

# 某平原型垃圾填埋场垂直防渗帷幕条件下地下水水量计算

房飞祥<sup>1</sup> 王丽丽<sup>1</sup> 臧传利<sup>2</sup> 郑世民<sup>3</sup>

1. 济南城建集团有限公司 山东 济南 250021

2. 五莲县建筑工程管理服务中心 山东 日照 262300

3. 山东高速物流集团有限公司 山东 济南 250000

**摘要:** 本文结合山东省某平原型垃圾填埋场工程,对垂直防渗帷幕条件下地下水水量的计算进行了研究,并对计算结果与实际运行数据进行了对比验证。对比验证结果表明,计算结果与实际运行数据偏差在±8%以内,基本可靠,可以为类似项目的地下水排水系统的设计提供指导。

**关键词:** 平原型垃圾填埋场;垂直防渗帷幕;地下水水量;计算;经验系数法

## 引言

一般,平原型填埋场为增加库容与平衡土方,库区都采用半地上半地下的方式。基底常位于地下常水位以下2~3m的位置,因此,基坑开挖时施工降水将是一个不可回避的问题;如果采用传统的建筑工程的基坑降水方案,对于面积几万平方米甚至几十万平方米的填埋场,施工期降水费用将相当庞大<sup>[1]</sup>。

垂直防渗通过在填埋场周围设置垂直防渗帷幕,并将帷幕底部嵌入填埋场下方存在的天然相对不透水层一定深度,使库区形成一个相对独立的水文地质单元。通过这种方式可以防止渗滤液向库外渗漏污染地下水,同时也阻止周围地下水向库区内部渗透顶托防渗衬垫,其与水平防渗相辅相成、互为补充,形成复合的、立体的、高标准的防渗系统,把库区渗沥液渗漏的可能降到最低的同时,大大降低运营期的降水量。垂直防渗在垃圾填埋场的建设中仍然具有不可替代的作用。

对于垃圾填埋场采用垂直防渗帷幕对地下水进行管控的设计中,地下水水量的确定是重要的设计参数。目前,对于填埋场地下水水量的计算,仅在《生活垃圾卫生填埋处理技术规范》(GB 50869-2013)中推荐参照

《建筑基坑支护技术规程》(JGJ120-2012)中附录E中的计算公式。但国内文献未见对设置垂直防渗帷幕的填埋场地下水水量的计算案例及计算结果的研究。在地铁站、地下车库等其他工程领域,冯晓腊等学者对落底式止水帷幕基坑涌漏量计算进行了大量研究,并对基坑涌漏量的计算结果的准确性进行了大量的实例分析<sup>[2]</sup>。本文结合《建筑基坑支护技术规程》(JGJ120-2012)中附录E的计算方法,并借鉴冯晓腊等人的研究成果,采用“经验系数法”对垃圾填埋场地下水排水量进行计算,并以北方平原地区某平原型垃圾填埋场为例,对计算结果进行验证分析,为类似项目的设计提供借鉴。

## 1 填埋场概况

某平原型垃圾填埋场位于鲁北平原区,填埋区平面尺寸60×146m,面积约8700平方米,填埋场厂区地坪为绝对标高7.3m,地勘报告显示地下水历年最高水位为6.0m。根据对地质勘察报告的分析,第③层黏土层渗透系数为 $2.81 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ (渗透系数小于 $1 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ ,可判定该层为不透水层<sup>[2]</sup>)。第③层黏土层在填埋场底部连续分布,且厚度不小于2m,故可利用该层作为填埋场底部的连续的相对不透水层。如表1:

表1 地层埋藏条件及特征表

地层编号	岩土名称	年代成因	层厚(m)	状态	压缩性	渗透系数(cm/s)
①	杂填土	Q <sup>ml</sup>	3.10~4.20	不均匀	欠固结土	$2.0 \times 10^{-4}$
②	粉土	Q <sub>4</sub> <sup>al</sup>	0.80~2.50	稍密	中	$2.0 \times 10^{-4}$
③	黏土	Q <sub>4</sub> <sup>al</sup>	2.00~4.00	可塑	中	$2.81 \times 10^{-7}$
④	粉土	Q <sub>4</sub> <sup>al</sup>	0.7-1.9	中密	中	$3.38 \times 10^{-5}$
⑤	粉质黏土	Q <sub>4</sub> <sup>al</sup>	2.6-4.3	软塑~可塑	中偏高	$2.95 \times 10^{-6}$
⑥	粉质黏土	Q <sub>4</sub> <sup>al</sup>	1.4-3.6	可塑	中	$7.62 \times 10^{-6}$

由于填埋场地下水水位过高,影响填埋区挖深的时候,增加了填埋场的建设难度,及运营期的地下水管控

难度。故设计中通过在填埋区四周设置垂直防渗帷幕,同时配合设置地下水抽水系统,对地下水进行管控,确

保填埋区底部地下水水位长期保持满足GB16889规定的“距离填埋区基础层底部1m以上”的要求，地下水管控方案见图1。

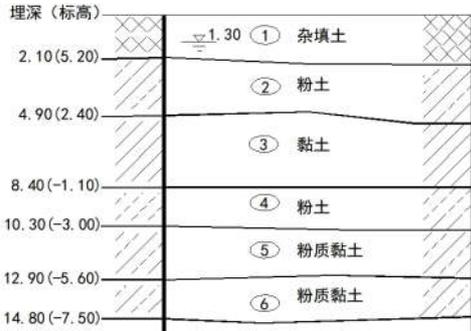


图1 典型地质剖面

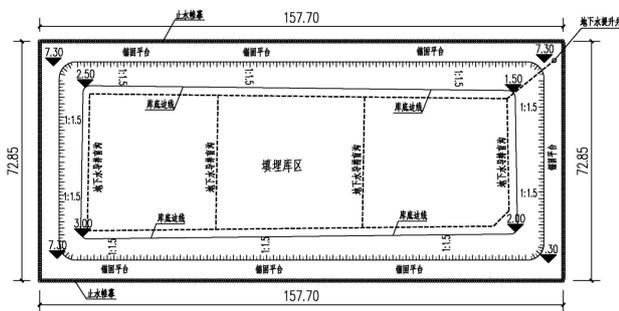


图2 填埋场垂直帷幕及地下水导排系统平面图

### 2 地下水排水量计算

本工程地下水管控系统为落底式止水帷幕，一般认为落底式止水帷幕应能够阻隔基坑内外含水层，防止地下水从基坑外补给至基坑内，但是在实践中，落底式止水帷幕并不能达到理想的隔渗效果，考虑落底式止水帷幕存在涌漏点，落底式基坑并不是密不透水的。根据冯晓腊等人对落底式止水帷幕条件下基坑涌水量计算的研究，将落底式止水帷幕条件下基坑涌水量的计算思路归纳为以下五类，分别为完全封闭法、经验系数法、涌漏分析法、等效悬挂法、表观渗透系数法。其中经验系数法是指考虑止水帷幕的隔渗作用，在进行落底式止水帷幕作用下的基坑降水设计时，在实际工程中现行的做法是在敞开式基坑降水的涌水量的计算结果的基础上进行一定的折减然后进行设计的方法，该方法使用方便，能够从宏观上反映落底式止水系统的隔渗效果<sup>[3]</sup>，如图3：

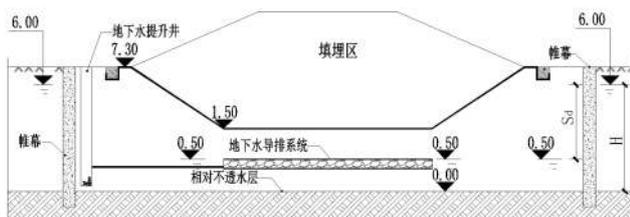


图3 填埋场垂直帷幕地下水排水量计算简图

计算中将填埋场止水帷幕围护范围看做一口大井，填埋区下部的地下水导排系统即为控制降水水位，填埋场底部分布连续的黏土层③即为不透水层，止水帷幕外侧地层简化看作均质地层，地下水降水系统简化为均质含水层潜水完整井。地下水排水量参照《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120-2012)中附录E.0.1中的均质含水层潜水完整井公式进行计算，并同时考虑折减系数计算：

$$Q = \pi k \omega \frac{(2H - s_d) s_d}{\ln(1 + \frac{R}{r_0})} \quad (1)$$

式中：Q—地下水排水量 (m<sup>3</sup>/d)；

k—含水层渗透系数 (m/d)，根据地质勘察资料取值0.17m/d；

ω—折减系数，其值越小地下水量越小，帷幕隔渗效果越好，取值0.4；

H—潜水含水层厚度 (m)，最高水位时，设计取值6m；

S<sub>d</sub>—地下水水位的设计降深 (m)，最高水位时，设计取值5.5m；

R—降水影响半径 (m)，根据地质勘察资料取值30m；

r<sub>0</sub>—止水帷幕等效半径 (m)；可按 r<sub>0</sub> = √(A/π) 计算；

A—止水帷幕围护面积 (m<sup>2</sup>)，设计取值11500m<sup>2</sup>；

表2 不同地层抽水影响半径R值经验数据

地层	地层颗粒		影响半径 R(m)
	粒径 (mm)	所占比例 (%)	
粉砂	0.05-0.1	70以下	25-50
细砂	0.1-0.25	> 70	50-100
中砂	0.25-0.5	> 50	100-300
粗砂	0.5-1.0	> 50	300-400
极粗的砂	1-2	> 50	400-500
小砾石	2-3		500-600
中砾石	3-5		600-1500

水文地质参数取值：

渗透系数K：

按上述公式计算，潜水含水层厚度H = 6m时，地下水降水量Q = 19.27m<sup>3</sup>/d。

### 3 地下水排水量计算结果对比分析

上述公式中，止水帷幕一旦形成，地质情况及止水帷幕等效半径等尺寸均不发生变化，地下水排水量仅与受潜水含水层厚度H的变化影响，潜水含水层厚度H越大，地下水排水量越大，见图4。

反映在运行数据上，丰水期地下水水位高，地下水排水量大，枯水期地下水水位降低，地下水排水量减

小。通过对为期1年的填埋场运行数据的分析，将计算结果与运行数据进行对比，对比结果见表3。

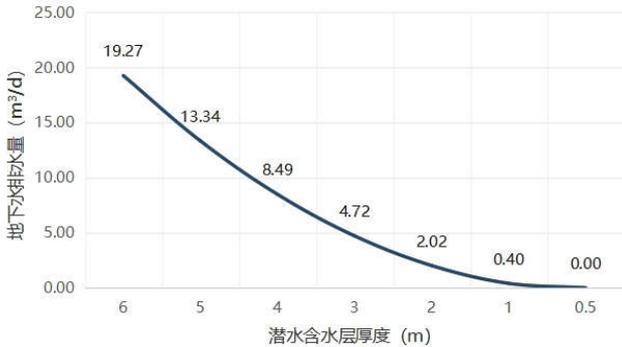


图4 地下水排水量计算值与潜水含水层厚度曲线图

根据对比分析，地下水排水量运行数据与计算结果偏差在±8%以内，计算结果较为准确的反映了实际地下水入渗量。

#### 4 地下水帷幕管控方案的运行成本分析

填埋场建设过程中，因设置止水帷幕需要长期进行地下水降水，故而通常被业主方、设计等参见方所不能接受。但对于本工程而言，设置止水帷幕后的长期降水费用增加有限，经对为期1年运行数据的统计计算，本项目地下水管控长期运营动力费约0.03万元/年，30年期降水运营动力费约9万元，运营成本与建设费用相比可忽略不计，采用地下水帷幕管控方案从运行成本而言是可行的<sup>[4]</sup>。

表3 地下水排水量运行数据对比表

时间	潜水含水层厚度H (m)	地下水排水量Q (m³/d)		偏差 (%)
		运行值	计算值	
2023年1月	2.5	4.3	4.62	+7.4%
2023年3月	3.0	4.5	4.72	+5.0%
2023年5月	3.6	6.7	6.98	+4.1%
2023年7月	5.0	14.5	13.34	-8.0%
2023年9月	4.5	10.8	10.38	-3.9%
2023年12月	3.0	4.6	4.72	+2.6%

本工程采用地下水帷幕管控方案的管控效果良好，主要是由填埋厂址本身的地质条件所决定的。首先，填埋场场址下部具有连续的相对不透水层③黏土层，不透水层的渗透系数达到 $10^{-7}$ cm/s的数量级、厚度达到2米，防渗性能良好；其次，厂址其他地质层无明显的强透水层，粉土层较为密实，非强透水；第三，潜水含水层厚度H适中，既保证了填埋场有一定的挖深，又不至于使帷幕的深度过深，增大帷幕的投资费用。

#### 5 结论

(1) 垃圾填埋场建设中垂直防渗仍然具有不可替代的作用，一方面可以用于对填埋场地下水控制，增大填埋场的挖深和有效库容；另一方面可以形成垂直防渗与水平防渗的复合系统，防止渗滤液向库外渗漏污染地下水，提高填埋场的设计安全性。

(2) 对于适合建设垂直防渗帷幕地下水管控及导排系统的，设置止水帷幕，长期对地下水降水、管控，是

可行的，运营费用也完全可接受。填埋场是否适合于建设垂直防渗帷幕，应根据地质、土方平衡、地下水埋藏条件等情况进行具体分析。

(3) 采用经验系数法对平原型垃圾填埋场地下水排水量进行计算是可行的，计算结果跟山东某平原型垃圾填埋场的实际运行数据偏差在±8%以内。

#### 参考文献

- [1]姚有朝,鲍忠伟.垂直防渗帷幕在平原型卫生填埋场中的运用[J].环境工程,2008,16(3):29-32.
- [2]吕斌泉,冯晓腊等.落底式止水帷幕条件下基坑涌水量计算研究[J].岩土工程技术,2020,1(34):18-23.
- [3]蔡娇娇.落底式止水帷幕条件下承压含水层基坑降水设计方法研究[D].武汉:中国地质大学,2018.3(35):18-25.
- [4]冯晓腊,李栋广.落底式止水帷幕条件下基坑涌漏量计算[J].水文地质工程地质,2013,5(40):16-21.