

娄江特大桥深孔泵吸反循环工艺的改进

张广亮¹, 刘建涛^{1,2}, 陈益敏¹

(1. 河南省地矿建设工程(集团)有限公司, 河南 郑州 450007; 2. 河南省地矿局第二水文地质工程地质队, 河南 郑州 450007)

摘要:随着国家基础设施投入的加大, 桩径 1000 ~ 2000 mm、孔深 100 ~ 130 m 的钻孔灌注桩在各类工程中屡被采用。泵吸反循环传统上被用于孔深不超过 80 m 的深孔, 在京沪高铁第六标段娄江特大桥钻孔灌注桩施工中, 通过对现有的反循环钻机进行改进, 很大程度上提高了泵吸反循环的工作效率, 顺利地完成了孔深 131 m、桩径 1.8 m 桩孔的施工, 产生了很好的经济效益。

关键词:泵吸反循环; 大直径; 超深孔; 灌注桩; 钻机改进

中图分类号: TU473.1⁺4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2011)06-0047-04

Improvement on Deep Hole Pump-suction Reverse Circulation Technology in Super Large Bridge/ZHANG Guang-liang¹, LIU Jian-tao^{1,2}, CHEN Yi-min¹ (1. Henan Geological & Mineral Resources Construction Engineering (Group) Co., Ltd., Zhengzhou Henan 450007, China; 2. No. 2 Hydrogeology and Engineering Geology Team, Henan Provincial Bureau of Geo-exploration and Mineral Development, Zhengzhou Henan 450007, China)

Abstract: The bored-grouting pile with diameter of 1000 ~ 2000 mm and depth of 100 ~ 130 m are often used in various projects. Pump-suction reverse circulation was traditionally used in the hole not more than 80 m deep, but by the improvement on the existing reverse circulation drill, the efficiency of pump-suction reverse circulation was greatly improved with pile hole of 1.8 m in diameter and 131 m in depth finished.

Key words: pump-suction reverse circulation; large diameter; ultra-deep hole; grouting pile; drilling rig improvement

1 概述

近年来,随着国民经济建设的迅猛发展,高速公路、高速铁路、市政道路改扩以及建筑立体化趋向,路网密度越来越大,各式立交桥、跨河桥、高架桥等数量猛增。同时,基于安全考虑,设计要求和标准相应提高。在软弱岩土地层以钻孔灌注桩为主要基础设计的桩长和桩径亦在不断扩大,孔深 100 ~ 130 m 的钻孔灌注桩在各类工程中屡被采用。而目前工程中以气举反循环、正循环、旋挖钻进为主要施工深孔的各型工程钻机,因造价高、效率低、泥浆污染、深度、地层条件限制等,远不能满足市场的需求。泵吸反循环以消耗功率低、排渣效率高、成孔速度快、施工周期短,而被广泛应用于交通桥梁基础。但随着孔深增加,循环系统中各项阻力增加,使流量减小,排渣能力降低,钻孔速度减慢。泵吸反循环多用于孔深不超过 70 ~ 80 m 的桩基础施工,因而制约了泵吸反循环的发展。如何提高泵吸反循环的工作效率,完成深孔施工,已成当务之急。

2009年10月,笔者参与施工了京沪高铁第六标段娄江特大桥钻孔灌注桩基础工程,桩孔孔深

131 m, 桩径 1.8 m。采用黄海机械厂生产的 GM-20A 型钻机, Ø180 mm 钻杆, 6BS-350 型砂石泵。开始用反循环工艺施工,但因孔较深,超过 60 m 后钻进效率很低,稍微加压就会出现反循环断流现象。孔深超过 80 m 后泵吸反循环难以形成,只能用正循环施工,效率极低。平均 7 ~ 8 天成桩一根,电能、机械、人工消耗量增加,泥浆外运的成本也成倍增加。综合各种因素考虑,我们决定采用大口径钻具施工,并同时原有主动钻杆、送水器的过水断面进行改造。

在钻机和水泵性能不变的情况下,采用 Ø245 mm 钻杆,改用通孔直径 219 mm 的主动钻杆,增大了过水断面,钻进效率明显提高。

2 泵吸反循环的工作原理

泵吸反循环是靠叶轮旋转产生动能,达到一定的转速形成真空,吸抽钻杆内的泥浆,使钻杆内产生负压,而钻杆外依然保持大气压力,因内外压力差产生循环液流。在大气压力作用下,处在钻杆与孔壁环状间隙中的泥浆流向孔底,与钻头回转钻进切割

收稿日期:2010-11-23; 修回日期:2011-06-10

作者简介:张广亮(1955-),男(汉族),河南卫辉人,河南省地矿建设工程(集团)有限公司工程师、一级建造师,探矿工程专业,从事地基与基础的施工与管理,河南省郑州市互助路25号, hnljt@163.com。

下来的岩渣混合形成泥浆的混合液,混合液经钻头水口被吸入钻杆内腔,经送水器—砂石泵—排渣管排入地面泥浆循环系统,钻渣经泥浆池沉淀后,泥浆再补充回流到孔内,形成泵吸式反循环钻进(见图1)。泵吸反循环具有孔壁稳定性强、排渣效果好、钻进效率高、清孔速度快、孔底干净等优点。

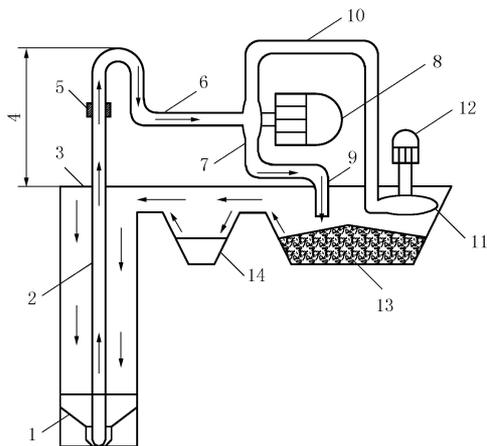


图1 泵吸反循环工作示意图

1—钻头;2—钻杆;3—泥浆面;4—砂石泵真空吸程;5—水龙头;6—吸引管;7—砂石泵体;8—砂石泵电机;9—出渣管;10—正循环供浆管;11—正循环泵体;12—正循环电机;13—出渣池;14—二次沉淀池

3 泵吸反循环的相关参数分析

以6BS-350型反循环泵为例,其主要参数为泵量、功率、吸程、扬程、工作效率。

3.1 泵量

6BS-350型砂石泵泵量可达 $350 \text{ m}^3/\text{h}$ 。需要特别提醒的是,并不是砂石泵的泵量越大越好,要根据钻杆的过水断面和孔径来确定。钻杆的过水断面小,易形成气蚀不上水;过水断面大,上返速度慢钻渣不能有效带出孔外。孔径大时钻进效率太低,孔径小时,回流泥浆的下流速度 $>0.05 \text{ m/s}$ 时,易冲刷孔壁,破坏泥浆护壁层,引起塌孔事故。

3.2 扬程

6BS-350型反循环泵的扬程可达25 m,在钻孔施工时,循环系统在地表布置,对扬程的要求不高,在选择方面,可以不做要求。

3.3 电机功率和转速

6BS-350型砂石泵配37 kW 6极电机,转速可达980 r/min,因此功率较大,抽吸能力也强。

3.4 吸程

砂石泵的吸程一般为7.5 m,这只是纯理论数据。在实际施工中,和循环通径、密封程度、泥浆密度、泵量和电机功率等有密切关系,因受此综合因素

的影响,砂石泵的真空吸程一般情况下不大于6.5 m。

所以,在安装钻机时,尽量缩小泥浆面与水龙头顶端的高差来降低真空吸程的高度,达到提高工作效率的目的。另外,根据图2所示,砂石泵的安装位置越低,效率应该越高,但当孔深较大时,其影响是很小的。

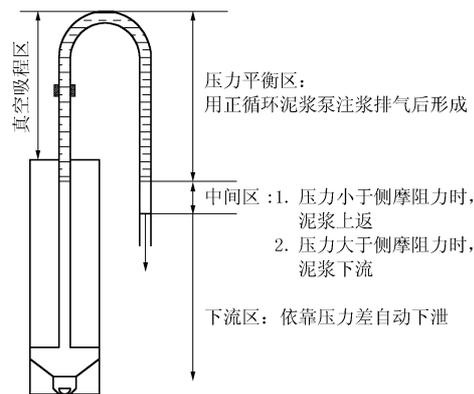


图2 砂石泵示意图

综上所述,砂石泵的工作效率,是由多种复杂的因素决定,所以通常按70%计算机械效率。

4 影响泵吸反循环工作效率的主要外因

泵吸反循环的工作效率除受砂石泵自身各主要参数制约外,还受许多外界因素的影响。

仍以6BS-350型砂石泵为例:功率37 kW,按工作效率70%计算时,泵量 $235 \text{ m}^3/\text{h}$,真空吸程 $<7 \text{ m}$ 。

4.1 循环系统的过水断面和泥浆在钻杆内的上升速度

从实验得知,钻渣在泥浆中的自由落体速度,因泥浆的密度、钻渣的质量和密度而有快慢不同,一般下沉初始速度为 $0.5 \sim 0.9 \text{ m/s}$ 。由此可推理只要泥浆在钻杆内的上升速度大于钻渣的自由下落速度,就应当能排除钻渣,上升速度大于下落速度2~3倍时,就可将较大块的钻渣排除孔外,如钻杆过水断面太大,泥浆在钻杆内的上返速度小于钻渣的沉降速度,则不能形成有效进尺。那么,是否上升速度越快效率就越高呢?单从理论上分析应该是这样的,但在实际施工中并非如此。因为流速越大钻杆内壁产生的侧摩阻力也越大,砂石泵消耗的功率也越大,特别当钻渣量较大时,会堵塞钻头进渣口或钻杆,砂石泵就会因瞬间供水不足而产生气蚀中断循环。所以,综合以上因素并对照表1可以看出:当泵

量在 $235 \text{ m}^3/\text{h}$ 时,钻杆规格以 $\text{Ø}245 \text{ mm} \times 14 \text{ mm}$ 为宜。

表1 不同规格钻杆的泥浆上返流速

钻杆规格 /mm	有效过水断面 /m ²	泵量 /(m ³ ·h ⁻¹)	流速 /(m·s ⁻¹)
Ø325 × 14	0.069	210 ~ 245	0.89 ~ 1.03
Ø245 × 14	0.037	210 ~ 245	1.58 ~ 1.84
Ø219 × 15	0.028	210 ~ 245	2.08 ~ 2.43
Ø180 × 16	0.017	210 ~ 245	3.30 ~ 3.85
Ø168 × 13	0.016	210 ~ 245	3.58 ~ 4.18

4.2 泥浆密度

按孔深 100 m 计算,得出不同泥浆密度下泥浆在钻杆内的摩阻力,见表 2。

表2 不同泥浆密度下泥浆在钻杆内的摩阻力

泥浆密度 /(kg·L ⁻¹)	真空高程 /kPa	泥浆在钻杆内 摩阻力/kPa	钻杆内外压力差 水头损失/kPa	合计
1.01	4	0.2	0.01	4.21
1.10	4	0.4	0.10	4.41
1.15	4	0.6	0.15	4.75
1.20	4	0.8	0.20	5.0
1.25	4	1.2	0.25	5.54
1.30	4	1.6	0.30	5.9
1.40	4	3.2	0.40	7.6

从表 2 可以看出:泥浆密度越大,其在钻杆内上升时的摩阻力越大,钻进效率就越低。当泥浆密度 $> 1.25 \text{ kg/L}$ 时,反循环系统很难启动,即使勉强打开,稍有进尺,就会因产生气蚀停止运转,因此反循环施工过程中,只要能满足孔壁稳定,降低孔内泥浆密度,是提高钻进效率的重要手段。

4.3 孔深

当泥浆密度为 1.10 kg/L 时,经计算得出不同孔深条件下的侧摩阻力,如表 3。

表3 不同孔深条件下的侧摩阻力

孔深/m	孔底动压力/kPa	侧摩阻力/kPa	小计/kPa
40	1.63	0.16	1.79
60	2.44	0.24	2.68
80	3.25	0.32	3.57
100	4.07	0.40	4.47
120	4.88	0.48	5.36
140	5.69	0.56	6.25
160	6.50	0.64	7.14
180	7.32	0.72	8.05

根据表 3 可知:孔越浅,砂石泵的真空吸程余量越大,效率也就越高,当孔深 $> 160 \text{ m}$ 时,普通砂石泵很难启动工作,需要配备其他增压设备或采取有效增压措施。

4.4 泥浆循环池的大小

当反循环系统启动进尺后,钻渣排放进入泥浆循环池,经过多级沉淀后,泥浆再返流入孔内。因此,泥浆池越大,泥浆反流速度越慢,钻渣沉淀越彻底,返流泥浆的含渣量越少,钻进效率就会越高。反之,泥浆池太小,钻渣不能沉淀,就会返流入孔内,参与多次循环而影响钻进效率。所以,在施工现场条件允许时,可在出渣池和孔位之间另挖一个二级沉淀池,这样效率会更高。

4.5 密封

(1) 泥浆面以下部分的密封,即钻杆各法兰盘连接处的密封,如密封不严,反循环启动后,虽然出渣口泵量正常,但补充的泥浆不完全以钻杆底部进渣口吸入,而是有一部分从中途钻杆松动处吸入,进入量的多少,视连接的松动程度而定,形成“假象反循环”,影响进尺效率。特别是在砂层中钻进时,极易造成埋钻后果。因此,施工人员一定要经常检查出渣量与底层和进尺量是否相符。

(2) 泥浆面以上部分的密封,即砂石泵出渣口至泥浆面之间泵体水龙头及各接头是否有漏气、漏浆现象。特别要注意连接水龙头和砂石泵的高压引管,有无重皮、破损、堵塞和声音异常,一经发现,就要及时处理。

4.6 地层变化和进尺控制

泵吸反循环正常启动后,操作人员要根据地层变化情况,合理控制进尺,既要保证均匀、满负荷的出渣量,又不至于使其停止运转,是提高效率的关键所在。一般有经验的操作人员时刻盯紧出渣口水量大小变化,不断总结经验,来做相应的调整,粘土层要高速小压力,砂层和卵砾石地层低速慢转,严防出渣量控制不匀,忽大忽小,造成气蚀,使反循环停止工作。特别在松散及易塌地层钻进时,如果反复启动反循环,轻者造成扩径,重时会造成塌孔事故。

4.7 钻头形式

反循环钻头,原则上要求简单实用。锥度 $< 90^\circ$,但施工复杂和承载力较大的地层时,还要特别注意其牢固抗扭。一般情况下,可用三翼或四翼刮刀钻头;在卵砾石及风化岩中钻进时,可用四翼或六翼环形钻头。钻头尖可采用二翼、三翼或四翼,同样锥度要小,甚至没有锥度,以保证进渣口空间,使钻渣及时排除。

5 工程实践

在充分了解泵吸反循环的工作原理、砂石泵的各主要技术参数及性能后,根据多年的施工经验,总

结了影响泵吸反循环工作效率的各种内因和外因,优化整个系统的匹配。利用现有扭矩 40 kN·m 的 GM-20A 型工程钻机,配置 6BS-350 型砂石泵组,水龙头通径由 150 mm 换成 219 mm,钻杆由 Ø180

mm 改为 Ø245 mm,主动钻杆通径由 150 mm 改为 219 mm,同时对钻头型式也作了相应改造,经投入试用效果非常明显,见表 4。

表 4 反循环钻进不同口径钻具施工效率对比表

孔深/m	层厚/m	岩性描述	承载力 /kPa	侧摩阻力 /kPa	Ø180 mm 钻杆反循环钻进时间/h		Ø245 mm 钻杆反循环钻进时间/h	
					辅助	纯钻	辅助	纯钻
2	2	粘土	100	35	0	1	0	1
15	13	硬塑粘土	180	55	4	13	2.5	7
36	21	粉质粘土	120	35	3.5	14.5	3.5	10
47	11	粘土,含少量钙质结核	180	60	4	12.5	3	7
65	18	粉质粘土和粉细砂石层	130	45	8.5	12	3.5	8
74	9	粘土,含大量钙质结核	200	65	4	13.5	1.5	7
105	31	粉质粘土和粉细砂石层	150	40	12	16	6	13.5
120	15	粉质粘土,密实度大钙质胶结	200	45	15	15.5	2.5	10.5
131	11	粘土,含大量钙质结构	240	70	20.5	19	3	11.5
合计					71.5	117	25.5	75.5
总计					188.5		101	

6 结论与建议

(1) 经过对泵吸反循环施工设备及工艺的改进,在超深孔大直径灌注桩施工中取得了良好的施工效果及经济效益。

(2) 实践证明,对泵吸反循环施工设备及工艺的改进在超深孔大直径灌注桩施工中是成功可行的,为超深孔大直径灌注桩施工积累了施工经验。

(3) 该工程的成功实施突破了泵吸反循环钻孔灌注桩施工工艺仅适用于孔深 < 80 m 桩的有关界定,采用该工艺的经济效益显著。

对一种新鲜事物的认识,从无知到有知,只有不断总结,善于探索,才能不断的进步。泵吸反循环施工工艺,经近多年的发展,特别在保证成桩质量,显著提高桩基承载力方面,已得到人们的普遍认同。但随着孔深和桩径的不断加大,各种地质条件也是

千差万别,如何进一步改进反循环的施工工艺、提高钻进效率,更好的为国民经济建设服务,涉及到很多学科,诚愿各方面专家不吝赐教指导并提供更好的产品及工艺。

参考文献:

- [1] 詹龙和,谢秋明,张青平. 泵吸反循环在 120 m 超深钻孔灌注桩中的成功应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2004, 31(10): 4-5.
- [2] 谭锡坤. 东海大桥大口径深孔钻孔灌注桩成孔技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2005, 32(1): 25-26.
- [3] 杨德才. 温州世贸中心大厦超深大直径钻孔灌注桩施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2007, 34(1): 27-29.
- [4] 廖光华. 泵吸反循环施工大口径灌注桩钻进深度的理论分析[J]. 探矿工程, 2000, (6): 15-16.
- [5] 冯玉国. 泵吸反循环中断的原因分析及预防措施[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2001, (2): 12-13.

绳索取心安全接头空白

国土资源网消息(2011-05-30) 近日,钻探施工中一种绳索取心安全接头在湖南省地勘局 418 队诞生,该产品填补了国内这一领域的空白,获中华人民共和国国家知识产权局颁发的新产品实用新型专利证书。

钻机的钻杆是由多节钻杆通过螺纹连接而成,带钻头的岩心管与钻杆之间有一个接头,当岩心管和钻头被卡住发生事故时,需要反转钻杆柱,以便将井下的钻杆提出地面。但是,由于井下的岩心管与钻杆之间以及每节钻杆之间均采用螺纹连接,咬得很死,反转时,可能会在任何一节发生脱扣现象,故需反复操作才能将井下钻杆提出地面,如此,费时、费力、工效低。

为了解决这一难题,湖南省地勘局 418 队钻探专业技术人员通过近两年来的探索,大胆提出了一种新的绳索取心安全接头。这种实用新型的绳索取心安全接头由于在上、下管连接处,分别设置有上挡头和下挡头,从而使得上、下管连接处留有间隙,但不会脱扣(因为还有螺纹连接),挡头可以传递扭矩,当发生钻头和岩心管被卡死事故时,钻机操作人员可反转钻杆柱,安全接头的上、下管连接处便会顺利脱扣,整个钻杆会一次性提出地面。目前,这种新的绳索取心安全接头已在湖南省地勘局 418 队及相关地勘单位钻探施工中广泛应用,其效果非常明显,工作效率也非常显著。