

沪 - 蓉高速铁路跨越汉江特大桥桩孔施工技术

杨宗仁¹, 史学伟²

(1. 河北大直径工程井建设有限公司, 河北 石家庄 050031; 2. 黑龙江省第一地质勘察院, 黑龙江 牡丹江 157011)

摘要:介绍了沪 - 蓉高速铁路武汉蔡家湾特大桥岩溶区域钻孔施工工艺、施工设备的选择, 施工技术参数的确定, 以及岩溶地层钻孔施工常见事故的处理及预防。

关键词:岩溶地层; 桥桩; 桩孔; 冲击反循环

中图分类号: U473.15⁺4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2010)02-0047-04

Construction Technology of Pile Hole for Shanghai - Chengdu High Speed Railway Overpassing Hanjiang Super-long Bridge/YANG Zong-ren¹, SHI Xue-wei² (1. Hebei Large Diameter Engineering Well Construction Co., Ltd., Shijiazhuang Hebei 050031, China; 2. No. 1 Institute of Geological Exploration of Heilongjiang, Mudanjiang Heilongjiang 157011, China)

Abstract: The paper introduced the drilling construction technology of Shanghai - Chengdu high speed railway in karst stratum, together with the equipments selection, technical parameters determination and the treatment & prevention for common accidents of drilling construction in such stratum.

Key words: karst stratum; bridge pile; pile hole; percussive reverse circulation

沪 - 蓉高速铁路是一条横跨我国东西的铁路客运干线, 连接上海、武汉、成都等现代化的大城市, 铁路设计时速为 200 ~ 250 km/h, 是我国最早开工建设的铁路客运专线。跨越汉江特大桥——武汉蔡家湾汉江特大桥是沪 - 蓉铁路的重要工程。蔡家湾汉江特大桥位于武汉市境内, 大桥全长为 9.2 km。主桥基础采用钻孔灌注桩, 167、168 号主桥墩位于汉江水道中。每个主墩由 12 根 $\varnothing 2.8$ m/ $\varnothing 2.5$ m 的变截面钻孔灌注桩组成桩基础。钻孔施工在水中平台上进行, 钢护筒顶标高 +28 m, 底标高为 -2 m, 长度为 30 m, 江底泥面标高为 +8 m, 设计桩底标高为 -45 m 不等。每个桩孔位置上都布置有超前钻探孔, 以查明溶洞的分布及形状。

主桥址区域的工程地质情况: 第四系覆盖层主要以粘性土、粉砂、砂砾为主, 呈密实状。基岩为灰岩地层, 溶洞、溶隙发育, 形态复杂, 溶洞内部充填物多为流塑 ~ 软塑状粘性土, 局部夹碎石, 少数溶洞无充填。基岩岩面起伏变化大, 个别相邻桩(桩距 5.5 m)的岩面高差达到 8 m 以上, 一般岩面高差都有 2 ~ 3 m, 岩溶地层溶洞呈垂直方向多层分布, 溶洞高一般为 0.6 ~ 1.8 m, 最大溶洞高为 5.9 m, 个别桩孔最多要穿过 5 层大小不等的溶洞。

1 钻孔工程施工的特点

(1) 钻孔直径大: 167、168 号主桥墩钻孔直径为 $\varnothing 3.0$ m/ $\varnothing 2.5$ m, 每个主墩设计 12 根钻孔灌注桩, 为行列式布置。

(2) 钻孔进入基岩深度大: 自钻孔平台起计算, 最大钻孔深度为 78 m, 个别钻孔进入基岩深度为 40 m, 有的要穿过 5 层大小不同的溶洞。岩石抗压强度最大为 78 MPa。

(3) 钻孔施工在水上平台进行, 平台搭设时正值汉江的主汛期, 江水流速为 2.10 m/s, 最高水位为 +26 m, 水深为 18 m, 施工至枯水季节最低水位为 +11 m, 水深为 3 m, 15 m 高的水位高落差增大了水上平台钻孔施工作业的风险。

(4) 岩溶发育区域钻孔施工极易产生钻孔漏浆、坍孔、斜孔、掉钻、卡钻等孔内事故, 增加了钻孔施工难度。

2 钻孔施工工艺的确定

主墩钻孔施工在水中平台上进行, 钻孔平台以沉放到预定深度的 $\varnothing 2.8$ m \times $\delta 20$ mm 的钢护筒和 $\varnothing 0.8$ m \times $\delta 10$ mm 钢管桩为支撑体, 与其上面的 HN700 型双拼钢联系梁、贝雷梁、工 25 型钢和 $\delta 8$ mm 花纹板组成钻孔施工平台。

收稿日期: 2009-10-28

作者简介: 杨宗仁(1971-), 男(汉族), 内蒙古赤峰人, 河北大直径工程井建设有限公司副经理、注册安全工程师、注册建造师, 岩土工程专业, 从事大直径工程井施工技术及管理工, 河北省石家庄市建华南大街 58 号, hbjkyzr@sina.com。

综合分析施钻区域的工程地质条件以及回转钻进和冲击钻进工艺的特点和适应性,采用回转钻进和冲击钻进相结合的成孔工艺方法。上部覆盖层部分,选用GF-300型钻机使用刮刀钻头回转钻进,气举反循环排渣工艺。基岩地层部分,根据岩溶地层岩性硬、脆、碎,岩面起伏变化大,岩层倾角大,溶洞、裂隙发育,易出现漏浆、坍孔等特点,基岩部分钻孔施工选用YCJF-250型和CZ-250型钻机冲击

钻进,反循环和正循环排渣工艺。

3 施工设备的选择

施工设备的选择,关系到钻孔工程的质量和安。密实状的砂、砾石层选用GF-300型回转钻机钻进,岩溶地层选用YCJF-250型和CZ-250型冲击钻机钻进。各种型号钻机的性能参数见表1。

表1 几种型号钻机的技术参数

钻机型号	钻孔直径 /m	钻孔深度 /m	提升能力 /kN	扭矩 /(kN·m)	冲程 /mm	冲击频率 /(次·min ⁻¹)	Ø2.5 m 钻头 重量/kN	功率 /kW	循环方式
GF-300型钻机	3.0	140	800	150			120	135	气举反循环
YCJF-250型钻机	2.5	80	120		100~1300	0~25	80	75	泵吸反循环
CZ-250型钻机	2.5	80	120		0~3000	0~10	80	45	正循环

4 覆盖层钻进工艺

3种型号的钻机在施工前期都进行了覆盖层钻进施工,GF-300型钻机使用气举反循环排渣工艺,30 m左右的覆盖层用时3天完成,CZ-250型钻机使用正循环排渣工艺,用了15天的时间才完成覆盖层钻进,YCJF-250型钻机用时7天左右的时间。为了提高钻进效率,其余钻孔的覆盖层部分都由GF-300型钻机施工。GF-300型钻机覆盖层钻进使用六翼刮刀钻头。护筒内使用清水钻进至地脚2.0 m位置处,向孔内加入一定量的膨润土,通过反循环排渣胶管的高速水流自行搅拌使膨润土分散,再加入一定量的纯碱和水解聚丙烯酰胺等处理剂进行搅拌,泥浆性能指标为:密度1.12 g/cm³,粘度23 s,含砂率2%,pH值9,胶体率98%。保证钻出护筒后覆盖层孔壁的稳定。

为了使冲击钻进接续顺利进行,回转钻进钻孔要保证:钻孔直径 ≤ 2.50 m,钻孔垂直度控制在1/200以内,覆盖层钻进完成后,泥浆粘度可达到25~28 s,密度为1.15~1.25 g/cm³,以利于后续的冲击反循环和冲击正循环接力钻进。

5 YCJF-250型钻机基岩地层冲击钻进工艺

由于主墩桥址区域内的基岩岩面起伏变化大,同一钻孔2.5 m直径范围内岩面高差在2~3 m,岩层倾角大,岩溶裂隙发育,使用回转钻进工艺极易发生钻孔偏斜,引发憋钻、滚刀脱落、掉钻等孔内事故。采用YCJF-250型钻机冲击反循环钻进和CZ-250型钻机冲击正循环钻进工艺,通过向岩面倾斜孔段和溶洞内回填块石和粘土能够得到有效的处理。岩

溶洞发生漏浆时,冲击钻能够及时将钻头提出孔外,避免因泥浆漏失引起塌孔导致发生埋钻事故。

5.1 YCJF-250型全液压冲击反循环钻机钻进工艺原理

冲击反循环钻进工艺是使用两根钢丝绳通过提引盘提引钻头,提引盘可在钻头中心管体上相对转动。在冲击油缸的作用下,通过同步卷筒的自动调节机构,两根钢丝绳在工作状态时始终受力相等,在两根钢丝绳中间设置排渣管,通过钻头中心管下入孔底,在钻头上下往复运动冲击破碎岩石时,用地表的砂石泵实现反循环,通过排渣管将破碎岩石及时排至地表获得进尺。与传统的正循环冲击钻进相比,反循环冲击钻进工艺具有孔底清洁、减少钻渣的重复破碎、冲击钻进与排渣连续进行等特点,钻进效率显著提高。

5.2 基岩开孔及溶洞顶板钻进施工

根据每个桩孔施工前的超前钻孔勘察资料,基本掌握了基岩岩面的走势和溶洞的顶板位置及溶洞的埋深。冲击钻进至基岩面和溶洞顶面时,采用手动操作使用小冲程、低频率的钻进工艺参数,以减少冲击钻头顺着岩面下滑和倾倒的趋势,如在冲击钻进过程中发现钢丝绳在平面位置上偏摆严重,说明孔底岩面不平或岩质软硬不均匀。此时应停止冲击钻进,向孔内投入抗压强度不小于岩层抗压强度的岩块,采用小冲程、低频率的工艺参数钻进,形成均质截面的孔底,待在倾斜的岩石面上冲击出台阶后,随台阶截面的增大逐渐提高钻头的冲击行程和频率,恢复正常钻进。填石高度一般以高出引起钻孔倾斜界面1.5 m左右为宜。如冲至原位后钢丝绳仍偏摆严重,应继续填石纠偏直到钻进平稳。在溶洞

顶板钻进,应用手动冲击钻进,采用低冲程工艺参数,钻穿溶洞,防止遇有大的溶洞发生落钻引起卡钻等孔内事故。同时要有专人观察钻孔内泥浆液面的变化,发现泥浆漏失,应立即将钻头提离孔底,防止因泥浆漏失引起塌孔导致埋钻事故的发生。

5.3 岩溶孔段的钻进施工

溶洞中钻进,由于钻孔进入溶洞范围内,溶洞的内壁、顶板和底板高低不平,钻进溶洞顶板及底板都相当于在倾斜岩面开孔的问题。因此必须采取相应处理措施,根据超前钻孔地质资料、冲击钻进时地表设备的声音和钢丝绳的偏摆情况进行判断。空洞钻进须分层回填粘土坯和岩石块,在无泥浆循环的情况下经反复冲砸以形成新的孔壁,堵塞原溶洞内填充物的活动通道及地层裂隙,防止孔壁坍塌和泥浆流失。钻头在溶洞内冲击高低不平的岩面时,或一部分为岩石面,一部分为悬空时,容易造成卡钻或斜孔事故。必须向孔内抛填岩石块和粘土坯,用低冲程、无泥浆循环反复冲击密实,形成均质截面的孔底和新的孔壁再回复正常钻进。

5.4 YCJF-250 型钻机应用气举反循环排渣钻进工艺

水上钻孔平台搭设时正值汉江的主汛期,最高江水位为 +26 m,设计钻孔平台的标高为 +28 m,枯水季节,江水位为 +11 m。为保证工作钢护筒底脚部分地层不被“反压穿”及孔壁的安全,正常钻进施工时,护筒内的泥浆液面始终比江水位高出 2~5 m。枯水季节施工,工作钢护筒内无水段的高度在 10 m 以上, YCJF-250 型冲击钻机配置的泵吸反循环排渣工艺因砂石泵的吸程过大无法正常工作,施工现场将泵吸反循环改为气举反循环排渣工艺。在排渣钻杆距底口 5 m 的位置设置混合室,送风管选用 $\varnothing 30$ mm 的高压缠丝胶管并列式设置,每隔 6 m 与钻杆固定。 YCJF-250 型钻机在低江水位时使用气举反循环工艺如图 1 所示。

气举反循环空压机风量参数的确定。

(1) $\varnothing 2.5$ m 冲击钻进时泥浆循环量

$$Q = 2828d^2V$$

式中: Q ——需要的泥浆循环量, m^3/h ; d ——钻杆内径, $d = 0.151$ m; V ——泥浆在钻杆中的上返速度, $V = 2.5$ m/s。

则 $Q = 2828d^2V = 2828 \times 0.151^2 \times 2.5 = 161.2$ m^3/h

(2) 提升单位体积泥浆压风消耗量

$$V_0 = (K_1 \gamma h) / \{ 23 \times \lg [(\gamma H_0 + 10) / 10] \}$$

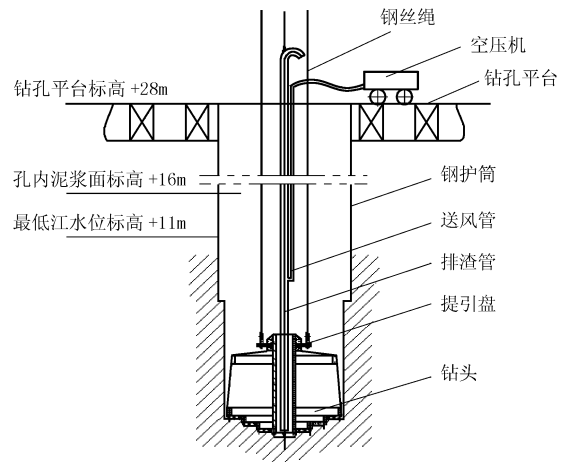


图 1 YCJF-250 型钻机应用气举反循环钻进工艺示意图

式中: V_0 ——提升单位体积泥浆的压风消耗量, m^3/m^3 ; γ ——泥浆密度, $\gamma = 1.2$ g/cm^3 ; K_1 ——系数, $K_1 = 2.17 + 0.0164h = 2.367$; h ——扬程, $h = 12$ m; H_0 ——压风管埋入深度 $H_0 = [(P_{压} - \Delta P) / \gamma] \times 10 = 50$ m; $P_{压}$ ——供风压力, $P_{压} = 7$ kg/cm^2 ; ΔP ——供风管路压力损失, $\Delta P = 1$ kg/cm^2 。

则: $V_0 = (2.367 \times 1.2 \times 12) / \{ 23 \times \lg [(1.2 \times 50 + 10) / 10] \} = 1.74$ m^3/m^3

(3) $\varnothing 2.5$ m 冲击钻进时,循环泥浆所需的供风量

$V = QV_0 / 60 = 4.7$ m^3/min 。

所以, $\varnothing 2.5$ m 冲击钻进时, $\varnothing 151$ mm 的排渣钻杆选用供风量为 8 m^3/min 、排气压力为 7 kg/cm^2 的 VF8/7 型空压机,供风量富余系数为 $8 / 4.7 = 1.7$,满足钻孔施工的要求。

5.5 冲击钻孔施工卡钻事故的预防及处理

在岩溶地层冲击钻进,由于 $\varnothing 2.5$ m 冲击钻头的重力为 75 kN,钻机液压绞车的提升能力为 100 kN,钻孔施工过程中,多发的孔内事故是冲击钻头在孔内发生卡、夹,无法正常提出。

5.5.1 发生卡钻事故的原因

(1) 随着冲击钻进进尺,钻头的外出刃磨损,直径变小未及时焊补钻头导致卡钻。钻头外出刃磨损直径逐渐变小,一次焊补后的钻头直径过大,又采用高冲程冲击钻进,导致卡钻事故的发生。

(2) 岩溶地层破碎及溶洞内充填有块石,在钻头超过该段孔壁时,块石探露出孔壁形成“探头石”,卡住钻头的锥脚或锥顶发生卡钻事故。

(3) 在冲击钻进钻头钻穿溶洞的顶板进入溶洞时,冲程过大导致钻头卡、夹在不规则的溶洞内。

(4) 溶洞在钻孔内形成半壁孔,冲击钻进过程中采用冲程过大或放绳过多,导致冲击钻头倾斜,钻

头的上部顶在孔壁位置,发生卡钻事故。

(5)冲击钻进过程中,钢丝绳破断掉入孔内或地表掉入孔内铁件,卡在钻头翼与孔壁的位置,发生卡钻事故。

5.5.2 卡钻事故的处理方法

处理孔内卡钻事故,首先分析发生卡钻事故的原因,再采取有针对性的措施进行处理,避免盲目,造成孔内事故的叠加。

(1)由于钻头磨损因素引起的卡钻,可用绞车的最大能力进行提升,再辅以液压油缸的冲击力进行冲击提升,无效时可在2根提升钢丝绳上用再卡住两根辅助钢丝绳,使用2个100 kN的手动倒链进行辅助提升,同时再用重锤冲击被卡钻头的围圈部分,借助重锤冲击时钢丝绳的反弹力一般能将钻头提出。

(2)孔壁探头石卡钻,采用重锤冲击露出孔壁的探头石,同时配合钻头的上下活动,将探头石冲击破碎或脱落掉入孔内提出钻头。

(3)使用带有打捞钩的钢丝绳放入孔内,钩挂住钻头的安全绳位置后,与主绳同时提动,或交替提动,并多次上下、左右摆动,有时能将钻头提出。

(4)使用 $\varnothing 89$ mm或 $\varnothing 114$ mm的水文钻杆,在底部焊有倒钩,钩住钻头的翼板或安全绳位置,使用千斤顶强力提升,有时能将卡住的钻头松动提出。

(5)采用以上方法处理被卡钻头无效时,可使用水下爆破的方法。用卷扬机的最大提升力拉紧提升钻头的钢丝绳,将适量的卤化炸药放置于钻头的底部引爆,借助爆炸冲击力使钻头产生松动,提出被卡的钻头。

5.5.3 预防卡钻事故的措施

(1)在冲击钻进过程中,要根据钻头的磨损情况及时补焊钻头,采用“少焊勤焊”的方法,新补焊的钻头下入孔内先采用低冲程冲进再恢复正常。

(2)在破碎、易坍塌掉块的孔段进行冲击钻进时,要加入粘土块反复冲击,把粘土挤入破碎的地层孔壁,使易坍塌的地层孔壁稳定。

(3)在溶洞的顶板、溶洞及半壁溶洞孔段、溶洞的底板处,要采用安全工艺参数进行冲进。

(4)在正常的冲击钻进过程中,要控制泥浆的含砂率,必要时采用机械的方法净化泥浆,保证孔内的安全。

6 结语

在岩溶地层中成孔,根据回转和冲击钻进工艺对地层的适应性等因素综合考虑,选用施工工艺和设备。实践证明,在以粘性土、砂砾层为主的第四系地层,采用气举反循环回转钻进工艺,保证安全的情况下能够取得明显的进尺效率。在破碎、岩溶发育的基岩地层,使用冲击反循环钻进工艺,采取相应的工艺措施,能够保证钻孔的质量安全,并能够取得较好的进尺效率,是处理岩溶发育复杂地层的有效方法。

参考文献:

- [1] 铁道部大桥勘测设计院. 蔡家湾特大桥施工图设计[R]. 2007.
- [2] TB 10203-2002, 铁路桥涵施工规范[S].
- [3] 靖向党. 钻孔工程[M]. 北京:冶金工业出版社, 1999.