

深基坑高喷防渗帷幕技术

赵春富 高明久 薛正见

(烟台大地防渗加固工程有限公司,烟台 264100)

【摘要】 以武汉建银大厦基坑高喷防渗帷幕工程为例,介绍高喷灌浆技术在深基坑防渗帷幕工程中的应用。基坑深层防渗帷幕成功的关键是:设计独特,施工方案正确,具备完善的施工管理质量保证体系。

【关键词】 高喷灌浆;防渗帷幕;异常现象的处理

【中图分类号】 TU46⁺3;TU473.2

The Technolgy of High Pressure Jet Grouting Water-tight Screen in Deep Foundation Pit

【Abstract】 With the engineering of high pressure jet grouting water-tightscreen in the foundation pit of Wuhan Jianyin Building, introducing the application of the high pressure jet grouting technology in the water-tight screen. The key to success of the water-tight screen is: peculiar projection, correct construction method, perfect construction management and quality assurance system.

【Key words】 high pressure jet grouting; water-tight screen; processing method of anomaly

1 工程概况

武汉建银大厦位于汉口建设大道与新华路交汇的西北侧,大厦由银行与酒店两部分组成,总面积约12 000 m²。主楼高189 m,50层;筒中筒结构;酒店楼高105 m,30层,框架结构;2层地下室,深度约10 m。基坑占地面积8 800 m²,基坑周长360 m,开挖深度14.2 m(黄海高程7 m)。基坑支护采用钻孔灌注桩加三层锚杆,支护桩长26~28 m,桩尖高程-5~-7 m,桩径1.0 m,桩距1.2 m。基坑四周环境条件复杂,北东南三面都存在重要的地下市政设施,北侧黄孝河箱涵距基坑8 m,东侧上下水管道、通讯电缆、动力电缆距基坑4~30 m,南侧上下水管道、通讯电缆槽沟、电力线、煤气管道距基坑0.6~15 m,西侧是西湖。(该大厦于1998年建成,并荣获中国鲁班奖)。

2 工程地质水文地质条件

施工场地属长江一级阶地,地处原西湖塘地段,由于后期人工堆积活动使西湖湖水面逐渐缩小。场地现有地形平坦,地面高程21.2 m。松散地层是一套第四系全新统河流冲积层,厚度45 m左右,地质岩性构成具有明显的二元结构沉积韵律。地层沉积物颗粒由上而下,由细变粗,依次是淤泥质粘土、淤泥质粉质粘土、粉土、粉砂、细砂、卵石层(呈硅质胶结和半胶结)。下部基岩为泥盆系砂岩和粘土岩。场地地下水有潜水和承压水两种类型。潜水以人工填土为主要含水层,以大气降水和附近地表水体为主要补给源,潜水水位受季节控制,潜水水位埋深在1.6~2.6 m之间(高程18.6~19.6 m)。承压水以淤泥质粘土和淤泥质粉质粘土为相对隔水层,以粉土和粉细砂及卵石为主要含水层。承压水水头高低与长

作者简介:赵春富,男,1955年生,汉族,高级工程师。1980年毕业于同济大学工程地质水文地质专业。从事工程勘察、地基处理、防渗加固工作23年,现任烟台大地防渗加固工程有限公司总工程师。

江水位和季节变化关系不甚密切,与长江水呈弱水力联系,承压水具有弱的承压性。承压水水头埋深 3.0 m (高程 18.2 m), 承压含

水层顶板埋深 10.2~12.8 m。在下部砂岩层中裂隙比较发育。地层岩性及渗透系数见表 1。

表 1 地层岩性及渗透系数

地 层	状态密度	标 贯 $N_{63.5}$	层 厚 /m	深 度 h/m	渗透系数 $k/(cm \cdot s^{-1})$
杂 填 土	松 散		4.2~5.2	4.2~5.2	2.1×10^{-3}
淤泥质粘土	流 塑	1~2	3.0~3.8	7.2~9.0	1.6×10^{-5}
淤泥质粉质粘土	流 塑	2~4	3.0~4.0	10.2~12.8	6.2×10^{-5}
粉 土	稍 密	6~11	3.8~5.4	15.2~17.2	2.3×10^{-4}
粉 砂	松散~稍密	10~17	10.0~11.2	26.2~28.0	3.5×10^{-3}
细 砂	中密~密实	12~24	16.0~18.0	43.4~44.2	8.0×10^{-3}
卵 石	密 实		1.0~3.0	44.5~46.8	1.7×10^{-2}
砂岩、粘土岩	坚 硬		>20		

3 工程布置

沿基坑周边支护桩外侧采用双层竖向高喷防渗帷幕,帷幕墙上部与支护桩连接、下部深入基岩,帷幕对潜水含水层和承压含水层起隔渗作用、又增强桩的支护作用。帷幕平均深度 47 m, 最大深度 50 m, 嵌入基岩 1~2 m。

按设计第一排灌浆孔布置在支护桩外侧,距支护桩中心线 0.8 m, 第二排灌浆孔距第一排 0.6 m, 孔距 1.2 m, 共布孔 608 个。建银大厦基坑支护高喷防渗帷幕平面图见图 1, 高喷防渗帷幕剖面见图 2, 高喷防渗帷幕结构见图 3。

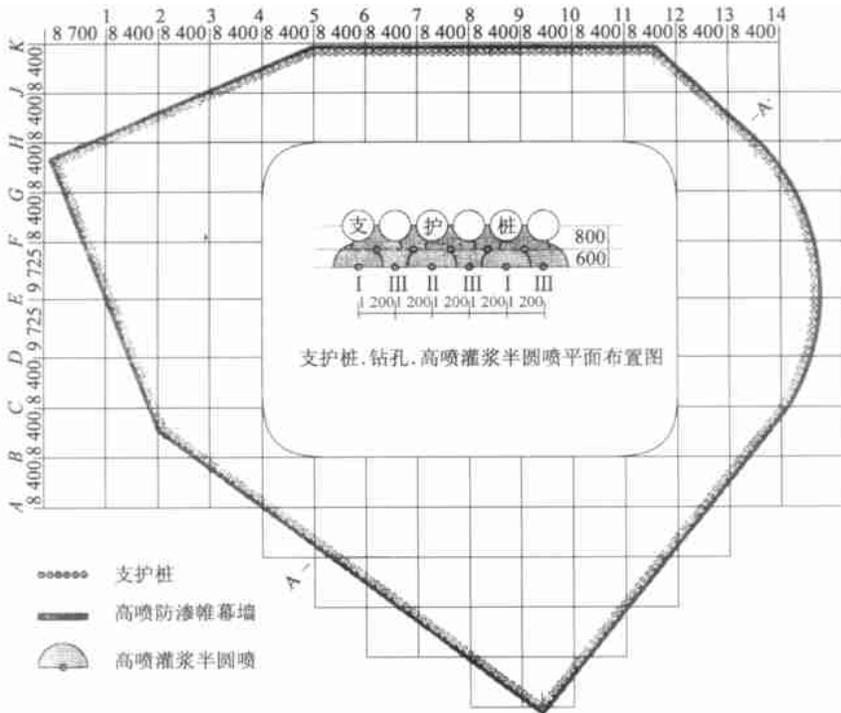


图 1 建银大厦基坑支护高喷防渗帷幕平面示意图

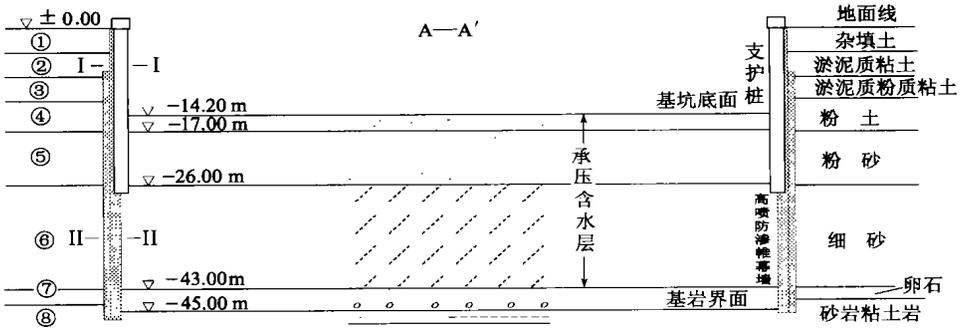


图2 深基坑高喷灌浆防渗帷幕剖面图

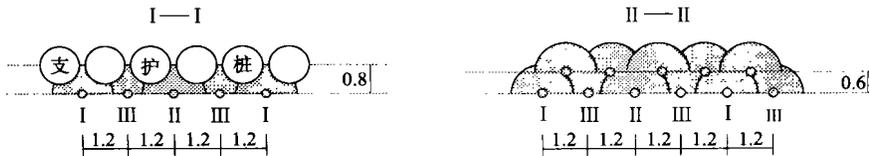


图3 高喷灌浆防渗帷幕结构图(单位:m)

4 现场试验

为确定高喷灌浆施工参数,施工前在现场喷射一正方形试验围井,边长 1.2 m,深度 17 m,围井深入承压含水层 5 m,围井封底 1 m。围井四边向外摆喷半圆形,旋喷封底。

开挖后墙体连接可靠,墙体取样试验结果:抗压强度 2.3~14.6 MPa,渗透系数 $k=4 \times 10^{-7}$ cm/s,有效喷射半径 0.6~1.0 m。通过围井试验结果确定施工参数见表 2,试验围井平面图、剖面图见图 4。

表 2 施工工艺参数表

参 数		
高 压 水	压力 p/MPa	35~36
	流量 $Q/(\text{L} \cdot \text{min}^{-1})$	75
压 缩 气	压力 p/MPa	0.7~0.8
	流量 $Q/(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$	>80
水 泥 浆	压力 p/MPa	0.1~0.5
	流量 $Q/(\text{L} \cdot \text{min}^{-1})$	80
浆液相对体积质量	送浆 $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	>1.65
	回浆 $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	>1.25
第一排孔	提速 $(\text{cm} \cdot \text{min}^{-1})$	8~10
	摆速 r/min	4~6
第二排孔	提速 $(\text{cm} \cdot \text{min}^{-1})$	10~12
	摆速 r/min	4~6

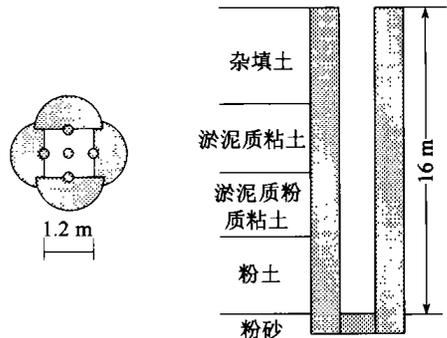


图4 围井平面图、剖面图

5 高喷防渗帷幕施工

5.1 高喷灌浆施工工艺流程见图 5。

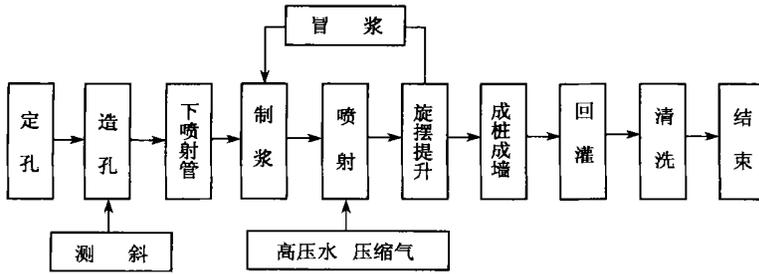


图5 高喷灌浆施工工艺流程图

5.2 高喷灌浆施工主要设备:

表3 施工主要设备一览表(一套设备)

设备名称	型号及规格	功率/kW	单位	数量
地质钻机	XY-300	22	台	2
高喷台车	GS500-4	15	台	1
高压水泵	3D2-SZ	75	台	1
空压机	V-6/8-1	37	台	1
搅灌机	WJG-80	13	台	2
灌浆泵	HB80/10	4	台	2

6 施工中遇到的问题及处理措施

6.1 钻孔移位原因

在整个帷幕施工过程中,608个灌浆孔中有24个孔出现事故,占总数的4%。因各种原因变更移位,沿垂直施工轴线方向移孔,移位最大距离30cm,最小10cm。移位原因有以下几种情况:

①杂填土层中有大径石块、钢板、螺纹钢、钢管、水管等;

②钻进过程中,因机械事故或停电时间较长引起的钻孔事故,钻具埋在孔内;

③高喷过程中,因停电或机械事故使喷射中断,引起喷射管埋在孔内;

④高喷过程中,因停电时间长,无法更换孔内的水泥浆液,已初凝。

以上各孔变更移位,力求移位最小,并放慢提速、增加喷射范围,保证质量。

6.2 基岩地层漏浆

在608个灌浆孔中有21个孔发现孔内漏浆。高喷过程中,开喷后基岩段漏浆,各孔漏浆时间长短不等,最长的45min不返浆,最短

的7min不返浆,漏浆量155L/min。有18个孔少量漏浆。工程勘察报告中提到有9个钻孔在基岩段漏浆。漏浆部位均在卵石层下基岩砂岩层中。漏浆孔漏浆时停止提升,待返浆正常后再提升;返浆量少的孔,放慢提速,待返浆正常后再恢复正常提速。21个漏浆孔共停止提升551min,耗用水泥浆44.08m³。

6.3 高喷时出现憋泵和埋管

在施工开始阶段,经常发生憋泵(表现为泵压高、输浆管路爆破)和埋管现象,连续8个孔出现憋泵和埋管,在处理事故时,5个孔将喷射管处理上来,3个孔喷射管断在孔内。通过移孔及时补救。经过分析研究,查明事故原因,钻孔口径 $\phi 130$ mm,喷射管外径 $\phi 108$ mm,孔壁与喷射管之间间隙太小不利于返浆;且使用300m油压钻机造垂直深孔成孔率低,返工次数多。解决办法是,改换GPS-10-300磨盘钻机造孔,增大钻孔口径。

6.4 摆动卡瓦与喷射管打滑

喷射管在孔内深度50m至42m喷射时,出现卡瓦打滑,42m至地面,卡瓦工作正常。卡瓦将喷射管刻出深槽仍卡不住,以至喷射管变形断裂。这是以往浅孔(40m以内)施工中从未遇到的问题。摆喷方向控制不住,工程质量无法保证,不能继续施工。经分析认为:由于孔深,喷射管长,浆液浓度大,向上升扬的残余浆液含砂量大,易沉积,喷射管摆动时摩擦阻力大。解决办法是,革新卡瓦与喷射管的接触形式,将卡瓦和喷射管接触部位改成齿轮互嵌式。

7 质量保证措施

本工程质量监督组织机构是:监理公司、业主、总包方、施工方,共同对施工过程每一道工序进行监督检查,施工方自我建立了三级质量管理体系,对施工中每一环节、每道工序严格把关,遇到问题及时上报监理、业主、总包方,经批准后及时采取有效补救措施,不留隐患。

7.1 质量管理措施

由施工项目部管理人员组成质量监督组,由技术人员组成质量检查组,由机台班组人员组成自检互检组。

1)所进水泥每 200 t 取样化验一次,不合格的水泥严禁使用。

2)跟班技术人员坚守施工现场,对各项施工参数随时进行检查。

3)值班工程师签发钻孔、高喷通知单,检查施工时各项技术指标的执行情况和记录表的真实准确程度,发现问题及时解决,对开孔、终孔、开喷、终喷验收签证后,上报监理、业主、总包方。

4)总值班工程师负责施工安排,质量检查,验收签证和资料的收集整理。

5)实行队长、机台长和工程师、技术员双轨质量负责制。各机台认真做好记录,由机台长、队长、跟班技术员签字后及时送交技术组验收汇总。

6)定期向监理汇报工程情况,听取他们的意见,及时修正自己的工作。

7.2 保证钻孔垂直度

钻孔施工:采用 CPS-10-300 磨盘钻机造孔,钻杆 $\phi 89$ mm,岩芯管 $\phi 168$ mm,钻头内外镶合金,成孔口径 $\phi 200$ mm。使用大钻机造孔是保证质量的前提,钻机相对稳定,钻杆粗、刚度大、钻孔相对垂直。解决了高喷造垂直深孔难的问题。

钻孔测斜:采用 CX-45 型高精度钻孔测斜仪。在 608 个高喷孔中,对 606 个孔进行了钻孔测斜,孔斜率不大于 0.5%,合格率达到 100%,完全保证了钻孔质量。

7.3 保证工程质量减少不必要的浪费

设计高喷灌浆每米用水泥 0.7 t,在施工中不断总结经验,合理调整施工参数与浆液配比,使高喷灌浆每米用水泥降到 0.568 t,施工结束共节省水泥 3 564 t。

7.4 定期检查钻孔取样

高喷灌浆系地下隐蔽工程,质量的好与差在于施工过程中能否严格执行已定参数和出现异常能否采取适当措施正确处理。在施工过程中对疑孔和事故孔进行抽样检查,是保证工程质量的关键。

8 完成工作量及质量评价

武汉建银大厦基坑高喷防渗帷幕工程于 1995 年 6 月 1 日竣工。完成钻孔 643 个,其中高喷孔 608 个,试验围井孔 5 个,检查孔 21 个。钻孔总进尺 29 700 m,高喷总长 27 078 m,用水泥 15 402 t,用粘土 869 t,钻孔测斜 980 次,采集试验样 39 件。

8.1 试验围井检查

通过开挖试验围井检查,墙体连接可靠,通过取样进行室内物理力学试验,结果表明,选择高喷灌浆施工参数合理,强度和渗透系数指标均满足设计要求。

8.2 质量检查与钻孔取样

在基坑周边帷幕墙布置 21 个检查取样孔,其中 17 个孔布置在第一排帷幕墙上,4 个孔布置在第二排帷幕墙上。在不同时间、位置、深度、分层、分段和连续取样。由于凝结体的强度和机械破碎程度不同取芯完整性存有差异,取样结果表明:

①杂填土层:喷射半径 70~100 cm,墙体取芯完整性差,芯长 20~50 cm。

②淤泥质粘土层:喷射半径 60~70 cm,墙体取芯完整性差,芯长 10~40 cm。

③淤泥质粉土层:喷射半径 70~80 cm,墙体取芯完整性较差,芯长 40~80 cm。

④粉土层:喷射半径 80~100 cm,墙体取芯完整性较好,取芯最长 100~200 cm。

⑤~⑥粉砂~细砂层:喷射半径大于

100 cm, 墙体取芯完整性好, 取芯断口属机械扭转, 取芯最长 400 cm, 一般长度 200~300 cm。

⑦卵石层: 卵石呈胶结和半胶结, 对胶结部位高压水切割不动, 只能靠静压渗浆充填孔隙。未胶结的卵石, 高压水可以切割包裹, 喷射半径 70~80 cm。

8.3 物理力学试验及渗透试验

在帷幕施工中, 采取高喷帷幕墙试样 39

件, 进行室内物理力学试验和渗透试验, 其中抗压试样 4 组, 每组试样 3 件, 抗剪试样 4 组, 每组试样 3 件; 渗透试样 5 组, 每组试样 3 件。试验结果表明: 淤泥质粘土层, 抗压强度最小值为 2.3 MPa; 卵石层, 渗透系数最大值为 2.09×10^{-5} cm/s。均达到设计要求。试验结果见表 4。

表 4 墙体物理力学试验和渗透系数一览表

地 层	抗压强度 p/MPa	抗剪强度 τ/MPa	软化系数	天然重度 $\gamma/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	渗透系数 $k/(\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$
淤泥质粘土	2.3	0.39	0.12	17.00	4.01×10^{-7}
淤泥质粉土	14.6	2.29	0.50	18.20	2.21×10^{-7}
粉 土	10.9	4.11	0.76	18.50	3.19×10^{-7}
粉 细 砂	39.6	14.00	0.66	20.50	3.61×10^{-7}
卵 石					2.09×10^{-5}

9 工程效果

9.1 高喷灌浆防渗帷幕效果

防渗帷幕保证率

$$\rho = [(Q - Q_1)/Q] \times 100\% \quad (1)$$

$$Q = 2k_0 RS$$

式中: ρ 为防渗帷幕保证率, %; Q 为未设帷幕条件下的基坑涌水量, m^3/d ; Q_1 为设帷幕条件下的基坑涌水量, m^3/d ; k_0 为概化后的 k 值, m/d ; S 为基坑水位降深, m ; R 为基坑概化半径, m ;

潜水含水层渗透系数 $k = 1.84 \text{ m}/\text{d}$, 承压含水层渗透系数 $k = 15 \text{ m}/\text{d}$, 砂岩裂隙水渗透系数 $k = 15 \text{ m}/\text{d}$ 。基坑开挖深度至 14.2 m 时, 基坑水位降至 15~16 m, 基坑抽水量为 3 000~4 000 m^3/d 。计算 $\rho = [(2\pi k_0 RS - Q_1)/2\pi k_0 RS] \times 100\% = 92.55\%$

9.2 新闻报道及表彰

该工程从设备进场到出场共用 5 个月, 正常施工 3 个月, 工程按期保质保量完成任务。

基坑开挖 2 个月, 挖到设计深度 14.2 m, 裸露出支护桩与帷幕墙, 墙与桩连接紧密, 防渗帷幕墙无一处渗水漏水, 坑底承压含水层干如沙漠, 防渗效果良好。保证了基坑周边复杂(重要)地下市政设施的稳定。该项工程总造价 1 200 万。在工程质量方面合格率达到 100%, 竣工验收后, 被评为最佳深基坑防渗帷幕工程, 被建筑业誉为武汉市深基坑防渗帷幕样板工程, 并获得质量奖 100 万元。

武汉市建委和业主主持了现场新闻发布会, 邀请数十家设计单位和施工单位到现场参观, 表彰并奖励了施工单位。报刊、电视台做了新闻报道。

参 考 文 献

- 1 白永年, 吴士宁, 王洪恩. 土石坝加固. 北京: 水利电力出版社, 1992
- 2 王德重, 高明久. 高压喷射灌浆防渗工程应用. 北京: 中国科学技术出版社, 1994