



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

李伟，毕业于洛阳工学院，本科学历，现任洛阳九久科技股份有限公司董事、总经理。参与国家863项目《盾构掘进机刀盘刀具关键技术及应用》，获得洛阳市科学技术一等奖和河南省科学技术成果奖，本人为第15负责人。获得2项发明专利，多项实用专利。





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）

洛阳九久科技股份有限公司
Luoyang Jiujiu Technology Co., Ltd

主要内容

- 大口径桩孔施工中普通滚刀及其应用
- 大口径风电桩孔、跨海桥桩孔
新型滚刀的创新及应用
- 滚刀改进的趋势

用户至上 质量第一 诚信为本 协作合作 中国·洛阳

洛阳九久科技股份有限公司
Luoyang Jiujiu Technology Co., Ltd

01 大口径桩孔施工中普通滚刀及其应用

PART ONE

用户至上 质量第一 诚信为本 协作合作 中国·洛阳

洛阳九久科技股份有限公司
Luoyang Jiujiu Technology Co., Ltd

竖井钻孔作为一种垂直或略有倾角的桩基孔施工工法，被广泛应用于桥梁、矿山、风电等桩基钻孔施工领域。本文通过介绍多个大口径特殊桩基钻孔用滚刀的应用实例，讨论了竖井滚刀在大口径特殊桩基孔施工中，适应地层及工况方面的各种创新与尝试，探索总结如何改进钻井滚刀结构来满足近海风电桩孔及跨海桥桩孔的施工要求。这种桩孔具有孔径大、地质坚硬、施工周期短、海上风浪大、不易换刀等特点，对滚刀的可靠性要求很高。

用户至上 质量第一 诚信为本 协作合作 中国·洛阳

洛阳九久科技股份有限公司
Luoyang Jiujiu Technology Co., Ltd

1.1 目前，在陆地和内河岩性地层桩孔施工工程中，使用较多的滚刀通常为12寸球齿滚刀。该滚刀具有适应环境种类多样化的特点。为了更好的分析研究滚刀在复杂地层的使用效果，需要对滚刀进行承载力计算。

表1：12寸球齿滚刀基本参数

| 滚刀尺寸 | 滚刀锥角 | 大端直径 | 小端直径 | 轴承滚柱 | 合金抗弯强度(MPa) |
|------|------|------|------|----------------------------|-------------|
| 12英寸 | 10° | φ282 | 227 | φ14×20 (径向) φ11×11 (推力) | 2850 |

用户至上 质量第一 诚信为本 协作合作 中国·洛阳

洛阳九久科技股份有限公司
Luoyang Jiujiu Technology Co., Ltd

12寸通用滚刀适用径向轴承为两组不同数目的圆柱滚子轴承，滚柱外形为φ14×20。轴向轴承为两组相同的圆柱滚子轴承，滚柱规格为φ11×11。
径向滚子轴承的基本额定动载荷 C_r 依公式

$$C_r = b_m f_c (i L_{we} \cos \alpha)^{7/9} Z^{3/4} D_{we}^{29/27}$$

式中，
 b_m —当代常用高质量淬硬轴承钢和良好加工方法的额定系数； $b_m=1.1$
 D_{we} —用于额定载荷计算的滚子直径(mm)； $D_{we} = 14$
 D_{pw} —滚子轴颈直径(mm)； $D_{pw} = 112$
 α —轴承公称接触角； $\alpha = 0^\circ$ ， $\cos \alpha = 1$
 $D_{we}/D_{pw} = 14/112 = 0.125$ ，
 f_c —与轴承零件几何形状、制造精度及材料有关的系数向心滚子轴承 f_c 的最大值，按上表选 $f_c=86.4$
 i —轴承中滚子的列数； $i=3$
 L_{we} —用于额定载荷计算的滚子长度(mm)； $L_{we} = 18.4$ ；
 Z —单列轴承中的滚子数； $Z=25$
 将以上代入公式，
 大端圆柱滚子轴承径向额定动载荷 $C_{r1} = 433.8\text{KN}$
 同上，小端圆柱滚子轴承径向承载 $C_{r2} = 289.2\text{KN}$ 。

用户至上 质量第一 诚信为本 协作合作
故12寸普通滚刀径向额定动承载为 C_{r1} ， $C_{r2} = 433.8 + 289.2 = 723.1\text{KN}$

中国·洛阳

洛阳九久科技股份有限公司
Luoyang Jiujiu Technology Co., Ltd

表2：滚子轴承 $\alpha=90^\circ$ 的 f_c 的最大值

| $D_w \cos \alpha / D_{pw}$ | f_c | $D_w \cos \alpha / D_{pw}$ | f_c |
|----------------------------|-------|----------------------------|-------|
| 0.11 | 85.4 | 0.16 | 88.5 |
| 0.12 | 86.4 | 0.17 | 88.7 |
| 0.13 | 87.1 | 0.18 | 88.8 |
| 0.14 | 87.7 | 0.19 | 88.8 |
| 0.15 | 88.2 | 0.2 | 88.7 |

引自 $D_w \cos \alpha / D_{pw}$ 的平均值，其他可用线性内插法求得。

用户至上 质量第一 诚信为本 协作合作 中国·洛阳



洛阳九久科技股份有限公司
Luoyang Jiujiu Technology Co., Ltd

轴向往柱滚子推力轴承(滚柱外形Φ11×11),由两组成对组装,单向受力,故只计算单组推力轴承,其轴向额定动载荷Ca为:

$$C_a = b_m f_c L_{we}^{1/3} Z^{3/4} D_{pw}^{29/27}$$

式中,

b_m —当代常用高质量淬硬轴承钢和良好加工方法的额定系数; $b_m=1$

D_{we} —用于额定载荷计算的滚子直径(mm); $D_{we}=11$

D_{pw} —滚子组节圆直径(mm); $D_{pw}=137$

$D_{we}/D_{pw}=11/137=0.080$,

f_c —与轴承零件几何形状、制造精度及材料有关的系数;按下表选 $f_c=167.2$

L_{we} —用于额定载荷计算的滚子长度(mm); $L_{we}=10.2$;

Z —单列轴承中的滚子数; $Z=24$

将以上数据代入公式得出,

推力滚子轴承(Φ11×11)轴向额定动载荷=141.9KN

表3: 推力滚子轴承 $\alpha=90^\circ$ 的 f_c 的最大值

| D_{pw}/D_{we} | f_c | D_{pw}/D_{we} | f_c | D_{pw}/D_{we} | f_c |
|-----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|
| 0.05 | 150.7 | 0.09 | 171.7 | 0.13 | 185.3 |
| 0.06 | 160.9 | 0.10 | 175.7 | 0.14 | 189.4 |
| 0.07 | 167.2 | 0.11 | 178.5 | 0.15 | 192.3 |
| 0.08 | 167.2 | 0.12 | 183 | 0.16 | 195.1 |
| | | | | 0.2 | 205 |

用户至上 质量第一 诚信为本 协作合作

中国·洛阳



洛阳九久科技股份有限公司
Luoyang Jiujiu Technology Co., Ltd

1.2. 福建平潭跨海大桥应用实例。

该工地使用的是通用的12寸3°球齿滚刀,所用的钻头、滚刀、刀齿、岩石及钻进效率数据如下表:

表4: 平潭跨海大桥钻进数据表

| 钻头直径 | 最硬岩层 | 最硬岩层钻进效率 | 总钻进 | 滚刀数量 | 平均承压 | 滚刀结构 | 滚刀型号 |
|-------|-----------------|----------|------|------|------|------|--------------|
| Φ4.5m | 花岗岩 (160MPa) | 40mm/h | 160T | 32 | 51 | 满齿 | 1927 (R5) |

滚刀为满齿滚刀,在大孔径位置使用了3°滚刀代替小孔径使用的10°滚刀,这样的滚刀在轴向受力更少,更适合布置在大直径位置,能抵抗更多的承载及冲击。

用户至上 质量第一 诚信为本 协作合作

中国·洛阳



洛阳九久科技股份有限公司
Luoyang Jiujiu Technology Co., Ltd

滚刀在此工况下承载校核:

单刀实际静载荷(正压力) $F=5Tg$,

推力轴承额定承载 $F=141.9KN$

考虑边滚刀受力最复杂,为危险点,校核是时应除角度系数 $\cos 42^\circ$:得

滚刀安全系数

$$n = \frac{F_r}{F \cos 42^\circ} = \frac{142000}{50000 \times 0.743} = 3.82$$

由于安全系数为3.82>3,故轴承承载符合要求。

用户至上 质量第一 诚信为本 协作合作

中国·洛阳



洛阳九久科技股份有限公司
Luoyang Jiujiu Technology Co., Ltd

该工地反映出的滚刀及钻头的主要问题有:

大孔径硬岩地层的环境下,若钻压太小(配重太轻)会导致不进尺,钻压增大后,刀盘在运行中,上部发生普遍的剧烈摇摆现象。经研究后认为这种现象是钻压上升及岩石太硬导致的必然结果。为解决这一现象,最直接的方法是升级整个钻机、钻具系统的材质及机械性能,但如此制作代价太大。摇摆震动现象会导致整个钻具系统寿命的缩短及钻进效率的大幅降低。成孔后,对孔壁的测量结果表明,土方超出20%左右。该结果为钻具整体晃动导致孔壁扩大所致。这一现象同样会影响到刀盘体结构的寿命。刀盘体正面的任何螺栓和非圆形开孔都会在这种剧烈震动下导致开裂。

在平潭工地的经验中,设计者认为首先必须强化刀齿,因此在接下来的工地选用了更坚固的齿型。

用户至上 质量第一 诚信为本 协作合作

中国·洛阳



洛阳九久科技股份有限公司
Luoyang Jiujiu Technology Co., Ltd

1.3. 海南铺前大桥应用实例

海南铺前大桥,该工地使用的仍是通用的12寸3°球齿滚刀,该工地对刀齿为进行改进,使用1925(R7)的齿型,齿顶角变大后,同时降低了外露高度。这样就能抵抗更多正压力和轴向冲击。使用数据如下表:

表5: 铺前大桥钻进效率参数表

| 钻头直径 | 最硬岩层 | 最硬岩层钻进效率 | 总钻进 | 滚刀数量 | 平均承压 | 滚刀结构 | 滚刀型号 |
|-------|-----------------|----------|------|------|------|------|----------|
| Φ4.5m | 花岗岩 (160MPa) | 40mm/h | 170T | 32 | 51 | 满齿 | 1925(R7) |

实际使用时,该工地的钻进效率有明显上升(50%),但是刀齿的寿命却没有大幅度提高。此工地的改良初衷是将齿变钝,即改变刀齿的齿顶圆角,从而提高抗冲击性,增加刀齿寿命。但实际运行时,滚刀寿命并没有因此改变。滚刀消耗速度和平潭工基本相似,由于该工地的滚刀实际使用承压小于平潭工地,故不做校核。

用户至上 质量第一 诚信为本 协作合作

中国·洛阳



洛阳九久科技股份有限公司
Luoyang Jiujiu Technology Co., Ltd

1、4、从上述两个工地中可以得出如下结论:

通过增加正压力(配重)来提高大孔径刀盘钻孔效率的方法是待商榷的,实际效果并不理想。单纯的增加正压力会导致刀齿寿命缩短。刀齿变钝后承受的轴向冲击更大,造成的结果就是刀齿和齿孔更容易变形、损坏。即便是将刀齿变钝,也无法提高单齿所能承受的压力。

因此,提高滚刀钻进效率必须使用另外的方法。设计者认为最好的方法是通过减少刀齿数目适当提高单齿压力,同时强化滚刀,提高滚刀承载和刀齿自身寿命,这样的方法会更合适。此方法不仅可直接减少钻机摆动,提高钻进效率。同时不会使刀齿受力过大,导致寿命大幅减少。

用户至上 质量第一 诚信为本 协作合作

中国·洛阳



洛阳九久科技股份有限公司
Luoyang Jiujiu Technology Co., Ltd

02

大口径风电桩孔、跨海桥桩孔 新型滚刀的创新及应用

PART two

用户至上 质量第一 诚信为本 协力合作

中国·洛阳



洛阳九久科技股份有限公司
Luoyang Jiujiu Technology Co., Ltd

二、大口径风电桩孔、跨海桥桩孔新型滚刀的创新及应用

具体创新内容分为以下几点：

2、1、减少刀齿数目，从而增大单齿压强。单刀的破岩面积S除非加大滚刀外形，否则无法改变。因此，若想增大单齿压强，最好的方法应该减少刀齿数目。

借鉴于盾构机上用的盘式滚刀，设计者希望使用减少刀齿数目的方法来增大单齿压强。两种滚刀布齿方法的破岩机理是不同的。

由下图可见，盘式滚刀的破岩机理称为体积破碎，而满齿滚刀则倾向于刮削和碾压。由于齿更少，相同正压力的前提下，破岩面更宽，贯入度更大。两把盘式滚刀环槽互补，分次破碎，能够提升破岩效率。

用户至上 质量第一 诚信为本 协力合作

中国·洛阳



洛阳九久科技股份有限公司
Luoyang Jiujiu Technology Co., Ltd

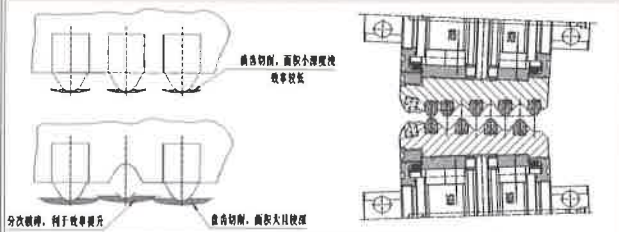


图1：满齿滚刀破岩机理（左上）与盘式滚刀破岩机理（左下）
5、6环式互补型盘式滚刀（右），滚柱Φ25x30

用户至上 质量第一 诚信为本 协力合作

中国·洛阳



洛阳九久科技股份有限公司
Luoyang Jiujiu Technology Co., Ltd

按照破岩破岩公式，单齿破岩效果正比于齿受的压强 $\sigma = \frac{F}{S}$

其中，当正压力F变化不大的情况下，减少同时接触岩面的齿数n，可提升压强 σ ，提高钻进效果。

设计者将盘式滚刀的结构运用到竖井钻滚刀上，开发出了互补式的两种不同齿数、不同环带的竖井盘式滚刀（图2）。两把滚刀处在刀盘上位置半径相同，同时破岩带互补。这样立即减少了刀齿数目，又不需要特意增加配重提高正压力，就能达到降低所有零部件风险的目的，保证钻具钻进稳定性，提高工作效率。

用户至上 质量第一 诚信为本 协力合作

中国·洛阳



洛阳九久科技股份有限公司
Luoyang Jiujiu Technology Co., Ltd

2.2、强化滚刀及其内部结构，尤其是强化轴承承载。改变其外形尺寸及材质。从而减少窜轴、漏油等损坏情况的出现。核心目的在于加强滚刀内部最薄弱的位置——轴承滚柱，作出相应的修改来适应更大承载的工况。更改后的轴承滚柱的承载计算如下：

用户至上 质量第一 诚信为本 协力合作

中国·洛阳



洛阳九久科技股份有限公司
Luoyang Jiujiu Technology Co., Ltd

圆柱滚子轴承(Φ25×30)径向承载的计算：

向心滚子轴承的径向基本额定动载荷 C_r $C_r = b_n \cdot f_c \cdot (i L_w \cdot \cos \alpha)^{7/9} \cdot Z^{29/27} \cdot D_{we}^{29/27}$

式中 b_m —当代常用高质量淬硬轴承钢和良好加工方法的额定系数；

$b_m=1.1$

f_c —与轴承零件几何形状、制造精度及材料有关的系数； $f_c=88.8$

D_{we} —用于额定载荷计算的滚子直径(mm)； $D_{we}=25$

D_{pw} —滚子组节圆直径(mm)； $D_{pw}=129$

$D_{we}/D_{pw}=25/129=0.19$ ，按此选 $f_c=88.8$

i —轴承中滚子的列数； $i=2$

L_w —用于额定载荷计算的滚子长度(mm)； $L_w=28.4$ ；

α —轴承公称接触角($^\circ$)； $\alpha=0^\circ$ ， $\cos \alpha=1$

Z —单列轴承中的滚子数； $Z=16$

将以上数据代入公式得出，大端圆柱滚子(Φ25×30)径向额定动载荷 C_{r1}

$=573.8\text{KN}$

同上，小端圆柱滚子轴承(Φ25×30)径向承载 $C_r=423.1\text{KN}$ 。

故改进后12寸重载滚刀径向承载为573.8+423.1=996.9KN

同理，可依照公式

$C_n = b_n \cdot f_c \cdot L_{we}^{7/9} \cdot Z^{29/27} \cdot D_{we}^{29/27}$

用户至上 质量第一 诚信为本 协力合作

计算得出12寸重载滚刀轴向(Φ14x14)轴向承载为238.6KN

中国·洛阳



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）



洛阳九久科技股份有限公司
Luoyang Jiujiu Technology Co., Ltd

表6：改进前后的滚刀承载能力对比

| | 径向额定载荷 | 轴向额定载荷 |
|-----|-----------------------|------------------------|
| 标准型 | 723 kN | 111 kN |
| 重载型 | 996 kN (较标准型增加38%) | 238 kN (较标准型增加113%) |

可以看到更改后的轴承滚柱径向承载上升38%左右，轴向承载上升68%。

用户至上 质量第一 诚信为本 协作合作

中国·洛阳



洛阳九久科技股份有限公司
Luoyang Jiujiu Technology Co., Ltd

2.3、强化齿型材质。在对齿的失效形式进行了分析后，设计者认为断齿现象较掉齿现象更为严重。因此，在合金材料性能方面，设计者决定适当的降低合金的硬度，提高合金的抗弯强度。这样做能够提高了合金的抗冲击能力，减少断齿现象的发生。改进后使用效果非常明显。

表7：常见的合金性能对比

| 牌号 | 硬度 HRA | 抗弯强度 MPa |
|-------|--------|----------|
| YG10C | 87.6 | 2800 |
| YG11C | 87.1 | 2850 |
| YG13C | 86.5 | 2900 |

用户至上 质量第一 诚信为本 协作合作

中国·洛阳



洛阳九久科技股份有限公司
Luoyang Jiujiu Technology Co., Ltd

2.4在更改轴承及滚柱后，各装配尺寸如刀轴与轴承、轴承与刀体、以及各个滚柱的配合公差都进行了调整，使装配更加精密，提升了产品质量。在平海湾大桥项目中，各种改进型滚刀均被实践应用。



图2为5、6环盘式模型齿滚刀。楔形齿较炮锤齿能够抵抗更多的轴向冲击，寿命更长。同时由于环距更小，齿数减少量较低，故在使用寿命方面与满齿滚刀相差不多。钻进效率却有大幅度提升。

用户至上 质量第一 诚信为本 协作合作

中国·洛阳



洛阳九久科技股份有限公司
Luoyang Jiujiu Technology Co., Ltd

表8：平海湾风电基础钻进数据表

| 刀齿直径 | 切削刃型 | 切削刃齿数 | 切削刃齿距 | 滚刀结构 | 滚刀齿型 |
|--------|------|-------|-------|------|------|
| 96.4mm | 花键型 | 90齿/齿 | 4.1T | 齿齿 | 满齿型 |

用户至上 质量第一 诚信为本 协作合作

中国·洛阳



洛阳九久科技股份有限公司
Luoyang Jiujiu Technology Co., Ltd

03

滚刀改进的趋势

PART three

用户至上 质量第一 诚信为本 协作合作

中国·洛阳



洛阳九久科技股份有限公司
Luoyang Jiujiu Technology Co., Ltd

三：滚刀改进的趋势

随着时代的发展进步，工程用竖井钻孔的应用范围逐渐由陆地、河流发展到近海和岛礁，所钻地层岩性越来越复杂，所钻桩孔直径越来越大，越来越多的应用于沿海的风电桩孔或跨海桥桩孔各个领域。风电桩孔和跨海桥桩孔的施工环境往往有台风，工期必须缩短在无风季进行，故而施工效率必须提高。因此，需要设计制造更优良的竖井滚刀来适应该环境下恶劣的施工要求。

综上所述，为适应新环境，我们开发设计了新式的滚刀，相比于陆地、内河桥梁桩孔施工用普通滚刀，我们将滚刀内部结构及刀体外部结构都作了较多的改进，以提高滚刀的抗冲击承载力、破岩效率和使用寿命。

希望滚刀制作技术能够不断进步与提高。

用户至上 质量第一 诚信为本 协作合作

中国·洛阳