大直径潜孔锤与长螺旋多功能桩机组合引孔技术

刘起霞[1, 2] 李慧生[3]
（1.河南工业大学 郑州 450001，2.武汉理工大学 武汉 430074
3. 广州市地平线岩土工程有限公司 广州 510450）

摘要：本文从工程实际出发，为解决复杂地层的钻进问题，提高施工效率，将大直径潜孔锤与带有特制长螺旋钻杆的多功能桩机相结合，具有设备简单、速度快、效果好、成本低等特点，能快速钻穿卵砾石层、块石、微风化基岩，深度可达 25m 以上，目前已经广泛用于预制桩的埋入式工法、长螺旋嵌岩桩、灌注桩入岩等。该工法的研究不仅首次应用，而且具有广泛的实际意义和理论意义。

关键词：潜孔锤 长螺旋 组合钻具 引孔技术

作者简介：刘起霞（1965- ），女，湖北松滋人，硕士，从事基础工程、地基处理等方面的研究。E-mail：liuqixia65@163.com
李慧生（1965- ），男，河南登封人，学士，从事基础工程、钻具相关方面的研究。E-mail：86606826@163.com

1 引言

预制混凝土桩、长螺旋灌注桩、CFG 桩等在桩基础中被广泛采用，但其若遇上粒径大层位厚的卵砾石层、风化孤石、岩石夹层、炸山块石填土层、基岩地层等复杂地层，则无法穿过，设计人员通常处理方法为放弃上述桩型，采用最原始适用性最强的冲孔桩方法处理，既增加工程成本，又为工期增加很多不确定因素。

潜孔锤是破碎岩石的最有效手段，大直径潜孔锤（直径 300㎜ 以上）应用到桩基施工领域，在日本、韩国已经是很成熟的工艺，是使用比例最高的桩型之一，但由于其施工设备价值高，工艺复杂，施工成本高，在国内始终没有得到有效推广。

从 2001 年大亚湾中海壳牌石油项目开始，我们利用现有简单设备组合，加上特制的钻杆、潜孔锤，在潜孔锤引孔施工方面进行了大量的探索，研究出一套适合中国国情的大直径潜孔锤组合引孔技术，本文对这套技术的设备组成、技术原理、参数选择及应用案例进行简单介绍。

2 大直径潜孔锤组合引孔技术的设备组成

2.1 桩机

我们的大直径潜孔锤组合引孔技术采用山东卓力机械 60-120 型履带式多功能桩机，根据不同需求选用不同型号。该桩机行走灵活，可以 360 度旋转，起拔力大，机架高，不用拆换钻具就能一次性满足深孔作业，完全能满足潜孔锤引孔的需要。

2.2 潜孔锤

在大直径潜孔锤组合引孔技术使用过程中，引孔直径 600mm 以内潜孔锤，自主设计，委托加工，国内多个厂家都可以生产。针对不同岩石结构，采用不同风压的潜孔锤（见图 1）。

图 1 大直径潜孔锤

2.3 空压机

英格索兰 1300 型大风量空压机是喷油单级双螺杆压缩机，采用高效带轮（或轴器）传动，带动主机转动进行空气压缩，通过喷油对主机压缩腔进行冷却和润滑，压缩腔排出的空气和油混合气体经过粗、精两道分离，将压缩空气中的油分离出来，最后得到洁净的压缩空气。

2.4 钻杆

选用优质冷拔无缝钢管，符合 API 5CT 要求的 J55 管材，管端加厚后摩擦焊接，以及焊缝中频回火保证接头与管体之间没有薄弱环节，按 API 标准生产的接头螺纹，经表面氮化处理后具有更高的使

用寿命及可靠性。接头、管体自主设计，委托加工，可根据不同需求分别采用圆形丝扣加固定卡块连接和内六方加插销连接（见图 2）两种类型。

图 2　内六方加插销连接

3 技术原理

以长螺旋多功能桩机做桩架，以长螺旋动力头做旋转动力，在特制的钻杆下悬挂风动式潜孔锤，潜孔锤冲击破碎岩石的同时，动力头带动钻杆及潜孔锤进行适度的钻压与回转钻进，既能研磨刻碎岩石，又能使潜孔锤击打位置不停的变化，使潜孔锤底部的合金突出点每次都击打在不同位置，风动潜孔锤的空气既能冷却钻头又能将破碎的岩屑吹离孔底并排出孔口，达到快速破碎岩石的作用。

4 设备选型及技术参数分析

4.1 风压

潜孔锤分为高风压（压力一般为 1MPa～2.4MPa，常用压力为 1.8MPa）和中低风压（压力一般为 0.5MPa～1.0MPa，常用压力 0.7～0.8MPa）。

直径 300㎜ 以上，600㎜ 以内的潜孔锤，国内已有多家单位可以生产，高风压的价格比低风压的大约高一倍，类似的进口设备相当于国产设备价格的 3-5 倍以上，直接影响了其使用率。针对不同的地层，使用不同风压的潜孔锤。软质岩石，对打击力要求较低，可采用低风压的，设备价格便宜，风险小，成本低。硬质岩石使用高风压，打击力大，效率高，能耗小。针对不同的地质情况、岩石结构，采用不同风压的设备，理论上讲，高风压设备效率会高一些。

在埋入式管桩、长螺旋嵌岩桩领域的应用都是在 600mm 以内，我们长期的工程实践证明，600mm 直径以内引孔，高风压和中低风压设备的效率区别不大，中低风压设备的效率也比较高。

不同风压的潜孔锤的经济比较见表 1。从表 1 中可以看出：高风压和中低风压的潜孔锤价格、空压机型号、空压机耗油量等有较大区别，高风压的成本大于中低风压。

超过 600mm 以上主要为进口设备或采用进口配件生产，价格较贵，目前还没有见到国产设备。

表 1　不通风压潜孔锤的经济对比

比较类别 \ 风压类型	高风压（MPa）	中低风压（MPa）
	1.5～1.8	0.7～0.8
直径 500mm 钻具（万元）	12	6
空压机租金（万元/月）	4.8	2.8
空压机耗油（L/h）	66	45

4.2 钻压

大直径潜孔锤钻进的基本工作过程，是在静压力（钻压）、冲击力和回转力三种力作用下不碎岩的。其钻压的主要作用是为保证钻头齿能与岩石紧密接触，克服冲击器及钻具的反弹力，以便有效地传递来自冲击器的冲击功。钻压过小，难以克服冲击器的工作时的背压和反弹力，直接影响冲击功的有效传递，钻压过大，将会增大回转阻力和使钻头早期磨损。

潜孔锤正常引孔，一般认为单位直径的压力值在 90kg/cm 左右。

4.3 转速

转速的高低主要和冲击器的冲击频率，规格大小以及钻岩的物理机械性质有关。一般转速选用 20r/min 左右为好，转速过高会造成钻头的严惩磨损和钻进效率的降低，由于气动潜孔锤进是以冲击碎岩的，回转是改变钻头合金的冲击破岩位置，避免重复破碎，因此，合理的转速应保证在最优的冲击间隔范围之内。

4.4 风量

空压机提供的风量其一要满足冲击器的额定风量，保证冲击器正常做功，其二须保证将孔底岩屑吹出地表，减少岩粉的重复破碎。达到理想的钻进效率，通常要求孔内风量上返速度≥15m/s，此时气流速度大于岩屑悬浮速度。根据钻孔直径、钻杆外径、排渣通道的上返风速等条件，其风量可按下式粗略计算：

$$Q = 47.1（D^2-d^2）V \qquad （1）$$

式中：Q——钻进时所需空气量，m^3/min；

D——钻孔直径，mm；

d——钻杆外径，mm；

V——环状间隙气流上返风速度，不小于 15m/s；

4.5 杆衣的作用

杆衣主要作用为减小钻杆与孔壁之间的空隙，有利于渣土吹出地表，降低能耗。

在空压机风量一定的情况下，为保证 15m/s 的排渣速度，钻杆与孔壁之间的空隙越大，需要的风量越大，通常采用加大直径方法减少空隙，杆衣的直径一般比孔径小 50mm 左右，即钻杆和孔壁之间的距离大约有 20～30mm 左右。

4.6 护套管的作用

护套管的主要作用是防止复杂地层孔壁坍塌掉块。护套管与杆衣相对固定，上端不与动力头相连，下端靠管靴（见图 3）与锤头（见图 4）相连。带护套管的锤头是特制的，顺转时，扩孔翼打开（见图 5），带动套管下行及拔出，反转时拔出潜孔锤，将套管留在孔内。

图 3 套管管靴

图 4 闭合锤头

图 5 扩孔翼打开的锤头

5 应用前景

多年来，我们将潜孔锤引孔技术主要运用于三大领域，即预制桩的埋入式工法、长螺旋嵌岩桩和大直径嵌岩灌注桩。

长螺旋嵌岩桩，是小直径嵌岩灌注桩的一种，是地平线潜孔锤项目的常规应用，其设计承载力比不入岩提高 2～3 倍，扩大了长螺旋桩的应用范围。

预制桩的埋入式工法，其应用对象有以下几种，第一，地质情况复杂，桩长变化大，直接采用预制管桩，有效桩长及承载力不能满足设计要求，必须引孔，增加桩长及承载力，否则，就只能采用冲孔灌注桩；第二，石灰岩地区，管桩不能直接使用，断桩率在 50%以上，且承载力很低，使用潜孔锤引孔后放入管桩，有效解决断桩问题，且可以充分发挥管桩的承载力，否则也只能使用冲孔桩。由于溶洞的存在，冲孔灌注桩造价高、工期长、不可预见因素多，有时一根桩就要施工半个月，大大拖延建设工期，由于桩底小空洞的存在，最后抽芯检测时，也经常满足不了要求。石灰岩地区使用冲孔桩是很多地产投资商的噩梦，但在很多情况下又是必须的选择，我们的埋入式管桩给了其第二种选择；第三，上部有复杂的填土块石或岩石夹层，限制了大多数桩型工法的使用，只能使用冲孔桩、埋入式管桩、长螺旋嵌岩桩，别无选择。

大直径嵌岩灌注桩也是在特定的环境下，其他桩型都无法采用时应用。

总之，潜孔锤工法的成本大于各种常规工法，一般都是在特定的地质情况下，或特定的环境下，各种常规桩型无法使用，或者造价、工期、施工过程等不可预见的情况下使用。

5.1 案例 1：清远市碧海云天花园工程

碧海云天花园工程位于广东省清远市，楼高 28 层，地质概况如下：覆盖层 7～15m，其下为块状石灰岩，长螺旋素砼桩复合地基承载力不够；灰岩地区直接打管桩不适合，断桩率高；采用冲孔桩不可预见因素多，造价高，工期长。

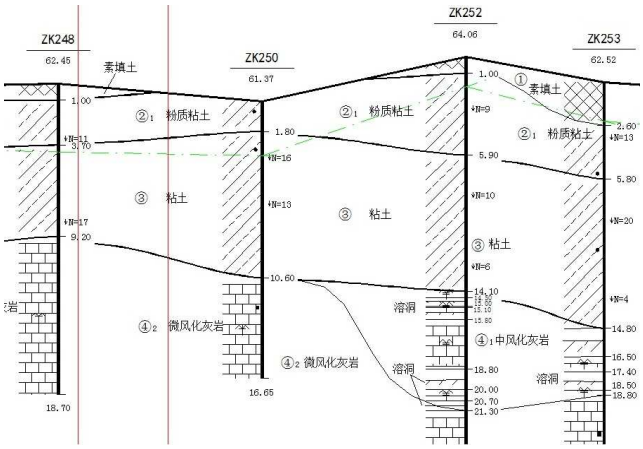

图 6 碧海云天花园工程地质剖面图

设计选择埋入式管桩，桩径 500mm，引孔直径 500mm，潜孔锤引孔后，直接放入管桩锤击终桩。采用柱下承台布桩，单桩承载力特征值 250 吨，相对造价低，大大节省施工工期。施工后桩基检测全部满足设计要求。

5.2 案例 2：韶关凯旋华府工程

韶关凯旋华府工程位于广东省韶关市，楼高 28 层，以稳定石灰岩层作为桩端持力层，设计要求穿透 5～10m 厚卵砾石层，局部有砂岩孤石（见图 7）。

桩径 400～500mm 后插笼长螺旋钻孔灌注桩，引孔直径 400～00mm；单桩承载力特征值 150kPa。桩基检测全部满足设计要求。

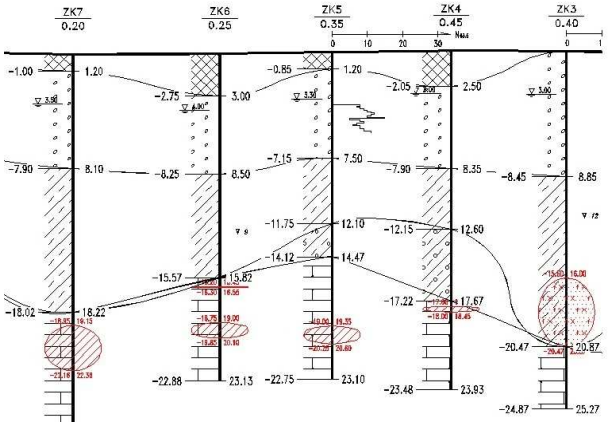

图 7 凯旋华府工程地质剖面图

5.3 案例 3：清远万科华府工程

万科华府工程位于广东省清远市，楼高 25 层。以微风化灰岩层作为桩端持力层（工程地质剖面图见图 8），设计要求桩端进入该层 1.5m 以上，桩长 8~17m。

采用桩径 500mm 后插笼长螺旋钻孔灌注桩，引孔直径 500mm；单桩承载力特征值 130 吨.

桩基检测全部满足设计要求。

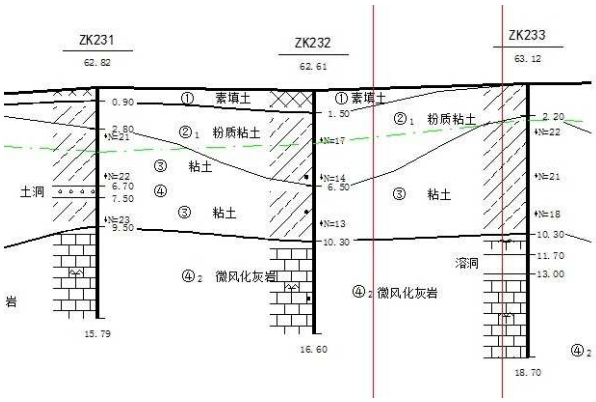

图 8 万科华府工程地质剖面图

6 结论

近年来经过大量的工程实践及反复试验研究，将大直径风动潜孔锤与长螺旋转机结合在一起，解决了漂石、砾石层及坚硬基岩等复杂地质条件的钻进问题，该施工技术具有节约成本，缩短工期，减少场地污染，保证工程质量的优点，其将对埋入式工法、长螺旋嵌岩桩在国内的发展起到重要推动作用，期望国内大直径潜孔锤的生产工艺，能有更大的发展。

参考文献：

[1]谈耀麟.潜孔锤钻进技术发展水平.岩土钻凿工程.2000.5

[2]李式仁,陈德文. 长螺旋钻孔嵌岩桩施工工艺.岩土工程学报.2001.6

[3]王平.大直径风动潜孔锤中深井孔钻进的可行性分析.地质与勘探.1990.2

[4]吴贤勇,李伟军.基岩孔钻探施工采用气动潜孔锤工艺.西部探矿工程.2011.10