

复杂地层气动潜孔锤跟管钻进最大深度的确定方法

石永泉

(成都理工大学 环境与土木工程学院, 成都 610059)

[摘要]在岩土钻掘工程中,气动潜孔锤跟管钻进技术是解决复杂地层钻进问题较为有效的方法,本文探讨了复杂地层的分类和套管侧壁摩阻力问题;阐述了气动潜孔锤跟管钻进工作原理;分析了气动潜孔锤跟管受力过程,提出了应用波动力学理论计算确定气动潜孔锤跟管钻进的最大跟进套管深度的方法。

[关键词]气动潜孔锤 跟管钻进 复杂地层 最大深度

[中图分类号]P634 [文献标识码]A [文章编号]0495-5331(2009)04-0484-04

Shi Yong-quan. Determining the maximum depth method for complex formation pneumatic DTH drilling with the casing[J]. Geology and Exploration, 2009, 45(4): 484-487.

在岩土钻掘工程中,经常会遇到复杂地层钻进问题。当前,气动潜孔锤跟管钻进技术是解决复杂地层钻进问题较为有效的方法,气动潜孔锤跟管钻进技术可分为气动潜孔锤偏心跟管钻进技术和气动潜孔锤同心跟管钻进技术^[1]。而在一定的钻进条件下,气动潜孔锤跟管护壁钻进深度是有限的,跟管钻进最大深度直接关系到工程的成本、安全性、经济效益,因此,研究气动潜孔锤跟管钻进最大深度的影响因素和其确定方法具有特别重要的意义。

1 复杂地层的种类及摩阻力

所谓复杂地层,是指难钻地层,即是指钻进、护孔、取心、控制孔斜等方面困难的地层^[2]。在钻进工作中,复杂地层按地层形成过程的不同可分为两大类:一类是由构造运动所形成的复杂地层,由地质构造运动所产生的压力、张力、剪力等作用,使岩层产生节理、裂隙、裂缝、断层和片理,特别是硬或中硬以上的脆性岩石受构造力的剧烈破坏形成复杂地层。这类地层往往位于覆盖层下部,在这类地层中钻进,会遇到保护孔壁、取心等困难问题。另一类是由外力地质作用所形成的复杂地层,即风化层、河流冲积层、洪积层、风积层。岩层经风化作用变为岩性较松散、胶结不良的风化层,而冲积、洪积、风积作用

形成的各种沉积层一般含有粘土、流砂、卵石、砾石、漂石成为复杂的地层。这类地层往往称为覆盖层,包括粘土层、淤泥层、砂层、砂卵石地层和漂卵石地层^[3]。在这类地层中钻进,会遇到钻进、保护孔壁、取心等困难问题。实践表明气动潜孔锤跟管钻进技术可以解决上述复杂地层钻进问题^[4~8]。

气动潜孔锤跟管钻进最大深度与跟进套管和地层摩阻力有直接关系。该摩阻力的大小与地层的成分和结构构造有关,理论上套管和地层摩阻力应该等于作用于套管壁上地层压力与套管和地层间摩擦系数之积。根据这种假设,套管侧壁摩阻力是随深度增加近似的三角形分布,然而,实际上侧壁摩阻力的大小和分布规律还未了解得很清楚^[9]。这里引用沉井法施工中确定井壁与地层摩阻力的方法,即该地层摩阻力与地层种类有关,每种地层单位面积摩阻力是常数见表1。采用这种方法确定套管和地层摩阻力,计算得到的气动潜孔锤跟管钻进最大深度值与工程施工结果误差不大。

2 气动潜孔锤跟管钻进工作原理

气动潜孔锤跟管钻进技术主要分为两类:气动潜孔锤偏心跟管钻进技术和气动潜孔锤同心跟管钻进技术。在气动潜孔锤同心跟管钻进技术中,管靴

[收稿日期]2009-01-12;[修订日期]2009-06-15;[责任编辑]王 梅。

[基金项目]四川省教育厅自然科学重点项目(08ZA104)。

[第一作者简介]石永泉(1963年—),男,1989年毕业于长春地质学院,硕士学位,现主要从事岩土钻掘工程、地质灾害防治工程教学、科研工作。

表 1 地层对套管外壁单位面积摩阻力

Table 1 Per unit area friction of the casing wall by formation

地层种类	外壁单位面积摩阻力 f/kPa	地层种类	外壁单位面积摩阻力 f/kPa
淤泥质粘土	15 ~ 20	粗砂与砂卵石	20 ~ 30
粘性土	25 ~ 50	破碎岩石	30 ~ 40
砂类土与砂	15 ~ 25		

通过螺纹与套管连接, 环形钻头与管靴之间通过卡簧连接。钻进时, 钻机通过钻杆一方面给钻具一个轴向推力, 另一方面带动潜孔锤、中心钻头和环形钻头实现回转运动, 潜孔锤产生动载荷作用于两钻头上。套管跟进钻孔完成后, 反转钻杆一个小角度就能将钻杆、潜孔锤、中心钻头一起提出, 环形钻头暂留孔内^[10~11]。在气动潜孔锤偏心跟管钻进技术中, 常用的是单偏心三件套 SPA 跟管钻进系统(见图 1)。该钻具由导正器、偏心扩孔钻头、中心钻头等组成。正常钻进时, 钻机正向回转, 偏心扩孔钻头张开, 钻机将回转扭距和回转运动传递给钻杆、潜孔锤、导正器、偏心扩孔钻头、中心钻头; 潜孔锤产生动载荷, 传递给偏心扩孔钻头、中心钻头及管靴; 钻机和钻具的重量提供的轴压力作用于偏心扩孔钻头、中心钻头及管靴上; 从而钻出大于套管外径的钻孔, 套管同步跟进^[12]。当需将钻具提出时, 可慢速反转钻具, 偏心扩孔钻头依靠惯性力和摩擦力收回, 整套钻具外径小于套管内径, 可将钻具提出地表, 套管留在孔内护壁。在实际生产中, 气动潜孔锤同心跟管钻进技术应用不多, 因此本文以气动潜孔锤偏心跟管钻进方法为例, 分析确定最大跟进套管深度。其实分析确定气动潜孔锤同心跟管钻进最大跟进套管深度的方法与之相似。

3 确定气动潜孔锤跟管钻进的最大跟进套管深度

在气动潜孔锤偏心跟管钻进中, 套管外壁受到孔壁及垮塌岩石的摩阻力作用, 一旦其摩阻力等于作用于套管靴上的套管自重、钻具的轴压力、气动潜孔锤最大冲击载荷之和值时, 套管便不能向下跟进, 此时钻孔深度, 即为气动潜孔锤跟管钻进的最大跟进套管深度。

在气动潜孔锤偏心跟管钻进中, 冲锤高速冲击产生的应力波, 经导正器凸肩传递给管靴和套管。设冲锤质量为 M , 撞击末速度 V_c , 导正器波阻为 m , 冲锤冲击产生的入射波 $p(t)$ 的波形会因冲锤形

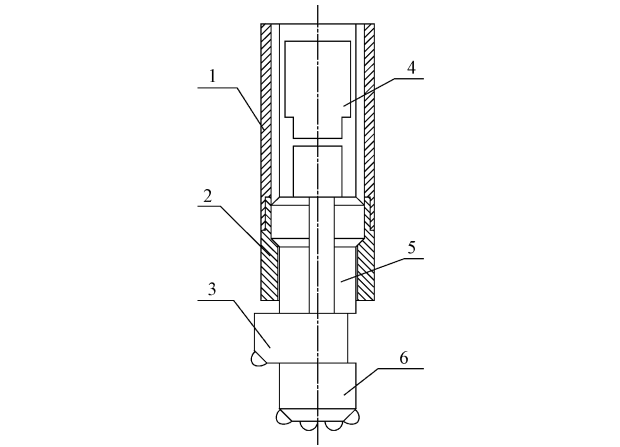


图 1 SPA 型单偏心跟管钻具示意图

Fig. 1 SPA-type single eccentric drilling toolwith the casing diagram

1—套管;2—管靴;3—偏心钻头;4—冲锤;5—导正器;
6—中心钻头

1—Casing;2—Pipe boot;3—Eccentric bit;4—Hammer;
5—Device-oriented;6—Center bit

状的不同和撞击面接触条件的不同而不同, 这里令^[13]:

$$p(t) = mV_c e^{-\left(\frac{m}{M}\right)t} \quad (\text{N}) \quad (1)$$

式中: t —时间;其它符号同前。

此时钻孔深度为 L , 套管在下一次冲击载荷 P 作用下位移 U , 则

$$P = (\pi Df - q)(L + U) - W \quad (\text{N}) \quad (2)$$

式中: D —套管外径, m ; f —套管外壁单位面积摩阻力, kPa ; q —套管重量提供的跟进力, $q = q_0 \times \cos\theta$, 这里 q_0 为每米套管重力, θ 为钻孔顶角; W —钻具的轴压力, N ;其它符号同前。

将式(2)微分得:

$$\frac{dP}{dt} = (\pi Df - q) \frac{dU}{dt} = (\pi Df - q)V \quad (3)$$

式中: V —套管跟进速度, m/s ;其它符号同前。

入射波 $p(t) = m \cdot v(t)$, $v(t)$, 为入射波引起的质点速度;入射波在导正器凸肩处的反射波为 $p'(t) = -m \cdot v'(t)$, $v'(t)$, 为反射波引起的质点速度, $v'(t) = V - v(t)$, 式中符号同前。由波的合成得^[14]:

$$\begin{aligned} P &= p(t) + p'(t) \\ &= p(t) - m[V - v(t)] \\ &= 2p(t) - \frac{m}{(\pi Df - q)} \frac{dP}{dt} \end{aligned}$$

整理得:

$$\frac{dP}{dt} + \frac{1}{m}(\pi Df - q)P = \frac{2}{m}(\pi Df - q)p(t) \quad (4)$$

当 $t=0$ 时, $U=0$, $P=(\pi Df-q)L-W$, 并把式 (1) 代入式 (4), 解之可得:

$$P=2\left[\frac{e^{-\frac{m}{M}t}-e^{-\frac{1}{m}(\pi Df-q)t}}{1-\lambda}\right]mV_c+[(\pi Df-q)L-W]e^{-\frac{1}{m}(\pi Df-q)t}\tag{N}\tag{5}$$

式中: $\lambda=\frac{m^2}{M(\pi Df-q)}$; 其它符号同前。

为了从式 (5) 中求得力的最大值 P_m , 将该式微分, 令其等于零, 得:

$$t=\frac{\ln\left\{\frac{1}{\lambda}-\frac{(1-\lambda)}{2V_c\lambda m}[(\pi Df-q)L-W]\right\}}{\frac{1}{m}(\pi Df-q)-\frac{m}{M}}\text{(s)}\tag{6}$$

将式 (6) 代入式 (5) 得:

$$P_m=2mV_c\lambda^{\frac{\lambda}{1-\lambda}}\left\{1-\frac{(1-\lambda)}{2mV_c}[(\pi Df-q)L-W]\right\}^{\frac{\lambda}{1-\lambda}}\text{(N)}\tag{7}$$

将式 (7) 代入式 (2), 便可求得当跟进套管深度为 L 时, 再一次冲锤冲击后, 套管位移 U :

$$U=\frac{2mV_c}{\pi Df-q}\lambda^{\frac{\lambda}{1-\lambda}}\left\{1-\frac{(1-\lambda)}{2mV_c}[(\pi Df-q)L-W]\right\}^{\frac{\lambda}{1-\lambda}}+\frac{W}{\pi Df-q}-L\tag{m}\tag{8}$$

由于跟进套管阻力随孔深增加而增加, 因此, 在钻进设备、潜孔锤、地层等条件一定时, 存在最大跟进套管深度 $L_{\max}$, 在式 (8) 中, 令 $U=0$, 便可得:

$$L_{\max}=\frac{1}{\pi Df-q}(2mV_c+W)\tag{m}\tag{9}$$

此时套管下部丝扣处所受应力最大, 应力最大值 $\sigma_{\max}$ 为:

$$\sigma_{\max}=\frac{8mV_c^2+4W}{\pi(d_1^2-d_2^2)}\tag{Pa}\tag{10}$$

式中: d_1 —套管外径, m; d_2 —套管丝扣处内径, m; 其它符号同前。

4 计算实例

在云南小湾电站左岸山体滑坡抢险工程中, 决定对崩塌堆积体进行全面加固, 加固主要采用预应力锚索和抗滑桩相结合的形式。小湾电站的堆积体在左右两岸都有, 物质组成主要为块石、特大孤石夹

$$L_{\max}=\frac{1}{3.14\times0.168\times30000-26.8}[2\times104703\times5+14000]=67.16\text{(m)}$$

在实际施工中, 当气动潜孔锤钻进最大跟管深度 63.0 m 时, 钻进速度极慢。而理论分析中得到的气动潜孔锤跟管钻进最大跟管深度为 67.16 m 时, 钻进速度为零。因此计算结果与实际情况基本吻合。

碎石土、碎石层或砂壤土。特大孤石、块石、碎石母岩为黑云母花岗岩, 呈弱、微风化状态, 强风化较少。碎石土、碎石层及砂壤土主要填充在大孤石和块石之间。堆积体有相当部分地段较为松散, 并伴有较普遍的架空现象, 堆积体铅直厚度一般为 30~40 m, 最深 60 多米。坝址地段基岩风化以表层均匀风化为, 夹层风化不明显。受岩性构造和地形控制, 两岸强风化岩体底界埋深(铅直)一般为 10~20m; 弱风化岩体底界埋深一般为 40~50 m, 局部可达 70~88 m。两岸山坡岩体在卸荷作用下, 卸荷裂隙发育。在强卸荷带, 二组裂隙张开度大, 有泥、岩屑、岩块充填或架空, 且松动和变位错落明显。由于地质情况十分复杂, 使小湾锚索施工过程中造孔和护壁非常困难。使用气动潜孔锤跟管钻进技术, 有效地解决锚索钻孔问题。

在左岸饮水沟 2#山梁使用 $\phi 168$ mm 的 SPA 型跟管钻具施工锚索钻孔, 共计完成 1800 kN 级堆积体锚索 300 多根, 最深施工孔深 80.0 m, 平均跟管深度 43.0 m, 最大跟管深度 63.0 m^[15]。在跟管钻进中, 钻孔直径 $\phi 178$ mm, 钻孔顶角 θ 为 85° , 套管外径 D 为 $\phi 168$ mm, 套管每米重力 q_0 为 307N, 钻进轴压力 W 为 13~15N。使用的潜孔锤冲锤冲击速度 V_c 为 5m/s, 导正器上端面内外径 d_i 、 d_o 分别为 $\phi 42$ mm、 $\phi 72$ mm, 钢材的密度 ρ 为 7800kg/m³, 钢材的波速 a 约为 5000m/s。依据跟管钻进的地层, 套管侧壁摩阻力 f 为 30kPa。

导正器的波阻为:

$$\begin{aligned} m &= \frac{\pi}{4}(d_o^2-d_i^2)\rho a \\ &= \frac{3.14}{4}(0.072^2-0.042^2)\times7800\times5000 \\ &= 104703\text{(kg/s)} \\ q &= q_0\times\cos\theta=307\times\cos85^\circ=26.8\text{(N/m)} \end{aligned}$$

将上面的 D 、 f 、 q 、 m 、 V_c 、 W 代入式 (9) 得:

5 结论

本文提出的确定气动潜孔锤跟管钻进最大跟进

套管深度、套管应力的方法和动力传递过程的分析等都更接近气动潜孔锤跟管钻进的实际过程,因此,可以用于计算确定气动潜孔锤跟管钻进最大跟进套管深度、套管应力;分析影响最大跟进套管深度的因素,校核套管强度,确定合理的施工工艺参数。

[参考文献]

[1] 李远宁. 复杂地层锚固施工中的钻进技术[J]. 煤炭科学技术, 2003, 31(11): 55~57.
Li Yuan-ning. Drilling technology applied to anchoring operation in complicated strata[J]. Coal science and technology, 2003, 31(11): 55~57.

[2] 王发民, 石永泉, 韩永昌. 大溶隙岩溶地层的有效钻孔堵漏方法[J]. 探矿工程, 2007, 34(3): 15~17.
Wang Fa-min, Shi Yong-quan, Han Yong-chang. The effective leaking stoppage for great crack in Karst stratum[J]. Exploration engineering, 2007, 34(3): 15~17.

[3] 孙一国. 山丹马场长山子矿区复杂地层综合钻探技术[J]. 探矿工程, 2008, 35(9): 6~10.
Sun Yi-guo. Comprehensive drilling technique in complicated formation of Changshanz i coal mine area[J]. Exploration engineering, 2008, 35(9): 6~10.

[4] 朱国平, 段宏. 深厚堆积体地层钻进工艺方法研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2007, 18(s1): 73~76.
Zhu Guo-ping, Duan Hong. The research and test on drilling technology in the deep accumulated strata[J]. The Chinese journal of geological hazard and control, 2007, 18(s1): 73~76.

[5] 郑玉辉. 潜孔锤跟管钻进技术在小浪底水利观测孔工程的应用[J]. 探矿工程, 2007, 34(8): 4~5.
Zheng Yu-hui. Application of DTH with simultaneous casing for water conservancy observation holes in Xiaolangdi water conservancy[J]. Exploration engineering, 2007, 34(8): 4~5.

[6] 陈修星, 冯杨文, 侯锦. 黄金坪水电站深厚覆盖层跟管钻进工艺研究[J]. 探矿工程, 2008, 35(11): 10~12.
Chen Xiu-xing, Feng Yang-wen, Hou Jin. Technology research on drilling in deep alluvium with case in Huangjinping hydropower station[J]. Exploration engineering, 2008, 35(11): 10~12.

[7] 赵元弘. 小南海水库地震堰塞坝防渗处理[J]. 水利水电科技进展, 2008, 28(5): 39~44.
Zhao Yuan-hong. Seepage control of the earthquake-induced barrier bar of Xiaonanhai reservoir[J]. Advances in science and tech-

nology of water resources, 2008, 28(5): 39~44.

[8] 缪绪樟, 曾鹏九, 鄢泰宁. 回填砂卵石层固结灌浆[J]. 水利水电科技进展, 2008, 28(4): 60~64.
Miao Xu-zhang, Zeng Peng-jiu, Yan Tai-ning. Consolidation grouting technology for backfilled sand-cobble stratum[J]. Advances in science and technology of water resources, 2008, 28(4): 60~64.

[9] 夏明耀, 曾进伦. 地下工程设计施工手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999: 175~177.
Xia Ming-yao, Zeng Jin-lun. Underground engineering design and construction handbook[M]. Beijing: China building industry press, 1999: 175~177.

[10] 赵建勤, 李子章, 石绍云. 空气潜孔锤钻进技术与应用[J]. 探矿工程, 2008, 35(7): 55~59.
Zhao Jian-qin, Li Zi-zhang, Shi Shao-yun. Technology of DTH drilling with simultaneous casing and the application[J]. Exploration engineering, 2008, 35(7): 55~59.

[11] 计胜利, 郭威, 张晓光. 卵砾石地层潜孔锤同心跟管钻具的研究[J]. 探矿工程, 2006, 33(7): 52~55.
Ji Sheng-li, Guo Wei, Zhang Xiao-guang. Research on DTH hammer concentric simultaneous casing drilling tool in gravel strata[J]. Exploration engineering, 2006, 33(7): 52~55.

[12] 易军, 罗康生, 李光俊. 潜孔锤偏心跟管钻进法在卵砾石地层岩土工程勘察中的应用[J]. 贵州地质, 2007, 24(3): 237~239.
Yi Jun, Luo Kang-sheng, Li Guang-jun. Downhole hammer concentric simultaneous casing drilling method applied to rock-soil engineering survey in the gravel strata [J]. Gui zhou geology, 2007, 24(3): 237~239.

[13] 石永泉. 夯管法理论问题的探讨[J]. 探矿工程, 2000, 28(1): 57~59.
Shi Yong-quan. Theoretical discussion on pipe-ramming method [J]. Exploration engineering, 2000, 28(1): 57~59.

[14] 石永泉. 冲击回转钻进中的静压力[J]. 地质与勘探, 1994, 30(1): 79~80.
SHI Yong-quan. Static pressure in percussive-rotary drilling[J]. Geology and prospecting, 1994, 30(1): 79~80.

[15] 楼日新. 复杂地层潜孔锤跟管钻进技术研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2007: 92~98.
Lou Ri-xin. Research on the technology of DTH hammer drilling with casing for complex stratum[D]. Chengdu: Chengdu university of technology, 2007: 92~98.

Determining the Maximum Depth Method for Complex Formation Pneumatic DTH Drilling with the Casing

SHI Yong-quan

(School of Environment and Civil Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu, 610059, China)

Abstract: In geotechnical drilling engineering, pneumatic DTH drilling technology with the casing are to address complex stratigraphic drilling questions is more effective method, this article discusses the classification of complex formation and the casing wall friction problem; Described pneumatic DTH drilling pipe with the working principle; analyzed the casing force process of pneumatic DTH, according to wave dynamics, presented theoretical calculations to determine the biggest pipe casing depth follow-up method in pneumatic DTH drilling.

Key words: pneumatic DTH, drilling with the casing, complex formation, biggest depth