

HDD 挤压式扩孔钻头拉力 - 扭矩模型建立及验证

邱玲玲, 乌效鸣, 孟凡威

(中国地质大学(武汉)工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘要:在水平定向钻进中,作用在钻头上拉力和扭矩是设计钻进和施工的重要依据。通过对挤压式钻头的力学分析,提出了挤压式钻头的拉力 - 扭矩模型并较全面地分析了影响模型结果的因素。还结合现场施工数据对模型进行实践验证,结果与现场数据较为吻合。因此,该模型对挤压式钻头水平定向钻进施工设计优化起到了很重要的指导作用。

关键词:挤压式钻头;拉力;扭矩;拉力 - 扭矩模型;水平定向钻进

中图分类号:P634.4⁺1 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2010)03-0059-03

Establishment and Certification of the Tension-Torque Model of Extrusion Type Reaming Bit/QIU Ling-ling, WU Xiao-ming, MENG Fan-wei (Faculty of Engineering, China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China)

Abstract: In HDD, the tension and torque acting on the bit are important foundations for the design of drilling and construction. The tension-torque mathematical model is established by the mechanical analysis on extrusion type reaming bit and the factors which affect the results of the model are analyzed entirely. The model was tested according to the construction data, the results agreed with field data well. Therefore, the model plays an important role for construction design optimization on HDD with extrusion type reaming bit.

Key words: extrusion type reaming bit; tension; torque; tension-torque model; HDD

0 引言

随着我国经济的大力发展,水平定向钻进技术广泛应用于供水、煤气、天然气、污水、电力和电信电缆等公用事业管线的铺设。但其遇到的问题也是比较复杂的。例如在进行定向钻进施工前对钻机型号的选择没有可参考的依据,在施工设计时,只是人为的分配扩孔级数,没有科学高效的分配扩孔级径,而在钻机开动时,对回拉速度与回转速度方面也达不到最优化的效果,诸如此类往往会出现“大马拉小车”或“小马拉大车”等不协调的情况,造成设备的适应能力差或高频率出现钻孔事故等。

本文通过对挤压时钻头的力学分析建立的拉力 - 扭矩模型很好的解决了以上的问题。

1 钻头拉力 - 扭矩模型建立

1.1 钻头钻进过程分析

水平定向钻进在回转钻进时,钻头在与土体平面接触后,假设钻头回转一周进尺为 h ,在轴向力的作用下,钻头尖端先切入土层,则钻头切入土层的深度为 h ,在回转力的作用下,钻头回转一周,将其所经过部分的土体破坏掉,钻头在轴向力和回转力的作用下继续钻进,钻头尖部又吃入土层 h 深度,而此

时,钻头斜面只与中部土体圆台区域接触。该部分土体将产生变形。随着钻头的回转,圆锥体面上的土体都将产生变形,这样循环往复,钻孔就会不断地加深。而破碎下来的土体,其中部将进入钻头上部,另一部分将被挤入土层。该部分土体在钻头斜面的作用下发生破坏,钻头提供破坏该部分土和克服侧壁摩擦所需的力。

1.2 模型建立

1.2.1 基本假设

- (1) 钻头为刚性体形;
- (2) 钻头横截面为圆形;
- (3) 钻头与孔壁连续接触;
- (4) 摩擦系数在某孔段为常数;
- (5) 把一切引起轴向阻力和旋转扭矩增加的因素都等价于钻头与孔壁摩擦系数的变化。

1.2.2 钻头(以挤压式钻头为例)拉力 - 扭矩方程

图 1 为工程中常用的挤压时钻头实体,图 2 为其相应的力学模型的示意图,钻头的锥度为 α ,前一级孔半径为 r ,钻头半径为 R ,土体摩擦系数为 f 。

圆台的侧面积: $s = \pi l(R + r)$ [其中 l 为圆台的母线, $l = (R - r) / \sin\alpha$]。

收稿日期:2009-12-07; 修回日期:2010-01-11

作者简介:邱玲玲(1985-),女(汉族),江苏盐城人,中国地质大学(武汉)硕士研究生在读,地质工程专业,研究方向为勘察及地质工程,湖北省武汉市鲁磨路中国地质大学(武汉)1200811班, truly900@163.com。



图1 挤压式钻头

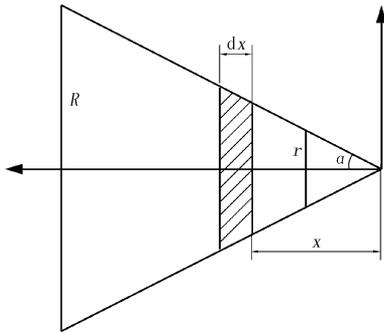


图2 挤压式钻头模型

(1) 单位面积上的正压力

$$P_i = \frac{P \sin \alpha}{\pi l (R + r)} = \frac{P \sin^2 \alpha}{\pi (R^2 - r^2)}$$

(1)(2) 单位面积上的摩擦力

$$F_i = f P_i = f \frac{P \sin^2 \alpha}{\pi (R^2 - r^2)} \quad (2)$$

(3) 微圆台环侧面积

$$\begin{aligned} ds &= \pi dl (r + \tan \alpha dx + r) \\ &= 2\pi r \frac{dx}{\cos \alpha} + \tan \alpha \frac{(dx)^2}{\cos \alpha} \end{aligned} \quad (3)$$

式中 $\tan \alpha \frac{(dx)^2}{\cos \alpha}$ 部分为二阶无穷小, 则微圆台

面积 $ds \approx 2\pi r \frac{dx}{\cos \alpha}$ 。

(4) 微侧环产生的扭矩

$$\begin{aligned} dM &= R_x f \frac{P \sin^2 \alpha}{\pi (R^2 - r^2)} 2\pi r \frac{dx}{\cos \alpha} \\ &= 2f \frac{P \sin \alpha \tan^3 \alpha}{(R^2 - r^2)} x^2 dx \end{aligned} \quad (4)$$

(5) 对圆台面积进行积分, 求出总扭矩

$$\begin{aligned} M &= \int_{\cot \alpha}^{R \cot \alpha} \frac{2f P \sin \alpha \tan^3 \alpha}{(R^2 - r^2)} x^2 dx \\ &= \frac{2f P \sin \alpha (R^3 - r^3)}{3(R^2 - r^2)} \end{aligned} \quad (5)$$

2 现场数据验证

当钻孔资料的摩擦系数确定后, 利用以建拉力-扭矩模型预测钻机扭矩。对上海市伽利略路某电缆铺设非开挖工程进行扭矩预测计算。

该钻孔长 180 m, 钻机型号为 D100 × 120, 钻杆长度 6 m, 钻头直径 600 mm, 前一级钻孔直径 400 mm, 土体的摩擦系数 0.3, 钻头锥度 28°, 轴向力 50 kN。

模型预测数据与实际施工数据对比见表 1。

表1 实际施工数据与模型预测值对比表

钻杆	拖力 /lb	拖力 /kN	预测扭矩 /kN·m	实际扭矩 /lb·ft	实际扭矩 /kN·m
1	8500	38.55	1.38	1300	1.76
2	8000	36.28	1.29	1200	1.63
5	8300	37.64	1.34	1200	1.63
8	11000	49.89	1.78	1400	1.90
10	12000	54.42	1.95	1500	2.03

3 影响因素分析

不同拉力条件下, 理论数据均比实测数据小。这是由于扭矩表盘的数据包括液压系统的损失以及钻杆摩擦的部分。

3.1 扭矩计算影响因素

通过对式(5)的分析, 我们知道土体摩擦系数、轴向力、钻头锥度和前后扩孔直径的大小有关系。其中扭矩与土体摩擦系数、轴向力成正比。这是影响扭矩大小的主要因素。土体越坚硬, 摩擦系数越大, 钻进难度越大, 相应所需扭矩也越大。钻机提供的轴向力主要用于破坏土体, 越大的轴向力对土的正压力越大, 摩擦力越大, 则扭矩也相应增大。同时钻头锥度的正弦与扭矩成正比, 使用不同锥度的钻头, 需要提供的扭矩的大小不一样。扩孔直径影响扭矩的大小, 在上一级扩孔直径一定的情况下, 新一级的扩孔直径越大, 破坏土体产生的扭矩也就越大, 扩孔直径与扭矩的大小成正比。

3.2 土性参数的取值

上述公式中 f 的数值由 $f = \tan \theta$ 得出 [其中 θ 为钻头与土体之间的内摩擦角, ($^\circ$)]。不同类型的土有不同的 θ 值, 主要视土体的软硬程度而决定, 由相关规范可确定。

3.3 扭矩与回拉力的合理配套设计

只有强大的功率输出才能够确保工程顺利和钻机的良好工作, 才能延长整个钻机的使用寿命。由于定向钻机并不是短暂间歇式的高动力作业方式, 而是带动主机、水泵等设备负荷连续工作的, 所以在

设计和选择钻机时,首先要考虑配套发动机的连续输出功率,而不仅是最大间歇输出功率或总功率,这样才能保证钻机长时间以恒定的负荷能力去克服施工中的阻力,尤其在复杂或含石块地层的工程施工时显得更加重要,而钻机的功率的配额更为重要。表 2 为对应孔径和钻孔长度的设备功率配备选择对照表,以供参考。

表 2 钻机功率要求对应关系表

性能要求	配备功率 (2100 r/min)/kW	拉力/kN	扭矩(40 r/min) /kN·m
0	30	100	3
1	60	150	6
2	100	250	12
3	130	320	18
4	160	640	33
5	220	750	50
6	300	1000	60
7	360	1540	70
8	>400	>1800	>80

结合钻机功率要求和在现场施工记录的回扩孔时拉力、扭矩和泥浆泵量等数据(表 2),以拉力-扭矩数学模型分析为基本依据,全面考虑其它影响因素,对水平定向钻进铺设施工优化综合设计。对设计模型进行编程,以 Visual C++ 软件开发平台,采用空间解析几何方法,运用三维图形库技术 OpenGL,设计出拉力-扭矩模型的可视化界面,其演示界面如图 3 所示。



图 3 挤压式钻头扭矩拉力对话框

4 结论

(1) 拉力-扭矩模型对水平定向钻进铺设施工设计优化起到了很重要的指导作用。

(2) 可利用拉力-扭矩模型和钻机功率要求表确定工程需要钻机型号。

(3) 拉力-扭矩模型的可视化界面方便工程施工应用。

参考文献:

- [1] 乌效鸣,胡郁乐,李粮纲,等. 导向钻进与非开挖铺管技术[M]. 武汉:中国地质大学出版社,2004.
- [2] 张宝增,王瑞和,等. 钻柱拉力扭矩模型在侧钻水平井中的应用[J]. 天然气工业,2007,(1):68-71.
- [3] 费广正,乔林. Visual C++ 6.0 高级编程技术(OpenGL 篇)[M]. 北京:中国铁道出版社,2000.

新版《地质岩心钻探规程》通过评审

本刊讯 由中国地质科学勘探技术研究所提交的《地质岩心钻探规程》通过了中国地质调查局在北京科学大会堂组织的专家评审。评审委员会认为,规程编写组在广泛收集研究现有相关规范,吸收钻探技术最新实用性成果和地质勘查单位钻探管理经验的基础上,结合我国地质钻探特点和现状,编制完成了本规程。

《规程》包括钻探工程设计、钻探方法、钻探设备、冲洗液与护壁堵漏、钻孔轨迹测量、孔内事故预防和处理、工程质量、生产(安全)管理等 19 章和 2 个附录。内容齐全,层次清晰,技术参数和指标合理,具有很强的实用性和可操作性。《规程》全面规范了地质钻探技术管理工作,对提升钻探工程标准化、产业化水平,提高矿产资源评价质量和效率具有重要意义。

《规程》强调按照设计进行施工的原则。首次统一了钻孔公称口径,为钻探方法转换及钻具标准的修订奠定了基础。进一步充实了金刚石钻进、绳索取心钻进内容;新增了冲击回转钻进、定向钻进、空气反循环钻进等技术规定;在安

全生产和健康环保方面借鉴了国家相关标准和石油钻井先进技术成果,体现了社会发展和技术进步趋势。

《规程》在编制中注意了与有关行业相关规程的协调性,编制工作程序和成果表达形式符合标准化工作导则及相关规定,结构和文体统一,格式、表述、符号符合要求。

岩心钻探技术涉及地矿、冶金、煤炭、有色、核工业、化工、建材等各工业部门,是资源勘查最主要、最直接的技术手段,具有不可替代的重要作用。钻探规程是钻探施工中必须遵循的准则,是实现探矿工程现代化管理的重要基础。我国现行地质岩心钻探规程编制于 20 世纪 80 年代,一些内容已经与地质岩心钻探技术最新成果的发展不相适应,严重影响到地质调查和资源勘探工作。根据中国地质调查局[2009]05-01-01 号工作项目任务书要求,《地质岩心钻探规程》修编工作于 2008 年底启动。钻探规程修编工作由著名钻探技术专家王达教授主持,编写组成员有赵国隆、萧亚民、陈星庆、汤松然、孙建华、张林霞、刘秀美、戴智长等资深专家和中青年专业技术人员。(刘秀美 供稿)