

文章编号:1006-2106(2007)05-0028-05

王滩电站地下水泵房深基坑的开挖方案及稳定性分析*

李昌宁¹ 龚晓南^{2**}

(1. 中铁一局集团有限公司, 西安 710054; 2. 浙江大学, 杭州 310027)

摘要:研究目的:通过现场勘察、调研,理论分析与计算机模拟,对王滩电站地下水泵房深基坑开挖方案及稳定性进行研究,旨在保证基坑安全稳定、满足工期要求的情况下,采用最经济合理的施工方案和方法。

研究方法:从技术、施工、经济等方面对王滩电站地下水泵房深基坑开挖方案及开挖方法进行讨论和比选,并结合计算机技术对不同开挖方法的过程进行模拟计算分析。

研究结论:理论与工程实践结果表明,采用半放坡开挖(从地面标高3.5 m到地下-9 m)和地下连续墙(从-9 m到-13.5 m)相结合的方案,基坑稳定,施工简单、经济效益好,既保证了施工质量,也满足了工期要求。

关键词:深基坑;开挖方案;稳定性分析

中图分类号:TV551.4+2 文献标识码:A

Excavation Program and Stability Analysis of Deep Foundation Pit for Underground Pump House of Wangtan Power Station

LI Chang - ning, GONG Xiao - nan

(1. China Railway First Engineering Group Co. Ltd, Xi'an, Shanxi 710054, China; 2. Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: Research purposes: Through making the site survey, investigation, theoretic analysis and computer simulation, the researches are made on the excavation program and stability analysis of deep foundation pit for underground pump house Wangtan Power Station for the purposes of adopting the most economic and reasonable construction program and method based on the premise of guaranteeing the safety and stability of foundation pit and satisfying the requirement of construction schedule.

Research methods: The discussion and comparison are made for the excavation programs and methods of deep foundation pit for underground pump house of Wangtan Power Station from the areas of technology, construction and economy, and the simulation computing and analyses are also made for the processes of different excavation methods with computer technology.

Research conclusions: The theory and engineering practices show not only the construction quality can be guaranteed, but also the requirement of construction schedule can be satisfied by adopting the program of combining the method of excavation on half slope from 3.5 m of ground elevation to -9 m underground with the method of underground continuous wall from -9 m to -13.5 m. In this way, the foundation is stable, construction is easy and the good economic benefits can be obtained.

Key words: deep foundation pit; excavation program; stability analysis

* 收稿日期:2006-08-22

** 作者简介:李昌宁,1970年出生,男,博士后,高级工程师,中铁一局集团有限公司技术研发中心总经理;龚晓南,1944年出生,男,博士生导师。

1 工程概况

本工程循环水泵房地下结构为埋深 17.5 m, 内部尺寸 57 m × 39.4 m × 16 m 的钢筋混凝土箱体结构, 初步设计采用深 36 m, 厚 1.0 m 的地下连续墙支护结构。地连墙内衬钢筋混凝土叠合层, 共同构成地下结构外壁, 泵房内部与短边平行方向设有 7 道钢筋混凝土隔墙, 将泵房分为 8 格相互独立的泵室。为了保证 3# 港池西岸线地基土的自身稳定, 且不被海水带入循环水系统影响取水水质, 在取水口南北两侧修建地下连续墙护岸, 地下连续墙护岸分前墙和后墙两部分。前墙长度 2 × 80 m, 深度 36 m, 厚度 1.2 m。后墙长度 2 × 80 m, 深度 18 m, 厚度 0.8 m。前后墙间距 40 m, 用 100 根拉结杆拉结, 工程总工期 7 个月。本工程工期紧, 任务重, 技术难度大。

循环水泵房位于闲置废弃虾池和弃泥场, 地面标高在 4.2 m 左右。泵房所在地貌单元均属滨海平原地带, 地势平坦, 施工场地宽阔。施工现场地层主要为第四系全新统海相沉积地层。

第一层 (I): 为近代河流沉积或人工挖掘回填土, 岩性主要为粉细砂、粉土, 鱼塘底部沉积薄层淤泥。该层底板一般埋深 0.60 ~ 4.60 m, 一般标高 -2.30 ~ -2.70 m, 平均厚度 2.80 m。

第二层 (II): 粉细砂为主, 灰色, 为松散 ~ 中密状态, 饱和, 属中低压缩性土, 本层局部与粘性土呈互层, 或夹粉质粘土、粉土透镜体。该层底部一般埋深 6.80 ~ 15.50 m, 标高 -3.50 ~ -11.35 m, 平均厚度 7.90 m。

第三层 (III): 粉质粘土为主, 灰 ~ 黑灰色, 可塑状

态为主, 局部呈软塑, 属中高压压缩性土, 本层土在空间展布上较不稳定, 厚薄不一, 在部分地段缺失, 工程性质上也存在较大差异, 在部分位置渐变为淤泥质土, 本层在局部与粉细砂呈互层, 或夹粉细砂透镜体。该层底部一般埋深 10.00 ~ 23.50 m, 一般标高 -6.40 ~ -19.45 m, 平均厚度 5.20 m。

第四层 (IV): 粉细砂为主, 局部与粘性土呈互层, 或夹粉质粘土、粉土透镜体, 灰 ~ 褐灰色, 中密 ~ 密实状态, 饱和, 属中低压缩性土, 该层土厚度大, 整体而言, 工程性质良好, 强度上表现出自上至下渐强的特点。

2 总体施工方案

2.1 施工方案

对 3 种施工方案即逆做法、全放坡开挖法 (顺做法)、半放坡开挖 + 地连墙法 (顺做法), 从技术、经济方面进行综合比较认为, 第三种方法最优。为降低顺做法方案中进水口的施工难度, 避免大量的基坑支撑工作, 提高构筑物内在和表观质量, 加快施工速度, 在保证结构设计断面尺寸的基础上, 根据详勘地质资料, 采取泵房下部地连墙修筑后放坡开挖的施工方案。在施工场地清淤回填至 +3.5 m 后, 开始在地面进行地连墙的施工 (德国双轮铣), 泵房地连墙在地面成槽, 混凝土仅浇注至 -9.0 m 处, 泵房地连墙施工完毕后, 进行基坑开挖。基坑开挖至 -9.0 m 标高后, 进行泵房地连墙内部基坑开挖。基坑开挖至基底标高 -13.0 m, 然后进行泵房底板及地下主体结构施工。如图 1 所示。

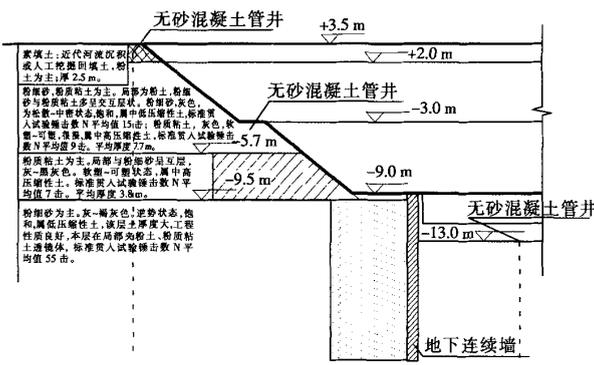


图 1 半放坡开挖 + 地连墙法施工方案示意图及现场照片

2.2 顺作法支撑系统

2.2.1 支撑体系布置

支撑体系布置如图 2 所示。由于泵房基坑平面的长、宽尺寸都较大, 对地连墙万方数据

变形要求较高, 为了对四边地连墙维护结构进行迅速支撑, 减少地连墙无支撑暴露的时间, 控制变形和位移, 因此采用对撑式双向多跨压杆式支撑体系, 并在角部加角撑。钢支撑采用 φ 609 钢管 (厚度 16 mm)。

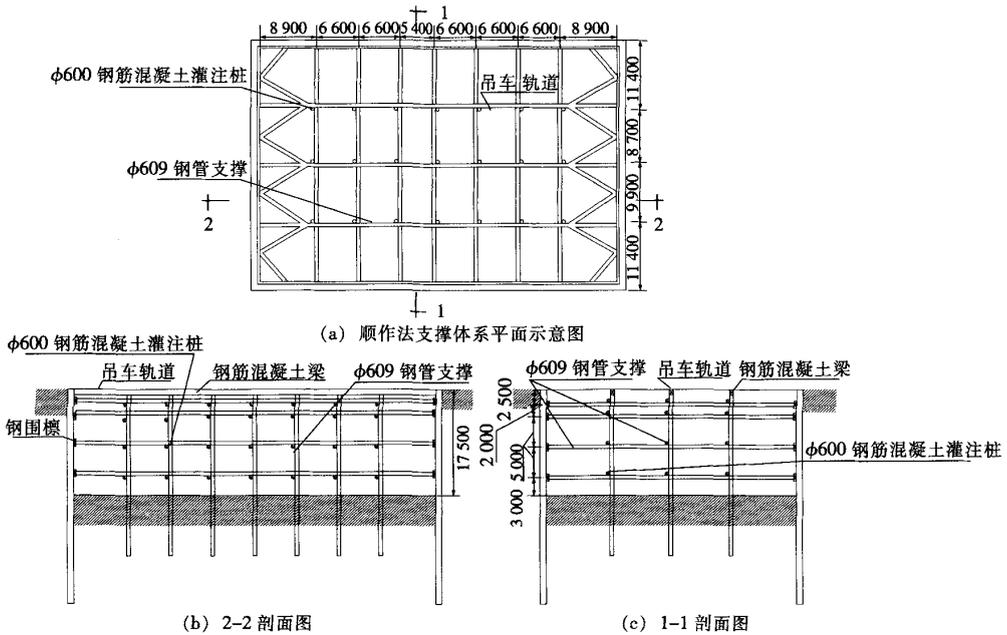


图2 支撑体系布置图

2.2.2 工字钢腰梁

为加强地连墙的整体性,将支护墙体的各槽段组成一个整体共同受力,因此,在每层支撑处沿地连墙内侧设置一道50工字钢腰梁,钢管支撑在腰梁上。地连墙所承受的水、土压力等外部荷载通过腰梁将其传递到钢管支撑上。

2.2.3 支撑立柱

由于泵房平面尺寸较大,为减少水平支撑钢管的计算长度,增加支撑体系的整体刚性和稳定性,因此在隔墙位置设置φ600、深度为40m钢筋混凝土钻孔灌注桩21根,作为立柱支承桩。同时,立柱支承桩还承受由吊车梁轨道传来的龙门吊自重、施工荷载等。立柱灌注桩穿过底板处设止水板,作好防水处理。立柱支承桩在隔墙施工时与隔墙浇注在一起。

3 基坑开挖稳定性分析

由于本工程边坡为临时工程,施工场地周围为开阔地,根据《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330—2002),将边坡安全等级定位二级,边坡稳定安全系数为1.25(采用圆弧滑动法计算)。根据设计单位提供的工程地质及水文地质资料,并考虑降水后的土的强度有所提高,对放坡开挖的边坡稳定性、基底抗隆起、-9.0~-13.0m开挖时地连墙围护结构的稳定性进行了验算,以上各项均满足要求。

3.1 开挖至-9.0m安全稳定性分析

边坡的坡度为1:2,分2层开挖,第一层开挖

6.5m,第二层开挖6m,中间台阶宽度2m。

计算分2种情况,一是整体滑动,二是局部滑动。

3.1.1 整体滑动稳定性

按Bishop法计算的安全系数1.258,最危险滑动面形状如图3所示。

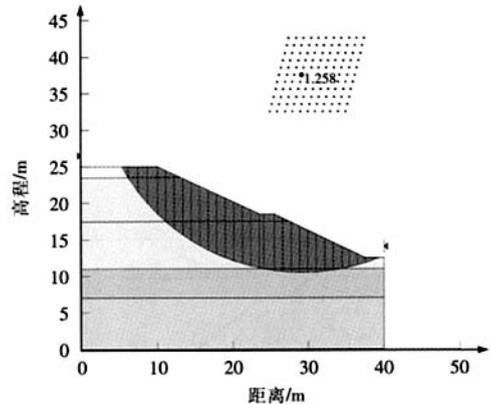


图3 整体滑动面形状

3.1.2 局部滑动稳定性

按Bishop法计算的局部滑动稳定安全系数为1.441,最危险滑动面形状如图4所示。

综合以上两点,由于本工程边坡为临时工程,而且周围为开阔地,根据《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330—2002),可以将边坡安全等级定位二级,边坡稳定安全系数为1.25。由以上计算结果,安全系数满足要求,但需要注意在计算中考虑粉质粘土的内

摩擦角在降水后能提高到 15°,同时,粉土的强度参数为估计值。

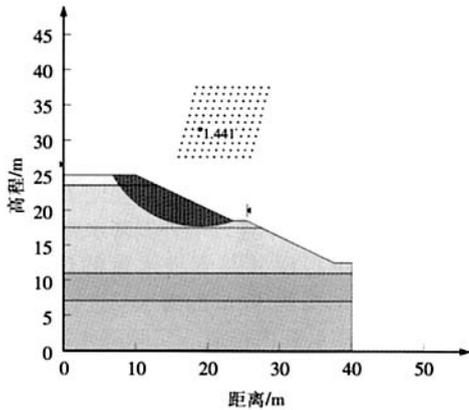


图4 局部滑动面形状

3.2 -9 ~ -13.5 m 段围护结构的稳定性分析

3.2.1 地连墙厚度为 1 000 mm,混凝土强度等级为 C30,ERB335 级钢筋,双层布筋。

通过计算,得到连续墙侧向位移 32.61 mm,弯矩 523.62 kN·m/m。

因此,围护稳定满足要求。基坑的塑性区分布、总应力、地下连续墙变形曲线和弯矩分别如图 5 ~ 图 8 所示。

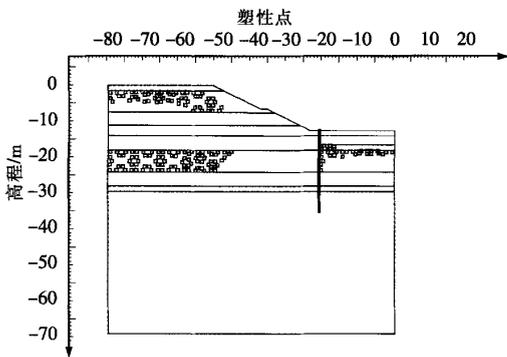


图5 基坑塑性区分布

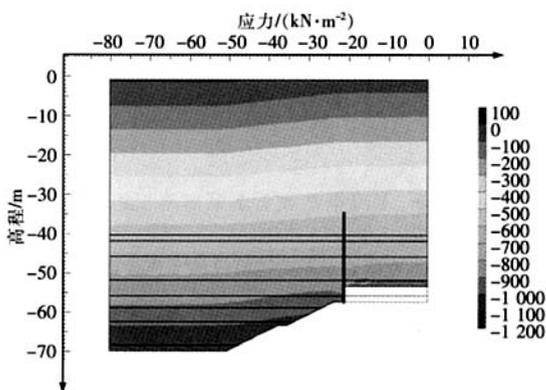


图6 基坑应力场分布

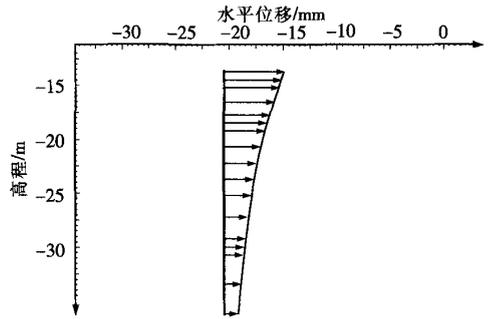


图7 基坑地下连续墙侧移

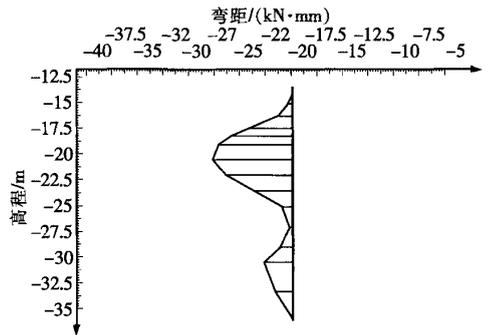


图8 基坑地下连续墙弯矩

3.2.2 地连墙厚度为 800 mm,混凝土强度等级为 C30,ERB335 级钢筋,双层布筋。

通过计算,得到连续墙侧向位移 35.64 mm,弯矩 523.62 kNm/m。因此,围护稳定满足要求。

3.3 基坑坑底隆起验算

为安全起见,按直立开挖进行验算,如表 1 所示。

表1 抗隆起计算结果

计算方法	(地基承载力系数) N_q	(抗隆起安全系数) K_L
普朗特公式	18.40	9.2
泰沙基公式	22.45	11.2

由此可见,放坡开挖,能满足抗隆起稳定条件。

3.4 循环水泵房顺作法施工稳定性分析

3.4.1 支撑压杆稳定性检算

根据计算结果,支撑最大轴力为 2 667.83 kN,支点之间最大间距为 11.4 m。

构件长细比

$$\lambda = l_0 / i_x = \frac{11.4}{0.2118} = 53.8$$

$$\lambda \sqrt{f_y / 235} = \sqrt{215 / 235} = 51.5$$

查表得 $\varphi = 0.8495$

钢管要求:

$$\frac{N}{\varphi A} = \frac{2\,667.83}{0.8495 \times \pi(0.609^2 - 0.589^2)} = 4$$

$$= 166\,969.9 \text{ kPa} = 166.97 \text{ MPa} < f = 215 \text{ MPa}$$

满足要求。

3.4.2 立柱受压计算

立柱轴力计算公式为：

$$N_z = N_d + \sum 0.1N_i$$

开挖最后部分时，以开挖面以下 10 m 作为立柱支点，则支点间距为 17 m。

(1) 立柱支承的最大横撑自重为：

$$0.029\,807 \times (3.3 + 4.45 + 4.95 + 5.7 + 5 + 5) \times 76 = 64.4 \text{ kN}$$

(2) 立柱自重为(开挖面以上部分)：

$$0.6^2 \times \pi \times 28 \times 25/4 = 198 \text{ kN}$$

(3) 各层交会于立柱的最大支撑轴力分别为：1 337.64、2 115.09、2 667.83、1 459.05 kN，因此，分配给立柱的轴力为：

$$0.1 \times (1\,337.64 + 2\,115.09 + 2\,667.83 + 1\,459.05) = 758 \text{ kN}$$

(4) 龙门吊自重及荷载按 300 kN 考虑

立柱总轴向荷载为：1 214.4 kN，无明确偏心荷载，因此，按轴心受压计算。

$$l_0/d = 17.0/0.6 = 28.3$$

$$\varphi = 0.47$$

$$1\,218\,400 \leq 0.9 \times 0.47 (11.9 \times 600^2 \times \pi/4 + 300A'_s)$$

$$A'_s < 0$$

按构造配筋即可。

3.4.3 立柱桩的承载力计算

极限侧阻力取 60 kPa，极限端阻力取 400 kPa

$$Q_{uk} = 0.6\pi \times (40 - 18) \times 60 + 0.6^2\pi \times 250/4 = 2\,557 \text{ kN}$$

$$R = Q_{sk}/\gamma_s + Q_{pk}/\gamma_p = 1\,531.1 \text{ kN}$$

荷载为

$$N = 1\,218.4 + 0.6^2\pi \times 25 \times 12/4 = 1\,303.2 \text{ kN}$$

$$\gamma_0 N = 1.0 N < R$$

满足要求。

根据地质资料及施工方案，施工过程中地连墙及支撑体的变形及稳定性验算结果表明，支撑体系结构各项指标均满足要求。

4 基坑开挖深井降水

施工场地土质以粉土、粉质粘土、粉细砂为主，地下水位较高，且施工将经历一个雨季，因此降水成功与否是放坡开挖施工的先决条件。

为减少基坑开挖过程中地下连续墙所承受的水压力，减少地下连续墙的变形，便于基坑内施工，防止减少基底变形，在泵房基坑内外两侧设置深井井点同

时进行降水，确保泵房地下结构施工的安全稳定性及施工顺利进行。深井成孔孔径 600 mm，井孔内下入 D300 mm 的无砂混凝土管井管，封底，井管外填充 2 ~ 4 mm 粗砂，防止在抽水过程中井壁进砂，井深 25 m。

经计算，在地下连续墙外侧周边设置 12 口深井降水，在基坑内设置 8 口深井降水。为确保地下连续墙外侧降低后水位的稳定，在每侧设置 D300 水位观测井一口，基坑内部设置两口观测井，以便施工中能对地下水位进行测量监控。地下连续墙外侧降水井点具体布置见图 9。根据单根深井井管进水量计算，采用 20 台流量 30 m³/h，扬程 30 m 的潜水泵进行深井井管抽水，排入 D200 排水管内排放。实际降水结果表明，基坑外水位由原来的标高 -0.8 m 成功降到所要求的标高 -11 m 以下；坑内降水深度 6 m 以上，降水效果良好。

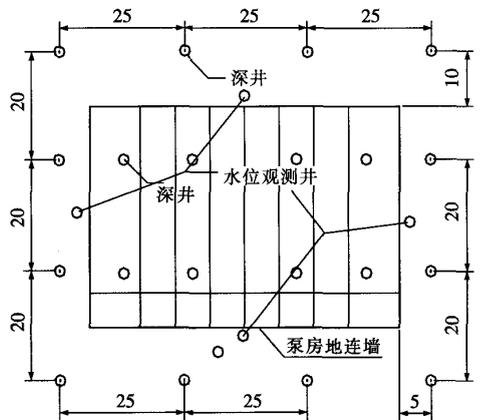


图9 降水井布置图(单位:m)

5 结论

工程实践证明，采用半放坡开挖 + 地连墙的施工方案是可行和成功的，既保证了工程质量，也满足了工期要求，还取得了良好的经济效益和社会效益。现场监测结果表明，基坑降水和基坑开挖对周围环境未造成影响。此外，还总结出了一整套在海滨软土地区采用双轮铣进行地下连续墙的施工方法和工艺，对类似工程施工提供了新思路。

参考文献：

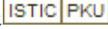
[1] 中铁一局. 王滩电站地下水泵房施工组织设计报告[R]. 西安:中铁一局,2004.

[2] 中铁一局. 软弱地层双轮铣槽机地下连续墙成套施工技术研究与与应用研究报告[R]. 西安:中铁一局,2006.

[3] 侯学渊,钱达仁,杨林德. 软土工程施工新技术[M]. 合肥:安徽科学技术出版社,1997.

(编辑 马 丽)

王滩电站地下水泵房深基坑的开挖方案及稳定性分析

作者: [李昌宁](#), [龚晓南](#), [LI Chang-ning](#), [GONG Xiao-nan](#)
作者单位: [李昌宁, LI Chang-ning \(中铁一局集团有限公司, 西安, 710054\)](#), [龚晓南, GONG Xiao-nan \(浙江大学, 杭州, 310027\)](#)
刊名: [铁道工程学报](#) 
英文刊名: [JOURNAL OF RAILWAY ENGINEERING SOCIETY](#)
年, 卷(期): 2007, 24 (5)

参考文献(3条)

1. 中铁一局 [王滩电站地下水泵房施工组织设计报告](#) 2004
2. 中铁一局 [软弱地层双轮铣槽机地下连续墙成套施工技术研究与](#)应用研究报告 2006
3. [侯学渊;钱达仁;杨林德](#) [软土工程施工新技术](#) 1997

引用本文格式: [李昌宁, 龚晓南. LI Chang-ning, GONG Xiao-nan](#) [王滩电站地下水泵房深基坑的开挖方案及稳定性分析](#)[期刊论文]-[铁道工程学报](#) 2007 (5)