

稻壳混凝土热工性能的试验研究

谢 琼¹, 娄宗科², 殷彦平²

(1. 杨凌职业技术学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 渠道衬砌冻害已成为北方渠灌区生产实践中亟待解决的问题。而稻壳具有多孔性、低密度、低导热系数等特点,首次利用农业生产的废弃物——稻壳为骨料制备混凝土,通过试验研究了不同稻壳掺量混凝土的导热系数。结果表明:掺入稻壳后,混凝土的导热系数大幅度降低,约为同等级普通混凝土导热系数的14%~20%。通过对稻壳混凝土衬砌保温效果的分析表明:利用稻壳混凝土衬砌渠道,有助于解决像陕西关中这类微寒地区渠道衬砌的冻胀破坏问题。

关键词: 稻壳混凝土;渠道衬砌;导热系数;保温效果分析

中图分类号: TU528.36

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2012)05—0045—03

Experimental Research on Thermal Performance of Rice Husk Concrete

XIE Qiong¹, LOU Zong-ke², YIN Yan-ping²

(1. Yangling Vocational & Technical College, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The freezing damage prevention of canal lining has become one of the pressing problems which should be solved in the production and practice in north canal irrigation areas. The rice husk has the characteristics such as porosity, low density, low thermal conductivity and so on. In this study, the agricultural production waste-rice husk is used firstly as one of the materials in the production of concrete, and the apparent density and compressive strength under different rice husk amounts of concrete are studied through experiments. The results show that after mixing with the rice husk, the thermal conductivity of concrete would reduce in large scale, and is about 14%~20% of common concrete's thermal conductivity. Through analyzing the insulation effect of the rice husk concrete lining, it is shown that the rice husk concrete would help to solve the frost-heave damage problem of the lining canal in the micro-cold area such as Guanzhong area in Shaanxi.

Keywords: rice husk concrete; canal lining; thermal conductivity; insulation effect analysis

渠道衬砌冻胀破坏在我国北方寒冷地区普遍存在,经过多年的研究实践,我国提出了“允许一定冻胀位移量”的设计标准^[1],在过去的渠道衬砌的冻害防治的实践中采用过基土换填、排水隔水、物理化学、结构措施和保温措施等方法^[2-5]。这些研究虽然取得了不少成果,但仍未完全解决这一问题。特别是在地下水浅埋,渠基土水分不易或无法排出时,换填法和排水隔水法不能发挥效能,保温措施应用较为普遍。现行保温法的通常做法是在混凝土板后铺设防渗膜料和保温层,这种复合式衬砌结构造价高、施工麻烦、管理不便,常因为防渗层破坏造成保

温层失效。虽然聚苯乙烯板等作为保温材料在渠道衬砌冻害防治中已取得成功运用,但其价格昂贵,难以在量大面广的中小型渠道中推广应用。因此,从季节冻土地区渠道衬砌材料应满足防渗和保温防冻胀的双重要求出发,开发研制新型集保温、防渗于一体、廉价、便于施工的渠道衬砌新材料极为重要。

稻壳混凝土的研究思路是利用稻壳本身的低密度、高孔隙率的特性制备具有保温性能的渠道衬砌材料,导热系数是保温材料最基本的热工性能指标。稻壳混凝土导热系数的研究对于保温型渠道衬砌材料是必不可少的一项指标。

试验是在力学性能试验及耐久性试验的基础上进行的,在考虑满足强度要求的最大稻壳掺量的同时考虑水泥的用量,分别选取水灰比 0.45、0.5、0.55,稻壳掺量 9%、10.5% 共 6 组试验,每组 2 块试件,共 12 块试件。

1 稻壳混凝土导热系数试验

1.1 试验方案

试验方案见表 1。

表 1 稻壳混凝土导热系数试验方案

序号	水灰比	稻壳掺量/%	导热系数试验
1	0.45	9.0	√
2	0.45	10.5	√
3	0.50	9.0	√
4	0.50	10.5	√
5	0.55	9.0	√
6	0.55	10.5	√

1.2 试验结果与分析

稻壳混凝土导热系数试验结果见表 2。

表 2 稻壳混凝土导热系数

序号	水灰比	稻壳掺量/%	干密度 /(kg·m ⁻³)	导热系数 /W·(mk) ⁻¹
1	0.45	9.0	1759	0.1982 ^①
2	0.45	10.5	1650	0.2766
3	0.5	9.0	1805	0.3736
4	0.5	10.5	1723	0.2452
5	0.55	9.0	1843	0.2690
6	0.55	10.5	1783	0.2678

注:导热系数值是在所有试件均为绝干的状态下测得。①在做此组试验时,发生不可预知的状况,因此,此组试验结果有待考证。

由稻壳混凝土导热系数试验结果可知,掺入稻壳后,混凝土的导热系数有大幅度的降低,约为普通混凝土导热系数(1.8 W/m·k)的 14%~20%。当水灰比小于 0.55 时,稻壳掺量对导热系数有较大影响。随着稻壳掺量的增大,混凝土导热系数降低;当水灰比为 0.55 时,稻壳掺量的影响很小,稻壳有 9% 增大到 10.5%,导热系数几乎保持不变。当水灰比为 0.5,稻壳掺量为 10.5% 时,稻壳混凝土导热系数达到最小值 0.2452 W/m·k。

2 稻壳混凝土衬砌保温效果分析

通过试验,得到了导热系数最小稻壳混凝土的配合比。为了将此材料用于渠道衬砌,进行必要的

热工计算就很有意义,其主要内容有:① 已知工程地点的气候、土质、水分等条件,确定使渠基土不冻结时的最小衬砌厚度,我们将此厚度称为临界厚度;② 当实际厚度小于临界厚度时,确定渠基土的冻结深度,进而确定冻胀量,为防冻胀设计提供基础数据。

渠道衬砌与渠基土一起构成了非均质地层,热工计算时通常将渠道衬砌看成渠基土的人工保温层,该层内认为不存在水分的相变。关于不均匀体系热工计算的模型和方法很多,但都不同程度的利用了英国人隆顿和谢班于 1943 年提出的当量层厚度的概念。当量层厚度可按式(1)计算:

$$S = \lambda_M \cdot \frac{h}{\lambda_i} \tag{1}$$

式中:S 为当量层厚度; λ_M 为冻土层导热系数; h 为保温层厚度; λ_i 为保温层导热系数。

根据上述思想,人们采用过多种计算模式和方法,现按照《渠系工程抗冻胀设计规范》(SL23—2006)中规定的方法对稻壳混凝土的保温效果进行分析。该方法的主要内容包括:

(1) 计算工程地点的设计冻深 Z_d

$$Z_d = \phi_d \phi_w Z_m \tag{2}$$

$$\phi_d = \alpha + (1 - \alpha) \phi_i \tag{3}$$

$$\phi_w = \frac{1 + \beta e^{-Z_{w0}}}{1 + \beta e^{-Z_{wi}}} \tag{4}$$

式中: Z_d 为渠系工程设计冻深(cm); Z_m 为历年最大冻深(cm),若没有当地资料可参考 GJ 118—98 中的“中国季节冻土标准冻深线图”选取; ϕ_d 为考虑日照及遮阴程度的修正系数,按式(3)计算,按东西走向的典型断面阴坡为例; ϕ_w 为地下水影响系数,按式(4)计算,为计算简便本例按 0.85 计算; ϕ_i 为典型断面某部位的日照及遮阴程度修正系数,可由《渠系工程抗冻胀设计规范》中查得。; α 为系数,可根据工程所在的气候区由《渠系工程抗冻胀设计规范》中查得。

(2) 确定基础设计冻深 Z_f

$$Z_f = \left(1 - \frac{R_i}{R_0}\right) Z_d - 1.6 \delta_w \tag{5}$$

$$R_i = \frac{\delta_c}{\lambda_c} \tag{6}$$

$$R_0 = 0.06 I_0^{0.5} \phi_d \tag{7}$$

式中: R_i 为底板热阻(m²·℃/W); δ_c 为基础板厚度(m); R_0 为设计热阻(m²·℃/W); I_0 为工程地点的冻结指数(℃·d); Z_d 为工程地点自然设计冻深(m); Z_f 为基础下的设计冻深(m); δ_w 为基础板之上

冰层厚度,本例为 0; λ_c 为基础板热导率,本例为 $0.25\text{W}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$ 。

(3) 计算临界衬砌厚度 δ_0

如果能找到一个合适的保温层,作用于地面时刚好消除了冻层,则保温层的保温机能和原有冻土层的作用是完全相同的,是最好的等效。即 $Z_f = 0$ 时,衬砌厚度就处于临界状态,此时有:

$$\delta_0 = R_0 \cdot \lambda_c$$

(8)

(4) 冻胀量计算

$$h_f = hZ_f/Z_d$$

(9)

式中: h 为工程地点天然冻土层产生的冻胀量(cm),可由《渠系工程抗冻胀设计规范》中查得,本例按地下水水位为 $Z_m = 0.6$ 查表; h_f 为基础结构下产生的冻胀量(cm)。

现选择几个有代表型的地区进行保温计算,计算如下:

2.1 渭南交口抽渭灌区

气象资料^[6]:历年最大冻深 $Z_m = 20\text{ cm}$,冻结指数 $I_0 = 34.3^\circ\text{C}\cdot\text{d}$

(1) 设计冻深 Z_d

$$\phi_d = \alpha + (1 - \alpha)\phi_i = -1.33 + (1 + 1.33) \times 1.25$$

$$= 1.58$$

$$Z_d = 20 \times 1.58 \times 0.85 = 26.86\text{ cm}$$

(2) 衬砌临界厚度 δ_0

$$R_0 = 0.06I_0^{0.5}\phi_d = 0.06 \times \sqrt{34.3} \times 1.58 = 0.555$$

稻壳混凝土: $\delta_0 = R_0\lambda_c = 0.555 \times 0.25 = 0.14$

普通混凝土: $\delta_0 = R_0\lambda_c = 0.555 \times 1.8 = 1.0$

(3) 衬砌 10 cm 厚板下冻深

$$\text{稻壳混凝土: } Z_f = \left(1 - \frac{R_i}{R_0}\right) Z_d = \left(1 - \frac{0.1/0.25}{0.555}\right) \times$$

$$0.2686 = 0.08\text{ m}$$

$$\text{普通混凝土: } Z_f = \left(1 - \frac{0.1/1.8}{0.555}\right) \times 0.2686 = 0.24\text{ m}$$

(4) 10 cm 衬砌下冻胀量计算

稻壳混凝土: $h_f = h \cdot Z_f/Z_d = 0.036 \times 0.08/0.2686$

$$= 0.001\text{m} = 0.1\text{cm} < 2\text{cm}$$

普通混凝土: $h_f = 0.036 \times 0.24/0.2686 = 0.032\text{m}$

$$= 3.2\text{cm} > 2\text{cm}$$

即衬砌 10 cm 的稻壳混凝土可避免除冻胀破坏,而普通混凝土衬砌必然发生冻胀破坏。

2.2 分析讨论

为了便于比较分析,同时计算了杨凌与甘肃白银地区的设计冻深、衬砌临界厚度、衬砌 10 cm 厚板下冻深、10 cm 衬砌下冻胀量等物理量,现将上述计算成果列于表 3 中。

表 3 保温计算成果表

项目	渭 南		杨 凌		白 银	
	稻壳混凝土	普通混凝土	稻壳混凝土	普通混凝土	稻壳混凝土	普通混凝土
δ_0/cm	11	100	15	138	47	
Z_m/cm	20.0		30.0 ^[7]		80.0 ^[8]	
$I_0/^\circ\text{C}\cdot\text{d}$	34.3		90.1		539.8	
Z_d/cm	26.86		34.43		91.12	
衬 10 cm 时基土冻深/cm	8.0	24.0	16.5	32.0	72.0	
冻深消减率/%	70.2	10.6	52.1	7.1	21.0	
衬 10 cm 时基土冻胀量/cm	0.1	3.2	1.9	3.7	6.7	

由表 3 可见:

(1) 对于冻结指数小于 $100^\circ\text{C}\cdot\text{d}$ 的陕西关中地区,当采用 14 cm ~ 19 cm 的稻壳混凝土衬砌时,渠道衬砌不会发生冻胀破坏;当采用 10 cm 的稻壳混凝土衬砌时,虽有冻胀,但冻胀量在允许范围以内。因此,采用稻壳混凝土衬砌时,不需要特殊的结构形式和施工工艺。

(2) 普通混凝土采用通常的衬砌厚度,无法满足抗冻胀要求,故单一采用加大厚度的作法是不可取的,应考虑用其它抗冻胀措施。

(3) 对于像甘肃白银这类深季节冻土地区采用稻壳混凝土保温防冻胀,显然不够合适,今后应设法

继续降低衬砌材料的导热系数。

3 结 论

(1) 掺入稻壳后,混凝土的导热系数有大幅度的降低,约为普通混凝土导热系数($1.8\text{ W}/\text{m}\cdot\text{k}$)的 14% ~ 20%。

(2) 当水灰比小于 0.55 时,稻壳掺量对导热系数有较大影响。随着稻壳掺量的增大,混凝土导热系数降低;当水灰比为 0.55 时,稻壳掺量的影响很小,稻壳有 9% 增大到 10.5%,导热系数几乎保持不变。当水灰比为 0.5,稻壳掺量为 10.5% 时,稻壳混凝土导热系数达到最小值 $0.2452\text{ W}/\text{m}\cdot\text{k}$ 。

(下转第 64 页)

(上接第 47 页)

(3) 对于冻结指数小于 $100^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 的陕西关中地区,当采用 14 cm ~ 19 cm 的稻壳混凝土衬砌时,渠道衬砌不会发生冻胀破坏;当采用 10 cm 的稻壳混凝土衬砌时,虽有冻胀,但冻胀量在允许范围以内。因此,采用稻壳混凝土衬砌时,不需要特殊的结构形式和施工工艺。对于像甘肃白银这类深季节冻土地区采用稻壳混凝土保温防冻胀,显然不够合适,今后应设法继续降低衬砌材料的导热系数。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国水利部. SL 18 - 2004. 渠道防渗工程技术规范[M]. 北京: 水利水电出版社, 2004.
- [2] 李安国. 我国渠道防渗工程综述[J]. 防渗技术, 2000, 6(1): 1-4, 16.
- [3] 李学军, 费良军, 穆红文. U 形衬砌渠道冻胀机理与防渗技术研究[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(3): 194-195.
- [4] 朱 强. 我国渠道冻胀防治综述[J]. 防渗技术, 1996, 2(2): 7-17.
- [5] 张文渊. 混凝土防渗渠道冻胀破坏的原因分析及防治措施[C]. 渠道防渗技术论文集, 2003.
- [6] 娄宗科, 蒋云涛, 李宗利, 等. 抗冻抗渗保温型渠道衬砌材料的研究[D]. 杨凌: 西北农业大学, 1996.
- [7] 娄宗科, 张慧莉, 阎宁霞, 等. 渠道防渗防冻胀衬砌技术研究[J]. 水土保持研究, 2002, 9(2): 19-22.
- [8] 郭殿祥, 等. 渠道防渗防冻害复合衬砌结构的试验研究[J]. 水利水电技术, 1992, (11): 41-45.