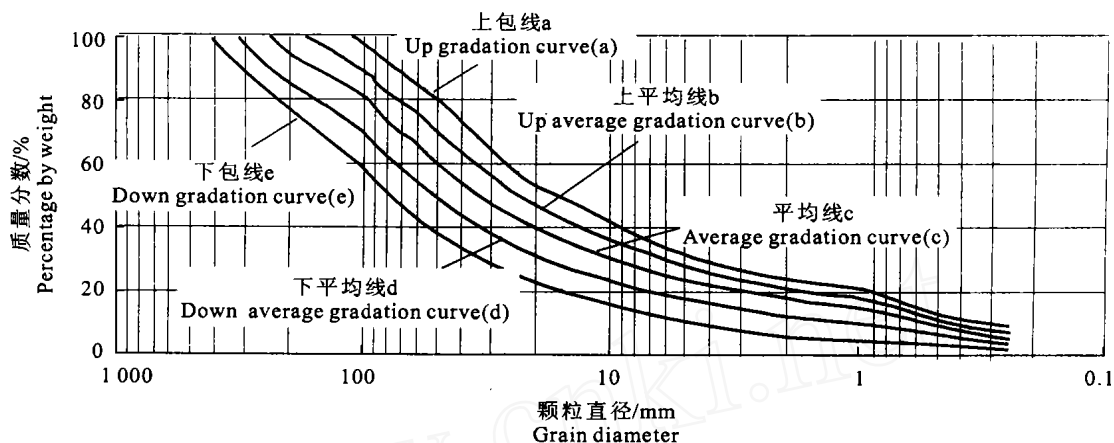


图 1 代表性级配曲线

Fig 1 The representative gradation curve

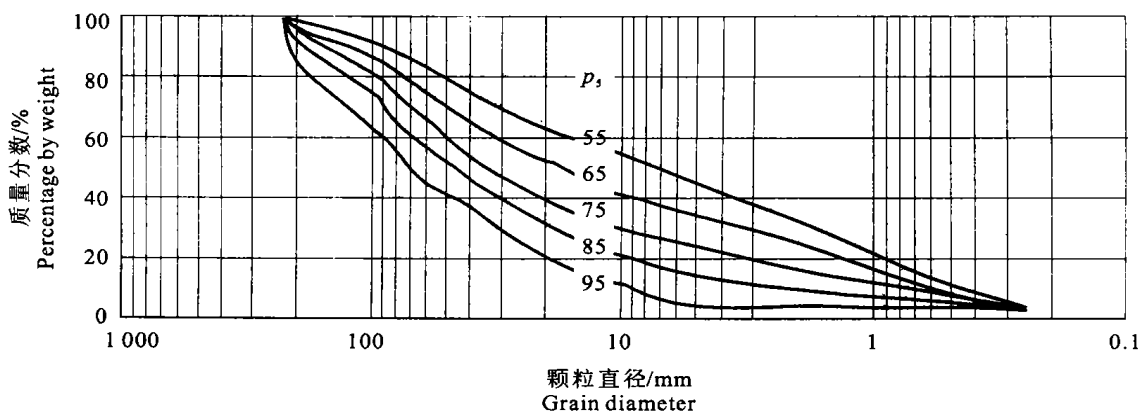


图 2 平均级配线 c 的不同粗料含量级配线

Fig 2 The gradation curve of different coarse fraction content of average gradation (c)

2 用 4 因素相关图进行填筑质量控制

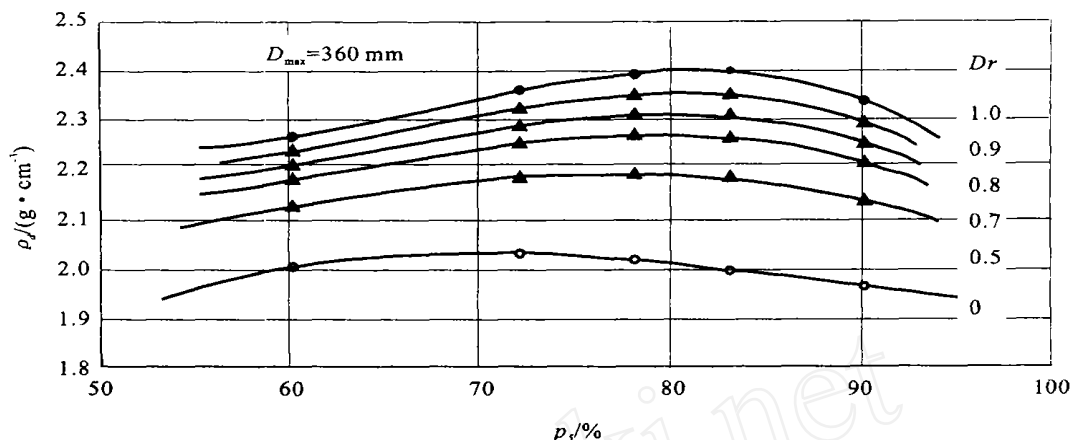
2.1 绘制 4 因素 ($\rho_d \sim d_{\max} \sim p_5 \sim D_r$) 相关图

压实功能一定时, 影响超径无粘性粗粒土的最大干密度的主要因素是最大粒径 $D_{\max}$ 和粗料含量 p_5 。对应于每一条代表性级配曲线, $D_{\max}$ 为代表性级配超径无粘性粗粒土的最大粒径, 已测得 5 组不同粗料含量 p_5 时的最大、最小干密度。以粗料含量 p_5 为横坐标, 以干密度 ρ_d 为纵坐标, 绘制 4 因素 ($\rho_d \sim d_{\max} \sim p_5 \sim D_r$) 相关图 (图 3)。图 3 中, 相对密实度 $D_r = 1.0$ 及 $D_r = 0$ 两条线上的点分别为不同粗料含量时测得的最大、最小干密度, 其余 4 条线 ($D_r = 0.5$, $D_r = 0.7$, $D_r = 0.8$ 和 $D_r = 0.9$) 上

的点是给定相对密实度值由最大、最小干密度计算得出的。对应于 5 条代表性级配曲线共绘制 5 幅代表性 4 因素 ($\rho_d \sim d_{\max} \sim p_5 \sim D_r$) 相关图。

2.2 填筑质量控制

检测填筑质量时, 用灌水法在现场测定超径无粘性粗粒土的填筑干密度 ρ_d , 并测定试坑中填筑料的最大粒径 $d_{\max}$ 及粗料含量 p_5 , 按最大粒径相近的原则选定适用的代表性 4 因素 ($\rho_d \sim d_{\max} \sim p_5 \sim D_r$) 相关图, 由测得的填筑干密度 ρ_d 和粗料含量 p_5 可查得对应的相对密实度 D_r 的值, 将该相对密实度值与设计要求的相对密实度值进行比较, 即可判断所测点的填筑质量是否合格。

图3 代表性4因素 ($\rho_d \sim d_{\max} \sim p_5 \sim D_r$) 相关图Fig. 3 The representative four-factor ($\rho_d \sim d_{\max} \sim p_5 \sim D_r$) correlated diagram

3 质量检测中存在问题的解决

3.1 全料含水量的计算

在测定超径无粘性粗粒土的干密度时, 需测定其含水量, 由于超径无粘性粗粒土的粒径大、级配不均匀, 要测其含水量的精确值就必须测定全料的含水量, 而这样做工作量非常大。因而, 在实际工程中, 常通过测定细料的含水量由经验公式推算全料的含水量。建议的经验公式为

$$w = (p_5/100)w_c + (p < 5/100)w_{<5},$$

式中, w 为全料的含水量, %; p_5 为粗料 (≥ 5 mm) 含量, %; $p < 5$ 为细料 (< 5 mm) 含量, %; $w_{<5}$ 为细料实测含水量, %; w_c 为粗料含水量经验值, %, 当 $w_{<5} \geq 5\%$ 及 $w_{<5} < 5\%$ 时, 取不同值, 由试验确定。

由于不同工程中使用的超径无粘性粗粒土的级配特性及含泥量不同, 因而, 经验公式中的参数 w_c 的取值不同, 可通过做多组全料含水量与细料含水量的对比试验, 按细料含水量的不同变化范围取不同的值, 实践证明, 按该经验公式计算的全料含水量值的绝对误差一般均小于 1%。

3.2 特大粒径料的处理

在检测中, 有时会遇到试坑挖出料中含有大于碾压试验中测定最大干密度时的最大粒径的特大粒径料, 测得的干密度很大, 使已绘制的代表性 4 因素 ($\rho_d \sim d_{\max} \sim p_5 \sim D_r$) 相关图均不适用, 从而无法评价该测点的填筑质量。因此, 建议用特大粒径料的周围填筑料的填筑质量来评价该测点的填筑质量。用 (1) 式^[2]计算周围填筑料的填筑干密度的近

似值。

$$\rho_d = \frac{\rho'_d G_s \rho_w (1 - p)}{G_s \rho_w - \rho'_d p} \quad (1)$$

式中, ρ_d 为特大粒径料周围填筑料的干密度; ρ'_d 为所测得的含特大粒径料的填筑料 (总料) 的干密度; G_s 为特大粒径料的相对密度; ρ_w 为水的密度, 1 g/cm^3 ; p 为特大粒径料占总料的百分比。其中, ρ'_d 和 p 在检测试验中已测得, ρ_w 已知, G_s 采用估计值, 取 $G_s = 2.72$ 。误差分析如下。

一般情况下, 砂砾石的相对密度 G_s 为 2.66~2.78, 如 G_s 采用中间值 2.72 作为估计值, 则其与准确值之间的最大绝对误差为 $\Delta G_s = 0.06$ 。

由计算公式求 ρ_d 对 G_s 的导数

$$\frac{d\rho_d}{dG_s} = \frac{\rho'_d \rho_w (1 - p) (G_s \rho_w - \rho'_d p) - \rho'_d G_s \rho_w (1 - p) \rho_w}{(G_s \rho_w - \rho'_d p)^2}$$

当取 $\rho'_d = 2.40 \text{ g/cm}^3$, $\rho_w = 1.0 \text{ g/cm}^3$, $G_s = 2.72$, $p = 20\%$ 时

$$\frac{d\rho_d}{dG_s} = -0.183\%$$

负值表示 ρ_d 随 G_s 增大而减小。故相应于 G_s 的最大绝对误差 $\Delta G_s = 0.06$, ρ_d 的最大绝对误差为

$$\Delta \rho_d = 0.183\% \Delta G_s = 0.011\%$$

在砂砾石填筑质量检测中, 由于试坑较大, 多采用灌水法测定填筑密度, 但由于薄膜不能紧贴凹凸不平的坑壁, 并有折、皱等现象, 使测得的体积偏小, 计算的干密度偏大^[6], 与灌砂法相比, 有时差值达 0.03 g/cm^3 。而 G_s 的估计值采用 2.72 所产生的误差远小于该差值。

由剔除特大粒径料后周围填筑料的最大粒径选用代表性 4 因素 ($\rho_d \sim d_{\max} \sim p_5 \sim D_r$) 相关图, 用计

算出的周围填筑料的干密度 ρ_d 及周围填筑料的粗料含量 p_5 , 查图可得周围填筑料的相对密度值, 即可判断该测点的填筑质量是否合格。

3.3 检测试验方法

粗粒土现场密度检测一般采用灌水法或灌砂法, 对于超径无粘性粗粒土, 检测试验试坑较大, 采用灌砂法很不方便, 工作量很大, 故一般采用灌水法。建议在用碾压试验测定最大、最小干密度时, 也采用灌水法, 这样就与检测试验方法一致。

4 工程实例

陕西省黑河水利枢纽工程坝壳料采用下游河床砂卵石, 在确定填筑标准时, 最大干密度用密度试

验桶法测定。加工直径为 140 cm, 高为 100 cm 的铁桶, 将配制好的原型级配料均匀装入试验桶内, 埋设在铺料厚度为 140 cm 的试验区内。用 18 t 振动碾, 以 2.5 km/h 的行速和 27.5 Hz 的振动频率, 碾压 24 遍, 再在密度试验桶上方定点振压 15 min。然后测定密度试验桶中所装超径无粘性粗粒土的干密度, 视其为最大干密度。最小干密度采用人工松填法测得。平均级配线的 4 因素 ($\rho_d \sim d_{\max} \sim p_5 \sim D_r$) 相关图如图 4 所示。含水量计算的经验公式为

$$w = (p_5/100)w_c + (p_{<5}/100)w_{<5},$$

当 $w_{<5} \geq 5\%$ 时, 取 $w_c = 2.35\%$; 当 $w_{<5} < 5\%$ 时, 取 $w_c = 1.57\%$ 。

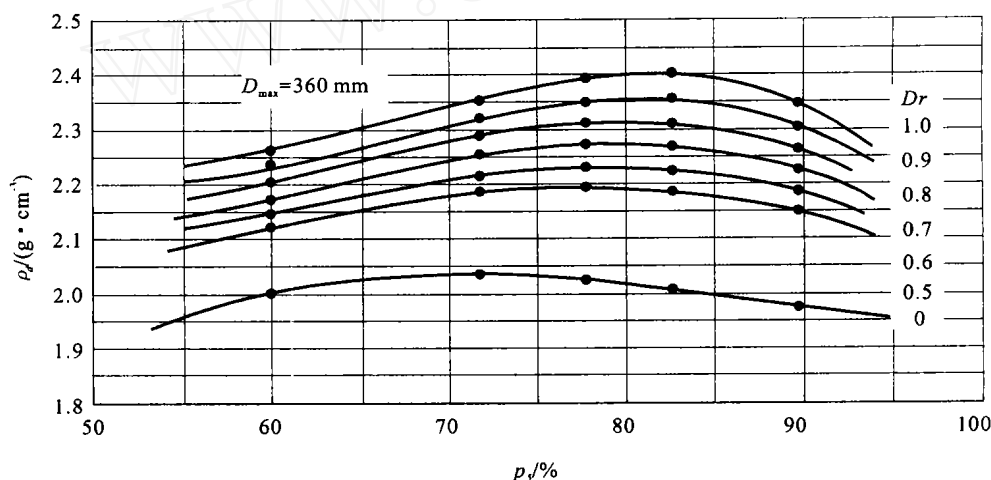


图 4 平均级配线 4 因素 ($\rho_d \sim d_{\max} \sim p_5 \sim D_r$) 相关图

Fig. 4 The four-factor ($\rho_d \sim d_{\max} \sim p_5 \sim D_r$) correlated diagram of average gradation

在坝壳砂砾石填筑质量检测中, 用灌水法测定填筑干密度, 有时会遇到试坑中所挖出料的最大粒径 $d_{\max} > 360$ mm, 测得的干密度 $\rho_d > 2.40$ g/cm³, 使得按图 4 所查得的相对密度值大于 1, 这显然是不合理的, 使这些测点的填筑质量无法评定。采

用本研究所提供的计算公式计算特大粒径料周围填筑料的干密度 ρ_d , 采用剔除特大粒径砂砾石后的粗料含量 p_5 , 在图 4 所示的 4 因素 ($\rho_d \sim d_{\max} \sim p_5 \sim D_r$) 相关图中查得 D_r 值, 详见表 1。 D_r 值均大于 0.8, 可判断这些测点的填筑质量合格。

表 1 特大粒径料周围填筑料相对密度计算

Table 1 The calculated output of placement of sandy gravel surroundings with very big gravel

试验编号 Testing number	最大粒径/mm Maximum gravel diameter	$\rho_d / (g \cdot cm^{-3})$	G_s	$p / \%$	$\rho_d / (g \cdot cm^{-3})$	$p_5 / \%$	D_r
BK-1	440	2.42	2.72	12.1	2.384	79.3	0.96
BK-14	450	2.42	2.72	17.3	2.365	75.9	0.94

5 结 语

1) 采用密度试验桶法, 在碾压试验中测定超径无粘性粗粒土的最大、最小干密度, 为测定超径粗粒土的最大干密度及确定其填筑标准提供了有效的途径。用 4

因素 ($\rho_d \sim d_{\max} \sim p_5 \sim D_r$) 相关图进行超径无粘性粗粒土填筑质量控制是科学、合理、便捷的。

2) 提出的计算超径无粘性粗粒土全料含水量的经验公式以及含特大粒径料的填筑料填筑质量评价方法, 具有较高的可靠性和实用性。

[参考文献]

- [1] 田树玉 用渐近线辅助拟合法确定大粒径砂卵石最大干容重 [J] 岩土工程学报, 1991, 14 (1): 35- 43
- [2] 郭庆国 粗粒土的工程特性及应用 [M] 郑州: 黄河水利出版社, 1998
- [3] 刘贞草 大粒径粗粒材料最大密度的研究 [J] 土石坝工程, 1987, (2): 59- 64
- [4] 史彦文 大粒径砂卵石最大密度的研究 [J] 土木工程学报, 1981, (2): 53- 58
- [5] 冯冠庆, 杨荫华 堆石料最大指标密度室内试验方法的研究 [J] 岩土工程学报, 1992, 14 (5): 37- 45
- [6] SL 237-1999, 土工试验规程 [S] 北京: 中国水利水电出版社, 1999

The method for detemining the placem ent standards of oversized cohesionless coarse grained soil

TIAN Kan-liang, ZHANG Hui-li, ZHANG Bo-ping, HU Sheng-xia

(College of Water Resources and A rchitectural Engineering, Northw est Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The maximum dry density and the minimum dry density of oversized cohesionless coarse grained soil should be determined by field compaction test because of the limitation of the method of the laboratory test and the study of model theory. The density testing barrel method is proposed so that the maximum grain diameter of testing material is increased from 100 mm to 360 mm. The method of controlling placement quality by the four-factor ($\rho_d \sim d_{max} \sim p_s \sim D_r$) correlated diagram, the empirical formula of calculating oversized cohesionless coarse grained soil water content and the method for determining the placement of cohesionless coarse grained soil containing very big gravel are also introduced.

Key words: oversized cohesionless coarse grained soil; placement standard; maximum dry density

(上接第 192 页)

The combined circuit device of transducer and amplifier in water-measuring meter

SHI Xin-ling¹, CHEN Meng-hua², LIU Yun-peng¹

(1 College of Life Science; 2 College of Water Resources and Architectural Engineering, Northw est Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The paper introduces a design and usage of transducer and amplifier in water-level meter. Firstly the transducer that is connected primarily by a chip with four strain resistance has an advantage of eliminating spurious signals automatically caused by change of temperature. Then, the sensibility of transducer is raised. Secondly the control circuit has an ability to restrain disturbance greatly from outer-circumstance because it used the in-phase amplifiers with high input impedance and combined with in-series differential amplifier. Consequentially, a high common mode ratio is caused by the combined control circuit. At the same time, the designing method of combined and controlled circuit based on CYG13B transducer and integrated amplifier was offered. Finally the new device that our water-measuring meter has is superior in reliability and stability.

Key words: water-level meter; pressure transducer; amplifier; combined control circuit