

水利水电工程粗粒土压实标准试验方法探讨

汤轩林 杨文勇 张 波 田 波 马 陈

中国水电建设集团十五工程局有限公司 陕西 西安 710000

摘 要: 本文针对多年以来工程界在粗粒土压实标准确定中存在的技术争议和实践矛盾,从材料特性、试验方法、试验结果处理等方面进行全面分析研究,结合实践应用,提出粗粒土压实标准在工程实践中重难点技术和解决方法。研究表明:粗粒土最大干密度随 P_5 含量呈驼峰型变化规律,随含水率呈现双峰值特征;室内四类缩尺方法均存在固有级配畸变缺陷,其中混合缩尺法综合适配性最优;现场密度桶法可从根源消除缩尺效应,试验成果与工程实际压实状态高度吻合。

关键词: 粗粒土;相对密度;缩尺处理;最大干密度;压实标准;密度桶法

前言

粗粒土是水利水电土石坝、防洪堤防、围堰及地基回填工程中应用最广泛的筑填材料,凭借就地取材成本低、抗剪强度高、排水性能优、压缩变形小等工程特性,成为面板堆石坝、砂砾石均质坝、均质堤的核心填料。按其材料工程特性的分类原则和渗透特性研究成果,工程界通常将其分为无粘性粗粒土和粘性粗粒土,二者的压实控制体系存在本质差异。

1 粗粒土压实标准试验技术难点与解决路径

按其压实特性和强度特性,粘性粗粒土含有一定比例的塑性细粒,颗粒间存在胶体粘结作用,压实质量沿用细粒土管控逻辑,采用大型击实仪测定最大干密度,以压实度作为核心控制指标,整套技术体系成熟统一,行业争议较少。无粘性粗粒土细粒含量极低,颗粒间无胶结作用力,坝体抗滑稳定、抗渗流破坏能力完全取决于颗粒嵌挤程度与孔隙填充状态,压实度指标无法客观反映其内部骨架密实度,因此行业普遍采用相对密度与孔隙率作为质量控制指标。相对密度通过 最大干密度、最小干密度与填筑干密度三者换算得到,计算公式为:

$$D_r = \frac{(\rho_d - \rho_{dmin})\rho_{dmax}}{(\rho_{dmax} - \rho_{dmin})\rho_d}$$

式中: D_r 为相对密度; ρ_{dmax} 为最大干密度; ρ_{dmin} 为最小干密度; ρ_d 为天然或填筑干密度。

其中对相对密度结果影响最大的是最大干密度的试验方法,由于最大干密度往往和材料最大粒径、颗粒组成特性、粗颗粒含量(P_5 含量)、细粒料(0.075mm含量)性质、含水量以及采取的试验方法等因素密切相关。

长期以来,室内试验仪器允许的最大粒径仅为60mm,而工程现场天然粗粒土最大粒径普遍可达400mm,部分爆破碎石料甚至超过1000mm,必须通过缩

尺手段处理超径颗粒。不同缩尺工艺会改变土体原始级配产生尺寸效应,室内振动加载与现场碾压应力传递机理不一致,产生试验结果与实际差别较大,是行业需解决的技术难点^[1]。

为解决粗粒土室内缩尺试验存在的偏差问题,虽水利行业研发出可采用原级配料测试、规避缩尺畸变但成本高、周期长的密度桶原位试验法,本文围绕粗粒土压实试验关键难点开展多维度对比研究,结合工程经验提出系统方案,为科学确定粗粒土压实标准提供技术思路。

2 材料特性对干密度的影响

无粘性粗粒土的材料特性主要与最大粒径、 P_5 含量、细颗粒含量、各粒组比例等因素有关,在相同压实功条件下, P_5 含量大小是最大干密度的主要影响因素,当粗颗粒料能形成完整骨架且细颗粒料又能填满骨架孔隙时干密度达到最大值,此时的 P_5 含量为最佳砾石含量。经大量实验论证表明, P_5 含量在40%~80%时,压实特定决定于粗颗粒和细颗粒的性质和相互填充效果,随着粗颗粒含量在此范围外的增减,压实特性逐渐向粗颗粒单一的骨架作用或填充作用转化,此时干密度也随粗颗粒含量增减而逐渐变小,整体规律呈现驼峰型。

在 P_5 含量、细粒含量相同情况下,干密度与级配特性指标密切相关,随最大粒径、加权平均粒径、不均匀系数的增大而干密度增大,级配良好的压实效果越好,干密度更大。在相同压实标准下,细粒含量对干密度的影响规律与 P_5 含量大小有关,当细粒含量超过10%后,总体呈现出干密度随细粒含量增加而减少的趋势。

无粘性粗粒土在工程应用中因料源特性及自然环境因素,含水量有所波动,实践应用中为取得更好的压实效果也做了大量试验,研究发现无粘性粗粒土干密度随含水率变化呈现出双峰值特征,即含水量为零时干密度

较大,随后含水量增加干密度呈现出先降后增的特性,无粘性粗粒土压实主要是通过外力振动作用实现颗粒间的移动组合充填达到密实状态,较低的含水量情况下颗粒表面形成一层薄水膜,增大了分子间应力,形成颗粒间的似粘结力,影响颗粒压实过程的移动组合,从而降低压实效果,这一规律经工程现场大面积试验论证也得到了证实,也揭示了含水量对无粘性粗粒土压实效果影响规律。

3 不同试验方法对最大干密度的影响

目前测定无粘性粗粒土最大干密度的方法分为室内试验与现场原位试验两大体系。室内体系以振动台法、表面振动法为核心,配套缩尺处理与成果修正模型,依据GB/T 50123、DL/T 5356开展;现场体系以密度桶法为代表,已纳入NB/T 35016与T/CHES 29。两类体系在压实机理、试样条件、适用范围与成果可靠性上存在显著差异。

3.1 室内振动台法和表面振动法

室内振动台法与表面振动法是当前工程中测定粗粒土相对密度的常规方法,二者均通过振动作用使试样达到密实状态,但加载方式不同:振动台法为试样筒整体竖向振动,表面振动法为振动器从试样表面施加竖向激振^[2]。两类方法的仪器试样筒尺寸有限,统一规定试验用料最大粒径不超过 60mm。而工程应用中粗粒土最大粒径通常达到400mm甚至1000mm,如何用最大粒径60mm试

验用料结果来反映400mm乃至更大粒径的工程粗粒土压实标准是业界一直以来研究的内容,在试验方法压实机理既定的条件下,大家常常采用缩尺的方式进行,那么如何缩尺如何进行缩尺后的成果处理就最为关键。

通常粗粒土的缩尺处理有剔除法、等量替代法、相似级配法和混合法四种方法,应根据不同材料特性和试验要求采取适宜的缩尺方法,剔除法会人为提高小于 5mm 颗粒的相对含量,一般适用于超径颗粒含量极少的情况;等量替代法是保持P₅含量不变情况下,将超径颗粒按比例等量替换分配到5mm~60mm各粒组内,但改变了材料级配、不均匀系数和曲率系数,一般适用于超径颗粒含量小于40%的情况;相似级配法是按照几何相似原理等比例将原土样粒径缩小至试验最大粒径范围,可保持不均匀系数、曲率系数不变,但造成小于5mm颗粒含量增加,当小于5mm颗粒含量大于15%-30%时会对材料力学性能造成影响;混合法是先用相似级配法将材料小于5mm颗粒含量控制在一定范围后,再进行等量替代法缩小至试验粒径,该方法综合兼顾了缩尺后级配变化和细粒含量变化对压实性能的影响因素,工程界常采用此方法进行缩尺处理。图(1)为某工程最大粒径为300mm砂砾石料典型级配下的不同缩尺方法级配线对比图,可以看出采用不同方法缩尺至60mm后P₅含量变化范围为13%-28%,不同缩尺方法下的级配线特征指标也有所差异。

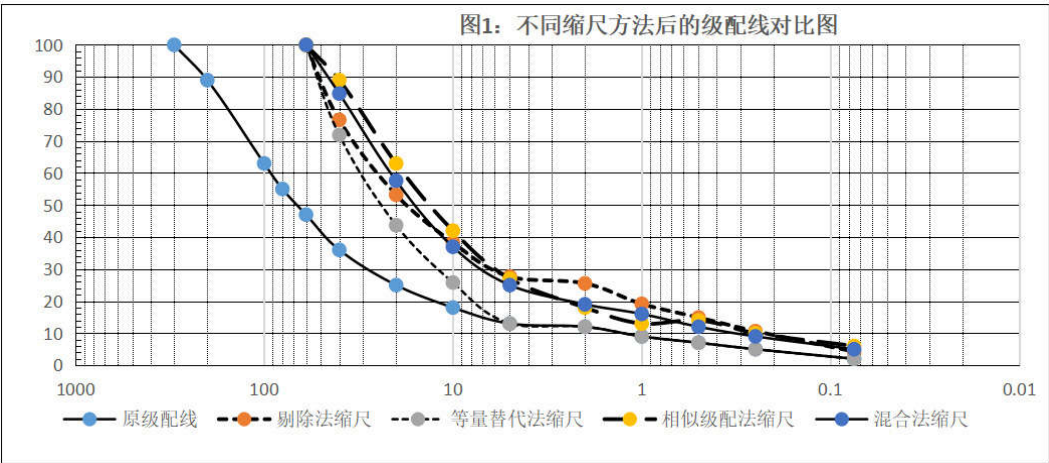


图1 不同缩尺方法后的级配曲线对比图

采用适宜的缩尺方法后,用振动台法测定的最大干密度由于受尺寸效应影响,往往还需要采用近似或经验的方法进行结果处理,目前通常采用模拟级配系列延伸法、三点近似法、渐近线辅助拟合法来对缩尺试验结果进行处理。模拟级配系列延伸法是以试验设备最大允许试验用料粒径为上限,选定系列模型级配料的粒径,测定出相

应不同模型级配下的最大干密度,用解析法、图解法确定出斜率和截距,从而确定出原级配最大干密度;三点近似法的原理是按照密度随最大粒径增大而增大的一般规律,通过缩尺后测定的最大、最小干密度和原级配料最小干密度三个值,从而推算出原级配料最大干密度;渐近线辅助法是在系列延伸法基础上,考虑到延伸区间远远大于实际

试验区间,易引起拟合曲线不合理的现象,通过对拟合对象变化趋势分析,建立不同状态下干密度 ρ_d 、 ρ_{d1} 、 ρ_{d0} 与粒径的双对数关系来求得原级配料的干密度。这三种处理办法因缩尺方法、模型级配、计算模式等不同,所形成的最大干密度结果还是有差异的,工程实践中还需要通过现场试验验证来进一步确认。

3.2 现场“密度桶”法

多年以来业界科研人员对粗粒土最大干密度的试验方法不断进行深入研究和创新并取得突破,在现行NB/T35016和T/CHES29规程中首次列入了现场“密度桶法”测定原级配粗粒土试验方法标准,该方法的试验条件与现场施工条件完全一致,有效解决了缩尺效应、压实机理以及推算数学模型误差等影响因素,已在业界广泛推广应用,其试验原理见下图2。

与室内缩尺法相比,密度桶法具有显著优势:一是采用原级配土料,完全消除缩尺引起的级配畸变与细粒含量偏差;二是压实工况与现场施工完全一致,碾压过

程的竖向激振与水平剪切复合作用与工程实际吻合,压实机理无差异;三是试验结果无需数学修正,可直接作为设计与施工控制指标。

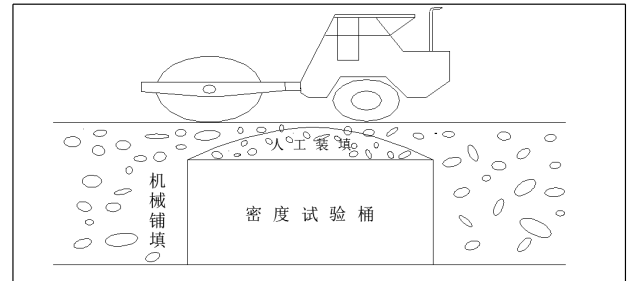


图2 现场“密度桶法”示意图

该方法经大量工程实践应用效果良好,同时也发现了室内振动台法在测定不同 P_s 含量的粗粒土试验成果中存在最优砾石含量偏低、不同 P_s 含量下的驼峰型曲线偏缓等问题,应在缩尺法结果处理时予以重视。缩尺法和现场“密度桶法”不同砾石含量下的最大、最小干密度试验成果对比见图3。

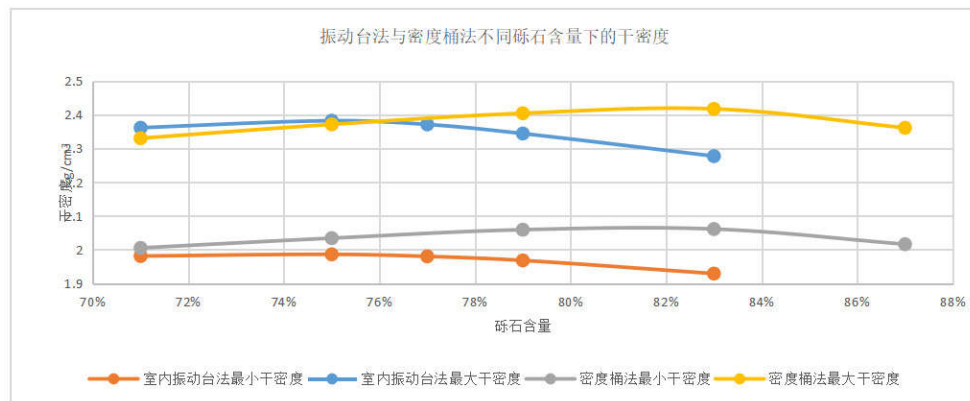


图3 不同试验方法下的干密度对比图

客观而言,密度桶法也存在应用局限性:一是试验装置体积大、重量大,转运安装需配套重型机械,单组试验周期3~7天,试验成本远高于室内试验;二是试验需占用填筑工作面,会对主体施工进度造成影响,通常仅在工程前期设计阶段开展;三是对场地条件要求较高,小型堤防、山区狭窄料场等不具备大面积碾压条件的场地难以实施。

4 结语

综上所述,获取精确粗粒土压实标准,开展无粘性粗粒土相对密度试验需遵循全流程系统管控的思路。试验前需全面掌握料源特性,分析级配组成、最大粒径、粗颗粒含量及各粒组占比,兼顾颗粒岩性、颗粒形状、颗粒强度等因素,明确土料压实特性,为试验方法与缩尺工艺选型提供依据。采用室内振动类试验时,确认缩尺方法局限,

结合土料特性选适合方案,试验后按精度要求修正结果,必要时通过现场碾压试验校准,减小系统误差。条件匹配优先选用密度桶原位试验,采用原级配测定,规避缩尺效应,指标贴合工程实际。大中型水利工程可采用密度桶定基准、室内缩尺做日常检测的组合方式,兼顾检测精度与施工效率,保障粗粒土填筑质量。

参考文献

- [1]姜苏阳,杨维九.碾压式堆石坝坝体料压实标准研究[J].水利水电科技进展.2002,(1).DOI:10.3880/j.issn.1006-7647.2002.01.003.
- [2]朱崇辉,王增红.含水率对粘性土击实干密度的限制作用分析[J].水利与建筑工程学报.2010,(4).DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2010.04.028.