

压实粉煤灰的工程性质及龄期的影响

刘风德

(清华大学水利系, 北京)

一、前言

目前, 我国各大火电厂对粉煤灰的处理一般采用水力管道输送, 在平原或山谷中贮放。国外一些电厂采用了干贮灰的方法, 即将干灰加水压实后贮放, 这种方法对于缺水地区更有实际意义, 干贮灰方法在我国还处于试验阶段。北京高井电厂所进行的干贮灰现场碾压试验方法步骤是: 用搅拌机将灰加水搅拌, 用装有密封仓的专用汽车运至现场, 再由推土机将灰料铺平, 用12t振动压路机碾压至要求干容重。现场碾压试验的目的是, 在考虑到环保要求、季节变化等因素的条件下, 找到经济合理的灰料含水量、碾压遍数、铺灰厚度及灰体能达到的最大干容重。并研究不同压实密度情况下的灰体工程性质以及龄期对压实后粉煤灰工程性质的影响。

二、粉煤灰的压实特性

(一) 碾压灰体干容重与含水量的关系

控制铺灰厚度 $h = 30\text{cm}$, 碾压遍数 $N = 6$, 改变灰料含水量。测定灰体的干容重 γ_d 与含水量 w 的关系(见图1), 试验点在接近水平方向呈带状分布, 为一条较平缓的曲线。可以看出, 含水量 $w = 16\text{—}30\%$ 范围内, 在相同的铺灰厚度 ($h = 30\text{cm}$)、碾压遍数 ($N = 6$) 时, 干容重略有增加趋势, 由 $\gamma_d = 9.8\text{kN/m}^3$ 增至 $\gamma_d = 10.5\text{kN/m}^3$, 由此可见, 灰料含水量对碾压灰体干容重不是敏感参数。这一特点与室内击实试验结果是相符的。分析原因, 粉煤灰颗

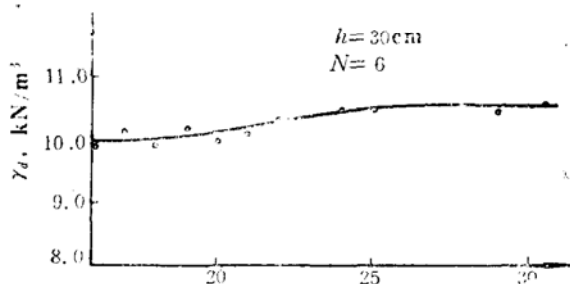


图1 干容重 γ_d -含水量 w 关系曲线

粒本身多孔隙, 当对灰料增加水分时, 大部分被颗粒本身孔隙吸收贮存, 致使在压实过程中对颗粒间的润滑作用改进不明显。图1还表明, 含水量大于25%时, 干容重能达到 10.4kN/m^3 ; 含水量在20%左右时, 一般压实干容重能达到 10kN/m^3 , 为最大干容重的90—95%。粉煤灰这一压实特性, 为灰料填筑碾压时选用经济合理的加水方案提供了依据。

(二) 碾压灰体干容重与碾压遍数的关系

当灰料含水量、铺灰厚度及碾压工具一定时, 灰料随碾压遍数 N 的增加而逐渐压密, 干容重 γ_d 也随之增加, 当 $N=2$ 时, $\gamma_d=9.5\text{kN/m}^3$ 左右; $N=4$ 时, $\gamma_d=10\text{kN/m}^3$ 以上。但是, 当灰体达到一定密度后, 碾压遍数 N 再增加($N>4$), 则干容重 γ_d 增加缓慢(见图2)。

(三) 碾压灰体干容重与铺灰厚度的关系

控制含水量 $w \approx 20\%$, 改变铺灰厚度 h , 当碾压四遍和碾压六遍时, 分别取样测定干容重, 并绘制干容重 γ_d 与铺灰厚度 h 关系曲线(见图3), 曲线表明, 当 $h \leq 30\text{cm}$, $N=4$ 与 $N=6$ 时, 压实效果基本相同, 干容重 $\gamma_d=10.3\text{kN/m}^3$ 。若增加铺灰厚度至 50cm , 则需碾压六遍, 干容重 γ_d 才能达到 10.1kN/m^3 , 铺灰厚度再增加, 碾压时碾前壅灰不易前进。

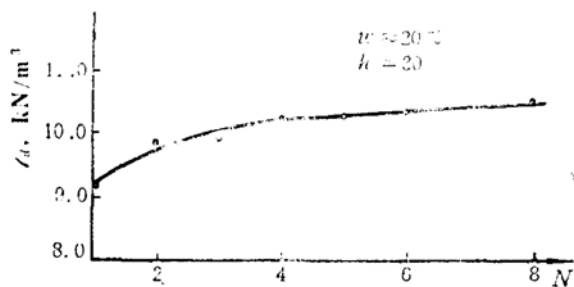


图2 干容重 γ_d -碾压遍数 N 关系曲线

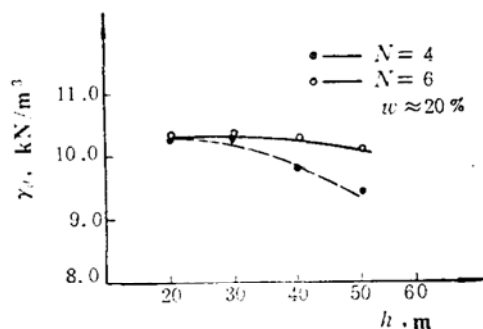


图3 干容重 γ_d -铺灰厚度 h 关系曲线

三、碾压灰体的工程特性

干贮灰法的部分碾压灰体将成为坝的主体, 为了工程的稳定、安全与经济, 需要研究压实粉煤灰体的工程特性。在试验现场对不同压实密度的灰体进行了强度、压缩及渗透试验。

(一) 碾压灰体干容重与抗剪强度的关系

在碾压现场, 对不同压实密度的粉煤灰体取样进行剪切强度试验, 灰体含水量 $w \approx 20\%$, 测得的参数为有效强度指标。

试验结果表明, 随着碾压灰体干容重 γ_d 的增大, 内摩擦角 ϕ' 与干容重 γ_d 基本上呈线性关系增加(见图4)。当 $\gamma_d=9.8\text{kN/m}^3$ 时, $\phi'=33.8^\circ$; 当 $\gamma_d=10.4\text{kN/m}^3$ 时, $\phi'=35-35.5^\circ$, 灰体的凝聚力 c' 值很小, 近似为零。

(二) 碾压灰体干容重与压缩性的关系

现场取不同压实密度的灰样, 进行压缩试验, 成果见图5。可以看出, 虽然起始孔隙比

不同($e = 1.33-1.45$), 亦即干容重不同($\gamma_d = 9.8-10.3 \text{ kN/m}^3$), 但当垂直压力为 400 kPa 时, 三条曲线逐渐靠近, 此时孔隙比接近 $e = 1.22-1.24$, 干容重 $\gamma_d = 10.73-10.79 \text{ kN/m}^3$ 。

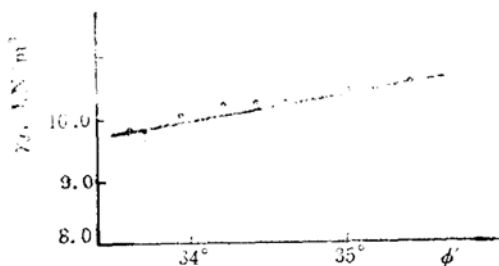


图4 干容重 γ_d -内摩擦角 ϕ 关系曲线

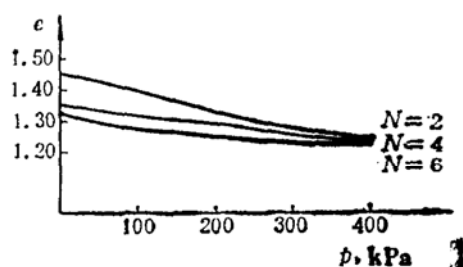


图5 孔隙比 e -垂直压力 p 关系曲线

从干容重 γ_d 与压缩系数 a_v 关系曲线可以看到(见图6), 当干容重 $\gamma_d = 9.8 \text{ kN/m}^3$ 时, 压缩系数 $a_v \approx 0.6 (\text{MPa})^{-1}$, 属高压缩性, 而干容重 $\gamma_d = 10.3 \text{ kN/m}^3$ 时, 压缩系数 $a_v = 0.2-0.3 (\text{MPa})^{-1}$, 属中压缩性。压缩系数 a_v 随干容重 γ_d 增高而减小, 近似直线关系。

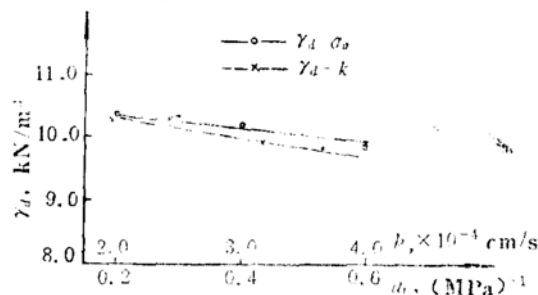


图6 干容重 γ_d -压缩系数 a_v , 渗透系数 k 关系曲线

(三) 碾压灰体干容重与渗透性的关系

现场压实灰体的渗透试验表明, 随着灰体干容重的增加, 渗透系数 k 趋于减小, 这种变化基本上呈直线关系(见图6)。

当干容重 $\gamma_d = 9.8 \text{ kN/m}^3$ 时, 渗透系数 $k = 3.6 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$, 干容重 $\gamma_d = 10.3 \text{ kN/m}^3$ 时, $k = 2.0 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$, 属中透水性。

四、碾压灰体的龄期对工程性质的影响

在试验现场进行坑探, 发现有两层硬化层。第一层在灰体表面以下 60 cm (包括 40 cm 新填灰体) 处, 厚约 20 cm 。第二层约在 125 cm 深处, 厚约 20 cm 。分析原因, 这两层硬化层的形成是由于两次停工(每次约 20 天左右)造成的, 碾压后的灰面暴露在大气中, 灰体中的氧化钙(CaO)遇水后形成氢氧化钙($\text{Ca}(\text{OH})_2$), 当与空气中的二氧化碳(CO_2)发生作用后, 形成碳酸钙(CaCO_3), 对灰体起胶结作用。另外 Al_2O_3 也有粘结作用。随着龄期的增加灰体逐渐硬化。为进一步观察这种硬化现象, 又对停工 120 天的灰体进行了坑探, 发现表面 20 cm 左右为松散层, 由于灰体含水量损失较多, 未形成胶结硬化, 以下有厚约 30 cm 的硬化层, 硬化层以下的灰体由于与空气接触较少未硬化。为研究灰体硬化与龄期的关系, 在现场对不同龄期

的灰体取样进行剪切、压缩、渗透等试验。

(一) 碾压灰体的强度指标与龄期的关系

图7表明, 随着龄期的增加内摩擦角 ϕ' 和凝聚力 c' 都有增加, c' 值增加更多些。在龄期一个月以前增加较快, 而在一个月以后的较长时间里增加缓慢。当龄期 $t = 30\text{d}$ 时, $c' = 113\text{ kPa}$, 增量为 109 kPa 。 $\phi' = 40.8^\circ$, 增量为 5.8° 。 $t = 30-120\text{d}$, c' 值增量为 27 kPa , ϕ' 值增加 1° 。

(二) 碾压灰体的压缩性能与龄期的关系

从压缩系数 a_v 与龄期 t 关系曲线(图8)可以看出, 压缩系数 a_v 随龄期 t 增加而减小, 龄期 $t < 30\text{d}$ 时, 压缩系数 a_v 变化显著, $t > 30\text{d}$ 以后, a_v 趋向稳定。

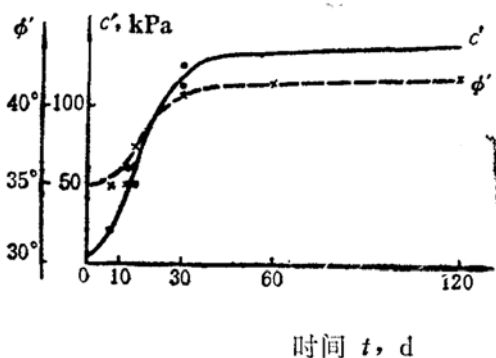


图7 抗剪强度 c' , ϕ' -龄期 t 关系曲线

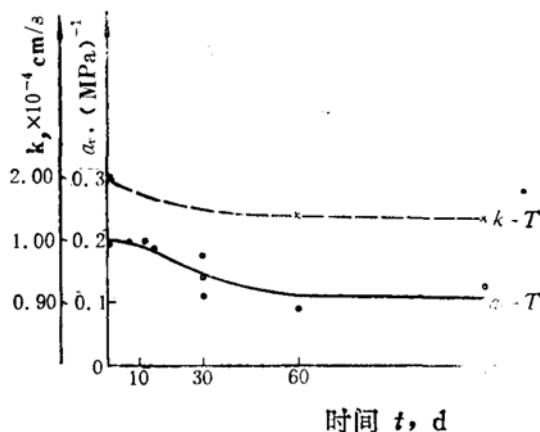


图8 压缩系数 a_v 、渗透系数 k -龄期 t 关系曲线

(三) 碾压灰体的渗透性与龄期的关系

图8还表明, 碾压灰体的渗透系数 k 随着龄期 t 的增加有减小的趋势。当 $t < 60\text{d}$ 时, 曲线坡度稍大, $t > 60\text{d}$, 曲线较平缓。

五、结 语

分析高井粉煤灰现场碾压试验结果, 初步得到以下几点看法:

1. 粉煤灰有较好的压实性能, 它与灰料含水量、铺灰厚度、碾压工具、碾压遍数有关, 但含水量对压实干容重不是敏感系数。

当碾压工具、铺灰厚度及灰料含水量一定时, 灰体的压实干容重与碾压遍数呈非线性关系增加, 当干容重达到一定值后, 增加碾压遍数, 干容重则增加很小。

当碾压遍数和灰料含水量不变时, 灰体干容重随铺灰厚度增加而降低。

当含水量为20%左右, 铺灰厚度小于 50cm , 碾压六遍, 能达到最大干容重的90%以上($\gamma_d > 10\text{ kN/m}^3$)。

2. 压实粉煤灰体有较好的工程性质。

当碾压灰体干容重大于 10 kN/m^3 时, 内摩擦角 $\phi' \approx 34-35^\circ$, 凝聚力 c' 值近似为零。压

缩系数 $a_v = 0.2-0.3(\text{MPa})^{-1}$, 渗透系数 $k = 2.0 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ 。

内摩擦角 ϕ' 与干容重 γ_d 呈线性关系增加, 而压缩系数 a_v 及渗透系数 k 随干容重 γ_d 的增加而减少。

3. 压实粉煤灰体的工程性质, 在一定条件下, 随龄期而变化, 即灰体的硬化作用, 这种变化在龄期一个月內最为显著。

灰体的内摩擦角 ϕ' 和凝聚力 c' 值随龄期 t 的增加而呈非线性增加, 龄期在一个月內 c' , ϕ' 值增加较多, c' 值更为显著, 龄期在一个月以后, c' , ϕ' 值的增加趋向稳定。

压缩系数 a_v 、渗透系数 k 随龄期增长而减小, 在30天以内变化较大, 以后趋于稳定。

灰体的硬化作用使工程性质得到改善, 但在工程设计中如何考虑这种作用还要进一步研究。