

# 碎(砾)石土全料压实度现场不同检测方法偏差研究与改进措施

雷仁强<sup>1</sup> 车维斌<sup>2</sup> 熊亮<sup>3</sup>

1. 中国电力建设集团西南指挥部 四川 成都 610066

2. 中国水利水电第五工程局有限公司 四川 成都 610066

**摘要:** 碎(砾)石土全料压实度检测一直是行业研究的重点,最大干密度拟合曲线法广泛应用于100米级土石坝及新近建成的240m长河坝工程,随着技术手段的进步在近期建设的200m~300m高土石坝糯扎渡工程、两河口工程开始应用以细料压实度控制为主,大型击实和超大型击实复核(点对点)全料压实度的检测方法。本文立足两河口工程砾石土心墙料现场填筑全料检测方法的应用研究,验证全料的三种检测方法之间的偏差进行研究评价并提出工程应用的改进措施。

**关键词:** 碎(砾)石土;最大干密度拟合曲线法;大型击实;超大型击实;偏差

## 1 引言

碎(砾)石土全料的检测方法随着技术手段的进步而不断发展,到目前现场有最大干密度拟合曲线法、大型击实法、超大型击实法的完整检测方法技术体系。最大干密度拟合曲线法作为一种现场填筑土料质量检测方法经糯扎渡工程理论研究验证可行,已在多个工程实际应用,与三点击实试验法同为DL/T5129-2013规范推荐。该方法简单方便,实践操作性强;大型击实、全料超大型击实现场点对点的检测具有实时性、准确性,在大型工程、超大型工程得到推广应用。

砾(碎)石土最大干密度拟合法,是采用控制粒径(5mm)砾质土进行不同砾石含量的室内标准击实功能试验,得到其最大干密度与砾石含量关系曲线,根据现场取样实测干密度、含水率和砾石含量,比拟最大干密度拟合曲线,用以计算土样压实度及填土含水率与最优含水率差值的试验检测方法。该方法是前期设计研究成果的现场研究推广与再应用,具有延伸性、系统性,和代表性,其数值能够反应测点数值的整体水平及其一定程度内的变化。

国内在早期接触砾石土料时,使用天然砾石土,最大粒径一般在150mm~200mm左右,行业内一般都采用此方法进行施工质量检测,例如水牛家工程、跷矶工程、狮子坪工程、毛儿盖工程等。在应用过程中,当土料的最大粒径超出击实仪规定的最大粒径时,则用各种超径处理方法或经验修正公式通过试验及计算得出全料的最大干密度。

在设计研究阶段及施工碾压试验阶段,砾石土料全料压实度的检测均采用最大干密度拟合曲线法。随着我国土石坝技术的发展,超高土石坝心墙砾(碎)石土施

工质量检测标准越来越高,新技术应用越来越广,通过在糯扎渡工程、长河坝工程的研究,两河口300m级工程心墙砾石土料先进、科学的施工检测方法的深入应用提供了研究全料不同压实度检测方法偏差研究的基础资料,通过对全料不同压实度检测方法的进一步研究,提出砾石土全料现场压实度检测的改进措施与方法。

## 2 研究思路及方法

根据研究的目的首先要找到不同方法之间的偏差,然后进行偏差的分析研究。结合行业现行的规程、规范要求,大家普遍的共识为:超大型击实是可以作为标准方法的,但工程实践应用性不强,需要以此为基础对最大干密度拟合曲线法及大型击实方法偏差进行校验复核。

### 2.1 研究思路

砾(碎)石土最大干密度拟合曲线法的误差来源于最大干密度拟合曲线在土料不均匀时计算的最大干密度与现场挖坑检测土样击实最大干密度的差异,从而影响检测结果的准确性。这种差异的直接体现就是特定料源条件下根据拟合曲线计算出的最大干密度(根据细料含量理论计算数值,推导值)与现场击实最大干密度(特定点位,实时性)的差异,体现为拟定料源条件下特定料源点取样的压实度差值,体现了整体与局部之间的偏差。

大型击实法的偏差源于试验仪器本身的局限性,导致最大干密度的偏差,从而引起的压实度偏差,体现为试验设备本身局限引起的偏差。

在明白偏差之所在,找到偏差就是问题的关键。找到偏差就必须有手段及方法,在超大型击实应用前,我们无法具备这种思路,也不具备这种研究的方法,理清不同方法之间的差异。

### 2.2 研究方法

两河口工程砾石土心墙料具有典型代表性，有五个土料场性质各异；两河口各个土料场施工碾压试验阶段均应用了砾（碎）石土最大干密度拟合曲线法对压实度进行了检测评价，各种土料具有应用基础条件；两河口工程填筑过程中按照1m高程同步复核1组全料压实度（大型击实点对点），按照10m高程同步复核1组全料压实度（超大型击实点对点）。

最大干密度拟合曲线法、大型击实法和超大型击实法具体操作方法如下：

1、最大干密度拟合曲线法。大坝分层填筑碾压完成，进行现场试坑取样测试坑干密度，根据现场检测P5含量在室内最大干密度曲线上查找对应的最大干密度数值，最后计算出全料压实度。

2、大型击实法。大坝分层填筑碾压完成，进行现场

试坑取样测试坑干密度，现场取试坑料进行室内五点法大击实并求出最大干密度数值，最后计算出全料压实度。

3、超大型击实法。大坝分层填筑碾压完成，进行现场试坑取样测试坑干密度，现场取试坑料进行室内五点法超大型击实并求出最大干密度数值，最后计算出全料压实度。

### 3 研究成果

根据检测要求不同，分（超）大型击实法与最大干密度拟合曲线法，大型击实、超大型击实法与最大干密度拟合曲线法两个方面进行研究成果总结。

#### 3.1 大型击实成果对比

两河口工程点对点大型击实按照1m高程同步复核1组全料压实度（大型击实点对点），目前完成140组数据，按照不同料场分类成果见表1。

表1 两河口工程最大干密度拟合曲线法与常规大型击实法对比成果表

料源	组数	现场大击实压实度①	拟合法压实度②	差值①-②
亚中	78	平均99.54%	平均98.86%	平均0.68%，-0.9%~1.9%，负数5组，剔除5组为0.77%
普巴绒	34	平均100.31%	平均100.77%	平均-0.46%，-1.3%~0
西地	16	平均99.85%	平均100.72%	平均-0.87%，-1.9%~0.4%，正数1组为0.4%
瓜里	12	平均100.23%	平均100.07%	平均0.16%，-0.5%~0.7%

通过数据分析，可以得到如下初步结论：

1、整体分析全部取样数据，最大干密度拟合曲线法所得到的全料压实度检测数据小于大型击实（点对点）复核的全料压实度数值约0.2%，即整体水平属于偏严格。

2、土料场的不同，两者间的偏差方向也有所不同。亚中和瓜里料场土料最大干密度拟合曲线法检测压实度比大型击实（点对点）数值偏小；普巴绒和西地料场土料最大干密度拟合曲线法检测压实度比大型击实法（点对点）数值偏大。

3、最大干密度拟合曲线法与大型击实法（点对点）整体水平平均偏差均小于1%。

#### 3.2 大型击实、超大型击实成果对比

两河口工程大型击实、超大型击实复核全料压实度按照10m取1组对照样品，目前完成21组数据成果分析如下。

##### （1）整体水平分析

1、最大干密度拟合曲线法与全料超大型击实法（点对点）21组整体平均值为-0.43%，即整体水平与超大型击实成果对比偏小、偏严格，数值为0.43%。

2、最大干密度拟合曲线法与大型击实法（点对点）21组整体平均值为0.05%，即整体水平与大型击实成果对比偏大、偏高，数值为0.05%。

3、大型击实（点对点）与超大型击实（点对点）21组整体平均值为-0.48%，即整体水平与大型击实成果对比偏小、偏严，数值为0.48%。

以超大型击实法（点对点）数据为基准，可以看出最大干密度拟合曲线法与大型击实法（点对点）均偏严格，两者总体水平相当。

##### （2）不同偏差水平分析

针对21组数据分析，经过分析土料场的不同，两者间的偏差方向明显不同，在亚中与普巴绒料场体现较明显，其成果见表2。

表2 两河口工程最大干密度拟合曲线法与超大型、大型击实法成果对比表

料源地		超大型击实法①	大型击实法②	拟合法③	①-③	②-③	①-②
亚中料场90m范围填筑高度取样数值验证	1	98.6%	98.6%	98.2%	0.4%	0.4%	0
	2	102.7%	101.3	101.3	1.4	0	1.4
	3	100.5%	99.1	98.7	1.8	0.4	0.4
	4	102.3%	101.4	100.9	1.2	0.5	0.9

续表

料源地		超大型击实法①	大型击实法②	拟合法③	①-③	②-③	①-②
亚中料场90m范围填筑高度取样数值验证	5	99.5%	98.6	98.2	1.3	0.4	0.9
	6	99.5%	98.6	97.7	1.8	0.9	0.9
	7	98.6	97.3	96.9	1.7	0.4	1.3
	8	100.5	100	99.1	1.4	0.9	0.5
	9	99.5	100.5	99.1	0.4	1.4	-1.0
	误差平均(第9组为异常值,不计入)					1.38	0.49
普巴绒料场50m范围填筑高度取样验证	1	99.5	100	100.5	-1.0	-0.5	-0.5
	2	100	100	100.5	-0.5	-0.5	0
	3	99.5	100	100.5	-1.0	-0.5	0
	4	100	99.5	100	0	-0.5	0.5
	5	100.5	100	100.5	0	-0.5	0.5
	误差平均					-0.5	-0.5

通过数据分析,可以得到如结论:大型击实(点对点)与超大型击实(点对点)现场数据相比,整体水平属于偏严格,因为偏严格数据(包括相等)为19组,占90%,规律性明显。偏严格的水平值,剔除3组异常值,数值为0.67%。

#### 4 主要结论及分析

##### 4.1 一致性的结论

根据上述研究成果,可以得出如下一致性结论:

1、大型击实法用于砾石土料现场施工质量检测。大型击实方法检测压实度(全料替代法)成果整体水平偏严格,标准偏高,偏差数值与土料性质不同有关,整体

水平严格程度小于1%;

2、砾(碎)石土最大干密度拟合曲线法可用于砾石土料全料压实度检测。其检测成果较大型击实法偏差在约0.5%、较超大型击实法比偏差整体水平在1.5%以内;偏差方向与土料的性质有关。

##### 4.2 差异性结论及分析

1、最大干密度拟合曲线法针对不同土料场呈不同偏差方向

根据前面的结论,最大干密度拟合曲线法对不同料场偏差方向情况统计见表3。

表3 两河口工程最大干密度拟合法不同偏差分析

对比条件	亚中	普巴绒	西地	瓜里
大击实法140组	偏小0.68%	偏大0.46%	偏大0.87%	偏小0.16%
综合对比	超大型击实法9组	偏小1.38%	/	/
	大型击实法5组	偏小0.49%	/	/

现场勘察和掺配结果表明:亚中、瓜里土料场为冲洪积堆积物,级配颗粒连续,掺配砾石土级配曲线光滑;普巴绒、西地土料场为高塑性粘土料源,为坡、残积原状土风化堆积物,细粒含量高,掺配后在0.025mm~2mm颗粒缺失,级配不连续,该段呈平台。因此,级配连续土料检测时最大干密度拟合法比大型击实法、超大型击实法数值偏小;级配不连续土料检测时最大干密度拟合法比大型击实法、超大型击实法偏大。

出现差异的原因初步认为在于不同土料在不同试验取样方法下的差异。级配连续土料填筑压实取样室内松散后再次击实其无法达到原状土下的最大干密度的,就是最大干密度拟合法与后两者的差别,即对于级配连续土料现场填筑压实后的土料,再取样回室内做大型击实、超大型击实,其最大干密度小于原状土样的最大干

密度。级配不连续土料填筑压实取样室内松散后再次击实其最大干密度将超过原状土下的最大干密度的,属于再次做功压实,即对于级配不连续土料现场填筑压实后的土料,再取样回室内做大型击实、超大型击实,其最大干密度大于原状土样的最大干密度。

深入分析大型击实法与最大干密度拟合曲线法的差别,需要结合碾压试验成果。对于级配连续的土料在一般条件下,现场碾压砾石破碎率为0.4%左右,而室内击实破碎率为3%左右。压实度计算时最大干密度拟合曲线法取值为碾压后的P5数值计算(根据条件一致碾压后的数值理论上与击实后数值对应),而大型击实法、超大型击实法取碾压前的P5含量进行室内击实计算没有考虑3%的破碎率。如果把最大干密度拟合法取P5数值减低3%,则会减小不同方法间的差值约为0.3%~0.5%。对于

级配不连续土料，可以知道最大干密度再二次击实（碾压后再松散取样击实）条件下肯定大于原状土条件下。

### 2、大型击实法与超大型击实法不同土料的差异

根据前面的分析可知道，无论土料性质如何，大型击实法压实度数值比超大型击实法偏小。但我们可以看出，对于级配连续土料偏差值大，而不连续土料偏差小。这从级配连续土料易于压实而级配不连续土料不易于压实可以合理解释。

### 3、三种方法再试验条件下的科学合理性差异

我们研究的立足点是超大型击实法是标准和基础、大型击实法和最大干密度拟合曲线法是对照组。土料的性质的不同与现场取样方法导致的偏差出现，因为最大干密度拟合法的应用，才得以体现出这种偏差并能够合理分析出偏差原因。同时通过原因分析最大干密度拟合曲线法与两者之间的偏差还将会进一步减小。因此，客观上讲，三种方法没有本质的差别，可以互为基础进行验证，可以根据工程需要选择使用。

### 5 改进措施

针对检测成果的改进措施是如何减小和纠正现有的检测方法的偏差问题，即现有检测手段及方法下如何使成果更合理的问题，需要分土料的类别进行改进。

1、级配连续土料使用最大干密度拟合曲线法有两种改进措施进行偏差校准。一是将P5的数值降低3%，由此查拟合曲线计算最大干密度，可以将该类土料与超大型击实法偏差控制1.0%以内，与大型击实法间的偏差控制再0.5%以内；二是土料在碾压前先确定取样部位先期进行大型击实法再根据压实后试坑取样试验成果评价。

2级配不连续土料使用最大干密度拟合法计算时，明显采取的干密度数值是偏小的。大型击实法、超大型击实法后的P5的破碎率同样在3%左右，而采用最大干密度拟合曲线法数值还偏大，说明原状土样击实最大干密度远小于压实后重新取样击实最大干密度。其校准偏差同样有两种，一是对最大干密度拟合曲线法重新按照现场检测方法取碾压后土料试验重新率定基准曲线，二是在碾压前先确定取样部位先期进行大型击实法再根据压实后试坑取样试验成果评价。

因此，从检验样代表的准确性考虑，推荐使用原最大干密度拟合曲线法不变的基础上，对大型击实、超大型击实取样方式进行改变，变碾压后取样为碾压前取样。目前大坝数字化智能化施工条件下，人为影响小，大坝施工参数控制完全能够保证填筑质量。

### 6 结语

通过对两河口工程砾石土全料不同检测方法研究分析可以看出超大型击实法是基础和基准性方法，大型击实法和最大干密度拟合曲线法是适应现场快速检测的有效方法，三种方法检测精度均满足要求，可根据工程需要选择。

### 参考文献

- [1]吴少敏, 张丛鹏, 杨明义, 等. 碎石土全料压实度检测方法误差分析及改进研究[J]. 土木与公路, 2021(2):69-74.
- [2]章贵军, 吕兴超, 张志坤, 等. 碎石土全料压实度检测方法误差分析与改进研究[J]. 中外公路, 2021(2):135-139.
- [3]薛晓龙, 殷子涛. 碎石土全料压实度现场检测方法误差分析与改进[J]. 建筑技术, 2021(3):92-96.