

泵吸反循环钻进深度的理论探讨与实践

廖光华

(中国地质工程公司江西分公司,南昌 330009)

[摘 要]从理论上分析了泵吸反循环施工百米超深孔的可行性,并介绍实际施工中采取的技术措施和取得的良好效果,对同类工程施工具有一定的指导意义。

[关键词]泵吸反循环 深孔施工 理论 实践

[中图分类号]P634.5 [文献标识码]A [文章编号]0495-5331(2000)02-0032-03

泵吸反循环钻孔灌注桩施工工艺是一种先进的施工方法,它具有质量好、速度快、成本低等一系列优点。近年来在国内得到了广泛的应用,并为我国的经济建设作出了重大贡献。但是在国内的资料文献中大多数都提出泵吸反循环钻进孔深只能到 50 m 左右,最多不能超过 70 m。而国内的施工实践也如此。1997 年,我公司承接了武汉白沙洲长江三桥 2[#]主墩的桩基施工任务(孔径 1.55 m,孔深 102 m),当时,工期紧,任务重,场地条件有限,只有使用泵吸反循环施工工艺才能保质按期完成任务。在编制施工方案时笔者从理论上对反循环钻进孔深进行了分析,以便确定最佳施工方案。

1 泵吸反循环钻进深度的理论分析

1.1 岩屑上返情况分析

1.1.1 钻进过程中岩屑的沉降速度

按照李丁格尔公式:

$$W = \frac{K \times d_1 \times (Y_0 - Y_1)}{Y_1} \quad (\text{m/s}) \quad (1)$$

上式中: W — 岩屑颗粒在液体中的沉降速度 (m/s); d_1 — 球状颗粒直径 (m); Y_0 — 岩屑颗粒密度 (kg/m^3); Y_1 — 液体密度 (kg/m^3); k — 沉降阻力系数,圆球状岩屑: $k = 5.11$, 不规则扁平状岩屑 $k = 2.25$ 。

根据该工程的实际情况,可取 $d_1 = 0.01 \text{ m} \sim 0.02 \text{ m}$; $Y_0 = 2400 \text{ kg/m}^3$; $Y_1 = 1100 \text{ kg/m}^3$,按式(1)可计算出 $W = 0.5 \sim 0.8 (\text{m/s})$ 。

1.1.2 冲洗液上返速度

冲洗液上返速度可按下式计算:

$$V = \frac{4Q}{3600\pi d^2} \quad (\text{m/s}) \quad (2)$$

上式中: V — 冲洗液上返速度 (m/s); Q — 泵量 (m^3/h); d — 钻杆直径 (m)。

施工中使用钻杆直径为 0.15 m,当泵量为 $100 \text{ m}^3/\text{h}$, $120 \text{ m}^3/\text{h}$, $150 \text{ m}^3/\text{h}$ 时可计算出 V 分别为 1.57 m/s、1.88 m/s、2.35 m/s;

从以上分析可知,当泵量 $100 \text{ m}^3/\text{h}$ 以上时,就能满足岩屑上返条件。

1.2 泵吸反循环工作压力平衡条件分析

根据泵吸反循环的工作原理(图 1),可建立泵

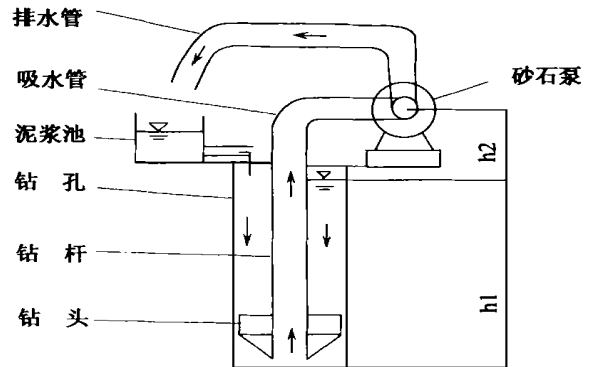


图 1 泵吸反循环工作示意图

吸反循环工作压力平衡方程式:

$$10^{-4} h_1 (Y_b - Y_a) + 10^{-4} h_2 Y_b + P_2 + P_1 + (V^2/2g) < 10 \quad (\text{m 水柱}) \quad (3)$$

上式中: h_1 — 钻孔内冲洗液液面以上钻杆长度 (m); Y_a — 冲洗液重度 (N/m^3); Y_b — 钻杆内随带钻渣后冲洗液重度 (N/m^3); h_2 — 砂石泵叶轮中心到孔内冲洗液液面高度 (m); P_1 — 孔底钻头吸水口水头损失 (m 水柱); P_2 — 钻杆和吸水管沿程水头损失 (m 水柱); V — 钻杆内冲洗液上返速度 (m/s); g — 重力加速度。

根据武汉白沙洲长江三桥 2[#]主墩的实际工况,

假定(3)式中的各参数,从最接近实际情况来分析(3)式中压力平衡条件。各参数假定: $h_1 = 100 \text{ m}$ 、 $h_2 = 0.5 \text{ m}$ 、 $\gamma_a = 11000 \text{ N/m}^3$ 、钻杆直径 0.15 m 、砂石泵泵量 $120 \text{ m}^3/\text{h} \sim 150 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

(3) 式中左边各项水头损失分析如下:

(1) $10^{-4} h_1 (\gamma_b - \gamma_a)$ 为钻杆内外冲洗液重度不同造成的水头损失。假定 $\Phi 1.55 \text{ m}$ 钻孔深孔纯钻效率为 1 m/h , 岩屑密度 $\gamma_0 = 2400 \text{ kg/m}^3$ 。

当泵量 $120 \text{ m}^3/\text{h}$: $10^{-4} h_1 (\gamma_b - \gamma_a) = 10^{-4} \times 100 \times (11370 - 11000) = 3.77 \text{ (m 水柱)}$

当泵量 $150 \text{ m}^3/\text{h}$: $10^{-4} h_1 (\gamma_b - \gamma_a) = 10^{-4} \times 100 \times (11300 - 11000) = 3.02 \text{ (m 水柱)}$

(2) $10^{-4} h_2 \gamma_b$ 为砂石泵安装高度水头损失, h_2 越小越好。

当泵量 $120 \text{ m}^3/\text{h}$: $10^{-4} h_2 \gamma_b = 10^{-4} \times 0.5 \times 11370 = 0.57 \text{ (m 水柱)}$

当泵量 $150 \text{ m}^3/\text{h}$: $10^{-4} h_2 \gamma_b = 10^{-4} \times 0.5 \times 11300 = 0.57 \text{ (m 水柱)}$

(3) P_1 为钻头吸口水头损失, 根据流体力学实

$$P_2 = 8.5 \times 10^{-6} \times 0.02 \times \frac{11000 \times 0.0332 \times (100 + 10)}{0.15^5} = 2.88 \quad (\text{m 水柱})$$

当泵量 $150 \text{ m}^3/\text{h}$:

$$P_2 = 8.5 \times 10^{-6} \times 0.02 \times \frac{11000 \times 0.0412 \times (100 + 10)}{0.15^5} = 4.45 \quad (\text{m 水柱})$$

(5) $\frac{V^2}{2g}$ 为动力水头

当泵量 $120 \text{ m}^3/\text{h}$:

$$\frac{V^2}{2g} = \frac{1.88^2}{(2 \times 9.8)} = 0.18 \text{ (m 水柱)}$$

当泵量 $150 \text{ m}^3/\text{h}$:

$$\frac{V^2}{2g} = \frac{2.36^2}{(2 \times 9.8)} = 0.28 \text{ (m 水柱)}$$

从以上分析可知:

1) 当孔深达到 100 m 深时, 式(3)左边各项水头损失之和, 当泵量为 $120 \text{ m}^3/\text{h}$ 时为 7.49 m 水柱, 当泵量 $150 \text{ m}^3/\text{h}$ 时为 8.46 m 水柱。这就从理论上证明泵吸反循环施工工艺能用于 100 m 的深孔, 并且有较好的效果。

2) 水头损失较大的是: (1)、(3)、(4) 项, 第(1)项水头损失关键是保持均匀进尺, 使钻渣连续均匀排出, 这样就能使水头损失保持稳定。第(3)项的水头损失可以通过调节砂石泵的安装高度来控制。施工中应尽量降低砂石泵的安装高度, 减少水头损失。

验结果: P_1 可用下式近似计算:

$$P_1 = 0.5 \times V^2 / 2g$$

当泵量 $120 \text{ m}^3/\text{h}$:

$$P_1 = \frac{0.5 \times 1.88^2}{(2 \times 9.8)} = 0.09 \text{ (m 水柱)}$$

当泵量 $150 \text{ m}^3/\text{h}$: $P_1 =$

$$\frac{0.5 \times 2.36^2}{(2 \times 9.8)} = 0.14 \text{ (m 水柱)}$$

(4) P_2 为冲洗液在钻杆及地面吸水管内的沿程损失, 假定钻杆和吸水管接头光滑, 且内径一致, P_2 可按下式计算:

$$P_2 = \frac{8.3 \times 10^{-6} \times \lambda \times \gamma_2 Q^2 (L_1 + L_2)}{d^5} \quad (\text{m 水柱}) \quad (4)$$

式(4)中: λ —钻杆内水力损失无因次阻力系数, 与冲洗液流态有关。当泵量 $120 \text{ m}^3/\text{h} \sim 150 \text{ m}^3/\text{h}$ 时, $Re > 50000$ (计算略) λ 可按 0.02 计算; L_1 —钻孔内钻杆长度 (m), $L_1 \approx h_1 = 100 \text{ m}$; L_2 —地面吸水管长度 (m), $L_2 \approx 10 \text{ m}$; γ_2 —冲洗液重度 (kg/m^3) $\gamma_2 \approx 11000 \text{ N/m}^3$; Q —泵量 (m^3/h); d —钻杆内径 (m), $d = 0.15 \text{ m}$ 。

第(4)项水头损失与泵量的平方成正比。钻进时应控制泵量, 在满足排渣条件下, 泵量不要过大。

2 武汉长江白沙洲长江大桥泵吸反循环超深孔钻进实践

武汉白沙洲大桥位于武汉市汉阳区江堤乡老关村和洪山区青菱乡长江村之间, 全桥长 3568 m , 两主塔距离 618 m , 是亚洲最大的斜拉桥。我公司承担 $2^\#$ 主墩的桩基础施工任务。其基础为 40 根 $\Phi 1.55 \text{ m}$ 钻孔灌注桩。 $2^\#$ 主墩位于长江主航道, 施工区水深 $20 \text{ m} \sim 24 \text{ m}$ 、钻孔深度 102 m 、作业区为 750 m^2 的作业平台。

主要地层情况如下: (孔口相对标高为 0) - $20 \text{ m} \sim -35 \text{ m}$ 为砂砾石地层; - $35 \text{ m} \sim -42 \text{ m}$ 为卵石层, 最大粒径达 40 cm , 直径大于 15 cm 卵石含量达 $5\% \sim 10\%$; - $42 \text{ m} \sim -120 \text{ m}$ 为强风化、中风化、砂质泥岩及砂岩。

通过对泵吸反循环钻孔深度的理论计算后, 我们决定使用泵吸反循环施工工艺施工。钻机使用

GPS-15 型,为了保证泵吸反循环成孔顺利,采取了以下主要技术措施:

1) 尽量减少砂石泵的安装高度,砂石泵叶轮中心与孔内液面高差小于 0.5m。

2) 增加钻杆接头的密封性,防止假循环现象。根据普遍的施工经验,多数工程泵吸反循环在浅孔时钻进效率很高,而当孔达到一定深度后,钻进效率就较低。其主要原因是钻杆密封性差,钻头接头漏水,造成假循环现象。砂石泵看起来排量很大,而实际孔底钻杆内的流量很小,随带钻渣效果差,钻渣集中于孔底堵塞钻头,钻进效率明显下降。施工中,我公司特别设计了一套双向密封的内平钻杆,而且长度每根为 4 m,基本无假循环现象。

3) 使用机械性能良好的砂石泵,保证抽吸真空度满足设计要求。

4) 选择熟练的操作技术工人上岗,严格按深孔施工作业规程操作。

由于采用了上述施工措施,整个工程成孔施工

非常顺利。泵吸反循环钻进从开孔到终孔(102 m 深)工作顺利,当接近孔底时,泵吸反循环抽吸正常,能保持泵量 $120 \text{ m}^3/\text{h} \sim 150 \text{ m}^3/\text{h}$,随渣效果良好并能带上直径 6 cm ~ 8 cm 的岩屑,纯钻效率能达到 $0.8 \text{ m}/\text{h} \sim 1.5 \text{ m}/\text{h}$ 。每孔施工时间为 6 ~ 10 天。

本工程由于采用的泵吸反循环施工工艺,不但按期完成了施工任务,而且工程质最好,成本低,得到了甲方业主的一致好评。

3 几点体会

1) 通过该工程施工,充分证明泵吸反循环施工百米大口径深孔是完全可行的,而且能取得较为满意的效果。

2) 以理论为指导,解决施工中的技术问题,是解决问题的最佳方法。

3) 选择正确的施工工艺是保证顺利施工的前提,但还必须要有保证工艺方法实施的技术措施,否则正确施工工艺的效果难以发挥。

DISCUSSION AND PRACTICE ON DRILLING DEPTH OF PUMP SUCTION REVERSE CIRCULATION

LIAO Guang - hua

Abstract :Possibility is theoretically analyzed about drilling holes with more than hundred meter depth through pump suction reverse circulation. Technical measures and better results in the execution are also introduced. It has guiding significance to the same construction.

Key words pump suction reverse circulation , deep hole drilling , theory , practice



第一作者简介:

廖光华(1962 年 -),男,高级工程师,全国优秀项目经理。1983 年毕业于中国地质大学。1983 年 ~ 1987 年在江西地质科研所从事钻探护孔科研工作。1987 年 ~ 至今一直从事建筑市场的基础工程施工技术和管理。现任中国地质工程集团公司总经理助理兼中地集团江西分公司总经理。

通讯地址:江西省南昌市沿江中路 19 号华财大厦 173A 中国地质工程公司江西分公司 邮政编码:330009

(上接第 31 页)



第一作者简介:

段新胜(1962 年 -),男。1985 年毕业于武汉地质学院北京研究生部,获硕士学位。现任中国地质大学汉口分校岩土与建筑工程系系主任,副教授。主要从事岩土工程教学科研工作。

通讯地址:湖北省武汉市汉口航空路 15 号 中国地质大学汉口分校岩土与建筑工程系 邮政编码:430030