

刘伟. 深厚富水地层深基坑新型止水封底帷幕的设计与施工[J]. 矿业安全与环保, 2018, 45(5): 83-86.
文章编号: 1008-4495(2018)05-0083-04

深厚富水地层深基坑新型止水封底帷幕的设计与施工

刘 伟

(中冶沈勘工程技术有限公司, 辽宁 沈阳 110169)

摘要:为减少地下水资源的过度开采、降低抽取地下水对周边环境的不利影响,提出在深厚富水地层的深基坑工程设置带有抗浮锚杆的全封闭止水帷幕技术方案;应用静力平衡和渗流稳定条件进行了封底止水帷幕的力学特性分析,提出该型深基坑封底结构实用设计方法,并结合其工程特性提出施工方法和施工控制参数。工程应用实践表明,提出的设计和施工方法可行。

关键词:深厚富水地层;深基坑;抗浮锚杆;封底帷幕;渗流稳定性;旋喷桩

中图分类号: TU753; TD745

文献标志码: B

Designing and Construction of New Type of Water Stop Bottom Curtain for Deep Foundation Pit in Thick Stratum with Abundant Water

LIU Wei

(Shen Kan Engineering & Technology Corporation, MCC, Shenyang 110169, China)

Abstract: In order to reduce excessive exploitation of groundwater resources and reduce the adverse effects of groundwater extraction on surrounding environment, a technical scheme was put forward that set a whole closed curtain with anti-floating anchor in deep foundation pit in thick stratum with abundant water. The static equilibrium and seepage stability conditions were used to analyze the mechanical characteristics of the water stop bottom curtain. The practical design method of the bottom sealing structure of the deep foundation pit was presented. Combined with its engineering characteristics, the construction method and construction control parameters were proposed. The engineering practice shows that the proposed design and construction method are feasible.

Keywords: thick stratum with abundant water; deep foundation pit; anti-floating anchor; bottom curtain; seepage stability; jet grouting pile

深基坑工程采用悬挂式止水帷幕时,基坑底部并没有隔断基坑内外水力联系,需采用基坑内疏排水措施以保证基坑内干作业环境。工程实践和现场监测表明,悬挂式止水帷幕适用于周边环境对变形控制不严格的基坑地下水控制设计^[1]。在深厚透水地基中仅增加竖向止水帷幕的深度不能有效减小对周围环境的影响^[2-4]。

由基坑侧壁竖向止水帷幕和基坑底部水平方向止水帷幕(封底帷幕)组合形成全封闭的落底式止水

帷幕,在工程实践中也有一定应用^[5-7],大量模拟试验、数值分析^[8-10]和工程实践表明^[11-14],此时最危险的渗流破坏形式是整体顶升破坏。当深厚富水地层深基坑止水封底帷幕厚度按照《建筑基坑支护技术规程》^[15]提供的基于静力平衡条件的渗流稳定公式进行设计时,往往要设置大厚度封底帷幕,才能满足静力平衡条件和渗流稳定要求,从而导致封底帷幕施工困难,而且经济性也欠佳。

因此,考虑由抗浮锚杆的拉力和封底帷幕的重力共同抵抗地下水上浮力,降低封底帷幕厚度,达到全封闭无降水作业环境的目的,提出在封底帷幕基础上,构建抗浮锚杆—止水封底帷幕的新型止水封底帷幕,研究其实用设计和施工方法。

1 受力分析及计算方法

以往封底帷幕是依靠封底体的重力平衡地下水

收稿日期:2018-03-29;2018-08-27 修订

基金项目:国家自然科学基金项目(51178457);中冶沈勘科技项目(KJYF2014-001)

作者简介:刘 伟(1972—),男,辽宁沈阳人,硕士,教授级高级工程师,主要从事地基基础研究工作。E-mail: Liuwei_LL@163.com。

压力,其破坏为整体顶升破坏,设计中可借鉴《建筑基坑支护技术规程》^[15]提供的公式进行渗流(突涌)稳定性分析:

$$D\gamma/(h_w\gamma_w) \geq K_h \quad (1)$$

式中: K_h 为突涌稳定安全系数(不小于1.1); D 为封底帷幕的厚度,m; γ 为帷幕的重度, kN/m^3 ; h_w 为压力水头高度,m,其值为地下水位到基坑底的距离与帷幕厚度之和; γ_w 为水的重度, kN/m^3 。

为进一步提高封底帷幕的施工可靠性和经济性,在水平方向止水帷幕上增设抗浮锚杆,组成抗浮锚杆—止水封底帷幕的全封闭止水帷幕,如图1所示。

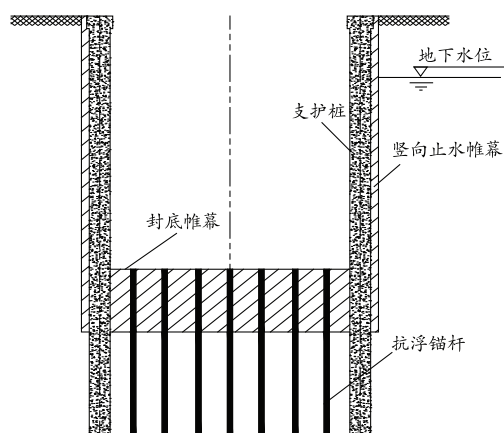


图1 抗浮锚杆—止水封底帷幕

若地下水浮力超过抗浮锚杆—止水封底帷幕组合体极限承载力,将发生抗浮锚杆—止水封底帷幕组合体顶升破坏,即封底帷幕主要由自身重力(G)、锚杆竖向拉力(F_m)的合力平衡地下水浮力(F_w),如图2所示。

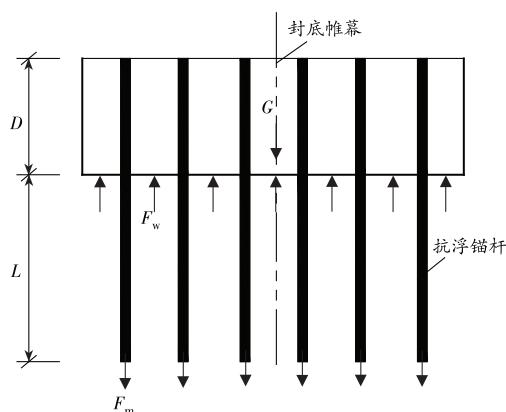


图2 封底止水帷幕受力分析简图

此时公式(1)可改写为:

$$(G+nF_m/A)/F_w \geq K_h \quad (2)$$

式中: G 为封底帷幕重力, kN/m^2 , $G=D\gamma$; F_w 为地下水浮力, kN/m^2 , $F_w=h_w\gamma_w$; n 为锚杆数量; F_m 为单根锚杆拉力, kN ; A 为封底帷幕面积, m^2 。

在地下水浮力作用下,抗浮锚杆的静力平衡状态是封底帷幕中锚杆与帷幕界面的剪切力与位于土体中锚杆界面的剪切力平衡,设计中需要分别计算这两部分的锚杆界面剪切力。

锚杆存在从封底帷幕中向下拔出趋势,锚杆与封底帷幕摩擦产生的帷幕体中锚杆拉力 F_{m1} 为:

$$F_{m1} = \pi d f_d \quad (3)$$

式中: d 为锚杆直径,m; f_d 为锚杆与封底帷幕之间的黏结强度标准值, kPa 。

锚杆有从土体中向上拔出的趋势,此时锚杆与土体之间摩擦产生的土中锚杆拉力 F_{m2} 为:

$$F_{m2} = \pi d L f_s \quad (4)$$

式中: L 为锚杆在土中的锚固长度,m; f_s 为锚杆与土体之间的黏结强度标准值, kPa 。

取 F_{m1} 、 F_{m2} 中的小值作为锚杆抗拔承载力 F_m :

$$F_m = \min(F_{m1}, F_{m2}) \quad (5)$$

封底帷幕设计计算时可取 $n=1$,即按单根抗浮锚杆提供抗浮作用面积来计算,则公式(2)变换为:

$$(G+F_m/r^2)/F_w \geq K_h \quad (6)$$

式中 r 为锚杆间距,m。

将封底帷幕重力代入公式(6),整理后得到封底帷幕厚度应满足:

$$D \geq (F_w K_h - F_m/r^2)/\gamma \quad (7)$$

设计计算采用迭代法,步骤如下:

第1步:确定计算参数 γ 、 γ_w 、 f_s 、 f_d 、 d 、 r 、 K_h ;

第2步:初设封底帷幕厚度为 D_0 ,计算 h_w 、 F_{m1} ;

第3步:按公式(7)计算得出封底帷幕厚度 D_i ;

第4步:比较 D_0 和 D_i ,如 $|D_0 - D_i| \leq 0.2$,取 $D = \max(D_0, D_i)$;否则,设 $D_i = D_0$,进入第2步;

第5步:按 $F_{m1} = F_{m2}$ 计算锚杆在土中的锚固长度 L 。

通过上述计算,可以得出封底帷幕厚度、锚杆数量及锚固长度等封底止水帷幕设计参数。

2 工程实例

2.1 工程概况

某圆形截面旋流沉淀池基坑邻近生产厂房,基坑开挖面积约 211.14 m^2 ,基坑周长约 56 m ,基坑开挖深度为 21.00 m 。地层自上而下依次为:①填土,稍湿、松散,层厚 $0.2 \sim 2.8 \text{ m}$;②粉质黏土,可塑,层厚 $1.9 \sim 7.1 \text{ m}$;③粉质黏土,软塑,局部可塑,含有少量植物残骸,层厚 $0.7 \sim 6.2 \text{ m}$;④细砂,饱和,中密状态,层厚 $0.4 \sim 4.9 \text{ m}$;⑤砾砂,饱和,中密状态,本次钻探未穿透该层,最大揭露厚度为 26.8 m 。地下水为第四系孔隙潜水,稳定水位埋深为 $7.5 \sim 10.6 \text{ m}$,

有微腐蚀性。地层主要物理力学参数见表1。

表1 地层主要物理力学参数

地层	H/m	$\gamma/(kN \cdot m^{-3})$	C/kPa	$\varphi/(\circ)$	$k/(m \cdot s^{-1})$
填土	0.5	17.5	5.0	5.0	
粉质黏土	4.9	19.6	38.2	15.3	1.10×10^{-5}
粉质黏土	1.8	18.6	33.2	13.1	1.57×10^{-5}
细砂	2.6	19.0	0	25.0	2.32×10^{-4}
砾砂	>26.8	19.5	0	35.0	1.75×10^{-3}

注: H 为土层厚度; γ 为土的重度; C 为黏聚力; φ 为内摩擦角; k 为渗透系数。

2.2 深基坑地下水控制方案比选分析

基坑附近厂房为在建工程,无较大动力荷载。地下水为潜水,静水压力和土压力是该工程的主要荷载。初选2种技术方案:方案1是竖向止水帷幕进入弱透水性地层,使之发挥水平向阻水体作用;方案2是采用旋喷等可靠措施在基坑底部形成一定厚度不透水层作为阻水体。

方案1的弱透水性的含碎石黏土层在基坑底以下约40 m,若以该层作为止水封底帷幕,不仅竖向止水帷幕施工的成本和施工困难程度大幅度增加,其止水可靠性也难以保证。方案2,即在支护桩外侧设置2排咬合高压旋喷桩作为竖向止水帷幕、在基坑坑底满布咬合旋喷桩作为封底止水帷幕、基坑内布设疏干井的技术方案。基坑支护和止水帷幕剖面见图3。

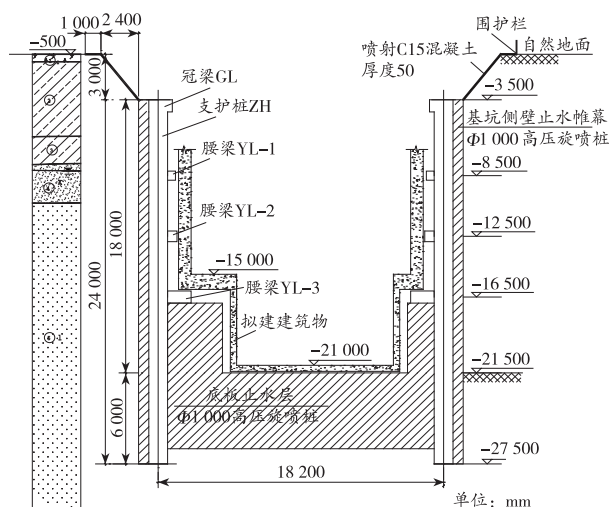


图3 基坑支护和止水帷幕剖面图

2.3 封底帷幕的设计

针对方案2分别对比了无抗浮锚杆和增设抗浮锚杆的2种设计方案。基本计算参数: K_b 取1.1, γ 取 $20 kN/m^3$, γ_w 取 $10 kN/m^3$, f_s 取 $100 kPa$, f_d 取

$120 kPa$, h (地下水位到基坑底的距离) 取 $14 m$, 则 $h_w = D + 14$ 。

按公式(1)计算不设置抗浮锚杆封底帷幕厚度, 可得 $D \geq 17.11 m$ 时才能满足渗流稳定要求。显然如此大厚度的封底帷幕在工程应用上是不合适的。

按本文提出的设计计算方法进行设置抗浮锚杆的封底帷幕厚度计算。抗浮锚杆考虑按间距 $r = 1.6 m$ 均匀布设, 锚杆直径 $d = 0.15 m$ 。初步选封底帷幕厚度 $D_0 = 4 m$, 计算结果见表2。

表2 计算结果

D_0/m	h_w/m	F_{m1}/kN	D_i/m	$ D_0 - D_i /m$
4.0	18.0	226	5.5	1.5
5.5	19.5	311	4.7	0.8
4.7	18.7	266	5.0	0.3
5.0	19.0	283	4.9	0.1

经过简单的4次迭代, 得出 $D = 5.0 m$, $F_{m2} = 283 kN$, $L = 6.0 m$, 安全考虑设计取 $L = 7.0 m$ 。

抗浮锚杆—止水封底帷幕设计主要参数为: 封底帷幕厚度 $5.0 m$; 抗浮锚杆直径 $0.15 m$, 锚杆间距 $1.6 m$, 锚杆长度 $12 m$, 其中位于封底帷幕中的长度为 $5.0 m$ 、锚固在土层中的长度为 $7.0 m$ 。封底帷幕的旋喷加固体(桩)直径 $1 m$, 水平间距 $0.65 m$ 。

2.4 施工和监测

封底帷幕和抗浮锚杆均在地表处($-500 mm$)开始施工。封底帷幕采用咬合旋喷桩施工, 抗浮锚杆在封底帷幕构建后施工。施工主要控制要点为:

1) 对施工高程, 桩、锚杆的位置和垂直度进行严格控制, 旋喷桩咬合和长度、锚杆在水平止水帷幕中的长度和位置要满足设计要求;

2) 旋喷桩采用三重管旋喷施工方法, 射水压力为 $25 \sim 30 MPa$, 流量大于 $30 L/min$, 气流压力为 $0.3 \sim 0.5 MPa$, 提管速度不大于 $100 mm/min$, 注浆压力为 $0.5 \sim 1.0 MPa$, 旋喷转速为 $20 r/min$;

3) 锚杆钻进采用泥浆护壁措施, 待钻进至设计深度后安放锚杆杆体, 锚杆杆体轴线方向间隔 $1.5 m$ 设对中支架, 注浆管安放到距孔底 $300 mm$ 处, 注浆压力不小于 $1.0 MPa$, 且应确保从孔内排水、排气。

基坑工程支护体系为钢筋混凝土护壁桩和3道钢筋混凝土环形内支撑, 在护壁桩及止水帷幕的强度达到设计要求的70%时, 开始土方挖掘作业。在基坑外侧设置了2个水位观测孔, 邻近厂房基础布设4个沉降观测点、基坑护壁桩顶部冠梁布设4个变形观测点。在基坑开挖和使用期间对上述监测内

容进行连续观测:厂房基础无附加沉降,基坑顶部最大水平位移为17 mm,最大沉降为9 mm,地下水位总体上无变化,基坑侧壁个别点存在渗漏,采取有效措施堵漏。目测观察基坑止水封底帷幕表观均匀、完整,无开裂、隆起等现象。监测结果表明:基坑支护体系安全性满足要求,抗浮锚杆—止水封底帷幕有效阻断基坑内外的水力联系,显著减小了基坑因降水作业对周边环境的影响。

3 结语

1)采用抗浮锚杆—止水封底帷幕的组合体可有效抵抗地下水浮力,显著减小封底帷幕厚度,有效消除了因基坑降水作业对周边环境的不利影响,保护了地下水资源。

2)以抗浮锚杆—止水封底帷幕组合体顶升破坏模型提出的渗流稳定分析计算方法力学关系清晰,计算结果满足工程需要。

3)旋喷桩封底止水帷幕的关键是对施工高程、桩锚位置、桩体锚杆体垂直度的控制,确保桩体有效咬合连成整体并保证设计厚度。抗浮锚杆—止水封底帷幕为在深厚富水地层的深基坑工程中进行封闭降水提供了新的参考,具有一定推广应用价值。

参考文献:

- [1] 周火焱,王华钦,张维泉.悬挂式止水在基坑工程中的应用[J].岩土工程学报,2012,34(S1):470-473.
- [2] 丁洲祥,龚晓南,俞建霖,等.止水帷幕对基坑环境效应影响的有限元分析[J].岩土力学,2005,26(S1):146-150.
- [3] 王昆泰,胡立强,吕凯歌.悬挂式帷幕条件下基坑渗流特性的计算分析[J].建筑科学,2010,26(1):81-84.
- [4] 汪玉松,毛绪美,冯晓腊.某深基坑水平封底止水工程

失败原因分析及经验[J].勘察科学技术,2004(6):46-48.

- [5] 乔玉荣.某U形槽基坑工程地下水控制措施研究[J].铁道勘察,2015(1):71-72.
- [6] 樊玲,陈俊,尹小波,等.强富水厚层砂卵石深基坑突水三道防线技术研究[J].交通科学与工程,2012,28(2):1-7.
- [7] 丛竺,杨小平,刘庭金.强透水砂层运营地铁隧道正上方基坑施工关键技术[J].施工技术,2015,44(13):51-55.
- [8] 孙玉永,周顺华,肖红菊.承压水基坑抗突涌稳定判定方法研究[J].岩石力学与工程学报,2012,31(2):399-405.
- [9] 李镜培,张飞,梁发云,等.承压水基坑突涌机制离心模型试验与数值模拟[J].同济大学学报(自然科学版),2012,40(6):837-842.
- [10] 王军玺,吴伟雄,李琼,等.承压水基坑突涌的水力劈裂[J].土木建筑与环境工程,2015,37(4):105-111.
- [11] 王宝德,高海彦,陈学光.高承压水地区超深基坑突涌分析与处置[J].施工技术,2012,41(22):98-100.
- [12] 阳吉宝,田全红,吴顺.苏州嘉润广场深基坑支护设计承压水处理[J].施工技术,2016,45(S2):35-39.
- [13] 胡云华.临江高承压水超深基坑开挖抗突涌分析与对策——以南京纬三路长江隧道梅子洲风井基坑为例[J].隧道建设,2015,35(11):1194-1201.
- [14] 周铮.深基坑工程采用RJP工法封底加固以取代抽降承压水的方法及工程应用[J].建筑结构,2016,46(S):742-745.
- [15] 中国建筑科学研究院.建筑基坑支护技术规程:JGJ 120—2012[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.

(责任编辑:李 琴)

(上接第82页)

- [11] 黄庆享.浅埋煤层保水开采岩层控制研究[J].煤炭学报,2017,42(1):50-55.
- [12] 国家煤炭工业局.建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程[S].北京:煤炭工业出版社,2000.
- [13] 许延春,李俊成,刘世奇,等.综放开采覆岩“两带”高度的计算公式及适用性分析[J].煤矿开采,2011(2):

4-7.

- [14] 黄阳,刘宁,王智华.彬长矿区导水裂隙带高度的确定方法[J].陕西煤炭,2010(6):40-43.
- [15] 戴露,谭海樵,胡戈.综放开采条件下导水裂隙带发育规律探测[J].煤矿安全,2009(3):90-92.

(责任编辑:陈玉涛)