



2018 第十二届
SUPER PILE WORLD
国际大口径工程井(桩)
高峰论坛

时间：2018年10月17-19日

地点：南京·江苏省会议中心(南京市玄武区中山东路307号)



演讲嘉宾介绍

丁明，男，从事煤矿竖井和大型桥桩钻进施工和钻机设计35年，教授级高级工程师，安徽省学术与技术带头人。

竖向复合式掘进机

——基于体积破碎的钻机设计

丁明

亨通海洋工程有限公司

2018年10月18日



钻机的能力主要取决于:

1. 施加于工作面的钻压;
2. 提供给钻头的扭矩;
3. 钻具的转速;
4. 最大的提升能力;
5. 排除工作面钻渣的效率。



**海上风电嵌岩单桩施工效率不理想
——源于钻机的能力不足**

扭矩不足, 扭矩 $\leq 1000\text{KN}\cdot\text{m}$
钻压不足, 钻压 $\leq 150\text{T}$
排渣效率低, 只有一个吸收口



海上风电嵌岩单桩的技术指标:

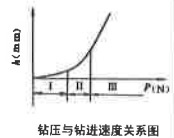
嵌岩钻孔深度约60m
钻孔直径 $\Phi 5.5\text{m} \sim \Phi 7.5\text{m}$
岩石强度80Mpa~130Mpa
岩性为花岗岩等



※钻压——钻头作用在工作面上的压力

钻压与钻进速度的关系曲线可分为三个区段

1. 表面破碎: 滚刀与岩石的接触压力远小于岩石硬度, 切削具不能压入岩石。岩石的破碎是由接触摩擦功引起, 钻进速度低。这种变形破碎方式称为岩石的表面破碎区。
2. 疲劳破碎: 钻压继续增加, 但仍小于岩石硬度, 切削具使岩石晶间联系破坏, 多次加载疲劳裂纹发展从多裂隙交错产生岩粒分离, 称为疲劳破碎区。
3. 体积破碎: 钻压进一步增加, 切削具接触应力大于岩石硬度, 切削具有效切入岩石, 切下岩屑, 称为体积破碎, 会分离出大块岩石, 破碎效果好。



※钻压——钻头作用在工作面上的压力

体积破碎时的钻压

1. 采用滚刀

$$P = \frac{K P_0 (D-d)}{2 \cos \alpha}$$

式中: P ——钻压, KN;
 K ——刀刃破岩系数, 取 $K=1.5$;
 P_0 ——岩石推进比压值, N/mm²;
 D ——扩孔钻头直径, mm;
 d ——超前钻头直径, mm; $d=0$;
 α ——钻头并底角, °; $\alpha=0^\circ$;

钻压(P) 比压	钻头直径	D=6000	D=6500	D=7000	D=7500
$P_0=300$ (抗压强度 60Mpa)		135	146	158	168
$P_0=350$ (抗压强度 100Mpa)		158	171	184	197
$P_0=400$ (抗压强度 120Mpa)		180	195	210	225
$P_0=450$ (抗压强度 150Mpa)		202	219	236	253



※钻压——钻头作用在工作面上的压力

体积破碎时的钻压

2. 采用盘刀

$$P = m F_V$$

$$F_V = D_0^2 \mu^2 \left[\frac{4}{3} \sigma_c + 2r \left(\frac{S}{h} - 2 \tan \frac{\epsilon}{2} \right) \right] \tan \frac{\epsilon}{2}$$

式中: P ——钻压, KN;
 m ——钻头上的盘刀数量;
 F_V ——盘刀破岩所需的总推力, N;
 σ_c ——岩石单轴抗压强度, N/mm²;
 r ——岩石无侧限抗压强度, N/mm²;
 D_0 ——盘刀直径, $D_0=432\text{mm}$;
 ϵ ——盘刀刃角, rad;
 S ——切槽间距, mm;
 h ——盘刀刃深, mm;



钻压(P) 岩石强度 刀数	$\sigma_c=80$	$\sigma_c=100$	$\sigma_c=120$	$\sigma_c=130$
$m=40$	100	146	195	249
$m=45$	125	176	232	299
$m=50$	150	210	280	360
$m=55$	175	248	330	415

钻头直径 $\Phi 6\text{m} \sim 7.5\text{m}$ $S=75\text{mm}$ $h=5\text{mm}$ $\mu=0.1$



※扭矩——钻头的旋转能力



1.采用滚刀

$$M=KPR_0$$

式中：M——钻机扭矩，KNm；
K——钻头旋转阻力系数，K=0.1~0.3，取K=0.3；
P——钻压，KN；
 R_0 ——扭矩换算半径， $R_0=D/3$ ，m；
D——钻头直径，m；

扭矩(KNm)	钻头直径	D=6	D=6.5	D=7	D=7.5
①+抗压强度 80MPa	岩石硬度	816	950	1110	1278
②+抗压强度 100MPa		950	1112	1288	1478
③+抗压强度 120MPa		1090	1268	1470	1688
④+抗压强度 150MPa		1218	1424	1652	1898

目前，绝大多数钻机不具有这样的输出。

※扭矩——钻头的旋转能力



2.采用盘刀

$$M=\beta D^2$$

式中：M——钻机扭矩，KNm；
D——钻头直径，m；
 β ——扭矩系数，一般取 $\beta=6.0$ ；

目前的钻机达不到这样的输出。

项 目	钻头直径 (m)			
	6	6.5	7	7.5
扭矩 (KNm)	2160	2535	2820	3375

※洗井——排除钻渣的效率



洗井——泥浆对钻孔工作面的冲洗，并携带钻屑及时排出的能力。是反映钻进效率、钻机能力的重要指标。

好的钻机不仅能“磨”也能“冲”！

※洗井——排除钻渣的效率



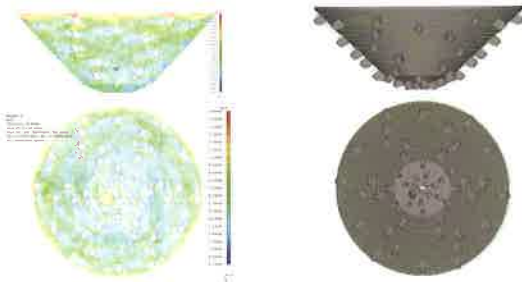
目前，不管是锥形钻头还是平底钻头，一般只有一个吸收排渣口，即使设置几个吸收排渣口，由于只有一个混合器，真正起作用的也只有一个。吸收排渣口一般布置在钻头的中心区域。



※洗井——排除钻渣的效率



根据计算机模拟钻孔工作面泥浆流动情况分析，有时，泥浆要旋转16圈才能被吸收。



※解决之道——扭矩



动力头的驱动采用特种变频电机代替液压马达，简化传动结构，提高传动效率。

- 1.电机型号：YDGP355L2-6-H变频电机
- 2.额定功率280kw
- 3.台数：6台
- 4.电源：440v60Hz/380v50Hz
- 5.动力头速比：241
- 6.最大输出扭矩：3965kNm
- 7.最大输出转速9r/min
- 8.传动效率：大于97%
- 9.负载能力：900t





2018 第十二届
SUPER PILE WORLD
国际大口径工程井（桩）
高峰论坛

时间：2018年10月17-19日

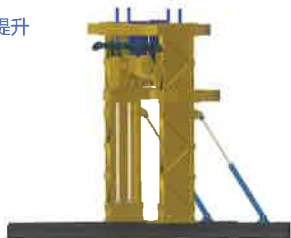
地点：南京·江苏省会议中心（南京市玄武区中山东路307号）

※解决之道——钻压



钻机的4根主油缸能提供900t的提升力和600t的下压力。

- 1.缸径400mm
- 2.杆径280mm
- 3.行程7000mm
- 4.工作压力25Mpa



※解决之道——钻压



钻杆采用Q460C直缝钢管制作，在连接长度80m可确保900t钻压传递不失稳。

- 1.钢管规格Φ1100mm×32mm
- 2.钻杆长度4.5m
- 3.钻杆通道Φ500mm
- 4.钻杆采用法兰盘螺栓连接



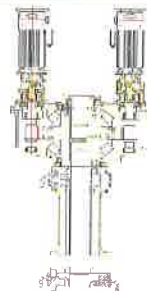
※解决之道——钻压



※解决之道——排渣能力



动力头与配风装置组合，形成3个独立的压缩空气通道，将来自3台空压机的气源通过钻杆向钻头上的3个混合器输送。特点是：各自独立，互不影响，确保每个混合器的工作效果，确保钻头上的吸收口排渣效果。



※解决之道——排渣能力



※解决之道——排渣能力



钻杆的3根风管均布在钻杆内外管的夹层中，每根风管通气量30m³/min，风管规格Φ76×6mm，确保气路顺畅，确保泥浆循环量达2000n³/h。





2018 第十二届
SUPER PILE WORLD
国际大口径工程井(桩)
高峰论坛

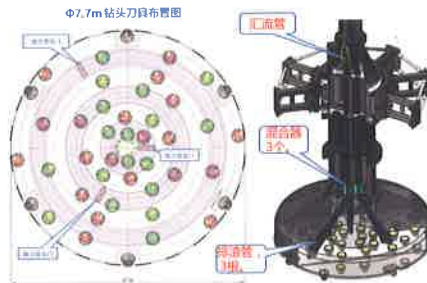
时间：2018年10月17-19日

地点：南京·江苏省会议中心(南京市玄武区中山东路307号)

※解决之道——排渣能力



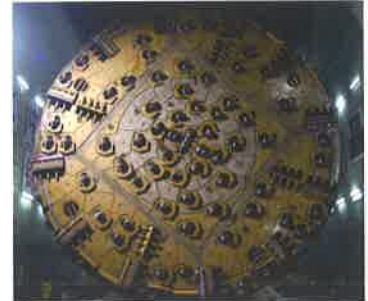
钻头上的三个吸收口布置在三个不同的直径上,形成3个环形排渣空间,确保排渣无死角。吸收口长550mm,宽150mm,渐渐过渡到Φ285mm;在钻头变径处汇流到Φ500mm泥浆管中,确保泥浆流畅。



※解决之道——强力破岩



由于钻机的能力大,可以采用TBM隧道掘进机的17吋盘刀破岩,达到体积破碎,极大的提高岩石钻进速度。



※解决之道——强力破岩



根据地层的不同,可以选择各种类型的牙轮滚刀破岩。



※解决之道——强力破岩



球齿、盘形球齿和啃齿滚刀

※竖向复合式掘进机-性能参数



竖向复合式掘进机功能参数

序	名称	参数	备注
1	井口直径 (mm)	1500/1500/1500	最大直径 1500mm
2	整机重量 (kg)	3000	
3	整机长度 (mm)	2200	
4	整机宽度 (mm)	2200	
5	整机高度 (mm)	2200	
6	整机功率 (kW)	300	
7	整机扭矩 (Nm)	3000	
8	整机转速 (rpm)	1500	
9	整机效率 (%)	80	
10	整机寿命 (h)	10000	
11	整机维护 (h)	1000	
12	整机故障 (h)	1000	
13	整机安全 (h)	1000	
14	整机环保 (h)	1000	
15	整机节能 (h)	1000	
16	整机降噪 (h)	1000	
17	整机防尘 (h)	1000	
18	整机防辐射 (h)	1000	
19	整机防电磁 (h)	1000	
20	整机防酸 (h)	1000	



※综合施工平台船——自升式平台•钻机•650t吊机



名称	规格	数量	备注
自升式平台	15000t	1	
钻机	1500mm	1	
650t吊机	650t	1	
...