



一种新的旋喷桩止水效果检测方法

陶云，黄兴

(中交三航局第二工程有限公司，上海 200120)

摘要：针对高压旋喷桩止水帷幕止水效果的检测问题，以某工程高压旋喷桩止水帷幕为例，研究国内与俄罗斯高压旋喷桩施工方式的差异及止水帷幕渗透系数检测方法。提出“新二重管法”，用于特定环境和复杂条件下施工。用钻孔取芯的方法检测高压旋喷墙的渗透系数 K 。施工方法和检测计算公式可操作性强、可靠性高。新的旋喷桩止水效果检测方法能反映高压旋喷墙的整体质量、有效检查高压旋喷墙的渗透系数、综合评价止水帷幕止水效果。

关键词：高压旋喷桩；止水帷幕；渗透系数；止水效果；船坞工程

中图分类号：U 656

文献标志码：A

文章编号：1002-4972(2022)09-0215-06

A new detection method for water cutoff effect of jet grouting piles

TAO Yun, HUANG Xing

(No. 2 Engineering Co., Ltd. of CCCC Third Harbor Engineering Co., Ltd., Shanghai 200120, China)

Abstract: This paper is to detect the effect of the water cutoff curtain with high-pressure jet grouting piles. Taking the water cutoff curtain with high-pressure jet grouting piles in a project as an example, this study explores the difference in the construction methods of high-pressure jet grouting piles in China and Russia and the detection method of the permeability coefficient of the water cutoff curtain. The “new double-pipe method” is proposed for construction under specific environment and complex conditions. The permeability coefficient K of the high-pressure jet grouting wall is detected by the method of drilling and coring. The construction method and detection calculation formula have the characteristics of strong operability and reliability. The new detection method for the water cutoff effect of jet grouting piles can reflect the overall quality of the high-pressure jet grouting wall, effectively check the permeability coefficient of the high-pressure jet grouting wall, and comprehensively evaluate the effect of the water cutoff curtain.

Keywords: high-pressure jet grouting pile; water cutoff curtain; permeability coefficient; water cutoff effect; dock project

在船坞工程中，高压旋喷桩止水帷幕是坞口止水船坞施工中的关键步骤，可起隔离、防护、抗渗透等作用，是检验船坞密闭性的硬性指标，直接关系整个船坞工程的安全使用。在高压旋喷桩止水帷幕施工过程中，喷浆质量是保证高压旋喷墙墙体质量的基础条件，根据喷射方法的不同，可分为单管法、二重管法和三重管法。传统施工方法在面对不同的地质和复杂环境下进行高压旋

喷施工时，往往存有一定的局限性，有研究人员提出了一些针对性的改善措施^[1-2]，分别体现在喷射管喷出的介质及喷射方式等方面。目前，高压旋喷墙的质量检查仍存在一定的难度，常采用围井法计算渗透系数 K 值^[3-5]，利用围井内开挖的部位或在井内中心钻孔进行注(抽)水试验，在钻孔法检查计算渗透系数 K 值方面还须研究出合理的方法和公式，全面反映高压旋喷墙的整体质量。

本文针对“新二重管法”的施工及高压旋喷墙渗透系数 K 值检测方法进行研究, 将高压旋喷桩施工方式和高压旋喷桩渗透系数 K 值检测方法相结合, 综合评价止水帷幕的止水效果, 对止水帷幕高压旋喷桩类似工程的渗透系数检测具有借鉴意义。

1 工程概况

某项目船坞工程长 485 m、宽 114 m、深 14 m, 船坞坞口结构主要包括水泵房、坞口底板及西坞墩 3 部分。船坞工程止水帷幕设置在坞口部位, 采用高压旋喷桩及止水钢板桩相结合共同构筑船坞坞口的永久止水体系。止水帷幕采用 NS-SP-VL型钢板桩, 长度为 15.0~30.5 m 不等, 钢板桩打设完成后高压旋喷桩在钢板桩的两侧进行施工, 止水帷幕主要分为坞口部位与坞口两侧扩翼部位, 平面布置见图 1。

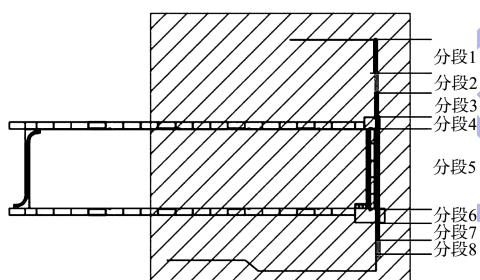


图 1 船坞止水帷幕平面布置

1) 坞口部位。止水帷幕底高程 -34.20 m, 止水帷幕顶高程 -14.00 m(与坞室底板结构垫层面齐平)和 -19.00 m(与水泵房处结构垫层面齐平)。坞口部位布置见表 1。

表 1 坞口部位止水帷幕布置

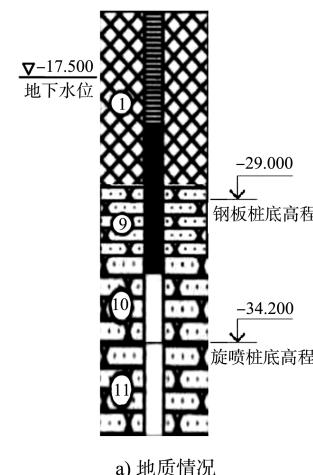
止水帷幕分段	分段长度/m	顶高程/m	底高程/m	单根长度/m
分段 4: 钢板桩	17.00	-14.00	-29.00	15.00
分段 4: 旋喷桩	17.00	-27.00	-34.20	7.20
分段 5: 钢板桩	113.76	-14.00	-29.00	15.00
分段 5: 旋喷桩	113.76	-24.53	-34.20	9.67
分段 6: 钢板桩	19.92	-19.00	-29.00	10.00
分段 6: 旋喷桩	19.92	-21.42	-34.20	12.78

2) 坞口两侧扩翼部位。止水帷幕底高程 -34.20 m, 止水帷幕顶高程 1.50 m, 坞口两侧扩翼部位布置见表 2。

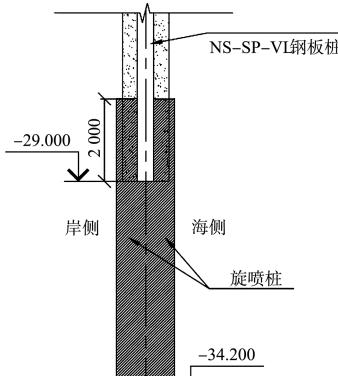
表 2 坞口两侧扩翼部位止水帷幕布置

止水帷幕分段	分段长度/m	顶高程/m	底高程/m	单根长度/m
分段 1: 钢板桩	57.26	1.50	-23.50	25.00
分段 2: 钢板桩	21.50	1.50	-21.50	23.00
分段 3: 钢板桩	34.50	1.50	-29.00	30.50
分段 3: 旋喷桩	34.50	-27.00	-34.20	7.20
分段 7: 钢板桩	24.50	1.50	-29.00	30.50
分段 7: 旋喷桩	24.50	-23.38	-34.20	10.82
分段 8: 钢板桩	38.56	1.50	-20.05	21.55
分段 8: 旋喷桩	12.50	-17.00	-24.30	7.30

高压旋喷桩桩位布置在钢板桩海侧和岸侧方向, 双排布置, 有效桩径 800 mm, 桩中心水平间距为 500 mm。处在钢板桩凹口侧中心的桩, 与钢板桩锁口中心线垂直距离为 100 mm; 处在钢板桩凸口侧的桩, 与钢板桩锁口中心线垂直距离为 350 mm(图 2)。对高压旋喷桩设计桩底高程至实际钢板桩桩底高程以上 2 m 范围进行高压旋喷灌浆; 对钢板桩短桩的处理方式, 在最浅钢板桩 2.5 m 范围内(5 根钢板桩)喷浆至最浅钢板桩底高程以上 2.0 m。



a) 地质情况



b) 一般断面

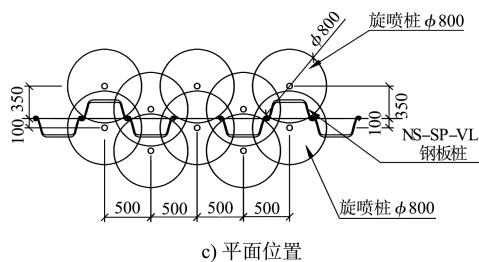


图2 高压旋喷桩施工示意 (尺寸: mm; 高程: m)

2 中国与俄罗斯高压旋喷施工方式差异

2.1 中俄施工工艺流程

中方施工工艺流程见图3, 俄方施工工艺流程见图4。

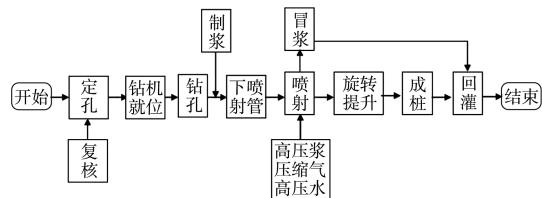


图3 中方施工工艺流程

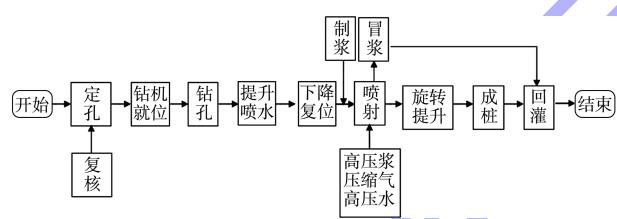


图4 俄方施工工艺流程

项目地质土层主要是砂性土, 高压旋喷桩须进入中风化砂岩, 裂隙严重, 强度较低(单轴极限抗压强度约为9.7 MPa)。中方采用“新二重管法”, 是一种双重高压水泥浆液+高压水气体喷射法(图5), 使用输送水泥浆液、水两种介质的二重注浆管, 喷嘴呈上下布置, 间距300 mm; 在高压发生装置(高压泵等)产生的高压水流和高压水泥浆液周围环绕一股圆筒状气流, 上喷嘴先进行双高压水流和气流同轴旋转喷射冲切土体, 形成较大的空隙, 再由泥浆泵将双重水泥浆液和气流从下喷嘴以高压力注入到被切割、破碎的土体中, 喷嘴同轴作旋转和提升运动, 使水泥浆液与土体混合, 在土体中凝固, 形成较大的固结体。俄方高压旋喷工作原理与中方类似, 亦为“新二重管法”。

“新二重管法”, 采用单重高压水泥浆液和高压水的周围环绕圆筒状气流进行施工, 通过增加较大喷浆压力和水压力切割土体, 使水泥浆与土体混合凝固形成的固结体。

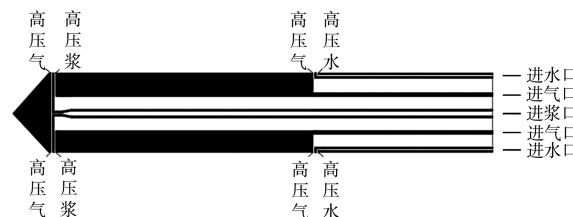


图5 “新二重管法”钻头

“新二重管法”适用于砂性土质和风化岩的土层施工。在较硬的土层施工, 传统二重管法一次喷浆, 桩径不易满足要求; 为扩大桩径采取提管速度降低或多次复喷措施, 工效均很低。采用双高压水泥浆液和双高压水施工, 桩径有保障, 无需复喷, 能保证工效, 又可节约部分水泥用量。

“新二重管法”也适用于深水通道中淤泥地质土层等多种复杂环境施工。在深水通道施工, 传统二重管法一次喷浆, 淤泥地质不易成桩, 桩体水泥含量较少, 桩体强度相对砂质地层低; 采用双高压水泥浆液施工能增加桩体水泥含量, 无需复喷工作, 工效可提高。

2.2 施工工艺差异

1) 钻孔垂直度。设备钻孔的垂直度至关重要。中、俄双方钻孔垂直度偏差控制在<1.0%。

2) 喷浆压力。高压旋喷的一个重要参数是喷浆压力, 与喷射出的有效桩半径有直接关系。中方的压力控制在30~37 MPa进行双喷, 俄方的压力控制在42~45 MPa。

3) 高压旋喷提管方式。中方在高压旋喷桩施工过程中匀速提管, 提管速度为80~100 mm/min, 匀速提管的方式能有效地对周围土体等进行连续喷射, 对桩的连续性有很大的提升; 俄方每4 mm提管停顿一次, 喷浆10 s, 提管速度为240 mm/min, 该方式不利于在特殊的土质或岩石等地段施工。

3 旋喷桩止水效果检测方法

3.1 检测原理

施工要求止水帷幕的渗透系数 $\leq 1 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$, 水泥浆强度 $\geq 1 \text{ MPa}$ 。对高压旋喷桩钻孔, 检测取出芯样的 28 d 抗压强度, 以此来检测止水帷幕高压旋喷桩的强度; 在海侧钻孔的位置进行注水试验得出防渗墙的渗透系数, 在岸侧钻孔的位置进行观测, 综合检查止水帷幕防渗墙的止水性能。

3.2 实施步骤

3.2.1 钻孔取芯

1) 孔位选择。高压旋喷桩施工完成后, 静置 28 d, 使高压旋喷浆体达到一定强度, 再对高压旋喷桩渗透性进行测试。高压旋喷桩直径 800 mm、桩间距 500 mm, 在相邻高压旋喷桩的结合处选择钻孔点。在海侧随机选择一处钻孔点, 岸侧的钻孔点与海侧钻孔点位置相距 2~3 根钢板桩的长度。钻孔位置见图 6。

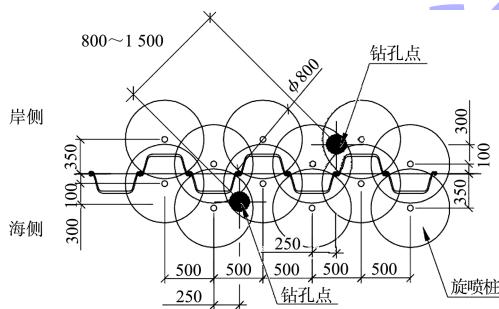
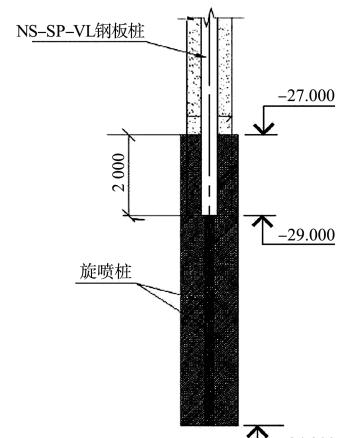
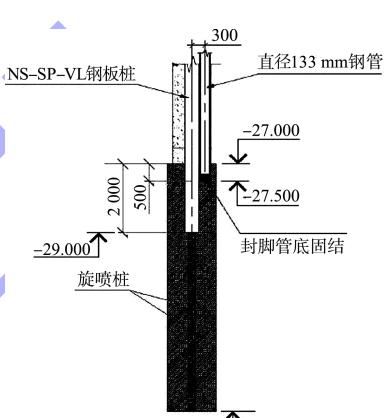


图 6 钻孔位置 (单位: mm)

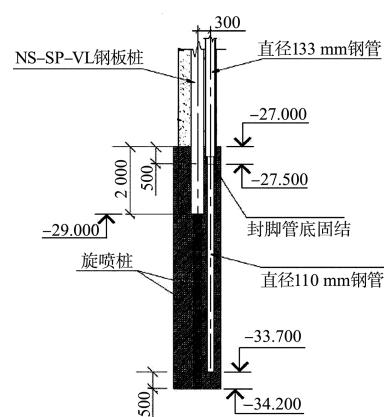
2) 钻孔跟进。在所选海侧孔位钻孔, 钻机底座应严格找平、垫实后方可钻进。先用外径 $\phi 146 \text{ mm}$ (内径 127 mm) 钻头钻至高压旋喷桩桩顶高程以下 0.5 m, 埋入套管 (外径 133 mm , 内径 123 mm) 并用水泥浆将套管管脚固结封堵, 凝结时间一般不少于 24 h; 固化后再用外径 $\phi 110 \text{ mm}$ 、内径 90 mm 的钻头钻至高压旋喷桩桩底高程 (-34.2 m) 以上 0.5 m; 完成钻孔之后移至所选岸侧孔位钻孔, 重复以上步骤, 钢板桩海侧孔位作为注水试验点, 钢板桩岸侧孔位作为观测点。钻孔步骤及深度见图 7。



a) 步骤1: 钻机就位



b) 步骤2: 套管埋入



c) 步骤3: 钻孔完成

图 7 钻孔步骤及深度 (高程: m; 尺寸: mm)

3) 将每个钻孔取出来的芯样贴好标签 (如孔位-1、孔位-2、孔位-3), 用切割机截取 3 段有代表性且完好的芯样 (高径比 $0.85 \sim 2.00$), 用湿布吸干后进行抗压强度测试, 抗压强度 $\geq 1 \text{ MPa}$ 。见图 8。



a) 海侧芯样



b) 岸侧芯样

图 8 高压旋喷桩钻孔芯样

3.2.2 注水试验

注水试验前先用 GPS 测量仪在注水位瓶口测注水位高程, 记为 H_1 , 在船坞降水井处测量地下水位, 记为 H_2 , 做好注水试验的准备工作。

1) 洗孔。将水管下放至钻孔要求的深度, 用清水对孔底进行冲洗, 直至孔口冒出清水。

2) 封堵管道。海侧和岸侧管道冲洗完毕后, 在海侧孔位管道内加入红色染色剂, 并进行焊接封堵, 设置可调节密封阀门以检测焊接封堵质量; 水管另一端安装注水装置于高处, 高差 ≥ 1.5 m。

3) 注水。在注水桶内加入高锰酸钾染色剂, 向孔内注水不低于 30 min, 使孔内充满红色染色

剂, 待渗水量基本稳定后开始读数, 读数时以量筒或量杯向注水桶内注水, 使孔内保持一定水位, 每隔 5 min 读取一次注水量。当连续 4 次读数中最大值与最小值之差小于最终值的 10%, 即可结束试验, 取最终注水量作为计算值。

4) 试验结果数据处理。

$$K = \frac{0.366Q\lg(R/r_0)}{S_0H_0} \quad (1)$$

式中: K 为渗透系数 (m/min); Q 为孔内注入的稳定水量 (m^3/min); R 为渗水影响半径 (m), 为防渗墙厚度的 1/2; r_0 为钻孔半径 (m); S_0 为注水位至孔底距离 (m); H_0 为注水位至地下水位的距离 (m), $H_0 = H_1 - H_2$ 。

通过计算, 得出海侧孔位的渗透系数 K 值是否满足要求 ($\leq 1 \times 10^{-5}$ cm/s), 同时将绑有棉花的铅锤下放至岸侧观测孔位底部, 通过观察棉花颜色变化, 综合判定止水效果。

3.2.3 钻孔孔洞封堵

注水试验完成后, 渗透系数满足要求且观测无颜色变化, 钻孔孔洞用水泥浆完成补浆工作; 若渗透系数不满足要求、止水效果不佳, 需进行补喷工作。

4 实施效果

本工程止水帷幕防渗墙属于双排高压旋喷套接, 从中选取部分分段的高压旋喷桩进行抽样检验防渗墙的止水效果, 结果见表 3。

表 3 高压旋喷桩止水效果抽样检查结果

钻孔	止水帷幕分段	施工队伍	渗透系数/(10^{-7} cm·s $^{-1}$)	抗压强度/MPa	备注
1	分段 3: 西侧连接段	俄方	2.49	>1	观测孔无颜色变化
2	分段 3: 西侧连接段	俄方	11.60	>1	观测孔无颜色变化
3	分段 4: 西坞墩	中方	2.58	>1	观测孔无颜色变化
4	分段 5: 窝口	中方	3.26	>1	观测孔无颜色变化
5	分段 5: 窝口	中方	3.39	>1	观测孔无颜色变化
6	分段 6: 主泵房	中方	28.47	>1	观测孔无颜色变化
7	分段 6: 主泵房	中方	2.05	>1	观测孔无颜色变化
8	分段 7: 东侧连接段	俄方	6.72	>1	观测孔无颜色变化

抽样检查的结果为防渗墙的渗透系数和高压旋喷桩的抗压强度均满足设计要求, 将绑有棉花

的铅锤下放至岸侧观测孔位底部, 蘸水的棉花均未染有红色染色剂, 高压旋喷桩止水帷幕的止水

效果良好。见图 9。



图 9 岸侧孔位检查

5 结语

1) “新二重管法”可根据不同的环境将喷射管道自由组合设计，喷出多重不同介质的喷射流。具有施工快、效率高等优点。在深水通道淤泥地质土层施工条件下，采用多重高压水泥浆液气体喷射法施工，取得的效果更佳。

2) 钻孔法检查渗透系统 K 值的计算公式和方法适用于大多数船坞工程止水效果评判，是一种新的综合检查评价高压旋喷桩止水帷幕工程质量的方法，具有广泛的应用前景。

参考文献：

- [1] 樊听龙, 刘国强, 王广建, 等. 双高压旋喷桩止水帷幕施工方法: CN201110191512.7[P]. 2011-07-11.
 - [2] 周龙. 高压旋喷桩止水帷幕施工方法: CN201911263106.X[P]. 2019-12-11.
 - [3] 徐锋. 高压旋喷桩止水帷幕施工质量控制探讨[J]. 中国水运(下半月), 2011, 11(2): 121-122.
 - [4] 中国水利水电基础工程局. 水利水电工程高压喷射灌浆技术规范: DL/T 5200—2004[S]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
 - [5] Федеральная служба России по техническому надзору и метрологии. Методы полевых испытаний проницаемости. ГОСТ 23278-2014 [S]. Москва: Технический комитет по стандартизации, 2014.
 - [6] советский госстрой. Методы определения прочности по образцам, отобранным из конструкций Concretes: ГОСТ 28570-90[S]. Москва: Министерство транспорта и строительства СССР, 1991.
 - [7] Федеральная служба России по техническому надзору и метрологии. Методы полевых испытаний проницаемости. ГОСТ 28570-2012 [S]. Москва: Технический комитет по стандартизации, 2012.
- (本文编辑 武亚庆)

· 消息 ·

“世纪工程”平陆运河开工建设

8月28日，平陆运河建设动员大会在广西壮族自治区钦州市灵山县旧州镇平陆运河马道枢纽建设现场举行，标志着新中国成立以来我国开辟的首条江海联运战略大通道正式开工建设。交通运输部部长李小鹏出席动员大会并讲话。广西壮族自治区党委书记、自治区人大常委会主任刘宁讲话并宣布平陆运河开工建设，自治区党委副书记、自治区主席蓝天立主持大会。中交集团党委书记、董事长王彤宙应邀出席大会。

(https://www.ccccltd.cn/ews/gsyw/202208/t20220829_174613.html)