

文章编号:1671-8879(2006)01-0035-03

土石混合料压实质量控制方法

刘丽萍¹, 王东耀^{1,2}

(1. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 西安 710064;

2. 陕西省高速公路建设集团公司, 西安 710086)

摘 要:从现行压实质量控制指标存在的问题出发, 针对土石混合料颗粒组成和含水状态极不均匀的特点, 为便于实际应用, 引入密度干涉系数和最佳含水量系数对最大干密度的理论计算法进行了改进, 探讨了用空隙率控制法和不同粗集料含量下改进的工地压实度控制方法, 作为土石混合料压实质量控制标准的可行性。工程实例表明, 两种方法能在一定程度上取得较好的控制效果, 其中空隙率控制法不必进行室内大型击实试验, 但仍需求出现场干密度。

关键词:道路工程; 土石混合料; 压实控制方法; 空隙率; 粗料含量; 质量控制

中图分类号:U416.1

文献标识码:A

Compaction Quality Control Methods of Earth-rock Mixture

LIU Li-ping¹, WANG Dong-yao^{1,2}

(1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, China; 2. Shaanxi Expressway Construction Group Company, Xi'an 710086, China)

Abstract: Proceeded from the problems in the current compaction standard, directed against the uneven characteristics of grain composition and water content of earth-rock mixture, this paper improves the computational method of the biggest dry density by using the coefficient of density and optimal moisture. This paper also studies the void ratio control method and the improved field compaction method under different coarse aggregate percentage, and discusses their feasibility being used as compaction control standard. An example shows that the two methods can achieve good results to some extent. When using the void ratio control method, a large indoor compaction test should not be done, but the field dry density must be calculated. 2 figs, 6 refs.

Key words: road engineering; earth-rock mixture; compaction control method; void ratio; coarse aggregate percentage; quality control

0 引 言

近年来在中国山区公路建设中, 公路路堤层常使用路堑及隧道挖方填筑, 这种填筑材料大都由土石混合而成, 在施工中公路沿线几乎每段粗料的含量都不相同, 因而各自的干密度自然也不相同, 有时

差别还很大。这样在控制压实度时, 经常会出现由于最大干密度取值不准确而引起有点压实度不够, 有点却大于 100% 的情况。对此一般有两种处理方法: 一是把各组击实曲线平均, 显然这有些勉强; 二是在施工前作大量的试样分类试验并进行击实试验, 然后找出最大干密度与分类指标之间的相

收稿日期: 2005-02-22

作者简介: 刘丽萍(1974-), 女, 山西晋中人, 工程师, 工学博士研究生。

互关系,再根据试验结果选择控制标准密度^[1]。此法不仅工作量大,而且费时。为此,本文提出以空隙率控制工地压实质量、不同粗料(粒径 ≥ 5 mm)含量下以压实度作为工地压实结果的控制方法,以期为工程建设提供参考。

1 现行压实指标存在的问题

分析国内外压实控制,发现压实度控制法与竣工工程存在差异,其中最主要的原因是室内标准击实与工地取样检验都是小试样,而这小试样的测定结果却要代表一段相当长的路段。压实度控制法首先要确定标准击实曲线,由于工地实际含水量不同,相应要有击实功的最大干密度,但它既不一定是轻型击实结果,又不一定是重型击实结果。

压实土体一般处于水、固、气三相状态,当干密度一定时,含水量大,气体所占体积小,反之气体所占体积大。显然空气体积越大,在浸水后能吸收的水分越多,空气体积被水充满后土体软化,强度便降低,压缩性增强,稳定性降低,这也就是为什么一些填方压实度检测是合格的,在雨季却发生大量沉降或边坡坍塌的主要原因。

2 最大干密度与最佳含水量

通常把室内标准击实曲线得到的最大干密度与其相应的含水量称为最佳含水量,最大干密度与最佳含水量有轻型、重型之分,而室内标准击实试验来自于工地。当压路机以轻型为主时,从工地得到的压实最佳状态与压实遍数,以其相应的压实功定为室内轻型压实标准;当工地以重型压路机为主时,从工地得到的最佳压实状态与压实遍数,以其相应的压实功定为室内重型击实标准,重型击实的含水量要小于轻型的。关键问题是土基处于什么样的含水量才是稳定的,因地基的稳定含水量与自然环境有关。若当地土基的天然含水量小,必须采用重型压实机械压实;若当地土基的天然含水量大,只能采用轻型压实机械。此时如勉强把含水量降低使其适应重型压实要求,过一个阶段后由于自然环境的作用,土基含水量必然增大,使已压实的土反而处于不稳定状态。各地自然环境下的土基都有与稳定相适应的平衡含水量,故平衡含水量才是真正的最佳含水量。

3 空隙率控制工地压实质量的方法

从前面的分析可知,压实度作为检测指标,难以真实地反映压实土体所处的状态,必须在此基础上

增加能反映含水量的指标。对于土石混合料,其问题更为突出,因为在最大干容重附近,它的含水量变化范围更广,同时还要考虑土石混合料不均匀的特点。根据土体的压实特性,压实度提高,意味着土体中空隙率减少。研究表明,空隙率相同的土体其强度和变形相差不大,且空隙率与土体强度和变形具有较好的相关关系。因此本文采用空隙率作为控制工地压实状态的评价方法,并分析其合理性。

土石混合料空隙率 V 可表示为

$$V = 1 - \frac{\rho_d}{\gamma_w} \left(\omega + \frac{100}{(1-P)/G_s + P/G_g} \right) \quad (1)$$

式中: ρ_d 为土石混合料干密度; γ_w 为水的容重; ω 为土石混合料含水量; G_s 、 G_g 分别为细料、粗料的视比重; P 为粗料的百分含量。

当 ω 为击实曲线最佳含水量 ω_o , ρ_d 为最大干密度 ρ_{dmax} 时,计算的空隙率为击实曲线峰值的空隙率;当 ω 为工地压实后的实际含水量, ρ_d 为实际干密度时,计算结果为压实后土体的空隙率。

现行规范^[2]不仅对路床、路堤上部或下部规定不同的压实度,还分别规定轻型标准与重型标准的压实度,如轻型标准时要求压实度为98%,重型标准则为95%等。实际上轻型、重型的最佳含水量相差很大,因而两者的压实度既不等效也不能折算,而空隙率控制法认为不同的含水量有其相应的不同最佳压实功,因而两者的含水量是相当的。含水量较小时,需较大的压实功;含水量较大时,可用较小的压实功^[3-4]。即在可压实的含水量范围内,含水量由小到大,相应压实功从大到小,压实度便会自动控制合理的范围内。据此,在实际工程中检测土石混合料的步骤为:①根据现场试验检测干密度 ρ_d 、含水量 ω 、粗料含量($P \geq 5$ mm)、颗粒的视比重 G_g 、 G_s (≤ 5 mm);②由式(1)计算 V ;③用公式 $V \leq 10\%$ (灌沙法检测时)或 $V \leq 8\%$ (核子密度仪检测时)判别压实是否合格。

4 不同粗料含量下压实度控制法

4.1 最大干容重的理论算法

土石混合料不同粗料含量下最大干容重的理论值 γ_{dmax} 为

$$\gamma_{dmax} = \frac{100}{(P/G_g\gamma_w) + (1-P)/\gamma_{dmax1}} \quad (2)$$

式中: γ_{dmax1} 为细料用标准功能单独击实后的最大干容重。

实际上,当粗料含量较大时,在同样击实功作用下,细料所受功必将减小,细料压实干容重值并不能达到 γ_{dmax1} 值,而是随着粗料含量增加而逐渐降

低。同时,粗料含量达到一定限度后,粗粒架空,细粒已不能填充粗粒空隙,从而使计算的最大干容重比实测的要大。因此式(2)需修正为

$$\gamma_{dmax} = \frac{100F_F \gamma_{dmax} G_G \gamma_w}{F_F \gamma_{dmax} P + (1-P)G_G \gamma_w} \quad (3)$$

式中: F_F 为修正系数, $F_F = \gamma'_{dmax} / \gamma_{dmax}$; γ'_{dmax} 为包含粗粒在内的细料最大干容重。

最佳含水量 ω_0 为

$$\omega_0 = \frac{\omega_s P_s + \omega_G P}{100} \quad (4)$$

式中: ω_s 为细料含水量; ω_G 为粗料含水量; P_s 为细料含量; P 为粗料含量。

4.2 理论计算最大干容重的改进方法

不同粗料含量最大干容重的计算方法所需参数较多,为便于实际应用,引入密度干涉系数和最佳含水量系数,并作如下改进。

(1) 密度干涉系数 I_c 定义为

$$I_c = 100F_F / (PG_G) \quad (5)$$

(2) 最佳含水量系数 F_{opt} 定义为

$$F_{opt} = 100\omega_{opt} / (P\omega_{opt}) \quad (6)$$

式中: ω_{opt} 为细料最佳含水量; ω_{opt} 为土石料整体最佳含水量。

(3) I_c 、 F_{opt} 与 P 的关系。根据室内大型击实试验结果,绘制 I_c - P 及 F_{opt} - P 关系曲线,如图1、图2所示。经回归后得到,当粗料含量 $< 75\%$ 时, I_c 与 P 基本服从双对数关系(R 为相关系数),有

$$\lg I_c = 1.7642 - 1.1690 \lg P, R = 0.9989$$

当粗料含量 $> 75\%$ 时, I_c 与 P 基本服从直线关系

$$I_c = 1.1690 - 0.0115P, R = 0.9996$$

由图2可以看出,最佳含水量系数 F_{opt} 与 P 关系也服从双对数关系,经回归得

$$\lg F_{opt} = 2.0538 - 0.9703 \lg P, R = 0.9969$$

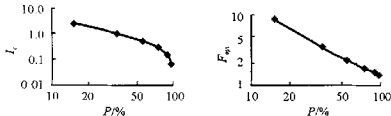


图1 I_c - P 关系曲线

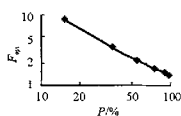


图2 F_{opt} - P 关系曲线

(4) 利用 I_c 及 F_{opt} 进行击实控制。当已知 I_c 、 F_{opt} 与 P 关系曲线后,根据式(5)求得 $F_F = I_c PG_G / 100$,然后代入式(3),便可求出不同粗料含量下的最大干容重 γ_{dmax} 为

$$\gamma_{dmax} = \frac{I_c P \gamma_{dmax} G_G \gamma_w}{\gamma_w P_s + I_c P^2 \gamma_{dmax}} \quad (7)$$

最佳含水量

$$\omega_{opt} = \omega_{opt} / (PF_{opt}) \quad (8)$$

其中,式(7)、式(8)中 P 为带“%”的值。

4.3 不同粗料含量下标准干容重的确定

对于土石混合料,在现场施工中由于其不均匀性,压实度控制应以一定粗料含量为基础,粗料含量不同,其最大干容重不同,因此只有找到最大干容重与粗料含量关系,才能确定出合理压实度。在施工现场测定压实度时,可按照灌砂法测出它的干密度,再筛取 5 mm 以上粗料,称出其质量,然后算出该粗料含量下的最大干密度,求出压实度^[3-6]。

5 工程实例

某一级公路路堤采用土石混合料填筑,某段下路床粗料含量为 34.5%、55%,粗粒比重 2.76,细料单独击实的最大干密度为 1.899 ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$),最佳含水量为 13.1%,经室内大型击实试验并计算得 I_c 分别为 0.950 9、0.521 7,从而最大干密度分别为 1.97 ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)、2.079 ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)。现场用灌砂法测定干密度,根据粗料含量采用 95% 的压实度控制标准,经检测满足工程要求。

6 结语

(1) 工程应用表明,以空隙率控制工地压实质量,不同粗集料含量下以压实度作为工地压实质量控制方法,在一定程度上能较好地控制压实质量。

(2) 工程实例中空隙率检测为不合格,一方面可能是空隙率的控制标准问题,另一方面两种方法之间的对比换算还有待研究。

(3) 空隙率控制法虽可避开室内大型击实试验的繁琐,但也没有避开现场求干密度的问题。因此,进一步研究准确、快速、简便的检测方法,将有助于提高压实质量控制效果。

参考文献:

References:

- [1] 长安大学,陕西省高速公路建设集团公司. 高等级公路土石混填路基压实标准检测方法研究[R]. 西安:长安大学,2002.
- Chang'an University, Shaanxi Expressway Construction Group Company. Study of Test Methods on Compaction Standard of Earth-rock Mixtures Subgrade [R]. Xi'an: Chang'an University, 2002.

(下转 48 页)

5 结 语

(1)既有桥梁的加固工作状态仿真要更多地考虑结构目前的状况,体现结构加固前后的不同,以得到桥梁实际运营的模拟结果。

(2)平面杆单元模型仅能粗略反映结构的受力状况,不适合既有桥梁的安全评估。

(3)使用空间梁单元模拟桁架桥的受力行为,可以考虑弯曲内力,能够比较真实地反映结构的受力状况。据此建立的桁架桥空间计算模型的受力特征与实际情况比较吻合,能够体现桥梁结构目前的受力行为,可用于结构的稳定、承载能力、桥梁加固后评价、剩余寿命预测和安全评估等后续工作。

参考文献:

References:

- [1] 王春生. 铆接钢桥剩余寿命与使用安全评估[D]. 上海: 同济大学, 2003.
WANG Chun-sheng. Assessment of Remaining Fatigue Life and Service Safety for Riveted Steel Bridges [D]. Shanghai: Tongji University, 2003.
 - [2] 王春生, 陈维珍. 既有钢桥工作状态模拟与剩余寿命评估[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2004, 24(1): 43-47.
WANG Chun-sheng, CHEN Wei-zhen. 3D Finite Element Model Simulation and Remaining Fatigue Life Assessment of Existing Steel Bridges [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2004, 24(1): 43-47.
 - [3] 王春生, 徐磊. 外白渡桥工作状态模拟与使用安全评估[J]. 公路交通科技, 2004, 21(1): 51-57.
WANG Chun-sheng, XU Lei. 3D Finite Element Model and Service Safety Assessment of Waibaidu Bridge [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2004, 21(1): 51-57.
 - [4] 长安大学公路学院. 国道 307 吴堡黄河大桥加固后荷载试验报告[R]. 西安: 长安大学, 2004.
Highway School of Chang'an University. Post Strengthening Test Report of Wubu Yellow-river Bridge [R]. Xi'an: Chang'an University, 2004.
 - [5] 吴海军, 陈艾荣. 桥梁结构耐久性设计方法研究[J]. 中国公路学报, 2004, 17(3): 57-61.
WU Hai-jun, CHEN Ai-rong. Study of Durability Design Method for Bridge Structure [J]. China Journal of Highway and Transport, 2004, 17(3): 57-61.
 - [6] 陈小佳. 既有桥梁技术状态的多层次灰色评判[J]. 交通运输工程学报, 2002, 2(1): 55-59.
CHEN Xiao-jia. Multilevel Grey Evaluation of Present Bridge [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2002, 2(1): 55-59.
- ~~~~~
- (上接 37 页)
- [2] JTJ051-93. 公路土工试验规程[S].
JTJ051-93. Test Methods of Soils for Highway Engineering [S].
 - [3] 冯忠居, 谢永利. 标准击实试验最佳含水量和最大干密度的理论计算[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2002, 22(2): 10-13.
FENG Zhong-ju, XIE Yong-li. Numerical Method to Result Analysis of Indoor Standard Compaction Test [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2002, 22(2): 10-13.
 - [4] 闫秀萍. 关于土石混合料填筑路基压实检测方法的探讨[J]. 公路交通科技, 2001, 18(4): 40-42.
YAN Xiu-ping. Discuss on Compaction Method of Earth-rock Mixture Subgrade [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2001, 18(4): 40-42.
 - [5] 马松林, 王龙, 王哲人. 土石混合料室内振动压实研究[J]. 中国公路学报, 2001, 14(1): 5-8.
MA Song-lin, WANG Long, WANG Zhe-ren. Study of Compacting Properties of Soil-aggregate Mixture [J]. China Journal of Highway and Transport, 2001, 14(1): 5-8.
 - [6] 张洪亮, 胡长顺, 刘保健, 等. 压实石灰黄土力学特性试验[J]. 交通运输工程学报, 2003, 3(4): 13-16.
ZHANG Hong-liang, HU Chang-shun, LIU Bao-jian, et al. Mechanical Properties Experiment of Compacted Loess-line [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2003, 3(4): 13-16.