

砂砾石原级配现场相对密度试验

王红刚

(中国水利水电第五工程局有限公司,四川成都 610066)

摘要:砂砾石作为筑坝材料已广泛应用于各种土石坝之中,而评价砂砾石填筑质量重要指标之一的最大、最小干密度测试一直以来都是大坝工程界比较关心的问题之一。砂砾石原级配现场相对密度试验较传统相对密度室内试验能更加直观、准确地反映全级配坝料在碾压过程中的真实级配参数,对坝体填筑质量控制而言更加合理、准确。

关键词:土石坝;砂砾石;原级配;现场相对密度;试验

中图分类号:TV7;TV22;TV52+2

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2019)03-0041-04

Field Relative Density Test of Natural Gradation Sand Gravel

WANG Honggang

(Sinohydro Bureau 5 Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 610066)

Abstract: Sand gravel have been widely used as dam filling material in various earth-rockfill dams, and the maximum and minimum dry density test, one of the important indexes to evaluate the quality of sand gravel filling, has always been one of the most concerned aspects in dam engineering. Compared with the traditional relative density indoor test, the field relative density test of natural gradation sand gravel is more visual and accurate to reflect the true gradation parameters of full gradation dam materials during the process of rolling, which is more reasonable and accurate for the quality control of dam filling.

Key words: earth-rockfill dam; sand gravel; natural gradation; field relative density; test

砂砾石作为筑坝材料已广泛使用多年,评定砂砾石填筑质量的重要指标之一是相对密度。相对密度是指无粘性土处于最松状态的孔隙比与天然状态孔隙比之差和最松状态孔隙比与最紧孔隙比之差的比值。相对密度试验一直是以室内相对密度试验进行测定和控制,而室内试验由于受试验仪器限制,其最大粒径只能为60 mm以内能自由排水的粗颗粒土,不能真实模拟实际大坝填筑坝料(如新疆阿尔塔什砂砾石最大粒径达到600 mm)的情况。为此,笔者对室内相对密度试验法和原级配现场相对密度试验法分别加以分析研究,以找出最适合现场质量控制的试验方法。

1 概述

阿尔塔什水利枢纽工程位于喀什地区莎车县和克孜勒苏柯尔克孜自治州阿克陶县交界处,是叶尔羌河干流山区下游河段的控制性水利枢纽工程,为叶尔羌河干流梯级规划中“两库十四级”中的第十一个梯级,主要由拦河坝、泄水建筑物、发

电引水系统、电站厂房、生态基流放水洞等建筑物组成,规划水库正常蓄水位高程1 820 m,最大坝高164.8 m,水库总库容22.49亿 m^3 ,电站总装机容量755 MW,设计年发电量22.6亿 $kW \cdot h$ 。工程总投资86亿元,总工期为74个月,是目前新疆最大的水利工程,且由于其在设计、施工等方面面临诸多技术难点,被业内专家称为“新疆的三峡工程”。该工程拦河坝为混凝土面板砂砾石堆石坝,坝顶高程1 825.8 m,最大坝高164.8 m,坝顶长795 m。坝址区的砂卵砾石覆盖层最大厚度为93.9 m,设防地震烈度为8°。

坝体填筑主堆石料采用河床砂砾石,填筑质量控制要求为: $D_r \geq 0.9$,最大、小干密度采用室内相对密度试验方法及原级配现场相对密度试验两种试验方法比较后确定控制参数:最大干密度、最小干密度。

2 砂砾石料室内相对密度试验方法

水利水电工程中常用的试验方法有《土工试验规程》SL237—1999中的“粗颗粒土相对密度试

验”(SL237—054—1999);《水利水电工程粗粒土试验规程》DL/T5356—2006中的“粗粒土相对密度试验”。在两种规范中有两种试验方法:振动台法和表面振动器法,其设备装置见图1、2。

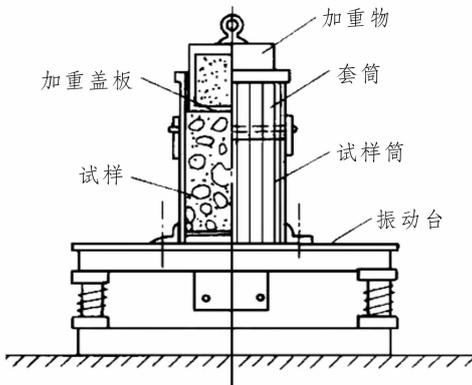


图1 振动台最大干密度试验装置图

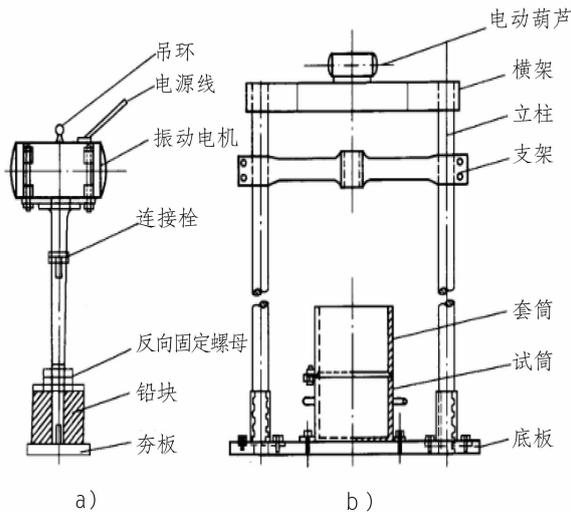


图2 表面振动器法试验装置图

相对密度试验中的最小干密度试验常采用固定体积法,而最大干密度试验既可以采用干法,也可以采用湿法。

经室内试验后可按下列公式计算填筑砂砾石料的相对密度:

$$\text{最小干密度 } \rho_{d\min} = \frac{m_d}{V_c} \quad (1)$$

$$\text{最大干密度: } \rho_{d\max} = \frac{m_d}{V_s} \quad (2)$$

式中 m_d 为干土质量, kg; V_c 为试样筒的体积, cm^3 ; V_s 为试样体积, $V_s = V_c - (R_i - R_t) \times A$, cm^3 ; R_i 为振后加荷盖板上百分表的读数, mm;

R_t 为起始读数, mm; A 为试样筒断面积, cm^2 。

按式(3)计算相对密度 D_r :

$$D_r = \frac{\rho_{d\max} (\rho_{do} - \rho_{d\min})}{\rho_{do} (\rho_{d\min} - \rho_{d\min})} \quad (3)$$

式中 D_r 为相对密度; ρ_{do} 为天然状态或人工填筑之干密度, g/cm^3 ; $\rho_{d\max}$ 为最大干密度, g/cm^3 ; $\rho_{d\min}$ 为最小干密度, g/cm^3 。

3 砂砾料原级配现场相对密度试验

砂砾料原级配现场相对密度试验目前只有《土石筑坝材料碾压试验规程》NB/T 35016—2013中对其试验方法进行了规定,其试验步骤如下:

(1)测定密度桶体积。

采用灌水法测定密度桶体积。

(2)最小干密度试验。

采用人工松填法进行测定,按级配要求将配置好的试验料搅拌均匀后采用四分法将试验料均匀松填于密度桶中,装填时轻轻将试样放入密度桶内,防止冲击和振动,装填的试样低于桶顶 10 cm 左右,用灌水法测量料顶面到桶口的体积。

(3)最大干密度试验。

①在测定完最小干密度试验后,继续将试验料均匀松填于密度桶至高出密度桶 20 cm 左右,用类型和级配大致相同的试验料铺填于密度桶四周,高度与试验料平齐;

②将选定的振动碾(阿尔塔什砂砾石主堆石采用 32 t 自行式振动平碾)在场外按预定转速、振幅和频率起动,行驶速度为 2~3 km/h,振动碾压 26 遍后,在每个密度桶范围内微动进退振动碾压 15 min。在碾压过程中,应根据试验料及周边料的沉降情况及时补充料源,使振动碾不与密度桶直接接触。

③测定试样体积。

a.人工挖出桶上及桶周围的试验料至低于桶口 10 cm 左右为止,并防止扰动下部试样。用灌水法测量料顶面到桶口的体积;

b.将桶内试样全部挖出,称量密度桶内试样的质量并进行颗粒分析和含水率试验。

④成果整理。

计算密度桶内试验料的最大干密度、最小干密度,按式(3)计算现场相对密度 D_r 。试验完成后,对全部试验成果系统整理分析,绘制不同 P5 含量与最大干密度、最小干密度之间的变化

关系曲线图。

4 试验成果对比

4.1 原级配现场相对密度试验成果

试验采用设计上包线级配、上平均线级配、平均线级配、下平均线级配、下包线级配 5 个不同砾石含量配料。根据设计级配选择砾石含量:75%、78%、81%、84%、87%做为相对密度试验级配;另外增加砾石含量为 69%、72%两组级配和砂砾料料场颗粒级配变化较大的实际颗分线砾石含量为 80.8%(最大粒径为 156 mm)的级配进行了一组试验,配料级配见砂砾石料现场相对密度试验原型级配曲线(图 3)。

原型级配相对密度试验不同砾石含量所对应

的最大干密度、最小干密度试验成果见表 1。

从表 1 中的试验结果可以看出:最大干密度在 2.34~2.43 g/cm³,砾石含量在 78%时其干密度达到最大值 2.43 g/cm³。但在同样的砾石含量、不同的最大粒径情况下,最大干密度与最小干密度变化较大,根据设计包络线,配料的砾石含量为 81%时的最大干密度为 2.4 g/cm³、最小干密度为 2.06 g/cm³,最大干密度相比减小了 0.07 g/cm³、最小干密度相比减小了 0.12 g/cm³。由此可见,砂砾石料的干密度与砾石含量、最大粒径的大小相关。根据试验结果绘制出的砂砾石料不同砾石含量对应的最大干密度、最小干密度关系曲线见图 4。

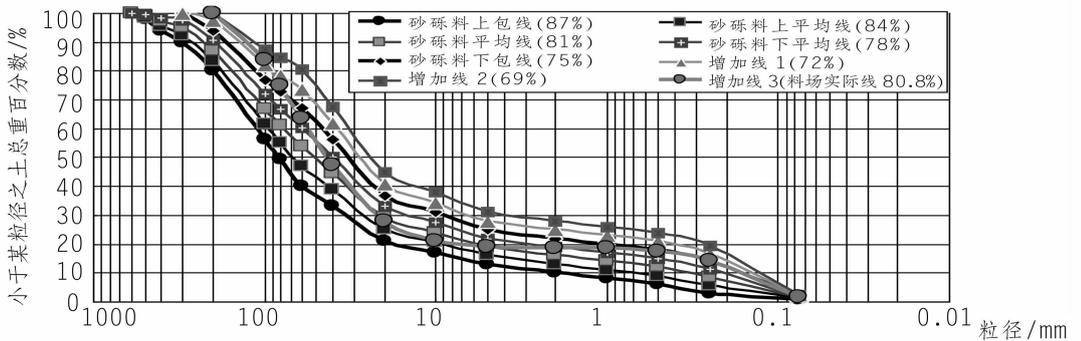


图 3 砂砾石料现场相对密度试验原型级配曲线图

表 1 最大干密度、最小干密度试验成果表

项 目	砾石含量 /%						
	69	72	75	78	81	84	87
最大干密度 (ρ_{dmax}) /g · cm ⁻³	2.35	2.38	2.42	2.43	2.4	2.37	2.34
最小干密度 (ρ_{dmin}) /g · cm ⁻³	1.96	2.01	2.05	2.08	2.06	2.02	1.98

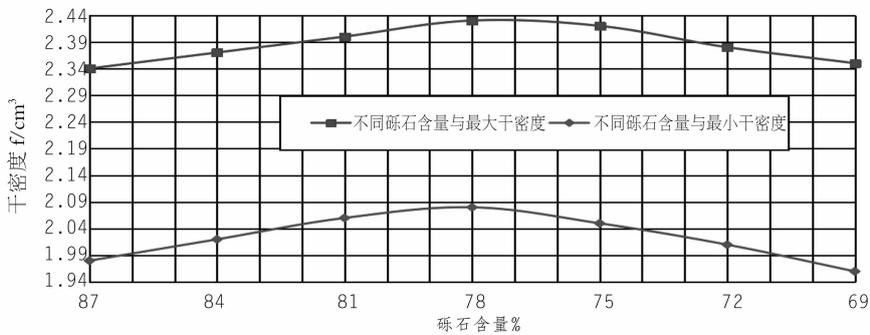


图 4 不同砾石含量对应的最大干密度、最小干密度关系曲线图

4.2 室内相对密度试验成果

试验采用设计上包线级配、上平均线级配、平均线级配、下平均线级配、下包线级配 5 个不同砾

石含量配料。因密度筒试验粒径最大仅为 60 mm,故在试验时对原有级配按相似级配法进行制样(式 4)。

$$P_{dn} = \frac{P_{d0}}{n} \quad (4)$$

式中 P_{dn} 为粒径缩小 n 倍后相应的小于某粒径含量百分数,%; P_{d0} 为原级配相应的小于某粒径含量百分数,%; n 为粒径缩小倍数, $= d_{0max}/d_{max}$; d_{0max} 为原级配最大粒径,mm; d_{max} 为仪器允许最大粒径,mm。

按仪器最大允许粒径修正相似级配后得到的曲线如图 5 所示,试验结果如表 2 所示。

室内相对密度试验不同砾石含量所对应的最

大干密度、最小干密度试验成果见表 2、图 6。从表 2 中的试验结果可以看出:室内试验最大干密度为 2.41~2.44 g/cm³,砾石含量由于变化不大(砾石含量变化值仅为 2%),其试验结果亦变化不大,不同于现场相似级配试验结果因砾石含量变化大(砾石含量变化值为 19%)对结果的影响较大。由此可见,砂砾石料的室内相对密度试验方法针对现场实际情况还存在一定的差异性,不能真实地反映坝料的真实压实情况,对坝体填筑质量判定存在一定的不足。

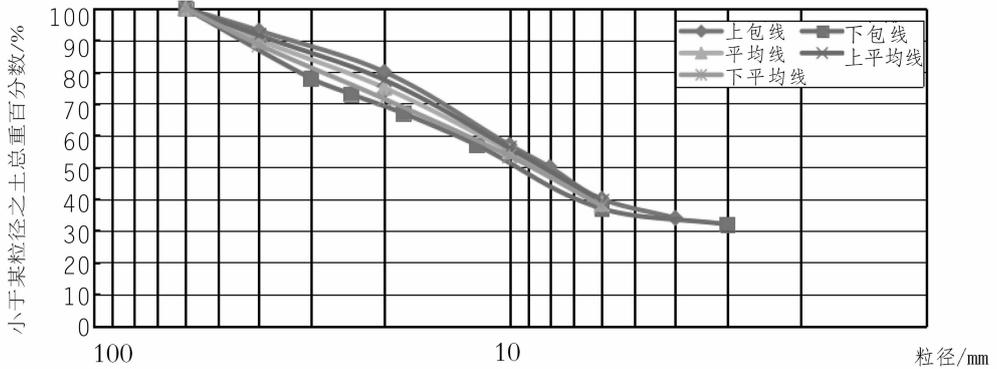


图 5 主堆石料(砂砾石)室内试验(相似级配)级配曲线图

表 2 室内试验砾石含量所对应的最小、最大干密度值表

项 目	砾石含量 /%				
	上包线 73%	上平线 73.5%	平均线 74%	下平线 74.5%	下包线 75%
最大干密度(ρ_{dmax}) /g·cm ⁻³	2.41	2.44	2.43	2.43	2.42
最小干密度(ρ_{dmin}) /g·cm ⁻³	1.98	1.98	1.97	1.97	1.98

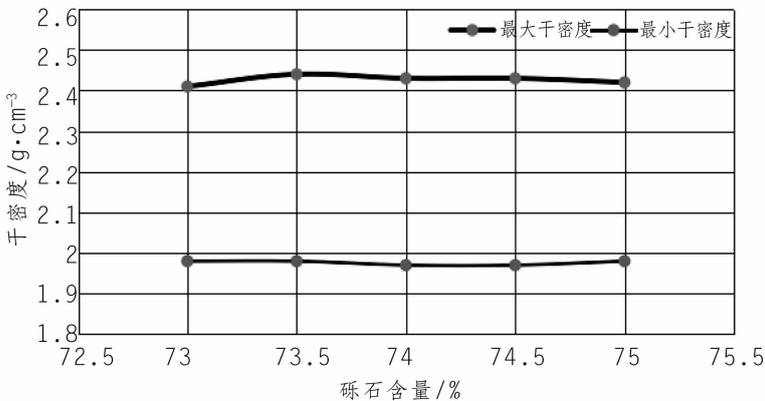


图 6 主堆石料(砂砾石)室内试验不同砾石对应的最大、最小密度曲线图

5 结 语

(1)通过两种试验方法的对比和分析,我们发现:在砂砾料填筑现场施工过程中,由于料源的不

均匀性会造成按室内试验最大、最小干密度计算现场碾压相对密度时结果有时会出现较大的偏

(下转第 48 页)

m 的系统锚杆,间排距 1.05 m,梅花形布置,型钢支撑间采用 $\varphi 22$ 螺纹钢连接,环向间距 1 m,每榀型钢支撑设置 $\varphi 22$ 锁脚锚杆 4 根,每根长度为 3 m,置入角度 60° ,在边顶拱部位设置 2 处(每处 2 根) $\varphi 22$ 锁定锚杆,每根长度为 3 m,型钢支撑外缘设置 $\varphi 8@150\text{ mm}\times 150\text{ mm}$ 钢筋网片,底板以上范围内喷射 15 cm 厚 C25W8 混凝土,超前支

护采用小钢管,超前小钢管外径为 32 mm、壁厚不小于 3.5 mm,沿隧洞起拱线以上顶拱范围内与管棚间隔布置,环向间距 40 cm,沿洞轴线方向纵向间距 2.1 m,单根长度为 4 m。待管棚段施工完成后根据掌子面前方的围岩情况确定是否进行第二排管棚及超前预灌浆施工(图 3)。

3 应用效果及评价

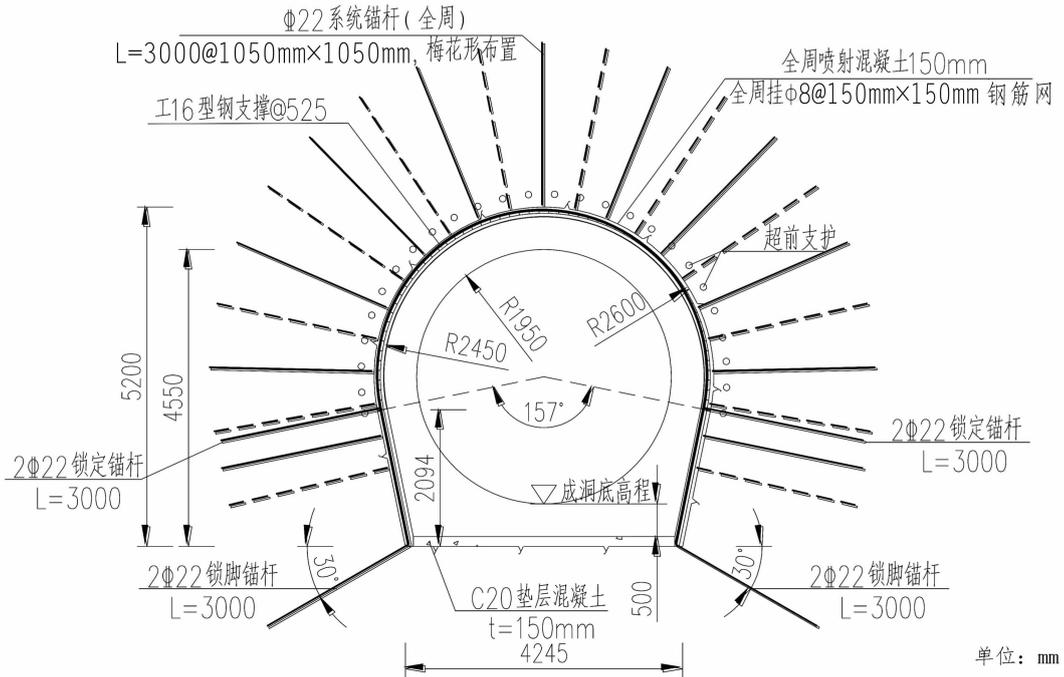


图 3 管棚段洞挖及支护施工示意图

长管棚在隧洞大塌方施工过程中效果显著,加快了洞挖施工速度,缩短了工期,取得了显著的经济、社会效益,在整个施工过程中,未发生一起安全事故和大型塌方。

参考文献:

- [1] 水利水电工程施工地质勘察规程,SL313—2004[S].
[2] 水利水电工程施工通用安全技术规程,SL398—2007[S].

(上接第 44 页)

大,有时出现较大的偏小,不能真实反映实际压实情况。

(2)目前,新疆阿尔塔什大坝填筑已按原级配现场相对密度试验成果计算坝体填筑的相对密度,试验数据表明:没有出现之前按室内试验成果计算相对密度时结果大量偏大、偏小现象,说明针对大粒径砂砾料填筑按原级配现场相对密度试验结果参数控制填筑质量时,能真实地反映坝料的不均匀性,有利于反映坝料的真实压实情况。

- [3] 水利水电工程施工组织设计规范,SL303—2004[S].
[4] 水利水电施工地质勘察规范,GB50487—2008[S].
[5] 水工建筑物地下开挖工程施工规范,SL378—2007[S].
[6] 水利水电工程锚喷支护技术规范,SL377—2007[S].

作者简介:

郭鹏(1985-),男,河南睢县人,项目部主任,工程师,学士,从事水利水电与市政工程施工技术工作。(责任编辑:李燕辉)

目前国内外新建土石坝较多,在充分使用当地筑坝材料时要注意各地区坝料均不相同,性质变化也较大,针对大粒径砂砾石填筑坝体,宜采用原级配现场相对密度试验成果进行质量控制,但对于有类似工程的坝料还需有针对性的进行大量的对比试验工作,不能一概而论。

作者简介:

王红刚(1979-),男,甘肃天水人,高级工程师,从事水利水电工程施工技术及管理工。

(责任编辑:李燕辉)