

水库淤泥烧制工艺性能研究*

王立华, 陈锡容, 陈理达

(广东省水利水电科学研究院, 广东省水利重点科研基地, 广东 广州 510610)

摘要:介绍了烧制原材料的塑性指数、临界含水率、干燥敏感性系数和干燥线收缩率等工艺性能的试验方法, 并对水库淤泥、煤矸石、泥岩和炉渣的这些性能进行了研究。研究表明, 水库淤泥塑性指数接近或大于15, 塑性高, 易于成型, 但干燥敏感性指数达到1, 对干燥条件的适应性差, 易于产生干燥缺陷; 煤矸石塑性指数为5.62, 塑性较低, 干燥敏感性指数为0.45; 泥岩塑性指数为8.85, 塑性中等, 干燥敏感性指数为0.74; 炉渣为无塑性的瘠性原材料。在水库淤泥中适当掺入煤矸石、泥岩和炉渣等添加剂, 可降低混合料的塑性、临界含水率和干燥敏感性, 提高坯料的压实性及半成品的强度, 保证外形规整, 降低砖坯的废品率, 对坯体干燥脱水也有利。

关键词:水库淤泥烧制; 临界含水率; 干燥敏感性系数; 干燥线收缩率

中图分类号: TV42+3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-0112(2013)01-0025-03

水库淤积物主要是集雨面积范围的地壳表层岩体经强烈风化(包括物理风化、化学风化以及生物风化)、搬运、沉淀等作用, 聚积于水库底部的松散颗粒集合体。从目前底泥资源化方法的研究来看, 由于底泥中重金属的存在, 使得利用底泥制备高温烧结产品成为比较适合的资源化方法, 而其它方法都存在一定的缺陷, 例如, 采用底泥作肥料, 对底泥的污染程度、植物的类型有较为严格的要求, 由于植物对重金属的蓄积作用以及用于土地后重金属对地下水的潜在危害, 使得其应用得到很大程度的限制, 因此对用于农田的底泥, 其污染程度要严格控制; 绿地、公园等对重金属的要求不如蔬菜等高, 可以采用, 但仍然存在对地下水的潜在危害。因此, 重金属的问题就成为底泥资源化的核心问题之一。而高温烧结产品则可以有效地对底泥原材料中的重金属进行很好的固化和固结, 避免了底泥产品对环境的二次污染。烧结制品对原材料的适应性比较好, 是一种较可行的利用方式。

临界含水率、干燥敏感性系数和干燥线收缩率是生产砖瓦原材料的3个重要指标, 也是设计干燥室和确定合理的干燥制度的重要参数^[1]。为探寻以水库淤泥为主要原材料制造烧结产品的合理技术路线, 采用广东省兴宁合水水库淤泥为主要原材料, 以就地取材的炉渣、煤矸石、泥岩为添加剂, 制备水库淤泥烧结产品, 本文对其成型工艺性能进行系统的研究、

分析^[2-3]。

1 原材料的普氏成型水分试验

原材料的普氏成型水分试验是通过测定原材料受一定外力作用引起变形($a=2$)时含水率。其试验是将制备好的泥料在橡皮板上摔练成长约80mm、宽约40mm、高约70mm的长方体泥块, 用手工取样器垂直徐徐将泥块压满取样筒, 用油灰刀将多余泥料沿筒口刮掉, 推动手柄, 将泥柱慢慢推出放在半圆模上, 用刀沿其半圆模切割槽精确地将泥块切割成两切面平行、高度为 40 ± 0.5 mm、直径为 35 ± 0.5 mm的圆柱试件; 将普氏塑性仪的冲压板导杆指针固定在标尺186mm位置上, 在塑性仪底盘上抹以薄层润滑油, 将被测试件放在仪器底盘中心 $\Phi 35$ mm的圆圈内, 使试件尽量居中, 松开仪器紧固螺栓, 使仪器冲压盘沿着套管自由下落冲压试件, 待导杆稳定后记录试件冲压后的高度。待普氏变形比 $a=2$ 时测定其水分, 该水分即为普氏成型水分, 普氏水分的高低反映了粘土泥料的可塑性能。

2 原材料的临界含水率、干燥线收缩率和干燥敏感性系数试验

临界含水率是原材料在普氏成型水分的条件下成型, 在干燥过程中随着水分的蒸发泥料产生收缩, 当逐渐干燥到某一含水量时, 砖坯收缩基本停止时的水分即为临界含水率, 继续降低水分仅使坯体空隙率增加而不会产生收缩内应力。临界含水率越高说明泥料

收稿日期: 2012-10-30; 修回日期: 2012-12-03

作者简介: 王立华(1972-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事水利工程材料研究。

* 广东省科技厅和广东省水利厅资助项目, 编号分别为粤科计字[2005]143号和编号 yks200702

的干燥性能越好, 不容易产生开裂。正确把握和应用临界含水率, 不仅可以加快坯体的干燥速度, 而且不会造成坯体干燥裂纹, 这对砖厂的干燥工艺管理非常重要。

干燥线收缩率是随着干燥过程的进行, 坯体中的水分逐渐排除, 坯体原材料颗粒之间彼此靠拢而产生体积收缩。干燥线收缩等于成型时试件两记号间距和干燥后试件上两记号间距之差与成型时试件两记号间距的比值。

干燥敏感性系数是成型含水率和临界含水率之差与临界含水率的比值, 表示泥料在干燥过程中发生开裂等干燥缺陷的倾向性程度。干燥敏感性系数高的泥料对干燥条件的适应性差, 易于产生干燥缺陷; 而干燥敏感性系数低的泥料宜于实行快速干燥, 对干燥有利。

试验方法是将普氏变形比 $a = 2$ 的泥料封存 24h, 取部分料摔练成 30mm 厚的泥块置于铺有湿布的橡皮板上, 并在上面覆盖一层湿布, 用擀泥碾呈 90° 方向用力均匀地交替滚压, 滚压至泥块厚度约为 15mm 时接去湿布, 用取样器取两块尺寸为 $50\text{mm} \times 50\text{mm} \times 15\text{mm}$ 的试件, 在试件上划出 2 条对角线, 用游标卡尺分别在 2 条线上压出间距为 $50 \pm 0.02\text{mm}$ 的线段, 按顺序编号, 迅速称量试件的质量; 将试件放在室内自然干燥, 室内温度与湿度范围分别为 $15^\circ\text{C} \sim 30^\circ\text{C}$ 、 $70\% \sim 80\%$, 避免太阳直接照射。每隔 3h, 用游标卡尺测量试件的每条线段长度, 并称量试件的质量。直至线段停止收缩为止。将试件放入烘箱, 在温度 $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ 下烘至恒量。取出置于干燥器内冷却至室温, 然后测量试件的每条线段长度, 称量试件的质量。由此来计算临界含水率、干燥线收缩和干燥敏感性系数。

1) 临界含水率的计算

a. 按式(1)计算试件的含水率, 计算精确至 0.01%。

$$W = \left(\frac{m}{m_d} - 1 \right) \times 100 \quad (1)$$

式中 W 为试件含水率, %; m 为在干燥过程中, 每次称量试件的质量, g; m_d 为试件干质量, g。

b. 按式(2)计算试件的平均线收缩值, 计算精确至 0.01mm。

$$\Delta L = L_0 - \frac{L_1 + L_2}{2} \quad (2)$$

式中 ΔL 为干燥期间, 试件上 2 条线段的平均收缩值, mm; L_0 为线段初始长度, 50mm; L_1 为干燥期间, 试件上第 1 条线段长度, mm; L_2 为干燥期间, 试件上第 2 条线段长度, mm。

c. 以试件含水率 W 为横坐标, 平均线收缩值 ΔL 为纵坐标绘图, 作曲线两边的延长线, 延长线相交于一点所对应的含水率即为临界含水率 W_c , 精确至 0.1%。

2) 干燥敏感性系数的计算, 计算精确至 0.01

$$K = \frac{W_f}{W_c} - 1 \quad (3)$$

式中 K 为干燥敏感性系数; W_f 为试件成型含水率, %; W_c 为临界含水率, %。

3) 干燥线收缩率的计算, 计算精确至 0.01%

$$\Delta L_d = \frac{\Delta L_{d1} + \Delta L_{d2}}{2} \quad (4)$$

$$Y_d = \frac{\Delta L_d}{L_0} \quad (5)$$

式中 ΔL_d 为干燥后, 试件上 2 条线段的平均收缩值, mm; ΔL_{d1} 为干燥后, 试件上第 1 条线段的收缩值, mm; ΔL_{d2} 为干燥后, 试件上第 2 条线段的收缩值, mm; Y_d 为干燥线收缩率, %。

3 原材料的塑性指数试验

塑性指数是指其液限与塑限的差值, 是反映原材料成型性能的重要指标, 以原材料呈塑化状态时的含水率变化范围表示。塑限指混合料塑性状态时的含水量, 也表示混合料被湿润后形成水膜, 使泥料颗粒能相对滑动而出现可塑性的含水量; 液限反映原材料颗粒与水分子的亲和力, 液限高的混合料颗粒细, 在水中分散度大, 对坯体干燥脱水和湿坯强度具有影响。塑性指数高, 反映出原材料的成型性能较好。

塑性指数试验根据圆锥仪贯入深度与泥料抗剪强度的关系, 与搓滚法泥条直径达到 3mm 时产生裂纹并断裂时泥条含水率的塑限差值。

液限是把试样杯置于杯座上, 用调土刀将制备好的泥料调拌均匀, 密实地填入试样杯中。然后刮去多余泥料使其与杯口齐平, 用手提住锥口摸好油的圆锥仪上端手柄, 悬在泥料表面中部, 至锥与泥料表面接触时, 松开手使锥体随自重沉入泥料中。当锥体沉入泥料中的时间为 5s 而深度恰为 10mm 时, 泥料的含水率即为液限。

塑限是取制备好的泥料一小块, 用手掌均匀施力在毛玻璃上轻轻搓滚成泥条, 当搓至泥条直径达 3mm 时产生裂纹并开始断裂, 此时泥条的含水率即为塑限。

4 试验结果

兴宁合水水库淤泥: 呈黄红色, 小块状; 松散干容重为 $0.87\text{g}/\text{cm}^3$, 自然含水率为 19.23%。煤矸石: 在兴宁煤矿煤矸石山上取样, 呈黑色, 碎颗粒, 松散干容重为 $1.26\text{g}/\text{cm}^3$, 自然含水率为 0.15%。泥岩:

合水水库库尾山上取样，呈红色，块状、碎颗粒均有，松散干容重为 1.13g/cm³，自然含水率为 3.93%。炉渣：兴宁电厂炉渣，呈黑灰色，松散颗粒，含有粒径大于 1mm 的炉渣残渣 25.02%，松散干容重为 0.84g/cm³，自然含水率为 2.44%。用上述的试验方法测定原材料的成型工艺性能，试验结果见表 1。

表 1 原材料的物理性能

测试项目 原材料类别	普氏成型水分 /%	可塑性			临界含水率 /%	干燥敏感性 系数	干燥线收缩率 /%
		液限/%	塑限/%	塑性指数			
兴宁合水水库库尾淤泥	41.27	50.54	35.64	14.90	20.60	1.00	6.06
深圳石岩水库泥库淤泥	45.07	55.18	39.25	15.93	22.46	1.01	6.54
煤矸石	15.18	18.10	12.48	5.62	10.44	0.45	6.54
泥岩	19.42	24.33	15.49	8.85	11.16	0.74	3.87
炉渣				无塑性			

由表 1 可知，兴宁合水水库和深圳石岩水库淤泥的临界含水率达到 20%，塑性指数接近或大于 15，偏大，这主要是由于其颗粒粒径小，塑性颗粒含量高，与水分子的亲和力强，可塑性好，成型性能好，但对坯体干燥脱水和湿坯强度具有影响。干燥敏感性系数达到 1，对干燥条件的适应性差，易于产生干燥缺陷。临界含水率超过 20%，当坯体含水率低于临界含水率时，可以快速干燥而不致开裂；干燥线收缩率约 6%，对生产不会造成不良影响。水库淤泥直接用于制砖，容易干燥开裂，需要掺入添加剂进行改性。

煤矸石塑性指数为 5.62，塑性较低，干燥敏感性指数为 0.45，较低，对干燥条件的适应性好，不易于产生干燥缺陷，可以快速干燥而不致开裂；干燥线收缩率为 6.54%，对生产不会造成不良影响。泥岩塑性指数为 8.85，塑性中等，干燥敏感性指数为 0.74，较低，对干燥条件的适应性好，不易于产生干燥缺陷，可以快速干燥而不致开裂；干燥线收缩率为 3.87%，较低，对生产不会造成不良影响，有利于保持坯体的尺寸稳定。炉渣为无塑性的瘠性原材料。

添加剂煤矸石、泥岩和炉渣粉碎后的塑性指数均比水库淤泥小得多，适当掺入添加剂，可降低混合料的可塑性和干燥敏感性，提高坯料的压实性及半成品的强度，保证外形规整，降低砖坯的废品率，对坯体干燥脱水也有利。根据郑州大学硕士研究生吴本英的研究，混合料的塑性指数与添加剂的掺量呈线性关系^[4]。

综合分析各种原材料的基本性能，兴宁合水水库和深圳石岩水库淤泥富含粘土质矿物，SiO₂ 含量偏低、Al₂O₃ 含量偏高，为高塑性、高敏感性的细微颗粒原材料。煤矸石具有一定热值，是富含粘土质矿物

的低塑性原材料。炉渣热值较高，是无塑性的瘠性原材料，对炉渣及炉渣残渣的化学成分及矿物组成分析表明炉渣残渣是炉渣在高温下形成的玻璃相，没有其它有害成分，故在产业化生产时残渣可随炉渣一同使用。泥岩化学成分适中，是富含粘土质矿物的中等塑性原材料。

5 结论

水库淤泥富含粘土质矿物，颗粒粒径小，塑性指数接近或超过 15，干燥敏感性系数达到 1，为高塑性、高敏感性的细微颗粒原材料，成型性能好，但对坯体干燥脱水和湿坯强度具有影响，直接用于制砖，容易干燥开裂，需要掺入添加剂进行改性；煤矸石塑性指数为 5.62，塑性较低，干燥敏感性指数为 0.45；泥岩塑性指数为 8.85，塑性中等，干燥敏感性指数为 0.74；炉渣为无塑性的瘠性原材料。

水库淤泥适当掺入添加剂，可降低混合料的可塑性、临界含水率和干燥敏感性，提高坯料的压实性及半成品的强度，保证外形规整，降低砖坯的废品率，对坯体干燥脱水也有利。

参考文献：

[1] 湛轩业. 矿物学与烧结砖瓦生产(二)[J]. 砖瓦世界, 2006, (9): 44-52.

[2] 王立华, 刘佳, 陈理达. 水库淤积物建材化利用研究[J]. 中国农村水利水电, 2012, (7): 106-109.

[3] 王立华, 陈锡容, 陈理达. 水库淤泥烧结制砖原材料理化性能试验研究[J]. 广东水利水电, 2012, (11): 27-30.

[4] 吴本英. 黄河淤泥承重烧结多孔砖的试验研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2004.

(本文责任编辑 王瑞兰)