

文章编号: 1005-0523(2008)03-0050-06

垃圾渗滤液对钻孔桩的施工及其耐久性的影响

柯琳, 杨龙才, 王炳龙

(同济大学道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 200092)

摘要: 城市的扩展使得部分新建的构筑物建设在早期垃圾填埋场上, 施工建筑物基础时会破坏原垃圾填埋场的防渗体系, 造成大量有害离子的垃圾渗滤液污染地下水, 而且施工完成后, 垃圾渗滤液也会腐蚀桩基。为评估并减少垃圾渗滤液的不利影响, 以建设在垃圾填埋场上的某铁路桥梁桩基为研究对象, 通过理论研究和模型计算, 对垃圾渗滤液污染物的传输特点和桩基的耐久性进行分析, 得出泥浆密度、泥皮厚度、渗滤历时与单桩浆液损失量的关系, 地下水新增污染物浓度与泥浆损失量、泥浆参数等的关系, 以及混凝土保护层厚度和去锈剂的使用对桩基耐久性的影响。

关键词: 钻孔桩; 垃圾渗滤液; 地下水污染; 桩基耐久性

中图分类号: TU46+1, X523

文献标识码: A

城市化进程的加快使得城市急速膨胀并不断向周边地区扩展, 部分新建的城市基础设施以及城市与城市之间的交通设施等不可避免地建筑在由早期生活垃圾和工业垃圾填埋所形成的垃圾土上。建筑物基础的施工必然会破坏垃圾填埋场现有的防渗体系, 使得含有害物质的垃圾渗滤液进入地下水中, 造成地下水污染。而且渗滤液对基础具有较强的腐蚀性, 对其耐久性也提出较高的要求。

目前, 国内外已有在垃圾土层中新建构筑物的案例, 其研究主要集中于垃圾土物理力学参数的确定及沉降变形规律, 鲜有考虑垃圾渗滤液对构筑物基础施工及其耐久性的影响。而铁路桥梁桩基础穿越垃圾土层所引起的基础腐蚀问题现在未见相关研究。本文拟根据某工程场地垃圾土渗滤液的化学特性, 分析和评估某铁路桥梁基础施工过程中垃圾渗滤液对于地下水的污染程度和基础的耐久性, 并提出几点控制措施。

1 工程概况

某铁路通过的部分区域为某地区早期生活垃圾

填埋场, 垃圾堆积时间为上世纪 80 年代-90 年代中期。垃圾填埋场地地形平缓开阔, 岗地地形略起伏, 植被发育, 南临某河流, 水量丰富。垃圾场特大桥场址的地层分布如图 1 所示, 可见垃圾土的分布厚度并不均匀, 其厚度在 0~10.6 m 之间, 主要成分为生活垃圾, 其下依次为填筑土、粉质粘土、粉土、粉砂、细砂及粘土。地下水为孔隙潜水, 埋深大于 1.5 m, 位于垃圾土地层的层底, 与临近河流连通。该填埋库区场底未采取防渗措施。

根据国家相关规范, 对该场地进行调研, 得到垃圾渗滤液国家规定的测试物的含量: 生化需氧量 (BOD_5) 浓度为 902 mg/L, 化学需氧量 (COD_{Cr}) 浓度为 3 316 mg/L, Cl^- 浓度是 2 414 mg/L, SO_4^{2-} 浓度为 179 mg/L。

铁路线路设计采用架桥方式通过该地区, 基础采用钻孔灌注桩群桩基础。由于该地区填埋垃圾土层处于地层中较浅的位置且不适宜作为构筑物基础的持力层, 因此, 钻孔桩要穿过垃圾土层。

收稿日期: 2008-03-17

作者简介: 柯琳 (1983-), 男, 山东青岛人, 硕士研究生, 主要从事岩土工程、地下空间与工程等领域科研工作。

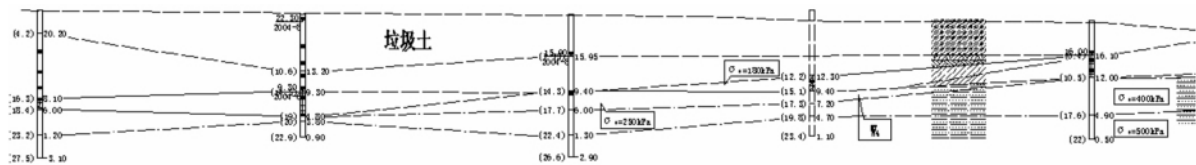


图1 场地土层

2 钻孔桩施工时对周围水环境的影响及对策

2.1 垃圾渗滤液的污染传输特点及计算模型

钻孔灌注桩穿越垃圾土层使得垃圾土中的渗滤液透过孔壁和膨润土泥浆进行离子交换,形成携带有大量有害离子的有害泥浆。当钻孔钻至其它土层时,由于钻孔内泥浆的水压大于周围土体的孔隙水压,钻孔内有害泥浆必然向其它土体渗透,污染地下水含水层。而泥浆向地下水渗透时在钻孔孔壁处形成的泥皮会降低泥浆液的渗透能力。一般而言,周围土体和泥皮的渗透系数越小,泥皮的厚度越大,有害泥浆液的渗流损失量就越小,对地下水污染就越轻。

垃圾填埋场地层中的填土层水体已与垃圾渗滤液充分混合,因此,泥浆对填土层的水质无影响。粘土层渗透系数很低,厚度大,为不透水层,因此,粘土层中泥浆液的损失量可忽略。粉砂及细砂的渗透系数较大,泥浆液中的污染物进入地下水水体后将扩散到整个地下水系中,因此,考虑钻孔桩施工过程中渗滤液对地下水的污染分析,主要是研究含有垃圾渗滤液的泥浆对赋存于粉砂及细砂中的地下水的污染。

1) 泥浆液的损失模型

根据杨明亮等研究^[1],当渗透时间为 t 时,泥皮的厚度为:

$$h(t) = \sqrt{\frac{2k\mu_w(\gamma H_1 - \gamma_w H_2)t}{\alpha\mu}} \quad (1)$$

泥浆浆液的损失总量 $V(t)$ 为

$$V(T) = \int_0^T q(t) dt = \pi DL \left[\frac{2\alpha k\mu_w}{u} (\gamma H_1 - \gamma_w H_2) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

其中 q 为渗透历时 t 时刻浆液的渗透速率; D 为钻孔直径; L 为粉砂及细砂层的厚度; α 为泥浆中的浆液与粘粒的体积比; H_1 为钻孔泥浆的水头; H_2 为地下承压水或潜水的水头; γ 为泥浆密度; γ_w 为水密度; μ 为泥浆粘度; μ_w 为水粘度; k 为泥皮的渗透系数。

2) 地下水中污染物新增浓度计算模型

垃圾渗滤液的污染物质浓度为 C_0 ,施工时强排

护筒内渗滤液后,剩余部分与泥浆充分混和,即污染物质浓度被稀释,泥浆中的污染物质随浆液渗透到地下水水体中,污染物质浓度进一步被稀释。因此,渗滤液中污染物质传输到地下水水体后,地下水中新增加污染离子浓度 C 的计算公式为^[1]

$$C = KVC_0 \quad (3)$$

式(3)中 C 为地下水中污染物新增浓度; C_0 为垃圾渗滤液的初始浓度; K 为稀释系数; V 为施工过程中单桩泥浆液损失总量。其中稀释系数 K 按下式计算

$$K' = \frac{(\alpha + 1) N h_0}{\alpha H n A L} \quad (4)$$

式(4)中, h_0 为注入膨润土泥浆时渗滤液在护筒内的深度; H 为桩长; N 为场内总桩数; A 为拟建场区总面积; n 为粉砂及细砂的孔隙率。

2.2 泥皮厚度及单桩浆液损失量模型求解及计算结果分析

1) 膨润土泥浆参数确定

泥浆粘度与膨润土材料性质、膨润土掺合量和泥浆密度有关,根据研究膨润土泥浆液 μ 各项指标^[14],可得膨润土泥浆的密度和塑性粘度呈线性关系,拟合公式为

$$\mu = 41.56\gamma - 35.47 \quad (5)$$

$$1.03 < \gamma < 1.26$$

式中 μ 为泥浆的粘度,单位为 $\text{MPa} \cdot \text{s}$ 。

泥浆中浆液与粘粒的体积比 α 与泥浆的密度相关,其计算公式如下:

$$\alpha = \frac{(\gamma_1 - \gamma_w) G_s \gamma_w - (\gamma - \gamma_w) (G_s \gamma_w - \gamma_d)}{(\gamma - \gamma_w) (G_s \gamma_w - \gamma_d)} \quad (6)$$

式中 γ_1 为掺入膨润土的湿密度; γ_d 为掺入膨润土的干密度; G_s 为膨润土的比重

根据《钻孔灌注桩施工规程》相关规定^[5],取膨润土泥浆密度 γ 上下限,即 1.10 g/cm^3 和 1.15 g/cm^3 分别计算。取 $\gamma_1 = 2.00 \text{ g/cm}^3$, $\gamma_d = 1.60 \text{ g/cm}^3$, $G_s = 2.76$, $\gamma_w = 1.00 \text{ g/cm}^3$ 。则利用上式可得:当 $\gamma = 1.10 \text{ g/cm}^3$ 时, $\mu = 10.25 \text{ MPa} \cdot \text{s}$, $\alpha = 22.79$;当 $\gamma = 1.15 \text{ g/cm}^3$ 时, $\mu = 12.32 \text{ MPa} \cdot \text{s}$, $\alpha = 14.86$ 。

2) 泥皮厚度及单桩的浆液损失量分析

根据设计情况,现场采用的钻孔灌注桩为两类设计参数,分别为:

(1) 桩 A: 桩径 $D=1\ 000\text{ mm}$, 桩长 $H=20\text{ m}$, 钻孔内细砂层厚约 $L=1.6\text{ m}$, $H_1=15.5\text{ m}$, $H_2=10.4\text{ m}$.

(2) 桩 B: 桩径 $D=1\ 250\text{ mm}$, 桩长 $H=23\text{ m}$, 钻孔内细砂层厚约 $L=2.6\text{ m}$, $H_1=22.9\text{ m}$, $H_2=14.4\text{ m}$.

基桩的持力层均为砂岩,采用的泥浆参数相同,渗透系数 $K=10^{-6}\text{ cm/s}$. 按照上述公式计算可得两种设计情况下的泥皮厚度随时间的变化(见图 2-图 3)及单桩浆液损失量随时间的变化(见图 4-图 5).

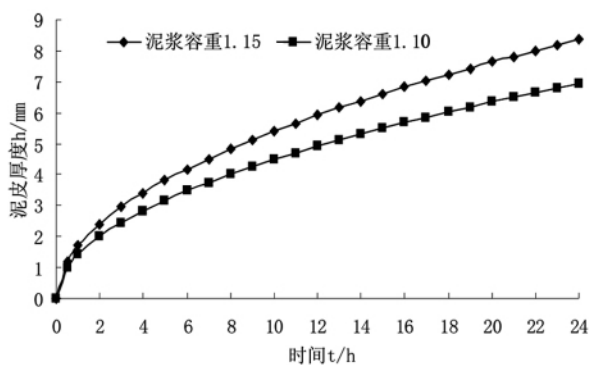


图2 钻孔桩(A)细砂层泥皮厚度随时间的关系曲线

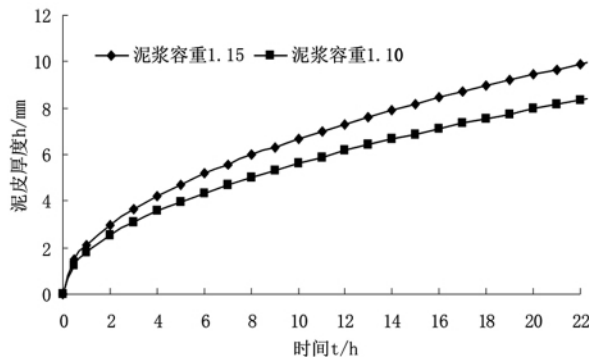


图3 钻孔桩(B)细砂层泥皮厚度随时间的关系曲线

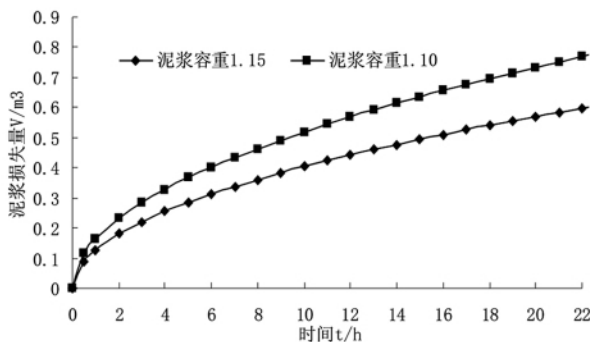


图4 钻孔桩(A)单桩细砂层泥浆损失量随时间变化关系

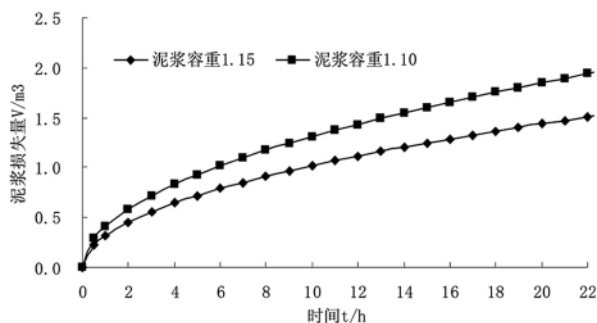


图5 钻孔桩(B)单桩细砂层泥浆损失量随时间变化关系

综合上图的结果可知:(1) 30 min 内泥皮厚度基本都在 $1\sim 3\text{ mm}$ 之间,符合相关规程的要求;(2) 泥浆的密度越大,单位时间内泥皮的厚度越大,相应的单桩泥浆损失量就越小;(3) 渗滤历时越小,泥皮的厚度越小,单桩浆液的损失量越小;(4) 在相同的时间内,钻孔桩 B 细砂层泥皮厚度大于钻孔桩 A. 由于其单桩桩长和细砂层厚度较厚,它的泥浆损失量大于钻孔桩 A,因而施工时钻孔桩 B 需要更多的泥浆补充. 泥皮的厚度较厚时将降低基桩的承载力,因而如果要控制垃圾渗滤液的污染和提高桩的承载力,需要采用高品质泥浆、增加膨润土的掺量和缩短渗滤历时.

2.3 钻孔桩施工中地下水污染物新增浓度

桥梁等效建筑面积 A 为 171.2 m^2 ,单墩桩数 $N=6$ 根桩,细砂的孔隙率一般为 $n=40\%$,令渗滤液在套筒中的深度为 $h_0=1\text{ m}$. 地下水新增浓度计算结果见图 6~图 9.

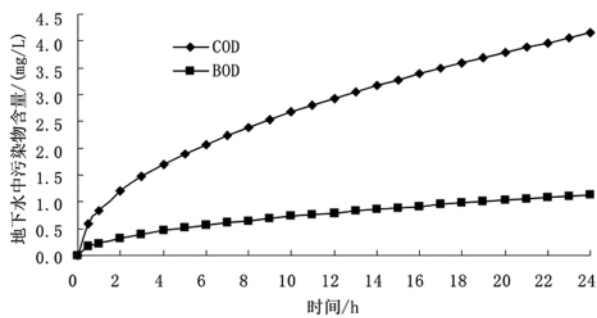


图6 钻孔桩(A) ($\gamma=1.15\text{ g/cm}^3$) 新增地下水污染物浓度随时间的变化曲线

综合以上各图可得:(1) 泥浆液的损失量随渗透时间增加而增加,地下水的污染物浓度也随之增加,因此,减少渗滤时间是控制地下水污染的重要措施.(2) 泥浆密度越大,单位时间内泥皮的厚度越大,新增污染物浓度越低.(3) 相同时间内,钻孔 B

造成的新增污染物浓度大于钻孔 A,因此,着重分析钻孔 B 对于地下水的污染。

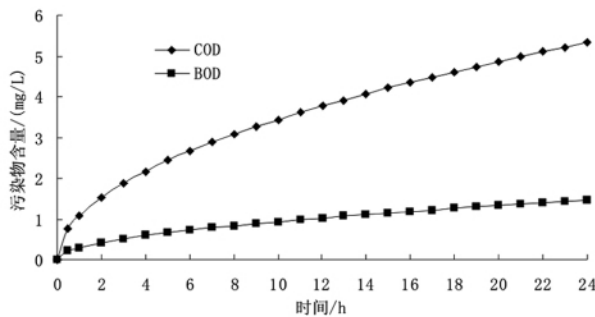


图7 钻孔桩(A) ($\gamma = 1.10 \text{ g/cm}^3$) 新增地下水污染物浓度随时间的变化曲线

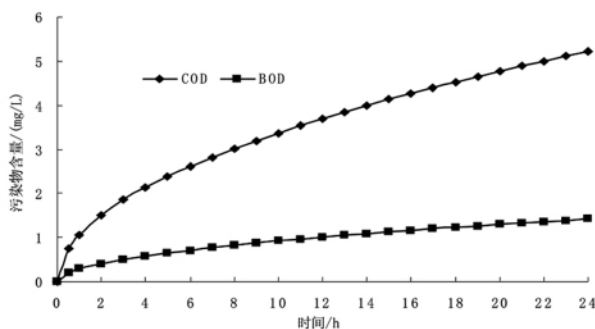


图8 钻孔桩(B) ($\gamma = 1.15 \text{ g/cm}^3$) 新增地下水污染物浓度随时间的变化曲线

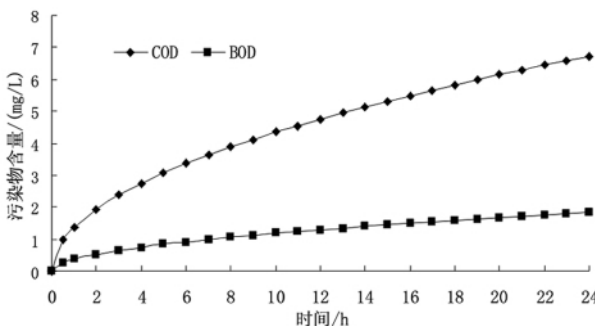


图9 钻孔桩(B) ($\gamma = 1.10 \text{ g/cm}^3$) 新增地下水污染物浓度随时间的变化曲线

2.4 施工中渗滤液对地下水的污染评价

根据《中华人民共和国国家标准生活垃圾填埋污染控制标准》^[9] 中生活垃圾渗滤液排放限值分级进行渗滤液的污染评价,渗滤液污染指标排放限值见表1。

表1 渗滤液污染指标排放限值

项目	BOD ₅ /mg·L ⁻¹	COD _{cr} /mg·L ⁻¹	悬浮物 /mg·L ⁻¹	氨氮 /mg·L ⁻¹
一级	30	100	70	15
二级	150	300	200	25
三级	600	1 000	400	/

该填埋场附近水域为一般景观要求水域,根据《地面水环境质量标准》^[9],属于V类地面水水域,其排放值执行表1中二级指标。因此,在施工过程中,地下水中污染指标浓度增加值低于一级排放标准时,可视为无污染;在一级和二级排放标准之间为轻微污染;超过二级排放标准时为较严重污染。

通过图6~图9的计算结果可知,在钻孔桩施工过程中,地下水的BOD₅及COD_{Cr}含量都将不大于10 mg/L,远低于国家一级排放标准的相关指标要求,可视为施工过程中BOD₅及COD_{Cr}对周围的水环境不构成污染。

2.5 钻孔桩施工过程中污染控制措施

1) 建议在垃圾土层中采用全钢护筒支护,可降低渗滤液与泥浆的离子交换量,同时,防止跑浆,造成浆液对环境的污染。

2) 建议采用高品质泥浆并增加膨润土的掺量。当护筒到位时,强行排除护筒内渗液后,迅速注入膨润土泥浆液,高品质的膨润土泥浆具有较高粘度,容易在孔壁上形成一层低渗透性的泥皮,限制泥浆渗透损失量;同时该法也有利于垃圾土中的成孔。

3) 钻孔灌注桩B的泥浆损失量和新增污染物浓度均大于桩A,施工时要注意及时补充浆液,并尽量减少钻孔成孔至灌注混凝土的间隔时间,以减少泥浆的渗透损失量,降低渗滤液对地下水体的污染。

3 垃圾渗滤液对桩基耐久性的影响及对策

3.1 桩基的耐久性评价

1) 桩基耐久性的影响因素分析

钻孔灌注桩作为一种钢筋混凝土结构,其耐久性主要受硫酸根离子对混凝土的侵蚀作用以及和氯离子对钻孔桩中钢筋的锈蚀作用等因素共同作用的影响。该场地渗滤液中硫酸根离子含量约为179 mg/L,远低于《岩土工程勘察规范》^[9]中关于环境水对混凝土结晶性侵蚀标准。故本文的桩基耐久性评价主要为以氯离子侵蚀为控制标准。

2) 混凝土耐久性评价理论

有关氯离子在混凝土中扩散的常用理论是Fick理论,由于其简洁性和适用性,已被普遍采用。假定混凝土是半无限均匀介质,氯离子在混凝土中的扩散过程是一维扩散,扩散时部分氯离子被混凝土结合,即

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (7)$$

其中: t 是时间; x 是距混凝土表面的距离; D 是氯离子扩散系数. C 是距混凝土表面 x 处的氯离子总浓度. 令混凝土表面处的氯离子浓度为 C_0 , 则

$$(4) \text{ 的解为 } C = C_0 \left[1 - \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right) \right] \quad (8)$$

其中, erf 为误差函数, 其表达式为

$$\operatorname{erf}(y) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^y e^{-t^2} \cdot dt \quad (9)$$

当确定了氯离子临界浓度, 利用式(5) 就可以计算和评价不同混凝土保护层厚度 x 条件下, 钢筋混凝土普通构件的使用寿命.

3) 桩基在荷载水平 0.5 条件下耐久性计算

对位于垃圾土地层中的铁路桥台基础的钻孔灌注桩, 铁路设计规范的基桩荷载水平一般都限制在 0.5 以下, 即承载力安全系数大于 2.

(1) 参数选用

混凝土结构保护层厚度对于保持桩基耐久性具有重要的作用. 根据杨建森研究^[4], 桩基周围氯盐腐蚀性较强时, 混凝土保护层厚度不应该小于 38 mm, 最好不小于 50 mm. 考虑到施工偏差等影响, 建议本工程混凝土保护层厚度取为 60 mm.

混凝土周边地下水氯离子浓度为 2 414 mg/L, 其质量浓度 C_0 为 0.241 4%. 根据调研, 华南和华东海港码头混凝土结构的氯离子临界含量(占混凝土) 分别为 0.105% ~ 0.145% 和 0.125% ~ 0.150%. 本工程的桩基穿过垃圾土层, 本文采用的氯离子临界含量取 0.15%.

一般 C_{25} 混凝土无荷载及无阻锈剂条件下氯离子扩散系数一般在 $1.80 \text{ cm}^2/\text{a}$ 左右; 有研究认为, 当钢筋混凝土在 $0.3 P_u \sim 0.6 P_u$ 荷载条件下, 其离子扩散系数仅为无荷载条件下的 76% ~ 65%, 由于本工程的荷载水平为 0.5, 故可以认为其离子扩散系数为无荷载条件下的 67%, 即 $1.206 \text{ cm}^2/\text{a}$.

(2) 计算结果及分析

计算所得基桩的氯离子扩散随时间的关系如图 10 所示. 氯离子临界含量仍然取 0.15%, 此时基桩的使用寿命约为 45 年.

由上述计算结果可知, 当位于垃圾土中的钻孔桩不采用阻锈措施时, 其可靠使用的耐久性仅为 45 年左右, 我国桥梁建设中, 尤其是特大桥的建设中, 大多要求其使用年限达到 100 年, 故本工程必须采取必要的提高耐久性的措施.

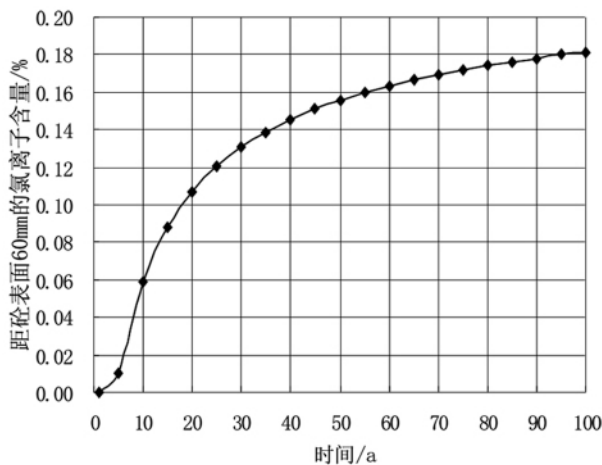


图 10 荷载水平 0.5 条件下混凝土深度 60 mm 处的氯离子含量和时间的关系曲线

3.2 提高桩基耐久性措施

本工程环境侵蚀作用比较严重, 单靠提高混凝土本身的耐久性, 保持其低渗透性, 不能保证混凝土结构必要的耐久性, 需要另外增加其它防护措施. 建议在桩身混凝土中掺加复合氨基醇类多功能活性阻锈剂. 根据相关研究, 混凝土抗渗能力会相应提高 2 ~ 3 倍, 以平均值 2.5 考虑, 此时氯离子的扩散系数为 $0.482 4 \text{ cm}^2/\text{a}$, 按照式(5) 计算的结果见图 11. 氯离子临界含量仍然取 0.15%, 此时基桩的使用寿命约为 110 年.

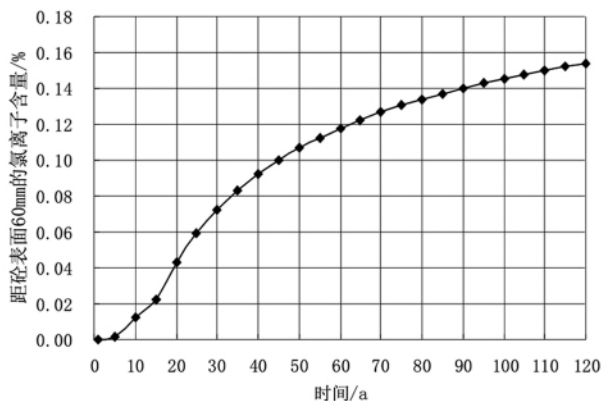


图 11 荷载水平 0.5、阻锈措施条件下混凝土深度 60 mm 处的氯离子含量和时间的关系曲线

4 结论与建议

(1) 钻孔灌注桩穿越垃圾土层, 使得垃圾渗滤液与膨润土泥浆进行离子交换, 形成携带大量有害离子的有害泥浆, 通过钻孔向其它土体渗透, 污染地下水层.

(2) 泥浆容重 γ 在规范规定 $1.10 \sim 1.15 \text{ g/cm}^3$

之间,计算得 30 min 内泥皮厚度基本都在 1 ~ 3 mm,符合相关规程的要求.对于同一种桩型而言,泥浆的密度越大,单位时间内泥皮的厚度越大,单桩浆液的损失量越小;渗滤历时越小,泥皮的厚度越小,单桩浆液的损失量越小,反之亦然.

(3) 地下水污染物含量与桩的数量、单桩泥浆损失量、泥浆参数、钻孔中残留渗滤液高度等因素密切相关.欲减少渗滤液对地下水的污染,需要减少渗滤液与泥浆的离子交换量,减少渗滤历时以及降低泥浆液的渗透损失量.

(4) 通过 Fick 理论计算可知,垃圾渗滤液中氯离子对桩基腐蚀性较强,需要采取有效措施提高桩基耐久性.考虑到腐蚀环境较强,建议混凝土保护层厚度取为 60 mm.其次,桩身混凝土中掺加复合氨基醇类多功能活性阻锈剂.通过计算得桩基采用以上两项措施后,使用寿命为 110 年,符合相关规范规定.

参考文献:

- [1] 杨明亮,姚海林,等. 钻孔灌注桩施工过程中垃圾渗滤液对地下水的污染分析 [J]. 岩石力学,2005,26(4): 586 - 590.
- [2] 杨明亮,骆行文,等. 金山垃圾填埋场内大型建筑物地基基础及安全性研究 [J]. 岩石力学与工程学报,2005,24(4): 628 - 637.
- [3] DZ/T0155 - 1995, 钻孔灌注桩施工规程 [S].
- [4] GB16889 - 1997, 生活垃圾填埋污染控制标准 [S].
- [5] GB3838 - 1988, 地面水环境质量标准 [S].
- [6] 孟云伟,汪 洋. 垃圾土的工程性质研究现状 [J]. 重庆交通学院学报,2006,增刊: 150 - 153.
- [7] 胡人礼. 桥梁桩基础分析和设计 [M]. 北京: 中国铁道出版社,1987.
- [8] GB50021 - 1994, 岩土工程勘察规范 [S].
- [9] 杨森建. 氯盐对混凝土中钢筋的腐蚀机理与防腐技术 [J]. 混凝土,2001,(7): 52 - 56.
- [10] 王庆伟,崔运成,宣立富. 钻井液用膨润土研制 [J]. 非金属矿,2000,23(6): 29 - 30.

Influence of Landfill Leachate on Bored Pile Construction and its Durability

KE lin, YANG Long - cai, WANG Bing - long

(1. Key Laboratory of Road and Traffic Engineering in Education Ministry, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Expansion of city makes some new projects have to be built on earlier landfill. When its foundation is constructed, the current leakproof system must be damaged and the leachate which is full of impure irons will pollute underground water. Moreover, leachate would also erode concrete pile foundation after the piles are finished. To evaluate and decrease the negative influence of leachate, certain piles which are constructed on landfill are studied. By theory research and model calculation, this paper analyzes the process of pollutants transmission and the durability of piles, then draws the conclusion about the relationship of slurry density, thickness of mudcake, infiltration time and slurry loss of single pile; the relationship of newly increased pollution and slurry loss, slurry parameter; the influence of concrete protective cover and derust on pile durability.

Key words: bored pile; landfill leachate; underground water pollution; pile durability

(责任编辑: 李 萍)

南昌地区几种外墙的能耗比较及经济性分析

钟春, 潘阳

(华东交通大学 土木建筑学院, 江西 南昌 330013)

摘要: 在围护结构中, 外墙是重要组成部分. 它们的选择对建筑的能耗和造价均会产生重要影响. 本文针对南昌地区的室外气象条件, 以一栋多层住宅为研究对象, 利用能耗模拟工具 DeST-h 对其进行能耗模拟, 比较了几种节能外墙的能耗, 证明了节能外墙相对传统外墙具有较好的节能效果. 通过各墙体的造价分析, 计算了各墙体的静态回收期, 得到了性价比较高的节能墙体.

关键词: 能耗模拟; 节能墙体; 墙体造价

中图分类号: TU111

文献标识码: A

在《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》中提出, 通过采取节能措施, 包括增强建筑围护结构保温隔热性能和提高采暖、空调设备能效比, 达到与未采取节能措施前相比节能 50%. 在这 50% 的节能要求中, 建筑围护结构部分的节能将贡献一半^[1]. 因此, 围护结构的选择在住宅节能中是非常重要的环节. 在选择围护结构时, 首先要考虑其热工性能是否满足标准, 以达到节能要求. 另外, 围护结构本身的造价也是影响其能否被采用的重要因素.

在围护结构中, 外墙是重要组成部分. 它们的选择对建筑的能耗和造价均会产生重要影响. 本文以南昌地区一多层住宅建筑为研究对象, 利用能耗模拟工具 DeST-h 对其进行能耗模拟, 比较了几种节能外墙的能耗, 并作了经济性分析, 希望能给实际选择提供参考.

1 建筑模型

本文研究的建筑模型为一栋四层两单元的住宅, 层高 2.8 m, 建筑空调面积 2 438.3 m². 建筑模型平面图如图 1 所示.

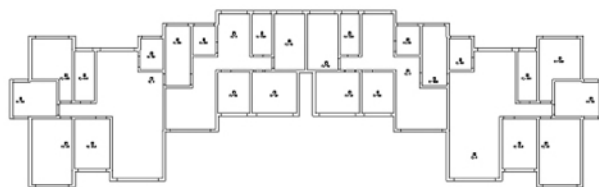


图1 建筑模型平面图

2 建筑热过程模拟的数学模型

对于一面由多层材料组成的墙体, 通常其沿表面方向结构均匀, 且厚度远小于表面长宽尺度, 因此可以忽略其内部沿平行表面方向的导热, 按一维过程分析其沿厚度方向的导热^[2]

$$c_p \rho \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial t}{\partial x} \right)$$

式中 t —壁体内的温度分布, °C;

c_p —壁体材料的比热, kJ/(kg·°C);

ρ —壁体材料的密度, kg/m³;

k —壁体材料的导热系数, W/(m·°C);

x —壁体的厚度方向.

对于建筑物内所有壁体(楼板、墙体、门窗)均

收稿日期: 2008-04-03

基金项目: 华东交通大学校立科研基金资助(06ZKTM10); 江西省道路与铁道工程重点实验室资助.

作者简介: 钟春(1979-), 男, 江西新余人, 硕士, 讲师, 主要从事建筑节能等领域的教学与研究工作.