

文章编号 1006-544X(2000)02-0159-05

# 活套坑围护工程施工实录

罗学锋<sup>1</sup> 张 洁<sup>2</sup>

(1. 福建冶金基础工程公司, 福建福州 350001; 2. 福建岩土工程勘察研究院)

**摘 要** 该工程位于福州市闽江下游北岸, 地层岩性为第四系海陆交互相沉积形成的砂和淤泥组成的软弱土。由于种种原因, 活套坑施工时, 车间主厂房结构及地基碎石桩加固已施工完毕, 而且活套坑距离柱基台仅 3.0 m。经综合分析论证, 选择了用钢板桩围堰、大口径钻孔泵吸反循环工艺成井、水下砼灌注封底, 再进行井壁钢筋砼及井底板钢筋砼二次封底的施工方案。在施工中碰到的问题及时治理, 如: 土坍方、桩倾斜时用回灌闭坑或调整施工方案; 接桩断焊跑桩而呈天窗时, 用钢板焊接加固; 对标高 -4.6 m 以下的钢板桩缺陷(大扣、接头焊缝等)漏水处采取坑外注浆堵漏。对于类似的基坑工程, 在不能使用沉井时, 可以借鉴该施工方案。

**关键词** 深基础; 活套坑; 围护工程; 施工

**中图分类号** TU473.2; TU753.62

**文献标识码** A<sup>①</sup>

## 1 工程概况

福建瑞闽铝板带厂位于福州市马尾经济开发区青州路, 工程投资为 6 亿多元, 是福建省“八五”期间重点工程, 由洛阳有色金属加工设计研究院设计, 中国第一冶金建设公司总承包施工。压延车间是该厂最重要的单体工程, 为长 210 m×宽 108 m (建筑面积 2.2 万 m<sup>2</sup>) 的单层工业厂房。排架结构, 独立柱钢筋砼预制桩基 (400 mm×400 mm 预制桩, 以 6 层中砂夹淤泥为持力层, 桩长 15~17 m, 设计单桩承载力 600 kN), 预制砼柱, 柱距 16~18 m, 预制钢筋砼预应力行车梁、钢屋架及大型屋面板, 吊车起重量 16~50 t, 地面荷载为 40~60 kPa, 单柱下基础荷重 3 000~4 300 kN。

活套坑位于压延车间西北处, 属纵横剪机组钢筋砼箱型地下室结构的组成部分。地基经过碎石桩处理, 地下室底板底部罗零标高为 -4.6 m, 顶板顶部为 -0.03 m。纵剪机组基础内底板下设

计有沉井活套坑, 为坑中之坑, 平面尺寸为 4 m×4 m, 壁厚 60 cm, 底板砼厚 50 cm, 坑底罗零标高 -11.0 m, 坑顶部与地下室底板相接<sup>[1]</sup>。

活套坑工程施工时, 压延车间主厂房结构及地基碎石桩加固已施工完毕, 而且活套坑距离柱基承台最近处仅 3.0 m。根据场内岩土工程勘察资料 and 冷轧深基础 (位于压延车间南部) 钢板桩围护井点降水施工经验及其井点降水引起不均匀沉降的专题研讨咨询会专家组意见<sup>[2]</sup>, 设计活套坑为沉井, 要求在不排水状态下施工, 活套坑是纵剪机组地下室的施工重点, 是特殊场地条件下的高难度基坑施工工程。

## 2 场地条件

### 2.1 场地地形地貌

拟建场地属于闽江下游马江一级堆积阶地河漫滩地貌单元, 邻近入海口。场区位于闽江北岸, 离河道仅 300 m 左右。地表经人工填砂及碎石桩处理后地势平坦。

① 2000-01-02 收稿, 2000-01-26 改回。

第一作者简介: 罗学锋 (1968-), 男, 福建长乐人, 工程师, 工程地质专业。

## 2.2 地层岩性

施工影响范围内的地层结构相对简单,岩性主要为福州湾中期海陆交替相沉积环境下冲积和淤积成因的砂和淤泥组成的相对软弱土层,场地工程地质条件属中等复杂场地类型<sup>[3]</sup>,其地层岩性自上而下简述如下:

(1) 冲填砂:厚 2 m,松散状态,  $r = 17.5 \text{ kN/m}^3$ ,  $c = 0$ ,  $\varphi = 30^\circ$ ;

(2) 杂填土:厚 1 m,由粘性土和碎块石组成,稍密状态;

(3) 粘土:厚 0.5 m,可塑状态,  $r = 18.5 \text{ kN/m}^3$ ,  $c = 17.4 \text{ kPa}$ ,  $\varphi = 10.7^\circ$ ;

(4) 淤泥:厚 5 m,软至流塑状态,高压缩性软土,  $r = 15.5 \text{ kN/m}^3$ ,  $c = 10.3 \text{ kPa}$ ,  $\varphi = 8.8^\circ$ ;

(5) 中细砂夹淤泥:厚 6 m 左右,稍-中密状态,以中细砂为主,夹有 20~30 cm 的页片状淤泥薄层,页片间夹有 3~5 mm 粉细砂,  $r = 18 \text{ kN/m}^3$ ,  $c = 10.8 \text{ kPa}$ ,  $\varphi = 15^\circ$ 。

## 2.3 水文地质条件概况

冲填砂及杂填土中含有上层滞水带,地下水位浅,埋深仅 0.5 m 左右,水位呈季节性变化。

中细砂夹淤泥层中含有微承压水,以闽江的侧向补给为主,水位受潮汐影响明显,日变化幅度 30 cm 左右,升降变化比潮汐滞后 2 h 左右。因淤泥本身具有水平微层理的粉细砂夹层,由此造成透水性在垂直方向受阻,水平方向较好的径流特征,透水性在水平和垂直方向有明显的非均质性,属孔隙微承压含水层,平均水头标高 3.66 m,承压水头高度 5.40 m,渗透系数  $K = 1.8 \text{ m/d}$ 。

周围地基土经碎石桩处理,桩径  $\Phi 800 \text{ mm}$ ,桩长 8 m,呈梅花形布置,桩距 1.5 m,破坏了承压含水层的隔水顶板,疏通了地下水通道,因此地下水水力联系更好,水文地质条件更加复杂。

## 2.4 施工环境条件

业主对这个重点工程抓得很紧,要求 1995 年 12 月实现压延车间正式试生产的建设目标,因此自 1994 年元月工程开工后,施工进度很快。然而,由于纵剪机组设备从国外引进,其规格长期无法落实,致使纵剪地下室及活套坑的施工图不能按时设计,本来应该先施工活套坑、地下室的工程进度受到限制,为了不影响工程总体进度,

多方权衡利弊,只好先施工厂房主体结构,再在室内施工活套坑,人为倒置了正常的施工工序,使施工工艺、作业空间位置及环境条件受到极大的约束,使活套坑施工条件更加苛刻,而且活套坑及地下室的施工又将关系到周围桩基和上部结构的安全。

因此活套坑施工是一个复杂的系统工程<sup>[4]</sup>,基坑虽小,但涉及的岩土工程问题较多,主要有:

(1) 基坑深度大,达 11 m 之深。

(2) 地质条件差。基坑开挖范围内的地层强度低,多为软土地基,基坑边坡不稳,而且基底为中细砂夹淤泥层,含有微承压水易发生基坑隆起和管涌现象。

(3) 地下水位浅,中等富水的微承压含水层受闽江的侧向补给,水量较大,而且经碎石桩疏通后对施工更不利。

(4) 冷轧基坑井点降水引起不均匀沉降的教训,活套坑施工不能采用降水措施。

(5) 施工环境恶劣,不仅施工工艺及条件受到极大制约,而且一旦基坑围护失稳,将引起相邻桩基的侧向位移和垂直沉降,危及上部结构安全,后果不堪设想。

## 3 施工方案的选择与论证

根据上述场地条件的综合分析认为,要想在有限的厂房内和不排水状态下实现活套坑的深开挖和干作业环境,常规的围护施工方法(如灌注桩围护、地下连续墙围幕等)难以满足设计要求,可行的施工方案不多,有沉井(不排水)和钢板桩围堰及钻孔成井,根据工程实况可作比较。

### 3.1 沉井(不排水)

(1) 工期长:按设计沉井分两节制作下沉,均应待钢筋砼强度满足要求后方可降土下沉,预计工期要 4 个半月。

(2) 沉井水下去土采用机械抓斗除土必须长期配套吊车一台,且抓斗抓土坑底形成倒锥形,与预制矩形沉井不一致,不能按正常沉井方法施工,因此无法控制沉井下沉速度和中心偏差,难以满足设计要求。

(3) 造价高,约需 65 万元。

(4) 沉井制作及吊装要长期占用厂房很大空间,会交叉制约其他工序施工,进而影响总体进

度。

(5) 沉井中可能造成井底侧壁土体的位移, 从而影响周边的桩基稳定。

### 3.2 钢板桩围堰及钻孔成井

(1) 进度快, 钢板桩围护及钻孔成井仅需 20 d 时间, 因此活套坑工期 2 个月便可完成, 整个工期相应提前 2 个多月进行下阶段地下室施工, 为 1995 年底试生产创造条件, 其经济效益无法估量。

(2) 使沉井不排水施工转变为封闭型疏干作业, 方便了施工, 又能按设计要求满足设备安装的几何尺寸和中心偏差, 保证工程质量。

(3) 造价低, 仅需 42 万元左右。

(4) 采用锁扣联接的钢板桩围护, 具有良好的挡土和阻水作用, 联合水下砼的灌注封底, 可以实现该条件下的活套坑施工, 比其他围护方案具有经济合理和施工简便的优越性。

(5) 钢板打入时要确保小扣扣打, 否则将产生侧壁渗水甚至流砂流泥等, 需足够厚的砼封底, 防止基底隆起或管涌。

## 4 施工方案的确定

活套坑施工经过多方案比较分析, 拟定按钢板桩围堰、大口径钻孔泵吸反循环工艺成井及水下砼灌注封底, 砼厚度为 2 m, 对活套坑周边及底板进行全封闭, 以防止坑内涌水及基底隆起或管涌现象, 保证井内在疏干状态下施工, 即活套坑施工方案, 其施工工艺、步骤及方法要求如下。

### 4.1 钢板桩围护

根据场区施工条件及纵剪机组基础设计要求, 在活套坑周边 17 m 范围内进行钢板桩全封闭围护, 钢板桩选用拉森Ⅲ号, 桩长 15 m, 共打入 44 根。为保证钢板桩定位准确, 施打前按活套坑几何尺寸加工固定导向框, 保证钢板的空间位置不偏差。

钢板桩施工时必须相互扣上小扣, 因受厂房上部净空限制, 每根桩须接桩两次, 每次桩长 4~5.5 m, 为保证钢板自身强度及防渗水的作用, 桩头焊接要满足规范要求, 且相互错位避免接头设在同一断面上。

4 个转角钢板桩用 100 mm×10 mm 角钢焊接牢靠, 确保转角也处于封闭状态。

采用 C30 (b) 槽钢在地下 1 m、4 m 及 8 m

处各设围圈一道, 并在四角做临时角支撑, 保证基坑侧壁稳定。

钢板桩施打从角部分两边向对角合拢, 合拢后再接桩对称施打, 防止跑桩、脱桩。

钢板桩打入后不拔, 永久性埋于地下。

### 4.2 成井及砼封底

成井: 投入 GPS-15 型钻机 1 台套, 采用  $\Phi 1000 - \Phi 1500$  三翼钻头, 泵吸反循环成孔工艺, 坑上部架起足够的型钢, 使钻机进退自如且稳定牢靠, 磨圆式成孔, 直至坑内土体全部掏空成井, 井深 13.30 m。成井后进行二次洗井, 保证有效井深及泥浆指标满足水下砼灌注要求。

水下砼灌注封底: 使用 C25 商品砼, 由实验室配发配合比, 使用早强型水泥, 控制搅拌时间, 保证砼的和易性及塌落度 18~20 cm, 采用  $\Phi 300$  导管进行水下砼灌注, 实现快速连续封底砼 2 m 厚, 导管口离底 20 cm, 保证砼初灌量  $10 \text{ m}^3$  左右, 即两部砼灌车到位连续完成初始灌注, 之后加大砼坍落度至 21~23 cm, 使砼具有较好的流动性, 注入一定量的砼后边振捣边灌注, 并多方位观测砼面, 最终达到砼封底 2 m, 即灌注砼标高 -11.30 m, 预留 30 cm 进行二次封底。

### 4.3 钢筋砼底板及井壁成型

根据本活套坑方案的设计应作相应的结构调整, 井底板钢筋和井壁钢筋连接成一体, 底板钢筋砼与井壁钢筋砼墙设置施工缝, 施工缝处设置钢板止水带。

井底板及墙壁施工前, 应抽排井中水, 清洗干净井底和钢板桩的淤泥后, 作二次砼封底, 预埋带滤鼓防水法兰短管, 使井底板和井壁在完全封闭后的无水状态下作业。

井壁内模用定型钢模板, 留设门子板, 加固用  $\Phi 48 \text{ mm}$  钢管并用  $\Phi 12 \text{ mm}$  钢筋螺栓拉结, 另一端与钢板桩 (外模) 电焊固定, 井壁砼下灰设置串筒分层灌注浇筑。

## 5 施工中岩土工程问题的治理

1995 年 5 月 28 日采用 DZ60A 振动锤, 16T 汽车吊开始施打钢板桩, 采用小扣扣打, 转角处采用现场加工的异型钢板实现闭合, 桩长 15 m, 但局部地段因碎石桩施工造成碎石挤位, 以及个别钢板本身不同程度的变形, 因此钢板桩打入较

困难,有2根桩未打到位,只能将露出部分(约2 m)钢板割掉。46根钢板桩共耗时20 d,当然也与施工现场的停电及平面位置拥挤影响进度有关。之后投入1台GPS-10型钻机、 $\Phi 1000$  mm三翼钻头以正循环工艺成孔,同时用特制 $\Phi 200$  mm钻头清除钢板桩内凹槽的余留土体,使坑内土体全部掏空。但由于施工条件限制,场地拥挤,无法满足泵吸反循环的施工要求,不能使用泵吸反循环进行清孔,只好采用正循环进行二次清孔洗井,尽管二次清孔耗时3 d,洗井中不断捞碴换浆,而泥浆又不敢置换太稀,防止井底沉渣超标,因此,泥浆指标不符合规范要求,灌注前的泥浆比重为1.3~1.35,含砂率超过8%。

### 5.1 施工中存在的问题

(1) 7月8日开始抽坑内泥浆,抽掉约1.5 m后,活套坑南壁钢板整体向坑内倾斜,最大位移量达5 cm,且坑外侧约有 $1\text{ m}^3$ 的土塌方。原因为坑内抽水、水头下降,致使坑外填砂等通过钢板桩下部天窗涌向坑内,离井壁5 m处堆放有15~18 t重的临时性荷载(钻机、振动锤及其配套设备),增加了坑壁的侧向压力,而且坑内围圈及支撑未及时按要求施工。

(2) 钢板桩围护中有3处接桩断焊跑桩而呈天窗现象,长度分别为0.5 m、0.8 m和1 m;有6处桩接头虚焊有焊缝。原因是焊接质量差,未用钢板搭接焊或焊完后未自然冷却而打入地下急聚遇冷有关。

(3) 有3处钢板桩下部出现跑扣现象,原因为钢板本身变形严重,扣眼不在同一轴线,强行施打必然跑扣。

(4) 活套坑底板西南角约 $1\text{ m}\times 1\text{ m}$ 范围内砼封底厚度仅40 cm左右,清井后坑底暴露已达13 h后,设计变更,要在该处设计 $0.5\text{ m}\times 0.5\text{ m}\times 0.5\text{ m}$ 的集水井,挖掘小井后,正值二次砼封底之际,该处出现基底突涌,巨大水流夹带泥砂喷涌而出,无法进行施工,立即回灌闭坑。原因为:

- a. 该处砼封底厚度不够;
- b. 小集水井的开挖,破坏了基底的稳定,使下卧土层直接暴露;
- c. 南侧钢板位移造成封底砼与钢板桩胶结不好,为地下承压水的渗透提供了一定通道;
- d. 潮水承压(突涌时间正值闽江大潮涨潮高峰期)。

### 5.2 治理措施

因施工缺陷处于水下隐蔽状态,无法事先掌握,因此只好边发现问题边应急处理,保证坑内在基本疏干状态下施工,采取的治理方法有:

(1) 坑内抽浆1.5 m发现土坍方、桩倾斜后,马上回灌闭坑,更改原施工方案,即施工活套坑前先开挖纵剪基础地下室土方,减轻坑的压力,同时将标高-4.6 m以上的活套坑钢板全部割掉,用1台水泵明排水保证纵剪机组地下室底板的基本疏干。

(2) 钢板桩天窗处用钢板焊接加固补强,避免大面积涌砂漏水。

(3) 对标高-4.6 m以下的钢板桩缺陷(大扣、接头焊缝等)漏水处采取坑外注浆进行堵漏,抽浆降深中发现井壁漏水,立刻用SH-30型钻机成孔注浆,钻头用 $\Phi 57$  钻杆接手加工,仅留3个 $\Phi 5$  mm的出水口,以便成孔后直接注浆,孔底标高-13.0 m,用200型双缸泥浆泵注浆,水灰比1:0.8,加2%水玻璃,最大压力4 MPa,钻速20~30 r/min,钻杆提升速度10 cm/min,在8个缺陷处共注浆21个孔,水泥用量7 t,用该方法较成功地堵住了坑侧壁钢板缺陷而引起的渗水漏水问题,且处理迅速。

(4) 基底突涌后,只能闭坑再处理,采取高压旋喷注浆法封底处理,在西南角 $1\text{ m}^2$ 范围内按有效扩散直径30 cm考虑,共施工9个注浆孔,孔径 $\Phi 75$  mm,孔深至标高-15 m,水灰比1:0.5,注浆压力达20 MPa,预留一定量的水泥浆浪费返回坑内。

(5) 在坑内标高-5.0 m、-6.5 m及-8.0处各设一道C24槽钢围圈及临时内十字撑,防止基坑侧壁变形。

## 6 结束语

(1) 由于引进的设备规格长期无法落实,不能按时提供施工条件图和活套坑施工设计图,为了不影晌总体进度,只好先施工厂房(包括上、下部),再在室内施工活套坑深基坑,颠倒了正常的施工顺序,使施工工艺、施工条件受到极大的限制,人为地加大了施工难度,同时活套坑的施工又关系到周围桩基和上部结构的安全。

(2) 对于类似的基坑工程,沉井肯定不可行时,可以借鉴本施工方案,但必须严格按施工设

计要求施工，确保钢板桩围护及地下砼封底的质量，否则将导致一系列的岩土工程问题。若使用拉森 V 号钢板桩，因其本身（包括扣眼）强度大、难变形且桩身宽，施工将更容易，围护效果更好。不使用泵吸反循环清孔工艺是难以满足如此大的孔内水下砼灌注封底要求，必然影响封底质量和施工进度。

（3）尽管对场区水文地质条件有所认识，但对因基础施工（特别是碎石桩处理）而改变后的水文地质条件估计不足，施工方案中低估了水力作用的影响。

（4）本活套坑虽小，但涉及的岩土工程问题较多，具有特殊性和典型性，尽管出现了一些施

工问题且影响了施工进度，但在如此复杂的施工条件下，该施工方案还是成功的。

参 考 文 献

[1] 中国一冶福建瑞闽工程指挥部. 压延车间纵横剪机组施工作业方案 [R]. 1995  
[2] 湖北省土建学会土工基础学术委员会. 关于福建瑞闽铝板带厂压延车间基础不均匀下沉咨询报告 [R]. 1994  
[3] 福建岩土工程勘察研究院. 压延车间岩土工程勘察报告 [R]. 1993  
[4] 福建冶金基础工程公司. 活套坑工程施工组织方案 [R]. 1995

FAITHFUL RECORD OF BRACING ENGINEERING  
CONSTRUCTION OF LOOPING PIT

Luo Xuefeng

( Fujian Metallurgical Foundation Engineering Co. , Fuzhou )

Zhang Jie

( Fujian Research Institute of Geotechnique Investigation )

**Abstract** The engineering is situated at the northern bank of Min River in Fuzhou city. Sand and muck of are alternate marine and continertal deposits in Quaternary period consititute the strata. The construction of main factory building structure and srased pice have finished when looping pit is constructed. And it is only 3.0 m apart from the pit to column base. Through synthetical analysis and proviry , the following construc-tion plan has been choosed :sted sheet - pile cofferdam , large cabilre bore hole pump suction and reverse circu-lation craft , tremie concrete grouting and sealing , and second reinforced concrete sealing of well walls and bed plate. The problems occurring in the construction have been settled without delay , For example , sealing pit by recharging or adjusting construction plan when soil landslide and piles inclire ; reinforcing by welding steel sheet when skylight occurs because welding breaks in pile extention ; stopping up the leakagc by injecting grout outside the pit as to the flaws of steel sheet pile under the elevation of - 4.6 m. If it cant 't use end - open caisson , the experience of the construction plan can be used in similar foundation pit engineering.

**Key words** deep foundation ; looping pit ; bracing engineering ; construction