

# 卵漂石地层深基坑高压旋喷桩止水帷幕施工工艺

鲁鸿福<sup>1,2</sup>, 王丽梅<sup>2</sup>

(1. 甘肃工程地质研究院, 甘肃 兰州 730000; 2. 甘肃地质工程有限责任公司, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:**结合青海省微电机厂棚户区改造项目深基坑止水帷幕施工的成功经验, 总结出卵漂石地层深基坑双排单重管高压旋喷桩止水帷幕施工的施工工艺及技术要点。

**关键词:**单重管; 双排高压旋喷桩; 止水帷幕; 卵漂石地层; 深基坑

中图分类号: TU473 文献标识码: B 文章编号: 1672-7428(2015)08-0080-05

**Construction Technology of High Pressure Jet Grouting Pile Waterproof Curtain for Deep Foundation Pit in Cobble and Boulder Strata/LU Hong-fu<sup>1,2</sup>, WANG Li-mei<sup>2</sup>** (1. Gansu Institute Engineering Geology, Lanzhou Gansu 730000, China; 2. Gansu Geo-engineering Corporation Ltd., Lanzhou Gansu 730000, China)

**Abstract:** Combined with the successful experience in waterproof curtain construction of deep foundation pit for shantytowns reconstruction of a micro motor factory in Qinghai Province, the summarization is made on the construction technology and the key technical points of double-row single pipe and high pressure jet grouting pile waterproof curtain for deep foundation pit in cobble stratum.

**Key words:** single pipe; double-row high pressure jet grouting pile; waterproof curtain; cobble and boulder stratum; deep foundation pit

深基坑施工中止水和降水技术既是在地下空间开发中的关键问题, 又是岩土学中比较复杂和困难的问题。由于影响深基坑降水及止水施工的因素多, 随机性强, 使得基坑止水和降水施工难以达到设计止水效果, 从而导致重大经济损失, 并延误建设工程<sup>[1-2]</sup>, 甚至造成人员伤亡。

西宁市地处湟水河谷地带, 其地质条件复杂, 卵漂石层较厚, 地下水丰富。2008年某单位曾在紧邻“青海省微电机厂棚户区改造项目”的东北位置深基坑止水施工中, 采用了7排单重管高压旋喷桩止水帷幕方案, 止水帷幕完成后, 开挖基坑时地下水渗漏严重, 严重威胁到后续施工安全, 经青海省深基坑专家委员会建议, 改为素混凝土咬合桩止水方案, 造成工程成本升高、工期延长。因此如何科学、合理、安全、经济地解决卵漂石地层深基坑施工中遇到的地下水问题, 已成为城市建设工程中迫切需要解决的主要问题<sup>[3]</sup>。

## 1 工程概况

青海省微电机厂棚户区改造项目位于西宁市五一路东侧、滨河路南侧的原青海省微电机厂家属院内,

由6栋30~32层高层住宅楼及配套用房组成。基坑呈长条形, 东西长约280 m, 南北最宽处79.6 m, 最窄处44.7 m, 周长670 m, 开挖深度11.50 m。

### 1.1 工程地质条件

场地地处湟水河南岸河漫滩上, 地面标高为2217.60~2219.10 m, 相对高差1.50 m, 地形较平坦。场地地层除杂填土外为第四系晚更新统冲洪积物及第三系泥岩组成。地层揭露自上而下为:

①杂填土  $Q_4^{4ml}$ , 灰褐、杂色, 以粉土为主, 含有圆砾、砖块、混凝土块等建筑及生活垃圾, 松散, 潮湿—饱和, 层厚2.5~3.7 m;

②卵石  $Q_4^{3al}$ , 杂色, 骨架颗粒主要由石英岩、花岗岩等硬质岩石组成, 粒径20~60 mm, 约占总质量的65%, 约含5%的漂石, 直径最大达86 cm(见图1), 表面微风化, 多呈亚圆状, 充填物为圆砾、中粗砂及细砂, 稍密, 饱和, 层厚3.8~4.7 m;

③第三系全风化泥岩, 棕红色, 局部青灰、灰绿色, 成粘土状, 泥岩结构已破坏, 可塑、硬塑, 遇水软化, 层厚1.9~2.8 m。

### 1.2 水文地质条件

场地地处西宁市湟水河南岸, 距河约100 m。

收稿日期: 2015-05-18; 修回日期: 2015-07-16

基金项目: 甘肃省地矿局地质工程类新技术推广项目“深基坑止水帷幕施工技术研究”(编号: 201402)

作者简介: 鲁鸿福, 男, 汉族, 1968年生, 甘肃地质工程有限责任公司副总工程师, 注册一级建造师, 高级工程师, 从事地质灾害防治工程及岩土工程等方面工作, 甘肃省兰州市城关区红星巷123号, 530290110@qq.com。



图1 基坑开挖出的漂石

地下水以潜水为主,局部略具承压性,埋深一般1.0~3.0 m,稳定水位为1.2~3.0 m间。含水层为卵石层,地下水自南向北流动,主要为大气降水、高阶地地下水补给,以地下潜流的形式向区外排泄。勘察期间为平水期,丰水季节可上升约0.5 m,隔水层为新近系泥岩。据本场地3号楼ZK-26孔的简易抽水实验资料(见表1),渗透系数 $K=63.8\text{ m/d}$ 。

表1 ZK-26孔简易抽水试验表

序号	抽水时间/h	水位降深/m	涌水量/ $(\text{L}\cdot\text{s}^{-1})$	单位涌水量/ $(\text{L}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1})$	渗透系数/ $(\text{m}\cdot\text{d}^{-1})$	影响半径/m
1	5	3.10	4.85	2.85	62.4	27
2	6	3.70	5.62	2.67	66.5	32
3	7	4.30	6.34	2.53	62.7	39
4	8	5.00	7.62	1.77	63.4	43

### 1.3 周边环境情况

根据业主提供的相关资料及现场踏勘,基坑周边环境复杂:东侧距五一路19.5 m,地下市政管网密布;北侧距离分别为3.4、5.1 m处有2栋7层砖混结构旧楼,基础不详;南侧紧靠上滨河路(见图2)。

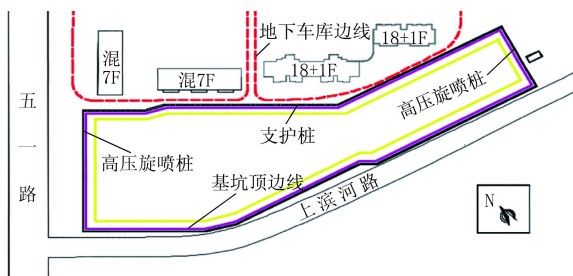


图2 基坑止水帷幕平面布置图

## 2 止水方案设计

西宁地区深基坑地下水的常见处理方式降水或是素混凝土咬合桩止水帷幕,降水方式在老城区因经常造成道路或建筑不均匀沉降被严禁使用,素混凝土咬合桩止水帷幕存在造价高、施工期长、废渣

排放量大等缺点。

高压旋喷桩止水帷幕施工技术与素混凝土咬合桩相比,具有造价低、工期短、施工中无弃渣外运等优点。综合各种因素,拟采用高压旋喷桩止水帷幕进行本项目地下水处理。

根据我院(公司)在上海、武汉等地的深基坑止水帷幕的施工经验,设计的止水帷幕由2排单重管高压旋喷桩组成,桩径600 mm,桩心距500 mm,排心距300 mm,桩底进入强风化泥岩不小于1.5 m,桩顶高于地下水位不小于1.0 m(见图3、4)。

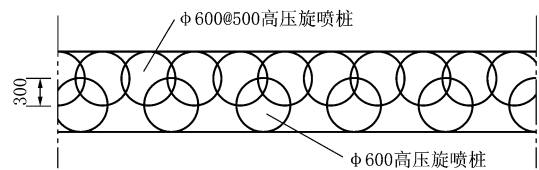


图3 基坑止水帷幕大样图

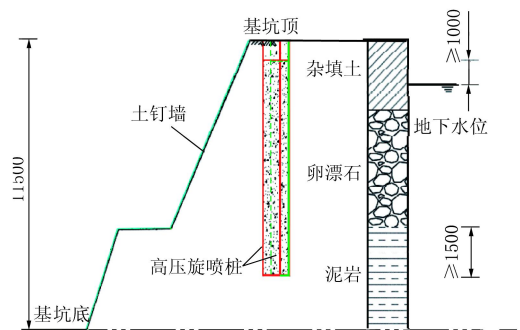


图4 基坑止水帷幕剖面图

## 3 高压旋喷桩止水帷幕机理

高压旋喷桩是利用钻机把注浆管放至土层或砂砾层的预定位置,通过钻杆下端的喷射装置,将水泥浆液向四周以高速水平喷入土体或砂砾层,借助流体的冲击力切削土层或砂砾层,使土体或砂砾与水泥浆液充分搅拌混合,胶结硬化后在地层中形成一定直径、有一定强度的柱体。再通过高压旋喷桩柱体之间的相互咬合形成一定厚度的连续密封墙体,隔断地下水之间的联系的水帷幕。主要适用于土层、砂砾层等地层<sup>[4-6]</sup>。在砂卵石、块石等地层采用高压旋喷桩止水帷幕已有成功案例<sup>[7-8]</sup>,但卵漂石层的成功案例尚未见报道。

## 4 技术难点及解决措施

### 4.1 技术难点

卵漂石层高压旋喷桩止水帷幕在青海省内尚未

有成功案例,加之本项目中采用的方案受前期某单位失败影响,青海省深基坑审查专家委员会对此设计方案持疑虑态度。通过与专家的交流沟通,认为在卵漂石地层实施双排单重管高压旋喷桩止水帷幕,技术上存在以下难点。

#### 4.1.1 钻孔垂直度保证

本场地杂填土以粉土为主,含有圆砾、砖块、混凝土块等建筑及生活垃圾;卵漂石颗粒主要由石英岩、花岗岩等硬质岩石组成,这种地层钻孔时极易造成钻孔倾斜,无法保证旋喷桩的有效咬合。

#### 4.1.2 旋喷桩有效桩径

本场地卵漂石主要由石英岩、花岗岩等硬质岩石组成,水泥浆液向四周以高速水平喷入时,流体的冲击力不能有效切削卵漂层,使卵漂石与水泥浆液不能充分搅拌混合,胶结硬化后在地层中无法形成一定直径、有一定强度的柱体,达不到设计桩径,使得高压旋喷桩之间不能有效咬合成止水帷幕止水。

#### 4.1.3 地下水稀释浆液

卵漂石层地下水丰富,透水性强且具有承压性,从而造成浆液旋喷时遇水严重稀释,部分浆液随水流流失,使得高压旋喷成桩困难,无法旋喷成桩形成有效的止水帷幕,且造成水泥浆液的浪费。

### 4.2 解决措施

#### 4.2.1 卵漂石破碎成小颗粒状

经过仔细分析研究相邻深基坑止水帷幕的案例,发现其失败的主要原因是采用的 $\varnothing 90$  mm小口径钻孔,从大直径的卵漂石中间穿过时,不能将其全面破碎,造成旋喷桩有效桩径偏小,无法咬合成闭合帷幕(见图5、图6)。

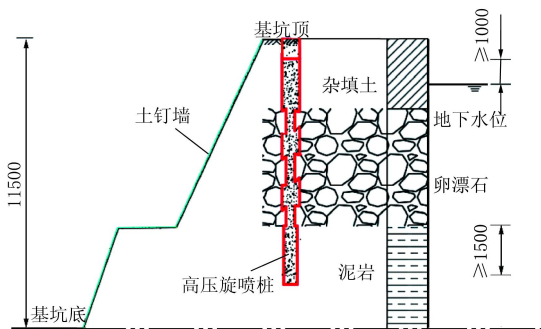


图5  $\varnothing 90$  mm孔成桩剖面示意图

根据我单位空气潜孔锤钻孔卵漂石地层施工经验,结合设计的桩心距、排心距参数,采用 $\varnothing 150$  mm空气潜孔锤钻进引孔,成孔直径达170~200 mm,

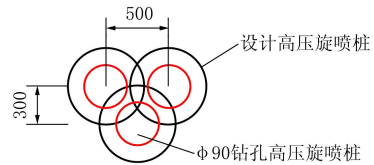


图6  $\varnothing 90$  mm引孔成桩平面示意图

可将大粒径卵漂石破碎成小颗粒状,有效保证了旋喷桩的咬合程度(见图7、图8)。试验证明, $\varnothing 150$  mm口径是比较合适的,可利用现有的锚杆(索)跟管钻进机械设备,工艺成熟。当然为了将大的卵漂石彻底破碎,口径理论上愈大愈好,但相应的机械设备也要调整,从经济方面来看不合理。

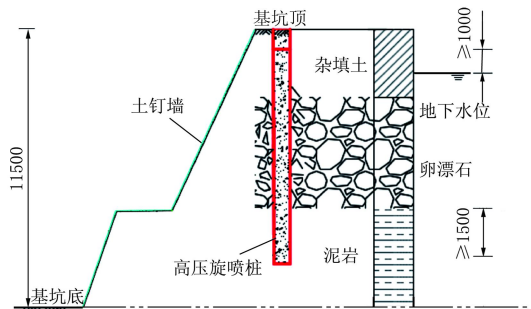


图7  $\varnothing 150$  mm孔成桩剖面示意图

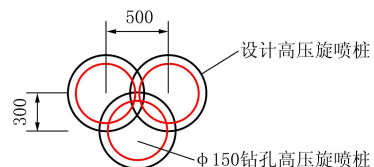


图8  $\varnothing 150$  mm引孔成桩平面示意图

#### 4.2.2 保证钻孔垂直度措施

由于设计的是双排单重管高压旋喷桩,引孔质量也是决定高压旋喷桩体能否较好咬合的因素之一,本项目施工组织设计提出了钻孔垂直度控制在0.5%以内的要求。在软硬不均的易造斜地层,保证钻孔的垂直度是较难的,通过以下3个方面进行了解决。

(1)对施工场区用C15混凝土进行硬化,钻孔机械设备安装严格执行公司的钻探技术规程。

(2)开孔时控制钻进速度,钻速控制在10 cm/min以内。由于空气潜孔锤钻井效率较高,作业人员思想上盲目追求进尺,容易造成打出废孔。

(3)钻进过程中注意监测钻机的垂直度,一旦发现钻机倾斜,立即停钻检查钻孔垂直度,对垂直度超出设计要求时,用M20快干水泥砂浆回填,8 h后再重新钻孔。

#### 4.2.3 缩短浆液凝结时间

本项目高压旋喷桩的主要目的是形成止水帷幕,不希望浆液过度扩散,同时尽可能降低被地下水稀释,所以缩短浆液凝结时间至关重要。通过掺加一定量的速凝剂可即达到缩短浆液凝结时间,又可减少水泥用量的目的。

速凝剂的掺入量通过正交试验法得出(水泥质量百分比):白天 5%,夜间 7%。其凝结时间为 180~200 s。

## 5 施工工艺

鉴于单重管法具有工艺简单、施工设备少的优点,本次施工采用单重管高压旋喷工艺(见图 9)。其技术参数的选取为:水灰比 1,转速 19 r/min,提升速度 10~15 cm/min,高压泵压力控制在 20~25 MPa。

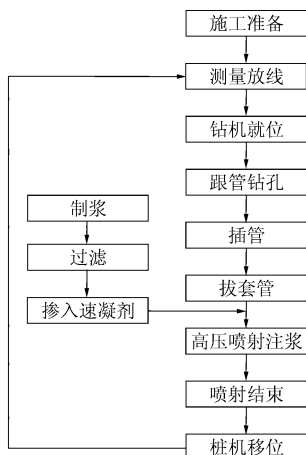


图 9 高压旋喷桩止水帷幕工艺流程

### 5.1 测量定位

为保证放点准确性及钻孔垂直度,对止水帷幕区域内的场地进行平整,清除桩位处地上、地下的一切障碍物,场地低洼处用粘性土料回填夯实后用 C15 混凝土硬化。

### 5.2 引孔放点

用全站仪标定止水帷幕横向轴线,再用钢卷尺标定旋喷桩处的引孔位置,用混凝土电钻钻眼后砸入长 20 cm 的  $\varnothing 16$  mm 钢筋,外露 5 cm,并用红油漆涂红做好标记。

### 5.3 钻机就位

钻机就位后,用水平尺和定位测锤校准钻机,使钻机水平,导向架和钻杆应与地面垂直,倾斜度 < 0.5%,对中误差  $\geq 1$  cm。

### 5.4 钻进

钻孔采用跳钻法,10 m 划分成一个段进行标号施工,先施工内侧钻孔,内侧施工完成后,再进行外侧钻孔施工。

钻孔采用  $\varnothing 146$  mm 套管跟管钻进工艺(见图 10),钻进过程中对每个孔的地层变化(尤其是漂石、全风化泥岩)、地下水等情况及时作好记录,特殊情况下报告监理、设计单位一同研究解决。

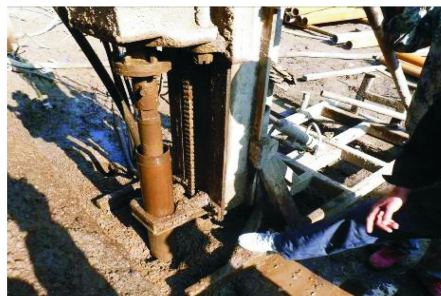


图 10 跟管钻进引孔

引孔钻进结束后,对引孔质量进行检查,主要内容有:孔径、孔深、垂直度,要求其数据不得超出施工方案确定的指标。孔径、孔深通过测量套管外径、钻杆长度确定。垂直度通过套管内下  $\varnothing 110$  mm 钢管是否顺畅来确定。不合格的钻孔用 M20 快干水泥砂浆回填灌浆后重新钻孔。

### 5.5 插管

引孔质量检查合格后,在套管内放入  $\varnothing 90$  mm PVC 管,然后用拔管机拔出套管,拔出套管时注意要慢,用力均匀,以防止套管从丝扣处断裂。插好管后,即可进行高压旋喷作业。

### 5.6 制浆

根据试验确定的最优参数进行制浆,搅拌灰浆采用双筒高速搅拌机。首先将水加入上层筒罐中,再将水泥倒入,浆液搅拌时间控制在 10~15 min,搅拌好后打开阀门,浆液流入下层筒罐中,旋喷钻机就位后,在下层筒罐中按比例加入速凝剂,再开泵喷浆。浆液在拌和中不得中断搅拌,直到喷射结束。

### 5.7 喷浆

喷浆管下沉到达引孔孔底后,开始喷射,在孔底喷浆 5 s 后,边喷浆,边旋转,匀速旋转提升注浆管,直至距桩顶 1 m 时,放慢提升速度。

### 5.8 注意事项

(1) 施工前要求检查高压旋喷管密封圈是否封闭,合格后方可喷射浆液。

(2) 制作浆液时,水灰比要按设计严格控制,不

得随意改变。在旋喷过程中,应防止泥浆沉淀,浓度降低。不得使用受潮或过期的水泥。浆液搅拌完毕后送至吸浆桶时,应有筛网进行过滤,过滤筛孔要小于喷嘴直径1/2为宜。

(3)喷射时,先应达到预定的喷射压力、喷浆量后再逐渐提升注浆管。中间发生故障时,应停止提升和旋喷,以防桩体中断,同时立即进行检查排除故障;如因机械出现故障中断旋喷,应重新钻至桩底设计标高后,重新旋喷。

(4)旋喷过程中,冒浆量小于注浆量的20%为正常现象,若超过20%或完全不冒浆时,应查明原因。

(5)钻杆旋转和提升必须连续不中断,拆卸接长钻杆或继续旋喷时要保持钻杆有10~20 cm的搭接长度,避免出现断桩。

(6)相邻两桩施工时间间隔 $\leq 48$  h。高压喷射注浆完毕后,应迅速拔出喷射管。

## 6 止水帷幕检验

本项目试验段完成14天后,进行了开挖验证,坑内积水抽干后,四周侧壁未发现地下水的渗漏,证明该止水方案是成功的,经青海省深基坑审查专家实地查看后同意按原设计方案实施。基坑于2013年9月初开挖,2014年6月基坑回填完毕,止水帷幕经历了冬春季的冻融考验。

深基坑止水帷幕防渗效果的检验分4个阶段:

第一阶段:止水帷幕试验段,根据设计方案进行现场试验验证,通过试验坑检查止水效果,确定设计参数是否合理。

第二阶段:止水帷幕施工完成后,进行下部土石方开挖、支护施工,当开挖至地下水位以下时,可直观的观察出止水帷幕的防渗效果,若基坑侧壁无地下水渗出,可继续开挖和支护作业;若地下水渗漏严重,则必须进行封堵处理,以免影响下步施工。

第三阶段:开挖到设计坑底后开始地下结构层的施工,此时基坑内各种建筑材料密布,作业人员众多,基坑处于最危险时期,一旦因地下水渗漏引起施工,后果不堪设想。应派专人加强巡逻观测基坑侧壁,发现有地下水渗漏苗头,立即撤出作业人员,对渗漏进行加固封堵,待安全后再继续作业。

第四阶段为因季节性停工的冬冻春融后,复工

前加强基坑壁面的检查,确保下步施工安全。

## 7 结语

双排单重管高压旋喷桩作为止水帷幕在卵漂石地层深基坑止水的成功案例在青海省尚属首次,对青海省城市地下空间的开发带来良好社会效益和经济效益,同时对西北地区类似工程条件深基坑止水也有借鉴意义。

(1)高压旋喷桩止水帷幕是一种主动的地下堵水形式,在卵漂石地层深基坑双排单重管高压旋喷桩注浆封堵地下水是可行的,正式施工前必须先做试验,验证有关设计参数。

(2) $\varnothing 150$  mm口径的空气潜孔锤钻进引孔,成孔直径达到170~200 mm,可将大粒径卵漂石破碎成小颗粒状,有效保证了旋喷桩的咬合程度。

(3)引孔垂直度将直接影响到旋喷桩咬合的效果,在软硬不均的易造斜地层,通过各种技术措施将钻孔垂直度控制在0.5%以内可达到有效咬合。

(4)高压旋喷桩的主要目的是形成止水帷幕,不需浆液过度扩散,同时尽可能降低被地下水稀释,所以缩短浆液凝结时间至关重要。通过掺加一定量的速凝剂可即达到缩短浆液凝结时间,又可减少水泥用量的目的。

## 参考文献:

- [1] 刘国彬,王卫东. 基坑工程手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2009.
- [2] 姚天强,石振华. 基坑降水手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2006.
- [3] JGJ 120—2012,建筑基坑支护技术规程[S].
- [4] 梁炯望. 锚固与注浆手册[M]. 北京:中国电力出版社,1999.
- [5] 李哲琳,白志华,刘露超,等. 高压旋喷桩止水帷幕在人民日报社刊综合业务楼中的应用[J]. 施工技术,2014,(6):12-14.
- [6] 李洪厂,张淑娟,朱效品. 高压旋喷桩在北京某深基坑止水帷幕中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(11):56-58.
- [7] 张发林. 西霞院厂房围堰防渗工程砂卵石层高压旋喷防渗墙施工技术[J]. 水利水电技术,2008,(12):96-97.
- [8] 徐国. 高压旋喷桩在块石层中作止水帷幕的施工技术[J]. 建筑施工,2011,(4):275-277.

致谢:本项目研究过程中,中国地质大学乌效鸣教授、甘肃省地矿局郭树清教授高级工程师亲临现场指导工作,特此致谢!