

# 浅析粗粒土碾压后干密度含水率检测技术方法

王建军

新疆塔里木河流域奴尔水利枢纽工程建设管理局, 新疆 库尔勒 841000

[摘要] 目前在施工中对粗粒土含水率检测方面还没有一个准确可靠的方法, 现有试验规程中仅适用于粒径不大于 60mm 的粗粒土组分三种检测方法(烘干法、酒精燃烧法等), 文章依托新疆大石门水利枢纽工程研究采用含水率不同检测方法, 对碾压后的全级配料含水率进行对比试验, 为现场检测试验推荐科学、准确、适用、快速高效的粗粒土含水率检测手段, 从检测手段上既保证了工程质量, 同时加快了工程进度, 且经济合理。

[关键词] 粗粒土; 干密度; 含水率; 检测

DOI: 10.33142/hst.v3i1.1362

中图分类号: U414.11

文献标识码: A

## Brief Analysis of Dry Density and Moisture Content Detection Technology and Method for Coarse Grained Soil after Rolling

WANG Jianjun

Nuer Water Conservancy Project Construction Administration of Tarim River Basin, Korla, Xinjiang, 841000, China

**Abstract:** At present, there is no accurate and reliable method for detecting the moisture content of coarse-grained soil during construction. The existing test procedures only apply to three detection methods of coarse-grained soil components with a particle size of 60 mm or less (drying method, alcohol combustion method, etc.). Based on the research of Dashimen water control project in Xinjiang, the paper adopts different detection methods of water content to carry out the contrast test of the water content of the full-scale ingredients after rolling, and recommends scientific, accurate, applicable, fast and efficient detection methods of the water content of coarse-grained soil for the on-site detection test, which not only guarantees the quality of the project, but also speeds up the progress of the project, and is economical and reasonable.

**Keywords:** coarse grained soil; dry density; moisture content; detection

### 1 工程概况

新疆大石门水利枢纽工程位于巴州且末县境内的车尔臣河干流上, 距乌鲁木齐约 1200km, 交通便利。工程任务为防洪、发电和灌溉等综合利用。水库总库容 1.27 亿  $m^3$ , 电站装机容量 60 兆瓦。挡水大坝采用沥青混凝土心墙坝, 最大坝高 128.8m, 坝顶宽度 12m, 坝长 205m, 上游坝坡采用 1: 2.75~1: 2.5, 变坡处设 2m 宽马道, 上游围堰与坝体结合。坝体填筑材料分为: 上下游砂砾料填筑区、心墙上下游过渡料填筑区、沥青混凝土心墙、下游混凝土网格梁干砌石护坡。其中大坝填筑料主要工程量为: 砂砾料填筑量约 312.8 万  $m^3$ , 过渡料约 16.1 万  $m^3$ , 沥青混凝土约 1.4 万  $m^3$ , 可利用料约 18.5 万  $m^3$ 。

### 2 砂砾料含水率试验检测方法

#### 2.1 含水率试验检测

根据《土工试验规程》SL237-1999 含水率试验检测分为烘干法、酒精燃烧法等试验方法, 本次试验考虑砂砾料最大粒径 $\leq 600mm$ , 60mm 以上粒径偏多, 所以结合风干法(晾晒法)检测粗粒土含水率。

1) 烘干法: 采用电热烘箱或温度能保持 105~110℃的其他能源烘箱将土样烘干至恒重, 计算而得土料含水率, 一般适用于细粒土、砂类土、粗粒土等的含水率检测。

2) 酒精燃烧法: 采用酒精反复燃烧消耗土样水分, 计算而得土料含水率, 一般适用于快速简易测定细粒土(含有有机质的土除外)的含水率。

3) 风干法(晾晒法): 采用风或太阳晾晒土样使其失去水分, 计算而得土料含水率, 本试验方法适用于粒径大于 60mm 的粗粒土含水率检测。

由于大坝填筑采用砂砾料或爆破料填筑, 采用挖坑灌水法进行干密度检测, 挖坑坑径约 120cm, 坑深约 80cm, 单坑取试样质量约 1000kg, 实际试验中发现目前这种检测方法测得到的含水率不能完全代表坝料全级配料含水率, 必然影

响检测干密度计算值的准确性，也会给工程实体质量带来一定的不确定因素。思考和推荐一种科学合理快速的含水率检测方法，也是保证工程填筑实体质量的重要环节。本次试验选择采用烘干法检测砂砾料含水率，结合风干法（晾晒法）对比试验，找出关系规律和根据，确定出快速准确含水率试验检测方法的创新点。

### 2.2 不同试验相结合 确定最佳检测法及其规律

本次试验选择烘干法结合风干法（晾晒法）进行含水率检测，采用不同试验方式进行，确定出最佳检测砂砾料含水率试验方法和其他试验检测方法之间的规律。

方法 1：采用烘干法和风干法检测 $\geq 5\text{mm}$  土样含水率和 $\leq 5\text{mm}$  土样含水率以及 $\geq 5\text{mm}$  和 $\leq 5\text{mm}$  土样在全料所占比例，采用加权平均计算得到全料含水率。

方法 2：采用烘干法检测 $\leq 5\text{mm}$  土样含水率，计算全料 $\leq 5\text{mm}$  混合料含水量，用总含水量除以全料总干质量，计算得到全料含水率。（ $\geq 5\text{mm}$  砂卵石含水率很小，可以忽略不计，所以含水率按照 0%考虑）

方法 3：采用烘干法检测 $\leq 80\text{mm}$  混合料土样含水率，代表全料含水率。（ $\geq 80\text{mm}$  砂卵石含水率很小，几乎没有，可以忽略不计，所以含水率按照 0%考虑）

方法 4：采用烘干法和风干法检测 $\geq 80\text{mm}$  土样含水率和 $\leq 80\text{mm}$  土样含水率以及 $\geq 80\text{mm}$  和 $\leq 80\text{mm}$  土样在全料所占比例，采用加权平均计算得到全料含水率。

方法 5：采用烘干法检测 $\leq 80\text{mm}$  混合料土样含水率，计算全料 $\leq 80\text{mm}$  混合料含水量，用总含水量除以全料总干质量，计算得到全料含水率。（ $\geq 80\text{mm}$  砂卵石含水率很小，几乎没有，可以忽略不计，所以含水率按照 0%考虑）

方法 6：采用烘干法，将全部土样进行烘干，计算得到全料含水率。

方法 7：采用风干法，将全部土样进行风干，计算得到全料含水率。

方法 8：全料进行分级筛分，计算分级占全料百分数，采用烘干法和风干法检测各粒级土样含水率，按照各级加权平均含水率得到两种方法测得的全料含水率。

## 3 砂砾料含水率试验检测

在本工程砂砾石料场选取含水相对稳定的代表性试样，挖机清除表层覆盖土，立面深挖 5 米，刻槽抽取混合料约 20 吨作为试验用料，试验料湿润状态与坝体填筑料相近，可代表大坝填筑料的实际含水率，室内按照现场取样数量进行试验，采用 8 种不同试验方式进行含水率检测。

### 3.1 选择方法 1 进行试验

采用烘干法和风干法检测 $\geq 5\text{mm}$  砂砾料含水率和 $\leq 5\text{mm}$  砂料含水率以及 $\geq 5\text{mm}$  砂砾料和 $\leq 5\text{mm}$  砂料在全料所占比例，采用加权平均计算得到全料含水率，见表 1。

表 1 砂料和砂砾料样品检测结果统计表

项目	第一组		第二组		第三组		第四组		第五组	
	$\geq 5\text{mm}$ 土样	$\leq 5\text{mm}$ 土样	$\geq 5\text{mm}$ 土样	$\leq 5\text{mm}$ 土样	$\geq 5\text{mm}$ 土样	$\leq 5\text{mm}$ 土样	$\geq 5\text{mm}$ 土样	$\leq 5\text{mm}$ 土样	$\geq 5\text{mm}$ 土样	$\leq 5\text{mm}$ 土样
试验方法	风干法	烘干法	风干法	烘干法	风干法	烘干法	风干法	烘干法	风干法	烘干法
取样质量(kg)	80	2	80	2	80	2	80	2	80	2
试坑土样质量(kg)	733.6	249.75	691.75	262.4	682.45	213.15	673.30	239.05	669.20	216.00
占全料比例(%)	74.6	25.4	72.5	27.5	76.2	23.8	73.8	26.2	75.6	24.4
含水率(%)	0.25	2.09	0.19	2.08	0.20	2.10	0.22	2.07	0.23	2.08
全料含水率(%)	0.72		0.71		0.65		0.70		0.68	

### 3.2 选择方法 2 进行试验

采用烘干法检测 $\leq 5\text{mm}$  砂料含水率，计算全料 $\leq 5\text{mm}$  砂料含水量，用总含水量除以全料总干质量，计算得到全料含

水率。(≥5mm 砂砾料含水率很小, 可以忽略不计, 所以含水率按照 0%考虑), 见表 2。

表 2 砂料和砂砾料样品检测结果统计表

项目	第一组		第二组		第三组		第四组		第五组		
	≤5mm 土样		≤5mm 土样		≤5mm 土样		≤5mm 土样		≤5mm 土样		
试验方法	烘干法		烘干法		烘干法		烘干法		烘干法		
取样质量(kg)	2		2		2		2		2		
≤5mm 含水率(%)	2.09		2.08		2.10		2.07		2.08		
试坑≤5mm 土样总质量(kg)	249.75		262.4		213.15		239.05		216.00		
≤5mm 总含水量(kg)	5.22		5.46		4.48		4.95		4.49		
坑内土样总干质量(kg)	978.13		948.69		891.12		907.40		880.71		
全料含水率(%)	0.53		0.58		0.50		0.55		0.51		
备注	≥5mm 含水率(%)	0.25 (忽略不计)		0.19 (忽略不计)		0.20 (忽略不计)		0.22 (忽略不计)		0.23 (忽略不计)	

### 3.3 选择方法 3 进行试验

采用烘干法检测≤80mm 混合料含水率, 代表全级配料含水率。(≥80mm 卵石含水率很小, 几乎没有, 可以忽略不计, 所以含水率按照 0%考虑) 见表 3。

表 3 卵石和混合料样品检测结果统计表

项目	第一组		第二组		第三组		第四组		第五组		
	≤80mm 土样		≤80mm 土样		≤80mm 土样		≤80mm 土样		≤80mm 土样		
试验方法	烘干法/风干法		烘干法/风干法		烘干法/风干法		烘干法/风干法		烘干法/风干法		
取样质量(kg)	30		30		30		30		30		
全料含水率(%)	1.47		1.20		1.30		1.35		1.38		
备注	≥80mm 含水率(%)	0.17 (忽略不计)		0.18 (忽略不计)		0.17 (忽略不计)		0.20 (忽略不计)		0.16 (忽略不计)	

### 3.4 选择方法 4 进行试验

采用烘干法和风干法检测≥80mm 卵石含水率和≤80mm 混合料含水率以及≥80mmmm 卵石和≤80mmmm 混合料在全料所占比例, 采用加权平均计算得到全级配料含水率, 见表 4。

表 4 卵石和混合料样品检测结果统计表

项目	第一组		第二组		第三组		第四组		第五组	
	≥80mm 土样	≤80mm 土样	≥80mm 土样	≤80mm 土样	≥80mm 土样	≤80mm 土样	≥80mm 土样	≤80mm 土样	≥80mm 土样	≤80mm 土样
试验方法	风干法	烘干法	风干法	烘干法	风干法	烘干法	风干法	烘干法	风干法	烘干法
取样质量(kg)	213.30	774.15	143.65	801.40	204.20	707.30	185.20	705.25	230.85	674.40
占全料比例(%)	21.6	78.4	15.2	84.8	22.4	77.6	20.8	79.2	25.5	74.5
含水率(%)	0.17	1.47	0.18	1.20	0.17	1.30	0.20	1.35	0.16	1.38
全料含水率(%)	1.19		1.04		1.05		1.11		1.07	

### 3.5 选择方法 5 进行试验

采用烘干法检测 $\leq 80\text{mm}$ 混合料含水率, 计算全料 $\leq 80\text{mm}$ 混合料含水量, 用总含水量除以全料总干质量, 计算得到全料含水率。(  $\geq 80\text{mm}$  卵石含水率很小, 几乎没有, 可以忽略不计, 所以含水率按照 0%考虑), 见表 5。

表 5 混合料样品检测结果统计表

项目	第一组	第二组	第三组	第四组	第五组
	$\leq 80\text{mm}$ 土样	$\leq 80\text{mm}$ 土样	$\leq 80\text{mm}$ 土样	$\leq 80\text{mm}$ 土样	$\leq 80\text{mm}$ 土样
试验方法	烘干法/风干法	烘干法/风干法	烘干法/风干法	烘干法/风干法	烘干法/风干法
取样质量(kg)	30	30	30	30	30
$\leq 80\text{mm}$ 含水率(%)	1.47	1.20	1.30	1.35	1.38
$\leq 80\text{mm}$ 土样总质量(kg)	774.15	801.40	707.30	705.25	674.40
$\leq 80\text{mm}$ 总含水量(kg)	11.38	9.62	9.19	9.52	9.31
土样总干质量(kg)	976.07	935.43	902.31	880.93	895.94
全料含水率(%)	1.17	1.03	1.02	1.08	1.04
注 $\geq 80\text{mm}$ 含水率(%)	0.17 (忽略不计)	0.18 (忽略不计)	0.17 (忽略不计)	0.20 (忽略不计)	0.16 (忽略不计)

### 3.6 选择方法 6 进行试验

采用烘干法, 将全部土样进行烘干, 计算全料土样含水率, 见表 6。

表 6 全级配砂砾料样品检测结果统计表

项目	第一组	第二组	第三组	第四组	第五组
试验方法	烘干法	烘干法	烘干法	烘干法	烘干法
取样质量(kg)	983.35	954.15	895.60	912.35	885.20
试验干质量(kg)	971.75	944.15	886.30	902.40	875.90
含水量(kg)	11.60	10.00	9.30	9.95	9.30
全料含水率(%)	1.19	1.06	1.05	1.10	1.06

### 3.7 选择方法 7 进行试验

采用风干法, 将全部土样进行风干, 计算全料土样含水率, 见表 7。

表 7 全级配砂砾料样品检测结果统计表

项目	第一组	第二组	第三组	第四组	第五组
试验方法	风干法	风干法	风干法	风干法	风干法
取样质量(kg)	952.15	956.15	911.20	960.30	915.25
试验干质量(kg)	941.10	946.20	901.85	950.05	905.75
含水量(kg)	11.05	9.95	9.35	10.25	9.50
全料含水率(%)	1.17	1.05	1.04	1.08	1.05

### 3.8 选择方法 8 进行试验

全料级配进行分级筛分, 计算分级占全料百分数, 采用烘干法和风干法检测各粒级土样含水率, 按照各级加权平

均含水率得到全料含水率，见表 8。

表 8 全级配砂砾料分级筛分样品检测结果统计表

项目	第一组		第二组		第三组		第四组		第五组	
试验方法	烘干法/风干法		烘干法/风干法		烘干法/风干法		烘干法/风干法		烘干法/风干法	
取样质量(kg)	983.35		954.15		895.60		912.35		885.20	
试验项目	占比(%)	含水率(%)	占比(%)	含水率(%)	占比(%)	含水率(%)	占比(%)	含水率(%)	占比(%)	含水率(%)
(400~500)mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(300~400)mm	2.3	0.22	1.7	0.20	0	0	3.1	0.20	0	0
(200~300)mm	3.8	0.28	2.8	0.27	3.4	0.26	3.2	0.24	3	0.22
(100~200)mm	7.8	0.36	7.4	0.35	7.6	0.34	6.4	0.35	6.6	0.36
(80~100)mm	4.5	0.38	4.6	0.37	4.1	0.38	7.2	0.37	5.3	0.38
(60~80)mm	8.2	0.42	8.7	0.43	7.5	0.41	8.3	0.40	7.7	0.41
(40~60)mm	11.2	0.48	10.2	0.47	9.4	0.46	10.1	0.47	8.9	0.45
(20~40)mm	16.2	0.52	15.6	0.50	18.8	0.51	14.7	0.52	18.5	0.50
(10~20)mm	10.5	0.58	9.8	0.56	12.6	0.56	9.5	0.56	12.4	0.57
(5~10)mm	10.1	0.64	11.7	0.65	12.8	0.63	11.3	0.62	13.2	0.60
≤5mm	25.4	2.09	27.5	2.08	23.8	2.1	26.2	2.07	24.4	2.08
全料含水率(%)	0.89		0.92		0.87		0.89		0.87	

#### 4 试验成果分析

##### 4.1 不同试验方法检测含水率试验的准确性对比

通过粗粒土含水率试验数据分析，采用不同试验方法检测含水率试验的准确性对比如下表。

表 9 8 种检测方法砂砾料样品含水统计汇总表

项目	第一组	第二组	第三组	第四组	第五组	备注
方法 1	0.72	0.71	0.65	0.70	0.68	偏离真值
方法 2	0.53	0.58	0.50	0.55	0.51	偏离真值
方法 3	1.47	1.20	1.30	1.35	1.38	偏离真值
方法 4	1.19	1.04	1.05	1.11	1.07	接近真值
方法 5	1.17	1.03	1.02	1.08	1.04	接近真值
方法 6	1.19	1.06	1.05	1.10	1.06	真值
方法 7	1.17	1.05	1.04	1.08	1.05	真值
方法 8	0.89	0.92	0.87	0.89	0.87	偏离真值

#### 4.2 不同试验方法检测含水率结果与真值对比

通过粗粒土含水率试验数据分析，采用不同试验方法检测含水率结果与真值对比如下柱状图。

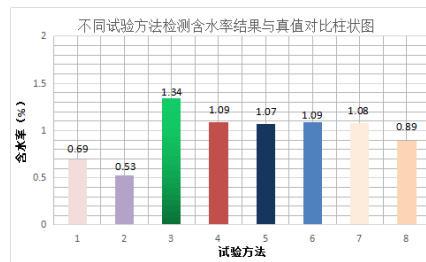


图1 不同试验方法检测含水率结果与真值对比柱状图

由 4.1、从 4.2 可得，并结合实际试验和试验数据分析，砂砾料含水率真值应该是接近方法 6、方法 7 的试验结果，且方法 2<方法 1<方法 8<方法 5<真值=(方法 7<方法 6)<方法 4<方法 3。

表 10 8 种检测方法砂砾料样品检测成果评价表

项目	工作量	合理性	操作性	准确性	试验时间
方法 1	较大	较好	一般	好	6 小时
方法 2	小	较好	强	一般	6 小时
方法 3	小	一般	强	差	6 小时
方法 4	较大	一般	一般	一般	6 小时
方法 5	小	好	强	好	6 小时
方法 6	大	一般	一般	好	6 小时
方法 7	大	一般	较差	好	12 小时
方法 8	大	一般	较差	好	6 小时

#### 4.3 不同试验方法含水率试验工作量、合理性、操作性、准确性、试验时间对比

通过粗粒土砂砾料含水率试验数据分析，采用不同试验方法含水率试验工作量、合理性、操作性、准确性、试验时间对比如表 10。

实际砂砾料含水率检测中，应根据实际工程情况合理检测含水率，尽量选择接近真值的含水率试验方法，同时考虑操作性、工作量等其它因素。通过试验优选方法 5 作为本工程现场检测砂砾料含水率唯一安全的试验手段，保证工程实体质量同时缩短试验时间。

### 5 结束语

新疆大石门水利枢纽工程挡水大坝采用沥青混凝土心墙坝，采用砂砾料含水率试验检测(烘干法)方法 2，共检测干密度 172 组，干密度 2.26g/cm<sup>3</sup>~2.41g/cm<sup>3</sup>，平均值 2.36g/cm<sup>3</sup>。含水率 1.1%~2.6%，平均值 1.3%。含水率检测合理准确更接近真值，保证了工程实体质量，防止了由于试验方法而造成的结果误差，取得了较好的实用效果。经过经济比较分析，间接节约各项成本约 35 万余元，这种含水率检测方法更加科学实用，实际带来的社会效益更加显著，今后对于同类型土石坝工程具有较好的推广应用价值。

#### [参考文献]

- [1]吴义航. 土石筑坝材料碾压试验规程[M]. 北京:中国水利水电出版社,2013.
- [2]佚名. 水电水利工程粗粒土试验规程[M]. 北京:中国电力出版社,2006.
- [3]佚名. 碾压式土石坝施工规范[M]. 北京:中国电力出版社,2008.

作者简介:王建军(1966.8-),男,毕业于:西安交通大学,所学专业:土木工程专业,当前就职于:新疆塔里木河流域奴尔水利枢纽工程建设管理局,高级工程师。